

情報通信審議会 情報通信技術分科会 放送システム委員会 報告（案）

諮問第 2024 号

「ケーブルテレビシステムの技術的条件」（平成 18 年 9 月 28 日諮問）のうち
「ケーブルテレビにおける IP 放送等に関する技術的条件」

平成 30 年〇月〇日

目次

| | |
|--|----|
| I 検討事項 | 3 |
| II 委員会及び作業班の構成 | 3 |
| III 検討経過 | 3 |
| IV 検討概要 | 4 |
| 別表 1 (委員会構成員) | 5 |
| 別表 2 (作業班構成員) | 6 |
| 別紙 1 | 7 |
| 1. はじめに | 8 |
| 2. 検討の背景 | 9 |
| 2.1 検討開始の背景 | 9 |
| 2.2 ケーブルテレビの IP ネットワーク | 10 |
| 2.3 IP 放送に関する状況 | 10 |
| 3. 超高精細度テレビジョン放送等に係る有線一般放送方式の要求条件 | 11 |
| 3.1 要求条件 | 11 |
| 3.2 要求条件との整合性 | 16 |
| 4. インターネットプロトコル伝送の技術的条件 | 23 |
| 4.1 システムの構成 | 23 |
| 4.2 電気信号等に係る技術的条件 | 27 |
| 4.3 受信者端子以外の性能規定点における技術的条件 | 40 |
| 4.4 情報源符号化方式等に係る技術的条件 | 45 |
| 4.5 サービス可用性に関する技術的条件 | 48 |
| 4.6 測定方法に関する基本的な考え方 | 49 |
| 5. デジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る技術的条件 | 50 |
| 5.1 搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における搬送波等の条件 | 50 |
| 5.2 搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における搬送波等の条件 | 57 |
| 6. 今後の検討課題 | 59 |
| 6.1 IP 放送に関する課題 | 59 |
| 6.2 国際標準化、技術開発に関する課題 | 59 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 6.3 有線一般放送の技術的条件全般に関する課題..... | 60 |
| 参考資料..... | 61 |

I 検討事項

放送システム委員会では、情報通信審議会諮問第 2024 号「ケーブルテレビシステムの技術的条件」（平成 18 年 9 月 28 日諮問）のうち「ケーブルテレビにおける IP 放送等に関する技術的条件」について検討を行い、本報告（案）を取りまとめた。

II 委員会及び作業班の構成

放送システム委員会の構成は、別表 1 のとおり。

なお、放送システム委員会の下に、委員会における調査のために必要な情報を収集し、委員会の検討を促進させるために、IP 放送作業班を設置した。IP 放送作業班の構成は別表 2 のとおり。

III 検討経過

1. 放送システム委員会での検討

本件に関する放送システム委員会での検討経過は、次のとおり。

① 第 62 回（平成 30 年 4 月 16 日）

IP 放送作業班の設置、同作業班の運営方針、検討課題及びスケジュール等について検討を行った。また、ケーブルテレビにおける IP 放送に関する技術的条件について、広く提案募集の機会を設けることとし、平成 30 年 4 月 18 日から同年 5 月 2 日まで希望者を募集した結果、1 件の提案があった。

② 第 63 回（平成 30 年 6 月 22 日）

IP 放送作業班からの中間報告を基に技術的条件について審議を行い、デジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に関する技術的条件のうち、搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における搬送波等の条件について承認した。

③ 第 64 回（平成 30 年 7 月 31 日）

IP 放送作業班からの報告を受けて、放送システム委員会報告（案）について審議を行った。また、当該報告（案）について、広く意見を求めることとし、平成 30 年 8 月 3 日から同年 8 月 24 日までの間、パブリックコメントを行うこととした。

④ 第 65 回（平成 30 年 9 月 10 日）

8 月 3 日から 8 月 24 日まで行ったパブリックコメントの結果を踏まえ、検討を行い、放送システム委員会報告を取りまとめた。

2. IP 放送作業班での調査

IP 放送作業班の検討経過は次のとおり。

① 第 1 回（平成 30 年 4 月 26 日）

作業班の運営方法、今後のスケジュール等について検討を行った。また、構成員からのプレゼンテーションを行い、IP 放送の現状等について検討を行っ

た。

② 第2回（平成30年5月24日）

提案募集の結果、要求条件、品質省令に係る技術的条件、実証試験の実施等についての検討を行った。また、構成員からのプレゼンテーションを行い、ケーブルテレビに係る放送・通信設備、受信設備等について検討を行った。

③ 第3回（平成30年6月19日）

構成員からのプレゼンテーションを行い、ケーブルテレビに係る放送・通信設備、デジタル有線テレビジョン放送方式の搬送波等の条件の見直し等について検討を行った。

④ 第4回（平成30年7月12日）

IP放送の伝送品質に関する実証試験の結果、これまでの構成員のプレゼンテーション等を踏まえ、IP放送に係る伝送方式の技術的条件の検討を行い、IP放送作業班報告骨子案について検討を行った。

⑤ 第5回（平成30年7月24日）

IP放送に係る伝送方式の技術的条件の検討を行い、IP放送作業班報告を取りまとめた。

IV 検討概要

別紙1のとおり。

別表 1 (委員会構成員)

情報通信技術分科会 放送システム委員会 構成員

(敬称略)

| 氏名 | 主要現職 |
|---------------------|-------------------------------|
| 主査 委員 伊丹 誠 | 東京理科大学 基礎工学部 電子応用工学科 教授 |
| 主査代理 専門委員 都竹 愛一郎 | 名城大学 理工学部 教授 |
| 委員 村山 優子 | 津田塾大学 学芸学部 情報科学科 教授 |
| 専門委員 井家上 哲史 | 明治大学 理工学部 教授 |
| 〃 大矢 浩 | 一般社団法人日本CATV技術協会 副理事長 |
| 〃 甲藤 二郎 | 早稲田大学 基幹理工学部教授 |
| 〃 門脇 直人 | 国立研究開発法人情報通信研究機構 理事 |
| 〃 関根 かをり | 明治大学 理工学部 教授 |
| 〃 高田 潤一 | 東京工業大学 環境・社会理工学院 教授 |
| 〃 丹 康雄 | 北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 教授 |
| 〃 野田 勉 | スターキャット・ケーブルネットワーク(株) 上席主任研究員 |
| 〃 松井 房樹 | 一般社団法人電波産業会 専務理事・事務局長 |
| 〃 山田 孝子 | 関西学院大学 総合政策学部 教授 |

別表2（作業班構成員）

情報通信技術分科会 放送システム委員会
IP 放送作業班 構成員

（五十音順、敬称略）

| | | |
|--------|-------|--|
| （主任） | 甲藤 二郎 | 早稲田大学 基幹理工学部 教授 |
| （主任代理） | 猪俣 亮 | 一般社団法人日本ケーブルラボ 実用化開発部 研究員 |
| | 青山 公平 | シンクレイヤ株式会社 技術部 専任次長 兼 IP ソリューション課 課長 |
| | 泉 英介 | 住友電気工業株式会社 ブロードネットワークス事業部 CATV システム部 部長 |
| | 岩佐 達矢 | 株式会社ケーブルテレビ徳島 技術部 課長代理 |
| | 上園 一知 | 株式会社ジュピターテレコム 技術開発室 マネージャー |
| | 大塚 孝 | イツ・コミュニケーションズ株式会社 技術本部 ネットワーク技術部 課長補佐 |
| | 尾関 信圭 | 株式会社ハートネットワーク 事業戦略局 局長 |
| | 影山 光宏 | パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社 STB ネットワークビジネスユニット システム技術部 プラットフォーム開発課 課長 |
| | 川口 耕司 | 株式会社コミュニティネットワークセンター 技術本部サーバグループ グループ長 |
| | 木谷 靖 | 一般社団法人IPTVフォーラム 技術委員会 副主査 （株式会社NTTぷらら 技術本部 サービス開発部長） |
| | 倉掛 卓也 | 日本放送協会 放送技術研究所 伝送システム研究部 上級研究員 |
| | 佐々木 カ | 株式会社KDDI 総合研究所 研究マネージャー |
| | 白石 成人 | 株式会社愛媛CATV 常務取締役 |
| | 滝口 英樹 | 東日本電信電話株式会社 ネットワーク事業推進本部 高度化推進部 担当部長 |
| | 内藤 明彦 | ジャパンケーブルキャスト株式会社 技術・運用本部 シニアマネージャー |
| | 中島 寛 | 一般社団法人日本ケーブルテレビ連盟 技術部長 |
| | 中丸 則兼 | 一般社団法人日本CATV技術協会 事業部（規格・標準）部長 |
| | 松本 卓三 | 古河電気工業株式会社 ブロードバンドソリューション事業部門 ブロードバンドシステム部 光システム課 課長 |
| | 安田 和弘 | 日本デジタル配信株式会社 専務執行役員 技術本部 本部長 |
| | 山本 秀樹 | 沖電気工業株式会社 情報通信事業本部 ネットワークシステム事業部 システム第5部 映像配信事業責任者 |

検 討 概 要

1. はじめに

1955年、地方部におけるテレビジョン放送の難視聴対策として始まったケーブルテレビは、その後、都市部の高層化等に伴う難視聴対策にも利用されるようになった。1980年代後半には、情報通信の高度化に伴い、地上放送に加え、衛星放送の同時再放送、さらには、多様な視聴者ニーズに対応した多チャンネルサービスの提供、地域のニーズに対応したコミュニティチャンネルの提供等を行う都市型ケーブルテレビが各地に登場するようになった。1990年代後半には、衛星放送、地上放送のデジタル化の進展に沿って、ケーブルテレビでもデジタル化を進め、放送のデジタル化においても役割を果たしてきた。

通信の分野においても、1990年代後半にはインターネットの普及に伴い、ケーブルテレビのネットワークを活かしたケーブルインターネットにより高速で低廉なインターネット接続サービスを提供してきた。従来、有線回線を前提とした、固定ブロードバンドサービスや固定電話サービス（IP電話を含む）の通信分野のみならず、近年は、MVNOサービス、地域BWAサービスなど移動通信分野においてもサービス提供を行っている事業者が増加しつつある。

このような状況の中で、ケーブルテレビは、高精細度テレビジョン放送（HDTV）を超える4K・8Kフォーマットに対応した超高精細度テレビジョン放送（UHDTV）の進展に応じて、「ケーブル4K」等の高度な放送サービスを自ら行うとともに、2018年には衛星放送による4K・8K実用放送の本格的な開始にも対応していくことが求められている。また、FTTH（Fiber To The Home）を含むブロードバンドの普及が進んでいる中、インターネットを使って利用者に動画等のコンテンツを提供する、いわゆるOTT（Over The Top）と呼ばれる通信分野におけるサービスが普及しつつある一方で、放送分野における放送番組の配信サービスとしてのIP放送について、同一の内容を不特定多数が同時に視聴できるという放送の特徴を確保する観点からも、IP放送に関する技術的条件を明確化することが求められている。

そこで、情報通信技術分科会放送システム委員会では、現行の有線テレビジョン放送方式等の技術基準も踏まえ、ケーブルテレビの高度化及び普及促進を図るため、必要な技術的条件の検討を行うこととし、「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち、「ケーブルテレビにおけるIP放送等に関する技術的条件」について、検討を行い、報告を取りまとめたものである。

2. 検討の背景

2.1 検討開始の背景

IP マルチキャスト方式による放送サービスの技術的条件については、2007(平成19)年3月28日のケーブルテレビシステム委員会報告において今後の課題として「国内のサービス状況や国内外の標準化動向を踏まえ、その必要性も含め継続的な検討を行う必要がある」とされていた。

4K・8Kをはじめとする放送サービスの高度化、テレビ視聴形態の多様化等放送を取り巻く環境が変化しているとともに、固定ブロードバンド網の広帯域化等を踏まえ、有線一般放送を行う登録一般放送事業者(以下、「ケーブルテレビ事業者等」という)は、インターネットプロトコル(IP)を活用して放送を取り巻く環境の変化に対応する取り組みを進めている。

4K・8Kに関して、総務省は、「4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合」を開催し、とりまとめた4K・8K推進のためのロードマップ(2014(平成26)年9月、第一次中間報告、2015(平成27)年7月、第二次中間報告)に基づき、4K・8Kに関する取組を推進してきた。

情報通信審議会におけるケーブルテレビに関する取り組みとしては、2014(平成26)年12月、「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち「ケーブルテレビにおける超高精細度テレビジョン放送の導入に関する技術的条件」について放送システム委員会において検討を行った結果に基づき、一部答申を行った。総務省は、当該一部答申を受け、2015(平成27)年3月に所要の制度整備を行った。なお、当該報告において課題とされていたBS/CS110のパススルー伝送方式のための左旋用中間周波数については、2018(平成30)年2月の放送システム委員会における検討を経て、総務省は、同年5月に所要の制度整備を行っている。

2015(平成27)年には、CS124/128、ケーブルテレビ、IPTV等による4K実用放送が既に開始されており、2016(平成28)年には、BSによる4K・8K試験放送が開始され、2018(平成30)年12月には、BS/CS110により4K・8K実用放送が開始される予定である。

ケーブルテレビに関しては、2017(平成29)年5月、総務省の放送を巡る諸課題に関する検討会「地域における情報流通の確保に関する分科会報告書「ケーブルビジョン2020+ ～地域とともに未来を拓く宝箱～」」において様々な提言がなされ、放送サービスのIP化に関連して、IP放送の品質を確保するために必要な技術基準の在り方の検討を行うことが適当であるとされた。

このような状況の下、総務省では2017(平成29)年11月からIPネットワークを活用した放送の普及を図るため「4K・8K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会(座長:伊東晋 東京理科大学 教授)」を開催し、IP放送の技術基準等の在り方について検討を進め、2018(平成30)年6月に報告書がとりまとめられた。

このような背景を踏まえ、ケーブルテレビの放送サービスの多様化、高度化を図るため、IP 放送等に関して必要な技術的条件の検討を行うものである。

2.2 ケーブルテレビの IP ネットワーク

ケーブルテレビの IP ネットワークは、現在主流となっている幹線に光ファイバを使用した HFC (Hybrid Fiber Coaxial) による CATV アクセスサービス、近年普及が進みつつある幹線及び分配線も含む伝送路全区間において光ファイバを使用する FTTH (Fiber To The Home) による FTTH アクセスサービスがある。

HFC によるネットワークは、10MHz～55MHz の上りと 90～770MHz の下りの伝送帯域等を利用して、DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) 規格により、下り 40～320Mbps 程度 (DOCSIS3.0 仕様)、1Gbps 程度 (DOCSIS3.1 仕様) の伝送帯域を有する。

一方、FTTH によるネットワークは、光領域のより広範な帯域を利用して、数 10Mbps～10Gbps 程度の伝送帯域を有する。ケーブルテレビの FTTH については、ケーブルテレビ局舎から加入者宅まで自ら光回線を整備して FTTH を提供する「自社回線」、ケーブルテレビ局舎から回線事業者局舎の相互接続点まで回線を整備、相互接続点から加入者宅までは接続料を支払うことで他事業者の回線を用いて FTTH を提供する「接続」、ケーブルテレビ局舎から加入者宅まで、他の回線事業者からの光回線の卸役務の提供を受けて FTTH を提供する「卸役務」といった方法がある。

それぞれの方法には、設備投資の規模、価格競争やサービス改善の容易性などにおいて、メリット、デメリットが存在するため、事業者は、地理的要因や競争状況、自らの事業に必要な帯域や必要となるコスト等を踏まえて、最適な方法を選択してネットワークを構築する必要がある。

2.3 IP 放送に関する状況

IP マルチキャスト方式による IP 放送の実施については、放送法の技術基準は、標準的に使用されるものとして規定される放送方式以外にも個別審査により使用を認めることができる柔軟な制度となっており、従来、個別審査により使用が認められてきた経緯がある。

既に多数の放送番組を提供してひっ迫している放送用のネットワークに加え、近年、FTTH 等により広帯域化している IP ネットワークを利用して放送サービスを提供するニーズが高まってきており、事業者の申請に関する負担軽減やマルチベンダー化を促進する観点からも、従来の RF 方式と同様に、技術的条件の検討をすることが必要となってきている。

3. 超高精細度テレビジョン放送等に係る有線一般放送方式の要求条件

3.1 要求条件

3.1.1 基本的な考え方

超高精細度テレビジョン放送等に係る有線一般放送方式の要求条件の基本的な考え方は次のとおりとする。

- ・ 超高精細度テレビジョン放送等による高画質サービス、多機能及び多様で柔軟なサービスを実現できること。
- ・ 将来の技術動向を考慮し、実現可能な技術を採用するとともに、その後に想定されるサービスや機能の追加等にも配慮した拡張性を有する方式とすること。
- ・ 現行の放送サービスや他のデジタル放送メディアとの相互運用性をできる限り確保するとともに、通信との連携による新たなサービスにも対応できること。
- ・ 既存の設備や端末の活用並びに既存の運用形態の適用が最大限行えること。
- ・ 送信設備、受信機及び伝送設備が満たすべき条件が開示されていること。

3.1.2 システム

| 項目 | | 要求条件 | 備考 |
|-------------|----------|--|----|
| インターオペラビリティ | | <ul style="list-style-type: none"> ・ 地上放送、衛星放送、ケーブルテレビ、IPTV 等の様々なメディア間で、できる限り互換性を有すること。 ・ 既存のシステムに妨害を与えないこと。 ・ ケーブルテレビにおける既存の放送・通信サービスと併存でき、新方式の円滑な導入及びマイグレーションが可能であること。 | |
| サービス | 高機能化／多様化 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行の高精細度テレビジョン放送（HDTV）、超高精細度テレビジョン放送（UHDTV）サービスを基本とした高画質サービスを可能とすること。 ・ 多様で柔軟な高機能サービスを可能とすること。 ・ インターネット等の通信系を利用したサービスについても考慮すること。 ・ チャンネル切り替えに要する時間は、可能な限り短いこと。 | |

| | | |
|-----------|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ・年齢による視聴制限（パレンタルレート）設定のような、視聴者によるアクセス制御を可能とすること。 ・緊急警報信号のような非常災害時における対象受信機への起動制御信号及び緊急情報の放送について考慮すること。 | |
| 拡張性 | <ul style="list-style-type: none"> ・サービス形態、符号化方式、受信機、限定受信方式等について拡張性を有すること。 | |
| アクセシビリティ | <ul style="list-style-type: none"> ・高齢者、障がい者等様々な視聴者向けのサービスについても考慮すること。 ・種々の放送サービスに視聴者が容易にアクセスできること。 ・さらに、放送と通信系のサービスが連携するサービスへのアクセスが容易であること。 | |
| 実時間性 | <ul style="list-style-type: none"> ・高い実時間性を要求される場合を考慮すること。 ・視聴者に違和感を与えない程度の映像・音声の遅延差であること。 | |
| システム制御 | <ul style="list-style-type: none"> ・放送の要件に応じて伝送パラメータの選択や組合せの変更を行うことができ、また、それに合わせて受信機制御が可能な方式とすること。 ・送出する映像、音声、データの容量やチャンネル数等を任意に選択、変更できること。 | |
| 著作権保護 | <ul style="list-style-type: none"> ・放送コンテンツの記録及び利用に関して制御できる機能を有すること。 | |
| 個人情報保護 | <ul style="list-style-type: none"> ・受信者の個人情報保護について考慮すること。 | |
| 国際標準との整合性 | <ul style="list-style-type: none"> ・国際標準との整合性を考慮し、容易に導入できるシステムとなるよう考慮すること。 | |

3.1.3 放送品質

| 項目 | 要求条件 | 備考 |
|----|---|----|
| 画質 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の画質が望まれることを考慮し、できる限り高い画質を保つこと。 ・ 標準テレビジョン放送 (SDTV) についても、できるだけ高画質を保つこと。 ・ 情報源符号化による画質劣化の時間率ができるだけ小さいこと。 ・ サービスに応じて画像のビットレートを変更できること。 | |
| 音質 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の音質が望まれることを考慮し、できる限り高い音質を保つこと。 ・ SDTV についても、できるだけ高音質を保つこと。 ・ 多チャンネル音声など高臨場感音声サービスを可能とすること。 ・ サービスに応じて音声のビットレートを変更できること。 | |

3.1.4 技術方式

| 項目 | 要求条件 | 備考 |
|-------------------|---|----|
| 映像入力フォーマット及び符号化方式 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行の HDTV、UHDTV サービスを考慮した映像入力フォーマット及び高効率かつ高画質な符号化方式であること。 ・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。 | |
| 音声入力フォーマット及び符号化方式 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行の HDTV、UHDTV サービスを考慮した音声入力フォーマット及び高効率かつ高音質な符号化方式であること。 ・ 多チャンネル音声放送が可能な符号化方式であること。 ・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。 | |
| データ符号化方式 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。 ・ 通信系のサービスとの連携を考慮した符号化方式であること。 | |

| | | | |
|--------|----------------|---|--|
| | 多重化方式 | <ul style="list-style-type: none"> ・多様なサービスの柔軟な編成が可能な多重化方式であること。 ・通信系のサービスとの連携を考慮すること。 ・他のサービスとの相互運用性を考慮すること。 ・衛星等による放送波の再放送のような、他の放送ネットワークからの乗り移りの容易性を考慮すること。 ・自主放送信号及び再放送信号の独立性が確保できるように考慮すること。 | |
| 限定受信方式 | スクランブルサブシステム | <ul style="list-style-type: none"> ・高度な秘匿性を有すること。 ・不正受信に対して十分な安全性を有し、脆弱性が発見された場合等に対応可能な機能を有すること。 | |
| | 関連情報サブシステム | <ul style="list-style-type: none"> ・関連情報伝送や限定受信機能に関して十分な安全性を有し、その安全性を継続的に維持・改善できること。 ・種々のサービス形態に対応するため、課金・収納方式等に自由度があり、弾力的な運用が可能であること。 ・個々の受信者へ向けた情報の伝送、表示が可能であること。 ・新規関連情報サブシステムへの更新や拡張性を考慮すること。 ・関連情報は可能な限り共通の形式によること。 ・関連情報の配付は、効率的で正確、確実なものであること。 | |
| 伝送路符号 | 使用するIPアドレス | <ul style="list-style-type: none"> ・IPマルチキャスト方式のIPアドレスを対象とすること。 | |
| | 伝送帯域幅 | <ul style="list-style-type: none"> ・放送サービスとして提供される放送信号の全てを伝送するために必要な帯域幅を確保すること。 | |
| | 伝送路のトラヒックの要求条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・放送のトラヒックが通信のトラヒックと伝送路を共有している場合、放送のトラヒックを安定的に伝送するための措置がとられていること。 | |

| | | | |
|----------|-------|---|--|
| 化方式 | 通信系 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 伝送路の帯域の有効利用及び多様なサービス、特に現行の HDTV、UHDTV サービスを伝送できるよう十分な伝送容量を確保できる通信方式であること。 | |
| | 誤り訂正系 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 採用する通信方式との整合性が良いこと。 ・ 符号化効率が良いこと。 ・ サービスの要求に応じた誤り耐性の選択を考慮すること。ただし、伝送容量の低下を最小限にとどめること。 | |
| | 伝送容量 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 通信サービスからのトラヒックの影響を考慮した上で、放送サービスとして提供しようとする放送信号を伝送するために必要十分な伝送ビットレートを確保できること。 | |
| 受信機等への配慮 | | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行設備や受信機への負担等を考慮して、技術方式を選定すること。 | |

3.1.5 受信機

| 項目 | 要求条件 | 備考 |
|----------|--|----|
| 操作性 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 操作が簡単であること。 ・ 受信者や事業者の要求に応じて、受信機機能の更新が可能であること。 ・ 高齢者、障がい者等に配慮した操作性を有すること。 ・ 所望のサービスの選択が統一的な操作方法で行えることが望ましい。 | |
| 処理系 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 番組視聴に必要となる、必要十分なメモリ容量及びその情報の処理機能・能力を持つこと。 | |
| インターフェース | <ul style="list-style-type: none"> ・ 映像、音声出力については、既存の受像機における提供について考慮すること。 ・ 適切な著作権保護を実現する機能を有すること。 ・ 高速データ転送が可能であること。 ・ 多様な機器を複数接続でき、かつ、接続設定が容易であること。 ・ 受信機が対応するサービスに応じたインターフェースを有すること。 | |
| 拡張性 | <ul style="list-style-type: none"> ・ ハードウェア及びソフトウェアの追加、変更について考慮されていること。 | |

3.2 要求条件との整合性

3.1.1 から 3.1.5 に示した要求条件の各項目に対して、今回検討した方式との整合性は以下のとおり。

3.2.1 基本的な考え方

| 項目 | 要求条件 | 整合性 |
|---------|--|---|
| 基本的な考え方 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 超高精細度テレビジョン放送等による高画質サービス、多機能及び多様で柔軟なサービスを実現できること。 ・ 将来の技術動向を考慮し、実現可能な技術を採用するとともに、その後に想定されるサービスや機能の追加等にも配慮した拡張性を有する方式とすること。 ・ 現行の放送サービスや他のデジタル放送メディアとの相互運用性をできる限り確保するとともに、通信との連携による新たなサービスにも対応できること。 ・ 既存の設備や端末の活用並びに既存の運用形態の適用が最大限行えること。 ・ 送信設備、受信機及び伝送設備が満たすべき条件が開示されていること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行の有線テレビジョン放送等で提供されている超高精細度テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送等によるものと同等のサービスが提供できるようにすることによって、高画質サービス、多機能及び多様で柔軟なサービスの実現、その後に採用されるサービスや機能の追加等にも配慮した拡張性を有することを考慮した。 ・ 情報源符号化方式等について、現行の方式等と同等のものを採用することによって、現行の放送サービスや他のデジタル放送メディアとの相互運用性を確保するとともに、IP ネットワークを活用した伝送方式によって、通信との連携による新たなサービスにも対応できることを考慮した。 ・ 上記の方式を採用するにあたって、既存の設備や端末の活用並びに既存の運用形態の適用が最大限行えること、送信設備、受信機及び伝送設備が満たすべき条件が開示されていることを考慮した。 |

3.2.2 システム

| 項目 | 要求条件 | 整合性 | |
|-------------|--|---|--|
| インターオペラビリティ | <ul style="list-style-type: none"> ・地上放送、衛星放送、ケーブルテレビ、IPTV 等の様々なメディア間で、できる限り互換性を有すること。 ・既存のシステムに妨害を与えないこと。 ・ケーブルテレビにおける既存の放送・通信サービスと併存でき、新方式の円滑な導入及びマイグレーションが可能であること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・情報源符号化方式等について、現行の方式等と同等のものを採用することによって、様々なメディア間で、できる限り互換性を有することを考慮した。 ・IP 伝送方式が、既存のシステムに妨害を与えないこと、既存の放送・通信サービスと併存でき、新方式の円滑な導入及びマイグレーションが可能であることを考慮した。 | |
| サービス | 高機能化／多様化 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行の高精細度テレビジョン放送（HDTV）、超高精細度テレビジョン放送（UHDTV）サービスを基本とした高画質サービスを可能とすること。 ・多様で柔軟な高機能サービスを可能とすること。 ・インターネット等の通信系を利用したサービスについても考慮すること。 ・チャンネル切り替えに要する時間は、可能な限り短いこと。 ・年齢による視聴制限（パレンタルレート）設定のような、視聴者によるアクセス制御を可能とすること。 ・緊急警報信号のような非常災害時における対象受信機への起動制御信号及び緊急情報の放送について考慮すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・情報源符号化方式等について、現行の方式等と同等のものを採用することによって、HDTV、UHDTV サービスを基本とした高画質サービスを可能とすること、多様で柔軟な高機能サービスを可能とすること、視聴者によるアクセス制御を可能とすること、緊急制御信号及び緊急情報を放送することを考慮した。 ・IP 伝送方式を採用することによって、インターネット等の通信系を利用したサービスについても考慮するとともに、信号の遅延を規定することにより、チャンネル切り替えに要する時間を可能な限り短くすることを考慮した。 |
| | 拡張性 | <ul style="list-style-type: none"> ・サービス形態、符号化方式、受信機、限定受信方式等について拡張性を有すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行の有線テレビジョン放送等を同等の放送方式を採用しており、同等の拡張性等を有する。 |

| | | | |
|--|-----------|---|--|
| | アクセシビリティ | <ul style="list-style-type: none"> ・高齢者、障がい者等様々な視聴者向けのサービスについても考慮すること。 ・種々の放送サービスに視聴者が容易にアクセスできること。 ・さらに、放送と通信系のサービスが連携するサービスへのアクセスが容易であること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行の有線テレビジョン放送等と同等の放送方式を採用しており、同等のアクセシビリティ等を有する。 ・IP 伝送方式を採用することによって、放送と通信系のサービスが連携するサービスへのアクセスがより容易になっている。 |
| | 実時間性 | <ul style="list-style-type: none"> ・高い実時間性を要求される場合を考慮すること。 ・視聴者に違和感を与えない程度の映像・音声の遅延差であること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・IP 伝送方式の技術的条件として、現行のデジタル有線テレビジョン放送方式の技術的条件と同等程度の性能を有するようネットワーク品質、安定品質等の条件を定めており、高い実時間性、映像・音声の遅延差は確保される。 |
| | システム制御 | <ul style="list-style-type: none"> ・放送の要件に応じて伝送パラメータの選択や組合せの変更を行うことができ、また、それに合わせて受信機制御が可能な方式とすること。 ・送出する映像、音声、データの容量やチャンネル数等を任意に選択、変更できること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・IP 伝送方式の採用により、柔軟にシステム制御や受信機制御が可能となっており、また、送出する映像、音声、データの容量やチャンネル数等を任意に選択、変更可能である。 |
| | 著作権保護 | <ul style="list-style-type: none"> ・放送コンテンツの記録及び利用に関して制御できる機能を有すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同様の機能を実現可能である。 |
| | 個人情報保護 | <ul style="list-style-type: none"> ・受信者の個人情報保護について考慮すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同様の機能を実現可能である。 |
| | 国際標準との整合性 | <ul style="list-style-type: none"> ・国際標準との整合性を考慮し、容易に導入できるシステムとなるよう考慮すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同様に国際標準との整合性等を考慮した。 |

3.2.3 放送品質

| 項目 | 要求条件 | 整合性 |
|----|---|--|
| 画質 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の画質が望まれることを考慮し、できる限り高い画質を保つこと。 ・標準テレビジョン放送 (SDTV) についても、できるだけ高画質を保つこと。 ・情報源符号化による画質劣化の時間率ができるだけ小さいこと。 ・サービスに応じて画像のビットレートを変更できること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の画質を保つことができる。 ・ビットレートを適切に選定することにより、画質劣化の時間率を小さくすることが可能であり、伝送容量の範囲内で、サービスに応じて画像のビットレートを変更可能である。 |
| 音質 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の音質が望まれることを考慮し、できる限り高い音質を保つこと。 ・SDTV についても、できるだけ高音質を保つこと。 ・多チャンネル音声など高臨場感音声サービスを可能とすること。 ・サービスに応じて音声のビットレートを変更できること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の画質を保つことができる。 ・ビットレートを適切に選定することにより、画質劣化の時間率を小さくすることが可能であり、伝送容量の範囲内で、サービスに応じて画像のビットレートを変更可能である。 |

3.2.4 技術方式

| 項目 | 要求条件 | 整合性 |
|-------------------|--|---|
| 映像入力フォーマット及び符号化方式 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行の HDTV、UHDTV サービスを考慮した映像入力フォーマット及び高効率かつ高画質な符号化方式であること。 ・将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等の映像入力フォーマット及び符号化方式である。 |
| 音声入力フォーマット及び符号化方式 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行の HDTV、UHDTV サービスを考慮した音声入力フォーマット及び高効率かつ高音質な符号化方式であること。 ・多チャンネル音声放送が可能な符号化方式であること。 ・将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等の音声入力フォーマット及び符号化方式である。 |

| | | | |
|----------|---|---|---|
| データ符号化方式 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。 ・ 通信系のサービスとの連携を考慮した符号化方式であること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等のデータ符号化方式が利用可能である。 | |
| 多重化方式 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 多様なサービスの柔軟な編成が可能な多重化方式であること。 ・ 通信系のサービスとの連携を考慮すること。 ・ 他のサービスとの相互運用性を考慮すること。 ・ 衛星等による放送波の再放送のような、他の放送ネットワークからの乗り移りの容易性を考慮すること。 ・ 自主放送信号及び再放送信号の独立性が確保できるように考慮すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等の多重化方式である。 ・ IP 伝送方式の採用により、通信系のサービスとの連携がより容易になっている。 | |
| 限定受信方式 | スクランブルサブシステム | <ul style="list-style-type: none"> ・ 高度な秘匿性を有すること。 ・ 不正受信に対して十分な安全性を有し、脆弱性が発見された場合等に対応可能な機能を有すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等のスクランブル方式である。 |
| | 関連情報サブシステム | <ul style="list-style-type: none"> ・ 関連情報伝送や限定受信機能に関して十分な安全性を有し、その安全性を継続的に維持・改善できること。 ・ 種々のサービス形態に対応するため、課金・収納方式等に自由度があり、弾力的な運用が可能であること。 ・ 個々の受信者へ向けた情報の伝送、表示が可能であること。 ・ 新規関連情報サブシステムへの更新や拡張性を考慮すること。 ・ 関連情報は可能な限り共通の形式によること。 ・ 関連情報の配付は、効率的で正確、確実なものであること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 安全性の維持・改善については、受信機側でハードウェアを更新する方法、受信機側で記録媒体等を使ってソフトウェアを更新する方法、又は放送や通信を使ってソフトウェアを更新する方法により確保可能である。 ・ IP 伝送方式を採用することで、種々のサービス形態への対応、個々の受信者へ向けた情報伝送、表示等が可能である。 ・ 関連情報等に関しては、現行のデジタル有線テレビジョン方式と同等の対応が可能である。 |
| 伝送路 | 使用する IP アドレス | <ul style="list-style-type: none"> ・ IP マルチキャスト方式の IP アドレスを対象とすること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ IP 伝送方式において利用する IP アドレスは、マルチキャストアドレスとした。 |

| | | | |
|----------|---|---|--|
| 符号化方式 | 伝送帯域幅 | <ul style="list-style-type: none"> 放送サービスとして提供される放送信号の全てを伝送するために必要な帯域幅を確保すること。 | <ul style="list-style-type: none"> IP 伝送方式において、提供しようとする放送サービスに必要な放送信号の全てを伝送するために必要な伝送帯域を確保することを技術的条件とした。 |
| | 伝送路のトラヒックの要求条件 | <ul style="list-style-type: none"> 放送のトラヒックが通信のトラヒックと伝送路を共有している場合、放送のトラヒックを安定的に伝送するための措置がとられていること。 | <ul style="list-style-type: none"> IP 伝送方式において、放送のトラヒックを通信のトラヒックに優先して伝送する等の措置をとることを技術的条件とした。 |
| | 通信系 | <ul style="list-style-type: none"> 伝送路の帯域の有効利用及び多様なサービス、特に現行の HDTV、UHD TV サービスを伝送できるよう十分な伝送容量を確保できる通信方式であること。 | <ul style="list-style-type: none"> 現行において十分な実績のある IP ネットワークを対象としており、現行の HDTV、UHD TV サービスを伝送できる十分な伝送容量の確保が可能である。 |
| | 誤り訂正系 | <ul style="list-style-type: none"> 採用する通信方式との整合性が良いこと。 符号化効率が良いこと。 サービスの要求に応じた誤り耐性の選択を考慮すること。ただし、伝送容量の低下を最小限にとどめること。 | <ul style="list-style-type: none"> 現行において十分な実績のある IP ネットワークを対象としており、符号化効率、誤り耐性の選択が可能である。 |
| | 伝送容量 | <ul style="list-style-type: none"> 通信サービスからのトラヒックの影響を考慮した上で、放送サービスとして提供しようとする放送信号を伝送するために必要十分な伝送ビットレートを確保できること。 | <ul style="list-style-type: none"> 現行において十分な実績のある IP ネットワークを対象としており、放送信号を伝送するために必要十分な伝送ビットレートを確保可能である。 |
| 受信機等への配慮 | <ul style="list-style-type: none"> 現行設備や受信機への負担等を考慮して、技術方式を選定すること。 | <ul style="list-style-type: none"> 現行設備で既に採用済み又は機能拡張することで対応可能な技術方式を採用した。 | |

3.2.5 受信機

| 項目 | 要求条件 | 整合性 |
|-----|--|--|
| 操作性 | <ul style="list-style-type: none"> 操作が簡単であること。 受信者や事業者の要求に応じて、受信機機能の更新が可能であること。 高齢者、障がい者等に配慮した操作性を有すること。 所望のサービスの選択が統一的な操作方法で行えることが望ましい。 | <ul style="list-style-type: none"> 民間規格及び受信機設計において考慮されることを想定した。 |

| | | |
|----------|---|---|
| 処理系 | <ul style="list-style-type: none"> ・番組視聴に必要となる、必要十分なメモリ容量及びその情報の処理機能・能力を持つこと。 | <ul style="list-style-type: none"> ・民間規格及び受信機設計において考慮されることを想定した。 |
| インターフェース | <ul style="list-style-type: none"> ・映像、音声出力については、既存の受信機における提供について考慮すること。 ・適切な著作権保護を実現する機能を有すること。 ・高速データ転送が可能であること。 ・多様な機器を複数接続でき、かつ、接続設定が容易であること。 ・受信機が対応するサービスに応じたインターフェースを有すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・民間規格及び受信機設計において考慮されることを想定した。 |
| 拡張性 | <ul style="list-style-type: none"> ・ハードウェア及びソフトウェアの追加、変更について考慮されていること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・民間規格及び受信機設計において考慮されることを想定した。 |

4. インターネットプロトコル伝送の技術的条件

インターネットプロトコル伝送(以下、「IP 伝送」という)の技術的条件については、総務省において、ケーブルテレビの IP 放送に係る映像配信の在り方について検討するため、4 K・8 K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会が開催され、「4 K・8 K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会報告書」(参考資料4)(以下、「IP 放送報告書」)が取りまとめられている。技術的条件を検討するに当たっては、IP 放送報告書の検討結果を踏まえ、IP ネットワークを利用して行われる IP 放送の技術的条件として、安定的な伝送のための措置、伝送品質、伝送帯域、サービス可用性等について検討を行うこととした。

IP 伝送の技術的条件については、これまで RF 方式による伝送において用いられてきた搬送波という物理的な電磁波等の性質に基づく条件ではなく、IP パケットという論理的なトラフィックを管理する条件を基本として、電波による放送や RF 方式による放送の伝送品質と同等程度で柔軟性の高い技術基準の検討を行うこととした。

したがって、既存の RF 方式による有線テレビジョン放送方式として、有線一般放送の品質に関する技術的条件を定める省令(以下、「品質省令」という)の第2章第2節 デジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る条件と同等程度となるような技術的条件を検討する。なお、品質省令の第2章第2節には、RF 方式の技術基準として「入力信号の条件」、「搬送波の周波数」、「搬送波の変調等」、「搬送波等の条件」が規定されている。

地上基幹放送や衛星基幹放送の同時再放送を行うために空中線により放送波を適切に受信するための条件である「入力信号の条件」は、現行と同等程度の品質を確保するため、既存の規定を適用することとするが、「搬送波の周波数」、「搬送波の変調」、「搬送波等の条件」として規定されている技術的条件については、それらに替えて、「パケットの IP アドレス」、「総合品質」、「ネットワーク品質」、「安定品質」等に関する技術的条件を検討した。

4.1 システムの構成

4.1.1 IP 伝送型ケーブルテレビの構成例

本報告においては、ケーブルテレビのヘッドエンドから受信者端子までの間において、IP ネットワークを利用した IP マルチキャスト方式による放送システムを IP 伝送型ケーブルテレビということとする。IP 伝送型ケーブルテレビは、ネットワークの構成に応じて、地域 IP 伝送型ケーブルテレビ(図 4.1-1)及び広域 IP 伝送型ケーブルテレビ(図 4.1-2)を想定することができる。地域 IP 伝送型ケーブルテレビは、ヘッドエンドを中心とした一定の地

理的範囲内の受信者向けの IP 放送のサービスを提供するためのケーブルテレビシステムである。一方、広域 IP 伝送型ケーブルテレビは、一般に広域又は全国にネットワークが構築されている電気通信サービス用の IP ネットワークを利用した広域又は全国の受信者向けの IP 放送のサービスを提供するためのケーブルテレビシステムであり、広域又は全国で一律の放送サービスの提供も可能となっている。

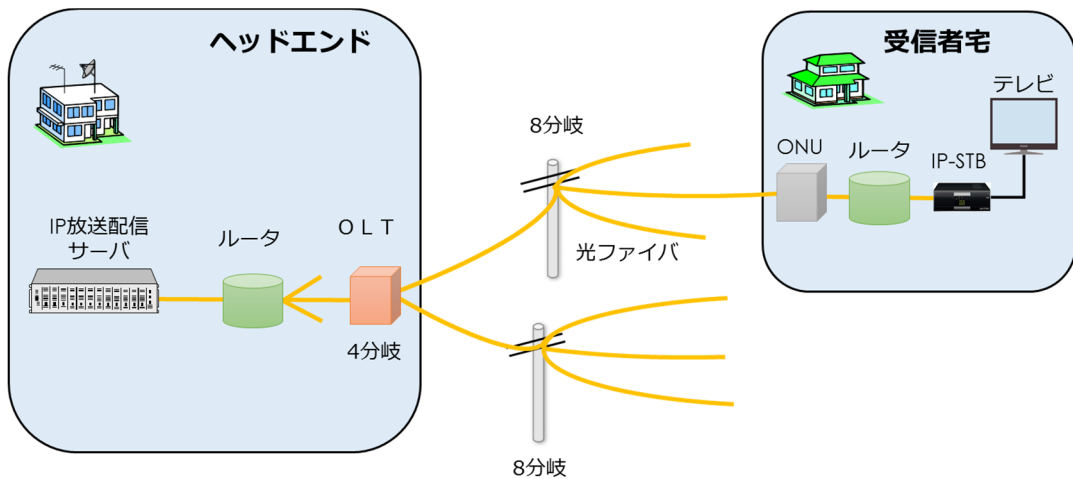


図 4.1-1 地域 IP 伝送型ケーブルテレビの構成例

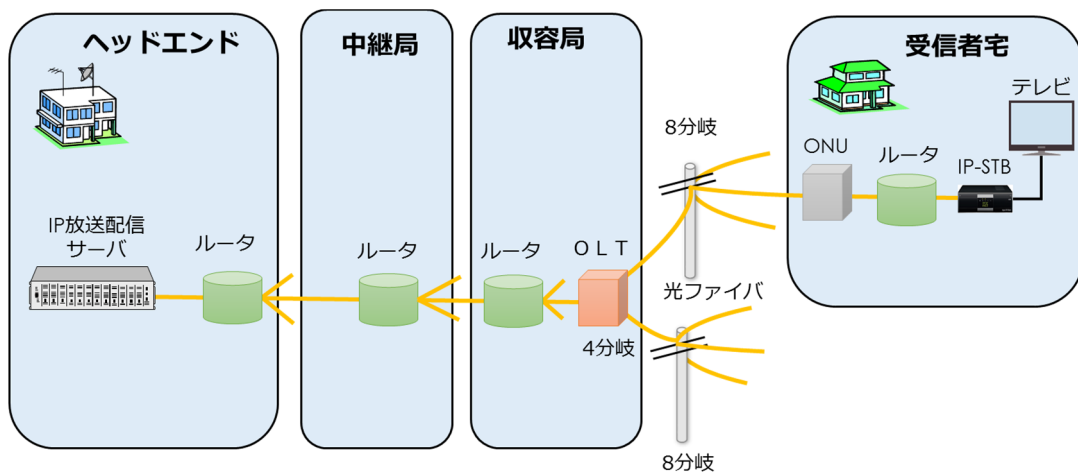


図 4.1-2 広域 IP 伝送型ケーブルテレビの構成例

4.1.2 IP 伝送型ケーブルテレビの構成要素

IP 伝送型ケーブルテレビは、FTTH の場合は、図 4.1-3 のように、アンテナ等、IP 放送送出装置等、ルータ、OLT (Optical Line Terminal)、光伝送路、受信用光伝送装置 [ONU: Optical Network Unit]、ルータ、受信者端子、

受信設備 [IP-STB(Internet Protocol-Set Top Box)、IP 放送の受信機能を搭載したデジタルテレビ等 (以下、「IP-STB 等」という)]の構成要素からなる。図 4.1-3 に示すヘッドエンド入力、ONU 入力及び出力、受信者端子の 4 つの規定点での性能規定を検討した。

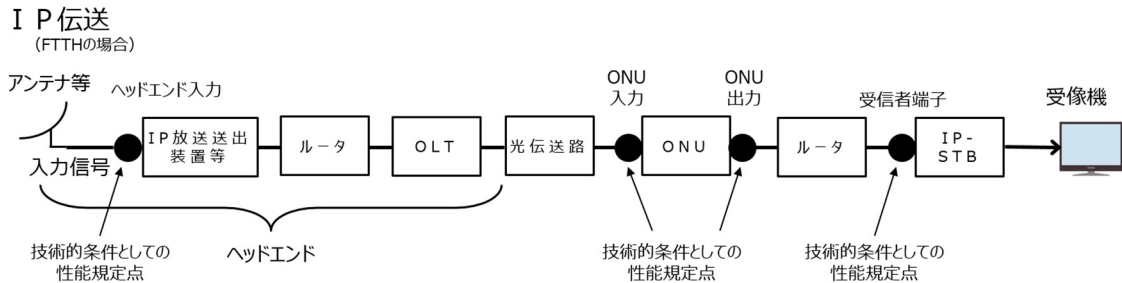


図 4.1-3 IP 伝送型ケーブルテレビの構成要素、性能規定点 (FTTH)

また、HFC の場合は、図 4.1-4 のように、アンテナ等、IP 放送送出装置等、ルータ、CMTS(Cable Modem Termination System)、光・同軸伝送路、保安装置、CM(Cable Modem)、ルータ、受信者端子、受信設備の構成要素からなる。図 4.1-4 に示すヘッドエンド入力、保安装置出力、受信者端子の 3 つの規定点での性能規定を検討した。

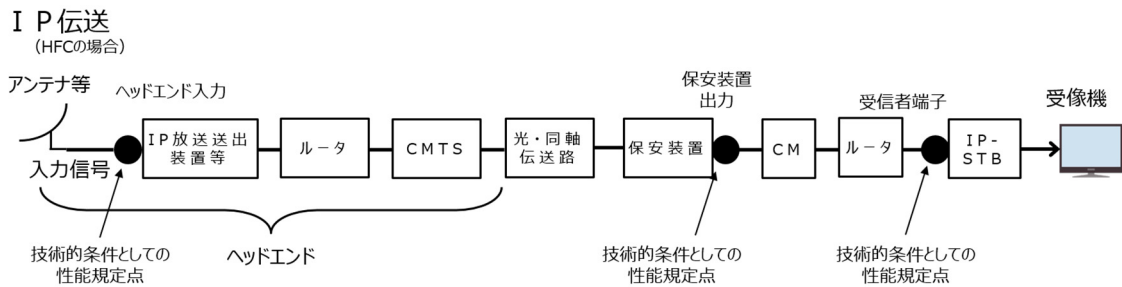


図 4.1-4 IP 伝送型ケーブルテレビの構成要素、性能規定点 (HFC)

また、性能規定を検討するにあたり、IP 伝送型ケーブルテレビに係る有線放送設備に関するレイヤモデルについて、図 4.1-5 のとおり整理し、主としてネットワーク層を対象に検討した。加えて、それらの性能とデータリンク層における性能との技術的な相関性について検討した。

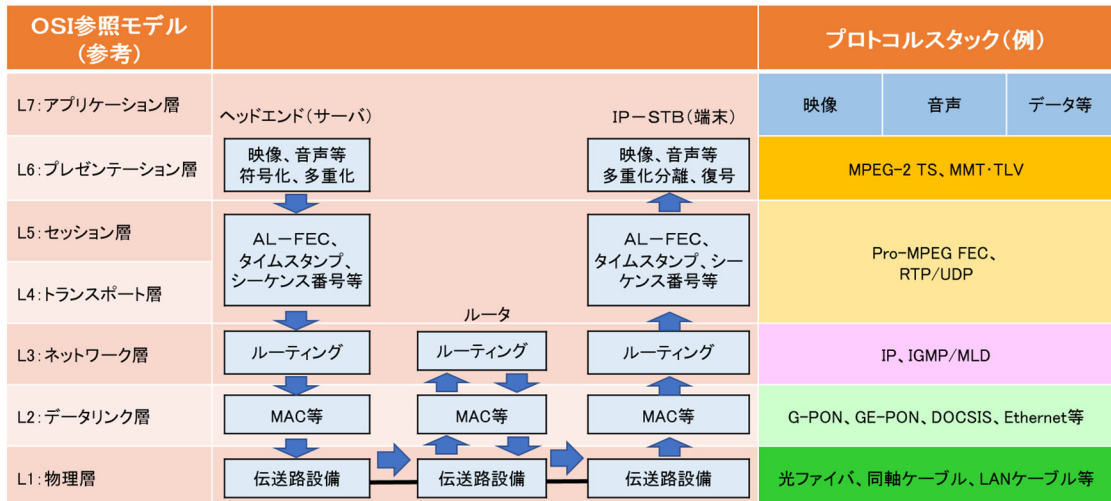


図 4.1-5 IP 伝送型ケーブルテレビ設備に関するレイヤモデル

4.2 に電気信号等に係る技術的条件として、①ヘッドエンドの入力端子における入力信号、②受信者端子における信号等に関する条件を、4.3 に受信者端子以外の性能規定点における技術的条件として、①受信用光伝送装置の入力端子又は出力端子、②保安装置の出力端子における信号等に関する条件を、4.4 に情報源符号化方式等に係る技術的条件として、①情報源符号化、多重化、誤り訂正、スクランブル、緊急警報信号等、②多重化(IP パケット化に係る部分に限る)等に関する条件を、4.5 にサービス可用性に関する技術的条件、4.6 に測定方法に関して検討した経緯と結果を示す。

4.1.3 地上放送、衛星放送等の放送方式の条件

- (1) 標準テレビジョン放送等のうちデジタル放送に関する送信の標準方式(総務省令)(以下、「デジタル放送の標準方式」という)第3章に規定する地上基幹放送局を用いて行う標準テレビジョン放送のうちデジタル放送及び高精細度テレビジョン放送に準拠する方式
- (2) デジタル放送の標準方式第5章に規定する 11.7GHz を超え 12.2GHz 以下の周波数の電波を使用する衛星基幹放送局を用いて行う標準テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送、超高精細度テレビジョン放送、超短波放送、データ放送に準拠する方式
- (3) デジタル放送の標準方式第5章に規定する 12.2GHz を超え 12.7GHz 以下の周波数の電波を使用する衛星基幹放送局を用いて行う標準テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送、超高精細度テレビジョン放送、超短波放送、データ放送に準拠する方式
- (4) 品質省令第 11 条第3項及び第4項に規定された条件に適合するデジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等に準拠する方式

4.2 電気信号等に係る技術的条件

4.2.1 ヘッドエンドの入力端子における入力信号の条件

ヘッドエンドの入力端子における入力信号の条件については、品質省令第9条に規定する入力信号の条件とする。

(理由)

IP 伝送における伝送品質は、品質省令第2章第2節で規定されたデジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る条件と同等程度の技術的条件を定めることとしているから、ヘッドエンドの入力端子における入力信号の条件についても同等の条件とすることが適当である。

4.2.2 受信者端子等における信号の条件

(1) IP 放送について

IP 伝送型ケーブルテレビは、「4K・8K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会報告書」(以下、「IP 放送報告書」という)のIP 放送に相当するものとする。IP 放送報告書においては、IP 放送は、「ケーブルテレビ事業者等により、ヘッドエンドから受信者端子までの間において、管理されたIP ネットワークを利用した、IP マルチキャスト方式による通信であって、放送法における放送に該当するもの」と定義されていることから、本報告においても同等の定義を採用する。なお、管理されたIP ネットワークとは、少なくとも4.2.2.2 総合品質及び4.2.2.3 ネットワーク品質、4.2.2.4 安定品質の技術的条件の全てを満たすIP ネットワークのこととする。

(2) IP 伝送型ケーブルテレビの技術的条件の考え方

IP 放送を行うIP 伝送型ケーブルテレビに係る受信者端子等における信号の条件は、IP 放送報告書の検討結果も踏まえ検討する。

IP 伝送は、ルーティング処理やトラヒックの混雑、アクセス網等を共有している場合には他者のトラヒックによる影響等により生じるパケットの遅延や損失等に対処する必要がある。品質省令の伝送品質に係る技術基準としては、ヘッドエンドの主たる機器の入力端子における入力信号を、受信者端子において、実質的に誤りを生じない水準で受信するための技術的条件を規定していることから、IP 伝送においても同等程度の技術的条件とすることが適当である。

さらに、伝送品質を検討するにあたっては、放送には同一の内容を不特定多数の者が同時に視聴できるという特徴があることを考慮する必要がある。

なお、ITU-T 勧告 J. 241 (Quality of service ranking and measurement method for digital video services delivered over broadband IP networks) (参考資料 5) には、パケットの損失率、パケットの遅延、パケットのジッタ (到達時刻の揺らぎ)、スループット、サービス可用性、前方誤り訂正等が IP ネットワークの伝送品質を評価する指標として挙げられている。

(3) 他の事業者等が提供する電気通信役務用の回線の利用

ケーブルテレビのネットワークの一部に他の事業者等が提供する電気通信役務用の回線を利用する場合は、電気通信回線の性能を適切に配分して回線の区間ごとに必要な伝送品質を確保したり、安定的な伝送のための措置や伝送帯域を確保等するなどにより、ケーブルテレビのネットワーク全体の性能を確保することが必要である。ケーブルテレビ事業者等は、当該他の事業者等と利用する回線の区間に応じ、総合品質、ネットワーク品質、安定品質等について確認することが適当である。

4. 2. 2. 1 パケットの IP アドレス等

IP 伝送による放送番組の伝送に際して利用される IP パケットに宛先として付与される IP アドレスは、IPv4 の場合は RFC 5771 (IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments) (参考資料 8)、IPv6 の場合は RFC 4291 (IP Version 6 Addressing Architecture) (参考資料 9) に定められるマルチキャストアドレスとする。

(理由)

デジタル有線テレビジョン放送方式では、品質省令において、搬送波の変調の型式に 64 値直交振幅変調等を用いる場合は、放送番組を送るためのチャンネルを、受信者端子における搬送波の周波数として個別に規定し、受信設備では当該周波数を使用して、放送番組を選局し、受信している。

一方、IP 伝送型ケーブルテレビは、IP マルチキャスト方式により放送するから、IP 放送送出装置等は、搬送波の周波数に相当するものとして、IP アドレスのうち、マルチキャストアドレスを宛先として IP パケットを送出し、受信設備は当該マルチキャストアドレス又はマルチキャストアドレスと送信元の IP アドレスの組み合わせを使用して放送番組を選局し、受信する。

したがって、搬送波の周波数に相当する条件として、ヘッドエンドから受信者端子まで、放送番組の IP 伝送に際して利用される IP パケットに宛先として付与される IP アドレスはマルチキャストアドレスとすることが適当である。

なお、マルチキャストアドレスは、IETF (Internet Engineering Task Force) によって発行された RFC に定められるものが、国際的に標準として利用されているから、RFC 5771 (IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address

Assignments)、RFC 4291 (IP Version 6 Addressing Architecture)等に定められる以下のマルチキャストアドレスとすることが適当である。

(1) IPv4 のマルチキャストアドレス

32 ビットの IP アドレスの先頭 4 ビットが 1110 で始まり、続いて、28 ビットのグループ ID で構成された IP アドレスを使用する。

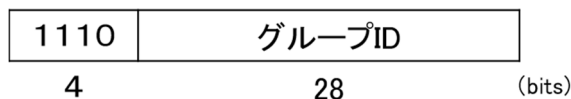


図 4.2-1 IPv4 のマルチキャストアドレスの構成

ただし、RFC 5771 に定められた以下の区分に従って利用することとし、IP 伝送型ケーブルテレビの番組伝送には、Administratively Scoped Block、Source-Specific Multicast Block の IP アドレスの範囲内のものを利用することが望ましい。なお、以下に記載のない IP アドレスは、予約等とされているものである。

| IP アドレスの範囲 | 目的 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 224. 0. 0. 0-224. 0. 0. 255 | Local Network Control Block |
| 224. 0. 1. 0-224. 0. 1. 255 | Internetwork Control Block |
| 224. 0. 2. 0-224. 0. 255. 255 | AD-HOC Block I |
| 224. 3. 0. 0-224. 4. 255. 255 | AD-HOC Block II |
| 232. 0. 0. 0-232. 255. 255. 255 | Source-Specific Multicast Block |
| 233. 0. 0. 0-233. 251. 255. 255 | GLOP Block |
| 233. 252. 0. 0-233. 255. 255. 255 | AD-HOC Block III |
| 239. 0. 0. 0-239. 255. 255. 255 | Administratively Scoped Block |

(2) IPv6 のマルチキャストアドレス

128 ビットの IP アドレスの先頭 8 ビットが 11111111 で始まり、続いて、4 ビットのフラグ、4 ビットのスコープ、112 ビットのグループ ID で構成された IP アドレスを使用する。

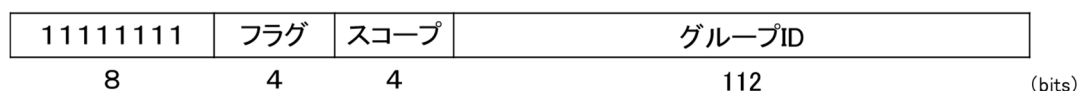


図 4.2-2 IPv6 のマルチキャストアドレスの構成

ただし、フラグ、スコープの構成は、RFC 4291 の定めに従い、スコープ

の区分は以下のとおり。IP 伝送型ケーブルテレビの番組伝送には、Organization-Local scope、Global scope のマルチキャストアドレスを利用することが望ましい。なお、以下に記載のないスコープは、予約等とされているものである。

| スコープの値(16進) | 目的 |
|-------------|--------------------------|
| 1 | Interface-Local scope |
| 2 | Link-Local scope |
| 3 | Realm-Local scope |
| 4 | Admin-Local scope |
| 5 | Site-Local scope |
| 8 | Organization-Local scope |
| E | Global scope |

なお、放送番組の選局は、放送番組毎に関連づけられたマルチキャストアドレス又はマルチキャストアドレスと送信元の IP アドレスの組み合わせ(放送番組のチャンネルに相当)を選択することにより行われる。具体的な選局等の処理は、IPv4 の場合は IGMP(Internet Group Management Protocol)、IPv6 の場合は MLD(Multicast Listener Discovery Protocol) を利用して行う。当該プロトコルの主な機能は、受信者の選局操作に基づき、選局された放送番組の受信を開始すること (JOIN) 及び終了すること (LEAVE) である。

IGMPv2 は RFC 2236 (Internet Group Management Protocol, Version 2)、IGMPv3 は RFC 3376 (Internet Group Management Protocol, Version 3) 及び RFC 4604 (Using Internet Group Management Protocol Version 3 (IGMPv3) and Multicast Listener Discovery Protocol Version 2 (MLDv2) for Source-Specific Multicast) に、MLDv2 は RFC 3810 (Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6) 及び RFC 4604 に定められている。なお、IGMPv3 は機能的には MLDv2 に相当するプロトコルである。

4.2.2.2 総合品質

IP 伝送における総合品質は、受信者端子におけるパケットの損失率とし、 1×10^{-7} 以下の技術的条件を満たすこととする。

(理由)

(1) パケットの損失率

ヘッドエンドの主たる機器の入力端子における入力信号が受信者端子において正確に復元できるという同一性を確保する観点から、受信者端子におけるパケットの損失率に関する技術的条件を、受信者端子に接続した

受信設備により放送番組の受信を確保するための上位層における補正を考慮した総合品質とすることが適当である。

技術的条件を検討するに当たり、(一社)日本ケーブルラボにおいて、実証試験を実施した(実証試験の詳細は、「IP 放送伝送品質実証実験報告書」(参考資料 1)を参照)(以下、「IP 放送実証試験報告書」という)。実証試験においては、送信側で、TS(Transport Stream)のストリームをパケット化した RTP/UDP パケット(IP パケットのペイロード。詳細は 4.4.2 を参照)のストリームを、エミュレータ等によって、当該パケットの損失率を 1×10^{-3} から 1×10^{-7} まで変化させたストリームを発生させ、疑似的な伝送路を経由させた後、受信側で、TS アナライザにより、パケットの損失率、TS のストリームとしての規格適合性について測定した。併せて IP-STB を接続して映像及び音声の状態を観察した。

パケット損失率が 1×10^{-5} 以上までの場合は、映像にブロックノイズが入ることが視認可能であった。パケット損失率が 1×10^{-5} 未満(1×10^{-6} 以下及び 1×10^{-7} 以下)の場合は、誤り検出時点の映像を個別に確認すればブロックノイズ等を視認できる場合があるが、通常の視聴状態での視認は難しいとの結果が得られている。

一方で、現行の品質省令で規定されている誤り訂正後のビット誤り率 1×10^{-11} は、TS ストリームの伝送容量を 15Mbps とすると、平均的には 2 時間程度は誤りが生じない水準と考えることができる。これをパケット損失率で考えると、通常の RTP パケットに TTS パケット(パケットサイズ 192×8 ビット)が 7 パケット挿入されている場合、RTP パケットの 1 パケット当たりのサイズは、 1.08×10^4 ビットとなるから、伝送容量 15Mbps で平均的に 2 時間程度は誤りが生じない水準としては、 1.0×10^{-7} 程度のパケット損失率に相当すると考えられる。なお、伝送容量に応じて、誤りが生じる頻度は異なるが、実証試験においては、12Mbps、30Mbps、60Mbps、80Mbps のいずれの伝送容量でも、誤り検出時の映像の状態については同様であるとの結果が得られている。

以上を踏まえ、受信者端子におけるパケットの損失率に関する技術的条件としては 1×10^{-7} 以下とすることが適当である。

なお、パケットの損失率は、受信設備による上位層の前方誤り訂正(AL-FEC: Application Layer Forward Error Correction)により改善が可能であるから、AL-FEC を使用する場合は、当該前方誤り訂正後の損失率とすることが適当である(図 4.2-3 のストリーミング処理部における AL-FEC 処理後)。

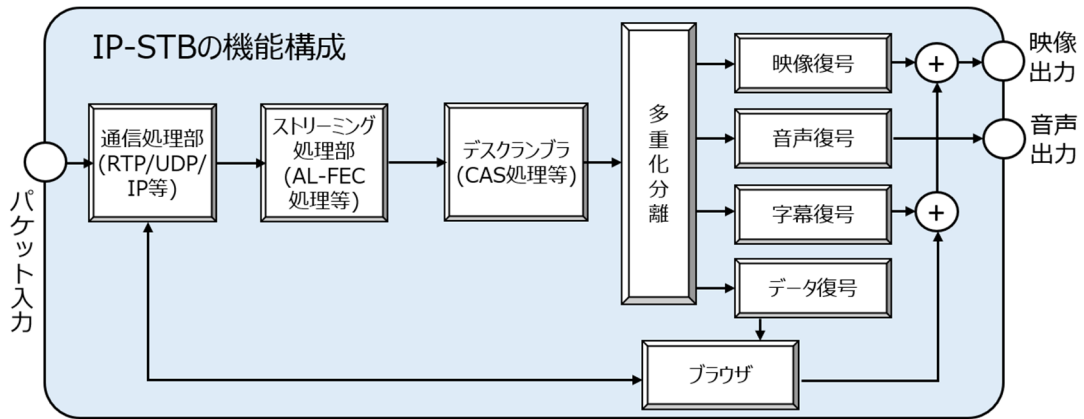


図 4.2-3 IP-STB 等の機能構成例

(2) 上位層における前方誤り訂正 (AL-FEC)

ヘッドエンドから受信者端子までの間でパケットの損失が生じた際に、その損失に対処する手段として、AL-FEC がある。AL-FEC については、技術基準とはせず、利用するか否かは事業者の判断となるが、パケットの損失率の技術基準への適合性を評価する際に考慮することが適当である。

AL-FEC のデータ構造等については、IETF の RFC 2733 (An RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction)、RFC 5109 (RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction) などに定められている。一方、具体的な AL-FEC については、(一社) IPTV フォーラムの IPTV 規定地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信運用規定 (IPTVFJ STD-0005 1.4 版) (参考資料 11) (以下、「IPTV 再送信運用規定」という)「第 6 編 通信運用規定」で定められており、Pro-MPEG FEC Code of Practice #3 release2 (以下、「Pro-MPEG FEC」という)を採用している。

Pro-MPEG FEC は L (横方向) × D (縦方向) 個のパケットを 2 次元に配置し、縦方向、横方向の各パケットに演算 (XOR) を施して得られた FEC パケットを利用して誤り訂正を行う方法である。縦方向のみの FEC パケットを利用する Pro-MPEG 1D FEC、縦方向及び横方向の FEC パケットを利用する Pro-MPEG 2D FEC がある。図 4.2-4 は L=10、D=10 の FEC パケットを生成するためのパケット配置図である。100 個のパケットに対して、Pro-MPEG 1D FEC の場合は縦方向の FEC パケットが 10 個、Pro-MPEG 2D FEC の場合は、縦方向及び横方向を合わせて FEC パケットが 20 個生成されることとなる。

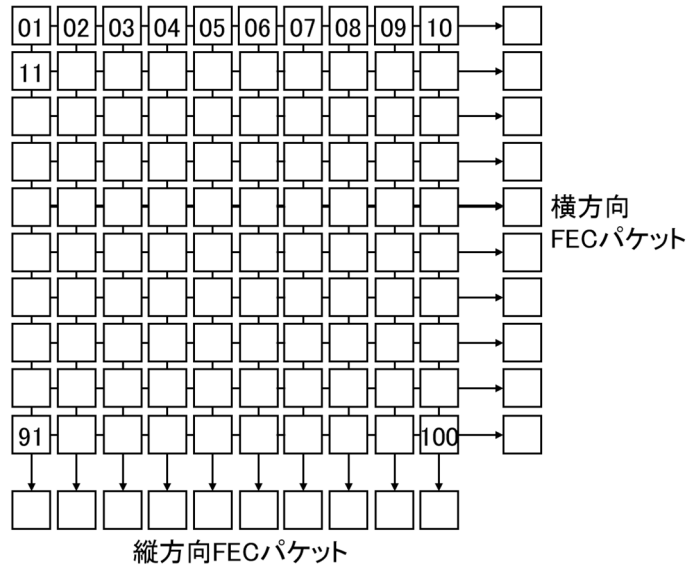


図 4.2-4 Pro-MPEG FEC におけるパケット配置

IP 放送実証試験報告書によれば、Pro-MPEG FEC の誤り訂正能力は、誤り訂正前のパケット損失率に依存しており、誤り訂正前と誤り訂正後のパケット損失率の関係は、Pro-MPEG 1D FEC の D=5 と、D=10 の場合については、図 4.2-5 のとおりである。この場合、誤り訂正後においてパケット損失率 1×10^{-7} 以下を得るためには、誤り訂正前のパケット損失率が 1×10^{-4} 以下である必要がある。なお、この誤り訂正能力は、ランダムに発生する誤りに対するものである。

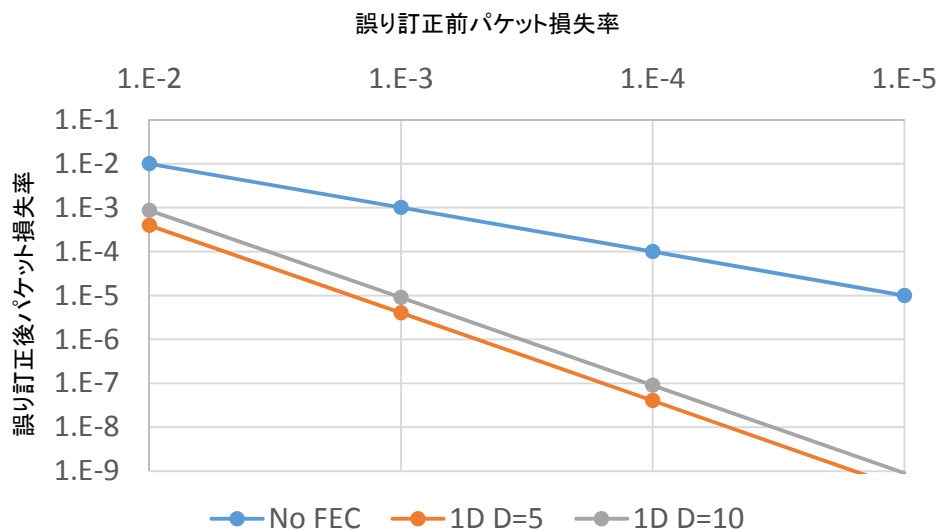


図 4.2-5 Pro-MPEG 1D FEC における誤り訂正能力

4.2.2.3 ネットワーク品質

IP 伝送におけるネットワーク品質は、ヘッドエンドから受信者端子までの間において、以下の(1)及び(2)の技術的条件を満たすこととする。

- (1) パケットの遅延は、1.0 秒以下
- (2) パケットのジッタは、100 ミリ秒以下

(理由)

ヘッドエンドの主たる機器の入力端子の入力信号が受信者端子において正確に復元できるという同一性、入力端子の入力信号が受信者端子に同時と考えられる一定の時間内に到達するという同時性を確保する観点から、受信者端子におけるパケットの遅延、ジッタ(到達時刻の揺らぎ)に関する技術的条件をネットワーク品質とすることが適当である。

(1) パケットの遅延

遅延とは、パケットをヘッドエンドの主たる機器の入力端子から受信者端子まで伝送するために要する時間とする。ただし、ヘッドエンドで行われる情報源符号化、多重化、スクランブル等(以下、「情報源符号化等」という)は、放送番組の画質等事業者の提供するサービスの品質等に係るものであり、必要に応じ、任意規格等により対応することが適当であるから、情報源符号化等に要する時間は当該遅延には含まないこととする。なお、再放送に際しては、トランスコードや再スクランブルをしない場合には、ヘッドエンドで情報源符号化等の処理は行われぬのが通常である。自主放送の場合も情報源符号化等の処理は、送出に先立って行われるのが通常である。

遅延の検討に当たっては、入力端子の入力信号が受信者端子に同時と考えられる一定の時間内に到達するという同時性を確保する観点からは、様々な考え方を採ることができる。本報告では、一つの考え方として、放送番組の伝送遅延に対する視聴者の感覚として、どの程度であれば遅れていると感じないかという観点から、映像や音声等は高度な符号化が行われており、復号には一定の時間を要することを踏まえ、特に最大の容量を有する映像に係るストリームの復号に要する時間を基準に考えることとする。映像の符号化方式である ITU-T 勧告 H.262(MPEG-2)、H.264(MPEG-4 AVC)、H.265(HEVC)のいずれの方式であっても、前後のフレームとは独立して復号可能なフレーム(Intra Frame: 以下、「I フレーム」という)が周期的に出現し、受信設備では選局後、当該フレームを受信してから映像が再生されることとなる。「デジタル放送における映像符号化、音声符号化及び多重化方式 標準規格」(ARIB STD-B32)(参考資料 10)において、遅延時間に関する制約として、H.265(HEVC)における I フレームの間隔は原則 32/60 秒以内で最大 1.0 秒、また、その復号処理遅延は 0.5 秒以下とされ

ている。これにより、放送波を直接受信する場合においても、映像を再生するには、I フレームの待機時間と受信設備の処理時間が必要であり、受信開始から映像が再生されるまでに0.5～1.5秒程度の遅延が生じている。したがって、パケットの遅延を、当該遅延の平均程度以下、すなわち1.0秒以下とすることで、パケットの遅延と映像を再生するまでの処理時間を合わせて1.5～2.5秒以下とすることができ、視聴者の感覚からは同時性の観点で違和感がないと考えられるから、パケットの遅延に関する技術的条件としては、1.0秒以下とすることが適当である。

なお、将来、出現すると想定される新たな映像符号化方式において、同様の考え方を採り得るか否かについては、新たな映像符号化方式が国際標準等として規格化された時点で改めて検討することが適当である。

(2) パケットのジッタ

技術的条件を決定するに当たり、(一社)日本ケーブルラボにおいて実証試験を実施した。実証試験においては、送信側において、エミュレータにより遅延を100～500msの範囲で変化させることでジッタを発生させて、受信側において、TSアナライザによりジッタを測定した。併せて、IP-STBを接続して映像音声の状態を観察した。

TSアナライザで測定されたジッタは非常に小さな値となっているが、TSアナライザ自身はジッタを吸収するバッファを有していないため、ジッタに対応せず、受信エラーを検出したが、IP-STBはジッタに対応して映像及び音声を適切に受信することができ、映像品質等に影響は出なかった。

また、(一社)IPTVフォーラムのIPTV再送信運用規定「第7編 送出運用規定」において、ガイドラインとして、パケット受信時のジッタは100ミリ秒以下(送出設備及びネットワークにおける合計値)が望ましいとされており、既に市場に供給されている受信設備も本規定に基づいて製造され、市場で利用されている実績がある。

したがって、ジッタについては、IP放送実証試験報告書によれば、適切な容量のバッファをIP-STB等が有していれば、放送番組の視聴に影響は出ないことから、既に利用の実績がある、IPTV再送信運用規定のガイドラインを踏まえ、技術的条件としては、100ミリ秒以下とすることが適当である。

(3) 緊急地震速報等

IP伝送による緊急地震速報等を含む再放送等を行う場合、緊急地震速報等については、その性質から特に迅速な提供が可能な方式により行うことができるよう、民間規格等において、十分に短い時間で伝送できるよう配慮することが適当である。

4.2.2.3 安定品質

IP 伝送における安定品質は、ヘッドエンドから受信者端子までの間において、以下の(1)及び(2)の技術的条件を満たすこととする。

(1) 安定的な伝送のための措置

品質省令第2章第2節で規定されたデジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る条件と同等の安定性を確保するために必要な以下のいずれかの措置を講ずる。

- ① IP 伝送による放送番組の伝送に際して利用されるパケットを優先的に伝送するために必要な措置
- ② IP 伝送による放送番組の伝送に際して利用されるパケットのみを伝送する帯域を確保するために必要な措置

(2) 伝送帯域

ヘッドエンドから受信者設備までの間における以下の区間においてそれぞれ十分な伝送帯域を有するものとする。

- ① 中継系伝送路設備においては、提供する全ての放送番組を伝送するために必要な伝送帯域
- ② アクセス系伝送路設備においては、受信者端子において提供しようとする放送番組の全てを伝送するために必要な伝送帯域

(理由)

IP 伝送は、RF 方式による伝送と比較して、放送用と通信用の周波数が固定的に割り当てられていないため、伝送路を柔軟に利用して、放送と通信のトラヒックを効率的に伝送することが可能になっている。一方で、一般に放送と通信のトラヒックが同じ伝送路を共用しており、時間帯や地域に応じてトラヒックの変動が生じ、また、送信側、受信側の状況により、トラヒックが想定範囲を超えて大きく変動する可能性がある。

通信のトラヒックの変動にかかわらず、放送のトラヒックを安定して伝送するためには、ケーブルテレビ事業者等は、IP ネットワークを含む有線放送設備を適切に設計、構成、運用することが必要である。ただし、これに必要なコストや運用等がケーブルテレビ事業者等の過大な負担にならないように留意する必要がある。

IP ネットワークを利用して、放送のトラヒックを安定的に伝送する観点から、ヘッドエンドから受信者端子までの区間において、安定的な伝送のための措置、伝送帯域に関する技術的条件を、安定品質とすることが適当である。

(1) 安定的な伝送のための措置

IP 伝送により、放送のトラヒックを安定的に伝送するためには、放送

トラヒックの優先制御を行うこと、放送トラヒックのための専用帯域を確保すること等があり技術基準としてこれらの要件化を検討することが適当である。

放送トラヒックの優先制御は、IP パケットのヘッダ部のサービス種別 (Type of Service: IPv4 の場合) 又はトラヒッククラス (Traffic Class: IPv6 の場合) の先頭 3 ビットを利用して、IP パケットの優先度を設定することにより行う。最大 8 段階の優先度の設定が可能となるが、IP 放送送出装置等において、放送のトラヒックには十分に高位の優先度を設定した上で、ルータ等により当該優先度の設定を参照して、放送トラヒックが通常の通信トラヒックよりも優先的にルーティング、伝送されるように処理する必要がある。優先制御に関して、設定した優先度と同等以上の優先度のトラヒックが集中することにより放送トラヒックの安定品質が低下しないような技術的な手段が確保されるとともに、IP ネットワークの有する伝送帯域や利用者の動向等を踏まえ、IP ネットワークの監視や必要に応じた伝送帯域の拡張等の適切な運用を行うことが必要である。

放送トラヒックの専用帯域の確保は、論理的又は物理的に放送トラヒックのみが伝送される帯域を利用してルーティング、伝送を行う必要がある。専用帯域を確保している場合についても IP ネットワークの監視や必要に応じた伝送帯域の拡張等の適切な運用を行うことも必要である。

(2) 伝送帯域

ケーブルテレビ事業者等は、映像及び音声のほか、放送事業者等が送信しようとしている放送に係る信号の全てを含む情報を送るための IP ネットワークの帯域として、中継網やアクセス網などにおいて、受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に基づき、必要な帯域を確保することが必要である。

なお、ここでいう必要な帯域の確保とは、中継網、アクセス網等における伝送に利用する通信方式について ITU、IEEE 等の規格で定められた伝送帯域の値を用いて算出された帯域があることで足りると考えることが適当である。

必要な帯域を算出にするにあたり、各受信者の家庭では、複数の受信設備による視聴や裏番組の録画など複数の放送番組を同時に受信するニーズが想定されるため、放送番組を複数同時に提供することが望ましいが、4K・8K等の大容量の映像を含む放送番組については、最低限、1番組を伝送することを確保することが必要である。ケーブルテレビ事業者等が受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に応じて、2番組以上の放送番組を同時に受信者に対して伝送する必要が

ある場合には、当該事業者においては、同時に伝送する番組数に応じた帯域を確保することが必要である。

IP 伝送による放送信号の伝送に必要な帯域は、放送番組の映像信号、音声信号、データ信号その他の信号の伝送に必要な帯域を番組の種類（標準テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送、超高精細度テレビジョン放送等）毎に算出し、ケーブルテレビ事業者等は、受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に応じて、必要な帯域を確保することが適当である（図 4. 2-7 に伝送帯域の算出方法の事例を示す）。

（参考 4. 2-1）映像・音声・字幕等により構成される放送番組の伝送に利用される容量

| | |
|------------------|--|
| 地上放送 (2K) | 約 24Mbps [H. 262] 約 15Mbps [H. 264] |
| ケーブル 4 K (4K) | 約 29Mbps [H. 265] |
| 新 4K8K 衛星放送 (4K) | 約 33Mbps [H. 265] |
| 新 4K8K 衛星放送 (8K) | 約 100Mbps [H. 265] |

（参考 4. 2-2）放送システム委員会報告（平成 26 年 3 月 25 日参考資料 9 60/P 及び 60/I 映像の所要ビットレート確認実験）

| 映像フォーマットの例 | 所要ビットレート (テストモデルを用いた推定) |
|----------------|----------------------------|
| 1080/60/I (2K) | 10Mbps～15Mbps [H. 265] |
| 1080/60/P (2K) | 10Mbps～15Mbps [H. 265] |
| 2160/60/P (4K) | 30Mbps～40Mbps [H. 265] |
| 4320/60/P (8K) | 80Mbps～100Mbps [H. 265] |

ケーブルテレビ事業者等は、中継系伝送路設備のコア網及び中継網においては、当該事業者が提供する全ての番組を送信することができる帯域、アクセス系伝送路設備のアクセス網においては、当該事業者が受信者に対して同時に提供するとしている番組数に応じて、必要な数の番組を同時送信することができる帯域を確保することが必要である（コア網、中継網、アクセス網の伝送路の区分については、図 4. 2-4、図 4. 2-5、図 4. 2-6 を参照）。

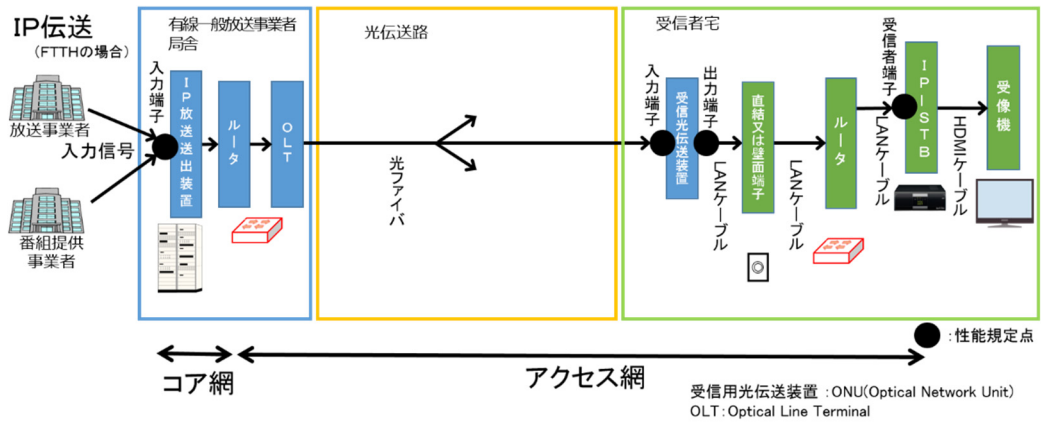


図 4.2-4 IP 伝送網の区分 (FTTH、地域 IP 伝送型)

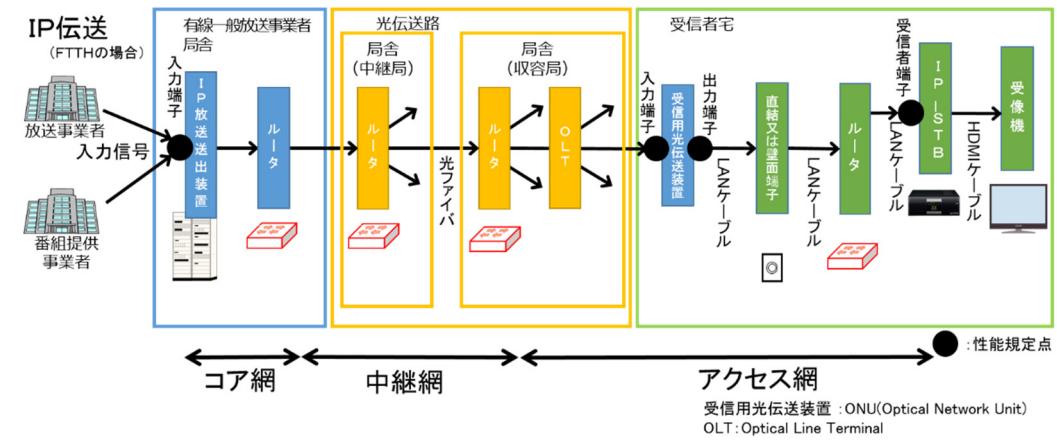


図 4.2-5 IP 伝送網の区分 (FTTH、広域 IP 伝送型)

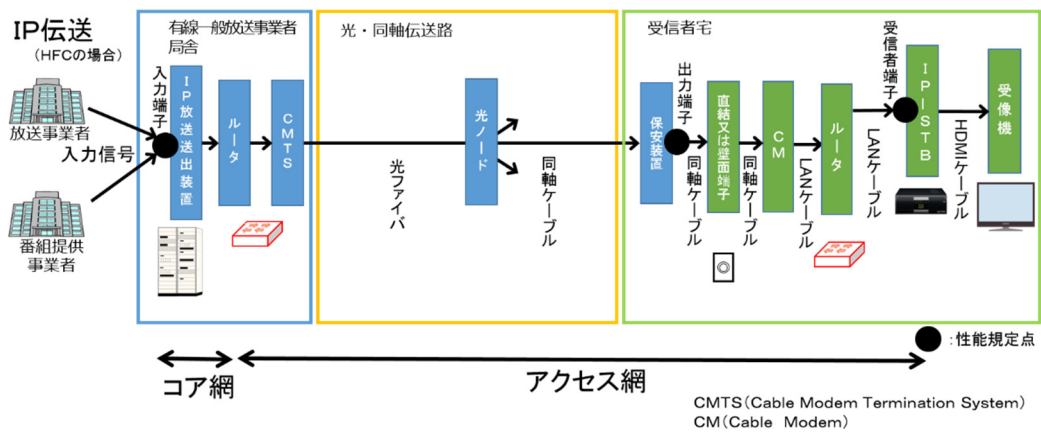


図 4.2-6 IP 伝送網の区分 (HFC、地域 IP 伝送型)

○ケーブルテレビ事業者等が、地上放送[HD]9番組、衛星放送[HD]29番組、自主放送[HD]70番組、ケーブル4K等[4K]2番組の放送サービスを提供し、加入者に対して、4Kは1番組、その他は2番組を同時提供することとした場合の事例

| 必要な帯域の算出 | | | | |
|----------------------------|--------|---|------|-----------|
| 地上放送[HD, H. 264] | 15Mbps | × | 9番組 | =135Mbps |
| 衛星放送[HD, H. 264] | 15Mbps | × | 29番組 | =435Mbps |
| 自主放送(多チャンネル番組)[HD, H. 264] | 6Mbps | × | 70番組 | =420Mbps |
| 自主放送(ケーブル4K等)[4K, H. 265] | 29Mbps | × | 2番組 | =58Mbps |
| | 合計 | | | 1,048Mbps |

○コア網及び中継網で必要な帯域(全番組を伝送可能な帯域)

○アクセス網で必要な帯域(同時送信する番組全てを伝送可能な帯域)

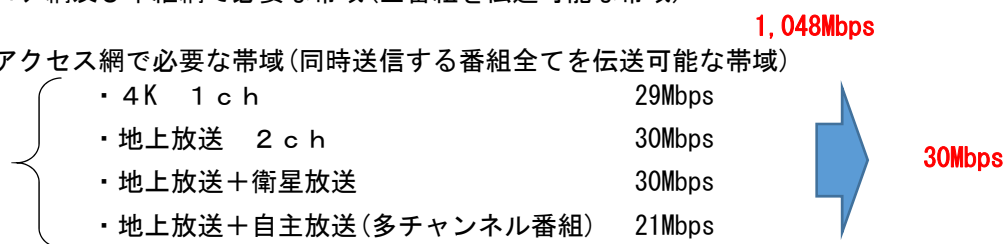


図 4.2-7 伝送帯域の算出方法の事例(IP放送報告書より抜粋)

4.2.2.4 受信者端子間分離度及び受信者端子におけるその他の条件等

IP伝送に係る受信者端子の技術的条件として、受信者端子間分離度及び受信者端子におけるその他の条件等は適用しない。

(理由)

IP伝送に係る受信者端子における信号の条件として、IPパケットのアドレス、ネットワーク品質、安定品質に係る技術的条件となっており、電磁波に関する技術的条件ではないから、現行の受信者端子間分離度及び受信者端子におけるその他の条件等の規定を適用する必要はない。

4.3 受信者端子以外の性能規定点における技術的条件

4.3.1 受信者宅内ネットワークの構成

受信者宅内ネットワークは、受信者宅(戸建て、集合住宅等)の構造に応じて、様々な形態があるが、本報告では受信者宅内の最も基本的なネットワーク構成を対象に技術的条件を検討する。当該検討に際しては、IPネットワークにおけるルーティングはルータ等の機能により実現されていることから、IP伝送型ケーブルテレビにおける受信者端子については、STBの機能を有する機器とルータ等を含む一体の設備を受信設備とみなすことができること

とし、この場合、当該受信設備の入力端子を受信者端子とすることが適当である。

なお、基本的なネットワークとは異なる形態のものについては、IP 放送報告書にあるとおり、その多様性・複雑性に鑑みて、民間標準化団体等の主導の下、民間規格による技術仕様の策定、それを活用した推奨や認証の仕組みを進めていくことを期待するとともに、一般には、ケーブルテレビ事業者等と受信者の間の契約約款等に基づき個々のケースに応じた対応をしていくことが適当である。

4.3.2 受信者宅内ネットワークの構成要素

受信者宅内ネットワークは、FTTH の場合は、図 4.3-1 のように、ONU(受信用光伝送装置)の出力端子、ルータ、受信者端子、受信設備の構成要素からなる。

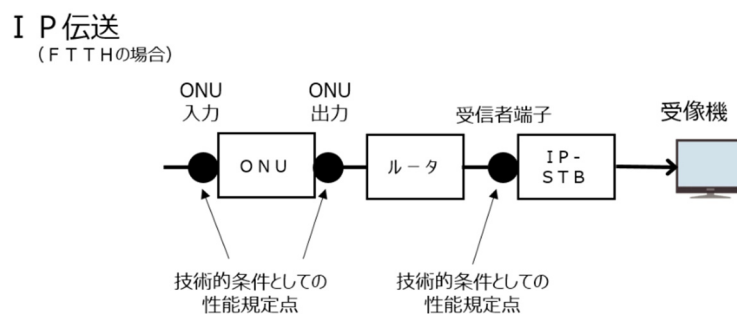


図 4.3-1 受信者宅内ネットワークに関する構成要素、性能規定点(FTTH)

また、HFC の場合は、図 4.3-2 のように、保安装置の出力端子、CM(Cable Modem)、ルータ、受信者端子、受信設備の構成要素からなる。

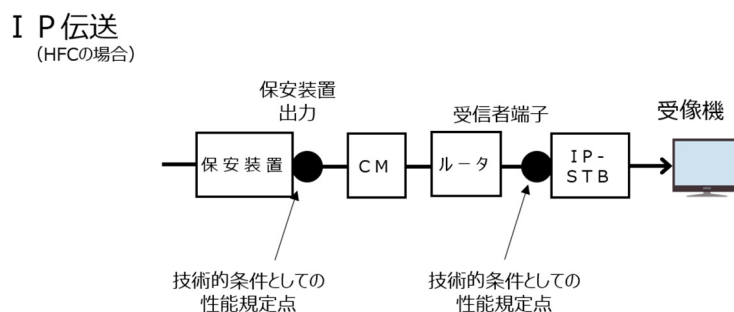


図 4.3-2 受信者宅内ネットワークに関する構成要素、性能規定点(HFC)

4.3.3 受信用光伝送装置の入力端子又は出力端子

受信用光伝送装置の入力端子又は出力端子においては、技術的条件は定め
ないこととする。

ただし、IP-STB 等の機能を有する機器とルータ等を含む一体の設備を受
信設備とみなすことができるから、この場合、当該受信設備の入力端子を受
信者端子とみなして、受信用光伝送装置の出力端子における技術的条件は、
受信者端子における技術的条件と同等と考えることができる。

(理由)

IP 放送実証試験報告書の実証試験の結果に基づけば、受信用光伝送装置
の入力端子における受光レベルとパケット損失率の相関係数 $|R|$ は、80Mbps
 と 12Mbps のデータを伝送した場合、それぞれ、 $|R| \doteq 0.739$ 、 $|R| \doteq 0.810$ と
 され、パケットの損失率と受信用光伝送装置の入力端子における受光レベル
 には、一定の相関関係があることが認められる(80Mbps 場合：図 4.3-3、
 12Mbps の場合：図 4.3-4)。

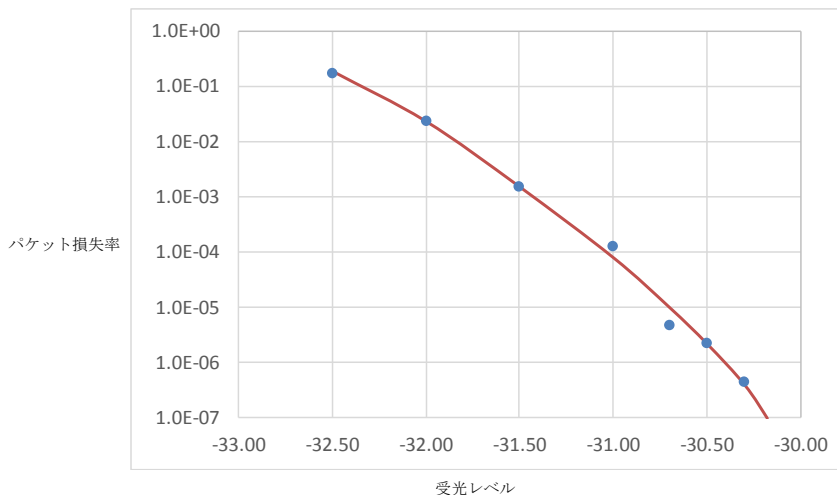


図 4.3-3 80Mbps における受光レベルとパケット損失率の関係

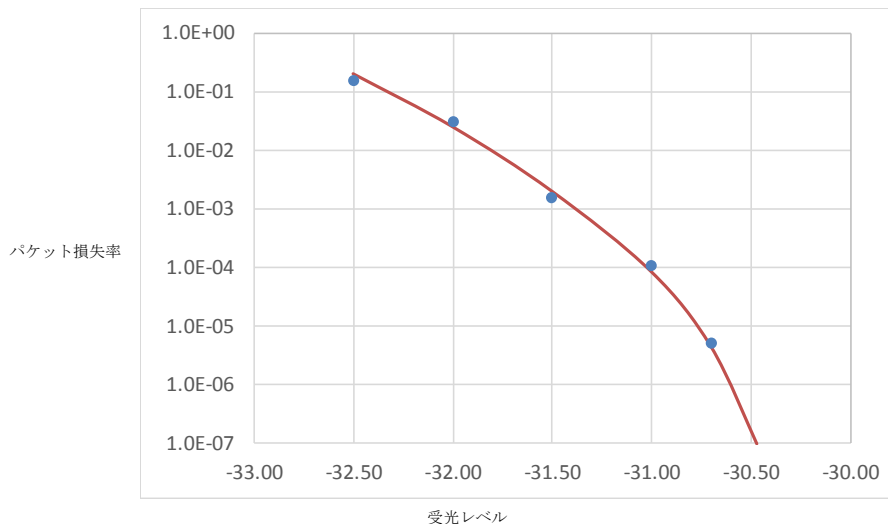


図 4.3-4 12Mbps における受光レベルとパケット損失率の関係

しかしながら、この相関関係は、実証試験の実施環境からは、アクセス網についての結果であり、中継網を有していない地域 IP 伝送型ケーブルテレビについては適用の可能性があるが、中継網を有する広域 IP 伝送型ケーブルテレビについては、コア網及び中継網におけるパケット損失等が考慮されていないから、そのまま適用することはできない。また、アクセス網に採用した光アクセス技術の方式等の違いにより相関関係が異なる可能性があることから、引き続き、検証が必要である。

したがって、受信用光伝送装置の入力端子における受光レベルと、IP 放送送出装置等から送出されたパケットが受信者端子に到達するまでの全区間における損失率との関係が明確になっていないことなど、実証が十分になされたとはいえないから、今後の検討課題とし、受信用光伝送装置の入力端子における技術的条件は定めないこととするのが適当である。

一方、受信用光伝送装置の出力端子については、IP-STB 等の機能を有する機器とルータ等を含む一体の設備を受信設備とみなすことができるから、この場合、当該受信設備の入力端子(図 4.3-1 では、ルータの入力端子)が受信者端子とみなせる。この場合、当該受信者端子と受信用光伝送装置の出力端子との間を適切な LAN ケーブル等で接続し、当該ルータにおいて放送のトラフィックが優先されるようにルーティングされていれば、当該出力端子から当該受信者端子までの信号の劣化は極めて小さく、実質的に両端子の技術的条件は同等とみなすことができるから、当該性能規定点における技術的条件は、受信者端子における技術的条件と同等と考えることができる。したがって、受信用光伝送装置の出力端子における技術的条件は定めないこととする。

4.3.4 保安装置の出力端子

保安装置の出力端子においては、技術的条件は定めないこととする。

(理由)

IP 放送実証試験報告書の実証試験の結果に基づけば、保安装置の出力端子における搬送波(C: Carrier)のレベルと雑音(N: Noise)のレベル比(CN比)とパケット損失率の相関関係 $|R|$ は、80Mbps と 12Mbps のデータを伝送した場合、それぞれ、 $|R| \doteq 0.741$ 、 $|R| \doteq 0.744$ とされ、パケットの損失率と保安装置の出力端子における CN 比には、一定の相関関係があることが認められる(80Mbps 場合 : 図 4.3-5、12Mbps の場合 : 図 4.3-6)。

しかしながら、実証試験の結果は、地域 IP 伝送型ケーブルテレビについて適用の可能性があるが、コア網におけるパケット損失等が考慮されていないから、保安装置の出力端子の技術的条件としてそのまま適用することはできない。また、採用した変調方式や通信方式等の違いにより相関関係が異なる可能性もあることから、引き続き、検証が必要である。

したがって、実証が十分になされたとはいえないから、今後の検討課題とし、保安装置の出力端子における技術的条件は定めないこととするのが適当である。

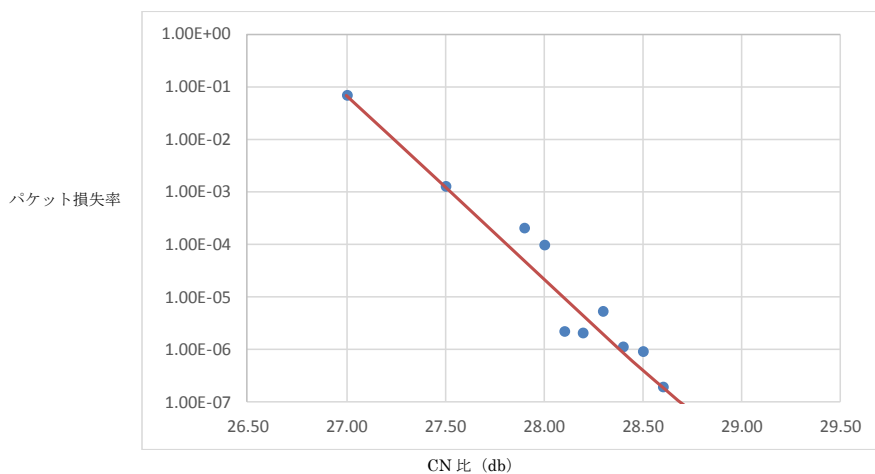


図 4.3-5 80Mbps における CN 比とパケット損失率の関係

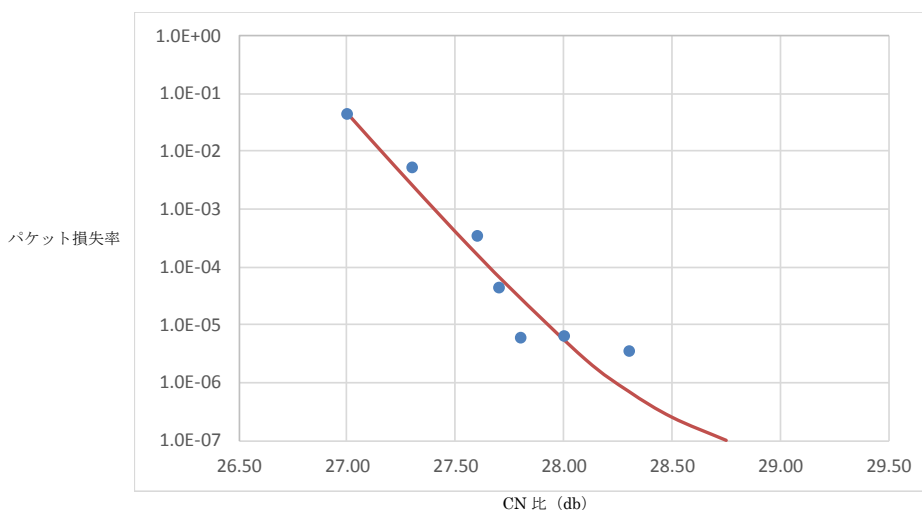


図 4.3-6 12Mbps における CN 比とパケット損失率の関係

4.4 情報源符号化方式等に係る技術的条件

4.4.1 情報源符号化、多重化、誤り訂正、スクランブル、緊急警報信号等についての技術的条件

品質省令第 11 条第 3 項等の規定を準用する。

(理由)

IP 伝送における伝送品質は、品質省令第 2 章第 2 節で規定されたデジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る条件と同等程度の技術的条件を定めることとしているから、情報源符号化、誤り訂正、スクランブル、緊急警報信号等の条件についても同等の条件とすることが適当である。

4.4.2 多重化(IP パケット化に係る部分に限る)についての技術的条件

TS パケット及び TLV パケットを IP パケット化して伝送する。

(理由)

放送に係る MPEG-2 TS(Moving Picture Expert Group-2 Transport System)方式及び MMT・TLV(MPEG Media Transport・Type Length Value)方式により生成されたストリームである TS(Transport Stream)パケット及び TLV パケットは、映像、音声等が多重化されたビットストリームであり、IP ネットワークを利用して伝送するためには、IP パケット化をして伝送することが適当である。

TS パケット及び TLV パケットのレイヤモデルを図 4.4-1 及び図 4.4-2 に示す。



図 4.4-1 MPEG-2 TS 方式のレイヤモデル

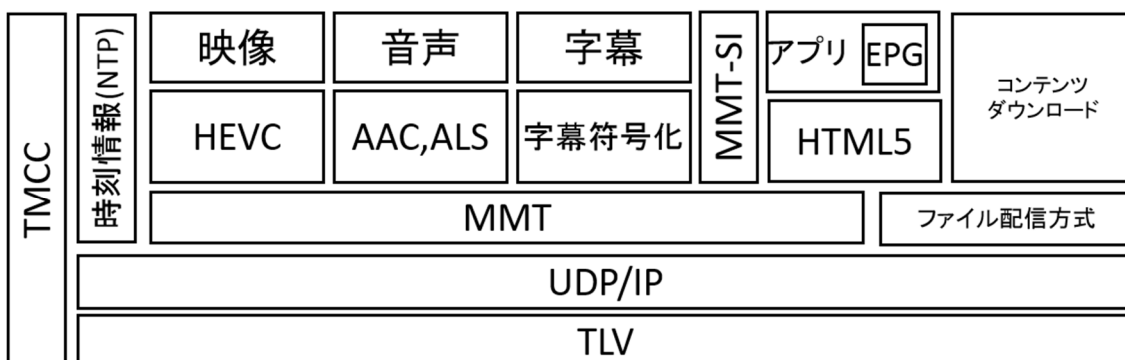


図 4.4-2 MMT-TLV 方式のレイヤモデル

4.4.2.1 タイムスタンプ付 TS

IP パケット化に際し、IP 伝送においては、再放送のための同期等を行うため、タイムスタンプを付与した TS パケット(又は分割 TLV パケット)を利用することがあることから、タイムスタンプ付 TS パケット(以下、「TTS パケット」という)を定義する。

TTS パケットは以下のデータ構造を有する。なお、分割 TLV パケットにタイムスタンプを付した場合も同様の構造とする。

| データ構造 | Bit | Identifier |
|--|-----|------------|
| <pre> TimeStampedTS() { Do { Timestamp transport_packet() } } </pre> | 32 | uimsbf |

4.4.2.2 RTP (Real-time Transport Protocol)

IP パケット化に関して、トランスポート層のプロトコルとして RTP を利用する場合、原則として、RFC 3550 (RTP: A Transport protocol for Real-Time Applications) に従う。ヘッダ構成及びヘッダフィールドは以下のとおり。

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----|---|----|--------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| V | P | X | CC | M | PT | Sequence Number(シーケンス番号) | | | | | | | | | | | | | | | |
| timestamp(タイムスタンプ) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Synchronization Source(SSRC) Identifier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Contribution Source(CSRC) Identifier: CCで指定された0~15個(各32ビット) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| データペイロード | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

注： V: version(2bits) P: padding(1bit) X: extension(1bit)
 CC: CSRC count(4bits) M: marker(1bit) PT: Payload Type(7bit)

図 4.4-3 RTP のヘッダ構成及びヘッダフィールド

4.4.2.3 UDP (User Datagram Protocol)

IP パケット化に関して、トランスポート層のプロトコルとして UDP を利用する場合、原則として、RFC 768 (User Datagram Protocol) に従う。ヘッダ構成及びヘッダフィールドは以下のとおり。

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Source Port(送信元ポート) | | | | | | | | | | Destination Port(宛先ポート) | | | | | | | | | | | |
| Length(データ長) | | | | | | | | | | Checksum(チェックサム) | | | | | | | | | | | |
| データペイロード | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

図 4.4-4 UDP のヘッダ構成及びヘッダフィールド

4.4.2.4 IP パケット化された TTS パケット

RTP/UDP プロトコルを利用した場合の、TTS パケットの IP パケット化は、IP パケットのサイズをルータ等が 1 回の転送で伝送可能な MTU (Maximum Transmission Unit) (1,500 バイトが標準) のサイズ以下にする観点から、TTS パケットのサイズが 192 バイトであることを踏まえ、一つの IP パケットには、IP ヘッダ (20 バイト)、UDP ヘッダ (8 バイト)、RTP ヘッダ (12 バイト) 及び 7 個の TTS パケットを格納し、合計 1,384 バイトとすることが標準的である。



図 4.4-5 IP パケット化された TTS パケット

4.5 サービス可用性に関する技術的条件

サービス可用性(技術基準で規定された値を算出できる確率の設定等)についての技術的条件は定めないこととする。

(理由)

IP 伝送型ケーブルテレビの導入に際して、ケーブルテレビ事業者等に対して、IP 伝送に係るサービス可用性に関して、技術基準の適合性に関する測定を行わせ、その結果を報告させることの妥当性を検討した。

放送法第 139 条に基づき、総務大臣は、ケーブルテレビ事業者等に対し、有線一般放送の業務に用いられる電気通信設備の安全・信頼性の確保及び当該電気通信設備を用いて行われる有線一般放送の品質適正性の確保を目的として設けられた規定の施行に必要な限度において、報告を求めることができるとともに、その職員に、当該電気通信設備を設置する場所に立ち入り、当該電気通信設備を検査させることができる。

ケーブルテレビ事業者等は、本条及び放送法施行規則第 159 条に基づき、毎年、登録に係る有線一般放送の業務に用いられる電気通信設備の状況等を総務大臣に報告している。また、重大事故が発生した場合にも放送法第 137 条に基づく報告等が義務付けられている。

既存の制度の下で、技術基準への適合性に関する報告義務や総務省の職員による立入検査の権限があることも踏まえれば、IP 伝送型ケーブルテレビを導入したケーブルテレビ事業者等のみに対して、現状の年次報告に加え、追加的に義務を課すことは、有線一般放送の安全・信頼性及び品質適正性の確保等の観点からは、これまでの有線一般放送の業務の実施状況を踏まえれば、必ずしも必要とは考えられない。

したがって、サービス可用性(技術基準で規定された値を算出できる確率の設定等)についての技術的条件は定めないこととすることが適当である。

しかしながら、通信のトラヒックの変動の影響が受信者による放送の受信に影響を与えない水準を維持するため、ケーブルテレビ事業者等において、適切なネットワークの運用を行う観点から、必要な範囲で技術的条件等を測定することも考えられる。

なお、災害時や特定の利用者等を原因とする通信トラヒックの急激かつ予

測不可能な変動が生じることがある。特に災害時については、国民生活への影響が大きいため、災害時においても必要最低限の災害情報等を受信者に提供できるようにする観点から、可能な場合には、あらかじめ放送事業者等と協議した上で、衛星基幹放送の降雨減衰対策等を参考に、低画質映像を放送することにより、伝送するトラヒックを制限するような運用を検討しておくことも考えられる。

4.6 測定方法に関する基本的な考え方

- (1) IP 放送送出装置等において、測定の対象となるパケットにシーケンス番号及び時刻を付与し、受信者端子において、当該シーケンス番号又は時刻を取得し、損失率、遅延、ジッタを測定する。
- (2) 測定値の算出については、ITU-T 勧告 Y.1540 (Internet Protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters) (参考資料6) 等の国際標準を踏まえた算出方法とする。
- (3) ネットワークを敷設等する際における有線一般放送に用いる電気通信設備の技術基準への適合性の確認に際しては、実用サービスと同等程度の試験環境を構築して計測を行う。
- (4) 個々の受信者端子の技術基準への適合性の確認に際しては、原則として、実用サービスが提供されている受信設備における受信者端子において測定を行う。
- (5) 具体的な測定方法については、IP 放送サービスの提供状況や市場における測定機器の状況などを踏まえて、民間標準化団体等において、引き続き、通信のトラヒックの変動、放送の伝送容量等を考慮して測定時間、区間等を含め測定方法の詳細化等の検討を行い、適切な方法を定める。

5. デジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る技術的条件

デジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る技術的条件のうち、搬送波の変調の型式が 64 値直交振幅変調（以下、「64QAM 変調」という）及び 256 値直交振幅変調（以下、「256QAM 変調」という）の場合における搬送波等の条件に関する技術的条件を検討した。なお、検討の結果、搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における搬送波等の条件に関する技術的条件については、見直しの必要性がないとした。

5.1 搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における搬送波等の条件

搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における搬送波等の条件のうち、搬送波のレベル及び搬送波のレベルと雑音のレベルの比は、総務省情報通信審議会の平成 19 年 3 月 28 日の一部答申（「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち「FTTH 等の伝送帯域の拡大に伴う BS-IF 等パススルー伝送並びに情報源符号化方式及び伝送路符号化方式の高度化に関する技術的条件」（諮問第 2024 号））に基づき、有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令（平成 23 年総務省令第 95 号）（以下、「品質省令」という）の第 12 条において表 5.1-1 のとおり規定されている。

表 5.1-1 搬送波等の条件（256QAM 変調）

| 区 別 | 条 件 |
|------------------|---|
| 搬送波のレベル | $57 + 10 \log_{10}(Z/75)$ 以上 $81 + 10 \log_{10}(Z/75)$ 以下 ※Z は、出力端子の定格出力インピーダンス（単位オーム） |
| 搬送波のレベルと雑音のレベルの比 | 34 デシベル以上 |

搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における搬送波等の条件のうち、搬送波のレベルと雑音のレベルの比は、保安装置の出力端子又は受信用光伝送装置の出力端子及び受信用光伝送装置の入力端子において、品質省令の第 12 条において、それぞれ表 5.1-2 及び表 5.1-3 のとおり規定されている。

表 5.1-2 保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子における搬送波等の条件 (256QAM 変調)

| 区 別 | 条 件 |
|------------------|---|
| 搬送波のレベルと雑音のレベルの比 | 36 デシベル以上 (保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子から受信者端子までの搬送波のレベルと雑音のレベルの比が 39 デシベル以上である場合) |

表 5.1-3 受信用光伝送装置の入力端子における搬送波等の条件 (256QAM 変調)

| 区 別 | 条 件 |
|------------------|---|
| 搬送波のレベルと雑音のレベルの比 | 37 デシベル以上 (受信用光伝送装置の入力端子から受信者端子までの搬送波のレベルと雑音のレベルの比が 39 デシベル以上である場合) |

5.1.1 搬送波のレベルと雑音のレベルとの比の技術的条件

搬送波のレベルと雑音のレベルとの比 (CN 比) は、32dB 以上とする。

(理由)

搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における必要な CN 比を求めるため、現在市場で入手可能な STB を用いて、256QAM 信号にガウスノイズを重畳して CN 比を変化させたときに対するビット誤り率 (BER: Bit Error Rate) を測定した (詳細は、「デジタル有線テレビジョン放送用受信装置における 256QAM 方式信号の CN 比試験報告書」(参考資料 2)を参照)。

このときの、測定条件は以下のとおり。

- ・ 搬送波周波数 (U14 : 479MHz、U61 : 761MHz)
- ・ 搬送波レベル (55dB μ B、66dB μ B)

なお、試験系統図は図 5.2-1 のとおり。

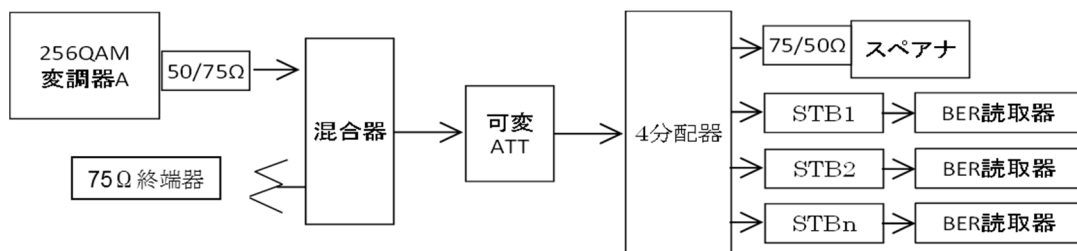


図 5.1-4 256QAM 信号の CN 比と BER 測定の試験系統図

複数の STB について測定を行い、図 5.1-5 から図 5.1-8 のような結果が得られた。

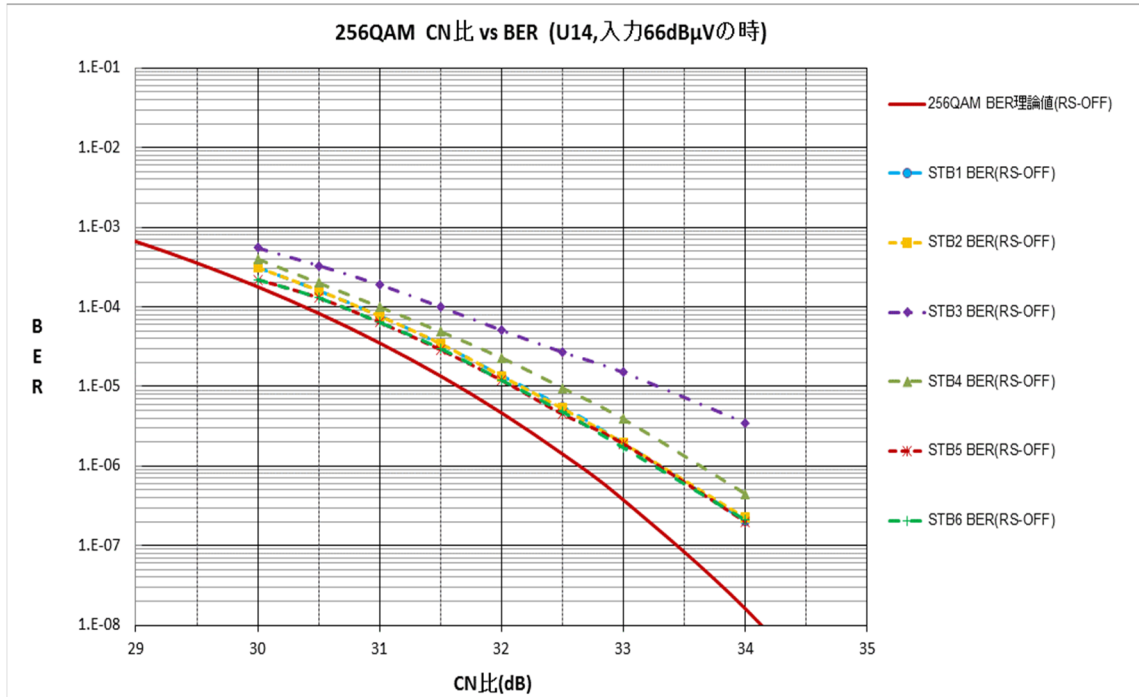


図 5.1-5 CN 比対 BER 特性 (U14、66dB μ V)

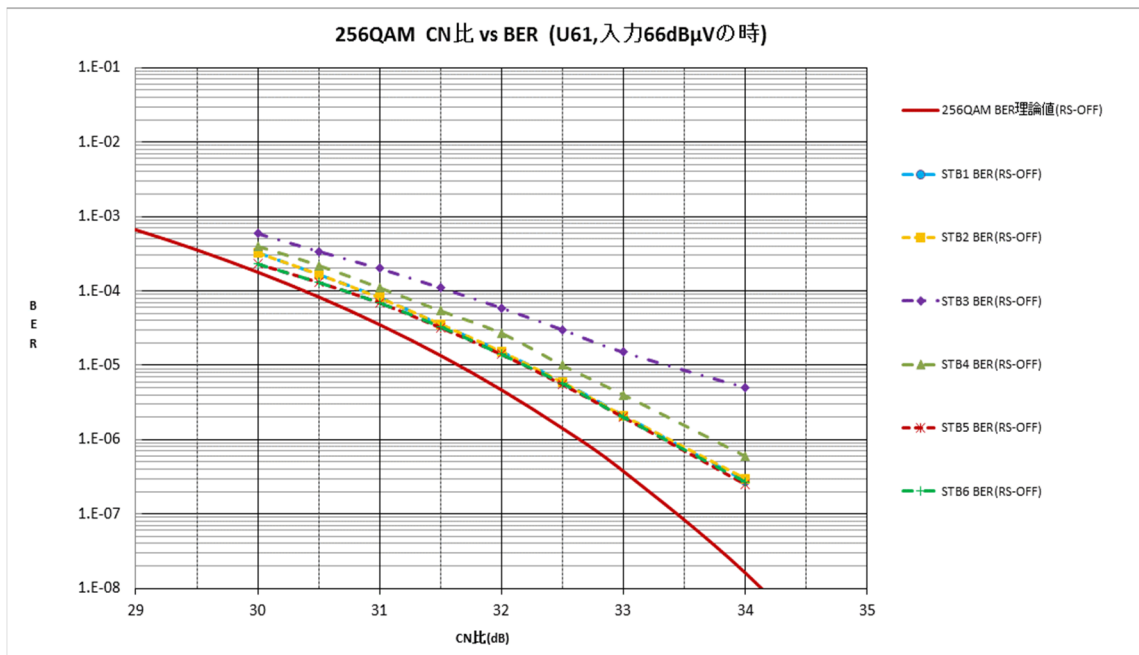


図 5.1-6 CN 比対 BER 特性 (U61、66dB μ V)

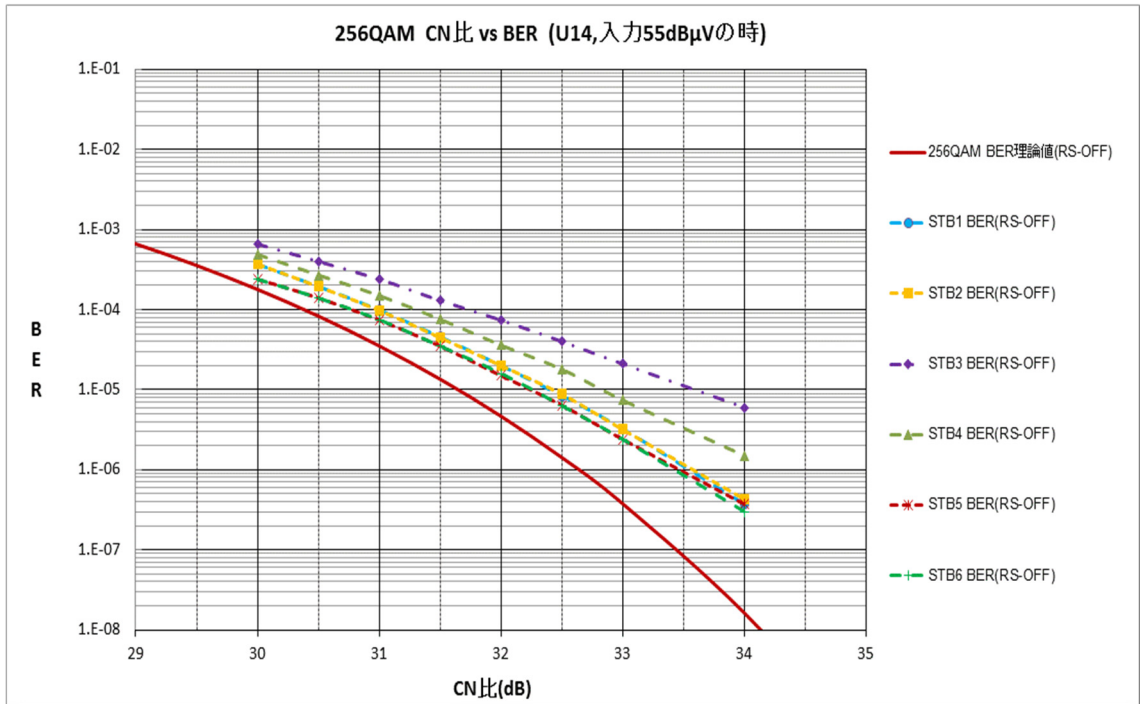


図 5.1-7 CN 比対 BER 特性 (U14、55dB μ V)

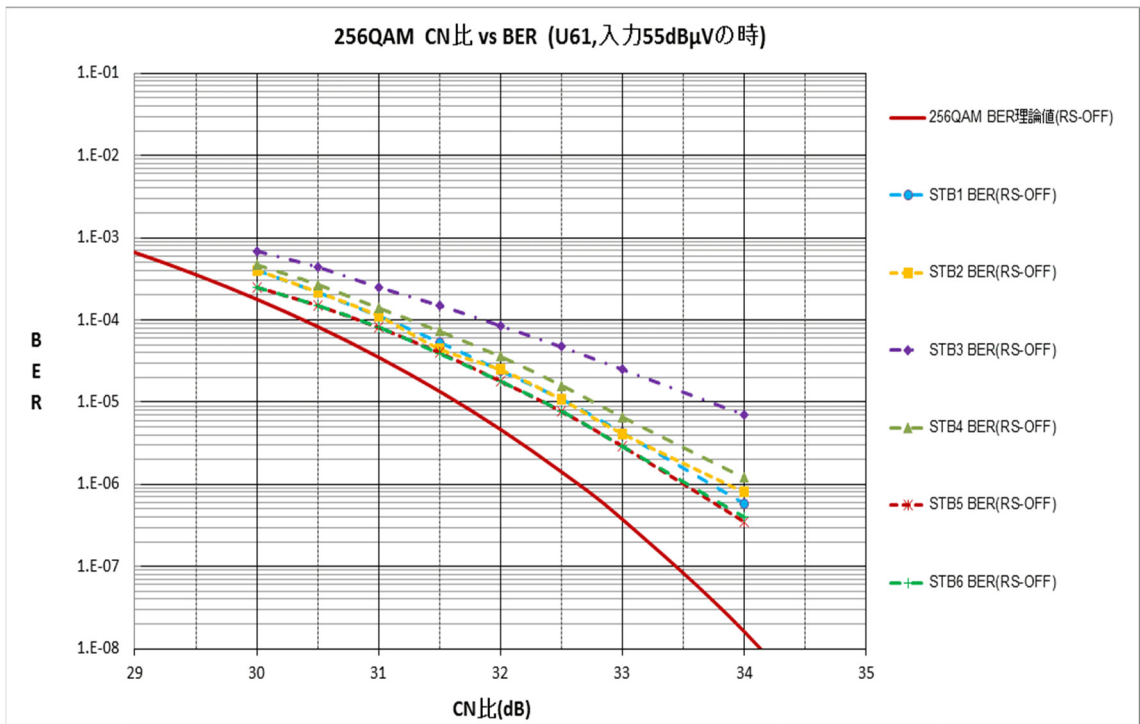


図 5.1-8 CN 比対 BER 特性 (U61、55dB μ V)

品質省令の入力信号の条件である誤り訂正前の BER が 1×10^{-4} となるのに必要な CN 比の条件は、表 5.1-4 のとおりとなる。したがって、必要な CN 比は、測定結果のうち、最悪値である 31.8dB 以上とする。

表 5.1-4 BERが 1×10^{-4} となる CN 比 (dB)

| | 66dB μ V (U14/U61) | 55dB μ V (U14/U61) |
|------|---------------------------|---------------------------|
| STB1 | 30.8 / 30.8 | 31.0 / 31.1 |
| STB2 | 30.8 / 30.8 | 31.0 / 31.1 |
| STB3 | 31.5 / 31.6 | 31.8 / 31.8 |
| STB4 | 31.0 / 31.0 | 31.3 / 31.3 |
| STB5 | 30.7 / 30.7 | 30.7 / 30.8 |
| STB6 | 30.7 / 30.7 | 30.7 / 30.8 |

ただし、STBには製品による個体差があるため、これを考慮する必要がある。標準的な性能を有する STB と正常の範囲内ではあるが最も性能が低い STB との性能の差である 0.54dB を考慮すると、必要な CN 比は、32.34dB となる。

したがって、32.34dB を切り上げて 33dB とすることが適当である。

なお、今回の試験測定に使用した全ての STB は、内部構成として入力信号の分配回路等を有する STB (図 5.1-9) であるが、現在、品質省令の規定は、STB の内部構成が最も基本的なもの (以下「基本 STB」という) (図 5.1-10) に基づき、技術基準が定められている。したがって、必要な CN 比については、内部構成の違いを考慮して修正する必要がある。

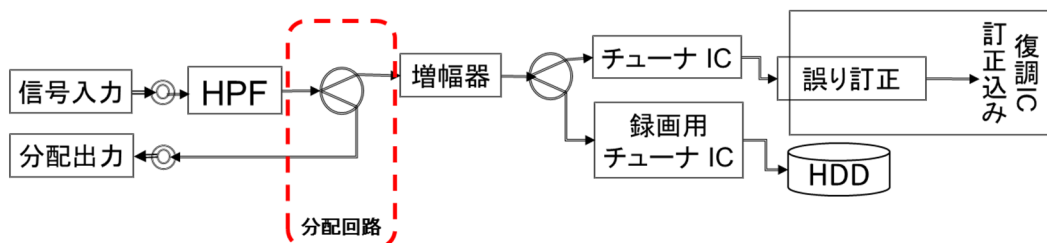


図 5.1-9 入力信号の分配回路を有した STB の内部構成図

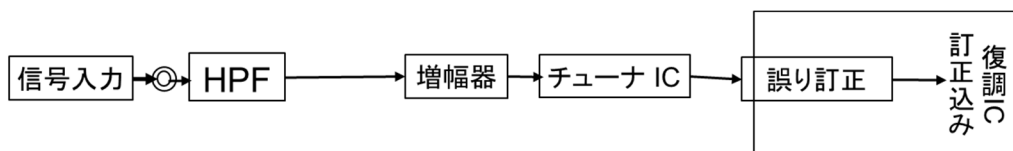


図 5.1-10 基本 STB の内部構成図

基本 STB に必要な CN 比は、入力信号の分配回路を有する場合に比べ 0.19dB 良くなるため、入力信号の分配回路を有する STB の CN 比である 31.8dB は、31.61dB に相当する。また、基本 STB の性能の個体差は入力信号の分配回路を有する STB の性能の個体差である 0.54dB に比べ、0.16dB と小さくなっており、基本 STB の性能の個体差を考慮した場合に必要な CN 比は 31.77dB となる

(詳細は、「規格書 STD-007-6.2 256QAM CN 比検討」(参考資料3)を参照)。

したがって、搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における必要な CN 比の条件は、31.77dB を切り上げて 32dB とすることが適当である。

5.1.2 搬送波のレベルの技術的条件

搬送波のレベルは、出力端子の定格出力インピーダンスが 75 オームの場合において、55dB μ V 以上 81dB μ V 以下とする。

(理由)

搬送波のレベルの下限について、雑音レベルについては、従来どおり、標準テレビジョン放送の下限値 60dB μ V、標準テレビジョン放送の所要 CN 比(38dB)及び帯域幅による雑音のレベル換算 1dB より、23dB μ V となる。今般の 256QAM 変調における CN 比の見直しにより、必要な CN 比が 32dB となったことから、下限レベルは 55dB μ V となる。したがって、搬送波のレベルは、55dB μ V 以上 81dB μ V 以下とすることが適当である。

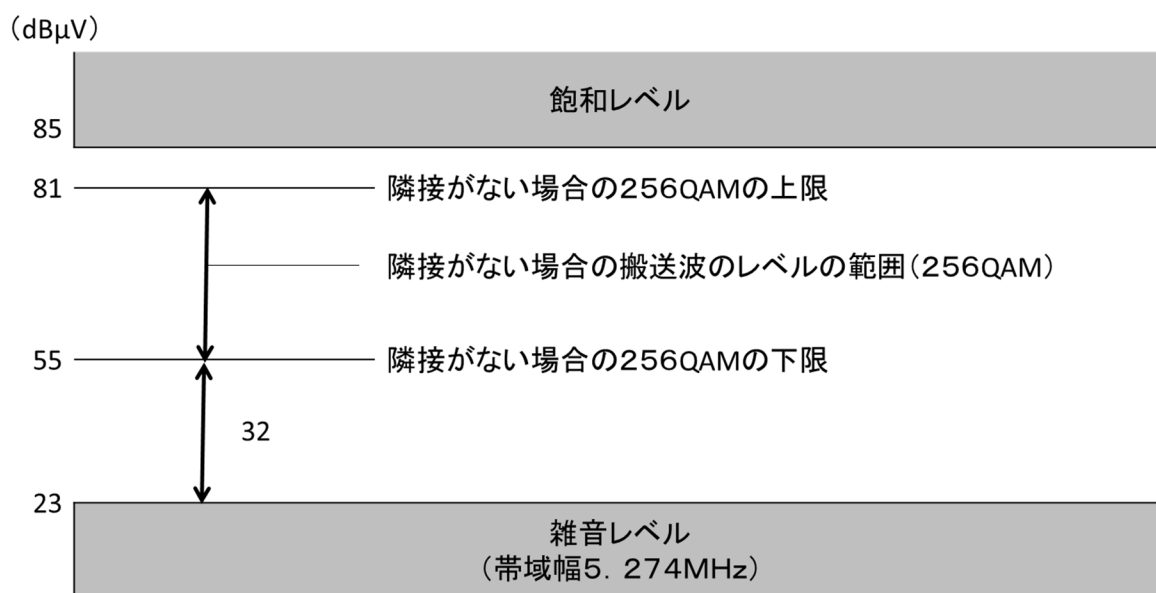


図 5.1-11 搬送波のレベル (256QAM)

5.1.3 受信用光伝送装置等の入出力端子における搬送波のレベルと雑音のレベルの比

5.1.3.1 保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子における搬送波のレベルと雑音のレベルとの比の技術的条件

保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子から受信者端子までの搬送波のレベルと雑音のレベルとの比 (CN 比) が 39dB 以上の場合にあっては、当

該出力端子における CN 比は 33dB 以上とする。

(理由)

搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子で必要な CN 比は、現在の棟内伝送路の CN 比の基準である 39dB 及び今般見直す受信者端子で必要な CN 比 32dB より逆算すると 32.97dB となる。したがって、当該出力端子において搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における必要な CN 比は切り上げて 33dB とすることが適当である。

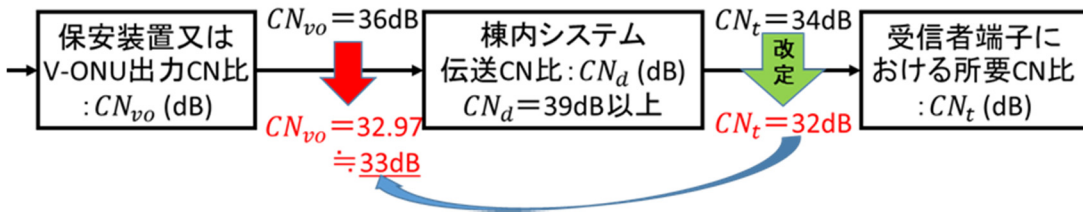


図 5.1-12 保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子の CN 比

5.1.3.2 受信用光伝送装置の入力端子における搬送波のレベルと雑音のレベルとの比の技術的条件

受信用光伝送装置の出力端子から受信者端子までの搬送波のレベルと雑音のレベルとの比 (CN 比) が 39dB 以上の場合にあっては、受信用光伝送装置の入力端子における CN 比は 34dB 以上とする。

(理由)

5.1.3.1 より、搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子で必要な CN 比は 32.97dB、これを CN 比 38dB の FTTH 伝送路で HE へさかのぼると 34.6dB となる。34.6dB に信号偏差 2dB を加えた 40dB の FTTH 伝送路で受信用光伝送装置へ下ると 33.5dB となる。したがって、受信用光伝送装置の入力端子で必要な推定 CN 比は切り上げて 34dB とすることが適当である。

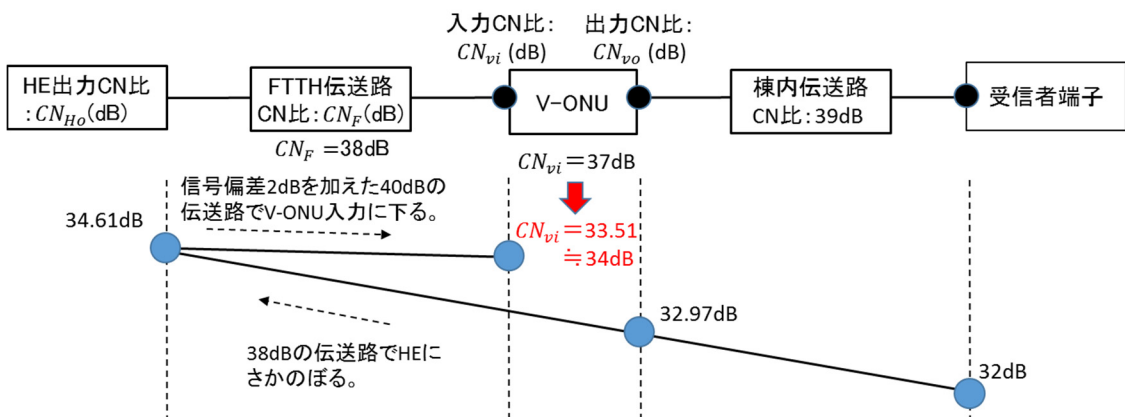


図 5.1-13 受信用光伝送装置の入力端子の CN 比

注：推定 CN 比は以下の式 5.1 から求める。

$$C/N = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{B_N} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot (m_k \cdot R \cdot P_s)^2}{\sum_{n=1}^{N_T} \{RIN_n \cdot (R \cdot P_n)^2 + 2 \cdot e \cdot R \cdot P_n\} + 2 \cdot e \cdot I_{d0} + I_{eq}^2} \right] \quad [\text{dB}] \quad (\text{式 5.1})$$

ここで

B_N : 雑音帯域幅 (デジタル有線テレビジョン放送信号 256QAM 方式 : 5.30×10^6 [Hz])

m_k : 当該搬送波の光変調度

R : 受光素子の光から電気への変換効率 [A/W]

N_T : 同時に伝送している光信号の波数

P_s : 当該搬送波で変調している光信号の受光電力 [W]

P_n : n 番目の光信号の受光電力 [W]

RIN_n : n 番目の入力光信号の相対強度雑音 (RIN: Relative Intensity Noise) [1/Hz]

e : 電気素量 (1.602×10^{-19} [C])

I_{d0} : 受光素子の暗電流 [A]

I_{eq} : 受光部の入力換算雑音 [$A/\sqrt{\text{Hz}}$]

また、1 つの光信号に対する全光変調度 M 、 k 番目搬送波の光変調度 m_k 、および伝送搬送波数 K は式 5.2 の関係にある。

$$M = \sqrt{\sum_{k=1}^K m_k^2} \quad (\text{式 5.2})$$

式 5.1 において、1 波長のみを使用する場合は $P_s = P_1$ 及び $N_T = 1$ として算出する。

5.2 搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における搬送波等の条件

搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における搬送波等の条件のうち、搬送波のレベルと雑音のレベルの比は、品質省令の第 12 条において表 5.2-1 のとおり規定されている。

表 5. 2-1 搬送波等の条件 (64QAM 変調)

| 区 別 | 条 件 |
|------------------|-----------|
| 搬送波のレベルと雑音のレベルの比 | 26 デシベル以上 |

5. 2. 1 搬送波のレベルと雑音のレベルとの比の技術的条件

搬送波のレベルと雑音のレベルとの比 (CN 比) は、現行の 26dB 以上の規定を維持することとする。

(理由)

搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における必要な CN 比を求めるため、5. 1 で行った測定と同様の測定を 64QAM 変調された信号について行うと、入力信号の分配回路を有する STB の CN 比は 25. 27dB となり、STB の性能の個体差の 0. 54dB を考慮すると、必要な CN 比は、25. 81dB となる。

したがって、25. 81dB を切り上げて 26dB となる。

次に、64QAM 変調における基本 STB に必要な CN 比は、入力信号の分配回路を有する場合に比べ 0. 19dB 良くなるため、入力信号の分配回路を有する STB の CN 比である 25. 27dB は、25. 08dB に相当する。また、基本 STB の性能の個体差は 0. 16dB となるため、基本 STB の性能の個体差を考慮した場合に必要な CN 比は 25. 24dB となる。

したがって、搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における必要な CN 比の条件は、25. 24dB を切り上げて 26dB となるから、現行の規定を維持することが適当である。

6. 今後の検討課題

6.1 IP 放送に関する課題

(1) 受信者端子における測定方法の検討

IP 伝送型ケーブルテレビのサービス提供に当たって必要な、受信者端子における技術基準への適合性を確認するための方法等については、IP 放送サービスの提供状況や市場における測定機器の状況などを踏まえて、民間標準化団体等において、引き続き、通信のトラヒックの変動、放送の伝送容量等を考慮して測定時間、区間等を含め測定方法の詳細化等の検討を行い、必要に応じ技術基準に反映するため、今後の検討課題とすることが適当である。

(2) 受信者端子以外の性能規定点における技術的条件

受信者端子以外の性能規定点において、民間標準化団体等において実証試験等を継続し、戸建て、集合住宅等を含む受信者宅内等における IP ネットワークの状況を踏まえ、パケットに係る技術的条件と FTTH における受信用光伝送装置の入力端子の受光レベルや出力端子の CN 比、HFC における保安装置の出力端子の CN 比等の相関性等の検討を行い、必要に応じ技術基準に反映するため、今後の検討課題とすることが適当である。

(3) 必要な帯域の算出や伝送帯域の評価等にあたっての統計的な考え方の検討

必要な帯域の算出や伝送帯域の評価方法等の検討にあたって、可変ビットレートの符号化を用いた複数番組の統計多重による提供や放送と通信のトラヒックのネットワーク利用率を用いることなど、必要な帯域や利用できる伝送帯域が動的に変化することを踏まえ、統計的な考え方を考慮することについては、現状においては、IP ネットワークの状況や統計的な考え方を具体化した帯域の算出方法等が十分に整理されていないことから、今後の検討課題とすることが適当である。

(4) IP 技術の進展に応じた技術的条件等の見直し

IP 技術の技術革新の進展が急速であることを踏まえ、受信者のニーズやケーブルテレビ事業者等の設備の更新等の時期をとらえ、既存又は新規の技術を検討し、IP 放送として実現性の高い伝送方式やより効率的な IP ネットワーク利用技術の導入に向け、IP マルチキャスト方式以外の IP 伝送を含め、導入に必要な技術や方式を検討し、適時に技術的条件の見直しを行うことが適当である。

6.2 国際標準化、技術開発に関する課題

(1) IP 放送に関する国際標準化に向けた取組

IP 放送については、既に多くの成果が ITU 等の国際標準に盛り込まれているが、本報告の検討結果を踏まえ、特に IP 放送に係る設備のグローバルな調達や展開が可能となるよう、引き続き、必要な検討を加えたうえで、ITU 等に働きかけ、勧告の改訂等を行っていくことが必要である。

(2) 地域 BWA、23GHz 帯無線伝送システム等の無線システムを利用した IP 放送

に係る検討

ケーブルテレビのサービスは、近年、有線のみならず、無線システムも活用して行われるようになってきている。したがって、ケーブルテレビのネットワークの一部として利用される無線システムについては、既存の RF 方式による放送に加え、IP 方式による放送にも柔軟に対応できるよう技術基準の見直しが必要なことから、継続的に技術的な検討を行い、適時に技術的条件の見直しを行っていくことが必要である。

6.3 有線一般放送の技術的条件全般に関する課題

サービス可用性に関する技術的条件については、既存の制度の下で、ケーブルテレビ事業者等に対し、安全・信頼性の確保、有線一般放送の品質適正性の確保等を目的とした技術基準への適合性等に関する報告義務や総務省の職員による立入検査の権限があることを踏まえ、これまでの有線一般放送の業務の実施状況も踏まえれば、必ずしも必要とは考えられないと結論付けた。

しかしながら、ネットワークの高度化、広帯域化に伴い、ケーブルテレビのサービスは多様化が進んでおり、IP 放送のような放送と通信のネットワークの共用化のみならず、有線と無線の様々なシステム間においても、相互の関係が複雑化している状況を鑑み、毎年の報告内容の見直しや技術的条件の見直し等、必要な技術的、制度的措置を講じていくことが必要である。

参考資料

- 参考資料 1 「IP 放送伝送品質実証実験報告書」((一社) 日本ケーブルラボ、2018 年 7 月)
- 参考資料 2 「デジタル有線テレビジョン放送用受信装置における 256QAM 方式信号の CN 比試験報告書」((一社) 日本 CATV 技術協会、2016 年 10 月)
- 参考資料 3 「規格書 STD-007-6.2 256QAM CN 比検討 (STB 入力信号分配回路の有無による所要 CN 比の検討)」((一社) 日本 CATV 技術協会、2018 年 6 月)
- 参考資料 4 「4K・8K 時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方等に関する研究会報告書」(2018 年 6 月)
- 参考資料 5 ITU-T 勧告 J.241(Quality of service ranking and measurement method for digital video services delivered over broadband IP networks)(ITU、2005 年 4 月)
- 参考資料 6 ITU-T 勧告 Y.1540(Internet protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters)(ITU、2011 年 12 月)(省略)
- 参考資料 7 ITU-T 勧告 Y.1541(Network performance objectives for IP-based services)(ITU、2016 年 6 月)(省略)
- 参考資料 8 RFC 5771(IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments)(IETF、2010 年 3 月)
- 参考資料 9 RFC 4291(IP Version 6 Addressing Architecture)(IETF、2006 年 2 月)
- 参考資料 10 「デジタル放送における映像符号化、音声符号化及び多重化方式標準規格」(ARIB STD-B32 3.10 版)(抜粋)((一社) 電波産業会、2018 年 4 月)
- 参考資料 11 「IPTV 規定 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信運用規定(IPTVFJ STD-0005 1.4 版)」第零編、第 6 編、第 7 編(抜粋)((一社) IPTV フォーラム、2017 年 7 月)

IP 放送伝送品質実証実験報告書

2018年7月24日

日本ケーブルラボ

Japan Cable Laboratories

目次

| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 1 | 本書について | 5 |
| 2 | 実験実施の背景と前提 | 6 |
| 2.1 | 省令としての技術基準 | 6 |
| 3 | メンバー構成 | 7 |
| 4 | 実証実験の前提 | 7 |
| 4.1 | IP 放送の定義 | 7 |
| 4.2 | RF 方式との関係 | 8 |
| 4.3 | 省令の適応範囲 | 9 |
| 4.3.1 | 入力信号と伝送路についての考え方 | 9 |
| 4.3.2 | 棟内環境についての考え方 | 10 |
| 4.3.3 | 宅内環境についての考え方 | 10 |
| 4.4 | 研究会での技術品質基準の考え方 | 10 |
| 4.5 | 参照すべき品質や測定に関する文書 | 10 |
| 4.5.1 | ITU-T 勧告 J.241 | 10 |
| 4.5.2 | ITU-T 勧告 Y.1541 | 12 |
| 4.5.3 | IPTV 規定 STD-0004、0005、0009 | 12 |
| 4.6 | 各要素の定義 | 12 |
| 4.6.1 | パケット損失 (IP Packet Loss) | 12 |
| 4.6.2 | 遅延 (Latency) | 13 |
| 4.6.3 | 揺らぎ (Jitter) | 13 |
| 4.6.4 | 遅延と揺らぎの測定基準 | 13 |
| 5 | 実験の目的と机上検討 | 14 |
| 5.1 | 実験の目的と呼称 | 14 |
| 5.2 | 物理層品質と IP 層の関係性 | 14 |
| 5.3 | 物理層品質とトランスポート層の関係性 | 15 |
| 5.4 | IP 層品質と映像品質の関係性 | 16 |
| 6 | 実証実験要件 | 17 |
| 7 | 実験環境 | 18 |
| 7.1 | 物理層実験環境 | 18 |
| 7.2 | IP 層実験環境 | 19 |
| 7.3 | 優先制御 | 19 |
| 7.3.1 | FTTH における優先制御 | 19 |
| 7.3.2 | HFC における優先制御 | 20 |
| 7.4 | 実験データと計測時間 | 22 |

| | | |
|--------|-------------------------------|----|
| 7.4.1 | 実験データ | 22 |
| 7.4.2 | BER 計測時間 | 22 |
| 7.4.3 | PLR 計測時間 | 23 |
| 7.4.4 | データ量の想定 | 24 |
| 7.4.5 | 前方誤り訂正(FEC)について | 24 |
| 8 | 実施結果 | 25 |
| 8.1 | FTTH の物理層実験結果と見解 | 25 |
| 8.1.1 | 優先制御の確認 | 25 |
| 8.1.2 | 机上検討と実験結果の違い | 25 |
| 8.1.3 | 受光パワーの計測と結果 | 25 |
| 8.2 | FTTH の IP 層実験結果と見解 | 29 |
| 8.2.1 | パケット損失の計測と結果 | 29 |
| 8.2.2 | パケット遅延と揺らぎの計測と結果 | 31 |
| 8.3 | HFC の物理層実験結果と見解 | 32 |
| 8.3.1 | QoS の確認 | 32 |
| 8.3.2 | 机上検討と実験結果の違い | 32 |
| 8.3.3 | CN の計測と結果 | 32 |
| 8.4 | HFC の IP 層実験結果と見解 | 36 |
| 8.4.1 | パケット損失の計測と結果 | 36 |
| 8.4.2 | パケット遅延と揺らぎの計測と結果 | 37 |
| 8.5 | アクセス網における優先制御の考え方 | 37 |
| 8.6 | パケット遅延と揺らぎが映像に与える影響 | 38 |
| 8.7 | パケットの揺らぎと STB のバッファ量 | 43 |
| 8.7.1 | 想定するパケット揺らぎのパターン | 43 |
| 8.7.2 | IP 放送対応受信機の構成 | 44 |
| 8.7.3 | パケットの揺らぎと受信機のバッファ使用量の関係 | 45 |
| 8.8 | パケット損失率が映像に与える影響 | 47 |
| 8.8.1 | パケット損失率と主観画質について | 47 |
| 8.8.2 | パケット損失が映像に与える影響 | 48 |
| 8.9 | パケット損失と FEC | 49 |
| 8.9.1 | Pro-MPEG FEC COP3 | 49 |
| 8.9.2 | Pro-MPEG 1D FEC | 49 |
| 8.9.3 | Pro-MPEG 2D FEC | 51 |
| 8.10 | 測定方法についての考察 | 52 |
| 8.10.1 | 実験環境における測定 | 52 |
| 8.10.2 | フィールドでの測定 | 52 |

| | | |
|----------|---------------------------|----|
| 8.11 | 宅内環境についての考察 | 59 |
| 8.11.1 | ホームゲートウェイ | 59 |
| 8.11.2 | 無線 LAN | 60 |
| 9 | エキスパートグループからの提言 | 63 |
| 9.1 | IP 放送に関する技術的条件とする値について | 63 |
| 9.1.1 | IP パケットの損失率 | 63 |
| 9.1.2 | IP パケットの遅延 | 63 |
| 9.1.3 | IP パケットの揺らぎ | 63 |
| 9.2 | IP 放送に関する技術的条件に係る測定方法について | 63 |
| 9.2.1 | IP パケットの損失率の測定 | 63 |
| 9.2.2 | IP パケットの遅延測定 | 63 |
| 9.2.3 | IP パケットの揺らぎ測定 | 64 |
| 9.2.4 | 測定点について | 64 |
| 10 | 今後の課題 | 65 |
| 10.1.1 | MMT・TLV に関する課題 | 65 |
| 10.1.2 | 測定に関する課題 | 65 |
| 10.1.3 | 宅内環境についての課題 | 65 |
| Appendix | | 66 |
| 1 | 参考資料（実験データ） | 66 |
| 2 | 実験手順 | 66 |
| 2.1 | 物理層実験 | 66 |
| 2.1.1 | 期待される実験結果 | 66 |
| 2.1.2 | 実験手順 | 66 |
| 2.2 | IP 層実験手順 | 72 |
| 2.2.1 | 期待される実験結果 | 72 |
| 2.2.2 | 実験手順 | 72 |
| 3 | 実験結果データ | 78 |

1 本書について

本書は IP 放送サービスを提供するにあたり、どのような技術的条件を満たせば安定的にサービス提供が可能かを検証する目的の実験報告書であり、先に開かれた総務省での「4K・8K 時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会」（以下研究会）及び情報通信審議会 情報通信技術分科会 放送システム委員会での「IP 放送作業班」（以下作業班）の議論を踏まえたうえで、仮説を提示し実証実験を行った結果をまとめたものである。

2 実験実施の背景と前提

2.1 省令としての技術基準

総務省が現在定めているケーブルテレビの一般放送の品質に関する技術基準には RF 方式に係る技術基準として有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令（以下品質省令）等があるものの、IP 放送については未策定であり品質省令には特定方式の技術基準として規定されていない。現在 IP 放送サービスを提供している事業者は、IPTV フォーラムの規格や日本ケーブルラボの運用仕様等に基づき、事業者毎に品質基準を設けている。総務省は、事業者からの申請に対して、品質省令の通則等に基づき、個別に審査を行っている状況である。IP 放送事業に新規参入する後発事業者が登録を受けるための技術基準について明確な指針がない状態であり、技術基準が明確に定められていない点が参入を妨げているとみることもできる。新たに技術基準を設けるにあたって、どのような技術的条件が望ましいのか、どのような測定方法が適当なのかを検討する必要があり、合理的な技術的条件を採用することが求められる。特に研究会や作業班では「現状のサービスに大きな影響がないこと」つまり既存サービス事業者の立場の意見と「事業者にとって大きなコスト負担や運用負担にならないこと」など今後参入を予定している事業者の意見がある。技術的条件を定めるにあたってはこれらの意見を集約しつつ、合理的で且つケーブルテレビの放送品質を担保しうる技術的条件等として何が適切なのか、仮説を基にこれを実験によって明らかにする必要がある。

3 メンバー構成

(一社) 日本ケーブルラボでは検討にあたりエキスパートグループ (以下 EG) を設置した。EG メンバーは (一社) 日本ケーブルラボ会員の中から IP 放送に係る知識を有する者と今後運用に関わる可能性がある者から構成した。参加メンバーは以下のとおりである。

| | | |
|----|-----------------------------|--------|
| 1 | NTT エレクトロニクス (株) | 篠原 稔 |
| 2 | NTT エレクトロニクス (株) | 横川 豊和 |
| 3 | SCSK (株) | 久保 智 |
| 4 | 沖電気工業 (株) | 上田 剛弘 |
| 5 | KDDI (株) | 河村 圭 |
| 6 | (株)KDDI 総合研究所 | 佐々木 力 |
| 7 | ケーブルテレビ徳島 (株) | 佐々木 治之 |
| 8 | ケーブルテレビ徳島 (株) | 岩佐 達矢 |
| 9 | (株) ケーブルネット鈴鹿 | 井ノ上 健太 |
| 10 | (株) コミュニティネットワークセンター | 小宮山 宏 |
| 11 | シスコシステムズ合同会社 | 川島 誠一 |
| 12 | ジャパンケーブルキャスト (株) | 寺島 広道 |
| 13 | ジャパンケーブルキャスト (株) | 山瀬 直人 |
| 14 | (株) ジュピターテレコム | 上園 一知 |
| 15 | 住友電気工業 (株) | 近藤 利徳 |
| 16 | テクニカラーパイオニアジャパン (株) | 渡辺 聡司 |
| 17 | (一社) 日本ケーブルラボ | 猪俣 亮 |
| 18 | 日本デジタル配信(株) | 五十嵐 貴光 |
| 19 | 日本放送協会 | 倉掛 卓也 |
| 20 | パナソニック システムソリューションズジャパン (株) | 影山 光宏 |
| 21 | HUMAX(株) | 青山 泰忠 |

4 実証実験の前提

4.1 IP 放送の定義

研究会では IP 放送を 管理された IP ネットワークを利用した IP マルチキャスト方式による通信であって、放送法における放送に該当するものと定義している。 IP 放送では、地上基幹放送、衛星基幹放送の再放送や自主放送等を行い、一般的に OTT(Over The Top)と呼ばれるインターネットによるデジタルビデオ配信は含まれていない。

4.2 RF方式との関係

研究会では「電波による放送やRF方式による放送の伝送品質と同等程度で柔軟性の高い技術基準を検討することが適当」としており、具体的に考慮する点は主に「入力信号の品質の確保」、「伝送路上での信号品質の劣化への対処」、「STB(Set Top Box)への入力信号品質の確保」の3点である。なおRF方式では品質基準値という点においてはHE(Headend)への入力信号が確保すべき品質、受信者端子で確保すべき品質等が定められている。HEへの入力については、例えば、復調後(誤り訂正前)のビット誤り率BER(Bit Error Ratio)について、衛星基幹放送では「 $BER \leq 1 \times 10^{-8}$ 」、地上基幹放送では「 $BER \leq 1 \times 10^{-4}$ 」であり、受信者端子においては、復調後(誤り訂正後)のBERについて、「 $BER \leq 1 \times 10^{-11}$ 」を前提として受信者端子における技術基準が定められている。

研究会で提示された「RFの伝送品質と同等程度」という考え方についてはEG内で議論を重ねた結果、元来伝送方法の違うRF方式とIP方式という特性上、数式的な観点では全く同じ品質を特定するのは困難という結論に至った。つまり、 $BER = 1 \times 10^{-11}$ を後述する数式に従ってPER(Packet Error Rate)に変換することで $PER = 1 \times 10^{-7}$ を得ることはできるが誤りとなるビット数としては同一ではないという意味においてである。よって、EGとしての解釈はRF方式で示されている品質は、設定されたビットレートに対する時間単位における誤り発生回数を指しているもので、これと同等のビットレートにおいて時間単位における誤り発生回数をIPネットワークの伝送路上で得られればRF方式の品質と同等であると定義した。

4.3 省令の適応範囲

研究会では品質省令(強制規格)の適応範囲を図 4-1 のとおりに想定しており、伝送路の品質を規定しようとしていることを明確化している。

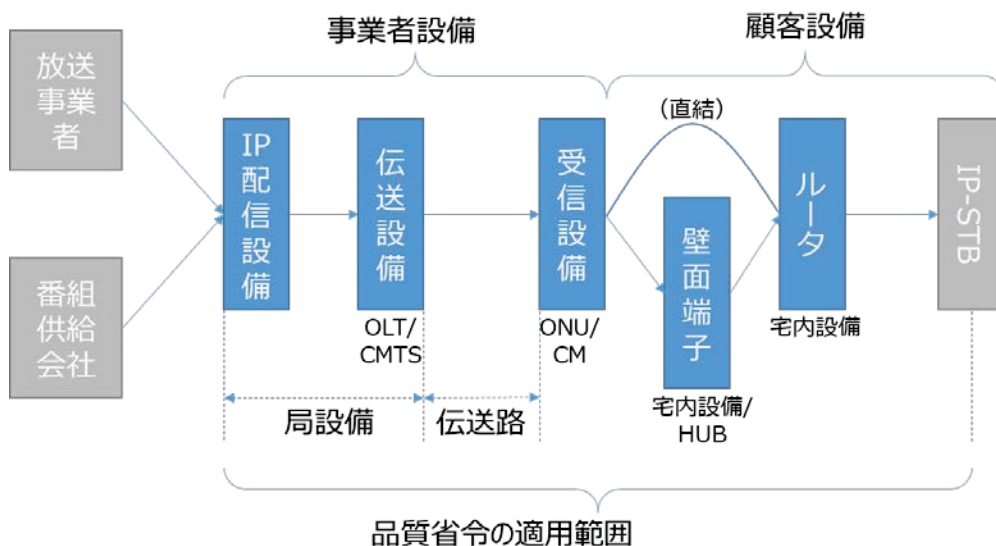


図 4-1 品質省令の適応範囲図

4.3.1 入力信号と伝送路についての考え方

入力信号とはアンテナなどの設備によって放送を受信し、これを復調した状態の放送波を指す（OFDM や IF）場合とそこから TS(Transport Stream)を取得した場合の信号を指しており、4.2 で記載した信号の品質値はこれを規定している。同じ入力信号である以上この条件は IP 放送であっても同様と考えられる。

研究会ではケーブルテレビ事業者が「中継網」および「アクセス網」において帯域を確保する点に触れており、どちらも伝送路設備として考えられている。IP 放送におけるサービス事業者がどのような形態の伝送路を構築するのかは事業者の裁量に委ねられており、当該品質基準値における伝送網とは HE から中継網を経てアクセス網へ至り、そこから STB へ到達することを前提とする。ただし、これらの網は管理されているという定義も重要な要素であり、すなわち優先制御されていることも前提となる。

中継網とは一般的にアクセス網同士をまたぐ場合や、ある一定のネットワーク領域を相互に接続する、もしくは事業者間の接続において利用されるものを指し、電氣的なスイッチまたはルータによって構成される部位を指して中継機器とする。また、アクセス網とは FTTH(Fiber To The Home)や HFC(Hybrid Fiber Coaxial)

と呼ばれる伝送方法で前者の場合 PON(Passive Optical Network)による光伝送技術があり、後者は DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specifications)と呼ばれる同軸線を介した伝送技術がある。本書ではこの両方の伝送方式を実験の対象としている。

4.3.2 棟内環境についての考え方

FTTH においては集合住宅などの設備で棟内共用スペースまで光化され、そこから各戸までは VDSL により伝送されている場合や管理組合が保有する既設の設備等ケースがあるが、これはサービス提供事業者が自身では管理できない機器装置が存在しうることを示唆している。測定方法や基準値などはこれらを考慮する必要がある。

4.3.3 宅内環境についての考え方

ONU(Optical Network Unit)または DOCSIS の CM(Cable Modem)から STB の間は Ethernet ケーブルで直結される場合もあるが、ルータやハブなどで分配されるケースが多くあり、これらの機器は棟内環境と同様、サービス提供事業者が管理できない機器装置である場合がある。よって棟内同様に宅内の環境を考慮して測定方法や基準値を実験実証する必要がある。

4.4 研究会での技術品質基準の考え方

研究会では伝送品質として「受信者端子において実質的に誤りを生じない技術的条件（パケット損失率・遅延・揺らぎ）の在り方」と「技術基準に適合していることを実用的に確認できる適切かつ 合理的な測定方法」の2項目に言及されている。

4.5 参照すべき品質や測定に関する文書

4.5.1 ITU-T 勧告 J.241

ITU-T 勧告 J.241(Quality of service ranking and measurement methods for digital video services delivered over broadband IP networks)は、デジタルビデオにおける測定と品質について言及された文書である。この中で HE(Headend) から CPE(Customer Premises Equipment)(STB)における IP レイヤ の計測と計測項目が影響を与える部位を解説している。研究会で言及された IP パケットの損失率・遅延・揺らぎについては表 4-1 の様に纏められている。

表 4-1 ITU-T J.241 C.3.1 Parameters より抜粋

| Parameter | Equipment | Motivation | Monitoring method |
|-------------------|--|--|--|
| Packet loss ratio | CPE(STB) | Image quality, video information loss estimation | In service or through test streams with RTP/RTCP or sequence numbers available on packet header. Periodic PLR summary. Reports with one-minute resolution. Measurement of PLR requires analysis of a number of packets at least 10 times greater than the number related to the target PLR value. This determines the rate at which the PLR is reported. |
| Network latency | Test probe at user side, within CPE (STB) or as close as possible to user access link. | Smooth play-out | Test stream |
| Jitter | CPE (STB) | Smooth play-out | In service or through test streams with RTP/RTCP or timestamps available on packet header. |

なお、遅延(latency)および揺らぎ(jitter)については次のような言及がある
「Latency and jitter values may vary according to specific multimedia service characteristics, such as interactivity, and according to the size of the de-jitter buffer and of the play-out delay employed at the CPE (STB) side.」このように IP パケットの損失率は映像品質に影響するものであり、パケットの遅延およびその揺らぎは STB のバッファによって吸収されるべき問題であり、映像の再生開始時間に影響することが判る。

IP 放送サービスでは、放送の受信から送出までの間にもパケットの遅延や揺らぎが発生する余地があり、伝送路上にもマルチキャストの分配を行うルータでパケットの損失や遅延が発生する要素がある。これらを全く排除することはかなわず、STB としてはこれらを想定して設計されるものと考えられる。

4.5.2 ITU-T 勧告 Y.1541

ITU-T 勧告 Y.1541(Network performance objectives for IP-based services)は、同 J.241 からも参照されており、ネットワークの QoS を定義しており、この中でビデオサービスの QoS Class を 4 (低い値) と定義している。ただし、ここでのビデオサービスはオンデマンドビデオのような OTT サービスを指しており、この値が適当ではない可能性もある。また VIII.3.4 には放送事業者などを対象とした MPEG-2 TS に関する誤り/損失のレートが例示されており、FEC(Forward Error Correction)についても言及がある。なお、QoS Class 4 の IPLR (IP packet Loss Ratio) は 1×10^{-3} で IPER (IP packet Error Ratio) は 1×10^{-4} と定義している。

4.5.3 IPTV 規定 STD-0004、0005、0009

IPTV フォーラムでは IPTV 規定として、IPTVFJ STD-0004(IP 放送仕様)、0005(地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信運用規定)および 0009(BS デジタル放送 IP 再送信運用規定)においてパケット損失を考慮した FEC に関する規定がある。その中で FEC を搭載する場合、Pro-MPEG FEC Code of Practice #3 release2(Pro-MPEG FEC COP3)を推奨している。また、ジッタ(揺らぎ)の許容性能については同運用規定において 100msec 以下を推奨値、300msec 程度を当面の許容値としている。

4.6 各要素の定義

4.6.1 パケット損失 (IP Packet Loss)

パケット損失は、IP ヘッダや UDP(User Datagram Protocol)ヘッダのチェックサムで誤りと判断された場合や Ethernet のフレームチェックシーケンス (FCS: Frame Check Sequence) による誤りによってフレーム内容が消失していると判断された場合に、パケットが破棄されることを指す。パケット損失を終端装置で見た場合、FCS によって NIC (Network Interface Card) が破棄したものか、アクセス網の最終段で ONU や CM(Cable Modem)がチェックサムの誤りで破棄したものか、もしくは途中経路上のルータが破棄したものかは判断できない。ここで定義するパケット損失とは送出されたすべてのパケットに対する終端装置である IP-

STB 内で RTP(Real-time Transport Protocol)のストリームからペイロードを取り出す前段階で、何かしらの理由によって破棄された全てのパケット数の割合とする。

4.6.2 遅延 (Latency)

ここで定義するパケットの遅延とはデータが送信元サーバから送り出された送出時間 (RTP タイムスタンプ) と終端装置における受信時間との差を指し、伝送経路上のルータなどでバッファされた場合や経路切り替えなどでパケットの伝達に時間を必要とすることなどにより発生する。なお、エンコーダ内部で RTP のパケットにスタンプされた時間は、伝送経路上に配信される時点で既に遅延をはらんでいるが、ここでは伝送経路上に配信されてから終端装置にてパケットが受信される範囲である。また、RTP のシーケンス順が正順とは異なって終端装置に到達する場合も終端側で遅延とみられることがあり、単にフラグメンテーションした IP の復元というよりも、RTP のシーケンスに影響することを指す。

現状の IPTV 規定では TS(Transport Stream)にタイムスタンプが付与された TTS(Time-stamped Transport Stream)の場合、RTP のタイムスタンプを無視して TS を再構築する運用仕様となっているが、ここでは RTP のタイムスタンプを参照して実験を行う。

4.6.3 揺らぎ (Jitter)

ここでの IP パケットの揺らぎとは遅延の一種であり、遅延時間の最大値があるとするならばその閾値内で到達時間に早い遅いの間隔があることを指す。この間隔は一定ではなく、揺らぎがある場合は RTP の到着シーケンス順がバラバラになると考えられる。

4.6.4 遅延と揺らぎの測定基準

本実験では測定器に到達するパケットの平均遅延時間を遅延と定義し、遅延の内最悪の値を揺らぎの値とする。

5 実験の目的と机上検討

5.1 実験の目的と呼称

実証実験では 2 つの仮説を検証することを目的とする。一つ目は物理層の品質要因が IP 層に影響を与えうるのか、また相関関係があるのかを実験するもので、これを「物理層実験」と呼ぶ。もう一つは IP 層の品質が最終的に映像品質に影響しうるのか、また相関関係があるのかを実験するものでこれを「IP 層実験」と呼ぶ。それぞれの実験において設定した項目との相関及び閾値が妥当であることを実証し、伝送品質に関する技術的条件の策定に資する。

5.2 物理層品質と IP 層の関係性

現在の品質省令における技術基準として 64QAM(Quadrature Amplitude Modulation)の変調方式による場合、入力信号の条件として、地上基幹放送は $BER=1 \times 10^{-4}$ 以下、衛星基幹放送は $BER=1 \times 10^{-8}$ 以下と規定しており、受信者端子における規定は搬送波の雑音レベル比が 26dB 以上としている。これは入力信号が伝送路上で劣化しなければ、STB への入力時点で CN 比(Carrier to Noise Ratio)を制御することで結果的に BER の値を制御しうるということであり、CN 比と BER の間には相関関係が成り立つことを示している。

品質省令に規定された RF 方式と同様に考えた場合、入力信号の条件は同様であるため考慮すべきは受信者端子 (STB) の入力となるが、BER の値を 1×10^{-11} としてパケット誤り率 PER(Packet Error Ratio)の値は、Packet size (P) と BER(Bit Error Ratio)から値を求めることができる。

$$PER = 1 - (1 - BER)^P$$

IP 放送のパケットサイズを 188 (TS のパケットサイズ) \times 8 (ビット長) \times 7 (IP に収納されている TS のパケット数) として PER の値を以下のとおり求める

$$PER = 1 - (1 - 1 \times 10^{-11})^{(188 \times 8 \times 7)} \approx 1 \times 10^{-7}$$

STB に入力される IP 放送のパケット誤り率 (PER) が 1×10^{-7} であって、受信者端子に至るまでの伝送路でこれよりも低い誤り率を保てるのであれば受信者端子での入力値は結果的に BER が 1×10^{-11} であると仮定する。このとき、伝送路が GE-PON であれば、規格上 BER は 10^{-12} であり入力信号よりも誤り率が低い。仮に図 5-1 の測定点 a から測定点 b の間の伝送路が PON のシステムのみであった場合、b の受光パワーが規格を満たしているとき、理論上は ONU から出力される

信号が入力時よりも劣化することがないと言えるため、受信者端子への入力も担保しうる可能性がある。また、a と b の間に PON 以外の伝送路があった場合でも、OLT への入力信号が $PER=1 \times 10^{-7}$ であれば同じことがいえる。

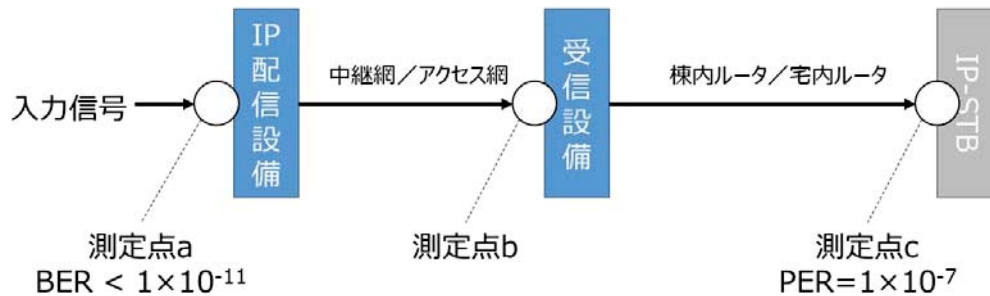


図 5-1 入力信号の BER と STB の入力信号の PER の関係

この方式は誤りを検知する必要があるが、ONU の出力では既に誤りのあるパケットが破棄されている点に問題がある。つまり、ONU の出口で検知しえるのは既に破棄されたパケットの損失という状態であり、誤りという形では検知できない。

5.3 物理層品質とトランスポート層の関係性

入力された放送波は復調後に MPEG-2 TS の TS パケットを抽出され、場合によってはタイムスタンプを付与された後、RTP パケットに格納される。またその後段では UDP ストリームとして配信される。仮に、UDP に格納された RTP パケット及び TS パケットが放送波の品質状態を保っているとして、受信者端末まで到達した場合、UDP のペイロードにあるビット誤りを見ることで入力信号と同等の品質を保っているかを検証することができる。

実験では試験信号として UDP のペイロードにランダムなビットを書き込み、これを配信と受信で比較することでビット誤りを測定する。また、このときの伝送路の品質状態と UDP の BER に相関性があれば伝送路品質によって UDP ペイロード（映像コンテンツ）の品質を担保することと規定することが可能である。

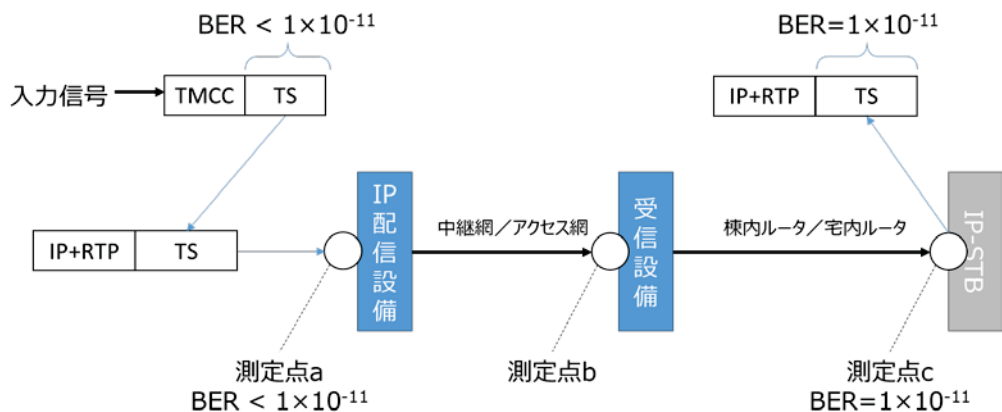


図 5-2 入力信号の BER と UDP の BER

また、UDP のヘッダにはチェックサムが付加されており、これをもってフレームの破棄を検知することができる。つまりパケット損失としてカウントすることもできるため、5.4 の映像品質との関係性実験にも利用可能である。

5.4 IP 層品質と映像品質の関係性

前述の BER と PER の関係とは違い、入力信号の BER と受信者端子で検知しえる IP パケット損失には直接的な関係性は証明できない場合がある。つまり、ビット誤りが頻発し、IP ヘッダのチェックサム誤りによる損失につながる場合に起きる経路上の IP パケットの損失だけではなく、中継網での輻輳や経路切り替えなど、何らかの要因によってパケットが破棄される場合や、STB への IP 到達遅延が結果としてパケットの破棄と同等の結果となる場合があるという意味で、BER と PER の関係ほど単純ではない。IP 層の品質実験はこういったネットワーク環境の複雑性を考慮し、何らかの要因でパケットが損失または遅延したと仮定して、これが映像品質にどのような影響を与えるのかを検証する。

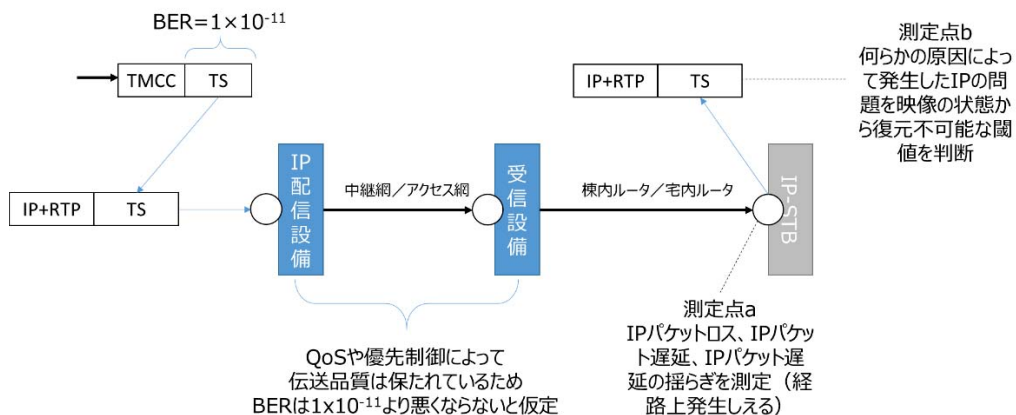


図 5-3 パケット損失と遅延と揺らぎ

ただし、伝送路の品質を保つための技術的基準を定めるにあたっては優先制御における値を検討する必要があるため GE-PON であれば LLID(Logical Link Identifier)の値であり、L3(Layer 3)スイッチや DOCSIS であれば QoS(Quality of Service)の値を検討し IP パケットの損失を防ぐための指標とする。

映像品質については MPEG-2 TS の符号的な誤りを検知することで正常、非正常を判断するため、STB 内で RTP から取得した MPEG-2 TS の正常性(コンプライアンス)を確認することになる。結果として映像品質の正常性を認められれば伝送路上で誤りが発生しなかった、もしくは誤り訂正によって復元可能な状態程度に損失していたということになり、パケットの状態から状況的に伝送路品質が担保されていたことを推測することが可能かを検証する。

6 実証実験要件

実証実験の要件を以下のとおりとする。

| No. | 要件 | 備考 |
|-----|--|--|
| 1 | RF 方式による放送の伝送品質と同等程度で柔軟性の高い技術基準を検討するための実験結果を提示すること | 具体的に考慮する点は主に「入力信号の品質の確保」、「伝送路上での信号品質の劣化への対処」、「STB への入力信号品質の確保」 |
| 2 | 実際のサービスネットワークを模し、可能な限り現状の機器構成に準ずること | 特殊な仕様の機器を排除し、実サービスで利用されている機器を使用する等 |
| 3 | 実フィールドにおいて検証可能な測定であること | 現実的な測定基準であり、容易に入手可能な測定機器を利用すること |
| 4 | 測定の結果、品質を担保する技術的な値が判断できるものであること | 特になし |
| 5 | 測定において伝送の品質劣化が映像品質に影響することを証明し、またその改善も影響する相関を証明すること | 特になし |

7 実験環境

7.1 物理層実験環境

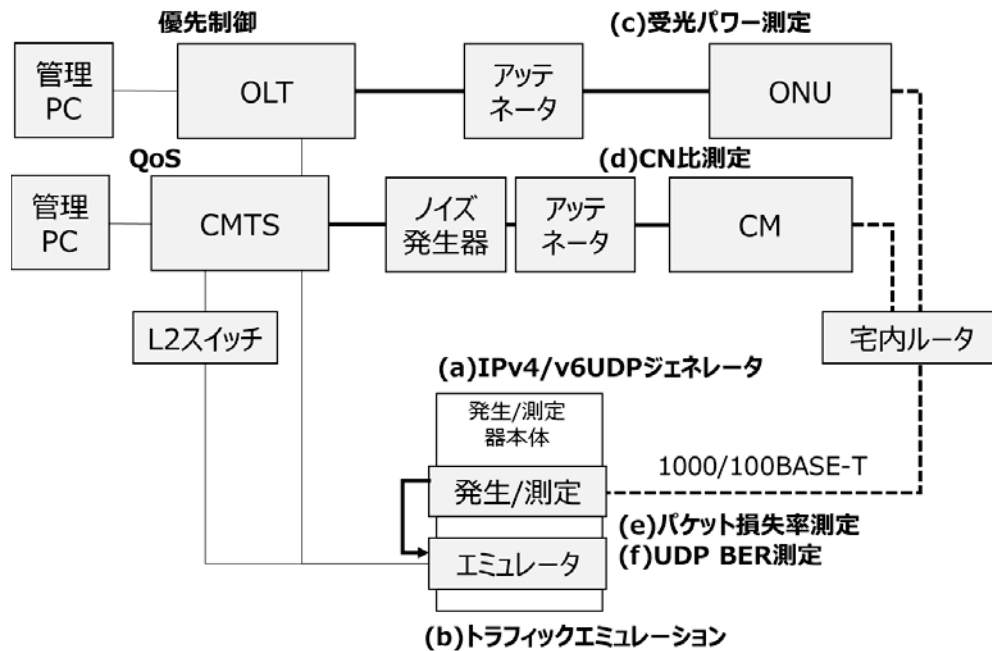


図 7-1 物理層実験環境

(a)の測定器のUDPジェネレータによって発生したUDP/IPストリームを(b)のエミュレータに入力してトラフィックに負荷をかける。ここでは中継網以上で発生しえる伝送路の状態を模ることが想定される。次にエミュレータから出力されたストリームは伝送装置に送られる。FTTHのアクセス網を模したOLTとONU間は優先制御を施し、UDP/IPの帯域を確保する。同様にHFCのアクセス網を模したCMTS(Cable Modem Termination System)とCM(Cable Modem)の区間はQoSを設定し、帯域を確保する。アクセス網はそれぞれ(c)受光パワーと(e)CN比を測定する。ONUとCMから出力されたUDP/IPは宅内環境を模したルータなどを経て測定器へ入力される。測定器では(e)パケット損失(f)UDPのBERを測定し、確認する。

7.2 IP 層実験環境

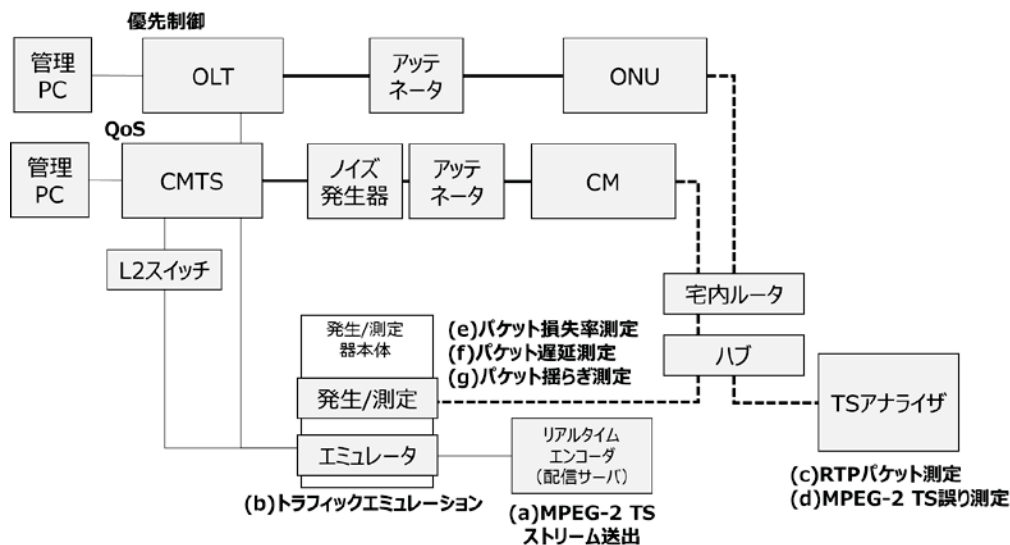


図 7-2 IP 層実験環境

(a)のリアルタイムエンコーダ（配信サーバ）によって発生させた MPEG-2 TS の RTP ストリームを(b)のエミュレータにて変化を加える。主な変化パラメータは IP パケットの欠損、IP パケットの遅延、IP パケットの遅延揺らぎである。ここでは中継網以上で発生しえる伝送路の状態を模することが想定される。FTTH のアクセス網を模した OLT と ONU 間は優先制御を施し、UDP/IP の帯域を確保する。同様に HFC のアクセス網を模した CMTS と CM の区間は、QoS の設定を行い、帯域を確保する。ONU と CM から出力された UDP/IP は宅内環境を模したルータなどを経て測定器へ入力される。(c)RTP 及びペイロードの(d)MPEG-2 TS の TS ストリームを TS アナライザで測定する。また、(e)パケット損失、(f)パケット遅延、(g)パケット遅延揺らぎを測定器で測定する。

なお、音声や映像などのデータストリームを伝送する RTP(Real-time Transport Protocol)は IPTV フォーラム等の規格でも採用されており、一般的に普及しているプロトコルである。

7.3 優先制御

7.3.1 FTTH における優先制御

GE-PON における優先制御は、ToS(Type of Service)によるクラシフィケーション及び最低帯域保障により行う。IP 放送を想定した UDP(RTP)/IP ストリームは ToS=5 に設定し、GE-PON の LLID (Logical Link ID) =1 に割り当て、負荷となる UDP/IP ストリームは ToS=0 に設定し、LLID=2 に割り当てる。さらに、最低保証帯域は、LLID1=100Mbps、LLID2=0Mbps（帯域保障しない）に設定する。

なお、今回の実験では優先制御機能の効果を確認するため、OLT~ONU 間の帯域をアグリゲートシェイパー(Aggregate Shaper)機能により 500Mbps に制限した。これにより、IP 放送ストリーム (ToS=5)=80Mbps、負荷ストリーム (ToS=0)=500Mbps の合計 580Mbps のストリームを流した場合、ToS=5 のストリームは帯域保障によりパケット損失が発生せず、ToS=0 の負荷ストリームは残り帯域の 420Mbps だけ伝送され、80Mbps 分は破棄される。

7.3.2 HFC における優先制御

今回 HFC ネットワーク環境における実験で使用した CMTS (Cable Modem Termination System) と CM (Cable Modem) は CableLabs®の DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specification)3.1 仕様に準拠したもので、DOCSIS3.1 の1つ前の仕様である DOCSIS3.0 仕様からは複数の搬送波を使用して下りの帯域拡張を行うチャンネルボンディングとマルチキャストに対する QoS 機能が実装されている。今回の実験においても、そのマルチキャストに対する QoS 機能を使用して、マルチキャストに対する優先制御を適用した上で実験を実施した。

DOCSIS3.0 での QoS 機能については DOCSIS3.0 仕様書の1つである“MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification” (CM-SP-MULPIv3.0-C01-171207) のセクション 7.5.8 QoS Support for Joined IP Multicast Traffic に記載されており、その概要は以下のとおりである。

- (1) QoS を適用するマルチキャストの識別/設定方法
- (2) QoS を適用するマルチキャストトラフィックの CMTS からの伝送方法
- (3) 動的に QoS を適用するための IGMP/MLD を利用した CMTS—CM 間でのシグナリング方法
- (4) QoS を適用するマルチキャストトラフィック以外のマルチキャストトラフィックの取り扱い方法

DOCSIS 仕様においては、サービスフロー (SF) と呼ばれる論理的な伝送パイプを規定しており、そのサービスフロー毎に QoS を適用することが出来るようになっている。サービスフロー毎に優先順位や最大伝送帯域幅等の設定を行うことが可能となっており、トラフィック (パケット) のサービスフローへの振り分け (割り当て) はクラシファイヤーと呼ばれるパケット識別により、IP アドレスやそのレンジ、TOS ビットの設定内容等で優先順位を決めたそれぞれのサービスフローにトラフィックの振り分けを行うことができるようになっている。

DOCSIS2.0 まではユニキャストのみにこの仕組みが適用されていたが、

DOCSIS3.0からマルチキャストについてもグループサービスフローという概念を導入し、同様な QoS の適用が動的な帯域割り当てとともに行われるようになった。

今回の実験においては、以上の仕様に従ったマルチキャストの優先制御を以下の設定の下で QoS の適用を行った。

- A. 実験で使用するマルチキャストグループアドレスへのみ優先制御が行われるように設定。優先制御は特定のマルチキャストグループアドレスもしくはレンジに対して設定可能。優先制御をかけるマルチキャストの間で最大 256 段階の重み付け設定を行うことも可能。(今回の実験では未使用)
- B. 優先制御を行うマルチキャストグループアドレスに対する上限帯域幅 = 200Mbps、下限帯域幅 = 1Mbps に設定。

マルチキャストに対する優先的な帯域割り当ては、マルチキャストを受信（リスン）する CPE（IP-STB 等）からの IGMP/MLD ジョイン(JOIN)により動的に行われ、マルチキャストが伝送されている期間は維持される。視聴が終わると IGMP/MLD のリーブ(LEAVE)、もしくはタイムアウトで帯域割り当ては削除されるため、該当するマルチキャストが伝送されていない時間は他のトラフィックで帯域を共有することが可能となっている。

上限帯域幅の設定については、当初 100Mbps と設定していたが、8.6.2 で記載のとおり、パケットの揺らぎをエミュレータで最大 500msec 加えた際に最大 200Mbps 程度のバースト的なマルチキャストストリームが CMTS に入力され、CMTS から出力される際に 100Mbps の上限設定速度を超えたことからパケットシェーピングが行われた。このとき、IP-STB で正しく再生できないことが確認されたため、バースト上限に近い 200Mbps の上限帯域幅を設定して実験を行った。

8.3.1 に記載のとおり、今回の実験は下り QAM 搬送波を 8 波ボンディングし、実質的な伝送可能なペイロード帯域としては 280Mbps であるため、IP 放送相当のマルチキャストストリームを 80Mbps で流している状態で、他のデータ通信トラフィックを想定したユニキャストトラフィックを 300Mbps で同時に流した場合、マルチキャストストリームは優先制御によりパケットの損失がなくネットワークアナライザに到達が確認され、ユニキャストトラフィックについては、

$$300\text{Mbps} - (280\text{Mbps} - 80\text{Mbps}) = 100\text{Mbps}$$

がネットワークアナライザで観測されれば、想定通りに DOCSIS3.0 仕様のマルチキャストに対する優先制御(QoS)が適用されていることを確認できる。

7.4 実験データと計測時間

7.4.1 実験データ

実験データとして以下のデータとビットレートを用いる

| No. | データ内容 | ビットレート | 備考 |
|-----|--------------|--------|--|
| 1 | UDP ストリーム ※1 | 12Mbps | 信号発生器から出力する UDP ストリームでペイロードにはランダムなビット列を格納する |
| 2 | | 30Mbps | |
| 3 | | 60Mbps | |
| 4 | | 80Mbps | |
| 5 | RTP ストリーム ※2 | 12Mbps | リアルタイムエンコーダから出力される RTP のストリームでペイロードに MPEG-2 TS を格納する |
| 6 | | 30Mbps | |
| 7 | | 60Mbps | |
| 8 | | 80Mbps | |

※1 UDP ストリームと記載しているが実際は RTP のパケットである。※2 のストリームと区別するために便宜的に記載している。

※1※2 ともにビットレートは TS のみのビットレートで FEC の容量を含まない。

なお、4K と 8K の映像音声もサービスとしては対象となるが、平成 30 年 6 月現在では TLV/MMT の IP 再放送運用仕様はなく、実験するためのデータ及び伝送方法はない。TLV/MMT のパケットは仕様上 Ethernet の規定パケットサイズを超える可能性があるが、一般的な機器設備をパケットが通過することを考慮すると Ethernet の規定パケットサイズに収まることが推測される。その場合、UDP のペイロード構造が MPEG-2 TS と違うという課題が残るが、実験において検知しえるデータである必要から、この問題は本実験の対象外とする。

7.4.2 BER 計測時間

実験データの誤りを得る測定時間は、測定時間 t 、信頼度 c (Confidence Level)、ビット誤り率 b 、伝送速度 r として次の式によって定める。

$$t = -\frac{\ln(1-c)}{b * r}$$

BER の値を 1×10^{-11} とし、信頼度 c を 95% として計算した結果を以下の表にまとめる。

| No. | ビットレート | 測定時間 |
|-----|--------|---------------------|
| 1 | 12Mbps | 23807 秒 (6 時間 36 分) |
| 2 | 30Mbps | 9523 秒 (2 時間 36 分) |
| 3 | 60Mbps | 4761 秒 (79 分) |
| 4 | 80Mbps | 3571 秒 (60 分) |

7.4.3 PLR 計測時間

IP パケットの誤りを得る測定時間は、測定時間 t 、パケット誤り率 b 、映像のビットレート r 、パケット長 p として次の式によって定める。

$$t = b / (r / 8 / p)$$

誤り率を 1×10^{-3} から 1×10^{-7} として、ビットレートを 12Mbps から 80Mbps、パケット長を 1500 で計算した結果を表 7-1 にまとめる。

表 7-1 PLR 一覧

| No. | ビットレート | 誤り率 | 測定時間 |
|-----|--------|--------------------|------------------|
| 1 | 12Mbps | 1×10^{-3} | 1 秒 |
| 2 | | 1×10^{-4} | 10 秒 |
| 3 | | 1×10^{-5} | 100 秒 |
| 4 | | 1×10^{-6} | 16.7 分 (1000 秒) |
| 5 | | 1×10^{-7} | 2.8 時間 (166.7 分) |
| 6 | 30Mbps | 1×10^{-3} | 0.4 秒 |
| 7 | | 1×10^{-4} | 4 秒 |
| 8 | | 1×10^{-5} | 40 秒 |
| 9 | | 1×10^{-6} | 6.7 分 (400 秒) |
| 10 | | 1×10^{-7} | 1.1 時間 (66.7 分) |
| 11 | 60Mbps | 1×10^{-3} | 0.2 秒 |
| 12 | | 1×10^{-4} | 2 秒 |
| 13 | | 1×10^{-5} | 20 秒 |
| 14 | | 1×10^{-6} | 3.3 分 (200 秒) |
| 15 | | 1×10^{-7} | 33.3 分 (2000 秒) |
| 16 | 80Mbps | 1×10^{-3} | 0.2 秒 |
| 17 | | 1×10^{-4} | 1.5 秒 |

| | | | |
|----|--|--------------------|---------------|
| 18 | | 1×10^{-5} | 15 秒 |
| 19 | | 1×10^{-6} | 2.5 分 (150 秒) |
| 20 | | 1×10^{-7} | 25 分 (1500 秒) |

7.4.4 データ量の想定

当実験における背景データなどのデータ量を以下のとおり定義する。

| No. | ビットレート | ストリームの本数 | 備考 |
|-----------------|--------------|----------|-----------|
| 1 | 12Mbps (UDP) | 9+10 | 地デジ+BS 相当 |
| 2 | 6Mbps (UDP) | 51 | 自主放送相当 |
| 3 ^{※1} | 6Mbps (TCP) | 2 | OTT 相当 |

※1 宅内環境における動画視聴を想定する場合に使用する

7.4.5 前方誤り訂正(FEC)について

ビットレートについて7.4に記載のものはTSのペイロードにおけるビットレートであり、FECを含まない。なお、アプリケーションレイヤに係るFECは実験においてリアルタイムエンコーダによって付与されることを前提とする。

8 実施結果

8.1 FTTH の物理層実験結果と見解

8.1.1 優先制御の確認

計測器の UDP ジェネレータの送出設定を 80Mbps と 500Mbps の UDP の 2 ストリームとし、PON の設備を 7.3.1 のとおりに設定した。この状態で 80Mbps に設定した UDP ストリームが全量受信できていることを確認し、500Mbps に設定した UDP ストリームが損失として計測されていることを確認した。これは事前に想定した通りの結果である。

8.1.2 机上検討と実験結果の違い

机上検討 5.2 では UDP/RTP のペイロードにある TS パケットにビット誤りが発生すればこれを比較することを想定していたが、測定器で検知することができる状態はパケットの損失であり、ビット誤りではない。これは、途中経路上でビット誤りが発生した場合、ONU がチェックサム誤りと判断し IP パケットを破棄してしまうためである。なお、信号発生側でランダムなビット誤りパターンをペイロードに挿入する実験も行ったが、ビット誤りが発生した場合前述の理由でパケットが破棄されてしまうため、測定器が受け取った段階ではビット誤りではなくパケットの損失として検知される。そのため、本実験では測定する対象を BER から IP パケット損失率に変更した。

8.1.3 受光パワーの計測と結果

本実験では、現在商用で提供されているインターネット接続サービスのアクセス技術の主流である GE-PON (IEEE 802.3 ah) のうち 1000BASE-PX20 を対象とした。GE-PON の受信仕様は表 8-1 のとおりであり、1000BASE-PX20-U が D-ONU にあたる。

表 8-1 1000BASE-PX20 の受信仕様 (IEEE 802.3ah : Table 60-8)

| Description | 1000BASE-PX20-D | 1000BASE-PX20-U | Unit |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Signaling speed (range) | 1.25 ± 100 ppm | 1.25 ± 100 ppm | GBd |
| Wavelength (range) | 1260 to 1360 | 1480 to 1500 | nm |
| Bit error ratio (max) | 10^{-12} | | |
| Average receive power (max) | -6 | -3 | dBm |
| Damage threshold (max) | +4 | +7 | dBm |
| Receive sensitivity (max) | -27 | -24 | dBm |
| Receiver sensitivity OMA (max) | -26.2 (2.4) | -23.2 (5) | dBm (μ W) |

| Description | 1000BASE-PX20-D | 1000BASE-PX20-U | Unit |
|--|-----------------|-----------------|-------------------|
| Signal detect threshold (min) | -45 | -44 | dBm |
| Receiver reflectance (max) | -12 | -12 | dB |
| Stressed receive sensitivity (max) | -24.4 | -22.1 | dBm |
| Stressed receive sensitivity OMA (max) | -23.6 (4.3) | -21.3 (7.4) | dBm (μ W) |
| Vertical eye-closure penalty (min) | 2.2 | 1.5 | dB |
| T _{receiver_settling} (max) | 400 | N/A | ns |
| Stressed eye jitter (min) | 0.28 | 0.25 | UI pk-pk |
| Jitter corner frequency | 637 | 637 | kHz |
| Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max) | (0.05, 0.15) | (0.05, 0.15) | UI |

受信仕様ではビット誤り率が最大 10^{-12} とされており、これを満たすための各種項目が規定されている。光信号波のタイミングの時間軸方向の揺らぎの許容値は D-ONU 入力において 352(ps) 以下[IEEE 802.3ah : Table 60-10]であるが、D-ONU のフレーム復元処理において吸収されるため、出力信号のビット誤り率への影響は受信感度 (Receiver Sensitivity) が支配的である。そこで本実験における物理層実験として ONU 入力の受光レベルと出力の IP パケット損失率の相関性を検証する。

本実験に提供された試験機 D-ONU の製品仕様における許容受光レベルは-3~-25.5(dBm) (IEEE 802.3ah では-3~-24dBm)であることから、実験手順 (Appendix 2.1.2 参照) では受光レベルを-25.5(dBm)以下としたときの IP パケット損失率の測定を行った。

測定により得られた結果を表 8-2、図 8-1、表 8-3、図 8-2 に示す。なお、伝送した UDP ストリームのビットレートは 80Mbps と 12Mbps とし、波長は下り (OLT→ONU) : 1490nm、上り (ONU→OLT) : 1300nm である。

表 8-2 80Mbps における受光レベルと IP パケット損失率

| 受光レベル(dBm) | IP パケット損失率 |
|------------|------------|
| -32.50 | 1.69E-01 |
| -32.00 | 2.35E-02 |
| -31.50 | 1.53E-03 |
| -31.00 | 1.27E-04 |
| -30.70 | 4.69E-06 |
| -30.50 | 2.32E-06 |
| -30.30 | 4.63E-07 |
| -30.00 | < 1.00E-07 |
| -25.50 | < 1.00E-07 |

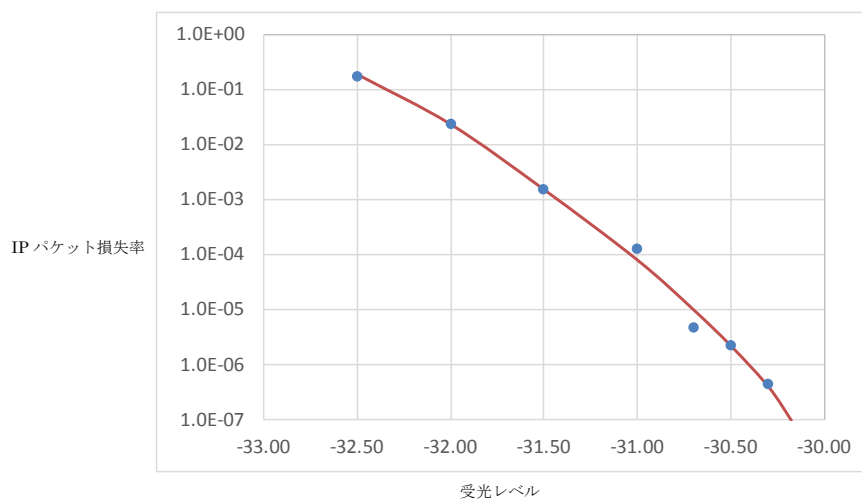


図 8-1 80Mbps における受光レベルと IP パケット損失率の関係

表 8-3 12Mbps における受光レベルと IP パケット損失率

| 受光レベル(dBm) | IP パケット損失率 |
|------------|------------|
| -32.50 | 1.53E-01 |
| -32.00 | 3.01E-02 |
| -31.50 | 1.50E-03 |
| -31.00 | 1.09E-04 |
| -30.70 | 5.21E-06 |
| -30.50 | < 1.00E-07 |
| -25.50 | < 1.00E-07 |

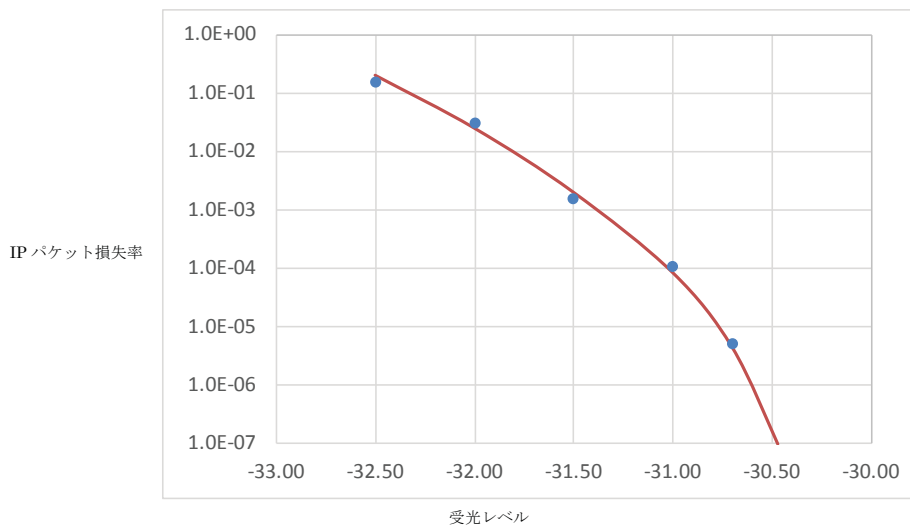


図 8-2 12Mbps における受光レベルと IP パケット損失率の関係

得られた受光レベルと IP パケット損失率との相関係数 $|R|$ を求めると、

80Mbps $|R| \doteq 0.739$

12Mbps $|R| \doteq 0.810$

であり、強い相関がみられる。したがって、IP パケット損失率は受光レベルから推測可能であると考えられる。

IP 伝送路では、誤りを含む IP パケットを検知した箇所で破棄する。そのため、IP 伝送路の始点～終点における IP パケット損失には誤りにより破棄された IP パケットが含まれる。また、IP パケット化時に IP パケットとして整合性が担保されるため、IP パケット化処理の入力信号の誤りは IP 伝送路上の誤りとしてカウントされない。そのため、入力信号の誤りがそのまま受信機へ伝送され、HE 入力品質は IP 伝送路品質に影響しない。

5.2 節から、本実験が目標とする IP パケット損失率は 1×10^{-7} 以下であり、GE-PON においては、図 8-1 と図 8-2 から $-30.2(\text{dBm})$ 以上で満たしている。IEEE 802.3ah 仕様および D-ONU 製品仕様のいずれの最低受光レベルも $-30.2(\text{dBm})$ よりも大きいことから、仕様に準じて運用することで PON 区間の信号品質は IP パケット損失率の基準を満たすことが可能である。

このほかの PON の方式についても、各方式の仕様におけるビット誤り率を 10^{-12} 以下とする前提で物理層が規定されており、同様に結論づけることができる。

また GE-PON では前方誤り訂正 (FEC) の利用が必須でないため、本実験では FEC を利用していない。FEC を利用することでビット誤り率が低減されるため、

IP 伝送路の品質によっては FEC の利用により受信信号の品質を担保することが可能である。


以上から、FTTH アクセス網伝送区間における IP パケット損失率は物理層の信号条件により担保可能である。ただし、PON 方式により最低受光レベルが異なるため、利用する方式が定める最低受光レベルにより運用する必要がある。

8.2 FTTH の IP 層実験結果と見解

8.2.1 パケット損失の計測と結果

本実験ではリアルタイムエンコーダから送出された UDP/RTP のストリームを測定器のエミュレータによって 1×10^{-3} から 1×10^{-6} ※1 までの幅でパケットを欠損させ TS アナライザによって、発生した MPEG-2 TS のコンプライアンス違反を観察した。なお、同時に IP-STB でも映像音声の状態を観察しているため、参考情報として画面の撮影データを掲載する。撮影した画面で映像に問題が発生しているフレームを赤枠で囲っている。

※1 本来は 10^{-7} 以下まで測定すべき事項であるが、エミュレータの性能限界のため、誤り率を 10^{-6} までの範囲で測定を行った。ただし、HFC の物理層実験ではノイズの挿入によって CN を変化させることで 10^{-7} 相当の誤り率を実現できたため、HFC の IP 層実験に 10^{-7} 時の観察結果を掲載する。

| No. | ビットレート | 誤り率 | エラー、映像の状態 |
|-----|--------|--------------------|--|
| 1 | 80Mbps | 1×10^{-3} | <p>約 50msec~200msec ごとに Continuity_Count エラー</p>  <p>短いフレーム間隔でブロックノイズが入る</p> |
| 2 | | 1×10^{-4} | 約 1.2 秒~1.5 秒ごとに Continuity_Count エラー |

| | | | |
|---|--------------------|-------------------------------------|--|
| | | |  <p>動きの多いシーンでブロックノイズが入る</p> |
| 3 | 1×10^{-5} | 約 7 秒～23 秒の間隔で Continuity_Count エラー |  <p>稀にブロックノイズが入る</p> |
| 4 | 1×10^{-6} | 約 2 分～3 分の間隔で Continuity_Count エラー |  <p>誤り検知時点の映像を見ると一瞬フレームがずれたように見えたが肉眼での認知は難しい</p> |

Continuity_Count は TS パケットの連続性を確認するためのカウンターであり、TS パケットの欠損を検知している。この誤りの検知は多少の揺らぎがあるものの

誤り率の範囲内であり想定通りの頻度である。誤り出現率が下がることで欠損するフレームが I フレーム以外の B フレームか P フレームである確率が増えることで画像の乱れは認知し辛くなる。

実験で使用したストリームのビットレートは 7.4.1 の RTP ストリームで 12Mbps、30Mbps、60Mbps、80Mbps の 4 種だが、実験結果は誤り検出頻度の違いであり、その頻度は 7.4.3 と一致するためここでは 80Mbps のデータのみを掲載する。また、IPv4 と IPv6 の IP アサインによって実験結果に変化はなく、Continuity_Count の出現頻度・映像のブロックノイズは同様だった。

8.2.2 パケット遅延と揺らぎの計測と結果

本実験ではリアルタイムエンコーダから送出された UDP/RTP のストリームを測定器のエミュレータによって定量的な遅延を発生させることと、遅延量を変化させて揺らぎの状態を生成することで、ネットワーク上で発生しえるパケットの状態が映像に与える影響を測定し映像を観察した。

実験では 80Mbps のビットレートで送出を行い、500msec の定量遅延を入れた状態と揺らぎの量を 500msec から 100msec の間で変化させ TS アナライザで MPEG-2 TS のコンプライアンスを確認した。TS アナライザによって確認された誤り内容は図 8-3 のとおりである。なお、TS アナライザでは IP パケットのバッファリングを行わないため、純粹に TS のストリームとしてコンプライアンスを測定している点に留意されたい。

| 揺らぎの幅 | エラーの状態 |
|---------|--------------------|
| 100msec | PCR 周波数ドリフトエラー |
| | PCR オーバーオールジッタ エラー |
| | PMT 周期エラー |
| | PIT オーバーリミット |
| 150msec | 100msec に同じ |
| 200msec | 100msec に同じ |
| 300msec | 100msec に同じ |
| 500msec | 100msec に同じ |

図 8-3 IP パケット遅延揺らぎの実験とエラーの一覧

遅延及び揺らぎの実験では誤りの発生量は異なるものの内容は同じものである。実験中に IP-STB が出力していた映像に乱れはなかったが TS アナライザで確認可能な映像のサムネイルは破たんしていたことから IP-STB にバッファがない場合

は正常に再生できない。これは IP-STB が持つ IP パケットのバッファが本来発生するであろう MPEG-2 TS のコンプライアンス違反を吸収しているものと思われる。また、IP-STB から出力された揺らぎ量は実験で挿入した量の遅延量と比して変化はするが、同量に変化しない点から実験に使用した IP-STB の特性によって吸収されているものと思われる。

8.3 HFC の物理層実験結果と見解

8.3.1 QoS の確認

測定器の UDP ジェネレータで発生させる UDP/RTP のビットレートを 80Mbps とし、背景トラフィックとして発生させる TCP の疑似データを 300Mbps に設定した。CM が受信できるビットレートは IP ヘッダなどを除いて 280Mbps 程度であり、理論的には保護されていない TCP のデータが 100Mbps 分欠損することになる。7.3.2 のとおり CMTS を設定し、計測器にて測定したところ想定通り TCP のデータが欠損し、UDP/RTP のパケットは全量受信できていることを確認した。

8.3.2 机上検討と実験結果の違い

8.1.2 と同様、測定の対象を BER から IP パケット損失率に変更した。

8.3.3 CN の計測と結果

本実験では、現在商用で提供されているケーブルテレビのネットワークによるインターネット接続サービスの通信方式として主流である DOCSIS 3.0 を対象とした。DOCSIS 3.0 仕様における端末（ケーブルモデム）の単一周波数チャンネル（6MHz）の下りストリーム受信処理性能は図 8-4 のとおりである。

| | | | | | | |
|--|----------------------------|-----------|---------------------|------------------|------------------------------------|------------------|
| <p>6.3.3.2.1 256-QAM CM BER Performance</p> <p>Implementation loss of the CM MUST be such that the CM achieves a post-FEC BER less than or equal to 10^{-8} when operating at a carrier to noise ratio (E_s/N_0) as shown below. If it is not possible to measure post-FEC BER directly, Codeword Error Rate, R_C (as defined in Section 6.3.3.1.1) may be used. In this case, the CM MUST achieve a Codeword Error Rate of less than or equal to 9×10^{-7} when operating at a carrier to noise ratio (E_s/N_0), as shown in the following:</p> <table><tr><td>Input Receive Signal Level</td><td>E_s/N_0</td></tr><tr><td>-6 dBmV to +15 dBmV</td><td>30 dB or greater</td></tr><tr><td>Less than -6 dBmV down to -15 dBmV</td><td>33 dB or greater</td></tr></table> <p>6.3.3.2.2 256-QAM Image Rejection Performance</p> <p>Performance as described in Section 6.3.3.2.1 MUST be met with an analog or a digital signal at +10 dBc in any portion of the RF band other than the adjacent channels.</p> <p>6.3.3.2.3 256-QAM Adjacent Channel Performance</p> <p>Performance as described in Section 6.3.3.2.1 MUST be met with an analog or a digital signal at 0 dBc in the adjacent channels.</p> <p>Performance as described in Section 6.3.3.2.1, with an additional 0.5 dB allowance, MUST be met with an analog signal at +10 dBc in the adjacent channels.</p> <p>Performance as described in Section 6.3.3.2.1, with an additional 1.0 dB allowance, MUST be met with a digital signal at +10 dBc in the adjacent channels.</p> | Input Receive Signal Level | E_s/N_0 | -6 dBmV to +15 dBmV | 30 dB or greater | Less than -6 dBmV down to -15 dBmV | 33 dB or greater |
| Input Receive Signal Level | E_s/N_0 | | | | | |
| -6 dBmV to +15 dBmV | 30 dB or greater | | | | | |
| Less than -6 dBmV down to -15 dBmV | 33 dB or greater | | | | | |

図 8-4 DOCSIS 3.0 下りストリーム (256QAM) の受信処理性能
(CM-SP-PHYv3.0-C01-171207 : 6.3.3.2)

特定の入力信号のレベルと CN 比の条件に対し誤り訂正後の BER が 10^{-8} 以下となることが受信性能として規定されている。また、伝送路符号化方式は ITU-T 勧告 J.83 Annex B を採用しており、RF 方式で採用している ITU-T 勧告 J.83 Annex C と同様に CN 比と BER との間に強い相関がある。そのため、入力信号の条件を変更することで誤り訂正後の BER を低減することが可能である。

DOCSIS 3.0 の 256QAM のときの下り伝送データレートは 1 周波数チャンネル (6MHz) で約 40Mbps であり、複数の周波数チャンネルを束ねて伝送帯域を大容量化することが可能である (チャンネルボンディング)。そこで本実験における物理層実験として、チャンネルボンディング時の端末の入力信号の CN 比と出力の IP パケット損失率の相関性を検証する。

本実験では 8 チャンネルを束ねて下り伝送容量を約 320Mbps とし、入力信号にホワイトノイズを印加して CN 比の変化に対する IP パケット損失率の測定を行った。

測定により得られた結果を表 8-4、図 8-5、表 8-5、図 8-6 に示す。なお、伝送した UDP ストリームのビットレートは 80Mbps と 12Mbps とし、下り伝送周波数は 450MHz~498MHz の連続した 8 チャンネル、CM の入力信号レベルは各チャンネルとも 6(dBmV)である。

表 8-4 80Mbps における CN 比と IP パケット損失率

| CN 比(dB) | IP パケット損失率 |
|----------|------------|
| 28.70 | <1.00E-07 |
| 28.60 | 2.03E-07 |
| 28.50 | 9.29E-07 |
| 28.40 | 1.16E-06 |
| 28.30 | 5.46E-06 |
| 28.20 | 2.16E-06 |
| 28.10 | 2.34E-06 |
| 28.00 | 1.02E-04 |
| 27.90 | 2.17E-04 |
| 27.50 | 1.29E-03 |
| 27.00 | 6.96E-02 |

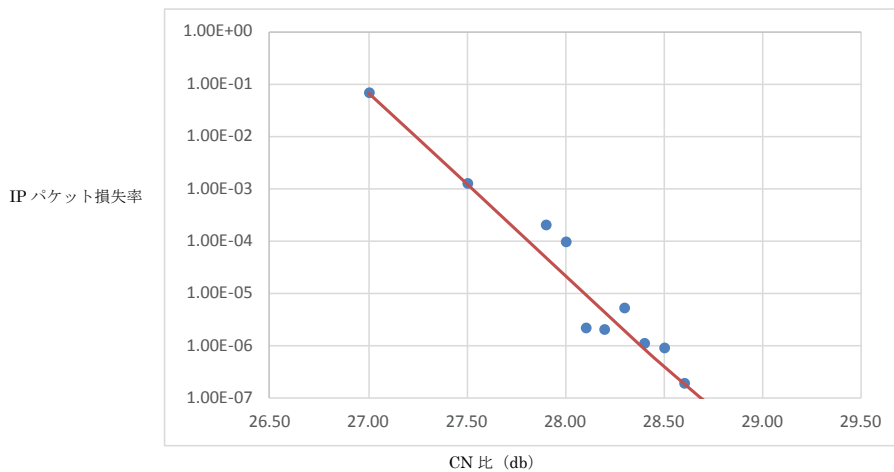


図 8-5 80Mbps における CN 比と IP パケット損失率の関係

表 8-5 12Mbps における CN 比と IP パケット損失率

| CN 比(dB) | IP パケット損失率 |
|----------|------------|
| 28.60 | <1.00E-07 |
| 28.30 | 3.62E-06 |
| 28.00 | 6.25E-06 |
| 27.80 | 6.08E-06 |
| 27.70 | 4.35E-05 |

| | |
|-------|----------|
| 27.60 | 3.52E-04 |
| 27.30 | 5.44E-03 |
| 27.00 | 4.47E-02 |

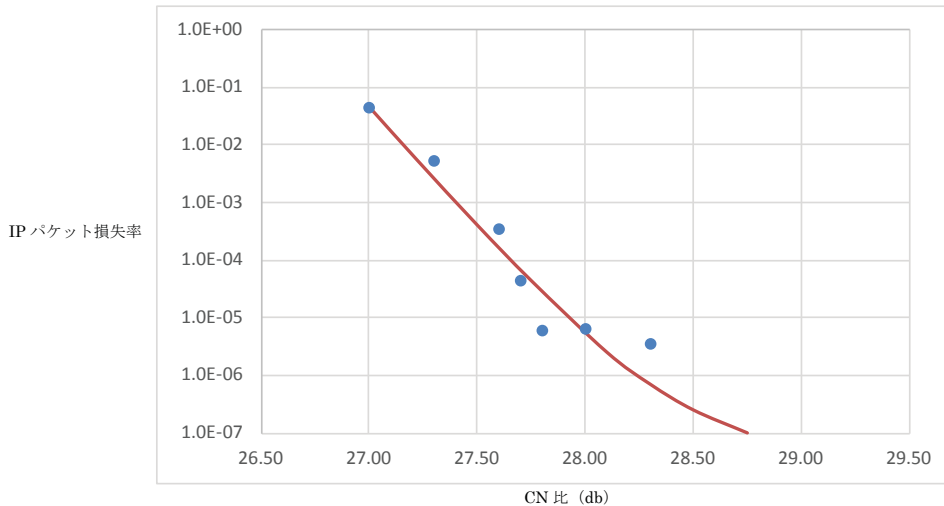


図 8-6 12Mbps における CN 比と IP パケット損失率の関係

得られた CN 比と IP パケット損失率との相関係数 $|R|$ を求めると、

$$80\text{Mbps} \quad |R| \cong 0.741$$

$$12\text{Mbps} \quad |R| \cong 0.744$$

であり、強い相関がみられる。したがって、IP パケット損失率は CN 比から推測可能であると考えられる。

IP 伝送路では、誤りを含む IP パケットを検知した箇所で破棄する。そのため、IP 伝送路の始点～終点における IP パケット損失には誤りにより破棄された IP パケットが含まれる。また、IP パケット化時に IP パケットとして整合性が担保されるため、IP パケット化処理の入力信号の誤りは IP 伝送路上の誤りとしてカウントされない。そのため、入力信号の誤りがそのまま受信機へ伝送され、HE 入力品質は IP 伝送路品質に影響しない。

FTTH と同様に 5.2 節から、本実験が目標とする IP パケット損失率は 1×10^{-7} 以下であり、DOCSIS 3.0 においては、図 8-5 と図 8-6 から 28.8(dB) 以上で満たしている。DOCSIS 3.0 仕様が受信処理性能の基準とする BER の 10^{-8} は 5.2 節の式から、

$$PER = 1 - (1 - 1 \times 10^{-8})^{(188 \times 8 \times 7)} \cong 1 \times 10^{-4}$$

であり、CN 比が 27.8(dB) 以上のときに満足する。したがって、DOCSIS3.0 の標準的な CN 比の基準に対し 1(dB) 程度の向上により目標とする IP パケット損失率

を満たすと考えられる。

このほか、IP マルチキャスト方式をサポートする DOCSIS 方式として DOCSIS 3.1 が存在する。DOCSIS 3.1 の伝送路符号化方式は、DOCSIS 3.0 が採用する ITU-T 勧告 J.83 Annex B のチャンネルボンディングのほかに、OFDM によるブロック単位（最大 192MHz）構成が可能となっている。OFDM では FEC 方式として LDPC + BCH を採用しており、CN 比と BER との関係は本実験と異なる特性を示す。ただし、その関係は連続的であり、CN 比の確保により BER を保証することが可能であることから、本実験の結果と同様に一定の CN 比を担保することで IP パケット損失率の基準を満たすことが可能である。


以上から、CMTS の入力 IP パケットの品質が担保されていれば、アクセス網伝送区間における品質は物理層の信号条件により担保可能である。本実験では 256QAM の入力信号レベルが 6(dBmV)のときの標準的な CN 比に対し 1(dB)程度の向上により満たすことを確認したが、実運用においては伝送信号条件と製品の処理性能を確認した上で適切な入力信号の CN 比を求めておくことが望ましい。また、DOCSIS 方式の伝送路符号化方式は複数規定されており、それぞれ受信処理性能が異なるため、利用する伝送路符号化方式で求められる CN 比を確認した上で運用する必要がある。

8.4 HFC の IP 層実験結果と見解

8.4.1 パケット損失の計測と結果

本実験ではリアルタイムエンコーダから送出された UDP/RTP のストリームを測定器のエミュレータによって 1×10^{-3} から 1×10^{-6} までの幅でパケットを欠損させ TS アナライザによって発生した MPEG-2 TS のコンプライアンス違反を観察したものと、 1×10^{-7} の値が得られるよう HFC の物理層で CN を変化させ、パケットを欠損させた状態の実験を行った。

物理的系が FTTH であれ HFC であれ、パケットが欠損する場合の MPEG-2 TS のコンプライアンスは同様の誤り内容で現象に違いはなかった。ここでは 1×10^{-7} の実験結果について記載する。

| No. | ビット レート | 誤り率 | エラーの状態 |
|-----|------------|--------------------|---|
| 1 | 80Mbps | 1×10^{-7} | <p>約 10 分～30 分ごとに Continuity_Count エラー</p>  <p>エラー検知時点の映像を見ると一瞬ブロックノイズが入ったように見えたが肉眼での認知は難しい</p> |

8.4.2 パケット遅延と揺らぎの計測と結果

本実験ではリアルタイムエンコーダから送出された UDP/RTP のストリームを測定器のエミュレータによって定量的な遅延を発生させることと、遅延量を変化させて揺らぎの状態を生成することで、ネットワーク上で発生しえるパケットの状態が映像に与える影響を測定し映像を観察した。ただし、実験結果は 8.2.2 の FTTH の実験結果と同様であり、経路による違いは生じなかった。

8.5 アクセス網における優先制御の考え方

7.3.1 及び 7.3.2 で記述したとおり、今回の実験においては FTTH、HFC それぞれのアクセス網において、適切な優先制御(QoS)を IP 放送で使用されるマルチキャストストリームのみにも適用し、想定通りに IP 放送のマルチキャストストリームが負荷ストリームに優先して伝送されることが確認できた。

HFC アクセス網(DOCSIS)の場合はデジタル放送と同様に、IP 放送専用の QAM 搬送波を設定することで QoS を適用せずに IP 放送を提供することも可能であるが、FTTH の場合や DOCSIS でもデータ通信と伝送帯域を共有して IP 放送を実施する場合、アクセス網において IP 放送提供に必要な品質を担保するための優先制御を適用する必要がある。

HFC に関しては 7.3.2 で記述のとおり、DOCSIS3.0/3.1 においてはマルチキャストに対する QoS が仕様として定義されており、CMTS、CM ともにその仕様を実装することが必須であるため、機種の違いによる実装の違いは生じないと思われるが、FTTH においては機種によって実装方法が異なる可能性があるため、必要な機能が実装されているかどうかの確認を行う必要があると思われる。

また、今回の実験内容には含まれていないが、優先制御 (QoS) 以外に検討すべ

きアクセス網における問題として、アクセス網の伝送可能帯域を超えるマルチキャストストリームに対する対応を考える必要がある。

一般的にはアドミッション・コントロールと呼ばれるもので、アクセス網で伝送可能な帯域を超えたマルチキャスト視聴のリクエストがあった場合にそれを制限するものである。

予め配信するマルチキャストストリームの総帯域をアクセス網の帯域幅以内に制限する場合は必要ないが、CH 数が多数となりそのような管理が困難である場合には、アドミッション・コントロールの適用が必要と思われる。

8.6 パケット遅延と揺らぎが映像に与える影響

8.6.1 パケット遅延

遅延時間の測定はパケットに付与されているタイムスタンプを利用する方法もあるが、送信側と受信側で厳密に時刻を同期させるか、受信側から送信側にもタイムスタンプに関する情報を送信するなどの方法が必要となり、容易に測定することはできない。

今回の実験では遅延に対する映像への影響を確認することが目的のため、遅延時間の測定には映像信号の時間差を測定する装置を用いて以下の構成で計測を行った。

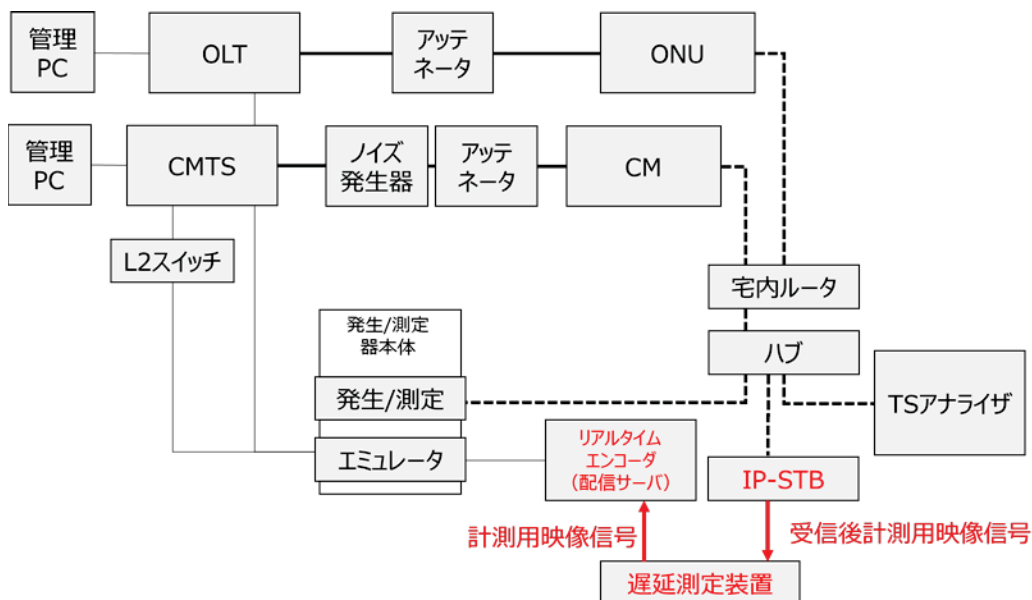


図 8-7 パケット遅延計測環境

遅延測定装置から出力した計測用映像信号をリアルタイムエンコーダで符号化して発生させた 80Mbps のストリームがエミュレータで中継され、FTTH/HFC 網を経由して宅内環境に設置した IP-STB で受信する。そして IP-STB で復号した受

信後映像信号を遅延測定装置に入力して、映像の時間差を測定することにより遅延を計測した。

エミュレータで遅延を付加しない場合、測定器で計測した遅延は 1.6 秒であった。この値はエンコード遅延、ネットワーク伝送遅延、IP-STB の受信・デコード遅延を合計した値である。

次にエミュレータで 500msec の一定の遅延を付加したストリームを IP-STB で再生したところ、計測器で測定した遅延も 2.1 秒となった。IP-STB はネットワーク伝送遅延を意識せず、受信したストリームを遅延がないストリームと同様に再生処理するだけであった。左記の結果から、伝送区間中で発生する一定の遅延量については、IP-STB の動作には影響がないことが確認できた。

8.6.2 パケット遅延揺らぎ

パケット遅延揺らぎ（ジッタ）の測定は机上検討段階では測定器を利用する想定だったが、実際の測定に即した方法を同時に検討すべく、図 8-9 のような測定用ラップトップ PC で行った。本実験ではパケットに付与されているタイムスタンプを利用する方法でパケット遅延揺らぎを測定している。RTP プロトコルを規定している RFC 3550 ではジッタの算出方法について以下のように記載されている。

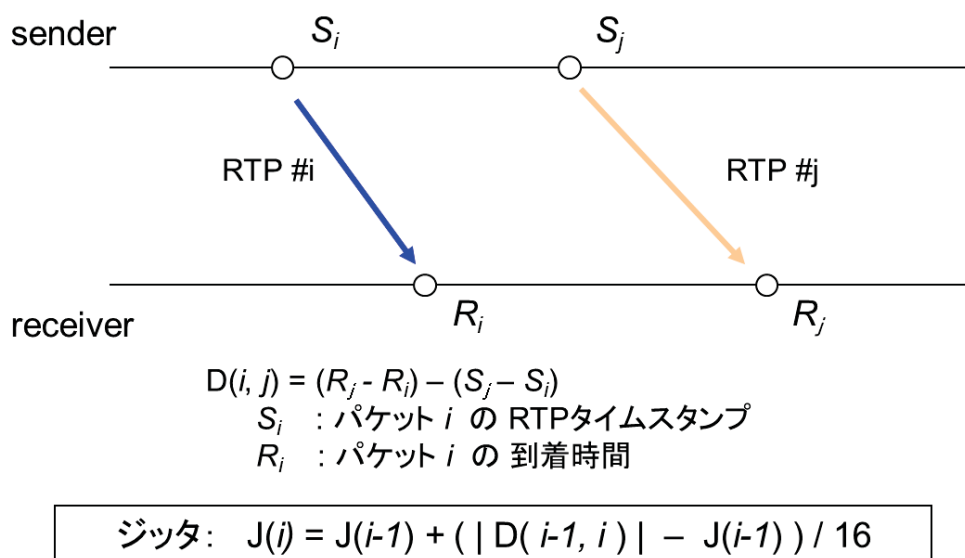


図 8-8 ジッタの算出方法

今回の実験では以下の構成で実験を行った。

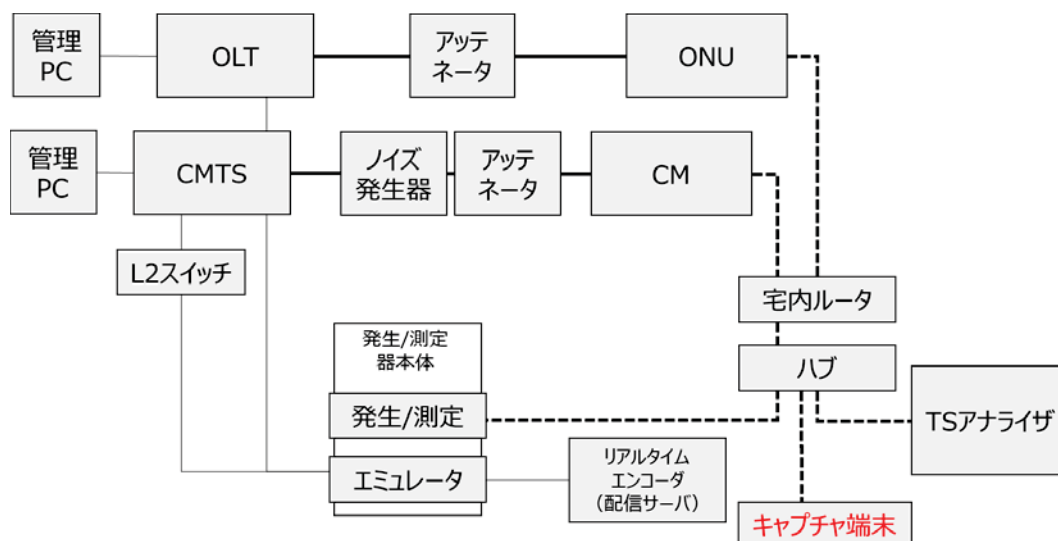


図 8-9 パケット揺らぎ計測環境

実験に使用したリアルタイムエンコーダはパケットの送出時刻に合わせて RTP のタイムスタンプを正確に付与しているためジッタの算出に適しているが、規格によっては RTP のタイムスタンプの付与方法が異なるためジッタ測定時に使用するストリームには注意が必要である。

また、キャプチャ端末としては汎用 PC とオープンソースのソフトウェアによる簡易な構成を用いたが、PC の能力や稼働状況、ソフトウェアの性能によって、測定結果に影響がでることも注意が必要である。

実験では最初に揺らぎを付加しない状況でのジッタを確認するため、エミュレータで遅延を付加せずストリームを中継し、キャプチャ端末で算出したジッタとパケット間差分の最大値 D_{max} は以下の結果であった。

| 最大遅延幅 | FTTH | | HFC | |
|-------|----------|-----------|----------|-----------|
| | ジッタ | D_{max} | ジッタ | D_{max} |
| なし | 0.03msec | 0.28 | 0.42msec | 4.82 |

FTTH/HFC とともにジッタは 1msec 以下の非常に小さい値で、実験で構築したネットワークではほとんど揺らぎがないことが確認できた。

次にエミュレータで最大 100~500msec の遅延量を徐々に変化させることで揺らぎを発生させたとき、キャプチャ端末で測定したジッタは以下の結果であった。

| 最大遅延幅 | FTTH | | HFC | |
|---------|----------|-----------|-------------|-----------|
| | ジッタ | D_{max} | ジッタ | D_{max} |
| 100msec | 0.59msec | 4.22 | 0.53msec | 4.88 |
| 150msec | 0.50msec | 4.80 | 2.30msec(※) | 24.31 |
| 200msec | 1.92msec | 6.30 | 0.74msec | 6.33 |
| 300msec | 0.86msec | 6.39 | 0.89msec | 6.33 |
| 500msec | 3.63msec | 10.38 | 1.37msec | 10.40 |

※ キャプチャ端末で起動中の別アプリケーションの影響でパケットの取りこぼしがあり、計測誤差が大きくなったと思われる。

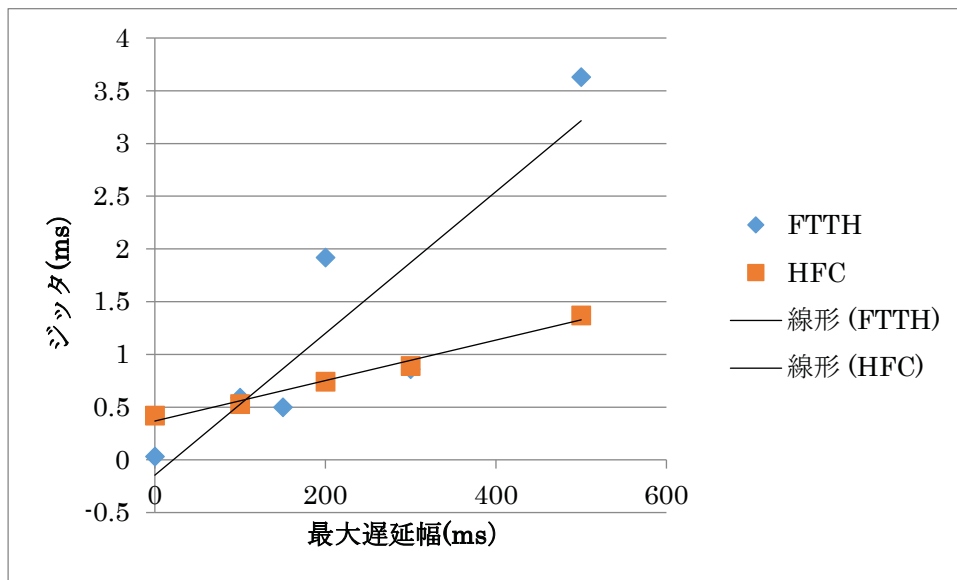


図 8-10 最大遅延幅とジッタの関係

最大遅延幅が大きくなるほどジッタの値も大きくなる傾向は見られたが、付加した遅延幅と比較してかなり小さなジッタ値が算出された。これはエミュレータが徐々に遅延量を変化させたため、RFC 3550 で規定されている計算方法のパケット間差分が小さく、その統計的な加算結果をもとにジッタを算出しているためと考えられる。

また、FTTH に対して HFC の方が小さなジッタ値が観測されたのは、HFC 区間の上限ビットレートを 200Mbps に設定していたことが関係している可能性がある。揺らぎを付加したことによりトラフィックにバーストが発生するが、下図のように 80Mbps のストリームが瞬間的に 2.5 倍の 200Mbps 程度のビットレートとなることもあり、ビットレートを制限するキューで一時的な滞留が発生し、揺らぎが平滑化されたのではないかと考えられる。実際に当初 HFC 区間の上限ビットレートを 100Mbps に設定した際は、バーストトラフィックをキューで吸収すること

ができず伝送区間でパケットが廃棄され、受信側でもパケット損失が検出された。

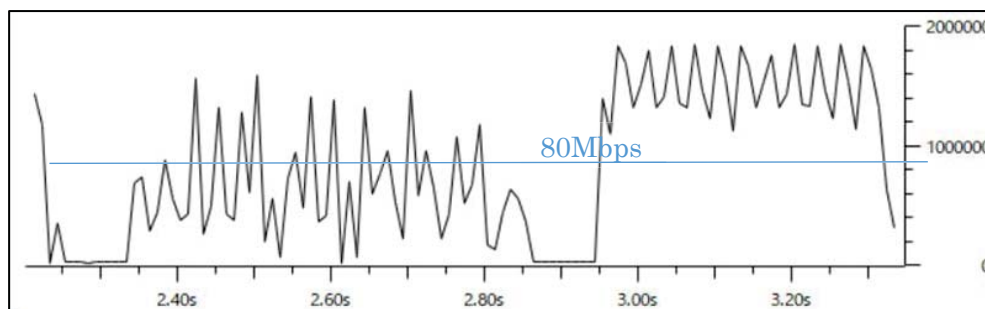


図 8-11 HFC で 500msec の遅延変動を付加した際の受信ストリームの変動

以上の結果から、伝送区間のキューイング処理によって、揺らぎが変動したりパケット廃棄が発生したりする可能性があるため、伝送するビットストリームにあわせた帯域設計と機器の設定が必要となる。

実際にジッタを付加した際の映像への影響については、使用した IP-STB は揺らぎを吸収可能なだけのバッファを有していたと思われるため、映像品質には特に影響はなかった。なお、バッファ制御を含めた再生の挙動については IP-STB の商品企画・仕様によるため詳細については不明である。

一方、使用した TS アナライザは揺らぎを吸収せず、到着した RTP パケットから TS パケットを取得し ASI(Asynchronous Serial Interface)で TS 解析部に送信して TS 解析処理を行う動作のため、PCR(Program Clock Reference)や PMT(Program Map Table)エラー等が検出されていた。PCR や PMT の到着間隔や単位時間当たりの挿入頻度が揺らぎにより規定の範囲外と判断されたためと考えられる。

上記の結果より、IP-STB が揺らぎを吸収するバッファを有していれば、映像品質には影響がないことは分かったが、ネットワークでの揺らぎと測定したジッタ値との関係性を導くことはできなかった。

今回の検証では RFC 3550 の RTP プロトコルに従って RTP のタイムスタンプを使用したジッタの算出を行ったが、RTP のタイムスタンプについては伝送するメディアストリームの形式や、各種サービスの運用仕様によって異なる使用方法が規定されている。

実際のサービスで使用されている例として、IPTV フォーラムや日本ケーブルラボの IP 放送仕様では RTP タイムスタンプについては以下のように規定されている。

- タイムスタンプは、RTP データパケットの最初のオクテットのサンプルを取得した時刻を表す
- 送信運用規定：基本的には 90kHz で運用する。ただし、本値は厳密に運用しなくてもよい。

上記の仕様では RTP タイムスタンプには基本的にはパケットを送出した時間ではなく、サンプルを取得した時間すなわちフレームの時間から算出した値が付与されている。このため、データ量が多いイントラフレームやビットレートが高いストリームの場合、1つのフレームが複数の RTP パケットに分割して送信され、同一の RTP タイムスタンプが付与された RTP パケットが連続して伝送されることになる。

このようなパケットでは送出時間と RTP タイムスタンプ自体に揺らぎが含まれているため、正しくネットワークのジッタを測定することは困難である。ネットワークのジッタを測定するためには、測定用の専用ストリームを別途伝送して計測する必要があると考えられる。

また、ビットレートに変動のない CBR ストリームを想定した場合は、パケットの送出間隔、到着間隔が一定で揺らぎがない伝送環境が理想的ではあるが、ビットレートに変動がある VBR ストリームではパケットの送出間隔は一定ではなく、揺らぎの要因が伝送方式・仕様に起因するものか、伝送環境に起因するものか判断ができない場合もあると思われる。

8.7 パケットの揺らぎと STB のバッファ量

ここでは、パケットの揺らぎが STB に与えるバッファ量の変化の影響について説明する。パケットの揺らぎはネットワーク上に流れる他のパケットの増減による影響や経路変更による影響など起こりうると考えられる。

8.7.1 想定するパケット揺らぎのパターン

以下に想定できるパケット揺らぎのパターンを図示し、揺らぎ発生時の STB へのパケットの届き方を説明する。通常、IP 放送のパケット群 (UDP/IP ストリーム) は一定の間隔で送信されることを想定するが、揺らぎが起こると一定の送信間隔が崩れ、パケットの間隔が広がったり短くなったりする。

想定する揺らぎパターン1

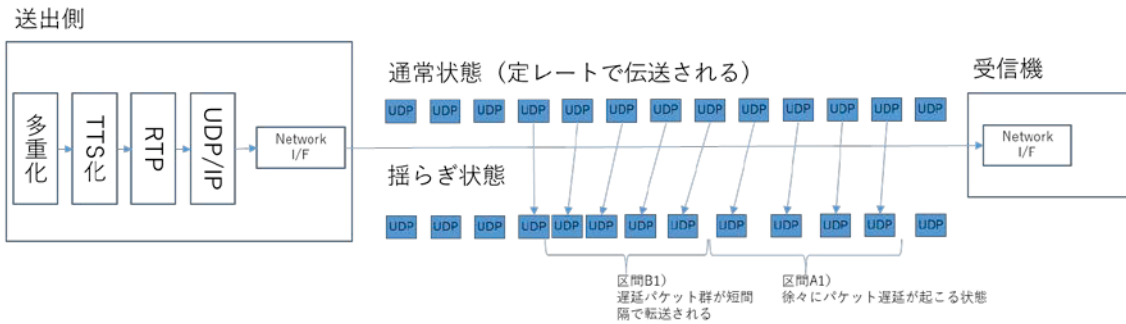


図 8-12 想定する揺らぎパターン1

本パターンでは、パケットの送信間隔が徐々に広がって、その広がりが全体的に積み重なって大きな遅延（区間 A1）になり、その後、徐々にパケットの送信間隔が短くなっていった（区間 B1）一定の送信間隔に戻るパターンである。

想定する揺らぎパターン2

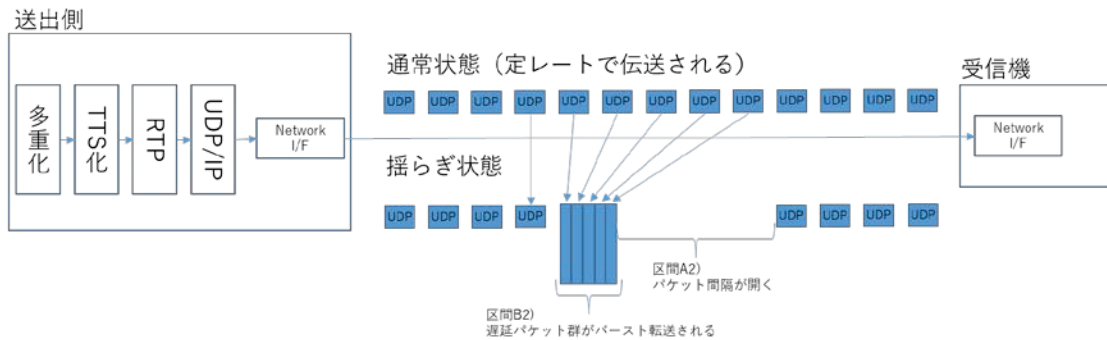


図 8-13 想定する遅延パターン2

本パターンでは、一定間隔で送信されていたパケットが突然受信側に届かなくなり（区間 A2）、その後、届かなくなっていたパケット群が突然、短間隔でバースト的に大量に流れ込んでくる（区間 B2）パターンである。

8.7.2 IP 放送対応受信機の構成

下図 8-14 に IP 放送対応受信機の構成例を示す。

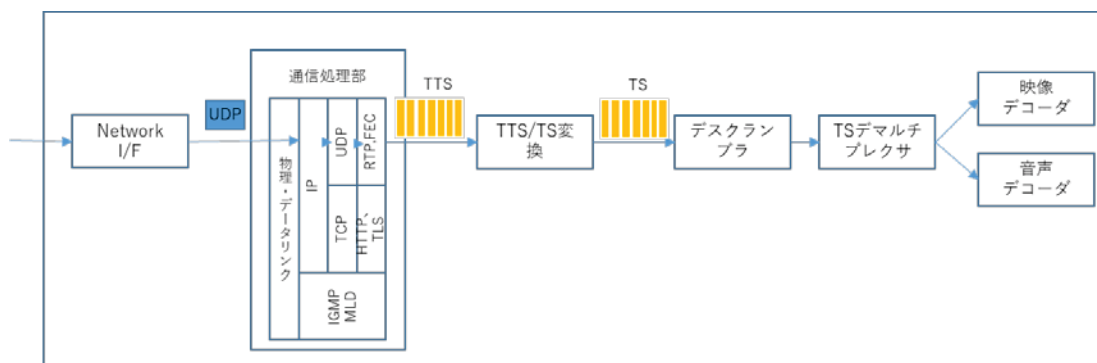


図 8-14 IP 放送受信機の構成例

受信機が IP 放送用の UDP/IP ストリームを受信してからデコードするまでの流れを説明する。IP 放送対応受信機は、ネットワーク I/F で UDP/IP ストリームを受信し、通信処理部に UDP/IP パケット単位で渡す。通信処理部は、受信した UDP/IP パケットから RTP パケットを取り出し、そこから TTS パケット群を取り出し、後段の TTS/TS 変換部へ出力する。TTS/TS 変換部は、TTS のタイムスタンプを参照しながら、適切なタイミングで TS 化を行って後段のデスクランブラへ出力する。デスクランブラは既定の限定受信方式に対応した暗号復号処理を行い TS デマルチプレクサに暗号復号後の TS パケットを出力する。TS デマルチプレクサは TS のデコードタイミングに合わせて映像デコーダ、音声デコーダにデータを出力して映像・音声の出力を実現する。

このような構成において、前述のパケットの揺らぎを吸収するために、受信機にはバッファを設ける必要がある。バッファを設けるブロックは受信機商品企画マターであるが、一般的に TTS/TS 変換処理部以降の TS 出力に揺らぎの影響を与えないようにバッファが構成される。

8.7.3 パケットの揺らぎと受信機のバッファ使用量の関係

ここではパケットの揺らぎが発生したときの、受信機のバッファに対する影響について説明する。

図 8-15 は受信機が IP 放送のパケットを受信しているときのバッファ使用量の変化について模擬的に示した例である。

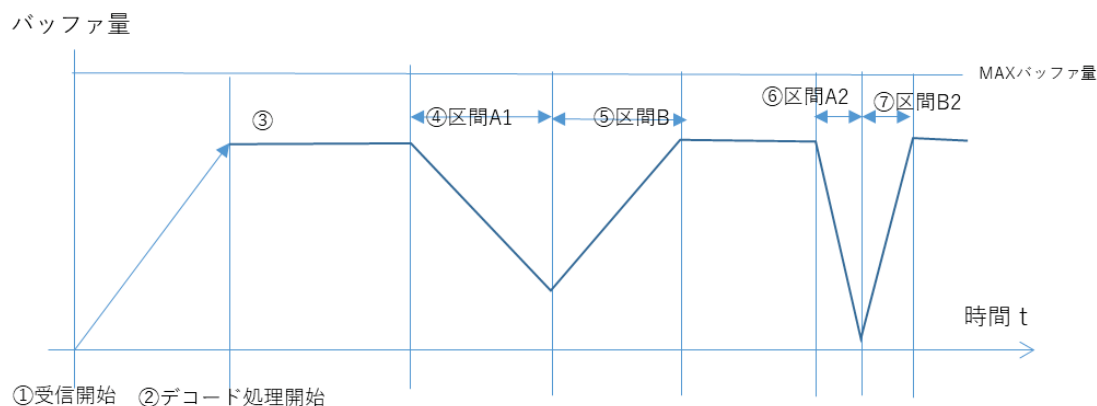


図 8-15 IP 放送受信時のバッファ使用量変化の例

受信機は IP 放送用のパケットの受信を開始すると (①)、バッファにある程度データを蓄積してからデコード処理を開始する (②)。その後、ネットワークが安定しており、一定の転送量で IP 放送用のパケットが受信できれば、受信するデータ量とデコードするデータ量が均衡し、バッファ使用量が安定する (③)。

ネットワーク上に揺らぎが発生すると、受信するデータ量とデコードするデータ量の均衡が破れ、バッファ使用量が減少する。例えば、前述の想定する揺らぎパターン 1 が起こると、パケットが遅延して到着するため、バッファの消費スピードに追いつかなくなり、受信機内のバッファ使用量が徐々に減少する (④区間 A1)。その後、遅延が解消すると、遅延していた分のパケットが定常よりも早い間隔で転送されるため、バッファ使用量が回復し (⑤区間 B1)、バッファ使用量が安定する。

また、前述の想定する揺らぎパターン 2 の場合は急激にバッファ使用量の増減が発生する。IP 放送用のパケットが全く受信できない区間においては、バッファ内のデータ消費のみが発生し (⑥区間 A2)、その後バースト的にデータ送信され、バッファ使用量が急激に回復する。

この例は、パケット到達の揺らぎを想定して受信機内にバッファとして十分にデータを蓄積しているため実現可能な動作である。

一方、揺らぎを十分に考慮せずにバッファ量を設計すると、前述の揺らぎパターン 1、2 でそれぞれ問題が発生する。図 8-16 に問題が発生する場合のバッファ使用量の変化の例を示す。

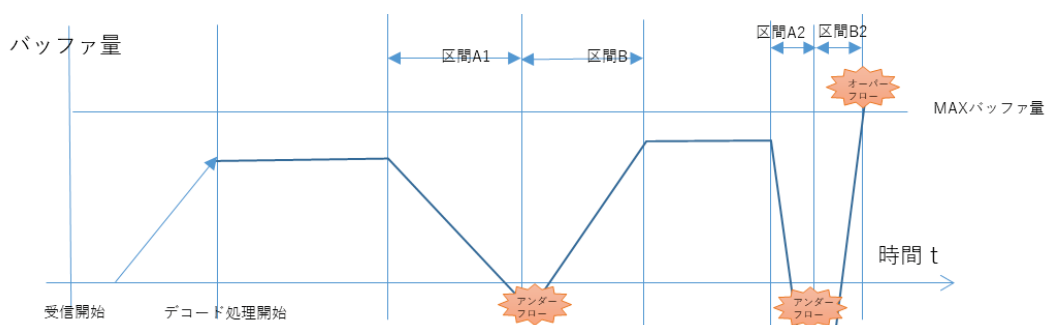


図 8-16 揺らぎを十分に考慮していない IP 放送受信時のバッファ使用量変化の例

問題が発生する場合の一つはバッファアンダーフローである。IP 放送用のパケットの受信開始後、データをバッファに十分に蓄積せずにデコード処理を開始した場合、揺らぎが起こって、データの受信量がバッファの消費量よりも少なくなる状態が継続すると、バッファにあるデータが枯渇したタイミングでバッファアンダーフローが発生（区間 A1,A2）し、出画ができなくなってしまう。

もう一つはバッファオーバーフローである。受信機側で十分なバッファ量を確保していない場合、例えばバースト的にデータが流れてきたとき（区間 B2）に受信したデータをバッファに蓄積できなくなり、バッファオーバーフローが発生し、正常な出画ができなくなってしまう。

このように、受信機のバッファはネットワーク等により生じるデータの到着時間の揺らぎの影響を吸収するうえで重要な役割を果たしている。ただし、バッファはメモリにより構成されているため、バッファ量を大きくすれば受信機コストが上昇することに留意が必要である。更に図 8-15、図 8-16 示したようにバッファ処理を行うことにより、IP 放送用のパケットの受信を開始してから実際にデコードするまでに時間を要することになるため、出画の遅延の要因にもなる。

このように、揺らぎへの対処はコスト上昇、出画遅延と直接関連しているため、システム全体として許容できる揺らぎ幅の規定は必要となる。

8.8 パケット損失率が映像に与える影響

8.8.1 パケット損失率と主観画質について

本実験において、IP パケット損失率 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4}$ では映像視聴に問題があった。例えば、まれにしか映像が動かない動作や、フリーズ動作などが頻繁に発生するなどである。一方で、IP パケット損失率が 1×10^{-5} 程度であれば映像視聴自体は可能であった。ただし、動きのないシーンでフリーズ動作と見分けが付かなかった、落ち着いて映像視聴をすると不快になる可能性があることは否定できない。以下では、より定性的な考察を試みる。

8.8.2 パケット損失が映像に与える影響

圧縮映像のエレメンタリーストリーム、すなわち広義のヌルパケットや SI 情報を除く、復号に必須となるビットストリーム（バイトストリーム）において、1bit でも誤りがあると、少なくとも当該フレームの復号は出来ず、さらに当該フレームが参照フレーム（復号順で後続のフレームから参照されるフレームのこと）であれば、後続のフレームも復号できない。最も影響が大きい場合は、I フレームが復号できない場合であり、次の I フレームまでは復号が出来ない。反対に、最も影響が少ない場合は、非参照フレーム（B フレームなど）が復号できない場合であり、当該フレームのみが復号できない。ここでは、復号できない、またはフレーム途中までの復号などを含めて、映像が乱れると表現するが、かならずしも映像が破綻することを意味しない。例えば、映像をフリーズさせておけば主観的な影響は一定程度抑えられる。なお、多くのデコーダでは、可能な限り復号を継続し、また誤り隠蔽技術により主観画質への影響を抑制する処理が含まれている。これは商品企画に分類されるものであり、ここでは扱わない。

一般に I フレーム間隔はチャンネル切り替えが可能なタイミングと符号化効率のトレードオフとして考慮される。その結果、ARIB 規格では 0.5 秒～1.0 秒程度の間隔で I フレームを挿入することを求めている。ただし、実運用上は 2.0 秒程度でも問題ない場合がある。ビット誤りやパケット損失が生じると、最大で I フレーム間隔時間は映像が乱れることになる。

次に、1つの IP パケットに 7つの TS パケットが含まれている場合に、IP パケットに含まれるフレーム数を考察する。そのためには、符号化構造（いわゆる GOP 構造）の仮定が必要である。具体的には、4K UHD 放送（59.94P）、30Mbps を対象に、I フレーム間隔は 0.5 秒程度（59.94fps において 32 枚間隔）、階層 B 構造とする。この場合、イントラフレーム間隔の間に到達する符号量は約 16Mbits となり、イントラフレーム間隔で消費される符号量のうち、I フレーム、I フレーム以外の参照フレーム、非参照フレームが占める割合をそれぞれ 40%、35%、15%とする。すなわち、最も符号量の少ないフレームは非参照フレームであり、約 1%に対応する 160kbits \approx 15TS となる。ここから、1bit 誤りにより TS パケットが 1 個失われても、1 IP パケット損失により TS パケットが 7 個連続で失われても、対応するフレームはほぼ 1 フレームに限定されることが分かる。また、当該フレームが非参照フレームであった場合も、影響を受ける後続フレーム数には 1bit 誤りでも 1 IP パケット損失でも関係ない。

HD 放送（59.94i）を対象として考えた場合、より低ビットレートとなるため、1bit 誤りよりも 1 IP パケット損失により復号できないフレーム数は増加すると考えられる。ただし、1 IP パケットに複数フレームが含まれるのは依然として非参照フレームである可能性が高く、復号できないフレーム数は限定的である。また、

参照フレームであれば、1bit 誤りか 1 IP パケット損失かによらず、復号できないフレーム数は同じである。したがって、主観的に知覚でき、かつその継続時間の長さには大きな差があるとはいえない。

8.9 パケット損失と FEC

パケット損失による再生映像品質の影響を低減させるために、アプリケーションレイヤの前方誤り訂正 (Forward Error Correction; FEC) を適用することができる。リニア映像配信におけるアプリケーションレイヤの FEC の一例として、本稿では Pro-MPEG FEC COP3 を取り上げ、当該 FEC によるパケット損失率の低減を具体的に報告する。なお、ここでは伝送路に適用する FEC については検討の対象外とする。

8.9.1 Pro-MPEG FEC COP3

Pro-MPEG FEC COP3 は、 $L \times D$ 個の RTP パケットを 2 次元に配置し、D 方向に各パケットに対する XOR 演算を適用して FEC パケットを得る 1D FEC と、D 方向と L 方向にそれぞれ FEC パケットを得る 2D FEC とがある。 $L \times D$ の選択は自由であるが、以下の制約がある。

$$\begin{aligned}L \times D &\leq 100, \\1 &\leq L \leq 20, \\4 &\leq D \leq 20.\end{aligned}$$

IPTV フォーラムでは、より具体的な組み合わせとして 1D FEC $L \times D=10 \times 10$ 、1D FEC $L \times D=20 \times 5$ 、2D FEC $L \times D=10 \times 10$ 、2D FEC $L \times D=20 \times 5$ が規定されている。

以下では、各パケットの損失する確率は一定であり (定常性)、かつ過去のパケットとは無関係である (独立性) と仮定する。バースト性の損失は、その連続パケット損失数が L よりも十分小さければ、2 次元に配置するとき D 方向に対しては無関係なパケット損失と見なせる。

8.9.2 Pro-MPEG 1D FEC

1D FEC は D 方向に 1 パケットまでの損失を修復可能である。ここでは、FEC 前 IP パケット損失率と、FEC 後 IP パケット損失率の関係を考察する。なお、議論を簡素化するため、 $L \times D=10 \times 10$ と $L \times D=20 \times 5$ の 2 種類に限定する。また、IP パケット損失率は FEC バッファサイズ (100 パケット) に比べて十分小さいため、発生頻度は二項分布に従うと仮定する。

ここで、1D FEC は D 個のパケットのうち、パケットがたかだか 1 個の訂正 (回復) が可能である。したがって、FEC バッファ (100 パケット) 全てが利用可能

となる確率は以下で求められる。

$$P_{1D}(IPLR) = (1 - IPLR)^{(L*D)} + D(1 - IPLR)^{L*D-1}IPLR$$

ここで、パケット損失率(IPLR: IP packet Loss Ratio)を 1×10^{-4} 、 $L*D=10*10$ のとき、 $P_{1D=10}(1 \times 10^{-4}) = 1.0 - 4.5 \times 10^{-7}$ となる。ただし、実際にはパケットが2個以上損失している場合であっても、FECバッファ内に存在する損失していないパケットは有効である。そこで、パケット単位での利用可能な確率は以下で求められる。

$$\begin{aligned} P'_{1D}(IPLR) &= (1 - IPLR)^D + D(1 - IPLR)^{D-1}IPLR \\ &\quad + \sum_{n=2}^D C_n^D (1 - IPLR)^{D-n}(IPLR)^n \frac{D-n}{D} \\ &= 1 - \sum_{n=2}^D C_n^D (1 - IPLR)^{D-n}(IPLR)^n \frac{n}{D} \end{aligned}$$

ここで、 C_n^D は二項分布係数であり、D個のパケットからn個のパケットが損失した場合の位置の組み合わせ数を表す。再びIPLRを 1×10^{-4} 、 $L*D=10*10$ とすると、 $P'_{1D=10}(1 \times 10^{-4}) = 1.0 - 9.0 \times 10^{-8}$ となる。すなわち、 $L*D=10*10$ の1D FECは、 $IPLR = 1 \times 10^{-4}$ において $9.0 \times 10^{-4} \approx 1 \times 10^{-3}$ の訂正能力があるといえる。なお、FECの訂正能力はIPパケット損失率IPLRに依存するため、注意されたい。

ここまでの考察をまとめ、IPLRを変数としてFEC前とFEC後の関係をD=5, 10について計算すると、図8-17のようになる。

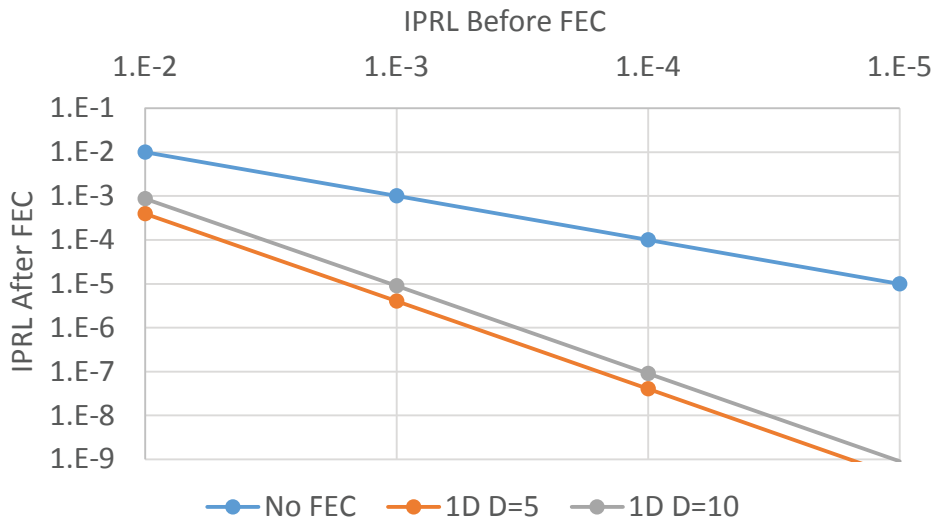


図 8-17 1D FEC による IP パケット損失率の関係。

8.9.3 Pro-MPEG 2D FEC

2D FEC は $L \times D$ 個の FEC バッファに含まれるパケットのうち、パケットがたかだか 3 個の損失に対しては必ず復元可能である。1D FEC と同様に n 個のパケット損失に対して復元できる損失パターンを数え上げると原理的には陽に利用可能なパケットの確率を導出できる。しかしながら、1D FEC と異なり一般化が難しく、さらに 1つの FEC バッファ内で複数のパケットが損失する可能性は十分に低い ($1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-12}$) ため、パケットがたかだか 4 個損失された場合を数え上げ、5 個以上損失した場合には復元できないと仮定する。なお、すでに 1D FEC で示したように、 1×10^{-4} 以下のパケット損失率であれば、 $D=5, 10$ のいずれにおいても FEC 後パケット損失率は 1×10^{-7} を実現可能である。したがって、ここでは、 1×10^{-3} 程度の FEC 前パケット損失率であっても、2D FEC によって 1×10^{-7} 程度にパケット損失率を下げられることを示す。

ここで、2D-FEC は $L \times D$ 個のパケットのうち、パケットがたかだか 3 個の訂正（回復）が可能であり、4 個が損失した場合、 $L \times D$ 個のパケットに散らばっていれば同様に訂正（回復）が可能である。訂正不可の場合は、 D 方向と L 方向とに同時に 2 個のパケットが損失する場合のみである。すなわち、 $C_4^{L \times D}$ パターンのうち、 $C_2^L C_2^D$ 個は復元が出来ない。さらに、簡便のためにパケットが 5 個以上損失した場合は FEC バッファ全てが利用できないとし、パケットが利用可能となる確率は以下で求められる。

$$P_{2D}(\text{IPLR}, 4) = \sum_{n=0}^4 C_n^{L \times D} (1 - \text{IPLR})^{L \times D - n} (\text{IPLR})^n - \frac{L \times D - 4}{L \times D} C_2^L C_2^D (1 - \text{IPLR})^{L \times D - 4} (\text{IPLR})^4$$

ここで、 $\text{IPLR}=0.001$ のとき、 $P_{2D}(1 \times 10^{-3}, 4) = 1 - 7.1 \times 10^{-8}$ となる。すなわち、 $L \times D=10 \times 10$ の 2D FEC は、 $\text{IPLR} = 1 \times 10^{-3}$ において $7.1 \times 10^{-5} \approx 1 \times 10^{-4}$ の訂正能力があるといえる。なお、FEC の訂正能力は IP パケット損失率 IPLR に依存するため、注意されたい。

ここまでの考察をまとめ、IPLR を変数として FEC 前と FEC 後の関係を $D=5, 10$ について計算すると、図 8-18 のようになる。なお、IPLR が高い場合には、 $D=5$ と $D=10$ とで訂正能力はほぼ同一となり、グラフの線は重なっている。

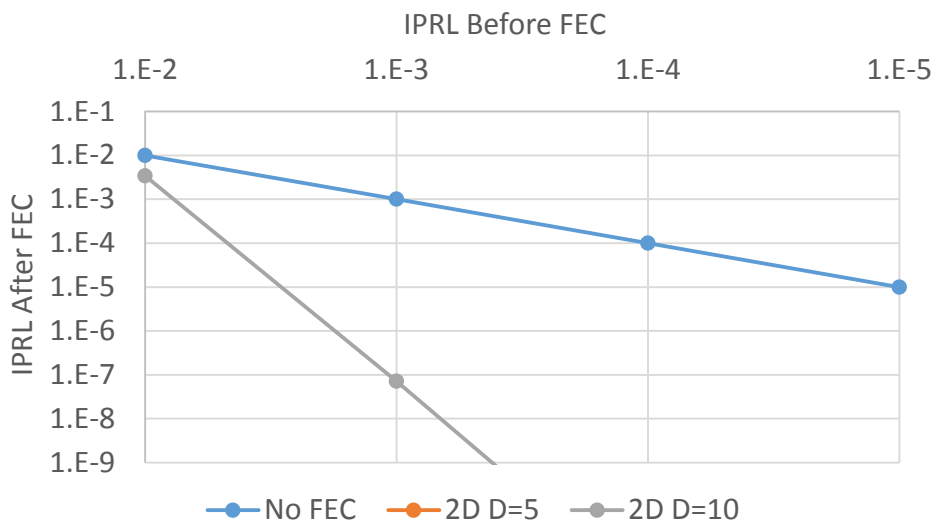


図 8-18 2D FEC によるパケット損失率の関係

8.10 測定方法についての考察

8.10.1 実験環境における測定

本実証実験では、図 7-1 の物理層実験環境にある信号発生器兼測定器（Anritsu データ クオリティ アナライザ MD1230B）によって物理層実験の数値を測定している。物理層実験における測定項目は以下のとおり。

- ・ 優先制御が正常に動作しているかを測るため試験用パケットの送信量と受信量
- ・ FTTH の受光パワー/HFC の CN 値変化によるパケット損失率の変化を測るため試験用パケットの送信量と受信量
- ・ 上記 2 項目におけるパケット損失量

また IP 層実験では図 7-2 の IP 層実験環境にある TS アナライザ（Tektronix MPEG アナライザ）によって MPEG-2 TS のコンプライアンス違反を測定している。

8.10.2 フィールドでの測定

フィールドでは、送信側と受信側が物理的・地理的に離れた位置にあるため、今回の実験環境と同様の測定は実施不可である。また必ずしも事業者で今回と同程度の測定器を利用可能とは限らない。以上を踏まえ本節ではフィールドの測定方法について考察を行う。

測定方法としては、試験パケットを利用するアクティブ計測とネットワークに流れる商用パケットを計測するパッシブ計測の 2 種類が利用可能である。アクテ

イブ計測については、試験パケット内にシーケンス番号や送信時のタイムスタンプを付与したストリームを利用する方法が考えられる。IPTV フォーラムや日本ケーブルラボの IP 放送仕様を含めて、IP マルチキャストで映像を伝送する場合に一般的には RTP プロトコルが使用されている。RTP プロトコルにはパケットの順番を表すシーケンス番号と、パケットの時刻を表すタイムスタンプがヘッダに含まれている。パッシブ計測では、この RTP ヘッダの情報を利用する方法が考えられる。

8.10.2.1 測定に関する時間と場所

測定するにあたっては、ネットワークを構築した後に終端装置を設置するフィールドで測定する方法と、HE 内に疑似フィールド環境を構築し、終端装置を設置して行う 2 つの方法が考えられる。測定の目的に応じて、フィールドで測定する方法、疑似フィールド環境を利用して測定する方法等のいずれかを適切に選択して実施することが望ましい。また、計測するタイミングについては、放送のトラフィックが優先制御されたネットワークであり、伝送帯域が十分に用意されていることが前提であるが、通信のトラフィックの時間的変動や地理的変動が極端に大きいことを踏まえ、放送の視聴状況等も勘案して、測定の時期、時間帯、場所等を適切に選定して、測定を実施する必要がある。

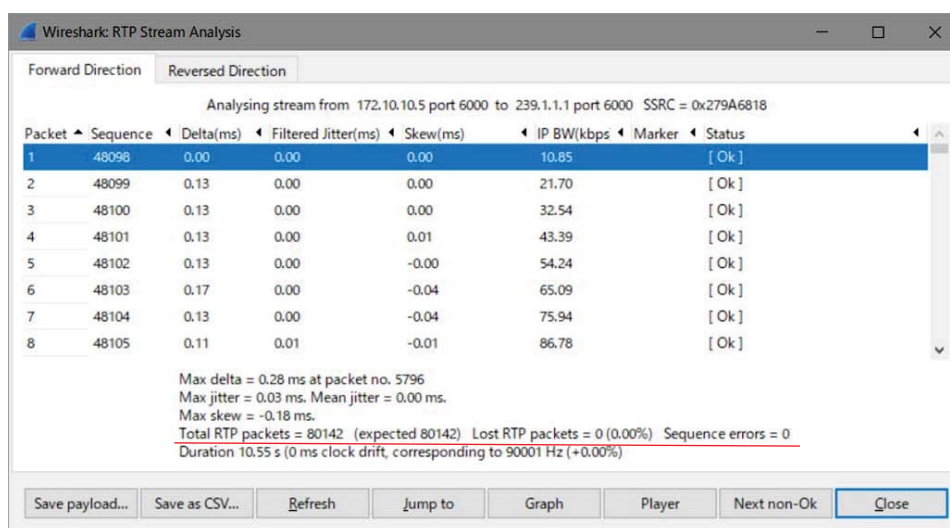
測定時間に関してはパケット損失率の測定であれば 7.4.2 にある BER の計測時間と同等の時間とすることが望ましい。これは、 $IPLR=1 \times 10^{-7}$ を BER に単純換算すると 1×10^{-11} であり、パケット損失率を計測するに当たっても測定時間は同等であると考えられるからである。なお、遅延及び遅延揺らぎについてはこの限りではないが、キャプチャしたデータから遅延揺らぎを求める場合はパケット損失率測定のために取得したキャプチャデータを流用して算出してもよいし、別途測定を行ってもよい。フィールドにおける測定か疑似フィールド環境による測定か等に応じて、適切な測定時間を検討する必要がある。

8.10.2.2 パケット損失率の測定

パケット損失率をアクティブ計測で測定する場合は、試験パケット内に損失を検知するためのシーケンス番号相当の情報を付与する必要がある。送信側装置は当該試験パケットをマルチキャストアドレスにてネットワーク側に等間隔で送信する。受信側装置は IGMP /MLD ジョイン(JOIN)によって該当試験パケットを受信し、パケット内のシーケンス番号の欠落から損失の有無を判断する。

一方、パッシブ計測を利用する場合は、RTP 等によって商用サービスのパケット内にシーケンス番号相当の情報が付与されている必要がある。受信側は、STB に

解析機能を具備したり、ネットワークタップ等を介してパケットを一般的な PC でキャプチャし、オフライン解析したりする。PC のパケットキャプチャツールとしては tcpdump や Wireshark などが有名である。図 8-19 はオープンソースのキャプチャソフト Wireshark でパケットをキャプチャ後、RTP ヘッダの解析を行った結果の一例である。



| Packet | Sequence | Delta(ms) | Filtered Jitter(ms) | Skew(ms) | IP BW(kbps) | Marker | Status |
|--------|----------|-----------|---------------------|----------|-------------|--------|--------|
| 1 | 48098 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.85 | | [Ok] |
| 2 | 48099 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 21.70 | | [Ok] |
| 3 | 48100 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 32.54 | | [Ok] |
| 4 | 48101 | 0.13 | 0.00 | 0.01 | 43.39 | | [Ok] |
| 5 | 48102 | 0.13 | 0.00 | -0.00 | 54.24 | | [Ok] |
| 6 | 48103 | 0.17 | 0.00 | -0.04 | 65.09 | | [Ok] |
| 7 | 48104 | 0.13 | 0.00 | -0.04 | 75.94 | | [Ok] |
| 8 | 48105 | 0.11 | 0.01 | -0.01 | 86.78 | | [Ok] |

Max delta = 0.28 ms at packet no. 5796
Max jitter = 0.03 ms. Mean jitter = 0.00 ms.
Max skew = -0.18 ms.
Total RTP packets = 80142 (expected 80142) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
Duration 10.55 s (0 ms clock drift, corresponding to 90001 Hz (+0.00%))

図 8-19 RTP ヘッダ解析の一例

赤線で示した部分がパケット損失の解析結果で、上記の例では 80,142 個の RTP パケットを受信した際の損失は 0 個であったとわかる。

パケットキャプチャソフトは多機能で様々な解析を汎用 PC で行うことができるが、すべてのパケットを取得する必要があるため、パケットを保存する容量や同時に起動しているソフトウェアの影響などから、パケットの取りこぼしなどが発生しないように注意が必要である。また、キャプチャ時間が長くなればパケットデータが膨大になり、解析結果を得るのに多くの時間が必要になる場合がある。

一方、TS アナライザには RTP パケットをリアルタイムで解析して損失を検出する機能があり、パケットを保存しないため長時間の観測も負担なく行うことができる。ただ、今回の実験で使用した TS アナライザは多機能で信頼性も高いが、筐体が大きく可搬性がよいとは言えない装置である。

今回の実験ではパケットを受信しながら RTP ヘッダを解析する簡易なツールも併せてパケット損失の確認に使用した。使用したツールは Linux 上で動作する簡単なソフトウェアで、RTP のシーケンス番号に不連続が発生した場合に、欠落したシーケンス番号を出力する機能があり、今回の検証で使用した TS アナライザと同じパケット損失を検出できていることを確認している。このようなツールを可

搬性の高いラップトップや小型筐体で動作させることにより、容易にパケット損失をリアルタイムで測定することが可能になる。

8.10.2.3 遅延の測定

遅延値をアクティブで計測する場合、試験パケット内に送信時のタイムスタンプ付与が必要であるのに加えて、送信側装置と受信側装置の時刻同期が必要となる。送信者側で生成したパケットをマルチキャストアドレスにて送信し、受信装置側でパケット毎に付与されている送信時のタイムスタンプと受信者装置側での受信時刻の差分をそのパケットの遅延値として算出する。測定時間内の全てのパケットの平均を遅延値とする。

パッシブ計測でも基本的に送信側と受信側での時刻同期が必要になる。また、受信側から送信側に受信したことを報告するパケットを送る仕組みを利用する場合がある。RTP の規格では RTCP(RTP Control Protocol)による報告パケットで遅延量を確認する手段が規定されているが、マルチキャストでは RTCP を使用することは難しく、IPTV フォーラムの IP 放送仕様でも RTCP は使用しないと規定されている。

報告パケットを使用しない場合、受信側で受け取ったパケットがいつ送信されたのかを確認して、その時刻差分から遅延を算出することが可能であるが、送信側で測定対象のパケットを送出した時刻を記録し、送信側と時刻同期がとれた受信環境で測定対象のパケットを受信した時刻を記録する必要があり、受信側だけで簡易に測定することは困難である。

上述のとおり、厳密な片方向の遅延測定に関しては送信側装置と受信側装置の時刻同期が必要である。一方で GPS による時刻同期などがコスト面から実施困難であるケースも考慮して、ping などのユニキャストによる代替手法も検討が必要である。この場合、RTT(Round Trip Time)での測定となるため、実施結果を 1/2 倍にする。

実際に ping で測定する際には、

- ユニキャストの ICMP パケットのためマルチキャストの RTP パケットと異なる経路、優先キューで伝送される可能性がある
- 伝送区間の混雑状況の影響を受けた場合、測定結果に大幅な変動が含まれる可能性がある
- 伝送区間内に ICMP パケットを中継・応答しない機器が存在する可能性がある
- 上りと下りの伝送時間が異なる場合、単純に応答時間(RTT)の半分が伝送遅延とできない

等の注意が必要となる。

このような方法で遅延の測定は可能ではあるが、絶対的な遅延量については再生する映像品質には影響がなく、参考値としては把握しておいた方がよい情報と考えられる。

8.10.2.4 遅延揺らぎ（ジッタ）の測定

揺らぎも遅延の一種であることから、アクティブ計測、パッシブ計測ともに遅延測定と同等の測定が利用可能である。得られたパケット毎の遅延値をもとに遅延揺らぎの定義にしたがって、遅延揺らぎの値を算出する。この場合も送信側装置と受信側装置の時刻同期は必要である。アクティブ計測の場合は送信側で試験パケット内に送信時刻情報(タイムスタンプ)を付与して、受信側でタイムスタンプとパケット受信時刻の差分から遅延揺らぎを算出する方法となる。一方で遅延測定を時刻同期不要な代替手法で実施する場合を考慮し、遅延揺らぎについても代替手法の検討が必要と考える。例えば、アクティブ計測の場合、送信側装置から等間隔でパケットが送信されている前提のもとで、受信側でキャプチャしたパケット受信時刻の等間隔からの差分を遅延揺らぎとして測定する方法等が考えられる。

パッシブ計測では、RTP ヘッダ内のタイムスタンプと受信時刻の差分から算出可能である。しかしながら、本手法は RFC 3550 に従った RTP の送出に準拠していることが前提であり、送出側で付与するタイムスタンプ値が必ずしも測定に利用できる値とは限らない。

実際のサービスで使用されるストリームでは、各種仕様によって RTP タイムスタンプの付与方法は異なっており、送出時刻が付与されているとは限らないためである。次節では改めて揺らぎを定義するとともに、RTP を前提とした場合の測定方法についての具体的な記述を試みる。

8.10.2.5 遅延揺らぎの測定における揺らぎ値の定義

実験前の机上検討において遅延と揺らぎの定義は、揺らぎの平均量を遅延とし最悪値を揺らぎの値と定義した。また、実験中においては 8.6.2 に記載した値として RFC 3550 の計算式とそこから導き出される値を掲載した。WireShark で表示される Max Jitter もこの値であるが、この揺らぎ量は平均化された値であり、本実験が目的とする STB バッファ量の指標としては相応しいとは言えないことがわかった。本 EG では改めて揺らぎ量を導き出す式として ITU-T 勧告 Y.1541 (07/2016)の付録 II に規定されている IP 遅延変動 (IPDV : IP packet delay

variation) を採用することとして、IP 遅延変動の定義は以下の式で表される。

$$IPDV = IPTD_{upper} - IPTD_{min}$$

ここで

- $IPTD_{upper}$ は評価期間における IPTD の $1-10^{-3}$ 分位点
- $IPTD_{min}$ は評価期間における最小 IPTD

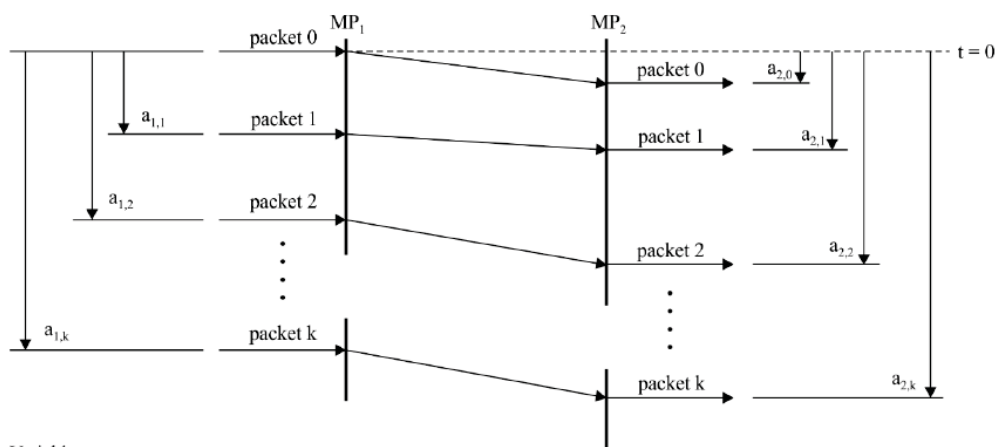
また、ITU-T 勧告 Y.1541 では IP 遅延変動について、ある短い測定期間中の最大 IPTD - 最小 IPTD で定義してもよく、

$$IPDV = IPTD_{max} - IPTD_{min}$$

ここで

- $IPTD_{max}$ は測定期間中に記録される最大 IPTD
- $IPTD_{min}$ は測定期間中に記録される最小 IPTD

ここで IP パケット遅延 IPTD は ITU-T 勧告 Y.1540 (07/2016) にある 6.2.4 End-to-end 2-point IP packet delay variation (IPDV: IP packet delay variation) から算出する。この算出方法式は 2 点間の IP パケットの遅延を $V_k = X_k - d_{1,2}$ で求める。図 8-20 に転載した概念のとおり MP1 (送信側) と MP2 (受信側) の 2 点間でパケット 0 を基準点として、パケット 1 がそれぞれ $a_{1,1}$ と $a_{2,1}$ でそれぞれ時間情報を持ち、パケット k までの間どれだけ時間量に差異があるのかを導き出す。



Variables:

$a_{1,k}$ Packet k actual arrival time at MP₁

$a_{2,k}$ Packet k actual arrival time at MP₂

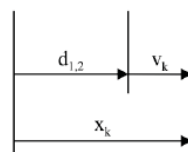
$d_{1,2}$ Absolute ref. packet transfer delay between MP₁ and MP₂

x_k Absolute packet k transfer time between MP₁ and MP₂

v_k 2-point packet delay variation value between MP₁ and MP₂

$$x_k = a_{2,k} - a_{1,k}$$

$$v_k = x_k - d_{1,2}$$



Y.1540(16)_F09

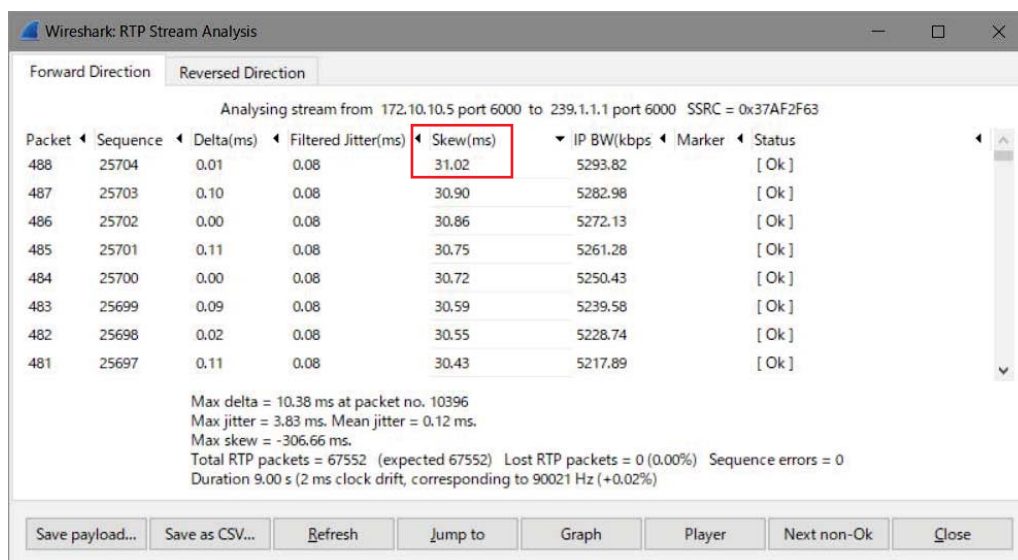
図 8-20 ITU-T Y.1540(16) F09 抜粋

8.10.2.6 遅延揺らぎの具体的測定方法

8.10.2.2 で紹介したパケット損失率を測定するための WireShark には Max Jitter を表示する機能があるが、これは RFC 3550 の計算方法を用いるため平均化されていることは前述のとおりだが、ITU-T 勧告 Y.1540 のパケット遅延変動値 (IPDV) V_k は WireShark の RTP 統計情報内で Skew 値に相当する。実験用テストストリーム 80Mbps を使用し 500msec の遅延量を挿入した場合の Skew の値を例に ITU-T 勧告 Y.1541 の IPDV の値を求めると以下ようになる。

$$\begin{aligned} \text{IPDV} &= \text{IPTD}_{\text{max}} - \text{IPTD}_{\text{min}} \\ &= \text{PDV}_{\text{max}} - \text{PDV}_{\text{min}} \\ &= \text{Skew}_{\text{max}} - \text{Skew}_{\text{min}} \\ &= 31.02 - (-306.66) \\ &= 337.68 \end{aligned}$$

この値の様に実験中 337.68msec の振れ幅があったということが判る。なお、IPDV はパケットの 0 番を基準に数値化しているため最小値が負の数になる場合があるが、IPDV はあくまでも遅延揺らぎの量であり最大幅を数値化している。



| Packet | Sequence | Delta(ms) | Filtered Jitter(ms) | Skew(ms) | IP BW(kbps) | Marker | Status |
|--------|----------|-----------|---------------------|----------|-------------|--------|--------|
| 488 | 25704 | 0.01 | 0.08 | 31.02 | 5293.82 | | [Ok] |
| 487 | 25703 | 0.10 | 0.08 | 30.90 | 5282.98 | | [Ok] |
| 486 | 25702 | 0.00 | 0.08 | 30.86 | 5272.13 | | [Ok] |
| 485 | 25701 | 0.11 | 0.08 | 30.75 | 5261.28 | | [Ok] |
| 484 | 25700 | 0.00 | 0.08 | 30.72 | 5250.43 | | [Ok] |
| 483 | 25699 | 0.09 | 0.08 | 30.59 | 5239.58 | | [Ok] |
| 482 | 25698 | 0.02 | 0.08 | 30.55 | 5228.74 | | [Ok] |
| 481 | 25697 | 0.11 | 0.08 | 30.43 | 5217.89 | | [Ok] |

Max delta = 10.38 ms at packet no. 10396
Max jitter = 3.83 ms. Mean jitter = 0.12 ms.
Max skew = -306.66 ms.
Total RTP packets = 67552 (expected 67552) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
Duration 9.00 s (2 ms clock drift, corresponding to 90021 Hz (+0.02%))

図 8-21 WireShark の Skew を降順にソート

Wireshark: RTP Stream Analysis

Forward Direction | Reversed Direction

Analysing stream from 172.10.10.5 port 6000 to 239.1.1.1 port 6000 SSRC = 0x37AF2F63

| Packet | Sequence | Delta(ms) | Filtered Jitter(ms) | Skew(ms) | IP BW(kbps) | Marker | Status |
|--------|----------|-----------|---------------------|----------|-------------|--------|--------|
| 3221 | 28437 | 5.13 | 3.73 | -306.66 | 34941.41 | | [Ok] |
| 3239 | 28455 | 0.20 | 1.19 | -306.63 | 35136.67 | | [Ok] |
| 3227 | 28443 | 0.19 | 2.55 | -306.62 | 35006.50 | | [Ok] |
| 3231 | 28447 | 0.19 | 1.97 | -306.62 | 35049.89 | | [Ok] |
| 3240 | 28456 | 0.12 | 1.12 | -306.62 | 35147.52 | | [Ok] |
| 3244 | 28460 | 0.14 | 0.87 | -306.62 | 35190.91 | | [Ok] |
| 3229 | 28445 | 0.13 | 2.24 | -306.62 | 35028.19 | | [Ok] |
| 3235 | 28451 | 0.19 | 1.53 | -306.61 | 35093.28 | | [Ok] |

Max delta = 10.38 ms at packet no. 10396
 Max jitter = 3.83 ms. Mean jitter = 0.12 ms.
 Max skew = -306.66 ms.
 Total RTP packets = 67552 (expected 67552) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 9.00 s (2 ms clock drift, corresponding to 90021 Hz (+0.02%))

Buttons: Save payload..., Save as CSV..., Refresh, Jump to, Graph, Player, Next non-Ok, Close

図 8-22 WireShark の Skew を昇順にソート

8.11 宅内環境についての考察

8.11.1 ホームゲートウェイ

ここでは、実験に利用したホームゲートウェイの諸元と、期待される機能について述べる。

テレビや電話を含む FTTH サービスでは、ONU によって OLT を終端する。ONU の出力は Ethernet となっており、国内では一般的には L3 スイッチ（宅内ルータ）により WAN 側と LAN 側のネットワークを異なるネットワークアドレスとして分断する。電話サービスが提供されている場合は、一般的に L3 スイッチを含むホームゲートウェイが通信事業者から提供（レンタル）される。電話サービスが提供されていない場合は、ONU には個人が購入したブロードバンドルータと呼ばれる機器を導入する。ただし、通信事業者によっては電話サービスの提供有無によらずホームゲートウェイを提供（レンタル）する。

テレビサービスの利用には IP マルチキャスト対応のセットトップボックス (Set Top Box; STB) が必要であり、ホームゲートウェイの LAN 側に接続される。国内では IP マルチキャスト対応の STB は基本的にレンタルである。実験に利用した。ホームゲートウェイは NEC PF 製 Aterm BL900HW であり、主な機能は、ブロードバンドルータ機能、USB ストレージ機能、電話機能、内蔵無線 LAN 親機機能 (IEEE802.11a/b/n) である。また、本機は IPv4 マルチキャスト機能に調整されており、ブロードバンドルータ機能には、IGMP をプロキシする機能が含まれている。ただし、あくまでプロキシ機能であるため、ルータと直接 PIM (Protocol

Independent Multicast)プロトコルをやり取りすることはない。また、IGMP スヌーピング機能や優先制御機能が含まれている。なお、無線 LAN 親機機能も有しているが、STB 初期設定時には有線接続を必須としている。言い換えると、初期設定後は無線 LAN 接続によるテレビ視聴も機能の上では可能である。

以上のブロードバンドルータ機能のうち、安定的な映像再生を実現するためには、End-to-End での優先制御が必須である。すなわち、OLT よりも上位のネットワークにより付与された優先制御クラスをホームゲートウェイにおいても尊重し、他のインターネットトラフィックに優先して配信する必要がある。同時に、視聴の継続とチャンネル切り替えを行うためには、子機からラストホップルータ (Last Hop Router) に戻る IGMP パケットについても、優先的に処理必要がある。

マルチキャストのうち、IPv4 に対応する廉価なルータはレンタル品しか存在しない。ただし、最近では海外ベンダから廉価な IPv4 に対応するルータも市場に投入されてきた。一方、IPv6 に対応するブロードバンドルータはテレビ対応ブロードバンドルータとして複数のメーカーから市販されている。なお、これまでの検証により、極端に廉価なルータの場合はマルチキャスト処理 (パケット複製処理) が CPU 実装となっており、高ビットレートのマルチキャストストリームを安定的に配信できない、もしくは、通常のユニキャスト通信がほとんどできなくなる事象が報告されている。

8.11.2 無線 LAN

無線 LAN でマルチキャストを伝送する場合、無線 LAN ルータのマルチキャスト伝送速度の設定によって、十分な帯域が確保されていない場合がある。また、この帯域以内のマルチキャストストリームでも、電波の状況によってはパケットが損失する場合がある。無線 LAN 機器によっては無線区間のマルチキャストをユニキャストに変換して伝送する機能があり、この機能を利用することによって安定した伝送が可能になる場合もある。今回の実験では以下の図の構成で無線 LAN を用いたマルチキャストストリームの伝送品質の確認を行った。

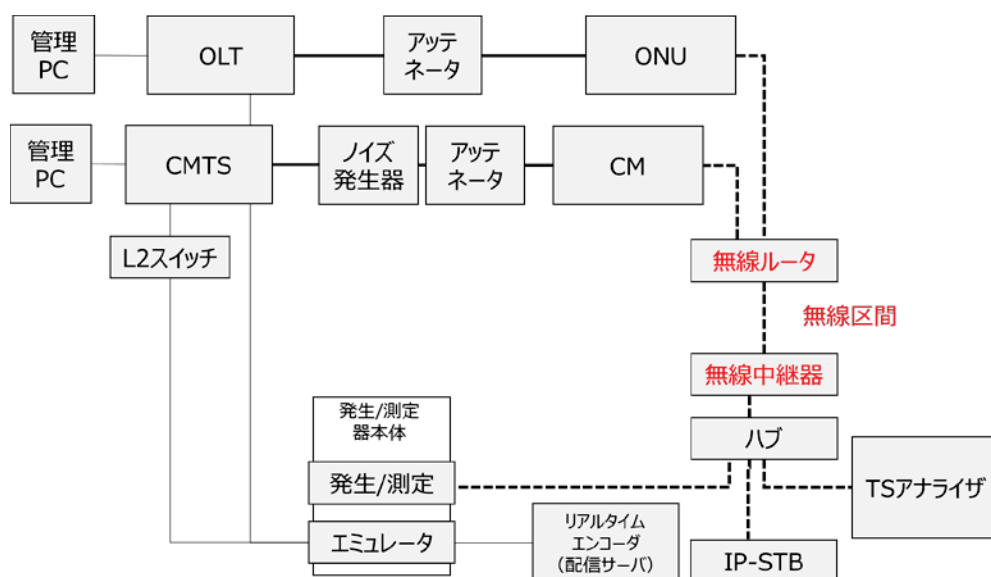


図 8-23 無線 LAN を使用した実験環境

無線 LAN ルータでは ONU/CM から受信したパケットを 802.11a/g/n(5.4GHz)の IPv6 マルチキャストで無線区間を伝送し、1 m程度離れた位置に設置した無線中継器が受信した無線パケットを有線に戻して IP-STB および TS アナライザで確認を行った。

無線 LAN のマルチキャスト伝送速度を 54Mbps に設定して、実際に 30Mbps の映像ストリームを流したところ、パケット損失率は 2.5% 程度で、再生映像は常時乱れた状態であった。本実験では FEC を使用していないが、損失のパターンを確認したところ、多くのパケット損失は FEC により回復可能と想定できたが、連続的に 10 パケット以上損失している部分もあり、すべてのパケット損失を FEC で回復することは難しいと考えられる。

次に無線 LAN のユニキャスト変換について確認した。このユニキャスト変換は無線伝送区間でマルチキャストパケットの MAC アドレスを宛先端末の MAC アドレスに変換してユニキャストとして伝送する機能で、受信端末のアプリケーションは特別な対応を行うことなく通常のマルチキャストとして処理することができる。ユニキャスト変換を有効にして検証を行った結果、30Mbps のストリームを 4 分間流しても、映像に全く乱れはなく、パケット損失も発生しなかった。ユニキャスト通信ではパケット欠落時の再送が可能であり、電波が不安定な状況においても安定して伝送できたためと考えられる。また、このときのジッタは 0.89msec で揺らぎも小さかったと考えられる。

無線 LAN のユニキャスト変換を利用することによりにより、高ビットレートの IP マルチキャストパケットを安定して伝送できることが確認できた。



9 エキスパートグループからの提言

9.1 IP 放送に関する技術的条件とする値について

9.1.1 IP パケットの損失率

IP パケットの損失率は実験結果が確認された値として $PLR = 1 \times 10^{-7}$ 以下とする。ただし、AL-FEC を実施する場合はその FEC の誤り訂正能力を考慮し誤り訂正前の IP パケット損失率による判断も可能とする。例えば誤り訂正能力が 10^3 程度あれば 10^{-4} を基準として測定が可能と考えるものであり、Pro-MPEG FEC COP3方式の誤り訂正能力については参考として 8.9 節に記載したが本報告書で AL-FEC の方式を定めるものではない。

9.1.2 IP パケットの遅延

伝送路に定量的にあるパケット遅延は MPEG-2 TS 再生へ悪影響を及ぼすものではなく、実験の結果からも遅延に関して適当な値が見当たらず、ここで遅延量を定めることはできない。

9.1.3 IP パケットの揺らぎ

パケット遅延の揺らぎは IP-STB のバッファによって吸収し MPEG-2 TS 再生への悪影響を抑制されえるものであるが、バッファサイズ的设计にとっては重要な指標であり、これを定めることが望ましい。よって実験で挿入した値のうち、100msec の揺らぎ量を妥当とする。

9.2 IP 放送に関する技術的条件に係る測定方法について

9.2.1 IP パケットの損失率の測定

IP パケットの損失率は RTP パケットの損失数と RTP ストリーム（ペイロードの）ビットレートによる測定時間によって算出できる。具体的な測定方法については 8.10.2.2 節を、ビットレートに対する測定時間の算出方法は 7.4.2 節を参照されたい。

9.2.2 IP パケットの遅延測定

パケット遅延の測定については受信者端子側から配信サーバ側へ PING を送信した戻り値の 2 分の 1 を参考値とすることが可能だが、マルチキャストのネットワークを通過する RTP とは違うため、厳密な意味での遅延量は測定しえない。詳細については 8.10.2.3 節を参照されたい。

9.2.3 IP パケットの揺らぎ測定

パケット遅延の揺らぎについては送信側が RTP のタイムスタンプを等間隔に打刻していることを前提に、8.10.2.6 に示した方法で揺らぎ量を測定することが可能である。また、計測時間についてはパケット損失率の測定データを利用可能だが、個別に測定する場合は数分のキャプチャデータでも揺らぎ量を測定できる。これは、定常的な遅延揺らぎ量を STB のバッファとして吸収することを想定しており、経路切り替えなどで発生するバースト的な揺らぎ量は最終的にパケット損失として検知されると考えられる。仮に伝送経路上揺らぎを発生させる問題があれば数分のキャプチャデータでも検知しえる。なお、遅延の測定を PING で代替することを許容できる程度であれば、複数回測定した PING 値から IPDV の算出における IPTDmax と IPTDmin を割り当てることも考えられる。

9.2.4 測定点について

物理層実験においては 8.1.3 節及び 8.3.3 節のとおり ONU の受光パワーもしくは CM の CN 比と IP パケット損失率との間に相関関係が見られたため、IP パケット損失率の測定においては代替手段となり得ると考えられる。ただし、測定項目が遅延、揺らぎである場合この限りではない。

10 今後の課題

10.1.1 MMT・TLV に関する課題

本報告書では MPEG-2 TS の TS パケット長を基に IP パケットの計算をしており、一般に MMT や TLV のパケット長とは異なる。また、MMT や TLV を IP 伝送する仕様は平成 30 年 7 月現在策定されておらず、伝送実験を実施できていないため今後の課題とする。

10.1.2 測定に関する課題

本報告書では IP パケットの揺らぎについて RTP パケットのタイムスタンプを利用した測定を参考値としているが、本来であれば RTP パケットの送出側の仕様を踏まえ、どのように測定すべきかを検討する必要がある、本報告書では汎用的かつ安易な測定方法を導き出すには至っていない。揺らぎの測定方法については引き続き民間標準化団体等で検討することが妥当である。

10.1.3 宅内環境についての課題

本報告書内の実験では宅内環境の影響が反映できるようにホームゲートウェイと無線 LAN を使用した。これについては 8.11 節に考察を記載しているが、本実験に使用した機器は限定されており十分ではない。宅内環境で想定される機器の構成と仕様については別途これを民間標準化機関等において検討し、民間規格等を別途定めるべきである。

Appendix

1 参考資料（実験データ）

2 実験手順

2.1 物理層実験

2.1.1 期待される実験結果

- (1) 伝送網に入力される BER と受信機から出力される UDP の BER が相関している
- (2) 伝送路の品質が劣化することで BER が悪化する相関がある

2.1.2 実験手順

FTTH の物理層実験

| No. | 実施内容 | 期待する動作 |
|-----|---|-----------------------------|
| a-1 | <p>事前設定</p> <ul style="list-style-type: none">・ GE-PON で、マルチキャスト (IP 放送)用と通常トラフィック用の LLID を個々に割り当てる。・ 当該 LLID に ToS (優先制御) を設定する。 マルチキャスト ToS=5 通常トラフィック ToS=0・ 各 LLID に最低保証帯域及び最大保証帯域を設定する。 (1)最低保証帯域マルチキャスト : 100Mbps 通常トラフィック : 0Mbps (2)最大保証帯域 マルチキャスト : 200Mbps 通常トラフィック : 1Gbps・ OLT~ONU 間の Aggregate Shaper 値を 500Mbps*1 に設 | *1 : Aggregate Shaper 値は暫定値 |

| | | |
|-----|---|---------------------------------|
| | <p>定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・信号発生器のマルチキャストストリームのビットレートを 5.3.1 の表の No.1 の値に、通常トラフィックのビットレートを 5.3.3 の表の値に設定する。 ・マルチキャストと通常トラフィックを同一 VLAN (tag) に信号発生器を設定する | |
| a-2 | <p>信号発生器と PON のシステムが接続され、測定器からの IGMP JOIN によって UDP のストリームを受信でき、環境構築に問題がないことを確認する。</p> | <p>測定器で UDP ストリームが受信可能になること</p> |
| a-3 | <p>ONU の受光レベルが規格上の最低受光レベル (-25.5dBm) になるように光アッテネータを調整する。</p> | <p>測定器で UDP ストリームが受信可能になること</p> |
| a-4 | <p>マルチキャストのビットレートに対応した 5.3.2 の表の時間、信号発生器でパケットを送出し、測定器で、パケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する</p> | <p>パケット損失 : 0</p> |
| a-5 | <p>信号発生器でデータの PRBS(Pseudo Random Binary Sequence) 誤り (又は UDP チェックサム誤り) を発生させ、受信側の測定器で誤りを観測する</p> | <p>受信誤りレートが挿入された誤りレートと同一</p> |
| a-6 | <p>光アッテネータにより ONU の受光電力をさらに減衰させ、パケット損失が発生させる。</p> | <p>パケット損失の発生</p> |
| a-7 | <p>このときのパケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する</p> | |

| | | |
|-----|--|--|
| a-8 | マルチキャストのビットレートを 5.3.1 の表の No.2~No.4 に設定して、上記同様の実験を実施する | |
|-----|--|--|

HFC の物理層実験

| No. | 実施内容 | 期待する動作 |
|-----|---|--|
| b-1 | <p>事前設定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ CMTS 信号発生器と DOCSIS の設定を使用するケーブルモデム(CM)システムが接続され、測定器からの仕様 (DS8CHxUS2CH) IGMP JOIN に併せて DS(Down Stream) : 8 CH ボンディング、US(Up Stream) : 4CH よって UDP のボンディング 2 CH ボンディング設定とする。 ・ 使用する変調方式は DS : 256QAM、US:16QAM ストリームを受信でき、環境構築に設定する。 ・ CMTS に優先制御を行ううで、マルチキャストグループ(IP 放送)用のレンジを以下のとおり設定する。 <p>12Mbps : 239.1.1.1~239.1.1.255</p> <p>30Mbps: 239.2.1.1~239.2.1.255</p> <p>60Mbps: 239.3.1.1.1~239.3.1.255</p> <p>80Mbps:</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ CM が CMTS で設定したパラメータとコンフグファイルの設定パラメータに従って正しく起動 (w-online) すること受信機から UDP ストリームが出力され、測定器で測定可能になること |

| | | |
|--|--|--|
| | <p>239.4.1.1~239.4.1.255</p> <ul style="list-style-type: none">表 5.3.1 に従って、マルチキャストグループレンジ毎に適用する Max-Rate 及び Min-Rate 最大保証帯域を設定する。 <p>(1) ビットレート 80Mbps : Max-Rate:100Mbps/Min-Rate:1Mbps</p> <p>(2) ビットレート 60Mbps : Max-Rate:72Mbps/Min-Rate:1Mbps</p> <p>(3) ビットレート 30Mbps : Max-Rate:36Mbps/Min-Rate:1Mbps</p> <p>(4) ビットレート 12Mbps : Max-Rate:14.4Mbps/Min-Rate:1Mbps</p> <ul style="list-style-type: none">CM コンフィグファイルを DS/US の物理層速度の最大値である DS : 32 Mbps、US : 20 Mbps とし CM を起動させ、CMTS で w-online となる問題がないことを確認する。信号発生器のマルチキャストストリームのビットレートを 5.3.1 の表の No.1 の値に、通常トラフィックのビットレート | |
|--|--|--|

| | | |
|-----|---|---------------------------------|
| | <p>を 5.3.3 の表の値に設定する。</p> <p>マルチキャストと通常トラフィックの信号発生器の出力信号を同一の CMTS アップリンクポート (10GE) に入力する。</p> | |
| b-2 | <p>信号発生器と CMTS/CM が接続され、測定器からの IGMP JOIN によって UDP のストリームを受信でき、環境構築に問題がないことを確認する。</p> | <p>測定器で UDP ストリームが受信可能になること</p> |
| b-3 | <p>CM の DS(Down Stream)受信レベルが規格上の最低レベル (-15dBm) になるように CMTS の設定又はアッテネータを調整する。</p> | <p>測定器で UDP ストリームが受信可能になること</p> |
| b-4 | <p>マルチキャストのビットレートに対応した 5.3.2 の表の時間、信号発生器でパケットを送出し、測定器で、パケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する</p> | <p>パケット損失 : 0</p> |
| b-5 | <p>信号発生器でデータの PRBS(Pseudo Random Binary Sequence)誤り (又は UDP チェックサム誤り) を発生させ、受信側の測定器で誤りを観測する</p> | <p>受信誤りレートが挿入された誤りレートと同一</p> |
| b-6 | <p>CMTS 出力レベル設定、アッテネータにより CM の受信電力をさらに低下させ、パケット損失が発生するポイントまで低下させる。</p> | <p>パケット損失の発生</p> |
| b-7 | <p>このときのパケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する</p> | |
| b-8 | <p>マルチキャストのビットレート</p> | |

| | | |
|------|--|--------------------------|
| | を 5.3.1 の表の No.2~No.4 に設定して、上記同様の実験を実施する | |
| b-9 | ノイズ発生器の白色雑音出力レベルを調整し、CM の受信 CN 比を DOCSIS 仕様の伝送路に求められる DS(Down Stream)の C/N 比である 25 dB に設定する。 | 測定器で UDP ストリームが受信可能になること |
| b-10 | マルチキャストのビットレートに対応した 5.3.2 の表の時間、信号発生器でパケットを送出し、測定器で、パケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する | パケット損失 : 0 |
| b-11 | ノイズ発生器の白色雑音出力レベルを調整し、CM の受信 C/N 値を更に低下させ、パケット損失が発生するポイントまで低下させ、CN 比を測定する。 | パケット損失の発生 |
| b-12 | このときのパケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する | |
| b-13 | マルチキャストのビットレートを 5.3.1 の表の No.2~No.4 に設定して、上記同様の実験を実施する | |

2.2 IP 層実験手順

2.2.1 期待される実験結果

- (1) IP パケットの品質状況と映像品質に相関がある
- (2) 伝送網の優先制御（もしくは QoS）と映像品質に相関がある

2.2.2 実験手順

FTTH の IP 層実験

| No. | 実施内容 | 期待する動作 |
|------|--|--|
| c1-1 | 【受信確認】 配信サーバ信号発生器と PON のシステムが接続され、TS アナライザ測定器からの IGMP/MLD JOIN によって RTP/UDP のストリームを受信でき、環境構築に問題がないことを確認する。 | TS アナライザ測定器で RTP/UDP ストリームが受信可能になること |
| c1-2 | 【視聴確認】 上記実験の TS アナライザの代わりに IP-STB を使用し、IGMP/MLD JOIN によって RTP ストリームを受信して再生できることを確認する。 | IP-STB で TS ストリームを再生できること |
| c2-1 | 【パケット損失動作確認】 トラフィックエミュレータでフレーム損失を発生させ、TS アナライザでパケット損失として検知できること。また、損失発生を停止すると、パケット損失も検知しなくなることを確認する。 | TS アナライザによるパケット損失検知が確認できること 計測区間でのパケット損失の有無が確認できること |
| c2-2 | 【パケット損失率】 トラフィックエミュレータで損失率を変化させ、TS アナライザで相応のパケット損失が検知できること。また、IP-STB で再生した映像品質の劣化度 | パケット損失率と映像品質への影響が確認できること |

| | | |
|------|---|--|
| | 合いを確認する。 | |
| c2-3 | <p>【FEC による回復】 上記実験で FEC を送信し、受信側での損失の修復度合いを確認する。</p> | 損失率がある程度低くなると FEC によるパケット損失修復が可能となること |
| c2-4 | <p>【PON 区間での損失】 OLT-ONU 間のアッテネータを調整して発生した損失が、トラフィックエミュレータの損失と同等の特性を示すことを確認する。</p> | 損失の要因に関わらず、パケット損失を検知した際の映像品質の劣化が同等であること |
| c2-5 | <p>【損失の検出】 RTP のシーケンス番号を確認する簡単なツールにより、TS アナライザと同じパケット損失を検出できることを確認する。</p> | 簡単なツールにより、実フィールドで容易に伝送品質(パケット損失)を測定できること |
| c3-1 | <p>【パケット遅延】 リアルタイムエンコーダから送出したストリームにトラフィックエミュレータで遅延量を変化させ、IP-STB での再生遅延を確認する。</p> | 適切に遅延を付加できていること |
| c3-2 | <p>【遅延の影響】 上記実験で遅延量を変化させても、TS アナライザでパケット損失が検出されないことを確認する。 また IP-STB での映像品質に劣化がないことを確認する。</p> | IP パケットの遅延がパケット損失と映像品質の劣化に影響がないこと |
| c3-3 | <p>【ジッタ】 リアルタイムエンコーダから送出したストリームにトラフィックエミュレータでジッタ量を変化させ、TS アナライザでジッタ量を確認する。</p> | 適切にジッタを付加できていること |

| | | |
|------|---|---|
| c3-4 | <p>【ジッタの影響】 最大のジッタ量を吸収できる受信バッファを有する IP-STB で再生した場合に、映像品質に影響がないことを確認する。</p> | <p>IP-STB のジッタ吸収機能が正しく動作していること ※バッファ量を把握できる IP-STB が実験に必要</p> |
| c3-5 | <p>【ジッタの影響】 最大のジッタ量を吸収できない受信バッファを有する IP-STB で再生した場合に、映像品質に影響がでることを確認する。</p> | <p>IP-STB でジッタを吸収できない場合の動作と映像品質が確認できること ※バッファ量を把握・設定できる IP-STB が実験に必要</p> |
| c3-6 | <p>【バッファ量】 IP-STB のバッファ量を変化させた場合の再生開始から表示されるまでの時間を確認する。</p> | <p>IP-STB のバッファリングによる表示開始まで時間が確認できること ※バッファ量を設定できる IP-STB が実験に必要</p> |
| c4-1 | <p>【宅内ルータ】 IPTV に対応した複数の宅内ルータを比較し、ビットレートや揺らぎを変化させた場合の伝送品質を確認する。</p> | <p>宅内ルータの伝送品質を把握し、伝送区間以外での品質劣化を考慮したサービス提供、端末設計に活用する</p> |
| c4-2 | <p>【Wi-Fi 伝送品質】 Wi-Fi 区間でのユニキャスト変換の有無を設定し、TS アナライザで伝送品質の差異を確認する。 また、IP-STB による再生品質の差異を確認する</p> | <p>IP マルチキャストを Wi-Fi 経由で受信する場合の品質を確認し、ユニキャスト変換機能で大幅に伝送品質が改善すること</p> |

HFC の IP 層実験

| No. | 実施内容 | 期待する動作 |
|------|--|---|
| d1-1 | <p>【受信確認】 配信サーバ信号発生器と CMTS DOCSIS のシステムが接続され、CM に接続された TS</p> | <p>TS アナライザで RTP 受信機から UDP ストリームが受信出力され、測定器で測定可能になること</p> |

| | | |
|------|--|--|
| | アナライザ測定器からの IGMP/MLD JOIN によって RTPUDP のストリームを受信でき、環境構築に問題がないことを確認する。 | |
| d1-2 | <p>【視聴確認】 上記実験の TS アナライザの代わりに IP-STB を使用し、IGMP/MLD JOIN によって RTP ストリームを受信して再生できることを確認する。</p> | IP-STB で TS ストリームを再生できること |
| d2-1 | <p>【パケット損失動作確認】 トラフィックエミュレータでフレーム損失を発生させ、TS アナライザでパケット損失として検知できること。また、損失発生を停止すると、パケット損失も検知しなくなることを確認する。</p> | <p>TS アナライザによるパケット損失検知が確認できること 計測区間でのパケット損失の有無が確認できること</p> |
| d2-2 | <p>【パケット損失率】 トラフィックエミュレータで損失率を変化させ、TS アナライザで相応のパケット損失が検知できること。また、IP-STB で再生した映像品質の劣化度合いを確認する。</p> | パケット損失率と映像品質への影響が確認できること |
| d2-3 | <p>【FEC による回復】 上記実験で FEC を送信し、受信側での損失の修復度合いを確認する。</p> | 損失率がある程度低くなると FEC によるパケット損失修復が可能となること |
| d2-4 | <p>【DOCSIS 区間での損失 1】 b-6 で設定した CM の受信レベルで発生したパケット損失が、トラフィックエミュレータの損失と同等の特性を示すことを確認する。</p> | 損失の要因に関わらず、パケット損失を検知した際の映像品質の劣化が同等であること |

| | | |
|------|--|--|
| d2-5 | <p>【損失の検出】 RTP のシーケンス番号を確認する簡単なツールにより、TS アナライザと同じパケット損失を検出できることを確認する。</p> | 簡単なツールにより、実フィールドで容易に伝送品質(パケット損失)を測定できること |
| d2-6 | <p>【DOCSIS 区間での損失 2】 b-11 で設定した CM の受信点における CN 比で発生したパケット損失が、トラフィックエミュレータの損失と同等の特性を示すことを確認する。</p> | 損失の要因に関わらず、パケット損失を検知した際の映像品質の劣化が同等であること |
| d2-7 | <p>【損失の検出】 RTP のシーケンス番号を確認する簡単なツールにより、TS アナライザと同じパケット損失を検出できることを確認する。</p> | 簡単なツールにより、実フィールドで容易に伝送品質(パケット損失)を測定できること |
| d3-1 | <p>【パケット遅延】 リアルタイムエンコーダから送出したストリームにトラフィックエミュレータで遅延量を変化させ、IP-STB での再生遅延を確認する。</p> | 適切に遅延を付加できていること |
| d3-2 | <p>【遅延の影響】 上記実験で遅延量を変化させても、TS アナライザでパケット損失が検出されないことを確認する。 また IP-STB での映像品質に劣化がないことを確認する。</p> | IP パケットの遅延がパケット損失と映像品質の劣化に影響がないこと |
| d3-3 | <p>【ジッタ】 リアルタイムエンコーダから送出したストリームにトラフィックエミュレータでジッタ量を変化させ、TS アナライザ</p> | 適切にジッタを付加できていること |

| | | |
|------|--|--|
| | でジッタ量を確認する。 | |
| d3-4 | <p>【ジッタの影響】</p> <p>最大のジッタ量を吸収できる受信バッファを有する IP-STB で再生した場合に、映像品質に影響がないことを確認する。</p> | <p>IP-STB のジッタ吸収機能が正しく動作していること</p> <p>※バッファ量を把握できる IP-STB が実験に必要</p> |
| d3-5 | <p>【ジッタの影響】</p> <p>最大のジッタ量を吸収できない受信バッファを有する IP-STB で再生した場合に、映像品質に影響がでることを確認する。</p> | <p>IP-STB でジッタを吸収できない場合の動作と映像品質が確認できること</p> <p>※バッファ量を把握・設定できる IP-STB が実験に必要</p> |
| d3-6 | <p>【バッファ量】</p> <p>IP-STB のバッファ量を変化させた場合の再生開始から表示されるまでの時間を確認する。</p> | <p>IP-STB のバッファリングによる表示開始まで時間が確認できること</p> <p>※バッファ量を設定できる IP-STB が実験に必要</p> |
| d3-7 | <p>【宅内ルータ】</p> <p>IPTV に対応した複数の宅内ルータを比較し、ビットレートや揺らぎを変化させた場合の伝送品質を確認する。</p> | <p>宅内ルータの伝送品質を把握し、伝送区間以外での品質劣化を考慮したサービス提供、端末設計に活用する</p> |
| d3-8 | <p>【Wi-Fi 伝送品質】</p> <p>Wi-Fi 区間でのユニキャスト変換の有無を設定し、TS アナライザで伝送品質の差異を確認する。</p> <p>また、IP-STB による再生品質の差異を確認する</p> | <p>IP マルチキャストを Wi-Fi 経由で受信する場合の品質を確認し、ユニキャスト変換機能で大幅に伝送品質が改善すること</p> |

3 実験結果データ

FTTH での物理層実験結果データ (80Mbps)

| dB | 受信パケット | ロスト | 総パケット数 | ロス率 |
|-------|------------|---------|------------|---------|
| 32.50 | 1,018,561 | 206,685 | 1,225,246 | 1.7E-01 |
| 32.00 | 1,243,859 | 29,988 | 1,273,847 | 2.4E-02 |
| 31.50 | 1,272,727 | 1,946 | 1,274,673 | 1.5E-03 |
| 31.00 | 1,271,226 | 162 | 1,271,388 | 1.3E-04 |
| 30.70 | 1,280,501 | 6 | 1,280,507 | 4.7E-06 |
| 30.50 | 2,158,886 | 5 | 2,158,891 | 2.3E-06 |
| 30.30 | 2,158,073 | 1 | 2,158,074 | 4.6E-07 |
| 30.00 | 14,002,192 | 0 | 14,002,192 | 0.0E+00 |
| 25.50 | 1,285,671 | 0 | 1,285,671 | 0.0E+00 |

FTTH での物理層実験結果データ (12Mbps)

| dB | 受信パケット | ロスト | 総パケット数 | ロス率 |
|-------|---------|--------|---------|---------|
| 32.50 | 157,606 | 28,516 | 186,122 | 1.5E-01 |
| 32.00 | 184,943 | 5,730 | 190,673 | 3.0E-02 |
| 31.50 | 193,193 | 291 | 193,484 | 1.5E-03 |
| 31.00 | 192,044 | 21 | 192,065 | 1.1E-04 |
| 30.70 | 192,025 | 1 | 192,026 | 5.2E-06 |
| 30.50 | 193,444 | 0 | 193,444 | 0.0E+00 |
| 25.50 | 192,506 | 0 | 192,506 | 0.0E+00 |

HFC での物理層実験結果データ (80Mbps) レベル +6dB

| dB | 受信パケット | ロスト | 総パケット数 | ロス率 |
|-------|------------|-----|------------|---------|
| 35.00 | 1,286,271 | 0 | 1,286,271 | 0.0E+00 |
| 33.00 | 1,286,271 | 0 | 1,286,271 | 0.0E+00 |
| 28.70 | 13,011,071 | 1 | 13,011,072 | 7.7E-08 |
| 28.60 | 9,833,000 | 2 | 9,833,002 | 2.0E-07 |
| 28.50 | 5,381,163 | 5 | 5,381,168 | 9.3E-07 |
| 28.40 | 2,578,029 | 3 | 2,578,032 | 1.2E-06 |
| 28.30 | 1,283,020 | 7 | 1,283,027 | 5.5E-06 |
| 28.20 | 1,389,295 | 3 | 1,389,298 | 2.2E-06 |

| | | | | |
|-------|-----------|-------|-----------|---------|
| 28.10 | 1,283,917 | 3 | 1,283,920 | 2.3E-06 |
| 28.00 | 1,288,765 | 131 | 1,288,896 | 1.0E-04 |
| 27.90 | 1,279,098 | 277 | 1,279,375 | 2.2E-04 |
| 27.50 | 1,339,943 | 1728 | 1,341,671 | 1.3E-03 |
| 27.00 | 1,189,853 | 89044 | 1,278,897 | 7.0E-02 |

HFC での物理層実験結果データ (12Mbps) レベル +6dB

| dB | 受信パケット | ロスト | 総パケット数 | ロス率 |
|-------|---------|-------|---------|---------|
| 28.60 | 820993 | 0 | 820,993 | 0.0E+00 |
| 28.30 | 827935 | 3 | 827,938 | 3.6E-06 |
| 28.00 | 159,993 | 1 | 159,994 | 6.3E-06 |
| 27.80 | 164,488 | 1 | 164,489 | 6.1E-06 |
| 27.70 | 160,803 | 7 | 160,810 | 4.4E-05 |
| 27.60 | 162071 | 57 | 162,128 | 3.5E-04 |
| 27.30 | 159,600 | 873 | 160,473 | 5.4E-03 |
| 27.00 | 158,959 | 7,436 | 166,395 | 4.5E-02 |

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻¹

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|--|
| 37121 | 4096 | 2018/06/21 11:11:36.479 JST | 14749775 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLT ag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 12594 | 12288 | 2018/06/21 11:11:34.618 JST | 14650772 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 12594 | 12288 | 2018/06/21 11:11:34.387 JST | 14638487 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 12594 | 12288 | 2018/06/21 11:11:34.274 JST | 14632523 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 12594 | 12288 | 2018/06/21 11:11:34.160 JST | 14626433 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻²

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|---|
| 37121 | 4096 | 2018/06/21 11:03:14.567 JST | 37625051 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 12594 | 12288 | 2018/06/21 11:03:12.281 JST | 37503462 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 37121 | 12288 | 2018/06/21 11:03:12.099 JST | 37493741 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー start |
| 37121 | 4096 | 2018/06/21 11:03:11.321 JST | 37452380 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 12594 | 12288 | 2018/06/21 11:03:10.987 JST | 37434631 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻³

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|---|
| 37121 | 4096 | 2018/06/21 11:17:32.135 JST | 14900765 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 37121 | 12288 | 2018/06/21 11:17:31.320 JST | 14857432 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー start |
| 12594 | 12288 | 2018/06/21 11:17:31.003 JST | 14840542 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 37121 | 4096 | 2018/06/21 11:17:24.821 JST | 14511725 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 37121 | 12288 | 2018/06/21 11:17:23.793 JST | 14457076 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー start |

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻⁴

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|---|
| 37121 | 4096 | 2018/06/22 16:29:35.696 JST | 21783972 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 12594 | 12288 | 2018/06/22 16:29:35.305 JST | 21763197 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 12594 | 12288 | 2018/06/22 16:29:33.951 JST | 21691174 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 37121 | 12288 | 2018/06/22 16:29:33.224 JST | 21652517 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー start |
| 12594 | 12288 | 2018/06/22 16:29:32.669 JST | 21622973 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 37121 | 4096 | 2018/06/22 16:29:32.410 JST | 21609237 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 12594 | 12288 | 2018/06/22 16:29:31.121 JST | 21540674 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 37121 | 12288 | 2018/06/22 16:29:29.973 JST | 21479605 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー start |

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻⁵

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|---|
| 37121 | 4096 | 2018/06/22 16:36:12.771 JST | 42904876 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 37121 | 12288 | 2018/06/22 16:36:11.972 JST | 42862380 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー start |

| | | | | |
|-------|-------|--------------------------------|----------|---|
| 12594 | 12288 | 2018/06/22 16:36:10.570 JST | 42787774 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー): pid 512 [0x200] |
| 37121 | 4096 | 2018/06/22 16:35:59.762 JST | 42212896 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 37121 | 12288 | 2018/06/22 16:35:58.977 JST | 42171129 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー start |
| 12594 | 12288 | 2018/06/22 16:35:58.067 JST | 42122753 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー): pid 512 [0x200] |
| 37121 | 4096 | 2018/06/22 16:35:50.817 JST | 41737114 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 37121 | 12288 | 2018/06/22 16:35:49.990 JST | 41693102 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー start |

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻⁶

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|---|
| 37121 | 4096 | 2018/06/22 16:42:06.757 JST | 61733947 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 12594 | 12288 | 2018/06/22 16:42:04.708 JST | 61624991 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー): pid 512 [0x200] |
| 37121 | 12288 | 2018/06/22 16:38:41.236 JST | 50801964 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー start |
| 12594 | 12288 | 2018/06/22 16:38:40.327 JST | 50753578 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー): pid 512 [0x200] |

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻⁷

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|---|
| 37121 | 4096 | 2018/06/29 15:09:48.392 JST | 6.07E+08 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 37121 | 12288 | 2018/06/29 15:09:47.546 JST | 6.07E+08 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー start |
| 12594 | 12288 | 2018/06/29 15:09:47.154 JST | 6.07E+08 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 4112 [0x1010] |
| 12594 | 12288 | 2018/06/29 15:09:47.149 JST | 6.07E+08 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |
| 12356 | 12288 | 2018/06/29 15:09:37.744 JST | 6.07E+08 | PCR 周波数オフセットエラー: pid 512 [0x200](オフセット: -811Hz) start |
| 37121 | 4096 | 2018/06/29 15:08:55.353 JST | 6.04E+08 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー end |
| 37121 | 12288 | 2018/06/29 15:08:54.543 JST | 6.04E+08 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 TS Continuity Count エラー start |
| 12594 | 12288 | 2018/06/29 15:08:53.596 JST | 6.04E+08 | TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200] |

遅延挿入 IP 層実験結果データ (100msec)

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|--|
| 12357 | 8192 | 2018/06/27 18:44:51.738 JST | 36163800 | PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: 1771146mHz/s) end, duration 108866ms |
| 12357 | 12288 | 2018/06/27 18:43:02.872 JST | 30372980 | PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: 16631mHz/s) start |
| 12357 | 8192 | 2018/06/27 18:43:02.589 JST | 30358084 | PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: -9268224mHz/s) end, duration 67809ms |
| 12357 | 12288 | 2018/06/27 18:41:54.779 JST | 26751390 | PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: -9268224mHz/s) start |
| 12356 | 12288 | 2018/06/27 18:41:53.944 JST | 26706702 | PCR 周波数オフセットエラー: pid 512 [0x200](オフセット: - 1114841Hz) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:41:43.164 JST | 26133206 | PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 40679us) end, duration 29ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:41:43.135 JST | 26131344 | PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 40679us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:41:42.952 JST | 26122034 | PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 43334us) end, duration 25ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:41:42.927 JST | 26120172 | PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 43334us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:41:42.737 JST | 26110862 | PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 40705us) end, duration 24ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:41:42.713 JST | 26109000 | PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 40705us) start |

遅延挿入 IP 層実験結果データ (150msec)

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|---------|--|
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:36:01.388 JST | 8470676 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44419us) end, duration 24ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:36:01.363 JST | 8468814 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44419us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:36:01.323 JST | 8466952 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -45379us) end, duration 30ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:36:01.294 JST | 8465090 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -45379us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:36:01.067 JST | 8453918 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -45936us) end, duration 125ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:36:00.942 JST | 8446470 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44587us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:36:00.723 JST | 8435298 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -47381us) end, duration 98ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:36:00.625 JST | 8429712 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -43821us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:36:00.402 JST | 8418540 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -46388us) end, duration 128ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:36:00.274 JST | 8411092 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44378us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:36:00.226 JST | 8409230 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41356us) end, duration 25ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:36:00.201 JST | 8407368 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41356us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:36:00.084 JST | 8401782 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -48657us) end, duration 124ms |

遅延挿入 IP 層実験結果データ (200msec)

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|---|
| 12357 | 12288 | 2018/06/27 18:29:33.639 JST | 1.45E+08 | PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: 33740mHz/s) start |
| 12357 | 8192 | 2018/06/27 18:29:33.615 JST | 1.45E+08 | PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: -115120264mHz/s) end, duration 768490ms |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:28:58.433 JST | 1.43E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41278us) end, duration 28ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:28:58.405 JST | 1.43E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41278us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:28:58.086 JST | 1.43E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44341us) end, duration 30ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:28:58.056 JST | 1.43E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44341us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:28:58.016 JST | 1.43E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -42535us) end, duration 68ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:28:57.948 JST | 1.43E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -42535us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:28:57.904 JST | 1.43E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41985us) end, duration 28ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:28:57.876 JST | 1.43E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41985us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:28:57.658 JST | 1.43E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -48736us) end, duration 57ms |

遅延挿入 IP 層実験結果データ (300msec)

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|--|
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:25:24.505 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40962us) end, duration 36ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:25:24.469 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40962us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:25:23.882 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 42224us) end, duration 76ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:25:23.806 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40580us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:25:23.215 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 43919us) end, duration 43ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:25:23.172 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 43919us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:25:22.546 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 42380us) end, duration 70ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:25:22.476 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40481us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:25:21.882 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 42790us) end, duration 40ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:25:21.842 JST | 1.32E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 42790us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:25:02.002 JST | 1.31E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40921us) end, duration 70ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 18:25:01.932 JST | 1.31E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40309us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 18:25:01.338 JST | 1.31E+08 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40629us) end, duration 36ms |

遅延挿入 IP 層実験結果データ (500msec)

| EventID | State | Time | Packet | Message |
|---------|-------|--------------------------------|----------|--|
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 17:47:37.995 JST | 13296984 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -42610us) start |
| 14420 | 12288 | 2018/06/27 17:47:37.500 JST | N/A | IF IP pkt interarrival time リミット エラ ー 10135463 (threshold 10000000) start |
| 36871 | 12288 | 2018/06/27 17:47:37.444 JST | 13271094 | セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTag:0x0 IP PIT オー バーリミット (10135us) start |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 17:47:36.974 JST | 13242986 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -46615us) end, duration 103ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 17:47:36.871 JST | 13237400 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -40512us) start |
| 14420 | 8192 | 2018/06/27 17:47:36.000 JST | N/A | IF IP pkt interarrival time リミット エラ ー 5227472 (threshold 10000000) end, duration 500ms |
| 12355 | 8192 | 2018/06/27 17:47:35.854 JST | 13183402 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -49428us) end, duration 102ms |
| 12355 | 12288 | 2018/06/27 17:47:35.752 JST | 13177816 | PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -43323us) start |
| 12640 | 8192 | 2018/06/27 17:47:35.671 JST | 13173757 | TR 101 290 エラー 1.5.a (PMT 周期 エラー2): PMT 周期が設定値を超え た プログラム program 1 [0x1] pid 256 [0x100] end, duration 133ms |
| 12640 | 12288 | 2018/06/27 17:47:35.668 JST | N/A | TR 101 290 エラー 1.5.a (PMT 周期 エラー2): PMT 周期が設定値を超え た プログラム program 1 [0x1] pid 256 [0x100] start |

デジタル有線テレビジョン放送用
受信装置における 256QAM 方式信号の
C/N比試験報告書

平成28年10月11日

一般社団法人 日本CATV技術協会

はじめに

これまで、有線一般放送の品質に関する技術基準（平成 23 年総務省令第 95 号）のデジタル有線テレビジョン放送方式の 256QAM の CN 比等の規格については、64QAM 規格を制定した当初の試験データを利用して規定したが、その後の STB の技術進歩を鑑み見直しが必要な段階に来ている。このため、JLabs SPEC-018【デジタル放送 高度リマックス運用仕様 (i-HITS)】相当品の STB が 256QAM 方式を使った放送の端末として利用されると推定されることから、複数社の STB を使用して再評価を行うことで所要 CN 比の見直しを行うものとする。

256QAM 方式信号の CN 比試験報告書

目 次

| | |
|---|----|
| 1. 256QAM デジタル有線テレビジョン信号の搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの特性 | 1 |
| 1.1 測定系統図 | 1 |
| 1.2 測定条件 | 1 |
| 1.3 測定結果 | 1 |
| 2. 256QAM 信号の CN 比と BER の測定 | 3 |
| 2.1 測定系統図 | 3 |
| 2.2 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比の測定結果 | 3 |
| 2.4 測定詳細 | 5 |
| 2.5 試験結果 | 7 |
| 3. 多チャンネル伝送時の 256QAM 信号の CN 比と BER の測定 | 8 |
| 3.1 測定系統図 | 8 |
| 3.2 多チャンネル伝送波形 | 8 |
| 3.3 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比の測定結果 | 10 |
| 3.4 測定詳細 | 11 |
| 4. 変調器の確認 | 14 |
| 5. 関連する品質基準について | 15 |
| 5.1 所要 CN 比 | 15 |
| 5.2 搬送波のレベル | 15 |
| 6. 試験日、試験場所及び測定器 | 16 |

1. 256QAM デジタル有線テレビジョン信号の搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの特性

本試験では、測定の基本データを得るための256QAM デジタル有線テレビジョン放送信号(以下「256QAM 信号」とする)の信号レベル・帯域外輻射レベルと搬送波帯幅をスペクトラムアナライザで測定する。

1.1 測定系統図

測定系統図を図 1-1 に示す。

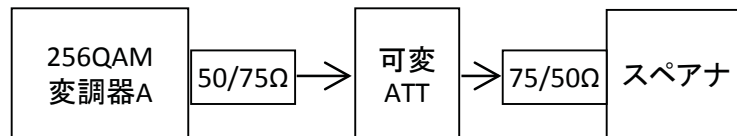


図 1-1 256QAM 信号の信号レベル・搬送波帯幅および帯域外輻射レベルの試験系統図

1.2 測定条件

測定条件を表1-1に示す。

表 1-1 測定条件

| CN比 | | 雑音付加なし |
|------|--------------|--------|
| スペアナ | スパン | 10MHz |
| | 分解能帯域幅 (RBW) | 100kHz |
| | 映像帯域幅 (VBW) | 1MHz |
| | 測定モード | 平均値 |
| | 検波モード | SAMPLE |
| | アベレージ機能 | 1000回 |
| | チャンネルパワー帯域幅 | 6MHz |

1.3 測定結果

測定結果を表 1-2 および図 1-2、図 1-3 に示す。

1.3.1 信号レベルと帯域外輻射レベル

表 1-2 測定結果

| 項目 | 条件 | 変調器 |
|------------------------|----|---------|
| 信号レベル | | 90dBμV |
| 帯域外輻射レベル ^{注)} | | -61dB以下 |

注) 帯域外輻射レベルは、測定周波数は 479/761MHz の悪い方の値

1.3.2 搬送波帯幅

変調器：測定チャンネル周波数 U14 (479MHz)

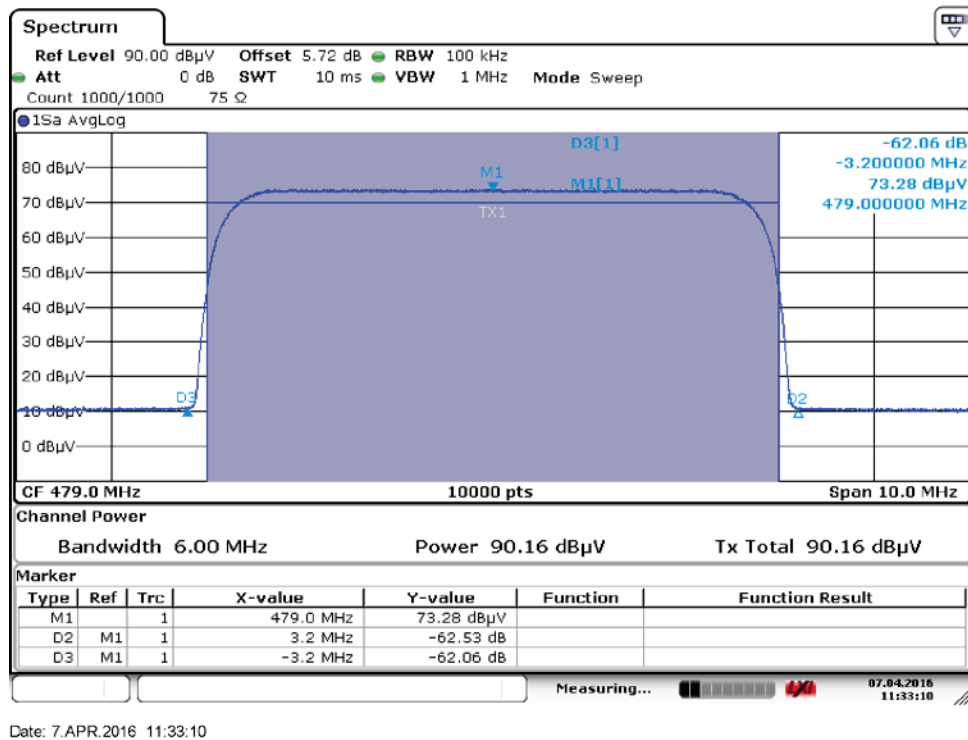


図 1-2 256QAM 信号 U14 (479MHz) の搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの測定結果 (変調器)

変調器：測定チャンネル周波数 U61 (761MHz)

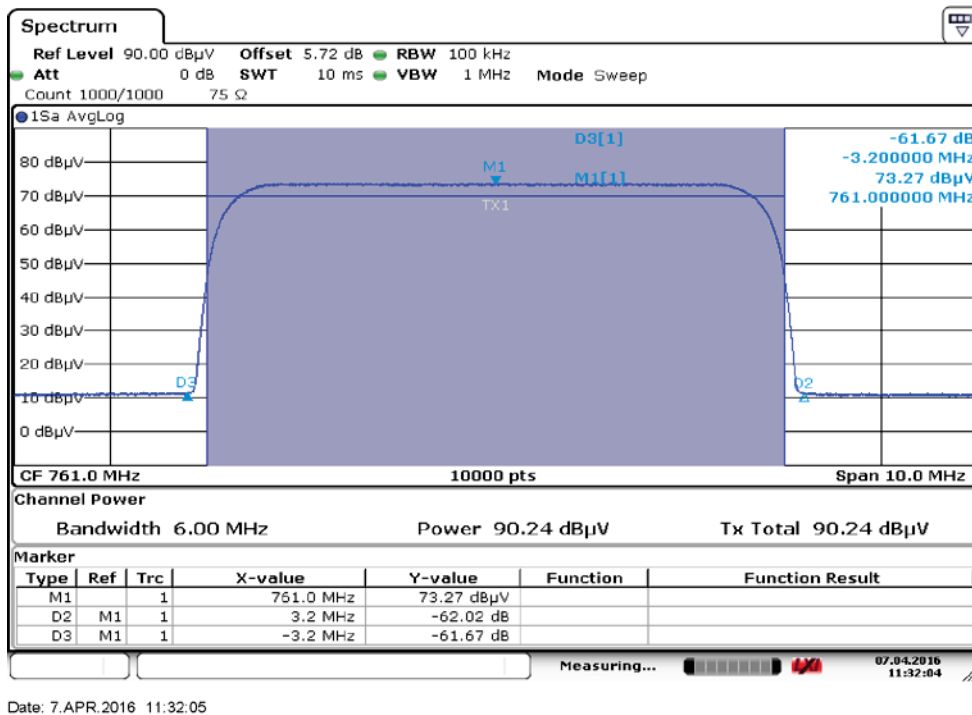


図 1-3 256QAM 信号 U61 (761MHz) 搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの測定結果 (変調器)

2. 256QAM 信号の CN 比と BER の測定

本試験では、256QAM 信号にガウスノイズが重畳されたときの信号電力 (C) とノイズ電力 (N) の比に対する BER を複数社の STB で測定する。

2.1 測定系統図

測定系統図を図 2-1 に示す。

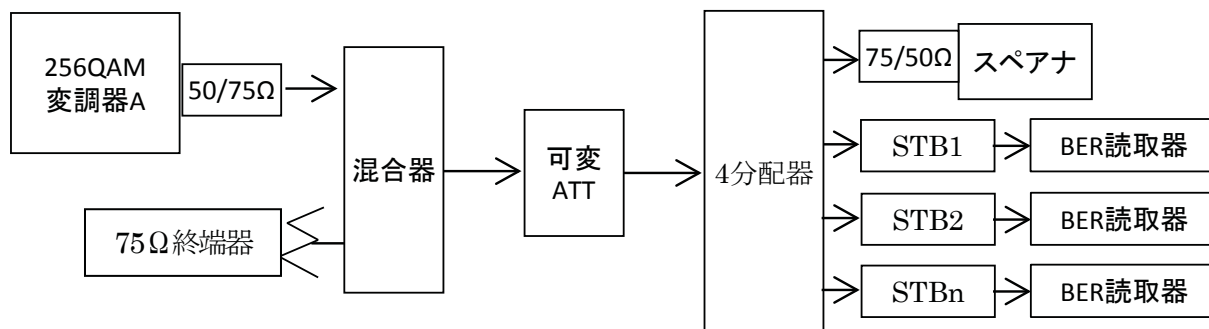


図 2-1 256QAM 信号の CN 比と BER 測定の試験系統図

<変調器 A 設定条件> :

出力レベル=91.5dB μ V/479MHz, 92.8dB μ V/761MH

(設定 File 名 : D:data/256qam-479MHz-160624.savrd)

<ATT 設定>

- STB 受信レベル 66dB μ V : 479MHz/12.3dB、761MHz/11.3dB
- STB 受信レベル 55dB μ V : 479MHz/23.4dB、761MHz/22.4dB

2.2 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比の測定結果

BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比を測定した結果を表 2-1 に示す。

なお、測定条件を表 2-2 に示す。

測定は、標準入力レベル (66dB μ V) と最低入力レベル (55dB μ V) において行う。

表 2-1 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比測定値 (256QAM 1 波の時)

| 項目 | 入力レベル | 66dB μ V | 55dB μ V |
|---|-------|--------------|--------------|
| BER (RS前) が 1×10^{-4} となる CN比 (dB) (理論値30.5dB) | STB1 | 30.8 / 30.8 | 31.0 / 31.1 |
| | STB2 | 30.8 / 30.8 | 31.0 / 31.1 |
| | STB3 | 31.5 / 31.6 | 31.8 / 31.8 |
| | STB4 | 31.0 / 31.0 | 31.3 / 31.3 |
| | STB5 | 30.7 / 30.7 | 30.7 / 30.8 |
| | STB6 | 30.7 / 30.7 | 30.7 / 30.8 |

注 1) 測定周波数は U14 (479MHz) / U61 (761MHz)

注 2) STB には RS-OFF 時の BER を外部 BER 測定器で測定する機能がないため、STB の RS-OFF 時の BER としては STB 内部処理で算出した BER 表示値を使用した。

注 3) RS-OFF 時の BER 理論値は、下記の理論式より求めた。

$$\text{絶対同期検波の場合 ; } \text{BER}_{256\text{QAM}} = 15/64 \operatorname{erfc}(C/N / 170)^{1/2}$$

表 2-2 CN 比測定条件

| 測定周波数 | | U14 (479MHz) / U61 (761MHz) |
|------------|--------------|-----------------------------|
| スペアナ 設定 | スパン | 20MHz |
| | 分解能帯域幅 (RBW) | 100kHz |
| | 映像帯域幅 (VBW) | 1kHz |
| | レベル測定モード | 平均値 |
| | 検波モード | SAMPLE |
| | アベレージ機能 | 1000回 |
| | チャンネルパワー帯域幅 | 6MHz |

2.4 測定詳細

測定はU14chおよびU61chで標準入力レベル（66dB μ V）と最低入力レベル（55dB μ V）で行い、ほぼ同様の結果が得られた。それを図2-2～図2-5に示す。

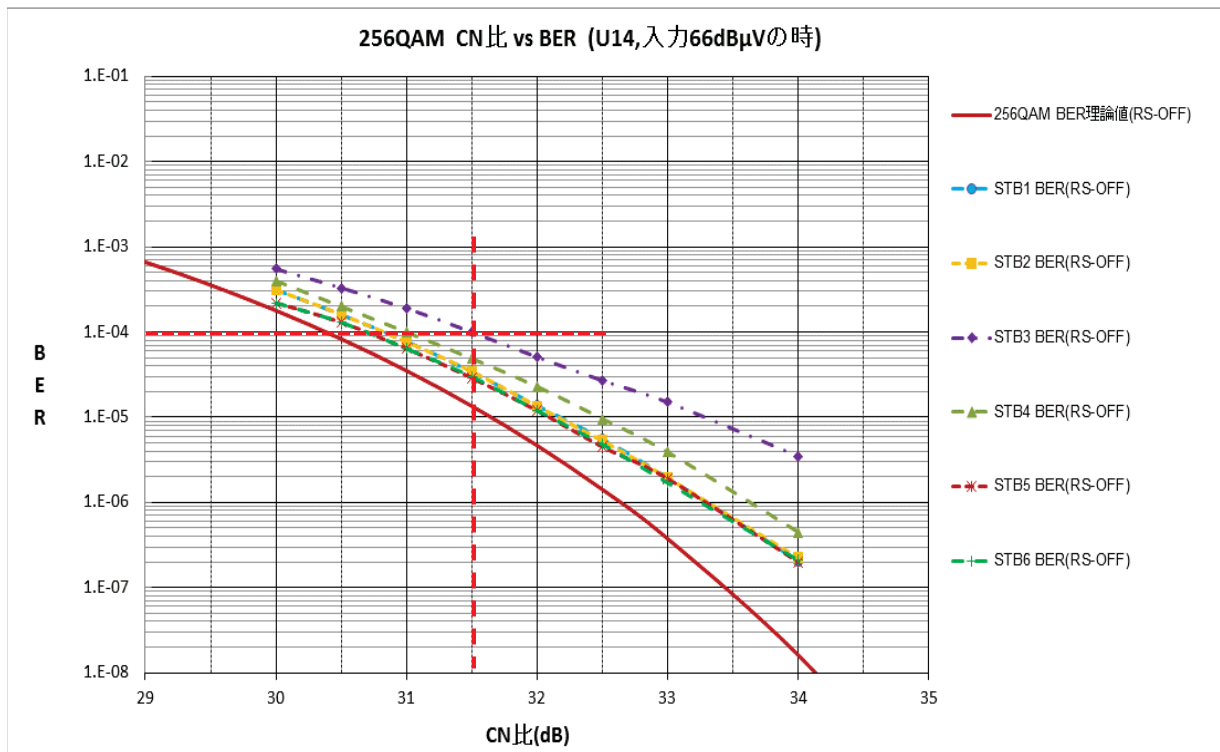


図 2-2 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 66dB μ V の時

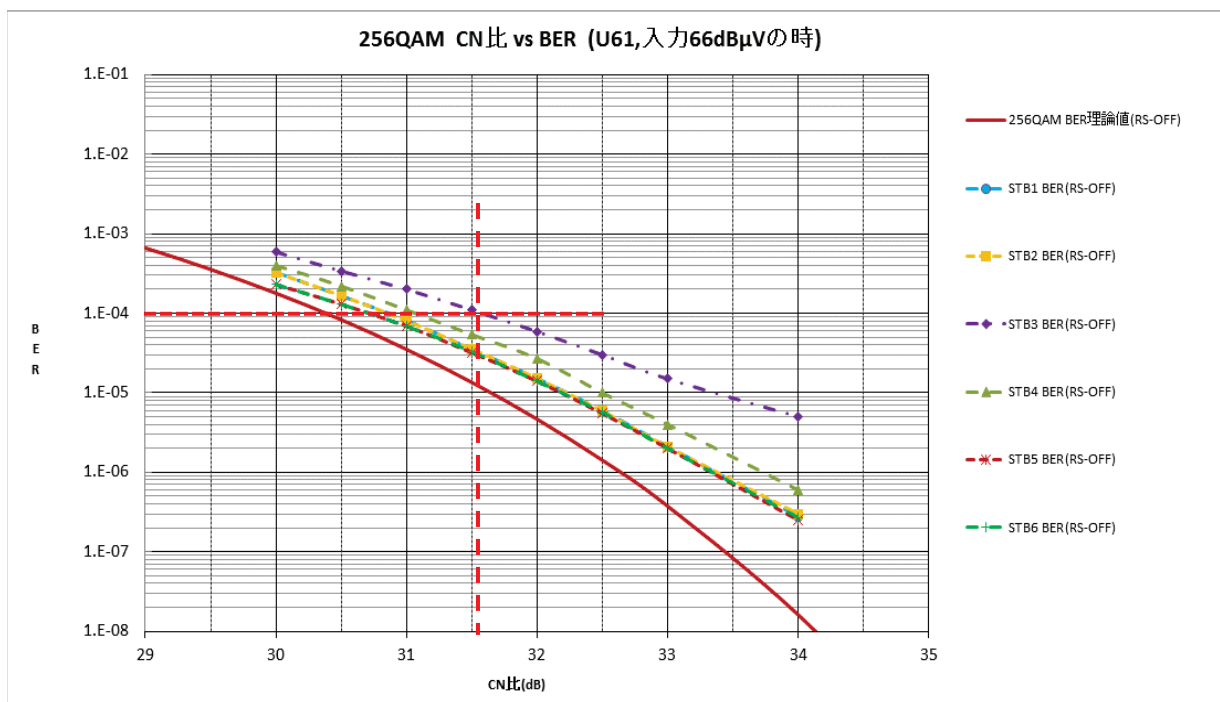


図 2-3 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 66dB μ V の時

標準入力レベル（66dB μ V）の時の測定結果である図 2-2 および図 2-3 より、STB の差は、0.9dB 以内に収まっている。

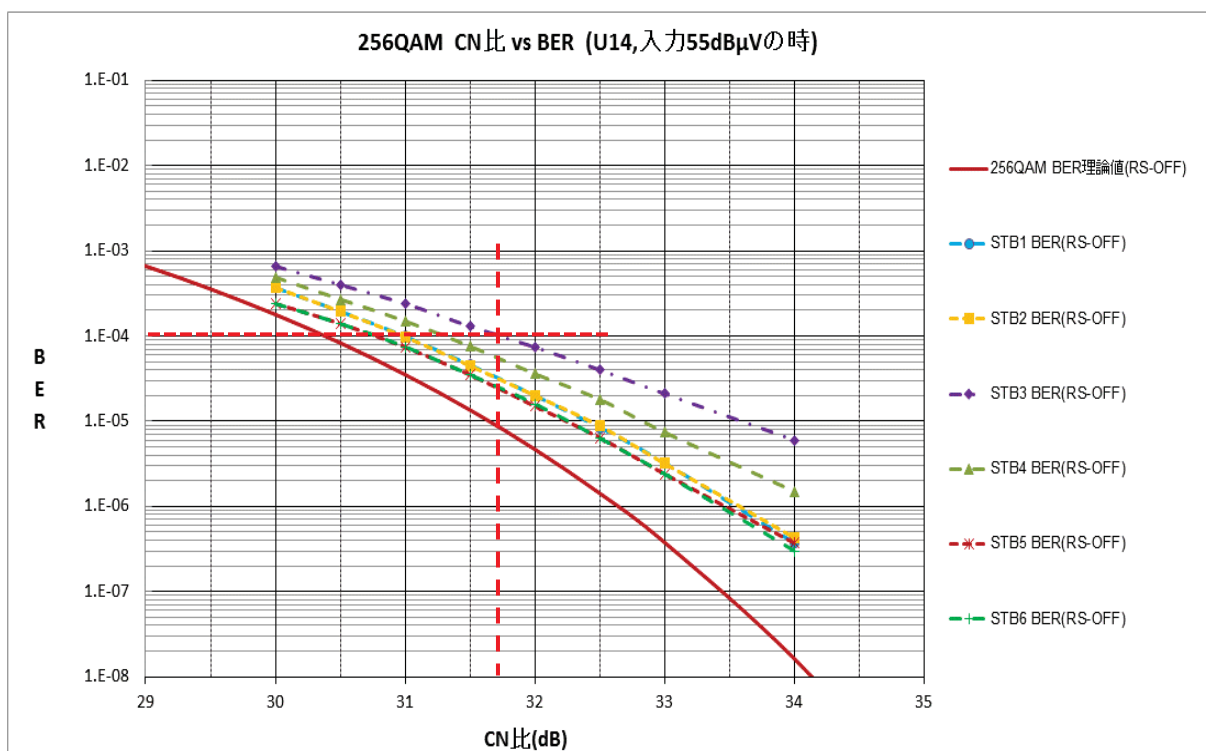


図 2-4 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 55dB μ V の時

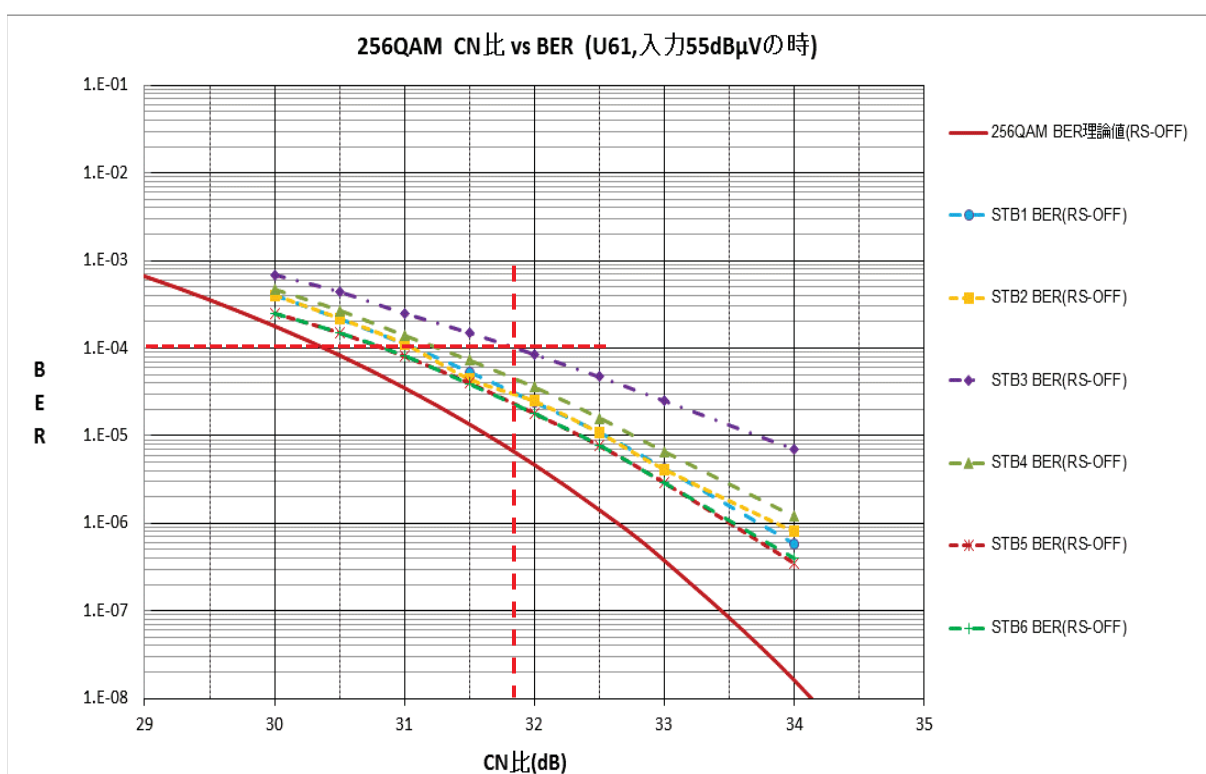


図 2-5 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 55dB μ V の時

最低入力レベル (55dB μ V) の時の測定結果である図 2-4 および図 2-5 より、STB の差は、1.1dB 以内に収まっている。

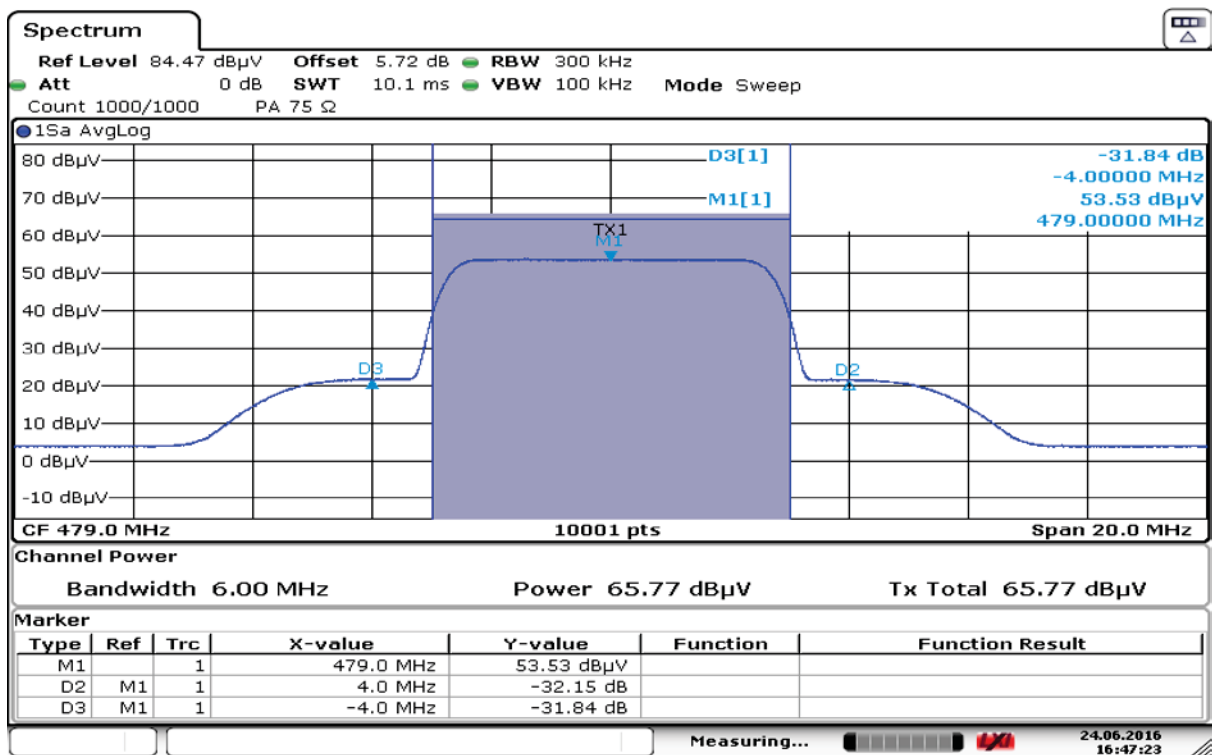
標準入力レベル (66dB μ V) と最低入力レベル (55dB μ V) との差は、0.3dB 以内に収まっている。

2.5 試験結果

測定結果は、RS-OFF 時の BER は絶対同期検波の理論値より最大 1.5dB 以内の劣化範囲にある。

今回測定したSTBのBER (RS-OFF) が 1×10^{-4} 以下となるCN比は、標準入力レベル (66dB μ V) のとき、31.6dB 以上のため、チューナのバラツキ等も考慮して、受信者端子における所要 CN 比としては33dB*1とすることが望ましい。

<参考 1> 測定チャンネルのノイズ付加のスペクトラム波形例



Date: 24.JUN.2016 16:47:23

*1: チューナ部の雑音指数および復調部の各バラツキを考慮。

3. 多チャンネル伝送時の 256QAM 信号の CN 比と BER の測定

本試験では、多チャンネルの 256QAM (デジタル有線テレビジョン放送) 信号を 110 波伝送した時における 256QAM 信号にガウスノイズが重畳されたときの信号電力 (C) とノイズ電力 (N) の比に対する BER を複数社の STB で測定する。

3.1 測定系統図

測定系統図を図 3-1 に示す。

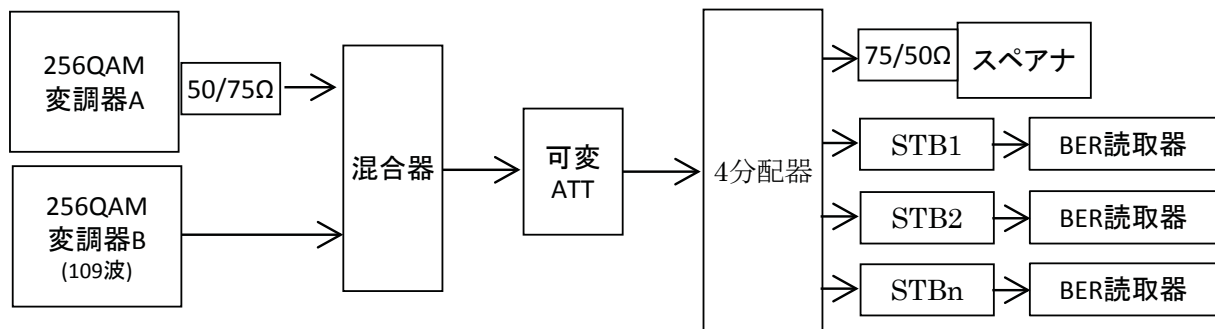


図 3-1 多チャンネル信号時における 256QAM 信号の CN 比と BER 測定の試験系統図

<変調器 A 設定条件> :

出力レベル=91.5dB μ V/479MHz, 92.8dB μ V/761MH

(設定 File 名 : D:data/256qam-479MHz-160624.savrd)

<変調器 B 設定条件> :

109ch すべて 256QAM(J.83C)、C27 (249MHz) ,U14 (479MHz) ,U61 (761MHz) は OFF

(設定 File 名 : J83C/J83C-256QAM-110ch-160624rev1.cfg)

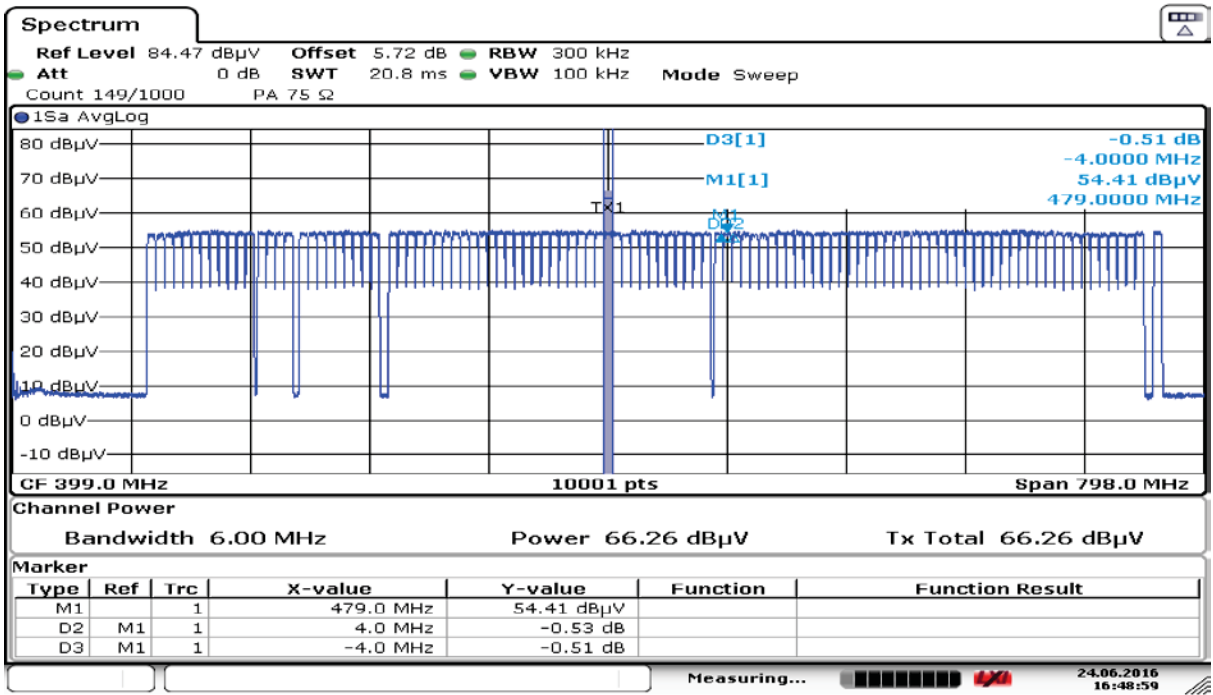
<ATT 設定> :

受信レベル 66dB μ V : 479MHz/12.8dB、761MHz/13.0dB

3.2 多チャンネル伝送波形

本試験に使用した多チャンネルの 256QAM 信号を 110 波伝送した時の測定波形を図 3-2 に示す。

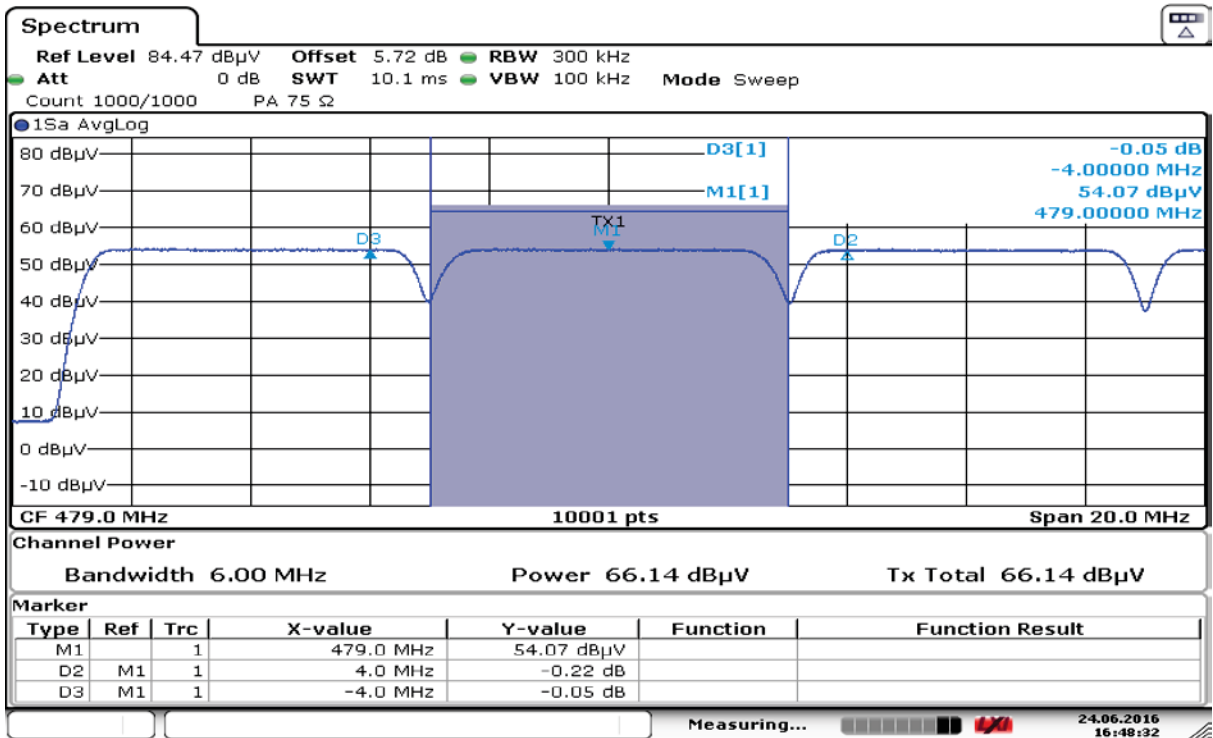
測定ファイル : CATV-Allch-CF399MHz.dfl



Date: 24. JUN. 2016 16:48:59

図 3-2 多チャンネル（110 波）信号時における 256QAM 信号試験信号

<参考 2> 測定チャンネル付近のスペクトラム波形例



Date: 24. JUN. 2016 16:48:31

3.3 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比の測定結果

BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比を測定した結果を表 3-1 に示す。

なお、測定条件を表 3-2 に示す。

測定は、標準入力レベル (66dB μ V) と最大入力レベル (81dB μ V) 及び最低入力レベル (55dB μ V) において行う。

表 3-1 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比測定値 (256QAM 110 波の時)

| 項目 | 入力レベル | 66dB μ V | 81dB μ V | 55dB μ V |
|---|-------|--------------|--------------|--------------|
| BER (RS前) が 1×10^{-4} となる CN比 (dB) (理論値30.3dB) | STB1 | 31.1 / 31.1 | 31.1 / 31.1 | 31.1 / 31.2 |
| | STB2 | 31.2 / 31.1 | 31.1 / 31.1 | 31.2 / 31.2 |
| | STB3 | 31.6 / 31.6 | 31.5 / 31.6 | 31.7 / 31.8 |
| | STB4 | 31.2 / 31.2 | —注4) | 31.3 / 31.4 |
| | STB5 | 30.9 / 30.8 | 31.2 / 31.0 | 30.9 / 31.0 |
| | STB6 | 30.8 / 30.8 | 31.0 / 31.0 | 31.1 / 31.1 |

注 1) 測定周波数は U14 (479MHz) / U61 (761MHz)

注 2) STB には RS-OFF 時の BER を外部 BER 測定器で測定する機能がないため、STB の RS-OFF 時の BER としては STB 内部処理で算出した BER 表示値を使用した。

注 3) RS-OFF 時の BER 理論値は、下記の理論式より求めた。

$$\text{絶対同期検波の場合 ; } \text{BER}_{256\text{QAM}} = 15/64 \operatorname{erfc}(C/N / 170)^{1/2}$$

注 4) 測定データが正常ではないと判断したため、このデータは除いた。

表 3-3 CN 比測定条件

| 測定周波数 | | U14 (479MHz) / U61 (761MHz) |
|--------------------|--------------|-----------------------------|
| スペアナ | スパン | 20MHz |
| | 分解能帯域幅 (RBW) | 100kHz |
| | 映像帯域幅 (VBW) | 1kHz |
| | レベル測定モード | 平均値 |
| | 検波モード | SAMPLE |
| | アベレージ機能 | 1000回 |
| | チャンネルパワー帯域幅 | 6MHz |
| 多CH (110波) のレベル誤差 | | $\pm 0.5\text{dB}$ 以内 |
| 測定チャンネルの隣接信号とのレベル差 | | $\pm 0.2\text{dB}$ 以内 |

3.4 測定詳細

測定はU14chおよびU61chで標準入力レベル（66dB μ V）と最大入力レベル（81dB μ V）及び最低入力レベル（55dB μ V）で行い、ほぼ同様の結果が得られた。それを以下に示す。

なお、測定結果は、RS-OFF 時の BER は絶対同期検波の理論値より 1.3dB 以内の劣化範囲にある。

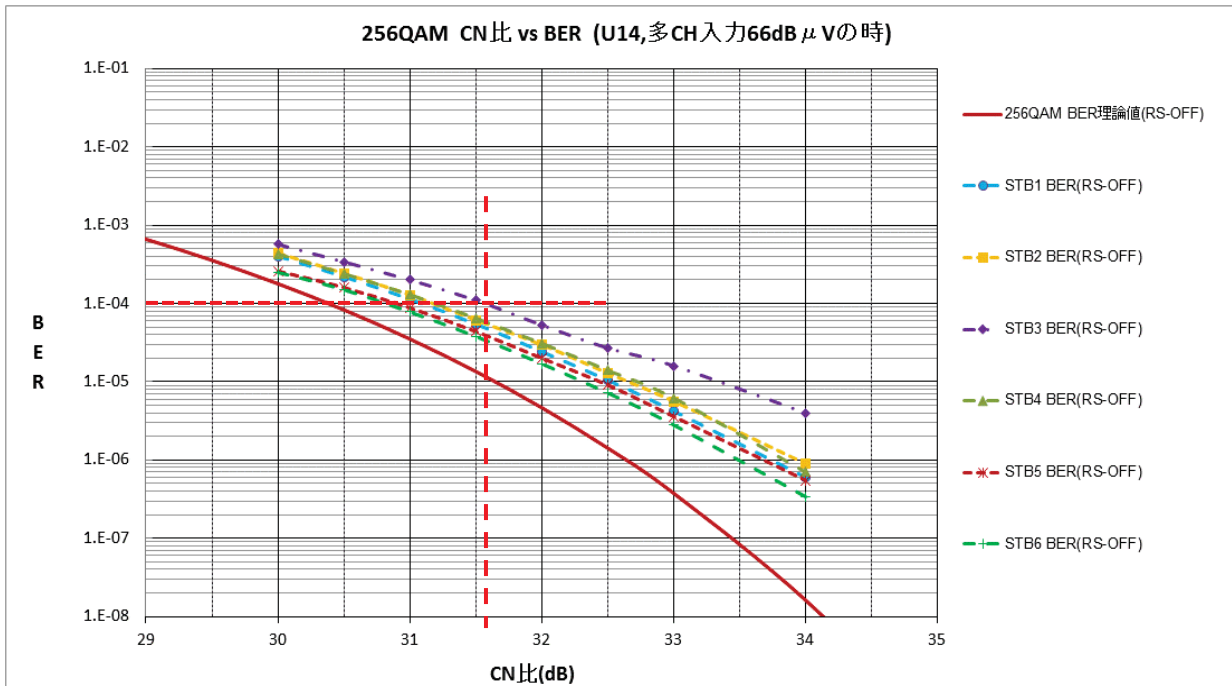


図 3-3 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 66dB μ V の時

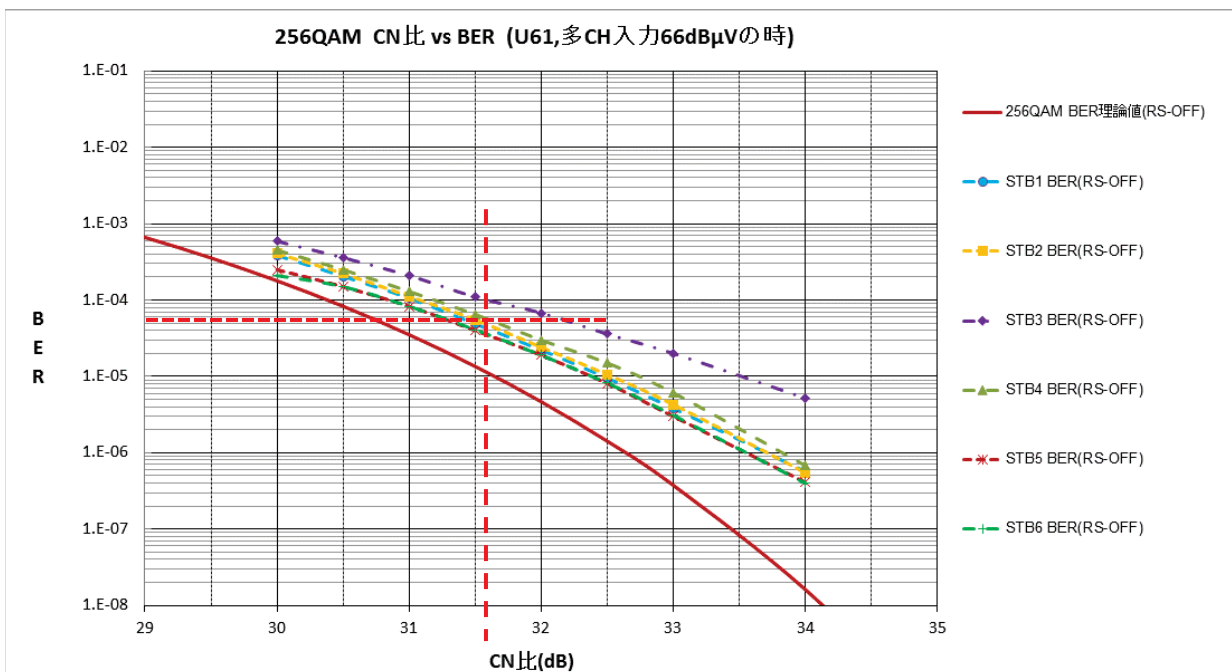


図 3-4 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 66dB μ V の時
標準入力レベル（66dB μ V）の時の測定結果である図 3-3 および図 3-4 より、STB の差は、0.8dB

以内に収まっている。

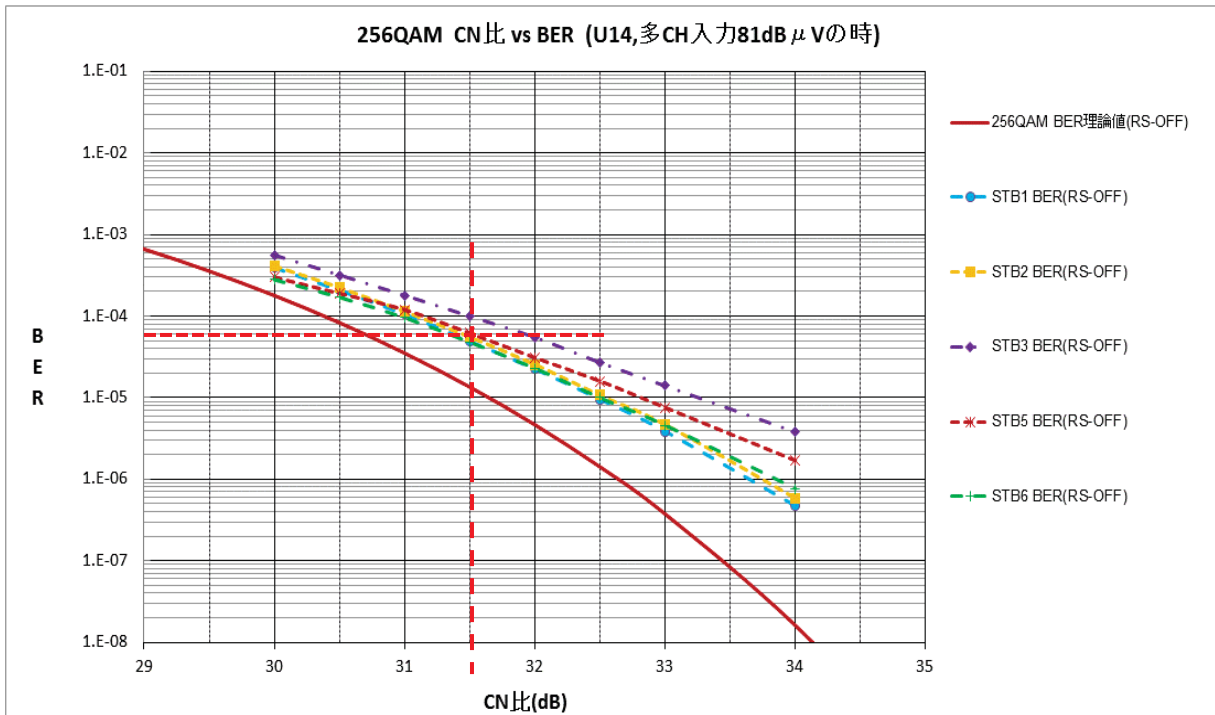


図 3-4 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 81dB μ V の時

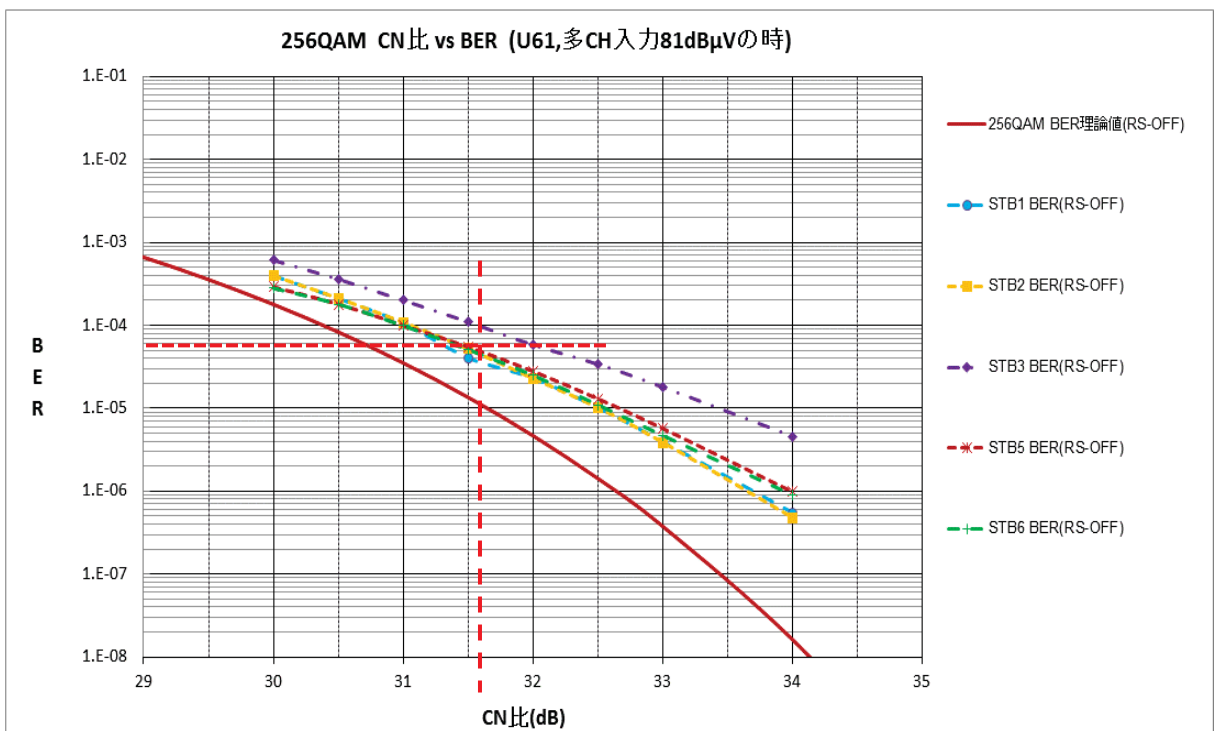


図 3-5 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 81dB μ V の時

最大入力レベル (81dB μ V) の時の測定結果である図 3-5 および図 3-6 より、STB の差は、0.6dB 以内に収まっている。

標準入力レベル (66dB μ V) と最大入力レベル (81dB μ V) との差は、0.3dB 以内に収まっている。

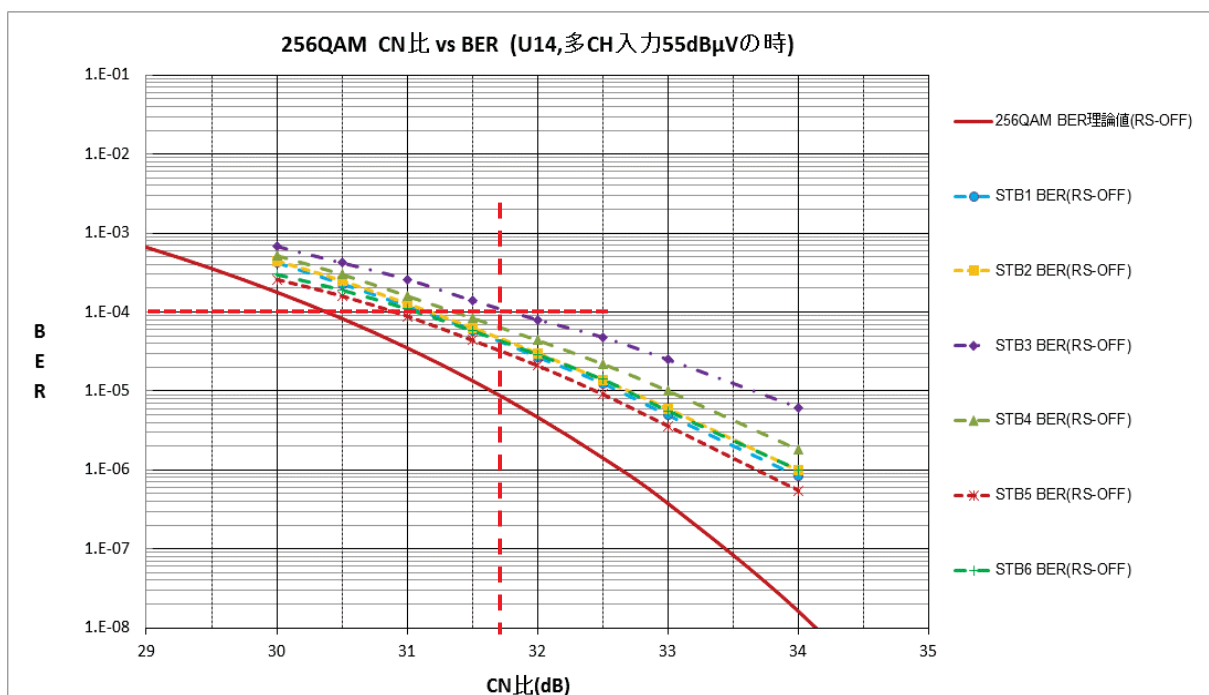


図 3-6 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 55dB μ V の時

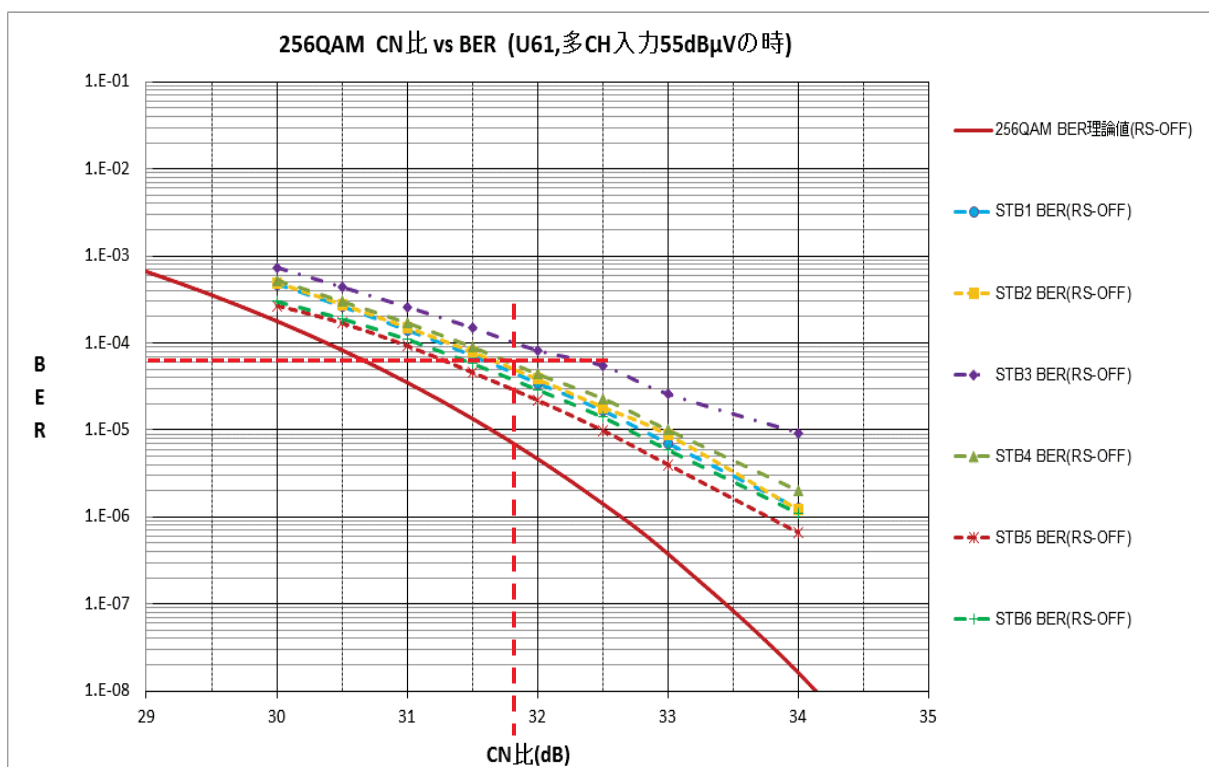


図 3-7 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 55dB μ V の時

最低入力レベル (55dB μ V) の時の測定結果である図 3-7 および図 3-8 より、STB の差は 0.8dB 以内に収まっている。

標準入力レベル (66dB μ V) と最低入力レベル (55dB μ V) との差は、0.3dB 以内に収まっている。

4. 変調器の確認

今回、STBのBER/CN比の測定に使用した変調器Aは測定器用のものであるため、参考にケーブルテレビ事業者向けに販売されている変調器（C社製）の特性と比較した。

その結果、変調器（C社製）の周波数特性はほとんどないことが確認でき、上限周波数での比較でも、変調器Aとの差は、BERが 1×10^{-4} の時に、約0.2dB以内となっている。

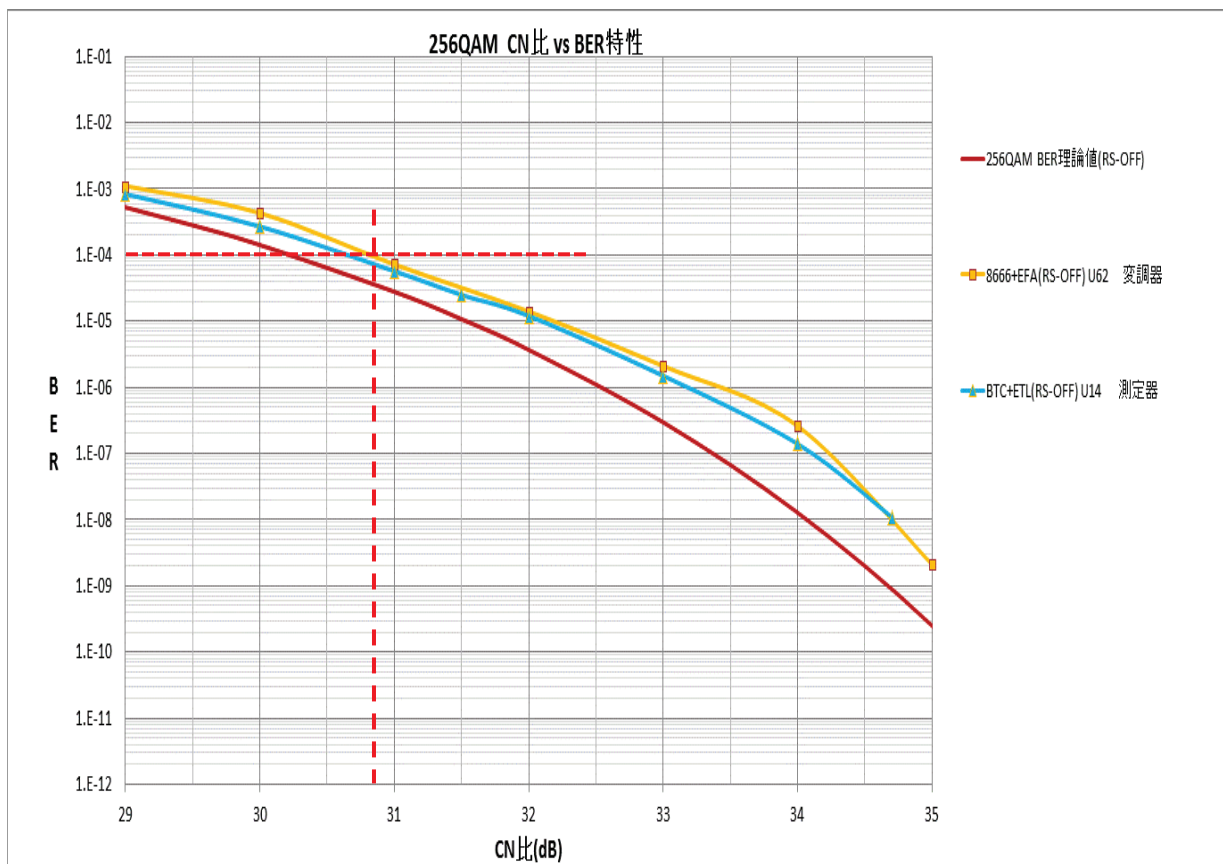


図 4-1 変調器の BER/CN 比特性の比較

5. 関連する品質基準について

所要 CN 比が変更になることで、有線一般放送の品質に関する技術基準（平成 23 年総務省令第 95 号）を見直す必要があると考える。

5.1 所要 CN 比

現在、受信者端子における 256QAM の所要 CN 比は 34dB 以上となっているが、今回の試験結果より 33dB に変更することが望ましい。

5.2 搬送波のレベル

受信者端子における 256QAM の搬送波のレベルは、57～81dB μ V（75 Ω の時）と定められているが、所要 CN 比が 34dB より 33dB に変更になることで、下限値が変更となり、以下の値にすることが望ましい。

尚、下限値は雑音レベル 23dB μ V に所要 CN 比を加えた値となる。

- ・ 56 ～ 81dB μ V（75 Ω の時）

6. 試験日、試験場所及び測定器

試験場所 : 一般社団法人 日本CATV技術協会 7F 会議室

試験日 : 平成 28 年 6 月 28 日 (火)

表 5-1 256QAM スペクトルマスク検証試験の日程と内容

| スケジュール | | 報告書項番と内容 | 備考 |
|----------|----|--|----|
| 6 月 28 日 | 午前 | -機器設置 | |
| | | 項 1. 256QAM デジタル有線テレビジョン信号の搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの特性 | |
| | | 項 2. 256QAM 信号の CN 比と BER の測定 | |
| | 午後 | 項 2. 256QAM 信号の CN 比と BER の測定 | |
| | | 項 3. 多チャンネル伝送時の 256QAM 信号の CN 比と BER の測定 | |
| | | -最終レビューの実施 | |

注) 項 1.搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの特性及び、項 4.変調器の確認は、事前測定を実施した。

本試験に使用した測定器等を表 5-2 に示す。

表 5-2 試験に使用した計測器一覧

| No | 機器名 | 型式 | メーカー名 | 備考 |
|----|--------------|-------------|------------------------|----------------|
| 1 | 変調器 A | BTC | ローデ・シュワルツ | CN 比測定信号 |
| 2 | 変調器 B | CLG | ローデ・シュワルツ | 多 CH 信号 |
| 3 | スペクトル・アナライザ | FSV | ローデ・シュワルツ | |
| 4 | 4 分配器 | 4SPED | マスプロ電工 | |
| 5 | 混合器 | 2SPED | マスプロ電工 | 2 分配器 |
| 6 | 可変アッテネータ | TRA-602C | 多摩川電子 | 可変アッテネータ |
| 7 | インピーダンス変換器 1 | Z7550-FFNM+ | Mini-Circuits | トランス型ロス 0.4dB |
| 8 | インピーダンス変換器 2 | PE7070 | Pasternack Enterprises | 抵抗型ロス 5.7dB |
| 9 | STB1 | 入力信号分配付き | A 社 2013 年製 | JLabs SPEC-018 |
| 10 | STB2 | 入力信号分配付き | A 社 2014 年製 | JLabs SPEC-018 |
| 11 | STB3 | 入力信号分配付き | B 社 2013 年製 | JLabs SPEC-018 |
| 12 | STB4 | 入力信号分配付き | B 社 2014 年製 | SPEC-018 相当品 |
| 13 | STB5 | 入力信号分配付き | C 社 2014 年製 | JLabs SPEC-018 |
| 14 | STB6 | 入力信号分配付き | C 社 2015 年製 | JLabs SPEC-018 |



写真 試験風景

無断転載を禁じます

デジタル有線テレビジョン放送用
受信装置における 256QAM 方式信号の
C/N比実験報告書

発行 2016 年 10 月 11 日

一般社団法人日本CATV技術協会
〒160-0022 東京都新宿区新宿 6-28-8
ラ・ベルティ新宿 6F
電話 : 03-5273-4671 FAX : 03-5273-4675
URL : <http://www.catv.or.jp/>

規格書 STD-007-6.2

256QAM CN 比検討

(STB 入力信号分配回路の有無による所要 CN 比の検討)

平成 30 年 6 月

一般社団法人 日本CATV技術協会

デジタル放送WG

目 次

| | |
|---|---|
| 背景と目的 | 1 |
| 1.. 256QAM 信号における CN 比と BER の測定とその試験結果 | 1 |
| 2.1 256QAM_CN 比実験報告書より、C/N 対 BER の測定結果を表 1 に示す。 | 1 |
| 2.2 試験結果 | 1 |
| 2. 入力信号分配回路の有無による所要 CN 比の検討 | 1 |
| 2.1 被測定 STB の内部構成図 | 2 |
| 2.2 旧 STD-007-6.0 等に定められている標準 STB の構成図 | 2 |
| 2.3 被測定 STB の CN 比から標準 STB への CN 比の計算 | 2 |

背景と目的

現在、品質省令の規定は、STBの内部構成として最も基本的なものを前提としている。他方、今回の試験測定に使用した全てのSTBは、内部構成として入力信号の分配回路等を有している。そのため、得られた測定結果から入力信号の分配回路等を有していないSTBにおけるCN比を机上計算により算出する必要がある。

1.. 256QAM 信号における CN 比と BER の測定とその試験結果

2.1 256QAM_CN 比実験報告書より、C/N 対 BER の測定結果を表 1 に示す。

表 1 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比測定値 (256QAM 1 波の時)

| 項目 | 入力レベル | 66dB μ V | 55dB μ V |
|---|-------|--------------|--------------|
| BER (RS前) が 1×10^{-4} となる CN比 (dB) (理論値30.5dB) | STB1 | 30.8 / 30.8 | 31.0 / 31.1 |
| | STB2 | 30.8 / 30.8 | 31.0 / 31.1 |
| | STB3 | 31.5 / 31.6 | 31.8 / 31.8 |
| | STB4 | 31.0 / 31.0 | 31.3 / 31.3 |
| | STB5 | 30.7 / 30.7 | 30.7 / 30.8 |
| | STB6 | 30.7 / 30.7 | 30.7 / 30.8 |

2.2 試験結果

測定結果は、RS-OFF 時の BER は絶対同期検波の理論値より最大 1.5dB 以内の劣化範囲にある。今回測定したSTBのBER (RS-OFF) が 1×10^{-4} 以下となる CN 比は、標準入力レベル (66dB μ V) のとき、31.6dB 以上のため、チューナの個体差等も考慮して、受信者端子における所要 CN 比としては 33dB*1 とすることが望ましい。

2. 入力信号分配回路の有無による所要 CN 比の検討

現在市場で使われている STB は、入力信号を STB 内部で分配し、その分配出力の一部をテレビジョン等の外部機器に接続する為の「入力信号分配回路」を内蔵している。

今回、CN 比を測定した STB は、全てこの構成と成っていた為、ここで得た所要 CN 比をこれまでの標準 STB にそのままあてはめる事は出来ない為、STB の内部構成を確認し、格段の信号品質を計算する事により、標準 STB の所要 CN 比の検討を行った。

2.1 被測定 STB の内部構成図

測定した STB1~5 の内部構成図は、細部を除き以下の構成（図 1）から成っている。

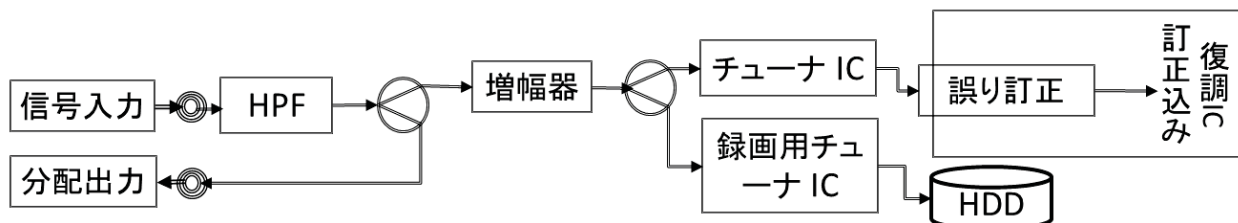


図 1 被測定 STB の内部構成図

2.2 旧 STD-007-6.0 等に定められている標準 STB の構成図

規格書 STD-007-1.0~6.0 及び品質省令は、入力信号分配機能の無い構成（図 2）から成っている。

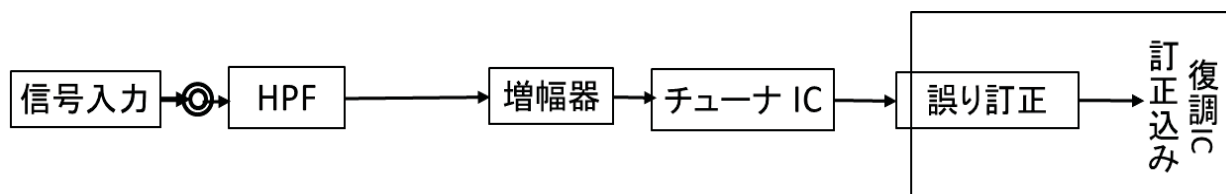


図 2 標準 STB の内部構成図

2.3 被測定 STB の CN 比から標準 STB への CN 比の計算

CN 比の計算は、以下式を用いて、内部構成格段の利得等を入力し、復調 IC への信号を計算した。

$$CN \text{ 比計算式} = Cno = \frac{Psi}{(Psi/Cni) + kTB(F-1)}$$

ここで、

- ・ Cno : 出力 C/N [倍]
- ・ Cni : 入力 C/N [倍]
- ・ Psi : 入力レベル [W]
- ・ k : ボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} [J/K]$
- ・ T : STB 内周囲温度 $316 [K] = 43^\circ C$ で計算
- ・ B : 帯域幅 $5.274 \times 10^6 [Hz]$
- ・ F : NF (雑音指数) [倍]

とする。

2.3.1 分配機能有り STB による 256QAM C/N 劣化検討 (STB 個体差含む)

内部回路を以下の図3のブロックとして、復調IC前のC/Nを算出し、その結果を表2に示す。

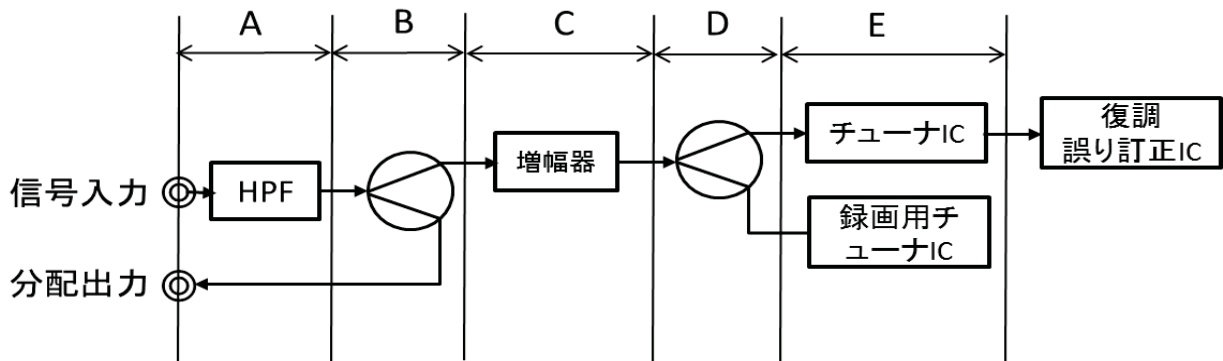


図3

表2

| 製品分類 | 項目 | A | B | C | D | E | 全体の雑音指数 | 出力C/N (復調誤り訂正ICの入力C/N) |
|--------------|------|----|----|----|----|---|---------|---------------------------|
| ノーマル品 | 利得 | -1 | -4 | 12 | -4 | - | | 31.71 |
| | 雑音指数 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5.5 | |
| ワースト品 | 利得 | -2 | -5 | 10 | -5 | - | | 31.17 |
| | 雑音指数 | 2 | 5 | 5 | 5 | 8 | 7.7 | |
| 個体差によるC/N劣化度 | | | | | | | | 0.54 |

※単位は dB

※出力 C/N は入力レベル 55dBμV、入力 C/N=32dB で計算

この結果、分配機能ありの測定値は C/N=31.8dB (入力レベル 55dBμV、ノーマル品)。分配機能ありの個体差による CN 比劣化度の計算値は 0.54dB で、分配機能ありのワースト C/N は 31.8+0.54dB=32.34dB となり、分配機能ありの規格値は C/N=33dB が妥当である。

2.3.2 分配機能無し STB による 256QAM C/N 劣化検討 (STB 個体差含む)

2.3.1 と同様に、図4をもとに、C/N 値を算出し、その結果を表3に示す。

図4

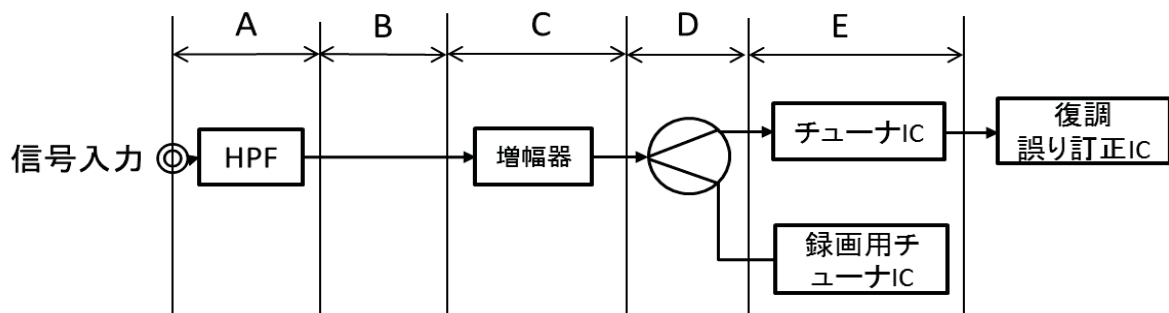


表 3

| 製品分類 | 項目 | A | B | C | D | E | 全体の雑音指数 | 出力C/N (復調誤り訂正ICの入力C/N) |
|--------------|------|----|---|----|----|---|---------|---------------------------|
| ノーマル品 | 利得 | -1 | 0 | 12 | -4 | - | | 31.90 |
| | 雑音指数 | 1 | 0 | 4 | 4 | 4 | 9.5 | |
| ワースト品 | 利得 | -2 | 0 | 10 | -5 | - | | 31.74 |
| | 雑音指数 | 2 | 0 | 5 | 5 | 8 | 13.7 | |
| 個体差によるC/N劣化度 | | | | | | | | 0.16 |

※単位は dB

※出力 C/N は入力レベル 55dB μ V、入力 CN 比=32dB で計算

この結果、分配機能ありと分配機能なしの出力 C/N 差を計算すると、 $31.9-31.71=0.19$ dB で分配なしの方が C/N 劣化度が少ない。分配機能ありの測定値は C/N=31.8dB (入力レベル 55dB μ V、ノーマル品) で、分配機能ありの測定値から分配機能なしの C/N を計算すると、 $C/N=31.8-0.19=31.61$ dB となる。分配機能なしの個体差による C/N 劣化度の計算値は 0.16dB で、分配機能なしのワースト C/N は $31.61+0.16$ dB=31.77dB となり、規格値は C/N=32dB が妥当である。

2.3.3 分配機能有り STB による 64QAM C/N 劣化検討 (STB 個体差含む)

参考として、64QAM 信号に対して、分配機能の有無で CN 比の規格値の見直しが必要か検討し、分配機能有りの STB の値を算出し、その結果を表 4 に示す。

表 4

| 製品分類 | 項目 | A | B | C | D | E | 全体の雑音指数 | 出力C/N (復調誤り訂正ICの入力C/N) |
|--------------|------|----|----|----|----|---|---------|---------------------------|
| ノーマル品 | 利得 | -1 | -4 | 12 | -4 | - | | 25.71 |
| | 雑音指数 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5.5 | |
| ワースト品 | 利得 | -2 | -5 | 10 | -5 | - | | 25.17 |
| | 雑音指数 | 2 | 5 | 5 | 5 | 8 | 7.7 | |
| 個体差によるC/N劣化度 | | | | | | | | 0.54 |

※単位は dB

※出力 C/N は入力レベル 49dB μ V、入力 C/N=26dB で計算

この結果、分配機能ありの規格値は、C/N=25.27dB (入力レベル 49dB μ V、ノーマル品)。分配機能ありの個体差による C/N 劣化度の計算値は 0.54dB で、分配機能ありのワースト C/N は、 $25.27+0.54$ dB=25.81dB となり、分配機能ありの規格値は C/N=26dB が妥当である。

2.3.4 分配機能無し STB による 64QAM C/N 劣化検討 (STB 個体差含む)

2.3.3 と同様に、分配機能無しの STB の値を算出し、その結果を表 5 に示す。

表 5

| 製品分類 | 項目 | A | B | C | D | E | 全体の 雑音指数 | 出力C/N (復調誤り訂正 ICの入力C/N) |
|--------------|------|----|---|----|----|---|-------------|-------------------------------|
| ノーマル品 | 利得 | -1 | 0 | 12 | -4 | - | | 25.90 |
| | 雑音指数 | 1 | 0 | 4 | 4 | 4 | 9.5 | |
| ワースト品 | 利得 | -2 | 0 | 10 | -5 | - | | 25.74 |
| | 雑音指数 | 2 | 0 | 5 | 5 | 8 | 13.7 | |
| 個体差によるC/N劣化度 | | | | | | | | 0.16 |

※単位は dB

※出力 C/N は入力レベル 49dB μ V、入力 C/N=26dB で計算

この結果、分配機能ありと分配機能なしの出力 C/N 差を計算すると、 $25.9-25.71=0.19$ dB で分配なしの方が C/N 劣化度が少ない。分配機能ありの測定値は C/N=25.27dB (入力レベル 49dB μ V、ノーマル品) で、分配機能ありの測定値から分配機能なしの C/N を計算すると、 $C/N=25.27-0.19=25.08$ dB となる。分配機能なしの個体差による C/N 劣化度の計算値は 0.16dB で、分配機能なしのワースト C/N は $25.08+0.16$ dB=25.24dB となり、規格値は C/N=26dB が妥当である。

規格書 STD-007-6.2
256QAM CN 比検討
(STB 入力信号分配回路の有無による
所要 CN 比の検討)

2018 年 6 月
一般社団法人日本CATV技術協会
〒160-0022 東京都新宿区新宿 6-28-8
ラ・ベルティ新宿 6F
電話 : 03-5273-4671 FAX : 03-5273-4675
URL : <http://www.catv.or.jp/>

4K・8K時代に向けたケーブルテレビの 映像配信の在り方に関する研究会

報告書

平成 30 年 6 月

目次

| | |
|--------------------------------------|----|
| はじめに | 4 |
| 第1章 ケーブルテレビに係る IP ネットワークの現状と課題 | 5 |
| 1.1 ケーブルテレビを巡る動向 | |
| 1.2 ケーブルテレビを取り巻く環境の変化 | |
| 1.3 ケーブルテレビにおけるネットワーク技術 | |
| 1.4 ケーブルテレビにおける伝送技術 | |
| 1.5 IP ネットワークにおける課題 | |
| 第2章 IP 放送の現状と課題 | 19 |
| 2.1 IP 放送の定義 | |
| 2.2 IP 放送サービスの現状と展望 | |
| 2.3 4K・8K を含む IP 放送の在り方 | |
| 2.4 IP 放送の課題 | |
| 第3章 IP 放送の技術基準等 | 32 |
| 3.1 IP 放送の技術基準等の現状 | |
| 3.2 IP 放送の技術基準等の考え方 | |
| 3.3 IP 放送の技術基準等に係る評価方法等 | |
| 3.4 IP 放送の技術基準等の在り方 | |
| 第4章 IP 放送に関するその他の課題 | 49 |
| 4.1 消費者保護 | |
| 4.2 受信者宅内ネットワーク | |
| 4.3 IP 放送の利用促進方策、セキュリティ確保 | |
| 第5章 今後の取組 | 58 |
| 5.1 技術基準の制定等 | |
| 5.2 標準化の推進 | |
| 5.3 その他の課題 | |
| おわりに | 61 |

(参考資料)

○4K・8K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会

- ・開催要綱
- ・開催経緯

はじめに

近年、情報通信技術は着実に進展しており、高精細映像の圧縮等に係る高度符号化技術、光ファイバ等による高速伝送技術、伝送レートを向上する高度な変調方式、ディスプレイの高密度・大型化など、放送分野にも様々な形で影響を与えている。これらの技術を活用して、ケーブルテレビ事業者等は、自らの有線のネットワークをベースに、「ケーブル 4K」や「ひかり TV 4K」などの高度な放送サービスを既に開始しているとともに、固定ブロードバンドや固定電話等を加え、通信放送融合のサービスを提供する旗手として、地域に密着した総合的な情報通信プラットフォームの役割を果たしてきた。

視聴者の側から見ると、従来、放送番組を視聴するためのものであったテレビジョン受信機は、ネットに接続できるスマート化が進展し、ネット動画等を視聴するためのディスプレイの役割も担うようになってきている。ネット動画を提供する OTT(Over The Top)事業者の中には、テレビリモコンに自社のサービスにワンタッチでアクセスできるボタンを搭載したりするなど、放送番組とネット動画のシームレスな移動が可能になってきている。また、自宅の居間にあるテレビジョン受信機による放送番組の視聴のみならず、特に若年層を中心に、自宅の内外を問わず、タブレットやスマートフォンなどによる録画視聴や見逃し視聴等、視聴形態の多様化が進んでいる。

ケーブルテレビ事業を取り巻く環境は急速に変化しており、ケーブルテレビ事業者等は、これらの環境変化に対応しつつ、MVNO としての移動通信サービス、市町村等と連携した地域 BWA サービス、ケーブル ID を利用した契約者の利便性を向上させるサービスなど、新たな事業分野への展開を進めている。

このような中で、2018 年 12 月に開始される新 4K8K 衛星放送により、2020 年までには 4K・8K あわせて 19 の放送番組の提供が開始され、それらの再放送をする場合には、既に多数の放送番組提供によりひっ迫している放送用のネットワークに加え、FTTH 化により広帯域化している IP（インターネットプロトコル）ネットワークを利用して放送サービスを提供することも検討していくことの必要性が、総務省における、放送を巡る諸課題に関する検討会「地域における情報流通の確保に関する分科会報告書「ケーブルビジョン 2020⁺～地域とともに未来を拓く宝箱～」(2017 年 5 月、ケーブル WG)で提言された。

そこで、総務省においては、2017 年 11 月から、「4K・8K 時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会」を開催し、ケーブルテレビ事業者等が IP ネットワークを利用して有線一般放送サービスを行うにあたり、放送の IP 化の課題、IP 放送における品質確保の在り方等について、検討を開始した。

本研究会においては、新 4K8K 衛星放送への対応、IP 放送に係る品質確保の方法、消費者保護、セキュリティの確保、技術開発の課題等の観点から、関係者からのヒアリングを行うとともに、有識者等の意見を踏まえつつ、検討を行い、本報告書を取りまとめたものである。

第1章 ケーブルテレビに係るIPネットワークの現状と課題

1.1 ケーブルテレビを巡る動向

(1) ケーブルテレビの沿革と現状

地上放送の難視聴区域の解消を目的として 1955 年に誕生したケーブルテレビは、その後、地上放送の再放送を業務の中心としながら、自主制作番組(コミュニティチャンネル)や BS、CS の再放送による多チャンネル番組の提供など、放送サービスの高度化と合わせてサービスの充実を図ってきた。

さらには、ケーブルを各家庭まで敷設しているという特長を活かして電気通信サービスへの展開を図り、1996 年にはインターネット接続サービス、1997 年には固定電話サービスを開始し、放送サービスと合わせたいわゆる「トリプルプレイ」と呼ばれる、ケーブルテレビの成長を牽引する事業モデルが確立された。

そして、現在では MVNO サービスや地域 BWA サービスといった移動通信サービスも展開するなど、時代の変化に対応しながら地域の総合的な情報通信メディアとして成長を遂げている。

● ケーブルテレビは、約60年前に地上放送の再放送から発足し、
・ 地域情報・災害情報等を提供する自主放送、多チャンネル放送など、「放送サービス」を拡大するとともに、
・ 大容量・双方向型のネットワーク等を利用して、固定ブロードバンドや移動通信サービスなどの「通信サービス」など、多様なサービスを提供する地域の総合情報メディアとして発展。

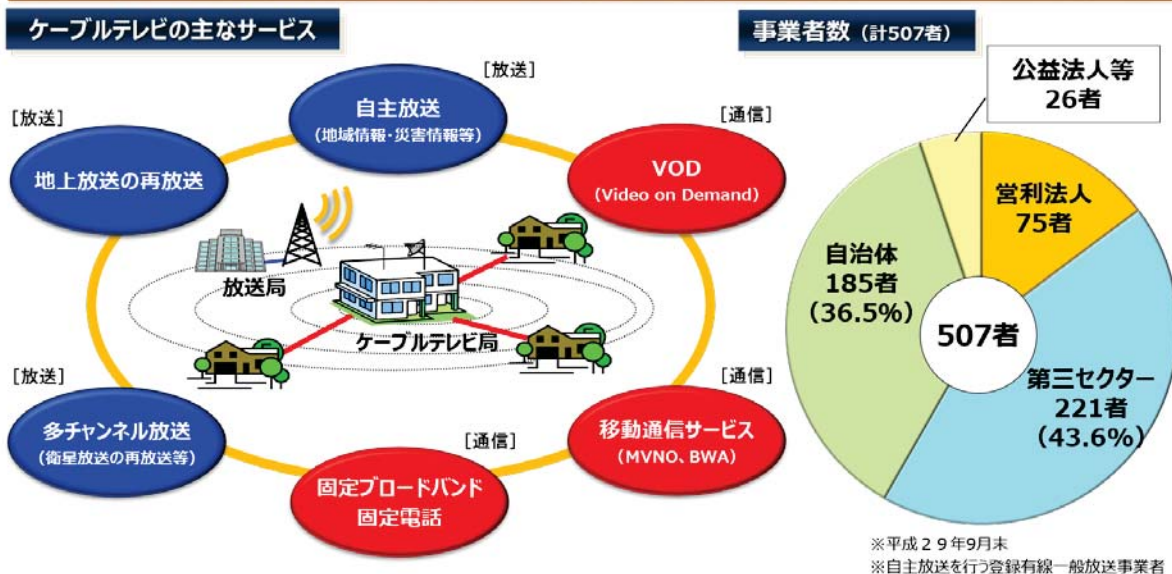


図 1.1 ケーブルテレビの概要

このようなケーブルテレビ事業の成長を背景に、ケーブルテレビの加入世帯数も年々増加しており、2017年9月末時点で、有線電気通信設備を用いて自主放送を行う登録一般放送事業者507事業者によってサービスを受ける加入世帯数は3,000万世帯を超え、世帯普及率は約52.2%となるまでに成長している(約3,001万世帯、2017年9月末)。

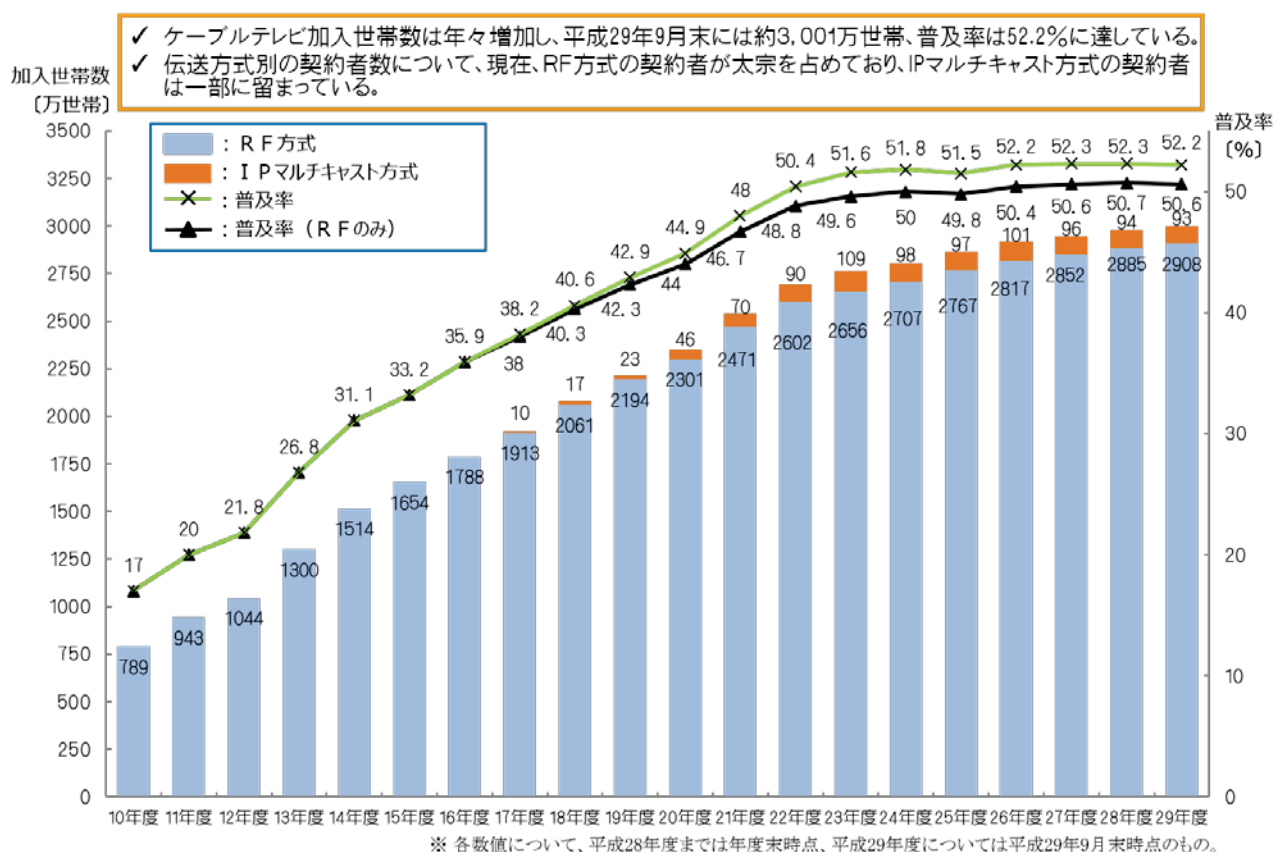


図 1.2 ケーブルテレビの加入世帯数の推移

1.2 ケーブルテレビを取り巻く環境の変化

(1)4K・8K 技術の普及

映像技術の革新により、臨場感や立体感のある映像を楽しむことが可能となる 4K・8K の技術が登場し、2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会も見据え、官民一体となって 4K・8K 技術を用いた放送サービスの高度化を推進することとなった。

衛星放送では 2015 年 3 月に CS124/128 において 4K 実用放送が開始され、2018 年 12 月 1 日には BS、CS110 において 4K・8K の実用放送である「新 4K8K 衛星放送」が開始される予定となっている。

ケーブルテレビ分野においても、ケーブルテレビ事業者等(専ら有線の電気通信役務を利用してテレビジョン放送の業務を行う有線一般放送事業者を含む)は、4K 放送を推進しており、2015 年 4 月に RF 方式による 4K 実用放送が開始され、2015 年 11 月に IP マルチキャスト方式による 4K 実用放送である「ひかり TV 4K」が開始された。また、業界全体の動きとして 2015 年 12 月より全国統一編成による 4K 実用放送である「ケーブル 4K」が開始され、2017 年 11 月時点で、82 社が放送している。

さらに、超高精細な映像技術である 4K・8K は放送のみならず、医療や警備、教育等様々な分野への波及が期待されている。

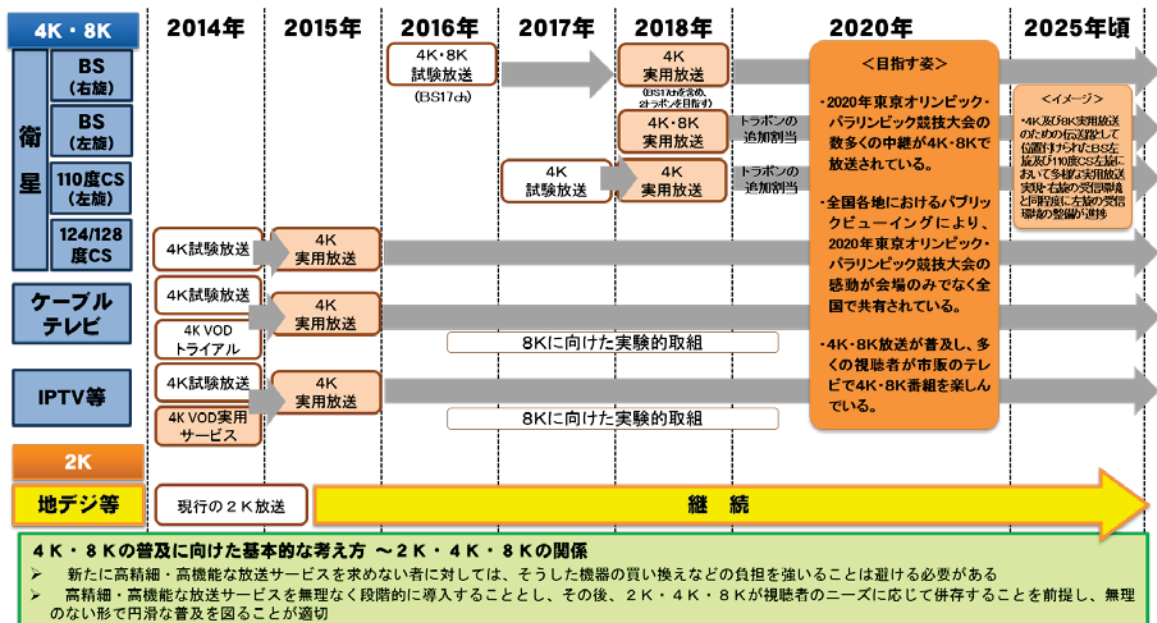


図 1.3 4K・8K 推進のためのロードマップ～第二次中間報告～(2015 年 7 月)

(2)動画配信サービスをはじめとした OTT サービスの進展

近年、インターネットサービスプロバイダ(ISP)や通信事業者以外の事業者において、インターネットを使って利用者に動画等のコンテンツを提供する、いわゆる OTT(Over The Top)サービスが普及しつつある。

放送事業者においても、制作・放送した番組の見逃し配信や VOD(Video On Demand)等において動画配信サービスに取り組んでいる。

ケーブルテレビ業界における取り組みとして、一般社団法人日本ケーブルテレビ連盟が運営主体となりケーブルテレビの地域コンテンツを提供する「じもテレ」や、日本デジタル配信株式会社が運営するケーブルテレビ加入者向けの VOD サービスである「milplus(ミルプラス)」などがある。

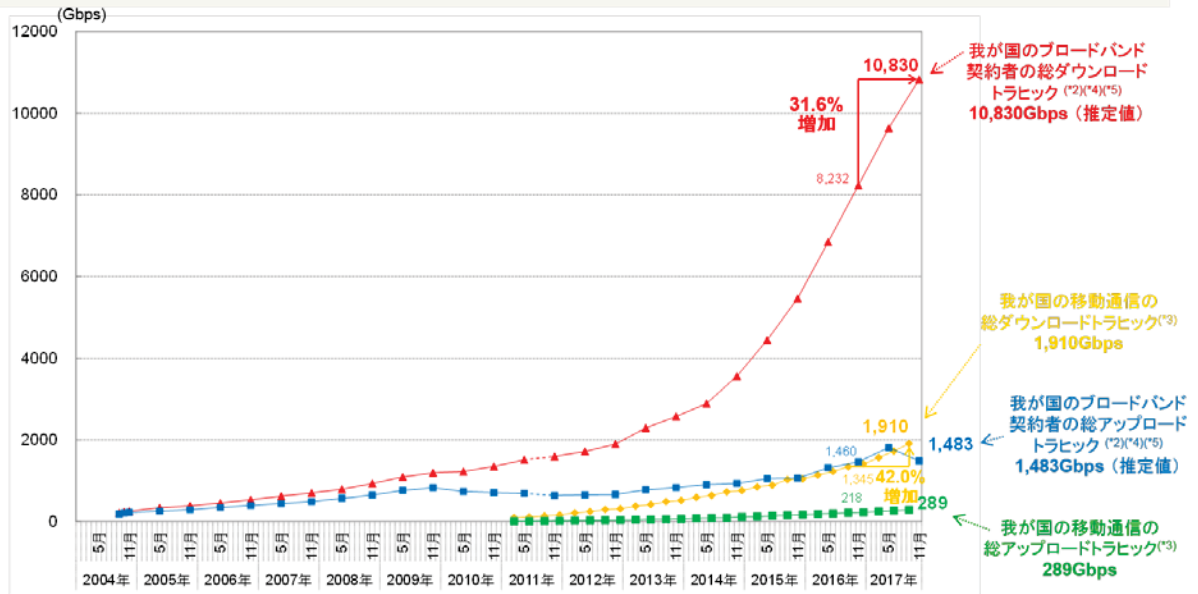
こうした動画配信サービスにおいても、提供事業者において、映像の高画質化の取り組みが進められており、インターネットのトラフィックの増加につながっている。

(3)固定ブロードバンドにおけるトラフィック増加

動画配信サービスが普及するとともに、ブロードバンド上を流れる動画コンテンツの大容量化が進んでおり、また利用者においても、視聴デバイスであるスマートフォンやタブレット端末における移動通信の通信量を節約するために無線から有線へのオフロードを進めている場合があることなどを背景に、固定ブロードバンドにおけるインターネットトラフィックは年々増大しつづけている。

2017年11月における我が国の固定ブロードバンド契約者の総ダウンロードトラフィックは推定で約 10.8Tbps で、前年同月比で約 31.6%増となっている。

- 我が国のブロードバンドサービス契約者⁽¹⁾の総ダウンロードトラフィックは前年同月比31.6%増。
- 我が国の移動通信の総ダウンロードトラフィックは前年同月比42.0%増。



(1) FTTH, DSL, CATV, FWA

(2) 2011年5月以前は、携帯電話網との間の移動通信トラフィックの一部が含まれる。

(3) 『総務省 我が国の移動通信トラフィックの現状(平成29年9月分)』より引用(3月、6月、9月、12月に計測)

(4) 追加したISP4社を除いた5社の集計値より総トラフィックを推定

(5) 一部の協力ISPにおいてOEM提供先のトラフィックが含まれていたため、契約数シェアにOEM提供先の契約者を含むこととし、過去の推定値を含めて見直した。

図 1.4 我が国のブロードバンドサービス契約者の総ダウンロードトラフィック

1.3 ケーブルテレビにおけるネットワーク技術

(1) ケーブルテレビのネットワーク

ケーブルテレビ事業の持続的な成長を支えているのが、局舎設備から各家庭まで張り巡らされた有線の回線(ネットワーク)である。有線一般放送においては、電波を利用して一方向で送信する基幹放送と異なり、有線のネットワークを活用して双方向性を有したサービスを提供することが可能となっている。

ケーブルテレビ事業者の有線のネットワークには、大別して、①局舎設備から光ノードまで光ファイバで伝送し、光ノードから加入者宅まで同軸ケーブルで伝送する HFC(Hybrid Fiber Coaxial)と②局舎設備から加入者宅の光回線終端装置(V-ONU)まで全て光ファイバで伝送する FTTH(Fiber To The Home)がある。

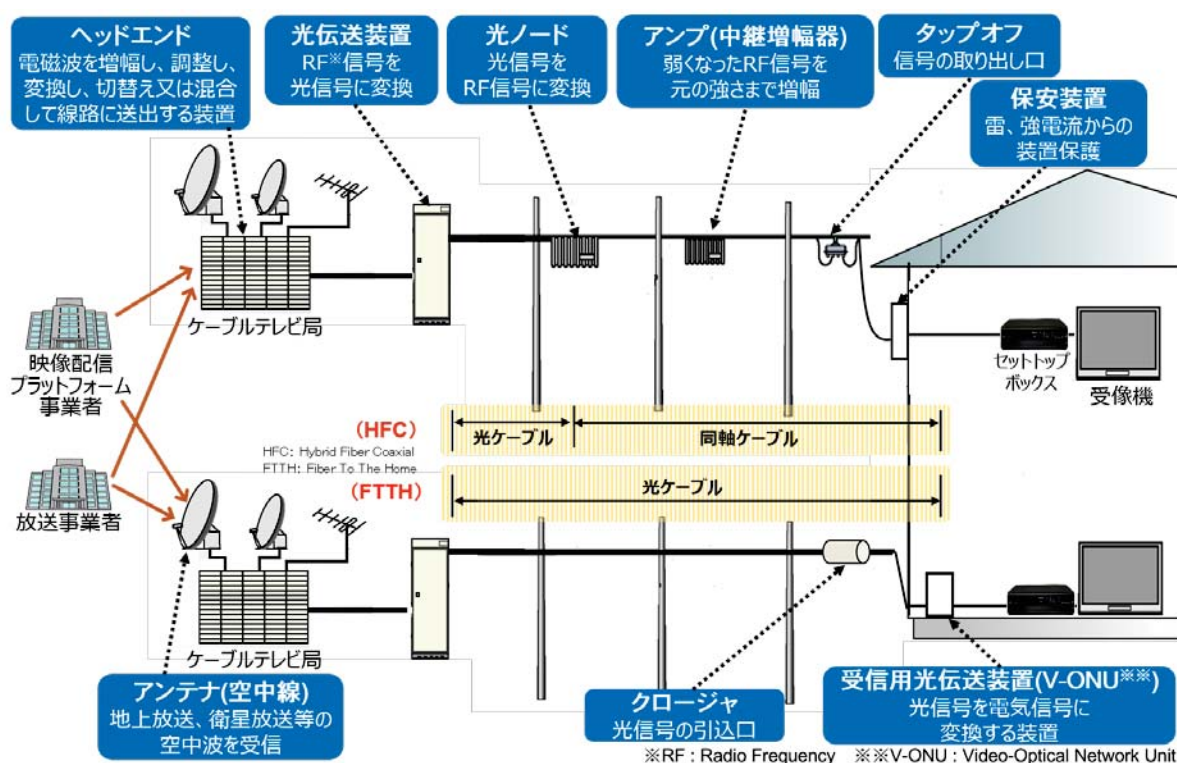


図 1.5 ケーブルテレビのネットワークの概要

放送サービスの高度化や通信トラフィックの増大を踏まえ、ケーブルテレビ事業者等は多様なサービスを円滑に提供するため、FTTH 化やケーブルの帯域拡張等、ネットワークの高度化に取り組んでいる。電気通信事業者を含め、FTTH 化が進む中で、ケーブルテレビのネットワークにおける幹線の光化率は 2017 年 3 月末時点で 66.8%となっている。一方、幹線から加入者宅までのネットワークの光化(FTTH)の進捗については、加入世帯に占める割合は 11%(302 万加入)であり光化

は十分進んでいない状況である。

ネットワークの光化には多額の投資を必要とすることから、各ケーブルテレビ事業者等においては段階的に光化を進めており、FTTHとHFCの両方式を併用している事業者も多い。

ケーブルテレビネットワークの幹線光化率

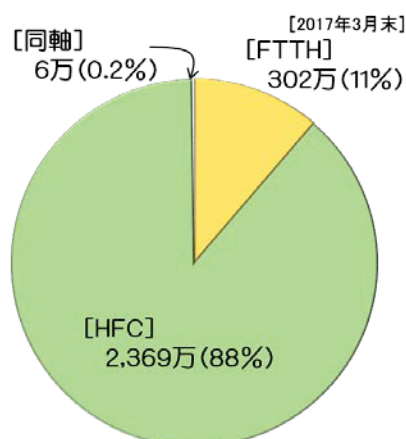
[2017年3月末]

※ I P マルチキャスト方式による有線電気通信設備等を除く。

| | 2012年度末 | 2013年度末 | 2014年度末 | 2015年度末 | 2016年度末 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 幹線光化率 | 62.0% | 62.9% | 64.5% | 66.3% | 66.8% |
| 幹線路(km) | 371,669 | 382,023 | 386,185 | 381,721 | 380,829 |
| 光ファイバ(km) | 230,435 | 240,132 | 248,996 | 253,207 | 254,422 |

注:幹線…ヘッドエンドから全ての中継増幅器(引込線に介するものを除く)までの間(FTTHの場合は、ヘッドエンドからクロージャまでの間)の有線放送設備の線路。

加入世帯に占める FTTH の割合



注1 FTTH… Fiber To The Home の略。各家庭まで光ファイバーケーブルを敷設する方式。

注2 HFC… Hybrid Fiber Coaxial の略。CATV 局から光ファイバで配線し、途中から同軸ケーブルで各家庭まで線を引き込む方式。

伝送方式ごとの提供事業者数

[2017年3月末]

| 伝送方式 | 事業者数 |
|--------------------------|------|
| FTTH による放送を行っている事業者 | 302 |
| FTTH のみ | 130 |
| FTTH 及び HFC | 157 |
| FTTH、HFC 及び同軸 | 10 |
| FTTH 及び同軸 | 5 |
| 上記以外で HFC により放送を行っている事業者 | 188 |
| HFC のみ | 179 |
| HFC 及び同軸 | 9 |
| 同軸のみにより放送を行っている事業者 | 18 |
| 合計 | 508 |

図 1.6 ケーブルテレビの伝送路の現状

なお、我が国における固定系ブロードバンドサービスのうち、FTTH の契約数は 2017 年 9 月末時点で、ケーブルテレビ事業者等によるものを含め、2,985 万契約であり、ケーブルテレビの加入世帯に匹敵する契約数となっている。

(2)ケーブルテレビ事業者による FTTH の提供

ケーブルテレビ事業者等が加入者に FTTH を提供するにあたっては、①ケーブルテレビ局舎から加入者宅まで自らが光回線を整備して FTTH を提供する「自社回線」、②ケーブルテレビ局舎から回線事業者局舎の相互接続点まではケーブルテレビ事業者等において回線を整備し、相互接続点から加入者宅までは接続料を支払うことで他社の回線を用いて FTTH を提供する「接続」、③ケー

ブルテレビ局舎から加入者宅まで、他の回線事業者からの光回線の卸役務の提供を受けて FTTH を提供する「卸役務」の3つの方法がある。

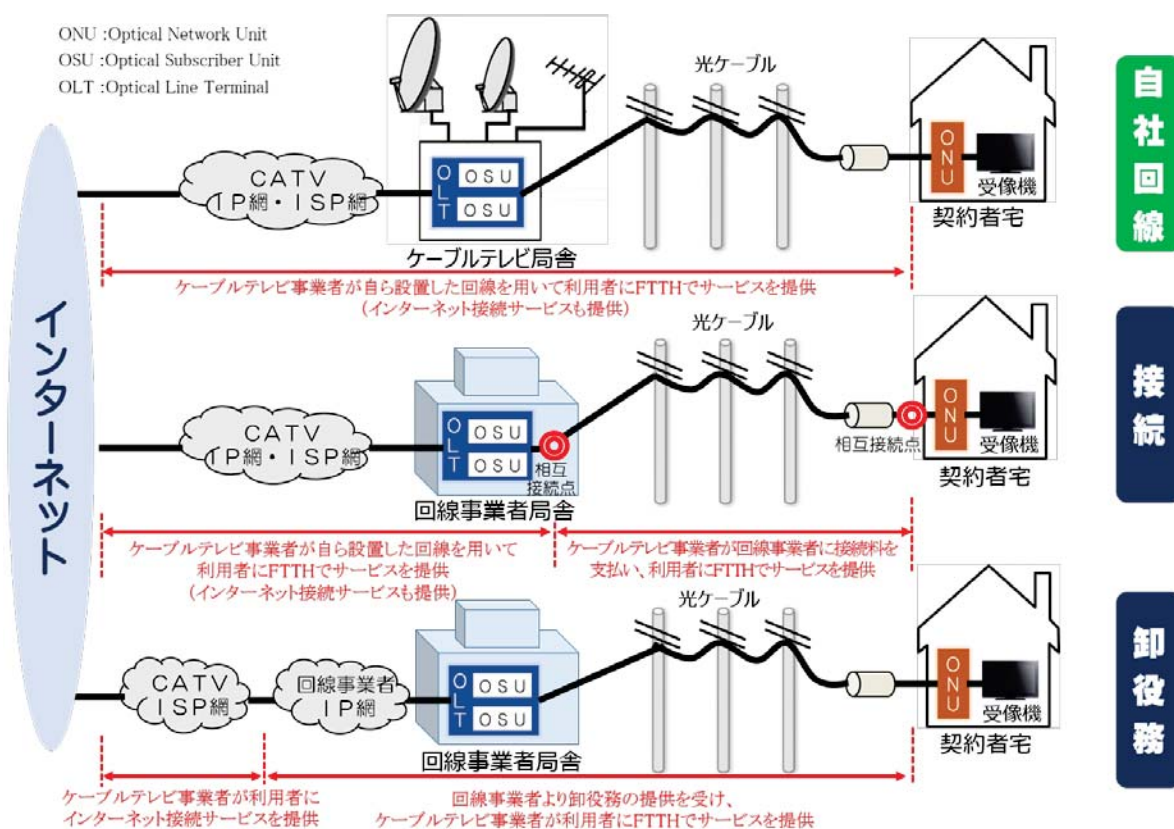


図 1.7 ケーブルテレビにおける FTTH 提供形態イメージ

なお、ケーブルテレビ事業者等がその地域性を活かして FTTH を敷設している場合に、他の通信事業者に対して回線の卸役務を提供することも考えられ、実際に他の通信事業者に卸役務の提供を行うケーブルテレビ事業者等も登場している。

それぞれの方法には設備投資の規模、価格競争やサービス改善の容易性などにおいてメリット、デメリットが存在する。自社回線は、膨大な設備投資が必要である一方で、最も効率的なネットワークを自ら敷設することができ、自らの努力で自由な料金設定やサービス提供をすることができる。卸役務については、設備投資はほぼ不要である一方で、回線事業者の設備を利用するための料金を支払う必要があり、サービスについても回線事業者の仕様に依存することとなる。接続は、自社回線と卸役務の中間的なメリット、デメリットを有する。

ケーブルテレビ事業者等においては、それぞれの提供形態におけるメリット、デメリットを勘案した上で、地理的要因や競争状況、自らの事業に必要な帯域や必要となるコスト等も踏まえて、自らの事業にとって最適な方法を選択してネットワークを構築する必要がある。

| | 設備投資の規模 | 価格面での競争 | サービス面での競争 |
|------|--|---|---|
| 自社回線 | <ul style="list-style-type: none"> 回線設備も含めた 膨大な設備投資が必要 | <ul style="list-style-type: none"> 最も効率的なネットワークを自ら敷設できる 企業努力次第で価格競争力を付けることが可能 | <ul style="list-style-type: none"> 自ら設置する設備の改良により、より高速なサービス等を提供することが可能 |
| 接続 | <ul style="list-style-type: none"> 自己設置部分 (OSU や 上部の IP 網など) に設備投資が必要 | <ul style="list-style-type: none"> 自己設置する設備以外の設備等の費用を接続料として回線事業者に支払う 接続料は、総括原価方式で設定される (原則として認可制) | <ul style="list-style-type: none"> 自ら設置する設備の改良により、より高速なサービス等を提供することが可能 |
| 卸役務 | <ul style="list-style-type: none"> 設備投資はほぼ不要 (回線事業者の設備を利用する) | <ul style="list-style-type: none"> 回線事業者の設備を利用するための卸料金を回線事業者を支払う 卸料金は、相対取引によって決定 | <ul style="list-style-type: none"> 回線事業者のサービス仕様に依存する |

図 1.8 FTTH の提供形態の主な特徴

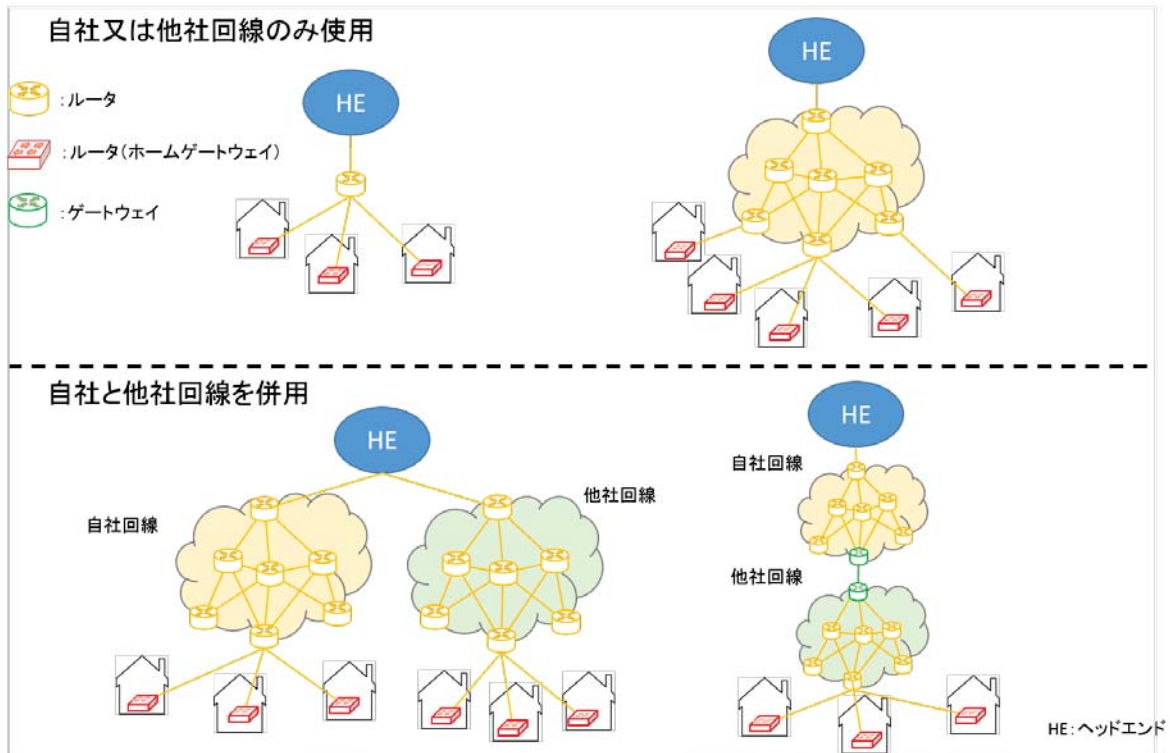


図 1.9 ケーブルテレビの IP ネットワーク構成の種類

1.4 ケーブルテレビにおける伝送技術

(1)ケーブルテレビにおける放送方式

現在の電波の使用状況において、地上放送は UHF 帯の 470～710MHz を、BS、CS の地上へのダウンリンクはマイクロ波(SHF:Super High Frequency)帯の 11.7～12.75GHz を用いて行われており、ケーブルテレビ事業者等がこれを搬送する際には、自らのネットワークにより伝送が可能な帯域にあわせて伝送方式を選択している。

ケーブルテレビの再放送の伝送方式には、受信した放送信号をそのままケーブルで再送信するパススルー伝送方式と、受信した放送信号を再変調してケーブルで再送信するトランスモジュレーション方式(以下、トラモジ方式という。)があり、有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令(平成 23 年総務省令第 95 号。以下、「品質省令」という。)に、それぞれ技術基準が規定されている。

地上放送は、HFC、FTTH のいずれの場合も再変調することなくケーブルテレビのネットワークで伝送することが可能なため、通常、パススルー伝送方式によって伝送されている。

BS、CS は、放送波をアンテナで受信後、直ちに中間周波数(1.0～3.2GHz)にダウンコンバートされるが、FTTH では、ケーブルテレビ局舎から加入者宅まで当該中間周波数による搬送ができるため、パススルー伝送方式による伝送が可能である。この場合、受信者においては STB(Set Top Box)を設置することなく放送番組を視聴することができる。

一方、HFC では、BS の中間周波数を再変調(QAM 変調)し、ケーブルの 90～770MHz までの周波数帯を利用して搬送するトラモジ方式によって伝送されている。トラモジ方式では、通常、受信者が放送を視聴するためには STB が必要となる。

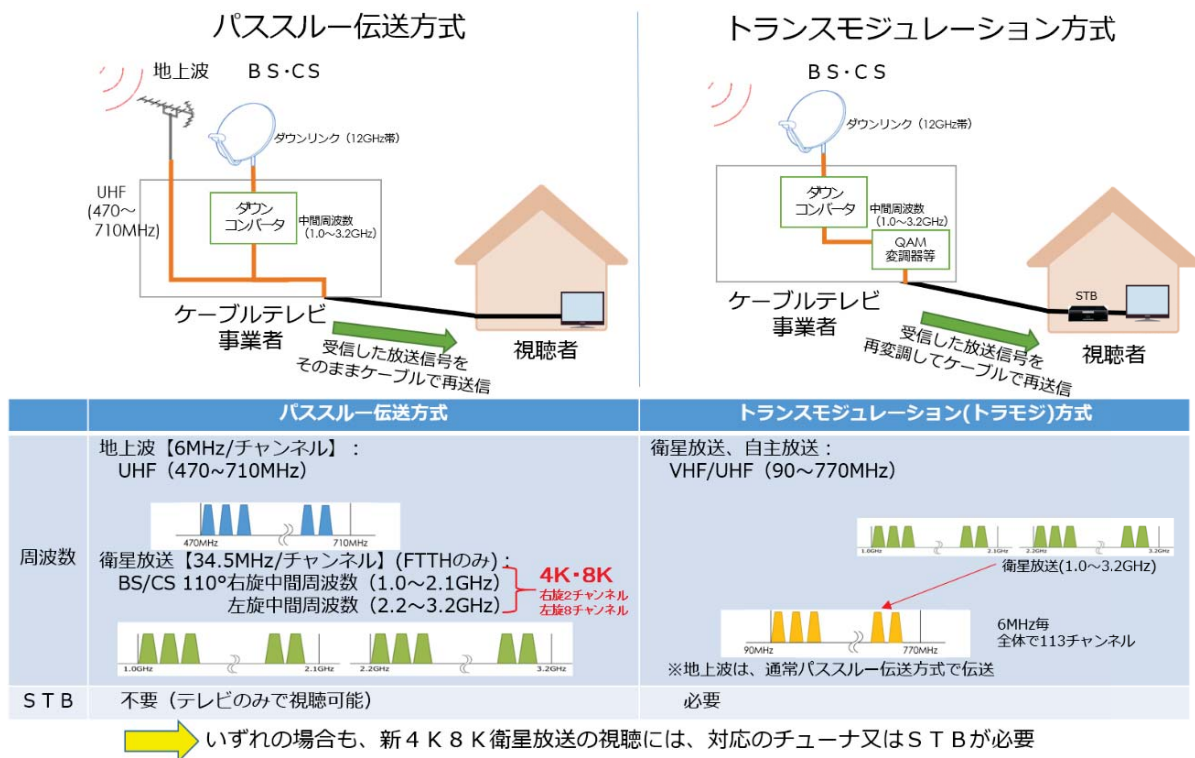


図 1.10 ケーブルテレビの再放送方式の概要

(2)インターネット接続サービスの方式

ケーブルテレビ事業者等は、加入者にインターネット接続サービスも提供していることが多く(2017年9月末時点の調査では、登録一般放送事業者 507 者中 346 者)、その場合は放送と通信を同軸ケーブル、1～4 芯の光ファイバ等で搬送することとなるため、その伝送路に応じて伝送方式も異なることとなる。

HFC は、ケーブルの 90～770MHz の周波数帯域の中で、放送の帯域に準じて 6MHz 毎に固定的に周波数を割り当てられており、当該帯域の一部を利用して、DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specifications)規格により、下り 40～320Mbps 程度(DOCSIS3.0 仕様の場合)のインターネット接続サービス(CATV アクセスサービス)を提供している。

DOCSIS は、米国で標準化されたケーブルテレビのネットワークを利用した通信サービスのための標準仕様であり、1997年にDOCSIS1.0の仕様が策定された後、バージョンアップを重ね、2006年にはDOCSIS3.0、2013年にはDOCSIS3.1の仕様が公開されている。なお、DOCSISの仕様は、ITUにおいて、国際標準化されている。

一方、FTTHは、光領域のより広範な帯域を利用することが出来るため、数 10M～10Gbps 程度のインターネット接続サービス(FTTH アクセスサービス)を提供することが可能となっている。

FTTH アクセスサービスには、PON(Passive Optical Network)の仕組みが利用されていること

が多い。PONは、光アクセス技術の一形態であり、ケーブルテレビ事業者等の局舎と加入者宅を結ぶ光ファイバの途中に電源を必要としない受動的な分岐器(光スプリッタ)を設置し、伝送路を複数に分岐することで、一本の光ファイバを複数の加入者で共有(1 対 n)する技術である。その他、局舎と加入者宅を1 対 1 で結ぶSS(Single Star)がある。なお、集合住宅の場合は、構内共用スペースまで光化され、そこから各戸までは銅線で VDSL(VDSL:Very high bit rate Digital Subscriber Line)によりサービスが提供されている場合がある。

FTTH の場合、ケーブルテレビ事業者等は、放送と通信(上り、下り)をそれぞれ別芯で伝送する2 芯 3 波、放送と通信を波長分割多重方式で1 芯の光ファイバで伝送する1 芯 3 波などと呼ばれる様々な方法でトラヒックを伝送している。

- ケーブルテレビ事業者等は、現在、主に FTTH アクセスサービスと CATV アクセスサービスのいずれかの方式で固定ブロードバンドのインターネット接続サービスを提供している。
- ケーブルテレビ事業者等の伝送路の状況により、取り得るサービスが異なる。

1. FTTH アクセスサービス (PON)

PON : Passive Optical Network

- ・各家庭まで敷設した光ファイバにより提供される数 10M~10Gbps 程度のインターネット接続サービス
- ・サービスの提供には、契約者の受信用光伝送装置(ONU:Optical Network Unit)までの光化を行う必要がある(ただし、集合住宅の場合は、棟内共用スペースまで光化され、そこから各戸までは銅線で VDSL によりサービスが提供されている場合がある)。

2. CATV アクセスサービス (DOCSIS)

DOCSIS : Data Over Cable Service Interface Specifications

- ・ケーブルテレビの有線ネットワークにより、90~770MHz の帯域の一部を利用して提供される下り 40~320Mbps 程度(DOCSIS3.0 仕様の場合)のインターネット接続サービス。
- ・本サービスは、HFC 等の伝送路によって提供可能である。

図 1.11 ケーブルテレビ事業者等が提供するインターネット接続サービス

1.5 IP ネットワークにおける課題

(1)IP 放送に関する技術的条件の検討の背景

2007年3月の「FTTH等の伝送帯域の拡大に伴うBS-IF等パススルー伝送並びに情報源符号化方式及び伝送路符号化方式に関する技術的条件」の答申に際しての情報通信審議会情報通信技術分科会ケーブルテレビシステム委員会報告において、IPマルチキャスト方式による放送サービスについては、当該方式が変化の激しい技術を含んでいることや、IPマルチキャスト方式を含むIPTVについては、国内外で標準化に関する議論が精力的に行われているところであり、事業者の負担軽減、マルチベンダー化の促進等の観点からは、IPマルチキャスト方式に関する技術的条件について、国内のサービス状況や国内外の標準化動向を踏まえ、その必要性も含め継続的な検討を行うことが適当であるとされていた。

2017年5月の放送を巡る諸課題に関する検討会「地域における情報流通の確保等に関する分科会報告書「ケーブルビジョン2020+～地域とともに未来を拓く宝箱～」において、放送サービスのIP化に関連して、2018年12月に新4K8K衛星放送が開始され、その再放送がIP放送で行われるようになると、IP放送の品質確保に必要な伝送容量が逼迫する事態が生じることも懸念されるため、総務省においては、IP放送の品質を確保するために必要な技術基準の在り方の検討を行うことが適当であるとされていたところ。

○平成18年度 情報通信審議会答申

諮問2024号「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち「FTTH等の伝送帯域の拡大に伴うBS-IF等パススルー伝送並びに情報源符号化方式及び伝送路符号化方式の高度化に関する技術的条件」(平成19年3月28日)(抜粋)

IPマルチキャスト方式による放送サービスについては、3.4.2.1で述べたとおり、当該方式が変化の激しい技術を含んでいることや、電気通信役務利用放送の趣旨に鑑みると、国が事業者に対して特定の伝送方式の利用を強制することは適切ではなく、多様な伝送方式を許容している現行の有線テレビジョン放送法及び電気通信役務利用放送法の制度下では、そのような状況はそもそも想定し難い。しかしながら、IPマルチキャスト方式を含むIPTVについては、国内外で標準化に関する議論が精力的に行われているところであり、今後、IPマルチキャスト方式に汎用的に適用可能な画質や伝送品質の評価方法が確立された場合や、多くの事業者が統一された伝送方式を採用するようになった場合には、当該評価方法や伝送方式について技術的条件を検討することも合理性があると考えられる。したがって、事業者の負担軽減、マルチベンダー化の促進等の観点からは、IPマルチキャスト方式に関する技術的条件について、国内のサービス状況や国内外の標準化動向を踏まえ、その必要性も含め継続的な検討を行うことが適当である。また、その他のIP技術による放送サービスについても、その動向を注視し、必要に応じて技術的条件の検討を行っていくことが必要である。

○「ケーブルビジョン2020+～地域とともに未来を拓く宝箱～」

(放送を巡る諸課題に関する検討会「地域における情報流通の確保等に関する分科会報告書」(平成29年5月26日)(抜粋)

(3)IP化・クラウド化によるサービス向上等

1)放送サービスのIP化

(略)

2018年12月に衛星4K・8K放送が開始され、その再放送がIP放送で行われるようになると、IP放送の品質確保に必要な伝送容量が逼迫する事態が生じることも懸念されるため、総務省においては、IP放送の品質を確保するために必要な技術基準の在り方の検討を行うことが適当である。

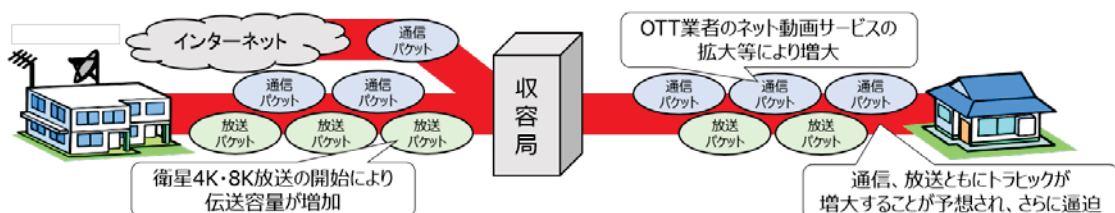


図 1.12 IP 放送に関する技術的条件の検討背景

(2)IP ネットワークを利用した放送の課題

4K・8K 等の超高精細な映像技術の進展により、番組の伝送には、BS、CS110 では、1 番組あたり約 33Mbps(4K)又は約 100Mbps(8K)の帯域を使用しており、ケーブルテレビ事業者等において IP ネットワークにより、複数の 4K・8K の放送番組を再放送するには、より多くの帯域が必要となる。

また、近年、インターネットでは、通信のトラフィックが急激に増大しており、IP ネットワークを利用して放送サービスを提供するに当たっては、一般に放送と通信のトラフィックが同じ伝送路を共用しているため、放送と通信のトラフィックが相互に影響を及ぼし合う可能性が増大している。

したがって、4K・8K 等の大容量放送番組の再放送や通信トラフィックの増大という環境の中で、安定的に放送サービスを提供するための方法について検討する必要がある。

通常の放送とは異なり、IP 放送を受信するためには、一般にインターネット接続サービスの利用が前提となっており、受信者は、放送サービスに加え、インターネット接続サービスを始め、多様な通信サービスの提供をシームレスに受け取ることができる。

一方、一般に放送と通信のトラフィックが同じ伝送路を共用することから、通信トラフィックが想定を超えて増大した場合等においては、放送サービスの円滑な提供に支障が生じるおそれがあることなど、IP 放送の特徴について受信者の理解を得るための方法についても検討する必要がある。

円滑に IP 放送を提供するためには、ヘッドエンドから受信者端子まで安定的に放送信号を伝送する必要があるが、ケーブルテレビ事業者等の有線放送設備はもとより、多様化、複雑化している宅内ネットワークについて、放送サービスに堪える伝送品質を確保するため、宅内ネットワークで生じる様々な課題に対処していく必要がある。

さらに、IP ネットワークでは、巧妙化・複合化の進んでいるサイバー攻撃や DDoS(Distributed Denial of Service)攻撃等により大規模なネットワークの停止が引き起こされる可能性がある。ケーブルテレビは、情報通信分野における重要インフラとして、電気通信及び放送のいずれの事業にも関わるため、ケーブルテレビ業界としてケーブルテレビセプター(CEPTOAR)を組織し、情報セキュリティの継続的な確保に向けて取り組んでいる。今後、放送の IP 化を進めることで、放送サービスがこれらのサイバー攻撃の影響を受ける可能性も考えられ、新たな対策が必要となる可能性がある。

以上のような課題に対応しつつ、IP 放送に係る利用促進策、技術開発、ネットワーク整備等に関して検討する必要がある。

第2章 IP放送の現状と課題

2.1 IP放送の定義

(1)放送用と通信用のネットワーク

ケーブルテレビ事業者等のネットワークには、90～770MHz(VHF/UHF)、1.0～2.1GHz(BS/CS110の右旋用中間周波数)、2.2～3.2GHz(BS/CS110の左旋用中間周波数)を利用した周波数分割多重等による主として放送番組を伝送する放送用のネットワークと、VHF/UHF(DOCSIS)、光領域の帯域等を利用した時分割多重等によるデータ、音声、映像等を問わず伝送する通信用のネットワークがある。

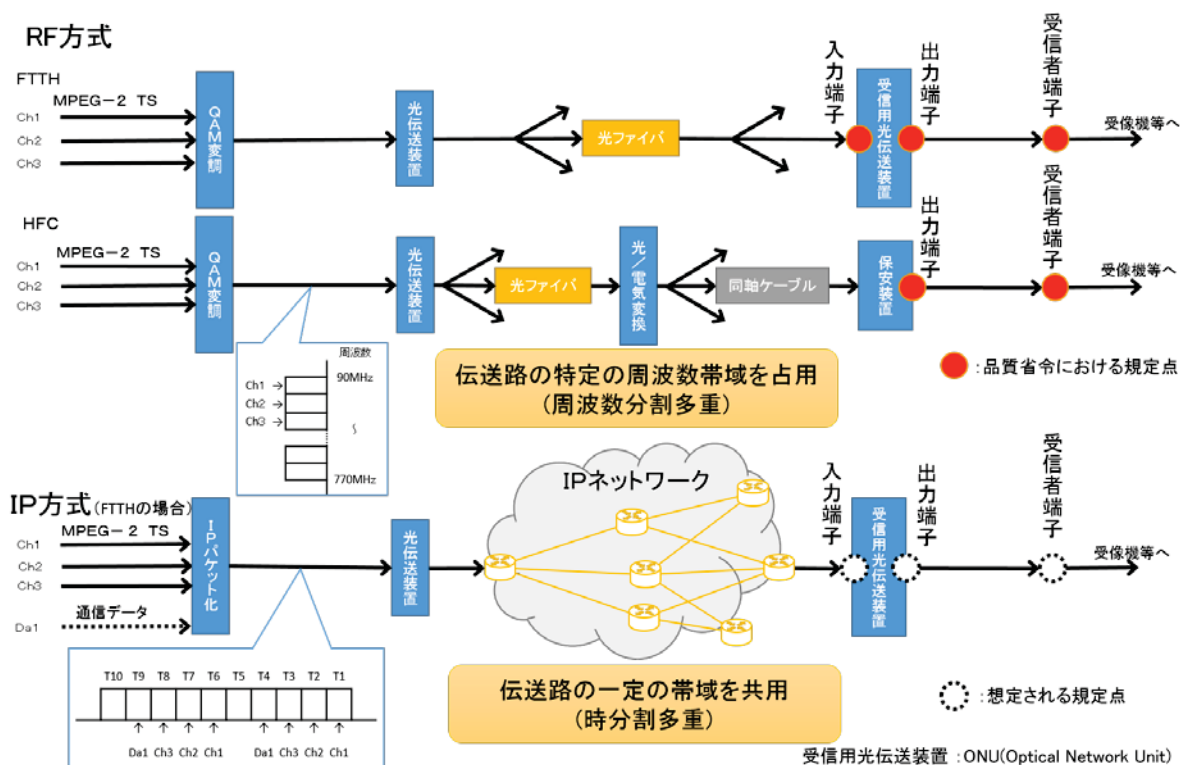


図 2.1 ケーブルテレビの伝送路に関する方式

なお、光領域の帯域には、映像配信用の帯域(品質省令第5条において、使用する光の波長として、1,530 ナノメートル以上 1,625 ナノメートル以下と規定)があり、当該帯域を利用して、VHF/UHF 及び BS/CS110 の右旋及び左旋中間周波数の放送信号を伝送する場合は、放送用のネットワークと考える。

本報告書では、通信用のネットワークのうち、IP を用いているものを IP ネットワークという。IP ネット

ワークを利用した映像配信サービスは、一般に IPTV やインターネット TV などと呼ばれるが、放送法における放送に該当する場合と、該当しない場合（VOD などの通信サービス）がある。

| 分類 | | 基幹放送事業者 | 有線一般放送事業者 | ネット映像配信事業者 |
|----|----------|--|--|--|
| RF | 放送 | <p>放送局 → (無線) → 視聴者</p> <p>RF帯域を用いて放送波により公衆に送信</p> <p>提供例：地上放送、衛星放送</p> | <p>HE設備 → (有線) → 契約者</p> <p>RF帯域を用いて有線により公衆（契約者）に送信</p> <p>提供例：地上放送、衛星放送の再放送 コミュニティチャンネルによる自主放送</p> | <p>—————</p> <p>(現在、具体的な提供例なし)</p> |
| | IPネットワーク | <p>—————</p> <p>(現在、具体的な提供例なし)</p> | <p>配信サーバ → (有線) → 契約者</p> <p>マネージドネットワークを通じて有線により公衆（契約者）に送信</p> <p>提供例：IP放送</p> | <p>—————</p> <p>(現在、具体的な提供例なし)</p> |
| | 通信 | <p>配信サーバ ↔ ユーザ</p> <p>ユーザのリクエスト（要求）に応じてインターネットを通じて送信</p> <p>提供例：インターネットTV (見逃し配信、VOD)</p> | <p>配信サーバ ↔ 契約者</p> <p>ユーザのリクエスト（要求）に応じてインターネットを通じて送信</p> <p>提供例：インターネットTV (VOD)</p> | <p>配信サーバ ↔ ユーザ</p> <p>ユーザのリクエスト（要求）に応じてインターネットを通じて送信</p> <p>提供例：インターネットTV (ライブ配信、見逃し配信、VOD)</p> |

図 2.2 放送事業者等による IP を用いた動画配信サービスの形態

また、放送用のネットワークを利用した放送には、品質省令においては、大別して、電波による放送信号や放送の原信号を有線通信に適した伝送方式に変換して伝送するトラモジ方式(第 2 章第 2 節)と電波による放送信号と同じ信号を伝送するパススルー伝送方式(第 2 章第 3 節及び第 4 節)の技術基準が定められており、本報告書では、これらの方式を総称として、RF 方式という。

(2)放送の定義と IP マルチキャスト方式による通信

放送法において、放送とは、「公衆によって直接受信されることを目的とする電気通信の送信」と定義されている。「放送法逐条解説(改訂版)」(金澤 薫著、一般財団法人情報通信振興会発行)によれば、「公衆」とは、不特定多数の者をいい、特定の者を対象とするものは、放送ではない。なお、契約当事者のみを対象とする有料放送であっても、その契約が全ての人に開放されている限り公衆概念に適合するとされている。

また、「通信と放送の境界領域的サービスに関する研究会」中間報告(平成元年 2 月)によれば、「公衆」とは「不特定多数」と同義であるとされており、通信の相手方が「特定」されていないのが公衆に対する通信である。通信の相手方が特定しているとするためには、送信者と通信の相手方との

間の特定の関係あるいは通信の相手方に特定の属性が存在しており、通信の相手方が不特定多数に及ぶものではないこと、しかも、こうした特定の者を通信の相手方としようとする送信者の意図が、送信者の主観のみでなく客観的に認められることが必要であるとされている。

さらに、「直接受信されることを目的とする」とは、「放送法逐条解説(改訂版)」によれば、直接公衆によって受信されることを目的とするものをいう。「直接」とは、送信者と受信者の間の第三者が介在しない形態をいい、間接に公衆によって受信されるものは、放送ではない。なお、ここでいう「第三者」とは、チャンネルの確保、情報の取捨選択、情報の編集等を行う（又はそれを行いうる）者をいい、放送事業者が伝送路の一部を電気通信事業者から調達するとしても、当該電気通信事業者は、単に媒介しているに過ぎず、第三者に該当しない。また、「目的」とは、送信者の意図を指すものであるが、単に送信者が公衆によって直接受信されることを意図しているだけでは足りず、外形的事実においてもそのことが明らかでなければならないとされている。

ケーブルテレビ事業者等による IP マルチキャスト方式による通信について、ケーブルテレビ事業者等（送信者）の主観においては、通常、契約を結ぶ者（受信者）に広く送信する意図があり、特定の者を通信の相手方とする意図は見受けられない。また、こうした送信者の意図が客観的にも認められるかについて、IP マルチキャスト方式による通信は、送信者は宛先として通信の相手方が特定されないマルチキャストアドレスを指定しており、また、契約者である受信者は希望（選局）すれば当該アドレスへの通信を受信できるようになるなど、不特定多数への通信であることを否定する要素は見当たらない。

したがって、「ケーブルテレビ事業者等による IP マルチキャスト方式による通信」については、「公衆」概念に適合するものと整理するのが適当であり、放送の定義に含まれると考えられる。

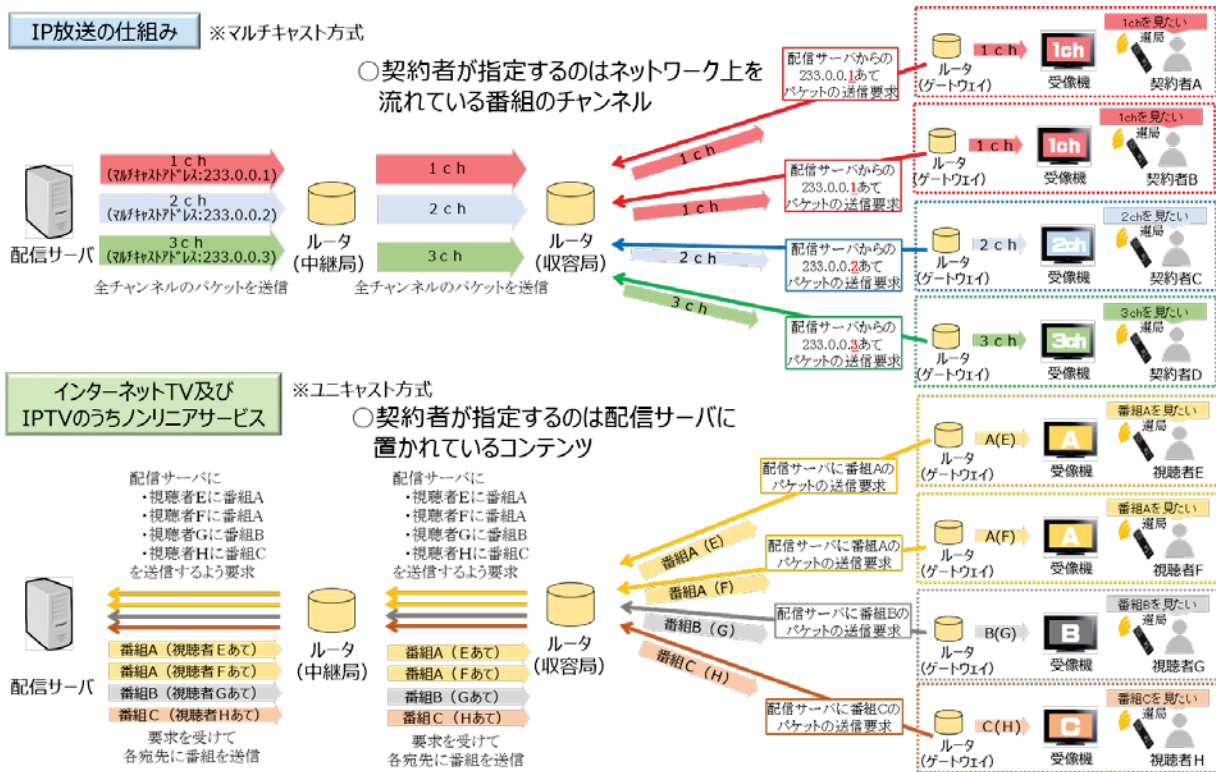


図 2.3 IP放送とインターネットTV等の送信の仕組み

(参考)【通信の相手方の特定性を判断する基準】

「通信と放送の境界領域的サービスに関する研究会」中間報告(平成元年2月)より

①を中心としてこれらの事項を総合的に判断して、受信者を特定しようとする送信者の意図が認められるかどうかを検討することが妥当である。(なお、③～⑤は、直接的なメルクマールとはなりえないが、送信者の意図を推定する際の参考となるものである。)

① 送信者と受信者との紐帯関係の強さの程度、受信者における属性の強さの程度

本社、支社間の通信など送信者と受信者の紐帯関係や受信者の属性の程度が強く、当該関係に他者が入る余地がないものについては、これだけで特定者に対する通信と認められる。一方、当該紐帯関係に入る機会が広く開かれており、当該関係においてのみ通信の相手方としての特定性が認められる場合(相対的な紐帯関係)は、②の通信事項もあわせて勘案し、特定性を判断することが必要となることがある。また、会員組織等において、入会の要件が不特定多数に開かれており、受信することそのものが入会の目的である等有料放送と同一視できるようなものについては、特定性は認められない。

② 通信の事項

通信の事項が送信者と受信者の紐帯関係や受信者の属性を前提したものであれば、その通信における受信者の特定性が認められる。逆に、当該紐帯関係や属性と通信の事項に関係がなければ、これにより受信者としての特定性を認めることは困難である。

③ 情報伝達形式の秘匿性

④ 受信機の管理

スクランブルなど情報の伝達形式に秘匿性があり、あるいは送信者が受信機を実際に支配、管理しているような場合には、送信の相手方として特定の者のみに送信しようとする意図を認めることができる。ただし、送信の相手方と意図する者が①、②により特定されていることが必要である。

⑤ 広告の有無

情報に広告が付されていれば、情報を不特定多数の者に公開しようとする意図が推定される場合がある。

(3)管理された IP ネットワーク

一般にインターネット(いわゆるオープン・ネットワーク)における伝送は、複数の ISP に属する IP ネットワークを経由しており、通常、これらの IP ネットワーク全体の伝送品質等を維持、管理等することは困難であるが、特定の区間においては、特定の者が、IP ネットワークの伝送品質等を維持、管理等することは可能である。このような IP ネットワークは管理された IP ネットワークと呼ばれている。なお、複数の事業者等に属する IP ネットワークにより管理された IP ネットワークが構成されている場合には、ケーブルテレビ事業者等は、約款、契約等により他の事業者の IP ネットワークの伝送品質等を維持、管理等できることが必要である。

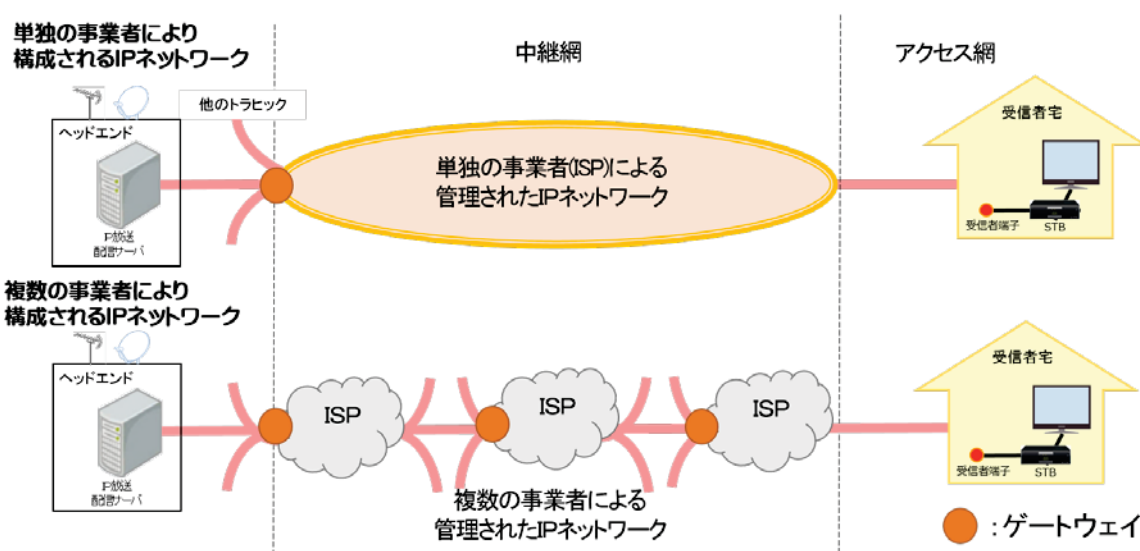


図 2.4 管理された IP ネットワークにより構成されたネットワーク

(4)IP 放送の定義と実現方法

本報告書では、IP 放送を、ケーブルテレビ事業者等により、ヘッドエンドから受信者端子までの区間において、管理された IP ネットワークを利用した、IP マルチキャスト方式による通信であって、放送法における放送に該当するものと定義する。

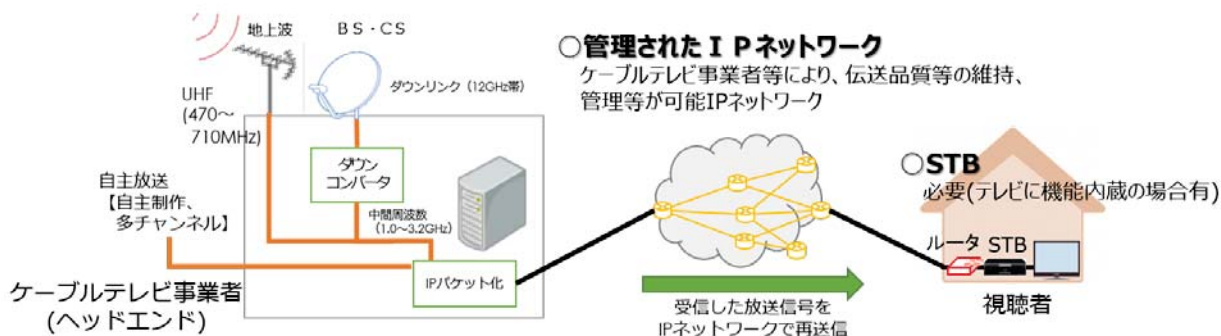


図 2.5 IP マルチキャスト方式による放送番組の伝送

IP 放送には、PON、DOCSIS に共通した IP ネットワークを直接利用して放送番組のマルチキャスト・パケットを伝送するダイレクト方式と DOCSIS 特有の方式として、IP ネットワークとは別の映像配信用の専用帯域により放送番組のマルチキャスト・パケットを伝送するバイパス方式がある。

| | リニアサービス (サービス提供者が送信のタイミングを決定するもの) | | ノンリニアサービス (受信者が送信のタイミングを決定するもの) ※ VODサービスやダウンロードサービス等 |
|--|--|---|---|
| | 放送の同時再放送 (地上/衛星放送の再放送) | 自主放送(多チャンネル等) (地上/衛星放送の再放送以外) | |
| マネージドネットワーク (ケーブルテレビ事業者等が管理可能なネットワークでサービスが提供されるもの) | IPTV <div style="border: 2px dashed red; padding: 5px;"> IP放送 全国 ひかりTV (衛星放送) ひかりTV (多ch, 自主放送ch) auひかり 地域限定 ひかりTV (地上放送) ケーブル4K <small>※ IPマルチキャスト方式によるもの</small> </div> | | ひかりTV (ビデオサービス) |
| オープンネットワーク (インターネットを通じてサービスが提供されるもの) | インターネットTV NHKワールドTV Abema TV DAZN ひかりTV どこでも | Amazon プライムビデオ Netflix auビデオパス milplus | Youtube TVer ニコニコ動画 |

図 2.6 IP を用いた動画配信サービスと IP 放送

2.2 IP 放送サービスの現状と展望

(1)IP 放送のメリット

IP 放送が伝送路として利用する IP ネットワークは、放送用のネットワークと比較すると、放送用と通信用の周波数が固定的に割り当てられていないため、伝送路を柔軟に利用して、放送と通信のトラヒックを効率的に伝送することが可能になっている。

このことを活用して、受信者は、放送サービスに加え、VOD、カラオケ、ゲーム等の多様な通信サービスを視聴環境の違いを意識することなくシームレスに享受することができる。また、国際的に標準化された IP 方式を採用することで、ケーブルテレビ事業者等は汎用化した IP 対応のサーバ等の通信設備の利用や放送と通信の設備の共用化等によって、ヘッドエンド、STB(Set Top Box)等の有線放送設備の経費、運用コストを下げられ、また、その結果として、受信者にとっては、放送、通信に係るサービス料金が低廉化したり、受信設備を比較的自由に選択したりできるようになる可能性がある。

(2)IP 放送の現状

2017 年 9 月末時点においては、IP 放送を実施しているケーブルテレビ事業者等は 5 事業者で、サービスを受ける加入世帯数は合計約 93 万世帯である。これらの事業者は、地上放送、BS の再放送、自主制作や多チャンネル番組の自主放送(4K を含む)の放送サービスを提供している他、インターネット接続サービスを始め、VOD、カラオケ、音楽、ゲーム等の通信サービスを併せて提供している。

受信者は、IP 放送に対応した STB の他、市販の対応テレビジョン受信機等により、IP 放送のサービスを受けることができる。また、通信サービスについては、スマートフォンやタブレット、パソコン等の多様な端末でも利用可能である。

- 2017年9月末現在、**IP放送を行うケーブルテレビ事業者等は、5社**（KDDI、アイキャスト、クレーボ、ハートネットワーク、ケーブルテレビ徳島）。**2016年から、ケーブルテレビ事業者2社**(ハートネットワーク、ケーブルテレビ徳島)が、IP放送を開始。
- IP放送の**加入世帯数は、合計で約93万(2017年9月末現在)**。
- 事業者ごとに、自社設備・他社設備の使用、提供している放送の種別（地上放送・衛星放送の再放送、多チャンネル放送、コミュニティチャンネル等の自主放送）は異なる。なお、地上放送・衛星放送(**基幹放送**)の再放送を行っているのは、**アイキャストのみ**。

[2017年3月末時点]

| 提供者 | サービス名 | 開始時期 | サービス内容 | 業務エリア |
|-----------|-------------------|---------|---|---------------------------|
| KDDI | au ひかり | 2003.12 | ・自社の au ひかりの契約者を対象に、 多チャンネル放送 (全 51ch)を提供 | 全国 |
| アイキャスト | ひかり TV | 2005.6 | ・ フレッツ光 (NTT 東西が提供)及び コラボ事業者 が提供する 光回線の契約者 を対象に、 地上放送・衛星放送 の再放送、 多チャンネル放送 (全 124ch)を提供 ・現在、4K 放送を 2 ch 提供 | 全国 (地上放送の再放送は 20 都道府県) |
| クレーボ | クreatウールチャンネル | 2008.4 | ・ フレッツ光 (NTT 東西が提供)の 契約者 を対象に、 多チャンネル放送 (全 7 ch)を提供 ※外国人等のコミュニティやホテル等の施設へ、海外の番組を中心に配信 | 全国 |
| ハートネットワーク | ケーブル 4K | 2016.4 | ・自社の FTTH (自社設備) 契約者 を対象に、 ケーブル 4K を放送 | 愛媛 (新居浜市、西条市) |
| ケーブルテレビ徳島 | ケーブル 4K、テレビドラマ 4K | 2016.9 | ・自社の FTTH (自社設備)又は STNet のブロードバンド契約者 (STNet 回線)を対象に、 ケーブル 4K 及び 4K 自主放送 を提供 | 徳島 (徳島市、神山町、佐那河内村) |

図 2.7 IP 放送の提供状況

(3)IP 放送の展望

IP に関する技術革新の進展は著しく、ネットワーク設備の高度化、汎用化が急速に進んでおり、受信環境は急速に変化している。放送分野においても欧米では、番組制作現場におけるスタジオ内やスタジオ間の番組伝送や、地上放送の次世代放送規格の多重化方式等、IP をベースにした方式の採用等が始まっており、IP 化は世界的な潮流になりつつあるとの指摘がある。

ケーブルテレビ事業者等は、放送と通信のサービスを同一の IP ネットワークにより提供可能となれば、インターネット接続サービスを前提として、IP ネットワークを利用したスマートフォンやタブレット、パソコン等向けの動画配信サービスをはじめ、双方向性を活かした多様な通信サービスも併せて提供できるようになり、受信者は、地上放送、BS 等の放送サービスとインターネット接続サービス、VOD 等の通信サービスをシームレスに提供を受けることができるようになる。

さらに、ケーブルテレビ事業者は、汎用化した IP 対応設備の利用や、放送と通信の設備を共用すること等による低コスト化も見込まれ、IP 放送に係るコストの低廉化が進むことで、今後、IP 放送のサービスを提供する事業者が増加していくことが見込まれる。

2.3 4K・8Kを含むIP放送の在り方

(1) 4K・8Kの現状

2015年には、ケーブルテレビ、CS124/128、IPTV等により4K実用放送が既に開始されており、本年12月以降、BS、CS110により4K・8K実用放送が、新4K8K衛星放送として、業務認定を受けた11社により、全体で4K18番組、8K1番組が提供されることとなっている。現在、ケーブルテレビ事業者等がIP放送により4Kの数番組を提供している事例はあるが、新4K8K衛星放送の再放送が行われる場合には、ケーブルテレビ事業者等は、更に多くの番組を再放送又は放送することとなり、更なる帯域が必要になる。

BS 右旋

| No | 認定を受けた社 | チャンネル名 | 周波数 | 放送開始予定日 | 番組の種別 |
|----|------------|------------|------|------------|-------|
| 1 | (株)BS朝日 | BS朝日 | 7ch | 平成30年12月1日 | 総合編成 |
| 2 | (株)BSジャパン | BSジャパン | 7ch | 平成30年12月1日 | 総合編成 |
| 3 | (株)BS日本 | BS日テレ | 7ch | 平成31年12月1日 | 総合編成 |
| 4 | 日本放送協会 ※4K | NHK SHV 4K | 17ch | 平成30年12月1日 | 総合編成 |
| 5 | (株)BS-TBS | BS-TBS 4K | 17ch | 平成30年12月1日 | 総合編成 |
| 6 | (株)ビーエスフジ | BSフジ | 17ch | 平成30年12月1日 | 総合編成 |

BS 左旋

| No | 認定を受けた社 | チャンネル名 | 周波数 | 放送開始予定日 | 番組の種別 |
|----|-----------------|------------------|------|------------|----------|
| 1 | SC衛星放送(株) | ショッピングチャンネル | 8ch | 平成30年12月1日 | ショッピング番組 |
| 2 | (株)QVC衛星 | QVC | 8ch | 平成30年12月1日 | ショッピング番組 |
| 3 | (株)東北新社メディアサービス | 映画エンタテインメントチャンネル | 8ch | 平成30年12月1日 | 映画 |
| 4 | (株)WOWOW | WOWOW | 12ch | 平成32年12月1日 | 総合娯楽 |
| 5 | 日本放送協会 ※8K | NHK SHV 8K | 14ch | 平成30年12月1日 | 総合編成 |

110度CS(実用放送)

| No | 認定を受けた社 | チャンネル名 | 周波数 | 放送開始予定日 | 番組の種別 |
|----|-------------------|------------|------|------------|-------|
| 1 | (株)スカパー・エンターテイメント | スカチャン 4K 1 | 9ch | 平成30年12月1日 | 総合娯楽 |
| 2 | | スカチャン 4K 2 | 9ch | 平成30年12月1日 | 総合娯楽 |
| 3 | | スカチャン 4K 3 | 11ch | 平成30年12月1日 | 総合娯楽 |
| 4 | | スカチャン 4K 4 | 11ch | 平成32年12月1日 | 総合娯楽 |
| 5 | | スカチャン 4K 5 | 19ch | 平成30年12月1日 | 総合娯楽 |
| 6 | | スカチャン 4K 6 | 19ch | 平成30年12月1日 | 総合娯楽 |
| 7 | | スカチャン 4K 7 | 21ch | 平成30年12月1日 | 総合娯楽 |
| 8 | | スカチャン 4K 8 | 23ch | 平成30年12月1日 | 総合娯楽 |

※ 110度CS(試験放送)については、(一社)放送サービス高度化推進協会を周波数23chで認定。

図 2.8 新4K8K衛星放送の業務認定を受けた社

さらに、2015年7月に改訂された「4K・8K 推進のためのロードマップ」(4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合 第二次中間報告)では、2020年頃には、BS 左旋において 4K 及び 8K 実用放送拡充(トランスポンダの追加割当)、CS110 左旋において 4K 実用放送拡充(トランスポンダの追加割当)を行うことが見込まれている。

(2)4K・8K 等を含むケーブルテレビに関する伝送方式等に関する制度整備

総務省は、2014年12月、情報通信審議会から、「ケーブルテレビにおける超高精細度テレビジョン放送の導入に関する技術的条件」について一部答申を受け、2015年3月、4K・8K に対応した情報源符号化方式等や、伝送方式として、衛星基幹放送のパススルー伝送方式、既存のデジタル有線テレビジョン放送方式(ITU-T 勧告 J.83 Annex C 準拠=単一搬送波の 64QAM 及び 256QAM を活用)、複数搬送波伝送方式(ITU-T 勧告 J.183)、高度なデジタル有線テレビジョン放送方式(ITU-T 勧告 J.382)等に係る制度整備を実施した。

また、「ケーブルテレビにおける超高精細度テレビジョン放送の導入に関する技術的条件」の一部答申の際の放送システム委員会報告(2014年12月)において、課題とされていたパススルー伝送方式のための左旋用中間周波数の追加については、本年2月の情報通信審議会情報通信技術分科会放送システム委員会での検討を経て、4月に中間周波数の追加等を行う品質省令の改正案について、電波監理審議会に諮問・答申を受け、所要の制度整備を実施した。

(3)4K・8K を含む IP 放送の技術基準の在り方

4K・8K に先立ち、ケーブルテレビ事業者等は、従来から、地上放送、BS、CS 等で既に提供されている多数の番組を再放送又は放送しており、これらの全ての番組を RF 方式、特に伝送路が HFC の場合において、ケーブルの 90~770MHz の帯域の中で伝送することは難しくなっている。

このため、ケーブルテレビ事業者等は、伝送路の FTTH 化による BS、CS110 のパススルー伝送方式での再放送、ケーブルの 770MHz 以上の帯域を通信用のネットワーク(DOCSIS)として利用することなど、ネットワークの高度化に取り組んでいる。一方で、固定的な周波数割当がなされていないことから、柔軟に伝送路を活用して放送と通信のトラフィックをより効率的に伝送可能な IP ネットワークを利用して、放送サービスを提供することも一つの有力な選択肢と考えられる。

したがって、4K・8K を含む放送について、既に IP 放送のサービスを開始しているケーブルテレビ事業者等の状況、4K・8K 推進のためのロードマップで示された 2020 年頃の 4K・8K の目指す姿等を踏まえ、ケーブルテレビの伝送方式として、IP マルチキャスト方式による伝送を検討することとし、技術革新の著しい IP 技術の進展、ネットワーク設備の高度化、汎用化、4K・8K の普及状況等を見据え、電波による放送や RF 方式による放送の伝送品質と同等程度で柔軟性の高い技術基準を検討することが適当である。

2.4 IP 放送の課題

(1)IP ネットワークの特徴

IP マルチキャスト方式による伝送は、RF 方式による伝送と比較して、放送用と通信用の周波数が固定的に割り当てられていないため、伝送路を柔軟に利用して放送と通信のトラフィックを効率的に伝送することが可能になっている。

IP ネットワークでは、トラフィックの効率的な伝送が可能になっている一方で、時間帯や地域に応じてトラフィックの変動が生じ、また、送信側、受信側の状況により、トラフィックが想定範囲を超えて大きく変動する可能性があることから、放送と通信のトラフィックが同じ伝送路を共用する場合は、相互に影響を及ぼし合うこととなる。

また、RF 方式による伝送は時間的な遅延はほとんど生じないが、IP ネットワークは、ルーティング処理やトラフィックの混雑、アクセス網等を共用している場合には他者のトラフィックによる影響等により生じるパケットの遅延や損失等に対処する必要がある。

(2)IP 放送に関する有線放送設備

IP 放送のサービスを提供するためには、有線放送設備として、ヘッドエンド、伝送路設備、受信設備等について、IP 対応の設備が必要になる。

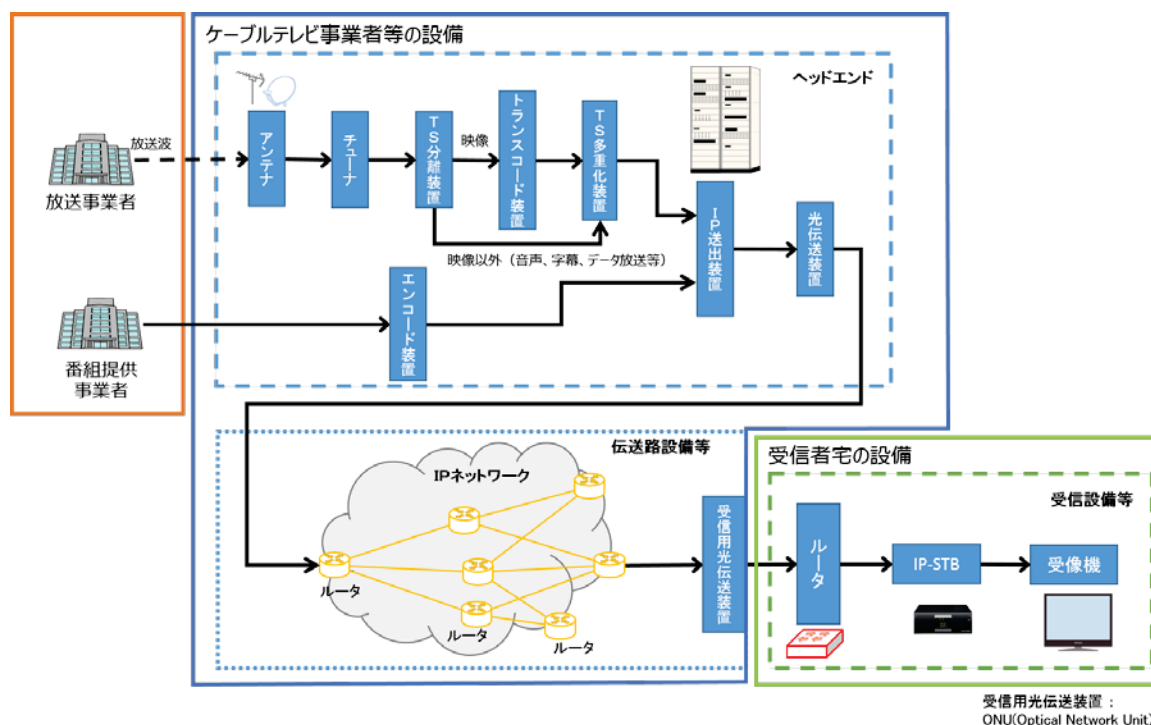


図 2.9 IP 放送に関する有線放送設備のシステム構成概要

(3)IP 放送のためのヘッドエンド

ヘッドエンドは、再放送の場合には、①放送を受信するアンテナ、②放送波の復号のためのチューナ、③放送信号から映像信号を分離する TS 分離装置、④映像信号の符号化方式を変更して再符号化するトランスコード装置、⑤映像信号を放送信号に再多重するための TS 多重化装置、⑥放送信号の IP ネットワークへの送出装置等で構成され、ケーブルテレビ事業者等の主たる送信の場所に設置される。

なお、映像信号については、地上放送、BS 等においては、H.262/MPEG-2 により符号化されているため、IP ネットワークの帯域を有効利用する観点から、放送事業者等の同意を得た上で、より圧縮率の高い H.264/MPEG-4 AVC に再符号化(トランスコード)されて放送されている事例がある。

4K・8K については、現状、最も高効率で圧縮が可能な符号化方式である H.265/HEVC を用いて符号化されているため、トランスコードは一般には行われないと考えられるが、統計多重による伝送を利用するため可変ビットレートによる符号化を検討することは可能である。

自主放送の場合は、①映像信号等の符号化のためのエンコード装置、②放送信号の IP ネットワークへの送出装置等で構成される。

(4)伝送路設備等

現状、IP 放送のサービスは、映像配信に十分な帯域を確保する観点から、中継網、アクセス網のいずれも伝送路は光ファイバを前提としていることが多い。ケーブルテレビ事業者等のネットワークは、幹線部分での光化は進展しているものの、アクセス部分の光化については、加入世帯に占める HFC 方式等の割合が 89%(2,369 万加入)と大宗を占めており、改善の必要がある。

なお、現状の IP ネットワークとしては、CATV アクセスサービスで下り 40Mbps から 320Mbps 程度(DOCSIS3.0 仕様の場合)、FTTH アクセスサービスでは数 10Mbps から 10Gbps 程度の固定ブロードバンドサービスが提供されているが、FTTH アクセスサービスとしては、現状 1Gbps 程度の固定ブロードバンドサービスが主流である。

既にアクセス部分も含め光化(FTTH 化)されている場合であっても、4K や 8K といった超高精細映像を含む放送番組の伝送による放送のトラフィック増はもとより、急激に伸びている通信のトラフィック増も踏まえれば、現状のネットワークは必ずしも十分な帯域を有しているとは言えないことから、更なる広帯域化に向けて、伝送路設備や伝送路の高度化が急務であるとの指摘がある。

伝送路設備として、IP ネットワーク内に設置されるルータ等については、通常のインターネット接続サービスでは利用されていないマルチキャスト機能を有することが必要となることに留意が必要である。

また、ケーブルテレビ事業者等と受信者の間で、FTTH の場合は、OLT(Optical Line Terminal)が局舎に、ONU(Optical Network Unit)が受信者宅に、HFC(DOCSIS)の場合は、CMTS(Cable Modem Termination System)が局舎に、CM(Cable Modem)が受信者宅に設置される。

(5)受信設備等

受信者宅に設置される受信設備等としては、最低限、ONU、マルチキャストのプロトコルに対応したルータ等、IP 放送対応の STB(IP-STB(Set Top Box))等で構成される。しかしながら、ONU と STB の間の受信者宅内のネットワークの構成は、受信者個々の受信環境に応じて多岐にわたり、集合住宅、戸建てを問わず、宅内に設置されたネットワーク機器の敷設や配線の状況によっては、放送サービスに影響が生じる懸念があることから、受信者宅内のネットワークが多様かつ複雑であることに留意が必要であるとの指摘がある。

受信設備については、各受信者宅に個々に設置する必要があるため、普及には時間とコストを要することに留意が必要であるとともに、宅内ネットワークで利用されるルータ等について、IPv4 のマルチキャストのプロトコルに対応した製品が少ないとの指摘がある。

第3章 IP放送の技術基準等

3.1 IP放送の技術基準等の現状

(1)ケーブルテレビに関する技術基準等の現状

無線通信の送信(電波)による放送は、有限希少な資源である電波を最大限有効に活用するため、占用的に割り当てられた特定の周波数とその帯域の中で、放送システムを導入した時点での、送信、受信設備等に関する技術的な実現可能性等を勘案して、実用的に利用可能な技術等により確保できる最大限の伝送容量を利用している。

有線通信の送信による放送は、放送が占有する有線の伝送路及び周波数帯域を前提に電波による放送信号と同じ信号を伝送するパススルー伝送方式と、電波による放送信号や放送の原信号を信頼性の高い有線の伝送路で利用可能な伝送方式に変換して伝送するトラモジ方式がある。

総務省は、一般放送の適正な品質を確保することを目的として、放送番組を構成する映像・音声等が一定水準の送受信品質を満し、低廉かつ安定的な受信環境を確保するための技術基準を「有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令」(品質省令)及び「標準テレビジョン放送等のうち、デジタル放送に関する送信の標準方式」を総務省令で規定している。

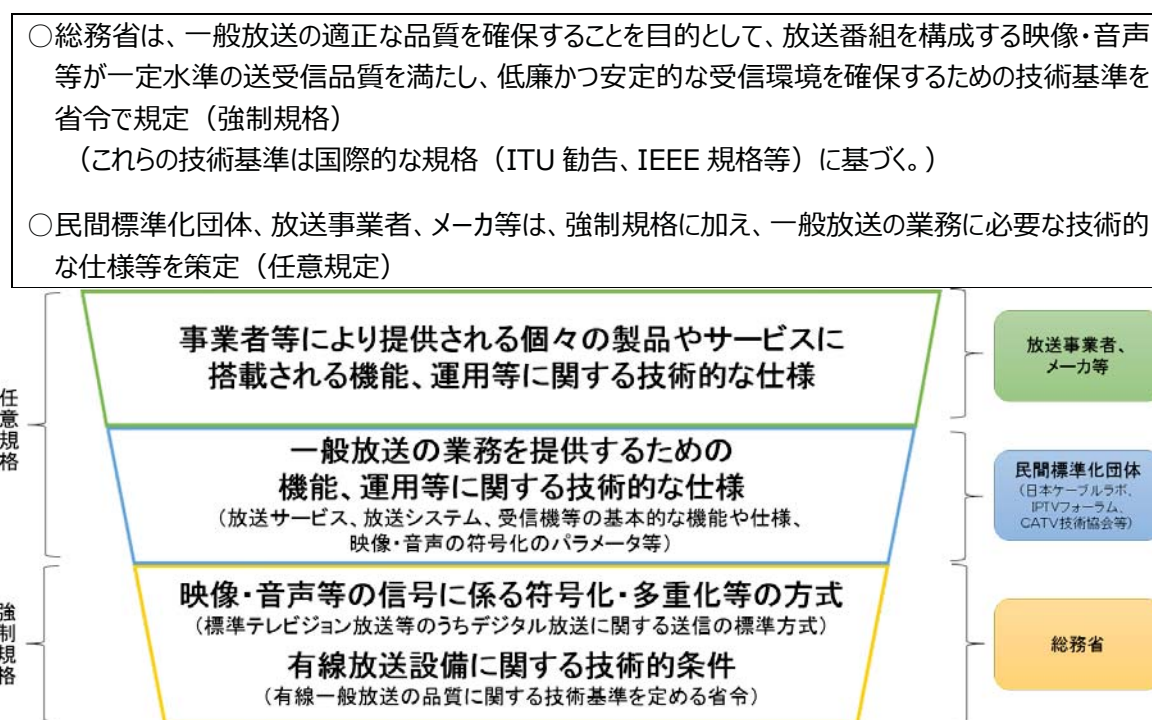


図 3.1 ケーブルテレビにおける一般放送の品質に関する技術基準の位置づけ

品質省令では、ケーブルテレビ事業者等による再放送又は放送に関して、入力信号の条件、搬送波の周波数及び変調方式、受信者端子等における搬送波の条件等を規定しており、放送の受信点又は放送番組の供給を受ける部分(ヘッドエンドの主たる機器の入力端子)における入力信号を、伝送路において一定の品質を保持しつつ、受信者端子まで伝送するための技術基準を規定している。これまで、その技術基準で保持する一定の品質は、電波による放送と遜色のない伝送品質を確保するという考え方で規定がなされてきた。

具体的には、衛星放送では、ヘッドエンドの主たる機器の入力端子における入力信号の条件は、復調後のビット誤り率が 1×10^{-8} 以下(短縮化リードソロモン(204,188)符号による誤り訂正前)、地上放送では、同様に 1×10^{-4} 以下と規定されている。それ以外の場合、入力信号の条件は、誤り訂正方式として、短縮化リードソロモン(204,188)を使用するデジタル信号の場合にあっては、復調後のビット誤り率が 1×10^{-4} 以下(誤り訂正前)、短縮化リードソロモン(204,188)とは異なる誤り訂正方式を用いる場合にあっては、復調後のビット誤り率が 1×10^{-11} 以下(誤り訂正後)とされている。品質省令における技術基準の規定は、当該入力信号を、受信者端子において、実質的に誤りを生じない水準で受信するための技術的条件を満たすと理解されている。

| | | デジタル有線テレビジョン放送方式 (トラモジ・自主放送) →第2章第2節(第9条~12条) | | | 標準デジタルテレビジョン放送 方式(地デジパススルー) →同第3節(第13条~16条) | 標準衛星デジタルテレビジョン放送方式 及び広帯域伝送デジタル放送方式 (BS/CS110パススルー) →同第4節(第17条~19条) | | |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|--------------------------|---|--|-----------------|---|
| 総則・雑則 | 受信空中線【第4条】 | 受信しようとする電波の受信の障害の少ない場所に設置すること | | | | | | |
| | 使用する光の波長【第5条】 | 1530nm~1625nm(光伝送の方式のみである場合に限る) | | | | | | |
| | 漏えい電界強度の許容値【第8条】 | 有線放送設備から3mの距離において0.05mV/m以下 | | | | | | |
| | 使用する電磁波の条件【第20条】 | <ul style="list-style-type: none"> ・上記4つの方式以外の有線放送は、他の有線放送の受信に影響を与えてはいけない ・上記4つの方式以外の電磁波は、有線放送の受信に影響を与えてはいけない | | | | | | |
| 伝送方式ごとの規定 | 変調方式【第11条、15条、19条】 | 64QAM | 256QAM | OFDM(256/1024/4096QAM) | OFDM | QPSK(CS110の現行方式) | TC8PSK(BSの現行方式) | 16APSK |
| | 使用する周波数【第10条、14条、18条】 | 90~770MHz | | | 90~770MHz | 1035.05~1485.87MHz(BS) 1578.57~2067.43MHz(CS110) 2224.41~2642.51MHz(BS) 2708.75~3223.25MHz(CS110) | | |
| | ヘッドエンド入力信号【第9条、13条、17条】 | 最悪月において99%パーセントの確率で高度広帯域衛星デジタル放送の16APSK(7/9以下)の場合は15dB以上、16APSK(9/10以下)の場合は21dB以上、上記以外の衛星放送はBER 1×10^{-8} 以下 地デジのBERは 1×10^{-4} 以下 | | | BER 1×10^{-4} 以下 | BER 1×10^{-8} 以下 | | 符号化率 7/9 : CN比 15dB以上 符号化率 9/10 : CN比 21dB以上 |
| | 許容偏差【第12条、15条】 | ±20kHz以内 | | | ±20kHz以内 | ±1.5MHz以内 | | |
| | 搬送波レベル(平均値)【第12条、15条】 | 49-81dB μ V | 57-81dB μ V | 49/56/60/63-81dB μ V | 47-81 dB μ V | 47-81 dB μ V | | 48-81 dB μ V |
| | 受信者端子における搬送波と雑音のレベル比【第12条、15条】 | 26dB以上 | 34dB以上 | 26~40dB以上 | 24dB以上 | 8dB以上 | 11dB以上 | 符号化率 7/9 : 13dB以上 符号化率 9/10 : 17dB以上 |

図 3.2 品質省令における技術基準の概要

(2)情報源符号化方式等に関する技術基準

放送のメディア(有線、地上波、衛星等)に依存した規定となる伝送路符号化方式とは別に、メディアに依存しない、映像、音声等の圧縮、送出等に関する情報源符号化方式、映像、音声等を一束に信号化する多重化方式、暗号化処理に関するスクランブルの方式等については、基幹放送設備等に関する技術基準として「標準テレビジョン放送等のうち、デジタル放送に関する送信の標準方式」(平成 23 年総務省令第 87 号)に規定されている。一般に、有線、無線のメディアを問わず共通であることから、ケーブルテレビの伝送方式に関連して、必要なものについては、品質省令において参照又は準用等している。

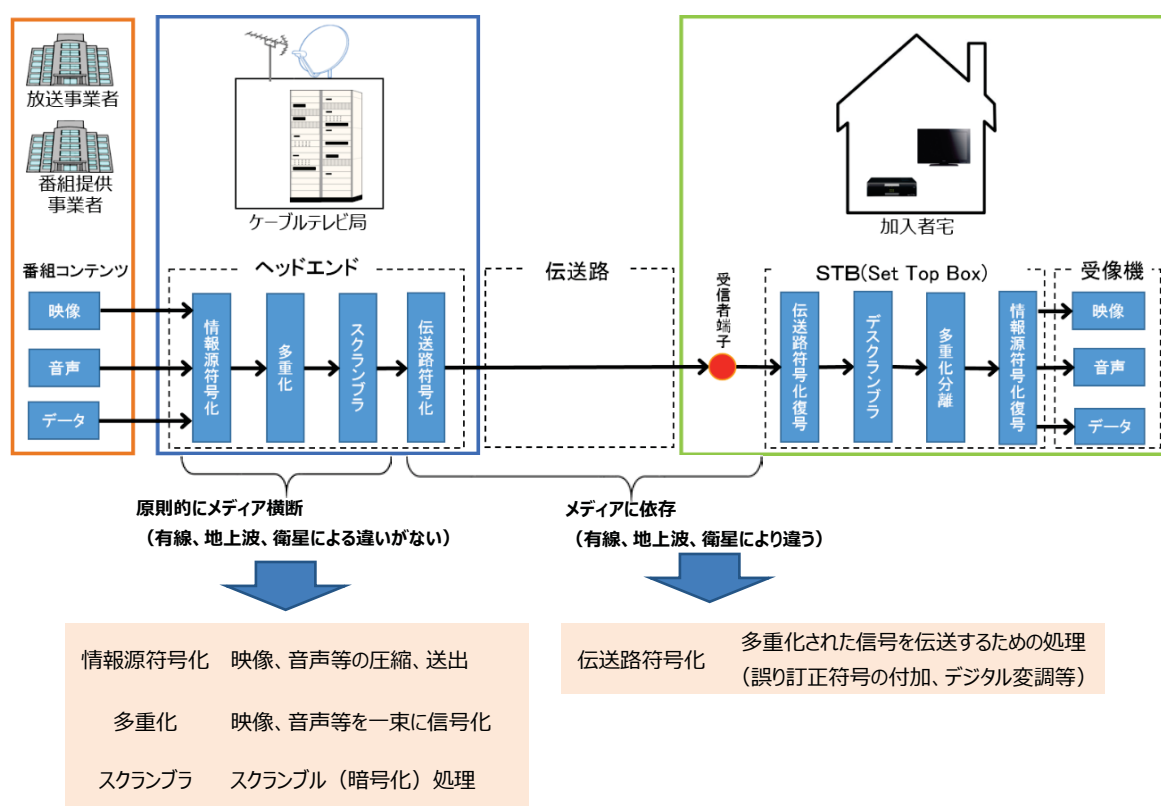


図 3.3 ケーブルテレビに関する電気通信設備及び技術基準

(3)国際標準

ケーブルテレビの技術的条件に関する国際標準は、主として、ITU-T(International Telecommunications Union Telecommunication Standardization Sector:国際電気通信連合 電気通信標準化部門)の SG9(Study Group 9:Broadband cable and TV)において、4K・8K を含むケーブルテレビの伝送方式、DOCSIS、4K に対応した STB、IPTV のアーキテクチャ等について検討され勧告化されている。なお、ITU における標準文書は、通常、勧告 (Recommendation)と呼ばれている。

4K・8Kを含むケーブルテレビの伝送方式としては、既存のデジタル有線テレビジョン放送方式に係る ITU-T 勧告 J.83、複数搬送波伝送方式に係る ITU-T 勧告 J.94、J.183、J.288、高度なデジタル有線テレビジョン放送方式に係る ITU-T 勧告 J.382 がある。

また、DOCSIS に関するものとして、ITU-T 勧告 J.112(DOCSIS1.0)、J.122(DOCSIS2.0)、J.222.0-3(DOCSIS3.0)があり、2017 年からは、DOCSIS3.1 に関する勧告化作業が行われている。さらに、4K に対応した STB に関するものとして、ITU-T 勧告 J.297 がある。

IPTV に関する国際規格は、ITU-T の SG9、SG12(Performance, QoS and QoE)、SG13(Future networks)、SG16(Multimedia)、SG17(Security)等において、検討され勧告化されている。IPTV の全体的なアーキテクチャに関しては、SG13 における ITU-T 勧告 Y.1901、Y.1910、Y.Sup5、品質に関しては、SG9 における ITU-T 勧告 J.241 及び SG12 における ITU-T 勧告 G.1080、G.1081、G.1082、コンテンツ保護に関しては、SG17 における ITU-T 勧告 X.1191、システムやミドルウェアに関しては、SG9 における ITU-T 勧告 J.701、702 及び SG16 における ITU-T 勧告 H.622.1、H.701、H.720、H.721、H.740、H.750、H.760~762、H.770 等がある。

(4)民間規格等

IP 放送に係る規格に関連する民間標準化団体として、一般社団法人 IPTV フォーラム、一般社団法人日本ケーブルラボ、一般社団法人日本 CATV 技術協会があるがこれらの団体では、IP 放送、RF 方式による放送等に関する技術仕様、運用仕様、測定方法等が規格化されている。

| | |
|------------------------------|---|
| <p>一般社団法人 IPTV フォーラム</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・STD-0004(IP 放送仕様 2.0 版)、 ・STD-0005(地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信運用規定 1.3 版) ・STD-0006(CDN スコープサービスアプローチ仕様 1.3 版) ・STD-0009(BS デジタル放送 IP 再送信運用規定 1.2 版) |
| <p>一般社団法人 日本ケーブルラボ</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・SPEC-028(IP 放送運用仕様(自主放送)) <p>RF 方式に関するものとして、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・SPEC-017(高度リマックス運用仕様(自主放送)) ・SPEC-018(高度リマックス運用仕様(i-HITS)) ・SPEC-019(高度トランスモジュレーション運用仕様(JC-HITS)) ・SPEC-035(高度ケーブル自主放送運用仕様) ・SPEC-033,034(高度 BS トランスモジュレーション運用仕様) <p>等</p> |

| | |
|------------------------|--|
| 一般社団法人 日本 CATV 技術協会 | RF 方式に関するものとして、 <ul style="list-style-type: none"> ・STD-002-6.0(デジタル有線テレビジョン放送 多重化装置) ・STD-003-6.0(デジタル有線テレビジョン放送 番組配列情報の構成及び識別子の運用基準) ・STD-007-6.0(デジタル有線テレビジョン放送 デジタルケーブルテレビジョン受信装置) ・STD-008-1.1(デジタル有線テレビジョン放送 BS デジタル放送のケーブルテレビにおけるパススルー伝送方式) ・STD-010-QAM-3.0(デジタル有線テレビジョン放送 QAM 伝送システム測定法) ・STD-013-4.0(集合住宅棟内伝送システムの性能 CATV&SMATV) 等 |
|------------------------|--|

以上の他にも、放送事業者、ベンダ、メーカ等により、提供されるサービス、製品に搭載される機能、運用等に関する様々な技術的な仕様が策定されている。

3.2 IP 放送の技術基準等の考え方

(1)IP 放送に関する技術基準等の範囲

IP 放送のサービスに関する品質に関連して、放送事業者が、自らが制作・編集する番組について、映像及び音声の他どのような情報を付加して放送サービスを提供するかなどといった放送の内容に関わる部分については、一義的には放送事業者の自律に任せるべきであることから、強制規格(総務省令等による技術基準等)により規定することは適当ではない。

また、放送番組の切り替えに要する時間や画質等、視聴者の体感に関する部分については、事業者の提供するサービスの品質に係るものであり、従前から再放送同意など事業者間の合意等に基づき決められているものであることから、必要に応じ、任意規格(民間標準化団体等による技術規格)により規定することが適当である。

したがって、IP 放送の技術基準については、従来の RF 方式による放送と同様、有線放送設備の伝送品質等に関する技術的条件を強制規格として規定することが適当である。

(2)IP マルチキャスト方式による伝送の特徴

IP マルチキャスト方式による伝送は、RF 方式による伝送と比較して、放送用と通信用の周波数が固定的に割り当てられていないため、伝送路を柔軟に利用して放送と通信のトラフィックを効率的に伝送することが可能になっている。

一方で、一般に放送と通信のトラフィックが同じ伝送路を共用しており、時間帯や地域に応じてトラフィックの変動が生じ、また、送信側、受信側の状況により、トラフィックが想定範囲を超えて大きく変動する可能性がある。

全ての放送番組が各家庭の受信設備まで届く電波等による放送サービスと異なり、IP マルチキャスト方式では、受信者の要求に応じて各家庭の受信設備まで届く放送番組数が増減する。受信者が多くの放送番組を要求すればするほど放送のトラフィックが多くの帯域を占有することとなり、通信のトラフィックから影響を受ける又は通信のトラフィックに影響を与える可能性が増大してくる。

通信のトラフィックの変動にかかわらず、放送のトラフィックを安定して伝送するためには、ケーブルテレビ事業者等は、IP ネットワークを含む有線放送設備を適切に設計、構成、運用することが必要である。

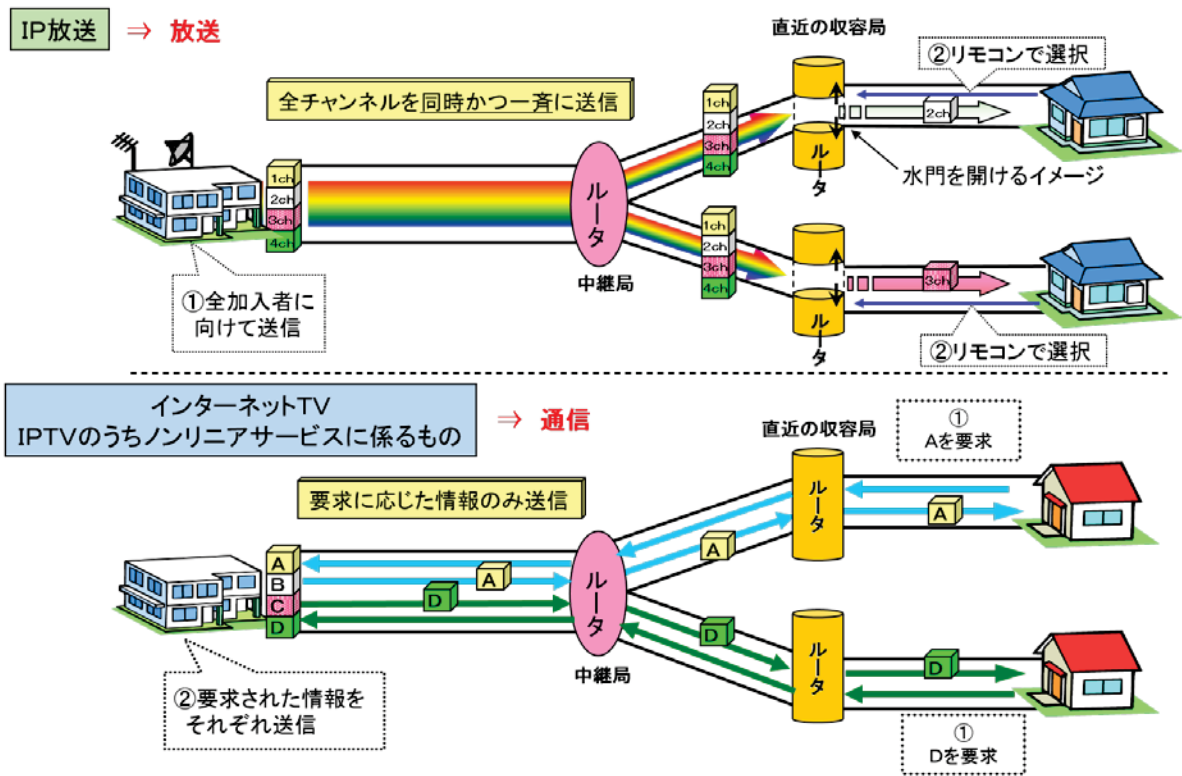


図 3.4 IP 放送のイメージ

(3)IP ネットワークにおける安定的な伝送のための措置に関する考え方

災害情報や地域情報の提供など、放送メディアは公共的な役割を担っており、IP ネットワークのいわゆるベストエフォートのみによる放送サービスでは、その要請に十分応えることは難しく、放送を安定的に伝送するための追加の措置が必要と考えられる。

ケーブルテレビ事業者等は、適切な IP ネットワークを設計、構成、運用することで、トラフィック変動の影響を限りなく低減させることはできるが、コストや運用がケーブルテレビ事業者等の過大な負担にならないように留意する必要がある。

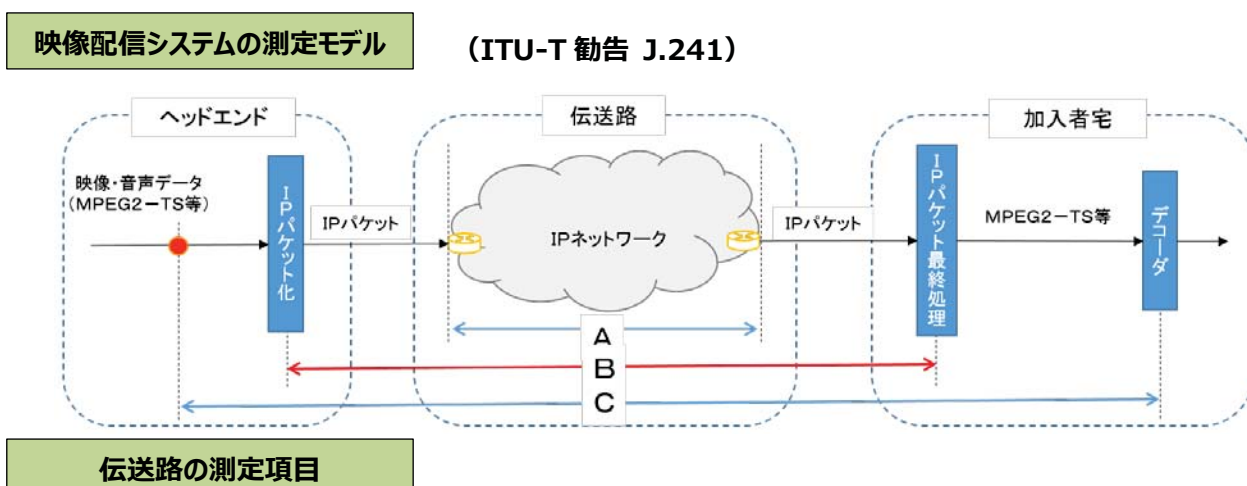
IP ネットワークを用いて放送のトラフィックを安定的に受信者に伝送するための仕組みとしては、放送トラフィックの優先制御を行うこと、放送トラフィックのための専用帯域を確保すること等があり、技術基準としてこれらの要件化を検討することが適当である。

(4) IP ネットワークの伝送品質に関する考え方

RF 方式による伝送は時間的な遅延はほとんど生じないが、IP ネットワークは、ルーティング処理やトラヒックの混雑、アクセス網等を共有している場合には他者のトラヒックによる影響等により生じるパケットの遅延や損失等に対処する必要がある。このような IP ネットワークの特徴を踏まえ、円滑な放送サービスを提供するために必要な最低限度の伝送品質に係る技術的条件を検討することが適当である。

品質省令の伝送品質に係る技術基準としては、ヘッドエンドの主たる機器の入力端子における入力信号を、受信者端子において、実質的に誤りを生じない水準で受信するための技術的条件を規定していることから、IP 放送についても同等程度の技術的条件を検討することが適当である。

なお、ITU-T 勧告 J.241(Quality of service ranking and measurement methods for digital video services delivered over broadband IP networks)には、パケットの損失率、パケットの遅延、パケットのジッタ(到達時刻の揺らぎ)、スループット、サービス可用性、前置誤り訂正等が IP ネットワークの伝送品質を評価する基準として挙げられている。



| パラメータ | 目的 | 測定方法 | 参考値 |
|-----------------------|--------------|---------------------------------------|---------------------|
| <u>パケットの損失率</u> | 映像品質の確保 | サービス時又はテストストリームによるパケットヘッダのシーケンス番号の測定等 | 10 ⁻⁵ 以下 |
| <u>パケットの遅延</u> | 安定送出手の確保 | テストストリームによる測定 | 100ms オーダー以下 |
| <u>パケットのジッタ</u> | 安定送出手の確保 | サービス時又はテストストリームによるパケットヘッダのタイムスタンプ等の測定 | 10ms オーダー以下 |
| <u>スループット (上り、下り)</u> | サービス品質の確保、監視 | スループットの測定、最悪ケースの信号による測定 (下り) | 記載なし |

サービス可用性

99.9% (前置誤り訂正無し)

図 3.5 IP ネットワーク上で配信される映像に係る QoS と測定方法の事例

IP ネットワークの伝送品質を検討するにあたり、放送には同一の内容を不特定多数の者が同時に視聴できるという特徴があることを考慮する必要がある。

入力端子の入力信号が受信者端子において正確に復元できるという同一性を確保する観点からは、パケットの損失率、ジッタ等について検討する必要がある。パケットの損失により一定以上のパケットが受信者端子に到達しなくなること、パケットの遅延等により、受信設備のバッファリング処理能力等を超えるパケットのジッタが生じることにより、受信設備による入力信号の復元が十分にできなくなり、同一性が失われることとなる。

また、入力端子の入力信号が受信者端子に同時と考えられる一定の時間内に到達するという同時性を確保する観点からは、パケットの遅延、ジッタ等について検討する必要がある。トラフィックの経路や混雑等により、定常的又は変動的にパケットが遅延することにより、映像の配信に一定以上の遅延を生じた場合には、同時性が失われることとなる。

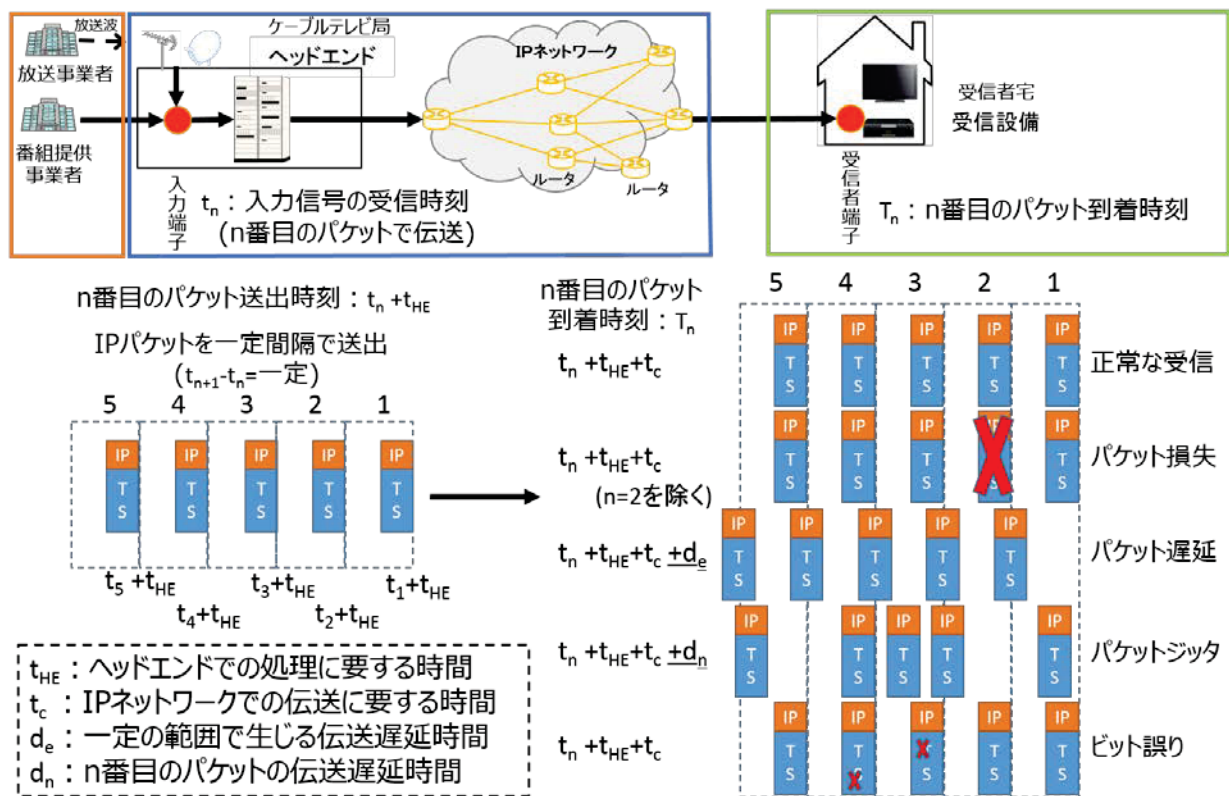


図 3.6 伝送品質に関する技術的条件についての検討(同時性)

したがって、IP ネットワークの伝送品質としては、IP 放送として、放送の同時再放送を行うこと、リニアサービスであること等を踏まえ、同一性、同時性を確保する観点から、受信者端子におけるパケットの損失率、遅延、ジッタ等に関する技術的条件を検討することが適当である。

なお、上位層における前置誤り訂正(FEC:Forward Error Correction)については、ケーブルテレビ事業者等が利用する有線放送設備の状況に応じ、受信者端子における技術基準への適合性確保の必要性を踏まえ、サービスを提供するケーブルテレビ事業者等の判断で利用の可否を決めることが適当である。

(5)IP ネットワークの伝送帯域に関する考え方

ケーブルテレビ事業者等は、映像及び音声のほか、放送事業者等が送信しようとしている放送に係る信号の全てを含む情報を送るための IP ネットワークの帯域として、中継網やアクセス網などにおいて、受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に基づき、必要な帯域を確保することが必要である。

必要な帯域を算出するにあたり、各受信者の家庭では、複数の受信設備による視聴や裏番組の録画など複数の放送番組を同時に受信するニーズが想定されるため、放送番組を複数同時に提供することが望ましいが、4K・8K 等の大容量の映像を含む放送番組については、最低限、1番組を伝送することを確保することが必要である。ケーブルテレビ事業者等が受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に応じて、2 番組以上の放送番組を同時に受信者に対して伝送する必要がある場合には、当該事業者等においては、同時に伝送する番組数に応じた帯域を確保することが必要である。

今後の 4K・8K 放送の普及状況や IP ネットワークの広帯域化等の進展を踏まえ、同時に伝送する番組数を適時に見直していけるようにしていくことが必要である。

なお、ここでいう必要な帯域の確保とは、中継網、アクセス網等における伝送に利用する通信方式について ITU、IEEE 等の規格で定められた伝送帯域の値を用いて算出された帯域があることで足りると考えることが適当である。

(6)IP ネットワークのサービス可用性に関する考え方

IP ネットワークにおいては、放送と通信のトラフィックの時間帯や季節要因等による時間的な変動、地域内の受信者の増減等による変動等、定常的にトラフィックの変動が一定程度生じることから、これに対処するため、IP ネットワークに関して安定的な伝送に関する措置、伝送品質の評価、伝送帯域の算出にあたり、可能な場合には、定常的なトラフィック変動を考慮することが考えらえる。

電波による放送についても、地理的な条件や自然現象等による受信障害等が生じ得ることから、例えば、BS の再放送等については、降雨減衰等を考慮して、品質省令において、ヘッドエンドの主たる機器の入力端子における入力信号の条件として最悪月において 99 パーセントの確率でサービス時間率の基準を満たすことが規定されている。

また、IP 電話を伝送する IP ネットワークに要求される品質基準について、技術基準で規定された

値を算出できる確率が0.95以上でなければならないとされていることも踏まえ、IP放送に利用するIPネットワークのサービス可用性(技術基準で規定された値を算出できる確率の設定等)について、その要否及び必要とした場合の算出方法等を含め検討することが適当である。

そのほか、災害時や特定の利用者等を原因とする通信トラヒックの急激かつ予測不可能な変動が生じることが考えられる。特に災害時については、国民生活への影響が大きいため、災害時においても必要最低限の災害情報等を受信者に提供できるようにする観点から、可能な場合には、あらかじめ放送事業者等と協議した上で、BSの降雨減衰対策等を参考に、低画質映像を放送することにより、伝送するトラヒックを制限するような運用を検討しておくことも考えられる。

3.3 IP 放送の技術基準等に係る評価方法等

(1)IP ネットワークの伝送品質の測定方法、規定点

ヘッドエンド、伝送路設備、受信設備等の有線放送設備で構成される IP 放送に係るシステムをモデル化して、伝送品質に係る技術基準に関する測定方法について、設備の施工時又はサービスの提供開始時に有線放送設備が技術基準に適合していることを実用的に確認できるようにする観点等を踏まえ、適切かつ合理的な測定方法を検討することが適当である。

規定点については、品質省令で定める受信者端子(有線放送設備の端子であって、有線テレビジョン放送等の受信設備に接するものをいう)で規定することを原則とするが、受信者宅内のネットワークにおいて一定の伝送品質を満たしていることを前提として、保安装置の出力端子、受信用光伝送装置の入出力端子における技術基準も検討する必要がある。

(2)IP ネットワークの安定的な伝送のための措置に関する確認方法

放送トラフィックの優先制御、放送トラフィックのための専用帯域の確保等については、どのような技術的手段、運用等により実現されているかを確認するとともに、他社回線を利用している場合などは、サービス提供約款や契約書等により確認することが適当である。

(3)IP 放送に必要な IP ネットワークの伝送帯域の算出方法

IP 放送に係る放送信号の伝送に必要な帯域は、放送番組の映像信号、音声信号、データ信号その他の信号の伝送に必要な帯域を番組の種類(標準テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送、超高精細度テレビジョン放送等)毎に算出し、ケーブルテレビ事業者等が受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に応じて、必要な帯域を確保することが適当である。

ケーブルテレビ事業者等は、中継網においては、当該事業者が提供する全ての番組を送信することができる帯域、アクセス網においては、当該事業者が受信者に対して同時に提供するとしている番組数に応じて、必要な数の番組を同時送信することができる帯域を確保することが必要である。

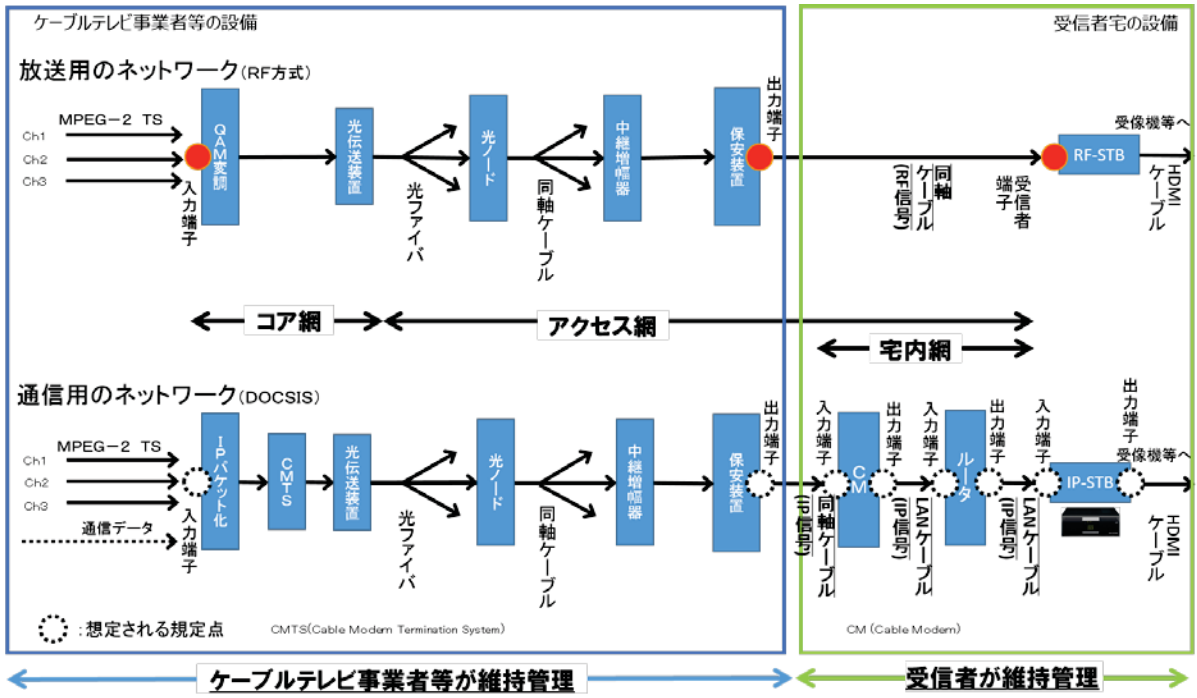


図 3.7 放送用と通信用のネットワーク構成の概要(HFC)

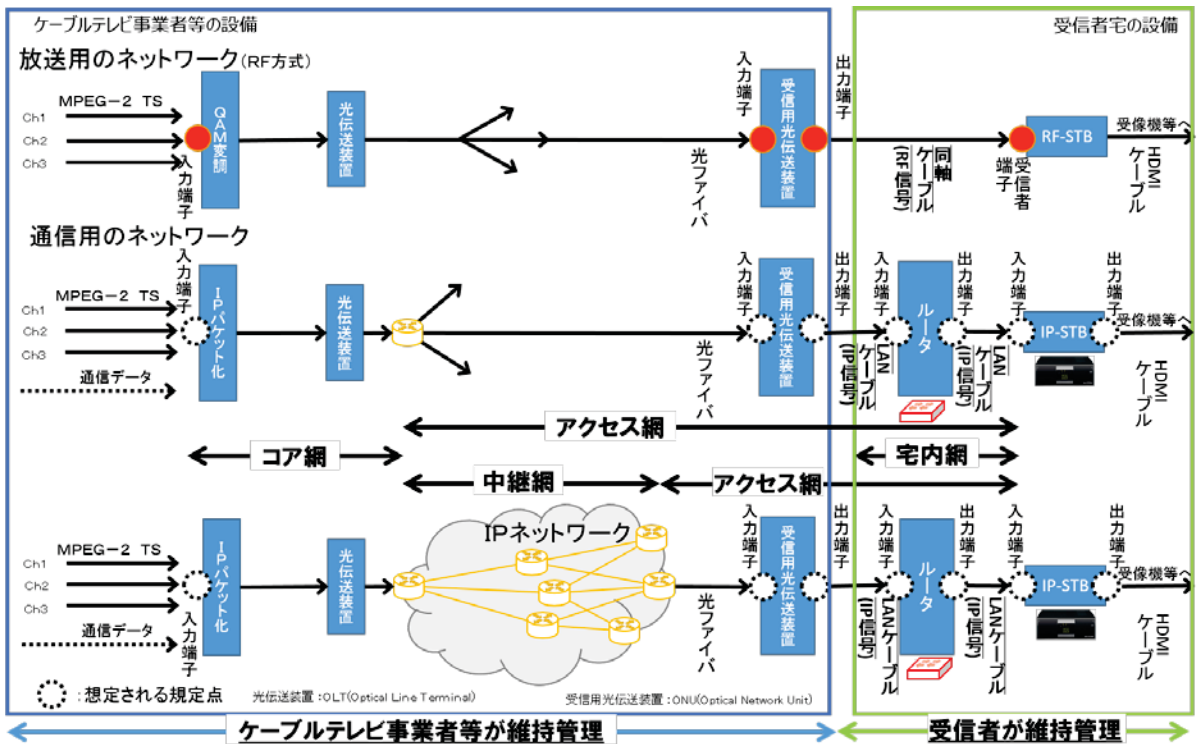
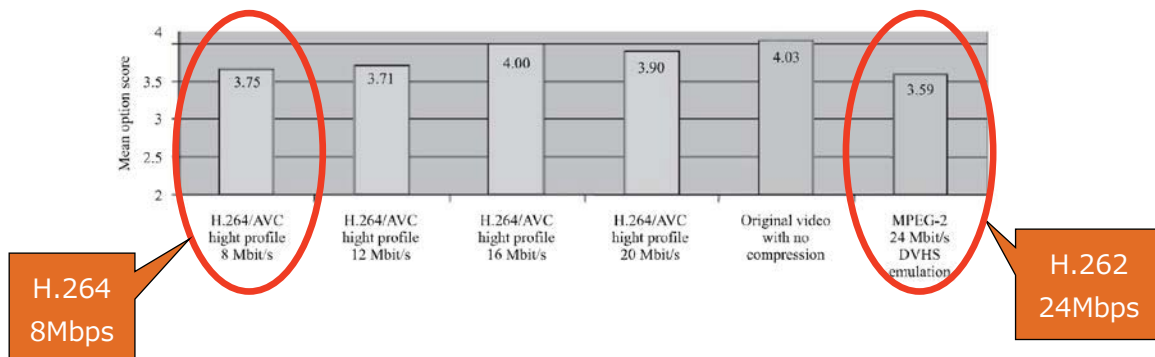


図 3.8 放送用と通信用のネットワーク構成の概要(FTTH)

- ・H.262(MPEG-2)と H.264(MPEG-4/AVC)の伝送帯域と映像品質の関係 (ITU-R 勧告 BT.1737)
24Mbps の伝送帯域を利用して H.262 で符号化された映像 (1920×1080、24 フレーム/秒) について、H.264 では、8Mbps 以上の伝送帯域が利用できれば同等以上の映像品質を達成することが可能な事例。



- ・H.265(HEVC)により 4 K・8 Kを放送するために必要とされる最大の伝送帯域 (ITU-R 勧告 BT.2073)

| | |
|----|------------|
| 4K | 30~40Mbps |
| 8K | 80~100Mbps |

※実際の容量は、符号化のパラメータ等により異なる。
※この他音声、字幕、番組情報、データ、その他オーバーヘッドを伝送するための帯域が必要。

(参考) 映像・音声・字幕等により構成される放送番組の伝送に利用される容量

| | |
|--------------|---|
| 地上放送 | 約 20Mbps [H.262] 約 14Mbps [H.264] |
| ケーブル 4 K | 約 29Mbps [H.265] |
| 新 4 K8K 衛星放送 | 約 33Mbps(4K) [H.265] 約 100Mbps(8K) [H.265] |

図 3.9 放送に用いられる映像の符号化方式と伝送帯域の事例

○ケーブルテレビ事業者等が、地上放送[HD]9番組、衛星放送[HD]29番組、自主放送[HD]70番組、ケーブル4K等[4K]2番組の放送サービスを提供し、加入者に対して、4Kは1番組、その他は2番組を同時提供することとした場合の事例

| 必要な帯域の算出 | | | | |
|---------------------------|--------|---|------|------------------|
| 地上放送[HD, H.264] | 15Mbps | × | 9番組 | =135Mbps |
| 衛星放送[HD, H.264] | 15Mbps | × | 29番組 | =435Mbps |
| 自主放送(多チャンネル番組)[HD, H.264] | 6Mbps | × | 70番組 | =420Mbps |
| 自主放送(ケーブル4K等)[4K, H.265] | 29Mbps | × | 2番組 | =58Mbps |
| | | | 合計 | 1,048Mbps |

○中継網で必要な帯域(全番組を伝送可能な帯域)

○アクセス網で必要な帯域(同時送信する番組全てを伝送可能な帯域)



図 3.10 伝送帯域の算出方法の事例

ケーブルテレビ事業者等が放送のトラヒックを伝送するために確保する帯域については、専用帯域を確保した場合には当該確保された帯域、優先制御等により優先的に利用できる帯域がある場合には当該優先利用可能な帯域、その他の場合には当該事業者の受信者のネットワークの利用状況等に応じて実用的に利用できる帯域をもって、伝送帯域を算出することが適当である。

なお、必要な帯域の算出や伝送帯域の評価方法等の検討にあたっては、可変ビットレートの符号化を用いた複数番組の統計多重による提供や放送と通信のトラヒックのネットワーク利用率を用いることなど、必要な帯域や利用できる伝送帯域が動的に変化することを踏まえ、統計的な考え方を考慮することも考えられる。

3.4 IP 放送の技術基準等の在り方

(1)IP 放送の技術基準等に関する基本的な方向性

IP 放送に関する技術基準については、IP 放送の定義、IP ネットワークの安定的な伝送のための措置、伝送品質、伝送帯域等について技術的条件を検討することが適当である。

(2)IP 放送の定義

ケーブルテレビ事業者等により、ヘッドエンドから受信者端子までの区間において、管理された IP ネットワークを利用した、IP マルチキャスト方式による通信であって、放送法における放送に該当するものを IP 放送と定義することが適当である。

(3)IP ネットワークの安定的な伝送のための措置

放送トラヒックの優先制御を行うこと、放送トラヒックのための専用帯域を確保すること等があり、これらを技術基準として要件化を検討することが適当である。

(4)IP ネットワークの伝送品質

IP ネットワークの伝送品質としては、IP 放送として、放送の同時再放送を行うこと、リニアサービスであること等を踏まえ、放送の同一性、同時性を確保する観点から、受信者端子におけるパケットの損失率、遅延、ジッタ等に関する技術的条件を検討することが適当である。

(5)IP ネットワークの伝送帯域

ケーブルテレビ事業者等が、映像及び音声のほか、放送事業者等が送信しようとしている放送に係る信号の全てを含む情報を送るための IP ネットワークの帯域として、中継網やアクセス網などにおいて、受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に基づき、必要な帯域を確保するよう技術的条件を検討することが適当である。なお、ここでいう必要な帯域の確保とは、中継網、アクセス網等における伝送に利用する通信方式について ITU、IEEE 等の規格で定められた伝送帯域の値を用いて算出された帯域があることで足りると考えることが適当である。

(6)IP ネットワークのサービス可用性に関する考え方

電波による放送についても、地理的な条件や自然現象等による受信障害等が生じ得ることから、BS の降雨減衰や IP 電話の事例を踏まえ、IP 放送に利用する IP ネットワークのサービス可用性(技術基準で規定された値を算出できる確率の設定等)について、その要否及び必要とした場合の算出方法等を含め検討することが適当である。

(7)その他の IP 放送を行うために必要な技術的条件等

総務省は、技術基準の評価方法、IP 放送の実施に必要な情報源符号化方式等を検討し、必要な制度整備を行うとともに、民間標準化団体等において、IP 放送のサービスの実施に必要な技術仕様や運用仕様の策定を促進することが適当である。

第4章 IP放送に関するその他の課題

4.1 消費者保護

(1)放送のIP化に伴う消費者への対応について

通常の放送とは異なり、IP放送を受信するためには、一般にインターネット接続サービスの利用が前提となっており、受信者は、放送サービスに加え、インターネット接続サービスを始め、VOD、カラオケ、音楽、ゲーム等の多様な通信サービスの提供をシームレスに受けることができる。

また、IPネットワークは、一般に放送と通信のトラフィックが同じ伝送路を共用しているため、通信トラフィックが想定を超えて増大した場合等においては、放送サービスの円滑な提供に支障が生じるおそれがある。特に、大規模災害やサイバー攻撃などによって急激な通信のトラフィック増が発生した場合に、優先制御や帯域確保等を行っていたとしても、放送に係るパケットが遅延、損失し、放送の遅れや受信障害等が発生する可能性がある。

このようなIP放送の特徴については、あらかじめ受信者に理解を得ることが必要である。

(2)放送法における消費者保護に関する規定

受信者が有料放送の役務の提供を受けるには、契約手続と受信設備の設置を必要とするなど料金その他の提供条件に専門的・技術的内容が多いことから、有料放送事業者等と受信者との間に有料放送役務に関する情報の非対称性が存在している。

そこで、放送法は有料放送の役務の提供を受けようとする者が役務の料金その他の提供条件について十分に理解した上で、適切なサービスを選択し、安心して契約を締結できるように、契約の締結前に有料放送の役務に関する料金その他の締結条件の概要について説明を行わなければならないことを規定（放送法第150条）している。

そして、放送法施行規則第175条は説明すべき事項（基本説明事項）として、有料放送事業者等の氏名、名称、連絡先、有料放送の役務の内容（サービス名称、提供を受けることができる場所、役務の利用に関する制限がある場合にはその内容を含む。）、有料放送の役務に関する料金などを挙げており、これは変更契約の場合も同様に説明が必要となる（放送法施行規則第175条第3項及び第4項）。

消費者保護を図るため、放送法は提供条件説明義務のほかにも書面交付義務（放送法第150条の2）、初期契約解除制度（放送法第150条の3）、苦情等処理義務（放送法第151条）、不実告知等の禁止（放送法第151条の2第1号）、勧誘継続行為の禁止（放送法第151条の2第2号）、代理店に対する指導等の措置（放送法第151条の3）を規

定しており、電気通信サービスについても、電気通信事業法等において、これらと同様の規定を整備している。

○「日本再興戦略」(平成 25 年 6 月閣議決定) や「情報通信審議会答申」(平成 26 年 12 月) を踏まえ、2020 年代に向けて、我が国の世界最高水準の ICT 基盤を更に普及・発展させ、経済活性化・国民生活の向上を実現するため、電気通信事業法、電波法と併せて、放送法の改正を実施(平成 27 年 5 月 22 日公布)。

○放送法では、有料放送サービスの受信者の保護のため、①書面交付義務、②初期契約解除制度、③不実告知等の禁止、④勧誘継続行為の禁止、⑤代理店に対する指導等の措置について、新たな規定を整備。また、改正放送法の施行に伴う関係政省令等の整備に併せて、提供条件の説明義務の充実を図るため、⑥適合性の原則を導入。(電気通信サービスについても、電気通信事業法等において、これらと同様の改正を措置)

○これらの新たな制度は、平成 28 年 5 月 21 日に施行。また、有料放送サービスの具体的な消費者保護ルールの明確化等を目的にガイドラインを策定。

| | | |
|---|---|--|
| <p>■ 提供条件の説明義務 (放送法第150条)</p> <p>有料放送事業者及びその代理店に対し、契約の締結に際し、提供条件の概要の説明を義務付け(平成22年放送法改正により導入)</p> <p>□ 適合性の原則 (改正放送法施行規則第175条第6項)</p> <p>有料放送事業者及びその代理店に対し、受信者の知識、経験等に照らして必要な程度及び方法による説明を行うことを義務付け</p> | <p>■ 初期契約解除制度 (改正放送法第150条の3)</p> <p>料金等が複雑で理解が困難といった特性があるサービスについて、受信者は、契約締結書面受領後等から8日間は、相手方の合意なく契約解除できる制度を導入</p> | <p>■ 不実告知等の禁止 (改正放送法第151条の2第1号)</p> <p>有料放送事業者及びその代理店に対し、料金などの受信者の判断に影響を及ぼす重要な事項の不実告知や事実不告知を禁止</p> |
| <p>■ 書面交付義務 (改正放送法第150条の2)</p> <p>契約の締結後に、個別の契約内容を容易に確認できるよう、有料放送事業者に対し、契約締結書面の交付を義務付け</p> | <p>■ 苦情等処理義務 (放送法第151条)</p> <p>有料放送事業者及び有料放送管理事業者に対し、受信者からの苦情及び問合せを適切かつ迅速に処理することを義務付け(平成22年放送法改正により導入)</p> | <p>■ 勧誘継続行為の禁止 (改正放送法第151条の2第2号)</p> <p>有料放送事業者及びその代理店に対し、勧誘を受けた者が契約を締結しない旨等の意思を表示した場合、勧誘を継続する行為を禁止</p> |
| <p>■ 代理店に対する指導等の措置(改正放送法第151条の3)</p> <p>代理店による契約締結に関する業務が適切に行われるようにするため、有料放送事業者に対し、代理店への指導等の措置を義務付け</p> | | |

図 4.1 有料放送分野における消費者保護ルールについて

(3)IP 放送における提供条件の説明

IP 放送を行うケーブルテレビ事業者等は、放送法に基づく有料放送分野における消費者保護ルールに従い、契約希望者に対して、提供条件の概要、通信トラヒックの状況によって有料放送の役務の利用に制限がかかる可能性がある場合にはその内容等について、契約の締結等が行われるまでの間に説明する必要がある。

また、これまで RF 方式によって有料放送役務を提供していた事業者が、IP マルチキャスト方式で有料放送役務を提供することとなる場合においても同様に、IP 放送に移行することで、有料放送の役務の利用に制限がかかる可能性が新たに生じることから、基本説明事項の変更となり、この変更点について受信者に説明する必要があると考えられる。なお、その際の説明手段について放送法施行規則 175 条第 5 項を解説したガイドライン(有料放送分野の消費者保護ルールに関するガイドライン)では、カタログ、パンフレット等の説明書面を交付し、これに基づき口頭で説明することを原則としつつ、代替的な説明方法として、受信者の了解を前提に、電子メール、ウェブページ、CD-

ROM 等の記録媒体、ダイレクトメール、電話等の手段によることも可能としている。

説明内容について、「電気通信事業法の消費者保護ルールに関するガイドライン」においては、変更・更新時の説明の事例として、ADSL サービスから FTTH サービスへの変更や加入電話サービスから OAB-J IP 電話サービスへの変更の場合、全ての基本説明事項について説明すべきとしており、RF 方式による放送から IP 放送への変更についてもこれと同等に考えるべきである。

(4)IP 放送への移行に際しての周知について

ケーブルテレビ事業者等において IP 放送化を進めるにあたり、RF 方式による放送を廃止する場合には、利用者への周知が必要となる。この点について、放送法第 149 条では、有料放送事業者に対し、有料放送の役務を提供する業務を休廃止しようとするときは、受信者に対してその旨周知させなければならないことを規定している。

当該休廃止に係る具体的な受信者への周知方法や期間等について、放送法施行規則第 174 条では、あらかじめ相当な期間を置いて、訪問、電話、書面の送付、電子メールの送信、インターネットホームページを通じた閲覧のいずれかの方法によることと規定されている。ここでいう相当の期間とは、受信者が当該休廃止によって提供されなくなるサービスの代替的なサービスを選択し、移行するために必要な期間を確保できるような時間的余裕をもって行わなければならないことを意味すると考えられる。

このように、事業者側の設備更改等に伴い、放送サービスを RF 方式による放送から IP 放送に変更等する場合において、受信者に周知する際には、消費者保護の観点から、受信者の十分な理解を得つつ進めていくことが望ましい。なお、放送法第 148 条は役務提供義務を定めているが、役務提供義務については、事業者において業務の休廃止を行うことまでを妨げるものではない。また、今後ケーブルテレビ事業者等において、携帯電話をはじめとする電気通信サービスと同様に、「期間制限・違約金付自動更新契約」によりサービスを提供し、RF 方式による放送から IP 放送に移行するにあたって、移行を承服しない受信者側が途中で解約した場合、違約金を課せるかが論点となり得るが、その場合についても、ケーブルテレビ事業者等において受信者が違約金なしで契約の解除ができるだけの十分な周知・移行期間を設けているかといった点が考慮されるべきと考えられる。

4.2 受信者宅内ネットワーク

(1)品質省令における規定点について

品質省令においては、ヘッドエンドの主たる機器の入力端子における入力信号を、一定の品質を保持しつつ、受信者端子において、実質的に誤りを生じない水準で受信するための技術基準を規定しており、RF 方式における受信者側の規定点について、品質省令は受信者端子を規定している。

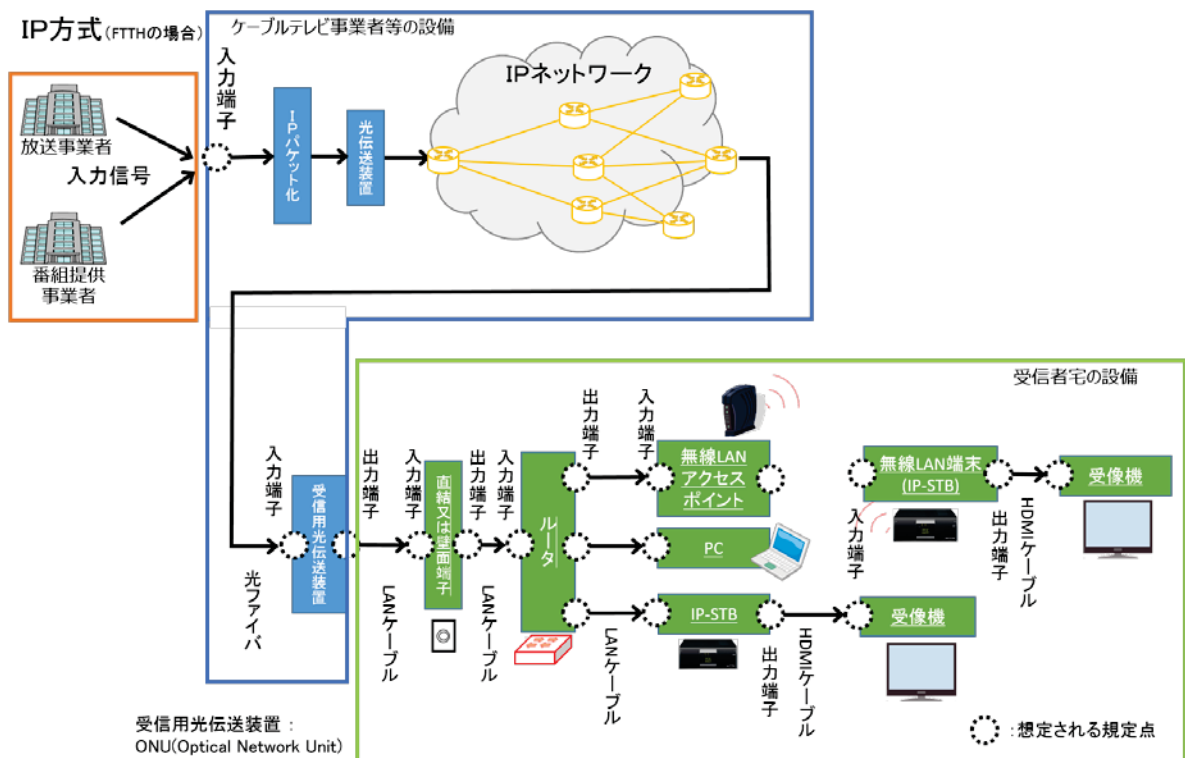


図 4.2 受信者宅(戸建て)内におけるネットワーク構成の事例

(2)宅内ネットワークと受信者端子に関する考え方

放送法第 136 条第 1 項では、登録一般放送事業者は、登録に係る電気通信設備を総務省令で定める技術基準に適合するように維持しなければならないと規定され、同条第 2 項第 2 号では、当該技術基準は、一般放送の業務に用いられる電気通信設備を用いて行われる一般放送の品質が適正であることを確保されるものとして定められなければならないと規定している。

一般に、ケーブルテレビ事業者等が自らの設備として維持管理可能な有線放送設備(有線テレビジョン放送等を行うための有線電気通信設備)は、当該事業者の責任分界点までの区間の有線放送設備であり、受信者との間の責任分界点は、保安装置の出力端子又は受信用光伝送装置の出力端子となっている事例が多い。なお、集合住宅の共同受信設備の場合は、責任分界点

は信号が分配された後に各戸に設置された壁面端子となり、責任分界点が戸建ての場合よりも受信者宅寄りになることがある。この場合、集合住宅の共有部分は、管理組合などの第三者の管理に属する場合もある。

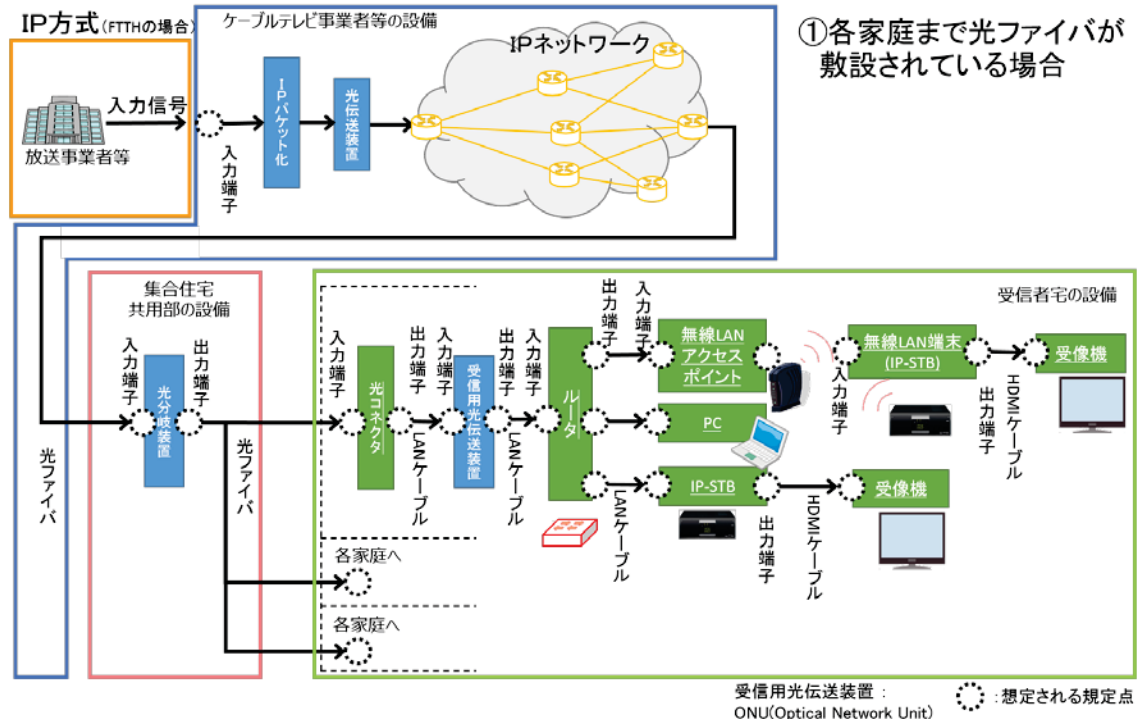


図 4.3 受信者宅(集合住宅)内におけるネットワーク構成の事例①

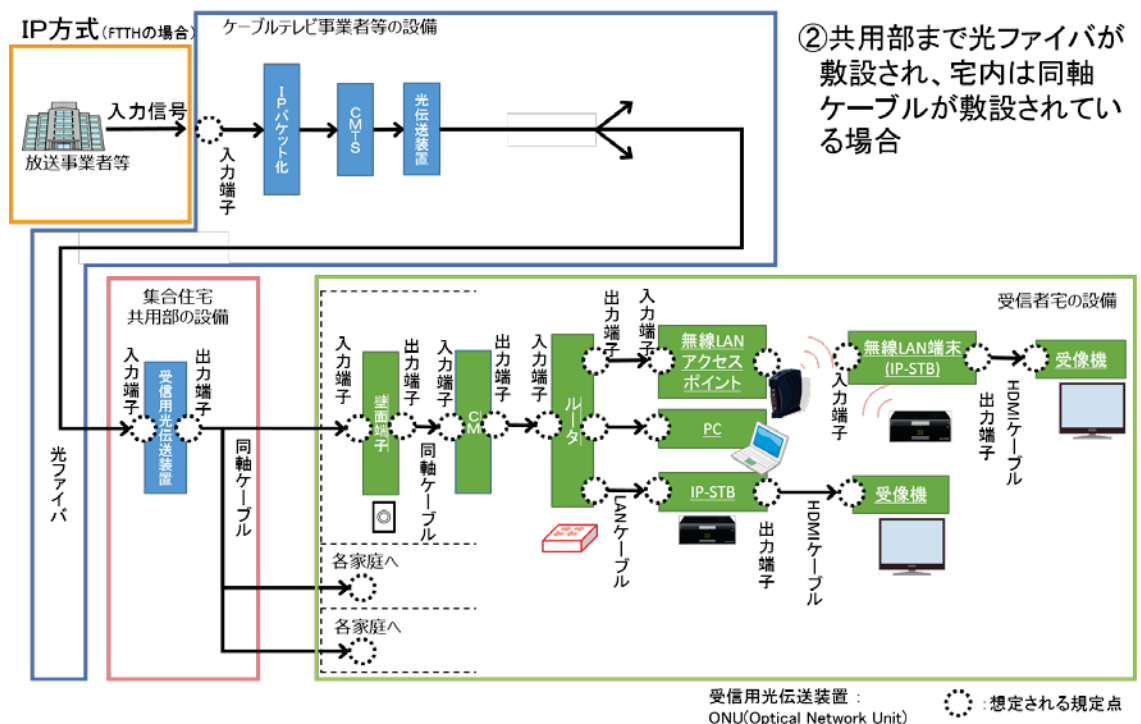


図 4.4 受信者宅(集合住宅)内におけるネットワーク構成の事例②

なお、責任分界点から受信設備までの区間の有線放送設備(増幅器、ケーブル、分配器等)に関する管理や費用負担の方法については、一般に契約約款等に定めが設けられる。例えば、故障等により信号に異常が生じた場合は受信者の申告によりケーブルテレビ事業者等が、原因調査、修復措置等を行うこととなるが、費用負担については、原因者が負担することが契約約款等に定めであるのが、通例である。当該有線放送設備は受信者が維持管理している以上、ケーブルテレビ事業者等が十分な品質で責任分界点までの伝送を行ったとしても、受信者の宅内ネットワークにおける受信環境が整っていないければ、受信者端子までの品質が確保されず、結果として一般放送の品質が適正なものとならないおそれがある。

この点について、RF 方式においては、STB やテレビジョン受信機などの受信設備に接する端子(受信者端子)における品質が確保されれば、受信者が放送を適正に受信することができ、一般放送の品質は確保されるとの考えのもと、伝送の過程であり、なおかつケーブルテレビ事業者等の責任分界点の外である宅内伝送路については個別の技術基準を定めず、伝送の結果である受信者端子における品質を規定している。

IP マルチキャスト方式において、一般放送の品質を確保するための規定点は、RF 方式と同様、受信設備に接している受信者端子における品質が確保されれば十分と考えられることから、当該端子における品質の基準を技術基準として規定することが適当である。

一般に、RF 方式は、宅内においては、通信と放送の信号が分離されて同軸ケーブルで伝送される過程で、放送の信号が増幅器等により増幅、分配等されるのみで受信者端子に到達するという比較的単純な構成になっている。それと比較して、IP マルチキャスト方式における宅内の伝送路の構成は、より複雑になっており、放送と通信の信号が共通の伝送路でパケットとして伝送され、ルータ等の機能によって放送のパケットがルーティング処理されることで、受信設備の受信者端子に信号が到達する。また、このルータ等についても単機能の機器ではなく、無線 LAN 機能も有するルータ等になっている場合や ONU や STB とルータ等の機能が一体化している場合などもある。

このような状況を踏まえ、マルチキャストのルーティングはルータ等の機能により実現されていることから、IP マルチキャスト方式における受信者端子については、STB の機能を有する機器とルータ等を含む一体の設備を受信設備とみなすことができるとし、この場合、当該受信設備の入力端子を受信者端子とすることが適当である。一方、受信用光伝送装置と受信者端子の間の伝送路である宅内の伝送路については、品質省令の基準を満たすために一定の伝送品質が求められるものであるが、様々なケースが存在することから、これについては、ネットワーク技術や宅内ネットワークの状況変化に柔軟に対応することが出来るよう、民間規格等で対応することが適当である。

(3)宅内ネットワークにおける対応

RF 方式による放送から IP 放送に切り替えるに当たっては、ケーブルテレビ事業者等において自らが維持、管理等する有線放送設備の IP 放送対応を進めるだけでなく、受信者宅内にある受信設

備の IP 放送対応も進める必要がある。

具体的には、少なくとも、受信者宅内に設置している STB を IP 放送に対応したものと更新する必要があるが、これらの受信設備は一般的には受信者によって維持管理されているため、ケーブルテレビ事業者等が IP 放送への移行を図るには、STB の変更やそれに伴う費用負担など受信者側の対応が必要となる。

また、現在、RF 方式を導入しているケーブルテレビ事業者等において、受信者にインターネット接続サービスを提供する際には、多くの事業者がネットワークのプロトコルに IPv4 を採用しているが、IPv4 のマルチキャストのプロトコルに対応しているルータの製品が少ないことから、対応製品が多い IPv6 に対応していくことが望ましいとの指摘がある。

以上のように、IP 放送に移行するに当たっては、受信者宅における STB、ルータ等の更新、IPv6 に対応したネットワーク設備等への更新等が必要な場合には、普及に時間とコストを要することに留意する必要がある。

さらに、マルチキャスト・パケットを無線 LAN で伝送するに際して、伝送速度の既定値が 1Mbps 程度に設定されており、特に 4 K・8 K の映像伝送に十分な速度を確保できていないケースがあるとの指摘がある。この点について、IP 放送においては、マルチキャストの仕組みを活用することで多数の受信者に対する映像配信を一斉かつ同時に行うことができるとともに利用するネットワークの効率化が図られているが、受信者宅内ネットワークにおいては、特定の放送番組の受信者数は一般に少数であると考えられることから、マルチキャストによる配信の必要性は相対的に低く、必ずしもマルチキャストの仕組みを用いる必要はないとも考えられる。そこで、受信者宅内のネットワークにおいてマルチキャストのパケットを終端させ、ユニキャスト等による伝送に切り替えることも、受信者端子における品質が確保される限りにおいて許容されることが適当である。

4.3 IP 放送の利用促進方策、セキュリティ確保

(1)IP 放送の利用促進方策

IP 放送に係る技術基準が品質省令として制定されることで、IP 放送を実施するための登録に係る審査基準が統一化・明確化され、ケーブルテレビ事業者等においては IP 放送の実施に必要な電気通信設備の整備に関する検討が行いやすくなるため、IP 放送への移行が一定程度進むと考えられる。

一方、今後の IP ネットワーク技術の更なる発展を想定した場合に、IP 放送に移行することで、受信者は放送サービスと、インターネット接続サービス、VOD 等の通信サービスをシームレスに提供を受けられるようになること、ケーブルテレビ事業者等は有線放送設備の経費、運用コストが下げられる可能性があること等を踏まえ、多くのケーブルテレビ事業者等が IP 放送によるメリットを享受できるよう、中長期的な IP 放送の利用促進に必要な施策(ロードマップの策定及びそれに基づいた施策の推進等)について検討する必要がある。

また、RF 方式による放送から IP 放送へと移行するには相当程度の期間が必要と考えられることから、同一のケーブル事業者等により提供される RF 方式による放送と IP 放送が並行して存在する期間において、伝送路や伝送方式等を柔軟に組み合わせて利用するなど、効率的な放送サービスの提供方法を検討する必要がある。

(2)IP 放送に関するセキュリティ

IP ネットワークを通じて放送サービスを提供するにあたっては、昨今のサイバー攻撃の巧妙化・複合化等により情報セキュリティに対するリスクが高まっていることから、IP 放送を提供しようとするケーブルテレビ事業者等においても、情報セキュリティの確保を図る必要がある。

IP 放送については、管理された IP ネットワークによりサービスが提供されるものであるが、一般に、ケーブルテレビ事業者等のネットワークが閉域網であることをもって安全ということではなく、他のネットワークや端末機器との境界面等において情報セキュリティ上のリスクが生じる可能性があるため、適切なネットワークの構成と運用を組み合わせることで情報セキュリティを確保していくことが必要である。

情報セキュリティについては、一般的に、情報の機密性、完全性、可用性を確保することと定義されている(情報セキュリティの 3 要素)。機密性とは、ある情報へのアクセスを認められた人だけが、その情報にアクセスできる状態を確保すること、完全性とは情報が破壊、改ざん又は消去されていない状態を確保すること、可用性とは情報へのアクセスを認められた人が、必要時に中断することなく、情報にアクセスできる状態を確保することを指す。

IP 放送における情報セキュリティの確保について考えると、機密性については契約者以外の者が放送を受信することを防ぐこと、完全性については放送内容の改ざん等がなされないこと、可用性に

については受信者が必要なときに中断することなく放送を視聴できることを指す。このうち、機密性及び完全性について、有料放送契約においては、一般に、受信者に当該番組を視聴する権限があることをCAS(Conditional Access System)によって確認しており、また、CASによってスクランブルが解除されるまでは放送信号は暗号化されているため、STB等の機能によって正しく復号されることによって機密性及び完全性は確保されることが出来る。最後に可用性が問題であるが、受信者が放送を中断することなく受信できるかについては、伝送路における安定的な伝送を確保する措置等によって確保する必要がある。

- 回線を設置する電気通信事業者等に対し、使用する電気通信設備について、事業用電気通信設備規則に規定される技術基準への適合を義務づけており、当該技術基準において、不正プログラムに対する防護措置等について規定。
- 「情報通信ネットワーク安全・信頼性基準」において、情報通信ネットワークの耐力強化と機能の安定的な維持等を図るため、ハードウェア及びソフトウェアに備えるべき機能やシステムの維持・運用等の安全・信頼性に関する事項を推奨しており、当該基準において、ファイアウォールを設置して適切な設定を行うこと等について規定。

事業用電気通信設備規則

第六条 事業用電気通信設備は、利用者又は他の電気通信事業者の電気通信設備から受信したプログラムによつて当該事業用電気通信設備が当該事業用電気通信設備を設置する電気通信事業者の意図に反する動作を行うことその他の事由により電気通信役務の提供に重大な支障を及ぼすことがないように当該プログラムの機能の制限その他の必要な防護措置が講じられなければならない。

(例、ファイアウォールの設置、セキュリティホール対策等)

情報通信ネットワーク安全・信頼性基準 (情報セキュリティ対策に係る事項より抜粋)

- ファイアウォールを設置して適切な設定を行うこと。
- 非武装セグメント構成を採用すること。
- t e l n e t、f t p等サービス提供に不要な通信の接続制限を行うこと。
- 開放網と閉域網とを区別したネットワーク構成を採用すること。
- サーバ等におけるセキュリティホール対策を講ずること。
- 不正アクセス等に関するネットワーク監視機能並びにサーバ及びネットワーク機器の監視機能を設け、異常が発見された場合は自動的に管理者に通知される機能を設けること。
- ネットワーク上のパケット並びにサーバ及びネットワーク機器の動作に関するログの適切な記録及び保存を行うこと。
- 最新の情報セキュリティ技術を採用すること。
- コンピュータウイルス及び不正プログラム混入対策を講ずること。
- ネットワークの機能を管理・運営するコンピュータから重要な情報が漏えいしないように、電磁波の低減対策又は電磁環境に配慮した上で漏えい電磁波を抑圧する措置を講ずること。
- 利用者の識別・確認を要する通信を取り扱う情報通信ネットワークには、正当な利用者の識別・確認を行う機能を設けること。
- アクセス可能領域及び使用可能な命令の範囲に制限を設ける等のシステムの破壊並びに他人のデータの破壊及び窃取を防止する措置を講ずること。
- 適切な漏話減衰量の基準を設定すること。

図 4.5 電気通信事業法におけるセキュリティ関連制度の例

第5章 今後の取組

5.1 技術基準の制定等

(1)品質省令等の改正

本報告書における IP 放送の技術基準等の在り方の検討を踏まえ、IP 放送に関する技術基準について、一般放送の適正な品質を確保することを目的として、放送番組を構成する映像・音声等が一定水準の送受信品質を満たし、低廉かつ安定的な受信環境を確保するために必要な要件を、関連する技術の進展等も考慮しつつ検討し、適切な基準値を定めることとするよう制定する。

(2)測定方法等の技術基準に関する評価方法等の検討

IP 放送に関する技術基準の評価方法等について、設備の施工時又はサービスの提供開始時に有線放送設備が技術基準に適合していることを実用的に確認できるようにする観点等を踏まえ、適切かつ合理的な測定方法等を検討するとともに、必要に応じ、情報源符号化方式等の技術基準、登録申請等に係る手続き等に係る関係省令等、所要の制度整備を行う。

5.2 標準化の推進

(1)民間規格の策定と標準化の促進

IP 放送の多様なサービス展開を可能とするためには、放送サービス、放送システム、受信機等の基本的な機能や仕様、映像・音声等の符号化のパラメータ等、一般放送の業務を提供するための機能、運用等に関する技術的な仕様等を、民間標準化団体や事業者、メーカー等において民間規格として策定していく必要がある。

また、今後策定される技術基準や民間規格等については、IPTV に関する標準化を進める ITU 等において国際標準化の取り組みを進めていくことも重要である。

(2)宅内ネットワークに関する検討

受信者の宅内ネットワークに関しては、IP 放送の着実な普及展開を図るためにも、その多様性・複雑性に鑑みて、民間標準化団体等の主導の下、民間規格による技術仕様の策定、それを活用した推奨や認証の仕組みを進めていくことを期待する。

5.3 その他の課題

(1)消費者保護

今後ケーブルテレビ事業者等が IP 放送を推進するに当たっては、消費者とのトラブルを未然に防止する観点から、IP 放送における消費者保護について、「有料放送分野の消費者保護ルールに関するガイドライン」を見直していくことが必要である。また、4K8K、IP 放送などの放送技術等について、ケーブルテレビ関連団体等を中心に、適切な情報提供等に努めるとともに、視聴者等の問い合わせにワンストップで対応できる窓口等について検討することも重要である。

(2)技術開発

RF 方式による放送が IP 放送に移行していく過程では、両方の放送が併存することとなるが、IP 放送への移行後においても、RF 方式のネットワークを有効に利用する観点から、受信者ニーズ等に応じて、RF 方式による放送と IP 放送を柔軟に組み合わせて利用できるようにするための技術開発の促進を図ることが必要である。

新たな多重化方式である MMT/TLV を利用した 8K 等の大容量映像の配信を IP ネットワークを利用して効率的に行うための技術開発を行うとともに、技術的な実証試験を行い、8K 等の IP 放送の促進を図ることが必要である。

宅内の無線 LAN による大容量映像の配信を円滑かつ効率的に行うことができるように、無線を利用して、優先制御等を活用した品質確保や IP マルチキャスト方式による効率的な配信を可能とするような技術的な実証試験を行うことなどが必要である。

(3)中長期的な取組

IP 放送を円滑に行うためには、伝送路となる IP ネットワークの伝送帯域が十分にあることが前提であり、FTTH 化等によるネットワークの高度化を引き続き進めるとともに、アクセス回線の広帯域化の促進を図ることが必要である。

IP 放送の利用促進策として、①IP 放送の利用促進に向けたロードマップの策定及びそれに基づいた施策の推進、②ケーブルテレビ事業者等の IP ネットワークの IPv6 対応、③宅内において、無線 LAN アクセスポイントのマルチキャスト対応、マルチキャストからユニキャストへの変換等による伝送の円滑化等を進めていくこと等が重要である。

(4)セキュリティ確保

近年は、サイバー攻撃に関する通信のうち、半数以上の通信が IoT 機器を狙った攻撃であるとの分析がなされており、脆弱性のある STB 等の有線放送設備が IP ネットワークに接続されることで攻撃の標的となることも考えられること、IP ネットワークにおいては受信者側からのアクセスや外部からのアクセスが想定されることから、放送に用いられるネットワークをモデル化等して攻撃のリスクを想定するなどの方法により、有線放送設備の情報セキュリティ対策についても検討していくことが重要である。

その際には、放送分野における情報セキュリティ人材の育成・確保についてもあわせて検討することが重要である。

(5)ネットワークの制約に対する対応

ケーブルテレビ事業者等が、FTTH によりサービスを提供する際には、自社回線を設置、他社回線を利用(接続、卸役務)する方法があり、地理的要因や競争状況等を踏まえて、ケーブルテレビ事業者等が選択しているが、ネットワークの制約から、放送に使用可能な帯域に制限がある場合に考えられる課題(結果的に地域内で IP 放送を提供可能な事業者数に制限が生じるなど)に対する対応については、今後、具体的な課題として生じた場合に、改めて検討することが適当である。

(6)IP 技術の進展に伴う対応

IP 技術の技術革新の進展が急速であることを踏まえ、受信者のニーズやケーブルテレビ事業者等の設備の更新等の必要に応じ、MPEG-DASH(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)、FLUTE(File Delivery over Unidirectional Transport)プロトコル、IPDC(IP Data Cast) 伝送、CDN(Contents Delivery Network)、SDN(Software Defined Network)、ネットワーク・クラウド技術など既存又は新規の技術を検討し、IP 放送として実現性の高い伝送方式やより効率的な IP ネットワーク利用技術等の導入に向け、適時に必要な制度の見直しをすることも重要である。

その際、IP 放送の定義に関し、IP マルチキャスト方式以外の方式による伝送についても、必要に応じ、検討することが適当である。

おわりに

本報告書は、4K・8K 等の新たな放送技術を利用した放送番組を、通信トラヒックが増大する中で、IP ネットワークを利用して放送として伝送するために必要な課題の整理を行い、IP 放送の安定的な提供方法、IP 放送の特徴について受信者の理解を得る方法、多様で複雑な宅内ネットワークで生じる課題への対処の他、セキュリティ確保、IP 放送の利用促進方策、技術開発、ネットワーク整備等の課題について、2017 年 11 月から 2018 年 6 月まで、7 回にわたり研究会を開催し、検討を行い、意見募集を経た検討結果をとりまとめたものである。

IP ネットワークは、放送用と通信用の周波数が固定的に割り当てられていないため、伝送路を柔軟に利用して、放送と通信のトラヒックを効率的に伝送可能であることが主な特徴となっている。一方で、一般に放送と通信のトラヒックが同じ伝送路を共用しており、時間帯や利用状況に応じてトラヒックの変動が生じること、ルーティング処理やトラヒックの混雑、アクセス網を共用していること等により生じるパケット損失や遅延等に対処する必要がある。

IP ネットワークの特徴を踏まえた、IP 放送の技術基準等として、①安定的な伝送のための措置として優先制御又は専用帯域の確保等、②伝送品質として受信者端子におけるパケットの損失率、遅延、ジッタ等、③伝送帯域として、映像及び音声等全ての放送信号を送るため、中継網、アクセス網において、ケーブルテレビ事業者等が提供しようとする放送サービスの提供条件に基づき、必要な帯域の確保等についての技術的条件を検討することが適当と結論づけた。また、これらの技術的条件に関する測定方法については、設備の施工時やサービスの提供開始時に測定可能な適切かつ合理的な測定方法等を検討することが適当と結論づけている。

消費者保護に関しては、IP 放送が通常の放送とは異なり、一般にインターネット接続サービスの利用を前提としており、放送サービスに加え、VOD 等の多様な通信サービスをシームレスに提供を受けることができること、また、通信トラヒックが想定を超えて増大した場合には、放送サービスの円滑な提供に支障が生じるおそれがあることなど、IP 放送の特徴について、あらかじめ受信者に理解を得ること等が必要であると結論づけた。

受信者の宅内ネットワークについては、IP マルチキャスト方式における宅内の伝送路の構成は、RF 方式より複雑になっており、ONU、ルータ、STB など様々なネットワーク機器により構成されていることから、状況変化に柔軟に対応できるよう、民間規格等に対応することが適当とするとともに、受信者端子については、STB とルータ等を含む一体の設備を受信設備とみなすことができると結論づけている。

その他、IP 放送の利用促進方策、セキュリティについても検討を加え、今後の取組として、技術基準に係る制度整備やガイドラインの見直し、IP 放送に関連する技術開発、ネットワーク高度化及び広帯域化等を行うことを提言している。

総務省をはじめ、関係者におかれては、本報告書の検討結果を踏まえ、適切な措置を適時に取られることを期待したい。最後に、本報告書のとりまとめに当たりご協力いただいた皆さまに御礼申し上げます。

參考資料

4K・8K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会 開催要綱

1 目的

4K・8Kなど放送サービスの高度化、多様な視聴形態への対応等、ケーブルテレビを取り巻く環境が変化しているとともに、ケーブルテレビ事業者が利用できる固定ブロードバンド網の広帯域化、多様化が進んでいる。その中で、インターネットプロトコル（IP）を活用して、4K・8Kを含む多様な放送サービスを円滑に提供できるIP放送の技術的条件等について議論が必要となってきた。これを踏まえ、IPを活用した放送の在り方等を検討するため、「4K・8K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会」を開催する。

2 検討課題

- (1) ケーブルテレビ事業における放送のIP化
- (2) IP放送における品質確保の在り方
- (3) その他

3 構成及び運営

- (1) 本研究会は、情報流通行政局長の研究会として開催する。
- (2) 本研究会の構成員及びオブザーバーは、別紙のとおりとする。
- (3) 本研究会には、情報流通行政局長があらかじめ指名する座長を置く。
- (4) 座長は、本研究会を招集し、主催する。
- (5) 座長は、必要があると認めるときは、あらかじめ座長代理を指名することができる。
- (6) 座長代理は座長を補佐し、座長不在のときは座長に代わって本研究会を招集し、主催する。
- (7) 座長は、必要に応じ、構成員及びオブザーバー以外の関係者の出席を求め、意見を聴くことができる。
- (8) その他、本研究会の運営に必要な事項は、座長が定めるところによる。

4 議事の取扱い

- (1) 本研究会の会議は、原則として公開とする。ただし、公開することにより当事者又は第三者の権利及び利益並びに公共の利益を害するおそれがある場合その他座長が必要と認める場合については、非公開とする。
- (2) 本研究会の会議で使用した資料については、原則として総務省のホームページに掲載

し、公開する。ただし、公開することにより当事者又は第三者の権利及び利益並びに公共の利益を害するおそれがある場合その他座長が必要と認める場合については、非公開とする。

(3) 本研究会の会議については、原則として議事要旨を作成し、総務省のホームページに掲載し、公開する。

5 開催期間

本研究会は、平成29年11月から開催し、平成30年春頃までを目途にとりまとめを行う。

6 その他

本研究会の庶務は、情報流通行政局衛星・地域放送課地域放送推進室において行う。

4K・8K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会
構成員・オブザーバー名簿

(敬称略、座長除き五十音順)

(平成29年11月28日現在)

【構成員】

| | | | |
|--------|-------|------------------------------------|----|
| (座長) | 伊東 晋 | 東京理科大学工学部 | 教授 |
| (座長代理) | 相田 仁 | 東京大学大学院工学系研究科 | 教授 |
| | 石田 幸枝 | 全国消費者生活相談員協会 | 理事 |
| | 甲藤 二郎 | 早稲田大学理工学術院 | 教授 |
| | 鹿喰 善明 | 明治大学総合数理学部 | 教授 |
| | 柴田 茂輝 | 株式会社日本政策投資銀行 産業調査部 産業調査ソリューション室 | 課長 |
| | 林 秀弥 | 名古屋大学大学院法学研究科 | 教授 |

【オブザーバー】

- 一般社団法人 IPTVフォーラム
- 一般社団法人 衛星放送協会
- 一般社団法人 日本ケーブルテレビ連盟
- 一般社団法人 日本ケーブルラボ
- 一般社団法人 日本CATV技術協会
- 日本放送協会
- 一般社団法人 日本民間放送連盟
- 一般社団法人 放送サービス高度化推進協会

「4K・8K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会」
開催経緯

○第1回（平成29年11月28日（火））

- ・開催要綱等について
- ・ケーブルテレビのネットワーク及びIP放送の現状等について
- ・関係団体・事業者等からのプレゼンテーション
（（一社）日本ケーブルテレビ連盟、（株）NTTぷらら）
- ・意見交換

○第2回（平成29年12月26日（火））

- ・関係団体・事業者等からのプレゼンテーション
（日本電信電話（株）・東日本電信電話（株）・西日本電信電話（株）、KDDI（株）、
住友電気工業（株））
- ・意見交換

○第3回（平成30年1月26日（金））

- ・関係団体・事業者等からのプレゼンテーション
（ジャパンケーブルキャスト（株）、日本デジタル配信（株）、（一社）IPTVフォーラム、
（一社）日本ケーブルラボ）
- ・意見交換

○第4回（平成30年2月22日（木））

- ・論点整理
- ・意見交換

○第5回（平成30年3月28日（水））

- ・報告書骨子案について
- ・意見交換

○第6回（平成30年4月23日（月））

- ・報告書案について
- ・意見交換

○4K・8K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会報告書(案)についての
意見募集（平成30年4月27日（金）～5月25日（金））

○第7回（平成30年6月12日（火））

- ・報告書案に対する意見募集の結果について
- ・報告書案について

I n t e r n a t i o n a l T e l e c o m m u n i c a t i o n U n i o n

ITU-T

TELECOMMUNICATION
STANDARDIZATION SECTOR
OF ITU

J.241

(04/2005)

SERIES J: CABLE NETWORKS AND TRANSMISSION
OF TELEVISION, SOUND PROGRAMME AND OTHER
MULTIMEDIA SIGNALS

Measurement of the quality of service

**Quality of service ranking and measurement
methods for digital video services delivered
over broadband IP networks**

ITU-T Recommendation J.241

ITU-T Recommendation J.241

Quality of service ranking and measurement methods for digital video services delivered over broadband IP networks

Summary

This Recommendation specifies performance requirements and objective measuring methods of QoS for the delivery of digital video services over broadband IP networks. The specified performance requirements are based on an IP QoS ranking at various levels, from "excellent" to "out-of-service". They rely on the objective end-to-end measurement of the values of a small number of parameters on the delivered IP streams, performed at the consumer premises equipment and relayed back to the head end. The recommended objective measurement methods and parameters are known to influence the Quality of Service delivered to the user.

Source

ITU-T Recommendation J.241 was approved on 6 April 2005 by ITU-T Study Group 9 (2005-2008) under the ITU-T Recommendation A.8 procedure.

FOREWORD

The International Telecommunication Union (ITU) is the United Nations specialized agency in the field of telecommunications. The ITU Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) is a permanent organ of ITU. ITU-T is responsible for studying technical, operating and tariff questions and issuing Recommendations on them with a view to standardizing telecommunications on a worldwide basis.

The World Telecommunication Standardization Assembly (WTSA), which meets every four years, establishes the topics for study by the ITU-T study groups which, in turn, produce Recommendations on these topics.

The approval of ITU-T Recommendations is covered by the procedure laid down in WTSA Resolution 1.

In some areas of information technology which fall within ITU-T's purview, the necessary standards are prepared on a collaborative basis with ISO and IEC.

NOTE

In this Recommendation, the expression "Administration" is used for conciseness to indicate both a telecommunication administration and a recognized operating agency.

Compliance with this Recommendation is voluntary. However, the Recommendation may contain certain mandatory provisions (to ensure e.g. interoperability or applicability) and compliance with the Recommendation is achieved when all of these mandatory provisions are met. The words "shall" or some other obligatory language such as "must" and the negative equivalents are used to express requirements. The use of such words does not suggest that compliance with the Recommendation is required of any party.

INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

ITU draws attention to the possibility that the practice or implementation of this Recommendation may involve the use of a claimed Intellectual Property Right. ITU takes no position concerning the evidence, validity or applicability of claimed Intellectual Property Rights, whether asserted by ITU members or others outside of the Recommendation development process.

As of the date of approval of this Recommendation, ITU had not received notice of intellectual property, protected by patents, which may be required to implement this Recommendation. However, implementors are cautioned that this may not represent the latest information and are therefore strongly urged to consult the TSB patent database.

© ITU 2005

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, by any means whatsoever, without the prior written permission of ITU.

CONTENTS

| | Page |
|---|-------------|
| 1 Scope | 1 |
| 2 References..... | 1 |
| 3 Definitions | 1 |
| 4 Abbreviations..... | 1 |
| 5 Quality of Service ranking and measurement methods for digital video services delivered over broadband IP Networks | 2 |
| 5.1 Background..... | 2 |
| 5.2 Recommendation..... | 2 |
| Annex A – System measurement model..... | 3 |
| Annex B – End-to-end measurements | 4 |
| B.1 Video receiver measurements..... | 5 |
| B.2 Frame rate analysis | 5 |
| Annex C – IP layer..... | 6 |
| C.1 IP – transport requirements | 6 |
| C.2 Video streaming IP service class..... | 7 |
| C.3 IP transport measurements | 7 |
| C.4 IP end-to-end service availability..... | 8 |
| C.5 IP network service classification..... | 9 |
| Appendix I – Example of an IP network service classification | 9 |

ITU-T Recommendation J.241

Quality of service ranking and measurement methods for digital video services delivered over broadband IP networks

1 Scope

This Recommendation specifies performance requirements and objective measuring methods of QoS, for the delivery of digital video services over broadband IP networks. The performance requirements are based on an objective measurement of the values of a small number of parameters performed on the delivered IP streams at the consumer premises equipment. These parameters are known to influence the Quality of Service delivered to the user and they allow defining the measurements needed to evaluate the service quality degradation introduced by an IP network.

The definition of a complete system model of a digital television system over an IP network, including the definition of the appropriate FEC technique to be employed, is outside the scope of this Recommendation. It is well recognized that perceived video quality is highly affected by the performance of FEC. Therefore, this Recommendation does not guarantee that the classification that it provides is sufficient for assessing the perceived quality on a TV broadcasting over IP system, since IP end-to-end network performance it is measured before FEC is applied.

2 References

The following ITU-T Recommendations and other references contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Recommendation. At the time of publication, the editions indicated were valid. All Recommendations and other references are subject to revision; users of this Recommendation are therefore encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the Recommendations and other references listed below. A list of the currently valid ITU-T Recommendations is regularly published. The reference to a document within this Recommendation does not give it, as a stand-alone document, the status of a Recommendation.

- ITU-T Recommendation G.1020 (2003), *Performance parameter definitions for quality of speech and other voiceband applications utilizing IP networks*.
- ITU-T Recommendation Y.1540 (2002), *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability parameters*.
- ITU-T Recommendation Y.1541 (2002), *Network performance objectives for IP-based services*.

3 Definitions

This Recommendation defines the following term:

3.1 broadband IP network: Access IP telecommunications network offered by ADSL, ADSL2+, VDSL, Optical Access Network, etc.

4 Abbreviations

This Recommendation uses the following abbreviations:

| | |
|-----|-----------------------------|
| BER | Bit Error Ratio |
| CPE | Customer Premises Equipment |
| FEC | Forward Error Correction |
| IP | Internet Protocol |

| | |
|------|-------------------------------|
| IPER | IP packet Error Ratio |
| IPLR | IP packet Loss Ratio |
| MPEG | Moving Picture Experts Group |
| PLR | Packet Loss Ratio |
| QoS | Quality of Service |
| RTCP | Real Time Control Protocol |
| RTP | Real Time Protocol |
| SLA | Service Level Agreement |
| STB | Set Top Box |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| UDP | User Datagram Protocol |
| VoD | Video on Demand |

5 Quality of Service ranking and measurement methods for digital video services delivered over broadband IP Networks

5.1 Background

Digital transport streams based on MPEG2 encoding have become the prevailing technology for augmenting the experience of digital television services, since it allows combining the distribution of high quality digital television services with the opportunity for end users to enjoy real-time interaction with multimedia service platforms.

As broadband fixed communication networks start to be extensively deployed in several countries, clear opportunities emerge for extending this offer through transport based on IP protocols.

The native shared-access and bidirectional capabilities of an IP network, in fact, offer an ideal environment for providing customers with full end-user interactivity and support for advanced services; this offers advantages over traditional video streaming services. IP-based broadband communication networks thus provide another high-performance, bidirectional transport environment to transparently convey MPEG2-compliant video content.

5.2 Recommendation

Methods for Quality of Service measurements for digital television services streamed in a broadband IP network should be tailored to the specific features of the transport services provided by an IP communication network.

Annex A shows a conceptual block module of a system measurement model of a chain for IP transmission of television services.

In this measurement model, the Quality of Service should be measured end-to-end, namely, from the program injection point in the network, all the way to the Customer Premises Equipment (CPE). This provides readings that closely approximate the quality of service as it is delivered to the end user, and take into account the influence of the IP network on the video stream.

There are two kinds of Quality of Service measurement to be taken at the video receiver. These are described in Annexes B and C.

Annex B describes the recommended end-to-end measurements to be performed on the video stream after its IP packetized structure is removed.

Annex C describes the measurements to be performed on the video stream at its IP layer.

Annex A

System measurement model

In its simplest form, the television services distribution model, in an IP network, consists of three parts:

- The Head-end: This includes all the devices and applications needed to produce the video signals that are sent into the network.
- The Transport Network: This transports the video signal to the end user CPEs.
- The CPE: This is an IP end point (usually an STB) that decodes the video signal and displays it on a television set normally connected to it.

Explicit SLAs need to be established between the service provider and the telecommunications network operator for the transport of the video streams between the head-end and the transport network.

Audio, video, data and interactive services can be delivered in the IP transport network if the head-end and the STBs provide the necessary compliance. All the services and standards are compatible with the TCP/IP stack; the IP network should guarantee the required performance level and it should provide some test point where it can be measured.

This Recommendation assumes that the quality of the input video signal that is delivered to the IP network is under the responsibility and control of the head-end.

The head-end should inject the video streams in the network according to transport rules appropriate to the IP Network. These rules should define:

- Maximum packet rate per stream;
- Maximum number of sustainable streams;
- Maximum bandwidth per stream (or packet rate for a given packet size);
- Transport protocol to be used;
- Frame size (transport layer);
- Packet size;
- Allowed inter-packet gap profile;
- Maximum burst size.

On its side, the IP network should guarantee the agreed service level for the delivery of video streams to end-users.

In an IP network, Video on Demand (VoD) services are usually associated with unicast content distribution methods while television services are distributed by using IP multicast based protocols.

IP transport protocol used for unicast distribution maybe UDP or TCP while multicast distribution is transported on top of UDP.

The determination of the service level should be based on end-to-end measurements, which should provide information on:

- The quality offered to the user;
- The influence of the IP network on the video signal.

Figure A.1 shows the system measurement model that summarizes this approach.

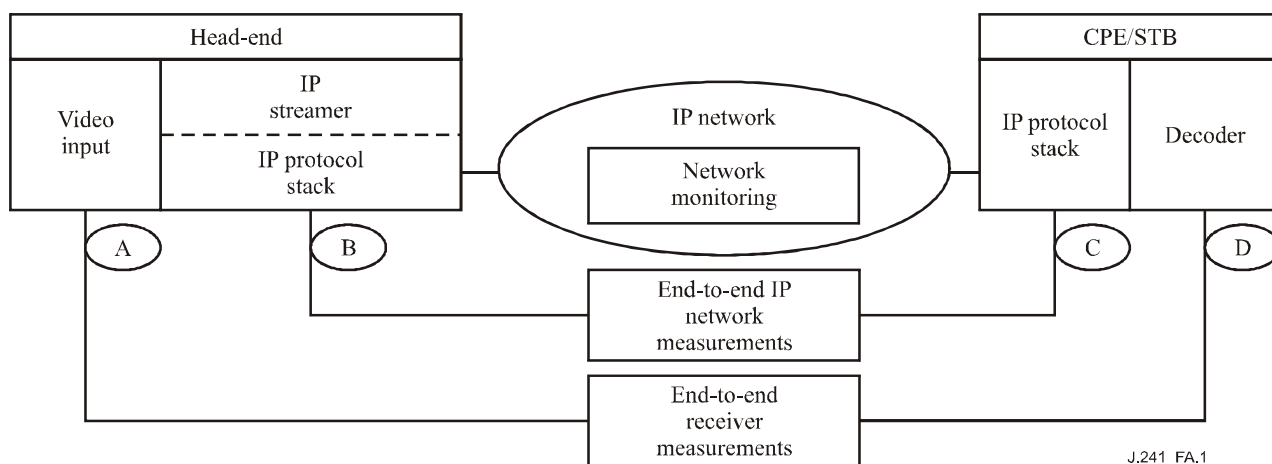


Figure A.1/J.241 – System measurement model

The following table describes the reference points A, B, C, and D shown in Figure A.1:

| Reference point | Description |
|-----------------|-------------------------------------|
| A | Video encoder |
| B | IP layer at head-end (Raw IP data). |
| C | IP layer at CPE (Raw IP data). |
| D | Video decoder |

Annex B

End-to-end measurements

An IP network allows each CPE (STB) to also behave as a measurement end-point. This offers the valuable opportunity to have a measurement probe at each installed video CPE. Measurements and monitoring taken at the CPE are the ones closest to the user's real experience of the service.

Using a CPE as a measurement probe raises some point of attention since the CPE is not under the physical control of the network operator, and measurements may be affected by the user's equipment (cable not well plugged in vertical cabling issues, improper use of the home-network). The STB should have the capability to give additional information about the quality of the video signal that is being decoded. Receiver buffer fullness and frame rate are two important indicators of service availability and overall performance. CPEs measurements should be used to:

- Measure the end-to-end IP network performance;
- Measure the network performance at any hierarchical level or aggregation point through statistical analysis and data processing exploiting correlation among data;
- Estimate the video quality offered to the end-user of the service;
- Perform dedicated test sessions using test signals for qualification and troubleshooting.

As an example, some network operators currently perform end-to-end measurements at all the STBs available in their residential network, in order to evaluate end-to-end video service quality and network performance; STBs periodically send back frame rate and packet loss reports to provide a continuous quality feedback about the service in progress.

B.1 Video receiver measurements

The table below shows the parameters that should be measured at video receivers to estimate video quality, as described in the system measurement model. These measurements can be used for all the assessments outlined above.

| Parameter | Value | Equipment | Purpose | Monitoring method | Measurement path (Note) |
|--|------------------------------------|-----------|--------------------------------|--|-------------------------|
| Video frame rate | As required by the video standards | STB | Image quality | In service through codec specific methods. Sampling | From A to D |
| Buffer underflows | N/A | STB | Image quality, smooth play-out | In service while playing video. Sampling Measure underflows events and percentage of service time spent by the STB in an "underflow" state | D |
| Buffer overflows | N/A | STB | Image quality, smooth play-out | In service while playing video. Sampling Measure underflows events and percentage of service time spent by the STB in an "overflow" state | D |
| Coding specific parameters | N/A | STB | Image/Service quality | In service while playing video. Sampling | N/A |
| NOTE – See Figure A.1 "System Measurement Model" in Annex A. | | | | | |

Further studies should address video quality significant parameters which can be returned by the STB decoder, and that may help in better evaluating the video reproduction process that takes place at the decoder.

B.2 Frame rate analysis

Television standards use 30 or 25 frames per second.

The output of the decoder will produce exactly this frame rate, except in the presence of video information loss. Measure of the frame rate at the output of the decoder gives a rough estimate of the continuity of the service.

Figure B.1 shows, as an example, possible information that can be retrieved through frame rate analysis:

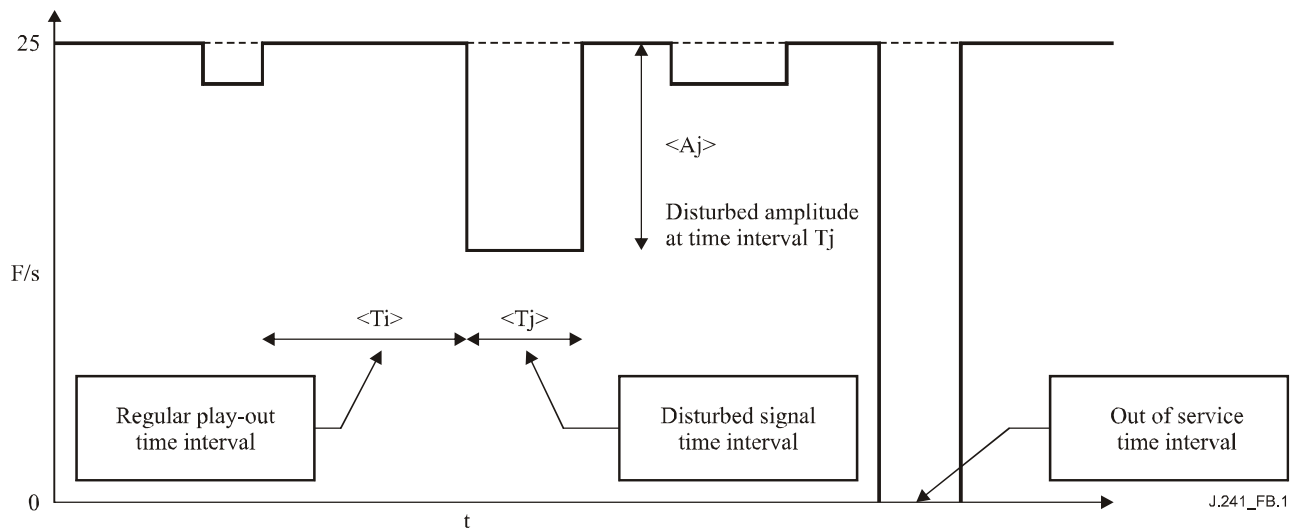


Figure B.1/J.241 – Possible information that can be retrieved through frame rate analysis

Annex C

IP layer

C.1 IP – transport requirements

IP networks are multi-hop, may be complex and different transmission technologies are usually employed along the network paths. The TCP/IP protocol stack sees all these as "below layer 3" layers.

Measurements and quality parameters at the IP layer make it possible to define reference values for network requirements that are agnostic of the underlying transmission technologies and are suitable for use in end-to-end quality assessment.

The noise introduced in an IP packet network is described by the following parameters:

- Packet loss ratio: The ratio between the number of the packets lost in the network and the total number of transmitted packets¹.
- Latency: The time interval between initial transmission and final reception of a packet.
- Jitter: The latency variation.

The quality of the video streams will impose a minimum value for the downstream throughput requirements; upstream end-to-end throughput requirements depend on application interactivity requirements.

¹ According to the measurement scheme and the methodology proposed in this Recommendation, the total number of lost packets in the Packet Loss Ratio parameter is the sum of IP lost packets (IPLR) and IP errored packets (IPER) as defined in ITU-T Rec. Y.1541. A more complete definition of this parameter is given in ITU-T Rec. G.1020, where clause 7.7 defines "Overall Loss Ratio" for frames or packets. Being the measurement header on top of the transport layer, if, for an IP packet, the IP or UDP checksum fails, this packet will not be presented to the measurement (or RTP) layer.

C.2 Video streaming IP service class

Video services, such as VoD or TV services, are classified also as streaming services. In a high-quality television environment, they have the following high-level requirements:

- good audio/video quality;
- high availability;
- medium interactivity.

These high-level requirements should be translated into values for transport requirements for an IP network.

As specified in Annex A, it is up to the head-end to introduce good quality video content into the network according to the maximum end-to-end bandwidth and packet rate available for video services. Any packet loss will reduce the quality of the video.

To preserve good quality of the image, a low value of packet loss is required.

C.3 IP transport measurements

The IP network layer should be unaware if the video signal, or any upper layer, is employing FEC or any error-correction techniques, and it should only guarantee the performance needed before any error-correction scheme is applied at any of the above layers.

C.3.1 Parameters

The table below lists IP network measurement parameters. All measurements should be taken from point B to point C in the system measurement model described in Annex A:

| Parameter | Equipment | Motivation | Monitoring method |
|-------------------------|--|--|--|
| Packet loss ratio (PLR) | CPE (STB) | Image quality, video information loss estimation | In service or through test streams with RTP/RTCP or sequence numbers available on packet header. Periodic PLR summary. Reports with one-minute resolution. Measurement of PLR requires analysis of a number of packets at least 10 times greater than the number related to the target PLR value. This determines the rate at which the PLR is reported. |
| Network latency | Test probe at user side, within CPE (STB) or as closest as possible to user access link. | Smooth play-out | Test stream |
| Jitter | CPE (STB) | Smooth play-out | In service or through test streams with RTP/RTCP or timestamps available on packet header. |
| Downstream throughput | CPE (STB) | Service qualification, monitoring | Test signal representative of worst case encoding scenario, throughput test |
| Upstream throughput | CPE (STB) | Service qualification, monitoring | Throughput test |

C.3.2 Values

Before giving reference values for transport requirements, it is important to note that in video services delivery architecture, a receiver buffer is employed at the CPE (STB) end to eliminate (to some extent) the jitter introduced by the network and to have a continuous video frame reproduction.

Values that should be achieved in the network are outlined and motivated in the following subclauses.

C.3.2.1 PLR value

It is preferable to specify PLR value that is "codec independent" and dimensioned on a worst-case scenario.

The PLR value needed to guarantee that an IP network seamlessly delivers video services is 10^{-5} .

The requirement for $PLR < 10^{-5}$ is considerably more stringent than the IPLR objectives currently specified in ITU-T Rec. Y.1541. However, there are plans to support digital video transport with some new QoS Classes with the value of IPLR $< 10^{-5}$.

A PLR of 10^{-5} may appear a stringent requirement for the PLR. A rough estimation is done considering that potentially any video information loss will be noticed by the user.

The actual result of a packet loss is not predictable since it depends on the type of frame that is corrupted or on the part of the frame that is missing at the decoder (foreground, background, spatial, temporal, etc.). The degree of signal recovery in the presence of a certain loss depends on the power of the codec itself. Finally, the kind of scene that is being reproduced (steady, moving, etc.) greatly influences the chance that the user perceives video signal degradation.

To further reduce the BER offered to the video decoder, typical error-correction schemes can be applied on the video streams.

C.3.2.2 Latency and jitter

Latency and jitter values may vary according to specific multimedia service characteristics, such as interactivity, and according to the size of the de-jitter buffer and of the play-out delay employed at the CPE (STB) side.

For example, for high quality video streaming services, latency in the order of hundreds of milliseconds and jitter in the order of tenths of milliseconds may be tolerated.

It is recognized that the definition of objective values for jitter and latency needs further study, even taking into account the different application interactivity evolution, such as videoconferencing, which will impact the traditionally mainly unidirectional television service.

C.4 IP end-to-end service availability

The video service availability depends on the availability of all the elements that are controlled by the operator and that are significant for video service distribution, from the network device closest to the video source, to the access device closest to the user.

A classification of IP service availability is found in ITU-T Rec. Y.1540, a video streaming services availability function can be defined using the same approach: If $PLR > PLR_{out}$, then the service may be considered unavailable.

A value of 0.01 is proposed for PLR_{out} .

This value refers to a system where no FEC is employed; further study defining the FEC scheme, may, in the future, result in defining a different value for PLR_{out} . This evolution will be reflected in this Recommendation.

C.5 IP network service classification

In relation to video services, the performance of an IP network can be classified based on the value of PLR offered to the end user. The PLR must be measured between points B and C of the system measurement model described in Annex A.

In relation to the delivery of video services, the inclusion of the effect of latency and jitter for IP network classification purposes, as well as the evaluation of the impact of the definition of a FEC system needs further study.

Appendix I

Example of an IP network service classification

This appendix provides, for information, a description of the IP network service classification currently used by a major service provider for its own operation.

The classification used for digital television services is shown below:

| | |
|--|--------------------------------------|
| $PLR \leq 10^{-5}$ | excellent service quality (ESQ) |
| $PLR < 2 \times 10^{-4} - 10^{-5} >$ | intermediate service quality (ISQ) |
| $PLR < PLR_{out} - 2 \times 10^{-4} >$ | poor service quality (PSQ) |
| $PLR < PLR_{out} - 1 >$ | IP end-to-end service not available. |

The table below shows IP layer service classes that are related to the QoS service perceived by the end user. The picture quality also depends on encoding conditions (bit rate, picture size, intra refreshing method, etc.) and transmission parameters (packet size, FEC, etc.).

The evaluation interval for end-to-end service availability is from 1 to 5 minutes.

The network service classification is based on an evaluation interval of 30 minutes.

The end-to-end performance of an IP network can then be calculated adding up the time intervals in which the measured PLR was within the thresholds above during the reported time slot. This is shown in the following example:

| Class | % time ESQ | % time ISQ | % time PSQ | Note |
|-------|-------------|-------------------|---------------------|---------------------------|
| A | ≥ 99.8 | between 0 and 0.2 | between 0 and 0.1 | To be computed in service |
| B | ≥ 99.8 | between 0 and 0.1 | between 0.1 and 0.2 | To be computed in service |
| C | < 99.8 | / | / | To be computed in service |

The end-to-end unavailable service time is not included in the above example.

SERIES OF ITU-T RECOMMENDATIONS

| | |
|-----------------|--|
| Series A | Organization of the work of ITU-T |
| Series D | General tariff principles |
| Series E | Overall network operation, telephone service, service operation and human factors |
| Series F | Non-telephone telecommunication services |
| Series G | Transmission systems and media, digital systems and networks |
| Series H | Audiovisual and multimedia systems |
| Series I | Integrated services digital network |
| Series J | Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals |
| Series K | Protection against interference |
| Series L | Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant |
| Series M | Telecommunication management, including TMN and network maintenance |
| Series N | Maintenance: international sound programme and television transmission circuits |
| Series O | Specifications of measuring equipment |
| Series P | Telephone transmission quality, telephone installations, local line networks |
| Series Q | Switching and signalling |
| Series R | Telegraph transmission |
| Series S | Telegraph services terminal equipment |
| Series T | Terminals for telematic services |
| Series U | Telegraph switching |
| Series V | Data communication over the telephone network |
| Series X | Data networks, open system communications and security |
| Series Y | Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks |
| Series Z | Languages and general software aspects for telecommunication systems |

I n t e r n a t i o n a l T e l e c o m m u n i c a t i o n U n i o n

ITU-T

TELECOMMUNICATION
STANDARDIZATION SECTOR
OF ITU

Y.1540

(07/2016)

SERIES Y: GLOBAL INFORMATION
INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS
AND NEXT-GENERATION NETWORKS, INTERNET OF
THINGS AND SMART CITIES

Internet protocol aspects – Quality of service and network
performance

**Internet protocol data communication service –
IP packet transfer and availability performance
parameters**

Recommendation ITU-T Y.1540

ITU-T Y-SERIES RECOMMENDATIONS
**GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND
NEXT-GENERATION NETWORKS**

| | |
|--|----------------------|
| GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE | |
| General | Y.100–Y.199 |
| Services, applications and middleware | Y.200–Y.299 |
| Network aspects | Y.300–Y.399 |
| Interfaces and protocols | Y.400–Y.499 |
| Numbering, addressing and naming | Y.500–Y.599 |
| Operation, administration and maintenance | Y.600–Y.699 |
| Security | Y.700–Y.799 |
| Performances | Y.800–Y.899 |
| INTERNET PROTOCOL ASPECTS | |
| General | Y.1000–Y.1099 |
| Services and applications | Y.1100–Y.1199 |
| Architecture, access, network capabilities and resource management | Y.1200–Y.1299 |
| Transport | Y.1300–Y.1399 |
| Interworking | Y.1400–Y.1499 |
| Quality of service and network performance | Y.1500–Y.1599 |
| Signalling | Y.1600–Y.1699 |
| Operation, administration and maintenance | Y.1700–Y.1799 |
| Charging | Y.1800–Y.1899 |
| IPTV over NGN | Y.1900–Y.1999 |
| NEXT GENERATION NETWORKS | |
| Frameworks and functional architecture models | Y.2000–Y.2099 |
| Quality of Service and performance | Y.2100–Y.2199 |
| Service aspects: Service capabilities and service architecture | Y.2200–Y.2249 |
| Service aspects: Interoperability of services and networks in NGN | Y.2250–Y.2299 |
| Numbering, naming and addressing | Y.2300–Y.2399 |
| Network management | Y.2400–Y.2499 |
| Network control architectures and protocols | Y.2500–Y.2599 |
| Smart ubiquitous networks | Y.2600–Y.2699 |
| Security | Y.2700–Y.2799 |
| Generalized mobility | Y.2800–Y.2899 |
| Carrier grade open environment | Y.2900–Y.2999 |
| Future networks | Y.3000–Y.3099 |

For further details, please refer to the list of ITU-T Recommendations.

Recommendation ITU-T Y.1540

Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters

Summary

Recommendation ITU-T Y.1540 defines parameters that may be used in specifying and assessing the performance of speed, accuracy, dependability and availability of IP packet transfer of international Internet protocol (IP) data communication services. The defined parameters apply to end-to-end, point-to-point IP service and to the network portions that provide, or contribute to the provision of, such service in accordance with the normative references specified in clause 2. Connectionless transport is a distinguishing aspect of the IP service that is considered in this Recommendation.

History

| Edition | Recommendation | Approval | Study Group | Unique ID* |
|---------|----------------------------|------------|-------------|---|
| 1.0 | ITU-T I.380 | 1999-02-26 | 13 | 11.1002/1000/4573 |
| 1.0 | ITU-T Y.1540 | 1999-02-26 | 13 | 11.1002/1000/5302 |
| 2.0 | ITU-T Y.1540 | 2002-12-14 | 13 | 11.1002/1000/6189 |
| 2.1 | ITU-T Y.1540 (2002) Amd. 1 | 2003-08-01 | 13 | 11.1002/1000/6975 |
| 3.0 | ITU-T Y.1540 | 2007-11-13 | 12 | 11.1002/1000/9270 |
| 3.1 | ITU-T Y.1540 (2007) Amd.1 | 2009-03-19 | 12 | 11.1002/1000/9727 |
| 4.0 | ITU-T Y.1540 | 2011-03-01 | 12 | 11.1002/1000/11079 |
| 4.1 | ITU-T Y.1540 (2011) Amd.1 | 2016-01-21 | 12 | 11.1002/1000/12761 |
| 5.0 | ITU-T Y.1540 | 2016-07-29 | 12 | 11.1002/1000/12975 |

* To access the Recommendation, type the URL <http://handle.itu.int/> in the address field of your web browser, followed by the Recommendation's unique ID. For example, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

FOREWORD

The International Telecommunication Union (ITU) is the United Nations specialized agency in the field of telecommunications, information and communication technologies (ICTs). The ITU Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) is a permanent organ of ITU. ITU-T is responsible for studying technical, operating and tariff questions and issuing Recommendations on them with a view to standardizing telecommunications on a worldwide basis.

The World Telecommunication Standardization Assembly (WTSA), which meets every four years, establishes the topics for study by the ITU-T study groups which, in turn, produce Recommendations on these topics.

The approval of ITU-T Recommendations is covered by the procedure laid down in WTSA Resolution 1.

In some areas of information technology which fall within ITU-T's purview, the necessary standards are prepared on a collaborative basis with ISO and IEC.

NOTE

In this Recommendation, the expression "Administration" is used for conciseness to indicate both a telecommunication administration and a recognized operating agency.

Compliance with this Recommendation is voluntary. However, the Recommendation may contain certain mandatory provisions (to ensure, e.g., interoperability or applicability) and compliance with the Recommendation is achieved when all of these mandatory provisions are met. The words "shall" or some other obligatory language such as "must" and the negative equivalents are used to express requirements. The use of such words does not suggest that compliance with the Recommendation is required of any party.

INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

ITU draws attention to the possibility that the practice or implementation of this Recommendation may involve the use of a claimed Intellectual Property Right. ITU takes no position concerning the evidence, validity or applicability of claimed Intellectual Property Rights, whether asserted by ITU members or others outside of the Recommendation development process.

As of the date of approval of this Recommendation, ITU had not received notice of intellectual property, protected by patents, which may be required to implement this Recommendation. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information and are therefore strongly urged to consult the TSB patent database at <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2016

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, by any means whatsoever, without the prior written permission of ITU.

Table of Contents

| | Page |
|------|---|
| 1 | Scope..... 1 |
| 2 | References..... 3 |
| 3 | Abbreviations and acronyms 4 |
| 4 | Layered model of performance for IP service 5 |
| 5 | Generic IP service performance model..... 6 |
| 5.1 | Network components 6 |
| 5.2 | Exchange links and network sections..... 7 |
| 5.3 | Measurement points and measurable sections..... 9 |
| 5.4 | IP packet transfer reference events (IPREs)..... 9 |
| 5.5 | IP packet transfer outcomes..... 11 |
| 6 | IP packet transfer performance parameters 16 |
| 6.1 | Packet qualifications..... 16 |
| 6.2 | IP packet transfer delay 17 |
| 6.3 | IP packet error ratio (IPER)..... 20 |
| 6.4 | IP packet loss ratio (IPLR) 20 |
| 6.5 | Spurious IP packet rate 21 |
| 6.6 | IP packet reordered ratio (IPRR) 21 |
| 6.7 | IP packet severe loss block ratio (IPSLBR) 21 |
| 6.8 | IP packet duplicate ratio (IPDR) 22 |
| 6.9 | Replicated IP packet ratio (RIPR) 22 |
| 6.10 | Stream repair parameters 22 |
| 6.11 | Capacity parameters 22 |
| 6.12 | Flow-related parameters 24 |
| 7 | IP service availability 25 |
| 7.1 | IP service availability function 25 |
| 7.2 | IP service availability parameters..... 27 |
| | Appendix I – IP packet routing considerations 28 |
| | Appendix II – Secondary terminology for IP packet delay variation 29 |
| | II.1 Introduction 29 |
| | II.2 Definition of inter-packet delay variation 29 |
| | II.3 Definition of 1-point packet delay variation 29 |
| | II.4 Guidance on applying the different parameters..... 30 |
| | Appendix III – Rate and throughput capacity related parameters 31 |
| | III.1 Definition of IP packet rate parameters..... 31 |
| | III.2 References for throughput parameters and measurements..... 31 |
| | III.3 Open issues..... 31 |
| | Appendix IV – Tests of IP service availability state and sampling estimation of IP service availability parameters..... 33 |

| | Page |
|--|-------------|
| IV.1 Minimal test of IP service availability state (for test methodologies and test sets) | 33 |
| IV.2 Test of IP service availability state (using sequential probability ratio test).. | 33 |
| IV.3 Alternate test of statistical significance to determine IP service availability | 35 |
| IV.4 Sampling estimation of IP service availability | 36 |
| Appendix V – Material relevant to IP performance measurement methods..... | 37 |
| Appendix VI – Background on IP service availability | 38 |
| VI.1 Introduction | 38 |
| VI.2 Background..... | 38 |
| VI.3 Definitions of the regions in Figure VI.1 | 39 |
| VI.4 Summary..... | 39 |
| Appendix VII – Packet performance parameters for estimation and optimization of stream repair techniques | 40 |
| VII.1 Introduction | 40 |
| VII.2 Short description of application-layer stream repair techniques | 41 |
| VII.3 Simple model of application-layer stream repair techniques | 41 |
| VII.4 Example of performance parameters to characterize stream repair variables..... | 42 |
| VII.5 Discussion of parameter measurement and usage | 42 |
| VII.6 Additional considerations | 43 |
| Appendix VIII – IP-layer capacity framework | 44 |
| VIII.1 Introduction | 44 |
| VIII.2 Terminology and relation to IETF RFC 5136 | 44 |
| VIII.3 Items for further study | 45 |
| Appendix IX – Explanation of TCP-based measurement inadequacy to meet normative requirements | 46 |
| IX.1 Introduction | 46 |
| IX.2 Comparison with normative requirements | 46 |
| Bibliography..... | 48 |

Recommendation ITU-T Y.1540

Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters

1 Scope

This Recommendation defines parameters that may be used in specifying and assessing the performance of speed, accuracy, dependability and availability of IP packet transfer of international Internet Protocol (IP) data communication services. The defined parameters apply to the end-to-end, point-to-point IP service and to the network portions that provide, or contribute to the provision of, such service in accordance with the normative references specified in clause 2. Connectionless transport is a distinguishing aspect of the IP service that is considered in this Recommendation.

For the purpose of this Recommendation, end-to-end IP service refers to the transfer of user-generated IP datagrams (referred to in this Recommendation as IP packets) between two end hosts as specified by their complete IP addresses. This differs from the boundaries implied by the phrase "end-to-end" in some other Recommendations. For example, [ITU-T P.10] defines end-to-end quality as related to the performance of a communication system, including all terminal equipment. For voice services, end-to-end is equivalent to mouth-to-ear quality.

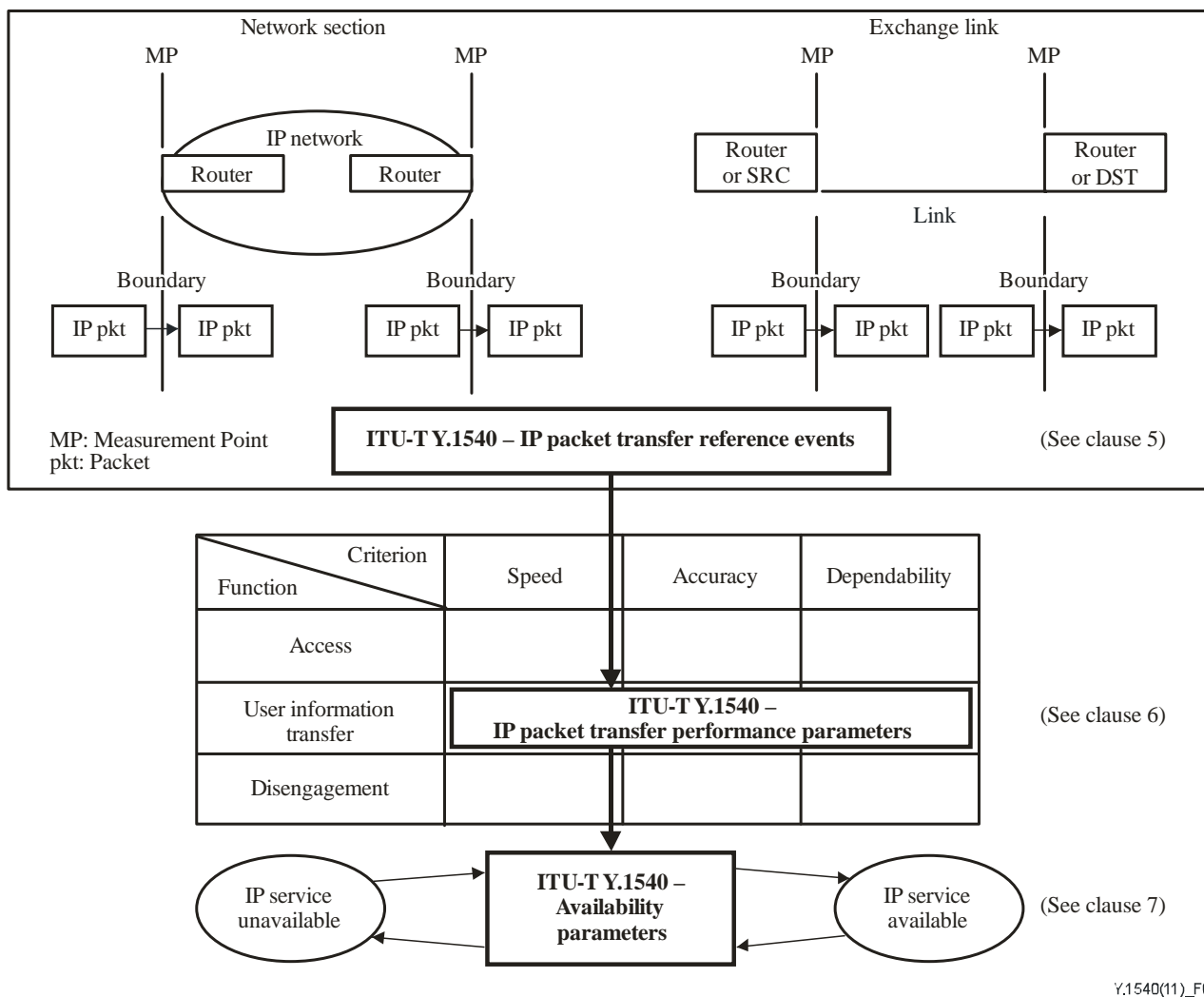
NOTE 1 – This Recommendation defines parameters that can be used to characterize IP service provided using Internet Protocol version 4 (IPv4) and Internet Protocol version 6 (IPv6); applicability or extension of this Recommendation to other protocols (e.g., resource reservation protocol (RSVP)) is for further study.

NOTE 2 – Recommendations for the performance of point-to-multipoint IP service are currently under development.

The ITU-T Y.1540 performance parameters are intended to be used in planning and offering international IP service. The intended users of this Recommendation include IP service providers, equipment manufacturers and end users. This Recommendation may be used by service providers in the planning, development and assessment of IP service that meets user performance needs; by equipment manufacturers as performance information that will affect equipment design; and by end users in evaluating IP service performance.

The scope of this Recommendation is summarized in Figure 1. The IP service performance parameters are defined on the basis of IP packet transfer reference events (IPREs) that may be observed at measurement points (MPs) associated with specified functional and jurisdictional boundaries. For comparability and completeness, IP service performance is considered in the context of the 3 × 3 performance matrix defined in [ITU-T I.350]. Three protocol-independent communication functions are identified in the matrix: access, user information transfer and disengagement. Each function is considered with respect to three general performance concerns (or "performance criteria"): speed, accuracy and dependability. An associated two-state model provides a basis for describing IP service availability.

NOTE 3 – In this Recommendation, the user information transfer function illustrated in Figure 1 refers to the attempted transfer of any IP packet, regardless of its type or contents.



Y.1540(11)_F01

Figure 1 – Scope of this Recommendation

The performance parameters defined in this Recommendation describe the speed, accuracy, dependability and availability of IP packet transfer as provided by the IP data communication service. Future ITU-T Recommendations may be developed to provide standard methods of measuring the ITU-T Y.1540 performance parameters in an international context. The end-to-end performance of international IP services providing access and disengagement functions (e.g., domain name service) and higher-layer transport capabilities (e.g., transmission control protocol) may be addressed in separate Recommendations.

This Recommendation is structured as follows: Clause 1 specifies its scope. Clause 2 specifies its normative references. Clause 3 provides a list of abbreviations. Clause 4 illustrates the layered model that creates the context for IP performance specification. Clause 5 defines the model used for IP performance, including network sections and measurement points, reference events and outcomes. Clause 6 uses this model to define IP packet transfer performance parameters. Clause 7 then defines IP service availability parameters. Appendix I describes IP packet routing considerations and their effects on performance. Appendix II provides secondary terminology for IP packet delay variation. Appendix III describes some possible metrics for IP packet rate and reference material for assessing the throughput and throughput capacity of IP service. Appendix IV describes estimation of IP service availability. Appendix V presents considerations for measuring the ITU-T Y.1540 parameters. Appendix VI gives some background on IP service availability. Appendix VII offers background information on the stream repair parameters, and Appendix VIII adds information on capacity parameters (including a mapping to prior IETF metrics and items for further study).

NOTE 4 – The ITU-T Y.1540 parameters may be augmented or modified based upon further study of the requirements of the IP applications (e.g., interactive, block, stream) to be supported.

NOTE 5 – The ITU-T Y.1540 speed, accuracy and dependability parameters are intended to characterize IP service in the available state.

NOTE 6 – The parameters defined in this Recommendation can apply to a single end-to-end IP service between two end hosts identified by their IP addresses. The parameters can also be applied to those IP packets from a given end-to-end IP service that are offered to a given network or exchange link (EL).

NOTE 7 – The ITU-T Y.1540 parameters are designed to characterize the performance of service provided by network elements between specified section boundaries. However, users of this Recommendation should be aware that network elements outside the specified boundaries can sometimes influence the measured performance of the elements between the boundaries. Examples are described in Appendix V.

NOTE 8 – The parameters defined in this Recommendation can also be applied to any subset of the IP packets offered to a given set of network equipment. Methods for aggregating performance over a set of network equipment or over an entire network are outside of the scope of this Recommendation.

NOTE 9 – This Recommendation does not provide the tools for explicit characterization of routing stability. However, the effects of route instability can be quantified using the loss, delay and severe loss block parameters defined in this Recommendation.

NOTE 10 – Specification of numerical performance objectives for some of the ITU-T Y.1540 performance parameters may be found in [ITU-T Y.1541].

NOTE 11 – The word "provisional", as used in this Recommendation, means that there is agreement on the stability of the value referenced, but that the value may change following further study, or on the basis of real network operational experience.

2 References

The following ITU-T Recommendations and other references contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Recommendation. At the time of publication, the editions indicated were valid. All Recommendations and other references are subject to revision; users of this Recommendation are therefore encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the Recommendations and other references listed below. A list of the currently valid ITU-T Recommendations is regularly published. The reference to a document within this Recommendation does not give it, as a stand-alone document, the status of a Recommendation.

[ITU-T I.350] Recommendation ITU-T I.350 (1993), *General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDNs*.

[ITU-T P.10] Recommendation ITU-T P.10/G.100 (2006), *Vocabulary for performance and quality of service*.

[ITU-T Y.1541] Recommendation ITU-T Y.1541 (2006), *Network performance objectives for IP-based services*.

[IETF RFC 791] IETF RFC 791 (1981), *Internet Protocol*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc791.txt>>

[IETF RFC 2460] IETF RFC 2460 (1998), *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>>

[IETF RFC 4737] IETF RFC 4737 (2006), *Packet Reordering Metrics*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc4737.txt>>

[IETF RFC 5136] IETF RFC 5136 (2008), *Defining Network Capacity*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc5136.txt>>

[IETF RFC 5481] IETF RFC 5481 (2009), *Packet Delay Variation Applicability Statement*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc5481.txt>>

3 Abbreviations and acronyms

This Recommendation uses the following abbreviations and acronyms:

| | |
|----------|--|
| ARQ | Automatic Repeat-request |
| ATM | Asynchronous Transfer Mode |
| BTC | Bulk Transfer Capacity |
| DSCP | Differentiated Services Code Point |
| DST | Destination host |
| EL | Exchange Link |
| ER | Edge Router |
| FEC | Forward Error Correction |
| FTP | File Transfer Protocol |
| HTTP | Hypertext Transfer Protocol |
| IP | Internet Protocol |
| IPDR | Internet Protocol packet Duplicate Ratio |
| IPDV | Internet Protocol packet Delay Variation |
| IPER | Internet Protocol packet Error Ratio |
| IPIBR | Internet Protocol packet Impaired Block Ratio |
| IPIIR | Internet Protocol packet Impaired Interval Ratio |
| IPLR | Internet Protocol packet Loss Ratio |
| IPOR | Octet-based IP packet Rate |
| IPPM | IP Performance Metrics |
| IPPR | Internet Protocol Packet Rate |
| IPRE | Internet Protocol packet transfer Reference Event |
| IPRR | Internet Protocol packet Reordered Ratio |
| IPSLB | Internet Protocol packet Severe Loss Block outcome |
| IPSLBR | Internet Protocol packet Severe Loss Block Ratio |
| IPTD | Internet Protocol packet Transfer Delay |
| IPv4 | Internet Protocol version 4 |
| IPv6 | Internet Protocol version 6 |
| ISP | Internet Service Provider |
| LL | Lower Layers (protocols and technology supporting the Internet protocol layer) |
| M_{av} | The minimum number of packets recommended for assessing the availability state |
| MP | Measurement Point |
| MTBISO | Mean Time Between IP Service Outages |
| MTTISR | Mean Time To Internet protocol Service Restoral |
| N | The number of packets in a throughput probe of size N |
| NS | Network Section |

| | |
|-----------|--|
| NSE | Network Section Ensemble |
| NSP | Network Service Provider |
| PDH | Plesiochronous Digital Hierarchy |
| PDV | Packet Delay Variation |
| PIA | Percent Internet protocol service Availability |
| PIU | Percent Internet protocol service Unavailability |
| QoS | Quality of Service |
| R | Router |
| RIPR | Replicated Internet protocol Packet Ratio |
| RSVP | Resource reservation Protocol |
| RTCP | Real-Time Control Protocol |
| RTO | Retransmission Time Out |
| RTP | Real-time Transport Protocol |
| RTT | Round-Trip-Time |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy |
| SPRT | Sequential Probability Ratio Test |
| SRC | Source host |
| STD | Standard |
| T_{av} | Minimum length of time of Internet protocol availability; minimum length of time of Internet protocol unavailability |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| T_{max} | Maximum Internet protocol packet delay beyond which the packet is declared to be lost |
| ToS | Type of Service |
| T_s | Length of time defining the block in the severe loss block outcome |
| TTL | Time To Live |
| UDP | User Datagram Protocol |

4 Layered model of performance for IP service

Figure 2 illustrates the layered nature of the performance of IP service. The performance provided to IP service users depends on the performance of other layers:

- Lower layers (LL) that provide (via "links") connection-oriented or connectionless transport supporting the IP layer. Links are terminated at points where IP packets are forwarded (i.e., "routers", "SRC" and "DST") and thus have no end-to-end significance. Links may involve different types of technologies, for example, asynchronous transfer mode (ATM), frame relay, synchronous digital hierarchy (SDH), plesiochronous digital hierarchy (PDH), ISDN and leased lines. There may be several layers of protocols and services below the IP layer, and these, in the end, make use of various types of physical media.
- The IP layer that provides connectionless transport of IP datagrams (i.e., IP packets). The IP layer has end-to-end significance for a given pair of source and destination IP addresses. Certain elements in the IP packet headers may be modified by networks, but the IP user data may not be modified at or below the IP layer.

- Higher layers, supported by IP, that further enable end-to-end communications. Upper layers may include, for example, transmission control protocol (TCP), user datagram protocol (UDP), file transfer protocol (FTP), real-time transport protocol (RTP) and hypertext transfer protocol (HTTP). The higher layers will modify and may enhance the end-to-end performance provided at the IP layer.

NOTE 1 – Clause 5 defines an IP service performance model and more precisely defines key terms used in this layered model.

NOTE 2 – Performance interactions among these layers are for further study.

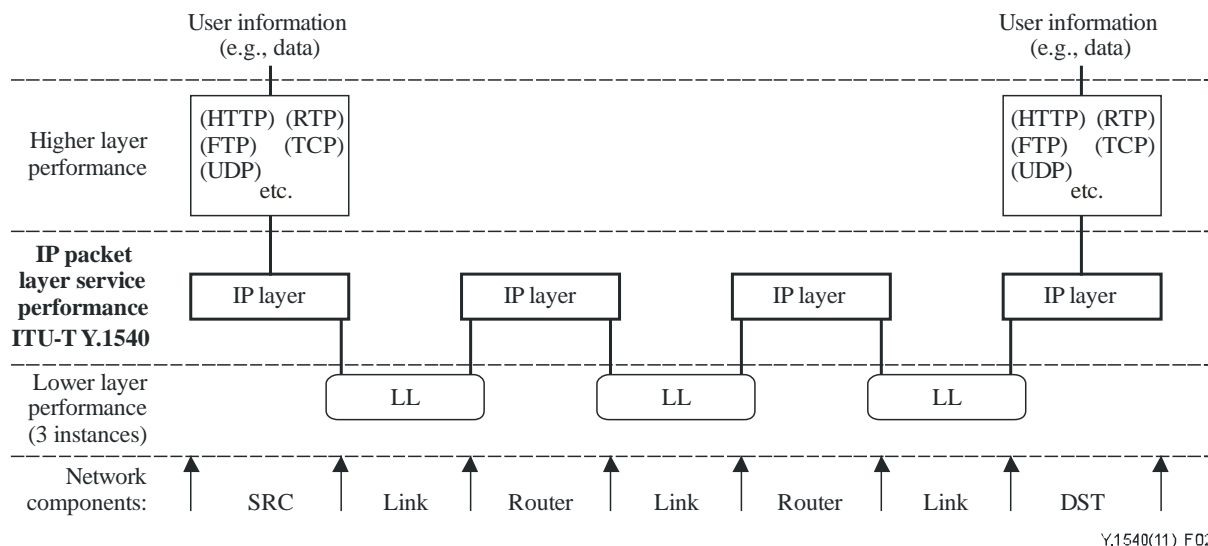


Figure 2 – Layered model of performance for IP service – Example

5 Generic IP service performance model

This clause defines a generic IP service performance model. The model is primarily composed of two types of sections: the exchange link and the network section (NS). These are defined in clause 5.2. They provide the building blocks with which any end-to-end IP service may be represented. Each of the performance parameters defined in this Recommendation can be applied to the unidirectional transfer of IP packets on a section or a concatenated set of sections.

Clause 5.4 specifies the set of IP packet transfer reference events that provide the basis for performance parameter definition. These reference events are derived from and are consistent with relevant IP service and protocol definitions. Clause 5.5 then uses those reference events to enumerate the possible outcomes when a packet is delivered into a section.

NOTE – Incorporation of all or part of the ITU-T Y.1540 performance model and reference events into [b-ITU-T I.353] is for further study.

5.1 Network components

5.1.1 Host

A computer that communicates using the Internet protocols. A host implements routing functions (i.e., it operates at the IP layer) and may implement additional functions including higher layer protocols (e.g., TCP in a source or destination host (DST)) and lower layer protocols (e.g., ATM).

5.1.2 Router

A host that enables communication between other hosts by forwarding IP packets based on the content of their IP destination address field.

5.1.3 Source host (SRC)

A host and a complete IP address where end-to-end IP packets originate. In general, a host may have more than one IP address; however, a source host (SRC) is a unique association with a single IP address. Source hosts also originate higher layer protocols (e.g., TCP) when such protocols are implemented.

5.1.4 Destination host (DST)

A host and a complete IP address where end-to-end IP packets are terminated. In general, a host may have more than one IP address; however, a destination host is a unique association with a single IP address. Destination hosts also terminate higher layer protocols (e.g., TCP) when such protocols are implemented.

5.1.5 Link

A point-to-point (physical or virtual) connection used for transporting IP packets between a pair of hosts. It does not include any parts of the hosts or any other hosts; it operates below the IP layer. For example, a link could be a leased line or it could be implemented as a logical connection over an Ethernet, a frame relay network, an ATM network, or any other network technology that functions below the IP layer.

Figure 3 illustrates the network components relevant to IP service between a SRC and a DST. Links, which could be dial-up connections, leased lines, rings, or networks are illustrated as lines between hosts. Routers are illustrated as circles and both SRC and DST are illustrated as triangles.

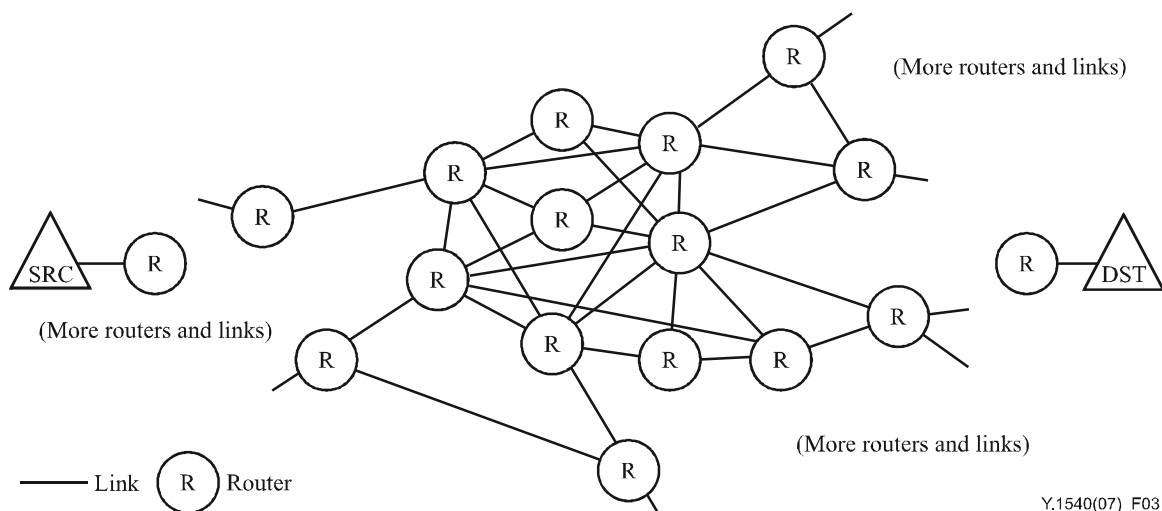


Figure 3 – IP network components

5.2 Exchange links and network sections

5.2.1 Exchange link (EL)

The link connecting:

- 1) a source or destination host to its adjacent host (e.g., router) possibly in another jurisdiction, sometimes referred to as an access link, ingress link or egress link; or
- 2) a router in one network section with a router in another network section.

Note that the responsibility for an exchange link, its capacity, and its performance, is typically shared between the connected parties.

NOTE – "Exchange link" is roughly equivalent to the term "exchange" as defined in [b-IETF RFC 2330].

5.2.2 Network section (NS)

A set of hosts together with all of their interconnecting links that together provide a part of the IP service between a SRC and a DST, and are under a single (or collaborative) jurisdictional responsibility. Some network sections consist of a single host with no interconnecting links. Source NS and destination NS are particular cases of network sections. Pairs of network sections are connected by exchange links.

NOTE – "Network section" is roughly equivalent to the term "cloud" as defined in [b-IETF RFC 2330].

Any set of hosts interconnected by links could be considered a network section. However, for the (future) purpose of IP performance allocation, it will be relevant to focus on the set of hosts and links under a single (or collaborative) jurisdictional responsibility (such as an Internet service provider (ISP) or a network service provider (NSP)). These hosts typically have the same network identifier in their IP addresses. Typically, they have their own rules for internal routing. Global processes and local policies dictate the routing choices to destinations outside of this network section (to other NS via exchange links). These network sections are typically bounded by routers that implement the IP exterior gateway protocols.

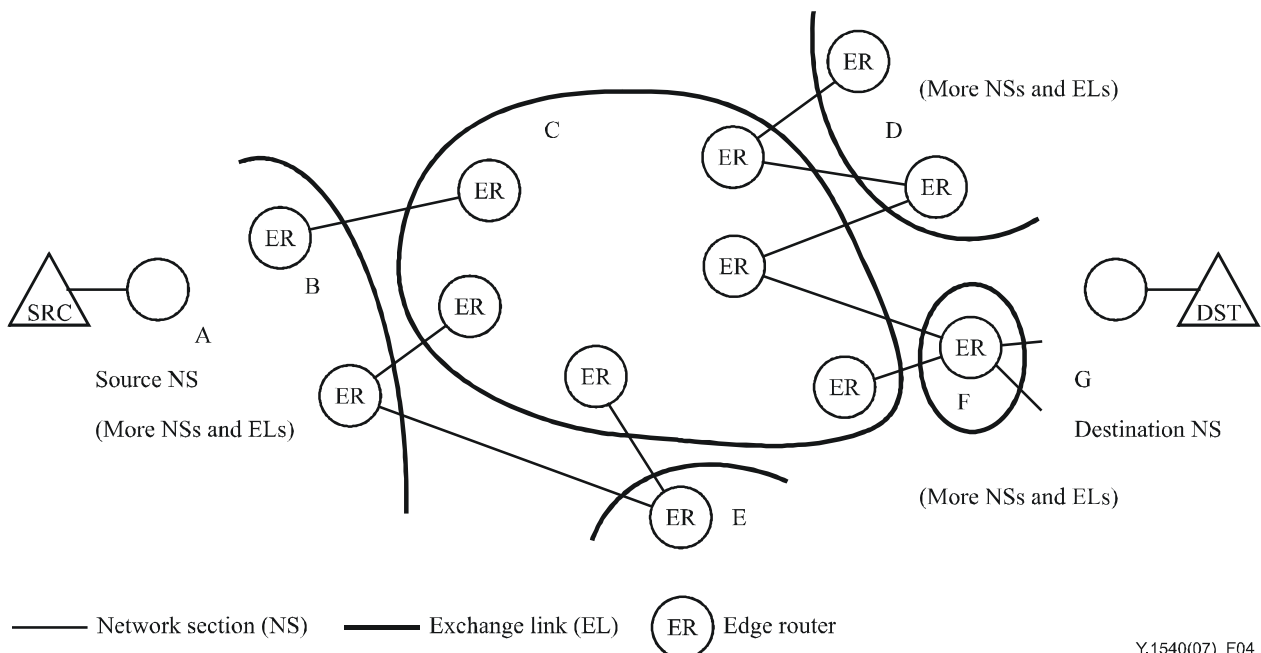
5.2.3 Source NS

The NS that includes the SRC within its jurisdictional responsibility. In some cases, the SRC is the only host within the source NS.

5.2.4 Destination NS

The NS that includes the DST within its jurisdictional responsibility. In some cases, the DST is the only host within the destination NS.

Figure 4 illustrates the network connectivity relevant to IP service between a SRC and a DST. At the edges of each NS, gateway routers receive and send packets across exchange links.



Y.1540(07)_F04

Figure 4 – IP network connectivity

5.3 Measurement points and measurable sections

5.3.1 Measurement point (MP)

The boundary between a host and an adjacent link at which performance reference events can be observed and measured. Consistent with [b-ITU-T I.353], the standard Internet protocols can be observed at IP measurement points (MPs). [b-ITU-T I.353] provides more information about MPs, for digital services.

NOTE – The exact location of the IP service MP within the IP protocol stack is for further study.

A section or a combination of sections is measurable if it is bounded by a set of MPs. In this Recommendation, the following sections are measurable.

5.3.2 Basic section

Either an EL, an NS, a SRC or a DST. Basic sections are delimited by MPs.

The performance of any EL or NS is measurable relative to any given unidirectional end-to-end IP service. The *ingress MPs* are the set of MPs crossed by packets from that service as they go into that basic section. The *egress MPs* are the set of MPs crossed by packets from that service as they leave that basic section.

5.3.3 End-to-end IP network

The set of ELs and NSs that provide the transport of IP packets transmitted from SRC to DST. The MPs that bind the end-to-end IP network are the MPs at the SRC and the DST.

The end-to-end IP network performance is measurable relative to any given unidirectional end-to-end IP service. The *ingress MPs* are the MPs crossed by packets from that service as they go into the end-to-end network at the SRC. The *egress MPs* are the MPs crossed by packets from that service as they leave the end-to-end network at the DST.

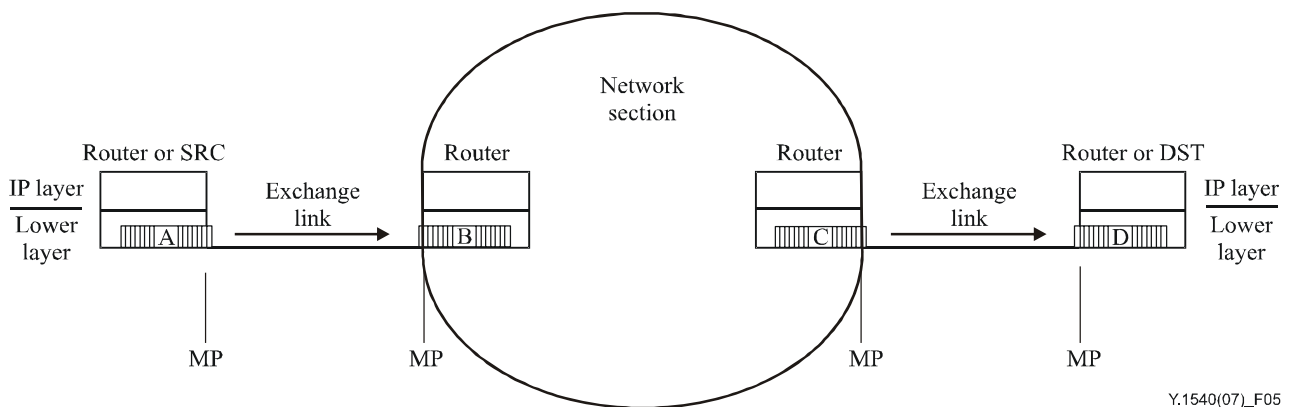
5.3.4 Network section ensemble (NSE)

A network section ensemble (NSE) refers to any connected subset of NSs together with all of the ELs that interconnect them. The term "NSE" can be used to refer to a single NS, two NSs, or any number of NSs and their connecting ELs. Pairs of distinct NSEs are connected by exchange links. The term "NSE" can also be used to represent the entire end-to-end IP network. NSEs are delimited by MPs.

The performance of any given NSE is measurable relative to any given unidirectional end-to-end IP service. The *ingress MPs* are the set of MPs crossed by packets from that service as they go into that NSE. The *egress MPs* are the set of MPs crossed by packets from that service as they leave that NSE.

5.4 IP packet transfer reference events (IPREs)

In the context of this Recommendation, the following definitions apply on a specified end-to-end IP service. The defined terms are illustrated in Figure 5.



NOTE 1 – IP exit events for packets A and C.
 NOTE 2 – IP entry events for packets B and D.

Figure 5 – Example IP packet transfer reference events

An IP packet transfer event occurs when:

- an IP packet crosses a MP; and
- standard IP procedures applied to the packet verify that the header checksum is valid; and
- the source and destination address fields within the IP packet header represent the IP addresses of the expected SRC and DST.

NOTE – The IP packet header contains information including type of service (ToS) or differentiated services code point (DSCP). How such information may affect packet transfer performance is for further study.

IP packet transfer reference events are defined without regard to packet fragmentation. They occur for every IP packet crossing any MP regardless of the value contained in the "more-fragments flag".

Four types of IP packet transfer events are defined:

5.4.1 IP packet entry event into a host

An IP packet transfer entry event into a host occurs when an IP packet crosses an MP entering a host (NS router or DST) from the attached EL.

5.4.2 IP packet exit event from a host

An IP packet transfer exit event from a host occurs when an IP packet crosses an MP exiting a host (NS router or SRC) into the attached EL.

5.4.3 IP packet ingress event into a basic section or NSE

An IP packet transfer ingress into a basic section or NSE event occurs when an IP packet crosses an ingress MP into a basic section or an NSE.

5.4.4 IP packet egress event from a basic section or NSE

An IP packet transfer egress event from a basic section or NSE occurs when an IP packet crosses an egress MP out of a basic section or an NSE.

NOTE 1 – IP packet entry and exit events always represent, respectively, entry into and exit from a host. IP packet ingress events and egress events always represent ingress into and egress from a section or an NSE. To illustrate this point, note that an ingress into an EL creates an exit event from the preceding host, while an ingress into an NS is an entry event because, by definition, NSs always have hosts at their edges.

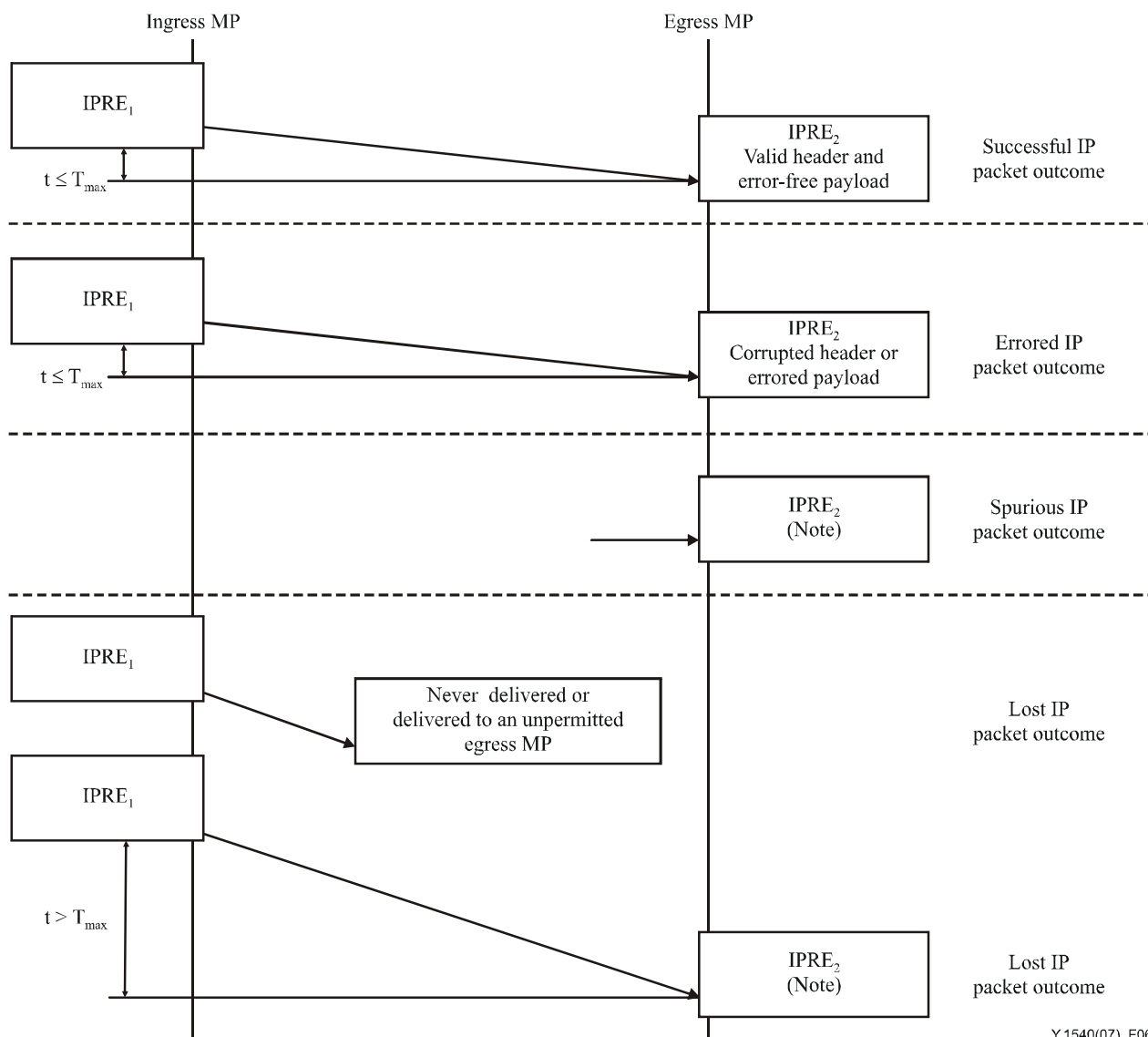
NOTE 2 – For practical measurement purposes, IP packet transfer reference events need not be observed within the IP protocol stack of the host. Instead, the time of occurrence of these reference events can be approximated by observing the IP packets crossing an associated physical interface. This physical interface should, however, be as near as possible to the desired MP. In cases where reference events are monitored at a

physical interface, the time of occurrence of an exit event from a host is approximated by the observation of the first bit of the IP packet coming from the host or test equipment. The time of occurrence of an entry event into a host is approximated by the observation of the last bit of the IP packet going to the host or test equipment.

5.5 IP packet transfer outcomes

By considering IP packet transfer reference events, a number of possible IP transfer outcomes may be defined for any packet attempting to cross a basic section or an NSE. A transmitted IP packet is either *successfully transferred*, *errored* or *lost*. A delivered IP packet for which no corresponding IP packet was offered is said to be *spurious*. Figure 6 illustrates the IP packet transfer outcomes.

The definitions of IP packet transfer outcomes are based on the concepts of *permissible ingress MP*, *permissible egress MP* and *corresponding packets*.



NOTE – Outcome occurs independent of IP packet contents.

Figure 6 – IP packet transfer outcomes

5.5.1 Global routing information and permissible output links

In theory, in a connected IP network, a packet can be delivered to any router, NS or NSE, and still arrive at its destination. However, global routing information defines a restricted set of destination addresses that each network (autonomous system) is willing and able to serve on behalf of each of its adjoining NS. It is reasonable to assume that (in the worst case) an NS will completely discard any

packets with destination addresses for which that NS has announced an inability (or an unwillingness) to serve. Therefore, all IP packets (and fragments of packets) leaving a basic section should only be forwarded to other basic sections as *permitted* by the available global routing information.

For performance purposes, the transport of an IP packet by an NSE will be considered successful only when that NSE forwards the entire packet contents to other basic sections as permitted by the currently available global routing information. If the destination address corresponds to a host attached directly to this NSE, the only permitted output and the only successful IP transport is a forwarding to the destination host.

NOTE 1 – IP procedures include updating of global routing information. An NS that was permissible may no longer be permissible following an update of the routing information shared between NSs. Alternatively, an NS that was not previously permissible may have become permissible after an update of the global routing information.

NOTE 2 – Routing information can be supplemented by information about the relative suitability of each of the permitted output links. The performance implications of that additional information are for further study.

At a given time, and relative to a given end-to-end IP service and a basic section or NSE:

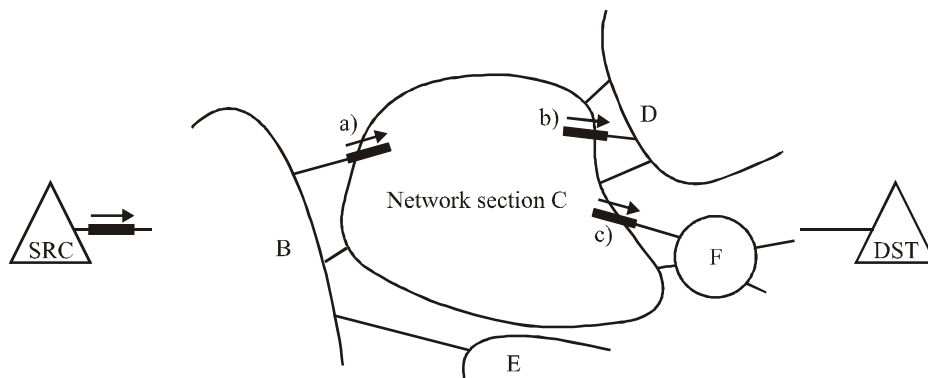
- an ingress MP is a *permissible ingress MP* if the crossing of this MP into this basic section or NSE is permitted by the global routing information;
- an egress MP is a *permissible egress MP* if the crossing of this MP leads into another basic section that is permitted by the global routing information.

5.5.2 Corresponding events

Performance analysis makes it necessary to associate the packets crossing one MP with the packets that crossed a different MP. Connectionless routing means a packet may leave a basic section on any one of (possibly) several permissible egress MP. Packet fragmentation means that a packet going into a basic section may leave in fragments, possibly into several different other basic sections. Finally, connectionless IP routing may even send a packet or a fragment back into a basic section it has already traversed (possibly due to the updating of routing tables).

An IP egress event is said to *correspond* to an earlier ingress event if they were created by the "same" IP packet. This concept applies whether the packet at the egress MP is the whole packet or just a fragment of the original. Figure 7 illustrates a case where a packet goes into NS C from NS B and is fragmented into two parts in NS C. One of the fragments is sent to NS D and the other to NS F. Both of these egress events *correspond* to the single ingress event. To avoid confusion resulting from packets re-entering the NSE, this concept of *correspondence* also requires that this be the first time (since its ingress) this particular content has departed from the NSE.

The practical determination of whether IP reference events are corresponding is usually *ad hoc* and will often rely on consideration of the IP addresses, the global routing information, the IP packet identification field, other header information and the IP packet contents.



Y.1540(07)_F07

An IP packet from SRC to DST enters NS C, creates an ingress event, is fragmented, and creates two corresponding egress events, b) and c).

Figure 7 – Corresponding events when fragmentation occurs

5.5.3 Notes about the definitions of successful, errored, lost and spurious packet outcomes

Each of the following definitions of individual packet outcomes is based on observing IP reference events at IP measurement points. By selecting the appropriate IP measurement points, each definition can be used to evaluate the performance of a particular EL, a particular NS, a particular NSE, and they can be applied to the performance of end-to-end services.

These outcomes are defined without restriction to a particular packet type (ToS, DSCP, protocol, etc.). IP performance will differ by packet type.

In each definition, the possibility of packet fragmentation is accounted for by including the possibility that a single IP reference event could result in several subsequent events. Note that if any fragment is lost, the whole original packet is considered lost. If no fragments are lost, but some are errored, the entire original packet is considered errored. For the delivery of the original packet to be considered successful, each fragment must be successfully delivered to one of the permissible output EIs.

5.5.4 Successful IP packet transfer outcome

A successful packet transfer outcome occurs when a single IP packet reference event at a permissible ingress MP_0 results in one (or more) corresponding reference event(s) at one (or more) egress MP_i , all within a specified time T_{max} of the original ingress event and:

- 1) all egress MP_i where the corresponding reference events occur are permissible; and
- 2) the complete contents of the original packet observed at MP_0 are included in the delivered packet(s); and
- 3) the binary contents of the delivered IP packet information field(s) conform exactly with that of the original packet; and
- 4) the header field(s) of the delivered packet(s) is (are) valid.

NOTE – The value of T_{max} is recommended to be set at 3 seconds for general use. Some global end-to-end paths may require a larger value of T_{max} to ensure that packets with long transfer times have adequate opportunity to arrive. The value of 3 seconds has been used in practice.

5.5.5 Errored IP packet outcome

An errored packet outcome occurs when a single IP packet reference event at a permissible ingress MP_0 results in one (or more) corresponding reference event(s) at one (or more) egress MP_i , all within T_{max} time of the original reference event and:

- 1) all egress MP_i where the corresponding reference events occur are permissible; and
- 2) the complete contents of the original packet observed at MP_0 are included in the delivered packet(s); and

- 3) either:
- the binary contents of the delivered IP packet information field(s) do not conform exactly with that of the original packet; or
 - one or more of the header field(s) of the delivered packet(s) is (are) corrupted.

NOTE – Most packets with errored headers that are not detected by the header checksum at the IP layer will be discarded or redirected by other IP layer procedures (e.g., based on corruption in the address or ToS/DSCP fields). The result is that no reference event is created for the higher layer protocols expecting to receive this packet. Because there is no IP reference event, these packet transfer attempts will be classified as lost packet outcomes. Errored headers that do not result in discarding or misdirecting will be classified as errored packet outcomes.

5.5.6 Lost IP packet outcome

A lost packet outcome occurs when there is a single IP packet reference event at a permissible ingress MP_1 , and when some or all of the contents corresponding to that ingress packet do not result in an IP packet reference event at a permissible egress MP_n within the time T_{max} .

A lost packet outcome may in fact be one or more *misdirected packet* outcomes (which were not observed), as defined below.

A misdirected packet occurs when a single IP packet reference event at a permissible ingress MP_0 results in one (or more) corresponding reference event(s) at one (or more) egress MP_i , all within a specified T_{max} time of the original reference event and:

- 1) the complete contents of the original packet observed at MP_0 are included in the delivered packet(s); but
- 2) one or more of the egress MP_i where the corresponding reference events occur is (are) not permissible egress $MP(s)$.

5.5.7 Spurious IP packet outcome

A spurious IP packet outcome occurs for a basic section, an NSE, on an end-to-end IP service when a single IP packet creates an egress event for which there was no corresponding ingress event.

5.5.8 Secondary IP packet outcomes

The following outcomes are based on the fundamental outcomes described above.

5.5.8.1 In-order and reordered IP packet outcomes

The definition of these IP packet outcomes requires some background discussion.

In-order packet delivery is a property of successful packet transfer attempts, where the sending packet order is preserved on arrival at the destination host (or measurement point). Arrival order is determined by the position relative to other packets of interest, though the extent to which a given packet has been reordered may be quantified in the units of position, time and payload byte distances. A reordered packet performance parameter is relevant for most applications, especially when assessing network support for real-time media streams, owing to their finite ability to restore order or when the performance implies a lack of that capability. Packets usually contain some unique identifier applied at the SRC, sometimes assumed to be a sequence number, so this number or other information (such as time stamps from the MP_0) is the reference for the original order at the source. The evaluation of arrival order also requires the ability to determine which specific packet is the "next expected" packet, and this is greatly simplified where sequence numbers are consecutive increasing integers.

An in-order packet outcome occurs when a single IP packet reference event at a permissible egress measurement point results in the following:

- The packet has a sequence number greater than or equal to the next expected packet value. The next expected value increases to reflect the arrival of this packet, setting a new value of expectation.

A reordered or out-of-order packet outcome occurs when a single IP packet reference event at a permissible egress measurement point results in the following:

- The packet has a sequence number lower than the next expected packet value and therefore the packet is reordered. The next expected value does not change due to arrival of this packet.

5.5.8.2 IP packet severe loss block outcome

An IP packet severe loss block outcome (IPSLB) occurs for a block of packets observed during time interval T_s at ingress MP_0 when the ratio of lost packets at egress MP_i to total packets in the block exceeds s_1 .

The value of time interval T_s is provisionally set at 10 seconds. The value of threshold s_1 is provisionally set at 0.2. Evaluation of successive blocks (time intervals) should be non-overlapping.

NOTE – These values are intended to identify IP path changes due to routing updates, which cause significant degradation to most user applications. The values may change following further study and experience. Lower values of s_1 would capture additional network events that may affect the operation of connectivity-sensitive applications. Also, significant degradation to video and audio applications may be well correlated with the IPSLB outcome when using T_s block lengths of approximately 1 second, and use of this value may be important in the future.

The minimum number of packets that should be used in evaluating the severe loss block outcome is M_{lb} , and these packets should be spread throughout a T_s interval. The value of M_{lb} is for further study.

5.5.8.3 Duplicate IP packet outcome

A duplicate packet transfer outcome is a subset of successful packet outcomes, and occurs when a single IP packet reference event at a permissible ingress MP_0 results in two or more corresponding reference event(s) on at least one permissible egress MP_i , and the binary information fields of all the output packets are identical to the original packet. The egress reference event at MP_i for a duplicate packet occurs subsequently to at least one other corresponding egress reference event for the original packet (usually also at MP_i).

Note that in point-to-point communication, there is only one permissible egress MP_i where the destination host is directly attached to the NSE. In point-to-multipoint communication, there may be many permissible egress MP_i for the various destinations.

5.5.8.4 Replicated IP packet outcome

A replicated packet transfer outcome occurs when a single IP packet reference event at a permissible ingress MP_0 results in two or more corresponding reference event(s) on at least one permissible egress MP_i , and the binary information fields of all the output packets are identical to the original packet. The egress reference event at MP_i for a replicated packet is the first for the original packet and occurs prior to at least one other egress reference event for a duplicate packet (usually also at MP_i).

5.5.9 Stream-repair IP packet outcomes

The following outcomes are based on the fundamental outcomes, with additional analysis based on a model of stream repair systems. Appendix VII gives more background on this topic and the impairment mitigation techniques (above IP-layer) that are addressed.

5.5.9.1 Simple model of application-layer stream repair techniques

Appendix VII also defines a simple model, described below. Each stream of application-layer packets is modelled as containing two categories of packets:

- intervals or blocks of information packets;

- the maximum number of repairable packets associated with the information block.

The challenge to the repair technique designer is to choose the information block size in combination with the (maximum) repair capability that will be sufficient to compensate for a high percentage of packet network impairments (loss, excessive delay, and corruption), while working within the overall packet transfer capacity limits of the system and delivering sufficient quality in the application stream.

The new performance parameters should aid these decisions.

5.5.9.2 Impaired packet outcome and IP packet impaired interval outcome

An *IP packet impaired interval outcome* occurs for a set of packets observed during time interval T_1 at ingress MP_0 when the number of impaired packet outcomes at egress MP_i exceeds x . Note that the time interval T_1 includes both information and overhead or repair packets (if embedded in the ingress stream).

Impaired packet outcomes are the sum of the following outcomes:

- lost packet outcomes, using a T_{max} associated with T_1 and the nominal transfer time, and possibly equal to the minimum packet transfer delay for the population of interest plus (a multiple of) T_1 . This would include packets that are subject to excessive queuing as well as those that never arrive;
- errored packet outcomes.

Note that one distinguishing factor between this outcome and other packet loss/block metrics is the combination of exceptionally delayed packets (beyond a delay variation threshold) with packets that never arrive (and are truly lost during transfer) in a single category: Impaired Packets.

There are no provisional values set for time interval T_1 and threshold x . Instead, the analysis may involve a range of values for interval T_1 and threshold x . The length of the IP packet payload should also be specified, as this influences the serialization time and therefore the time interval occupied by a block of packets.

5.5.9.3 IP packet impaired block outcome

An *IP packet impaired block outcome* occurs for a set of packets of block size b , observed at ingress MP_0 when the number of impaired packet outcomes at egress MP_i in the block exceeds x . There are no provisional values set for the block size b and the repair threshold x .

6 IP packet transfer performance parameters

This clause defines a set of IP packet information transfer performance parameters using the IP packet transfer outcomes defined in clause 5.5. All of the parameters may be estimated on the basis of observations made at MP that bound the basic section or NSE under test.

NOTE – Definitions of additional IP packet transfer performance parameters (e.g., severely errored IP packet block ratio) are for further study.

6.1 Packet qualifications

This clause defines key terminology for qualifying the applicability of performance parameters to sets of packets.

6.1.1 Populations of interest

Most of the performance parameters are defined over sets of packets called *populations of interest*. For the *end-to-end case*, the population of interest is usually the total set of packets being sent from SRC to DST. The measurement points in the end-to-end case are the MP at the SRC and DST.

For a basic section or NSE and relative to a particular SRC and DST pair, the population of interest at a particular permissible ingress MP is that set of packets being sent from SRC to DST that are routed into the basic section or NSE across that specific MP. This is called the *specific-ingress case*.

The total population of interest for a basic section or NSE relative to a particular SRC and DST pair is the total set of packets from SRC to DST that are delivered into the section or NSE across any of its permissible ingress MPs. This is called the *ingress-independent case*.

Each of these IP performance parameters are defined without reference to a particular packet type (ToS, DSCP, protocol, etc.) Performance will differ by packet type and any statement about measured performance should include information about which packet type or types were included in the population.

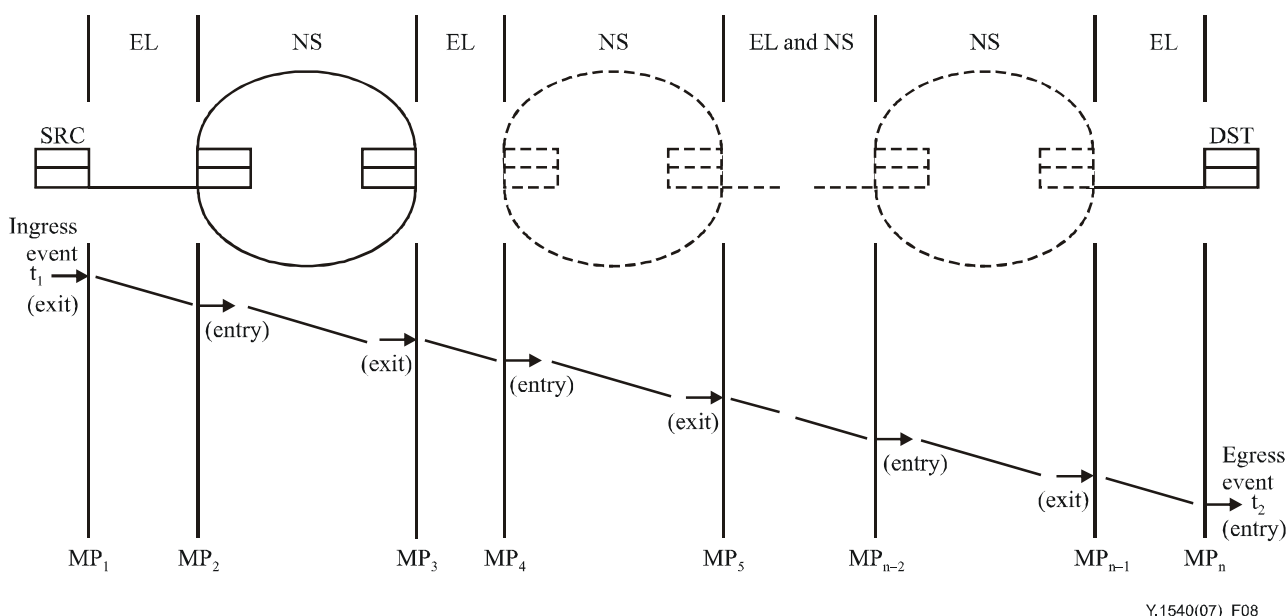
6.1.2 Packet flow

A packet flow is the set of packets associated with a given connection or connectionless stream having the same source host address (SRC), destination host address (DST), class of service, and session identification (e.g., port numbers from a higher-layer protocol). Other documents may use the terms microflow or subflow when referring to packet streams with this degree of classification. A packet flow is the most common example of a population of interest.

IPv6 packets have an additional field for the source host to label sequences of packets which should receive some special treatment in IPv6 routers. This field is called the flow label and, in combination with the source address, uniquely defines a packet flow.

6.2 IP packet transfer delay

IP packet transfer delay (IPTD) is defined for all successful and errored packet outcomes across a basic section or an NSE. IPTD is the time, $(t_2 - t_1)$ between the occurrence of two corresponding IP packet reference events, ingress event $IPRE_1$ at time t_1 and egress event $IPRE_2$ at time t_2 , where $(t_2 > t_1)$ and $(t_2 - t_1) \leq T_{max}$. If the packet is fragmented within the NSE, t_2 is the time of the final corresponding egress event. The end-to-end IP packet transfer delay is the one-way delay between the MP at the SRC and DST as illustrated in Figure 8.



**Figure 8 – IP packet transfer delay events
(illustrated for the end-to-end transfer of a single IP packet)**

6.2.1 Mean IP packet transfer delay

Mean IP packet transfer delay is the arithmetic average of IP packet transfer delays for a population of interest.

6.2.2 Minimum IP packet transfer delay

Minimum IP packet transfer delay is the smallest value of IP packet transfer delay among all IP packet transfer delays of a population of interest. This includes propagation delay and queuing delays common to all packets. Therefore, this parameter may not represent the theoretical minimum delay of the path between MP.

6.2.3 Median IP packet transfer delay

The median IP packet transfer delay is the 50th percentile of the frequency distribution of IP packet transfer delays from a population of interest. The median is the middle value once the transfer delays have been rank-ordered. To obtain this middle value when the population contains an even number of values, then the mean of the two central values is used.

6.2.4 End-to-end 2-point IP packet delay variation

The variations in IP packet transfer delay are also important. Streaming applications might use information about the total range of IP delay variation to avoid buffer underflow and overflow. Extreme variations in IP delay will cause TCP retransmission timer thresholds to grow and may also cause packet retransmissions to be delayed or cause packets to be retransmitted unnecessarily.

End-to-end 2-point IP packet delay variation (PDV) is defined based on the observations of corresponding IP packet arrivals at ingress and egress MP (e.g., MP_{DST} , MP_{SRC}). These observations characterize the variability in the pattern of IP packet arrival events at the egress MP and the pattern of corresponding events at the ingress MP with respect to a reference delay.

The 2-point PDV (v_k) for an IP packet k between SRC and DST is the difference between the absolute IP packet transfer delay (x_k) of packet k and a defined reference IP packet transfer delay, $d_{1,2}$, between those same MPs (see Figure 9): $v_k = x_k - d_{1,2}$.

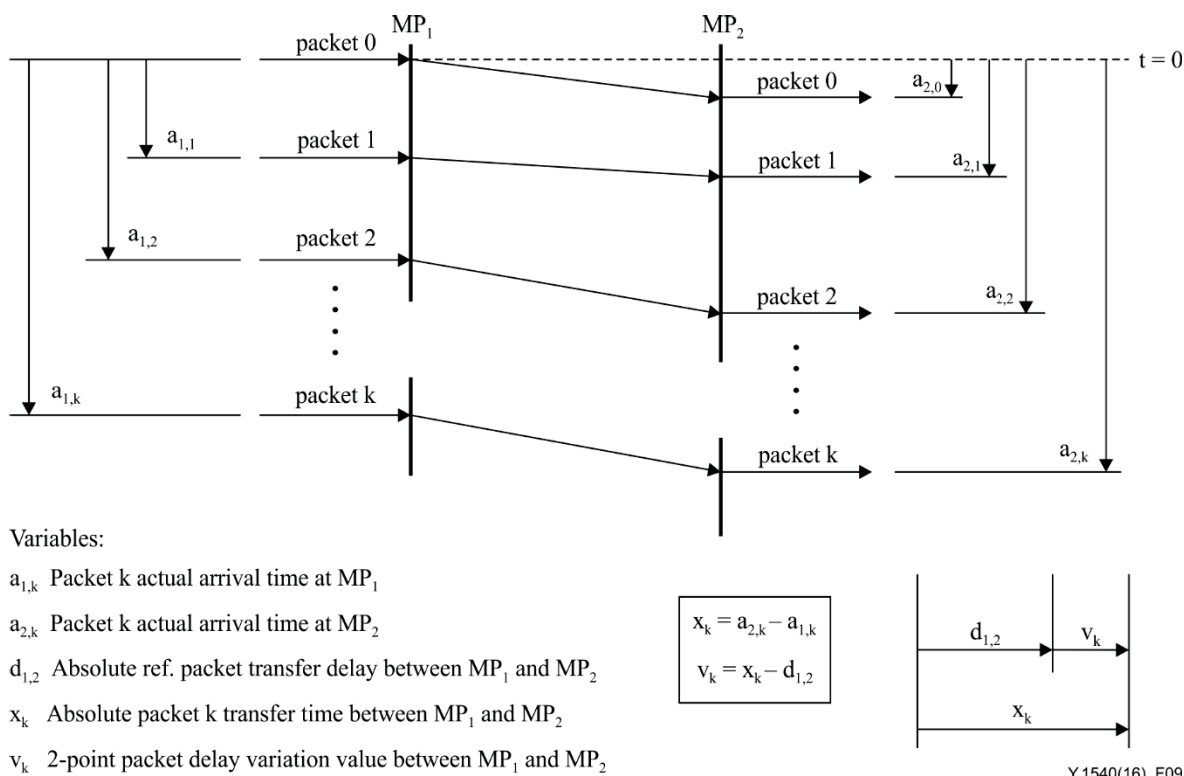


Figure 9 – 2-point IP packet delay variation

The reference IP packet transfer delay, $d_{1,2}$, between SRC and DST is the absolute IP packet transfer delay experienced by a selected IP packet between those two MPs.

Positive values of 2-point IP packet delay variation (IPDV) correspond to IP packet transfer delays greater than those experienced by the reference IP packet; negative values of 2-point PDV correspond to IP packet transfer delays less than those experienced by the reference IP packet. The distribution of 2-point PDVs is identical to the distribution of absolute IP packet transfer delays displaced by a constant value equal to $d_{1,2}$.

6.2.4.1 Using minimum delay as the basis for delay variation

As illustrated in Figure 9, the delay variation of an individual packet is naturally defined as the difference between the actual delay experienced by that packet and a nominal or reference delay. The preferred reference (used in [ITU-T Y.1541] IPDV objectives) is the minimum delay of the population of interest. This ensures that all variations will be reported as positive values, and simplifies reporting the range of variation (the maximum value of variation is equal to the range). Distributions of delay variation in IP networks often exhibit a bias toward the minimum (e.g., the minimum and the mode are equal). Many more useful capabilities of this form of delay variation – PDV, using the minimum delay as reference – are detailed in [IETF RFC 5481].

Use of the average delay as the delay variation reference is depreciated in this version of this Recommendation.

In previous versions of this Recommendation, there was an alternative to using the minimum packet delay as the nominal delay: to use the average delay of the population of interest as the nominal or reference delay. This has the effect of centring the distribution of delay variation values on zero (when the distribution is symmetrical), and produces both positive and negative variations. However, the average delay of the population may be distinctly different from the delay of any individual packet, creating an artificial reference for variation (e.g., when a bimodal distribution is present).

6.2.4.2 Quantile-based limits on IP packet delay variation

The preferred method (used in [ITU-T Y.1541] objectives) for summarizing the delay variation of a population of interest is to select upper and lower quantiles of the delay variation distribution and then measure the distance between those quantiles. For example, select the $1 - 10^{-3}$ quantile and the 0 quantile (or minimum), make measurements, and observe the difference between the delay variation values at these two quantiles. This example would help application designers determine the de-jitter buffer size for no more than 0.1% total buffer overflow.

An objective for IP packet delay variation could be established by choosing an upper bound for the difference between pre-specified quantiles of the delay variation distribution. For example, "The difference between the 99.9 quantile and the minimum of the packet delay variation should be no more than 50 ms."

6.2.4.3 Interval-based limits on IP packet delay variation

An alternative method for summarizing the IP packet delay variation experienced by a population of interest is to pre-specify a delay variation interval, e.g., 50 ms, and then observe the percentage of individual packet delay variations that fall inside and outside of that interval. If the 50 ms interval were used, application with fixed buffer sizes of at or near 50 ms would then know approximately how many packets would cause buffer over- or under-flow.

NOTE – If this method is used for summarizing IP packet delay variation, the delay variant of individual packets should be calculated using the minimum delay as nominal in clause 6.2.4.1, instead of the definition of clause 6.2.4 using the first packet. Using the definition of clause 6.2.4, the pre-selected interval (e.g., the 50 ms) might occasionally be anchored on an unusually large or small value.

An objective for IP packet delay variation could be established by choosing a lower bound for the percentage of individual packet delay variations that fall within a pre-specified interval. For example, "≥99.9% of packet delay variations should be within the interval [0 ms, 50 ms]".

6.2.4.4 Secondary parameters for IP packet delay variation

One or more parameters that capture the effect of IP packet delay variations on different applications may be useful. It may be appropriate to differentiate the (typically small) packet-to-packet delay variations from the potentially larger discontinuities in delay that can result from a change in the IP routing. Appendix II gives several secondary definitions of delay variation and guidance on their use.

6.3 IP packet error ratio (IPER)

IP packet error ratio (IPER) is the ratio of total errored IP packet outcomes to the total of successful IP packet transfer outcomes plus errored IP packet outcomes in a population of interest.

6.4 IP packet loss ratio (IPLR)

IP packet loss ratio (IPLR) is the ratio of total lost IP packet outcomes to total transmitted IP packets in a population of interest.

NOTE – Metrics for describing one-way loss patterns may be found in [b-IETF RFC 3357]. Consecutive packet loss is of particular interest to certain non-elastic real-time applications, such as voice and video.

6.5 Spurious IP packet rate

Spurious IP packet rate at an egress MP is the total number of spurious IP packets observed at that egress MP during a specified time interval divided by the time interval duration (equivalently, the number of spurious IP packets per service-second)¹.

6.6 IP packet reordered ratio (IPRR)

An IP packet reordered ratio (IPRR) is the ratio of the total reordered packet outcomes to the total of successful IP packet transfer outcomes in a population of interest.

Figure 10 illustrates an out-of-order packet outcome for packet 2, and a hypothetical tolerance on arrival time with a playout buffer that can restore order.

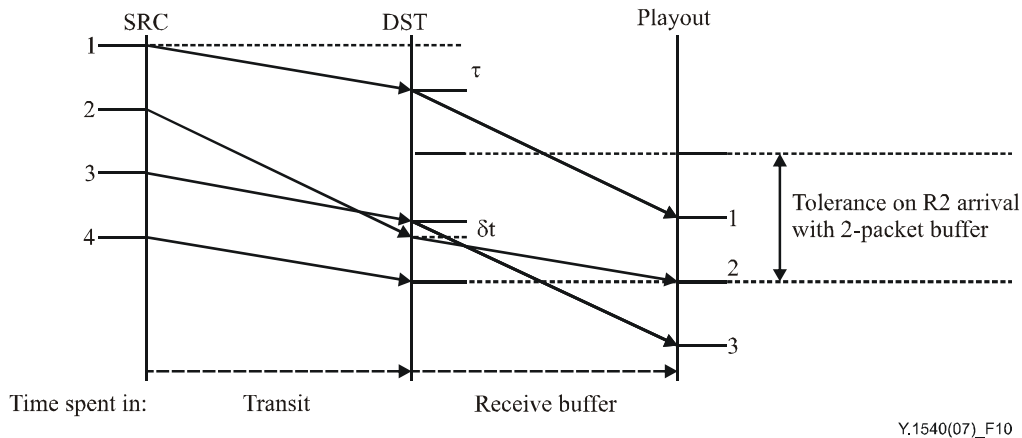


Figure 10 – Illustration of reordered arrival

If separate reordering events can be distinguished, then an event count may also be reported (along with the event criteria).

It is also possible to assert the degree to which a packet is reordered. Any packet whose sequence number causes the next expected value to increment by more than the standard increment indicates a discontinuity in the arrival order. From this point on, any (reordered) packets with sequence number less than the next expected value can be quantified with a distance with respect to the discontinuity. The distance may be in units of position, time or the sum byte payloads of intervening packets. Referring to Figure 10 for an example, packet 2 can be said to be "late" by δt seconds, or 1 packet in terms of position.

[IETF RFC 4737] should be consulted for additional reordering parameters.

6.7 IP packet severe loss block ratio (IPSLBR)

An IP packet severe loss block ratio (IPSLBR) is the ratio of the IP packet severe loss block outcomes to total blocks in a population of interest.

NOTE – This parameter can identify multiple IP path changes due to routing updates, also known as route flapping, which causes significant degradation to most user applications.

¹ Since the mechanisms that cause spurious IP packets are expected to have little to do with the number of IP packets transmitted across the sections under test, this performance parameter is not expressed as a ratio, only as a rate.

6.8 IP packet duplicate ratio (IPDR)

IP packet duplicate ratio (IPDR) is the ratio of total duplicate IP packet outcomes to the total of successful IP packet transfer outcomes minus the duplicate IP packet outcomes in a population of interest.

6.9 Replicated IP packet ratio (RIPR)

The replicated IP packet ratio (RIPR) is the ratio of total replicated IP packet outcomes to the total of successful IP packet transfer outcomes minus the duplicate IP packet outcomes in a population of interest.

6.10 Stream repair parameters

Ideally, we would like to know the probability that a given packet interval (or information block, b) will contain more than x impaired packets.

$$P(b, x) = p, \text{ or } P(T_i, x) = p$$

Measurement of the impaired packet outcomes occurring in a *population of interest* should provide an empirical assessment of the probability during available time.

6.10.1 IP packet impaired interval ratio (IPIIR)

An IP packet impaired interval ratio is the ratio of the IP packet impaired interval outcomes to total non-overlapping intervals in a population of interest.

6.10.2 IP packet impaired block ratio (IPIBR)

An IP packet impaired block ratio (IPIBR) is the ratio of the IP packet impaired block outcomes to total non-overlapping blocks in a population of interest.

6.11 Capacity parameters

An end-to-end IP packet transfer service traverses an ordered sequence of basic sections from a source host, to a destination host. The capacity parameters described below define properties for basic sections in terms of their ability to carry IP traffic, and corresponding properties for NSEs, also referred to as "paths". It is important to note that a basic section as well as a sequence of basic sections is associated with a direction. The direction is significant, as the properties of a sequence of sections in the forward direction need not be the same as in the reverse direction.

Note that, in contrast to the flow-related parameters defined in clause 6.12, the capacity-related parameters are not dependent on higher layer protocols on top of IP (e.g., TCP).

6.11.1 Section metrics

6.11.1.1 IP-layer bits transferred

For a given population of interest, the IP-layer bits transferred are defined as eight (8) times the number of octets in all IP packets generating successful IP packet transfer outcomes at an egress measurement point, from the first octet of the IP header to the last octet of the IP packet payload, inclusive.

Note that this definition is identical to the definition of IP-layer bits in [IETF RFC 5136]. Also note that the definition of IP-layer bits is IP-version agnostic.

6.11.1.2 IP-layer section capacity

For a given population of interest, the IP-layer section capacity is:

$$C(t, \Delta t) = \frac{n_0(t, \Delta t)}{\Delta t}$$

where n_0 is the highest number of IP-layer bits that can be transferred over a basic section generating successful IP packet transfer outcomes at the egress measurement point during a specified time interval $[t, t + \Delta t]$.

6.11.1.3 IP-layer used section capacity

For a given population of interest, the IP-layer used section capacity is:

$$U(t, \Delta t) = \frac{n(t, \Delta t)}{\Delta t}$$

where n is the actual number of IP-layer bits transferred over a basic section generating successful IP packet transfer outcomes at the egress measurement point during a specified time interval $[t, t + \Delta t]$.

6.11.1.4 IP-layer section utilization

For a given population of interest, the IP-layer section utilization $V(t, \Delta t)$ is defined as the ratio between the IP-layer used section capacity $U(t, \Delta t)$ and the IP-layer section capacity $C(t, \Delta t)$. That is:

$$V(t, \Delta t) = U(t, \Delta t) / C(t, \Delta t)$$

6.11.1.5 IP-layer available section capacity

For a given population of interest, the IP-layer available section capacity, $A(t, \Delta t)$, is the unused portion of the IP-layer section capacity during a time interval $[t, t + \Delta t]$. This can be calculated as the difference between the IP-layer section capacity and the IP-layer used section capacity. That is,

$$A(t, \Delta t) = C(t, \Delta t) - U(t, \Delta t)$$

or, equivalently

$$A(t, \Delta t) = C(t, \Delta t)(1 - V(t, \Delta t))$$

6.11.2 NSE metrics

6.11.2.1 IP-layer NSE capacity

The definition of IP-layer section capacity can be extended to a NSE, also referred to as "path". For a given population of interest, the IP-layer NSE capacity $C_{NSE}(t, \Delta t)$ during a specified time interval $[t, t + \Delta t]$ is defined as the smallest IP-layer section capacity along that NSE. That is, the IP-layer NSE capacity is:

$$C_{NSE}(t, \Delta t) = \min_{i=1..n} C_i(t, \Delta t)$$

where C_i is the IP-layer section capacity of section number i ($i=1..n$) in the NSE.

6.11.2.2 IP-layer available NSE capacity

The definition of IP-layer available section capacity can be extended to a NSE, also referred to as "path". For a given population of interest, the IP-layer available NSE capacity $A_{NSE}(t, \Delta t)$ during a specified time interval $[t, t + \Delta t]$ is defined as the smallest IP-layer available section capacity along that NSE. That is,

$$A_{NSE}(t, \Delta t) = \min_{i=1..n} A_i(t, \Delta t)$$

where A_i is the IP-layer available section capacity of the section number i ($i=1..n$) in the NSE. Note that the section number determining the IP-layer available NSE capacity may be different from the section number determining the IP-layer NSE capacity.

6.11.2.3 IP-layer tight section capacity

For a given population of interest, the IP-layer tight section is defined as the section in a NSE with the smallest IP-layer available section capacity. Note that if there are several sections fulfilling this condition the IP-layer tight section is not uniquely defined.

For a given population of interest, the IP-layer tight section capacity of a NSE is the IP-layer section capacity of the IP-layer tight section.

Note that the IP-layer available section capacity of the IP-layer tight section equals the IP-layer available NSE capacity. That is, the IP-layer tight section capacity is:

$$C_{TL}(t, \Delta t) = C_i(t, \Delta t) \text{ such that } A_i(t, \Delta t) = A_{NSE}(t, \Delta t)$$

Note that the IP-layer tight section does not necessarily have to be the same section as the section determining the IP-layer NSE capacity.

6.11.3 Variability

Each capacity metric P represents an average value over a time interval $[t, t + \Delta t]$. For a set of consecutive observations $P_1..P_N$ for a given parameter P over an interval $[T, T + \Delta T]$, where $T > t$, the average, standard deviation, and quantiles can be used to describe the variability.

6.11.3.1 Average

The average is calculated as:

$$a_p(T, \Delta T) = \frac{1}{n} \sum_{i=1..n} P_i(t, \Delta t)$$

6.11.3.2 Standard deviation

The standard deviation is calculated as:

$$s_p(T, \Delta T) = \sqrt{\sum_{i=1..n} (P_i(t, \Delta t) - a_p(T, \Delta T))^2}$$

6.11.3.3 Quantiles

For a sorted list of N values $P_1..P_n$ the k th 100-quantile (i.e., k th percentile) is defined as:

$$P_I : I = \left\lceil N \frac{k}{100} \right\rceil$$

where P_I is the corresponding data value for the k th 100-quantile. (The symbol $\lceil \cdot \rceil$ means that if $N \frac{k}{100}$ is not an integer it should be rounded up to the next higher integer to get the list index I .)

The quantiles for minimum ($k = 0$), median ($k = 50$) and maximum ($k = 100$) are of special interest and should be reported. Other quantiles, such as $k = 95$ or $k = 99$, may also be used.

6.12 Flow-related parameters

It is useful to characterize performance in terms of flow or throughput-related parameters that evaluate the ability of IP networks or sections to carry quantities of IP packets. It should be noted that a parameter intended to characterize the throughput of an IP application would not be equal to the amount of resources available to that application (as quantified in clause 6.11); this is because the higher layer protocols over IP (e.g., TCP) also influence the throughput experienced.

In the present version of this Recommendation, it is recommended that all flow- or throughput-related parameters should fulfil the following requirements:

- 1) A parameter characterizing the throughput offered to an IP service should relate the amount of IP packets successfully transported by an IP network or section to the amount of IP packets that were delivered into this network or section.
- 2) The throughput-related parameter should apply to an end-to-end IP network and to the IP transport across an EL, NS or NSE.

Some flow- or throughput-related parameters attempt to characterize the throughput capacity of an IP network, i.e., its ability to sustain a given IP packet transfer rate. It is recommended that any such parameters should fulfil the following additional requirements:

- 1) The traffic pattern offered to the IP network or section should be described, since the ability of the IP network or section to successfully deliver these packets depends on this traffic pattern.
- 2) The rate at which traffic is offered should not exceed the capacity (in bits per second) of the link that connects the sections under test with the destination sections that are not under test.
- 3) In any individual statement about throughput performance, the type of IP packet considered should be declared.

It is also recommended to follow the guidelines for throughput-related parameters and their measurement found in the IETF RFC 3148 framework for bulk transfer capacity (BTC) metrics. All parameters related to flow and throughput remain under study. Appendix III presents some candidate throughput-related parameters and additional questions to consider in further study of this topic. Appendix IX describes how measurements using TCP do not meet the requirements of this clause.

7 IP service availability

IP service availability is applicable to end-to-end IP service, basic sections and NSE.

An availability function (defined in clause 7.1) serves to classify the total scheduled service time for an IP service into available and unavailable periods. On the basis of this classification, both percent IP availability and percent IP unavailability are defined in clause 7.2. Finally, a two-state model of IP service availability serves as the basis for defining related availability parameters in clause 7.2.

NOTE – Unless otherwise noted by an IP service provider, the scheduled service time for IP service is assumed to be 24 hours a day, seven days a week.

7.1 IP service availability function

The basis for the IP service availability function is a threshold on the IPLR performance.

The IP service is available on an end-to-end basis if the IPLR for that end-to-end case is smaller than the threshold c_1 defined in Table 1.

Table 1 – IP service availability function

| Outage criterion | Threshold |
|---|--------------|
| IPLR > c_1 | $c_1 = 0.20$ |
| <p>NOTE – The value of 0.20 for c_1 is considered provisional and is identified as requiring further study. The previous provisional value for c_1 was 0.75. Values of 0.9 and 0.99 have also been suggested for c_1. However, at the time of approval of this Recommendation the majority of causes for unavailability appear to stem from failures where the loss ratio is essentially 100%, and many applications of IP networks are no longer operating when loss ratio is >0.20. When IP networks support multiple qualities of service, it may be appropriate to consider different values of c_1 for different services. In this case, c_1 values of between 0.03 and 0.2 (based on resilience of different speech coders) have been suggested for services offering [ITU-T Y.1541] class 0 or class 1, and c_1 of 0.75 for [ITU-T Y.1541] class 5.</p> <p>The threshold c_1 is only to be used for determining when the IP network resources are (temporarily) incapable of supporting a useful IP packet transfer service. The value c_1 should not be considered a statement about IPLR performance nor should it be considered an IPLR objective suitable for any IP application. Performance objectives established for IPLR should exclude all periods of service unavailability, i.e., all time intervals when the IPLR > c_1.</p> | |

Relative to a particular SRC and DST pair, *a basic section or an NSE is available for the ingress-independent case* if the IPLR for that pair is smaller than the threshold c_1 , as measured across all permissible ingress MPs.

Relative to a particular SRC and DST pair, *a basic section or an NSE is available for the specific-ingress case* if the IPLR for that pair is smaller than the threshold c_1 , as measured from a specific permissible ingress MP.

NOTE 1 – From an operations perspective, it will be possible to measure and/or monitor availability from a specific ingress MP and then use this information to create inferences about the ingress-independent availability.

NOTE 2 – The quantitative relationship between end-to-end IP service availability and the IP service availability of the basic section or NSE remains for further study.

If the outage criteria given by Table 1 is satisfied (i.e., IPLR exceeds its threshold), the IP service is in the unavailable state (experiences an outage). The IP service is in the available state (no outage) if the outage criteria is not satisfied. The minimum number of packets that should be used in evaluating the IP service availability function is M_{av} (the value of M_{av} is for further study. When tests of availability use end-user generated traffic, M_{av} of 60 packets has been suggested, disbursed within T_{av} at one packet per second). The minimum duration of an interval of time during which the IP service availability function is to be evaluated is T_{av} . T_{av} is provisionally defined to be one minute. Study has revealed that this value is consistent with practical limits on IP layer operations. Monitoring of lower layer performance and network element faults may be able to identify impending unavailability in a shorter time, and direct corrective action. Appendix VI gives the rationale for the current IP service availability function definition and values for T_{av} and c_1 .

NOTE 3 – The outage criterion based on the IPLR is expected to satisfactorily characterize IP service availability. However, IP service availability might also take into account severely degraded performance for IPER and/or spurious IP packet rate. The inclusion of additional availability decision parameters and their associated thresholds remains for further study.

NOTE 4 – This unidirectional definition of availability is motivated by the fact that IP packets often traverse very different routes from SRC to DST than they traverse from DST to SRC. If, from an IP network user perspective, a bidirectional availability definition is needed, a bidirectional definition can be easily derived from this unidirectional definition, by summing the non-overlapping unavailable time of the reverse path.

It is intended that this definition of IP service availability be applicable to both end-user generated IP traffic (i.e., the normal flow of IP packets between the SRC and the DST) as well as to traffic generated by test sets and test methodologies. In either case, the source of the IP traffic should be

documented when reporting availability findings. Such documentation should include the specific types of packets used in each direction of flow.

Traffic generated specifically to test the availability state should be limited so that it does not cause congestion. This congestion could affect other traffic and/or could significantly increase the probability that the outage criteria will be exceeded.

More information on the determination of the availability state can be found in Appendix IV.

7.2 IP service availability parameters

7.2.1 Percent IP service unavailability (PIU)

The percent IP service unavailability (PIU) is the percentage of total scheduled IP service time (the percentage of T_{av} intervals) that is (are) categorized as unavailable using the IP service availability function.

7.2.2 Percent IP service availability (PIA)

The percent IP service availability (PIA) is the percentage of total scheduled IP service time (the percentage of T_{av} intervals) that is (are) categorized as available using the IP service availability function; PIU and PIA are related as:

$$PIU = 100 - PIA$$

NOTE – Because the IPLR typically increases with increasing offered load from SRC to DST, the likelihood of exceeding the threshold c_1 increases with increasing offered load. Therefore, PIA values are likely to be smaller when the demand for capacity between SRC and DST is higher.

Appendix IV provides information on sampling to determine the PIA and PIU.

Appendix I

IP packet routing considerations

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix describes IP packet routing considerations relevant to the characterization of IP service performance.

IP packet routing is determined by each network operator's policies and configurations for routing protocols, and choices of the protocols themselves. For example, operators configure a parameter for the "cost" of traversing each link in their network, and the routing algorithm computes the lowest-cost route to the destination based on its knowledge of the current state of network topology. Clearly, the path a packet takes from source to destination greatly influences the transfer delay it will experience (from both transport and queuing), as well as exposure to other impairments such as loss, errors, duplication and reordering.

Another way in which routing protocols influence packet transfer performance is in their automated response to changes in network topology, such as link or router failures, or maintenance action to take a network element out of service. When the network topology changes due to failure, a recovery process restores the affected connectivity over the remaining network topology, if possible. This process is called "re-routing" or "re-convergence", and typically contains the following steps (each requiring time to execute):

- 1) Failure/event detection.
- 2) Path computation.
- 3) Advertisement.
- 4) Forwarding table update.

Again, options for timers configured by the operator determine the duration of the re-routing process to a great extent. Operators also have the option to set waiting times between executions of the routing algorithm, which conserves processing resources but may lengthen the response to a failure in some cases.

Sub-IP networking technologies, such as SONET rings and MPLS-TE fast re-route, enable sub-second restoration from link or router failures.

Appendix II

Secondary terminology for IP packet delay variation

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

II.1 Introduction

This Recommendation specifies a single primary/normative definition that assesses the variation in a set of delays with respect to a reference delay. This appendix provides two informative/secondary definitions in the clauses that follow (based on IETF's inter-packet delay variation, and a modification of 1-point cell delay variation). This appendix also gives guidance on when each parameter is most appropriate, and relates the results of observations with the different parameters. Additional comparisons between different forms of delay variation are detailed in [IETF RFC 5481].

There are two additional approaches to quantifying delay variation:

- 1) A parameter based on [b-IETF RFC 3393] that ascertains the inter-packet delay variation.
- 2) A parameter similar to the 1-point cell delay variation described in [b-ITU-T I.356], which assesses the packet arrival spacing at a single interface with respect to an ideal arrival interval.

Note that [b-ITU-T I.356] included two different variation definitions, both 2-point and 1-point.

The [ITU-T Y.1541] IP performance objectives for PDV are in terms of the normative 2-point packet delay variation parameter in this Recommendation.

II.2 Definition of inter-packet delay variation

[b-IETF RFC 3393] defines delay variation as follows:

- A definition of the IPDV can be given for packets inside a stream of packets.
- The IPDV of a pair of packets within a stream of packets is defined for a selected pair of packets in the stream going from measurement point MP1 to measurement point MP2.
- The IPDV is the difference between the one-way-delay of the selected packets.

A selection function unambiguously determines the pair of packets used in each calculation of the delay variation metric. Only packets that arrive successfully are used in IPDV calculations.

The first selection function defined is for adjacent packets in the stream. The 1-way delay of the current packet has the 1-way delay of the previous packet subtracted from it to determine the current packet's IPDV. If either of the packets in the pair (or both) is lost, then the IPDV is undefined.

Another important example is the selection function that produces an equivalent delay variation assessment to the 2-point PDV parameter defined in clause 6.2.4. The pair of packets always includes the current packet and the packet with the minimum 1-way delay in the stream. The 2-point PDV for all arriving packets is calculated by subtracting the minimum delay from their 1-way delay values (the reference delay is the minimum delay).

II.3 Definition of 1-point packet delay variation

The fundamental notion of a 1-point delay variation parameter is the comparison between the actual arrival pattern and the intended (usually periodic) arrival pattern. Some variations of this definition include a "skipping clock" adjustment (when cells or packets arrive late/behind their ideal arrival time), as in [b-ITU-T I.356]. The definition below does not implement the skipping clock feature, since there is no clear bias if the reference pattern is established arbitrarily.

The 1-point PDV (y_k) for packet k at an MP is the difference between the packet's reference arrival time (c_k) and actual arrival time (a_k) at the MP: $y_k = c_k - a_k$. The reference arrival time pattern (c_k) is defined as follows:

$$c_0 = a_0 = 0,$$

$$c_{k+1} = c_k + T$$

where T is ideal packet spacing.

Positive values of 1-point PDV ("early" packet arrivals) correspond to packet clumping; negative values of 1-point PDV ("late" packet arrivals) correspond to gaps in the packet stream.

II.4 Guidance on applying the different parameters

Guidance that serves the practical side of measurement is as follows:

- When synchronized clocks are not possible (or temporarily unavailable) in measurement devices:
 - 1) 1-point packet delay variation (1-point PDV) is a possible substitute for 1-way delay range/histogram, applicable for measurements on packet streams with periodic sending times (once the reference arrival time is appropriately set).
 - 2) IP performance metrics (IPPM) inter-packet delay variation is applicable to all traffic flow types.
 - 3) When clock error is stable, the ITU-T Y.1540 2-point PDV can be calculated and used.
- When synchronized clocks are available in measurement devices:
 - 1) The ITU-T Y.1540 PDV 1-way delay range/histogram calculation is useful for a range of assessment tasks, including assessment of de-jitter buffer size.
 - 2) IPPM inter-packet delay variation adds a parameter with sensitivity to sequential/short-term variation and some immunity to route changes.

The inter-packet metric, IPDV, defined by the IETF IPPM working group (WG), is similar to the calculation of inter-arrival jitter measurement in real-time control protocol (RTCP) reports. RTP gives the calculation of inter-arrival jitter in clause 6.4 of [b-IETF RFC 3550], with a sample implementation in an appendix. Although there are some differences in method (RTCP inter-arrival jitter uses order of arrival, as opposed to sending sequence with IPDV), there should be a favorable comparison between a "smoothed jitter" computed using IPDV singletons and the RTCP reports of jitter in many circumstances (if many packets were reordered, the results would probably not agree). It would be valuable to have a parameter that can be related to measurements made by user's endpoints. The IPDV metric with adjacent packet pairs is also less susceptible to route changes during a measurement interval, where the effect would only be observed in measurement pairs spanning the route change.

A positive attribute of 1-point PDV is its simplicity. The capability of assessing periodic streams within a single network element is highly advantageous.

A point that must be made clear in all variation parameter specifications is the effect of packet length. Since insertion time is included in transfer delay (first-bit to last-bit), packets with varying size have an inherent delay variation. Network specifications and tests should use packets with a single size to simplify interpretation of the results (and the size must be recorded).

Appendix III

Rate and throughput capacity related parameters

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix, which is for further study, presents metrics and techniques for assessing the rate and aspects of the throughput capacity of IP networks. The specific proposal for a throughput probe that appeared in previous versions of this Recommendation has been deleted, since some of the assumptions about maximum TCP window size settings and packet sizes are no longer realistic. The open study questions are still valuable, and have been retained.

III.1 Definition of IP packet rate parameters

Two types of rate parameters are currently envisaged. One parameter measures rate in terms of rate of successfully transmitted IP packets; another parameter is octet-based and measures the rate in terms of the octets that have been transmitted in those packets.

III.1.1 IP packet rate (IPPR)

For a given population of interest, the IP packet rate (IPPR) at an egress MP is the total number of IP packet transfer reference events observed at that egress MP during a specified time interval divided by the time interval duration (equivalently, the number of IP packet transfer reference events per service-second).

III.1.2 Octet-based IP packet rate (IPOR)

For a given population of interest, the octet-based IP packet rate (IPOR) at an egress MP is the total number of octets transmitted in IP packets that result in an IP packet transfer reference event at that egress MP during a specified time interval divided by the time interval duration (equivalently, the number of octets in the IP packets resulting in IP packet reference events per service-second).

III.2 References for throughput parameters and measurements

Throughput parameter definitions are considered controversial because the measurements have many dependencies and results from different measurement techniques may not be comparable. [b-IETF RFC 3148] provides the IETF's guidance on the development of metrics of this class. The authors wisely point out that, in order to capture the flow-control aspects of a particular measurement tool, the areas normally left flexible in a protocol must be tightly specified to measure BTC.

At present, the IETF IPPM working group is developing fundamental definitions for network capacity. It is hoped that measurement methods having relevance to this topic of throughput capacity will follow.

III.3 Open issues

The following questions can be investigated with a directed test programme. Answers to these questions would affirm or contradict the usefulness of throughput probes in assessing network capacity:

- Is IP packet loss really greater for throughput probes than for isolated IP packets?
- Is IP packet loss for throughput probes really larger than the packet loss during a streaming application that sustains an equivalent source rate for long periods of time? Is the upper bound so high as to be useless in predicting long-term performance of streaming applications?

- Is the throughput corruption ratio really an upper bound on corrupted TCP windows? Is the upper bound so high as to be useless in calculating long-term TCP performance?
- Since throughput probes do not have slow start operation, is there any substantial risk to other applications from infrequent testing with throughput probes?

Appendix IV

Tests of IP service availability state and sampling estimation of IP service availability parameters

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix, which is for further study, describes a tests for determining whether an IP service, a basic section or an NSE is in the available state or the unavailable state. In a future version, it will provide methods for sampling estimation of the IP service availability parameters.

IV.1 Minimal test of IP service availability state (for test methodologies and test sets)

Clause 7.1 requires that at least M_{av} packets be used to evaluate the availability state. Test methodologies and test sets should attempt at least M_{av} packets spread throughout a T_{av} interval of time. For end-user generated traffic, successive T_{av} intervals of time might be concatenated until the requirement of at least M_{av} ingress events is fulfilled. This is for further study.

The following describes the minimum amount of effort that is necessary to decide the availability state during a single T_{av} interval of time. Repeated applications of this test are necessary in order to determine the PIA and the PIU. This minimum test of IP service availability is applicable to test methodologies and test sets; some requirements for end-user generated traffic are presented in clause 7.1. Any other test of IP service availability that (statistically) performs at least as well as this test is an acceptable test of IP availability. This test of IP availability is applicable end-to-end or in the specific-ingress case for a basic section or an NSE.

- Step 1: Determine the SRC and the DST.
- Step 2: Position test sets or activate test scripts at the appropriate measurement points.
- Step 3: At a predetermined time, start sending M_{av} IP packets distributed over the time duration T_{av} .
- Step 4: If the number of lost packet outcomes is greater than $c_1 \times M_{av}$ then the IP service is unavailable over the T_{av} interval of time.
- Step 5: If the IP service (basic section or NSE) is not declared unavailable as per the results of step 4, then it is available over this T_{av} interval of time.

The minimal test provides an unknown level of confidence depending on the size of the sample, M_{av} , so the following test is preferred.

IV.2 Test of IP service availability state (using sequential probability ratio test)

This clause describes a non-parametric test, which makes no assumption of the underlying distribution on losses, relies on the sequential probability ratio test (SPRT) to determine whether the c_1 loss threshold has been exceeded with a pre-determined level of error. SPRT also allows the tester to stop testing when a much lower loss ratio has been observed over a specified number of packets and time. The outcome may also be indeterminate, in which case further testing is warranted. SPRT was first applied in [b-Morton] to evaluate packet loss ratios and associated with target rates in Internet testing.

For the null hypothesis, H_0 , we set the probability of loss (or defects) equal to $c_1 = p_0 = 0.20$. We also set the loss ratio for the alternate hypothesis, H_1 , at $p_1 = 0.05$. Finally, the Type I and II errors are $\alpha = \beta = 0.001$.

SPRT equations [b-Montgomery], [b-Wald] follow:

$$X_A = -h_1 + sn \text{ (acceptance line)} \quad (1)$$

$$X_R = h_2 + sn \quad (\text{rejection line}) \quad (2)$$

where n increases linearly over all packets sent, and

$$h_1 = \left(\log \frac{1-\alpha}{\beta} \right) k^{-1} \quad (3)$$

$$h_2 = \left(\log \frac{1-\beta}{\alpha} \right) k^{-1} \quad (4)$$

$$k = \log \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)} \quad (5)$$

$$s = \left(\log \frac{(1-p_0)}{(1-p_1)} \right) k^{-1} \quad (6)$$

for p_0 and p_1 as defined in the null and alternative hypotheses, above.

Using the equations above, calculate the minimum number of packets needed to accept H0 when x defects are observed, for example $x=0$ (no losses).

$$X_A = 0 = -h_1 + sn \quad (7)$$

$$n = \frac{h_1}{s} \quad (8)$$

With $c_1 = p_0 = 0.20$ used as the H0 level, $p_0 = 0.05$ for alternative H1 and errors at 0.001, it is found that at least 41 packets are needed to prefer H1 (with zero loss), and observing 9 losses in these 41 packets would result in a preference for H0.

Figure IV.1 shows the results from the R tool [b-Rdev] operating with the [b-CVST] package installed using the values above.

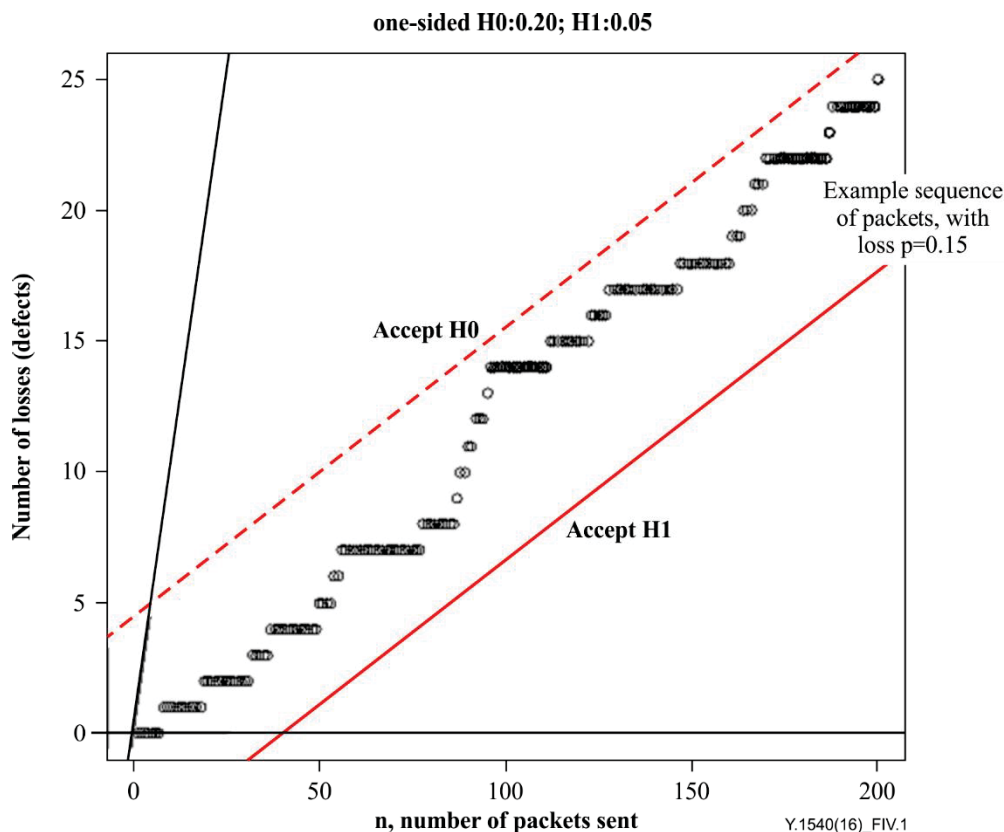


Figure IV.1 – Example of sequential probability ratio testing

Figure IV.1 illustrates that at least 41 packets are needed to prefer H₁ (with zero loss), and observing 9 losses in these 41 packets would result in a preference for H₀.

IV.3 Alternate test of statistical significance to determine IP service availability

[ITU-T Y.1540] determines the IP service to be available during a measurement interval if the IPLR for that interval is smaller than a threshold c_1 . Since a packet is either successfully transmitted or lost, the packet loss can be modeled by a binomial distribution.

The null hypothesis H_0 is that the IP service is available during the measurement interval. H_0 is assumed to be true, if the average packet loss during the measurement interval is below or equal c_1 (the z-test deems the IP service to be available if the packet loss rate equals c_1). The one hypothesis H_1 is, that the IP service is unavailable during the measurement interval (packet loss $> c_1$ during the measurement interval). A z-test is proposed to decide whether H_0 or H_1 is supported through measurement. Following [b-C-298], take the confidence level to be 95% (meaning the significance level $\alpha=0.05$).

The test consists of one sample compared against a threshold, c_1 . The threshold mean $\mu_0 = c_1$ and its variance applicable for the test is $\sigma = c_1 * (1 - c_1)$.

The number of packets $n = \text{packets}_{\text{transmitted}} + \text{packets}_{\text{dropped}}$. The average packet loss ratio then is $x_{\text{mean}} = \text{packets}_{\text{dropped}} / n$.

The test statistic for a threshold test is $Z_{\text{available}} = \text{sqrt}(n) * (x_{\text{mean}} - \mu_0) / \sigma$.

With the z-value for a confidence level of 95% and $\alpha=0.05$ for a single sided test, H_1 (IP service is unavailable during the measurements) is accepted if $Z_{\text{available}} > 1.645$.

With the z-value for a confidence level of 99.9% and $\alpha=0.001$ for a single sided test, H_1 (IP service is unavailable during the measurements) is accepted if $Z_{\text{available}} > 3.09$.

IV.4 Sampling estimation of IP service availability

Random samples of the availability state using the minimum test above may be sufficient for estimating PIA and PIU. In order to estimate the duration of contiguous time in an available or an unavailable state, sampling must be much more frequent. [b-ITU-T X.137] provides procedures for ITU-T X.25/ITU-T X.75 networks that might also be suitable for IP service.

Appendix V

Material relevant to IP performance measurement methods

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix, which is for further study, will describe important issues to consider as IP performance measurement methods are developed. It will describe the effects of conditions external to the sections under test, including traffic considerations, on measured performance.

The following conditions should be specified and controlled during IP performance measurements:

- 1) Exact sections being measured:
 - SRC and DST for end-to-end measurements;
 - MP bounding an NSE being measured.

NOTE – It is not necessary to measure between all MP pairs or all SRC and DST pairs in order to characterize performance.

- 2) Measurement time:
 - how long samples were collected;
 - when the measurement occurred.
- 3) Exact traffic characteristics:
 - rate at which the SRC is offering traffic;
 - SRC traffic pattern;
 - competing traffic at the SRC and DST;
 - IP packet size.
- 4) Type of measurement:
 - in-service or out-of-service;
 - active or passive.
- 5) Summaries of the measured data:
 - means, worst-case, empirical quantiles;
 - summarizing period:
 - short period (e.g., one hour);
 - long period (e.g., one day, one week, one month).

Appendix VI

Background on IP service availability

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

VI.1 Introduction

This appendix gives the rationale for the current IP service availability function definition in clause 7. The purpose is to provide additional background information and aid the appreciation for this complex and important topic.

VI.2 Background

There are many ways to define availability, and many perspectives that translate into evaluation using a range of sensitivities and time-scales. This Recommendation uses a simple, adequate definition (from a network operator's perspective) that specifies the minimum evaluation conditions. In order to understand why the IP service availability function is sufficient, an understanding of the causes of unavailability is needed.

Figure VI.1 shows a Venn diagram where the universe is all service time. The body of this Recommendation notes that IP service providers may identify maintenance intervals where service availability is not guaranteed. Thus, the service time universe is usually different from the universe of *all* time.

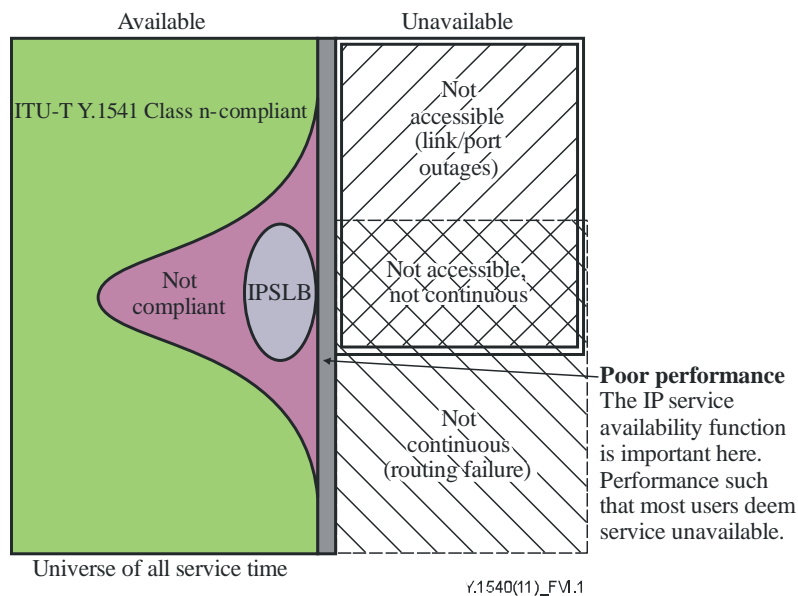


Figure VI.1 – Illustration of service time as a Venn diagram

We indicate that service time is divided in two main categories: available time (on the left) and unavailable time (on the right). Note that the relative sizes are not to scale, since available time is usually much larger than unavailable time.

VI.3 Definitions of the regions in Figure VI.1

Unavailable time is composed of the following regions:

- **Not accessible:** The service user is unable to communicate with the IP network because of failure in the access network transport or network elements. The access link itself or router interface failure are common causes. Packet loss ratio is typically 100%, and this failure will often take much longer than 1 minute to correct. Maintenance forces should be almost immediately alerted to the failure by fault management systems.
- **Not continuous:** The service user is unable to communicate with the desired destination because of a failure in IP network global routing information. The user may be able to communicate with some destinations, but not the desired destination. Packet loss ratio is typically 100% and this failure will often take much longer than 1 minute to correct.
- **Not accessible, not continuous:** The service user is unable to communicate while both of the above conditions exist simultaneously.
- **Poor performance:** The service user is unable to communicate reliably with the desired destination. The packet loss ratio is 20% or greater, and the user will deem the service unavailable for communicating with almost any form of IP network application. When congestion is the primary cause for this level of packet loss, end-to-end flow control should be activated to alleviate it (as provided in TCP).

Available time is composed of the following regions:

- **[ITU-T Y.1541] class n-compliant:** The service user is able to communicate with the desired destination and the packet transfer performance is compliant with the objectives of the agreed class. Evaluation of this state is usually conducted in 1-minute intervals. Note that any user application will have specific capacity needs; the ability to support a traffic contract (as defined in [b-ITU-T Y.1221]) must also be considered.
- **Not compliant:** The service user is able to communicate with the desired destination, but the packet transfer performance does not meet one or more of the objectives of the agreed class. Evaluation of this state is usually conducted in 1-minute intervals.
- **IP packet severe loss block (IPSLB):** The service user is able to communicate with the desired destination, but the packet transfer performance does not meet one or more of the objectives of the agreed class. Specifically, the loss ratio is sufficient to determine that an IPSLB has occurred (provisionally defined as more than 20% loss in a 10-second interval).

VI.4 Summary

It is observed that the criteria of the IP service availability function are only important in the poor performance region, and that the unavailable time contributed by this region is small compared to the other causes of unavailability. Therefore, the evaluation of state based on loss alone, and the criteria provisionally agreed for state evaluation (1 minute, 20% loss), are deemed sufficient.

Appendix VII

Packet performance parameters for estimation and optimization of stream repair techniques

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

VII.1 Introduction

IP-layer performance parameters have many uses, with network monitoring and trouble identification being one class of use. The parameters are also used as the basis of service level agreements (SLA). Both the aforementioned uses describe packet transfer as a characterization of the network which provided the UNI-UNI transport.

There is a second perspective: IP-layer performance parameters also characterize networks in terms which can be relevant to the application designer. Although many of the parameters used in network monitoring are useful to application designers, there are likely to be unique parameters for each use case. Figure VII.1 illustrates the two different perspectives, or use cases for IP performance parameters.

Recommendation ITU-T Y.1540 defines performance and availability parameters for IP-based networks. It defines primary and secondary packet transfer outcomes and a range of packet performance parameters based on these outcomes, including the IP service availability function.

This version of Recommendation ITU-T Y.1540 builds on the fundamental definitions and concepts to standardize a new set of normative stream repair performance parameters. The objective of the new parameters is to provide information relevant to the design and configuration of higher-layer (application-layer) techniques to compensate for packet loss due to various causes (including errors and delay variation). Thus, the design and/or optimization and performance estimation of application-stream repair techniques should be simplified if these new metrics for packet performance assessment meet their goal.

This appendix begins with a short background on application-layer stream repair techniques. It then goes on to offer a very simple model intended to be applicable to many different repair techniques.

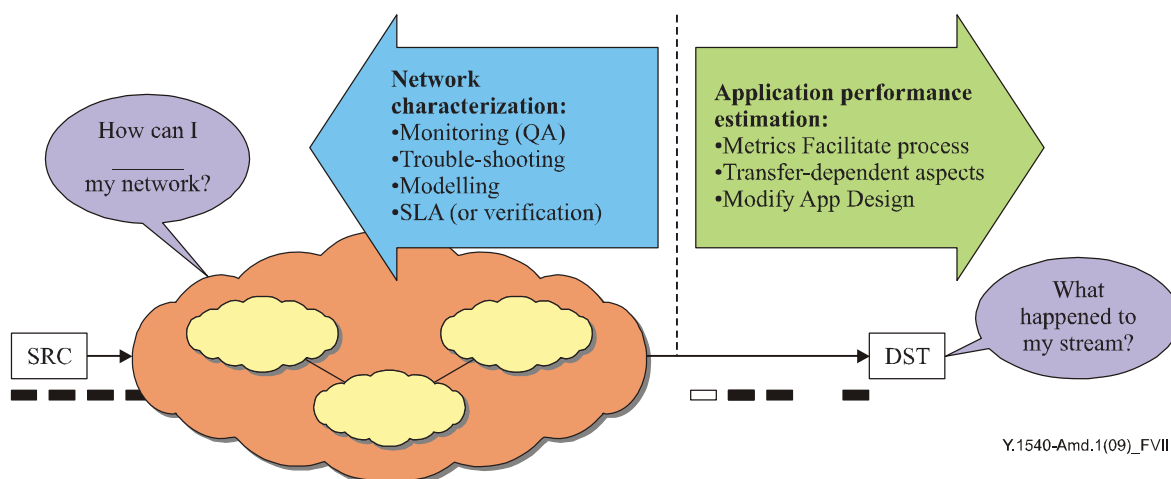


Figure VII.1 – Two different use cases for IP performance parameters

The usual procedure is to introduce new metrics as informative appendices, so that potential users have the opportunity to evaluate them prior to their incorporation as normative parameters in the body of the Recommendation. These new metrics have followed the informative-first path to incorporation in Recommendation ITU-T Y.1540. In its studies, ITU-T has considered many contributions detailing experience with the stream repair performance parameters that serves as the foundation for their promotion to normative status.

VII.2 Short description of application-layer stream repair techniques

There are three main types of application-layer techniques to compensate for packet transport impairments. We focus on continuous real-time or near-real-time applications (audio, video) that are non-elastic – information delivery must take place according to a predetermined time schedule, and not the class of elastic data transfer applications usually served by TCP and its reliable octet stream transfer services.

Forward error correction (FEC): This is a technique where streams of packets are organized into blocks prior to transfer. There are calculations performed on each block, and overhead packets added to the stream which the receiver can use to reproduce some fraction of the packets in the block if they are lost, or successful but delayed, or corrupted in transport. Typical overhead represents 5% to 20% of the information block. In an *ideal* FEC scheme, the number of lost packets that can be corrected is *equal* to the number of overhead packets. The key aspects of this scheme are:

- The size of the information block, in packets and time;
- The amount of overhead packets relative to the information block, which approximately represents the corrective capability of the scheme.

Automatic repeat-request (ARQ): In this technique, there is a reverse communication channel available where the receiver, having detected that specific individual packets are lost, delayed, or corrupted, can request retransmission (this is referred to as a selective ARQ). The lost packets are re-sent in time for them to take their place as the information is passed to higher layers for decoding and play-out. TCP has sometimes been modified to serve non-elastic streams in the role of ARQ. There is a waiting time for determining whether packets are simply delayed or lost, and this is similar to the information block used in FEC schemes. There may also be a limit on retransmitted packets which can accompany the primary stream in any time interval, and this is parallel to the overhead of FEC schemes. The ARQ technique can retransmit a number of lost packets in a block, equal to its limit on retransmission overhead. Note that the retransmitted packets will represent overhead on a subsequent block of information packets, but the concept still applies.

Thus, the ARQ and FEC techniques can both be described using the same basic variables of information block size and maximum repairable size.

Application-layer error concealment: This is a technique where decoders attempt to compensate for lost or corrupted information, using a variety of application-specific techniques, some of which have been standardized. The applicability of the simple model (derived below) to this class of techniques is for further study.

VII.3 Simple model of application-layer stream repair techniques

Each stream of application-layer packets is modelled as containing two categories of packets:

- 1) time intervals, T_I , or blocks, b , of information packets;
- 2) overhead packets, or the maximum repairable packets, x , associated with the information block.

The challenge to the repair technique designer is to choose the information block size in combination with the (maximum) amount of overhead packets that will be sufficient to compensate for a high percentage of packet network impairments (loss, excessive delay, and corruption), while working

within the overall packet transfer capacity limits of the system and delivering sufficient quality in the application stream.

The new performance parameters (described in clause 6.10) should aid these decisions.

VII.4 Example of performance parameters to characterize stream repair variables

Figure VII.2 below gives an example of the stream repair parameter calculations, where $b = 9$ packets and $x = 3$ packets.

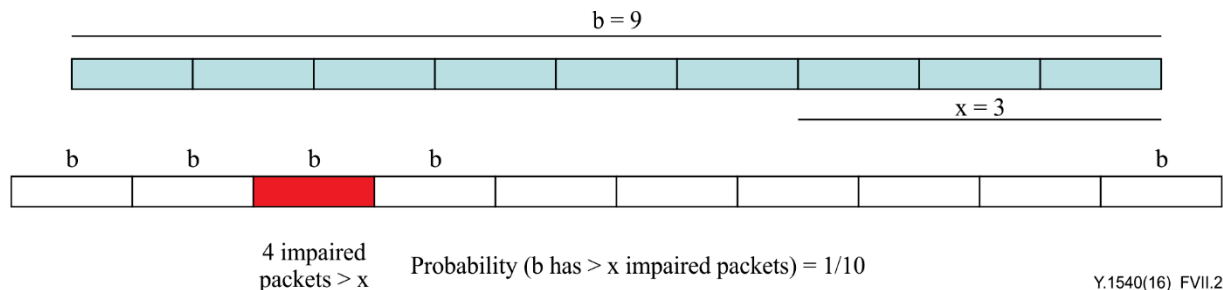


Figure VII.2 – Illustration of stream repair performance parameter

VII.5 Discussion of parameter measurement and usage

When attempting to estimate the performance of a repair system with unknown block alignment, the time intervals, T_i , or blocks, b , may be overlapping to allow assessment of different interval vs. impairment alignments (sliding interval analysis). There is an issue with using a single fixed, non-overlapping interval for performance estimation and analysis, that the actual information block + overhead may experience worse performance owing to the difference in alignment.

There are two approaches to characterizing packet streams to determine the optimum combination of stream repair variables:

- 1) using (multiple) arbitrarily-established packet intervals (in terms of time or number of packets), as done above;
- 2) counting intervals of consecutive impaired packets and intervals of unimpaired packet transfers.

The approach of counting consecutive intervals appears to have flexibility not available with evaluation based on fixed intervals; it can determine the actual size of impaired/un-impaired intervals in a stream and does not suffer from the interval alignment issue. However, summary parameters describing impaired/unimpaired interval lengths are independent from the actual sequence in which they occurred. This sequence of changes between impaired intervals and unimpaired intervals may be important. Also, the consecutive interval counting approach requires some way to evaluate whether the x threshold has been crossed, as this is essential to the definition of an impaired outcome. If more than one value of x is to be evaluated, then multiple passes through stored data may be needed.

In either case, the results can be expressed as probability or cumulative distributions over the dependent and independent variables, as the example below shows (Figure VII.3).

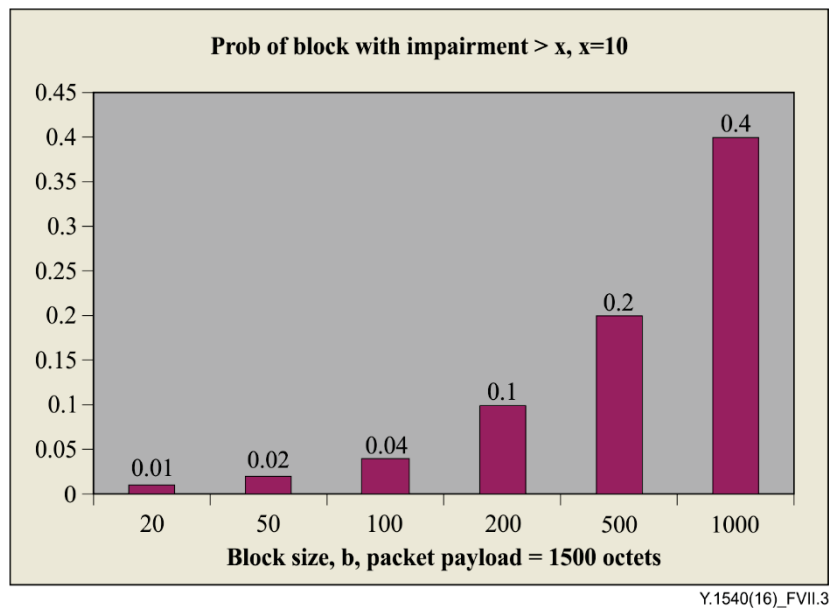


Figure VII.3 – Example plot of stream repair parameter results for a range of block sizes, where x is fixed, packet size is fixed

VII.6 Additional considerations

Although network characterization using the parameters defined above may be useful, the application repair system details should be known to begin to predict the quality delivered to users. FEC and ARQ techniques produce different packet loss patterns when operating beyond their ability to perform complete loss correction. The typical block sizes associated with each technique are different, with ARQ often characterized by larger block sizes.

FEC schemes organize the information block and overhead packets in different ways (sometimes called one-dimensional or two-dimensional forms) with less sophisticated schemes having more sensitivity between the exact pattern of losses and their ability to correct the losses. The performance margin between simple FEC schemes and the ideal performing scheme predicted by the parameters above should be known to the designer and taken into account.

Some applications may use chains of the various techniques described above. For example, a system might use FEC or ARQ in combination with application-layer error concealment. In another example, there could be FEC used in one part of the path, with ARQ or a different FEC used in another part of the path, and finally employing application-layer error concealment.

Finally, the short-term performance parameters defined above may be useful in troubleshooting by helping to identify the signatures of network problems, but this is for further study.

Appendix VIII

IP-layer capacity framework

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

VIII.1 Introduction

This appendix provides further information related to the capacity metrics defined in clause 6.11.

Knowing how much IP-layer capacity is available in real-time across an IP network (congested or not) is valuable information to the network operators and to the application users. This parameter can be used for network optimization, network monitoring, troubleshooting, server or gateway selection, load balancing, admission control, congestion control or to verify the service level agreement (SLA) of a guaranteed or business class service offering across a network provider.

Several methods and tools for measuring the IP-layer available section capacity have been developed, mainly as part of academic projects. Examples of such tools include BART, pathChirp, Pathload and Spruce. Literature describing the tools is publically available on the Internet.

VIII.2 Terminology and relation to IETF RFC 5136

The terms "available capacity" and "available bandwidth" are used interchangeably in the literature. [IETF RFC 5136] provides a discussion on terminology, mainly whether to use the word capacity or bandwidth for describing IP characteristics. [IETF RFC 5136] proposes to use the term capacity, and in order to harmonize with IETF, the term capacity is also used in Recommendation ITU-T Y.1540.

[IETF RFC 5136] defines capacity-related parameters similar to what is defined in clause 6.11. However, one major difference between the ITU-T and IETF definitions is that Recommendation ITU-T Y.1540 takes into account that network hosts may affect IP-layer capacity parameter values. This is not covered by [IETF RFC 5136], but it has been up for discussion in IETF. The ITU-T Y.1540 parameters are defined over basic sections which inherently take into account the capacity of both links and hosts in that section.

Table VIII.1 provides a mapping between the parameters that constitutes the definitions in clause 6.11 and the definitions in [IETF RFC 5136].

Table VIII.1 – Parameter mapping between ITU-T Y.1540 and IETF RFC 5136

| ITU-T Y.1540 clause 6.11 | IETF RFC 5136 |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| IP-layer bits transferred | IP-layer Bits |
| IP-layer section capacity | IP-type-P Link Capacity |
| IP-layer used section capacity | IP-type-P Link Usage |
| IP-layer section utilization | IP-type-P Link Utilization |
| IP-layer available section capacity | IP-type-P Available Link Capacity |
| IP-layer NSE capacity | IP-type-P Path Capacity |
| IP-layer available NSE capacity | IP-type-P Available Path Capacity |
| IP-layer tight section capacity | Not defined |

VIII.3 Items for further study

The definitions of capacity parameters in this Recommendation do not explicitly address multipoint paths; however, this is identified as an item for further study.

Discuss and identify methods of measurement that fulfil requirements from operators in terms of measurement accuracy, speed and overhead.

Is there a way of introducing a system for identification of the IP-layer tight link?

For future methods of measurement, policing functions cause packet loss, and this form of limitation may require a different method of assessment from methods that rely on packet dispersion.

Appendix IX

Explanation of TCP-based measurement inadequacy to meet normative requirements

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

IX.1 Introduction

Readers of this Recommendation may find it useful to understand the implications of the normative requirements in clause 6.12 when considering measurement methodologies, especially those based on available implementations of the TCP protocol. While TCP-based measurements are considered useful for informative surveys of user experience, they do not constitute the basis for standard metrics, methods of measurement or numerical objectives. Comparison of TCP protocol with the requirements of clause 6.12 in this appendix clarifies its status as a measurement method.

IX.2 Comparison with normative requirements

The requirements in clause 6.12 are organized in two numbered lists. The first requirement list is for all parameters, and the second list is for parameters that assess the ability to sustain a given IP packet transfer rate.

For the first list of requirements (all parameters):

- 1) Regarding the required accounting for packet delivery into the network and successful transfer: Some versions of TCP may make available the count of retransmitted segments during a connection (through a management interface), but retransmissions are based on the adaptive retransmission time out (RTO), not on whether the packets were actually lost, or are acknowledged after the time out expires, or whether an ACK was lost following successful delivery. TCP receivers do not distinguish whether the original or retransmitted (or both) packets arrive successfully. Furthermore, different TCP congestion control algorithms vary in their methods to achieve fairness to other flows and throughput, resulting in a larger number of lost packets when aggressive algorithms are used, or resulting in unnecessarily lower sending rates when packet losses are incorrectly interpreted as a signal of congestion (note the fixed mapping of packet loss interpreted as congestion in TCP flow control).
- 2) Regarding the required ability to measure partial paths: TCP's congestion control is highly sensitive to round-trip-time (RTT) in non-linear and sometimes unexpected ways. Thus, a TCP-based measurement on a partial path (EL or NS) will not typically predict the performance of a complete path, and TCP's dependence on RTT is one key reason.

For the list of requirements for assessment of sustained packet rate:

- 1) Regarding the required description of the traffic pattern offered to the network: TCP slow-start and congestion avoidance phases determine the sending pattern, and these patterns vary widely according to the conditions on the path, especially the presence of cross-traffic and characteristics of any bottlenecks encountered. Thus, the pattern is difficult or impossible to constrain or predict with TCP's flow control operating.
- 2) Regarding the requirement to limit traffic rate to less than the capacity of connecting links: TCP's flow control continues to test for available capacity, assuming that conditions may change. It is not practical to limit a TCP sender to an exact capacity using the parameters available, partly due to the variation of RTT during the life of a TCP connection. In other words, TCP can always send traffic at a rate that exceeds connecting links.

All difficulties caused by TCP flow control are further exacerbated by operating multiple simultaneous TCP connections, each independently evaluating their connection on the same path.

In conclusion, the transport protocol is determined and implemented in user hosts, and outside the purview of IP-based packet transfer service providers. Standard assessments of the service provider performance should avoid the contribution of layers that are chosen by others and must meet the normative requirements of clause 6.12.

Bibliography

- [b-ITU-T I.353] Recommendation ITU-T I.353 (1996), *Reference events for defining ISDN and B-ISDN performance parameters.*
- [b-ITU-T I.356] Recommendation ITU-T I.356 (2000), *B-ISDN ATM layer cell transfer performance.*
- [b-ITU-T X.25] Recommendation ITU-T X.25 (1996), *Interface between Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit-terminating Equipment (DCE) for terminals operating in the packet mode and connected to public data networks by dedicated circuit.*
- [b-ITU-T X.75] Recommendation ITU-T X.75 (1996), *Packet-switched signalling system between public networks providing data transmission services.*
- [b-ITU-T X.137] Recommendation ITU-T X.137 (1997), *Availability performance values for public data networks when providing international packet-switched services.*
- [b-ITU-T Y.1221] Recommendation ITU-T Y.1221 (2002), *Traffic control and congestion control in IP-based networks.*
- [b-IETF RFC 768] IETF RFC 768 (1980), *User Datagram Protocol.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc768.txt>>
- [b-IETF RFC 792] IETF RFC 792 (1981), *Internet Control Message Protocol.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc792.txt>>
- [b-IETF RFC 793] IETF RFC 793 (1981), *Transmission Control Protocol.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt>>
- [b-IETF RFC 919] IETF RFC 919 (1984), *Broadcasting Internet Datagrams.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc919.txt>>
- [b-IETF RFC 922] IETF RFC 922 (1984), *Broadcasting Internet datagrams in the presence of subnets.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc922.txt>>
- [b-IETF RFC 950] IETF RFC 950 (1985), *Internet Standard Subnetting Procedure.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc950.txt>>
- [b-IETF RFC 959] IETF RFC 959 (1985), *File Transfer Protocol.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc959.txt>>
- [b-IETF RFC 1305] IETF RFC 1305 (1992), *Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc1305.txt>>
- [b-IETF RFC 1786] IETF RFC 1786 (1995), *Representation of IP Routing Policies in a Routing Registry (ripe-81++).*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc1786.txt>>
- [b-IETF RFC 1812] IETF RFC 1812 (1995), *Requirements for IP Version 4 Routers.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc1812.txt>>
- [b-IETF RFC 2018] IETF RFC 2018 (1996), *TCP Selective Acknowledgment Options.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc2018.txt>>
- [b-IETF RFC 2330] IETF RFC 2330 (1998), *Framework for IP Performance Metrics.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc2330.txt>>
- [b-IETF RFC 3148] IETF RFC 3148 (2001), *A Framework for Defining Empirical Bulk Transfer Capacity Metrics.*
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3148.txt>>

- [b-IETF RFC 3357] IETF RFC 3357 (2002), *One-way Loss Pattern Sample Metrics*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3357.txt>>
- [b-IETF RFC 3393] IETF RFC 3393 (2002), *IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3393.txt>>
- [b-IETF RFC 3432] IETF RFC 3432 (2002), *Network performance measurement with periodic streams*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3432.txt>>
- [b-IETF RFC 3550] IETF RFC 3550 (2003), *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>>
- [b-C-298], Kotanis, Irina (2015), *Proposals for E.802 Annex: minimum required of samples, statistical significance for benchmarking and quality trends evaluations and minimum required number of mobile agents, (with revisions)*, ASCOM, Switzerland.
- [b-CVST] Krueger, T. and M. Braun (2012), *R package: Fast Cross – Validation via Sequential Testing, version 0.1*.
- [b-Ekelin] Ekelin, S., Nilsson, M., Hartikainen, E., Johnsson, A., Mångs, J., Melander, B., Björkman, M. (2006), *Real-time measurement of end-to-end available bandwidth using kalman filtering*, IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, Vancouver, Canada.
- [b-Montgomery] Montgomery, D. (1990), *Introduction to Statistical Quality Control – 2nd edition, ISBN 0-471-51988-X*.
- [b-Morton] Morton, Al (2013), *Improved Internet speed tests can enhance QoS and QoE*, Proceedings of the 4th International Workshop on Perceptual Quality of Systems (PQS 2013), Vienna, Austria.
- [b-Prasad] Prasad, R.S., Murray, M., Dovrolis, C., Claffy, K.C. (2003), *Bandwidth Estimation: Metrics, Measurement Techniques, and Tools*, IEEE Network.
- [b-Rdev] R Development Core Team (2016), *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
<<http://www.r-project.org/>>
- [b-Wald] Wald, A. (1947), *Sequential Analysis*, Wiley.

SERIES OF ITU-T RECOMMENDATIONS

| | |
|-----------------|---|
| Series A | Organization of the work of ITU-T |
| Series D | General tariff principles |
| Series E | Overall network operation, telephone service, service operation and human factors |
| Series F | Non-telephone telecommunication services |
| Series G | Transmission systems and media, digital systems and networks |
| Series H | Audiovisual and multimedia systems |
| Series I | Integrated services digital network |
| Series J | Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals |
| Series K | Protection against interference |
| Series L | Environment and ICTs, climate change, e-waste, energy efficiency; construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant |
| Series M | Telecommunication management, including TMN and network maintenance |
| Series N | Maintenance: international sound programme and television transmission circuits |
| Series O | Specifications of measuring equipment |
| Series P | Terminals and subjective and objective assessment methods |
| Series Q | Switching and signalling |
| Series R | Telegraph transmission |
| Series S | Telegraph services terminal equipment |
| Series T | Terminals for telematic services |
| Series U | Telegraph switching |
| Series V | Data communication over the telephone network |
| Series X | Data networks, open system communications and security |
| Series Y | Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks, Internet of Things and smart cities |
| Series Z | Languages and general software aspects for telecommunication systems |

I n t e r n a t i o n a l T e l e c o m m u n i c a t i o n U n i o n

ITU-T

TELECOMMUNICATION
STANDARDIZATION SECTOR
OF ITU

Y.1541

(12/2011)

SERIES Y: GLOBAL INFORMATION
INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS
AND NEXT-GENERATION NETWORKS

Internet protocol aspects – Quality of service and network
performance

Network performance objectives for IP-based services

Recommendation ITU-T Y.1541

ITU-T Y-SERIES RECOMMENDATIONS
**GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-
GENERATION NETWORKS**

| | |
|--|----------------------|
| GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE | |
| General | Y.100–Y.199 |
| Services, applications and middleware | Y.200–Y.299 |
| Network aspects | Y.300–Y.399 |
| Interfaces and protocols | Y.400–Y.499 |
| Numbering, addressing and naming | Y.500–Y.599 |
| Operation, administration and maintenance | Y.600–Y.699 |
| Security | Y.700–Y.799 |
| Performances | Y.800–Y.899 |
| INTERNET PROTOCOL ASPECTS | |
| General | Y.1000–Y.1099 |
| Services and applications | Y.1100–Y.1199 |
| Architecture, access, network capabilities and resource management | Y.1200–Y.1299 |
| Transport | Y.1300–Y.1399 |
| Interworking | Y.1400–Y.1499 |
| Quality of service and network performance | Y.1500–Y.1599 |
| Signalling | Y.1600–Y.1699 |
| Operation, administration and maintenance | Y.1700–Y.1799 |
| Charging | Y.1800–Y.1899 |
| IPTV over NGN | Y.1900–Y.1999 |
| NEXT GENERATION NETWORKS | |
| Frameworks and functional architecture models | Y.2000–Y.2099 |
| Quality of Service and performance | Y.2100–Y.2199 |
| Service aspects: Service capabilities and service architecture | Y.2200–Y.2249 |
| Service aspects: Interoperability of services and networks in NGN | Y.2250–Y.2299 |
| Numbering, naming and addressing | Y.2300–Y.2399 |
| Network management | Y.2400–Y.2499 |
| Network control architectures and protocols | Y.2500–Y.2599 |
| Smart ubiquitous networks | Y.2600–Y.2699 |
| Security | Y.2700–Y.2799 |
| Generalized mobility | Y.2800–Y.2899 |
| Carrier grade open environment | Y.2900–Y.2999 |
| Future networks | Y.3000–Y.3099 |

For further details, please refer to the list of ITU-T Recommendations.

Recommendation ITU-T Y.1541

Network performance objectives for IP-based services

Summary

This Recommendation defines classes of network quality of service (QoS) with objectives for Internet Protocol network performance parameters. Two of the classes contain provisional performance objectives. These classes are intended to be the basis for agreements among network providers, and between end users and their network providers.

Appendix I provides information about how asynchronous transfer mode (ATM) might support IP layer performance. Appendix II discusses alternatives for defining IP delay variation. Appendix III presents the hypothetical reference paths (HRP) against which the ITU-T Y.1541 QoS objectives were tested for feasibility. Appendix IV gives example computations of packet delay variation. Appendix V discusses issues that must be considered whenever IP measurements are made. Appendix VI describes the relationship between this Recommendation and the IETF-defined mechanisms for managing QoS. Appendix VII gives estimates of speech transmission quality for the hypothetical reference paths of Appendix III. Appendix VIII discusses digital television transport on IP networks. Appendix IX estimates transmission control protocol (TCP) file transfer performance on paths conforming to ITU-T Y.1541 objectives. Appendix X gives example calculations for combining delay variation measurements from multiple sections to estimate user network interface to user network interface (UNI-UNI) performance, and Appendix XI estimates the packet loss requirement for digital circuit emulation.

History

| Edition | Recommendation | Approval | Study Group |
|---------|----------------------------|------------|-------------|
| 1.0 | ITU-T Y.1541 | 2002-05-07 | 13 |
| 1.1 | ITU-T Y.1541 App.X | 2002-11-08 | 13 |
| 1.2 | ITU-T Y.1541 (2002) Amd. 1 | 2003-08-01 | 13 |
| 1.3 | ITU-T Y.1541 (2002) Amd. 2 | 2004-02-12 | 13 |
| 2.0 | ITU-T Y.1541 | 2006-02-22 | 12 |
| 2.1 | ITU-T Y.1541 (2006) Amd. 1 | 2006-06-13 | 12 |
| 2.2 | ITU-T Y.1541 (2006) Amd. 2 | 2007-01-25 | 12 |
| 2.3 | ITU-T Y.1541 (2006) Amd. 3 | 2008-05-30 | 12 |
| 3.0 | ITU-T Y.1541 | 2011-12-14 | 12 |

FOREWORD

The International Telecommunication Union (ITU) is the United Nations specialized agency in the field of telecommunications, information and communication technologies (ICTs). The ITU Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) is a permanent organ of ITU. ITU-T is responsible for studying technical, operating and tariff questions and issuing Recommendations on them with a view to standardizing telecommunications on a worldwide basis.

The World Telecommunication Standardization Assembly (WTSA), which meets every four years, establishes the topics for study by the ITU-T study groups which, in turn, produce Recommendations on these topics.

The approval of ITU-T Recommendations is covered by the procedure laid down in WTSA Resolution 1.

In some areas of information technology which fall within ITU-T's purview, the necessary standards are prepared on a collaborative basis with ISO and IEC.

NOTE

In this Recommendation, the expression "Administration" is used for conciseness to indicate both a telecommunication administration and a recognized operating agency.

Compliance with this Recommendation is voluntary. However, the Recommendation may contain certain mandatory provisions (to ensure, e.g., interoperability or applicability) and compliance with the Recommendation is achieved when all of these mandatory provisions are met. The words "shall" or some other obligatory language such as "must" and the negative equivalents are used to express requirements. The use of such words does not suggest that compliance with the Recommendation is required of any party.

INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

ITU draws attention to the possibility that the practice or implementation of this Recommendation may involve the use of a claimed Intellectual Property Right. ITU takes no position concerning the evidence, validity or applicability of claimed Intellectual Property Rights, whether asserted by ITU members or others outside of the Recommendation development process.

As of the date of approval of this Recommendation, ITU had received notice of intellectual property, protected by patents, which may be required to implement this Recommendation. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information and are therefore strongly urged to consult the TSB patent database at <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2012

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, by any means whatsoever, without the prior written permission of ITU.

Table of Contents

| | Page |
|---|-------------|
| 1 Introduction and Scope..... | 1 |
| 1.1 Introduction..... | 1 |
| 1.2 Scope..... | 2 |
| 2 References..... | 3 |
| 3 Abbreviations, acronyms and conventions..... | 3 |
| 3.1 Abbreviations and acronyms..... | 3 |
| 3.2 Conventions..... | 5 |
| 4 Transfer capacity, capacity agreements, and the applicability of QoS classes..... | 6 |
| 5 Network performance objectives..... | 6 |
| 5.1 General discussion of QoS..... | 7 |
| 5.2 Reference path for UNI to UNI QoS..... | 7 |
| 5.3 Network QoS classes..... | 8 |
| 6 Availability objectives..... | 14 |
| 7 Achievement of the performance objectives..... | 14 |
| 8 Concatenating network sections and their QoS values..... | 14 |
| 8.1 Introduction..... | 14 |
| 8.2 Composing UNI-UNI values..... | 15 |
| 8.3 Impairment accumulation procedures..... | 16 |
| 9 Security..... | 17 |
| Appendix I – ATM network QoS support of IP QoS..... | 18 |
| Appendix II – IP delay variation parameter definition considerations..... | 19 |
| Appendix III – Example hypothetical reference paths for validating the IP performance objectives..... | 21 |
| III.1 Number IP nodes in the HRP..... | 21 |
| III.2 Example computations to support end-end class 0 and class 1 delay..... | 23 |
| III.3 Example end-end class 1 delay computation..... | 24 |
| III.4 Example computations to support end-end class 4 delay..... | 25 |
| III.5 Loading within the HRP..... | 26 |
| III.6 Geostationary satellites within the HRP..... | 26 |
| Appendix IV – Example calculations of IP packet delay variation..... | 27 |
| IV.1 Contributors to IP packet delay variation..... | 27 |
| IV.2 Models and calculation procedures to establish an upper bound to the IPDV..... | 27 |
| IV.3 Calculation examples..... | 29 |
| Appendix V – Material relevant to IP performance measurement methods..... | 32 |
| Appendix VI – Applicability of the Y.1221 transfer capabilities and IETF differentiated services to IP QoS classes..... | 33 |

| | Page |
|---|-------------|
| Appendix VII – Effects of network QoS on end-to-end speech transmission performance as perceived by the user..... | 34 |
| VII.1 Example VoIP calculations with ITU-T Y.1541 class 0 network performance..... | 34 |
| VII.2 Example VoIP calculations with ITU-T Y.1541 class 1 network performance..... | 35 |
| VII.3 Speech quality calculations for ITU-T Y.1541 hypothetical reference paths | 35 |
| Appendix VIII – Effects of IP network performance on digital television transmission QoS | 38 |
| VIII.1 Introduction | 38 |
| VIII.2 Hypothetical reference endpoint (HRE) for high-bandwidth video signals... | 38 |
| VIII.3 Service profiles and end-to-end packet performance requirements | 38 |
| VIII.4 Forward error correction (FEC)/Interleaving to improve UNI-UNI performance..... | 40 |
| VIII.5 Laboratory assessment of forward error correction (FEC)/Interleaving effectiveness | 41 |
| VIII.6 Additional performance parameters | 41 |
| VIII.7 Further analysis with advanced FEC schemes | 41 |
| VIII.8 Analysis of retransmission schemes..... | 42 |
| VIII.9 Recovery from errors and losses due to protection switching schemes..... | 42 |
| Appendix IX – Effects of network QoS on end-to-end data transmission performance using TCP | 43 |
| IX.1 Introduction | 43 |
| IX.2 Model of TCP performance..... | 43 |
| IX.3 TCP hypothetical reference endpoint (HRE) | 44 |
| IX.4 Observations..... | 44 |
| IX.5 Summary of TCP capacity estimates | 46 |
| Appendix X – An example showing how to calculate IPDV across multiple sections..... | 47 |
| X.1 Calculation of delay variation | 47 |
| X.2 Mathematical background | 49 |
| X.3 Special cases..... | 50 |
| X.4 Estimating skewness from quantiles | 51 |
| Appendix XI – Digital circuit (ISDN) emulation requirements on IP-based networks..... | 52 |
| XI.1 Introduction | 52 |
| XI.2 Packetization and transport assumptions..... | 52 |
| XI.3 Range of packet loss requirements..... | 52 |
| XI.4 Effect of forward error correction | 53 |
| Bibliography | 55 |

Recommendation ITU-T Y.1541

Network performance objectives for IP-based services

1 Introduction and Scope

1.1 Introduction

Customers require network performance levels that, when combined with their hosts, terminals, and other devices, satisfactorily support their applications. The adoption of IP-based network services [IETF RFC 791] has not changed this fact, except that networks must be constrained in terms of packet transfer performance parameters (as defined in [ITU-T Y.1540]).

Traditional application performance requirements are well-understood, but several key contributors are often beyond the network service provider's control (e.g., home networks, LAN, application gateways, terminals, hosts, and other customer devices). We note that objectives on the performance of customer equipment are available, such as [ITU-T P.1010] for VoIP terminals and gateways, and combining these objectives with specific network performance levels (as appendices of this Recommendation illustrate), a view of application performance can be directly related to network performance.

In response, service providers have agreed on network performance levels that they will work together to meet, and have codified the numerical objectives in this Recommendation. Agreement on levels of network performance is highly beneficial, because it constrains a critical and often dominating factor in application performance [ITU-T I.350].

The objectives are organized in sets called network quality of service (QoS) classes (in Table 1) that can be matched with well-designed customer equipment to satisfactorily support various applications (as indicated in Table 2). Classes with provisional objectives are found in Table 3. The number of classes has been deliberately kept small to simplify the engineering of paths traversing multiple operators' networks, so the objectives in each class must satisfy the needs of multiple applications. Readers of this Recommendation should plan for at least eight classes when considering protocol fields and values, since future expansion of the classes is possible.

The objective values result from analysis of key applications such as conversational telephony, multimedia conferencing, reliable data exchange using TCP, and digital television, in concert with network feasibility analysis. The appendices provide significant, detailed testimony as to how the objectives in the network QoS classes can be used to determine the end-to-end (application) quality provided. Another factor in the development of objective values has been network feasibility. When paths span wide geographical distances, very long propagation times will prevent low delay objectives from being met, thus additional classes are required to address these cases.

It is important to clarify how designers of new applications should make use of the ITU-T Y.1541 classes. Designers should consider the packet performance objectives as representative of well-managed IP-based networks and include mitigations for these impairment levels in their designs. Only after application requirements have been carefully rationalized and a range of impairment mitigations have been examined, should new QoS classes be considered to address unmet requirements.

The network QoS classes form an important link in the chain of developments required to assure end-to-end performance. They are part of the lexicon for QoS negotiation among users and networks, especially when signalling protocols communicate QoS requests on a dynamic basis.

Verification that the service meets network objectives is another key area of customer interest. This has been addressed here through recommended evaluation intervals, packet payload sizes, and other aspects useful to measurement designers. In addition, the UNI-UNI objectives are directly verifiable by users, in contrast with objectives that apply to non-user interfaces or utilize information unknown to customers, such as route distance.

1.2 Scope

This Recommendation specifies network (UNI-UNI) IP performance values for each of the performance parameters defined in [ITU-T Y.1540]. The specific performance values vary, depending on the network QoS class. This Recommendation defines eight network QoS classes, two of which are provisional. This Recommendation applies to international IP network paths (UNI-UNI). The network QoS classes defined here are intended to be the basis of agreements between end-users and network service providers, and between service providers. The classes should continue to be used when static agreements give way to dynamic requests supported by QoS specification protocols.

The QoS classes defined here support an extremely wide range of applications, including the following: conversational telephony, multimedia conferencing, digital video, and interactive data transfer. Designers of new user applications should first consider using the existing QoS classes, and possibly include technologies to mitigate packet transfer impairments in their design. If one or more packet transfer requirements is not satisfied, then a new class may be considered rather than modifying the current/stable classes. However, any desire for new classes must be balanced with the requirement of feasible implementation, and the number of classes must be small for implementations to scale in global networks. Thus, the extent of user application coverage may expand over time, and readers of this Recommendation are urged to consult the latest version, including the appendices.

Since the QoS classes have been developed to support user applications, their numerical objectives are likely to support the same applications on networks using alternate technologies or combinations of technologies, providing that the fundamental transfer unit has a one-to-one correspondence with IP packets as used here (no fragmentation), and that the overhead of the alternate technology is a non-substantial addition to the IP header (e.g., multi-protocol label switching (MPLS) label and Ethernet frame overhead).

The QoS objectives are primarily applicable when access link speeds are at the T1 or E1 rate and higher. This limitation recognizes that IP packet serialization time is included in the definition of IP packet transfer delay (IPTD), and that sub-T1 access rates can produce serialization times of over 100 ms for packets with 1500 octet payloads. Also, this Recommendation effectively requires the deployment of network QoS mechanisms on access devices in order to achieve the IP packet delay variation (IPDV) objective, especially when the access rate is low (e.g., T1 rate). Network designs may include lower access rates if:

- 1) Network planners understand the effect of additional serialization time on the user network interface (UNI) to UNI objective for IPTD.
- 2) QoS mechanisms limit the access contribution to IPDV, and the UNI to UNI objective for IPDV is met. The current IPDV objective is necessary to achieve high quality application performance, as Appendices III and VII clearly show.

This Recommendation provides the network QoS classes needed to support user-oriented QoS categories. Accordingly, this Recommendation is consistent with the general framework for defining quality of communication services in [ITU-T G.1000], and with the end-user multimedia QoS categories needed to support user applications given in [ITU-T G.1010].

NOTE – This Recommendation utilizes parameters defined in [ITU-T Y.1540] that can be used to characterize IP services that are provided using IPv4 and IPv6. [ITU-T Y.1540] was used as the foundation of MPLS performance parameters in [ITU-T Y.1561] and Ethernet service performance parameters in [ITU-T Y.1563]. Applicability or extension to other protocols is for further study.

2 References

The following ITU-T Recommendations and other references contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Recommendation. At the time of publication, the editions indicated were valid. All Recommendations and other references are subject to revision; users of this Recommendation are therefore encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the Recommendations and other references listed below. A list of the currently valid ITU-T Recommendations is regularly published. The reference to a document within this Recommendation does not give it, as a stand-alone document, the status of a Recommendation.

- [ITU-T E.651] Recommendation ITU-T E.651 (2000), *Reference connections for traffic engineering of IP access networks*.
- [ITU-T G.1000] Recommendation ITU-T G.1000 (2001), *Communications Quality of Service: A framework and definitions*.
- [ITU-T G.1010] Recommendation ITU-T G.1010 (2001), *End-user multimedia QoS categories*.
- [ITU-T I.350] Recommendation ITU-T I.350 (1993), *General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDNs*.
- [ITU-T P.1010] Recommendation ITU-T P.1010 (2004), *Fundamental voice transmission objectives for VoIP terminals and gateways*.
- [ITU-T Y.1221] Recommendation ITU-T Y.1221 (2010), *Traffic control and congestion control in IP-based networks*.
- [ITU-T Y.1231] Recommendation ITU-T Y.1231 (2000), *IP Access Network Architecture*.
- [ITU-T Y.1540] Recommendation ITU-T Y.1540 (2011), *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters*.
- [ITU-T Y.1561] Recommendation ITU-T Y.1561 (2004), *Performance and availability parameters for MPLS networks*.
- [ITU-T Y.1563] Recommendation ITU-T Y.1563 (2009), *Ethernet frame transfer and availability performance*.
- [IETF RFC 791] IETF RFC 791 (1981), *Internet Protocol, DARPA Internet Program Protocol Specification*.

3 Abbreviations, acronyms and conventions

3.1 Abbreviations and acronyms

This Recommendation uses the following abbreviations and acronyms:

| | |
|------|------------------------------|
| AF | Assured Forwarding |
| ATM | Asynchronous Transfer Mode |
| BBER | Background Block Error Ratio |
| BE | Best-Effort |
| CBR | Constant Bit Rate |
| CDV | Cell Delay Variation |

| | |
|----------|--|
| CER | Cell Error Ratio |
| CLR | Cell Loss Ratio |
| CMR | Cell Misinsertion Ratio |
| CS | Circuit Section |
| DBW | Dedicated Bandwidth |
| DS | Differentiated Services |
| DST | Destination host |
| EF | Expedited Forwarding |
| ESR | Errored Second Ratio |
| FEC/I | Forward Error Correction and Interleaving |
| FIFO | First-In, First-Out |
| FTP | File Transfer Protocol |
| GW | Gateway |
| HRE | Hypothetical Reference Endpoint |
| HRP | Hypothetical Reference Path |
| IP | Internet Protocol |
| IPDV | IP packet Delay Variation |
| IPER | IP packet Error Ratio |
| IPLR | IP packet Loss Ratio |
| IPOT | Octet based IP packet Throughput |
| IPPT | IP Packet Throughput |
| IPRE | IP packet transfer Reference Event |
| IPRR | IP packet Reordering Ratio |
| IPTD | IP packet Transfer Delay |
| ISP | Internet Service Provider |
| LL | Lower Layers, protocols and technology supporting the IP layer |
| LP | Loss Period |
| LAN | Local Area Network |
| MP | Measurement Point |
| MPLS | Multi-Protocol Label Switching |
| MPLS-FRR | MPLS-Fast Re-Route |
| MTBA | Mean Time Between visible Artefacts |
| MTBISO | Mean Time between IP Service Outages |
| MTTISR | Mean Time to IP Service Restoral |
| NS | Network Section |
| NSE | Network Section Ensemble |
| NSP | Network Service Provider |

| | |
|------|-----------------------------------|
| OSPF | Open Shortest Path First |
| PDB | Per Domain Behaviour |
| PDH | Plesiochronous Digital Hierarchy |
| PHB | Per Hop Behaviour |
| PIA | Percent IP service Availability |
| PIU | Percent IP service Unavailability |
| PLC | Packet Loss Concealment |
| QoS | Quality of Service |
| R | Router |
| RSVP | Resource Reservation Protocol |
| RTP | Real-Time Transport Protocol |
| RTT | Round Trip Times |
| SACK | Selective Acknowledgements |
| SBW | Statistical Bandwidth |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy |
| SESR | Severely Errored Second Ratio |
| SPR | Spurious Packet Ratio |
| SRC | Source host |
| TC | Transfer Capability |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| TDMA | Time Division Multiple Access |
| TE | Terminal Equipment |
| ToS | Type of Service |
| TS | Transport Stream |
| TTL | Time To Live |
| UDP | User Datagram Protocol |
| UNI | User Network Interface |
| VoIP | Voice over Internet Protocol |
| VTC | Video Teleconference |

3.2 Conventions

| | |
|----------|--|
| E1 | Digital hierarchy transmission at 2.048 Mbit/s |
| E3 | Digital hierarchy transmission at 34 Mbit/s |
| M_{av} | The minimum number of packets recommended for assessing the availability state |
| N | The number of packets in a throughput probe of size N |
| pkt | IP datagram (IP packet) |
| T1 | Digital hierarchy transmission at 1.544 Mbit/s |

| | |
|------------------|--|
| T3 | Digital hierarchy transmission at 45 Mbit/s |
| T _{av} | Minimum length of time of IP availability; minimum length of time of IP unavailability |
| T _{max} | Maximum IP packet delay beyond which the packet is declared to be lost |

4 Transfer capacity, capacity agreements, and the applicability of QoS classes

This clause addresses the topic of network transfer capacity (the effective bit rate delivered to a flow over a time interval), and its relationship to the packet transfer quality of service (QoS) parameters defined in [ITU-T Y.1540], and the objectives specified here.

Transfer capacity is a fundamental QoS parameter having primary influence on the performance perceived by end users. Many user applications have minimum capacity requirements; these requirements should be considered when entering into service agreements.

It is assumed that the user and network provider have agreed on the maximum access capacity that will be available to one or more packet flows in a specific QoS class (except the Unspecified class). A packet flow is the traffic associated with a given connection or connectionless stream having the same source host (SRC), destination host (DST), class of service, and session identification. Other documents may use the terms microflow or subflow when referring to traffic streams with this degree of classification. Initially, the agreeing parties may use whatever capacity specifications they consider appropriate, so long as they allow both network provider enforcement and user verification. For example, specifying the peak bit rate on an access link (including lower layer overhead) may be sufficient. The network provider agrees to transfer packets at the specified capacity in accordance with the agreed QoS class.

When the protocols and systems that support dynamic requests are available, the user will negotiate a traffic contract. Such a contract specifies one or several traffic parameters (such as those defined in [ITU-T Y.1221], or RSVP) and the QoS class, and applies to a specific flow.

The network performance objectives may no longer be applicable when there are packets submitted in excess of the capacity agreement or the negotiated traffic contract. If excess packets are observed, the network is allowed to discard a number of packets equal to the number of excess packets. Such discarded packets must not be included in the population of interest, which is the set of packets evaluated using the network performance parameters. In particular, discarded packets must not be counted as lost packets in assessing the network's IP packet loss ratio (IPLR performance). A discarded packet might be retransmitted, but then it must be considered as a new packet in assessing network performance.

It is a network privilege to define its response to flows with excess packets, possibly based on the number of excess packets observed. When a flow includes excess packets, no network performance commitments need be honoured. However, the network may offer modified network performance commitments.

5 Network performance objectives

This clause discusses objectives for the user information transfer performance of public IP services. These objectives are stated in terms of the IP layer performance parameters defined in [ITU-T Y.1540]. A summary of the objectives can be found in Table 1 together with its associated general notes. All values in Table 1 are stable.

NOTE – From a users' perspective, network QoS objectives contribute to only part of the transmission performance (e.g., mouth-to-ear quality in voice over IP). Appendix VII provides pointers to the appropriate Recommendations in this area.

5.1 General discussion of QoS

The QoS class definitions in Table 1 present bounds on the network performance between user network interfaces (UNI). As long as the users (and individual networks) do not exceed the agreed capacity specification or traffic contract, and a path is available (as defined in [ITU-T Y.1540]), network providers should collaboratively support these UNI-to-UNI bounds for the lifetime of the flow.

The actual network QoS offered to a given flow will depend on the distance and complexity of the path traversed. It will often be better than the bounds included with the QoS class definitions in Table 1.

Static QoS class agreements can be implemented by associating packet markings (e.g., Type of Service precedence bits or Diff-Serv Code Point) with a specific class.

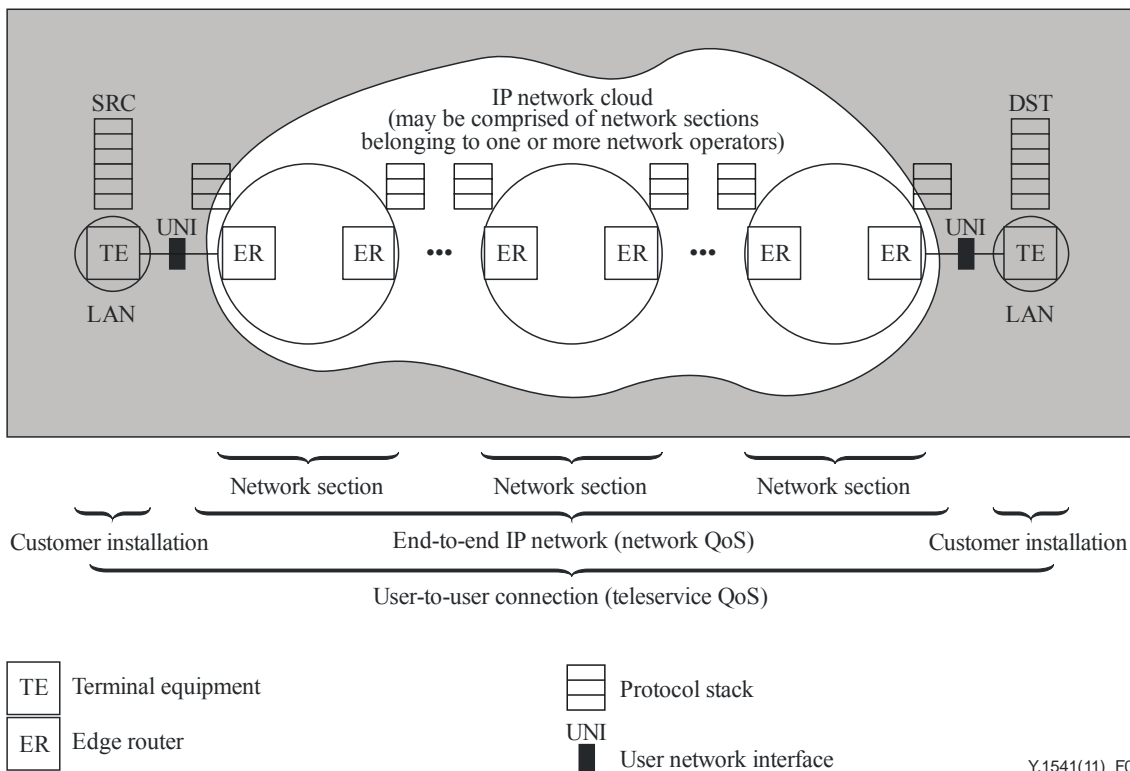
Protocols to support dynamic QoS requests between users and network providers, and between network providers, are under study. When these protocols and supporting systems are implemented, users or networks may request and receive different QoS classes on a flow-by-flow basis. In this fashion, the distinct performance needs of different services and applications can be communicated, evaluated, and acknowledged (or rejected, or modified).

5.2 Reference path for UNI to UNI QoS

Flows contain one or more packets and each packet in a flow follows a specific path from UNI to UNI.

NOTE – The phrase "End-to-End" has a different meaning in Recommendations concerning user QoS classes, where end-to-end means, for example, from mouth to ear in voice quality Recommendations. Within the context of this Recommendation, end-to-end is to be understood as from UNI-to-UNI.

The UNI-to-UNI performance objectives are defined for the IP performance parameters corresponding to the IP packet transfer reference events (IPRE). The UNI-to-UNI IP performance objectives apply from user network interface-to-user network interface in Figure 1. The UNI-to-UNI IP network path includes the set of network sections (NS) and inter-network links that provide the transport of IP packets transmitted from the UNI at the SRC side to the UNI at the DST side; the protocols below and including the IP layer (layer 1 to layer 3) may also be considered part of an IP network. Network sections (defined in [ITU-T Y.1540]) are synonymous with operator domains, and may include IP access network architectures as described in [ITU-T E.651] and [ITU-T Y.1231]. The reference path in Figure 1 is an adaptation of the ITU-T Y.1540 performance model.



NOTE – Customer Installation equipment (shaded area) is for illustrative purposes only.

Figure 1 – UNI-to-UNI reference path for network QoS objectives

The customer installation includes all terminal equipment (TE), such as a host and any router or LAN if present. There will be only one human user in some applications. It is important to note that specifications for TE and the user-to-user connection are beyond the scope of this Recommendation. The edge routers that connect with the terminal equipment may also be called access gateways.

Reference paths have the following attributes:

- 1) IP clouds may support user-to-user connections, user-to-host connections, and other endpoint variations.
- 2) Network sections may be represented as clouds with edge routers on their borders, and some number of interior routers with various roles.
- 3) The number of network sections in a given path may depend upon the class of service offered, along with the complexity and geographic span of each network section.
- 4) The scope of this Recommendation allows one or more network sections in a path.
- 5) The network sections supporting the packets in a flow may change during its life.
- 6) IP connectivity spans international boundaries, but does not follow circuit switched conventions (e.g., there may not be identifiable gateways at an international boundary if the same network section is used on both sides of the boundary).

5.3 Network QoS classes

This clause describes the currently defined network QoS classes. Each network QoS class creates a specific combination of bounds on the performance values. Any flow that satisfies all the performance objectives of a QoS class can be considered fully compliant with the normative recommendations of this Recommendation for that class. This clause includes guidance as to when

each network QoS class might be used, but it does not mandate the use of any particular network QoS class in any particular context.

Table 1 – IP network QoS class definitions and network performance objectives

| Network performance parameter | Nature of network performance objective | QoS Classes | | | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | | Class 0 | Class 1 | Class 2 | Class 3 | Class 4 | Class 5 Unspecified |
| IPTD | Upper bound on the mean IPTD (Note 1) | 100 ms | 400 ms | 100 ms | 400 ms | 1 s | U |
| IPDV | Upper bound on the $1 - 10^{-3}$ quantile of IPTD minus the minimum IPTD (Note 2) | 50 ms (Note 3) | 50 ms (Note 3) | U | U | U | U |
| IPLR | Upper bound on the packet loss probability | 1×10^{-3} (Note 4) | 1×10^{-3} (Note 4) | 1×10^{-3} | 1×10^{-3} | 1×10^{-3} | U |
| IPER | Upper bound | 1×10^{-4} (Note 5) | | | | | U |

General notes:

The objectives apply to public IP networks. The objectives are believed to be achievable on common IP network implementations. The network providers' commitment to the user is to attempt to deliver packets in a way that achieves each of the applicable objectives. The vast majority of IP paths advertising conformity with [ITU-T Y.1541] should meet those objectives. For some parameters, performance on shorter and/or less complex paths may be significantly better.

An evaluation interval of 1 minute is suggested for IPTD, IPDV, and IPLR and, in all cases, the interval must be recorded with the observed value. Any minute observed should meet these objectives.

Individual network providers may choose to offer performance commitments better than these objectives.

"U" means "unspecified" or "unbounded". When the performance relative to a particular parameter is identified as being "U", ITU-T establishes no objective for this parameter and any default ITU-T Y.1541 objective can be ignored. When the objective for a parameter is set to "U", performance with respect to that parameter may, at times, be arbitrarily poor.

NOTE 1 – Very long propagation times will prevent low end-to-end delay objectives from being met. In these and some other circumstances, the IPTD objectives in classes 0 and 2 will not always be achievable. Every network provider will encounter these circumstances and the range of IPTD objectives in Table 1 provides achievable QoS classes as alternatives. The delay objectives of a class do not preclude a network provider from offering services with shorter delay commitments. According to the definition of IPTD in [ITU-T Y.1540], packet insertion time is included in the IPTD objective. This Recommendation suggests a maximum packet information field of 1500 bytes for evaluating these objectives.

NOTE 2 – The definition of the IPDV objective (specified in [ITU-T Y.1540]) is the 2-point IP packet delay variation. See [ITU-T Y.1540] and Appendix II for more details on the nature of this objective. For planning purposes, the bound on the mean IPTD may be taken as an upper bound on the minimum IPTD and, therefore, the bound on the $1 - 10^{-3}$ quantile may be obtained by adding the mean IPTD and the IPDV value (e.g., 150 ms in class 0).

Table 1 – IP network QoS class definitions and network performance objectives

NOTE 3 – This value is dependent on the capacity of inter-network links. Smaller variations are possible when all capacities are higher than the primary rate (T1 or E1), or when competing packet information fields are smaller than 1500 bytes (see Appendix IV).

NOTE 4 – The class 0 and 1 objectives for IPLR are partly based on studies showing that high quality voice applications and voice codecs will be essentially unaffected by a 10^{-3} IPLR.

NOTE 5 – This value ensures that packet loss is the dominant source of defects presented to upper layers, and is feasible with IP transport on ATM.

5.3.1 Nature of the network performance objectives

The objectives in Table 1 apply to public IP networks, between MPs that delimit the end-to-end IP network. The objectives are believed to be achievable on common implementations of IP networks.

The left-hand part of Table 1 indicates the statistical nature of the performance objectives that appear in the subsequent rows.

The performance objectives for IP packet transfer delay are upper bounds on the underlying mean IPTD for the flow. Although many individual packets may have transfer delays that exceed this bound, the average IPTD for the lifetime of the flow (a statistical estimator of the mean) should normally be less than the applicable bound from Table 1.

The performance objectives for 2-point IP packet delay variation (defined in [ITU-T Y.1540]) are based on an upper bound on the $1 - 10^{-3}$ quantile of the underlying IPTD distribution for the flow. The $1 - 10^{-3}$ quantile allows short evaluation intervals (e.g., a sample with 1000 packets is the minimum necessary to evaluate this bound). Also, this allows more flexibility in network designs where engineering of delay buildout buffers and router queue lengths must achieve an overall IPLR objective on the order of 10^{-3} . Use of lower quantile values will result in under-estimates of de-jitter buffer size, and the effective packet loss would exceed the overall IPLR objective (e.g., an upper quantile of $1 - 10^{-2}$ may have an overall packet loss of 1.1%, with $\text{IPLR} = 10^{-3}$). Other statistical techniques and definitions for IPDV are being studied as described in Appendix II, and Appendix IV discusses IPDV performance estimation.

The performance objectives for the IP packet loss ratios are upper bounds on the IP packet loss for the flow. Although individual packets will be lost, the underlying probability that any individual packet is lost during the flow should be less than the applicable bound from Table 1.

Objectives for less-prevalent packet transfer outcomes and their associated parameters are for further study, such as the spurious packet ratio (SPR) defined in [ITU-T Y.1540].

5.3.2 Evaluation intervals

The objectives in Table 1 cannot be assessed instantaneously. Evaluation intervals produce subsets of the packet population of interest (as defined in [ITU-T Y.1540]). Ideally, these intervals are:

- Sufficiently long to include enough packets of the desired flow, with respect to the ratios and quantiles specified.
- Sufficiently long to reflect a period of typical usage (flow lifetime), or user evaluation.
- Sufficiently short to ensure a balance of acceptable performance throughout each interval (intervals of poor performance should be identified, not obscured within a very long evaluation interval).
- Sufficiently short to address the practical aspects of measurement.

For evaluations associated with telephony, a minimum interval of the order of 10 to 20 seconds is needed with typical packet rates (50 to 100 packets per second), and intervals should have an upper limit on the order of minutes. A value of 1 minute is suggested and, in any case, the value used must be recorded with the observed value, along with any assumptions and confidence intervals. Any minute observed should meet the IPTD, IPDV, and IPLR objectives of Table 1. Minimally acceptable estimation methodologies are intended for future revisions of this Recommendation.

Methods to verify achievement of the objectives are for further study. Either continuous or non-continuous evaluation may be used. One possible method of measurement is given in [b-IETF RFC 3432], where the requirement for random measurement start times and evaluation intervals of finite length result in a non-continuous evaluation.

5.3.3 Packet size for evaluation

Packet size influences the results for most performance parameters. A range of packet sizes may be appropriate since many flows have considerable size variation. However, evaluation is simplified with a single packet size when evaluating IPDV, or when the assessment is targeting flows that support constant bit rate sources. Therefore, a fixed information field size is recommended. Information fields of either 160 octets or 1500 octets are suggested, and the field size used must be recorded. Also, an information field of 1500 octets is recommended for performance estimation of IP parameters when using lower layer tests, such as bit error measurements.

5.3.4 Unspecified (unbounded) performance

For some network QoS classes, the value for some performance parameters is designated "U". In these cases, ITU-T sets no objectives regarding these parameters. Network operators may unilaterally elect to assure some minimum quality level for the unspecified parameters, but ITU-T does not recommend any such minimum.

Users of these QoS classes should be aware that the performance of unspecified parameters can, at times, be arbitrarily poor. However, the general expectation is that mean IPTD will be no greater than 1 second.

NOTE – The word "unspecified" may have a different meaning in Recommendations concerning B-ISDN signalling.

5.3.5 Discussion of the IPTD objectives

Very long propagation times will prevent low UNI-to-UNI delay objectives from being met, e.g., in cases of very long geographical distances, or in cases where geostationary satellites are employed. In these and some other circumstances, the IPTD objectives in classes 0 and 2 will not always be achievable. It should be noted that the delay objectives of a class do not preclude a network provider from offering services with shorter delay commitments. Any such commitment should be explicitly stated. See Appendix III for an example calculation of IPTD on a global route. Every network provider will encounter these circumstances (either as a single network, or when working in cooperation with other networks to provide the UNI-to-UNI path), and the range of IPTD objectives in Table 1 provides achievable network QoS classes as alternatives. Despite different routing and distance considerations, related classes (e.g., classes 0 and 1) would typically be implemented using the same node mechanisms.

According to the definition of IPTD in [ITU-T Y.1540], packet insertion time is included in the IPTD objectives. This Recommendation suggests a maximum packet information field of 1500 bytes for evaluating the objectives.

5.3.6 Guidance on class usage

Table 2 gives some guidance for the applicability and engineering of the network QoS classes.

Table 2 – Guidance for IP QoS classes

| QoS class | Applications (examples) | Node mechanisms | Network techniques |
|-----------|--|--|--|
| 0 | Real-time, jitter sensitive, high interaction (VoIP, VTC) | Separate queue with preferential servicing, traffic grooming | Constrained routing and distance |
| 1 | Real-time, jitter sensitive, interactive (VoIP, VTC). | | Less constrained routing and distances |
| 2 | Transaction data, highly interactive (Signalling) | Separate queue, drop priority | Constrained routing and distance |
| 3 | Transaction data, interactive | | Less constrained routing and distances |
| 4 | Low loss only (short transactions, bulk data, video streaming) | Long queue, drop priority | Any route/path |
| 5 | Traditional applications of default IP networks | Separate queue (lowest priority) | Any route/path |

NOTE – Any example application listed in Table 2 could also be used in class 5 with unspecified performance objectives, as long as the users are willing to accept the level of performance prevalent during their session.

Traffic policing and/or shaping may also be applied in network nodes.

Table 2 conveys one of the principles of QoS class development, that the requirements of multiple applications are addressed by a single set of network performance objectives. This approach keeps the number of QoS classes small and manageable. Figure 2 below illustrates the approach of satisfying applications with common performance requirements in a single QoS class (for example, applications 2, 3, and 4 are all satisfied by QoS classes Y and Y*, where Y* modifies one or more performance requirements based on network feasibility).

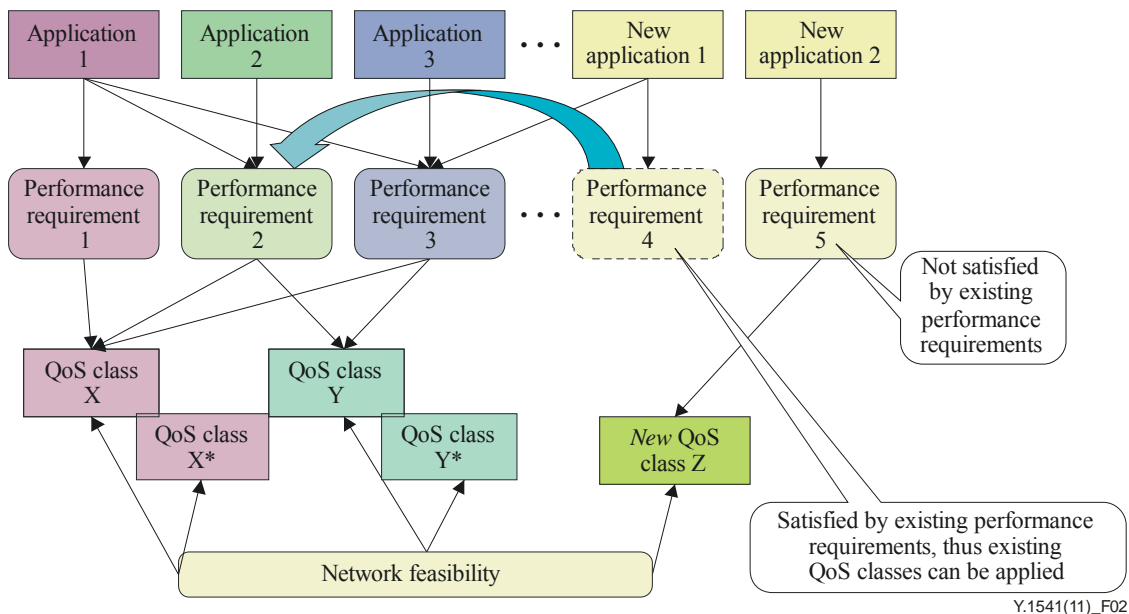


Figure 2 – Principle of multiple applications supported by a lesser number of QoS classes

With the growing number of user applications, it is important that new applications consider first how their requirements are similar to the applications already supported and seek to satisfy their requirements using one of the existing QoS classes.

5.3.7 Provisional network QoS classes

This clause presents a set of provisional network QoS classes. The distinction between these classes (see Table 3) and those in Table 1, is that the values of all objectives are provisional and they need not be met by networks until they are revised (up or down), based on real operational experience.

In this revision, there is agreement that the applications which provided the original rationale for the IPLR in Table 3 have evolved. In at least one case (IPTV) the performance objectives of Table 1 may now be sufficient (see Appendix VIII). New applications with strict performance needs are emerging, and their requirements are for further study. However, the provisional status of the classes and numerical objectives in Table 3 remains unchanged in this revision, pending further study and agreement.

Table 3 – Provisional IP network QoS class definitions and network performance objectives

| Network performance parameter | Nature of network performance objective | QoS Classes | |
|-------------------------------|--|----------------------|---------|
| | | Class 6 | Class 7 |
| IPTD | Upper bound on the mean IPTD | 100 ms | 400 ms |
| IPDV | Upper bound on the 1 – 10 ⁻⁵ quantile of IPTD minus the minimum IPTD (Note 1) | 50 ms | |
| IPLR | Upper bound on the packet loss ratio | 1 × 10 ⁻⁵ | |
| IPER | Upper bound | 1 × 10 ⁻⁶ | |
| IPRR | Upper bound | 1 × 10 ⁻⁶ | |

General notes:

Evaluation intervals for these classes should be 1 minute or longer. Evaluations should use 1500 byte payloads. An evaluation interval of 1 minute is suggested for IPTD, IPDV, and IPLR, and any minute observed should meet these objectives.

One rationale for the IP packet loss ratio (IPLR) objective was to minimize the effect of loss on TCP capacity, even when TCP parameters and the operating system have been tuned, and the large windows option has been utilized. Appendix IX provides background information on this and other support rationales. TCP selective acknowledgements (SACK), multi-path connections, and revised congestion control may reduce the loss objective, and they are subjects of further study.

The value for IPLR specified above, is not sufficient to support all the quality levels envisioned by the community of digital video users, and forward error correction and interleaving (FEC/I) or other forms of packet loss mitigation are required. Appendix VIII supplies background on the quality expectations of video transport users, and multiple forms of packet loss mitigation needed to produce low loss ratios.

The objective for IP packet error ratio (IPER) was set so as to contribute insignificantly to the overall packet loss.

The IP packet reordering ratio (IPRR) has been defined in [ITU-T Y.1540]. Reordered packets may appear as lost to a TCP sender, depending on the distance from their original positions. Therefore, the IPRR was set so as to contribute insignificantly to the overall packet loss.

New performance parameters for stream repair have been agreed and included in [ITU-T Y.1540]; they are applicable to the user applications considered in this Table. The role of these new metrics in network QoS performance objectives is for further study.

Table 3 – Provisional IP network QoS class definitions and network performance objectives

| Network performance parameter | Nature of network performance objective | QoS Classes | |
|---|---|-------------|---------|
| | | Class 6 | Class 7 |
| <p>The value for IPDV is under study, and contributions are invited to examine the rationale and feasibility of other (lower) values. In particular, if this table's scope was restricted to a higher category of access speeds than Table 1, then considerably lower IPDV objectives are possible (as Appendix IV shows).</p> <p>NOTE 1 – The definition of the IPDV objective (specified in [ITU-T Y.1540]) is the 2-point IP packet delay variation. See [ITU-T Y.1540] and Appendix II for more details on the nature of this objective. For planning purposes, the bound on the mean IPTD may be taken as an upper bound on the minimum IPTD, and therefore the bound on the $1 - 10^{-5}$ quantile may be obtained by adding the mean IPTD and the IPDV value (e.g., 150 ms in class 6).</p> | | | |

These classes are intended to support the performance requirements of high bit rate user applications that have more stringent loss/error requirements than those supported by classes 0 through 4 in Table 1.

Discussions of broadcast quality television transport on IP may be found in Appendix VIII. Appendix IX estimates TCP file transfer performance on paths conforming to [ITU-T Y.1541] objectives. Appendix XI estimates the packet loss requirement for digital circuit emulation. Some of these appendices are expected to be revised following further study, and new appendices may be added to describe models of new user applications and the estimated performance requirements based on those models.

6 Availability objectives

This clause will include information about availability objectives based on the availability parameter defined in [ITU-T Y.1540]. The objectives require more study, since fundamental network design options are rapidly changing.

7 Achievement of the performance objectives

Further study is required to determine how to achieve these performance objectives when multiple network providers are involved. There are promising standards development activities that are intended to complete other aspects needed for UNI-UNI QoS assurance.

Clause 8 gives the relationships for concatenating the performance levels of two or more network sections to determine whether the UNI-UNI objectives are met.

8 Concatenating network sections and their QoS values

8.1 Introduction

This clause addresses the estimation of the UNI-UNI performance of a path, knowing the performance of sub-sections. The purpose is to provide standard relationships to compose these UNI-UNI estimates.

These relationships produce reasonably accurate estimates of the UNI-UNI performance. Errors in the estimation process are believed to be in balance with potential errors of the individual values themselves. When the values come from recent measurements or modelling activities, they can be subject to considerable error if conditions are not stationary, or the principal assumption of independence between network sections does not hold.

These relationships are intended to support accumulation of impairments facilitated by QoS signalling protocol(s). They must not be used to support allocation of UNI-UNI values.

8.2 Composing UNI-UNI values

8.2.1 Mean transfer delay

For the mean IP packet transfer delay (IPTD) performance parameter, the UNI-UNI performance is the sum of the means contributed by network sections.

The units of IPTD values are seconds, with resolution of at least 1 microsecond. If lesser resolution is available in a value, the unused digits shall be set to zero.

8.2.2 Loss ratio

For the IP packet loss ratio (IPLR) performance parameter, the UNI-UNI performance may be estimated by inverting the probability of successful packet transfer across n network sections, as follows:

$$\text{IPLR}_{\text{UNI-UNI}} = 1 - \{ (1 - \text{IPLR}_{\text{NS1}}) \times (1 - \text{IPLR}_{\text{NS2}}) \times (1 - \text{IPLR}_{\text{NS3}}) \times \dots \times (1 - \text{IPLR}_{\text{NSn}}) \}$$

This relationship does not have limits on the parameter values, so it is preferred over other approximations, such as the simple sum of loss ratios. All measurements will use the same value of T_{max} (the waiting time to declare a packet lost).

The units of IPLR values are lost packets per total packets sent, with a resolution of at least 10^{-9} . If a lesser resolution is available in a value, the unused digits shall be set to zero.

8.2.3 Error packet ratio

For the IP packet error ratio (IPER) performance parameter, the UNI-UNI performance may be estimated by inverting the probability of error-free packet transfer across n network sections, as follows:

$$\text{IPER}_{\text{UNI-UNI}} = 1 - \{ (1 - \text{IPER}_{\text{NS1}}) \times (1 - \text{IPER}_{\text{NS2}}) \times (1 - \text{IPER}_{\text{NS3}}) \times \dots \times (1 - \text{IPER}_{\text{NSn}}) \}$$

This relationship does not have limits on the parameter values, so it is preferred over other approximations, such as the simple sum of packet error ratios.

The units of IPER values are errored packets per total packets sent, with a resolution of at least 10^{-9} . If lesser resolution is available in a value, the unused digits shall be set to zero.

8.2.4 Relationship for delay variation

The relationship for estimating the UNI-UNI delay variation (IPDV) performance from the network section values, must recognize their sub-additive nature and it is difficult to estimate accurately without considerable information about the individual delay distributions. If, for example, characterizations of independent delay distributions are known or measured, they may be convolved to estimate the combined distribution. This detailed information will seldom be shared among operators, and may not be available in the form of a continuous distribution. As a result, the UNI-UNI IPDV estimation may have accuracy limitations. Since study continues in this area, the estimation relationship given below has been specified on a provisional basis, and this clause may change in the future, based on new findings or real operational experience.

The relationship for combining IPDV values is given below.

The problem under consideration can be stated as follows: estimate the quantile t of the UNI-UNI delay T as defined by the condition:

$$\text{Pr}(T < t) = p$$

Step 1

Measure the mean and variance for the delay for each of n network sections. Estimate the mean and variance of the UNI-UNI delay by summing the means and variances of the component distributions.

$$\mu = \sum_{k=1}^n \mu_k$$
$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^n \sigma_k^2$$

Step 2

Measure the quantiles for each delay component at the probability of interest, $p = 0.999$. Estimate the corresponding skewness and third moment using the formula shown below, where $x_{0.999} = 3.090$ is the value satisfying $\Phi(x_{0.999}) = 0.999$, where Φ denotes the standard normal (mean 0, variance 1) distribution function.

$$\gamma_k = 6 \cdot \frac{x_p - \frac{t_k - \mu_k}{\sigma_k}}{1 - x_p^2}$$
$$\omega_k = \gamma_k \cdot \sigma_k^3$$

Assuming independence of the delay distributions, the third moment of the UNI-UNI delay is just the sum of the network section third moments.

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots = \sum_{k=1}^n \omega_k$$

The UNI-UNI skewness is computed by dividing by σ^3 as shown below.

$$\gamma = \frac{\omega}{\sigma^3}$$

Step 3

The estimate of the 99.9-th percentile ($p = 0.999$) of UNI-UNI delay t is as follows.

$$t = \mu + \sigma \cdot \left\{ x_p - \frac{\gamma}{6} (1 - x_p^2) \right\}$$

where $x_p = x_{0.999} = 3.090$.

As stated earlier, the nature of the IPDV objective is the upper bound on the $1 - 10^{-3}$ quantile of IPTD minus the minimum IPTD (i.e., the distribution of IPDV is normalized to the minimum IPTD). The units of IPDV values are seconds, with a resolution of at least 1 microsecond. If a lesser resolution is available in a value, the unused digits shall be set to zero.

8.3 Impairment accumulation procedures

There are two principal ways in which the relationships above may be applied to estimate the UNI-UNI performance levels. Both are acceptable.

When the values from all network sections in the path are available in one place for computation, then they should be used in the relationships above as individual values. In a signalling protocol, the individual values would be collected from the source to the destination and communicated to the entity responsible for computation and action on the result.

The values may also be accumulated each time a new value is available. In this case, the relationships above are used to combine the cumulative estimate with the value from the current network (or router, if that is the basis of combination). The calculated estimate becomes the new cumulative value, and would be communicated further along the path to the destination.

9 Security

This Recommendation does not specify a protocol, and there are limited areas where security issues may arise. All are associated with verification of the performance objectives with measurement system implementations.

Measurement systems that assess the performance of networks to determine compliance with numerical objectives defined in this Recommendation must limit the measurement traffic to appropriate levels to avoid abuse (e.g., denial of service attack). Parties participating in measurement activities, including administrations or operators of networks that carry the traffic, should agree in advance on acceptable traffic levels.

Systems that monitor user traffic for the purpose of measurement must maintain the confidentiality of user information.

Systems that attempt to make measurements may employ techniques (e.g., cryptographic hash) to determine if additional traffic has been inserted by an attacker appearing to be part of the population of interest.

Appendix I

ATM network QoS support of IP QoS

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix presents an analysis of mapping IP performance parameters on top of the ATM QoS class objectives as specified in [b-ITU-T I.356]. The purpose of this analysis is to estimate IP level performance obtained when ATM is used as the underlying transport. Because there are no routers considered in this analysis, the IP performance numbers shown here are the best that can be expected. In scenarios where intermediate routers exist, the IP performance will be worse.

Table I.1 – IP packet loss ratio (IPLR) values corresponding to ATM QoS service classes 1 and 2 (IP packet size 40 bytes; all errored packets are assumed lost)

| ATM QoS class | Delivered ATM CER | Delivered ATM CLR | Resulting IPLR |
|---------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 1 | 4.00 E-06 | 3.00 E-07 | 4.30 E-06 |
| 2 | | 1.00 E-05 | 1.40 E-05 |

Table I.2 – IP packet transfer delay (IPTD) values for a flow over a national portion and an end-to-end flow

| Network portion | IPTD resulting from ATM QoS class 1 (no delay from IP routers) |
|------------------|--|
| National portion | ~27.4 ms |
| End-to-end | 400 ms |

Note that class 0 and class 2 mean IPTD cannot be met on the 27 500 km reference connection of [b-ITU-T I.356].

The value of the cell error ratio (CER) in the ATM classes is 4×10^{-6} . If IP packets are long (1500 bytes) and errored cells cause errored IP packets, the value of the IP packet error ratio will be about 10^{-4} .

Cell misinsertion ratio (CMR) is currently specified as 1/day. The implications of CMR on SPR requires more study.

Appendix II

IP delay variation parameter definition considerations

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix discusses considerations for the definition of IPDV and the use of alternate statistical methods for the IPDV objective.

In order to provide guidance to designers of jitter buffers in edge equipment, the parameter(s) need to capture the effects of the following on IPDV:

- routine congestion in the network (high frequency IPTD variations);
- TCP windowing behaviour (low frequency IPTD variations);
- periodic and aperiodic variations in average network loading (low frequency IPTD variations);
- routing update effects on IPTD (instantaneous (and possibly large) changes in IPTD).

The current definition of IP delay variation is:

$$\text{IPDV} = \text{IPTD}_{\text{upper}} - \text{IPTD}_{\text{min}}$$

where:

$\text{IPTD}_{\text{upper}}$ is the $1 - 10^{-3}$ quantile of IPTD in the evaluation interval;

IPTD_{min} is the minimum IPTD in the evaluation interval.

The definition of IPDV is based on the reference events given in clause 6.2.2 of [ITU-T Y.1540]. Here, the nominal delay is based on the packet with the minimum one-way delay (as an alternative to the first packet, or the average of the population as the nominal delay).

The specification of the $1 - 10^{-3}$ quantile (equivalent to the 99.9th percentile) is influenced by the size of the packet sample in a 1 minute measurement interval and the IPLR objective $\leq 10^{-3}$, resulting in an overall loss ratio objective of about 10^{-3} . Smaller quantiles would add more losses, as shown below.

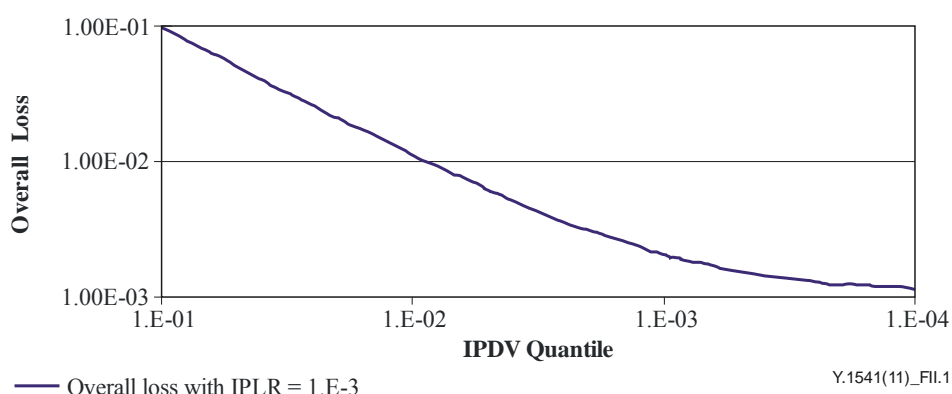


Figure II.1 – Effect of different IPDV quantiles on overall loss when IPLR = 0.001

An example alternate definition of IP delay variation is given here. IP delay variation may be defined as the maximum IPTD minus the minimum IPTD during a given short measurement interval.

$$\text{IPDV} = \text{IPTD}_{\text{max}} - \text{IPTD}_{\text{min}}$$

where:

$IPTD_{max}$ is the maximum IPTD recorded during a measurement interval;

$IPTD_{min}$ is the minimum IPTD recorded during a measurement interval.

Several values of IPDV are measured over a large time interval, comprising several short measurement intervals. The 95th percentile of these IPDV values is expected to meet a desired objective. This is a simple and fairly accurate method for calculating IPDV in real-time. The actual value of the measurement interval is for further study. The measurement interval influences the ability of the metric to capture low and high frequency variations in the IP packet delay behaviour.

Appendix III

Example hypothetical reference paths for validating the IP performance objectives

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix presents the hypothetical reference paths considered in validating the feasibility of the end-to-end performance objectives presented in clause 5. These hypothetical reference paths (HRP) are examples only. The material in this appendix is not normative and does not recommend or advocate any particular path architectures.

Each packet in a flow follows a specific path. Any flow (with one or more packets on a path) that satisfies the performance objectives of clause 5 can be considered fully compliant with the normative recommendations in the main body of the Recommendation.

The end-to-end performance objectives are defined for the IP performance parameters corresponding to the IP packet transfer reference events (IPREs). The end-to-end IP network includes the set of network sections (NS) and inter-network links that provide the transport of IP packets transmitted from SRC to DST; the protocols below and including the IP layer (layer 1 to layer 3) within the SRC and DST may also be considered part of an IP network.

NOTE – For information concerning the effects on end-to-end quality as perceived by the user of the delay figures given by the presented hypothetical reference paths refer to Appendix VII.

III.1 Number IP nodes in the HRP

HRPs have similar attributes to the reference path of clause 5.

Network sections are defined (in [ITU-T Y.1540]) as sets of hosts together with all of their interconnecting links that together provide a part of the IP service between an SRC and a DST, and are under a single (or collaborative) jurisdictional responsibility. Network sections are synonymous with operator domains. Network sections may be represented as clouds with edge routers on their borders, and some number of interior routers with various roles. In this case, HRPs are equivalent to the "path digest" of [b-IETF RFC 2330].

Each NS may be composed of IP nodes performing access, distribution, and core roles, as illustrated in Figure III.1.

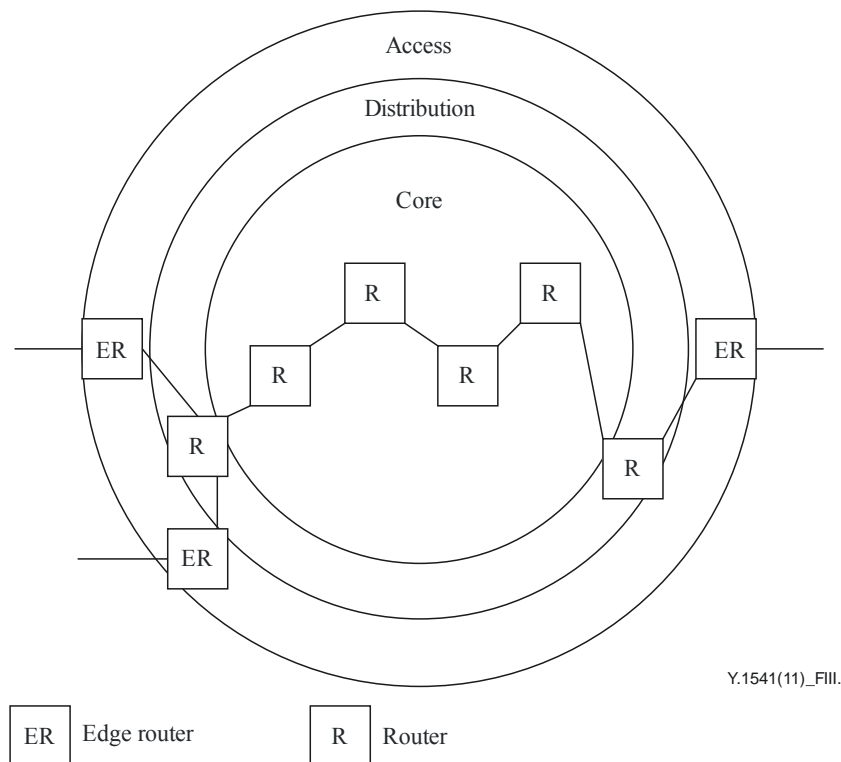


Figure III.1 – Role of IP nodes in a network section

Note that one or more routers are needed to complete each role, and the core path illustrated has four routers in tandem. A path through an NS could encounter as few as three routers, or as many as eight in this example.

Router contribution to various parameters may vary according to their role. Edge routers generally perform one of two roles, as access gateway routers or internetworking gateway routers.

Table III.1 – Examples of typical delay contribution by router role

| Role | Average total delay (sum of queuing and processing) | Delay variation |
|-------------------------|--|-----------------|
| Access gateway | 10 ms | 16 ms |
| Internetworking gateway | 3 ms | 3 ms |
| Distribution | 3 ms | 3 ms |
| Core | 2 ms | 3 ms |

NOTE – Internetworking gateways typically have performance characteristics different from access gateways.

Route length calculation

If the distance-based component is proportional to the actual terrestrial distance, plus a proportional allowance, for a typical physical-route-to-actual-distance ratio. The route length calculation used here is based on [b-ITU-T G.826], and only for the long distances considered here. If D_{km} is the air-route distance between the two MPs that bound the portion, then the route length calculation is:

- if $D_{km} > 1200$, $R_{km} = 1.25 \times D_{km}$

The above does not apply when the portion contains a satellite hop.

III.2 Example computations to support end-end class 0 and class 1 delay

Class X network delay computation (X = 0 through 4)

This clause calculates the IPTD for any path portion supporting a QoS class X flow. When a flow portion does not contain a satellite hop, its computed IPTD is (using the delay for optical transport given in [b-ITU-T G.114]):

$$\text{IPTD (in microseconds)} \leq (R_{\text{km}} \times 5) + (N_A \times D_A) + (N_D \times D_D) + (N_C \times D_C) + (N_I \times D_I)$$

In this formula:

- R_{km} represents the route length assumption computed above.
- $(R_{\text{km}} \times 5)$ is an allowance for "distance" within the portion.
- N_A , N_D , N_C , and N_I represent the number of IP access gateway, distribution, core and internetwork gateway nodes respectively; consistent with the network section example in Figure III.1.
- D_A , D_D , D_C , and D_I represent the delay of IP access gateway, distribution, core and internetwork gateway nodes respectively; consistent with the values for class X (e.g., Table III.1).

Maximum IPDV may be calculated similarly.

As an example of this calculation, consider the following HRP. This path contains two IP networks, and an internetworking point.

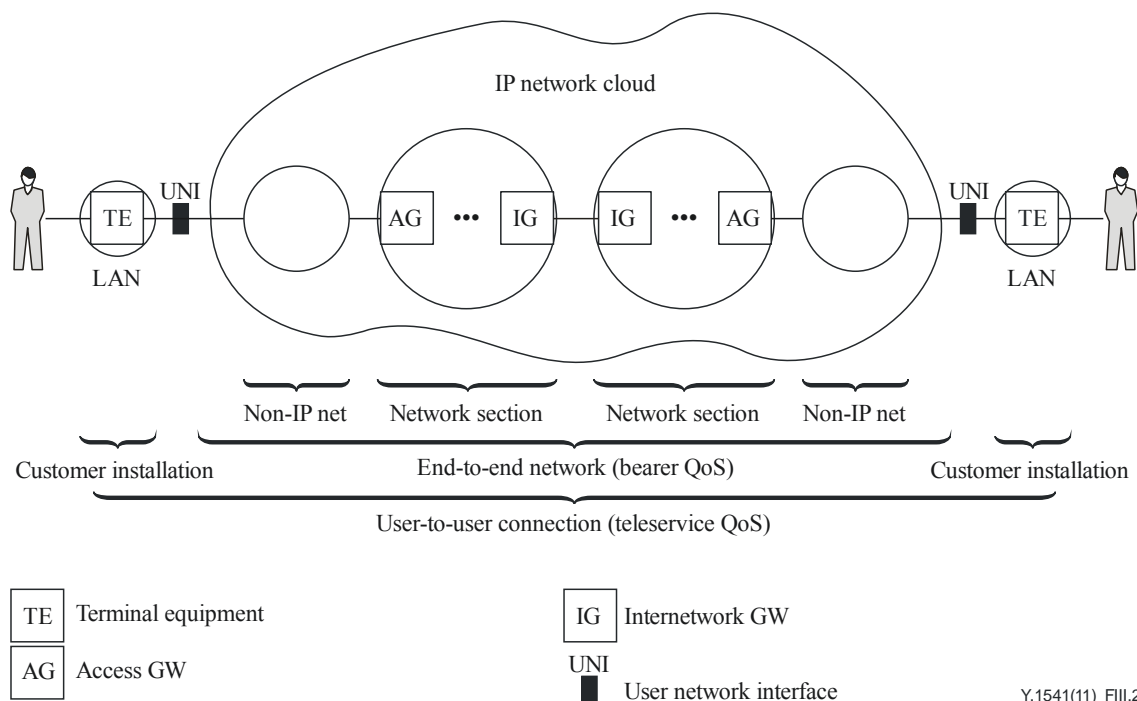


Figure III.2 – Hypothetical reference path for QoS class 0

Interior router configurations are not shown in the hypothetical reference path (HRP) of Figure III.2. The number of core and distribution routers can be found in Table III.2.

Assumptions:

- 1) Distance used is approximately the span between Daytona Beach and Seattle (US Diagonal, longer than Lisbon to Moscow).

- 2) Access links are T1 capacity, others are larger than T1 (e.g., OC-3).
- 3) Largest packet size is 1500 bytes, and VoIP packet size is 200 bytes.
- 4) Non-IP networks are needed between the NI and Access GW.

Table III.2 – Analysis of example class 0 path

| Element | Unit | IPTD/ Unit | Ave IPTD | IPDV/ Unit | Max IPDV |
|------------------------|---------------------------|---------------|------------|---------------|-----------|
| Distance | 4070 km | | | | |
| Route | 5087.5 km | | 25 | | |
| Insertion Time | 200 bytes (1500 bytes) | | 1 (8) | | |
| Non IP Net 1 | | | 15 | | 0 |
| IP Net 1 | | | | | |
| Access, N_A | 1 | 10 | 10 | 16 | 16 |
| Distribution, N_D | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Core, N_C | 2 | 2 | 4 | 3 | 6 |
| Internetwork GW, N_I | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| IP Net 2 | | | | | |
| Access, N_A | 1 | 10 | 10 | 16 | 16 |
| Distribution, N_D | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Core, N_C | 4 | 2 | 8 | 3 | 12 |
| Internetwork GW, N_I | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Non IP Net 2 | | | 15 | | 0 |
| Total, ms | | | 100 | | 62 |

Table III.2 gives the HRP configuration in terms of number and type of routers, distance, and contribution of all HRP components to delay (IPTD) and delay variation (IPDV). Note that the calculation of maximum IPDV here is very pessimistic (assuming the worst case addition of each node), and is therefore greater than the specification of IPDV in the body of this Recommendation.

III.3 Example end-end class 1 delay computation

Class 1 is available to support longer path lengths and more complex network paths. Using the same assumptions as described in Table III.2, but with a 12 000 km distance, the mean IPTD will be 150 ms, and an R-value of approximately 83 is possible.

In a second example, we add a transit IP network section, for a total of 3 NS.

Table III.3 – Example calculation for class 1 path

| Element | Unit | IPTD/ Unit | Ave IPDT | IPDV/ Unit | Max IPDV |
|------------------------|---------------------------|---------------|------------|---------------|-----------|
| Distance | km | | | | |
| Route | 27 500 km | | 138 | | |
| Insertion Time | 200 bytes (1500 bytes) | | 1 (8) | | |
| Non IP Net 1 | | | 15 | | 0 |
| IP Net 1 | | | | | |
| Access, N_A | 1 | 10 | 10 | 16 | 16 |
| Distribution, N_D | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Core, N_C | 2 | 2 | 4 | 3 | 6 |
| Internetwork GW, N_I | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| IP Net 2 | | | | | |
| Distribution, N_D | 2 | 3 | 6 | 3 | 6 |
| Core, N_C | 4 | 2 | 8 | 3 | 12 |
| Internetwork GW, N_I | 2 | 3 | 6 | 3 | 6 |
| IP Net 3 | | | | | |
| Access, N_A | 1 | 10 | 10 | 16 | 16 |
| Distribution, N_D | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Core, N_C | 4 | 2 | 8 | 3 | 12 |
| Internetwork GW, N_I | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Non IP Net 2 | | | 15 | | 0 |
| Total, ms | | | 233 | | 86 |

Table III.3 gives the HRP configuration in terms of number and type of routers, distance, and contribution of all HRP components to delay (IPTD) and delay variation (IPDV).

III.4 Example computations to support end-end class 4 delay

Following the form of the calculation above, we can expand the number of NS having delay contributions given in Table III.1, or we can expand the contributions as follows:

Table III.4 – Class 4 delay contribution by router role

| Role | Average total delay (sum of queueing and processing) |
|-------------------------|---|
| Access Gateway | 200 ms |
| Internetworking Gateway | 64 ms |
| Distribution | 64 ms |
| Core | 3 ms |

Here, with a route length of 27 500 km, the average 1-way delay would be 884 ms (using the HRP with node configuration as described in Table III.2).

III.5 Loading within the HRP

The fraction of each transmission link occupied by active packets is one of the factors to be considered in the HRPs. The load levels at which the network will continuously operate is another factor.

III.6 Geostationary satellites within the HRP

The use of geostationary satellites was considered during the study of the HRPs. A single geostationary satellite can be used within the HRPs and still achieve end-to-end objectives on the assumption that it replaces significant terrestrial distance, multiple IP nodes, and/or transit network sections.

The use of low and medium-Earth orbit satellites was not considered in connection with these HRPs.

When a path contains a satellite hop, this portion will require an IPTD of 320 ms, to account for a low earth station viewing angle, low rate TDMA systems, or both. In the case of a satellite possessing on-board processing capabilities, 330 ms of IPTD is needed to account for on-board processing and packet queueing delays.

It is expected that most HRPs which include a geostationary satellite will achieve IPTD below 400 ms. However, in some cases, the value of 400 ms may be exceeded. For very long paths to remote areas, network providers may need to make additional bilateral agreements to improve the probability of achieving the 400 ms objective.

Appendix IV

Example calculations of IP packet delay variation

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix provides material to facilitate the calculation of the IP packet delay variation (IPDV) for those IP QoS classes where a rather strict value for the IPDV is specified, i.e., IP QoS class 0 and class 1.

For the calculations here it is assumed that a network operator provides a choice of different IP QoS classes also including QoS classes for which no IPDV objectives are specified. This mix of properties motivates the notion of "delay variation-sensitive" flows (e.g., QoS class 0 and class 1) and "delay variation-insensitive" flows (e.g., QoS classes 2, 3, 4, and 5). It is further assumed that an operator providing such a mix of QoS classes, makes a reasonable effort to separate the variation-sensitive from the variation-insensitive flows. Key elements in such an effort consist of a packet scheduling strategy and additional traffic control measures. For the calculations in this appendix, it is assumed that packets of variation-sensitive flows are scheduled with non-preemptive priority over packets from variation-insensitive flows, and that the scheduling within each of these two categories is FIFO.

NOTE – This simple assumption only serves the purpose to arrive at a 'calculable' model. Other packet scheduling strategies (such as weighted fair queueing) or traffic control measures, are not excluded. It is further assumed that the performance of other approaches is either better, or not much worse than, the performance of the approach used for these calculations.

IV.1 Contributors to IP packet delay variation

The following factors are taken into account as the most significant contributors to IP packet delay variation (IPDV) for the variation-sensitive flows:

- Variable delay because the processing delay for the packet's forwarding decision (routing look-up) is not a single fixed value but may vary from packet-to-packet.
- Variable delay because the packet has to wait behind other variation-sensitive packets which arrived earlier.
- Variable delay because the packet has to wait for the service completion of a variation-insensitive packet which arrived earlier and is already in service.

IV.2 Models and calculation procedures to establish an upper bound to the IPDV

IV.2.1 Delay variation due to routing look-up

For an arriving packet, the router needs to establish the outgoing port to which the packet is to be forwarded, based on the IP address. The time required for this forwarding decision may vary from packet-to-packet.

High performance routers may cache recently used IP addresses to speed-up this process for subsequent packets. Then, all packets of a flow, except the first one, are expected to experience a short look-up delay and very small variation between them. Though, strictly, the longer delay of the first packet contributes to the IPDV, the exceptional delay of the first packet is disregarded in these calculations because it is a 'one off' event and its effect will vanish in flows with a relative long duration (e.g., a VoIP flow).

It is expected that the packet-to-packet variation in the routing look-up delay is not more than a few tens of microseconds in each router. For the calculations, the variability is assumed to be less than 30 μ s per router.

Because there is little information available about the distribution of this delay component, the aggregated variability over several routers in tandem is set to the sum of the individual variabilities, i.e., statistical effects are not taken into account for this IPDV component.

IV.2.2 Delay variation due to variation-sensitive packets

A variation-sensitive packet will have to wait for other variation-sensitive packets to be serviced which have arrived earlier (FIFO discipline). Each variation-sensitive flow is modelled as a continuous flow of packets with negligible 1-point IP packet delay variation, comparable to the concept of 'negligible CDV' used for a CBR stream of ATM cells (see [b-ITU-T E.736]).

For the calculations, it is further assumed that all variation-sensitive packets have a fixed size of 1500 bytes. This allows the well-known M/D/1 queueing model (see [b-ITU-T E.736]) to be applied for the calculation of this component in the packet delay variation. The fixed service time is determined by the assumed fixed packet size (1500 bytes) and the router's output link rate, e.g., 80.13 μ s on an STM-1 link.

For the aggregation of this delay component over several routers in tandem, the convolution of the relevant delay distributions is to be used, taking into account different output link rates when applicable. The lower quantile is assumed to be zero, the higher ($1 - 10^{-3}$) quantile can be approximated accurately using large deviations theory, in particular the Bahadur-Rao estimate as worked out in [b-Mandjes].

Figure IV.1 illustrates the result of such calculations. It shows the ($1 - 10^{-3}$) delay variation quantile for the aggregated delay component due to interference from variation-sensitive traffic, for different load levels of variation-sensitive traffic and for different numbers of router hops in tandem.

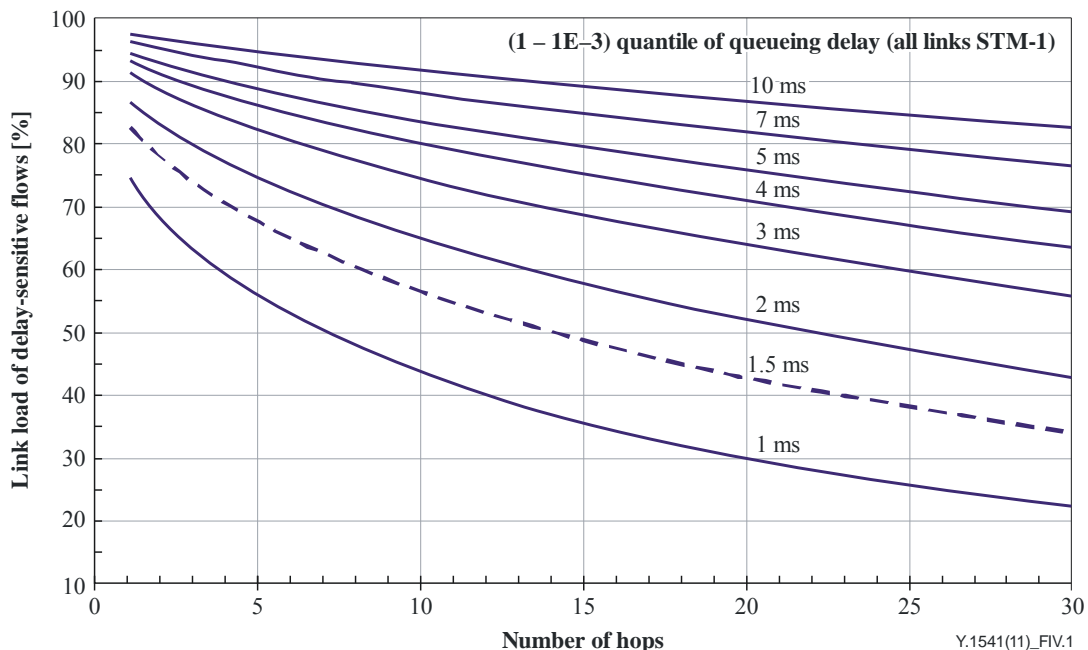


Figure IV.1 – The ($1 - 10^{-3}$) quantile of the aggregated queueing delay component due to variation-sensitive traffic for different levels of the variation-sensitive traffic and for different numbers of router hops in tandem

Figure IV.1 assumes that all links in the network are STM-1 and all links show the same load level for variation-sensitive traffic. If one or more links have a higher capacity than STM-1, the resulting end-to-end delay will be lower; if some links have a lower capacity, the resulting end-to-end delay will be higher. These effects can be calculated (see clause IV.2.4) but cannot easily be reflected in Figure IV.1.

Finally, it is assumed that in a network which supports both variation-sensitive and variation-insensitive traffic, the load of variation-sensitive traffic on a link is not more than 50% of the link to reflect the observed trend towards 'more data than voice'. Then, from Figure IV.1 it can be derived that this delay component contributes no more than about 2.48 ms to the IPDV on the path, even if the path crosses a very high number of 25 STM-1 router hops.

IV.2.3 Delay variation due to a variation-insensitive packet

An arriving variation-sensitive packet does not pre-empt the servicing of a variation-insensitive packet which arrived earlier. Consequently, the variation-sensitive packet may experience a queueing component in each router bounded by the time it takes to serve a variation-insensitive packet.

For the calculation, it is assumed that each variation-sensitive packet experiences a random delay due to a variation-insensitive packet which is uniformly distributed between zero and the service time of maximum sized (1500 byte) variation-insensitive packets on the relevant output link rate. On an STM-1 output link this corresponds to a uniformly distributed delay between 0 and 80.13 μ s in each router.

For the aggregation of this delay component over several routers in tandem, the convolution of the relevant delay distributions may be used, taking into account different output link rates when applicable. The lower quantile is assumed to be zero, the higher ($1 - 10^{-3}$) quantile can be calculated exactly. In most cases a good approximation is achieved by using an approximation by a normal (Gaussian) distribution or the worst case, whichever yields the smallest value. The ($1 - 10^{-3}$) quantile is found at $(\mu + 3.72 \cdot \sigma)$.

IV.2.4 Aggregated delay variation for variation-sensitive packets

An upper bound to the IPDV on a HRP is found by adding the values calculated for each of the three components in clauses IV.2.1 to IV.2.3.

NOTE – The resultant calculated value is expected to be higher than the value experienced in a real network. The following factors are noted:

- The addition of three quantile values yields a higher value than the actual delay quantile.
- The actual size of variation-sensitive packets (such as VoIP packets) is expected to be much smaller than the assumed size of 1500 bytes. In addition, the load with variation-sensitive traffic on most links is expected to be smaller than the assumed value of 50%. Therefore, the actual queueing delay due to interference with variation-sensitive traffic is expected to be smaller than calculated.
- The actual distribution of variation-insensitive packets (e.g., TCP acknowledgements) also contains packets which are (much) smaller than the assumed size of 1500 bytes. In addition, the total load (variation-sensitive plus variation-insensitive traffic) on most links is expected to be usually smaller than the assumed value of 100%. Therefore, the actual queueing delay due to interference with variation-insensitive traffic is expected to be smaller than calculated.

IV.3 Calculation examples

The following shows three examples for the calculation of the IPDV induced on a user-to-user HRP (see Figure II.1).

- An example where all links are relatively high speed (STM-1 or higher).
- An example where the links between customer and network and the links between network sections have a lower speed (E3 or T3).

- An example where the links between customer and network are low speed (e.g., 1.544 Mbit/s, T1).

IV.3.1 Example with STM-1 links

In this example, all links are assumed to be STM-1. The HRP between the network interfaces of the IP network cloud (see Figure III.2) consists of 12 router hops. Thus, the contributing factors to the IPDV on this path can be calculated as follows.

- Router look-up delay variation (see clause IV.2.1): $12 \times 30 \mu\text{s} = 0.36 \text{ ms}$.
- Queueing delay variation due to variation-sensitive traffic (see Figure IV.1 for 50% load and 12 hops STM-1): $\approx 1.36 \text{ ms}$.
- Queueing delay variation due to variation-insensitive traffic (see clause IV.2.3): $\approx 9.01 \times 80.13 \mu\text{s} = 0.72 \text{ ms}$.

Thus, the IPDV on this high link rate path can be expected to be smaller than 2.44 ms.

IV.3.2 Example with E3 interconnecting links

In this example, all links are assumed to be STM-1 except the user-network links and the link between network sections which are assumed to be E3 (34 Mbit/s). The HRP between the network interfaces of the IP network cloud (see Figure III.2) consists of 12 router hops, of which 2 hops have the lower E3 bit rate. Thus, the contributing factors to the IPDV on this path can be calculated as follows.

- Router look-up delay variation (see clause IV.2.1): $12 \times 30 \mu\text{s} = 0.36 \text{ ms}$.
- Queueing delay variation due to variation-sensitive traffic (for 50% load and 10 hops STM-1 plus 2 hops E3): $\approx 2.92 \text{ ms}$.
- Queueing delay variation due to variation-insensitive traffic (for 10 hops STM-1 plus 2 hops E3): $\approx 1.19 \text{ ms}$.

Thus, the IPDV on this mixed link rate path can be expected to be smaller than 4.47 ms.

IV.3.3 Example with low rate access links

In this example, all links are assumed to be STM-1 except the user-network links which are assumed to be about 1.5 Mbit/s T1. The HRP between the network interfaces of the IP network cloud (see Figure III.2) consists of 12 router hops, of which 1 hop has the lower bit rate. In this case, the access link contribution is treated separately. The contributing factors to the IPDV on the high rate part of this path can be calculated as follows.

- Router look-up delay variation (see clause IV.2.1): $12 \times 30 \mu\text{s} = 0.36 \text{ ms}$.
- Queueing delay variation due to variation-sensitive traffic (for 50% load and 11 hops STM-1): $\approx 1.29 \text{ ms}$.
- Queueing delay variation due to variation-insensitive traffic (for 11 hops STM-1): $\approx 8.364 \times 80.13 \mu\text{s} = 0.67 \text{ ms}$.

Thus, the IPDV on this high link core path can be expected to be smaller than 2.32 ms.

On the access links, the delay contribution due to interference with a variation-insensitive packet may be as much as 15.6 ms when two 1500 byte packets are served ahead of a variation-sensitive packet (one of these packets may be part of the delay sensitive flow). The contribution to the IPDV due to interference with other variation-sensitive flows highly depends on the number of these flows and on the actual packet sizes used.

Note that the number of variation-sensitive flows, and the related packet size on the low rate access link, is determined by applications selected by the end-users. Without some influence, the network operator will find himself in a difficult position to commit to a stringent value for the IPDV network performance objective in the presence of a low rate access link.

If the delay-sensitive traffic has constant packet size (each containing 20 ms of G.711 coded voice, consistent with Appendix III), and occupies no more than 50% of the access link, then delay can be estimated as follows. There may be up to 9 voice flows of 50 packet/s, each 160 byte payload plus 40 byte RTP, UDP and IP headers (each total 80 kbit/s).

- Queueing delay variation due to variation-sensitive traffic (for 46.9% load and 1 hop T1), using the M/D/1 queueing model shows that the delay contribution, due to those relatively small variation-sensitive packets on the access link, is 5.12 ms.
- Queueing delay variation due to variation-insensitive traffic (for 1 hop T1): 7.81 ms.

The contribution to the delay variation on the access link thus aggregates to 12.93 ms thus totalling to 15.25 ms. The access link contribution thus dominates the IPDV in this case.

IV.3.4 Example summary and conclusions

The calculation examples show that a network operator who makes a modest effort to support both variation-sensitive and variation-insensitive traffic can commit to rather stringent values for the IPDV on a long HRP where all links have a reasonably high rate (e.g., a mix of STM-1 and E3/T3 or higher). Committing to an IPDV value in the order of 10 ms leaves ample room for additional lower rate (E3/T3) links or for an additional network section.

If a low rate link (1.5 Mbit/s T1, or E1) is present, committing to any low IPDV value becomes difficult. The network operator has little or no control over the actual number of variation-sensitive flows and the actual packet size of the variation-sensitive packets. Therefore, the IPDV commitments made by the network in this case will be dominated by the access link, and will need to be considerably larger than 10 ms, as shown in Table 1. On the access link, the end-user has control over the number and type of flows designated for a delay sensitive class, and therefore over the resulting IPDV. Under the assumption that the access link is only modestly loaded (<50%) with variation-sensitive traffic and that the dominant size of those packets will be small compared to the 1500 byte maximum size, an additional allowance of 20 ms for one low rate access link may be sufficient.

Appendix V

Material relevant to IP performance measurement methods

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix, which is for further study, will describe important issues to be considered as IP performance measurement methods are developed. It will describe the effects of conditions external to the sections under test, including traffic considerations, on measured performance.

The following conditions should be specified and controlled during IP performance measurements:

- 1) The exact sections being measured:
 - SRC and DST for end-to-end measurements;
 - MP bounding an NSE being measured;

NOTE – It is not necessary to measure between all MP pairs or all SRC and DST pairs in order to characterize performance.

- 2) Measurement time:
 - how long samples were collected;
 - when the measurement occurred.
- 3) Exact traffic characteristics:
 - rate at which the SRC is offering traffic;
 - SRC traffic pattern;
 - competing traffic at the SRC and DST;
 - IP packet size.
- 4) Type of measurement:
 - in-service or out-of-service;
 - active or passive.
- 5) Summaries of the measured data:
 - means, worst-case, empirical quantiles;
 - summarizing period:
 - short period (e.g., one minute);
 - long period (e.g., one hour, one day, one week, one month).

Appendix VI

Applicability of the ITU-T Y.1221 transfer capabilities and IETF differentiated services to IP QoS classes

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix addresses the applicability of the transfer capabilities defined in [ITU-T Y.1221] in support of the ITU-T Y.1541 IP QoS classes. It also specifies the relationship between ITU-T Y.1221 transfer capabilities and IETF differentiated services per hop behaviours consistent with what is specified in [ITU-T Y.1221].

[ITU-T Y.1221] defines three transfer capabilities (TC) called dedicated bandwidth (DBW), statistical bandwidth (SBW), and best-effort (BE). Each of the service models specified as part of the definitions of the ITU-T Y.1221 transfer capabilities currently specify a set of network performance parameters consistent with those specified in Table 1. Transfer capabilities defined in [ITU-T Y.1221] can be used to meet the performance objectives of the six QoS classes defined in this Recommendation.

QoS classes 0 and 1 in Table 1 define bounds on both IP packet delay and delay variation, and on IP packet loss ratio. The transfer capability of [ITU-T Y.1221] that allows a traffic contract to specify bounds on IP packet delay/delay variation and IP packet loss is the dedicated bandwidth transfer capability. QoS classes 2, 3 and 4 in Table 1 define bounds on IP packet loss ratio but not on IP packet delay variation. The transfer capability of [ITU-T Y.1221] that allows a traffic contract to specify bounds on both IP packet loss and delay is under study. QoS class 5 in Table 1 does not define bounds on IP packet loss ratio or IP packet delay/delay variation. The transfer capability of [ITU-T Y.1221] that does not offer any QoS commitment is the best-effort transfer capability. Table VI.1 specifies the mapping between ITU-T Y.1541 QoS classes and ITU-T Y.1221 transfer capabilities.

[ITU-T Y.1221] provides a mapping between the three transfer capabilities it defines and the IETF differentiated services per hop behaviours that should be used in networks that use the DiffServ architecture. Table VI.1 specifies the mapping between ITU-T Y.1221 transfer capabilities and IETF DiffServ per hop behaviours.

Table VI.1 – Association of ITU-T Y.1541 QoS classes with ITU-T Y.1221 transfer capabilities and differentiated services PHBs

| Y.1221 transfer capabilities | Associated DiffServ PHBs | IP QoS class | Remarks |
|--|--------------------------|-------------------------|---|
| Best-effort (BE) | Default | Unspecified QoS class 5 | A legacy IP service, when operated on a lightly loaded network may achieve a good level of IP QoS. |
| Delay-sensitive Statistical Bandwidth (DSBW) | AF | QoS classes 2, 3, 4 | The IPLR objective only applies to the IP packets in the higher priority levels of each AF class. The IPTD applies to all packets. |
| Dedicated Bandwidth (DBW) | EF | QoS classes 0 and 1 | |

Appendix VII

Effects of network QoS on end-to-end speech transmission performance as perceived by the user

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix gives calculations of end-to-end speech quality using the objectives of ITU-T Y.1541 network QoS class 0 and class 1 as a starting point. These objectives constrain key contributors to application performance that are often dominant in the calculations. When combined with the performance of well-designed customer equipment, it is believed that the objectives provided by this Recommendation do allow for the achievement of a high end-to-end speech transmission performance as perceived by the users. However, the material provided by the G.100-series of ITU-T Recommendations should also be taken into account.

[b-ITU G.107], [b-ITU-T G.108], [b-ITU-T G.109], [b-ITU-T G.113], [b-ITU-T G.114] are the key documents required to derive an estimation of the mouth-to-ear speech quality which can be achieved with the values of the relevant network QoS class.

[b-ITU-T G.114] provides end-to-end limits and allocations for mean one-way delay, independent of other transmission impairments. The need to consider the combined effects of all impairments on overall transmission quality is addressed by [b-ITU-T G.107], the so-called E-model as the common ITU-T transmission rating model, which is the recommended ITU-T method for end-to-end speech transmission planning. [b-ITU-T G.108] gives detailed examples on how to use the model to assess the transmission performance of connections involving various impairments, including delay; and [b-ITU-T G.109] maps transmission rating predictions of the model into categories of speech transmission quality. Thus, while [b-ITU-T G.114] provides useful information regarding mean one-way delay as a parameter by itself, [b-ITU-T G.107] (and [b-ITU-T G.108] and [b-ITU-T G.109]) should be used to assess the effects of delay in conjunction with other impairments (e.g., distortions due to speech processing).

Furthermore, [b-ITU-T G.101] (the transmission plan) and related Recommendations are currently undergoing a basic revision.

VII.1 Example VoIP calculations with ITU-T Y.1541 class 0 network performance

As an example, a telephony hypothetical reference endpoint (HRE) for speech media may be as shown below. Information flows from the talker down through the protocol stack on the left, across the HRP, and up the protocol stack on the right to the listener (only one sending direction is shown).

| Talker | | Listener |
|------------------------|----------------|--|
| ITU-T G.711 coder | | ITU-T G.711 decoder, Appendix I of ITU-T G.711 packet loss concealment |
| RTP 20 ms payload size | | 60 ms jitter buffer |
| UDP | | UDP |
| IP | | IP |
| | (lower layers) | |

Figure VII.1 – Example VoIP hypothetical reference endpoint

Using the hypothetical reference endpoint in Figure VII.1, endpoint delay is as below. These calculations follow from the formulas given in [b-ITU-T G.1020] for overall delay.

Table VII.1 – Endpoint delay analysis

| | Delay, ms | Notes |
|----------------------|------------------|--|
| Packet Formation | 40 | Two times frame size plus 0 look-ahead |
| Jitter Buffer, ave. | 30 | Centre of 60 ms buffer |
| Packet Loss Conceal. | 10 | One PLC "frame" |
| Total, ms | 80 | |

The endpoint delay calculated in Table VII.1 is consistent with the objective for an ITU-T P.1010 category B terminal. If we combine this mean endpoint delay with the class 0 network delay, the total average delay for the user-to-user path is $100 + 80 = 180$ ms. The example class 0 reference path in Appendix III indicates that this delay may be achieved over a distance of 4070 km.

A 50 ms customer installation (1-way send and receive) is possible with a packet formation time of 10 ms and a 50 ms de-jitter buffer.

Table VII.2 – Low delay endpoint delay analysis

| | Delay, ms | Notes |
|------------------------|------------------|--|
| Packet Formation | 20 | Two times frame size plus 0 look-ahead |
| De-Jitter Buffer, ave. | 25 | Centre of 50 ms buffer |
| Packet Loss Conceal. | 0 | "Repeat Previous" requires no additional delay |
| Other Equipment | 5 | |
| Total, ms | 50 | |

The endpoint delay calculated in Table VII.2 is consistent with the objective for an ITU-T P.1010 category A terminal. The class 0 path IPTD and customer installation delays sum to a 1-way mouth-to-ear transmission time of 150 ms, satisfying the needs of most applications (as per [b-ITU-T G.114]).

It must be noted that a de-jitter buffer's contribution to mouth-ear delay is based on the average time packets spend in the buffer, not the peak buffer size. Packets that encounter the minimum transfer delay will wait the maximum time in the de-jitter buffer before being played out as a synchronous stream, while the reverse is true for packets with the maximum accommodated transfer delay (these packets spend the minimum time in the de-jitter buffer). In this way, the de-jitter buffer compensates for transfer delay variations and ensures that packets can be removed according to a synchronous play-out clock. [b-ITU-T G.1020] gives a more detailed description of the de-jitter buffer and its contribution to overall delay.

VII.2 Example VoIP calculations with ITU-T Y.1541 class 1 network performance

Using the same assumptions and the hypothetical reference path endpoint delays of Table VII.1, and the class 1 example path from Appendix III, the total average delay for a 27 500 km user-to-user path is $233 + 80 = 313$ ms.

VII.3 Speech quality calculations for ITU-T Y.1541 hypothetical reference paths

It is possible to estimate the speech quality of IP networks using the ITU-T G.107 transmission planning tool, also known as the E-model.

Appendix III gives assumptions and configuration details of calculations for network (UNI-UNI). The example endpoint assumptions and delay calculations above include ITU-T G.711 codec, packet size, packet loss concealment, de-jitter buffer size, etc. Alternate speech codecs with lower bit rates, alternate packet sizes, and other variations are possible.

Figure VII.2 gives the reference connection for this analysis.

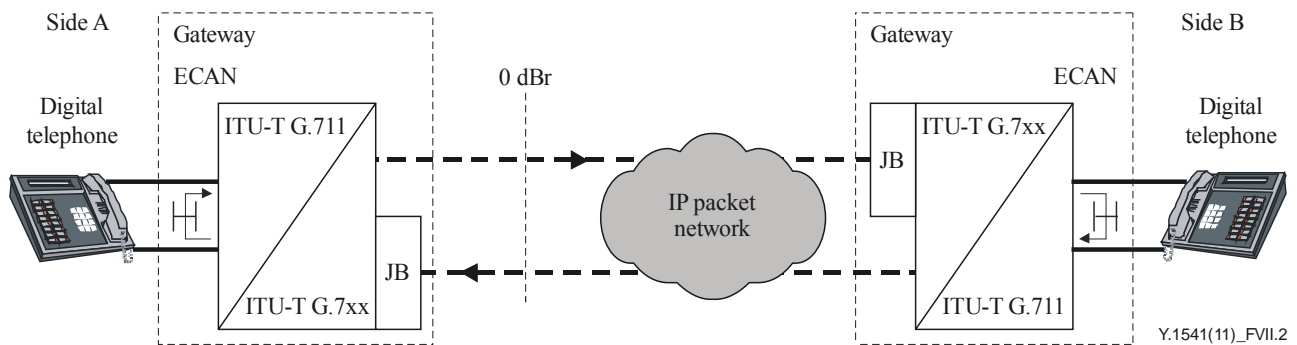


Figure VII.2 – Reference connection

Table VII.3 gives the E-model parameters used in the analysis.

Table VII.3 – E-model parameters

| Parameters | | Model input values | | |
|------------|---|---------------------|--------------|-------|
| Symbol | Definition | ITU-T G.107 default | Input values | Unit |
| Nc | Electric Circuit Noise Referred to at the 0 dBr point | (-70) | -70.0 | dBm0p |
| Pos | Room Noise (Send) | (35) | 35.0 | dB(A) |
| Por | Room Noise (Receive) | (35) | 35.0 | dB(A) |
| SLR | Send Loudness Rating | (8) | 8.0 | dB |
| RLR | Receive Loudness Rating | (2) | 2.0 | dB |
| Ds | D-factor (Send) | (3) | 3.0 | |
| LSTR | Listener's Sidetone Rating | (equ.) | 18.0 | dB |
| Nfor | Noise Floor | (-64) | -64.0 | dBmp |
| STMR | Sidetone Masking Rating | (15) | 15.0 | dB |
| qdu | Quantizing Distortion Units | (1) | 1.0 | units |
| T | Mean One-Way Delay | (0) | 150.0 | ms |
| TELR | Talker Echo Loudness Rating | (65) | 65.0 | dB |
| WEPL | Weighted Echo Path Loss | (110) | 110.0 | dB |
| Ta | Absolute Delay from (S) to (R) | (0) | 150.0 | ms |
| Tr | Round-Trip Delay | (0) | 300.0 | ms |
| Ie | Equipment Impairment Factor | (0) | 0.0 | |
| Bpl | Packet Loss Robustness Factor | (1) | 4.8 | |
| Ppl | Random Packet Loss Probability | (0) | 0.0 | % |
| A | Expectation Factor | (0) | 0.0 | |
| Dr | D-factor (Receive) | (3) | 3.0 | |

We have assumed the default values for all parameters, except T, Ta, and Tr. The mean absolute 1-way delay was calculated using 100 ms for network delay (UNI-UNI, conforming to the QoS class 0 objective) and 50 ms for the end-terminal, including ITU-T G.711 packetization and de-jitter buffer (100 + 50 = 150 ms = T = Ta = Tr/2). Here, R = 89.5.

Packet loss also influences speech quality. We include a column below where approximately 0.1% loss is combined with a packet loss robustness factor, $B_{pl} = 4.8$ when the packet loss concealment used with ITU-T G.711 is Repeat 1, followed by silence. When using the PLC in [b-ITU-T G.711 APP I], we take the packet loss robustness factor, $B_{pl} = 25.1$.

Appendix III also provides calculations showing longer mean network delays, and larger terminal delays. Table VII.4 summarizes the findings.

Table VII.4 – E-model results with ITU-T Y.1541 hypothetical reference paths and end-terminals

| Network, mean 1-way delay, ms | Terminal mean 1-way delay, ms | Total, mean 1-way delay, ms | Packet size, ms | Packet loss conceal. | R, no loss | R, with ~0.1% packet loss | Y.1541 QoS class |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 100 | 50 | 150 | 10 | Rpt.1/Sil | 89.5 | 87.6 | 0 |
| 100 | 80 | 180 | 20 | G.711ApI | 87.8 | 87.5 | 0 |
| 150 | 80 | 230 | 20 | G.711ApI | 81.9 | 81.5 | 1 |
| 233 | 80 | 313 | 20 | G.711ApI | 71.1 | 70.7 | 1 |

Appendix VIII

Effects of IP network performance on digital television transmission QoS

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

VIII.1 Introduction

This appendix details a part of the analysis behind the specification of provisional network QoS classes 6 and 7 in Table 3. The objective values were selected in order to support digital television transmission. The IP packet loss ratio (IPLR) objective in classes 0 through 4 was insufficient to support this application, as stated in the previous version of this appendix.

VIII.2 Hypothetical reference endpoint (HRE) for high-bandwidth video signals

It is important to first establish a reference endpoint for video transport. The proposed endpoint is based on work done previously by the ATIS T1A1 sub-committee, as well as analysis of typical video transport endpoint models spanning both compressed and uncompressed video by the Video Services Forum (VSF). There may ultimately be a need to establish more than one HRE to allow point-to-point and point-to-multipoint transmission, but this analysis is restricted to the simpler case of the point-to-point HRE.

| Sender | | Receiver |
|---|------------------|---|
| Video (uncompressed SDI, multi- or single-compressed-MPEG-2 stream DVB-ASI, etc.), multiple audio streams, ancillary data | | Video (uncompressed SDI, multi- or single-compressed-MPEG-2 stream DVB-ASI, etc.), multiple audio streams, ancillary data |
| Embedder | | De-embedder |
| Packetizer/Interleaver/FEC | | FEC-1/De-inteleaver/De-packetizer |
| RTP | | RTP, Sufficient De-Jitter Buffer |
| UDP | | UDP |
| IP | | IP |
| | (Physical Layer) | |

Figure VIII.1 – Hypothetical reference endpoint for digital television

The digital television transport uses an IP network where uncompressed video packets or MPEG-compressed video packets are encapsulated into either UDP/IP or RTP/UDP/IP. We assume that RTP/UDP/IP is the protocol used and that the following protocol overhead applies:

$$\text{IP packet length} = (7 \times 188\text{-Byte MPEG packets}) + \text{RTP/UDP/IP packet overhead}$$

The following clauses describe three profiles of video services and give a rationale for the deployment of error correction mechanisms in IP networks to guarantee the appropriate level of quality and reliability.

VIII.3 Service profiles and end-to-end packet performance requirements

The technical requirements for this appendix will be limited to three service profiles: contribution services profile, primary distribution service profile and access distribution service profile. These three profiles encompass the vast majority of the video industry's applications and needs. We also present the performance requirements for these profiles in terms of packet loss at three different viewer quality levels, or hit rates.

VIII.3.1 Contribution video services profile

Contribution services typically have the highest performance and can vary from uncompressed to mildly compressed video and audio signals. Contribution connections allow exchange of content by a network or its affiliates for further use, e.g., for bringing signals back from fixed, temporary, or remote locations to the studio for editing or immediate rebroadcast. In those scenarios, for long-haul applications, terrestrial fibre, microwave or satellite infrastructure endpoint connections can be utilized.

Contribution can also mean the outbound delivery of signals from the main network studio to network affiliates for rebroadcasting and typically employs satellite or long-haul terrestrial network services. Today, these outbound connections are provided by way of fixed or on-demand private leased lines (fibre), or in certain, less-extensive applications, ATM services offering DS-3, OC-3, or OC-12 bandwidth.

In addition to those real-time applications, sometimes IP services are used for non-real-time file exchange between video and audio servers and for monitoring and control of remote systems. As the same user may use their IP service for contribution video and file transfer, the contribution service profile also easily accommodates file transfer and remote control.

VIII.3.2 Primary distribution video service profile

Distribution means delivery of video and audio content either directly to the consumer or to cable head-ends for transmission through a cable television plant. In these applications, typically a lower signal quality (lower data rates) is needed, as little additional signal processing will be applied. Traditionally for these applications, terrestrial or satellite services are used. There are two types of distribution signals, primary and access. Primary distribution connections are feeds from the local affiliate to the cable head-end or to the television transmission tower, and ordinarily, these connections are comparable to, or slightly lower in quality than, contribution connections. Primary distribution may be provided by satellite, short-haul terrestrial microwave, or fibre optic connection. Access distribution involves the delivery of the content from the cable head-end to the final consumer over the cable television plant or through the air in the form of a broadcast emission from the television transmitter tower antenna. The VSF recommends that 40 Mbit/s represent the bit rate of this type of service.

VIII.3.3 Access distribution service profile

Access distribution service profile is defined as TV services currently being delivered by cable and satellite networks. Since the quality achieved by these networks is somewhat subjective, this contribution will characterize quality as an upper bound on video data errors (due to network) in a specific window of time.

VIII.3.4 Performance requirements for the service profiles

Quality of service for this application will be given in terms of actual number of errors (performance hits) in a specific time period. Table VIII.1 was constructed based on recommendations from active members of the Video Services Forum and represents expected error rates that service providers (e.g., DirecTV), as well as users (e.g., Fox Sports Network), would demand.

Table VIII.1 – Digital television loss/error ratio recommendations

| Profile (Typical bit rate) | One performance hit per 10 days | One performance hit per day | 10 performance hits per day |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Contribution (270 Mbit/s) | 4×10^{-11} | 4×10^{-10} | 4×10^{-9} |
| Primary Distribution (40 Mbit/s) | 3×10^{-10} | 3×10^{-9} | 3×10^{-8} |
| Access Distribution (3 Mbit/s) | 4×10^{-9} | 4×10^{-8} | 4×10^{-7} |

This table assumes all lost packets cause a performance hit (possibly visible or audible impairment), and seven MPEG transport stream (TS) packets are encapsulated in a single IP packet. The required packet loss ratio is given at the intersection of a hit rate and profile. For example, access distribution allowing a quality level of 1 performance hit per day requires a packet loss ratio of 4×10^{-8} .

VIII.4 Forward error correction (FEC)/Interleaving to improve UNI-UNI performance

Even an IP network conforming to QoS classes 6 or 7 is not capable of providing the packet loss rates required for the profiles above, and edge equipment is needed to correct packet errors, packet losses and reordered packets. We assume the service uses FEC/Interleaving as defined by the Pro-MPEG Forum COP-3 recommendation (Code of Practice) and as reflected in Table VIII.2. Note that this 2-dimensional FEC/Interleaving specification is slightly more powerful than the base layer of digital video broadcast application-layer-FEC (DVB AL-FEC) of Annex E [b-ETSI TS 102 034]. The DVB AL-FEC base layer is consistent with the 1-dimensional Pro-MPEG FEC.

Table VIII.2 – FEC/Interleaving to achieve desired end-to-end hit rates

| | Minimal correction | Moderate correction | High correction |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|
| Minimum Network Performance | | | |
| Loss Distance (Packets) | 100 | 50 | 50 |
| Loss Period (Packets) | 5 | 5 | 10 |
| Applied FEC | | | |
| FEC L, D | 5, 20 | 5, 10 | 10, 5 |
| FEC Overhead (%) | 5 | 10 | 20 |
| Resulting Video Performance Quality | High | High | High |

Note that the specification of network performance above utilizes two new terms. Loss distance (LD) and loss period (LP), defined in [b-IETF RFC 3357], are packet loss pattern parameters. LP defines the maximum number of consecutive packets that can be lost, while LD defines the minimum number of good packets that must arrive between lost packets for the algorithm to properly correct for losses. The LD and LP values describe the minimum network performance correctable by the corresponding FEC in the same column. The FEC is defined by length (L) and depth (D) algorithm parameters that define the robustness of the method.

Correction of network impairments is not free, as it consumes additional bandwidth. The overhead values in the table represent three levels of robustness, where 5% represents minimal correction, 10% represents moderate correction and 20% represents the highest amount of correction. Note that the more robust the algorithm we choose, the higher the overhead. It is the VSF's position that these three values encompass the majority of the needs in the industry.

As an example, a 2 Mbit/s video service requiring minimal correction would be configured with (L, D) settings of (5, 20). This would generate an extra 100 kbit/s (5% of 2 Mbit/s) of network traffic for the FEC packets, resulting in a total data rate of 2.1 Mbit/s. Similarly, a 270 Mbit/s service requiring high correction would be configured with (L, D) values of (10, 5) which would generate an additional 54 Mbit/s of network traffic, resulting in an aggregate rate of 324 Mbit/s.

VIII.5 Laboratory assessment of forward error correction (FEC)/Interleaving effectiveness

Laboratory test results with the Pro-MPEG Forum COP-3 recommendation 2-dimensional FEC/Interleave (5, 50) indicate that:

- UNI-UNI loss ratio of 10^{-4} improves to 1.5×10^{-8} (covers most of the access profile);
- UNI-UNI loss ratio of 10^{-5} improves to 2×10^{-10} (covers most profiles).

It was concluded that an IP network with UNI-UNI IPLR and IPER conforming to Table 3, class 6 or 7 will support the digital television application described above, providing that the appropriate FEC/Interleaving is applied.

VIII.6 Additional performance parameters

The Video Services Forum concluded that the values for IPTD and IPDV specified in Table 3, classes 6 and 7 are sufficient for digital television transport.

VIII.7 Further analysis with advanced FEC schemes

The IPTV focus group (see <http://www.itu.int/ITU-T/IPTV/index.phtml>) prepared an analysis of application layer error recovery mechanisms. Their numerical results utilize the enhancement layer of the DVB-IP AL-FEC mechanism. This is a decoder enhanced according to clause E.5.1.2 of [b-ETSI TS 102 034], which describes the digital fountain raptor code (and is apparently more powerful than the Pro-MPEG Forum COP-3 recommendation 2-dimensional FEC/Interleave code).

The IPTV FG analysis used the following assumptions and inputs:

- 1) Mean time between visible artefacts (MTBA) or 4 hours (slightly more demanding than the 10 hits per day level used in the VSF study).
- 2) Two video stream rates: 2.1 Mbit/s for standard definition and 9.4 Mbit/s for high definition.
- 3) Seven MPEG-2 TS packets per RTP payload.
- 4) A set of FEC protection periods, ranging from 100 ms to 1000 ms.
- 5) A fixed average packet loss ratio of 10^{-3} .
- 6) Two network loss models, one with independent random packet loss, and another with fixed length bursts of loss corresponding to 8 ms of time (less than 2 packets for SD and 8 packets for HD). The fixed length burst loss model is intended to simulate a DSL access line subjected to electrical impulse noise, and each impulse causes an outage equal in length to the DSL interleaving depth, which is taken to be 8 ms.

The IPTV focus group results are shown in Table VIII.3 below, over a range of protection periods.

Table VIII.3 – Required overhead for DVB-IP AL-FEC for different bit rates, different channel models at IPLR of 10e-3, and different protection periods

| Protection period | Random, 2.1 Mbit/s | Random, 9.4 Mbit/s | Burst, 2.1 Mbit/s | Burst, 9.4 Mbit/s |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 100 ms | 16% | 5% | 20% | 12% |
| 200 ms | 8% | 3.5% | 10% | 6% |
| 400 ms | 5% | 3% | 7% | 4% |
| 600 ms | 4% | 2% | 4% | 2.5% |
| 800 ms | 3.5% | 2% | 4% | 2.5% |
| 1000 ms | 3% | 2% | 4% | 2% |

The FEC overhead is reasonable and within the same range used with the Pro-MPEG Forum COP-3 recommendation 2-dimensional FEC/Interleave in Table VIII.2.

When the network characteristics are similar to the two cases examined (8 ms loss bursts or random independent loss), the analysis using clause E.5.1.2 FEC [b-ETSI TS 102 034], shows that the ITU-T Y.1541 class 0 or 1 objectives are sufficient.

Note that the degree to which these two network models represent the actual conditions experienced in digital video transmission over packet networks is not known at this time and requires further study.

VIII.8 Analysis of retransmission schemes

This clause currently identifies an area for further study. There may be existing analyses that can be summarized in this clause, following review.

VIII.9 Recovery from errors and losses due to protection switching schemes

This clause currently identifies another area for further study.

Most protection switching schemes, such as SONET rings and MPLS-Fast Re-Route (MPLS-FRR) require at least 50 ms to replace a failed primary path with a backup path. In practice, restoration times on the order of 100-200 ms are possible. None of the example correction schemes considered above can compensate for such long outages. However, if a design goal is correcting outages of this long duration, it may be possible to devise a scheme that can correct the burst losses with additional penalties of longer delay and more overhead.

Appendix IX

Effects of network QoS on end-to-end data transmission performance using TCP

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

IX.1 Introduction

This appendix details a part of the analysis behind the specification of provisional network QoS classes 6 and 7 in Table 3. The objective values were selected in order to support applications using the reliable byte stream transfer services of the transmission control protocol (TCP) [b-IETF RFC 793] at the largest possible data rate. The existing IP packet loss ratio (IPLR) objective (in classes 0 through 4) supports TCP with the limitations of widely deployed legacy settings, or assumes that some bottleneck will be encountered beyond the UNI-UNI path.

There are two key factors that limit TCP transfer capacity:

- 1) The congestion-aware flow-control mechanisms infer that congestion has been encountered on the path when packet loss occurs. In response to loss, the flow-control cuts the sending window in half, and allows linear increase when a full window of packets has been transferred successfully. Thus, packet loss can limit capacity.
- 2) The maximum window size may be limited by the sender or receiver TCP settings, or by the operating system itself (limiting the amount of memory available to a specific application for buffering network data). This is the classic delay bandwidth product, where the transmission rate is given as one window of octets per round-trip time (for acknowledgement).

Given that packet transfer time is usually dominated by propagation time, the goal of the analysis was to determine an objective for IPLR that provides very high TCP transfer capacity when other factors, such as window size or bottleneck bandwidth, do not encumber the process. A packet loss ratio of 10^{-5} was selected for classes 6 and 7, and the analysis below shows what capacities can be achieved.

IX.2 Model of TCP performance

The basis for this study is the model of TCP Reno [b-IETF RFC 2001] developed and verified by [b-Padhye1]. Their model can be approximated as follows:

$$B(p) \approx \min \left(\frac{W_{\max}}{RTT}, \frac{1}{RTT \sqrt{\frac{2bp}{3}} + T_0 \min \left(1, 3 \sqrt{\frac{3bp}{8}} \right) p (1 + 32p^2)} \right)$$

where:

$B(p)$: approximate model of TCP throughput [packet/s]

W_{\max} : maximum window buffer size of receiver [packets]

RTT : Round Trip Time [sec]

b : number of packets that are acknowledged by a received ACK

p : probability that a packet is lost

T_0 : time-out for re-transmitting an unacknowledged (lost) packet [sec]

There are many combinations of TCP features, and the different combinations are sometimes named according to the meeting place where they were agreed (Vegas, Tahoe, and Reno). A discussion of TCP features is available in many other references. For an even simpler TCP model with a single fitting parameter that is useful across versions, see [b-Mathis].

IX.3 TCP hypothetical reference endpoint (HRE)

Various appendices of this Recommendation specify hypothetical reference endpoints (HRE) and pair them with hypothetical reference paths to assess the user application quality levels that the network performance objectives can support. We define a TCP hypothetical reference endpoint below.

| Sending application | | Receiving application | |
|--|--|---|--|
| TCP Reno Max window = 16 kbyte, 64 kbyte, or 256 kbyte T0 timeout = 1 s Large windows option | | TCP Reno Max window = 16 kbyte, 64 kbyte, or 256 kbyte b = 1 ACK/2 packets Large windows option | |
| IP | | IP | |
| | | (lower layers) | |

Figure IX.1 – TCP hypothetical reference endpoint

We assume that the sending application supplies a continuous byte stream with no idle intervals, and that the receiving host contribution to RTT is insignificant. Note that the sending and receiving max window sizes will vary in the analysis that follows.

IX.4 Observations

Figure IX.2 shows the estimate of "Legacy" TCP Reno capacity vs. round-trip time (including host processing) and packet loss. The 3-dimensional surface is scribed with lines that correspond to round trip times (RTT) of 20, 40, 100, 200, 400, 1000, 2000, and 4000 ms, intersecting with lines at Loss Ratios of 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , and 10^{-6} . The height of the surface indicates the TCP capacity in bits/ second, and the surface colour changes when it crosses a labelled capacity level.

We note that none of the long-delay mitigations have been applied here, such as IETF RFC 1323 large windows or IETF RFC 2018 selective acknowledgements (SACK).

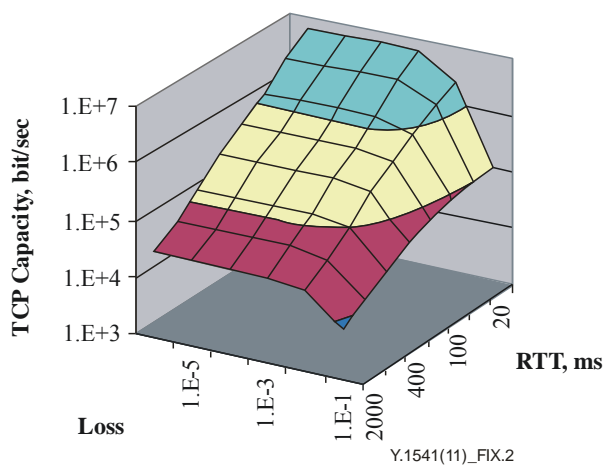


Figure IX.2 – TCP capacity with 16 kbyte window ("Legacy")

An 8 kbyte or 16 kbyte window is the default setting for many legacy TCP implementations. Figure IX.2 shows that packet loss $> 10^{-3}$ has an effect on capacity, but the window size limitation dominates the capacity vs. loss performance over a wide range of round trip times (RTT). Therefore, the IPLR objective $< 10^{-3}$ is sufficient under these circumstances, and network QoS classes 2, 3, and 4 will produce satisfactory capacity.

Although transfer capacities in the order of 10 Mbit/s are possible at very low RTT, packet transfer time also influences capacity for the "legacy" TCP sender-receiver pair.

Figure IX.3 shows the TCP Reno capacity when the maximum window size is set to 64 kbytes. This is usually possible with simple tuning procedures, but the overwhelming majority of IP network users do not attempt tuning, or have no need. Users who want to realize the full potential of broadband access while reducing the transfer time for extremely large files (e.g., Linux distribution ISO-files contain 700 Mbyte CD-ROM images) may seek the benefits of tuning.

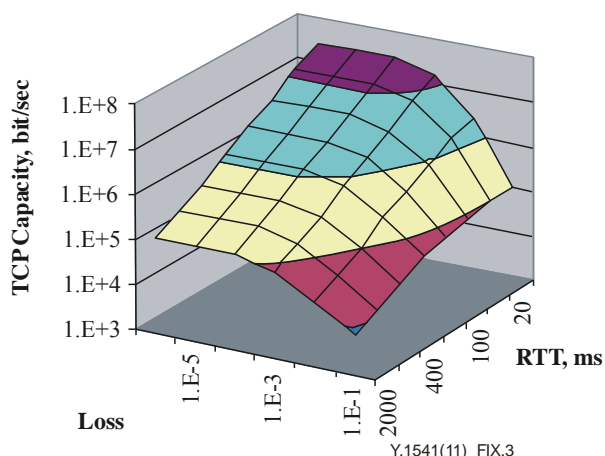


Figure IX.3 – TCP capacity with 64 kbyte window

A 64 kbyte window is the maximum setting for standard TCP implementations that do not enable IETF RFC 1323 large windows. Figure IX.3 shows that packet loss $> 10^{-4}$ has an effect on capacity, but the window size limitation dominates the capacity from there on.

Figure IX.4 shows the TCP Reno capacity when the maximum window size is set to 256 kbytes. This is possible with many operating systems, and the TCP large windows option must be available.

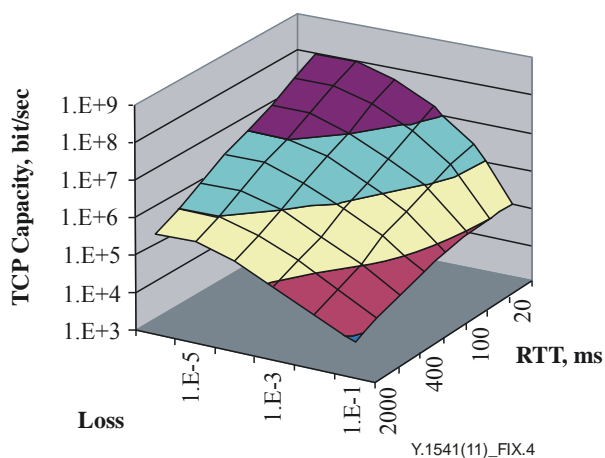


Figure IX.4 – TCP capacity with 256 kbyte window (and [b-IETF RFC 1323])

Figure IX.4 shows that packet loss $> 10^{-5}$ has an effect on capacity, but the window size limitation dominates the capacity vs. loss performance characteristic beyond that point. Therefore, these are circumstances where the new provisional classes (with IPLR objective $< 10^{-5}$) are needed to support maximum capacity.

Transfer capacities on the order of 100 Mbit/s are possible at very low RTT, and the large window option [b-IETF RFC 1323] reduces the negative affect of RTT on capacity.

IX.5 Summary of TCP capacity estimates

Table IX.1 provides a numerical summary of Figures IX.2 through IX.4 at the values of delay and loss ratio appearing in the objectives.

Table IX.1 – Summary of TCP capacity estimates, bits/s

| Window size | Packet Loss, p | IPTD = RTT/2 = 100 ms | IPTD = RTT/2 = 400 ms |
|-------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 16 kbytes | 10^{-3} | 640 000 | 160 000 |
| | 10^{-5} | 640 000 | 160 000 |
| 64 kbytes | 10^{-3} | 1 624 887 | 409 640 |
| | 10^{-5} | 2 560 000 | 640 000 |
| 256 kbytes | 10^{-3} | 1 624 887 | 409 640 |
| | 10^{-5} | 10 240 000 | 2 560 000 |

Note that **Bold** values are limited by packet loss ratio, otherwise window size limits capacity. Packet loss ratio of 10^{-5} does not limit capacity at any window size examined, clearly showing the benefits of the new network QoS classes.

Appendix X

An example showing how to calculate IPDV across multiple sections

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

This appendix provides an example on how to calculate IPDV when a number of network sections are involved. It builds on the information contained in clause 8.2.4 of this Recommendation and also provides some background information on the method.

The definition of IP delay variation used here (see discussion in Appendix II) is:

$$\text{IPDV} = \text{IPTD}_{\text{upper}} - \text{IPTD}_{\text{min}}$$

where:

$\text{IPTD}_{\text{upper}}$ is the $1 - 10^{-3}$ quantile (99.9th percentile) of IPTD in the evaluation interval

IPTD_{min} is the minimum IPTD in the evaluation interval

It assumes that there are a number of network sections S_1, S_2, \dots, S_n for which estimates of $\text{IPDV}_1, \text{IPDV}_2, \dots, \text{IPDV}_n$ are available. The individual estimates must have been made under comparable network conditions for any end-to-end combination to be meaningful. For example, they might have all been measured during the busiest hour of the month in each of their individual sections. In this case, the resulting combinations will generally not correspond to any real end-to-end measurement that could be made as all of the component sections could not be expected to experience their busiest hours simultaneously. Nevertheless, the result would produce an upper bound that could be used for planning and network monitoring purposes.

The relationship for estimating the UNI-UNI IP delay variation (IPDV) performance from the network section values must recognize their sub-additive nature and is difficult to estimate accurately without considerable information about the individual delay distributions. If, for example, characterizations of independent delay distributions are known or measured, they may be convolved to estimate the combined distribution. This detailed information will seldom be shared among operators, and may not be available in the form of a continuous distribution. As a result, the UNI-UNI IPDV estimation may have accuracy limitations. Since study continues in this area, the estimation relationship given below has been specified on a provisional basis, and this clause may change in the future based on new findings or real operational experience.

X.1 Calculation of delay variation

The relationship for combining IPDV values is given below.

The problem under consideration can be stated as follows: estimate the quantile t of the UNI-UNI delay T as defined by the condition:

$$\Pr(T < t) = p$$

We will assume that $p = 0.999$ (99.9th percentile) and for simplicity that all delay measurements have been normalized by removing the measured minimum delay. For the numerical examples below, it is assumed that there are three network sections ($n = 3$) and that all delays are expressed in ms.

Step 1

Measure the mean and variance of the delay in each of the n network sections. For a set of measurements, D_1, D_2, \dots, D_n for the k th section the mean, μ_k , and variance, σ_k^2 , are computed as:

$$\mu_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$$

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_i - \mu_k)^2$$

For our example we suppose that we have found that:

$$\mu_1 = 1.0 \quad \mu_2 = 2.0 \quad \mu_3 = 3.0$$

$$\sigma_1^2 = 0.5 \quad \sigma_2^2 = 1.0 \quad \sigma_3^2 = 1.5$$

Estimate the mean and variance of the UNI-UNI delay by summing the means and variances of the component distributions.

$$\mu = \sum_{k=1}^n \mu_k = 1.0 + 2.0 + 3.0 = 5.0$$

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^n \sigma_k^2 = 0.5 + 1.0 + 1.5 = 3.0$$

Step 2

Measure the quantiles, t_k , for each delay section at the probability of interest, $p = 0.999$. These can be determined simply by sorting the measurements, D_i , so that without loss of generality:

$$D_1 \leq D_2 \leq \dots \leq D_n$$

and then selecting as the p th quantile the m th measurement D_m (that is $t_k = D_m$) where m is the smallest integer satisfying $p \leq m/n$. If $n = 1000$, then $m = 999$ for $p = 0.999$. Suppose for our example we find that:

$$t_1 = 4.32 \quad t_2 = 6.02 \quad t_3 = 7.55$$

Estimate the skewness, γ_k , and third moment, ω_k , for the k th section using the formulas shown below, where $x_{0.999} = 3.090$ is the value satisfying $\Phi(x_{0.999}) = 0.999$ where Φ denotes the standard normal (mean 0, variance 1) distribution function.

$$\gamma_k = 6 \cdot \frac{x_p - \frac{t_k - \mu_k}{\sigma_k}}{1 - x_p^2} \quad \omega_k = \gamma_k \cdot \sigma_k^3$$

$$\gamma_1 = 6 \cdot \frac{3.09 - \frac{4.32 - 1}{\sqrt{0.5}}}{1 - 3.090^2} = 1.126 \quad \omega_1 = 1.126 \cdot (\sqrt{0.5})^3 = 0.398$$

$$\gamma_2 = 6 \cdot \frac{3.09 - \frac{6.02 - 2}{\sqrt{1.0}}}{1 - 3.090^2} = 0.653 \quad \omega_2 = 0.653 \cdot (\sqrt{1.0})^3 = 0.653$$

$$\gamma_3 = 6 \cdot \frac{3.09 - \frac{7.55 - 3}{\sqrt{1.5}}}{1 - 3.09^2} = 0.439 \quad \omega_3 = 0.439 \cdot (\sqrt{1.5})^3 = 0.806$$

Assuming independence of the delay distributions, the third moment of the UNI-UNI delay is just the sum of the network section third moments.

$$\omega = \sum_{k=1}^n \omega_k = 0.398 + 0.653 + 0.806 = 1.856$$

The UNI-UNI skewness is computed by dividing by $\sigma^{3/2}$ as shown below.

$$\gamma = \frac{\omega}{\sigma^3} = \frac{1.856}{(\sqrt{3})^3} = 0.357$$

Step 3

The estimate of the 99.9th percentile ($p = 0.999$) of UNI-UNI delay t (in ms) is as follows.

$$t = \mu + \sigma \cdot \left\{ x_p - \frac{\gamma}{6} (1 - x_p^2) \right\} = 6 + \sqrt{3} \cdot \left\{ 3.09 - \frac{0.357}{6} (1 - 3.09^2) \right\} = 12.23$$

As stated earlier, the nature of the IPDV objective is the upper bound on the $1-10^{-3}$ quantile of IPTD minus the minimum IPTD (i.e., the distribution of IPDV is normalized to the minimum IPTD). In general, units of IPDV values are seconds, with resolution of at least 1 microsecond. If lesser resolution is available in a value, the unused digits shall be set to zero.

X.2 Mathematical background

If the distributions of each of the components T_k were known in detail, the distribution of the end-to-end delay T could be computed using convolutions. Convolutions are challenging in practice: most implementations will rely on Laplace transform techniques including methods to invert transforms numerically to recover the underlying probability distributions. To use this method, assumptions would have to be made about the exact nature of the component distributions.

Instead, an alternative method is employed that uses the available information without requiring additional assumptions or complex methods.

The basic idea is to transform a random variable T with known mean μ , variance σ^2 , and skewness γ into a symmetric random variable Z which is standard normal (mean 0, variance 1) or nearly so. One such method, called the normal power approximation (see [b-Ramsay]) works as follows:

- Define the standardized variable $X = \frac{T - \mu}{\sigma}$
- The normal power approximation states that $X \approx Z + \frac{\gamma}{6}(Z^2 - 1)$ where Z is a standard normal (mean 0, variance 1) random variable.

Once the details are worked through, the following approximation is obtained:

$$\Pr(T < t) \approx \Phi \left(\frac{1}{\gamma} \sqrt{9 + 6\gamma \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) + \gamma^2} - \frac{3}{\gamma} \right)$$

where Φ is the cumulative standard normal distribution function:

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} dx$$

Although the values of this function are readily available, a more transparent relationship can be derived that eliminates all reference to Φ and allows the quantile t to be directly computed from the component quantiles t_k .

In fact, since the probabilities in all the quantile definitions $\Pr(T_k < t_k) = p$, $\Pr(T < t) = p$ have the common value p , if we define x_p to be the unique value satisfying $\Phi(x_p) = p$, then we have:

$$\frac{1}{\gamma_k} \sqrt{9 + 6\gamma_k \left(\frac{t_k - \mu}{\sigma_k} \right) + \gamma_k^2} - \frac{3}{\gamma_k} = x_p \quad \text{and}$$

$$\frac{1}{\gamma} \sqrt{9 + 6\gamma \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) + \gamma^2} - \frac{3}{\gamma} = x_p$$

If we multiply the above by σ_k^2 and σ^2 respectively and add over all the components we deduce from the additivity of variances of independent distributions that:

$$\sigma^2 \cdot \frac{\sqrt{1 + 2\delta \cdot \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) + \delta^2} - 1}{\delta} = \sum_{k=1}^n \sigma_k^2 \cdot \frac{\sqrt{1 + 2\delta_k \cdot \left(\frac{t_k - \mu_k}{\sigma_k} \right) + \delta_k^2} - 1}{\delta_k}$$

where we have set $\delta = \frac{\gamma}{3}$ and $\delta_k = \frac{\gamma_k}{3}$. Although this looks complex, it requires only simple algebra to compute the end-to-end quantile t from the components t_k and the available measured quantities.

X.3 Special cases

In the approximation

$$\Pr(T < t) \approx \Phi \left(\frac{1}{\gamma} \sqrt{9 + 6\gamma \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) + \gamma^2} - \frac{3}{\gamma} \right)$$

if we let $\gamma \rightarrow 0$ we produce the result

$$\Pr(T < t) \approx \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)$$

corresponding to the case where T has a normal distribution with mean μ , variance σ^2 . If we let all the skewness terms $\gamma \rightarrow 0$, $\gamma_k \rightarrow 0$ the algebraic expression of the previous section reduces to:

$$\sigma \cdot (t - \mu) = \sum_{k=1}^n \sigma_k \cdot (t_k - \mu_k)$$

Some further manipulation removes the variances to produce:

$$(t - \mu)^2 = \sum_{k=1}^n (t_k - \mu_k)^2$$

This shows that when the component delays T_k are normally distributed with mean μ_k , and variance σ_k^2 , then the corresponding quantiles follow a composition law similar to that for variances.

This composition law for normal variates can also be derived directly. The algebraic expression of the previous section can be viewed as a generalization of this particular composition law.

X.4 Estimating skewness from quantiles

Consider a random variable T whose mean μ and variance σ^2 are known and where the quantile t in $\Pr(T < t) = p$ is known but where the skewness γ is not known. Using the normal power approximation we have:

$$\Pr(T < t) \approx \Phi\left(\frac{1}{\gamma} \sqrt{9 + 6\gamma\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) + \gamma^2} - \frac{3}{\gamma}\right) = p$$

From tabulated values of the standard normal distribution function Φ we can find the unique value x_p satisfying $\Phi(x_p) = p$. Therefore:

$$\frac{1}{\gamma} \sqrt{9 + 6\gamma\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) + \gamma^2} - \frac{3}{\gamma} = x_p$$

This can be solved for γ producing:

$$\gamma = 6 \cdot \frac{x_p - \frac{t - \mu}{\sigma}}{1 - x_p^2}$$

Appendix XI

Digital circuit (ISDN) emulation requirements on IP-based networks

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

XI.1 Introduction

The purpose of this appendix is to derive a packet loss requirement for the support of the circuit-mode unrestricted 64 kbit/s bearer service defined in [b-ITU-T I.231.1] over an IP network, based on the requirements of [b-ITU-T G.826] for error rates on transmission systems carrying ISDN connections. Next, the possible mitigation of the packet loss requirement through the use of forward error correction (FEC) techniques is examined.

We consider a multiplex of RTP packet streams as an emulation of a TDM digital transport connection, which should meet the ITU-T G.826 requirements for digital connections.

XI.2 Packetization and transport assumptions

Consider transmission of a single ISDN B-channel as a 64 kbit/s stream in 10 ms packets, 100 packets/s per stream. The resulting stream of RTP packets has a 9-octet POS overhead, 40-octet RTP/UDP/IP headers and 80-octet user data payload.

Suppose then that the packetized B-channel is routed with other packetized 64 kbit/s streams (voice and ISDN) across a core network using STM-1 transmission systems. This system transports 92.9 Mbit/s user data payload using an overall bit rate of 149.76 Mbit/s. Block size at STM-1 is 18'792 bits and there are 8'000 blocks/s. Thus a given 64 kbit/s stream contributes a packet to every 80th block and the multiplex can carry about $149'760'000 / (129 * 8 * 100) = 1'451$ 64 kbit/s streams. A block contains about 18 packets, all from different 64 kbit/s streams.

XI.3 Range of packet loss requirements

This clause derives the UNI-UNI packet loss ratio necessary to meet various transport accuracy requirements.

The first approach to derive a packet loss requirement refers to the ITU-T G.826 specification for a background block error ratio (BBER) of 2×10^{-4} , and loss of a single packet will result in a background block error. Hence packet loss ratio must be better than $2 \times 10^{-4} / 18 = 1.1 \times 10^{-5}$ to meet the BBER specification.

The second approach examines the ITU-T G.826 errored second ratio (ESR) of 0.16. Since loss of a single packet will result in an ES, and there are 145'100 packets/s, the packet loss ratio must be better than $0.16 / 145'100 = 1.1 \times 10^{-6}$ assuming random packet loss. Because 0.16 is not very much less than 1, there is a small correction arising from the finite probability of two errors in the same second, which we have neglected for this approximate calculation. The packet loss ratio derived from ESR is about 10 times more demanding than from the BBER derivation, so the more stringent requirement of these two will be adopted.

The third approach considers the ITU-T G.826 specifications for ESR and severely errored second ratio (SESR) for sub-primary rate connections. With 10 ms packetization, loss of a packet results in loss of 640 payload bits which must be replaced by dummy data. On average, 320 bits will be in error, and an SES is a second in which the error ratio is 1.0×10^{-3} , so an SES will result for connections at rates less than or equal to 320 kbit/s (5×64 kbit/s, requiring 500 packets/s). The SESR for sub-primary-rate connections is 2×10^{-3} . Hence the packet loss ratio must be less than $2 \times 10^{-3} / 500 = 4 \times 10^{-6}$ assuming random packet loss.

Thus, the different requirements within [b-ITU-T G.826] lead to somewhat different values of packet loss for an international IP network. The derived requirements range between 1.1×10^{-6} and 4×10^{-6} depending on the assumptions above and the specification from [b-ITU-T G.826]. However, both these figures are very much more stringent than the IPLR of 1×10^{-3} for QoS classes 0 through 4 of Y.1541.

XI.4 Effect of forward error correction

An alternative to achieving the very low packet loss ratio needed for the ITU-T I.231.1 service is to use forward error correction, trading bandwidth and extra delay for a less-demanding packet loss requirement. [b-IETF RFC 2733] describes a scheme for protected transmission of RTP streams through networks with packet loss. The scheme permits the use of a range of block FEC methods.

For example, (n, k) block codes may be used, generating $n-k$ redundant packets from each k data packets and transmitting all n packets. All k data packets can be recovered provided any k packets of the n are received without loss or error. The probability of a residual error (one not corrected by the scheme) affecting a block, P_b , is equal to the probability of losing more than $n-k$ packets from the block, hence approximately equal to the probability of losing $n-k+1$ packets from the block. If packet loss is random, this is given by:

$$P_b \approx \Pr(n-k+1) = \frac{n!}{(n-k+1)!(k-1)!} p^{n-k+1} (1-p)^{k-1}$$

where p is the probability of loss of a single packet. As $p \ll 1$, the term involving $(1-p)$ will always be close to 1 for the expected small values of k .

Consider a stream of payload packets of rate R packets/s. The rate of generation of blocks is R/k . Hence, the rate at which such blocks suffer from loss of more than $n-k$ packets is RP_b/k . If a block suffers from loss of more than $n-k$ packets, the worst case is that no payload packet is recoverable from the block, so the worst-case rate of loss of payload packets after FEC is $kRP_b/k=RP_b$. This is to be compared with a rate of loss of payload packets of $(R \times p)$ in the absence of FEC. Thus, P_b is an effective packet loss probability after FEC. P_b may be an overestimate of the effective packet loss probability, in cases where the FEC code allows recovery of some payload packets even after loss of more than $n-k$ packets from the transmitted block.

To achieve the packet loss requirements derived above, we wish to make the post-FEC packet loss probability around 1×10^{-6} when operating on an IPLR of $p = 1 \times 10^{-3}$, which is assured on paths that are compliant with ITU-T Y.1541 classes 0 through 4.

A $(k+1, k)$ scheme was chosen for further analysis, because of its simplicity. Any $(k+1, k)$ block code which adds a single parity packet leads to a probability of a residual block error equal to a numerical factor (greater than 1) multiplied by p^2 . The two simplest such codes are $(2,1)$ (simple repetition, requiring double bandwidth) and $(3,2)$ (needing only the exclusive-OR operation, increasing bandwidth by 3/2).

The probability of an error in the block for the $(2,1)$ code is just p^2 . For the $(3,2)$ code, it is $3p^2$. For a loss requirement of 1.1×10^{-6} after correction, the requirement before correction is 1.05×10^{-3} for the $(2,1)$ repetition "code". For the $(3,2)$ code, the requirement before correction is 6.0×10^{-4} . Note that these are requirements on total packet loss, including both IPLR and packets arriving too late to be played out.

The 1.05×10^{-3} requirement is numerically close to the IPLR values for QoS classes 0 and 1, however this does not account for additional packets that arrive too late for play-out as permitted by the $1 - 10^{-3}$ quantile used in the IPDV specification.

Provisional QoS classes 5 and 6 offer much more stringent IPLR objectives and IPDV quantiles (1×10^{-5} and $1 - 10^{-5}$, respectively). Using the overall loss based on these values, it is clear that an FEC code can be designed to meet the loss requirement of 1.1×10^{-6} after correction using much less overhead. For example, a (14,13) code can correct a $p = 10^{-4}$ loss ratio to $91p^2$, or 9.1×10^{-7} .

The desire for low overhead must be tempered by the delay consumed in the FEC processing. Delay increases by at least $(k - 1)$ times the packetization time.

Bibliography

- [b-ITU-T E.736] Recommendation ITU-T E.736 (2000), *Methods for cell level traffic control in B-ISDN*.
- [b-ITU-T G.101] Recommendation ITU-T G.101 (2003), *The transmission plan*.
- [b-ITU-T G.107] Recommendation ITU-T G.107 (2009), *The E-model: a computational model for use in transmission planning*.
- [b-ITU-T G.108] Recommendation ITU-T G.108 (1999), *Application of the E-model: A planning guide*.
- [b-ITU-T G.109] Recommendation ITU-T G.109 (1999), *Definition of categories of speech transmission quality*.
- [b-ITU-T G.113] Recommendation ITU-T G.113 (2007), *Transmission impairments due to speech processing*.
- [b-ITU-T G.114] Recommendation ITU-T G.114 (2003), *One-way transmission time*.
- [b-ITU-T G.711 APP I] Recommendation ITU-T G.711 Appendix I (1999), *A high quality low-complexity algorithm for packet loss concealment with G.711*.
- [b-ITU-T G.826] Recommendation ITU-T G.826 (2002), *End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections*.
- [b-ITU-T G.1020] Recommendation ITU-T G.1020 (2006), *Performance parameter definitions for quality of speech and other voiceband applications utilizing IP networks*.
- [b-ITU-T I.113] Recommendation ITU-T I.113 (1997), *Vocabulary of terms for broadband aspects of ISDN*.
- [b-ITU-T I.231.1] Recommendation ITU-T I.231.1 (1988), *Circuit-mode bearer service categories: Circuit-mode 64 kbit/s unrestricted, 8 kHz structured bearer service*.
- [b-ITU-T I.356] Recommendation ITU-T I.356 (2000), *B-ISDN ATM layer cell transfer performance*.
- [b-ITU-T J.241] Recommendation ITU-T J.241 (2005), *Quality of service ranking and measurement methods for digital video services delivered over broadband IP networks*.
- [b-ITU-T P.911] Recommendation ITU-T P.911 (1998), *Subjective audiovisual quality assessment methods for multimedia applications*.
- [b-ETSI TR 101 329-2] ETSI TIPHON TR 101 329-2 (2002), *Quality of Service (QoS) Classes*.
- [b-ETSI TS 102 034] ETSI TS 102 034 V1.3.1 (2007), *Digital Video Broadcasting (DVB); Transport of MPEG-2 TS Based DVB Services over IP Based Networks*.
- [b-IETF RFC 768] IETF RFC 768 (STD-6) (1980), *User Datagram Protocol*.
- [b-IETF RFC 792] IETF RFC 792 (1981), *Internet Control Message Protocol*.
- [b-IETF RFC 793] IETF RFC 793 (1981), *Transmission Control Protocol – DARPA Internet program Protocol specification*.

- [b-IETF RFC 919] IETF RFC 919 (1984), *Broadcasting Internet datagrams*.
- [b-IETF RFC 922] IETF RFC 922 (1984), *Broadcasting Internet datagrams in the presence of subnets*.
- [b-IETF RFC 950] IETF RFC 950 (1985), *Internet Standard Subnetting Procedure*.
- [b-IETF RFC 959] IETF RFC 959 (1985), *File Transfer Protocol (FTP)*.
- [b-IETF RFC 1305] IETF RFC 1305 (1992), *Network Time Protocol (Version 3) – Specification, Implementation and Analysis*.
- [b-IETF RFC 1323] IETF RFC 1323 (1992), *TCP Extensions for High Performance*.
- [b-IETF RFC 1786] IETF RFC 1786 (1995), *Representation of IP Routing Policies in a Routing Registry (ripe-81++)*.
- [b-IETF RFC 1812] IETF RFC 1812 (1995), *Requirements for IP Version 4 Routers*.
- [b-IETF RFC 1889] IETF RFC 1889 (1996), *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*.
- [b-IETF RFC 2001] IETF RFC 2001 (1997), *TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms*.
- [b-IETF RFC 2018] IETF RFC 2018 (1996), *TCP Selective Acknowledgment Options*.
- [b-IETF RFC 2330] IETF RFC 2330 (1998), *Framework for IP Performance Metrics*.
- [b-IETF RFC 2474] IETF RFC 2474 (1998), *Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers*.
- [b-IETF RFC 2475] IETF RFC 2475 (1998), *An Architecture for Differentiated Services*.
- [b-IETF RFC 2597] IETF RFC 2597 (1999), *Assured Forwarding PHB Group*.
- [b-IETF RFC 2598] IETF RFC 2598 (1999), *An Expedited Forwarding PHB*.
- [b-IETF RFC 2679] IETF RFC 2679 (1999), *A One-way Delay Metric for IPPM*.
- [b-IETF RFC 2680] IETF RFC 2680 (1999), *A One-way Packet Loss Metric for IPPM*.
- [b-IETF RFC 2681] IETF RFC 2681 (1999), *A Round-trip Delay Metric for IPPM*.
- [b-IETF RFC 2733] IETF RFC 2733 (1999), *An RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction*.
- [b-IETF RFC 3086] IETF RFC 3086 (2001), *Definition of Differentiated Services Per Domain Behaviors and Rules for their Specification*.
- [b-IETF RFC 3357] IETF RFC 3357 (2002), *One-way Loss Pattern Sample Metrics*.
- [b-IETF RFC 3432] IETF RFC 3432 (2002), *Network performance measurement with periodic streams*.
- [b-T1.522] T1.522-2000, *Quality of Service for Business Multimedia Conferencing*.
- [b-Mandjes] Mandjes, M., Van der Wal, K., Kooij, R. and Bastiaansen, H. (1999), *End-to-end delay models for interactive services on a large-scale IP network*, Proceedings (edited by Guido H. Petit) of the seventh IFIP workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM Networks: IFIP ATM'99, Paper 42, Antwerp, Belgium, June 1999.

- [b-Mathis] Mathis, M., Semke J., Mahdavi J. and Ott, T. (1997), *The Macroscopic Behaviour of TCP Congestion Avoidance Algorithm*, Computer Communications Review, Vol. 27, No. 3, ISSN# 0146-4833.
<http://www.psc.edu/networking/papers/model_ccr97.ps>
- [b-Padhye1] Padhye, J., Firoiu, V., Towsley, D. and Kurose, J. (1998) *Modelling TCP Throughput: a Simple Model and its Empirical Validation*, SIGCOMM 1998.
- [b-Padhye2] Padhye, J., Firoiu, V., Towsley, D., Kurose, J. (2000), *Modelling TCP Reno Performance: A Simple Model and its Empirical Validation*, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 8, No. 2, pp. 133-145.
- [b-Ramsay] Ramsay, C. (1991), *A note on the normal power approximation*, ASTIN Bulletin, Vol. 21, No. 1, pp. 47-50.

SERIES OF ITU-T RECOMMENDATIONS

| | |
|-----------------|--|
| Series A | Organization of the work of ITU-T |
| Series D | General tariff principles |
| Series E | Overall network operation, telephone service, service operation and human factors |
| Series F | Non-telephone telecommunication services |
| Series G | Transmission systems and media, digital systems and networks |
| Series H | Audiovisual and multimedia systems |
| Series I | Integrated services digital network |
| Series J | Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals |
| Series K | Protection against interference |
| Series L | Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant |
| Series M | Telecommunication management, including TMN and network maintenance |
| Series N | Maintenance: international sound programme and television transmission circuits |
| Series O | Specifications of measuring equipment |
| Series P | Terminals and subjective and objective assessment methods |
| Series Q | Switching and signalling |
| Series R | Telegraph transmission |
| Series S | Telegraph services terminal equipment |
| Series T | Terminals for telematic services |
| Series U | Telegraph switching |
| Series V | Data communication over the telephone network |
| Series X | Data networks, open system communications and security |
| Series Y | Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks |
| Series Z | Languages and general software aspects for telecommunication systems |

Internet Engineering Task Force (IETF)
 Request for Comments: 5771
 BCP: 51
 Updates: 2780
 Obsoletes: 3138, 3171
 Category: Best Current Practice
 ISSN: 2070-1721

M. Cotton
 L. Vegoda
 ICANN
 D. Meyer
 March 2010

IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments

Abstract

This document provides guidance for the Internet Assigned Numbers Authority (IANA) in assigning IPv4 multicast addresses. It obsoletes [RFC 3171](#) and [RFC 3138](#) and updates [RFC 2780](#).

Status of This Memo

This memo documents an Internet Best Current Practice.

This document is a product of the Internet Engineering Task Force (IETF). It represents the consensus of the IETF community. It has received public review and has been approved for publication by the Internet Engineering Steering Group (IESG). Further information on BCPs is available in [Section 2 of RFC 5741](#).

Information about the current status of this document, any errata, and how to provide feedback on it may be obtained at <http://www.rfc-editor.org/info/rfc5771>.

Copyright Notice

Copyright (c) 2010 IETF Trust and the persons identified as the document authors. All rights reserved.

This document is subject to [BCP 78](#) and the IETF Trust's Legal Provisions Relating to IETF Documents (<http://trustee.ietf.org/license-info>) in effect on the date of publication of this document. Please review these documents carefully, as they describe your rights and restrictions with respect to this document. Code Components extracted from this document must include Simplified BSD License text as described in Section 4.e of the Trust Legal Provisions and are provided without warranty as described in the Simplified BSD License.

Table of Contents

| | |
|---|---|
| 1. Introduction | 2 |
| 2. Terminology | 3 |
| 3. Definition of Current Assignment Practice | 3 |
| 4. Local Network Control Block (224.0.0/24) | 4 |
| 4.1. Assignment Guidelines | 4 |
| 5. Internetwork Control Block (224.0.1/24) | 5 |
| 5.1. Assignment Guidelines | 5 |
| 6. AD-HOC Blocks (I, II, and III) | 5 |
| 6.1. Assignment Guidelines | 5 |
| 7. SDP/SAP Block (224.2/16) | 5 |
| 7.1. Assignment Guidelines | 5 |
| 8. Source-Specific Multicast Block (232/8) | 6 |
| 8.1. Assignment Guidelines | 6 |
| 9. GLOP Block (233/8) | 6 |
| 9.1. Assignment Guidelines | 6 |
| 9.2. AD-HOC Block III | 6 |
| 10. Administratively Scoped Block (239/8) | 7 |
| 10.1. Assignment Guidelines | 7 |
| 10.1.1. Relative Offsets | 7 |
| 11. Application Form | 7 |
| 11.1. Size of Assignments of IPv4 Multicast Addresses | 7 |
| 12. Annual Review | 8 |
| 12.1. Address Reclamation | 8 |
| 12.2. Positive Renewal | 8 |
| 13. Use of IANA Reserved Addresses | 8 |
| 14. IANA Considerations | 8 |
| 15. Security Considerations | 9 |
| 16. Acknowledgments | 9 |
| 17. References | 9 |
| 17.1. Normative References | 9 |
| 17.2. Informative References | 9 |

1. Introduction

The Internet Assigned Numbers Authority (IANA) (www.iana.org) is charged with allocating parameter values for fields in protocols that have been designed, created, or are maintained by the Internet Engineering Task Force (IETF). [RFC 2780 \[RFC2780\]](#) provides the IANA guidance in the assignment of parameters for fields in newly developed protocols. This memo expands on [section 4.4.2 of RFC 2780](#) and attempts to codify existing IANA practice used in the assignment of IPv4 multicast addresses.

This document is a revision of [RFC 3171 \[RFC3171\]](#), which it obsoletes. It also obsoletes [RFC 3138 \[RFC3138\]](#) and updates [\[RFC2780\]](#).

The terms "Specification Required", "Expert Review", "IESG Approval", "IETF Review", and "Standards Action", are used in this memo to refer to the processes described in [\[RFC5226\]](#).

In general, due to the relatively small size of the IPv4 multicast address space, further assignment of IPv4 multicast address space is recommended only in limited circumstances. Specifically, the IANA should only assign addresses in those cases where:

- the dynamic selection Session Description Protocol/Session Announcement Protocol (SDP/SAP);
- GLOP (not an acronym);
- Source-Specific Multicast (SSM); or
- Administratively Scoped address spaces cannot be used.

The guidelines described below are reflected in [\[IANA-protocols\]](#). Network operators should also be aware of the availability of IPv6 multicast addresses and consider using them where feasible.

2. Terminology

The key words "MUST", "MUST NOT", "REQUIRED", "SHALL", "SHALL NOT", "SHOULD", "SHOULD NOT", "RECOMMENDED", "MAY", and "OPTIONAL" in this document are to be interpreted as described in [BCP 14, RFC 2119 \[RFC2119\]](#).

The word "allocation" designates a block of addresses managed by a registry for the purpose of making assignments and allocations. The word "assignment" designates a block of addresses, or a single address, registered to an end-user for use on a specific network or set of networks.

3. Definition of Current Assignment Practice

Unlike IPv4 unicast address assignment, where blocks of addresses are delegated to Regional Internet Registries (RIRs), IPv4 multicast addresses are assigned directly by the IANA. Current registration groups appear as follows [\[IANA\]](#):

| Address Range ----- | Size ---- | Designation ----- |
|-------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 224.0.0.0 - 224.0.0.255 | (/24) | Local Network Control Block |
| 224.0.1.0 - 224.0.1.255 | (/24) | Internetwork Control Block |
| 224.0.2.0 - 224.0.255.255 | (65024) | AD-HOC Block I |
| 224.1.0.0 - 224.1.255.255 | (/16) | RESERVED |
| 224.2.0.0 - 224.2.255.255 | (/16) | SDP/SAP Block |
| 224.3.0.0 - 224.4.255.255 | (2 /16s) | AD-HOC Block II |
| 224.5.0.0 - 224.255.255.255 | (251 /16s) | RESERVED |
| 225.0.0.0 - 231.255.255.255 | (7 /8s) | RESERVED |
| 232.0.0.0 - 232.255.255.255 | (/8) | Source-Specific Multicast Block |
| 233.0.0.0 - 233.251.255.255 | (16515072) | GLOP Block |
| 233.252.0.0 - 233.255.255.255 | (/14) | AD-HOC Block III |
| 234.0.0.0 - 238.255.255.255 | (5 /8s) | RESERVED |
| 239.0.0.0 - 239.255.255.255 | (/8) | Administratively Scoped Block |

The IANA generally assigns addresses from the Local Network Control, Internetwork Control and AD-HOC blocks. Assignment guidelines for each of these blocks, as well as for the Source-Specific Multicast, GLOP, and Administratively Scoped blocks, are described below.

4. Local Network Control Block (224.0.0/24)

Addresses in the Local Network Control Block are used for protocol control traffic that is not forwarded off link. Examples of this type of use include OSPFIGP All Routers (224.0.0.5) [RFC2328].

4.1. Assignment Guidelines

Pursuant to [section 4.4.2 of \[RFC2780\]](#), assignments from the Local Network Control Block follow an Expert Review, IESG Approval, or Standards Action process. See IANA [[IANA](#)] for the current set of assignments.

5. Internetwork Control Block (224.0.1/24)

Addresses in the Internetwork Control Block are used for protocol control traffic that MAY be forwarded through the Internet. Examples include 224.0.1.1 (Network Time Protocol (NTP) [RFC4330]) and 224.0.1.68 (mdhcpdiscover [RFC2730]).

5.1. Assignment Guidelines

Pursuant to [section 4.4.2 of \[RFC2780\]](#), assignments from the Internetwork Control Block follow an Expert Review, IESG Approval, or Standards Action process. See IANA [[IANA](#)] for the current set of assignments.

6. AD-HOC Blocks (I, II, and III)

Addresses in the AD-HOC blocks (including 224.0.2.0 - 224.0.255.255, 224.3.0.0 - 224.4.255.255, and 233.252.0.0 - 233.255.255.255) were traditionally used for assignments for those applications that don't fit in either the Local or Internetwork Control blocks. These addresses MAY be globally routed and are typically used by applications that require small blocks of addressing (e.g., less than a /24). Future assignments of blocks of addresses that do not fit in the Local Network or Internetwork Control blocks will be made in AD-HOC Block III.

6.1. Assignment Guidelines

In general, the IANA SHOULD NOT assign addresses in the AD-HOC blocks. However, the IANA MAY, under special circumstances, assign addresses from these blocks. Pursuant to [section 4.4.2 of \[RFC2780\]](#), assignments from the AD-HOC blocks follow an Expert Review, IESG Approval, or Standards Action process. See [[IANA](#)] for the current set of assignments.

7. SDP/SAP Block (224.2/16)

Addresses in the SDP/SAP Block are used by applications that receive addresses through the Session Announcement Protocol [[RFC2974](#)] for use via applications like the session directory tool (such as [[SDR](#)]).

7.1. Assignment Guidelines

Since addresses in the SDP/SAP Block are chosen randomly from the range of addresses not already in use [[RFC2974](#)], no IANA assignment policy is required. Note that while no additional IANA assignment is required, addresses in the SDP/SAP Block are explicitly for use by SDP/SAP and MUST NOT be used for other purposes.

8. Source-Specific Multicast Block (232/8)

SSM [RFC4607] is an extension of IP Multicast in which traffic is forwarded to receivers from only those multicast sources for which the receivers have explicitly expressed interest and is primarily targeted at one-to-many (broadcast) applications. Note that this block was initially assigned to the Versatile Message Transaction Protocol (VMTP) transient groups [IANA].

8.1. Assignment Guidelines

Because the SSM model essentially makes the entire multicast address space local to the host, no IANA assignment policy is required. Note, however, that while no additional IANA assignment is required, addresses in the Source-Specific Multicast Block are explicitly for use by SSM and MUST NOT be used for other purposes.

9. GLOP Block (233/8)

Addresses in the GLOP Block are globally-scoped, statically-assigned addresses. The assignment is made, for a domain with a 16-bit Autonomous System Number (ASN), by mapping a domain's autonomous system number, expressed in octets as X.Y, into the middle two octets of the GLOP Block, yielding an assignment of 233.X.Y.0/24. The mapping and assignment is defined in [RFC3180]. Domains with a 32-bit ASN MAY apply for space in AD-HOC Block III, or consider using IPv6 multicast addresses.

9.1. Assignment Guidelines

Because addresses in the GLOP Block are algorithmically pre-assigned, no IANA assignment policy is required.

9.2. AD-HOC Block III

[RFC3138] delegated to the RIRs the assignment of the GLOP sub-block (233.252.0.0 - 233.255.255.255) mapped by the private Autonomous System (AS) space (64512-65534) and the IANA reserved ASN 65535 [RFC1930]. This space was known as Extended GLOP (EGLOP). RFC 3138 should not have asked the RIRs to develop policies for the EGLOP space because [RFC2860] reserves that to the IETF. It is important to make this space available for use by network operators, and it is therefore appropriate to obsolete RFC 3138 and classify this address range as available for AD-HOC assignment as per the guidelines in section 6.

The first /24 in this range, 233.252.0.0/24, is assigned as "MCAST-TEST-NET" for use in documentation and example code. 233.252.0.0/24 SHOULD be used in conjunction with the [RFC2606] domain names example.com or example.net in vendor and protocol documentation. Addresses within 233.252.0.0/24 MUST NOT appear on the public Internet.

10. Administratively Scoped Block (239/8)

Addresses in the Administratively Scoped Block are for local use within a domain and are described in [RFC2365].

10.1. Assignment Guidelines

Since addresses in this block are local to a domain, no IANA assignment policy is required.

10.1.1. Relative Offsets

The relative offsets [RFC2365] are used to ensure that a service can be located independent of the extent of the enclosing scope (see [RFC3180] for details). Since there are only 256 such offsets, the IANA should only assign a relative offset to a protocol that provides an infrastructure supporting service. Examples of such services include the Session Announcement Protocol [RFC2974]. Pursuant to section 4.4.2 of [RFC2780], assignments of relative offsets follow an Expert Review, IESG Approval, or Standards Action process. See [IANA] for the current set of assignments.

11. Application Form

Requests for multicast address assignments can be submitted through the application form on the IANA web site at [IANA-registration]. It is important to submit sufficient detail to allow the IESG designated expert to review the application. If the details given in the request are not clear, or further information is needed, the IESG designated expert may request additional information before assigning an address.

11.1. Size of Assignments of IPv4 Multicast Addresses

Occasionally, more than one multicast address is required. In these cases, multiple addresses are available in AD-HOC Block III. Where there is a requirement for a very large number of addresses, the assignment will be staged. The additional stages will only be made after the complete use of the initial assignment(s).

A separate document describing the policy governing assignment of addresses in the AD-HOC blocks I, II, and III will be developed and published. The format, location, and content has not yet been decided and so these will be documented in a future version of this document.

12. Annual Review

Given the dynamic nature of IPv4 multicast and its associated infrastructure, and the previously undocumented IPv4 multicast address assignment guidelines, the IANA should conduct an annual review of currently assigned addresses.

12.1. Address Reclamation

During the review described above, addresses that were mis-assigned should, where possible, be reclaimed or reassigned.

The IANA should also review assignments in the AD-HOC, "DIS Transient Groups", and ST Multicast Groups [RFC1819] blocks and reclaim those addresses that are not in use on the global Internet (i.e., those applications that can use SSM, GLOP, or Administratively Scoped addressing, or are not globally routed).

12.2. Positive Renewal

It is occasionally appropriate to make temporary assignments that can be renewed as necessary. In cases where this happens the registrant needs to positively request an extension to the temporary assignment or the addresses assigned. When the IANA has not received a request to renew the registration of a temporary assignment within 30 days of the expiry of the assignment, it MUST be removed from the multicast registry.

Addresses returned to the IANA when a temporary assignment ends MUST NOT be assigned to anyone other than the last registrant for at least one calendar year.

13. Use of IANA Reserved Addresses

Applications MUST NOT use addressing in the IANA reserved blocks.

14. IANA Considerations

IANA has updated its IPv4 multicast request and assignment procedures to reflect this document.

15. Security Considerations

The assignment guidelines described in this document do not alter the security properties of either the Any Source or Source-Specific Multicast service models.

16. Acknowledgments

The authors would like to thank Joe St. Sauver, John Meylor, Randy Bush, Thomas Narten, Marshall Eubanks, Zaid Albanna (co-author of [RFC 3171](#)), Kevin Almeroth (co-author of [RFC 3171](#)), Pekka Savola, and Alfred Hoenes for their constructive feedback and comments.

17. References

17.1. Normative References

- [RFC2119] Bradner, S., "Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels", [BCP 14](#), [RFC 2119](#), March 1997.
- [RFC5226] Narten, T. and H. Alvestrand, "Guidelines for Writing an IANA Considerations Section in RFCs", [BCP 26](#), [RFC 5226](#), May 2008.

17.2. Informative References

- [IANA] IANA, "IANA Protocol Registries", <<http://www.iana.org/>>.
- [IANA-protocols] IANA, "IANA Protocol Registries", <<http://www.iana.org/protocols>>.
- [IANA-registration] IANA, "IANA Protocol Registration Forms", <<http://www.iana.org/protocols/apply>>.
- [RFC1819] Delgrossi, L., Ed., and L. Berger, Ed., "Internet Stream Protocol Version 2 (ST2) Protocol Specification - Version ST2+", [RFC 1819](#), August 1995.
- [RFC1930] Hawkinson, J. and T. Bates, "Guidelines for creation, selection, and registration of an Autonomous System (AS)", [BCP 6](#), [RFC 1930](#), March 1996.
- [RFC2328] Moy, J., "OSPF Version 2", STD 54, [RFC 2328](#), April 1998.
- [RFC2365] Meyer, D., "Administratively Scoped IP Multicast", [BCP 23](#), [RFC 2365](#), July 1998.

- [RFC2606] Eastlake 3rd, D. and A. Panitz, "Reserved Top Level DNS Names", [BCP 32](#), [RFC 2606](#), June 1999.
- [RFC2730] Hanna, S., Patel, B., and M. Shah, "Multicast Address Dynamic Client Allocation Protocol (MADCAP)", [RFC 2730](#), December 1999.
- [RFC2780] Bradner, S. and V. Paxson, "IANA Allocation Guidelines For Values In the Internet Protocol and Related Headers", [BCP 37](#), [RFC 2780](#), March 2000.
- [RFC2860] Carpenter, B., Baker, F., and M. Roberts, "Memorandum of Understanding Concerning the Technical Work of the Internet Assigned Numbers Authority", [RFC 2860](#), June 2000.
- [RFC2974] Handley, M., Perkins, C., and E. Whelan, "Session Announcement Protocol", [RFC 2974](#), October 2000.
- [RFC3138] Meyer, D., "Extended Assignments in 233/8", [RFC 3138](#), June 2001.
- [RFC3171] Albanna, Z., Almeroth, K., Meyer, D., and M. Schipper, "IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments", [BCP 51](#), [RFC 3171](#), August 2001.
- [RFC3180] Meyer, D. and P. Lothberg, "GLOP Addressing in 233/8", [BCP 53](#), [RFC 3180](#), September 2001.
- [RFC4330] Mills, D., "Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI", [RFC 4330](#), January 2006.
- [RFC4607] Holbrook, H. and B. Cain, "Source-Specific Multicast for IP", [RFC 4607](#), August 2006.
- [SDR] University College London / ISI, "Session Directory Tool", <<http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/sdr/>>.

Authors' Addresses

Michelle Cotton
Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
4676 Admiralty Way, Suite 330
Marina del Rey, CA 90292
United States of America

Phone: +310-823-9358
EMail: michelle.cotton@icann.org
URI: <http://www.iana.org/>

Leo Vegoda
Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
4676 Admiralty Way, Suite 330
Marina del Rey, CA 90292
United States of America

Phone: +310-823-9358
EMail: leo.vegoda@icann.org
URI: <http://www.iana.org/>

David Meyer

EMail: dmm@1-4-5.net

Network Working Group
Request for Comments: 4291
Obsoletes: [3513](#)
Category: Standards Track

R. Hinden
Nokia
S. Deering
Cisco Systems
February 2006

IP Version 6 Addressing Architecture

Status of This Memo

This document specifies an Internet standards track protocol for the Internet community, and requests discussion and suggestions for improvements. Please refer to the current edition of the "Internet Official Protocol Standards" (STD 1) for the standardization state and status of this protocol. Distribution of this memo is unlimited.

Copyright Notice

Copyright (C) The Internet Society (2006).

Abstract

This specification defines the addressing architecture of the IP Version 6 (IPv6) protocol. The document includes the IPv6 addressing model, text representations of IPv6 addresses, definition of IPv6 unicast addresses, anycast addresses, and multicast addresses, and an IPv6 node's required addresses.

This document obsoletes [RFC 3513](#), "IP Version 6 Addressing Architecture".

Table of Contents

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 2 |
| 2. IPv6 Addressing | 2 |
| 2.1. Addressing Model | 3 |
| 2.2. Text Representation of Addresses | 4 |
| 2.3. Text Representation of Address Prefixes | 5 |
| 2.4. Address Type Identification | 6 |
| 2.5. Unicast Addresses | 6 |
| 2.5.1. Interface Identifiers | 7 |
| 2.5.2. The Unspecified Address | 9 |
| 2.5.3. The Loopback Address | 9 |
| 2.5.4. Global Unicast Addresses | 9 |
| 2.5.5. IPv6 Addresses with Embedded IPv4 Addresses | 10 |
| 2.5.6. Link-Local IPv6 Unicast Addresses | 11 |
| 2.5.7. Site-Local IPv6 Unicast Addresses | 11 |
| 2.6. Anycast Addresses | 12 |
| 2.6.1. Required Anycast Address | 12 |
| 2.7. Multicast Addresses | 13 |
| 2.7.1. Pre-Defined Multicast Addresses | 15 |
| 2.8. A Node's Required Addresses | 17 |
| 3. Security Considerations | 18 |
| 4. IANA Considerations | 18 |
| 5. Acknowledgements | 18 |
| 6. References | 18 |
| 6.1. Normative References | 18 |
| 6.2. Informative References | 18 |
| Appendix A: Creating Modified EUI-64 Format Interface Identifiers | 20 |
| Appendix B: Changes from RFC 3513 | 22 |

1. Introduction

This specification defines the addressing architecture of the IP Version 6 protocol. It includes the basic formats for the various types of IPv6 addresses (unicast, anycast, and multicast).

2. IPv6 Addressing

IPv6 addresses are 128-bit identifiers for interfaces and sets of interfaces (where "interface" is as defined in Section 2 of [IPV6]). There are three types of addresses:

Unicast: An identifier for a single interface. A packet sent to a unicast address is delivered to the interface identified by that address.

Anycast: An identifier for a set of interfaces (typically belonging to different nodes). A packet sent to an anycast address is delivered to one of the interfaces identified by that address (the "nearest" one, according to the routing protocols' measure of distance).

Multicast: An identifier for a set of interfaces (typically belonging to different nodes). A packet sent to a multicast address is delivered to all interfaces identified by that address.

There are no broadcast addresses in IPv6, their function being superseded by multicast addresses.

In this document, fields in addresses are given a specific name, for example, "subnet". When this name is used with the term "ID" for identifier after the name (e.g., "subnet ID"), it refers to the contents of the named field. When it is used with the term "prefix" (e.g., "subnet prefix"), it refers to all of the address from the left up to and including this field.

In IPv6, all zeros and all ones are legal values for any field, unless specifically excluded. Specifically, prefixes may contain, or end with, zero-valued fields.

2.1. Addressing Model

IPv6 addresses of all types are assigned to interfaces, not nodes. An IPv6 unicast address refers to a single interface. Since each interface belongs to a single node, any of that node's interfaces' unicast addresses may be used as an identifier for the node.

All interfaces are required to have at least one Link-Local unicast address (see [Section 2.8](#) for additional required addresses). A single interface may also have multiple IPv6 addresses of any type (unicast, anycast, and multicast) or scope. Unicast addresses with a scope greater than link-scope are not needed for interfaces that are not used as the origin or destination of any IPv6 packets to or from non-neighbors. This is sometimes convenient for point-to-point interfaces. There is one exception to this addressing model:

A unicast address or a set of unicast addresses may be assigned to multiple physical interfaces if the implementation treats the multiple physical interfaces as one interface when presenting it to the internet layer. This is useful for load-sharing over multiple physical interfaces.

Currently, IPv6 continues the IPv4 model in that a subnet prefix is associated with one link. Multiple subnet prefixes may be assigned to the same link.

2.2. Text Representation of Addresses

There are three conventional forms for representing IPv6 addresses as text strings:

1. The preferred form is `x:x:x:x:x:x:x:x`, where the 'x's are one to four hexadecimal digits of the eight 16-bit pieces of the address. Examples:

```
ABCD:EF01:2345:6789:ABCD:EF01:2345:6789
```

```
2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A
```

Note that it is not necessary to write the leading zeros in an individual field, but there must be at least one numeral in every field (except for the case described in 2.).

2. Due to some methods of allocating certain styles of IPv6 addresses, it will be common for addresses to contain long strings of zero bits. In order to make writing addresses containing zero bits easier, a special syntax is available to compress the zeros. The use of `::` indicates one or more groups of 16 bits of zeros. The `::` can only appear once in an address. The `::` can also be used to compress leading or trailing zeros in an address.

For example, the following addresses

```
2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A    a unicast address
FF01:0:0:0:0:0:0:101          a multicast address
0:0:0:0:0:0:0:1              the loopback address
0:0:0:0:0:0:0:0              the unspecified address
```

may be represented as

```
2001:DB8::8:800:200C:417A      a unicast address
FF01::101                      a multicast address
::1                             the loopback address
::                              the unspecified address
```

3. An alternative form that is sometimes more convenient when dealing with a mixed environment of IPv4 and IPv6 nodes is `x:x:x:x:x:x:d.d.d.d`, where the 'x's are the hexadecimal values of the six high-order 16-bit pieces of the address, and the 'd's are

the decimal values of the four low-order 8-bit pieces of the address (standard IPv4 representation). Examples:

```
0:0:0:0:0:0:13.1.68.3
```

```
0:0:0:0:0:FFFF:129.144.52.38
```

or in compressed form:

```
::13.1.68.3
```

```
::FFFF:129.144.52.38
```

2.3. Text Representation of Address Prefixes

The text representation of IPv6 address prefixes is similar to the way IPv4 address prefixes are written in Classless Inter-Domain Routing (CIDR) notation [CIDR]. An IPv6 address prefix is represented by the notation:

```
ipv6-address/prefix-length
```

where

`ipv6-address` is an IPv6 address in any of the notations listed in [Section 2.2](#).

`prefix-length` is a decimal value specifying how many of the leftmost contiguous bits of the address comprise the prefix.

For example, the following are legal representations of the 60-bit prefix 20010DB80000CD3 (hexadecimal):

```
2001:0DB8:0000:CD30:0000:0000:0000:0000/60
```

```
2001:0DB8::CD30:0:0:0:0/60
```

```
2001:0DB8:0:CD30::/60
```

The following are NOT legal representations of the above prefix:

2001:0DB8:0:CD3/60 may drop leading zeros, but not trailing zeros, within any 16-bit chunk of the address

2001:0DB8::CD30/60 address to left of "/" expands to 2001:0DB8:0000:0000:0000:0000:0000:CD30

2001:0DB8::CD3/60 address to left of "/" expands to 2001:0DB8:0000:0000:0000:0000:0000:0CD3

When writing both a node address and a prefix of that node address (e.g., the node's subnet prefix), the two can be combined as follows:

```
the node address      2001:0DB8:0:CD30:123:4567:89AB:CDEF
and its subnet number 2001:0DB8:0:CD30::/60
```

can be abbreviated as 2001:0DB8:0:CD30:123:4567:89AB:CDEF/60

2.4. Address Type Identification

The type of an IPv6 address is identified by the high-order bits of the address, as follows:

| Address type | Binary prefix | IPv6 notation | Section |
|--------------------|-------------------|---------------|---------|
| ----- | ----- | ----- | ----- |
| Unspecified | 00...0 (128 bits) | ::/128 | 2.5.2 |
| Loopback | 00...1 (128 bits) | ::1/128 | 2.5.3 |
| Multicast | 11111111 | FF00::/8 | 2.7 |
| Link-Local unicast | 1111111010 | FE80::/10 | 2.5.6 |
| Global Unicast | (everything else) | | |

Anycast addresses are taken from the unicast address spaces (of any scope) and are not syntactically distinguishable from unicast addresses.

The general format of Global Unicast addresses is described in [Section 2.5.4](#). Some special-purpose subtypes of Global Unicast addresses that contain embedded IPv4 addresses (for the purposes of IPv4-IPv6 interoperation) are described in [Section 2.5.5](#).

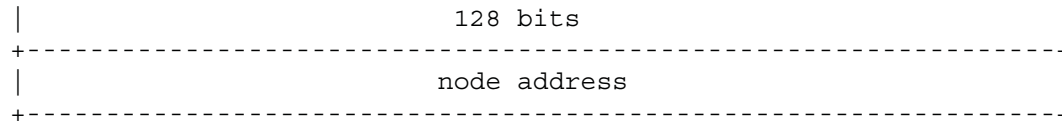
Future specifications may redefine one or more sub-ranges of the Global Unicast space for other purposes, but unless and until that happens, implementations must treat all addresses that do not start with any of the above-listed prefixes as Global Unicast addresses.

2.5. Unicast Addresses

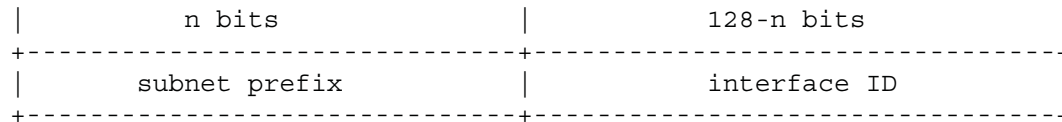
IPv6 unicast addresses are aggregatable with prefixes of arbitrary bit-length, similar to IPv4 addresses under Classless Inter-Domain Routing.

There are several types of unicast addresses in IPv6, in particular, Global Unicast, site-local unicast (deprecated, see [Section 2.5.7](#)), and Link-Local unicast. There are also some special-purpose subtypes of Global Unicast, such as IPv6 addresses with embedded IPv4 addresses. Additional address types or subtypes can be defined in the future.

IPv6 nodes may have considerable or little knowledge of the internal structure of the IPv6 address, depending on the role the node plays (for instance, host versus router). At a minimum, a node may consider that unicast addresses (including its own) have no internal structure:



A slightly sophisticated host (but still rather simple) may additionally be aware of subnet prefix(es) for the link(s) it is attached to, where different addresses may have different values for n:



Though a very simple router may have no knowledge of the internal structure of IPv6 unicast addresses, routers will more generally have knowledge of one or more of the hierarchical boundaries for the operation of routing protocols. The known boundaries will differ from router to router, depending on what positions the router holds in the routing hierarchy.

Except for the knowledge of the subnet boundary discussed in the previous paragraphs, nodes should not make any assumptions about the structure of an IPv6 address.

2.5.1. Interface Identifiers

Interface identifiers in IPv6 unicast addresses are used to identify interfaces on a link. They are required to be unique within a subnet prefix. It is recommended that the same interface identifier not be assigned to different nodes on a link. They may also be unique over a broader scope. In some cases, an interface's identifier will be derived directly from that interface's link-layer address. The same interface identifier may be used on multiple interfaces on a single node, as long as they are attached to different subnets.

Note that the uniqueness of interface identifiers is independent of the uniqueness of IPv6 addresses. For example, a Global Unicast address may be created with a local scope interface identifier and a Link-Local address may be created with a universal scope interface identifier.

For all unicast addresses, except those that start with the binary value 000, Interface IDs are required to be 64 bits long and to be constructed in Modified EUI-64 format.

Modified EUI-64 format-based interface identifiers may have universal scope when derived from a universal token (e.g., IEEE 802 48-bit MAC or IEEE EUI-64 identifiers [EUI64]) or may have local scope where a global token is not available (e.g., serial links, tunnel end-points) or where global tokens are undesirable (e.g., temporary tokens for privacy [PRIV]).

Modified EUI-64 format interface identifiers are formed by inverting the "u" bit (universal/local bit in IEEE EUI-64 terminology) when forming the interface identifier from IEEE EUI-64 identifiers. In the resulting Modified EUI-64 format, the "u" bit is set to one (1) to indicate universal scope, and it is set to zero (0) to indicate local scope. The first three octets in binary of an IEEE EUI-64 identifier are as follows:

```

      0      0 0      1 1      2
      |0      7 8      5 6      3|
      +-----+-----+-----+-----+-----+-----+
      |cccc|ccug|cccc|cccc|cccc|cccc|
      +-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

written in Internet standard bit-order, where "u" is the universal/local bit, "g" is the individual/group bit, and "c" is the bits of the company_id. [Appendix A](#), "Creating Modified EUI-64 Format Interface Identifiers", provides examples on the creation of Modified EUI-64 format-based interface identifiers.

The motivation for inverting the "u" bit when forming an interface identifier is to make it easy for system administrators to hand configure non-global identifiers when hardware tokens are not available. This is expected to be the case for serial links and tunnel end-points, for example. The alternative would have been for these to be of the form 0200:0:0:1, 0200:0:0:2, etc., instead of the much simpler 0:0:0:1, 0:0:0:2, etc.

IPv6 nodes are not required to validate that interface identifiers created with modified EUI-64 tokens with the "u" bit set to universal are unique.

The use of the universal/local bit in the Modified EUI-64 format identifier is to allow development of future technology that can take advantage of interface identifiers with universal scope.

The details of forming interface identifiers are defined in the appropriate "IPv6 over <link>" specification, such as "IPv6 over Ethernet" [ETHER], and "IPv6 over FDDI" [FDDI].

2.5.2. The Unspecified Address

The address 0:0:0:0:0:0:0:0 is called the unspecified address. It must never be assigned to any node. It indicates the absence of an address. One example of its use is in the Source Address field of any IPv6 packets sent by an initializing host before it has learned its own address.

The unspecified address must not be used as the destination address of IPv6 packets or in IPv6 Routing headers. An IPv6 packet with a source address of unspecified must never be forwarded by an IPv6 router.

2.5.3. The Loopback Address

The unicast address 0:0:0:0:0:0:0:1 is called the loopback address. It may be used by a node to send an IPv6 packet to itself. It must not be assigned to any physical interface. It is treated as having Link-Local scope, and may be thought of as the Link-Local unicast address of a virtual interface (typically called the "loopback interface") to an imaginary link that goes nowhere.

The loopback address must not be used as the source address in IPv6 packets that are sent outside of a single node. An IPv6 packet with a destination address of loopback must never be sent outside of a single node and must never be forwarded by an IPv6 router. A packet received on an interface with a destination address of loopback must be dropped.

2.5.4. Global Unicast Addresses

The general format for IPv6 Global Unicast addresses is as follows:

| | | |
|-----------------------|-----------|--------------|
| n bits | m bits | 128-n-m bits |
| global routing prefix | subnet ID | interface ID |

where the global routing prefix is a (typically hierarchically-structured) value assigned to a site (a cluster of subnets/links), the subnet ID is an identifier of a link within the site, and the interface ID is as defined in [Section 2.5.1](#).

All Global Unicast addresses other than those that start with binary 000 have a 64-bit interface ID field (i.e., $n + m = 64$), formatted as described in [Section 2.5.1](#). Global Unicast addresses that start with binary 000 have no such constraint on the size or structure of the interface ID field.

Examples of Global Unicast addresses that start with binary 000 are the IPv6 address with embedded IPv4 addresses described in [Section 2.5.5](#). An example of global addresses starting with a binary value other than 000 (and therefore having a 64-bit interface ID field) can be found in [\[GLOBAL\]](#).

2.5.5. IPv6 Addresses with Embedded IPv4 Addresses

Two types of IPv6 addresses are defined that carry an IPv4 address in the low-order 32 bits of the address. These are the "IPv4-Compatible IPv6 address" and the "IPv4-mapped IPv6 address".

2.5.5.1. IPv4-Compatible IPv6 Address

The "IPv4-Compatible IPv6 address" was defined to assist in the IPv6 transition. The format of the "IPv4-Compatible IPv6 address" is as follows:

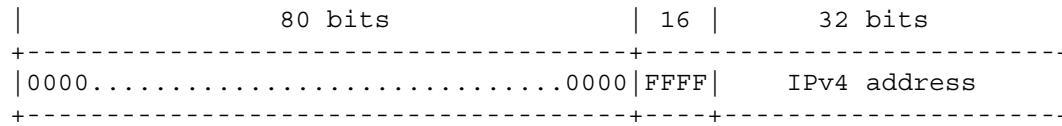
| | | |
|---------------------|------|--------------|
| 80 bits | 16 | 32 bits |
| +-----+-----+-----+ | | |
| 0000.....0000 | 0000 | IPv4 address |
| +-----+-----+-----+ | | |

Note: The IPv4 address used in the "IPv4-Compatible IPv6 address" must be a globally-unique IPv4 unicast address.

The "IPv4-Compatible IPv6 address" is now deprecated because the current IPv6 transition mechanisms no longer use these addresses. New or updated implementations are not required to support this address type.

2.5.5.2. IPv4-Mapped IPv6 Address

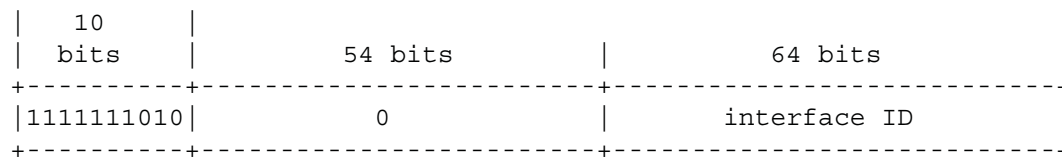
A second type of IPv6 address that holds an embedded IPv4 address is defined. This address type is used to represent the addresses of IPv4 nodes as IPv6 addresses. The format of the "IPv4-mapped IPv6 address" is as follows:



See [RFC4038] for background on the usage of the "IPv4-mapped IPv6 address".

2.5.6. Link-Local IPv6 Unicast Addresses

Link-Local addresses are for use on a single link. Link-Local addresses have the following format:



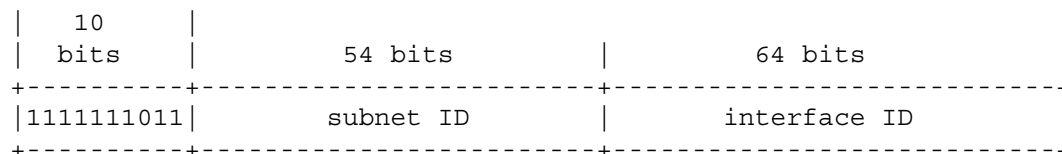
Link-Local addresses are designed to be used for addressing on a single link for purposes such as automatic address configuration, neighbor discovery, or when no routers are present.

Routers must not forward any packets with Link-Local source or destination addresses to other links.

2.5.7. Site-Local IPv6 Unicast Addresses

Site-Local addresses were originally designed to be used for addressing inside of a site without the need for a global prefix. Site-local addresses are now deprecated as defined in [SLDEP].

Site-Local addresses have the following format:



The special behavior of this prefix defined in [RFC3513] must no longer be supported in new implementations (i.e., new implementations must treat this prefix as Global Unicast).

Existing implementations and deployments may continue to use this prefix.

2.6. Anycast Addresses

An IPv6 anycast address is an address that is assigned to more than one interface (typically belonging to different nodes), with the property that a packet sent to an anycast address is routed to the "nearest" interface having that address, according to the routing protocols' measure of distance.

Anycast addresses are allocated from the unicast address space, using any of the defined unicast address formats. Thus, anycast addresses are syntactically indistinguishable from unicast addresses. When a unicast address is assigned to more than one interface, thus turning it into an anycast address, the nodes to which the address is assigned must be explicitly configured to know that it is an anycast address.

For any assigned anycast address, there is a longest prefix P of that address that identifies the topological region in which all interfaces belonging to that anycast address reside. Within the region identified by P, the anycast address must be maintained as a separate entry in the routing system (commonly referred to as a "host route"); outside the region identified by P, the anycast address may be aggregated into the routing entry for prefix P.

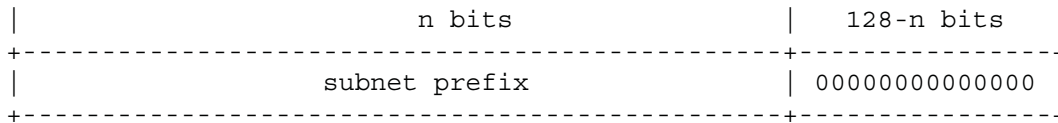
Note that in the worst case, the prefix P of an anycast set may be the null prefix, i.e., the members of the set may have no topological locality. In that case, the anycast address must be maintained as a separate routing entry throughout the entire Internet, which presents a severe scaling limit on how many such "global" anycast sets may be supported. Therefore, it is expected that support for global anycast sets may be unavailable or very restricted.

One expected use of anycast addresses is to identify the set of routers belonging to an organization providing Internet service. Such addresses could be used as intermediate addresses in an IPv6 Routing header, to cause a packet to be delivered via a particular service provider or sequence of service providers.

Some other possible uses are to identify the set of routers attached to a particular subnet, or the set of routers providing entry into a particular routing domain.

2.6.1. Required Anycast Address

The Subnet-Router anycast address is predefined. Its format is as follows:



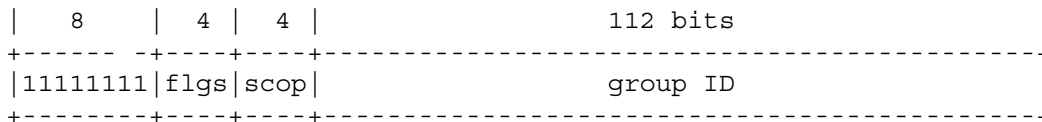
The "subnet prefix" in an anycast address is the prefix that identifies a specific link. This anycast address is syntactically the same as a unicast address for an interface on the link with the interface identifier set to zero.

Packets sent to the Subnet-Router anycast address will be delivered to one router on the subnet. All routers are required to support the Subnet-Router anycast addresses for the subnets to which they have interfaces.

The Subnet-Router anycast address is intended to be used for applications where a node needs to communicate with any one of the set of routers.

2.7. Multicast Addresses

An IPv6 multicast address is an identifier for a group of interfaces (typically on different nodes). An interface may belong to any number of multicast groups. Multicast addresses have the following format:



binary 11111111 at the start of the address identifies the address as being a multicast address.

flgs is a set of 4 flags: +---+---+
 |0|R|P|T|
 +---+---+

The high-order flag is reserved, and must be initialized to 0.

T = 0 indicates a permanently-assigned ("well-known") multicast address, assigned by the Internet Assigned Numbers Authority (IANA).

T = 1 indicates a non-permanently-assigned ("transient" or "dynamically" assigned) multicast address.

The P flag's definition and usage can be found in [\[RFC3306\]](#).

The R flag's definition and usage can be found in [\[RFC3956\]](#).

scop is a 4-bit multicast scope value used to limit the scope of the multicast group. The values are as follows:

- 0 reserved
- 1 Interface-Local scope
- 2 Link-Local scope
- 3 reserved
- 4 Admin-Local scope
- 5 Site-Local scope
- 6 (unassigned)
- 7 (unassigned)
- 8 Organization-Local scope
- 9 (unassigned)
- A (unassigned)
- B (unassigned)
- C (unassigned)
- D (unassigned)
- E Global scope
- F reserved

Interface-Local scope spans only a single interface on a node and is useful only for loopback transmission of multicast.

Link-Local multicast scope spans the same topological region as the corresponding unicast scope.

Admin-Local scope is the smallest scope that must be administratively configured, i.e., not automatically derived from physical connectivity or other, non-multicast-related configuration.

Site-Local scope is intended to span a single site.

Organization-Local scope is intended to span multiple sites belonging to a single organization.

scopes labeled "(unassigned)" are available for administrators to define additional multicast regions.

group ID identifies the multicast group, either permanent or transient, within the given scope. Additional definitions of the multicast group ID field structure are provided in [\[RFC3306\]](#).

The "meaning" of a permanently-assigned multicast address is independent of the scope value. For example, if the "NTP servers group" is assigned a permanent multicast address with a group ID of 101 (hex), then

FF01:0:0:0:0:0:0:101 means all NTP servers on the same interface (i.e., the same node) as the sender.

FF02:0:0:0:0:0:0:101 means all NTP servers on the same link as the sender.

FF05:0:0:0:0:0:0:101 means all NTP servers in the same site as the sender.

FF0E:0:0:0:0:0:0:101 means all NTP servers in the Internet.

Non-permanently-assigned multicast addresses are meaningful only within a given scope. For example, a group identified by the non-permanent, site-local multicast address FF15:0:0:0:0:0:0:101 at one site bears no relationship to a group using the same address at a different site, nor to a non-permanent group using the same group ID with a different scope, nor to a permanent group with the same group ID.

Multicast addresses must not be used as source addresses in IPv6 packets or appear in any Routing header.

Routers must not forward any multicast packets beyond of the scope indicated by the scop field in the destination multicast address.

Nodes must not originate a packet to a multicast address whose scop field contains the reserved value 0; if such a packet is received, it must be silently dropped. Nodes should not originate a packet to a multicast address whose scop field contains the reserved value F; if such a packet is sent or received, it must be treated the same as packets destined to a global (scop E) multicast address.

2.7.1. Pre-Defined Multicast Addresses

The following well-known multicast addresses are pre-defined. The group IDs defined in this section are defined for explicit scope values.

Use of these group IDs for any other scope values, with the T flag equal to 0, is not allowed.

Reserved Multicast Addresses: FF00:0:0:0:0:0:0:0
FF01:0:0:0:0:0:0:0
FF02:0:0:0:0:0:0:0
FF03:0:0:0:0:0:0:0
FF04:0:0:0:0:0:0:0
FF05:0:0:0:0:0:0:0
FF06:0:0:0:0:0:0:0
FF07:0:0:0:0:0:0:0
FF08:0:0:0:0:0:0:0
FF09:0:0:0:0:0:0:0
FF0A:0:0:0:0:0:0:0
FF0B:0:0:0:0:0:0:0
FF0C:0:0:0:0:0:0:0
FF0D:0:0:0:0:0:0:0
FF0E:0:0:0:0:0:0:0
FF0F:0:0:0:0:0:0:0

The above multicast addresses are reserved and shall never be assigned to any multicast group.

All Nodes Addresses: FF01:0:0:0:0:0:0:1
FF02:0:0:0:0:0:0:1

The above multicast addresses identify the group of all IPv6 nodes, within scope 1 (interface-local) or 2 (link-local).

All Routers Addresses: FF01:0:0:0:0:0:0:2
FF02:0:0:0:0:0:0:2
FF05:0:0:0:0:0:0:2

The above multicast addresses identify the group of all IPv6 routers, within scope 1 (interface-local), 2 (link-local), or 5 (site-local).

Solicited-Node Address: FF02:0:0:0:0:1:FFXX:XXXX

Solicited-Node multicast address are computed as a function of a node's unicast and anycast addresses. A Solicited-Node multicast address is formed by taking the low-order 24 bits of an address (unicast or anycast) and appending those bits to the prefix FF02:0:0:0:0:1:FF00::/104 resulting in a multicast address in the range

FF02:0:0:0:0:1:FF00:0000

to

FF02:0:0:0:0:1:FFFF:FFFF

For example, the Solicited-Node multicast address corresponding to the IPv6 address 4037::01:800:200E:8C6C is FF02::1:FF0E:8C6C. IPv6 addresses that differ only in the high-order bits (e.g., due to multiple high-order prefixes associated with different aggregations) will map to the same Solicited-Node address, thereby reducing the number of multicast addresses a node must join.

A node is required to compute and join (on the appropriate interface) the associated Solicited-Node multicast addresses for all unicast and anycast addresses that have been configured for the node's interfaces (manually or automatically).

2.8. A Node's Required Addresses

A host is required to recognize the following addresses as identifying itself:

- o Its required Link-Local address for each interface.
- o Any additional Unicast and Anycast addresses that have been configured for the node's interfaces (manually or automatically).
- o The loopback address.
- o The All-Nodes multicast addresses defined in [Section 2.7.1](#).
- o The Solicited-Node multicast address for each of its unicast and anycast addresses.
- o Multicast addresses of all other groups to which the node belongs.

A router is required to recognize all addresses that a host is required to recognize, plus the following addresses as identifying itself:

- o The Subnet-Router Anycast addresses for all interfaces for which it is configured to act as a router.
- o All other Anycast addresses with which the router has been configured.
- o The All-Routers multicast addresses defined in [Section 2.7.1](#).

3. Security Considerations

IPv6 addressing documents do not have any direct impact on Internet infrastructure security. Authentication of IPv6 packets is defined in [AUTH].

4. IANA Considerations

The "IPv4-Compatible IPv6 address" is deprecated by this document. The IANA should continue to list the address block containing these addresses at <http://www.iana.org/assignments/ipv6-address-space> as "Reserved by IETF" and not reassign it for any other purpose. For example:

```
0000::/8           Reserved by IETF           [RFC3513]           [1]
```

The IANA has added the following note and link to this address block.

```
[5] 0000::/96 was previously defined as the "IPv4-Compatible IPv6
address" prefix. This definition has been deprecated by RFC
4291.
```

The IANA has updated the references for the IPv6 Address Architecture in the IANA registries accordingly.

5. Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the contributions of Paul Francis, Scott Bradner, Jim Bound, Brian Carpenter, Matt Crawford, Deborah Estrin, Roger Fajman, Bob Fink, Peter Ford, Bob Gilligan, Dmitry Haskin, Tom Harsch, Christian Huitema, Tony Li, Greg Minshall, Thomas Narten, Erik Nordmark, Yakov Rekhter, Bill Simpson, Sue Thomson, Markku Savela, Larry Masinter, Jun-ichiro Itojun Hagino, Tatuya Jinmei, Suresh Krishnan, and Mahmood Ali.

6. References

6.1. Normative References

```
[IPV6] Deering, S. and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6
(IPv6) Specification", RFC 2460, December 1998.
```

6.2. Informative References

```
[AUTH] Kent, S. and R. Atkinson, "IP Authentication Header", RFC
2402, November 1998.
```

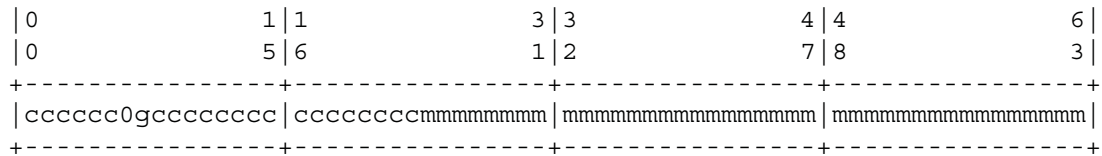

- [CIDR] Fuller, V., Li, T., Yu, J., and K. Varadhan, "Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy", [RFC 1519](#), September 1993.
- [ETHER] Crawford, M., "Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks", [RFC 2464](#), December 1998.
- [EUI64] IEEE, "Guidelines for 64-bit Global Identifier (EUI-64) Registration Authority", <http://standards.ieee.org/regauth/oui/tutorials/EUI64.html>, March 1997.
- [FDDI] Crawford, M., "Transmission of IPv6 Packets over FDDI Networks", [RFC 2467](#), December 1998.
- [GLOBAL] Hinden, R., Deering, S., and E. Nordmark, "IPv6 Global Unicast Address Format", [RFC 3587](#), August 2003.
- [PRIV] Narten, T. and R. Draves, "Privacy Extensions for Stateless Address Autoconfiguration in IPv6", [RFC 3041](#), January 2001.
- [RFC3513] Hinden, R. and S. Deering, "Internet Protocol Version 6 (IPv6) Addressing Architecture", [RFC 3513](#), April 2005.
- [RFC3306] Haberman, B. and D. Thaler, "Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Addresses", [RFC 3306](#), August 2002.
- [RFC3956] Savola, P. and B. Haberman, "Embedding the Rendezvous Point (RP) Address in an IPv6 Multicast Address", [RFC 3956](#), November 2004.
- [RFC4038] Shin, M-K., Hong, Y-G., Hagino, J., Savola, P., and E. Castro, "Application Aspects of IPv6 Transition", [RFC 4038](#), March 2005.
- [SLDEP] Huitema, C. and B. Carpenter, "Deprecating Site Local Addresses", [RFC 3879](#), September 2004.

Appendix A: Creating Modified EUI-64 Format Interface Identifiers

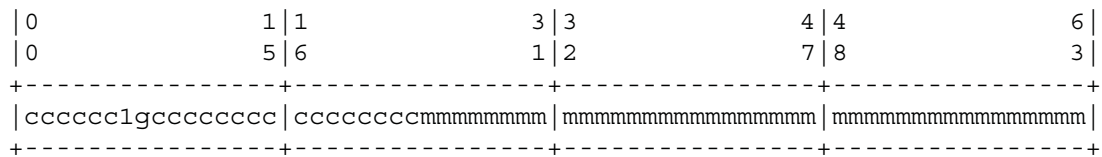
Depending on the characteristics of a specific link or node, there are a number of approaches for creating Modified EUI-64 format interface identifiers. This appendix describes some of these approaches.

Links or Nodes with IEEE EUI-64 Identifiers

The only change needed to transform an IEEE EUI-64 identifier to an interface identifier is to invert the "u" (universal/local) bit. An example is a globally unique IEEE EUI-64 identifier of the form:



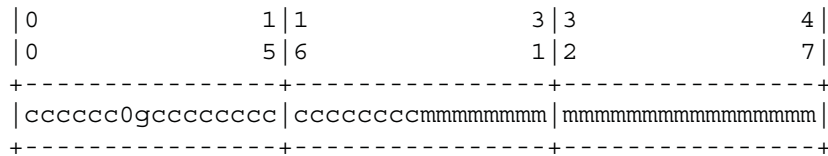
where "c" is the bits of the assigned company_id, "0" is the value of the universal/local bit to indicate universal scope, "g" is individual/group bit, and "m" is the bits of the manufacturer-selected extension identifier. The IPv6 interface identifier would be of the form:



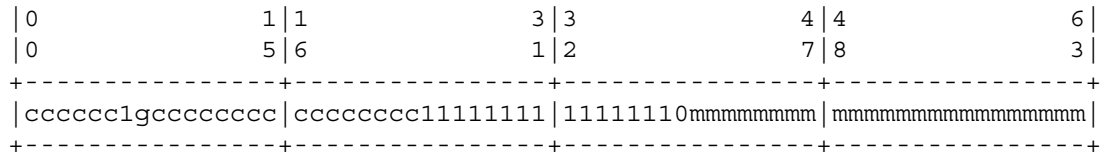
The only change is inverting the value of the universal/local bit.

Links or Nodes with IEEE 802 48-bit MACs

[EUI64] defines a method to create an IEEE EUI-64 identifier from an IEEE 48-bit MAC identifier. This is to insert two octets, with hexadecimal values of 0xFF and 0xFE (see the Note at the end of appendix), in the middle of the 48-bit MAC (between the company_id and vendor-supplied id). An example is the 48-bit IEEE MAC with Global scope:



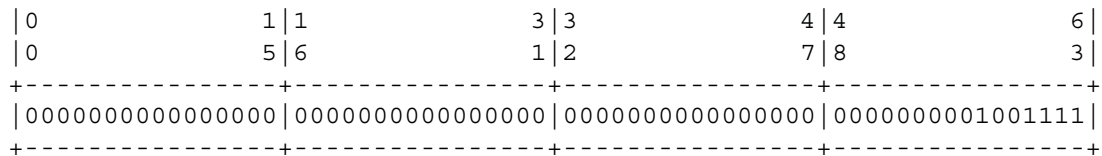
where "c" is the bits of the assigned company_id, "0" is the value of the universal/local bit to indicate Global scope, "g" is individual/group bit, and "m" is the bits of the manufacturer-selected extension identifier. The interface identifier would be of the form:



When IEEE 802 48-bit MAC addresses are available (on an interface or a node), an implementation may use them to create interface identifiers due to their availability and uniqueness properties.

Links with Other Kinds of Identifiers

There are a number of types of links that have link-layer interface identifiers other than IEEE EUI-64 or IEEE 802 48-bit MACs. Examples include LocalTalk and Arcnet. The method to create a Modified EUI-64 format identifier is to take the link identifier (e.g., the LocalTalk 8-bit node identifier) and zero fill it to the left. For example, a LocalTalk 8-bit node identifier of hexadecimal value 0x4F results in the following interface identifier:



Note that this results in the universal/local bit set to "0" to indicate local scope.

Links without Identifiers

There are a number of links that do not have any type of built-in identifier. The most common of these are serial links and configured tunnels. Interface identifiers that are unique within a subnet prefix must be chosen.

When no built-in identifier is available on a link, the preferred approach is to use a universal interface identifier from another interface or one that is assigned to the node itself. When using this approach, no other interface connecting the same node to the same subnet prefix may use the same identifier.

If there is no universal interface identifier available for use on the link, the implementation needs to create a local-scope interface identifier. The only requirement is that it be unique within a subnet prefix. There are many possible approaches to select a subnet-prefix-unique interface identifier. These include the following:

- Manual Configuration
- Node Serial Number
- Other Node-Specific Token

The subnet-prefix-unique interface identifier should be generated in a manner such that it does not change after a reboot of a node or if interfaces are added or deleted from the node.

The selection of the appropriate algorithm is link and implementation dependent. The details on forming interface identifiers are defined in the appropriate "IPv6 over <link>" specification. It is strongly recommended that a collision detection algorithm be implemented as part of any automatic algorithm.

Note: [EUI-64] actually defines 0xFF and 0xFE as the bits to be inserted to create an IEEE EUI-64 identifier from an IEEE MAC-48 identifier. The 0xFF and 0xFE values are used when starting with an IEEE EUI-48 identifier. The incorrect value was used in earlier versions of the specification due to a misunderstanding about the differences between IEEE MAC-48 and EUI-48 identifiers.

This document purposely continues the use of 0xFF and 0xFE because it meets the requirements for IPv6 interface identifiers (i.e., that they must be unique on the link), IEEE EUI-48 and MAC-48 identifiers are syntactically equivalent, and that it doesn't cause any problems in practice.

Appendix B: Changes from [RFC 3513](#)

The following changes were made from [RFC 3513](#), "IP Version 6 Addressing Architecture":

- o The restrictions on using IPv6 anycast addresses were removed because there is now sufficient experience with the use of anycast addresses, the issues are not specific to IPv6, and the GROW working group is working in this area.
- o Deprecated the Site-Local unicast prefix. Changes include the following:

- Removed Site-Local from special list of prefixes in [Section 2.4](#).
- Split section titled "Local-use IPv6 Unicast Addresses" into two sections, "Link-Local IPv6 Unicast Addresses" and "Site-Local IPv6 Unicast Addresses".
- Added text to new section describing Site-Local deprecation.
- o Changes to resolve issues raised in IAB response to Robert Elz appeal. Changes include the following:
 - Added clarification to [Section 2.5](#) that nodes should make no assumptions about the structure of an IPv6 address.
 - Changed the text in [Section 2.5.1](#) and [Appendix A](#) to refer to the Modified EUI-64 format interface identifiers with the "u" bit set to one (1) as universal.
 - Added clarification to [Section 2.5.1](#) that IPv6 nodes are not required to validate that interface identifiers created in Modified EUI-64 format with the "u" bit set to one are unique.
- o Changed the reference indicated in [Section 2.5.4](#) "Global Unicast Addresses" to [RFC 3587](#).
- o Removed mention of NSAP addresses in examples.
- o Clarified that the "x" in the textual representation can be one to four digits.
- o Deprecated the "IPv6 Compatible Address" because it is not being used in the IPv6 transition mechanisms.
- o Added the "R" and "P" flags to [Section 2.7](#) on multicast addresses, and pointers to the documents that define them.
- o Editorial changes.

Authors' Addresses

Robert M. Hinden
Nokia
313 Fairchild Drive
Mountain View, CA 94043
USA

Phone: +1 650 625-2004
EMail: bob.hinden@nokia.com

Stephen E. Deering
Cisco Systems, Inc.
170 West Tasman Drive
San Jose, CA 95134-1706
USA

Full Copyright Statement

Copyright (C) The Internet Society (2006).

This document is subject to the rights, licenses and restrictions contained in [BCP 78](#), and except as set forth therein, the authors retain all their rights.

This document and the information contained herein are provided on an "AS IS" basis and THE CONTRIBUTOR, THE ORGANIZATION HE/SHE REPRESENTS OR IS SPONSORED BY (IF ANY), THE INTERNET SOCIETY AND THE INTERNET ENGINEERING TASK FORCE DISCLAIM ALL WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY WARRANTY THAT THE USE OF THE INFORMATION HEREIN WILL NOT INFRINGE ANY RIGHTS OR ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

Intellectual Property

The IETF takes no position regarding the validity or scope of any Intellectual Property Rights or other rights that might be claimed to pertain to the implementation or use of the technology described in this document or the extent to which any license under such rights might or might not be available; nor does it represent that it has made any independent effort to identify any such rights. Information on the procedures with respect to rights in RFC documents can be found in [BCP 78](#) and [BCP 79](#).

Copies of IPR disclosures made to the IETF Secretariat and any assurances of licenses to be made available, or the result of an attempt made to obtain a general license or permission for the use of such proprietary rights by implementers or users of this specification can be obtained from the IETF on-line IPR repository at <http://www.ietf.org/ipr>.

The IETF invites any interested party to bring to its attention any copyrights, patents or patent applications, or other proprietary rights that may cover technology that may be required to implement this standard. Please address the information to the IETF at ietf-ipr@ietf.org.

Acknowledgement

Funding for the RFC Editor function is provided by the IETF Administrative Support Activity (IASA).

附属5 テレビジョンサービスにおける HEVC 規格の運用ガイドライン

第1章 一般事項

1.1 目的

本運用ガイドラインは、デジタルテレビジョンサービスにおける映像信号と映像符号化方式に関し、実運用において推奨される HEVC 規格の技術的条件を示すことを目的とする。

1.2 適用範囲

本運用ガイドラインは、「標準テレビジョン放送等のうちデジタル放送に関する送信の標準方式」(省令)に準拠するテレビジョンサービスの映像信号のうち HEVC 規格によるものについて適用する。

1.3 引用文書

1.3.1 準拠文書

- (1) Rec. ITU-T H.265 (2018) | ISO/IEC 23008-2:2017 - Information technology -- High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments -- Part 2: High efficiency video coding (以下「HEVC 規格」という。)
- (2) Rec. ITU-T H.222.0 (2017) | ISO/IEC 13818-1:2018 - Information technology -- Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems (以下「MPEG-2 Systems 規格」という。)
- (3) ISO/IEC 23008-1:2017 - Information technology -- High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments -- Part 1: MPEG media transport (MMT) (以下「MMT 規格」という。)
- (4) ARIB 標準規格 STD-B60 1.11 版(2018) : デジタル放送における MMT によるメディアトランスポート方式

1.4 用語

1.4.1 HEVC 規格の略語

| | |
|-------|---|
| AU | Access Unit |
| AUD | AU Delimiter |
| BLA | Broken Link Access |
| CABAC | Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding |
| CB | Coding Block |
| CBR | Constant Bit Rate |

| | |
|------|--------------------------------------|
| CRA | Clean Random Access |
| CPB | Coded Picture Buffer |
| CTB | Coding Tree Block |
| CTU | Coding Tree Unit |
| CU | Coding Unit |
| CVS | Coded Video Sequence |
| DCT | Discrete Cosine Transform |
| DPB | Decoded Picture Buffer |
| DST | Discrete Sine Transform |
| EOB | End of Bitstream |
| EOS | End of Sequence |
| HRD | Hypothetical Reference Decoder |
| IDR | Instantaneous Decoding Refresh |
| IRAP | Intra Random Access Point |
| LP | Leading Picture |
| NAL | Network Abstraction Layer |
| NALU | NAL Unit |
| PB | Prediction Block |
| POC | Picture Order Count |
| PPS | Picture Parameter Set |
| PU | Prediction Unit |
| RADL | Random Access Decodable Leading |
| RASL | Random Access Skipped Leading |
| RBSP | Raw Byte Sequence Payload |
| RPS | Reference Picture Set |
| SAO | Sample Adaptive Offset |
| SEI | Supplemental Enhancement Information |
| SOP | Structure of Pictures |
| SPS | Sequence Parameter Set |
| STSA | Step-wise Temporal Sub-layer Access |
| TB | Transform Block |
| TP | Trailing Picture |
| TSA | Temporal Sub-layer Access |
| TU | Transform Unit |
| VBR | Variable Bit Rate |

| | |
|-----|-------------------------------|
| VCL | Video Coding Layer |
| VPS | Video Parameter Set |
| VUI | Video Usability Information |
| WPP | Wavefront Parallel Processing |

1.4.2 MPEG-2 Systems 規格の略語

| | |
|------|---|
| CA | Conditional Access |
| CAT | Conditional Access Table |
| DTS | Decoding Time-Stamp |
| ECM | Entitlement Control Message |
| EMM | Entitlement Management Message |
| ES | Elementary Stream |
| GOP | Group of Pictures |
| NIT | Network Information Table |
| PAT | Program Association Table |
| PES | Packetized Elementary Stream |
| PID | Packet Identifier |
| PMT | Program Map Table |
| PSI | Program Specific Information |
| PTS | Presentation Time-Stamp |
| TS | Transport Stream |
| TMCC | Transmission & Multiplexing Configuration Control |

1.4.3 MMT 規格の略語

| | |
|--------|--|
| AIT | Application Information Table |
| AMT | Address Map Table |
| AL-FEC | Application Layer Forward Error Correction |
| BIT | Broadcaster Information Table |
| CA | Conditional Access |
| CDT | Common Data Table |
| CRI | Clock Relation Information |
| CRID | Content Reference Identifier |
| DCI | Device Capability Information |
| ECM | Entitlement Control Message |
| EIT | Event Information Table |

| | |
|------|------------------------------------|
| EMM | Entitlement Management Control |
| GFD | Generic File Delivery |
| HRBM | Hypothetical Receiver Buffer Model |
| LCT | Layout Configuration Table |
| LDT | Linked Description Table |
| MFU | Media Fragment Unit |
| MMT | MPEG Media Transport |
| MMTP | MMT Protocol |
| MPI | Media Presentation Information |
| MPT | MMT Package Table |
| MPU | Media Processing Unit |
| NIT | Network Information Table |
| PA | Package Access |
| PLT | Package List Table |
| SDT | Service Description Table |
| SDTT | Software Download Trigger |
| TLV | Type Length Value |
| URL | Uniform Resource Locator |

表 4-20 Recovery point SEI パラメータ

| シンタックス要素 | 値 | 説明 |
|------------------|---|---|
| recovery_poc_cnt | 0 | Recovery point SEIを付加したAU及び表示順で後のAUの正常復号を保証する |
| exact_match_flag | 1 | Recovery point SEIを付加したAU及び表示順で後のAUの正常復号を保証する |
| broken_link_flag | 0 | 直前IRAP AUから復号を開始しても、復号異常は発生しない |

(解説)

CBR 動作を許容する。Filler 挿入は Filler SEI の利用と、Filler NALU の利用、の二通りがあるが、後者のみ可能とする。

EOB は、特に使用する理由が無いため、使用禁止とする。

PPS NALU の付加方法は、HEVC 規格に準じるものとする。一つの AU に付加される PPS は 0 個もしくは複数個でも良い。HEVC 規格が PPS の誤り耐性機能を有しており、特に制約を加えなくても受信機側は確実に復号することが期待できる。ただし、受信機側のメモリを不必要に大きくしないために、pps_pic_parameter_set_id の範囲を制限する。

4.7 遅延時間に関する制約

表 4-21 に示す制約を設ける。

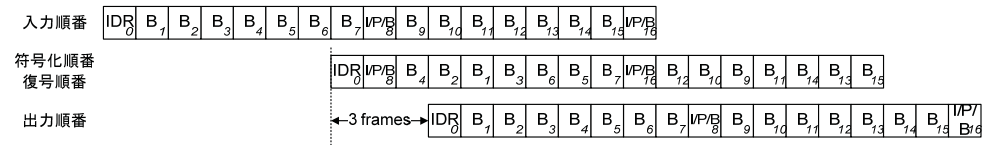
表 4-21 遅延時間に関する制約

| 項目 | 制約 |
|--------------------------------------|---|
| IRAP AU間隔 RPSEI挿入間隔 (フィールド符号化の場合) | 原則32/60秒以内、最大1.0秒 |
| CPBサイズ | 1.0R [bit]以内とする。(Rは最大ビットレート) |
| CPB遅延 | AuNominalRemovalTime[0]を0.5秒以下にする。 |
| 最大DPBサイズ | sps_max_dec_pic_buffering_minus1は、フレーム符号化時には5以下、フィールド符号化時には11以下とする。 |

(解説)

本運用ガイドラインの「表示遅延」とは、復号開始 AU の復号時刻と、最初に表示される AU の表示時刻との差 (単位はフレーム時間) と定義する (図 4-8 参照)。CVS 先頭 SOP の構造によらず、「表示遅延」は sps_max_num_reorder_pics に等しくなる。(順次走査画像の場合は 1/2 した値)

先頭SOP構造がLOの場合



先頭SOP構造がLO以外場合



図 4-8 表示遅延の補足説明図

第零編

地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 運用規定概説

目 次

| | | |
|--------|------------------------|----|
| 1 | はじめに | 1 |
| 2 | 関連文献 | 2 |
| 3 | 用語 | 3 |
| 4 | IP 再送信サービスの条件 | 5 |
| 4.1 | IP 再送信サービスの基本要件 | 5 |
| 4.2 | 前提とするネットワーク環境 | 6 |
| 4.3 | 想定する事業者構造 | 7 |
| 4.4 | 利用可能なサービス | 8 |
| 4.5 | 想定される受信環境 | 9 |
| 5 | IP 再送信サービスのサービスモデル | 10 |
| 5.1 | サービス提供形態 | 10 |
| 5.1.1 | リモコン | 11 |
| 5.1.2 | EPG | 11 |
| 5.2 | IP 再送信サービス登録 | 12 |
| 5.3 | IP 再送信サービスのフローモデル | 12 |
| 5.3.1 | IP 再送信サービス登録フロー | 12 |
| 6 | IP 再送信サービスの信号概説 | 14 |
| 6.1 | 信号規定の考え方 | 14 |
| 6.2 | IP 再送信サービスの信号内容 | 14 |
| 6.3 | 階層伝送 | 16 |
| 6.4 | 伝送量の圧縮 | 17 |
| 6.5 | TOT | 17 |
| 6.6 | 符号化パラメータ | 18 |
| 7 | IP 再送信サービスのシステムモデル | 20 |
| 7.1 | IP 再送信サービスサーバエンティティモデル | 20 |
| 7.1.1 | CDN 構成情報サーバ | 21 |
| 7.1.2 | IP 再送信 PF 構成情報サーバ | 21 |
| 7.1.3 | ポータルサーバ | 21 |
| 7.1.4 | アカウントサーバ | 21 |
| 7.1.5 | 選局制御情報サーバ | 21 |
| 7.1.6 | SI サーバ | 22 |
| 7.1.7 | CAS サーバ | 22 |
| 7.1.8 | IP 再送信サービス送出サーバ | 22 |
| 7.1.9 | 緊急警報放送通知サーバ | 22 |
| 7.1.10 | ライセンス更新通知情報サーバ | 22 |
| 7.1.11 | CRL 配布サーバ | 22 |

| | | |
|--------|-------------------------------|----|
| 7.2 | 配信ネットワークモデル | 22 |
| 7.3 | ホームネットワークモデル..... | 23 |
| 7.4 | 受信機モデル | 24 |
| 7.4.1 | IP 再送信サービス専用モデル | 24 |
| 7.4.2 | デジタル放送直接受信統合モデル | 26 |
| 7.4.3 | IP 放送/VOD 受信統合モデル | 26 |
| 7.5 | 情報要素..... | 26 |
| 7.5.1 | サービスストリーム | 26 |
| 7.5.2 | CDN 構成情報・IP 再送信 PF 構成情報 | 26 |
| 7.5.3 | 選局制御情報 | 26 |
| 7.5.4 | SI 情報..... | 27 |
| 7.5.5 | MC ライセンス | 27 |
| 7.5.6 | ECM | 27 |
| 7.5.7 | 緊急警報放送通知情報..... | 27 |
| 7.5.8 | アカウント情報 | 27 |
| 7.5.9 | エンジニアリングサービス | 27 |
| 7.5.10 | ライセンス更新通知情報 | 27 |
| 8 | IP 再送信サービスの要素技術概要..... | 28 |
| 8.1 | IP ネットワーク | 28 |
| 8.1.1 | ネットワーク設定..... | 28 |
| 8.1.2 | ネットワークとの接続..... | 28 |
| 8.1.3 | サーバ及び情報要素へのアクセス | 29 |
| 8.2 | 各種情報とサービスエントリー | 29 |
| 8.2.1 | 各種情報 | 29 |
| 8.2.2 | サービスエントリー | 30 |
| 8.3 | 選局処理..... | 33 |
| 8.4 | 信号形式と伝送方式 | 33 |
| 8.4.1 | 情報源符号化と多重化..... | 33 |
| 8.4.2 | ストリーミング伝送と受信 | 34 |
| 8.4.3 | チャンネル選局 | 34 |
| 8.5 | ブラウザとマルチメディア符号化..... | 34 |
| 8.6 | PSI/SI と EPG | 34 |
| 8.6.1 | IP 再送信サービスの階層構造 | 34 |
| 8.6.2 | PSI/SI | 35 |
| 8.6.3 | EPG | 36 |
| 8.7 | CAS..... | 37 |
| 8.7.1 | CAS 動作の概要 | 37 |

| | | |
|-------|--------------------------------|----|
| 8.7.2 | IP 再送信ストリームのスクランブル方式 | 37 |
| 8.8 | コンテンツ保護 | 37 |
| 8.9 | 緊急警報放送 | 37 |
| 9 | 解説 | 39 |
| 9.1 | IP 再送信サービスの動作シーケンスモデル | 39 |
| 9.1.1 | 初期接続シーケンス | 39 |
| 9.1.2 | 選局シーケンス | 40 |
| 9.1.3 | SI 専用マルチキャスト取得 | 40 |
| 9.2 | ID 体系 | 41 |
| 9.2.1 | IP 再送信サービスのストリームに含まれる ID | 41 |
| 9.2.2 | その他 再送信サービスで利用される ID | 42 |

1 はじめに

本運用規定は、通信インフラの利用により地上デジタルテレビジョン放送を再送信する地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信サービス(以下、IP 再送信サービスと称す)を提供するための運用規定である。

また、本運用規定は特定の事業者に依存するものではなく、サービス提供可能な条件を満たす前提において、日本国内で普遍的に運用される IP 再送信サービスの標準的な技術方式を規定することを志向するものである。

本運用規定では、ARIB TR-B14「地上デジタルテレビジョン放送運用規定」6.2 版を参考として、IP 再送信サービスを提供する上で必要な機能仕様について規定する。なお、ホームネットワーク設備、配信設備およびネットワーク設備に関しては、基本的に本規定の範囲外とする。

本運用規定は、以下の九つの編から構成される。

| | | |
|-----|-----------------------|---------------------|
| 第零編 | 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 | 運用規定概説 |
| 第一編 | 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 | ダウンロード運用規定 |
| 第二編 | 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 | 受信機機能仕様書 |
| 第三編 | 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 | データ放送運用規定 |
| 第四編 | 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 | PSI/SI 運用規定 |
| 第五編 | 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 | アクセス制御方式運用規定及び受信機仕様 |
| 第六編 | 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 | 通信運用規定 |
| 第七編 | 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 | 送出運用規定 |
| 第八編 | 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 | コンテンツ保護規定 |

上記各編は、TR-B14/TR-B15 の各編と同様の技術要素に相当するように考慮している。

第零編では、以降に続く各編に先立ち、運用と技術体系の全体像を明確に示すことを目的としている。また、他のデジタル放送規定・運用規定と異なり、様々な技術的背景を有する読者を想定する必要がある為、できる限り従来のデジタル放送に関する予備知識がない読者にも理解できるように考慮した。

本運用規定において、規定を行わない技術要素・技術方式に関しては、「運用しない」もしくは「利用しない」と記載した。

2 関連文献

- (1) 「デジタル放送用受信装置」標準規格 ARIB STD-B21
- (2) 「デジタル放送に使用する番組配列情報」標準規格 ARIB STD-B10
- (3) 「地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式」標準規格 ARIB STD-B31
- (4) 「デジタル放送におけるデータ放送符号化方式と伝送方式」標準規格 ARIB STD-B24
- (5) 「デジタル放送における映像符号化、音声符号化および多重化方式」標準規格 ARIB STD-B32
- (6) 「デジタル放送におけるアクセス方式」標準規格 ARIB STD-B25
- (7) 「サーバー型放送における符号化、伝送及び蓄積制御方式標準規格」 ARIB STD-B38
- (8) 「地上デジタルテレビジョン放送運用規定」技術資料 ARIB TR-B14
- (9) 「BS／広帯域 CS デジタル放送運用規定」技術資料 ARIB TR-B15
- (10) 「Internet Protocol (IPv4)」 RFC791
- (11) 「Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification」 RFC2460
- (12) 「Transmission Control Protocol(TCP) 」 RFC793
- (13) 「User Datagram Protocol(UDP) 」 RFC768
- (14) 「Hyper Text Transport Protocol-HTTP1.1」 RFC2616
- (15) 「RTP:A Transport protocol for Real-Time Applications」 RFC1889
- (16) 「RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video」 RFC2250
- (17) 「TLS Protocol(SSL/TLS) 」 RFC3315

3 用語

関係する用語の定義をここで行う。

| | |
|---------------|---|
| CDN | Content Delivery Network : 本規定にて規定される QoS 等の条件を考慮し、かつアクセス網を通じて直接家庭の受信環境と接続される IP 通信ネットワーク |
| EPG | Electric Program Guide: IP 再送信サービスに関して、サービス事業者横断的に番組表等の番組情報を提供することを目的とした受信機のレジデントアプリケーション |
| CAS クライアント | MC ライセンスを取得・管理し、番組再生時にスクランブル鍵を供給する受信機内の機能エンティティ |
| CAS クライアント識別子 | CAS クライアントを一意に識別する識別子 |
| ECM | ワーク鍵 (Kw) で暗号化されたスクランブル鍵 (Ks) を伝送するための共通情報。二階層ライセンス方式におけるサブライセンス。 |
| MC ライセンス | IP 再送信サービスに適用する CAS 方式において、利用されるコンテンツの利用権利、利用条件を示し、ECM の復号鍵を含む情報。 |
| IP 再送信サービス | 本規定により実現される、通信インフラの利用により地上デジタルテレビジョン放送を再送信する地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信サービス。 |
| 二階層ライセンス方式 | コンテンツの利用を制御するサブライセンスと、サブライセンスの利用を制御するメインライセンスとを、CAS サーバから CAS クライアントへ伝送するライセンス方式。 |
| IP 再送信サービス登録 | 視聴者をサービス事業者の顧客管理対象として登録し、当該サービス事業者のサービスを利用可能にすること。 |
| サブライセンス | 二階層ライセンス方式において、CAS クライアントを特定せずに伝送されるライセンス。メインライセンスのワーク鍵 (Kw) で定期的に更新されるスクランブル鍵 (Ks) を暗号化して伝送する。 |
| スクランブル鍵 (Ks) | IP 再送信コンテンツを暗号化する鍵。定期的に更新される。 |
| ホームネットワーク | 家庭内の機器間を接続するネットワーク。IP ネットワークを前提とする。 |

| | |
|-----------|--|
| マルチキャスト | <p>通信ネットワーク内の複数の IP アドレスを指定して同じデータを送信すること。一回のデータ送信によって、通信経路上のルーターがあて先に応じて自動的にデータを複製する。アクセスが集中するような場合に用いることで、ネットワークの負荷を軽減できる。</p> <p>なお、IPv6 の場合のマルチキャストアドレスとは、ソースアドレスとグループアドレスの対を意味する。</p> |
| メインライセンス | <p>サブライセンスの利用を制御するためのライセンスであり、特定の CAS クライアントに対して伝送される。サブライセンスを復号するためのワーク鍵 (Kw) を含む。</p> |
| ユニキャスト | <p>通信ネットワーク内の単一の IP アドレスを指定して、特定の相手と通信すること。</p> |
| ワーク鍵 (Kw) | <p>スクランブル鍵 (Ks) を含むサブライセンスを暗号化する鍵であり、サービス単位などに固有の鍵。</p> |

4 IP 再送信サービスの条件

4.1 IP 再送信サービスの基本要件

本規定を定めるにあたっての基本要件を以下に述べる。

- 地域限定性の確保

IP 再送信サービスのエリアが、当該地域で地上デジタルテレビジョン放送を行っている地上放送事業者の放送対象地域に限定することが可能であること。

また、不正アクセスその他、地上放送事業者が想定しないアクセスに対して送信が行われないこと。

- 著作権の保護

地上デジタルテレビジョン放送におけるコンテンツ保護機能が継承されること。

また、地上デジタルテレビジョン放送と同等のコンテンツ保護のエンフォースメントが実現可能なこと。

- 同一性の確保

地上デジタルテレビジョン放送の IP 再送信サービスのエリアにおいてあまねく、再送信される当該地上デジタルテレビジョン放送の内容及び品質の両面からサービス・編成の同一性が確保されること。

データ放送、マルチ編成サービス、提示の一意性の確保、字幕サービス、その他地上デジタルテレビジョン放送における各サービスは、再送信後も同等の機能・性能が保たれること。

- 品質

地上デジタルテレビジョン放送のハイビジョン放送、標準テレビジョン放送・5.1ch サラウンド放送（CM を含む）について、当該 IP 再送信サービスのエリアにおいて、あまねく、再送信後も同等の品質が保たれること。

- 地上デジタルテレビジョン放送のデータ放送について、再送信後も以下のとおりであること。

- ア 画面表示形式が同じであること。

- イ 番組連動データの映像・音声に対する表示タイミングが当該地上デジタルテレビジョン放送と同等であること。

- ウ 双方向機能（インターネットを用いた通信連携がある場合は、これを含む）が確保されること。

- ▶ 地上デジタルテレビジョン放送のマルチ編成サービスについて、再送信後も同等に実施できること。
- ▶ 提示の一意性の確保
 - ア 再送信後の画面表示形式が地上デジタルテレビジョン放送と同じであること。
 - イ IP 再送信サービス受信端末のユーザインターフェースが、地上デジタルテレビジョン受信機と同等であること。(サービス ID、ワンタッチリモコン番号など)
 - ウ 地上デジタルテレビジョン放送における電子番組ガイド (EPG) の i) 番組予約機能、ii) 画面表示機能、iii) 流動編成対応機能などが、再送信後も同等であること。
- ▶ 字幕サービス
 - 地上デジタルテレビジョン放送の字幕サービスについて、再送信後も以下のとおりであること。
 - ア 画面表示形式が同じであること。
 - イ 映像・音声に対する表示タイミングが当該地上デジタルテレビジョン放送と同等であること。
- ▶ その他
 - ア 緊急警報放送が地上デジタルテレビジョン放送と同等に配信できること。
 - イ 地上デジタルテレビジョン放送における CAS を利用したサービスが、再送信後も同等に実施できること。

● 技術面の同一性

IP 再送信サービスのエリアにおける地上デジタルテレビジョン放送のチャンネルが全て選択可能であること。また、一世帯内で複数チャンネルの同時視聴または録画が可能であることが望ましい。

伝送品質等、遅延や、(IP) 通信トラフィックが輻輳した場合でも、放送品質に低下をきたさないこと。

視聴実績等の匿名性の確保や、ES (エンジニアリングサービス) など、現行地上デジタルテレビジョン放送受信機と同等の機能、操作性を有すること。

4.2 前提とするネットワーク環境

本規定は、IP ネットワークを利用した地上デジタルテレビジョン放送の IP 再送信サービスを実現する方式を定めるものであるが、所謂インターネットと呼ばれる IP ネットワーク全体をその配信環境と想定するものではなく、図 4-1 に示す、CDN と称する放送信号の再送信に関わる QoS 等の諸条件を考慮した通信ネットワーク、CDN に配置された本規定に準拠するサーバ群、及び主に光ファイ

バーを媒体とした高速のアクセス網、さらにサービスを受けるホームネットワーク、受信機からなるネットワーク環境を前提とする。なお、双方向データ放送サービスの利用においては、受信機は、インターネットに配置された、放送事業者の運用する双方向データ放送サーバに接続し、通信を行う。

基本的に、1つの受信機は、同時に1つのCDNにのみ接続することを前提とする。

本規定では、ネットワークの機能により、放送信号（MPEG-2 TS）を格納したIPマルチキャストストリームの送信先地域を限定できることを前提とするので、受信機機能のみにより視聴地域の限定性を保障する必要はない。ただし、視聴者が、実際の視聴地域とは異なった地域を指定して初期スキャンを実施した場合などでは、視聴ができないことをOSD等で提示し、初期スキャンを正しく再実行するように誘導するなど、考慮が必要となる。

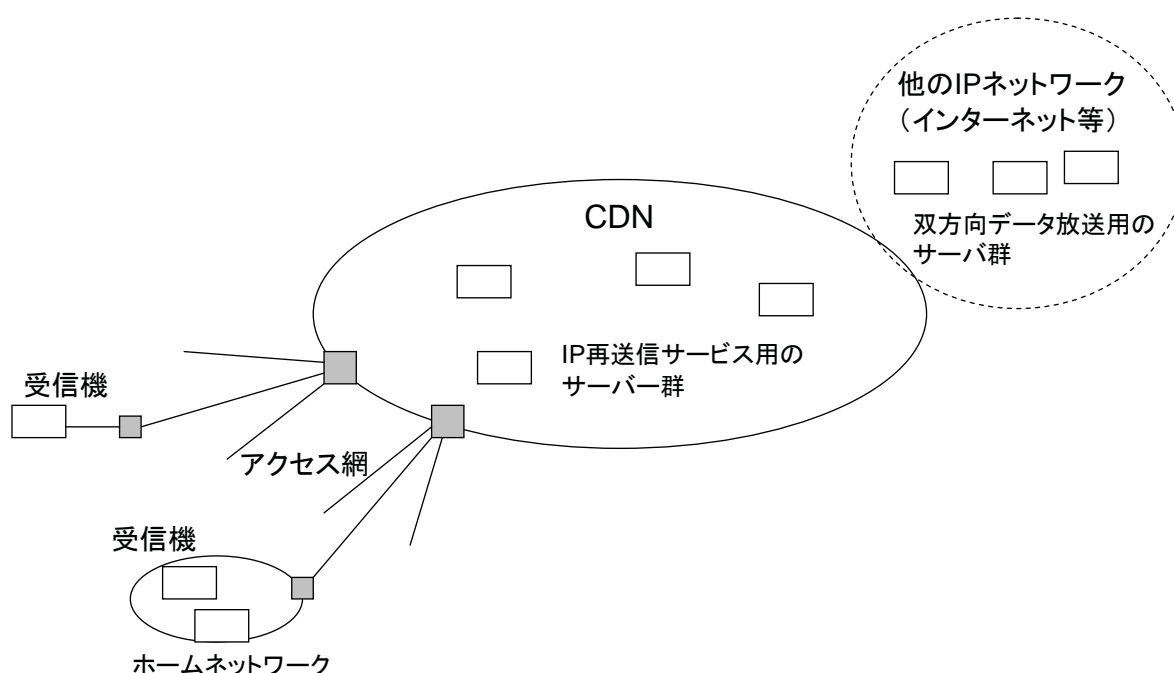


図 4-1 ネットワーク環境

4.3 想定する事業者構造

図 4-2 に本規定で想定する事業者構造の概念図を示す。管理する範囲の大きさにより以下の3層の事業者を想定する。

- サービス事業者
ユーザに対してIP再送信サービスの販売・契約を行う事業者。サービス事業者IDによって、一意に識別される。
- プラットフォーム事業者
地上デジタルテレビジョン放送を受信し、受信した信号を、IPネットワークを用いて再送信するプラットフォーム機能を有する事業者。複数のサービス事業者に対し、IP再送信サービスの

ためのプラットフォーム機能の提供を行う。また CAS 運用事業者として、あるいは CAS 運用事業者と連携して CAS 機能の提供なども行う。

- CDN 事業者

CDN を運営し、物理的な配信インフラを提供するネットワーク事業者。

CDN 事業者の管理範囲に複数のプラットフォーム事業者が含まれ、プラットフォーム事業者の管理範囲に複数のサービス事業者が含まれることは想定される。

図 4-2 に示すように、あるサービス事業者が、エリア A とエリア B において同一プラットフォーム事業者の IP 再送信サービスを販売することも想定される(ただし、いずれの場合も IP 再送信サービスの内容は一般にエリア毎に異なる)。本規定ではサービス事業者とエリアが決まれば、対応するプラットフォーム事業者が一意に決まる事業者構造となっている。さらに、エリア A において、あるプラットフォーム事業者の IP 再送信サービスを販売するサービス事業者が、エリア B では、エリア A と異なるプラットフォーム事業者の IP 再送信サービスを提供することも想定される。

また適宜、新規サービス事業者が既に存在するプラットフォーム事業者の管理範囲に加入すること、新規プラットフォーム事業者が複数の新規サービス事業者を引き連れて既に存在する CDN 事業者の管理範囲に加入することも想定される。

なお、これらの事業者定義はあくまでモデルであり、例えばプラットフォーム事業者をサービス事業者が兼ねることを本規定で制限するものではない。

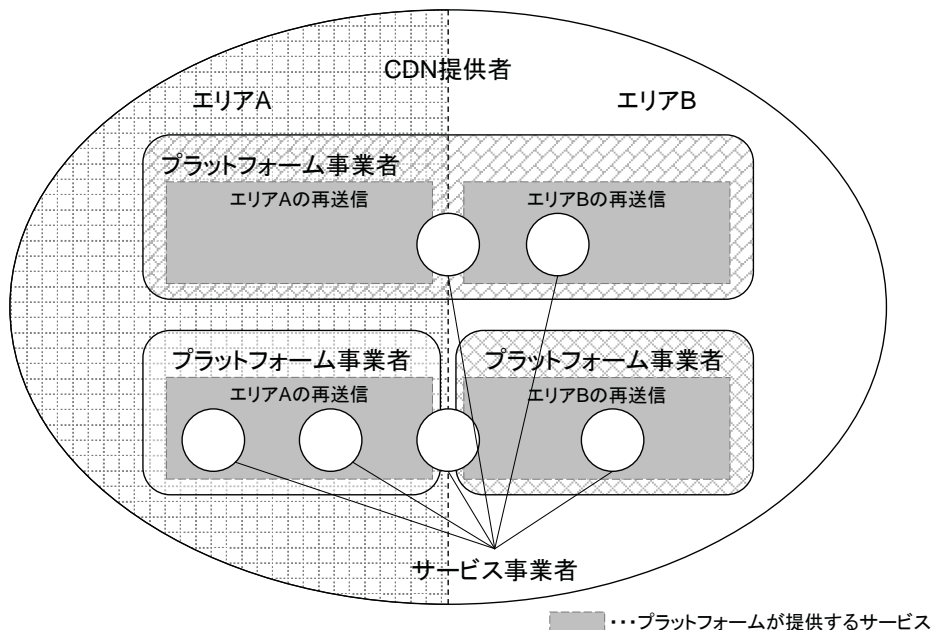


図 4-2 事業者構造の概念図

4.4 利用可能なサービス

本規定により定められる方式により、利用が可能となるサービスは、IP ネットワークを用いた地上デジタルテレビジョン放送の IP 再送信サービスである。特にことわりのない限り、視聴者は、地上デジタルテレビジョン放送で提供されるものと同等のサービスを利用することができる。

4.5 想定される受信環境

- 受信機モデルとして想定される製品形態の一例
 - IP 再送信サービス専用モデル
IP 再送信サービスを受信する機能のみを有する受信機。製品形態としては、TV、セットトップボックスが想定される。
 - デジタルテレビジョン放送直接受信統合モデル
IP 再送信サービスを受信、再生する機能の他に、放送波によるデジタル放送サービスを受信する機能を有する。製品形態としては TV、セットトップボックスが想定される。
 - IP 放送/VOD 受信統合モデル
IP 再送信サービスを受信、再生する機能の他に、IP 放送（自主放送）および VOD サービスを受信、再生する機能を有する。製品形態としては TV、セットトップボックスが想定される。

- 家庭内の IP 再送信サービス受信環境の整備条件
 - CDN との高速接続環境整備
光ファイバーなどの高速なネットワークを利用した CDN との接続の契約を前提とし、CDN との間で、必要な帯域を利用可能な接続環境が実現されていることとする。CDN 事業者から支給される回線終端装置の設置、設定が必要となる場合もある。また UDP、さらにマルチキャストによるストリーミング受信を実現するには、これらに対応したホームゲートウェイなどが必要となる（例えば IPv4 ネットワークの場合の NAT 越え機能）。これらの家庭内ネットワーク機器の導入、設定については視聴者の混乱を生じないような考慮が必要である。
 - IP 再送信サービス対応受信機
本規定に準拠する IP 再送信サービス対応受信機と、上記回線終端装置、ホームゲートウェイとイーサネット等による接続を行うことが必要となる。
 - その他
ホームネットワークを構築し、複数の IP 再送信サービス対応受信機を接続した場合に、各々の受信機は同時にサービスを利用することも可能となる。
インターネット接続環境は、本規定に準拠する IP 再送信サービス利用に関しては必須ではないが、地上デジタルテレビジョン放送事業者が提供する双方向データ放送サービスを利用する場合は、必要となる。

5 IP再送信サービスのサービスモデル

5.1 サービス提供形態

IP再送信サービスとは、時間軸に沿って番組編成が施されたチャンネル概念に基づく地上デジタルテレビジョン放送をIPマルチキャストで再送信するサービスであり、地上デジタルテレビジョン放送と同等の番組視聴を提供するサービスである。

サービス提供形態としては、図5-1に示すように、放送事業者が運営する放送設備から放送波によって送出されたデジタル放送信号を、IP再送信サービス事業者が運営する送信設備を介してIP再送信サービスとしてマルチキャスト等で伝送される形態が想定される。

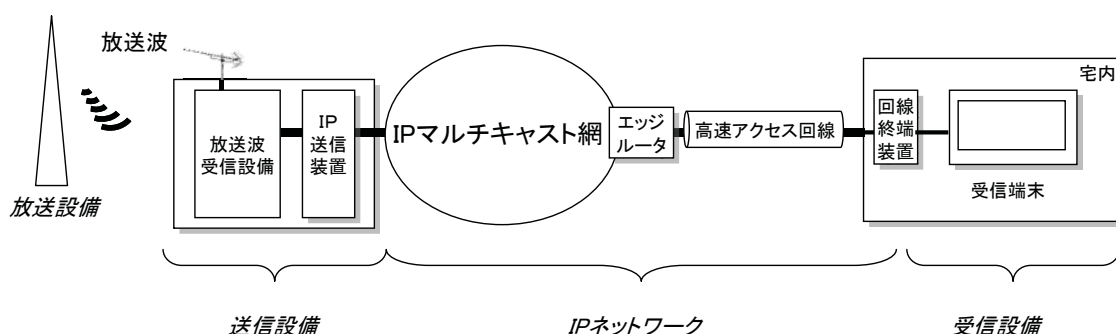


図 5-1 IP再送信サービスの運用形態イメージ

視聴するには、サービス事業者との契約が必要になる。契約は基本的にはオフラインを想定している。契約後、受信機のレジデントアプリケーションから加入登録へ誘導し、登録処理をすることにより、視聴が可能となる。

視聴したいチャンネルの選択は、例えばリモコン操作等による切り替えで、地上波デジタル放送IP再送信、BSデジタル、CS110デジタル、IP放送/VOD1、(IP放送/VOD2、・・・)の中から、地上波デジタル放送IP再送信を選択し、それにより一意に決まる特定のチャンネル番号系列から目的のチャンネルを選択することが想定される。ただし、地上デジタル放送(放送波)と地上デジタルIP再送信の両方の機能を実装する場合、事前に放送波で受信するかIP再送信で受信するか、初期設定を行う必要がある。チャンネル系列の数は視聴者が視聴する契約地域で放送されている地上デジタル放送と同じである。選局の方法はリモコンボタンによる選局とEPGによる選局の二つの方法がある。

●リモコンボタンによる選局

IP再送信サービスの選局方法は、ダイレクト選局、ワンタッチ選局、アップダウン選局の3つの選局方法がある。ダイレクト選局では、受信機のリモコンの数字キーを利用して、リモコンキー識別およびサービス識別に関連づけられた3桁の十進数を直接指定することでチャンネルを選局する。ワ

ンタッチ選局では数字ボタンに各チャンネル番号を割り当て、ワンタッチで選局できるように設定する。また、アップ・ダウンボタンで順次チャンネル番号順に選局する。

●EPG による選局

IP再送信サービスを選択している状態で、EPG ボタンを操作することにより EPG 画面が表示される想定。その EPG 画面上で、特定のチャンネル（の番組）を選択することにより直接所望のチャンネルの選局を行う。或いは特定の番組を選択操作することにより予約選局を行う。

5.1.1 リモコン

リモコンは受信機メーカーの商品企画に依存するが、想定されうるボタンとその想定利用についてまとめておく。ここではIP再送信サービスで利用が想定されうるリモコンボタンのみ挙げる。

●数字ボタン

- ・ IP再送信サービスの選局のためのチャンネル番号入力

●アップ・ダウンボタン

- ・ IP再送信サービスのダイレクト選局

●矢印・決定・カラー ボタン

- ・ 受信機画面における機能選択

●EPG ボタン

- ・ EPG 表示

●戻るボタン

- ・ 受信機画面における前の画面移動

●d ボタン

- ・ IP再送信サービスにおけるデータ放送の表示

●音声切り替えボタン

- ・ IP再送信サービスにおける二ヶ国語等の複数音声切り替え

●字幕切り替えボタン

- ・ IP再送信サービスにおける、字幕オン・オフ

5.1.2 EPG

EPG は、IP再送信サービスの番組情報を提供する。地上波デジタル放送の EPG と同様の機能を提供する。EPG で提供される機能は受信機依存であるが以下が想定される。

●週間番組表表示

当日を含め 8 日分の地上デジタル放送の番組表の表示や、番組詳細を表示する。

●選局

週間番組表等から所望のチャンネルを選択することにより選局動作を行う。

●番組予約

週間番組表から所望の番組の視聴予約、録画予約動作を行う。EPGの表示は、EPG ボタンを操作することによりなされる想定である。

5.2 IP 再送信サービス登録

IP再送信サービス登録とは、IP再送信サービスの利用を可能とするために行う初期登録処理である。IP再送信サービス登録では、サービス事業者の顧客管理対象として受信機（CASクライアント）を登録し、受信機に対して、登録状況に応じたMCライセンスを発行することで、受信機が受信したIP再送信サービスを再生可能とする。IP再送信サービス登録が完了した時点で、初期スキャンを実施することにより、受信機は、当該エリアの地上デジタル放送の放送番組が全て視聴可能となる想定である。

5.3 IP 再送信サービスのフローモデル

IP再送信サービスの利用に関しては、初期接続、IP再送信サービス登録等数段階のプロセスを経て、番組視聴が可能となる。ここでは、特定のサービス事業者のIP再送信サービスが利用できるまでのフローモデルを示す。図 5-2 にサービスフローの概念図を示す。

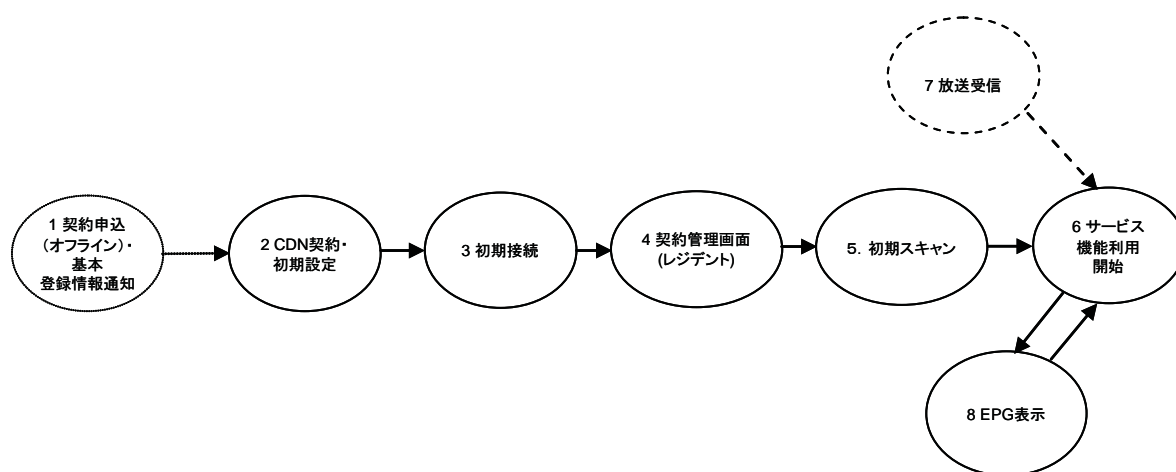


図 5-2 サービスフローの概念図

5.3.1 IP 再送信サービス登録フロー

①サービス事業者との契約（オフライン）

受信機購入の際の店頭での申込みや、申し込み窓口ユーザが電話をかけて後日送付されてくる申込書にユーザの住所や電話番号などを記入して送り返すなどして、契約申し込みがなされる。契

約申し込み以降、ユーザがサービスを受けたい受信機に対して、正しくサービス事業者がIP再送信信号を配信できるようにするため、サービス事業者のシステムとユーザが利用する受信機との関連付けがなされる必要がある。このため、サービス事業者は契約申し込みのあったユーザの住所に、自身のサービス事業者ID やユーザ個々に発行された登録番号などの情報を郵送し、以降のIP再送信サービス登録に用いられる手法が想定される。

②CDN 契約・初期設定

ユーザに、CDN の利用契約を行い、回線終端装置設置までの工事を行ってもらう。IP再送信サービス対応受信機と、回線終端装置（必要に応じてホームゲートウェイを介す）との間をイーサネット等で接続する。受信機を起動することにより、受信機はホームネットワークまたはサービスネットワークより、IPアドレス等のネットワークパラメータを取得する。IP 接続に関して設定すべき情報を入力する必要があるが、基本的にTV視聴者にとって負担のないプロセスが望まれる。

③初期接続

IPアドレスなどのネットワークパラメータを取得した受信機は、CDNに接続することにより、IP再送信プラットフォームに関しての各種情報を取得する。

④ 契約管理メニュー（レジデント）の表示

①において、契約申し込み後にサービス事業者から通知されたサービス事業者に関する情報から、受信機のレジデントアプリケーションを操作する。表示されたIP再送信サービス登録が可能なサービス事業者を選択し、画面に表示された手順に従って、登録番号などの入力を行う。登録番号との照合によりサービス事業者システムは、正規ユーザの受信機からのアクセスであると判断できるため、CASクライアント識別子を受信機から取得し、顧客登録を完了する。また、受信機は、MCライセンス取得に必要な情報を供給されることにより、MCライセンスを取得する。

⑤初期スキャン

IP 再送信サービス登録終了後マルチキャストが送信側から送信開始される。ユーザは初期設定画面から初期スキャンを実施する。対象地域にて受信可能な各チャンネルに対応するマルチキャストアドレス情報等を取得することにより、選局に必要な情報を受信機に設定する。

⑥サービス利用開始

初期スキャンが完了すると、地上デジタル放送の IP 再送信が受信可能となる。リモコンなどの操作により各チャンネルの選択が可能となる。

6 IP 再送信サービスの信号概説

6.1 信号規定の考え方

図 6-1 に、放送波による地上デジタルテレビジョン放送サービス（直接受信）と、IP 再送信サービスの信号規定点を示す。本規定では、IP 再送信信号規定点における信号（以下、IP 再送信信号）について規定を行う。放送信号規定点における信号（以下、放送信号）については、ARIB TR-B14 に規定されている内容である。

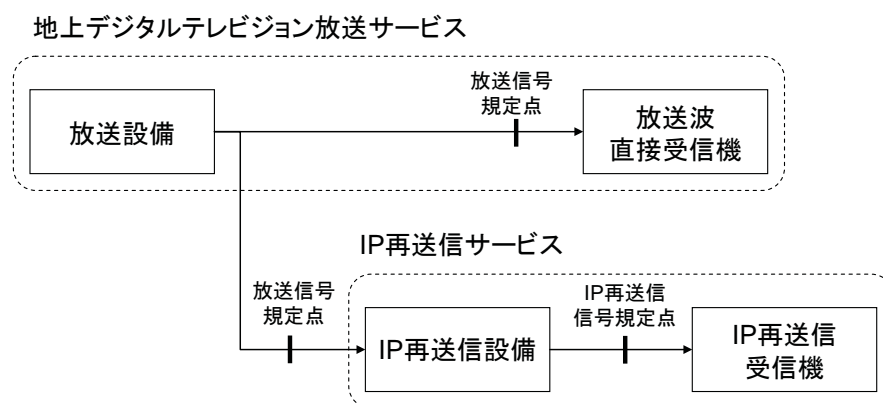


図 6-1 信号規定点

6.2 IP 再送信サービスの信号内容

図 6-2 に、放送信号と IP 再送信信号のプロトコルスタックを示す。

IP 再送信サービスの送信設備では、放送信号を入力とし、IP 再送信信号を出力する。以下では、放送信号と比較する形で、IP 再送信信号の特徴について述べる。

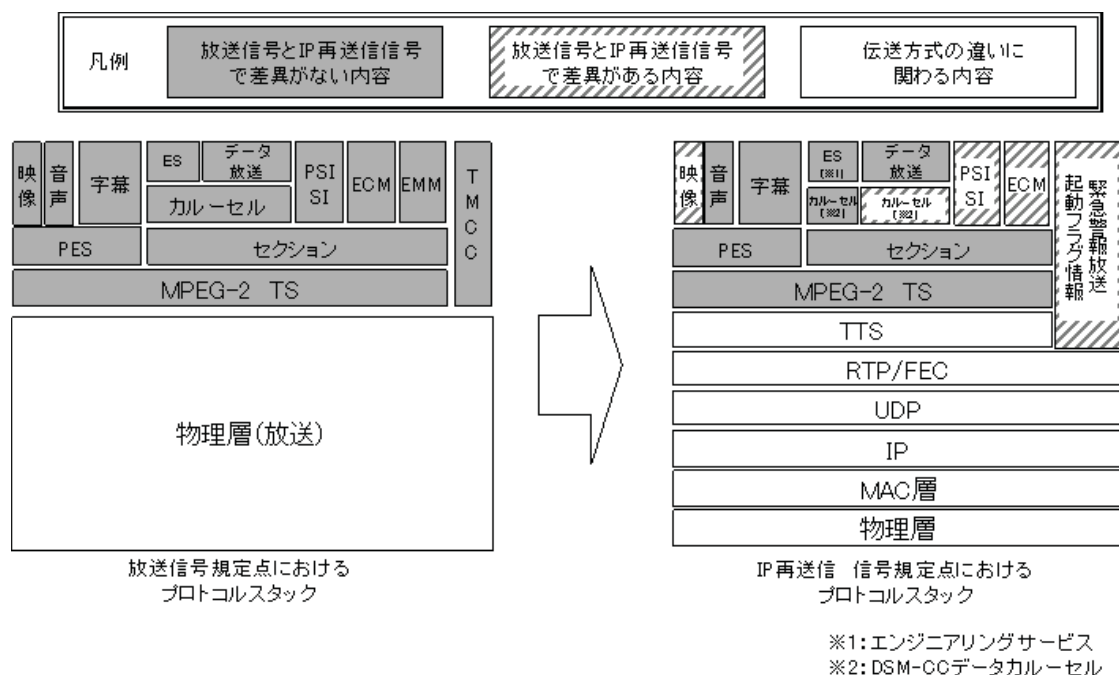


図 6-2 放送信号と IP 再送信信号のプロトコルスタック

両信号の差異について、以下に述べる。

➤ 映像

IP 再送信信号として出力する映像には、以下の 2 つの形態がある。

- ◇ 放送信号における MPEG-2 映像をそのまま IP 再送信信号として出力する運用
- ◇ 効率的な信号伝送を行う目的から、放送信号における MPEG-2 映像を H.264/AVC へトランスコードし、IP 再送信信号として出力する運用。ただし、MVTV、臨時サービスについては、IP 再送信の送信設備状況によっては、単一の映像 ES のみの送出となることがある。なお、映像信号を H.264/AVC でトランスコードする場合は、音声、字幕などの他のコンポーネントとの間の同期関係を放送信号と同等に保持した上で映像の符号化変換を行うこととする。

詳細については、本規定第七編を参照のこと。

➤ データ放送

効率的な信号伝送を行う目的から、放送信号における各モジュールの送信周期を変更することでデータ放送を構成するコンポーネントの伝送量を低減し、IP 再送信信号として出力することがある。BML や静止画等、マルチメディアデータの情報内容の変更は行わない。モジュール送信周期変更の詳細については、本規定第三編を参照のこと。

➤ 暗号化

地上デジタルテレビジョン放送の CAS で用いられる暗号方式で暗号化された放送信号を、IP 再送信設備において一旦復号した後に、IP 再送信サービス用の CAS で用いる暗号方式により暗号化を行う。

➤ **PSI/SI**

- ◇ 映像のトランスコードを実施する場合は、放送信号における PMT/ストリーム形式識別を H.264/AVC 用のものに変換した上で、IP 再送信信号として出力する。
- ◇ IP 再送信信号では、当該放送地域内で送信される各局の SI を集約し 1 つのマルチキャストストリームとして伝送する SI 専用マルチキャストを運用する。
- ◇ IP 再送信信号では、放送信号中の CAT の送出不行を行わない。
- ◇ 放送信号中の PMT に記載される CA_system_id は IP 再送信の CAS に付与された値に変換した上で、IP 再送信信号として出力する。
- ◇ IP 再送信信号では、放送信号中の NIT に記述される地上分配システム記述子の内容を送出しないことが望ましいが、IP 再送信設備の制約により放送信号と同様に地上分配システム記述子を含む NIT を送付することも許容される。地上分配システム記述子が IP 再送信信号に含まれる場合の受信機動作の詳細については本編 8.3「選局処理」および本規定第四編を参照のこと。

PSI/SI の詳細については、本規定第四編を参照のこと。

➤ **ECM**

IP 再送信信号では、IP 再送信サービス用の CAS 方式に準拠した ECM を送付する。コンテンツ保護を伴う無料番組（第五編参照）の場合は、放送信号中で PMT に記述される出力制御情報（デジタルコピー制御記述子およびコンテンツ利用記述子）の内容が ECM 中に設定されて再送信される。詳細については、本規定第五編を参照のこと。

➤ **EMM**

IP 再送信信号では、放送信号中の EMM の送出不行を行わない。詳細については、本規定第五編を参照のこと。

➤ **緊急警報放送起動フラグ**

放送信号では、放送波上の TMCC として伝送されるのに対し、IP 再送信信号では、IP プロトコル上のメッセージとして伝送する。詳細については、本規定第七編を参照のこと。

なお、上記以外に、放送波と、IP マルチキャストという伝送方式の違いに起因する信号形式の差異がある。IP 再送信信号は、MPEG-2 TS を TTS（タイムスタンプ付 TS）形式に変換した後、RTP/UDP/IP パケットに格納してマルチキャスト伝送される。IP 伝送に関するプロトコル、信号形式の詳細については、本規定第六編を参照のこと。

6.3 階層伝送

IP 再送信信号は、放送信号と伝送路が異なるため、階層伝送という概念はない。基本的に、放送信号における全階層の信号内容を再送信の対象とする。ただし、放送信号において移動受信階層、部分受信階層で伝送されるサービスおよび M-EIT、L-EIT は、IP 再送信サービスとしての送信運用

を規定せず、IP 再送信信号には含まないこととする。

6.4 伝送量の圧縮

IP 再送信サービスでは、IP ネットワーク上で効率的に信号伝送を行うことを目的として、送信設備にて、放送信号の伝送量を圧縮し、IP 再送信信号として送出することがある。伝送量圧縮のイメージを図 6-3 に示す。

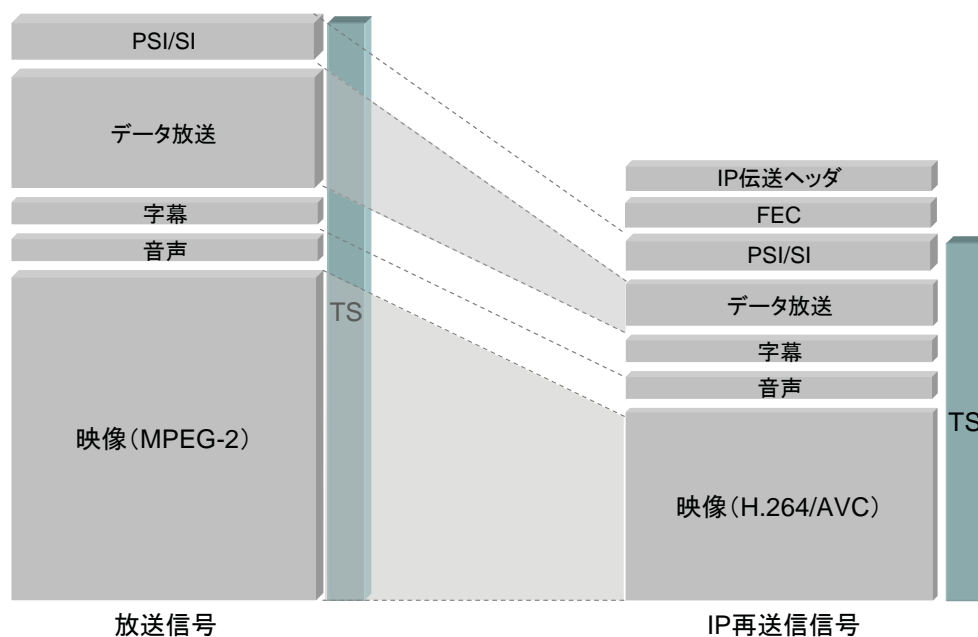


図 6-3 伝送量圧縮のイメージ

図示するとおり、伝送量圧縮の対象は、映像とデータ放送のコンポーネントとし、それ以外の音声、字幕、PSI/SI などの情報は、圧縮を行わずそのまま IP 再送信信号として送信する。映像については、MPEG-2 から H.264/AVC への符号化方式変換（トランスコード）により、伝送量を圧縮し、データ放送については、DDB パケットの送出周期を延伸することで、伝送量を圧縮する。

6.5 TOT

IP 再送信信号中の TOT で伝送される時刻情報は、受信機に到着した時点で、日本標準時からの誤差が±500ms に収まらないことがある。これは、主に再送信設備において要する、放送信号に基づいて IP 再送信信号を送信するまでの処理時間分、TOT が受信機へ到着するタイミングが遅れるためである。

なお、日本標準時からの誤差を±500ms に収めるために、到着タイミングの遅れを見越して TOT の時刻情報を送信設備で書き換えるという考え方もあるが、TOT 以外の映像やデータ放送の信号も TOT と同様に到着が遅れる（同期して到着が遅れる）ため、データ放送から TOT による時刻を参照して表示を切り替える場合などに映像との同期性を保持する目的で、このような TOT の書き換えは行わず送信することとする。

6.6 符号化パラメータ

IP 再送信信号における、各コンポーネント、制御情報等の符号化パラメータを表 6-1 から表 6-5 に示す。

表 6-1 MPEG-2 映像

| 符号化 方式 | MPEG-2 | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | MP@HL | | | MP@14L | MP@ML | | | MP@LL |
| サイズ | 1920 ×1080 I | 1440 ×1080 I | 1280 ×720 P | 720 ×480 P | 720 ×480 I | 544 ×480 I | 480 ×480 I | 352 ×240 P |
| フレー ム レ ー ト | 30/1.001Hz | 30/1.001Hz | 60/1.001Hz | 60/1.001Hz | 30/1.001Hz | 30/1.001Hz | 30/1.001Hz | 30/1.001Hz |

表 6-2 H.264/AVC 映像

| 符号化 方式 | H.264/AVC | | | | | | | |
|-------------------------|------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | サイズ | 1920 ×1080 I | 1440 ×1080 I | 1280 ×720 P | 720 ×480 P | 720 ×480 I | 544 ×480 I | 480 ×480 I |
| フレー ム レ ー ト | 30/1.001Hz | 30/1.001Hz | 60/1.001Hz | 60/1.001Hz | 30/1.001Hz | 30/1.001Hz | 30/1.001Hz | 30/1.001Hz |

表 6-3 音声

| MPEG-2 AAC LC | | | | | | |
|-------------------|------|--------------|------------|-------------------|------|------------|
| 48kHz 音声、32kHz 音声 | | | | 24kHz 音声 (ハーフレート) | | |
| モ ノ | ステレオ | マルチ チャンネル | デュアル モノ | モ ノ | ステレオ | デュアル モノ |

※ 複数の ES を 1 つのサービスから参照可能とする。

表 6-4 ダウンロード

| ダウンロード コンテンツ (注1) | 弱階層用 SDTT | | 強階層用 SDTT | | ロゴ | |
|----------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|------|--------|
| | 受信機 ソフト用 | 共通 データ用 (注2) | 受信機 ソフト用 | 共通 データ用 (注3) | 簡易ロゴ | PNG ロゴ |

注1: ダウンロードコンテンツについては、放送対象地区内で最低限 1TS は送出されるが、必ずしもすべての事業者が送出するとは限らない

注2: ジャンルコード表、番組特性コード表、予約語表等、全受信機で使用するデータ用の SDTT

注3: 周波数リスト・変更情報用の SDTT を想定

表 6-5 データ・双方向

| MM サービスの 伝送 | | MM サービスの 伝送方式 | 伝送されるモノメディア | | | | | 双方向 プロトコル | 字幕・ 文字 スーパー |
|------------------|--------------|--|-----------------|-----------------|------------|---------------|--|--|-------------------|
| データ 符号化 識別 | BML バージョン | | MPEG-1 Video | MPEG-2 Video | H.264 (注1) | MPEG-2 AAC | その他 | | |
| 0x000C | 3.0 | <ul style="list-style-type: none"> データカ ルセル イベント メッセー ジ NPT 参 照メッセ ージ | 送出可 | 送出可 | 送出可 | 送出可 | <ul style="list-style-type: none"> MPEG-2 AAC (file) AIFF-C JPEG PNG/MNG 8 単位 | <ul style="list-style-type: none"> TCP/IP (HTTP, TLS1.0、 SSL3.0) BASIC 系 手順 (注2) | 送出可 |

注1: 詳細については第三編参照

注2: IP 再送信サービス対応受信機では対応しない。

7 IP 再送信サービスのシステムモデル

本章では、第5章で示したIP再送信サービスモデルを実現する技術方式の前提となるシステムリファレンスモデルを示す。図7-1に示すように、IP再送信サービス送信設備、配信ネットワーク、ホームネットワーク、受信機の4つのサブシステム毎に論じる。またこれらの間を流通する情報要素についてもまとめておく。

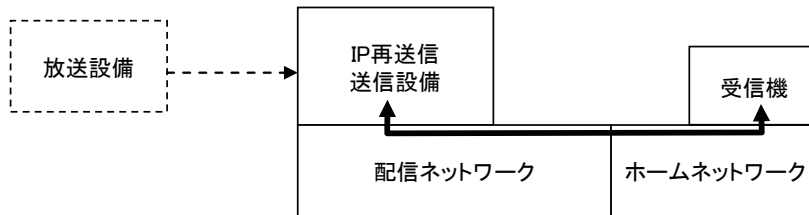


図 7-1 システムリファレンスモデル

7.1 IP 再送信サービスサーバエンティティモデル

IP再送信の送信設備を構成する主要なサーバエンティティを図7-2に示す。以下各サーバエンティティの機能をまとめる。なお各サーバエンティティはあくまでモデルであり、必ずしも物理的なサーバと対応する必要はない。サーバエンティティとしては他にも特定機能を提供するサーバが想定されるが、これらを含めた全てのサーバエンティティ定義の詳細は第六編参照。

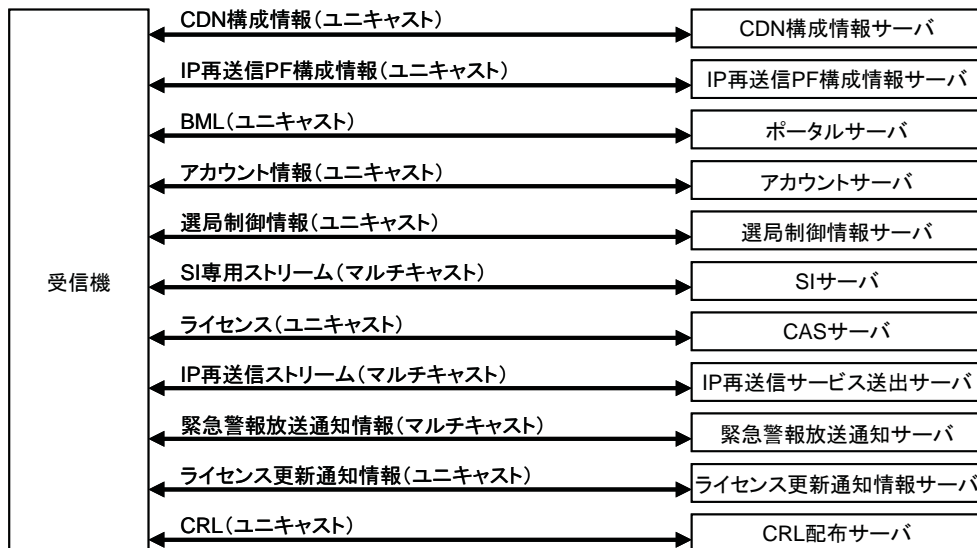


図 7-2 IP再送信サービスのサーバエンティティ

7.1.1 CDN 構成情報サーバ

CDN 事業者が運用するサーバである。本サーバは当該 CDN 内の全プラットフォーム事業者に関する固定的な情報(CDN 構成情報)を提供する。受信機は初期接続時及び適宜、当該サーバに接続して必要な情報の取得・更新を行う必要がある。本サーバの URI は固定的な名前として受信機に埋め込まれる想定とする。

7.1.2 IP 再送信 PF 構成情報サーバ

各プラットフォーム事業者が運用するサーバである。本サーバは当該プラットフォーム事業者及びサービス事業者に関する固定的な情報(IP 再送信 PF 構成情報)を提供する。受信機は CDN 構成情報サーバから供される CDN 構成情報より取得した情報に基づき、初期接続時及び適宜、プラットフォーム事業者毎に存在する当該サーバに順次接続して必要な情報の取得・更新を行う必要がある。

7.1.3 ポータルサーバ

各サービス事業者が運用するサーバである。IP 再送信サービスのサービス登録を行うため、受信機のブラウザに対して、IP 再送信サービス登録に必要な情報(サービス事業者 ID や利用場所情報等)や、MC ライセンス取得に必要な情報を提供する。尚、本サーバの URI は IP 再送信 PF 構成情報サーバから供される IP 再送信 PF 構成情報より取得する。

7.1.4 アカウントサーバ

各サービス事業者が運用するサーバである。IP 再送信サービスのサービス登録を行うため、受信機のレジデントアプリケーションに対して、IP 再送信サービス登録に必要な情報(サービス事業者 ID や利用場所情報等)や、MC ライセンス取得に必要な情報を提供する。尚、本サーバの URI は IP 再送信 PF 構成情報サーバから供される IP 再送信 PF 構成情報より取得する。

7.1.5 選局制御情報サーバ

本サーバは、IP 再送信サービスを受信するための選局制御情報ファイルを提供する。選局制御情報ファイルは、受信機に IP 伝送に関するパラメータを通知する情報ファイルであり、当該放送地域内の放送 TS を伝送する IP マルチキャストの情報などを含む XML ファイルである。受信機から選局制御情報サーバに対し、HTTP にて、放送地域コードを引数として要求を行うことで情報を取得できる。サーバからは、要求した放送地域で再送信される TS に関する情報のみが返却される。取得のタイミングは、主にユーザによる初期設定操作時とし、それ以外のタイミングで受信機が自動取得することを制限するものではないが、例えば主電源 ON 時などのタイミングを利用して、複数の受信機から情報取得要求がサーバに集中しないように配慮すること。

7.1.6 SI サーバ

本サーバは、当該放送地域内で再送信される SI をまとめて専用でマルチキャスト送信するサーバである。受信機は、選局制御情報サーバから供される選局制御情報より取得したマルチキャストアドレスに定期的にアクセスして SI 情報を取得することが可能である。

7.1.7 CAS サーバ

本サーバは、MC ライセンスを発行・管理し、受信機の CAS クライアントとの間で機密性の高い通信路を確立して MC ライセンスを供給する。

7.1.8 IP 再送信サービス送出サーバ

本サーバは、IP 再送信サービスを提供する為の映像配信を行う。受信した放送波から抽出した MPEG-2 TS に対して、H.264/AVC による映像トランスコードなどの処理を実施した上で、IP パケットに格納し、マルチキャストにて IP ネットワークへ送出する。受信機は、IP 再送信サービスにおいて、チャンネルを選局した場合には必ずその対応するマルチキャストアドレスにアクセスする。本サーバへのアクセスは選局制御情報サーバより入手した選局制御情報のパラメータを用いて行う。

7.1.9 緊急警報放送通知サーバ

本サーバは、緊急警報放送用起動フラグの情報を送信するためのサーバである。各 TS の緊急警報放送用起動フラグを集約して送信する。

7.1.10 ライセンス更新通知情報サーバ

IP 再送信サービスの MC ライセンス更新の有無を受信機に通知して更新させるスキームを活用するサービス事業者が基本的に運用するサーバである。IP 再送信サービス登録済みのサービス事業者のライセンス更新通知情報サーバに、IP 再送信 PF 構成情報サーバから供される IP 再送信 PF 構成情報より取得した本サーバ URI を用いて定期的にアクセスし、ライセンス更新通知情報を取得する。

7.1.11 CRL 配布サーバ

本サーバは CRL の生成、管理、発行を行うためのサーバである。本サーバへのアクセスは IP 再送信 PF 構成情報サーバから供される IP 再送信 PF 構成情報より取得した本サーバ URI の値を用いて行う。受信機は本サーバから最新の CRL を取得して更新を行う。

7.2 配信ネットワークモデル

配信ネットワークは、IP 再送信サービスを提供する機能エンティティが接続された、各種情報要

素を配信するネットワークである。図 7-3 に、アクセス回線が光ファイバーである場合の提供者ネットワークの一例を示す。配信ネットワークは、IPv4 又は IPv6 に基づく IP ネットワークである。本節の詳細は第六編参照。

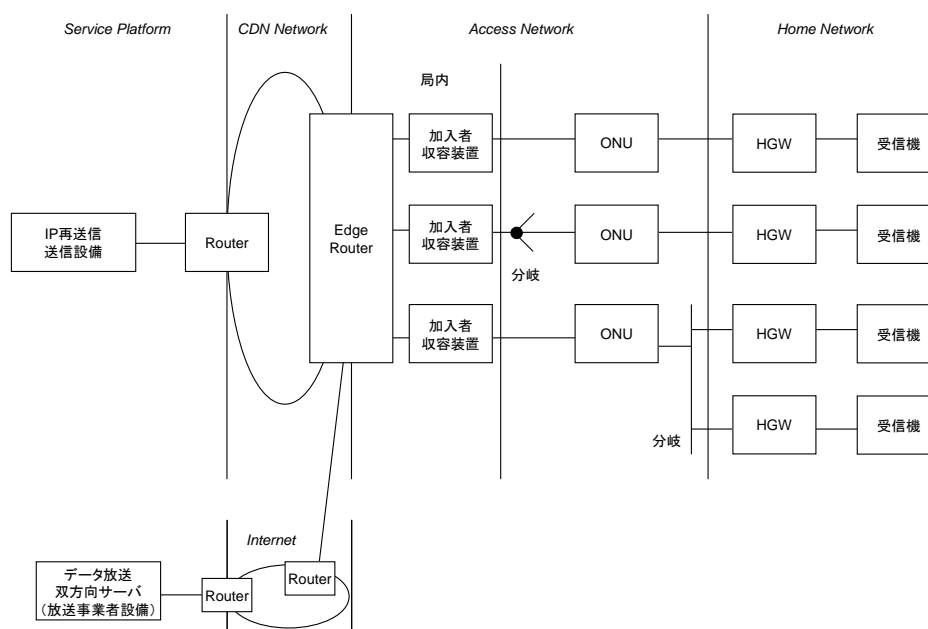


図 7-3 配信ネットワーク

一般に配信ネットワークとしては、汎用的な「インターネット」と、IP 再送信サービスで提供される情報の配信に用途を特化した「コンテンツデリバリーネットワーク（CDN）」に分類される。IP 再送信サービスでは基本的にコンテンツデリバリーネットワークを利用する。

(1) インターネット

データ放送における双方向サービスに利用される、ベストエフォート型のネットワークであり、IP 再送信サービスの為のサービス品質は考慮されていない。

(2) コンテンツデリバリーネットワーク（CDN）

通信経路の制御、及びペイロード種別による通信パケットの優先制御等により、サービス品質をある程度確保することを目的とするネットワークを指す。プラットフォーム事業者、サービス事業者の提供するサーバエントティは基本的に CDN 上に配置されるものとする。一般に、CDN の利用については、サーバの接続、及び受信機の接続設定等、CDN 特有の条件及び環境設定を必要とする。

7.3 ホームネットワークモデル

ホームネットワークは家庭内で構築するネットワークを指し、IP 再送信サービスに利用されない PC などの機器なども接続することが想定される。ホームネットワークは基本的には、ユーザが構築

するが、一部装置等を通信事業者もしくはIP再送信サービス提供会社が提供するケースが考えられる。

IP再送信サービスを利用する家庭内のネットワークモデルを図7-4に示す。受信機とネットワーク提供者の公衆網との間にホームゲートウェイが接続される場合も想定される。IP再送信サービスの受信機の機能分解点は図7-4のとおり受信機とホームゲートウェイとの間とする。受信機の商品企画としてホームゲートウェイ等を搭載し、UNIとすることも想定されうる。

ホームネットワークと受信機の接続形態については、IPv4接続、IPv4+IPv6同時接続の2通りが想定される。それぞれの場合に対して個別の考慮が必要である。詳細は第六編参照。

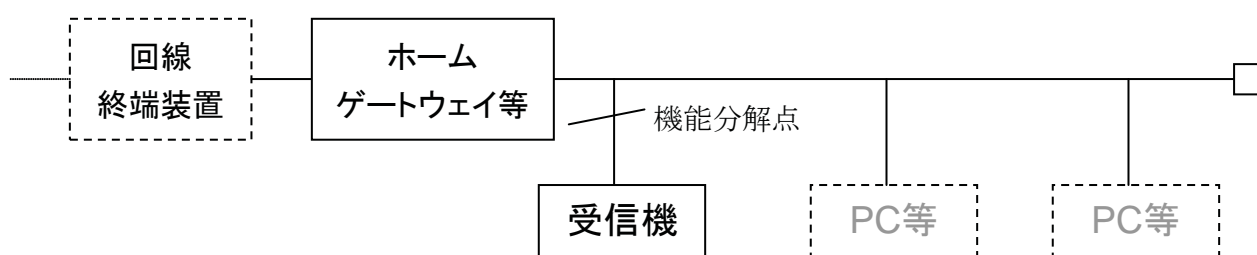


図 7-4 家庭内ネットワークモデル

家庭内では無線LANを用いてホームネットワークが構成される場合も想定されうるが、その場合は、特に通信品質のボトルネックとなってIP再送信信号の安定受信・再生に支障をきたすケースがあることを考慮する必要がある。またホームゲートウェイに関しては、例えばIPv4の場合NAT越え対応、マルチキャスト対応等、接続形態に依存した機能要求が想定されるが本規定の範囲外とする。

7.4 受信機モデル

本規定では、固定受信機のみを対象とする。受信機のモデルの一例として、IP再送信サービス専用モデル、デジタル放送直接受信モデル、IP放送/VOD受信統合モデルの3つに分類して構成を説明する。いずれも、基本的にMPEG-2 TSをデコードする機能を有するデジタル放送受信機の構成をベースとする。本節の詳細は第二編参照。

7.4.1 IP再送信サービス専用モデル

IP再送信サービス専用受信機の構成モデルを図7-5に示す。各構成要素について説明する。

- 通信処理部
HTTP、RTP、TCP、UDP、IP等の通信処理を行うプロトコルスタック。
- ストリーミング受信処理部
誤り訂正(FEC)処理、ネットワークジッタの除去処理を行い、TSパケットを出力する。

- デスクランブラ (IP 再送信用)
CAS クライアントから得た鍵を元にストリームの暗号を復号する。
- CAS クライアント
通信処理部経由で CAS サーバから MC ライセンスを取得し保持する。番組再生時に TS に多重された ECM と予め保持した MC ライセンスの利用条件を相互に比較し、利用条件が満たされた場合にのみ MC ライセンスに含まれるワーク鍵(Kw)で ECM の暗号復号を行い、得られたスクランブル鍵 (Ks)をデスクランブラ (IP 再送信用) に供給する。
- デマルチプレクサ
TS に多重化されたパケットをフィルタリングして、映像、音声、字幕、PSI/SI 等のパケットを選び分ける。
- 映像デコーダ
映像の復号を行い、映像信号を出力する。
- 音声デコーダ
音声の復号を行い、音声信号を出力する。
- 字幕デコーダ
字幕データの復号を行い、映像信号に重畳して出力する。
- カラーセルデコーダ
カラーセルデータの復号を行う。
- BML ブラウザ
カラーセルデコーダ、および通信処理部経由で放送事業者の双方向サーバから取得した BML 文書を実行して、出力する。関連して JPEG や PNG 等のモノメディアの復号とスクリプトで指示される様々な機能動作を実行する。

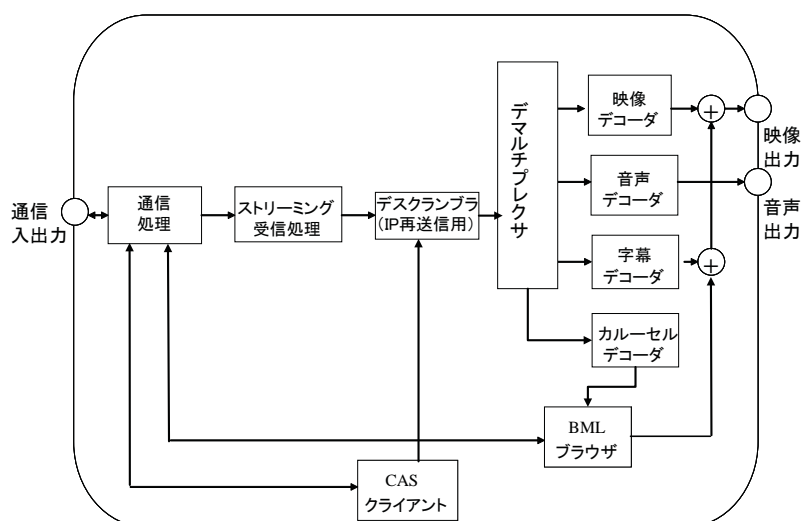


図 7-5 IP 再送信サービス専用受信機の構成モデル

7.4.2 デジタル放送直接受信統合モデル

デジタル放送直接受信統合モデルの構成を図 7-6 に示す。地上・BS・広帯域 CS デジタル放送サービスを受信するための、放送チューナ、IC カード、デスクランブラの機能が統合された構成である。

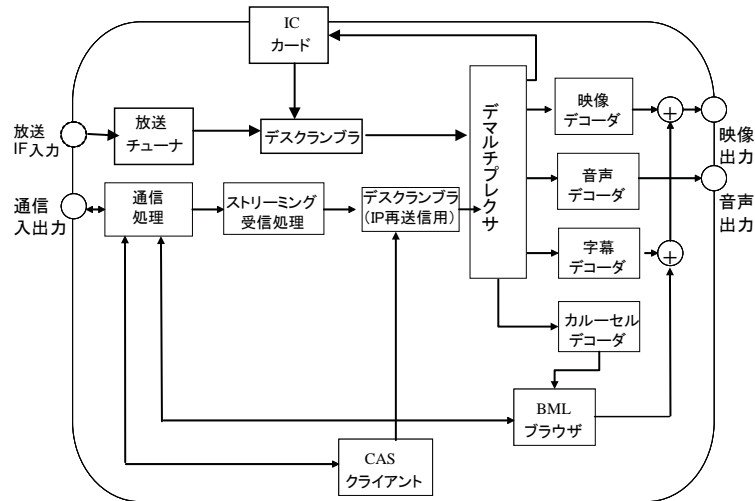


図 7-6 デジタル放送直接受信統合モデル

7.4.3 IP 放送/VOD 受信統合モデル

構成モデルは、図 7-5 と同様である。

7.5 情報要素

7.5.1 サービスストリーム

視聴者により再生、視聴されることを目的とした番組そのものを指し、映像、音声、文字、データ放送等から構成される。映像、音声、文字、データ放送等は、デジタル放送と同様に MPEG2-TS で多重化される。サービスストリームは、IP 再送信サービス送出サーバからマルチキャストのストリーミングにより送出される。詳細は本規定第七編に規定する。

7.5.2 CDN 構成情報・IP 再送信 PF 構成情報

それぞれ CDN 構成情報サーバ、IP 再送信 PF 構成情報サーバに配置され、CDN の固定運用情報、CDN を構成する各プラットフォーム事業者の固定運用情報を記述する。詳細は本規定第六編に規定する。

7.5.3 選局制御情報

選局制御情報サーバに配置され、当該放送地域で提供される IP 再送信サービスを受信するための選局制御情報を記述する。詳細は本規定第六編に規定する。

7.5.4 SI 情報

EPG や番組情報表示を実現するための情報。サービスストリームを多重化した MPEG-2 TS に合わせて多重化されて送信されるとともに、SI のみを多重および伝送する SI 専用のマルチキャストによっても提供される。情報の内容は ARIB STD-B10 に準拠する。詳細は本規定第四編に規定する。

7.5.5 MC ライセンス

MC ライセンスは、CAS による番組のアクセス制御を実現する為のメインライセンスである。番組の利用権利と利用条件を示すもので、番組を再生する前に受信機の CAS クライアントが取得する。詳細は本規定第五編に規定する。

7.5.6 ECM

ECM は、CAS による番組のアクセス制御を実現する為のサブライセンスである。サービスストリームの構成要素を多重化した MPEG-2 TS に合わせて多重化されて送信され、番組再生時に受信機の CAS クライアントが取得する。詳細は本規定第五編に規定する。

7.5.7 緊急警報放送通知情報

緊急警報放送通知情報は、各 TS に関する緊急警報放送用起動フラグを集約した情報である。詳細は本規定第七編に規定する。

7.5.8 アカウント情報

アカウント情報は、受信機のレジデントアプリケーションにおいて IP 再送信サービスの MC ライセンスを取得する際に必要となる情報である。詳細は本規定第六編に規定する。

7.5.9 エンジニアリングサービス

データカプセルにより伝送される受信機内情報更新のためのデータストリーム。サービスストリームを多重化した MPEG-2 TS に合わせて多重化されて送信される。詳細は本規定第一編に規定する。

7.5.10 ライセンス更新通知情報

受信機が MC ライセンス更新の迅速な反映を行えるように、ライセンス更新通知情報サーバから配信する情報である。当該サービス事業者に関する MC ライセンスの更新有無が記述される。

8 IP 再送信サービスの要素技術概要

この章では、IP 再送信サービスの要素技術全般を俯瞰する。詳細は各要素技術に対応した編を参照すること。図 8-1 に IP 再送信サービス全体の技術のレイヤをプロトコルスタックモデルとして示す。但し、番組視聴に関わる情報の伝送に直接関係のない通信プロトコルは除いてある。また、双方向データ放送サービスについては ARIB TR-B14 に規定される内容に従うこととする。

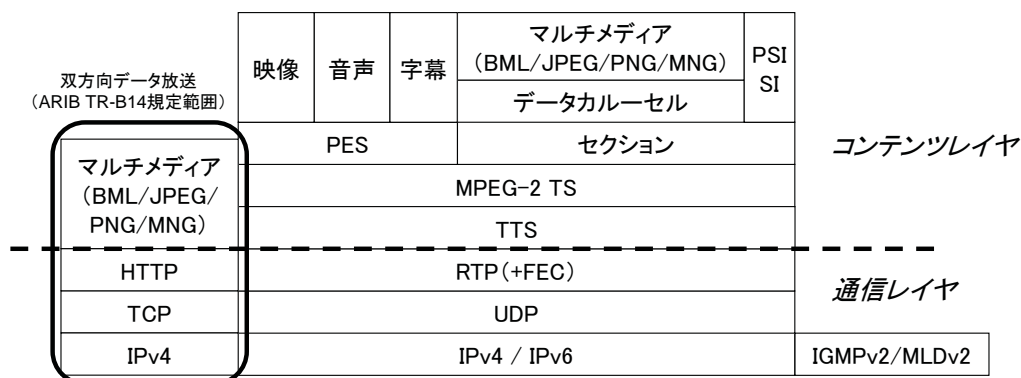


図 8-1 IP 再送信サービスプロトコルスタックモデル

8.1 IP ネットワーク

本節の内容の詳細は第六編参照。

8.1.1 ネットワーク設定

IP 再送信サービス対応受信機においては、従来のデジタル放送受信機よりネットワークに関する設定も複雑となる。視聴者の利便性の観点から受信機のネットワーク設定は極力自動化することが望ましい。

8.1.2 ネットワークとの接続

受信機がネットワークに接続する際、IPv4、IPv6 アドレスを端末に割り当てる必要がある。アドレスをネットワークより自動で割り当てる際、以下の通りにアドレスの割り当てを受ける。

- IPv4 の場合

DHCP を用いて、IPv4 アドレス、ネットワークアドレス、サブネットマスク、DNS アドレスを取得して通信を開始する。

- IPv6 の場合

NDP を利用して IPv6 プレフィックスを取得した後、これを元に IPv6 アドレスを自動生成する。続いて、DHCPv6 option を用いて、DNS アドレスを取得して通信を開始する。

双方向データ放送サービスを受信可能とするためには IPv4 に対応する必要がある。受信機実装上、IPv4、IPv6 の両方に対応する(デュアルスタック)が必要である。

8.1.3 サーバ及び情報要素へのアクセス

- ユニキャスト接続の場合
以下の URI 形式にてアクセスする。

```
<scheme>://<authority><path>?<query>
```

上記 URI 形式において、

<scheme> : プロトコル名

<authority> : 当該サービスを提供するサービス事業者のオーソリティ

<path> : アクセス対象情報の、ベース URI からの相対パス

<query> : 問合せの際にリソース (エンティティ) によって解釈される情報

- マルチキャスト接続の場合
URI を用いずにマルチキャストアドレスを用いてアクセスする。

8.2 各種情報とサービスエントリー

8.2.1 各種情報

8.2.1.1 CDN・IP 再送信 PF 構成情報

CDN・IP 再送信 PF 構成情報は、それぞれ CDN および IP 再送信プラットフォームの構成要素の固定的なパラメータ情報で、特に IP 再送信サービスのサービス登録に先立って必要となる情報を供給する目的を有する。詳細は第六編参照。

- CDN 構成情報
CDN 事業者が運用する CDN 構成情報サーバに配置され、CDN の固定情報、CDN を構成する各 IP 再送信プラットフォームの固定情報を記述する。主な情報項目は以下の通りである。
 - 各 IP 再送信プラットフォームの識別情報
 - 各 IP 再送信プラットフォームの IP 再送信 PF 構成情報サーバ URI
 - 各 IP 再送信プラットフォームの IP 再送信 PF 構成情報の更新情報等
- IP 再送信 PF 構成情報
IP 再送信プラットフォーム事業者が運用する IP 再送信 PF 構成情報サーバに配置され、IP 再送信プラットフォームの固定情報、IP 再送信サービスをユーザへ販売・提供する各 IP 再送信サービス事業者の固定情報を記述する。主な情報項目は以下の通りである。
 - IP 再送信プラットフォーム事業者の識別情報
 - 各 IP 再送信サービス提供者に対応する各種 ID
サービス事業者 ID 等
 - 各サービス事業者のポータルサーバ URI
 - 各サービス事業者のアカウントサーバ URI
 - 各サービス事業者の選局制御情報サーバ URI

- 各サービス事業者のライセンス更新通知情報サーバ URI
- 各サービス事業者の CRL 配布先 URI

8.2.1.2 アカウント情報

アカウント情報は、サービス事業者のパラメータ情報で、IP 再送信サービスのサービス登録に必要な情報を供給する目的を有する。詳細は第六編参照。主な情報項目は以下の通りである。

- IP 再送信サービス登録に関する情報
サービス事業者 ID、認証用キー情報、IP 再送信サービス登録が無効になる日時 (expire_date)、MC ライセンス取得先 CAS サーバの URL (license_url)、license_url の署名、署名検証に用いる公開鍵証明書の URL、サービスエリアコード、県複フラグ等
- MC ライセンス取得に必要な情報
ライセンス ID 等

8.2.1.3 選局制御情報

選局制御情報は、IP 再送信サービスを受信するための固定的なパラメータ情報で、特に各サービスへのアクセス情報を供給する目的を有する。詳細は第六編参照。主な情報項目は以下の通りである。

- 当該放送地域のエリアコード (地域識別割り当て)
- IP マルチキャストプロトコル (MLD、IGMP) のバージョン情報
- TS 毎 (ts_id 毎) に、以下を記述
当該 TS を伝送するポート番号、当該 TS を伝送するマルチキャストアドレス、当該 TS に適用されている FEC の方式および L パラメータ、D パラメータ
- SI 専用マルチキャストについて、以下を記述
SI 専用 TS を伝送するポート番号、SI 専用 TS を伝送するマルチキャストアドレス
- 緊急警報放送通知情報について、以下を記述
緊急警報放送通知情報を伝送するポート番号、緊急警報放送通知情報を伝送するマルチキャストアドレス

8.2.2 サービスエントリー

8.2.2.1 構成情報取得

受信機は、最初に IP 再送信サービスにサービス登録する前に、予め以下の処理フローに従って CDN 構成情報、IP 再送信 PF 構成情報を順次取得することにより、IP 再送信サービスへのサービス登録を実行できる状態にする。

- ① 受信機が、CDN 構成情報サーバにアクセスして CDN 構成情報を取得し、保持する。
- ② 受信機は、CDN 構成情報に記述されている各 IP 再送信 PF 構成情報サーバを巡回アクセス

して、各 IP 再送信 PF 構成情報を取得し、保持する。(2 回目以降の取得の場合は、更新された IP 再送信 PF 構成情報のみを巡回して取得する)

なお、①②の処理は IP 再送信サービス利用開始後も電源オン時等に適宜行い、IP 再送信プラットフォーム事業者やサービス事業者の増減などの、CDN 内の状況変化を確実に受信機処理に反映できるようにする。また、アクセス頻度を抑える為に、IP 再送信 PF 構成情報については更新があった場合のみアクセスすることが望ましい。詳細は第六編参照。

8.2.2.2 IP 再送信サービス登録

受信機は、IP 再送信サービスにサービス登録する時に、以下の処理フローに従って IP 再送信サービスに関する情報や MC ライセンスを取得することにより、サービス事業者の IP 再送信サービスを受けられる状態にする。ユーザは予めサービス事業者とサービス契約を行い、サービス事業者からサービス事業者 ID および必要に応じて登録番号に関する情報が記載された葉書等がユーザへ送付され、通知されている前提とする。登録番号は、オフラインで申し込みを行ったサービス契約の内容と受信機(CAS クライアント識別子)の紐付けを行うために使用される想定である。

- ① 受信機は、ユーザによる IP 再送信サービス登録の操作により、IP 再送信サービス登録画面を表示する。各 IP 再送信 PF 構成情報に記述されているサービス事業者のうち、ユーザによるサービス事業者の選択またはサービス事業者 ID の入力により、受信機は登録番号の入力フィールドを表示する。ユーザによる当該フィールドの入力により、指定するサービス事業者のアカウントサーバにアクセスし、アカウント情報を取得し、保持する。
- ② 受信機は、①で取得したアカウント情報に従って、プラットフォーム事業者の CAS サーバにアクセスし、MC ライセンスの取得を行う。

以上の処理の結果、IP 再送信サービスのサービス登録が完了する。

受信が完了したそれぞれの MPEG-2 TS 内に多重される NIT と、選局制御情報中のマルチキャストアドレス/FEC パラメータから、IP 再送信サービスリスト（受信可能マルチキャストテーブル）を作成する。なお、各ストリーム中に多重される NIT には、地上分配システム記述子として放送事業者の送信所から送出される周波数が記載されることがあるが、初期スキャン時には、この周波数情報を IP 再送信サービスでは利用しない情報として無視するとともに、選局制御情報内に記述されるマルチキャストアドレス/FEC パラメータにより IP 再送信サービスリスト（受信可能マルチキャストテーブル）を作成すること。

初期スキャンにおいては、選局制御情報に記述されたマルチキャストアドレスのストリームのうち、受信ができなかったものは、IP 再送信サービスリストに含めないものとし、さらに全てのストリームが受信できないような場合は、ユーザの放送地域の設定内容が誤っている等の状況を想定した画面エラー表示を考慮する必要がある。

初期スキャンの結果、IP 再送信サービスの受信・再生が可能となる。

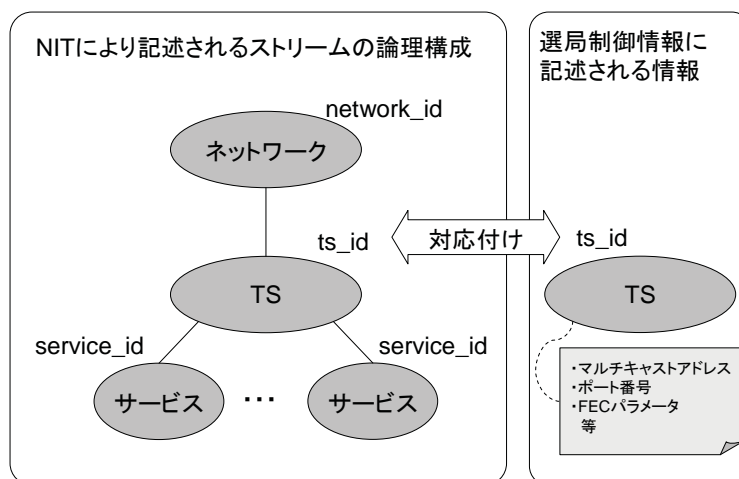


図 8-3 ストリームと選局制御情報の対応概念

8.3 選局処理

初期スキャン後の通常の選局操作においては、NIT の地上分配システム記述子に含まれる周波数情報を参照するのではなく、8.2.2.3「初期スキャン」で作成した IP 再送信サービスリスト（受信可能マルチキャストテーブル）を利用し、ユーザが選択したサービスに対応したマルチキャストストリームを受信して FEC 処理を実施することとする。

8.4 信号形式と伝送方式

8.4.1 情報源符号化と多重化

IP 再送信サービスにおける情報源符号化としては、以下を利用可能とする。

詳細は第七編参照。

- 映像符号化：H264/MPEG-4 AVC、MPEG2
- 音声符号化：AAC-LC
- 字幕符号化：ARIB TR-B14 準拠
- 多重化：MPEG-2 TS

8.4.2 ストリーミング伝送と受信

IP 再送信サービスにおいて、番組の構成要素は MPEG-2 TS 形式で多重化された上で、TTS 化され、RTP/UDP を用いてストリーミング伝送される。CDN とアクセス網においては、ストリーミングにおけるジッタとパケットロスを抑制するように QoS を考慮することが望ましい。受信機はその前提において、ストリーミング受信に際しては必要量のメモリーによりジッタを吸収すると同時に、長時間再生においても破綻のないようなクロック同期を考慮した受信再生制御が必要となる。ここで放送系で用いられている PCR によるクロック同期機構を利用できるようにするために、RTP に載せる TS パケットをタイムスタンプ付 TS 形式とする。

またパケットロスを補償する為に、FEC によるエラー訂正手段を導入する。FEC 方式としては、ProMPEG をデフォルト方式として規定する。上記の詳細は第六編参照。

8.4.3 チャンネル選局

IP 再送信サービスは IP マルチキャストで伝送されるので、選局は、特定のマルチキャストアドレスに対して IGMP または MLD を用いてジョイン、リーブを行うことによって実現される。受信機においては選局操作から再生開始までのリードタイムが短くなるように考慮が必要であるが、一方で、アップダウン選局などにおいて、CDN のエッジルータに対して無駄なジョインの実行による過大な負荷を与えないような考慮も必要である。詳細は第六編参照。

8.5 ブラウザとマルチメディア符号化

本節の内容の詳細は、本規定第三編参照。

8.6 PSI/SI と EPG

本節の内容の詳細は、本規定第四編参照。

8.6.1 IP 再送信サービスの階層構造

IP 再送信サービスは、ID 体系に基づく以下のような階層構造から成立する。

- ネットワーク
地上デジタルテレビジョン放送同様、放送事業者の 1 送出マスターに対して 1 つのネットワークが規定される。ARIB STD-B10 に記載がある通り、ネットワークとは一つの分配システムに対して規定される MPEG-2 TS 多重の集まりに対して規定されるものであるが、IP 再送

信サービスにおいては、地上デジタルテレビジョン放送と同様、1 ネットワークあたり 1TS となる。ネットワークはネットワーク ID で識別される。通信ネットワークのネットワークとは異なる意味であることに留意する必要がある。

- TS
IP 再送信サービスにおける物理的な選局単位となり、1 つのマルチキャストアドレスを持つストリームとして配信される単位となる。MPEG2-TS として多重化されている。TS 内のサービス構成は、PAT、SDT に記述される。
- サービス
IP 再送信サービスにおけるチャンネルの意味。サービス ID で識別される。一般的なサービスという用語と異なる厳密な意味を持つことに留意する必要がある。サービス内の ES 構成は PMT に記述される。またサービス内のイベント構成は EIT に記述される。
- ES
サービスに含まれる映像、音声等の提示対象のパケットを示す。コンポーネントタグ等で識別される。
- イベント
IP 再送信サービスにおける番組の意味。イベント ID で識別される。

8.6.2 PSI/SI

PSI は、以下の点を除いて、地上デジタルテレビジョン放送の運用に従う。

- PMT/映像 ES に関するストリーム形式識別:0x1B に変更する。(MPEG-2 映像を H.264/AVC にトランスコードする場合)
- PMT/CA_systemId: IP 再送信サービスで運用する CAS に対応した値に変更する。(具体的な値については、本規定第七編を参照のこと。)
- CAT は送出しない。

SI は、情報内容について地上デジタルテレビジョン放送運用規定と同一であるが、伝送経路として、以下の 2 経路により IP マルチキャストにて再送信する。

- 各局 SI マルチキャスト
- SI 専用マルチキャスト

8.6.2.1 各局 SI マルチキャスト

MPEG-2 TS (通常 TS) に多重された SI を番組と合わせて IP マルチキャストにて送信するものである。受信機では、地上デジタルテレビジョン放送サービスの受信時と同様に受信処理を行うこととする。ただし、CAT は送出されないことを前提に受信処理を行うこと。

8.6.2.2 SI 専用マルチキャスト

受信機がそれぞれの各局 SI マルチキャストを巡回して各チャンネルの SI を受信する場合、EIT の日替わり更新時などにユーザが番組を視聴中であると、受信している通常 TS に含まれない他のチ

チャンネルの SI の収集が遅れることがある。このような懸念をなくすため、送信設備において、当該放送地域の各通常 TS に含まれる SI 情報を集約して、SI のみを伝送する MPEG-2 TS (SI 専用 TS) を構築し、これを IP マルチキャストで送信する。受信機は、最大でも 3Mbps (TS レート) と通常 TS に比べて伝送量の小さい SI 専用マルチキャストの受信のみで、効率的に全チャンネルの SI を取得することが可能であるとともに、不要なストリームの受信を抑えてネットワーク利用効率を高めることができる。

なお、SI 専用マルチキャストについては送出は必須とするが、受信機の受信実装は必須とはしない。

(a) 送信対象

各 MPEG-2 TS に多重された SI のうち、NIT、BIT、SDT、H-EIT[schedule basic]、H-EIT[schedule extended]を抽出し、送信する。また、CDT もあわせて送信する。

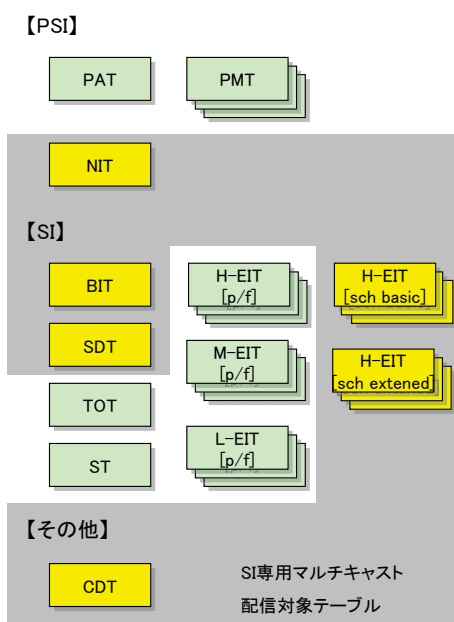


図 8-4 SI 専用マルチキャストの配信対象

(b) 情報内容

SI 専用マルチキャストで送信するテーブルのうち、NIT、SDT、H-EIT[schedule basic]、H-EIT[schedule extended]については、other (他ネットワーク、他ストリーム) の table_id を付与する。また、SDT 中の EIT_present_following_flag は、SI 専用マルチキャストにて H-EIT[p/f]を送信しないことから、0 として送信する。

8.6.3 EPG

SI を利用した EPG のユーザインターフェースのガイドラインは本規定第二編参照。

8.7 CAS

IP 再送信サービスにおける CAS 動作について述べる。従来の放送の限定受信方式と異なるのは、EMM 伝送を行わないことである。地上デジタルテレビジョン放送における EMM に相当する制御情報として、別途、MC ライセンスという制御情報を CAS サーバから直接取得する方式をとる。MC ライセンスの配送は、セキュリティを実現する為に、SAC と呼ばれる認証暗号通信路を用いて行う。

8.7.1 CAS 動作の概要

IP 再送信サービスでは、ワーク鍵 K_w と、ワーク鍵毎にサービス契約に相当するティアビット列を含む MC ライセンスを CAS サーバから CAS クライアントがあらかじめ取得・保持する。一方でワーク鍵 K_w で暗号化された ECM が IP 再送信ストリームに多重化されて送出される。ECM にはティアビット情報が含まれており、これを CAS クライアントに入力して保持されている MC ライセンスのティアビットと照合して契約中と判定されると ECM に含まれるスクランブル鍵 K_s が出力され、当該スクランブル鍵が適用されている期間の IP 再送信ストリームをデスクランブルすることができる。スクランブル鍵 K_s は一定時間毎に更新され、それに伴い ECM も更新するので、更新毎に上記の ECM と MC ライセンスの照合処理とスクランブル鍵取り出しを継続的に行うことにより IP 再送信ストリームの連続的なデスクランブルと再生が可能となる。

8.7.2 IP 再送信ストリームのスクランブル方式

TS パケットのペイロード部分を 128 ビットの AES を用いて暗号化する。暗号モードとしては CBC モード及び OFB モード（端数のみ）を用いる。

スクランブルの対象とする ES を含む TS パケットは、従来の放送と同様である。またスクランブル鍵は Odd 鍵 Even 鍵を交互に切り替えて利用する。

8.8 コンテンツ保護

IP 再送信サービスにおけるコンテンツ保護については、本規定第八編における規定に従うこととする。ただし、コンテンツ保護を伴う無料番組の場合は、コンテンツ保護のための出力制御情報は、改ざん防止を目的としてセキュリティが保証された ECM にて送信することとし、受信機は、ECM に含まれる出力制御情報(Rendering Obligation)の記述に従ってコピー制御及び出力制御を行うこととする。コンテンツ保護を伴う無料番組においては PMT に含まれるデジタルコピー制御記述子、コンテンツ利用記述子は直接コピー制御・出力制御に用いてはならない。本節の内容の詳細は、本規定第八編参照。

8.9 緊急警報放送

IP 再送信サービスでは、緊急警報放送の提供にあたり、緊急警報放送通知情報を IP 伝送する。緊急警報放送通知情報は、IP 再送信サービスの送信設備において、各放送波中の TMCC 緊急警報放送用起動フラグ相当の情報を抽出してまとめた情報である。緊急警報放送に対応する受信機は、待機状態にあった場合でも、緊急警報放送通知情報を受信することで、電源投入状態に移行し、緊急警報放送の受信処理等を行う。

なお、緊急警報放送に対応する受信機の実装においては、商品企画として緊急警報放送通知情報を受信する通信処理部（起動監視アダプタ部）と従来の通信処理部に分けて構成することも可能である。この構成では、起動監視アダプタ部は緊急警報放送に備えて常に電源が入った状態を維持し、従来の通信処理部以降は、通常のユーザ操作等により電源をスタンバイ状態にする。緊急警報放送が行われた際には、起動監視アダプタが緊急警報放送通知情報を受信して緊急警報放送の開始を検知し、従来の通信処理部に対してマジックパケット等を利用して受信機本体の電源を入れる処理を行う。

9 解説

9.1 IP 再送信サービスの動作シーケンスモデル

IP 再送信サービスの主なシナリオにおける、受信機とサーバエンティティ間の連携動作の想定されるシーケンス例を示す。

9.1.1 初期接続シーケンス

受信機において、初期スキャン操作が実施された際のシーケンスを以下に示す。（事前のアドレス払い出し、サーバアドレス解決を含む。）

- IP アドレスの払い出し。
- DNS により、選局制御情報の取得先サーバアドレスを解決。
- 選局制御情報をユニキャストにより取得し、各チャンネルに対応するマルチキャストアドレスへの join 要求を行う。
 - ✧ 受信機での居住者地域の設定等により、対象地域に関する選局制御情報のみを取得する。
 - ✧ 各チャンネルのストリームの受信が正しくできない場合には、適切な選局制御情報が取得できなかったとして、処理を中断する。
- 各ストリーム内の PSI/SI 情報を取得し、選局に必要な情報を受信機へ設定。

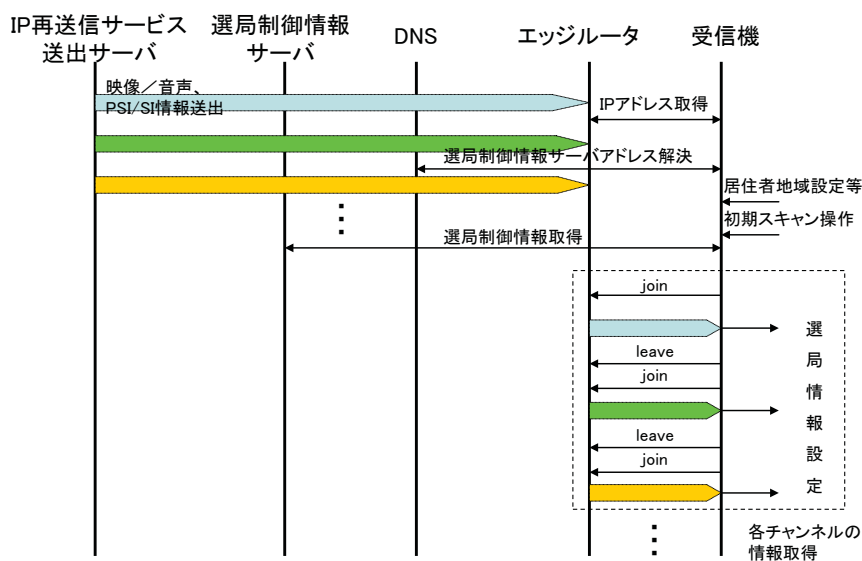


図 9-1 初期接続シーケンス例

9.1.2 選局シーケンス

受信機において、選局操作が実施された際のシーケンスを以下に示す。

- エッジルータに対し、現在視聴中のチャンネルに対応するマルチキャストアドレスへの **leave** 要求を行う。
- エッジルータに対し、要求チャンネルに対応するマルチキャストアドレスへの **join** 要求を行う。

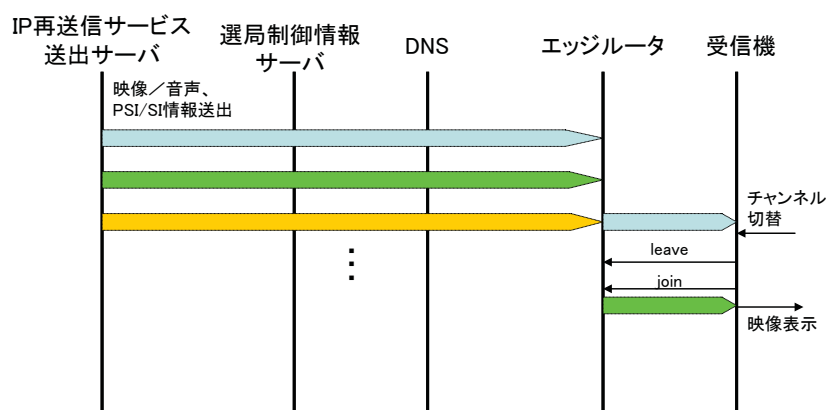


図 9-2 選局シーケンス例

9.1.3 SI 専用マルチキャスト取得

受信機が、SI 専用マルチキャストにて SI を受信する際の流れを以下に示す。

- SI 専用マルチキャストのアクセス先（マルチキャストアドレス）を、選局制御情報より取得する。
- エッジルータに対し、SI 専用マルチキャストのマルチキャストアドレスへの **join** 要求を行う。
- SI 専用マルチキャストの受信を終了次第、エッジルータに対し、SI 専用マルチキャストのマルチキャストアドレスへの **leave** 要求を行う。

SI 専用マルチキャストへのアクセス (**join/leave**) は、エッジルータへの負荷が不必要に大きくなるように、適切な頻度、タイミングで行う必要がある。

9.2 ID 体系

9.2.1 IP 再送信サービスのストリームに含まれる ID

▶ 地上デジタルテレビジョン放送と同値のもの

◇ システム管理 ID (system_management_id)

地上デジタルテレビジョン放送と同値の 0x0301。

◇ ネットワーク ID (network_id)

地上デジタルテレビジョン放送の一送出マスターに対して割り当てられた値であり、再送信サービスでも地上デジタル放送と同じ値を利用する。

NIT、SDT、BIT に記述される。詳細は第四編、第七編を参照。

◇ TS_ID(transport_stream_id)

ネットワーク内での TS に対し割り当てる識別子。IP 再送信サービスでは地上デジタルテレビジョン放送と同様に network_id 値と同一値で運用する。詳細は第四編、第七編を参照。

また、選局制御情報にも記述されるマルチキャストアドレス毎に指定される TS id と一致する。詳細は第六編を参照。

◇ サービス ID (service_id)

ネットワーク内で個々のサービスを識別し、IP 再送信サービスでは地上デジタルテレビジョン放送と同様の値を利用する。PAT、PMT、SDT、EIT に記述される。詳細は第四編、第七編を参照。

◇ イベント ID (event_id)

サービス内の各イベントに割り当てられ、IP 再送信サービスでは地上デジタルテレビジョン放送と同様の値を利用する。EIT に記述する。詳細は第四編を参照。

ブロードキャスタ ID(broadcaster_id)、地上ブロードキャスタ(terrestrial_broadcaster_id)、系列識別(affiliation_id)などその他 ID については、第四編 5.3 「識別子の運用」、第七編 8 「各種数値割り当て一覧」を参照。

▶ 地上デジタルテレビジョン放送と異なる値のもの

◇ CA_System_id

IP 再送信サービス用 CAS の値を利用する。第七編参照。

◇ ワーク鍵 ID

ECM に記述され、IP 再送信サービス用 CAS のワーク鍵を識別するために利用される。ライセンス ID には、ワーク鍵 ID の一部が含まれる。詳細は第五編を参照。

9.2.2 その他 再送信サービスで利用される ID

➤ サービス事業者 ID (ip_service_provider_id)

IP 再送信サービスを運用するサービス事業者に一意に割り当てられ。IP 再送信 PF 構成情報とアカウント情報に記述される。詳細は第六編を参照。

➤ ライセンス ID (licenseID)

ライセンスを識別する情報としてライセンスに割り当てられる。上位 2 バイトが IP 再送信 PF 構成情報にも記述される再送信プラットフォーム事業者毎の drm_provider_id と同値となる。また、ライセンス ID の一部には、事業者内ワーク鍵識別も含まれる。詳細は第五編を参照。

➤ CAS 運用事業者 ID (drm_provider_id)

CAS 運用事業者単位に割り当てられる。ライセンス ID の上位 2 バイト、及び IP 再送信 PF 構成情報にも記述される。詳細は第五編を参照。

➤ CAS クライアント識別子

IP 再送信サービス用の CAS クライアントを一意に識別する識別子。詳細は第五編を参照。

第六編

地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 通信運用規定

時間以上経過している場合に取得することが望ましい。

なお、ライセンス更新通知情報取得に関わる十分な時間は15秒とする。15秒たっても応答のない場合の処理は実装依存とするが、一定間隔をおき数回リトライすることが望ましい。また、ユーザーによる手動取得・更新の際にリトライを実施するも情報取得要求が出来なかった場合は、ユーザーへ通知画面等を表示することが望ましい。

7 通信品質の実現

7.1 ストリーミング品質

ストリーミング配信では、ネットワーク上でのパケットロスや非同期型通信によるクロックズレが映像・音声の乱れ等を招く恐れがある。よって、サービス事業者および受信機は長期間の安定した再生を実現するために次に示すストリーミング品質向上のための実装を行うことが望ましい。

なお、長期間の安定した再生の実現とは、輻輳のない定常状態にて受信機が1週間程度安定してパケットロスのないTSストリームを受信することと想定する。

7.1.1 FEC

ネットワーク上でパケットロスが発生した場合、映像や音声に乱れを生じたりするため、パケットロスへの対処が必要であり、FECを用いてパケットの復元を行う必要がある。

送信側および受信機はそれぞれFECに対応することが可能であり、送受信で同一のFECを用いた際にFECを利用することが可能である。なお、FECの搭載に関してはオプション扱いとする。

受信機にFECを搭載する場合には基本的にRFC2733およびその拡張に従うものとし、本運用規定においてはPro-MPEG FEC Code of Practice #3 release2 (以降、Pro-MPEG FEC) を採用する。ただし、送出側、受信側ともに縦方向FECパケット (7.1.1.5項参照) のみしか処理しない実装 (以降、Pro-MPEG 1D FEC) も許容する。また、サーバ側にてPro-MPEG FECにおいて横方向FECパケット (7.1.1.5「Pro-MPEG FECの運用規定」参照) まで含め2次元にて運用する場合(以降、Pro-MPEG 2D FEC)はもとより、さらには本運用規定において現在規定していない他のFEC方式を採用する場合においても、FEC非搭載の受信機においても受信が可能ないようにメディアパケットとFECパケットのポートを分離して送受信できるFEC方式を用いることとする。この場合、FEC非搭載の受信機はFECパケットを無視し、メディアパケットのみを受信すればよい。以降、FECの手順について説明する。

なお、サービス事業者は、長期間の安定した再生を実現するストリームを伝送するため、利用する通信ネットワークの品質を考慮し、必要に応じてPro-MPEG 1D FEC以上の実装を行うとともに、受信機も、Pro-MPEG 1D FECを搭載することを推奨する。

7.1.1.1 FEC保護処理の方法

図 7-1は、IPレイヤにおけるメディアパケットとFECパケットの構造である。

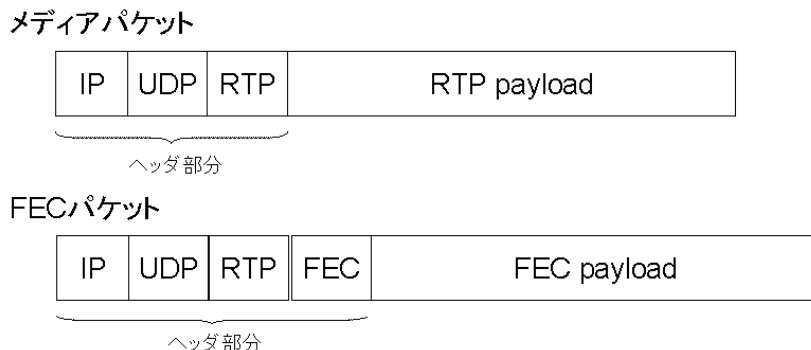


図 7-1 メディアパケットと FEC パケットの構造

保護対象のメディアパケットに対し、RTPヘッダの参照ならびに演算を行うことでFECヘッダ、FECペイロードを生成する。

RFC2733で定義されたFECヘッダの構成図を図 7-2に示す。

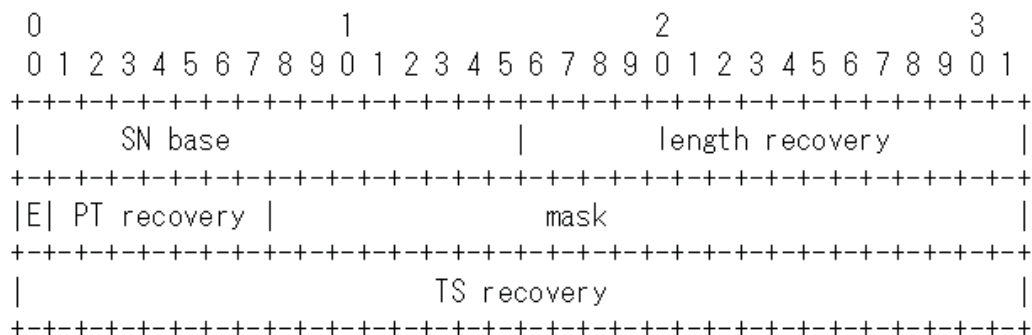


図 7-2 FEC ヘッダの構成図

FECヘッダの生成方法は以下の通りである。

- SN base(16bits) : FEC で保護される RTP パケットの最小シーケンス番号。
- Length recovery(16bits):FEC で保護される RTP パケット長の XOR 値。
パケットを復元する際に、復元するパケットの長さの計算に用いる。
- E(1bit) : ヘッダ拡張のためのビット。通常 0。FEC ヘッダを拡張する際に 1 とする。
- PT recovery(7bits) : RTP ヘッダのペイロードタイプの XOR 演算結果。
- Mask(24bits) : FEC で保護される RTP パケットを示すフラグ。
シーケンス番号。N+i が保護対象のとき、i 番目のビットを 1 にする。
- TS recovery(32bits) : RTP ヘッダの TimeStamp 値の XOR 演算結果。

FECペイロードの生成は、メディアパケットのRTPヘッダから特定フィールド、ペイロード、(もしあれば)0でのパディングを連結し、生成されたbit stringに対しXOR演算を行うことにより実現される。ここで生成されたbit stringはFECパケット生成に使用され、FEC bit stringと呼ばれる。

bit string生成のために連結する値は以下の通りである。

- Padding Bit (1 bit)
- Extension Bit (1 bit)
- CC bits (4 bits)
- Marker bit (1 bit)
- Payload Type (7 bits)
- Timestamp (32 bits)
- CSRC List、ヘッダ拡張部分、ペイロード、パディングのトータル長さ(16bits)
- もしCCが0でない場合、CSRC List (可変長)
- もしXが1の場合、Header Extension (可変長)
- ペイロード (可変長)
- もし、ある場合はパディング (可変長)

各メディアパケットに対し、上記の値を連結した上でXOR演算をかけることによりFECペイロードが生成できる。FECパケット生成の概念図を図 7-3に示す。

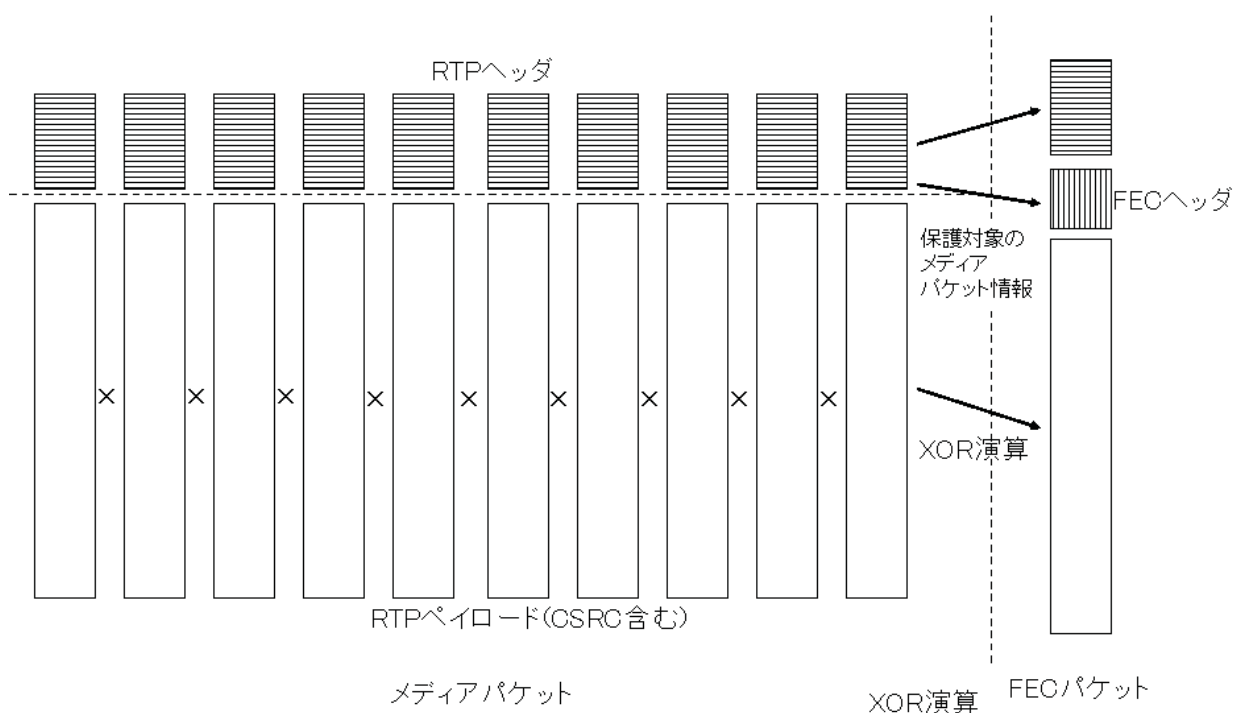


図 7-3 FEC パケット生成の概念図

FECパケットのストリームは、FEC機能を搭載していない受信機でも同じストリームを受けて受信できるようにすることを考慮して、メディアパケットとは別のポート番号で送ることとする。FEC機能を搭載していない受信機は、FECパケットを無視し、メディアパケットのみを受信すればよい。

7.1.1.2 FEC復元処理の方法

メディアパケット、FECパケット合わせてT個の中で、あるメディアパケット x_i を復元する手順は以下の通り。

- (1) T個の中のメディアパケットに対して、ビット列(bit string)を計算する
- (2) T個の中のFECパケットに対して、ビット列を計算する。ただし、Payload Typeの代わりにPT Recovery、Timestampの代わりにTS Recoveryを使用し、CSRC list, extension, paddingはnullとして計算する
- (3) もし、FECパケットから計算したビット列よりもメディアパケットから作成したビット列のほうが短い場合、FECパケットで生成したビット列と同じ長さになるまで埋める。(ビット列の最後を埋めること。埋める値は任意)
- (4) ビット列の向こう側に排他的か(パリティ)操作を実行し、リカバリビット列を作成する。
- (5) 12バイトの標準のRTPヘッダを生成し、ペイロードがない新しいパケットを作成する。
- (6) 新しいパケットのバージョンに2を設定する。
- (7) 新しいパケットのPadding bitにリカバリビット列の最初のビットをはめ込む。
- (8) 新しいパケットのExtension bitにリカバリビット列の2番目のビットをはめ込む。
- (9) CCフィールドにリカバリビット列の次の4ビットを設定する。
- (10) 新しいパケットのmarker bitにリカバリビット列の次のビットをはめ込む。
- (11) 新しいパケットのPayload Typeにリカバリビット列の次の7ビットをはめ込む。
- (12) 新しいパケットのSN fieldに x_i をはめ込む。
- (13) 新しいパケットにTS fieldにリカバリビット列における次の32ビットをはめ込む。
- (14) リカバリビット列の次の16ビットを見て、これがどんな符号無し整数であっても、リカバリビット列からその16ビットの値分のビット列(これらはCSRC list, extension, ペイロード、およびパディングに相当)を取ってきて新しいパケットに追加する。
- (15) 新しいパケットのSSRCに、保護しているメディアストリームのSSRCを設定する。

メディアパケット復元の概念図を図 7-4 に示す。

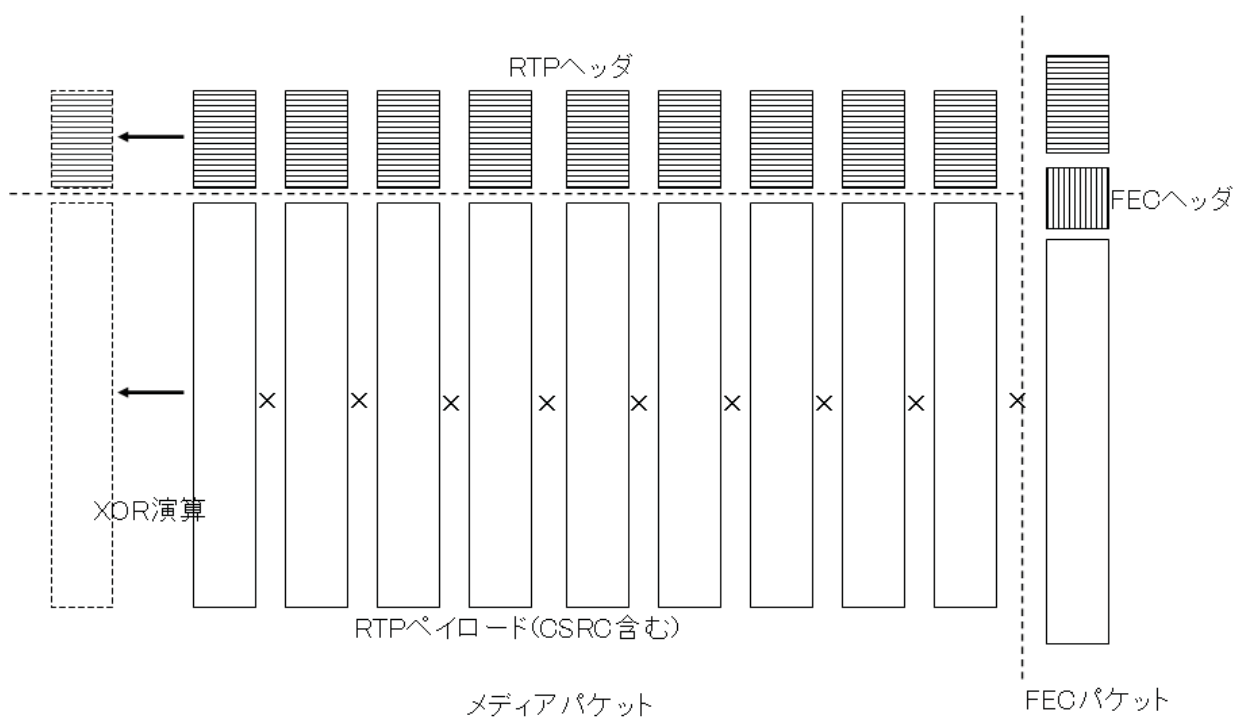


図 7-4 メディアパケット復元の概念図

パケットロスが発生した際、そのパケットを復元するために十分なデータがあるかどうか判断する方法は実装次第とされているが、RFC2733 の8.2 Determination of When to Recover”にはそのアルゴリズムや関数の例が書かれている。

7.1.1.3 FEC情報の通知方法

FEC packetsを受信し、FECのデコードを行うために受信機が知らなければならない情報としては、以下のものがある。

- FEC の方式
- FEC のパラメータ
- FEC パケットの source IP address
- FEC パケットの destination ポート番号

FECのパラメータに関しては、FECの方式によりパラメータ数やフォーマットが異なるため、これらをひとまとめにしてFECの種類を定義し、受信機に伝えることとする。

FECの種類を通知する方法は、選局制御情報により通知する。

マルチキャストストリームの場合は、選局制御情報中の、FEC_modeにFECの種別を記述する。表 7-1に、マルチキャストストリームにおけるFEC_modeを示す。

表 7-1： マルチキャストストリームの FEC 種別

| FEC_mode | FEC 方式 | パラメータ |
|-----------|-----------------|---|
| 0x00 (*1) | なし(FEC OFF) | なし |
| 0x01 | Pro-MPEG 1D FEC | source IP address=メディアパケットと同じ dest_port=メディアパケット+2 |
| 0x02 | Pro-MPEG 2D FEC | source IP address=メディアパケットと同じ dest_port=メディアパケット+2, +4 |

(*1) FECを適用しない場合には、FEC_modeを0とするのではなく、num_of_FECを0として送出する。

なお、Pro-MPEG FECの行列サイズのパラメータL,DはFEC_mode_infoの中のL_parameter, D_parameterに記述する。使用可能な組み合わせは、(L, D) = (10, 10) : 0x0a0a, (20, 5) : 0x1405 とする

複数のFECストリームを送信したい場合は選局制御情報の中にFEC種別ごとにFEC_modeをloopで記述する。受信機側は、記述されたFEC種別の中で、上位優先で受信機が対応可能なFECを選択してデコードを行う。また、新しいFEC種別を用いる場合は、新規にFEC_modeを定義することとする。

7.1.1.4 FEC機能のON/OFF

通信ネットワークの品質の変化を考慮して、サーバ側でも受信機側でもFEC機能のON/OFFができるようにする。

マルチキャストストリームにおいては、サーバ側でFECをOFFにする場合は選局制御情報中の、FEC_modeに0を記載する。受信機側でFECをOFFにする場合は、FECパケットを無視する。

7.1.1.5 Pro-MPEG FECの運用規定

(1) Pro-MPEG FECを使用する場合のRTPヘッダ追加制約

Pro-MPEG FECの規定に従い、メディアパケットのRTPヘッダの運用に関して5.2.2.3項の規定にさらに以下の制約を追加する。

- padding (P) : 0 固定とする。
- extension (X) : 0 固定とする。
- CSRC count (CC) : 0 固定とする。
- marker (M) : 0 固定とする。

この制約および、もとより本運用規定により固定運用となるフィールドにより、受信機においてはこれらのフィールドがFECパケットにおいても0固定となることが自明であるだけでなく、FECの復元処理においてヘッダの復元処理を簡略化することが可能である。

なお、FECパケットのRTPヘッダ中のSSRCについては、メディアパケットのSSRCと一致させることとする。

(2) Pro-MPEG FEC の場合の FEC パケット生成方式/復元方法

まず、Pro-MPEG FECにおけるFECパケット生成方法について説明する。

Pro-MPEG 1D FECやPro-MPEG 2D FECを使用する場合は、RFC2733で定義されたFECヘッダを拡張して使用する。拡張FECヘッダの構成図を図 7-5に示す。

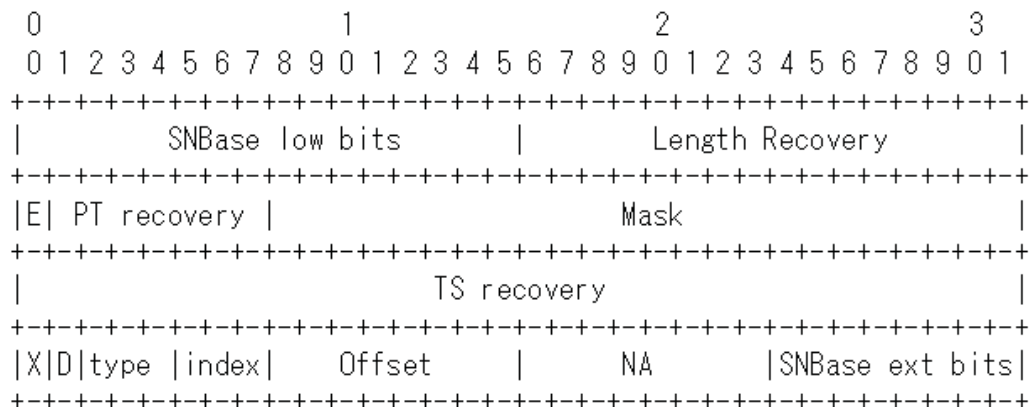


図 7-5 拡張 FEC ヘッダの構成図

拡張 FEC ヘッダの生成方法は以下の通りである。

- SNBase low bits(16bits) : FEC で保護される RTP パケットの最小シーケンス番号のうち、下位 16 ビット。シーケンス番号が 16 ビットで足りる場合はシーケンス番号をそのまま入れる。
- Length recovery(16bits):FEC で保護される RTP パケット長の XOR 値。
パケットを復元する際に、復元するパケットの長さの計算に用いる。
- E(1bit) : ヘッダ拡張のためのビット。FEC ヘッダを拡張するため 1 とする。
- PT recovery(7bits) : RTP ヘッダのペイロードタイプの XOR 演算結果。
- Mask(24bits) : 全て 0 とする。(代わりに NA フィールドを使用する)
- TS recovery(32bits) : RTP ヘッダの TimeStamp 値の XOR 演算結果。
- X(1bit) : 0 とする。(将来のヘッダ拡張のための予約)
- D(1bit) : 縦方向(column)FEC の場合は 0、横方向(row)FEC の場合は 1 とする。
- Type(3bits) : XOR 演算を行うため 0 とする。(XOR=0, hamming=1, Reed-Solomon=2)
- Index(3bits) : XOR 演算の場合は 0 とする。(より複雑な FEC 処理を行うときに使用)
- Offset(8bits) : メディアパケットの周期を示す。縦方向(column)FEC の場合は L、横方向(row)FEC の場合は 1 とする。
- NA(8bits) : 保護しているメディアパケットの数を示す。縦方向(column)FEC の場合は D、横方向(row)FEC の場合は L とする。
- SNBase ext bits(8bits):シーケンス番号が 16 ビットで足りない場合に使用する。MPEG2-TS

の場合は 16 ビットで足りるため、0 とする。

Pro-MPEG FEC(L×D=10×10)の場合の演算を図 7-6 に示す。Pro-MPEG 1D FECの場合は行列の縦方向にFECヘッダならびにFECペイロードの演算を行い、縦方向(column)のFECパケットを10個生成する。Pro-MPEG 2D FECの場合は、加えて横方向に演算を行い、横方向(row)のFECパケットを10個生成する。

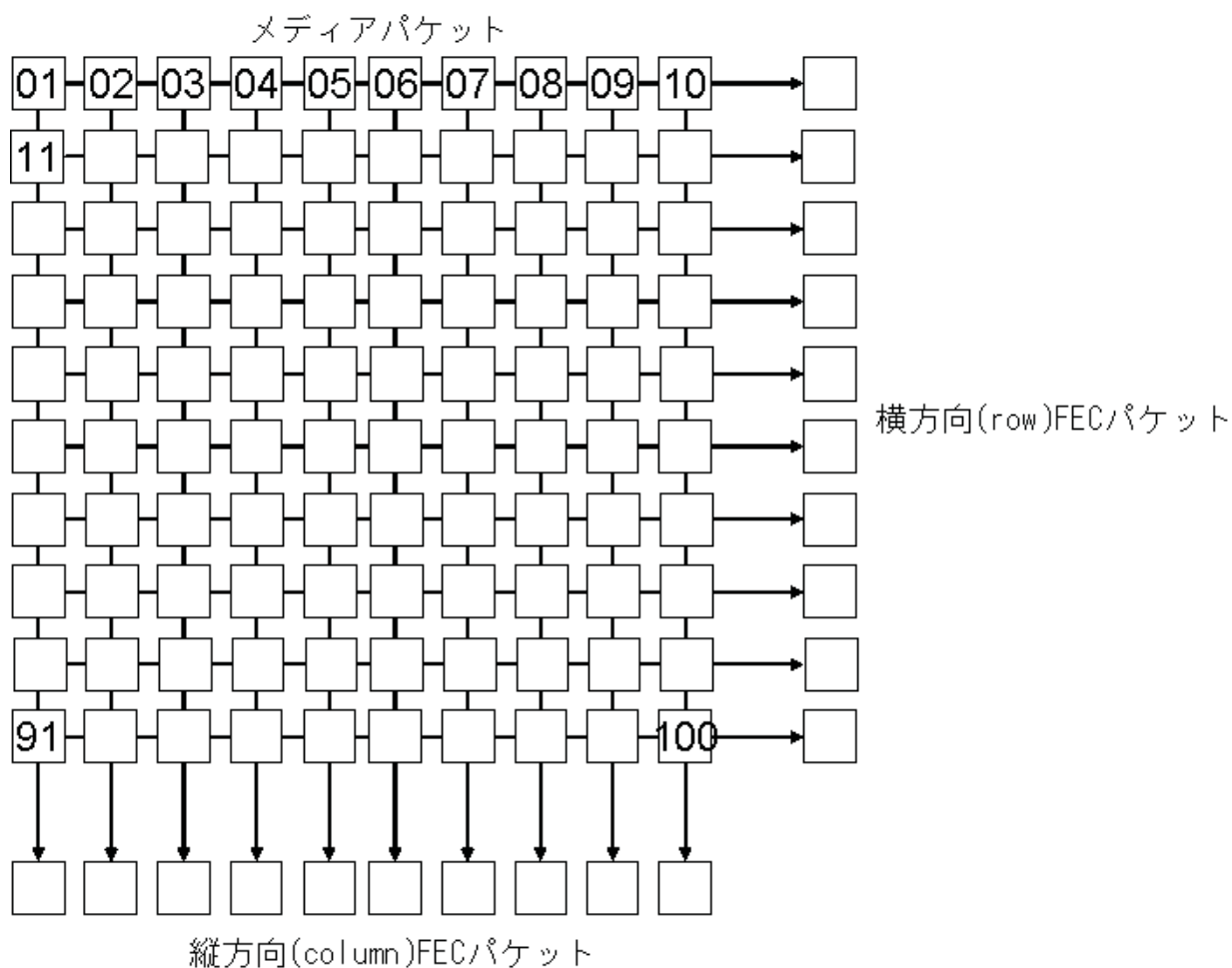


図 7-6 Pro-MPEG FEC の FEC パケット演算

Pro-MPEG 1D FECの場合、縦方向のFECパケットがメディアパケットのポート番号+2で送信され、Pro-MPEG 2D FECの場合は、縦方向に加えて横方向のFECパケットがメディアパケットのポート番号+4を用いて送信されるため、FEC機能を搭載している受信機はそれぞれのポートでパケットを受信する必要がある。Pro-MPEG FEC非搭載の受信機は、FECパケッ

トを無視しメディアパケットのみを受信すればよい。

次にPro-MPEG FECの場合の復元方法について説明する。Pro-MPEG 1D FECの場合、縦方向のパケットはメディアパケットD個+FECパケット1個の計D+1個であり、メディアパケットの1つがパケットロスにより消失しても、メディアパケットとFECパケットを合計でD個受信していれば、上記の手順で残り1個のパケットを復元することが可能である。Pro-MPEG 2D FECの場合、縦方向のメディアパケットD個+FECパケット1個、横方向のパケットはメディアパケットL個+FECパケット1個であるため、それぞれ合計D個、L個のパケットが受信できていれば、復元可能である。パケットの復元は、7.1.1.2「FEC復元処理の方法」の復元方法の演算を縦方向、もしくは横方向に演算することにより可能となる。また、図7-7のように、同じ行もしくは列に2つ以上のパケットロスが存在する場合でも、一旦縦方向の復元を行った後に横方向の復元を行うことによりパケットの復元が可能となる場合がある。

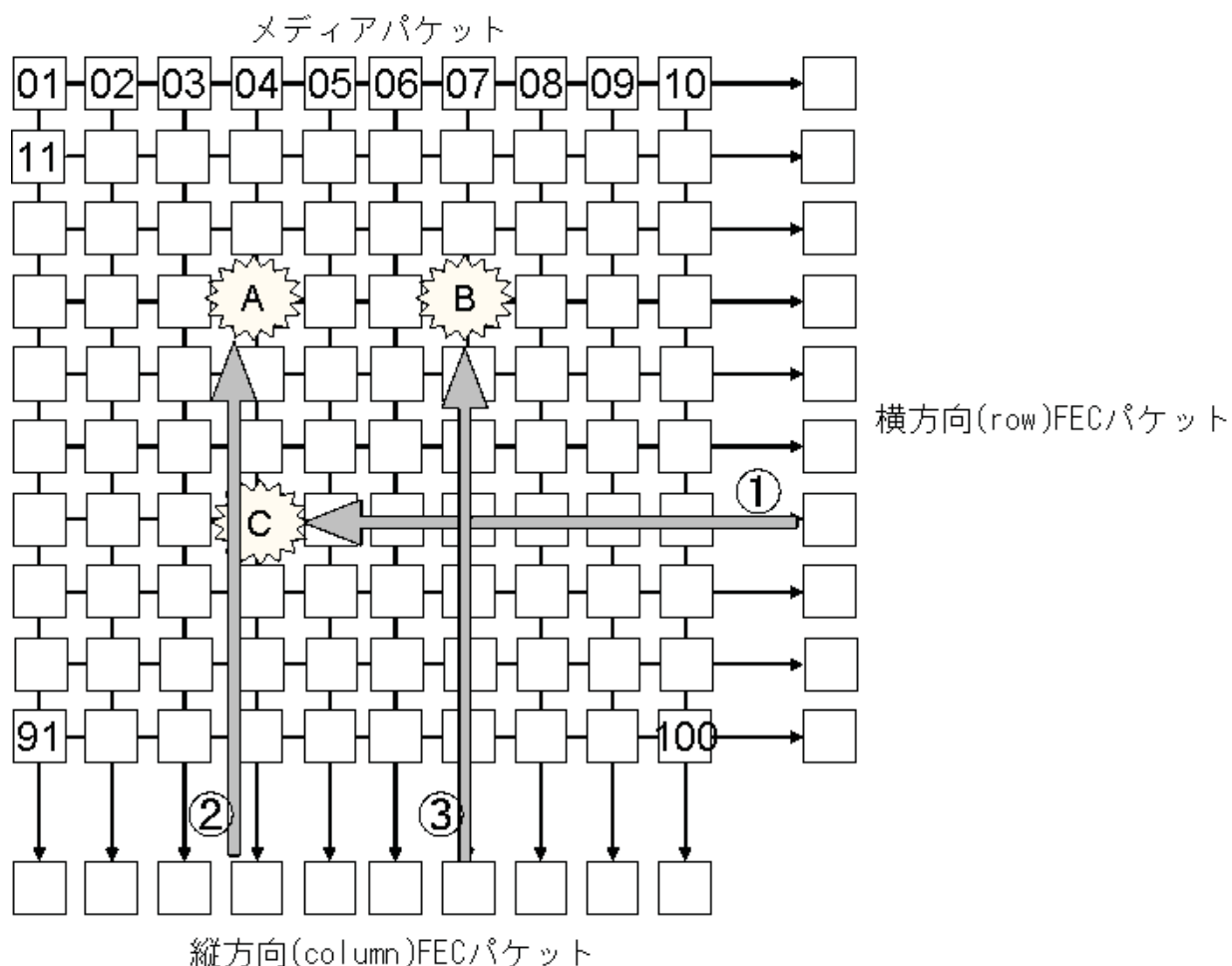


図 7-7 Pro-MPEG 2D FEC の復元

この例の場合、まず横方向の演算①でCのパケットを復元した後、縦方向の演算②、③でA,B

の packets を復元することにより、縦横それぞれで2個以上の packets ロスが発生した場合でも packets の復元が可能となる。

(3) Pro-MPEG FEC の場合の FEC packets 生成・送出タイミングガイドライン

FECによる保護対象となるメディア packets の $L \times D$ の行列は、長方形（正方形）のみを運用する。すなわち、同一行列を保護する L 個の縦方向 FEC packets の SNBase 値は連続した値となるように FEC packets を生成・送出すること。

また、全ての FEC packets は、当該 FEC packets の保護対象となるメディア packets の行列が全て送出し終わった後、 $L \times D + L$ 個後のメディア packets が送出される以前には送出完了するように運用すること。

7.1.2 クロック同期

IP 伝送では電波での RF 伝送と異なり、非同期型通信となることから、明示的なクロック情報の伝播が困難になる。しかしながら、長時間の安定した再生を実現するためには送信側から受信側へ渡るクロック同期の機構が重要である。

IP 伝送では、ベストエフォートな伝送システムとなることから、packets ロス、ジッタ、バーストといった各種のじょう乱を想定した上での堅牢なメカニズムが要求される。

本規定では、性能・精度面、他規格との整合などの観点から ARIB STD-B24 で規定されている、各 TS packets (188 バイト) の先頭に 4 バイトの 27MHz ベースのタイムスタンプを付加したタイムスタンプ付き TS (TTS) を導入する。

IP 再送信サービスにおいては、TTS を用いることとし、付加するタイムスタンプの 27MHz は、該当する TS が持つ PCR と同期したものをを用いることとする。受信機側では、TTS デコード機能を備え、到着した TTS packets をバッファリングするための FIFO メモリに蓄え、タイムスタンプによってもたらされる送出側 27MHz 情報に従属同期したローカルカウンタ値と FIFO 内 TTS packets のタイムスタンプ値を比較することで出力のためのゲーティング処理を行う。

送出側と受信機側での TTS によるクロック同期の様子を図 7-8 に示す。

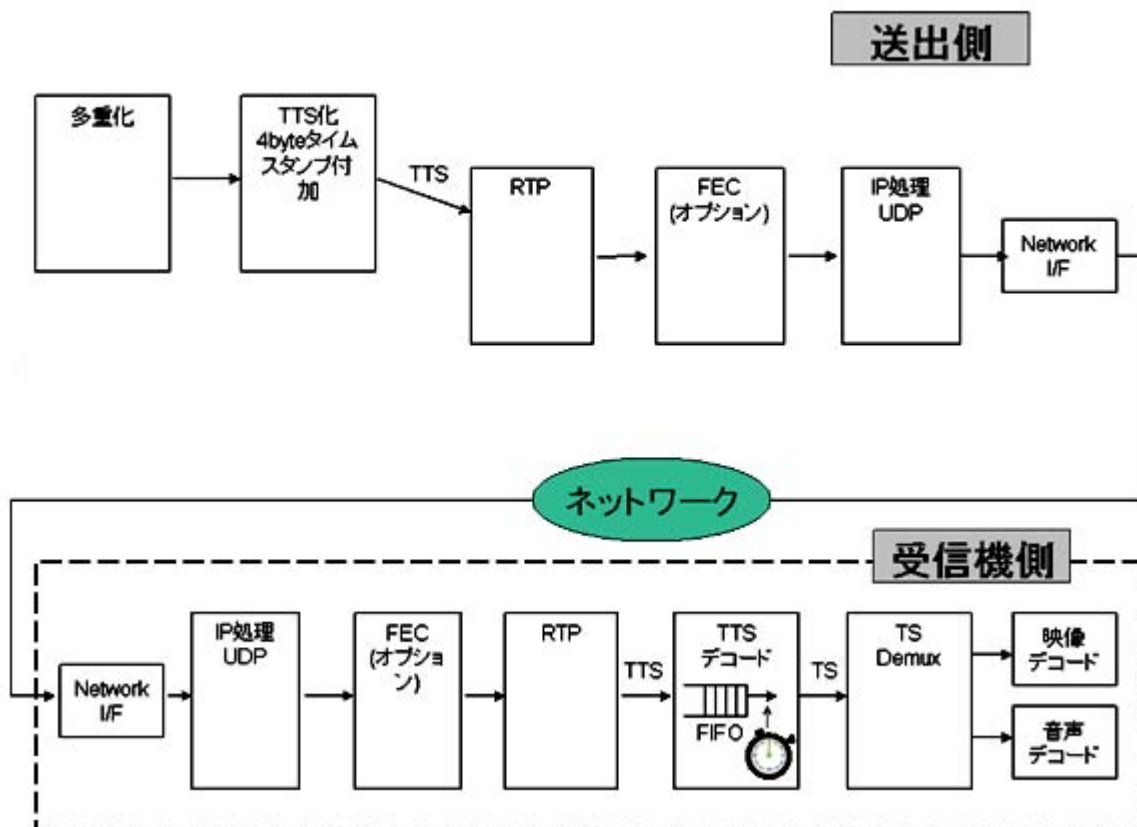


図 7-8 クロック同期に関わるシステム構成

第七編

地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 送出運用規定

7.12 IP 再送信サービス送出運用ガイドライン

IP 再送信サービスの安定した受信再生動作を実現するために、送信側は、IP 再送信サービスの送出設備及びネットワークを介して、以下の式を満たすような形でパケット送出を受信すること想定する。ただし、 x 、 y の値については、下記の値を参考に、受信機メーカー、サービス事業者が個々の商品企画により決めるもので、受信機・サーバの設計指針として要求するものではないがサービス事業者は、本値に基づき運用することが望ましい。

$$T - x \cdot T - y < t < T + x \cdot T + y$$

T : ストリーミング時間[hour]

受信ストリームの任意の 2 点における TTS タイムスタンプ値の時間差分を示す。

t : T 時間に含まれるパケットが実際に IP 再送信サービスの受信機に受信された時間

上記 T で表現された時間範囲に該当するパケットが実際に受信された時間を示す。

x : IP 再送信サービスの送出設備におけるクロックの精度を示す係数[ms/hour]

(注 1)

PCR を生成した際に用いられた system clock 精度が継承されるとき 108 となる。

y : パケット受信時のジッタ[ms]。

送出設備及びネットワークにおけるジッタの合計値である。受信機においてストリーム受信再生動作を安定的かつ迅速に実現するため、100 以下にできることが望ましい。ただし、当面は、送出運用上困難な場合に 300 程度となってしまうことも許容される。

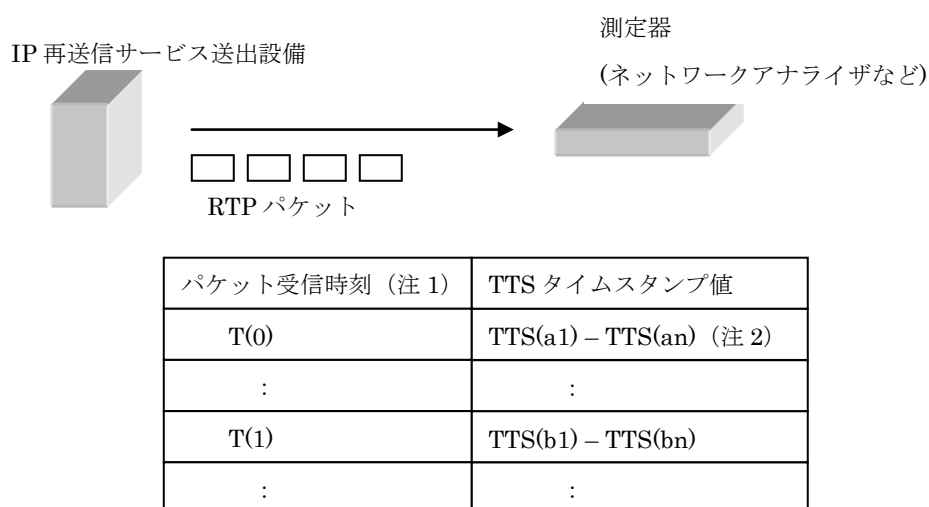
(注 1) この係数には、IP 再送信サービス自体が持つ PCR 精度などのクロック誤差成分は含まれていない。

なお、受信機が受信するパケットのバースト性は、1 秒当たり最大 3125KB (25Mbps※) (但し 50ms 当たり 157KB±100%)とする。

なお、50ms 当たりのバーストは原則どちらか一方に連続しないよう運用すること。

※ TS レート 18Mbps で ProMPEG 2D FEC 実装時のイーサネットパケットでのデータ量

次に、上記ガイドラインを満たすことを確認する方法について一例を挙げて説明する。図 7-3はその測定方法である。IP 再送信サービス送出設備と、ネットワークアナライザなどの測定器を直結し、送出されるストリームを直接ネットワークアナライザにて受信する。受信したパケットに含まれる TTS タイムスタンプ情報と実際にパケットを受信したタイミング情報から、ガイドラインへの適合性を確認することが可能となる。



(注 1) ネットワークの伝送ジッタは考慮していない。また、測定器のクロック精度は誤差範囲としている

(注 2) 1つの RTP パケットには複数の TTS パケットが含まれる

TTS(bn) と TTS(a1)の時間差分を $T(ab)[hour]$ とした場合、
 $T(ab) - 108 * T(ab) - y < T(1) - T(0) < T(ab) + 108 * T(ab) + y$
 となっていることを確認することによって、測定が可能となる。

図 7-3 IP 再送信サービス送出設備の送出品質測定方法の一例

7.13 送信設備状況による一部 ES の非送信

IP 再送信サービスでは、IP 再送信の送信設備の状況により、マルチビューの 2 本目以降の映像 ES や、臨時サービスの映像が送信されないことがある。(9.2 節を参照のこと) また、移動階層や部分受信階層のサービスは本版では規定しないため再送信の対象外となる。

上記のような場合には、送出状況に合わせて PAT、PMT の変更を実施すること