

簡易再生中継方式による衛星通信の高速・高能率化に関する研究開発 (031606002)

A simplified regenerative repeater for broadband and efficient satellite communications

小川 明 名城大学理工学部
Akira Ogawa Faculty of Science and Technology, Meijo University

山里 敬也 名古屋大学エコトピア科学研究所
Takaya Yamazato EcoTopia Science Institute, Nagoya University

研究期間 平成 15 年度～平成 17 年度

概要

本研究では、高速インターネット衛星通信技術のコア部分にあたる衛星内中継方式を簡易に実現できる新しい再生中継方式（簡易再生中継方式）を提案し、試作実験を行い、その有効性を確認することを目的とする。簡易再生中継方式では、衛星内中継交換機能を有しながら、データ部分は AD 変換と蓄積処理のみにとどめて簡易性を保ちつつ、伝送速度や変調方式を問わない柔軟性を有することを特徴としている。また、衛星上ではデータ部分に対する誤り制御を行わないこととする。このことによって、衛星内での処理を軽減できると同時に、高速性と柔軟性が期待できる。一方このために、地球局での誤り制御が鍵を握る。そこで、このような状況でも高い誤り訂正効果が得られる新しい復号法を用い、品質劣化を抑えることを検討した。

Abstract

For the purpose of realizing a high speed and flexible internet satellite communication system, we propose a novel simplified configuration of satellite regenerative repeater. In this repeater the amount of signal processing is limited so that the information data are just AD converted and stored while the processing necessary for the onboard routing is carried out. On the other hand, the complex function of error control is left to the earth stations. We have developed a new decoding scheme that enables to achieve a high quality of transmission. This work is mainly devoted on the feasibility study of such systems.

1. まえがき

インターネットを中心とした広帯域信号の個人利用が趨勢となり、これが情報通信サービスの主流となってきた。このような状況の中で、衛星通信も、広域性、広帯域性の特徴を活かした新しい応用の可能性が出てきた。ただその場合、衛星通信の持つ欠点を克服する必要がある。

例えば、通信衛星は、その搭載通信装置の開発・検証、また打ち上げまでに時間がかかる場合が多い。搭載する通信機器については、急速に技術的進歩が進む中、設計時に最適な解がはたして衛星運用開始後にも最適であるのか、また、魅力的なサービスを提供できるかということがある。そこで現在使用可能な技術を使って、個人利用を目的とし、技術的進歩に対応できる柔軟な広帯域衛星通信システムを検討することが重要となる。この視点から、後述する簡易再生中継衛星通信システムの概念が提案された。

2. 研究内容及び成果

2.1 簡易再生中継方式

衛星での信号処理を最小限に抑え、高速伝送に有利でかつ柔軟性を維持できる構成にすることを考える。この考えに基づき、情報部分については衛星側では完全には再生中継処理を行うことにせず、誤り制御に関する処理についても地球局で行う簡易再生中継方式を提案する。この方式では、衛星側で入力アナログ信号の AD 変換を行い、このデジタルデータを一旦蓄積の後、ルーティング情報に基づき中継する。このようにすることによって、将来の技術進歩に対応できるようにすると同時に、衛星側の処理を軽減することによって高速化を図る。

2.2 実験装置の試作

上記簡易再生中継方式に基づく高速インターネット衛星パケット中継システムの実現を目指して、衛星中継装置

と地球局送受信装置を試作し、室内実験によってその特性を測定した。

2.2.1 パケットフォーマット

パケットフォーマットは、プリアンプル部分とペイロード部分とから成る。プリアンプル部分は、2 相差動位相変調され衛星内で遅延検波される。プリアンプルは、CR 部（クロック再生用）、UW 部（ユニークワード：フレーム同期用）、CTRL 部（ルーティングコントロール用で宛先情報が含まれており、符号化率 9/16 の 2 次元パリティ符号化されている）から成る。

ペイロード部分は、フォーマットを固定する必要はなく、当初はシングルキャリアで高速伝送することで検討したが、市販の AD 変換器では 100Mbps 程度の高速化が困難であることがわかり、マルチキャリアで伝送することも考慮した。それと共に、マルチキャリア方式を採用している既存の高速無線 LAN 方式をそのまま呑み込んで中継伝送することとし、その 1 例として、IEEE802.11a を適用することとした。このようにすることにより、ホットスポット型高速無線 LAN のサービス領域拡大を衛星通信によって実現できる可能性が生まれる。

2.2.2 衛星中継装置

図 1 に衛星中継装置のシステムモデルを示す。衛星局では、まず、地球局から送信された受信信号がダウンコンバートされ IF 信号を得る。この IF 信号を直接 AD 変換し、そのままメモリに蓄える。

一方、プリアンプル部については、非同期直交復調され、ベースバンドで遅延検波される。遅延検波出力からユニークワード (UW) が検出され、フレーム同期が確立される。また 2 次元パリティ符号化された 16 シンボルの CTRL 部からルーティングのための宛先情報が検出されるが、ルー

ティングの信頼度を高めるために、後述のように簡易な誤り制御を行っている。

メモリに蓄えられた受信 IF 信号は、ルーティング情報に基づきスイッチにて振り分けられ、DA 変換と電力増幅を経て、目的地へと伝送される。なお、メモリに蓄えられた受信 IF 信号については、復調操作を行わず、単に AD 変換出力を取り込むのみである。これにより、ペイロードの信号フォーマットには依存せず、中継による信号品質は ADC の性能（サンプルレート、分解能）と電力増幅の非直線性に依存することになる。

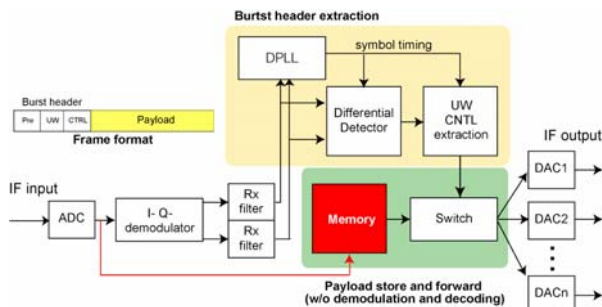


図1 衛星中継装置

2.2.3 地球局装置

地球局装置としては、シングルキャリア方式とマルチキャリア方式の両方について検討を行った。両者ともフレームフォーマットは共通としている。地球局では、誤り制御が重要となる。一般に誤り訂正復号器では、受信信号に対し硬判定（デジタル）ではなく、軟判定（アナログ）受信した方が誤り率特性は良い。しかし、簡易再生中継方式ではAD変換を行うため、通常の軟判定復号だけでは誤り率改善効果が低下する可能性がある。この問題に対し、申請者等は、誤り検出符号の概念の拡張することで、硬判定された信号に対しても軟判定受信と同等の誤り率改善効果が得られる新しい復号法を提案している。

この誤り制御方式では、誤り訂正符号化後に誤り検出符号化を行い、地球局から衛星局へと伝送する。地球局受信側での復号の際には、まず誤り検出復号を行う。この誤り検出の結果に応じて受信ビット系列に重み付けを行う。例えば「誤りなし」と検出された場合は受信ビット系列の信頼性を高くし、そうでない場合は低くする。こうすることで、硬判定ビット系列に対しても軟判定復号を行うことができ、高信頼度の誤り訂正復号が可能となる。

2.3 試作装置の特性

試作した装置を用いて、地球局送信—衛星局—地球局受信の系におけるC/N（搬送波対雑音電力比）に対するビット誤り率特性を測定した。図2に地球局での誤り訂正前と後での測定結果の例を示す。図示されるように、QPSKおよび16QAMの場合にはほぼ所定の特性が得られているが、64QAMの場合には、劣化が大きいことがわかった。これは衛星中継器内のAD変換器の影響によるものと推測される。衛星回線においては、衛星内AD変換器、衛星内電力増幅器、地球局受信AD変換器などの非直線性の影響を受けるが、今後これら非直線性の影響を軽減する対策が重要となる。

プリアンプ部においては、ルーティングで間違えた宛先に配信する確率は極力小さなものとする必要がある。この意味で宛先情報を含む16ビットを1ブロックとするCTRL部でのブロック誤り小さくするため、2次元パリティ符号によって符号化し、軟判定復号によって誤り訂正する。その後2次元パリティ符号の誤り検出能力を利用し

て、誤り検出も行って、誤り検出された場合にはそのパケットを破棄することにした。このようにすることにより、通常のC/N（15dB以上）では、間違えた宛先に配信される確率は十分小さいことを確認した。

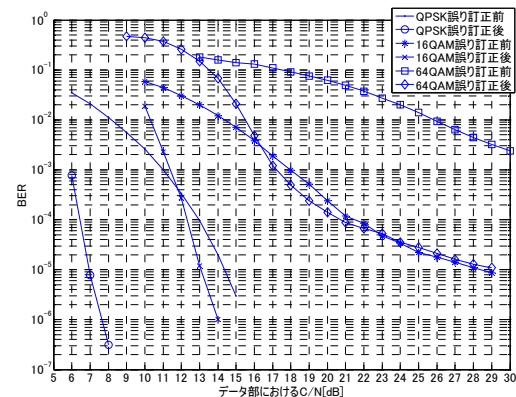


図2 地球局送信・衛星局・地球局受信でのビット誤り率

3. むすび

地上系での高速無線アクセス通信としては、マルチキャリア方式を基本とするホットスポットタイプの高速無線LANやこれよりサービス範囲の広いWiMAX方式などが登場しているが、これらを衛星通信によってサービス範囲を拡大することが考えられる。この場合にどのような地上系方式にも対応でき、且つ衛星上でルーティング機能を有することが望ましい。今回の研究で提案された方式は、このようなシステムの実現に役立つものであり、衛星通信の新しい役割を示唆している。

ただ解決すべき問題点も残っており、特にマルチキャリア方式は信号の振幅変動が大きく、伝送路における非直線性の影響を受ける。本システムにおいても、地球局電力増幅、衛星中継器でのAD変換器、衛星電力増幅器、地球局受信におけるAD変換器などの非直線の影響は、衛星通信の厳しい電力条件と相俟ってシステム特有の問題点として指摘でき、この非直線性の影響解明とその緩和対策の研究は極めて重要と考えられる。本研究で開発された試作装置は、このような研究の特性評価のためのプラットフォームとして機能し得る。

【誌上発表リスト】

- [1] T. Yamazato, A. Ogawa, “A Simple Regenerative Repeating Process for Broadband Communication Satellite”, 23rd AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2005), MOD-1-1, Rome, Italy, 2005年9月
- [2] 山里敬也, 桑村秀嗣, 小川明, “衛星側での処理を簡略化した簡易再生中継伝送へのOFDM方式の適用”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.SAT2005-53, pp.23-28, 金沢, 2006年2月
- [3] 斎木俊輔, 桑村秀嗣, 小川明, 山里敬也, “簡易型衛星中継器における制御信号の誤り制御について”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.SAT2005-54, pp.29-32, 金沢, 2006年2月

【登録特許リスト】

- [1] 山里敬也, 小川明, 内藤進, 誤り訂正符号化復号化装置、日本、2002-07-12、2004-02-12、特開2004-48400