

ネットワーク仮想化技術の研究開発 (ネットワーク仮想化統合技術の研究開発)

Research and Development of Network Virtualization Technology
(Research and Development of Network Virtualization Integration Technology)

研究代表者

桐葉 佳明 日本電気株式会社
Yoshiaki Kiriha NEC Corporation

研究分担者

東條 弘[†] 佐藤 陽一^{††} 坂本 健一^{†††} 林 瑞泰^{††††}
Hiroshi Tohjo[†] Youichi Sato^{††} Kenichi Sakamoto^{†††} Mizuyasu Hayashi^{††††}
[†]日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所 ^{††}NTTコミュニケーションズ株式会社
^{†††}株式会社日立製作所 ^{††††}富士通株式会社
[†]NTT Network Innovation Laboratories ^{††}NTT Communications Corporation
^{†††}Hitachi, Ltd. ^{††††}Fujitsu Limited

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

概要

クラウドサービスの拡大やスマートフォンの普及などにより、ネットワーク（以降、NW）サービスへのニーズが多様化している。また、データセンター（以降、DC）間の NW や DC とユーザを接続する NW といった広域 NW においても、ユーザに対するサービス品質を保証しつつ、サービス提供のリードタイムを短縮したいという要求が増えている。しかしながら、広域 NW を介した NW サービスは光 NW や無線 NW など多種類の NW に跨るため、様々なサービス要件を満たす NW を構築し、迅速にサービスを開始することはこれまで困難であった。本プロジェクトでは、広域 NW に対して SDN (Software-Defined Networking) 技術を適用することにより、その解決を目指す。具体的には、個々の NW をオブジェクト指向のデータモデルで抽象化表現し、NW オブジェクトを管理・操作する NW 統合制御基盤を中心に、(1) 統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術、(2) 仮想ネットワーク運用管理技術、(3) 仮想ネットワーク対応ノード技術の三課題に対する研究開発を行なった。本プロジェクトの成果を利用することにより、アプリケーションに特化したソフトウェアを用いて短時間で最適な NW を構築し、サービスを提供することが可能となる。

1. まえがき

クラウドサービスの拡大により、ネットワークを利用するアプリケーションが増加し、またスマートフォンの普及による利用者数の急増に伴い、ネットワークサービスへのニーズが多様化している。クラウドサービスを提供するデータセンターでは、サービスが変化するスピードに対して、ネットワークの構築や変更に必要な時間を如何に短縮するかが課題となっている。このため、データセンター内・データセンター間のネットワークを対象に SDN を導入し、ネットワークの構築や変更を柔軟かつ迅速化することで、サービス提供までのリードタイムを短縮しようとする動きが強まっている。さらに今後、企業における事業継続基盤の強化やグローバル化が一層進むことにより、世界中に分散するデータセンターとユーザとの連携も広範囲かつより深化されたものになる。その結果、データセンター間のネットワークやデータセンターとユーザを接続するネットワークなどの広域ネットワークにおいても、ユーザに対するサービス品質を保証しつつ、サービス提供のリードタイムを短縮したいという要求が増え、広域ネットワークに SDN を適用する機運が高まるものと考えられる。

しかしながら、一般的に広域ネットワークを介したネットワークサービスは、光ネットワークや無線ネットワークなど多種類のネットワークに跨る通信サービスより構成されるため、サービスの設計・構築・運用をネットワーク毎に個別に行なわざるを得ない。その結果、これまでは様々なサービス要件(ネットワークの性能要件、プロトコル要件、処理要件など)を満たすネットワークを構築し、

迅速にサービスを開始することが困難であった。また、既存の広域ネットワークでは、ネットワーク種別(レイヤ)毎にネットワーク装置と運用管理システムが存在し、かつ各レイヤで別々に運用管理が行なわれてきた。これにより、下位レイヤで障害が発生した場合など、上位レイヤの運用管理者が、実際の障害箇所を迅速に特定して対処することは困難だった。同様に、サービスに対してネットワーク資源を割り当てる場合なども、全てのレイヤを通じて低コストかつ高性能な資源を組み合わせるサービス構築コストを最適化することは困難であった。

上記の課題を解決するためには、ネットワーク資源を共有する複数の通信事業者やサービスプロバイダが、それぞれの目的に合わせて自由にネットワークを設計、構築、運用管理できる機能を備えることが望ましい。そこで我々は、広域ネットワークに対して、ネットワークを構成する要素(通信機器など)をソフトウェアによって集中的に制御し、ネットワークの構造や構成、設定などを柔軟かつ動的に変更できる SDN 技術の適用を目指している。広域ネットワークを対象とした SDN では、広域ネットワークを構成する多様なネットワークの相違を吸収する必要がある。本プロジェクトでは、個々のネットワークをオブジェクト指向のデータモデルで抽象化表現し、オブジェクトを処理するオペレータ機能をユーザの特性に合わせて拡張することで対応した。これにより、きめ細かなキャリア向けネットワークからアプリケーションプロバイダがタイムリーに利用する手軽なネットワークまで、柔軟かつ動的なネットワーク制御・運用管理が可能な技術を実現できる。本研究開発における広域ネットワークのアーキテクチャの概要

を、図 1 に示す。

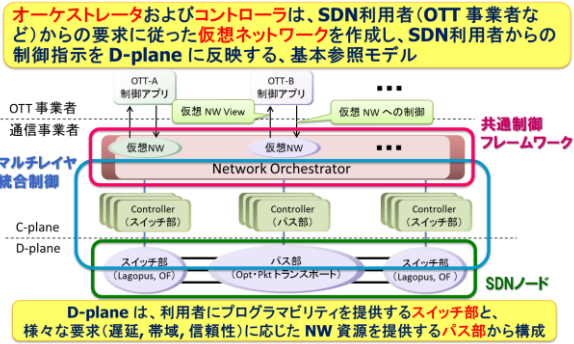


図 1 O3 アーキテクチャ概要

以下、本プロジェクトでは、ネットワークオブジェクトを管理・操作するネットワーク統合制御基盤を中心に、以下の三課題の研究開発を行なった(図 2)。

(1) 統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術
経路をフローにより共通モデル化する共通制御フレームワーク技術をベースに、仮想ネットワークを含むマルチレイヤ (OpenFlow/光コア/パケットネットワーク) におけるイベントやリソースの動的統合制御技術および SDN 技術の運用を効率化する SDN 運用評価ツールの研究開発

(2) 仮想ネットワーク運用管理技術
障害可視化 (グローバルビュー) 技術、障害箇所特定技術および多重障害復旧技術の統合化

(3) 仮想ネットワーク対応ノード技術
無線トランスポート網およびモバイル網の SDN 制御技術、汎用 PC サーバ上で動作する有線系ヘテロネットワーク連携ソフトウェアノード/制御ドライバの拡張およびデータの属性に応じて最適な回線レイヤ/波長レイヤを選択するマルチレイヤ制御技術の研究開発

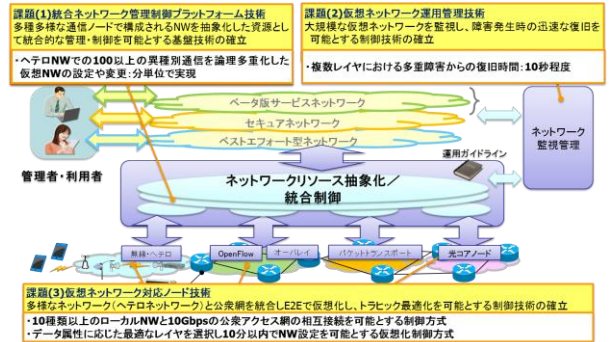


図 2 研究開発全体概要

次章にて、各研究開発内容及びその成果を述べる。

2. 研究開発内容及び成果

2.1. 統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術

統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術では、公衆網におけるトラフィックの増大や多様化に対応し、柔軟かつ迅速にネットワークを構築/運用管理するためのネットワーク資源抽象化および抽象化された資源を仮想テナントネットワークとして制御する技術の実現を目指した。本課題では、経路の設定をフローとして共通モデル化する共通制御フレームワーク技術、仮想ネットワークにおけるリソース分離制御技術、障害に関するイベントと状態情報を抽象化資源情報と関連付けた動的な管理技術、動的な光コ

アネットワーク制御を実現するマルチレイヤ光パス管理技術および SDN 技術を適用するという観点から運用を効率化する SDN 運用評価ツールの研究開発に取り組んだ。本研究開発では、基本計画において目標とした機能の基本検討/試作/基本検証を通じ、最終年度に向け、その実現性を確認した。

2.1.1. SDN 運用評価技術

本通信事業者が管理する公衆網規模のネットワークへ SDN 技術を適用するという観点から、ネットワークの設計・構築・運用における要件や課題の抽出、評価を行い、運用を効率化するための「SDN 運用評価ツール」を試作した。また、抽出した要件や課題、SDN 運用評価ツールの評価結果等に基づき、SDN 技術を適用するための指針や基本的な考え方を体系的に整理して、「SDN ガイドライン」を作成した(図 3)。

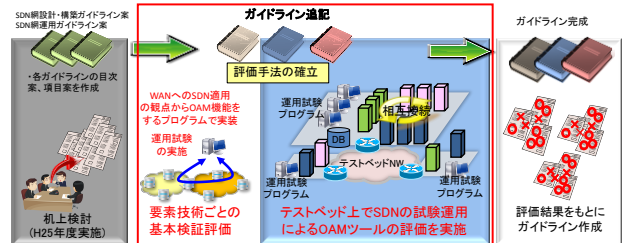


図 3 SDN 運用評価技術の検討の進め方

SDN 運用評価ツールの試作では平成 25 年度に実施した机上検討の結果に基づき、平成 26 年度は「トポロジディスカバリツール」を作成した。平成 27 年度は「Continuity Check (CC) ツール」、「Link Trace (LT) ツール」、「Loop Back (LB) ツール」からなる「OAM (Operation Administration and Maintenance) フロー試験ツール」を作成した。各ツールは検証・評価を行い、作成したツールが有用であることを確認した。作成したツールは平成 27 年度にオープン化を行った。

SDN ガイドラインの作成では平成 25 年度に検討した骨子に基づき、平成 26 年度は「設計・構築フェーズ編」を作成した。平成 27 年度は「運用・監視フェーズ編」を作成し、SDN ガイドラインの充実を図った。作成したドキュメントは平成 26 年度及び平成 27 年度にオープン化を行った。

また、NTT コミュニケーションズが構築したテストベッドについては、共同研究各社の研究開発において各種検証等で有効に活用された。

2.1.2. OpenFlow ネットワーク統合資源制御技術及び共通制御フレームワーク技術

本研究開発では、ネットワーク資源を統一的に制御可能なモデルへ抽象化し、これらに対する単純な演算機能の組み合わせで、種別の異なるネットワークを共通制御できる技術(図 4)の開発を目指している。その実現に向け、下記のテーマに取り組んだ。

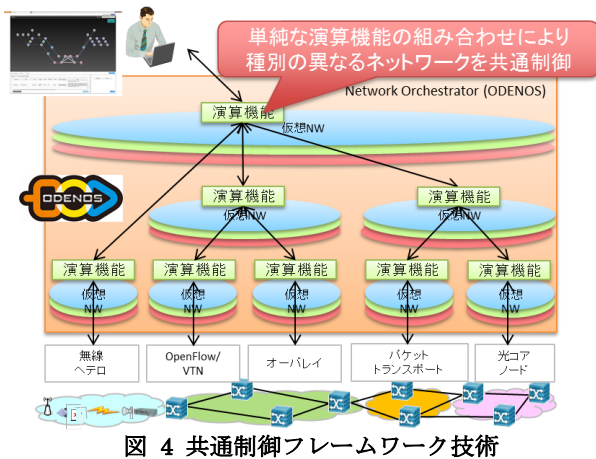


図 4 共通制御フレームワーク技術

(1) 共通制御フレームワーク

統合制御プラットフォームから仮想テナントネットワークモデルを採用する OpenFlow ネットワークを管理、制御するための方法について検討し、試作検証をおこなった。統合制御プラットフォームが提供するネットワークモデルに VTN のモデルの属性をマッピングして、統合制御プラットフォームのオペレーションにより、VTN モデルのコントローラ(UNC)への設定が反映されること、また、UNC から取得した物理トポロジ情報、フロー情報を統合制御プラットフォームで扱えることを確認した。

共通制御フレームワークにて、経路の設定をフローとして抽象化モデルで定義することで、抽象化モデルの単純な演算機能の組み合わせで、種別の異なるネットワークの共通制御が行えることを確認した。

(2) 冗長パス管理機能

冗長パスのモデルとそれを用いたパス制御方式、およびマルチレイヤネットワークにおけるリソース提供方式を作成し、エミュレーション環境において各方式の動作を実証した。また、共通制御フレームワークを用いたコントローラについて、エミュレーション環境において性能評価を行った。評価により 1000 ノードからなるマルチレイヤ・マルチドメインネットワークにおいて、スライス 100 個を約 370 秒で構築可能なスケラビリティを持つことを確認した。

(3) スライス間接続機能

プログラマブルな広域ネットワークを利用するユースケースとして、異なるデータセンタ上に構築されたスライス間のオンデマンドな相互接続を実現するために必要な要件について整理/定義を行なった。また、共通制御フレームワークを用いて本要件を満たす試作を行ない、2,000 スイッチ以上で構成される広域ネットワークを対象とした評価により、三つのデータセンターを相互接続する WAN スライス 100 面を約 7 分強で構築可能なスケラビリティを実現できていることを確認した。

これらの研究開発を通して、異種のネットワーク技術から構成される 1000 台規模の大規模ネットワーク上において、品質などの要求が異なる 100 以上のスライスを 10 分以内に構築可能であるという目標を、達成していることを確認した。

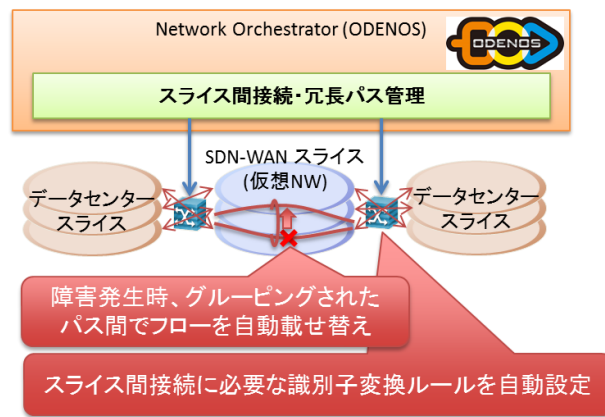


図 5 スライス間接続・冗長パス管理

2. 1. 3. パケットネットワーク抽象管理技術

本研究課題は、ネットワークが多数の通信機器が階層的に配備され、複雑化が進んでいるという環境において、サービスの仕様変更や大幅なトラフィック変動に対し、ネットワーク全体が柔軟かつ迅速に対応するために、各階層のネットワークシステムがお互いに連携しながら資源構成を動的に変更するような、統合的な仮想ネットワークの管理・制御を実現することである。そのためには、複数のネットワークを互いに関連付けて一元的に管理可能とすることが必要である。複数のネットワークを一元的に管理するためには、ネットワークの構成や障害、性能の管理情報について、各々のネットワーク毎の違いを隠蔽しつつ、必要な情報を統一されたインタフェースで参照可能とする、ネットワーク資源の抽象化管理技術が必要となる。

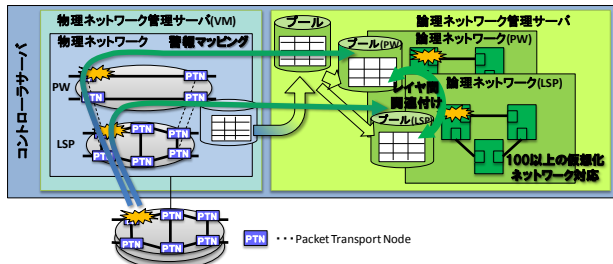


図 6 パケットネットワーク抽象管理技術

本研究開発では、統合化パケットネットワーク資源抽象化管理技術並びに、パケットネットワークイベント管理制御技術を確立することを最終目標とする。最終目標に向けて、スケラブルなパケットネットワークの構成に関する抽象管理技術の基盤となる要素技術の検証を行い、他レイヤネットワークと関連付け可能な、統合化パケットネットワークの管理モデルの実現およびネットワークイベント管理制御技術を確立することを目標とした。

最終目標に対して、統合的にパケットネットワークを管理可能な抽象モデルの規定、及び、管理技術の開発を実現することが出来た。

2. 1. 4. 光コアネットワーク統合資源管理技術

固定や無線の種々のアクセス網及びコア網を統合したネットワークにおいて、1000 台規模の多種多様な通信機器により構成される複数種別の物理ネットワークの上に、100 以上の品質等種別が異なる通信を論理多重化した仮想ネットワークの設定や変更を分単位で実現するため、他レイヤのネットワークと連携して動的に資源を管理・制御する光コアネットワーク統合資源管理技術の開発を行った。

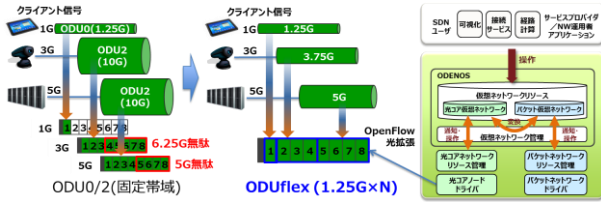


図 7 光コアネットワーク統合資源管理技術

本目標を達成するために、平成 25 年度においては、統合共通制御フレームワークに必要な制御機能の抽出と、光コア SDN アーキテクチャの検討を実施した。また、パケットネットワークおよび光コアネットワークを統合的に設定するための方式検討と実装評価を実施した。

平成 26 年度においては、動的な光コアネットワーク制御を実現するためのマルチレイヤ光パス管理技術の開発、異なる通信を論理多重できるスライス生成技術、オンデマンドに光パスを提供するリソースプール化技術の検討を行い、統合共通制御フレームワークへの実装と評価を完了した。マルチレイヤ光パス管理技術に関しては、ホップバイホップ光パス、回線(ODU: Optical Channel Data Unit)レイヤカットスルーパス、光(OCh: Optical Channel、波長)レイヤカットスルーパスの 3 種類の接続方法を選択できるように、統合共通制御フレームワーク上の光コアネットワーク管理機能へ実装した。スライス作成技術に関しては、光コアネットワークを 2 つの異なるネットワークに分割する光 slicer の実装を完了した。リソースプール化技術に関しては、光ネットワーク資源を事前にプール化する機能の検討と実装を完了した。また、OpenFlow プロトコル回線拡張仕様を ONF に提案し、EXT-445 (Extension to OpenFlow Protocol to support OTN Electrical connections)として合意された仕様を実装した。これらの技術を実装したシステムを大手町環境で評価を行い、リソースプール機能を併用することで、1 秒以下で光パスを設定できることを確認した。さらに、平成 25 年度に開発した光コアネットワーク制御ソフトウェアを、本委託で開発した共通制御フレームワーク ODNOS に実装し、オープンソース化することを実現した。

平成 27 年度においては、平成 26 年度に開発した光コアネットワークのリソース管理技術および光パス設定技術の実用性を検証した。そのためにまず、物理ネットワークを持たないサービスプロバイダでも、仮想的にネットワークリソースをオンデマンドで調達・利用を可能とするユースケースを策定した。そのユースケースをベースに、サービスプロバイダ等の上位レイヤから要求される異なる速度が混在した帯域を収容するために、複数の上位レイヤのリソース管理機能と連携した光コアリソース管理技術を開発した。異なる速度が混在した帯域の収容方法として、 $N \times 1.25\text{Gbps}$ 粒度で要求帯域を収容できる ODUflex 機を利用し、対応の光コアリソース管理機能の実装を完了した。評価検証として、上位レイヤからのヘテロな帯域要求に対し、適切な ODU パスを 3 秒以内で設定できることを確認した。

2. 2. 仮想ネットワーク運用管理技術

仮想ネットワーク運用管理技術では、SDN 技術の公衆網への適用に向け、複数レイヤ間や既存ネットワークを含む他ネットワークとの相互連携および大規模仮想ネットワークの監視・管理機能や高信頼化技術の実現を目指している。

平成 27 年度は、これまでに開発した障害可視化(グロ

ーバルビュー)技術、障害箇所特定技術および多重障害復旧技術の統合により、100 以上の仮想ネットワークから構成される環境において、多重障害から 10 秒程度にて復旧する技術の確立に取り組んだ。

本研究開発では、基本計画において目標とした機能の基本検討/試作/基本検証を通じ、最終年度に向け、その実現性を確認した。

2. 2. 1. マルチレイヤネットワークのグローバル監視制御技術

本研究課題では、複数のレイヤから構成されるパケット多重ネットワークを対象とし、100 以上の仮想ネットワークが設定された環境における多重障害から 10 秒程度にて復旧することを最終目標とする。本最終目標を達成するため、(1)複数のレイヤから構成されるネットワークの状況を可視化するグローバルビュー(障害可視化)技術、(2)可視化されたネットワークの警報情報から多重障害の部位を特定する障害箇所特定技術、(3)特定した多重障害に対して統合的な復旧を実行する多重障害復旧技術を開発する。

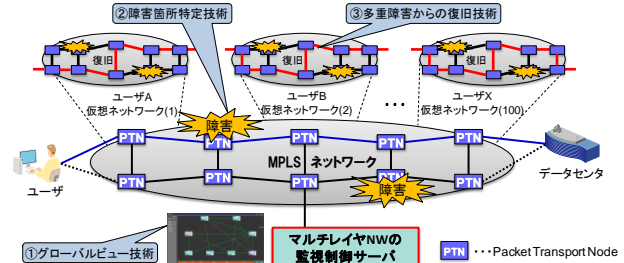


図 8 100 仮想ネットワークにおける障害復旧の概要

平成 27 年度は、これまでに開発した(1)グローバルビュー(障害可視化)技術、(2)障害箇所特定技術、及び(3)多重障害復旧技術を統合し、100 以上の仮想ネットワークから構成される環境において、多重障害から迅速に復旧できることを目標とした。具体的には、100 以上の仮想ネットワークを構成した場合、設定されたデータ伝送パス及び管理する仮想ネットワーク数が増加し、発生する警報数や復旧のための設定制御が増加するため、通信装置レベルの小規模な障害から多数の仮想ネットワークに障害が発生するような大規模な障害までスケラブルに対応し、且つ障害発生前と同等な品質の通信品質を提供する、迅速な多重障害復旧を確立することとした。

第 1 の課題であるグローバルビュー(障害可視化)技術の研究開発において、ネットワーク全体をエリアに分割して管理を実行し、LSP(Label Switched Path)と PW(Pseudo Wire)から構成されるネットワークに対する障害発生を可視化するビューワー技術を開発した。第 2 の課題である障害箇所特定技術の研究開発において、通信装置や通信装置間リンク、及びエリアに対する障害特定技術を開発した。第 3 の課題である多重障害復旧技術の開発において、想定される障害に対する復旧設定をネットワーク管理サーバが事前に算出及び各通信装置へ通知し、各通信装置は検出した障害の状況に対応した復旧設定を選択適用することにより、迅速に多重障害を復旧する技術を開発した。また、前記の 3 技術を統合実装したプロトタイプシステムを開発した。

100 仮想ネットワークを構成した環境において開発方式を評価した結果、障害発生から平均約 4 秒程度にて多重障害の復旧設定が可能なることを検証し、最終目標を達成した。

2. 2. 2. 仮想ネットワークトラフィック管理技術

クラウドサービス利用の拡大、スマートフォンの普及、センサ情報の活用の進展等に伴うネットワーク利用環境の変化や、これらを活用した情報通信サービスの多様化が進んでいる。このような仮想ネットワーク上に構築されるビッグデータを利活用した多種多様なアプリケーションサービスを安心・安全に提供するためには、セキュアな仮想ネットワークを提供することが重要である。そこで本研究開発では、トラフィック異常を高精度に分析し早い段階で検出を行うリアルタイム処理性能と、多種多様なアプリケーションサービスへの対応を可能とするトラフィック処理条件を動的に変更可能な柔軟性を有するトラフィック管理システムの実現を目標として、平成 25 年度に本研究活動をを行った。

平成 25 年度は、仮想ネットワーク単位にトラフィック情報を生成する技術と大量に生成されるトラフィック情報の集約・加工処理技術に関して、基本方式の検討ならびに試作による有用性の検証を行った。トラフィック情報の集約・加工処理を実現する情報処理ノードに関して、処理ルールの配備方式を考案し、トラフィック情報を 1/5 に削減できることを確認した。また、1000 台規模のネットワーク適用に向けた負荷分散の方式検討により、1000 台規模のネットワークにおいて、トラフィック情報を削減することで監視周期を 1/10 に改善する最終目標の達成見込みが得られた。

2. 2. 3. 仮想ネットワーク信頼性管理技術

ネットワーク仮想化技術によりネットワークは、その経路や動作をソフトウェアにより制御されることで、多種多様なネットワークを迅速かつ柔軟に構築することが可能になる。一方で、通信到達性やネットワーク設定状態の一貫性を保証しネットワークの信頼性を確保することが不可欠である。そこで、本研究開発では、仮想ネットワークを構成するための仮想ネットワーク設計情報や、物理ネットワークの構成情報から、ネットワークにおいて喫緊の障害（例えば、パケットの不達、ループ経路の発生、帯域不足等）を高速に検出するための仮想ネットワーク検証・テスト技術を確認することを最終目標として、平成 25 年度に本研究活動をを行った。特にパケットの不達やループ経路の発生という経路に関する定性的性質を検証する経路検証と、帯域不足等の定量的な問題を扱う帯域検証の二種類の検証技術の研究に取り組んだ。

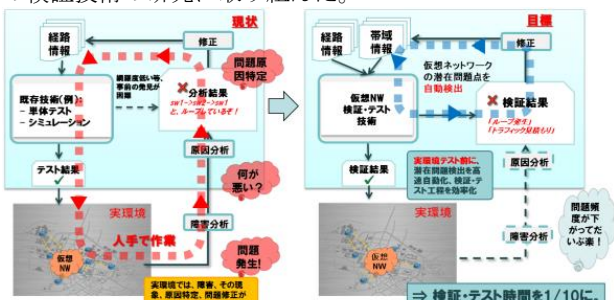


図 9 仮想ネットワーク検証・テスト技術がもたらす効果

本研究活動は、まず、仮想ネットワーク検証・テスト技術の基本方式の検討を行い、方式の実現可能性を目標とし、研究開発を遂行した。その結果、仮想ネットワークが経路的に問題が無いかを検証する経路検証技術の基本方式を策定し、プロトタイプをもとに実現可能性を確認した。また、その高速化方式を考案し、本高速化方式により従来方式より 10 倍の高速化を確認した。また、帯域検証におい

ても基本方式を確認するとともに、プロトタイプにより実現可能性を確認した。また、高速化方式を考案、実装し、帯域問題の検出に要する時間を 1/17 に短縮することを確認した。

2. 3. 仮想ネットワーク対応ノード技術

ネットワークノード仮想化技術では、ビッグデータ流通基盤の実現に向け、データの特性に合わせてローカルネットワーク/アクセスネットワーク/コアネットワークを仮想化/最適化できる SDN 対応ネットワークノード技術の実現を目指している。

本研究課題では、無線トランスポート網およびモバイル網における SDN 制御技術の確立、汎用 PC サーバ上で動作する有線系ヘテロネットワーク連携ソフトウェアノードおよび制御ドライバの拡張による有線系 10 種類以上のローカルネットワーク収容/相互接続と 40Gbps 級スループットの達成、およびデータの属性に応じて 10 分以内に最適なレイヤを選択してデータ転送を実現するマルチレイヤ制御方式の確立に取り組んだ。

本研究開発では、基本計画において目標とした機能の基本検討/試作/基本検証を通じ、その実現性を確認した。

2. 3. 1. 無線系ヘテロネットワーク連携ノード制御及びドライバ技術

本研究では、無線トランスポート網の SDN 制御技術の確立およびモバイル網の SDN 制御技術の確立と、両技術を組み合わせた実証実験システムの構築と、そのシステム上にてビッグデータの情報源となるセンサ、カメラ、スマートフォン等の通信を発生させ、性能評価を行った。実験の結果、複数種類のローカルネットワークの収容や相互接続が可能であること、また、無線トランスポート網内での帯域劣化に連動し優先度に応じた経路制御が機能することを確認した。

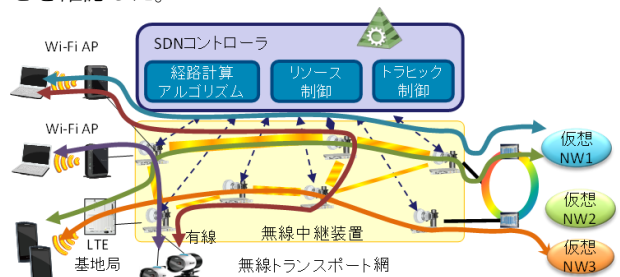


図 10 無線系ヘテロネットワーク制御方式の概要

今後、これまでの音声やデータのトラフィックだけでなく、IoT (Internet of Things) のトラフィックが伸びると予想されているところ、本研究成果を用いることにより、効率的な伝送が実現できると期待される。また、今回は無線トランスポート網の天候変動を評価対象としたが、大規模災害により通信回線が影響を受けた場合にも、音声や重要データを優先させた経路制御への応用が期待される。

さらに、世界的なモバイル網の高速化に伴い、無線トランスポート装置もミリ波帯の利用が増えるため、天候の変動への影響が懸念されており、このような場面において無線トランスポート網の SDN 制御技術の活用が期待される。Connected Car と呼ばれる IoT の一用途では、リアルタイム性も重要視されている中、既存のモバイル網と連動したモバイルエッジコンピューティング技術が求められているところ、モバイル網の SDN 制御技術の活用が期待される。

このように、無線系ヘテロネットワークとして無線トランスポート網およびモバイル網を対象に本研究開発にて確立した SDN 制御技術は、統合システムとしてだけではなく、個別システムとしての応用・発展も期待される。

2. 3. 2. 有線系ヘテロネットワーク連携ソフトウェアノード構成技術とドライバ技術

異なる複数の有線系ローカルネットワークを収容し、高速に公衆アクセス網へ相互接続させることを実現する、有線系ヘテロネットワーク連携ソフトウェアノード構成技術と上位制御・管理システムから制御を可能にさせるドライバ技術の研究開発を行い、実施計画通り、10Gbps 回線に対応し 10 種類以上のローカルネットワークとの相互接続とデータ流通を実現し、成果目標を達成した。

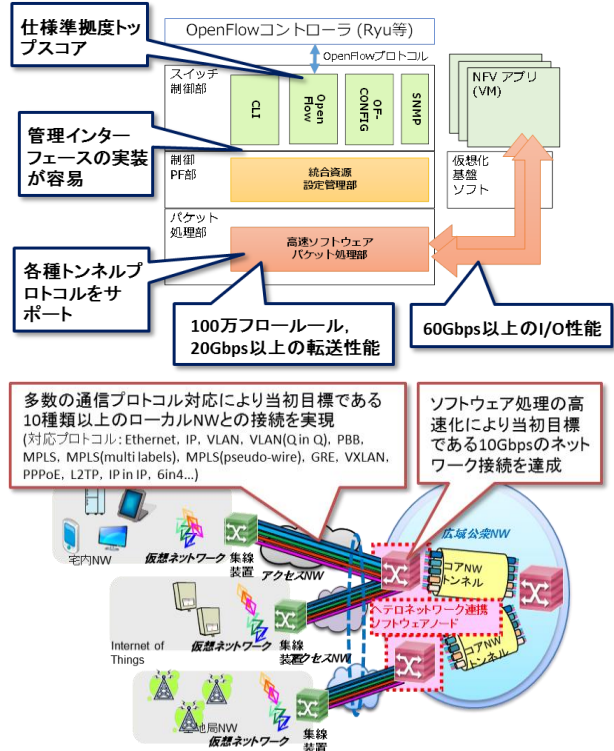


図 11 本課題の研究開発の成果

汎用 PC サーバ上で動作する有線系ヘテロネットワーク連携ソフトウェアノードと制御ドライバを検討し、有線系プロトコル処理の機能拡張と対応プロトコルの拡充を行い、有線系の 10 種類以上のローカルネットワークの収容と相互接続を可能にした。また、内部の packets 処理部のベンチマークと最適化を行い、10Gbps 回線の速度を超える 40Gbps 級スループットを達成し、超高速にローカルネットワークと公衆アクセス網への接続を可能にした。さらに、広域網への適応を可能にすべく、OpenFlow switch の仕様を拡張し、SDN コントローラやアプリケーションによるトンネルプロトコルの処理を制御可能にした。

NFV における高性能な packets 処理を実現するため、バーチャルマシン型仮想化環境に加え、コンテナ型仮想化環境に対応し、NFV アプリと仮想ソフトウェアスイッチ間を高速かつ低オーバーヘッドに接続する、仮想ネットワークインターフェースカード機構を検討した。60Gbps 以上のネットワーク I/O スループットを達成し、公衆網での長期運用を支援する機能も具備させた。さらに、大規模公衆網での適応を考慮し、有線系ヘテロネットワーク連携ソフトウェアノードの高可用性、高信頼化、運用高度化を実現

するため、拡張可能なソフトウェアノードの設定・管理機構を実現し外部システムとのさまざまなソフトウェアノード連携制御・管理 API も実現した。

本ソフトウェアをオープンソースとして github にて公開し、オープンソースコミュニティの育成とともに、継続的な機能改善や性能向上、さまざまな環境への対応などを行っている。

2. 3. 3. マルチレイヤノード制御技術

マルチレイヤノード制御技術の研究開発においては、ソフトウェア定義によるプログラマビリティを活用しながら、ユーザから packets 信号として供されるデータの属性に応じて転送を行う最適なレイヤを選択し、その上で効率的なデータ転送を実現するためのマルチレイヤノード向けの制御方式を確立することを最終目標とする。これにより、従来は、packets ネットワークと回線ネットワークや光ネットワークをそれぞれ独立して手動設定するために数 10 分間の時間が必要であることに対して、マルチレイヤノード制御技術を用いることにより 10 分以内でのマルチレイヤネットワークの設定の実現性を検証する。

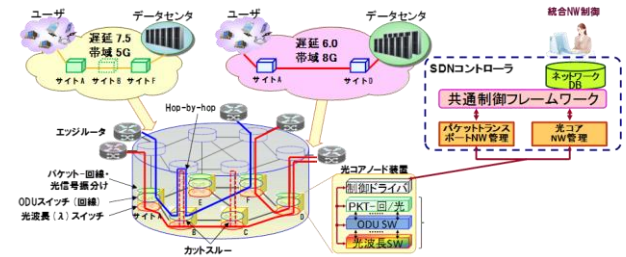


図 12 マルチレイヤ統合仮想ネットワーク及びその制御の一例

上記の目標の実現に向け、①ユーザの信号として供される packets 信号の収容・転送レイヤの決定するための設計技術の研究開発、および、②設計結果に従い、ユーザの要件を満足する仮想ネットワークを提供するための物理ネットワーク制御技術の検証を行なった。①ではユーザ信号である packets 信号を packets レイヤ上、或いは、回線レイヤ (ODU) 光レイヤ (OCh、波長) の何れかにおいて収容・転送するかを決定するための設計技術の研究開発を行なった。SDN によるオンデマンドなネットワーク設定に対応するため、設計手法としては短時間で計算が可能となるヒューリスティック手法を適用することにした。開発した設計技術では、ユーザの要件である帯域および遅延特性を満足しつつ、リソースの利用効率を考慮してユーザ信号を転送するレイヤおよびその経路を決定する技術を開発し、下記に示す検証によりその動作を確認した。②においては前記の設計結果に従いマルチレイヤ対応光コアノード装置に対する制御を行い、1、000 ノード規模のネットワークにおいて 100 スライスの制御を 10 分以内で実現可能かの検証を行なった。その結果、パス当たりの設定時間は 2 秒程度で実現可能であることを確認した。100 スライスの制御を 10 分で実現するシナリオの詳細な内訳については相互接続検証の節で説明するが、この目標を実現するために十分な性能が得られていることが確認された。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発では、ネットワーク上の多種多量なデータ (ビッグデータ) の流通を柔軟に制御できるようにするとともに、これらのデータを活用した新たなサービスを支え

る多種多様なネットワークを迅速に構築できるようにするための、新たなネットワーク構築、制御技術基盤である「ネットワーク仮想化技術」を、コア網、アクセス網へ導入できる性能レベルで実現するための研究開発に取り組み、2020年までには2010年時の約35倍に増加すると言われるデジタル情報を処理可能なネットワーク仮想化技術基盤を確立した。特に平成27年度は、各課題において確立した技術成果の統合および評価と、地域の魅力ある情報発信の可能性や実現性を訴求する実証実験を行った。

広域 SDN の展開に向けて必要となる要素の標準化やデファクト化に関して、ITU-T では SDN 要件定義書 (Y.SDN-REQ) の勧告化を支援した。また ONF (Open Networking Foundation) では、OpenFlow、光トランスポートおよび無線トランスポート制御に係る標準化、IETF ではトラフィック制御アーキテクチャ及びシグナリングにかかわる RFC (Request for Comments) 化に向けた検討に貢献した。特に、ONF における光および無線分野の標準化は、O3 プロジェクト関係者が大きく貢献した。今後は標準化された SDN を 5G/IoT の領域に適応すべく標準化 (デファクトスタンダード化) や社会実装に貢献していくことを予定している。

当該ネットワーク仮想化技術の早期導入に向けて、本研究開発成果を広く公開することで、産学官による取り組みを推進した。これらの取り組みを通じて、ネットワーク仮想化の機器市場やビッグデータ関連サービス等の情報通信利活用の新サービス市場を創出し、我が国主導の同市場における更なる国際競争力の強化を引き続き目指す。

4. むすび

本プロジェクトでは、広域ネットワークを対象に、要求に応じたネットワークを従来よりも短時間で臨機応変に設計・構築・変更できることを目指し、広域ネットワークへSDN技術を適用するために必要な技術の研究開発を行った。具体的には、広域ネットワークを構成する多様なネットワークの相違に対して、個々のネットワークをオブジェクト指向のデータモデルで抽象化表現することにより吸収し、これらオブジェクトを処理するオペレータ機能を備えたネットワーク統合制御基盤を中心に、1. 統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術、2. 仮想ネットワーク運用管理技術、3. 仮想ネットワーク対応ノード技術の各課題に取り組んだ。

これらの成果の活用により、例えば、ビッグデータの流通、高品質放送、グローバル企業イントラネットといった様々なアプリケーションに特化したソフトウェアを用意することで、短時間に最適なネットワークを構築・利用することが可能となる。

これらの取り組みを通じて、ネットワーク仮想化の機器市場やビッグデータ関連サービス等の情報通信利活用の新サービス市場を創出し、我が国主導の同市場における更なる国際競争力の強化を引き続き目指す。

【査読付発表論文リスト】

- [1]山下 真司、山田 亜紀子、中津川 恵一、宗宮 利夫、宮部 正剛、片桐 徹、”Extension of OpenFlow Protocol to Support Optical Transport Network, and Its Implementation”, IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)2015 pp31-36 (2015年10月30日)
- [2]鈴木 敏明、遠藤 英樹、下川 功、坂本 健一、井内 秀則、小河 太郎、加藤 貴法、高瀬 晶彦、” A

Network-disaster Recovery System using Multiple-backup Operation Planes”, International Journal On Advances in Networks and Services vol. 8 no. 1&2 pp118-129 (2015年7月)

- [3]飯澤 洋平、鈴木 一哉、”Multi-layer and Multi-domain Network Orchestration by ODNOS”, Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) Th1A.3 (2016年3月24日)

【国際標準提案・獲得リスト】

- [1]Open Networking Foundation, ”Proposal for wireless transport extension in OpenFlow”, 2015年6月9日
- [2]Internet Engineering Task Force (IETF), draft-suzuki-teas-actn-multidomain-opc-00, ”Use-case and Requirements for Multi-domain Operation Plane Change”, 2015年7月6日
- [3]ITU-T SG13, Y.SDN-REQ, ”Proposal on multi-layer management functions for the draft recommendation ”Y. software defined networking requirement (Y.SDN-REQ)””, 2015年11月30日

【報道掲載リスト】

- [1]“広域ネットワークインフラのSDN化を目指す研究開発プロジェクト「Open Innovation over Network Platform」の設立について”、日経産業新聞 日刊工業新聞 電波新聞、2013年9月18日
- [2]“世界初、広域ネットワークで安定した通信環境を提供するSDNの基盤技術を確立・検証”、日経産業新聞 日刊工業新聞、2016年3月11日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

[https:// o3project.org](https://o3project.org)