

03 プロジェクト ホワイトペーパー

“ネットワークビジネスを変革する広域SDNテクノロジー”

03 プロジェクト

2015年3月

03 プロジェクト参加メンバー

NEC

 **NTT**

 **NTT Communications**

FUJITSU

HITACHI

はじめに

O3プロジェクトは、日本電気株式会社、日本電信電話株式会社、NTTコミュニケーションズ株式会社、富士通株式会社および株式会社日立製作所による、通信事業者が提供するモバイルネットワークやインターネットなど広域ネットワークインフラの総合的なSDN※1化を目指す世界初の研究開発プロジェクト「Open Innovation over Network Platform」の愛称である。2013年9月から5社共同で推進しており、本研究開発は総務省の「ネットワーク仮想化技術の研究開発」による委託を受けてO3プロジェクトの一部として実施している。

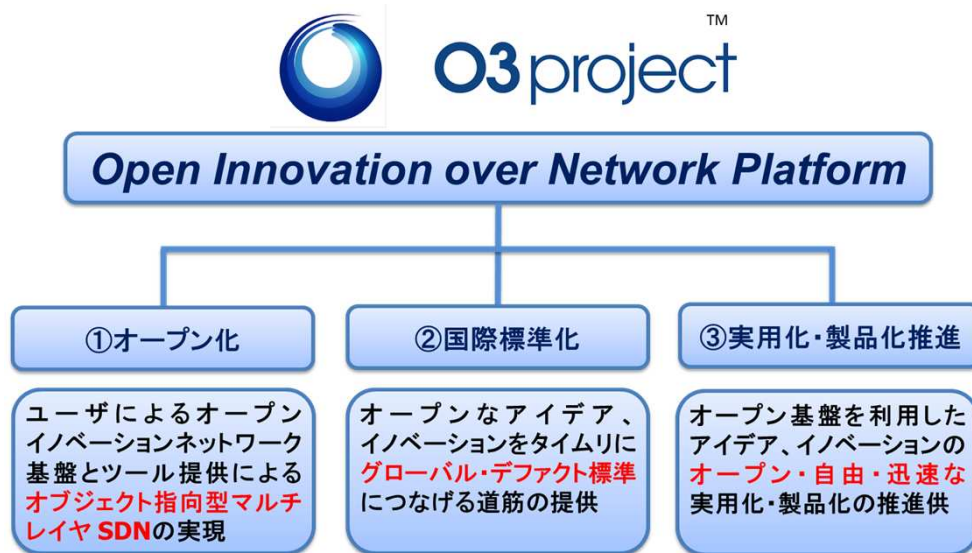


図 1 : O3プロジェクトのビジョンおよびコンセプト

対 象	2014年	2015年
SDN設計ガイドライン	2015/3月末迄に公開予定	リリース後、メンテナンス・拡張を継続的に実施予定
以下、OSS O3 Orchestrator suite (ODENOS)	2015年2月20日公開済	
SDNソフトウェア転送ノード (Lagopus)	7月公開済	
光コアネットワーク対応SDNソフトウェア	2015年3月13日公開済	
SDNパケットトランスポート	2015年3月13日公開済	

図 2 : O3プロジェクト成果公開ロードマップ

(※1) SDN : Software-Defined Networking

ネットワークをソフトウェアで制御する概念。

(※2) O3 (オースリー) は、本プロジェクトの全体コンセプトである以下を表現しています。

「Open : オープン性」「Organic : 有機的」「Optimum : 最適化」

1. 研究開発の背景

現在では、クラウドサービスの拡大によるネットワーク（以下、NW）を利用したアプリケーションの増加や、スマートフォンの普及による利用者数の急増に伴い、NW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（以下、DC）では、サービスが変化するスピードに対して、NWの構築や変更に必要な時間をいかに短縮するかが課題となっている。このため、DC内・DC間のNWを対象にSDN（Software-Defined Networking）技術を導入し、NW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、今後は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DC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、DC間のNWやDCとユーザを接続するNWなどの広域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、広域NW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NW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（NWの性能要件・プロトコル要件・処理要件など）を満たすNW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NWでは、NW種別（レイヤ）毎にNW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であった。同様に、サービスに対してNW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。

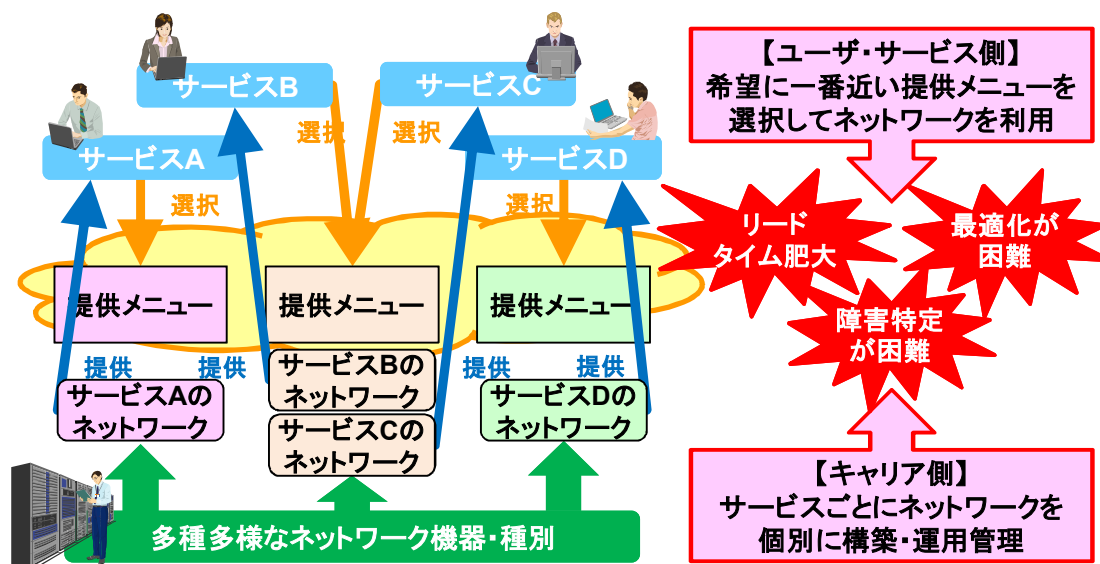


図3：従来NWの課題

上記の課題を解決するためには、NW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NW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NWに対して、NW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、NW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NWを対象としたSDNでは、広域NWを構成する多様なNW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する。これにより、きめ細かなキャリア向けNW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NWまで、柔軟かつ動的なNW制御・運用管理が可能な基盤技術を実現できる。

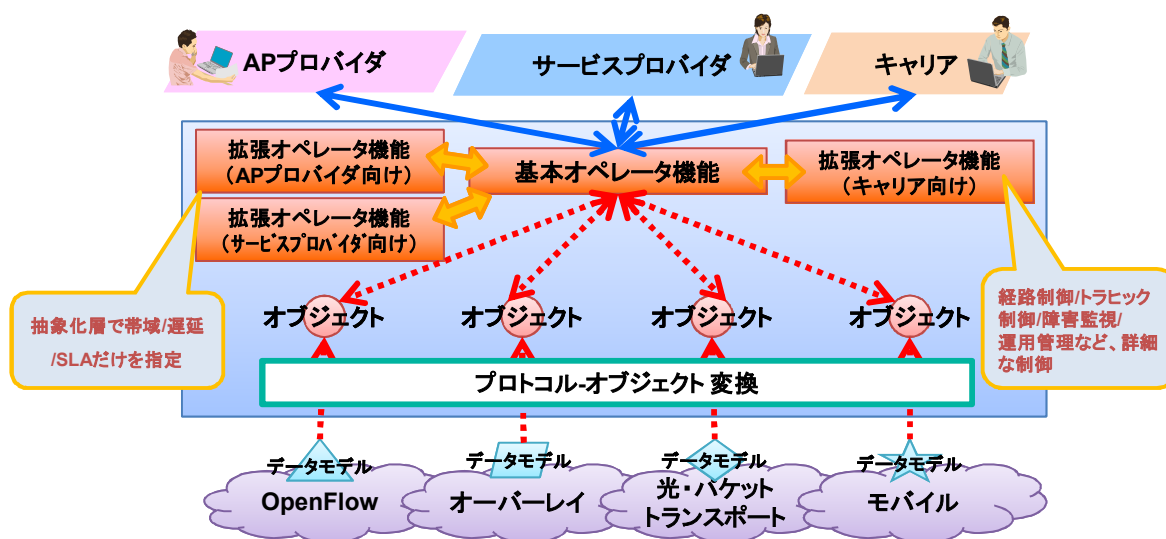


図 4 : SDNによる広域NWの運用管理

以下、本プロジェクトでは、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、下記に挙げる6領域の研究開発を進めている。

- ・ NW管理制御プラットフォーム
- ・ 光通信システムのSDN化
- ・ パケットトランスポートシステムのSDN化
- ・ 無線通信システムのSDN化
- ・ ソフトウェア通信機器のSDN化
- ・ SDNを設計・構築・運用するためのガイドライン

2. NW管理制御プラットフォーム

DC内NWから広域NWまでを含むマルチベンダ・マルチレイヤ構成のヘテロジニアスNWでは、マルチレイヤNWに対応したNWの統合制御を実現することにより、運用コストの削減やリソースの利用効率向上に伴う設備投資コストの削減、さらにはサービス開通時間の短縮や通信品質向上といった運用管理の効率化が期待される。しかしながら、NWを統合制御する場合、これまではまず対象となるレイヤおよび制御方式を定め、そこに特化したシステムを構築するという手法がとられてきた。そのため、対象レイヤの追加や制御方式の変更が生じると、制御システム全体の修正を含む開発が必要となる場合が多く、サービス要求の進化に合わせて最適な統合制御システムを開発するコストの増大が問題であった。

この問題を解決するため、ヘテロジニアスなNWを構成する様々なNWを、トポロジー（ノード・ポート・リンクの組み合わせ）とフロー（エンドツーエンドの通信）の二つに抽象化したモデルで表現し、NW毎に特有な情報は抽象化モデルに付随する属性として扱う統合制御基盤を提案する。本統合制御基盤では、物理NWの抽象化をドライバが担当し、上記のモデルに従ってNWオブジェクトを生成する。また、外部からこのNWオブジェクトを操作すると、それを検知したドライバによって物理NWが制御される。さらに、NWオブジェクトに対してFederatorやAggregatorなどの制御オペレータを適用すれば、用途に合わせて抽象化されたNWオブジェクトを得られるため、制御オペレータを組み合わせることで、マルチレイヤを軸としたヘテロジニアスNWの制御機能を容易に実装できる。

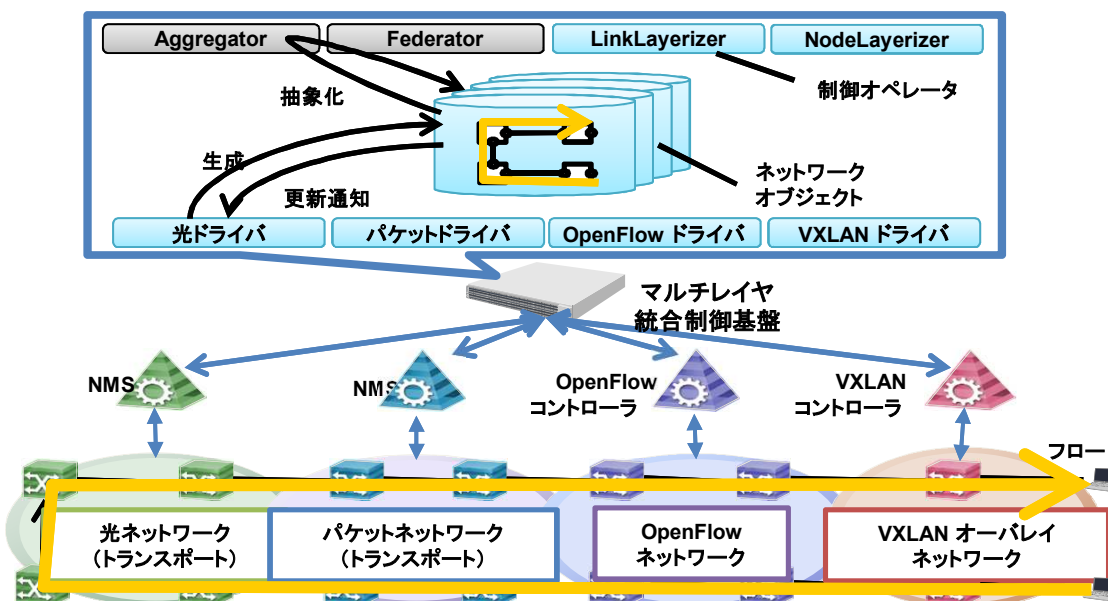


図 5 : 統合制御基盤の概要

3. 光通信システムのSDN化

スマートフォン等に代表される高機能端末やクラウドサービスの普及に伴う通信を用いたアプリケーションの多様化、更にビッグデータの活用や4K/8Kといった高精細動画ストリーミングサービスが進むにつれ、エンドツーエンドのNWサービスを、使いたい時に使いたい分だけ希望の品質や帯域幅で使うといったオンデマンド型サービスへの要求が高まっている。そのため、光NWの領域においても、帯域幅や通信パスを柔軟かつ迅速に変更できることが求められている。光通信システムのSDNでは、これら要求の実現に向け、光NW資源（光ファイバ・波長・タイムスロット等）をソフトウェアで扱うための抽象化方法を検討している。これにより、光レイヤを含む複数レイヤから構成されるNW全体を、レイヤ間の依存関係を踏まえてコントローラから集中管理することで、自動的に資源を有効活用できるシステムの実現を目指す。

本システムの実現により、エッジルータ等から光NWへ入ってくる信号に応じて、柔軟かつ自動的に波長やタイムスロット等の資源を設定および解除することで、現在の波長多重装置で主流である1波長当たり40Gbpsから、将来的には400Gbpsや1Tbpsへ容易に帯域を拡張、また、1波長当たり40Gbpsや100Gbpsなどの帯域を各サービスに合った1Gbps粒度の帯域へ分割するというスケラビリティをNWに持たせることができる。また、複数のルータから構成されたエンドツーエンドの通信パスにおいて、中間ルータを介さずにエッジルータ間を光パスで直接接続することにより、伝送遅延を低減させ通信品質を向上させる光カットスルーが可能となる。

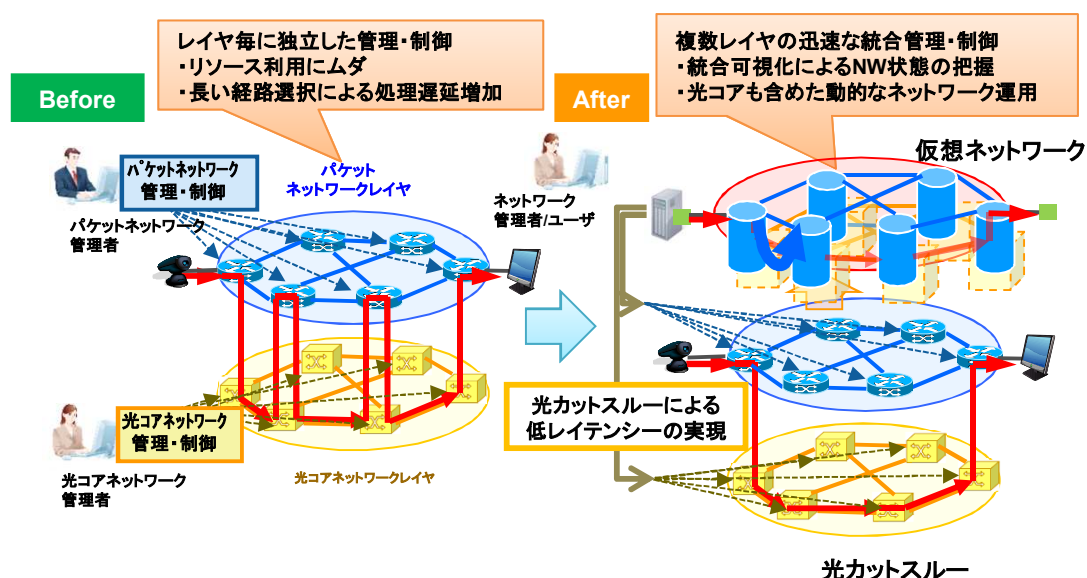


図6：SDN化によるマルチレイヤ全体最適化の例（光カットスルー技術）

本光通信システムのSDN化によって、光レイヤに閉じた局所最適化ではなく、マルチレイヤにおける全体最適化が実現され、NWの利用効率が向上する。さらに、光レイヤの柔軟な設定変更が可能となり、オンデマンド型サービスの効率化も実現できる。

4. パケットトランスポートシステムのSDN化

パケットトランスポートは、大容量転送を行なう光トランスポートNWと、インターネットやモバイルNWのような各種NWを効率的かつ高信頼に統合するシステムである。パケットトランスポートシステムは、個々のNWサービスに対して、そのネットワーキング要件を満たす仮想NWを光トランスポートNWから切り出すと同時に、光トランスポートと連携してNW資源の効率的かつ高信頼な運用管理を担っている。そのため、これをSDN化することにより、独立に管理されてきた各NWの設備投資や運用を最適化し、トラヒック変動やサービス変革に対して柔軟かつ迅速に対応可能な新たな価値の提供が期待できる。

パケットトランスポートシステムのSDN化に向けた汎用スキームとして、現在、マルチレイヤ統合管理モジュールを開発中である。本機能をキャリアSDNシステムに導入することにより、SDNアプリケーションからレイヤ毎に存在する複数ベンダのSDNコントローラに対する統合制御が可能となる。その実現には、SDNアプリケーションとマルチレイヤ統合管理モジュール間の標準インタフェース、SDNコントローラとマルチレイヤ統合管理モジュール間の標準インタフェース、SDNコントローラとマルチレイヤ統合管理モジュールの機能配備、マルチレイヤ統合管理モジュールのスケラビリティが重要となる。

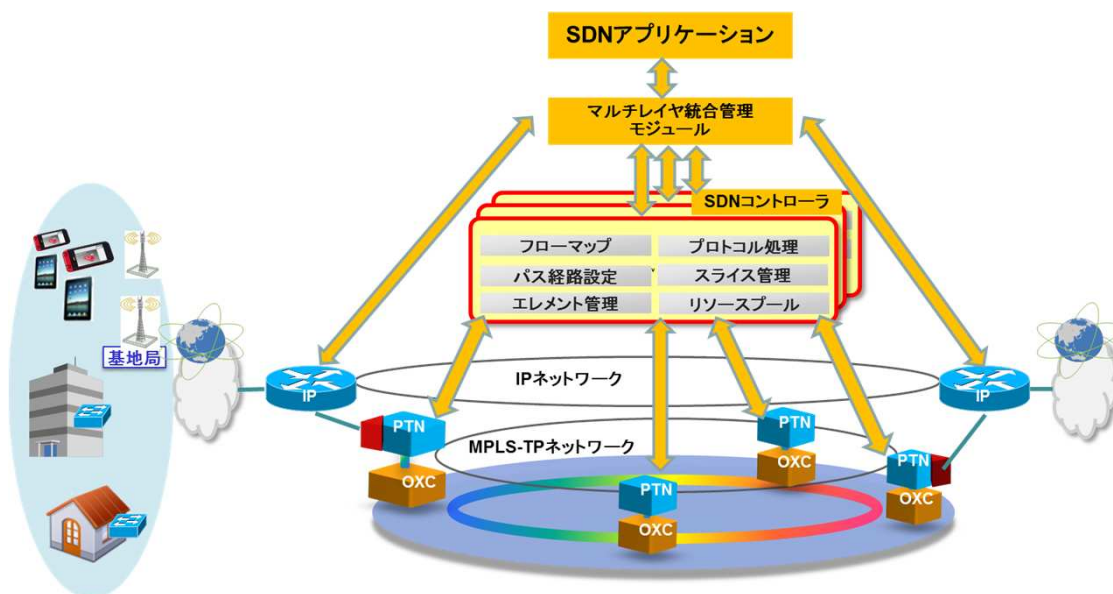


図7：パケットトランスポートSDNの概要

さらに、インターネットやVPN、モバイルNWといったIPネットワーキング技術をベースとした融合が鍵となる次世代ネットワークでは、SDNによる集中制御型のパケットベーストランスポート技術と分散制御型IPネットワーキングとの融合が不可欠である。その実現に向け、SDNをベースとしたパケットトランスポートとIP NWとの連携技術も開発中である。

5. 無線通信システムのSDN化

NW仮想化技術を広域NWへ導入するには、無線通信システムのSDN化も必須である。無線通信システムをSDN化するには、「モバイルNW相互連携トラフィック制御技術」および「無線NW仮想化技術」の二つが必要となる。

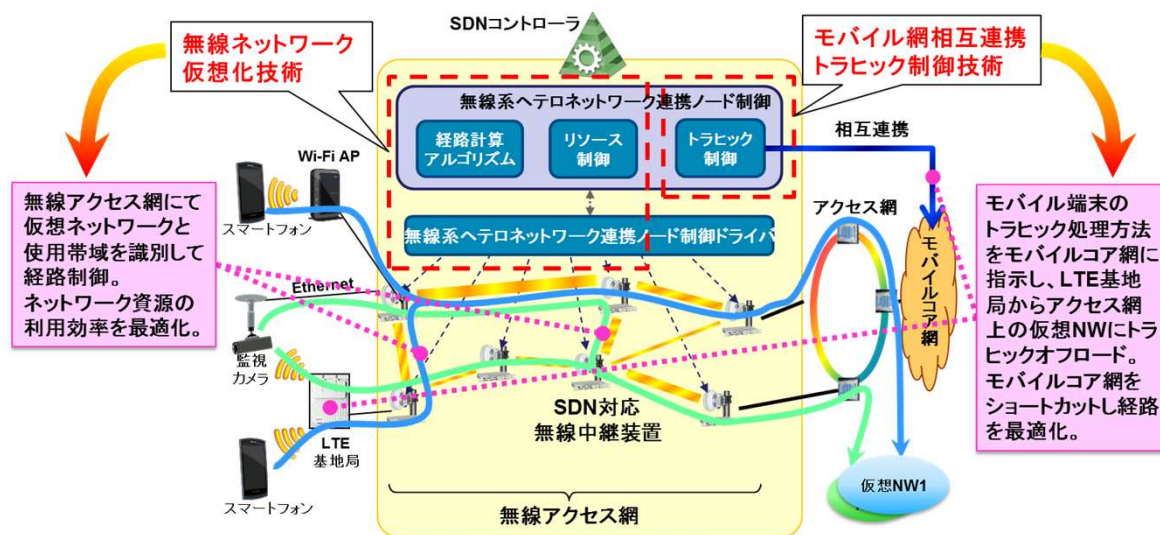


図8：SDN化された無線通信システムの全体像

5.1 モバイルNW相互連携トラフィック制御技術

LTEのような従来の3GPP方式モバイルNWでは、モバイルコアNWにあるゲートウェイとLTE基地局の間をトンネリングすることで、端末移動時のトラフィック転送を実現している。そのため、端末間の通信であったとしても、全てのトラフィックがモバイルコアNWにあるゲートウェイを通過してしまい、モバイルNW内のNW資源が有効に利用できないという課題が存在してきた。

これを解決するため、SDNコントローラとモバイルNWを相互連携させることで、単純なトンネリングに代わる効率的なトラフィック制御の実現を目指す。SDNコントローラとモバイルNWとの相互連携では、SDNコントローラがモバイルNWよりAccess Point Name (APN) やTunnel Endpoint Identifier (TEID)、QoS Class Identifier (QCI) 等のトラフィック情報を取得し、LTE基地局に隣接したOpenFlowスイッチ (OFS) にてトラフィックをオフロードさせる。その際、SDNコントローラはオフロードされたトラフィックを直接経路制御することで、トラフィックがモバイルコアNWにあるゲートウェイを通ることなく、またトンネルによるトラフィックのオーバーヘッドを生じることもなく、最適経路での通信を実現できる。さらに、SDNコントローラが、IPアドレス空間と関連するAPN情報を加味してオフロードされたトラフィックを制御することにより、IPアドレス空間が衝突するような環境でも対応できる。

5.2 無線NW仮想化技術

一般に、複数の無線中継装置で構成される物理NW（以下、無線NW）では、使用される周波数帯が天候や電波干渉といった環境変化への耐性に乏しく、無線NWは外部環境に応じてリンク帯域が変動しやすいという特性を有している。このような特性を備えた無線NW上で仮想NWを構成するには、無線NWの環境変動による帯域特性や仮想NWの用途に応じた経路設定、動的にリソースを割り当てるNWリソース管理技術が必要となる。

これらの技術を実現するために、無線NWを構成する各リンクに対して、現在の帯域に加えて帯域毎の安定度を考慮し、そこに各仮想NWの優先度を加味して、経路設定およびリソース割り当てを行なう。これにより、例えば、VoIPのような優先度の高いトラフィックが流れる仮想NWには、環境変動を受けにくい帯域を固定的に割り当てて安定した通信環境を提供すると共に、インターネットトラフィックのような優先度の低いトラフィックが流れる仮想NWには、環境変動を受けやすい帯域を状況に合わせて動的に割り当てるといった柔軟かつ効率的な制御ができる。

その実現に向けた最初の取り組みとして、2章で挙げた統合制御基盤上で無線NWを管理するために、無線トランスポートNWにおける無線リンクのモデル化を行なう。無線リンクを、現在のリンク帯域・推定レート・最高レート・最低レート・Availabilityの5パラメータにまとめてモデル化することで、無線リンクの帯域変動を考慮した制御が可能となる。本モデルを利用することで、例えばAvailability以上となる伝送レートを推定レートとすることにより、Availabilityを考慮した帯域保証可能な伝送レートの管理が実現できる。

6. ソフトウェア通信機器のSDN化

これまではハードウェアベースであった通信機器がソフトウェアベースで仮想化されるNFV環境においては、複数の通信機能間を相互接続する機能として、SDNで管理されるソフトウェアベースで構成されたスイッチ技術の活用が期待されている。このようなSDNソフトウェアスイッチの実現に向け、我々はスイッチの構成としてAgent層とDataplane層の2階層構造を採用し、Agent層では柔軟な制御が可能なドライバ技術を、またDataplane層では10Gbpsのトラフィック転送や100万フローを収容可能にする性能の実現に取り組んでいる。実装方針としては、各機能部を可能な限り共通部品化し、それらの組み合わせで様々な付加機能やモジュールの実現を可能とする柔軟性の高いSDNソフトウェアスイッチとして実装を進めている。ドライバ技術については、OpenFlow 1.3に準拠した実装を行ない、Comformance Test Specification for OpenFlow Switch Specification および Ryu Certificationに基づいた機能評価を実施して、広域NWで用いられるMPLSやPBB等のプロトコル制御も含めた仕様に対する高い準拠率を確認している。また、性能面では、最新のマルチコアCPUや高速I/O処理の活用により、汎用サーバ上での高速なパケット処理が可能なアーキテクチャを検討しつつ実装を進めている。

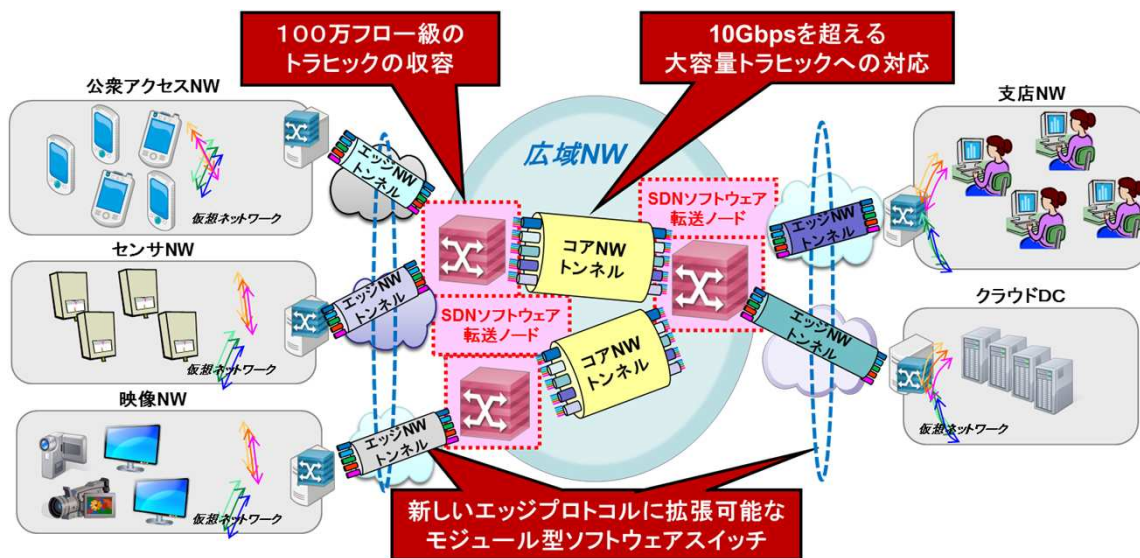


図9：SDN化されたソフトウェアスイッチの利用イメージ

この結果、広域NWでの利用例として、データセンタとWANを結ぶゲートウェイやMPLSルータ、Ethernetスイッチを想定した性能評価を行ない、目標としていた10Gbpsを超えるトラフィックの転送性能 (2リンクを用いることで20Gbpsを達成) や100万フローの収容を確認した。

7. SDNを設計・構築・運用するためのガイドライン

SDNは、上で述べた通り、ソフトウェア制御を用いてユーザトラフィックが流れるNW装置を制御する技術であり、それを応用することで、ユーザはNWの高度な知識がなくてもソフトウェアによって簡単に自身のNWを構築することが可能となる。しかし、SDNを用いたユースケースは多様に存在し、一口にSDNといってもその適用領域や利用目的は異なるため、既存のNWをSDNベースに置き換えた場合の性能、品質、スケーラビリティやオペレーションへの影響を前もって知ることは非常に困難である。よって、SDN評価手法の確立が重要となる。

O3プロジェクトでは、公衆網への適用という観点から、客観的な評価手法に基づいて前提条件・利用方法・利用上の課題等をまとめ、SDNを効果的に適用できる指針となるガイドラインを作成している。具体的には、SDNをベースとするNW構築からサービス開始までの時間、サービス可能なユーザ数、NW資源 (トラフィック・フロー数等) の利用率など、運用性向上によるコストパフォーマンスの面からバランスの取れた設計・運用を可能にするため、既存のNWガイドラインとは異なるSDNならではの設計・構築・運用ノウハウを知識体系としてまとめたガイドラインを目指す。その作成に向け、設計・構築・運用の観点からSDNノードを評価するためのテストベット環境を構築し、ガイドラインに必要な項目の検証を実施している。テストベットでは、各拠点にO3プロジェクトで開発したSDNノードやSDN

コントローラを配置して評価を進めている。評価結果はガイドラインに反映させる予定である。また、SDNコントローラとSDNノード間の通信プロトコルの一つであるOpenFlowに対して、SDNノードの応答メッセージがONFの標準に準拠しているかを検証するコンFORMANCEテストツールを作成した。OpenFlow1.3対応の各OFSに対し、このツールを用いて検証したところ、OFSの実装により、正しいメッセージを応答する割合にばらつきのあることがわかった。この結果についてもガイドラインに反映させる予定である。

最後に、作成したガイドラインについては、標準化団体でのホワイトペーパー化等を目指す。

8. おわりに

O3プロジェクトにて取り組んでいるこれらの技術が実用化されることにより、キャリアは、広域NWにおいて、サービスプロバイダの要求に応じてNWを従来よりも短い時間で臨機応変に設計・構築・変更できるようになる。また、サービスプロバイダは、サービスの開設・撤収時間を大幅に短縮することが可能となる。さらに、一般の利用者にとっては、欲しいサービスがサービスプロバイダからタイムリーに提供され、利用できるようになる。将来的には、例えば企業は、ビッグデータの活用や高品質放送、グローバル企業イントラネットなどの様々なアプリケーションに特化したソフトウェアを適用するだけで、即時に最適なNWを構築できると共にサービスの利用が可能となる。

今後、O3プロジェクトでは、これまでの開発で実現した基盤技術の完成度を高めると共に、得られた成果の一部をOSSとしてオープン化し、国際標準化への積極的な提案を通じてグローバルに仲間作りを広げていく予定である。

ホームページ : <http://www.o3project.org/>

本研究は、総務省の「ネットワーク仮想化技術の研究開発」による委託を受けてO3プロジェクトの一部として実施しています。

商標について

記載されている社名などの固有名詞は、各社の商標または登録商標です。