

# ヘテロジニアス網統合制御基盤を実現する マルチレイヤ抽象化技術

飯澤 洋平 森本 昌治 下西 英之

## 要旨

エンド・ツー・エンドの通信サービスの開通期間短縮や品質向上を低コストに実現するため、データセンター網や広域網を含めたヘテロジニアスな網の統合的な制御が期待されています。従来の網の制御システムでは、特定のレイヤに特化したモデルと制御方法を採用していたため、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ことが不可能でした。

そこでNECは、レイヤ非依存のモデルと制御方法を基に、多様なレイヤの連携制御を容易に実現できる統合制御基盤の実現を目指しています。本稿では、その適用例として、パケット・光統合トランsport網のマルチレイヤ制御と、OpenFlow網とVXLAN網の連携制御を紹介します。



SDN／マルチレイヤネットワーク／ヘテロジニアスネットワーク／統合制御／パケット光統合／トランsport網／データセンター網／OpenFlow／VXLAN

## 1. はじめに

近年、データセンター網を中心にSDN (Software-Defined Networking) の適用が本格化しています。SDNの適用範囲の拡大に向けて、データセンター網から広域網なども含めたマルチベンダ、マルチレイヤ構成のヘテロジニアスなネットワークに対する適用が検討され始めています。

このようなヘテロジニアスなネットワークの運用においては、マルチレイヤネットワークを中心としたネットワークの統合制御を実現することにより、運用コスト削減や、リソース利用効率向上による設備投資コスト削減、更にはサービス開通時間短縮や通信品質向上などが期待されています。

しかしながら、従来、ネットワークの統合制御については、まず対象とするレイヤや制御方式を決め、それに特化した制御システムを構築する、という手法がとられてきました。そのため、制御対象レイヤの追加や制御方式の変更の度に、制御システム全体の改造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ことが不可能でした。

この問題を解決するため、NECは、さまざまなレイヤの組み合わせで構築されるヘテロジニアスなネットワークに対して、統合制御システムを容易に構築できる統合制御基盤を

提案します。図1に統合制御基盤の概要を示します。

この統合制御基盤は、OdenOS プラットフォームをベースにしています<sup>1)</sup>。OdenOSでは、さまざまなネットワークをトポロジー（ノード、ポート、リンク）とフロー（エンド・ツー・エンドの通信）に抽象化したモデルで表現し、ネットワークごとの特有の情報はそれらに付随する属性として表現します。実際の物理ネットワークの抽象化はドライバが行い、上記のモデルに従って、ドライバがネットワークのオブジェクト

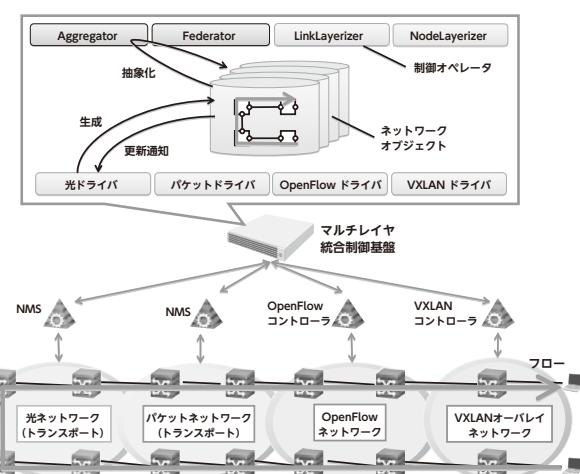


図1 統合制御基盤の概要

を生成します。このネットワークのオブジェクトに対して操作を行うと、それを検知したドライバによって物理ネットワークが制御されます。また、ネットワークの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ネットワーク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て用いることにより、容易に制御機能を実装できます。

本稿では、OdenOSのモデルや制御オペレータの拡張によるマルチレイヤ統合制御基盤の実現を目指し、その適用例として、パケット・光トランスポート網のマルチレイヤ制御と、ホップバイホップOpenFlow網とVXLAN網の連携制御を紹介します。

## 2. パケット・光トランスポート網のマルチレイヤ制御

長距離・大容量のデータ転送を行う通信事業者の基幹系ネットワークは、トランスポート網と呼ばれ、長距離・大容量伝送に適した光レイヤと、リソース利用効率の高いパケットレイヤを組み合わせた、マルチレイヤ構成が注目されています。このようなマルチレイヤネットワークを統合・自動制御することにより、さまざまなメリットが得られます。

例えば、現状人手を介して行われている、上位レイヤの状況に応じた下位レイヤのパス制御を自動化することにより、運用コストの削減やサービス開通時間の短縮が期待されています。また、マルチレイヤネットワークでは、下位レイヤのパス（通信回線）を、上位レイヤにてリンク、すなわちネットワークリソースとして使い、上位レイヤのパスを設定するという、入れ子構造となります。このことから、上位レイヤのパスの通信量に応じて、下位レイヤの設定済のパスを利用したり、新たに専用のパスを設定したりすることにより、リソースの高効率な利用や、エンド・ツー・エンド通信品質の向上も期待されています。

しかし、従来のトランスポート網では、各ベンダや各レイヤ装置の間でモデルに差異があり、マルチレイヤでのパス制御の自動化が難しいという課題がありました。これまで、多くのトランスポート網の制御は、NMS（Network Management System）やEMS（Element Management System）という集中管理装置を介してパスを制御することで行われてきました。これらの集中管理装置は、装置ベンダの各装置を制御・管理するために作り込まれており、ベンダごと、あるいは同一ベンダでも各レイヤの装置ごとで、使

用するモデルや制御方式に差異がありました。

このため、各レイヤの装置のベンダが異なる場合は、十分な機能を持つ連携インターフェースがありませんでした。例えば、パス制御を自動化するには、ユーザーから上位レイヤへのサービス開通要求に応じて、上位レイヤ・下位レイヤ両方のネットワークで動的なパス設定をする必要があります。そのためには、上位レイヤの集中管理装置は、下位レイヤの集中管理装置へ動的なパス設定の要求をする必要がありますが、下位レイヤの情報を持たないためにどこにパス設定が可能なのか判断できませんでした。

また、同一ベンダの装置であっても、集中管理装置では、各レイヤの特徴に特化したモデルや制御方式を用いる場合が多く、新しいレイヤを追加しようとすると、新しいレイヤ向けのモデルや制御方式の実装に加えて、他レイヤとの合わせ込みが必要であるため、多くの開発工数が必要でした。

そこで、ネットワーク抽象化によるレイヤ共通モデルと、それを用いることで共通化されたレイヤ間連携方式を提案します。提案方式では、各集中管理装置の持つ情報を、トポロジー（ノード、ポート、リンク）と、トランスポート網でパスに対応するフローという、抽象化されたモデルにより表現します。

これにより、集中管理装置間やレイヤ間のモデルの差を隠蔽し、各ネットワーク情報を共通のモデルで扱えるようになります。また、この共通モデルを用いたレイヤ間連携を行うため、下位レイヤネットワーク情報、上位レイヤネットワーク情報と、これらのネットワーク情報から生成し、上位レイヤネットワークを利用するユーザーに対して見せる、ユーザー視点ネットワーク情報を用意します。

特に、ユーザー視点ネットワークには、これまでユーザーには見えなかった、下位レイヤの変更によりリソース追加が可能な区間も仮想リソースとして見せるようにします。そして、ユーザーが仮想リソースを用いたフロー設定要求を起点として、下位レイヤのフロー制御と、上位レイヤのフロー制御を順次行うことで、自動的に各レイヤに必要な設定ができます。これにより、マルチレイヤでのパス制御を自動化できます。

統合制御基盤において、提案方式を実現した制御オペレータである、LinkLayerizerのパケット・光トランスポート網への適用例の概要を図2に示します。

ネットワーク情報の抽象化については、OdenOSにおけるドライバをネットワークごとに実装することにより実現しま

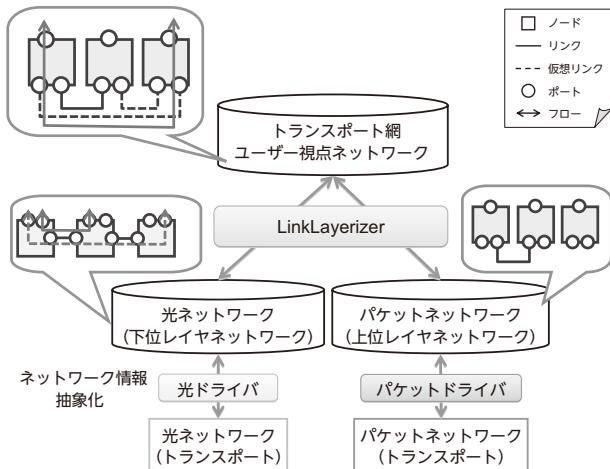


図2 LinkLayerizerによるマルチレイヤ連携制御の例

す。LinkLayerizerは、ドライバが抽象化した、光ネットワーク（光NW）情報と、パケットネットワーク（パケットNW）情報とから、トランスポート網のユーザー視点ネットワーク（ユーザー視点NW）の情報を生成します。

光NWで設定済みのフローについては、従来と同様、すぐに利用可能な設定済みのリンクとして、パケットNW情報及びユーザー視点NW情報として保持します。これに加えて、光NWの制御によりリンクを追加できる区間には、仮想リンクという、通常の設定済みリンクとは区別されるリンクをユーザー視点NW情報として保持します。光NWの制御によりリンク追加できる区間については、残り帯域や、タイムスロットや波長などリソースの空き情報といった、光NW特有の情報をポートの属性として光NW情報に加え、これらを制約条件として考慮し経路計算をすることで判定します。

また、仮想リンクと通常の設定済みリンクの区別は、リンクの属性に識別子を追加することで行います。ユーザーが仮想リンク、すなわち新規リンクの追加が必要な区間を含む経路を選択してフロー設定を要求した場合、LinkLayerizerは光NWの対応する区間にフローを設定して新規リンクを追加したうえで、パケットNWにユーザーの要求したフローを設定します。

このように、統合制御基盤におけるLinkLayerizerを用いることで、マルチレイヤでのパス設定を自動化でき、従来の運用に対する運用コスト削減やサービス開通時間短縮を実現できます。また、LinkLayerizerは、抽象化モデルに対する制御オペレータであり、異なるレイヤであってもほぼ共通で用いることができるため、少ない開発工数で新規レイヤの

制御機能の導入も可能です。

### 3. OpenFlow網とVXLAN網の連携制御

次に、ホップバイホップのOpenFlowネットワークをアンダーレイネットワーク（アンダーレイ）、VXLANネットワークをオーバレイネットワーク（オーバレイ）としたOpenFlow/VXLAN連携制御方式について説明します。

VXLANは、ネットワークのエッジにVTEP (Virtual Tunnel End Point) を配置し、そのカプセル化処理 (MAC-in-UDP) によって、仮想的なレイヤ2ネットワーク（仮想L2）を実現するオーバレイ技術です。VXLANは、物理ネットワークの構成を変更することなく、柔軟に仮想ネットワークを構築できるのが大きな利点です。しかし、一方で、複数の仮想L2がアンダーレイとして同じ物理ネットワークを共有利用するため、アンダーレイが既存のIPネットワークの場合は、帯域保証やパス分離などのユーザー要求を満たせないケースが出てきます。

そこで、VXLANのアンダーレイを構成している物理ネットワークをホップバイホップのOpenFlowネットワークに置き換え、そのネットワークをファブリックとして利用することで、オーバレイからの要求をより柔軟に要求を満たすことが可能なOpenFlow/VXLAN連携制御を提案します。図3に、VXLANのオーバレイが要求した必要帯域を、アンダーレイのOpenFlowネットワークでも保証するマルチレイヤ連携制御の構成例を示します。

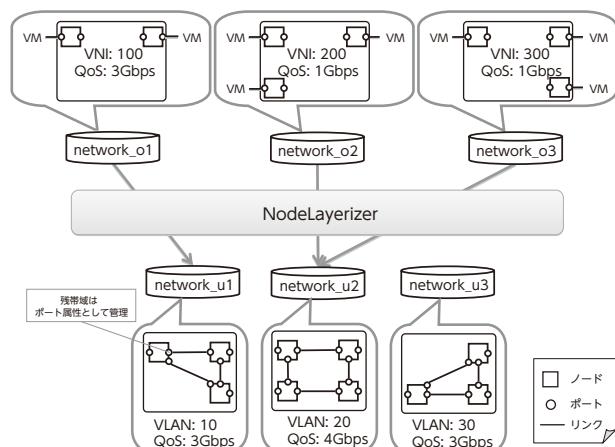


図3 NodeLayerizerによるマルチレイヤ連携制御の例

提案方式では、まず、アンダーレイから仮想ネットワークを生成し、それぞれの残帯域を資源として管理しておきます。次に、オーバレイの仮想ネットワークを生成し、必要帯域を指定します。そして、そのオーバレイの仮想ネットワークを収容可能なアンダーレイの仮想ネットワークを選択して割り当てます。この割当制御を自動化すれば、帯域保証によってアンダーレイの資源の利用効率を向上させつつ、その制御のための運用を低コストに実現できます。

上記のような連携制御をマルチレイヤ制御統合基盤で実現するために、まずアンダーレイとオーバレイのネットワークを抽象化し、オーバレイの仮想ネットワークの必要帯域と、アンダーレイの仮想ネットワークで確保済み帯域と残帯域を、ポートの属性として表現します。更に、おののおのの仮想ネットワークの識別子もポートの属性とします。

続いて、これらのネットワークの情報を利用し、自動的な割当制御を行うのがNodeLayerizer制御オペレータです。NodeLayerizerは、まず与えられたオーバレイを収容可能なアンダーレイを1つ選択します。収容可能かどうかは、物理的なトポジの接続性と、オーバレイの必要帯域が全VTEPノード間で確保可能かどうかで判断します。次に、割当処理時には、NodeLayerizerは、オーバレイの必要帯域分をアンダーレイのポートの残帯域から減算します。これにより、ポートごとの残帯域の管理が自動化されます。

最後に、NodeLayerizerは、オーバレイとアンダーレイの仮想ネットワークの識別子をそれぞれに通知します。これにより、選択したアンダーレイの仮想ネットワークでオーバレイの仮想ネットワークのトラヒックを転送するための識別子（例えばVLAN）を、ドライバは設定できます。

このようなNodeLayerizerの実現によって、VXLANのオーバレイで指定された帯域をアンダーレイでも保証可能なOpenFlow/VXLANの連携制御が実現できました。

#### 4.まとめ

本稿では、マルチレイヤ統合制御基盤の実現を目指して、OdenOSの拡張によるパケット・光トランスポート網のマルチレイヤ制御と、ホップバイホップOpenFlow網とVXLAN網の連携制御の実現方法を紹介しました。

本統合制御基盤の実現によって、SDNによるマルチベンダー、マルチレイヤ構成のヘテロジニアスなネットワークの統合制御が容易に実現可能となります。

#### 5.謝辞

本技術は、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実施した研究開発による成果です。

\* OpenFlowはOpen Networking Foundationの商標または登録商標です。

#### 参考文献

- 1) 小出俊夫ほか：SDN制御プラットフォームにおけるネットワーク抽象化モデルの検討とその評価，電子情報通信学会技術研究報告（信学技報），vol. 113, no. 7, CQ2013-8, pp. 41-46, 2013.4

#### 執筆者プロフィール

飯澤 洋平

情報・ナレッジ研究所  
主任

森本 昌治

情報・ナレッジ研究所  
主任

下西 英之

情報・ナレッジ研究所  
主任研究員

# NEC 技報のご案内

NEC技報の論文をご覧いただきありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

## Vol.66 No.2 ICTシステムを高度化するSDN特集

ICTシステムを高度化するSDN特集によせて  
SDNがもたらすICTシステムの高度化とIT・ネットワーク市場の変化  
NECのSDNへの取り組みとNEC SDN Solutions  
SDN実用化に向けた標準化

### ◇ 特集論文

#### NEC Enterprise SDN Solutions

WANの利用、運用を効率化する拠点・データセンター接続最適化ソリューション  
安全で柔軟なネットワークアクセスを提供する「アクセス認証ソリューション」

#### NEC Data Center SDN Solutions

仮想環境の効率化を実現するIaaS運用自動化ソリューション

#### NEC SDN Solutionsを支える最新技術

SDNコントローラ作成のシンプル化を実現するネットワーク抽象化モデル  
Wi-Fiの利便性向上を実現するスマートデバイス通信制御技術  
大規模SDNネットワークを実現するOpenFlowコントローラーアーキテクチャ  
ヘテロジニアス網統合制御基盤を実現するマルチレイヤ抽象化技術  
運用省力化を実現するIP-VPN向けOpenFlowコントローラ

### 導入事例

乱立する部門LAN、移動する検査機器 医療現場のネットワークをOpenFlowで改革  
事業拡大を見据えデータセンターにSDNを導入 サービスのスピード、信頼性、他社優位性を向上

### ◇ 普通論文

iPASOLINK All Outdoor Radio (AOR) 装置の開発  
iPASOLINKシリーズ及び超多値変調技術の開発  
10Gbps伝送を実現する超大容量無線伝送技術  
メタマテリアルを用いた電磁ノイズ抑制技術とその実用化

### ◇ NEC Information

C&Cユーザーフォーラム&iEXPO2013  
人と地球上にやさしい情報社会へ～インフラで、未来をささえる～  
NEC講演  
展示会報告

### NEWS

2013年度C&C賞表彰式典開催



Vol.66 No.2  
(2014年2月)

特集TOP

### NEWS

2013年度C&C賞表彰式典開催