

2-1 広域マルチレイヤネットワーク基盤

Wide-area Multi-layer Network Infrastructure

橋 拓至 鎌村星平 前田英樹

Abstract

将来の通信ネットワークに対する様々な要求事項を踏まえて、あらゆる情報通信サービスを支える通信ネットワーク基盤について検討する。本稿ではまず、異なるレイヤで構成される複数ネットワークを効率的に運用可能な広域マルチレイヤネットワーク基盤について紹介する。本ネットワーク基盤では、仮想化技術を利用することで、広域の仮想ネットワークを構築する。また、広域マルチレイヤネットワーク基盤の実現を目指す NetroSphere (ネトロスフィア) 構想を併せて紹介する。次に、広域マルチレイヤネットワーク基盤の確立に必要な不可欠なマルチレイヤ・マルチドメイン統合制御技術について述べる。この統合制御技術によって、広域の仮想ネットワークを利用する際の効率性、可用性、利便性が向上する。更に、将来無線通信のためのコアネットワーク技術として、ネットワークスライシングとモバイルエッジコンピューティングを紹介する。最後に今後の展望について述べる。

キーワード：広域マルチレイヤネットワーク基盤、マルチレイヤ・マルチドメイン統合制御技術、SDN、ネットワークスライシング、モバイルエッジコンピューティング

1. はじめに

2030年には世界の総人口が85億人に達し、耐久消費財を購入・使用する中間所得層が総人口の58% (2017年時点で24%) を占めることが予測されている⁽¹⁾。結果として、世界の経済力は先進国から新興国・途上国へシフトし、人、'もの'、情報の流れが新興国・途上国へも広がることになる。更に、高機能・高性能な端末や5兆個を超えるIoT・IoEデバイスが通信ネットワークへ接続されるようになるため⁽²⁾、世界中の至る所で通信トラフィックが飛躍的に増加することになる^{(3)・(4)}。

それゆえ将来の通信ネットワークでは、トラフィック量

と端末数の飛躍的増加に対する柔軟な拡張性が必要不可欠である。特に、端末間の接続性を提供するネットワーク基盤においては、ネットワーク資源・設備の迅速な増強や継続的な障害回復への対応が必要となる。また、多種多様な通信方式・通信制御を利用できることが望まれ、経済化と省電力化も考慮しなければならない。

一方で、現在の通信ネットワークは無線、光、パケットなど様々なレイヤのネットワークから構成されており(マルチレイヤネットワーク)、更に各通信事業者が独自の構成・技術・方針によってネットワークを運営・管理している(マルチドメインネットワーク)。このようなネットワーク構成では、伝送データが複数の異なるネットワークを経由し、各ネットワークで個別の転送処理が行われている。それゆえ、将来のトラフィック量や端末数の増加に対応するには各ネットワーク間での連携や調整が必要となるため、迅速かつ継続的な対応が容易ではない。したがって、多種多様なネットワークの混在環境に適した新たなネットワーク基盤の確立が望まれる。

また今後の情報通信市場では、通信回線の提供・利用に基づく従来のB2Cモデルから、パートナー企業と新たな通信サービスを共創可能なB2B2Cモデルへの移行

橋 拓至 正員 福井大学大学院工学研究科情報・メディア工学専攻
E-mail takuji-t@u-fukui.ac.jp
鎌村星平 正員 日本電信電話株式会社 NTT ネットワークサービスシステム研究所
E-mail kamamura.shohei@lab.ntt.co.jp
前田英樹 正員 日本電信電話株式会社 NTT ネットワークサービスシステム研究所
E-mail maeda.hideki@lab.ntt.co.jp
Takuiji TACHIBANA, Member (Graduate School of Engineering, University of Fukui, Fukui-shi, 910-8507 Japan), Shohei KAMAMURA, and Hideki MAEDA, Members (NTT Network Service Systems Laboratories, NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION, Musashino-shi, Tokyo, 180-8585 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.100 No.8 pp.761-766 2017年8月
©電子情報通信学会 2017

が促進される⁵⁾。このB2B2Cモデルでは、新規サービスを容易に展開でき、かつ様々な付加価値を創出可能な通信ネットワークの構築・提供が望まれる。特に、技術の進展及び普及が著しいモバイル通信サービスに関しては、IoT・IoEや第5世代移动通信(5G)だけでなく、将来の高性能・高品質な無線通信への対応も必要となる。それゆえ、複数の異なる無線通信技術を収容しつつ、多様な通信品質要求を満足できる通信ネットワークの確立も必要不可欠である。

このような通信ネットワークに対する様々な要求事項を踏まえて、本稿では、将来のあらゆる情報通信サービスを支える通信ネットワーク基盤について検討する。具体的にはまず、異なるレイヤで構成される複数ネットワークを効率的に運用可能な広域マルチレイヤネットワーク基盤について紹介する。本ネットワーク基盤では、SDN(Software Defined Network)技術などの仮想化技術を利用することで、レイヤが異なる複数のネットワークから広域の仮想ネットワークを構築できる。構築された仮想ネットワークでは、利用状況に応じた柔軟な制御・管理によって各通信サービスの品質を維持可能である。また、広域マルチレイヤネットワーク基盤の実現を目指すNetroSphere(ネトロスフィア)構想を紹介する。次に、広域マルチレイヤネットワーク基盤の確立に必要な不可欠なマルチレイヤ・マルチドメイン統合制御技術について述べる。この統合制御技術によって、広域の

仮想ネットワークを利用する際の効率性、可用性、利便性が向上する。更に、将来無線通信のためのコアネットワーク技術として、ネットワークスライシングとモバイルエッジコンピューティングを紹介する。

本稿で検討する広域マルチレイヤネットワーク基盤は、これまでの通信ネットワークを劇的に変革させる概念に基づいており、将来の情報通信サービスを支える最重要技術の一つである。本ネットワーク基盤が確立された暁には、通信ネットワークがこれまで以上に社会生活に深く浸透し、人類の更なる発展に大きく貢献することが期待される。

2. 広域マルチレイヤネットワーク基盤とは

無線、光、パケットなどレイヤが異なる複数のネットワークで構成されたマルチレイヤネットワークでは、各ネットワークが独立に管理・制御されている。このようなマルチレイヤネットワーク上で各通信サービスの利用可能帯域や伝送遅延、耐障害性、信頼性などの要求条件を満足するには、レイヤが異なるネットワーク間での連携が必要となる。それゆえ、多種多様な要求条件を持つ将来の通信サービスを迅速かつ動的に展開することは容易でない。また、トラフィック量や端末数の変化に対する柔軟な対応も簡単ではない。

そこで、将来の通信サービスを迅速、動的、かつ柔軟

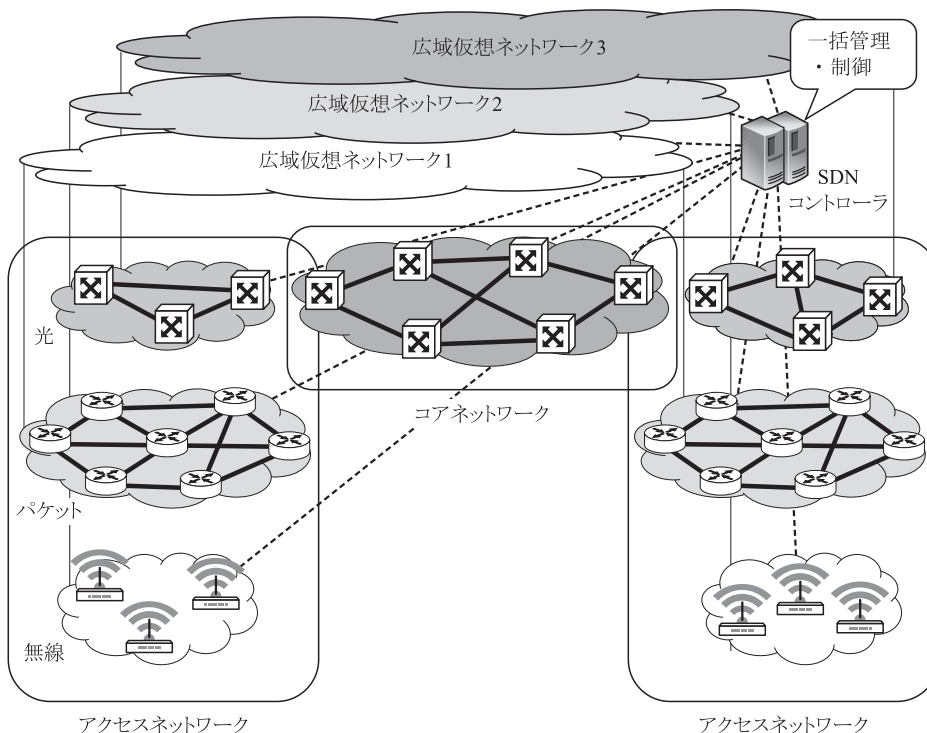


図1 広域マルチレイヤネットワーク基盤 各ネットワークの資源をSDNコントローラで一元管理し、各ネットワークの資源を使用して広域の仮想ネットワークを構築・運用する。SDN技術に対応したノードだけが一元管理の対象となる。

に展開・運用するために、SDN 技術⁽⁶⁾などの仮想化技術を利用した広域マルチレイヤネットワーク基盤の構築が期待される。この広域マルチレイヤネットワーク基盤では、レイヤが異なる複数ネットワークの CPU やメモリ、伝送帯域などの各種資源を一元管理し、これらの資源を使用して複数のネットワークにまたがる広域の仮想ネットワークを構築する。この広域仮想ネットワークは、SDN 技術によって新規構築や各種資源量の変更をソフトウェアによって自由に実行できる。それゆえ、通信サービスの利用状況に応じて各ネットワークを動的に管理・制御することが可能になる。

更に、このネットワーク基盤では、ネットワーク機能仮想化 (NFV) 技術⁽⁷⁾やサービスチェイニング技術も利用される⁽⁸⁾。NFV 技術では、スイッチやルータ、ファイアウォール、ロードバランサなどの機能が仮想化されて、汎用サーバ上で各種ネットワーク機能を利用できるようになる。また、サービスチェイニング技術を用いることで、仮想化されたネットワーク機能を適切な順序で使用できる。これらの技術を SDN 技術と組み合わせることで、広域マルチレイヤネットワーク基盤において多様な通信サービスを低コストで提供することが可能となる。

図 1 は、SDN 技術を利用した広域マルチレイヤネットワーク基盤の実現例を示している。図内の各ノードは SDN 技術に対応しており、SDN コントローラによってアクセスネットワークからコアネットワークをまたぐ広域の仮想ネットワークが構築される。また、各仮想ネットワークのトポロジーや資源量も SDN コントローラの制御によって動的に変更できる。

以下では、広域マルチレイヤネットワーク基盤を実現する取組みの一つとして、仮想化技術をキーコンセプトとした NetroSphere 構想を紹介する (図 2)。この NetroSphere 構想では、ネットワークを構成する各種機能を可能な限り小さな部品に分離・素材化し、各部品を自由自在に組み合わせて各機能を提供する仮想的な装置を構成する⁽⁹⁾。更に、構成した複数の仮想的な装置を利用することで、ユーザやサービス事業者が必要とするネットワークを仮想的に構築する。なお、小さい単位に分離された各種部品は共有の資源プール (リソースプール) として管理され、各種部品を組み合わせるだけで必要な機能をいつでも容易に使用できる。各部品ではシンプルな機能だけが提供されるため、各部品の開発・製品化に対して多数のサプライヤ参加が期待される。結果として、各部品のコモディティ化や低価格化が進み、各種機能の冗長化や大容量化を効率的に達成して装置コストを大幅に削減できる。

また NetroSphere では、図 2 に示すように、通信ネットワーク全体がソフト階層とハード階層に分離されている。ソフト階層では、抽象化されたネットワーク資

源を自在に組み合わせて多様な品質を満足する通信サービスを実現する。ソフト階層で資源を抽象化することによって、ハード階層における物理的、地理的な制約が隠蔽されることになる。一方、ハード階層では、超大容量かつシンプルな光伝送技術と電気的なパケット転送処理を行う MSF (Multi-Service Fabric)⁽¹⁰⁾ 技術が利用される。この MSF 技術では、コモディティ化されたスイッチの組合せで柔軟なパケット転送が実現される。また、光と電気の変換処理機能を必要最低限の場所のみ配置することで、経済化と省電力化を指向した通信ネットワークを構成する。

このような NetroSphere 構想を支える主要技術として、サーバアーキテクチャを構成する MAGONIA (フランスの神話に登場する空中大陸が語源)⁽¹¹⁾ や、アクセスシステムアーキテクチャである FASA (Flexible Access System Architecture)⁽¹²⁾ が利用される。また、ハード階層を構成する大容量光伝送技術と MSF に加えて、このような関連技術を一度の処理で利用可能なワンストップオペレーション技術⁽¹³⁾ も利用される。

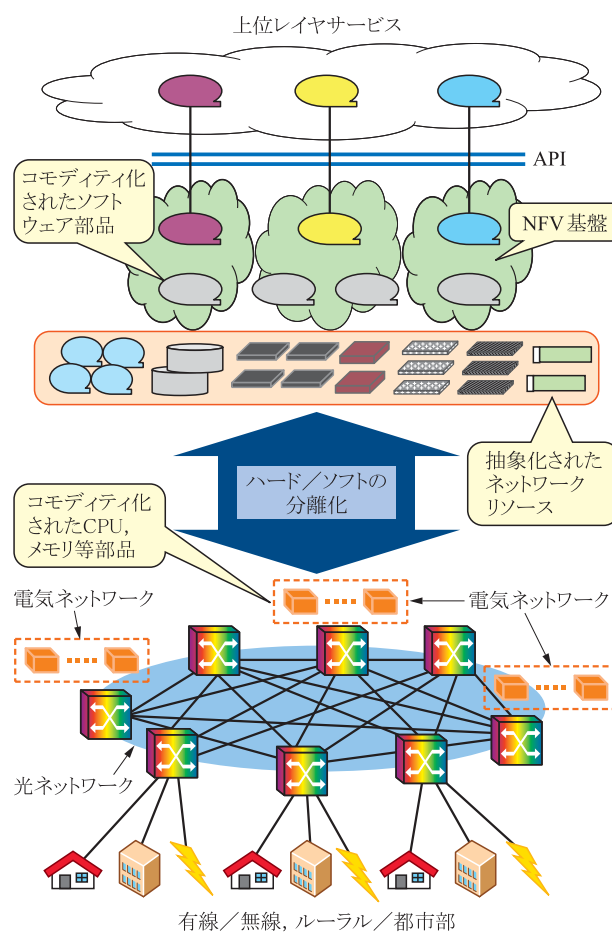


図 2 NetroSphere 構想 日本電信電話株式会社が将来の通信ネットワークの技術開発に関して策定したコンセプトである。ネットワークのハード階層とソフト階層が分離され、大容量光伝送技術と MSF, MAGONIA, FASA などの各種技術が利用される。

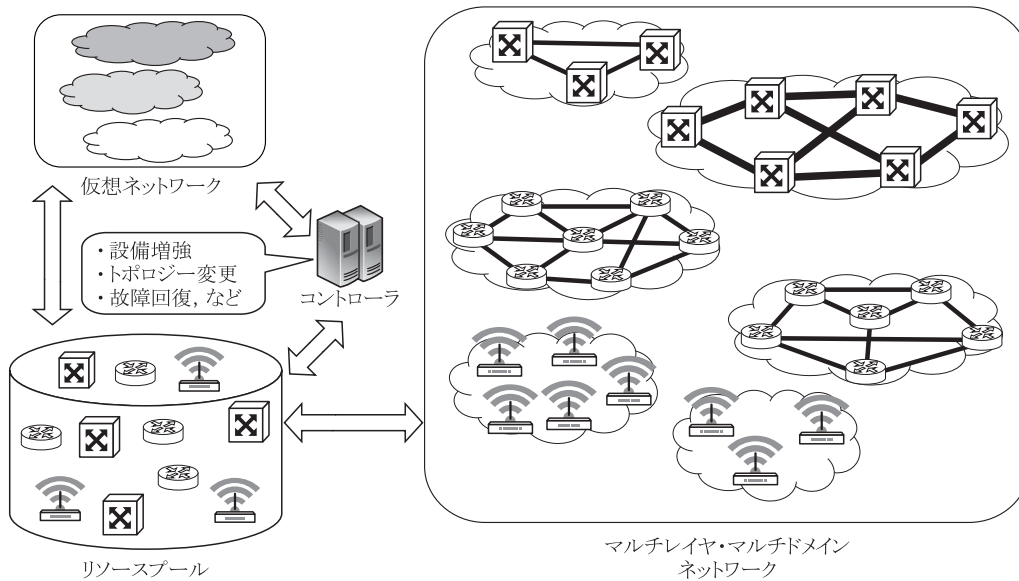


図3 マルチレイヤ・マルチドメイン統合制御技術 各種ネットワークの資源と仮想ネットワークの情報を適切に連携させることで、広域仮想ネットワークの構築・運用が容易になる。

3. マルチレイヤ・マルチドメイン統合制御技術

仮想化技術を用いた広域マルチレイヤネットワーク基盤では、各通信事業者が独自の構成・技術で運営・管理しているマルチドメインネットワークも一元管理・制御する必要がある。そのためには、マルチレイヤネットワーク及びマルチドメインを統合制御する技術が必要であり、この統合制御技術によって、マルチレイヤ・マルチドメインの複雑なネットワークに対しても広域仮想ネットワークが構築できるようになる⁽¹⁴⁾。

図3は、マルチレイヤ・マルチドメイン統合制御技術の実現例⁽¹⁴⁾、⁽¹⁵⁾を示している。本技術では、マルチレイヤ及びマルチドメインの複雑なネットワーク構成に対して、各ネットワークの資源を一元管理する。コントローラでは、一元管理されたネットワーク資源を使って、様々な要求条件を満足する広域仮想ネットワークを構築する。運用中の広域仮想ネットワークに対しても、リソースプール内の資源を動的に利用することで設備の増強やトポロジーの変更、故障回復などの様々な目的を達成できる。

また、仮想ネットワークを構造化してデータベース上で管理することで、広域仮想ネットワークの効率性や可用性、利便性などが向上する⁽¹⁴⁾。更に、光トランスポート網とIP網やイーサネットなどの連携した柔軟な運用を行うための統合制御技術も検討されている⁽¹⁵⁾。

なお、複数の通信事業者が各ネットワークを運用するマルチドメイン環境では、仕様やプロトコルが異なる様々な装置を適切に管理しなければならない。加えて、複数のドメインをまたいだ伝送経路の効率的な設定・監

視も必要となる。それゆえ、全通信事業者間において、各コントローラの管理対象や帰属先などを事前に調整することが必要となる。

このようなマルチレイヤ・マルチドメイン統合制御技術を利用することで、広域仮想ネットワークの効率性、可用性、利便性が著しく向上する。また、本技術を利用することで、ソフトウェア制御によるリアルタイム通信経路制御や負荷分散、回線冗長化による障害対策などの付加価値が高い独自機能を利用・提供できる。

4. 将来無線通信のためのコアネットワーク技術

将来の無線通信では、数ミリ秒以下のエンドツーエンド遅延のような厳しい要求条件を満足しなければならない。そのためには、無線通信技術の発展はもちろんのこと、コアネットワーク技術の発展も必要不可欠である。また、前述の広域マルチレイヤネットワーク基盤での利用や連携も必要となる。

このような将来のコアネットワークでは、ネットワークスライシングの利用が期待されている。ネットワークスライシングでは、SDN技術などの仮想化技術によって一つの物理ネットワークを仮想的に分割し、性能・機能が異なる複数の仮想ネットワーク（ネットワークスライス）を構築・提供する。そして、構築された各ネットワークスライス上でそれぞれ対応する通信サービスだけを運用できる⁽¹⁶⁾。

図4はネットワークスライシングの利用例を示している。この図では、伝送遅延や伝送帯域などの要求に応じて四つのネットワークスライスが構築され、各スライス

上で異なる通信サービスが提供されている。各端末は、利用サービスごとに適切なネットワークスライスへ自動で接続され、複数のネットワークスライスに接続することも可能となる。例えば、超低遅延な将来サービスを利用するアプリケーションと通常のサービスを利用するアプリケーションを併用する場合、伝送データはアプリケーションごとに異なるネットワークスライスを經由することになる。

更に現在のモバイルコア網では、シグナリング制御や加入者情報の管理を行うコントロールプレーンとパケット転送処理を行うデータプレーンが明確には分けられていない。そこでネットワークスライシングを利用したコントロールプレーンとデータプレーンの完全分離も検討されている。例えば、コントロールプレーンをクラウドに集約しつつデータプレーンを各地域に分散させることが可能となり、トラフィック変動に応じたデータプレーン

の資源調整なども実現できる。

また、将来の低遅延サービスを実現するために、基地局側（エッジ）にサーバを配置して伝送遅延を大幅に短縮させるモバイルエッジコンピューティングの利用も検討されている（図5）。モバイルエッジコンピューティングでは、無線基地局にサーバを直接内蔵する形態（図5内のケース1）と、複数の基地局を束ねるポイントにサーバを設置する形態（図5内のケース2）が検討されている⁽¹⁷⁾。前者の形態では、伝送遅延の削減効果は高いが専用装置が必要になりコストが高くなってしまふ。一方、後者の形態では基地局からの伝送遅延は増加するが、複数の基地局で一つの汎用サーバを共有するためコストが大幅に削減できる。現在は、基地局のアンテナ部とベースバンド部を分離するC-RAN（Centralized Radio Access Network）が広く採用されているため、C-RANに汎用サーバを配置することでケース2を実現で

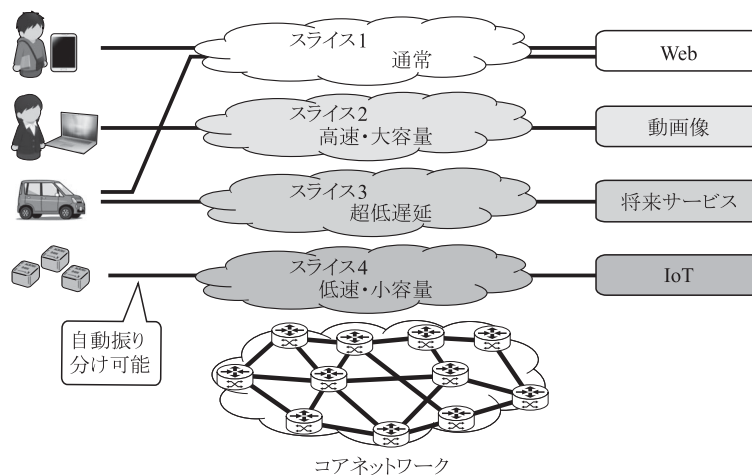


図4 ネットワークスライシングの利用例 複数の仮想的なネットワークスライスを構築することで、コアネットワーク上で異なる品質のサービスを提供することができる。

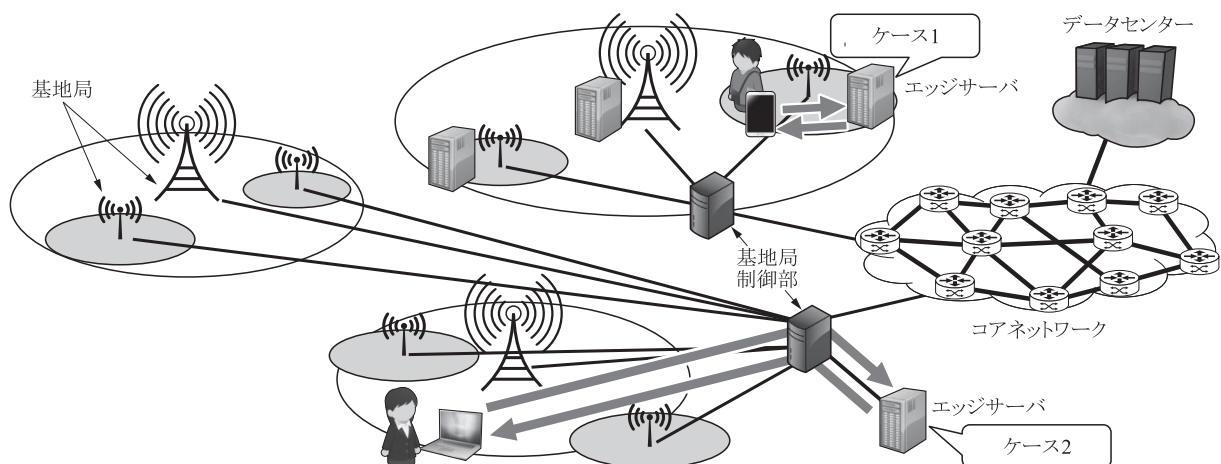


図5 モバイルエッジコンピューティングの実現例 端末の近くに配置されたエッジサーバでデータを処理することで、データセンターでの処理と比較して低遅延な処理を実現できる。

きる⁽¹⁸⁾。なお、仮想化基盤で運用されるクラウドRANが普及した場合には、仮想化したネットワーク機能も利用可能となる。

このように、ネットワークスライシングやモバイルエッジコンピューティングを活用することによって、広域マルチレイヤネットワーク基盤でも多種多様な無線通信サービスを実現できるようになる。これにより、B2B2Cモデルでのパートナー企業へのネットワーク提供に向けて、従来にない付加価値の創出も容易になる。

5. 今後の展望

本稿では、SDN技術を含む仮想化技術を利用した広域マルチレイヤネットワーク基盤とその関連技術について紹介した。今後、数億台のコネクテッドカーを接続し、高精細映像や次世代広告を含む新たなエンターテインメントサービスを提供するためには、広域マルチレイヤネットワーク基盤の確立が必要不可欠である。また、電気事業や医療・ヘルスケア分野における新たな社会インフラとしての重要な役割を担うことも期待される。

以上のことから、将来の社会生活を支える広域マルチレイヤネットワーク基盤を確立するために、本基盤の要素技術・関連技術に対する研究開発をより一層活性化することが重要となる。例えば、抜本的なネットワークセキュリティの改善や、多様なネットワークログ情報の活用（ビッグデータ分析）、AI技術との連携に向けた新たな取り組みが期待される。また、本ネットワーク基盤は様々な技術との連携や利用が可能であるため、今後もネットワークシステム分野の研究開発成果が継続的かつ活発に創出されることが望まれる。特に本会においては、ネットワークシステム（NS）研究専門委員会などで数多くの幅広い研究開発成果が発表されることによって、広域マルチレイヤネットワーク基盤の早期確立及び高機能化の実現が期待できる。

文 献

- (1) H. Kharas, "The emerging middle class in developing countries," OECD Development Centre Working Papers, no. 285, Jan. 2010.
- (2) CISCO, Cisco Internet of Things, <http://www.cisco.com/c/en/us/internet-of-everything-ioe/internet-of-things-iot/>
- (3) 篠原弘道, "2030に向けて取り組むべき課題," http://www.soumu.go.jp/main_content/000461465.pdf.
- (4) CISCO, "Cisco VNI forecast and methodology, 2015-2020," <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>
- (5) NetWorld2020 ETP, "5G: Challenges, research priorities, and recommendations," Joint White Paper, Aug. 2014.
- (6) 中尾彰宏, "SDNがもたらす柔軟な将来網の世界," 信学誌, vol. 96, no. 12, pp. 902-905, Dec. 2013.

- (7) B. Han, V. Gopalakrishnan, L. Ji, and S. Lee, "Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations," IEEE Commun. Mag., vol. 53, no. 2, pp. 90-97, Feb. 2015.
- (8) 高谷直樹, 望月このみ, 本間俊介, "サービスチェイニング技術," 信学誌, vol. 99, no. 6, pp. 536-542, June 2016.
- (9) 伊東 匡, "キャリアネットワークのあり方を変革する Netro-Sphere 構想," 信学技報, NS2015-33, pp. 21-24, June 2016.
- (10) 高橋 賢, "マルチサービスファブリックの研究開発について—新たなキャリア向けNWアーキテクチャの実現を目指して—," 信学技報, NS2016-39, pp. 61-65, June 2016.
- (11) 四七秀貴, "MAGONIA: サービスの早期創出や開発・運用コストの大幅な削減に向けた新たなサーバアーキテクチャ—Netro-Sphere 構想実現に向けて—," 信学技報, NS2015-156, pp. 59-63, Jan. 2016.
- (12) 吉野 學, 氏川裕隆, 原田拓弥, 安永遼真, 持田武明, 浅香航太, 可児淳一, 鈴木謙一, "柔軟かつ迅速なサービス提供を実現する新アクセスシステムアーキテクチャ (FASA) の取り組み," NTT 技術ジャーナル, vol. 28, no. 8, pp. 15-18, 2016.
- (13) 副島裕司, 中島 求, 高橋謙輔, "ワンストップオペレーション技術に関する取り組み," NTT 技術ジャーナル, vol. 28, no. 8, pp. 23-24, 2016.
- (14) 鈴木一哉, "ネットワークオーケストレータ ODENOS の実装と品質管理," 信学技報, CQ2016-5, pp. 25-30, April 2016.
- (15) 植松芳彦, 行田克俊, "トランスポート SDN が創る光ネットワーク基盤の将来像—光技術への期待と課題—," 信学技報, NS2016-34, pp. 51-58, Nov. 2016.
- (16) X. Zhou, R. Li, T. Chen, and H. Zhang, "Network slicing as a service: Enabling enterprises' own software-defined cellular networks," IEEE Commun. Mag., vol. 54, no. 7, pp. 146-153, July 2016.
- (17) A. Ahmed and E. Ahmed, "A survey on mobile edge computing," Proc. 10th IEEE International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO' 16), India, 2016.
- (18) T.X. Tran, A. Hajisami, P. Pandey, and D. Pompili, "Collaborative mobile edge computing in 5G networks: New paradigms, scenarios, and challenges," IEEE Commun. Mag. vol. 55, no. 4, pp. 54-61, April 2017.

(平成 29 年 3 月 6 日受付 平成 29 年 3 月 21 日最終受付)



橋 拓至 (正員)

平 12 名工大・工・生産システム卒。平 13 奈良先端大博士前期課程了。平 16 同大学博士後期課程了。同年情報通信研究機構入所。平 18 奈良先端大助教, 平 23 福井大准教授。現在, 通信ネットワーク技術に関する研究に従事。博士 (工学)。



鎌村 星平 (正員)

平 16 早大・理工・電子・情報通信卒。平 18 同大学院国際情報通信研究科修士課程了。平 25 同大学院博士課程了。平 18 日本電信電話株式会社入社。以来, パケット・光伝送ネットワークの研究開発に従事。現在 NTT ネットワークサービスシステム研究所勤務。博士 (国際情報通信学)。



前田 英樹 (正員)

平 4 東京理科大・電気工学科卒。平 6 同大学院修士課程了。平 6 日本電信電話株式会社入社。以来, 長距離大容量伝送システムの研究開発に従事。現在 NTT ネットワークサービスシステム研究所勤務。