

# 5G/IoT サービスを効率的に実現する 光アクセスの仮想化技術

鹿嶋  
斉藤

正幸  
洋之

中平  
岡本

佳裕  
駿志

更科 昌弘

無線システムは、2020年に第5世代モバイルシステム（5G）が普及を開始し、2025年には本格的に展開される計画である。また、各種センサーが開発され、さまざまなIoTサービスが検討されている。これらが複合される5G/IoT時代は、通信サービス品質の要求が多種多様化するため、単一の物理インフラ上で、複数の品質要件を同時に提供できるネットワーク仮想化技術が注目され、有無線統合ネットワーク上でさまざまな社会課題を解決するための多種多様な通信サービスが提供されることが期待されている。

5Gでの実現が期待されている通信サービス種別である超大容量サービス（eMBB<sup>\*1</sup>）、超多数同時接続サービス（mMTC<sup>\*2</sup>）、超低遅延・超高信頼通信サービス（URLLC<sup>\*3</sup>）は帯域・同時接続数・遅延などの通信品質要件が大きく異なるため、単一の通信制御で要件を満たそうとした場合は、周波数の利用や装置の設置数に無駄が生じ、コスト（提供価格）の高騰につながる。

我々はこのような多種多様な5G/IoTサービスを効率よく提供できる通信ネットワークとして、光アクセスネットワーク（PONシステム）仮想化の研究開発を総務省からの委託研究「IoT機器増大に対応した有無線最適制御型電波有効利用基盤技術の研究開発」の一環で行っている。

以下の本文では、次世代通信インフラの一部となる光アクセスネットワークの仮想化技術を紹介する。

## 光アクセスネットワークの仮想化

図1にネットワーク仮想化のイメージを示す。光アクセスネットワーク、メトロネットワーク、コアネットワーク、エッジサーバー及びクラウドサーバーのハードウェアをネットワークの仮想化で検討されているSDNコントローラーやNFV-MANO<sup>\*4</sup>で抽象化し、抽象化されたさまざまな仮想機能からオーケストレーターが仮想ネットワークを構築し、要件の異なる仮想ネットワークをユーザーに提供する仕組みである。この仮想ネットワーク上で、要件の異なるさまざまなIoTサービス（自動運転・遠隔制御・スマートシティ・農業自動化・超臨場感・デジタルシネマなど）が実現できる。特に、我々は光アクセスネットワークの仮想化の研究開発に携わっている。

将来の無線システムは、基地局の機能をCU/DUに最適に配分し<sup>1)</sup>、さまざまな場所に設置されるため、ネットワークインフラもフレキシブルな変更が求められる。図2にCU/DUの配置及びメトロネットワーク・アクセスネット

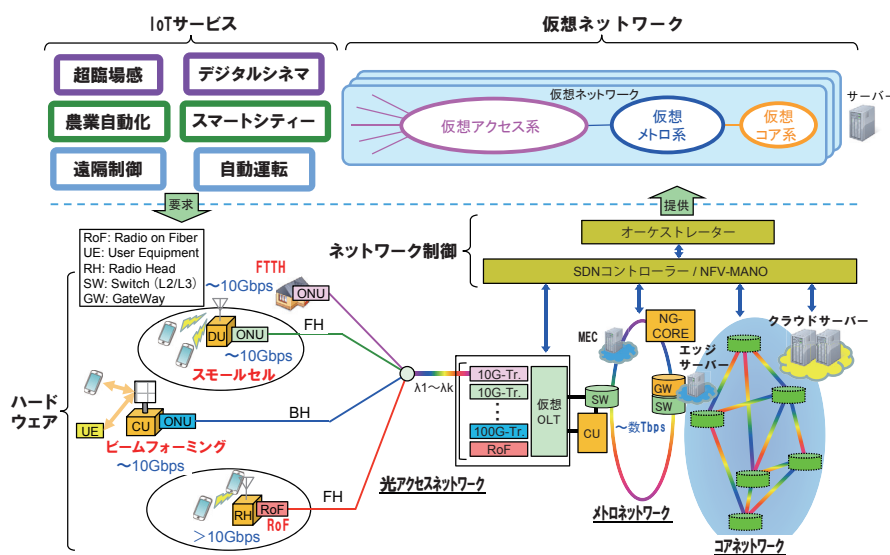


図1 ネットワーク仮想化のイメージ

\*1) eMBB (enhanced Massive Broad-Band) \*2) mMTC (massive Machine Type Communication) \*3) URLLC (Ultra Reliable, and Low Latency Communication)  
\*4) NFV-MANO (Network Function Virtualization-Management and Orchestration)

ワークの役割を示す。PONシステムはモバイルのバックホール (BH) やフロントホール (FH) として回線を割当てることができる。例えば、①はGW-CU間のBHをメトロNW、CU-DU間のFHをPONで、②はGW-CUのBHをメトロNWとPONで、CU-DU間のFHをPoint-to-Pointで、というように割当てを変更することができ、さまざまな無線システムを収容できる。この変更はOLT-ONU間の波長や帯域量を変更し、仮想資源として割当ててことで実現する。

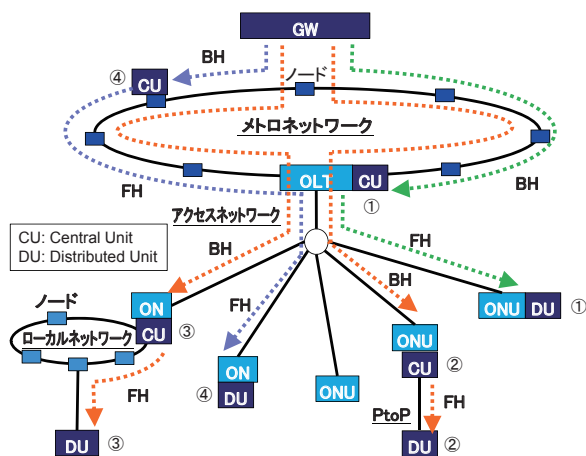


図2 PONシステムによる回線割当

また、従来のPoint-to-PointでCU-DU間を接続した構成でeMBB・mMTC・URLLCのサービスを提供する場合、図3(1)のようにネットワークの伝送容量を超えないように異なるサービスごとに異なる周波数を割当てて必要があり、無駄が発生する。最新のPONシステム (TWDM-PON) にはDWA (Dynamic Wavelength Allocation) / DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) 機能があり、この機能を活用して、各種トラフィックを収容することができ、図3(2)のように集約できる。このとき、ピークレートを超える場合はタイミング変更が許されるサービスのトラフィックをシフトすることで平滑化を図り、最小の資源で提供できるように割当て<sup>2)</sup>。詳細は後半の章で述べる。

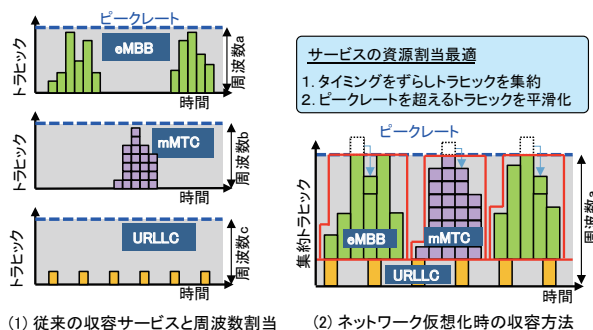


図3 収容サービスと周波数割当

## 仮想OLT (vOLT) の開発

前述のようにフロントホール (FH) でのトラフィックの集約が課題であり、光アクセスネットワークの仮想化にフォーカスし、開発を進めている。IoTサービスの場合の仮想ネットワークを制御するアーキテクチャはオーケストレーター/SDNコントローラー/ハードウェアで構成する。オーケストレーターはサービスを収容する仮想ネットワークごとのリソース (帯域) 利用効率や通信サービス品質を監視・制御する。抽象化管理・制御部 (SDN コントローラー) ではFHの物理的なトポロジーや通信リソースをサービス利用者が意識しないで利用できるように通信リソースをサービスの要求レベルに抽象化し、抽象化された仮想リンク (vLink: virtual Link) や仮想ノード (vNode: virtual Node) を提供する。CU-DU間 (FH) に仮想OLT (vOLT: virtual OLT) とONU が配置される。vOLTは抽象化・管理制御部の指示に従ってFHの通信リソースを制御し、配下のOLTから仮想PON (vPON: virtual PON) を提供する。抽象化されたリソースをvOLT内でダイナミックに物理リソースに変換するアルゴリズム (帯域割当制御・管理) や仮想ネットワークごとに割当帯域を計算することによって要求条件の異なるサービスを効率的に収容し、かつ高速にサービスの追加・変更できる。

vOLTの基本機能構成を図4に示す。同図は集線SW、リソースマッピング部、OSU (Optical Subscriber Unit)、光トランシーバ (Tr.) 及び光波長合成分波部で構成される。なお、図4のOLTは四台のOSUを実装した例である。リソースマッピング部はOpenflowやNetconfなどのプロトコルを使用し、上位制御装置 (オーケストレーター、SDN コントローラー) からの指示に従って効率よく仮想ネットワークの収容先OSUを決定する。なお、OSUが異なる波長で割当てられる場合はドメインDWA (DDWA) が連動して動作する。各OSU内にはドメインDBA (DDBA) 機能が内蔵され、効率よく仮想ネットワーク帯域を割当てて。以下に、vOLTのキー技術であるリソース割当制御技術 (リソースマッピング) とドメインDBA技術の詳細<sup>3)</sup>を述べる。

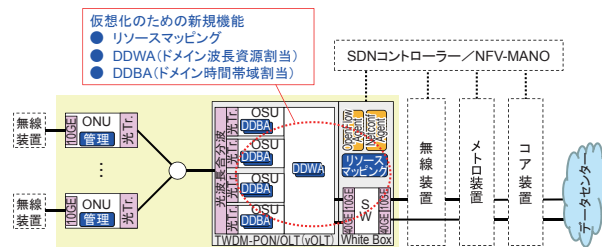


図4 vOLTの構成概要

リソース割当制御技術のリソースマッピング機能は、SDNコントローラーからの指示により、複数のOSUからvPONを構成する技術である。二台以上のOSUの合成やOSUの部分機能の切出すことでvPONを構成する。図5はTWDM-PONを使用した割当例を示す。従来の簡単な割当（図5 (1)）は、個別のサービスにOSU/波長を割当てたvPONになるが、本方式（図5 (2)）は空領域と分割量を算出し、隙間なくOSU資源をvPONに割当てていく。これにより、OSUをスリープさせることができるため、消費電力の削減が図れる。

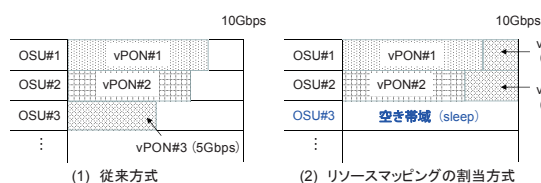


図5 リソース割当制御方式の概略

ドメインDBA技術はOSUによらず仮想ネットワーク（ドメイン）ごとにDBA機能を割当て、それぞれのDBAが駆動する技術である。通常のPONシステムは1つのOSUで一つのDBAで帯域を割当てる。既存DBA（図6 (1)）では、三つの異なるサービスVNW（Virtual NetWork）1~3が同じDBAで駆動されるため、VNW1の帯域変動がVNW2/3に影響を及ぼす。本方式（図6 (2)）では、サービスごと及びOSUごとにDBAを持つため、ほかのサービス（仮想ネットワークVNW）への影響がなくなるので、仮想ネットワークのアイソレーションが確保できる。

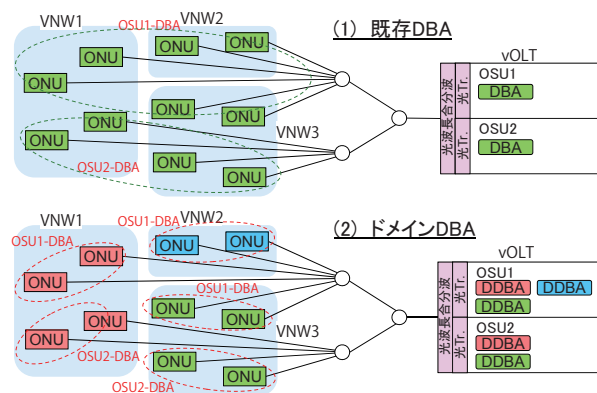


図6 ドメイン DBA 方式の概要

実際の動作では、リソースマッピング機能が決定した仮想ネットワーク構成に従い、その構成の範囲内で割当帯域計算することが要求される。さらに、帯域割当計算に対しては、収容するサービスの要求品質に応じた帯域割

当ポリシーを個別設定できることが要求される。これらの要求を満たすために従来の帯域割当方式に以下の機能を追加する必要がある。

- (1) 最大帯域の設定
- (2) 帯域割当ポリシーの個別設定
- (3) 帯域割当回数の複数化

図7に示すように、仮想ネットワークはOSU一台の上に仮想的に複数構築される。この場合OSU一台の帯域を仮想ネットワークでシェアして使用することになる。従って、仮想ネットワークを帯域上でアイソレーションする機能が必要となる。そこで、図7(1)に示すように仮想ネットワークごとに最大帯域を設定し、その帯域を越えないように帯域割当機能を追加する。これによって、帯域がアイソレーションされ、OSU一台の上に複数仮想ネットワークを構築することができる。

それぞれの仮想ネットワークが収容するサービス品質に個別対応するために、帯域割当ポリシーも個別設定できる必要がある。例えば、図7(2)のように仮想ネットワーク#1は固定帯域割当とし、仮想ネットワーク#2と仮想ネットワーク#3は、ベストエフォート（BE）帯域割当とする。この帯域割当ポリシーの個別設定を実現するために、帯域割当計算を仮想ネットワークごと、すなわち、帯域割当ポリシーごとに分けて実施する機能を追加する必要がある。

さらに、図7(3)に示すように、ONU一台に対して仮想ネットワークが複数構築された場合、一回の帯域割当を計算するために複数回帯域を割当てる機能が必要になる。この機能を実現するために、ONUに所属する仮想ネットワークの論理リンクを複数持たせる機能を追加する。これにより、各仮想ネットワークの帯域割当計算では、論理リンク数分の割当帯域を計算できる。

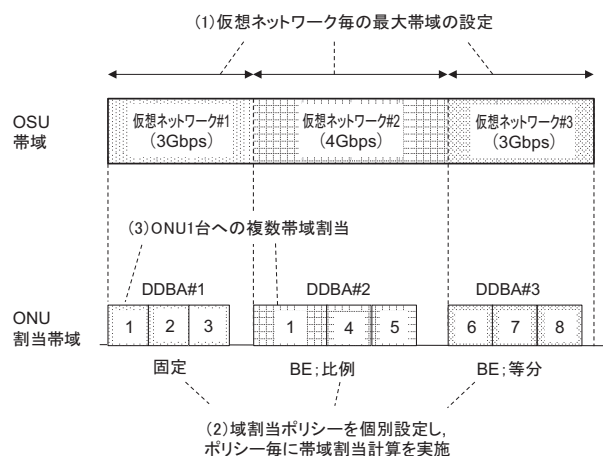


図7 ドメイン DBA 方式による設定例

現在、主信号導通及び波長切替動作の基本機能を確認し、リソースマッピング機能及びDDBA動作を検証している。写真1に基本機能を搭載したvOLTの試作機を示す。なお、本試作機は国際標準化ITU-T<sup>\*5)</sup>/SG15<sup>\*6)</sup>のNG-PON2に準拠している。



写真1 vOLT 試作機

## 国際標準化の取組み

現在、国際標準機関ITU-T/SG13<sup>\*7)</sup>では仮想ネットワークを制御・管理するアーキテクチャーを議論している。国際標準化のポイントは、vOLTに実装されるリソース割当制御機能とドメインDBA機能の制御に重要となるSDN コントローラーとvOLT間のインターフェースを標準にすることで、vOLT製品の普及を図り、5G/IoTサービスを実現するネットワーク事業を展開させることにある。

我々は2015年からFG IMT-2020に参加し、ネットワーク仮想化の課題を抽出し、2017年からSG13で仮想化アーキテクチャーの寄書提案を推進し、2017年11月に我々が提案する基本アーキテクチャーがY.3150 (図8(1))として合意された。引き続き、開発中の内容を織り込んだY. Netsoft-SSSDN (仮名称) の詳細アーキテクチャーを提案し、我々の標準化案が2019年に合意の方向で進んでいる (図8(2))。 ◆◆

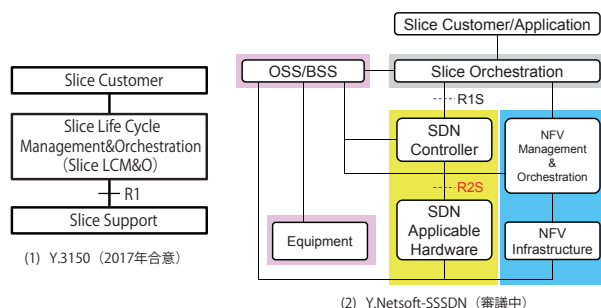


図8 国際標準化のアーキテクチャー

\*5) ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication standardization sector)

\*6) SG15 (Study Group 15)

\*7) SG13 (Study Group 13)

## 参考文献

- 1) 3GPP Release15: <http://www.3gpp.org/release-15>
- 2) 中尾彰宏、他:5G/IoTアクセス網における周波数利用効率を向上する仮想化技術、電子情報通信学会総合大会、B-8-50、2018.
- 3) 斉藤洋之、他:IOTサービス提供に向けたフレキシブル・ダイナミックにMFH/MBHを制御するアーキテクチャの提案、信学技報、CS2018-50、2018.
- 4) ITU-T:<https://www.itu.int/en/ITU-T>

## 筆者紹介

鹿嶋正幸: Masayuki Kashima. 経営基盤本部 研究開発センター 先端基盤技術研究開発部

中平佳裕: Yoshihiro Nakahira. 経営基盤本部 研究開発センター 先端基盤技術研究開発部

更科昌弘: Masahiro Sarashina. 経営基盤本部 研究開発センター 先端基盤技術研究開発部

斉藤洋之: Hiroyuki Saitou. 経営基盤本部 研究開発センター 先端基盤技術研究開発部

岡本駿志: Shunji Okamoto. 経営基盤本部 研究開発センター 先端基盤技術研究開発部

## TIPS 【基本用語解説】

### OpenFlow

ネットワーク上でスイッチ又はルーターのフォワーディング・プレーンへのアクセスを可能にする通信プロトコルであり、ネットワーク機器を1つの制御装置で集中管理でき、フローテーブルにより複雑な転送制御を行う。

### Netconf

ネットワーク機器の設定を行うRPCベースの通信プロトコルの1つであり、YANGモデル (設定データや状態をモデル化したもの) により転送データを定義し、ネットワーク機器の制御を行う。

### FG IMT-2020

(Focus Group International Mobile Telecommunications-2020)

2015年～2016年のITU-T/SG13での集中会合であり、将来モバイル実現に向けた有線ネットワークの既存標準分析と注力分野の特定を議論した。