

5G MBHにおけるSegment Routing対応ルータ装置の開発

無線アクセス開発部

 いがうえ よしお
 伊賀上 義夫
 まつだ ゆうき
 松田 雄大

 はらだ たくみ
 原田 拓弥
 おがわ ひろあき
 小川 弘顕

5G時代のモバイルNWでは、従に加えて新たな要件が求められており、基地局からコアノード間を接続するNWであるMBHにおいてもさらなる高度化が急務となっている。NW構築／運用の効率化、信頼性のさらなる向上、5G時代のトラフィック増加に合わせた大容量NWの提供、および多様なサービス（低遅延／帯域保証など）に柔軟に対応可能なNWの提供というような要件に対し、これまでMBHで採用してきた接続方式だけでは、対応が難しくなってきた。そこでドコモは、解決策の1つとしてSR技術を用いた新たな接続方式によるNW設計を検討してきた。本稿では、新たに商用導入したSR対応ルータ装置、およびその要素技術であるSR技術の概要について解説する。

1. まえがき

モバイルNWにおいて、基地局とコアノード*1を接続する区間をモバイルバックホール（MBH：Mobile BackHaul）と呼ぶ。MBHは、ユーザの利用エリア拡大のために広範囲に設置される基地局を効率よくコアノードまで収容する必要がある。従来のMBHは、トラフィック収容の効率性や障害時における信頼性に優れたNW設計となっていたが、第5世代移动通信システム（5G）時代の到来により、MBHにおいても収容トラフィックの増加や5G要件である

高速大容量（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、低遅延（URLLC：Ultra Reliable and Low Latency Communications）、多数端末同時接続（mMTC：massive Machine Type Communications）を実現するための新たな設計が必要となってきた。新たな要件に対して効率的にMBHに基地局を収容していくためには、これまでドコモが運用してきたイーサネット方式 [1] の装置では、以下の課題に対応することが困難になることが想定される。

- ①5G時代のトラフィック増加に合わせた大容量NWの提供（既存装置の上限は10GbE（Gigabit

©2022 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 コアノード：交換機、加入者情報管理装置などの上位ノード。

Ethernet))

- ②NW構築／運用の効率化およびNW信頼性のさらなる向上
- ③多様なSLA (Service Level Agreement)^{*2} (低遅延／帯域保証など) に、柔軟に対応可能な経路制御の実現

課題①の解決には装置自体のインタフェースの拡張が求められるため、装置に具備する物理インタフェースを、現行の上限10Gから100G以上へ拡張することを検討した。課題②に対応するために、SR (Segment Routing) 方式への対応を検討した。課題①②を共に解消するために、SR対応ルータ装置で構成される新方式でのMBHを導入した。さらに、課題③を解消することを目的として、上位コントローラ^{*3}との連携によりモバイルNW全体での各種サービスに適したSLAを満たす経路制御およびNW／オペレーションの効率化の実現を目指した検討を進

めている。

本稿では、2020年より商用導入を開始したSR対応ルータ装置の概要、SR対応ルータ装置を用いた新たなMBHであるアクセスルータ網 (以下、AR (Access Router) 網) のNW構成、さらにAR網を構成する上で要素技術となるSRの機能概要とその優位性、および装置に具備する障害検知機能などを紹介し、最後に今後のMBHの機能拡張について解説する。

2. AR網を構成する装置とNW設計

2.1 AR網の概要

AR網は、AGR (Area aGgregation Router) とACR (Area aCcess Router) と呼ばれる2種類のNE (Network Element)^{*4}、およびNEの監視・制御・設定などの機能を担うNE-OpS (NE Operation System)^{*5}で構成される。AR網の構成概要を図1に

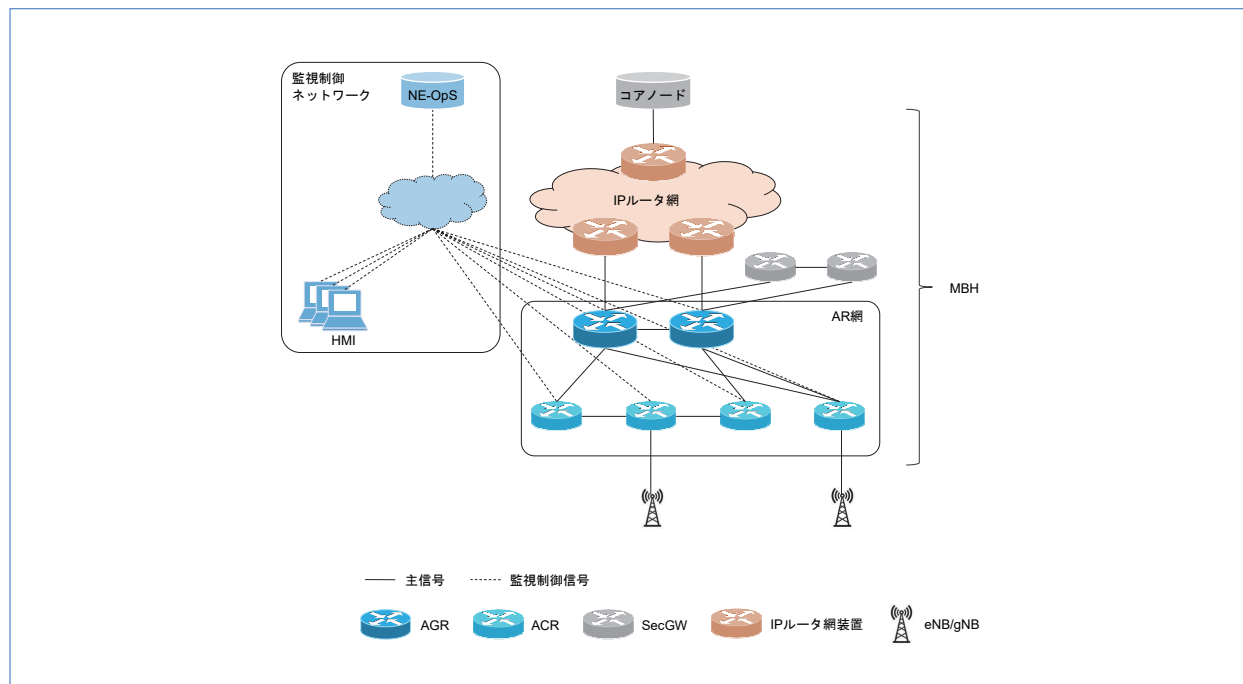


図1 AR網のネットワーク構成図

*2 SLA：提供するサービスの品質保証。

*3 コントローラ：NE (*4参照) を制御する役割をもつ装置。

*4 NE：NWを構成する装置の総称。

*5 NE-OpS：NEを監視制御するシステムの総称。

示す。

AGR/ACRは、100GbEおよび10GbE、1GbEの物理インタフェースをもったラインカード^{*6}を複数収容でき、LAG (Link Aggregation Group)^{*7}を用いることにより、NWの必要帯域に応じて伝送容量を確保するための設備構築を可能にする (表1)。

ACRは基地局のすぐ上位に配置され、複数の基地局エリアとその通信を集約し、AGRと接続する役割を担う。ACRがAGRと接続する際のNWトポロジはスター型^{*8}だけではなく、隣接のACRと、AGRを介さず直接接続してビルをまたぐような長距離伝送路構築を回避することで、伝送路のコスト削減や新規ACRの追加時に柔軟かつ容易にNWトポロジを拡張することができる。また、AGRとの接続に際しては物理回線も冗長化させることができ、信頼性の観点からも障害に強いNWを構成することが可能である。

AGRは、各エリアを集約して上位のIPルータ網 [2] と接続する装置であり、高い信頼性が求められるため装置を冗長化している。これにより、片方の装置が故障してしまっても、サービスに影響なく通信を継続させることが可能となる。また、通信集約の役割以外にも、バックホール区間の通信を暗号化

するためのSecGW (Security GateWay)^{*9}や監視制御ネットワークとの接続を担う。

NE-OpSは監視制御ネットワークを介してNEと接続しており、これにより日本全国のNEに対して遠隔で監視・制御・設定を行うことができる。

2.2 AR網の特徴



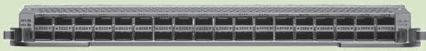

(1)多様なユーザ・システム収容

AR網ではVPN (Virtual Private Network)^{*10}方式を、5Gなどのセルラシステムや無線LANシステムなどにシステム単位で適用することにより、同一の物理的な網に多様なシステムが収容可能である。これにより、ユーザごとのルーティング、QoS (Quality of Service)^{*11}、セキュリティ、遅延などを最適化し、さらにユーザ間の運用の独立性を担保することができる。

(2)経路集約効果

セルラシステムでは、AR網内と上位NWであるIPルータ網との間で莫大な経路情報が流通するため、上位NWとの接続装置であるAGRにおいて経路集約を行った上で上位 (IPルータ網) にbroadcastすることで、AGRやIPルータ網が保持する経路情報数を削減している。これにより、NW全体の負荷を下

表1 AR網装置

	AGR	ACR
シャーシ		
ラインカード (100Gモジュール)		

*6 ラインカード：物理インタフェースを収容するシャーシ型ルータ装置に具備するモジュール。

*7 LAG：複数の物理回線を仮想的に1つの回線として扱う機能。

*8 スター型：NWトポロジの一種。複数の通信機器が、1つの中心となる通信機器に接続するNW構成。

*9 SecGW：基地局との暗号化通信を終端する通信機器。

*10 VPN：サービスごとに論理的に構成する仮想NW。

*11 QoS：使用帯域の制御、遅延量や廃棄率などの制御などに用いられるNW上の品質規定。

げられるため障害発生時にも安定的なNW運用が可能となる。

(3)AR網内でのShaping機能^{*12}

AR網と接続する基地局側では十分な帯域を確保できない(1GbE区間が多い)ため、IPルータ網から流入してくる下りトラフィックに対して、AR網の入口であるAGRにおいてフラグを立て、AR網の出口であるACRでshapingを適用し、下位の伝送路に合わせて送信帯域を調整している。これにより、帯域が十分に確保できない区間に対しても、AR網側で負荷を軽減することで、輻輳^{*13}とそれによるパケット破棄を減らすことが可能となる。

(4)micro-BFD (Bidirectional Forwarding Detection)

およびBGP-PIC (Border Gateway Protocol-Prefix Independent Convergence) 機能

NW障害の際に前述のように装置を冗長化しておくことと合わせて、以下に説明するmicro-BFDやBGP-PICのような技術を用いてAR網を構成することで、障害検知から経路切替までを高速に完了させることができる。

(a)micro-BFD

AGR～AGR区間、AGR～ACR区間、AGR～IPルータ網区間では回線冗長化のため複数の100GbE回線で接続し、LAGを用いて論理的に1つの回線として運用している。本機能はLAGを構成する各物理回線で死活監視パケットを高頻度に送受信するものであり、障害を速やかに検知することで、高速な経路切替を実現する。

(b)BGP-PIC

AR網で収容するセルラシステムでは、万単位の経路が流通するため、障害発生時にバックアップ経路を見つけ出す(Lookup)までに秒単位の時間を要してしまう。本機能はバックアップ経路Lookupの演算効率を向上させる機能であり、障害検知から経路切替までのタイムラグを短縮することができる。

2.3 AR網の保守・運用

NE-OpSはNEの管理・監視および制御・設定を行う。多数の拠点に配置するACRやAGRを一括で管理することにより、保守・運用の効率化を実現している。NE-OpSまでの通信に関してもAR網内を通るため、NW区間で障害が発生しても上記のような信頼性で設計され、AGRとACRの管理・監視に問題が生じないような接続構成となっている。

3. SRの機能

AR網を構成する上で、主要な機能概要を解説する。特に、AR網において柔軟な転送制御を実現するSRについて、NW設計で用いた機能を中心に解説する。

3.1 SRの概要

一般的に、ルータ装置はパケットを転送する際に宛先IPアドレスを用いて転送経路を決定するが、SRでは「Segment」をパケットに付与する事により、網内でのパケットの転送制御を行う。従来の宛先IPアドレスを用いた転送制御よりも、シンプルで柔軟な制御を実現することが可能なルーティング方式である。Segmentには複数の種類があるが、AR網では、主にIGP (Interior Gateway Protocol) -Prefix SegmentとIGP-Adjacency Segmentを使用する。SRの転送動作概要を図2に示す。

(1)Prefix-SID (IGP-Prefix Segment ID)

AR網内でユニークな値であり、基本的な転送制御ではこのPrefix-SIDを使用する。単一のノードで使用されるIGP-Prefix (Loopbackアドレス^{*14}など)に対応するPrefix-SIDはNode (IGP-Node Segment) -SIDと呼ばれ、SR対応ルータ装置は、これを用いてドメイン内で一意にノードを指定することができる。

*12 Shaping機能：帯域制限の方式の一種。データ量が装置に設定するしきい値を超えた際には、バッファして送信する技術。

*13 輻輳：通信の要求が短期間に集中して通信制御サーバの処理能力を超え、通信サービスの提供に支障が発生した状態。

*14 Loopbackアドレス：ノードなどに割り当てられる自身を示すIPアドレス。

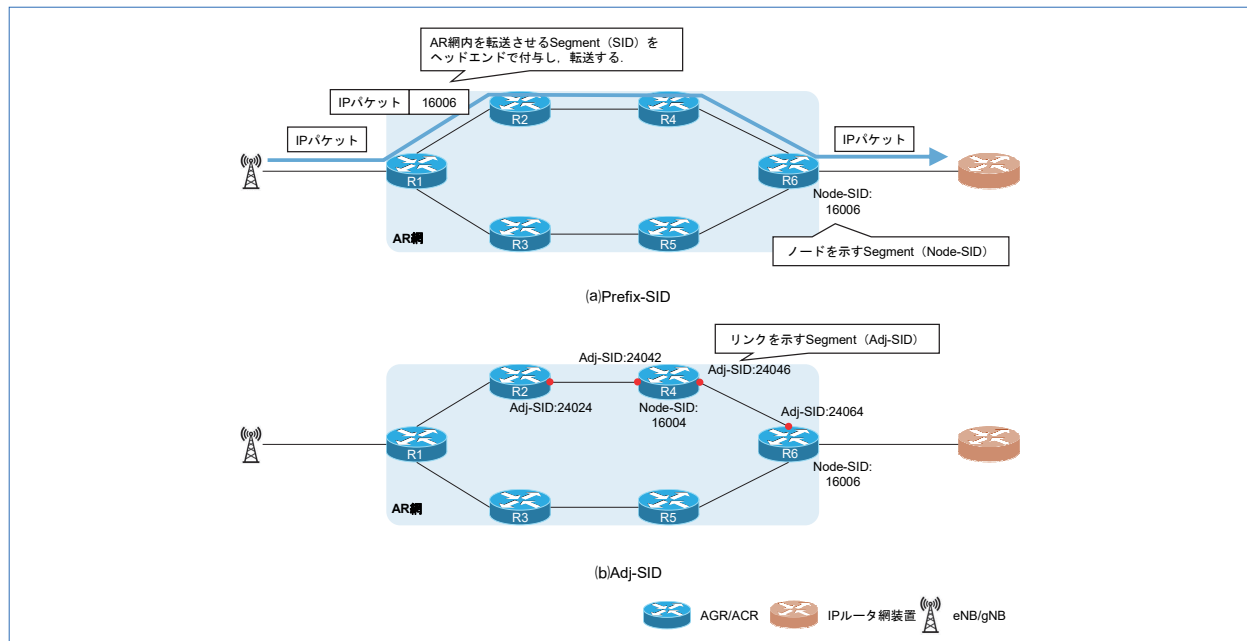


図2 SRの転送動作概要

(2)Adj (IGP-Adjacency Segment) -SID

各SRノード内でユニークな値であり、隣接IGPノードへのリンクごとに割り当てられ、特殊な転送制御で使用される。Adj-SIDを受け取ったノードは、宛先ノードへの最短経路とは関係なく、指定されたリンク向けにパケットを転送する（送信先インタフェースを指定する）。

3.2 SRの特徴

AR網では、SRをMPLS (Multi-Protocol Label Switching) *15データプレーン *16に適用するSR-MPLS方式を採用しており、以下のような特徴がある。

(1)データプレーン

本方式では、従来のMPLSデータプレーンをそのまま利用可能である。また、MPLSヘッダのLabelフィールドにSIDをエンコードすることでSegmentを表現する。

(2)コントロールプレーン *17

以下の3種類の実装方法から選択可能である。

- ・ distributed (分散型) は、ルーティングプロトコル (OSPF (Open Shortest Path First) *18など) の機能を拡張することで対応する方式。ラベル配布専用のプロトコル (LDP (Label Distribution Protocol) *19, RSVP (Resource reSerVation Protocol) *20) が不要であり、従来のMPLSと比較してシンプル (AR網では本方式をOSPFで採用)。
- ・ centralized (集中型) は、上位のコントローラがSegment生成、割当てを含むすべてのコントロールプレーンを担う方式。
- ・ hybrid (ハイブリッド型) は、ルーティングプロトコル (OSPFなど) を用いた分散型を基本とし、コントローラを用いた集中型を併用する方式。

(3)ソースルーティング

本方式では、SR-policy *21をSR-MPLS網の入口で適用することで、網の出口までの経路をすべて指定可能である。また、SDN (Software Defined

*15 MPLS: IPアドレスの代わりにラベルを用いたパケット転送技術。

*16 データプレーン: ルータでトラフィック転送する際に使用するルーティングテーブルやそのロジック。

*17 コントロールプレーン: ルータでトラフィック転送を制御するためのルーティングプロトコル。

*18 OSPF: ルータが隣接している接続情報を基に経路を選択するプロトコル。

*19 LDP: ラベル交換プロトコルの一種。ラベル情報交換により、NE間のセッションを確立することが可能となる。

Network)^{*22}との親和性が高く（コントローラによる集中型制御をしやすい）、低遅延や帯域保証などユーザごとに最適化した経路制御を提供できるアーキテクチャとなっている。

(4)高速切替機能

AR網は、セルラ通信の制御プレーン^{*23}や音声通

話サービスを収容するため、高水準の可用性が要求される。AR網では、あらゆる障害に対しても速やかに経路切替を行い、トラフィック影響を最小限に留められるような設計が求められる。図3に示すように、従来のMPLSでは、トポロジによってはパケットが迂回した後も障害発生箇所に向かってしま

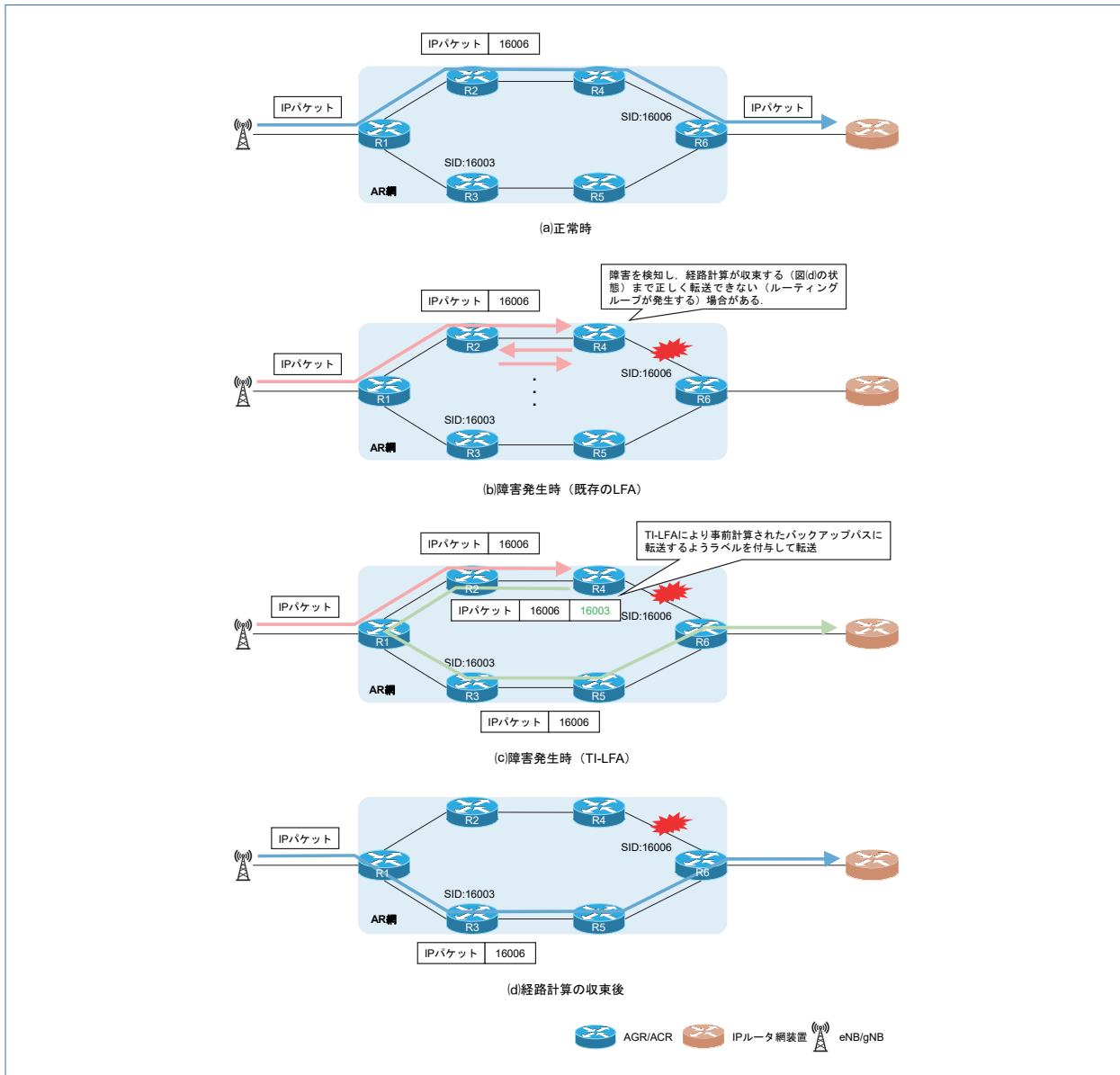


図3 AR網内の障害時動作とTI-LFAの動作概要

*20 RSVP：IP-NW上でデータの送信先までの帯域幅をあらかじめ予約することによって、即時性が要求されるデータ通信などで必要な通信品質を確保するためのプロトコル。

*21 SR-policy：SR網内の転送経路を指定するポリシー。

*22 SDN：NWを構成する機器の設定・動作をソフトウェアで制御すること。

*23 制御プレーン：セルラ通信の確立や切断などをするための制御信号を転送するためのプロトコル。

いループが発生してしまうことが懸念されていたが(図3(b)), SR-MPLSでは転送バックアップの経路をMPLSラベルスタックによって厳密に指定することで、ループを回避可能である(図3(c)(d)). これはTI-LFA (Topology Independent Loop Free Alternate) と呼ばれ、IGP (OSPF) 網内の障害に対しては、本機能によって高速な経路切替を実現する。従来のIP高速迂回技術であるLFAやrLFA (remote LFA) は、トポロジによってはループフリーな迂回経路を準備できないという課題があったが、SRを用いることでループフリーな迂回経路を提供することが可能となる。

(5)OAM (Operations And Maintenance)^{*24}機能

SR対応ルータ装置は保守機能として、いくつかのOAM機能を有する。

まずは、基本的なOAM機能として、Ping^{*25}、traceroute^{*26}をIGP網内などの疎通確認に使用することが可能であり、隣接ノードへの到達性や転送経

路を確認できる。

次に、AR網内でVPN収容しているユーザのVPN内の疎通確認では、VRF (Virtual Routing and Forwarding) -ping/tracerouteを使用することができる。本コマンドは、AR網に開通されるVPN端点をsource (送信元) として、VPN内の任意のdestination (宛先) への到達性や転送経路を確認する際に使用される。destinationはAR網内でもなく、基地局やコアノードまでの到達性を確認することもできる。

さらに、MPLS-Pingを用いてIGP網内などの疎通確認をMPLSデータプレーン上で実施することもできる。SID情報の交換に失敗しているなど、特殊なトラブルが発生していないかを確認するために活用する。

SR対応ルータ装置の特徴として、サイレント障害^{*27}を検知する機能であるDPM (Data Plane Monitoring) が挙げられる。図4に示すように、DPMにより、NWの正常性を定期的に確認することができる。また、自ノード経由のデータプレーン通信に対する

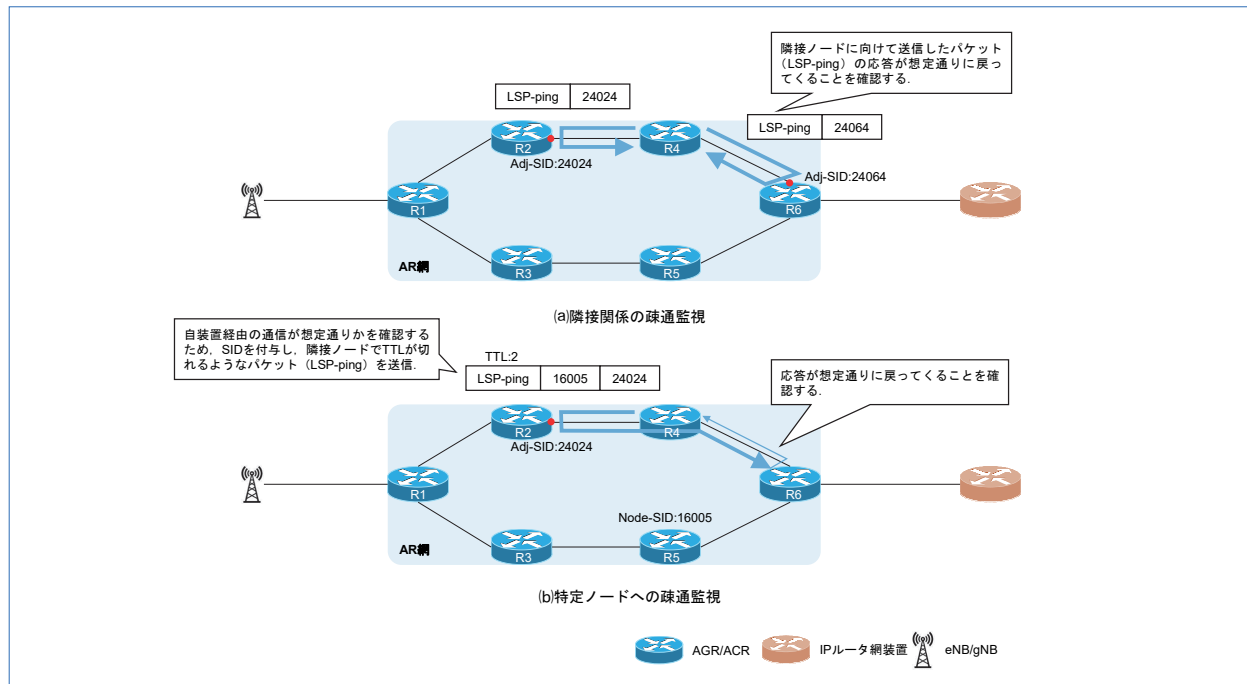


図4 DPMの動作概要

*24 OAM : NWにおける保守運用管理機能.

*25 Ping : IP-NW上でノードへの到達性を確認するコマンド.

*26 traceroute : IP-NW上でノードへのネットワーク経路を調べるコマンド.

*27 サイレント障害 : NE-OpSで検知できない障害のこと.

正常性も確認することができるため、サイレント障害発生時の検知、切分け時に効果が期待できる。

4. 5G時代におけるMBHの進化

4.1 SR-TEの概要

AR網内の経路を明示的に指定することのできるTE (Traffic Engineering) にSR技術を適用することにより、従来よりもサービスに応じて柔軟な経路制御を実現することができる。MBHの区間でも同様に、SRを用いたTEにより、きめ細やかなNW制御がユーザーに提供可能となる。なお、モバイルNWでは、ユーザー端末からコアノードまでの通信がTEの対象となる。

5Gの導入により、これまでよりも低遅延、大容量、多数端末同時接続といった多様なサービスを収容しなければならない。これらのサービスを提供す

る各NWの特長を考慮した柔軟なNW設計が、従来よりも求められる。

SRによるTEの制御概要を図5に示す。SR-TEでは前述のソースルーティングによりパケットの転送経路が決定されるため、AR網の入口でMBH区間を通る経路を明示的に指定することができる。MBH内にパケットが流入したタイミングで、サービスごとに付与された識別子を用いて転送する経路を振り分けし、論理的に分けられたNWとして運用することが可能となる。サービスを振り分ける識別子として、IPアドレスやポート番号、DSCP (Differentiated Services Code Point) 値^{*28}などを使い、接続するノードに合わせた制御方式を実現することができる。

例えば、低遅延サービスを提供する場合は、ノード間の遅延量を用いて転送経路を計算し、各NW装置へ計算結果である最短経路を設定することが可能となる。OSPFなどのパスコスト^{*29}を用いた経路計

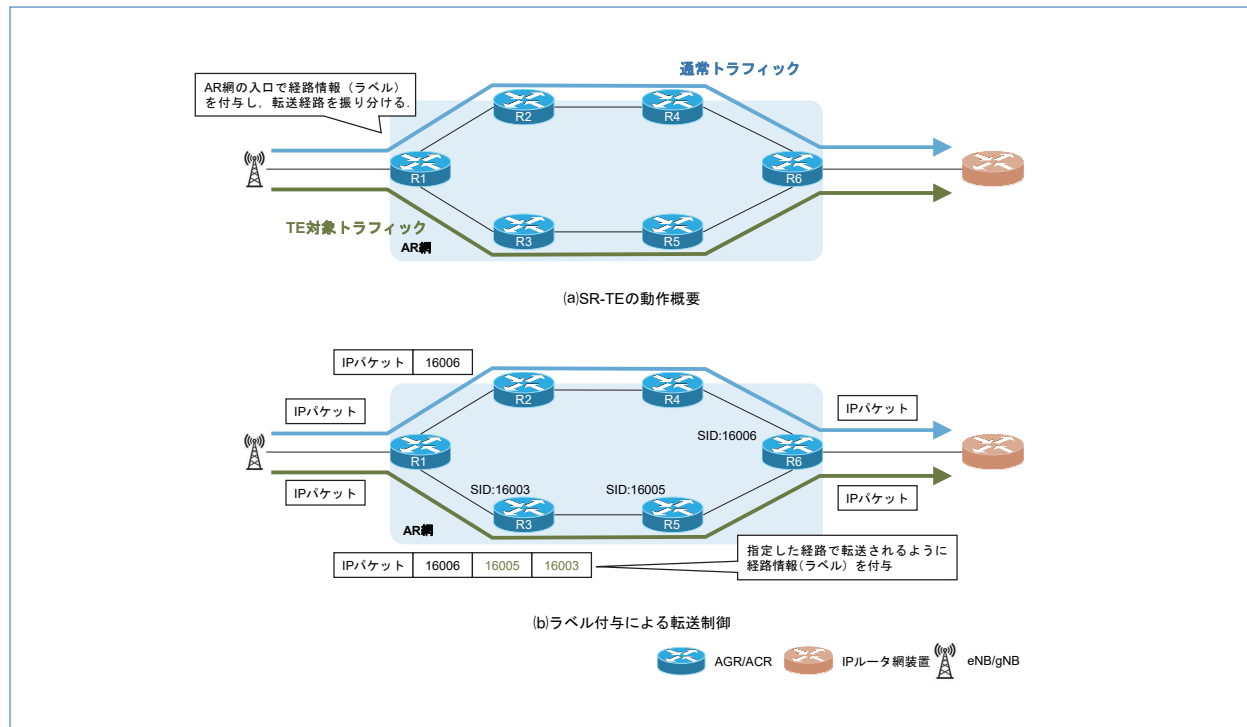


図5 SR-TEの制御概要

*28 DSCP値：パケットの優先制御を行う際の、優先度を表す値。

*29 パスコスト：宛先までの経路上の距離（重みづけ）を累積した値。

算で決められた経路と、遅延量を用いた経路計算で決められた経路を使い分けることで従来よりも柔軟なMBH区間を構築できる。

4.2 E2EでのNWスライシングの実現に向けて

上位コントローラを介したNW設計にすることで、MBH区間だけでなくMBHに接続するNWを含めた経路最適化が可能となり、E2E（End to End）での経路制御の実現が見込まれる。E2Eでのスライシングにより、これまでよりもサービス単位での要求条件に沿ったNWをユーザに提供できることが期待される。

上位コントローラを介したNW構成を図6に示す。SR対応ルータ装置だけではAR網区間以外のNW構成を把握することができないため、接続先のNW構成を接続先NW用上位コントローラ経由で取得することが必要となる。経路計算についても、AR網区間のルータおよびAR網用上位コントローラだけで実施するのではなく、接続先NW用上位コントローラ

側と連携して経路制御に必要な他NW構成情報を互いに受け渡し、経路計算を実施する。

このように各コントローラ間を連携させ、各コントローラ配下のルータにそれぞれ設定することで、E2Eで一貫した経路制御ポリシーを適用することが可能となり、多様なサービス要件に応じて論理的なNWを構成できる。その際にも今回導入したSR対応ルータ装置を用いることで、コントローラとも連携した経路制御が容易となり、多様なサービスに対して柔軟なNW設計を提供することが可能となる。

5. あとがき

本稿では、5G時代に対応し得るSR対応ルータ装置の概要、そのNW構成、今後実現するMBHの進化について解説した。

これまで述べてきたように、SR対応ルータ装置の導入により、NW容量の大幅な増加、効率的なNWの帯域利用が可能となり、また障害時において

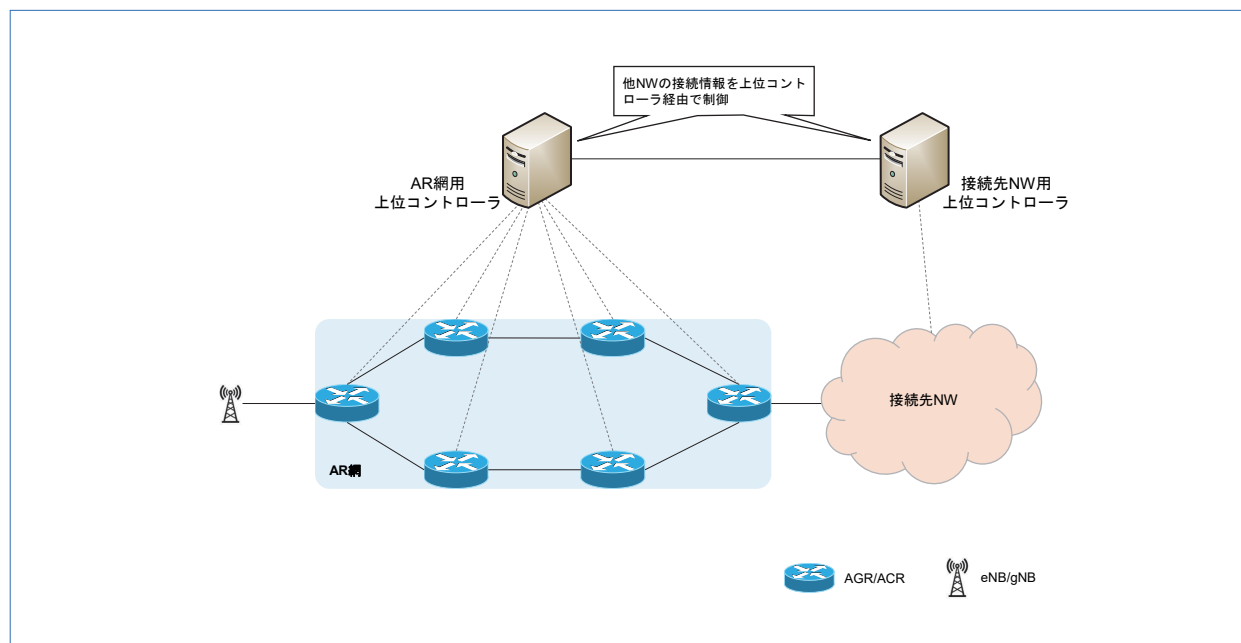


図6 上位コントローラを介したNW構成

も高速切替機能や障害検知の向上によりNWの信頼性を高めることができる。

今後は上位コントローラとの連携により、多種多様な5Gサービスに柔軟に対応するための機能拡張を引き続き検討していく。

文 献

- [1] 森田, ほか: “伝送路のAll-IP化に向けたイーサネット伝送装置 (ERP-SW) の開発,” 本誌, Vol.18, No.3, pp.52-56, Oct. 2010.
- [2] 大崎, ほか: “「IPルータ網」の構成技術 - L2/L3統合VPNバックボーンの概要 -, ” 本誌, Vol.12, No.1, pp.57-63, Apr. 2004.