

サービス固有制御を可能とするモバイル網仮想化技術

伊藤 学

将来、移動体通信を提供するモバイル網は社会基盤としての重要性がこれまで以上に高まる。現在のモバイル網の課題を解決し、将来モバイル網を実現するキーテクノロジーの1つとしてネットワーク仮想化技術が注目されている。ここでは、モバイル網へのネットワーク仮想化技術の適用を実現する基盤技術に関する研究を紹介する。

1 まえがき

現在のインターネットが抱える課題を解決し、将来の社会基盤となる新世代ネットワークの実現に向け、その基盤技術であるネットワーク仮想化の研究開発が実施されてきた。ネットワーク仮想化技術により、伝送速度や信頼性、接続端末の規模などの要求条件が異なるネットワークサービスを同一の物理ネットワーク上で提供することが可能となる。

新世代ネットワークが平時・災害時を問わず社会を支えるにたる社会基盤となるには、移動体通信網(以後、モバイル網)を介した通信が台頭してきている現状に鑑みると、モバイル網に対してもネットワーク仮想化技術を適用することが求められる。一方、モバイル網にとっても、新たなネットワーク要件(超低遅延、膨大な数の接続等)が求められている5Gシステムを実現する技術として、ネットワーク仮想化技術がキーテクノロジーの1つであることが業界全体で共通の見解となりつつある。ネットワーク仮想化技術によって、端末の近傍に必要な機能群を配置したスライスを構成することで、超低遅延サービスを提供することができるようになる。また、画一的な制御ではなく特定のサービスに効率化した制御を行う機能群から成るスライスを構成することで、ネットワーク全体の処理負荷の低減が可能となる。

本稿では、モバイル網へのネットワーク仮想化技術の適用(以後、モバイル網仮想化)を実現するための基盤技術について報告する。モバイル網仮想化の実現に必要なゲートウェイ機能を紹介し、同機能のプロトタイプ実装によりモバイル網の処理負荷削減が可能であることを実証する。さらに実用化に向け、複数ゲートウェイ機能間のスケーラブルな情報共有手法を提案し、その有効性を示す。

2 モバイル網へのネットワーク仮想化技術の適用

2.1 現在のモバイル網と課題

現在展開されているモバイル網であるLTE (Long Term Evolution)/EPC (Evolved Packet Core) のアーキテクチャを図1に示す。基地局(eNB: eNodeB)に接続された端末(UE: User Equipment)が送受信するパケットは、GTP (GPRS Tunneling Protocol)トンネルを利用して、外部ネットワーク若しくは他UEへ配送される。GTPトンネルは、eNB-SGW (Serving Gateway)間、SGW-PGW (Packet data network Gateway)間で確立され、これら終端ノードではパケットの経路制御とポリシー制御が実施される。SGWは、UEに対してeNB間シームレスハンドオーバを提供するアンカーポイントとして機能する。PGWは、トラフィックモニタリング、課金、アクセス制御、外部ネットワークとのゲートウェイとして機能する。GTPトンネルは、MME (Mobility Management Entity)、PCRF (Policy Control and Charging Rules Function)と協調することにより設定される。MMEは、移動管理とユーザ認証を行うC-Plane (Control Plane)機能であり、eNBとSGWと協調してベアラ(論理的なパケット伝達経路)セッション制御を行う。PCRFは、ユーザプロファイル情報と外部ネットワークから通知され

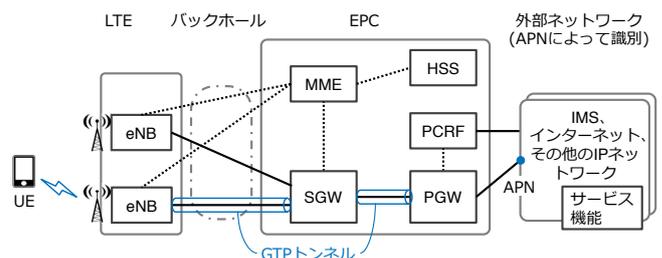


図1 モバイル網のアーキテクチャ

4 新世代ネットワーク基盤技術

たメディア情報(IPアドレス、ポート番号、プロトコルタイプ、メディアコーデック等)に基づき、PGW/SGWに対してQoS設定(QoSクラスとビットレート等)を行う。

UEがサービス利用のために外部ネットワーク(IMSやインターネット等)と通信する際には、ベアラセッション確立要求メッセージをMMEへ送信する。この要求メッセージには、サービスを提供している外部ネットワークを識別するAPN(Access Point Name)が含まれる。MMEは、このAPNによって特定される外部ネットワークとの接続点であるPGWとSGW間でGTPトンネルを確立するために、適切なSGWを特定する。MMEから要求を受けたSGWは、PGWとeNBとそれぞれGTPトンネルを確立する。このGTPトンネルにより、UEはアプリケーション層制御プロトコルであるSIP(Session Initiation Protocol)やHTTPを用いて、アプリケーションレベルのセッション制御メッセージを外部ネットワーク内のサービス機能と交換できるようになる。このセッション制御メッセージ交換の過程で、サービス機能はPCRFへメディア情報を通知する。PCRFは、PGWに対して、QoS情報とメディア情報を送信する。これらの情報は、SGWを経由してMMEまで通知され、MMEはeNBに対して無線リソースの割当を行う。また、MMEは必要に応じてメディア用のベアラを新規に確立するか、既存のベアラの更新を行う。

将来のモバイル網では、超低遅延、高効率化などのネットワーク要件への対応が検討されており、現在のアーキテクチャでは実現が困難となっている。超低遅延については、将来サービスとして触覚通信、バーチャルオフィス、自動運転車などの提供が期待されており、E2E遅延が5ms以下の要件が設定されている^[1]。現在のモバイル網内での通信経路は、たとえ同じ通信事業者への加入者同士の通信であっても、PGW若しくは外部ネットワーク内のサービス機能がアンカーポイントとして構成され、数十から数百msの遅延が発生する。高効率化については、膨大な数の端末収容にかかる膨大な処理負荷を削減できるようセッション制御を効率化することが求められている。現在のモバイル網では、サービスやその利用環境に依らず、画一的なパラメータや手順によってセッション制御を行うことから、非効率な場合(必ずしも必要ではない手順が発生している)もある。さらに、UEのタイプを区別することなく、UEは独立に動くことを前提として、画一的なセッション制御を行っている。

2.2 サービス固有制御による課題解決

上述した課題を解決するためには、サービスに適し

たネットワーク構成や制御が必要となる。超低遅延を提供するためには、物理的な通信距離が短くなるようにネットワーク構成を変更する必要がある、データのアンカーポイントを含む機能群をUEから近距離に配置する必要がある。

制御の効率化のためには、複数UEの制御を集約して実行したり、サービスによっては必ずしも必要ではない制御を省略したり、パラメータ値をサービスやその利用状況に応じて個別に設定変更したりする必要がある。例えば、複数のUE間でのグループコミュニケーションサービスを提供する際には、各UEに割り当てるメディア送受信ベアラ設定処理をまとめて実施することで、これにかかる制御処理及び制御メッセージを削減することができる^[2]。また、MTC(Machine Type Communication)端末などの基本的に移動しないUEに対しては、定期的な移動管理制御を行わないことで処理負荷を削減できる^[3]。これら以外にも、モバイル網内の制御を効率化するための手法^{[4][7]}が多く検討されている。

2.3 ネットワーク仮想化技術適用の必要性

ネットワーク要件に応じて構成の異なる専用モバイル網を物理的に複数構築して、必要に応じて使い分けることは設備投資コストの増大を招く。各網内での処理に必要な設備容量を見積もることは容易なことではない。制御の効率化については、モバイル網を構成する機能自体を拡張することで実現も可能であるが、既存機能間で動作矛盾が生じないように互換性を保つことが必要となり、これには多くの検証期間を要する。よって、効率化手法をタイムリーに適用していくことは難しい。また、各機能内部でサービスごとに制御を変更することは、処理性能の低下を招く恐れもある。

要件に応じた専用のモバイル網を構築する有望な技術として、ネットワーク仮想化技術が注目されている。ここで、1つの物理的なネットワーク上に複数の論理的に独立したネットワーク(仮想ネットワーク)を構築し、各仮想ネットワーク上でソフトウェア化(汎用ハードウェア上でアプリケーションとして動作可能にすること)した機能を動的に構成して活性化可能とする技術をネットワーク仮想化技術と呼ぶ。ネットワーク仮想化技術を用いることで、1つの物理ネットワーク上に、サービス特性に応じたモバイル網を仮想ネットワークとして構築(仮想モバイル網)することができる。各仮想モバイル網では、柔軟な構成変更やリソース割当が可能となる。また、各仮想モバイル網は分離されているため、特定のサービスのみが動作する機能を用意するだけでよく、(他の仮想モバイル網上の)既存機能と互換性を保つ必要がない。サービスの特性

に応じた EPC/IMS 制御を行う専用機能から成る仮想モバイル網を仮想化基盤上に構成することで、新たなネットワーク要件を提供できるようになるだけでなく、ネットワーク全体の効率化が図れる。

ネットワークリソース及び機能の仮想化を実現する技術については、SDN (Service Defined Networking)、NFV (Network Function Virtualization) として、多くの検討がされている。本稿では、仮想化技術をモバイル網へ適用してネットワーク全体の効率性を向上させるために必要となる要素技術について、その検討内容を報告する。

3 サービス固有制御モバイル網仮想化とサービスフロー制御技術

3.1 サービス固有制御を可能とするモバイル網仮想化の構成

図2にモバイル網仮想化の構成例を示す。ネットワーク仮想化基盤上に、標準で規定されている機能群から成る仮想モバイル網 (vMNW1)、特定サービスに効率化された仮想モバイル網 (vMNW2、vMNW3) が構成されている。vMNW2は、データの通信路となる SGW、PGW、サービス機能を端末から近距離の物理ノード上へ配置することにより構成される。また、vMNW3は、必要な C-plane の機能も含んだ形で構成され、各機能は標準の手順を拡張 (例として、グループコミュニケーションサービスを提供する際の処理負荷軽減のために、各 UE に割り当てるメディア送受信用ベアラの設定処理をまとめて実施) したものとなる。各仮想ネットワークは、IA サーバ上で動作している仮想サーバ (VM) がレイヤ 2 レベルのオーバーレイプロトコル (Virtual eXtensible Local Area Network (VXLAN) 等) を用いて接続されることで構成される。各 VM 内ではそれぞれ機能がソフトウェアとして動作する。機能間でパケットが交換される際には、IA サーバ内の仮想スイッチにてオーバーレイプロトコルによりカプセリング化される。UE から送信されるパ

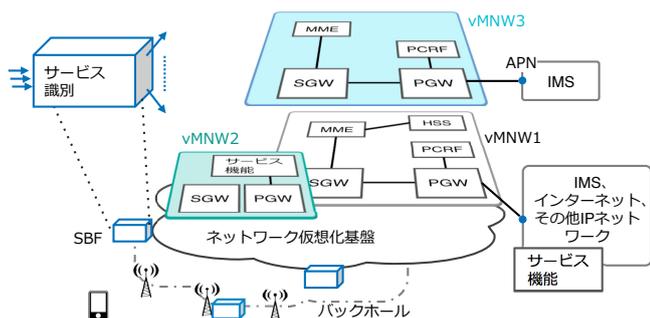


図2 サービス固有制御モバイル網仮想化

ケットを適切な仮想ネットワーク内で処理させるためには、パケットが関連するサービスを特定してカプセリング化する処理 (以後、サービスフロー制御) が IA サーバ群の前段で必要となる。この処理を実行する場所として、端末側若しくはネットワーク側が考えられる。端末側で実施する場合には、端末自身が高速なパケット I/O 機構を備え、アプリケーションがレイヤ 2 のフレームを操作できるように改良する必要がある。このため、端末側でのアプローチでは、一部の改良済み端末から送信されたパケットのみしか適切な仮想ネットワークへ振り分けることができない。また、端末の省電力化のために通信機能のシンプル化が図られる MTC 端末が今後多くなることに鑑みれば、すべての端末に上述した改良が導入されることは考えにくい。よって、ネットワーク側で実現することが望ましい。

ネットワーク側でサービスフロー制御を実施するためには、5 タプル (送信元 / 宛先 IP アドレス、送信元 / 宛先ポート番号、プロトコルタイプ) のみではサービスを識別できないことからパケットのペイロード精査 (以後、パケット精査) が必要になる。これは、5 タプルでは、EPC 内でのベアラセッション制御のためのシグナリングメッセージや、サービスセッション制御のための SIP や HTTP メッセージをサービスの粒度で識別できないためである。UE から送信されたシグナリングメッセージ (SI AP メッセージ⁸⁾) は、SCTP (Stream Control Transmission Protocol)⁹⁾ でカプセリング化されて MME へ送信されるが、端末タイプや APN (外部ネットワークの識別子) に応じて到達先の MME が変更されるわけではない。端末識別子である IMSI (International Mobile Subscriber Identity) を基に到達先の MME は決定される。また、UE から送信された SIP メッセージ (または HTTP メッセージ) は、要求したサービスに関係なく同じ SIP サーバ (または webRTC サーバ) へそれぞれ配送される。ベアラセッション制御メッセージ内の UE や APN、サービスセッション制御メッセージ内のサービスをパケット精査により識別し、適切にカプセリング転送する必要がある。以降、メッセージをサービスの粒度で識別して適切な値でカプセリング化する機能を SBF (Service Binding Function) と呼ぶ。

3.2 サービスフロー制御の効率化技術

すべてのパケットに対して文字列マッチングによるパケット精査を実施することは、SBF 導入によるオーバーヘッド (処理負荷) が大きい。オーバーヘッドが大きくなると、ネットワーク仮想化技術を導入することによる効率化の恩恵が得られないばかりか、より多くのリソースが必要になってしまう可能性がある。そ

ここで、5タプルを用いたフィルタリングと組み合わせ、パケット精査を実施する必要があるパケットを選定することで、効率化を図る。特定のサービスのみの利用や利用環境が固定された専用端末であれば、予め5タプル情報をSBFへ設定しておくことで十分だが、サービスや利用環境に応じて動的に仮想ネットワークで処理をさせたい場合もあり、この場合にはその時々に応じてSBFへ5タプル情報及び文字列マッチングに利用するルールを設定する必要がある。このような状況でも対応できるようにするために、ネットワークと協調したサービスフロー制御効率化方式を提案する。

図3に提案方式の概要を示す。vMNW3は予め構成されているものとする。SBFは、5タプルによるフロー識別機能とサービス識別機能から構成される。ネットワーク側と協調してSBF内のフローエントリ及びルール情報を更新するために、仮想NW管理機能を拡張する。UEがグループコミュニケーションサービスを開始する際に例に、動作概要を以下で説明する。UEから送信されたサービス要求メッセージ(SIP INVITE)は、フロー識別機能を経由し、vMNW1上のP-CSCF1(SIPサーバ)へ到達する(ステップ1)。ここで、フロー識別機能には、特定のIPアドレスから送信されたSIPメッセージはサービス識別を行わずにvMNW1へカプセリング転送を実施するようフローエントリが設定されているものとする。P-CSCF1はSIPメッセージを処理する過程で(ステップ2)、SIPヘッダ内に含まれるサービス識別子(及びUE情報等)を仮想NW管理機能へ通知する(ステップ3)。この情報に基づいて仮想NW管理機能は、vMNW1上の機能が保持する状態情報(UEの接続状態情報)をvMNW3上の対応機能へ複製する(ステップ4)。同時にフロー識別機能に、特定UEからのSIPメッセージはサービス識別機能へ転送するようフローエントリを追加する(ステップ5)。ここで、状態情報を複製する方法として、サーバ冗長化技術、標準規定のrelocation手法、ハンドオーバーメッセージを応用した方法が考えられる。SIPメッ

セージはvMNW3上の各機能で処理され(ステップ6)、その応答メッセージがSBFへ到達すると、必要に応じてメッセージ内のパラメータが書き替えられる(ステップ7)。vMNW3上の各機能が、vMNW1と異なるIP体系の場合には、SIP、IP、GTPの各ヘッダ内のパラメータを書き替える必要が生じる。UEからの後続のSIPメッセージ(通常、データの交換ができるようになるまで何往復かのメッセージ交換が発生する)は、フロー識別機能によってサービス識別機能へ転送され、文字列マッチングによるサービス識別の結果、vMNW3へカプセリング転送される(ステップ8)。この後、vMNW3では、グループに属する各UEに割り当てるメディア送受信用ベアラの設定処理をまとめて実施する。

4 実用化に向けたサービスフロー制御機能(SBF)拡張

4.1 複数 SBF 間におけるルール共有とスケーラビリティ

実世界では、複数のSBFが地理的に分散されて配備される。さらに、負荷分散のためにも複数のSBFの配備が必要となる。SBFはUEと仮想化基盤の間に配置されるが、アンカーとなる機能をUEから近距離の場所に配置できるようにするためにも、SBFはできるだけUEの近傍に配置されることが望ましい。つまり、eNBにSBFを具備することが考えられる。しかしながら、今後基地局の大容量化のための小セル化に伴い、基地局数が増加していくことに鑑みれば、CAPEX、OPEX等のコスト見合いの観点から、すべてのeNBにSBFを具備することは現実的ではない。バックホールや一部のマクロなeNB上に機能を持たせることになる。いずれにしても、複数のSBFが地理的に分散配備される状況下では、端末の移動に関わらず適切な仮想ネットワークへパケットを転送できるよう、必要となるルールの共有が不可欠となる。ルール数は非常に多く、また動的な変更もあることから、すべてのルールをすべてのSBF間で同期することはスケーラビリティの観点から実現が困難である。これを解決するためには、SDN技術の基盤となっている集中管理技術^[10]の利用が有効である。各SBFはUEからunknownパケット(ルール情報が存在しないことからサービスを識別することができなかったパケット)を受信した際には、その都度コントローラへunknownパケットを転送することで、コントローラがパケット精査を実施し(コントローラはすべてのルールを保持している)、必要なルールをSBFへインストールする。UEがたとえ移動したとしても必要な

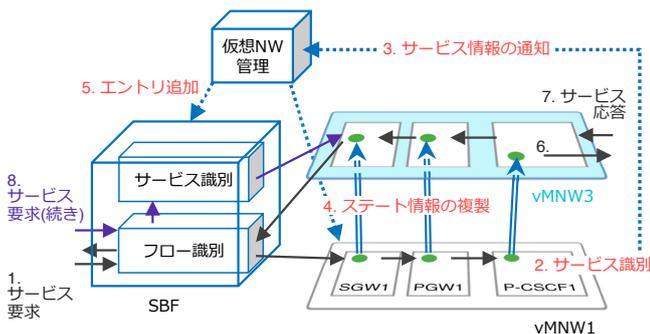


図3 サービスフロー制御効率化方式

ルールを各 SBF へリアクティブに配備することが可能となる。

しかしながら、コントローラではすべてのルールが保持され、その量は膨大になることから、コントローラでのパケット精査にはある程度の時間を要する^[11]。そのため、単位時間あたりにコントローラに unknown パケットが集中すると、コントローラでの処理がボトルネックとなり、その結果仮想ネットワークへの転送遅延が増大してしまう。コントローラの性能改善のために、複数のコントローラを用いた負荷分散が考えられるが、大量のルールに対して変更があった場合にコントローラ間で整合性を取る必要がある^[12]ことから、コントローラの数が多くなりすぎるとその管理コストが問題となる。コントローラ数の増加を抑制するためにも、パケット精査が必要な unknown パケットがコントローラへ集中して到着しないようにすることが重要となる。

4.2 リダイレクション型ルール共有方式

上述の集中管理技術を利用したルール共有方式のスケラビリティ向上を可能とするリダイレクション型ルール共有方式を提案する。本方式では、SBF は unknown パケットをコントローラではなく他の SBF (端末が以前にサービス利用した際に在圏していた基地局を収容している SBF) へリダイレクションすることで、この SBF から所望のルールの取得を試みる。リダイレクション先の SBF は、パケット精査を行い、サービスを特定したルールを返答する。このルールは、unknown パケットが転送された経路上に存在するすべての SBF でキャッシュされる。

図 4 に提案方式の概要を示す。リダイレクションとルールキャッシュを可能とするため、SBF の機能を拡張する。SBF は、unknown パケットを受信する

と、そのパケットのリダイレクション先を得るために、パケットの一部(送信元 UE を識別する情報が含まれている部分)のみをコントローラ(以後、SBFC: SBF Controller)へ送信し、パケット自体はバッファする。SBF はリダイレクション先 SBF が取得できなかった場合、unknown パケットのパケット精査を SBFC へ依頼するため、バッファしてあるパケットを SBFC へ転送する。一方、リダイレクション先 SBF が SBFC から取得できた場合、バッファしてあるパケットをリダイレクション先 SBF へ転送する。リダイレクション先 SBF では、保持されているルールを用いて転送されてきたパケットのパケット精査を行う。サービスが特定できた場合は、そのパケットをカプセルリング化して適切な仮想ネットワークへ転送し、同時にサービスを特定したルールをリダイレクション元 SBF の方向へ送信する。特定できなかった場合は、パケットを SBFC へ転送する。SBF に導入したキャッシュ管理機能では、ルールを hop-by-hop で転送してキャッシュできるように、unknown パケットを受信した I/F を記録する。ルールを受信した SBF は、そのルールをキャッシュし、記録してある I/F に対してルールを送出する。

SBFC には、UE とリダイレクション先 SBF のマッピング情報を保持するリダイレクション管理機能を導入する。SBFC は、UE 識別情報のみが含まれているパケットを受信した際には、その UE に対応するリダイレクション先 SBF を返答する。マッピング情報が存在しない場合には、パケット全体の送信を求める要求を SBFC へ返答する。SBFC がパケット全体を受信した際には、パケット精査によりサービスの特定を行い、該当ルールを SBF へ返答する。

本方式では、SBFC が保持するマッピング情報に基づいて、SBF が unknown パケットを他の SBF へリダイレクションするが、リダイレクション先 SBF に所望のルールが存在しない場合も発生しうる。例えば、SBF 内で保持されているルールがタイムアウトにより削除されたり、UE が前回と今回とでは別のサービス利用を要求したりする場合である。このような場合には、リダイレクション先 SBF は unknown パケットのサービスを特定できないため、パケットを SBFC へ転送することとなる。

リダイレクション先 SBF では、自身に保持されているルールによりサービスを特定した場合でも、コントローラへ unknown パケットを転送することによりサービスを特定した場合でも、該当ルールを転送経路上へ返送する。このため、リダイレクション先 SBF に所望のルールが存在しなかった場合でも、経路上の各 SBF がキャッシュするルールの増加に寄与するた

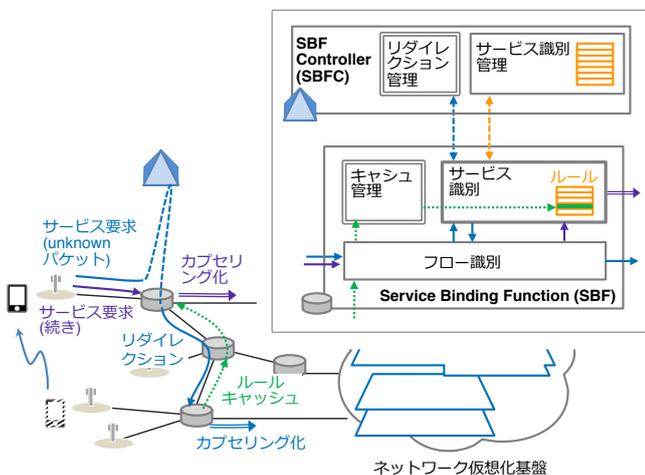


図 4 リダイレクション型ルール共有方式の概要

4 新世代ネットワーク基盤技術

め、結果的にSBFCへのunknownパケットの転送を削減することができる。

5 プロトタイプ実装とシミュレーションによる評価

本節では、サービス固有制御モバイル網仮想化により網全体の効率化が図れることをプロトタイプ実装により実証した(5.1)。また、実用化に向けた課題を解決するリダイレクション型ルール共有方式の効果についてシミュレーションにより検証した(5.2)。

5.1 サービス固有制御モバイル網仮想化のプロトタイプ実装による効率化例

モバイル網仮想化のプロトタイプ実装を行い、グループコミュニケーションサービスを例に網全体の処理負荷(CPU使用率)の削減が可能であることを実証した(図5)。10台のIAサーバをスイッチに接続して構築した仮想化基盤を利用して、動作検証及び性能評価を行った。9台のIAサーバを用いて、2種類の仮想ネットワークを構成した。EPC/IMSを構成する各機能

をVM上にソフトウェアとして動作させ、各VMをオーバレイ技術の1つであるVXLANを用いて接続した。一方の仮想ネットワーク上では標準に規定されている機能を動作させ(図5右上のVNW1)、もう一方ではグループコミュニケーションサービスに適した処理ができるよう拡張した機能を動作させた(図5右上のVNW2)。10台のIAサーバのうち残りの1台では、仮想ネットワーク管理機能(図5のMgmt)を動作させたVMを配備した。サービスフロー制御機能であるSBFはソフトウェアとして物理ノード上に実装し、eNBを模擬した物理ノードの上流に接続した。複数のUEをエミュレートする物理ノードは、eNBとSBFを介してEPC/IMSへ接続される。EPC/IMS、eNBはOpenEPCソフトウェア^[13]を用い、必要な機能拡張を行った。SBF、Mgmt、サービス機能(図5のSCC AS、MRF)はソフトウェアとして新たに実装した。さらに、グループコミュニケーションサービスを利用するUEとして、オープンソースのIMSクライアントであるUTC IMS Client^[14]の拡張を行った。一般サービス(電話サービス)を利用するUEを多数模擬するために、オープンソースのUEエミュレータ

UEエミュレータ
(電話サービスを利用する多数のUEを模擬)

リアルタイムCPUモニタ



グループコミュニケーション端末
(映像複製先)

グループコミュニケーション端末
(自端末)

相手端末

図5 プロトタイプ実装によるデモンストレーション画面

である IMS Bench SIPp^[15] を用いた。

電話サービスが 20 cps (call per second) の発呼レートで利用されている状況下で、グループコミュニケーションサービスを実行し、SBF ノード、IA サーバ 10 台の CPU 使用率を測定した。図 6 にサービス固有制御の仮想ネットワーク (VNW2) を利用しない場合 (non-SSNV) と利用した場合 (SSNV) で比較した CPU 使用率 (測定ノードの合計 CPU が 0~100% になるように正規化) を示す。各仮想モバイル網、仮想ネットワーク管理機能、SBF でのオーバーヘッドを考慮したとしても、SBF における効率化によりオーバーヘッドを低く抑えられることから、その結果、約 25% の CPU 使用率削減が実現できている。

5.2 リダイレクション型ルール共有方式の効果

リダイレクション型ルール共有方式を用いることにより SBFC への unknown パケット転送の削減が可能であることを、イベント駆動型の待ち行列システムのシミュレーションにより検証した。図 7 にシミュレーションで想定したネットワーク構成を示す。ネットワーク仮想化基盤の前段に複数の SBF を配置し、SBF 間を接続した。SBF のネットワークトポロ

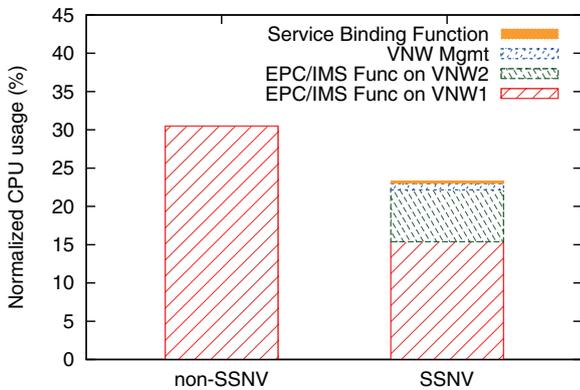


図 6 サービス固有制御モバイル網仮想化による CPU 使用率削減効果

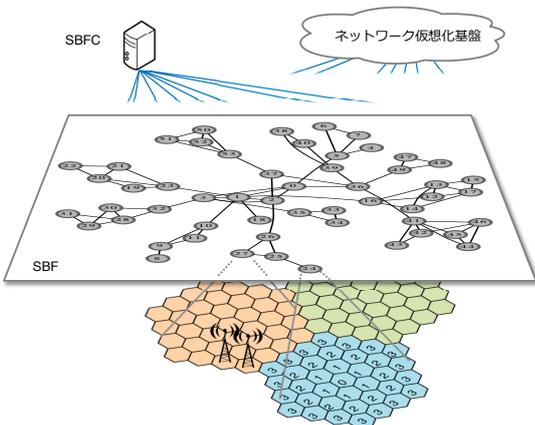


図 7 リダイレクション型ルール共有方式のシミュレーション構成

ジのモデルとして、Transit-Stub 型のトポロジを想定し、GT-ITM (トポロジ生成ツール)^[16] を用いて生成した。各 SBF には eNB が接続されるが、その数は eNB の容量と SBF の I/F 容量で決まる。今回の検証では、SBF の I/F 容量及び全体の eNB 数を固定 (都市部を想定) して、eNB の大容量化を想定して必要となる SBF 数を変化させた。また、各 SBF と SBFC を接続した。

SIP におけるサービス要求メッセージである INVITE を模擬したメッセージを各 eNB からポワソン分布で発生させた。サービス要求メッセージは、前回と同じサービスかどうか、SBF ドメインをまたいだ後に送信されたのかどうかでその種別が異なる。前者の確率を P_{same} として、変化させた。後者の確率を決定するために、端末の移動モデルとして fluid flow モデル^[17] を用いた。図 7 に示すように各 SBF ドメインが n 個の eNB セルの集合で構成されるものとする、端末が単位時間当りに SBF ドメインの境界をまたがる平均回数 R_d は、以下のように表される。

$$R_d = \frac{v \times L_d}{\pi \times A_d} \cong \frac{v \times (12n+6)l}{\pi \times \{3n(n+1)+1\} \times 2.6l^2} \quad (1)$$

ここで、 v は端末の平均移動速度 (m/s)、 L_d は SBF ドメインの外周長 (m)、 A_d は SBF ドメインの面積 (m²)、 l はセル半径 (m) となる。SBF ドメインの境界をまたいだ後にメッセージが送信される確率 P_d は、以下のように計算できる。

$$P_d = \frac{R_d \times N_{UE}}{\lambda} \quad (2)$$

ここで、 N_{UE} は端末の数で、 λ は全 UE から送信された単位時間当りの合計サービス要求メッセージ数となる。

パケット精査によるサービス特定にかかる時間は、事前実験により算出した値を使用した。オープンソースの侵入検知システムである snort 2.9.7.0^[18] を利用し、パケット精査に用いるルール数を変化させて 1 万パケット (各パケットは GTP ヘッダでカプセル化された INVITE メッセージで、パケットサイズは 1330 byte) のサービス識別にかかった時間を計測した。計測の結果、パケット当りのサービス識別時間 T_s は以下のように表される。

$$T_s = T_{msg} + T_d = T_{msg} + 8.0813 \times 10^{-6} \times (N_{rules})^{0.4335} \quad (3)$$

ここで、 T_{msg} はパケットの処理時間、 T_d は文字列マッチングにかかる時間、 N_{rules} はルール数である。

表 1 のパラメータを用いてシミュレーションを実行した。SBF 数を変化させ、SBFC への unknown パケットの到着レートを測定した結果を図 8 に示す。ここで、

4 新世代ネットワーク基盤技術

表1 シミュレーションパラメータ

Parameters		Values				
No. of UEs	N_{UE}	500,000				
No. of eNBs	N_{eNB}	5,000				
Radius of a cell [m]	l	500				
Avg. velocity of UE [m/s]	v	1 (walk)				
No. of rings	n	8	5	4	3	2
No. of SBFs	N_{SBF}	27	54	81	135	270
SBF domain crossing rate [10^{-3} /s]	R_d	0.12	0.18	0.22	0.39	0.63
Sum of the service request rate [1/s]	λ	1000				
Probability of the same service as last time	P_{same}	0, 0.2, 0.4, 0.6				
Probability of initial service	-	1				
No. of rules at SBF Controller	-	1,000,000				
No. of rules at SBFs in initial state	-	10,000				
Link delay [s]	-	0.001				
Time of flow identification at SBF	-	0.000015				
Time of packet processing	T_{msg}	0.0006				
Simulation time [s]	T_{sim}	10000				

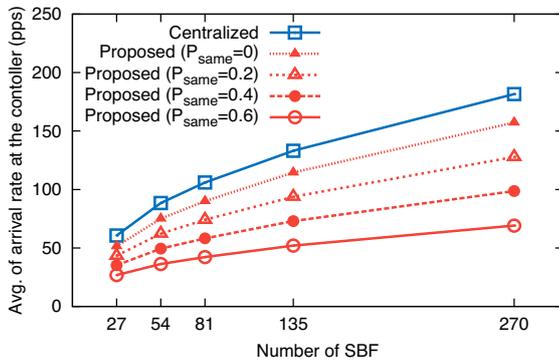


図8 SBFCへのunknownパケット到着レート

P_{same} はリダイレクション先 SBF に所望のルールがある確率と同義となる。図8に示す通り、リダイレクションにより SBFC への unknown パケットの到着レートを削減することができる。さらに、リダイレクションされた unknown パケットが全てコントローラへ転送されることになる場合(リダイレクション先 SBF に所望のルールが存在する確率が0%の場合)でも、コントローラへの unknown パケットの到着レートを削減することができる。これは、リダイレクションによりその経路上 SBF にルールがキャッシュされ、その結果 SBF で unknown パケットのサービスを識別できる確率が増加するためである。

5.3 今後の課題

モバイル網にネットワーク仮想化技術を適用した際の効果例として、サービスに応じて制御を効率化した仮想ネットワークを複数構成して使い分けることで、モバイル網全体の処理負荷削減による効率化が図れることを紹介した。更なる効率化を実現するためには、

仮想ネットワークを動的に構成及び再構成し、必要な情報をその仮想ネットワーク上へ配置・復元するまでを瞬時に実現できることがチャレンジングなテーマのひとつであると考えられる。

ゲートウェイ装置 (SBF) 間での効率的なルール共有方式として、SDN の要素技術を応用した方式を紹介した。今後は実装評価により実現性と性能の評価が必要になるが、実装するにあたり、市場のフローベーススイッチ上に簡単に実装できるよう設計することが課題となる。

今回は、主に処理の効率化に着目して研究開発を実施した。接続端末数が膨大になると、処理負荷の増大が問題となるだけでなく、ネットワークが保持する情報量の増加も問題となる。非常に順応性の高いネットワークを実現するためには、膨大な情報を効率良く管理する技術の確立が必要になる。

6 あとがき

新世代ネットワークの基盤技術であるネットワーク仮想化技術をモバイル網へ適用するための技術について報告した。ネットワーク仮想化技術により、サービスごとに適した構成や制御を実施することにより真にサービスと通信が融合した移動体通信環境が提供できるようになる。さらには、複数事業者のモバイル網にまたがった仮想ネットワーク環境の構築による公共重要通信の安定提供や物のエリアカバー率100%、地方自治体や地方企業が通信事業を実施することによる地域住民に密着したきめ細やかで効率的なネットワークサービスの提供が可能となる。後者は、MVNOにより一部導入が進んでいるように思われるが、現在は単なるネットワーク接続性の提供に留まっている。ネットワークの制御までをサービスに応じて各団体が実施するには、まだ障壁が高く、その1つに検証環境やネットワーク運用によって培われる知見がオープンにされていないことが挙げられる。このような障壁を下げるため、検証環境を提供及び整備し、団体間のコラボレーションと運用プラクティスの共有を促進することを、NICTのような公的研究機関が牽引していく必要があると考えており、目指していきたいと考えている。

謝辞

本研究は、KDDI 研究所モバイルネットワークグループ北辻佳憲グループリーダー、大阪大学宮原秀夫教授及び村田正幸教授、ネットワーク研究本部今瀬真研究本部長、ネットワークシステム総合研究室西永望室長、同研究室荘司洋三研究マネージャー、同研究室

中内清秀主任研究員の皆様をはじめ多くの方々から多大な御助言、及び御指導を賜り、取り組んできた。ここに記して、厚く感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1 P. Agyapong, M. Iwamura, D. Staehle, W. Kiess, and A. Benjebbour, "Design considerations for a 5G network architecture," IEEE Communications Magazine, No.52, No.11, pp.65-75, 2014.
- 2 M. Ito, K. Nakauchi, Y. Shoji, N. Nishinaga, and Y. Kitatsuji, "Service-Specific Network Virtualization to Reduce Signaling Processing Loads in EPC/IMS," IEEE Access, Vol.2, pp.1076-1084, 2014.
- 3 T. Taleb, A. Kunz, "Machine type communications in 3GPP networks: potential, challenges, and solutions," IEEE Communications Magazine, Vol.50, No.3, pp.178-184, March 2012.
- 4 I. Widjaja, P. Bosch, and H. La Roche, "Comparison of MME signaling loads for long-term-evolution architectures," in Proc. IEEE 70th Veh. Technol. Conf. Fall (VTC-Fall), pp.1-5, Sept. 2009.
- 5 I. Sato, A. Bouabdallah, and X. Lagrange, "Improving LTE/EPC signaling for sporadic data with a control-plane based transmission procedure," in Proc. 14th Int. Symp. Wireless Personal Multimedia Commun. (WPMC), pp.1-5, Oct. 2011.
- 6 Y. Hong, C. Huang, and J. Yan, "Mitigating SIP overload using a control-theoretic approach," in Proc. IEEE Global Telecommun. Conf. (GLOBECOM), pp.1-5, Dec. 2010.
- 7 H. Tang, "An adaptive paging area selection scheme," in Proc. 3rd Int. Conf. Commun. Netw. Chin., pp.1106-1110, Aug. 2008.
- 8 S1 Application Protocol (S1AP) Release 11, document 3GPP TS 36.413 v11.5.0, 2013.
- 9 Stream Control Transmission Protocol, IETF Standard RFC 4960, 2007.
- 10 M. Casado et al., "Rethinking Enterprise Network Control," IEEE/ACM Transactions on Networking, No.17, No.4, pp.1270-1283, 2009.
- 11 A. Tongaonkar, S. Vasudevan, and R. Sekar, "Fast packet classification for Snort by native compilation of rules," in Proc. 22nd Conference on Large Installation System Administration, pp.159-165, Nov. 2008.
- 12 R. Ahmed and R. Boutaba, "Design considerations for managing wide area software defined networks," IEEE Communications Magazine, No.52, No.7, pp.116-123, 2014.
- 13 (Dec. 18, 2012). OpenEPC Rel. 4. [Online]. Available: http://www.openepc.net/_docs/OpenEPC-Whitepaper_nov2012.pdf
- 14 (Dec. 17, 2013). UCT IMS Client. [Online]. Available: <http://sourceforge.net/projects/uctimsclient.berlios/>
- 15 (Nov. 5, 2013). IMS Bench SIPp. [Online]. Available: http://sipp.sourceforge.net/ims_bench/
- 16 E. W. Zegura, K. L. Calvert, and S. Bhattacharjee, "How to model an internetwork," in Proc. IEEE INFOCOM '96. Conference on Computer Communications, No.2, pp.594-602, 1996.
- 17 W. Wang and I. F. Akyildiz, "Intersystem location update and paging schemes for multitier wireless networks," in Proc. 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking - MobiCom '00, pp.99-109, Aug. 2000.
- 18 (Feb. 9, 2015). Snort 2.9.7.0. [Online]. Available: <https://snort.org/>



伊藤 学 (いとう まなぶ)

ネットワーク研究本部ネットワークシステム
総合研究室専門研究員
モバイルネットワークアーキテクチャ、ネット
ワーク仮想化