サービスに応じたネットワーク仮想化による EPC/IMS シグナリング削減方法の検討

伊藤 学† 中内 清秀† 荘司 洋三† 北辻 佳憲‡

†独立行政法人 情報通信研究機構 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1
‡株式会社 KDDI 研究所 〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15
E-mail: †{mn-ito, nakauchi, shoji}@nict.go.jp, ‡kitaji@kddilabs.jp

あらまし 移動体通信ネットワーク(EPC/IMS)内で急増しているシグナリング処理負荷への対策として，ネットワーク機能仮想化を移動体通信ネットワークへ適用する検討がされている．しかしながら，一時的に増加する処理負荷だけでなく年々増加し続ける処理負荷に対応するためには，多くのハードウェア追加が必要となることから，シグナリング処理負荷自体の削減も重要となっている．そこで，EPC/IMS 内におけるシグナリング処理負荷を削減すべく，サービス特性に最適化した EPC/IMS 制御を可能とする仮想ネットワークを構成し，この仮想ネットワークへ適切にサービスを収容させる方式を提案する．また，適切なサービス収容実現のためのパケットヘッダ解析処理，仮想ネットワークを構成しているソフトウェアスイッチにおけるパケット処理等のオーバヘッドを考慮した数値解析により，提案方式により得られる効果の見通しを示す．

キーワード ネットワーク仮想化，EPC，IMS，シグナリング

A Method of Reducing Signaling Traffic in EPC/IMS using Network Virtualization appropriate to Services

Manabu ITO† Kiyohide NAKAUCHI† Yozo SHOJI† and Yoshinori KITATSUJI‡

† National Institute of Information and Communications Technology. 4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795, Japan
‡ KDDI R&D Laboratories, Inc. 2-1-15 Ohara Fujimino-shi Saitama, 356-8502, Japan
E-mail: †{mn-ito, nakauchi, shoji}@nict.go.jp, ‡kitaji@kddilabs.jp

Abstract Applying network function virtualization technologies in mobile telecommunication network is a promising solution in order to deal with a significant increase of signaling processing load in EPC/IMS. However, in order to deal with not only a temporary increase in signaling processing load but also a continuous increase, the network operators still employ a large number of servers. To reduce such a load, this paper proposes a method using virtualized network adapted to services. This method adequately forwards a sequence of signaling messages to appropriate virtualized networks, which are optimized for particular services. This paper also shows effectiveness of the proposed mechanism by simple numerical analysis taking into account the overheads, which are incurred by the packet header inspection for adequate signaling message forwarding and the packet processing at software switches.

Keyword Network Virtualization，EPC，IMS，Signaling

1. はじめに

我々を取り巻く通信サービスやその利用形態の変化により，移動体通信ネットワーク内ではシグナリング処理負荷が増大し，深刻な通信障害が発生している．この問題を解決するため，移動体通信ネットワークを構成する EPC (Evolved Packet Core)及び IMS (IP Multimedia Subsystem) 機能を汎用 IA サーバで構築された仮想化基盤上で動作するソフトウェアとして実装する検討が進んでいる[1][2]．このようなネットワーク機能仮想化により，シグナリング処理負荷が一時的に増大した際には必要な機能に対してリソース割り当てを即座に行うことが可能となる．

一方，年々増加し続けるシグナリング処理負荷に対応するためには，ネットワーク全体のリソース増強のために多くの汎用 IA サーバの増設が必要となる．また，仮想化基盤上で動作させることによる処理オーバヘッドが発生することから，必要な性能を確保するためにも多くの汎用 IA サーバが必要になる．現状，新たな筐体を設置するための場所や電力の確保が困難になってきていることから[1]，シグナリングの処理負荷

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

自体を削減することはなおも重要な課題である．

筆者らは，サービスの特性に最適化した EPC/IMS 制御を可能とする複数の移動体通信ネットワークを一つの仮想化基盤上に構成することで，ネットワーク全体のシグナリング処理負荷の削減が見込めると考えている．サービスの特性に応じて，EPC/IMS における信号処理を一括して実施したり，不必要な信号処理を省略したりすることで，シグナリング数の削減が可能となる．このような EPC/IMS 制御を可能とする論理ネットワーク(以後，仮想ネットワークと呼ぶ)を一つの物理ネットワーク上に構成することで，ネットワーク内の処理負荷を削減することができる．さらに，筆者らは，物理サーバの空きリソース状況や仮想マシン間の通信頻度を考慮した上で仮想ネットワークを局所化して構成することでシグナリングの処理負荷対応を目指す Bring Your Own Network (BYON)[3]を提唱している．

サービスの特性に応じて適切な仮想ネットワークで信号処理を実行させるためには，そのサービスに関わるシグナリングを適切な仮想ネットワークへ振り分ける必要がある．シグナリングには SIP (Session Initiation Protocol)等のアプリケーション層制御プロトコルも含まれるため，これらシグナリングを適切に振り分けるためには，アプリケーションヘッダに含まれる端末・サービス情報単位にシグナリングを区別して経路制御することが必要となる．しかしながら，これまで検討されている移動体通信ネットワークを対象とした仮想化基盤では，EPC のベアラ(後述)内を通過する IP フロー(5 タプルで識別可能な IP パケット郡)単位での識別と経路制御に留まっており[2][4-7]，アプリケーションヘッダでのみ識別が可能なサービスを適切に仮想ネットワークへ収容させる検討はされていない．

そこで本稿では，EPC/IMS におけるシグナリング処理負荷の削減を目的として，サービス特性に最適化した EPC/IMS 制御を可能とする仮想ネットワークを構成し，この仮想ネットワークへ適切にサービスを収容させる方式を提案する．また，マルチデバイスサービスを例に，仮想ネットワークによる処理オーバヘッドを考慮した数値解析により，提案方式の効果の見通しについて述べる．

以降，第 2 節では EPC/IMS におけるサービス提供動作原理とシグナリング処理負荷の急増について述べる．第 3 節ではサービスの特性に最適化した EPC/IMS 制御を可能とする複数の仮想ネットワークを構成する際の課題を述べ，第 4 節で仮想ネットワークへのサービス収容方式を提案する．次に，第 5 節で仮想ネットワークにおけるシグナリング処理コストの定式化について述べ，第 6 節でマルチデバイスサービスを例にした数値解析結果を示す．最後に，第 7 節でまとめとする．

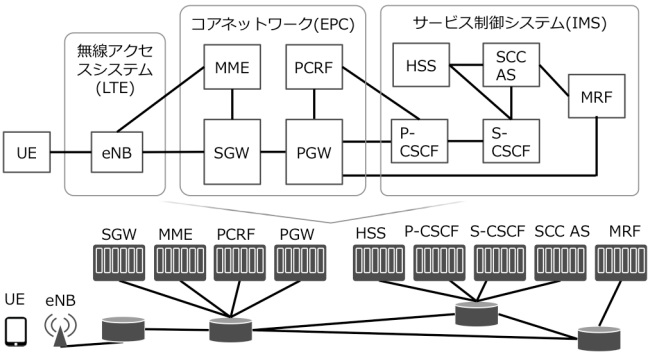

図 1 移動体通信ネットワーク構成

2. 移動体通信ネットワークの現状

本節では，移動体通信ネットワークにおいてサービスを提供する際の動作原理を述べ，この動作に関わるシグナリングの処理負荷が急増した場合の対策について述べる．

2.1. EPC/IMS におけるサービス提供動作原理

本稿では，All-IP ベースのコアネットワークである EPC 及びサービス制御システムである IMS から成る移動体通信ネットワークを想定する．図 1 にその構成を示す．EPC は，LTE (Long Term Evolution)の他にも様々な無線アクセスシステムを統合的に収容できるパケット交換ネットワークであり，端末(UE : User Equipment)の移動制御を行う MME (Mobile Management Entity)，LTE 無線アクセスシステムの基地局である eNB (evolved NodeB)を収容するゲートウェイである SGW (Serving Gateway)，UE がパケット送受信を行う外部ネットワーク(IMS，Internet 等)とのゲートウェイである PGW (Packet Data Network Gateway)，EPC 内における通信路(ベアラ)の QoS 設定や課金を行う PCRF (Policy and Charging Rules Function)から構成される．IMS は，SIP を用いてサービス制御を行う CSCF (Call Session Control Function)，加入者情報を管理するデータベースである HSS (Home Subscriber Server)，各種付加サービス制御を行う AS (Application Server)から構成される．CSCF は，主体となってサービスの制御と状態管理を行う S-CSCF (Serving CSCF)，加入者端末である UE と直接通信を行う P-CSCF (Proxy CSCF)，着呼 UE を収容している S-CSCF へ SIP メッセージの転送を行う I-CSCF (Interrogating CSCF，図 1 では省略)に大別される．AS の例として，電話付加サービスを提供する TAS (Telephony Application Sever)や，異種無線アクセスシステム間や端末間のシームレスな切り替え機能を提供する SCC AS (Service Centralization and Continuity Application Server)，メディアの複製や合成等を行う MRF (Media Resource Function)が挙げられる．

UE は電源投入後，自らを EPC に登録する(アタッチ)．このアタッチ手順の中で，EPC は，UE の位置登録及

び IP アドレス割り当て，SIP メッセージ送受信用の通信路(Default ベアラ)の確立を行う．アタッチ手順完了後，UE は，P-CSCF に対して SIP メッセージを送信することで，自らを IMS へ登録する．EPC 及び IMS への登録完了後，UE が IMS サービス(電話サービス等)を利用する際は，IMS との間で SIP メッセージを送受信することで通信セッションの確立を行う．この過程で，PCRF は Diameter と呼ばれる認証プロトコルを用いたメッセージ交換を IMS 及び PGW/SGW と実施することで IMS サービスのメディア用の通信路(Dedicated ベアラ)を確立し，QoS 設定を行う．

2.2. シグナリング処理負荷の急増と現状の対策

All-IP ベースの移動体通信ネットワークの導入に伴い，我々を取り巻く通信サービスやその利用形態も変化しており，移動体通信ネットワーク内のシグナリング処理負荷は今後も増加することが予測される[8]．ここでシグナリングとは，LTE，EPC 内のベアラ確立に必要となるメッセージと，IMS によるサービス制御に必要となる SIP や Diameter のメッセージと定義する．シグナリング処理負荷を増加させる利用形態として，マルチデバイスを用いたサービス[9]や MTC (Machine Type Communication) [10]によるサービスが挙げられる．これらのサービスは，デバイス間がより密に相互連携することが求められ，多数デバイスへの同時処理要求によるシグナリング集中が発生する．

急増するシグナリング処理負荷の対策として，ハードウェア追加による設備増強が必要となるが，専用ハードウェアであるためにその調達に時間を要し，迅速な対応ができていない．また，新しいサービス提供のためには，新たな専用ハードウェアの追加が必要になることが多く，この結果ネットワークの複雑性が増し，運用コストの増大を招くこととなっている．これらの問題解決のために，汎用 IA サーバを用いた仮想化基盤を構築し，この基盤上で動作するソフトウェアとして EPC 及び IMS の各機能を実装するネットワーク機能仮想化が期待されている．しかしながら，増加し続けるシグナリング処理負荷の対策には，多くの汎用 IA サーバの追加が不可欠である．さらに，仮想化基盤上で動作させることにより，ソフトウェアで実現されたスイッチ(仮想スイッチ)でのパケット処理が必要となり，その性能の低さからさらに多くの汎用 IA サーバが必要となる，現状，新たな筐体を設置するための場所や電力の確保が困難になってきていることから，汎用 IA サーバの増加を抑制するためにも，シグナリングの処理負荷自体を削減することも重要となっている．

3. サービスに応じた EPC/IMS 仮想化と課題

筆者らは，シグナリング処理負荷の削減にネットワーク機能仮想化が有効であると考えている．サービスの特性に応じて EPC 及び IMS 内の制御を簡略化することで，サービス提供に関わるシグナリング数の削減ができ，その結果シグナリング処理負荷の削減が可能となる．例えば，マルチデバイスサービスにおいては，IMS から EPC に対して，メディアの送受信に必要な Dedicated ベアラのリソース確保要求がデバイスの数分だけ同時に送信されるが，これらリソース確保要求を事前に一括して行うことでシグナリングの数を削減できる．また MTC サービスにおいては，移動しないデバイスに対しては移動制御を行わないことでシグナリングの数を削減できる．このように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ネットワークを一つの物理的なネットワーク上に複数構成する(以降，サービス最適型ネットワーク仮想化と呼ぶ)ことができれば，ネットワーク全体で発生するシグナリング数を削減することができる．

サービス毎に適切な仮想ネットワークにて処理を実行できるためには，eNB 内や SGW の前段において，UE により送信される SIP メッセージをサービス毎に識別し，メッセージの振り分けができる必要がある．IMS において，UE が送信する SIP メッセージの宛先はサービスに依らず同一の P-CSCF であるため，5 タプル(送信元/宛先 IP アドレス，送信元/宛先ポート番号，プロトコル番号の組)による識別方法のみではサービスを識別することはできない．このため，EPC のベアラ内を通過する SIP メッセージに対して，アプリケーションヘッダ(SIP ヘッダ)の解析が必要となる．しかしながら，すべてのメッセージに対してアプリケーションヘッダ解析を実施することはメッセージの転送処理を大きく遅延させるだけでなく，ネットワーク全体の処理負荷の増大に繋がる．

サービス最適型ネットワーク仮想化によりシグナリング処理負荷の削減を実現するためには，複数の仮想ネットワークを 1 つの物理ネットワーク上に構成した場合の処理オーバヘッドを考慮した評価が重要となる．処理オーバヘッドとして，上述の識別処理に加えて，ネットワーク機器及びサーバ内の仮想スイッチへの経路設定処理，仮想スイッチにおけるパケット処理(トンネリング処理やフロールーティング処理等)が発生する．これら付加的に発生する処理の負荷を適切に評価した上で仮想ネットワークを構成しないと，改善効果があまり得られないばかりか，仮想ネットワークを用いたことによりネットワーク全体の処理負荷が増加してしまう恐れがある．

4. 仮想ネットワークへのサービス収容方式

本節では，サービスの特性に最適化された仮想ネットワークを適切に使い分けるためのサービス収容方式を提案する．また，仮想ネットワーク内の最適化され

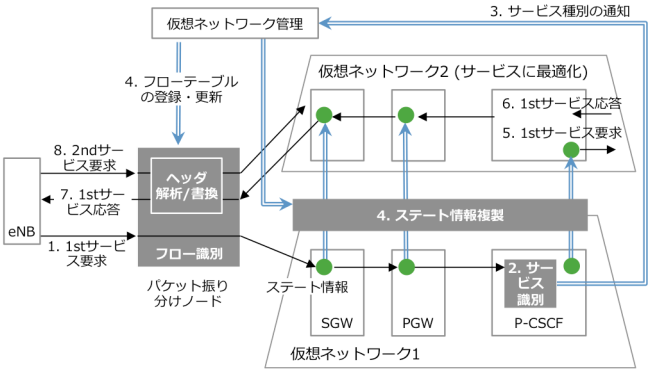

図 2 仮想ネットワークへのサービス収容方式

た EPC/IMS 制御の例として，マルチデバイスサービスのシグナリング数削減方式を示す．

4.1. サービス収容方式

サービスの特性に最適化した EPC/IMS 制御を行う仮想ネットワークに対して，適切にサービス処理をさせるためのサービス収容方式を提案する．提案方式の概要を図 2 に示す．本方式の基本的な動作は，SIP サーバが取得する情報を活用することで，必要な場合にのみネットワーク機器で SIP メッセージのヘッダ解析と適切な振り分けを行う．具体的には，特定の UE から送信された SIP メッセージのみを抽出し，SIP ヘッダ解析を実施する．これにより，すべてのメッセージに対して SIP ヘッダ解析を実施する必要がなくなる．さらに，この振り分けと連動して，仮想ネットワーク間で処理の引き継ぎを行う．ここで，図 2 の仮想ネットワーク 1 が標準で規定されている EPC/IMS 制御を行うネットワークであり，仮想ネットワーク 2 がサービスの特性に最適化した制御を行うネットワークである．

UE から送信されたサービス要求メッセージ(SIP メッセージ)は SGW の前段に置かれたフロー識別機能を経由し，通常の処理を行う仮想ネットワーク 1 上の SIP サーバ（P-CSCF）へ到達する(1)．P-CSCF は，SIP メッセージを処理する際に，SIP ヘッダ内に含まれる情報を参照することでサービスの識別を行い(2)，サービス種別を仮想ネットワーク管理機能へ送信する(3)．サービス種別が仮想ネットワーク 2(サービスに最適化された仮想ネットワーク)内で処理されるべきサービスの場合，仮想ネットワーク管理機能は仮想ネットワーク 1 の EPC/IMS ノード(図 2 では SGW，PGW，P-CSCF のみ記載しており，他ノードは省略)が保持している特定のステート情報を仮想ネットワーク 2 内の対応する EPC/IMS ノードへ複製する．同時に，仮想ネットワーク管理機能は，該当の UE から送信された SIP メッセージのみを SIP ヘッダ解析するようフロー識別機能へフローテーブルの登録を行う(4)．ここで，ステート情報の複製方法については，サーバ冗長化で用いられているバックアップを利用する方法や，標準で規定されている relocation 及びハンドオーバに用いられているシグナリングメッセージを利用する手法が考えられる．仮想ネットワーク 2 内の P-CSCF は SIP メッセージの処理を引き継ぎ，対向ノードに送信する(5)．この SIP メッセージに対する応答メッセージは，仮想ネットワーク 2 内の各ノードを経由してフロー識別機能に到達する(6)．ここで，仮想ネットワーク 2 内の各ノードが仮想ネットワーク 1 内の対応ノードと異なる IP アドレス体系で構成されている場合，フロー識別機能は SIP ヘッダ及び IP ヘッダ内の CSCF の IP アドレス，GTP (ベアラを実現するトンネリングプロトコル)ヘッダ内の IP アドレス等のヘッダ書き換えを行い，UE に対してメッセージを転送する(7)．また，フロー識別機能は，UE からメッセージを受信すると，フローテーブルを参照し，該当 UE から送信された SIP メッセージかどうかの識別を行う．SIP メッセージである場合は，SIP ヘッダ解析を行うことで，step (1)の SIP メッセージに関連するメッセージかどうかを判断する．該当メッセージであれば，step (7)と同様に必要に応じてヘッダ書き換えを行い，仮想ネットワーク 2 へ転送する(8)．

4.2. マルチデバイスサービスのシグナリング数削減方式

サービスの特性に最適化された EPC/IMS 制御の例として，マルチデバイスサービスに関わるシグナリング数の削減方式を示す．リアルタイム通信サービスを利用している際に受信しているメディアを複数の UE へ複製する Session Replication [9]を想定する．メディアの複製は，複製指示 UE が IMS に対して，複製先 UE の SIP URI を含む SIP メッセージを送信することで実行される．複数の UE へ受信メディアを複製する際，複数の UE に対する呼び出しとネットワーク内のリソース確保処理に関わるシグナリングが集中して発生する．本方式では，リソース確保を複数の UE に対して個別に実施するのではなく，一括で実施し，リソース確保済の旨を各 UE の呼び出しの際に通知することで，リソース確保処理に関わるシグナリング数を削減する．

図 3 にマルチデバイスサービスに関わるシグナリング数削減方式の概要を示す．複製指示 UE は，SCC AS に対して，サービス要求メッセージを送信する(1-4)．SCC AS は，このメッセージに含まれる複数の移設先 UE の SIP URI を HSS へ問い合わせることで，該当する端末情報を取得する．これら端末情報から，それぞれの複製先端末の Dedicated ベアラ用のリソースが一括で確保ができることを判断する(5)．SCC AS は，PCRF に対して，リソース確保要求メッセージを送信する(7)．このメッセージには，Dedicated ベアラにて送受信されるメディア情報(送信元/宛先 IP アドレス及びポート番号，必要帯域，コーデック等)が複数端末分

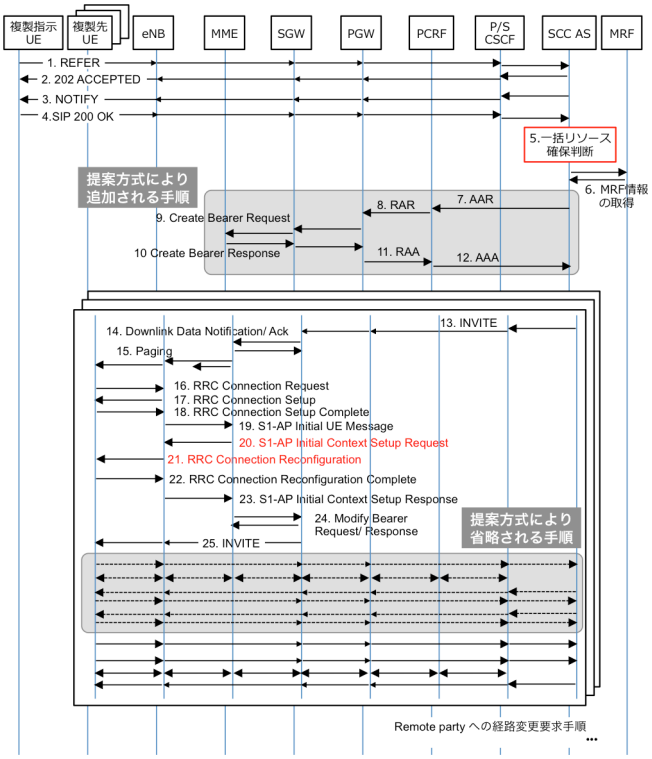

図 3 マルチデバイスサービスにおけるシグナリング削減方式

含まれる．PCRF は，PGW に対して，リソース確保のためのポリシー設定情報(QoS 情報)を送信する(8)．PGW は，複数端末分のポリシー設定を行い，複数端末分の Dedicated ベアラ設定情報を含むメッセージを SGW に対して送信する．SGW は，複数端末分の Dedicated ベアラの設定を行い，MME に対してメッセージを転送する(9)．MME は，受信した複数端末分の Dedicated ベアラ設定情報を保持し，応答メッセージを返信する(10)．このように一括してリソースを確保した後，SCC AS は，各端末に対して，呼確立を行うために発呼要求メッセージを送信する(13)．このメッセージ内には，リソース確保済みを示すパラメータが設定される SGW は SGW-eNB-端末間の無線ベアラ設定が完了するまで，このメッセージをバッファする．SGW は MME に対して着信通知メッセージを送信し(14), MME は端末に向けてページングを実施する(15)．呼び出された端末は，MME に対してサービス要求メッセージを送信する(16-19)．MME は認証等の手順を実施した後，eNB に対して，SGW の IP アドレス，デフォルトベアラ情報，step (9)にて保持しておいた Dedicated ベアラ情報を含んだ無線ベアラ設定要求メッセージを送信する(20)．eNB は端末との間で無線ベアラを確立し，MME へ応答メッセージを返信する(21-23)．MME は SGW に対してベアラ更新要求メッセージを送信し，SGW は eNB 宛の経路を設定する(24)．このようにして SGW-eNB-端末間のデフォルトベアラ，Dedicated ベアラ設定が完了すると，step (13)にてバッファされていた発呼要求メッセージが端末へ送信される．以降，SCC AS と端末間では，互いにリソース確保済みとして呼確立手順が実施されるため，PCRF に係るリソース確保のための処理が省略できる．

5. 仮想ネットワークにおけるシグナリング処理コストの定式化

提案方式の効果を評価するため，シグナリングの処理コストについて定式化を行う．サービス提供に関わるシグナリングの転送処理コストを$C_{routing}$，サーバにおける処理コストを$C_{process}$とすると，処理コストC_{total}は以下で表すことができる．

$$C_{total} = C_{routing} + C_{process} \tag{1}$$

$C_{routing}$は，シグナリングが各ノードで転送処理される際のコストの和で表される．

$$C_{routing} = \sum \alpha \cdot S_{N_i} + \sum \beta \cdot S_{vSW_j} + \sum S_{SW_k} \tag{2}$$

ここで，S_{N_i}，S_{vSW_j}，S_{SW_k}はそれぞれ i 番目のパケット振り分けノード，j 番目の仮想スイッチ，k 番目のパケット転送ノード(汎用スイッチ等)にて処理されるシグナリングのパケット数を表す．また，α，βはパケット転送ノードにおける転送処理コストで規格化した場合の重み係数であり，αはパケット振り分けノードにおけるヘッダ解析及びヘッダ書き換えの処理コスト係数，βは仮想スイッチにおけるトンネリング処理コスト係数である．

$C_{process}$は，EPC/IMS を構成する各機能におけるシグナリングの処理コストの和で表される．

$$C_{process} = \sum \delta \cdot S_{F_h} \tag{3}$$

ここで，δは EPC/IMS の各機能におけるシグナリングの処理コスト係数，S_{F_h}は h 番目の機能にて処理されるシグナリング数を表す．ここで，δもα，βと同様に規格化した重み係数である．

6. 数値解析結果

マルチデバイスサービスを例に，移動体通信ネットワークへサービス最適型ネットワーク仮想化を適用した際の効果を示す．図 4 に数値解析に利用した移動体通信ネットワーク構成を示す．図 1 と同じ物理ネットワーク構成とし，eNB と SGW の間にパケット振り分けノードを追加した．このような物理ネットワーク上に 2 種類の仮想ネットワークを想定した．一方は図 1 の各サーバを仮想マシンに置き換えた構成とし，もう一方はいくつかの仮想マシンの配置を変更した仮想ネットワーク構成とした．この構成例として，IMS を構成する CSCF と SCC AS を PGW が配備されている物理サーバ上へ配備し，MME と SGW を同一物理サーバ上に配備した．仮想ネットワークの実現方式については，

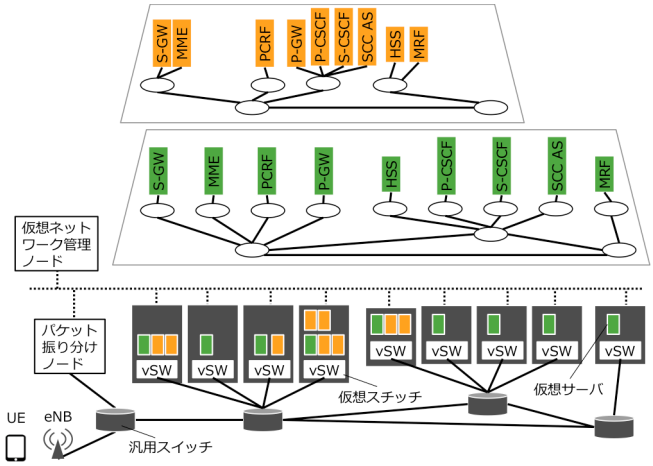

図 4 仮想ネットワーク構成

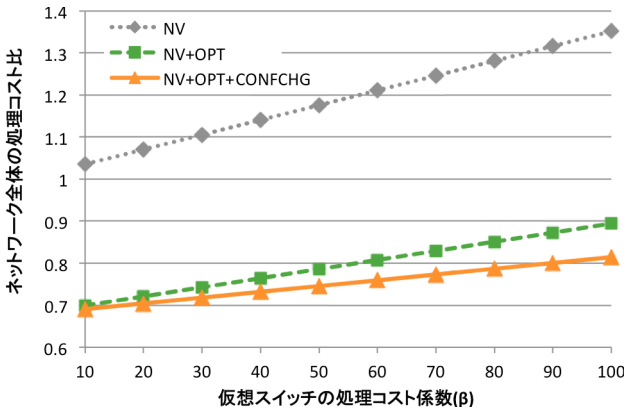

図 5 仮想スイッチの処理コストに対するネットワーク全体の処理コスト

トンネリングを利用した Overlay 方式を想定した．

マルチデバイスサービスを提供する際に発生するシグナリング(図 3)を上述の仮想ネットワークにて処理する際のコストを，仮想ネットワークを用いない場合に対する比率として図 5 に示す．ここで，汎用スイッチにおける転送処理コストに対する重み係数として，α=100，δ=1000 とし，β を 10 から 100 の値で変化させた．また，複製先の UE 数は 3 台とし，1 メッセージは 1 パケットとした．

数値解析の結果，EPC/IMS の各機能を仮想ネットワーク上に構成(図 5 の NV)しただけでは，仮想ネットワークを用いない場合と比較して処理コストが増大するが，サービス最適型ネットワーク仮想化(図 5 の NV+OPT)により処理コストを削減できることが明らかになった．これは，仮想ネットワークを用いたことによる処理オーバヘッドよりもシグナリング数の削減効果が大きいためである．また，仮想スイッチの処理コストが大きくなる程，サービス最適型ネットワーク仮想化による処理コスト削減効果が減少するが，仮想マシンの構成を変更(図 5 の NV+OPT+CONFCHG)することで処理コスト削減効果の減少を緩和できる可能性があることが明らかになった．これは，物理サーバ上に仮想マシンを集約することで，仮想マシン間で通信する際に経由する物理スイッチの数を削減できるため，仮想スイッチにおけるトンネリング処理回数を削減することができるためである．

7. 結 論

本稿では，シグナリングの処理負荷を削減すべく，サービス特性に最適化した EPC/IMS 制御を可能とする仮想ネットワークを構成し，この仮想ネットワークへ適切にサービスを収容させる方式を提案した．マルチデバイスサービスにおけるシグナリング数の削減を可能とする仮想ネットワークを例に，付加的に発生する処理オーバヘッドを考慮した数値解析を行った結果，シグナリングの処理負荷が削減可能である見通しを得た．今後は，シミュレーションや実装実験を通して，ネットワーク全体の処理負荷の削減効果を確認する．また，仮想ネットワークを構成する際の処理や，他サービスの特性に最適化した仮想ネットワークを考慮した評価を行うことで，提案方式の有効性を示す．

文 献

[1] M. C. et.al., "Network Functions Virtualisation - Introductory White Paper," in SDN and OpenFlow World Congress, October 2012.

[2] A. Baliga, X. Chen, B. Coskun, G. Reyes, S. Lee, S. Mathur, and J. E. V. Merwe, “VPMN: virtual private mobile network towards mobility-as-a-service, ” Proc. 2nd ACM workshop on Mobile cloud computing and services, pp.7-12, New York, USA, June.2011.

[3] 荘司，中内，西永，北辻，横田，“Bring Your Own Network（BYON）の実現，” 2013 信学総大，no.B-6-105，Mar.2013.

[4] G. Hampel, M. Steiner, and T. Bu, "Applying Software-Defined Networking to the telecom domain," Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2013 IEEE Conference on , pp.133-138, April.2013.

[5] L.E. Li, Z.M. Mao, and J. Rexford, "Toward Software-Defined Cellular Networks," Software Defined Networking (EWSDN), 2012 European Workshop on, pp.7-12, Oct.2012.

[6] J. Kempf, B. Johansson, S. Pettersson, H. Luning, and T. Nilsson, "Moving the mobile Evolved Packet Core to the cloud," Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2012 IEEE 8th International Conference on, pp.784-791, Oct.2012.

[7] K. Pentikousis, Y. Wang, and W. Hu, "Mobileflow: Toward software-defined mobile networks," Communications Magazine, IEEE, vol.51, no.7, pp.44-53, July 2013.

[8] G. Brown, “White Paper: The Evolution of the Signaling Challenge in 3G & 4G Networks, ” June 2012.

[9] 3GPP TR 23.831 v10.0.0 : “IP Multimedia Subsystem (IMS) Service Continuity; Inter-UE Transfer enhancements; Stage 2”

[10] 3GPP TS 22.368, “Service requirements for Machine-Type Communications (MTC); Stage 1”