

モバイルPANにおける高速メディアストリーム制御の実現

峰野 博史[†] 福家 義英^{††} 吉田 瑞輝[†] 水野 忠則[†]

[†] 静岡大学情報学部, 〒432-8011 浜松市中区城北3-5-1

^{††} 静岡大学情報学部 (現在: (株)STNet, 〒769-0195 香川県高松市春日町1735-3)

E-mail: [†]mineno@inf.shizuoka.ac.jp, ^{†††}{mizuki,mizuno}@mizulab.net

あらまし 昨今, NGN や固定系端末と移動系端末の通信を連携する FMC が注目されている. 本稿では, ブロードバンドで接続されたホームネットワーク 上のデジタル 情報家電と携帯電話が PAN を形成するモバイル PAN 環境を想定し, モバイル PAN 内の入出力メディアストリーム (音声および映像等) を周辺入出力デバイスへ転送・返納する高速 SIP メディアストリーム制御手法を提案し性能評価した. 実験結果より, 提案手法は約 26ms で基本メディアストリーミング転送の SIP シグナリングを終了でき, 従来手法に比べ約 1/10 の制御遅延に抑えることができた.

キーワード ヘテロジニアスネットワークコンバージェンス, FMC, SIP, 制御遅延, メディアストリーム, PAN

Quick Media Streams Control for Mobile Personal Area Networks

Hiroshi MINENO[†], Yoshihide FUKU^{††}, Mizuki YOSHIDA[†], and Tadanori MIZUNO[†]

[†] Faculty of Informatics, Shizuoka Univ., 3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu, 432-8011, Japan

^{††} STNet Inc., 1735-3 Kasuga, Takamatsu, 769-0195, Japan

E-mail: [†]mineno@inf.shizuoka.ac.jp, ^{†††}{mizuki,mizuno}@mizulab.net

Abstract Recently, FMC is expected to allow service providers to deliver any service to any customer over any device at any location. In this paper, we assume cellular phones would act as control points for networked media devices in home networks, and have called such networks mPANs. We propose new pre-negotiation scheme for SIP streaming mobility that allows CP to control I/O media-streams quickly in mPAN. Experimental results revealed the proposed scheme could achieve the signaling delay within 26 ms that were 1/10 compared with previous scheme.

Key words Heterogeneous Network Convergence, FMC, SIP, control delay, media stream, PAN

1. はじめに

近年, 通信オペレータ各社が次々とコアネットワークの All-IP 化を表明し, 新たな枠組みの可能性や将来像に関して, サービスプラットフォームとしての IMS (IP Multimedia Subsystem) や, 固定系と移動系を連携する FMC (Fixed Mobile Convergence) に注目を寄せている. IMS が実現すると制御機構の水平統合が容易となり, All-IP 化した媒体機器の連携したマルチメディアサービスの提供やゲートウェイを介した異種網との保障された接続が可能となる.

我々は, FMC の概念を拡張した異種混在ネットワークの連携をヘテロジニアスネットワークコンバージェンス (HNC: Heterogeneous Network Convergence) と定義し, 異種混在のネットワークを意識することなく利用者中心のサービスモビリティを実現するモバイル PAN (Mobile Personal Area Network) (以降, mPAN) と呼ぶモバイル連携サービスの実現に関して研究を進めている.

異種混在の次世代ネットワークでは, IMS の位置づけが非常に重要となってくるが, IMS 機能の大半を提供するのに利用される呼制御プロトコル SIP (Session Initiation Protocol) [1] は, エンド-エンドでのネゴシエーションによってマルチメディアセッションを確立するという特徴を持つ. そのため, 通信経路中に品質の悪い無線通信が含まれていたり, 物理的に通信距離が長かったりすると, マルチメディアセッションの確立や, サービスモビリティの実現に必要な転送や返納といった基本制御が実際に反映されるまでの時間 (セッション制御遅延) が大きくなることが指摘され始めている [2], [3].

一方, 通信中のセッションを中断させることなくシームレスに切替えるハンドオーバー技術において, セッション自身の端末間移動をサポートするセッションモビリティに関する研究が数多く行われている. セッションモビリティに関する研究は, Proxy を介す Indirection 型 [4] と, SIP をベースとし第三者呼制御を実現する 3PCC (Third Party Call Control) や転送を促す REFER メソッドを利用してエンド-エンドでセッションを

再接続するエンド-エンド型 [5], [6] に大別できる。それぞれ一長一短があり、Indirection型では、Proxyでトランスコーディングが可能、セッション転送を送信相手に隠蔽可能、導入が容易といったメリットがあるが、Proxyの位置によっては非効率的な経路になる、独自アプリケーションのサポートのみになりやすいといった特徴を持つ。また、SIPベースのエンド-エンド型は、呼制御とマルチメディアセッションが分離されるため、SIP拡張技術の標準化や相互接続性の向上によって、汎用的なリアルタイムコミュニケーションアプリケーションの標準呼制御プロトコルとして利用され始めており、3GPP/3GPP2策定のIMS/MMDや次世代ネットワークNGN (Next Generation Network) にも採用され世界的な共通基盤になりつつある。ただし、基本的にエンド-エンドでのネゴシエーションによってマルチメディアセッションを確立するため、セッション転送時には転送先が同じ性能を持ちかつ物理的に近隣であったとしてもエンド-エンドでのセッションの再確立が必要であり、トラフィックと遅延が発生するという特徴を持つ。必要に応じてSIPメッセージを圧縮してコード化し、効率よくSIPメッセージを転送する手法も検討されているが [7]、セッション制御遅延の根本的な解決には至っていない。そのため、利便性の高いヘテロジニアスネットワークコンバージェンスを実現するには、セッションやマルチメディアストリーミングを転送するといった様々なセッション制御に関して、いかに短い時間で制御を反映させるかという制御の最適化を実現する手法が必要である。

2. モバイル PAN

2.1 アーキテクチャ概要

mPANでは、周辺機器と連携した携帯電話の機能拡張、固定系と移動系通信を活用した連携サービスの提供、周辺入出力機器とのシームレスなマルチメディアストリーミング (以降、メディアストリーム) 転送の実現を目指している。制御ポイントとなる携帯電話は、mPAN間のセッションを管理するだけでなく、セッション内でやり取りされる音声や映像、データといったメディアストリームの入出力先を柔軟に制御する。本稿では、制御ポイントとなる携帯電話がブロードバンド接続された家庭内ホームネットワーク上のデバイスとmPANを形成する環境を想定し、mPAN内の入出力メディアストリームを柔軟に周辺入出力機器へ転送するストリーミングモビリティを対象とする。

図1に、mPANストリーミングモビリティの基本的なアーキテクチャを示す。本アーキテクチャは、通信相手 (CN)、mPANを制御する携帯電話 (CP)、ホームネットワークに参加可能かつmPANに対応したディスプレイやスピーカ、固定電話といったデバイス (Dev)、ホームネットワークをインターネットと接続しmPANに対応したホームゲートウェイ (GW) の4つを基本構成要素とする。ここで、CNはmPANであってもよい。また、図中の固定系、移動系ネットワークはIMSを想定でき、呼制御にはIMS標準規格のSIPを用いる。

2.2 mPAN構成要素上の機能

各構成要素上では、mPAN内でのストリーミングモビリティを実現するために必要な機能が動作する。図1中の表に示す

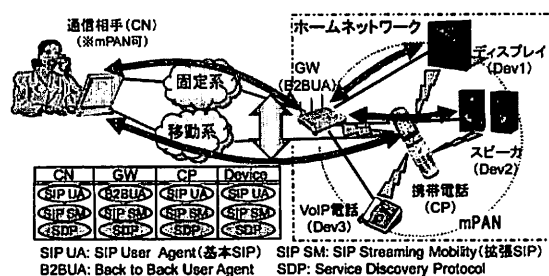


図1 mPANストリーミングモビリティアーキテクチャ

ように、全ノードは基本的にSIP UA (SIP User Agent) の機能によってSIPを使った標準的な呼制御に対応する。GWで動作するバックツーバックユーザエージェント (B2BUA) は、プライベートネットワーク側とグローバルネットワーク側を担当する二つのSIP UA機能を持ち、SIPメッセージやボディ内容の変更、メディアストリーム中継を行うことでSIPのNAT越えを可能とする (SBC: Session Border Controller型)。また、GWではホームネットワーク上の各デバイスのSIP URIを登録するローカルSIPレジストラの機能も動作し、ホームネットワーク内の各デバイスへSIPメッセージの転送を行う。CN, CP, B2BUAはグローバルIP (gIP) を持ち、インターネットを介した直接通信が可能であると共に、B2BUA, CP, DevはプライベートIP (pIP) を介してホームネットワーク内の通信を行う。

SIPストリーミングモビリティ (SIP SM) は、mPAN内のメディアストリーム転送機能を提供する。また、サービス発見プロトコル (SDP: Service Discovery Protocol) として、SLP (Service Location Protocol) やUPnPで使用されるSSDP (Simple Service Discovery Protocol) の利用を想定しているが、本稿では特に言及しない。

2.3 セッション制御遅延

様々な特性の異なるネットワークの連携が想定されるmPANのようなサービスでは、セッションやメディアストリームを転送するといった多様なセッション制御に関して、様々な遅延要因が存在する。主なセッション制御遅延の内訳は、a) 固定系および移動系ネットワークの伝播遅延、b) SIPシグナリングのトランザクション量、c) IMSでの処理時間、d) エンド端末での処理時間である。a) に関しては、SigCompのようなSIPメッセージの圧縮手法を用いることで無線通信上でのSIPメッセージの転送時間を短縮することができる。c), d) に関してはCPUのマルチコア化など消費電力・発熱量をそのままに処理能力を向上させる技術等の進展により短縮化が期待される。

b) に関して、我々はこれまで、SIPのREFERメソッドと3PCCを組み合わせることで、CPをControllerとしたB2BUAとDev間の第三者呼制御によるメディアストリーム転送手法 (以降、従来手法) を提案し実装評価してきた [8]。この手法では、Indirection型とSIPベースのアプローチを組合わせたハイブリッド型アーキテクチャを活かしCNとの不要な再ネゴシエーションを削減することで、b) の制御遅延を根本的に抑

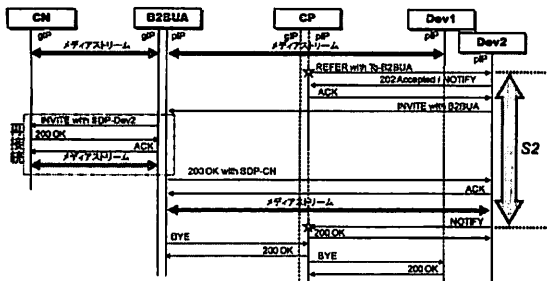


図 5 デバイス間メディアストリーム転送（従来手法）

指定できるよう拡張した OPTIONS 命令を B2BUA へ送信することで基本メディアストリーム転送を実現する。

従来手法の転送要求で用いる INVITE 命令はメッセージサイズが大きく、応答メッセージ中の SDP に応じた処理や状態制御も必要で、その後にメディアストリーム接続を確立するため制御遅延が大きい。一方、起動時接続手法では OPTIONS 命令を拡張し、非 3PCC 型の mPAN 制御を実現するため、mPAN 内の制御シーケンスを簡素化でき、メッセージ数およびメッセージサイズを削減できる。転送要求を受理した B2BUA は指示に従って Sleep している対象 Dev1 へ Wake-up 要求を送信し、Dev1 への停止しているメディアストリームを復旧させる。

一般的に、OPTIONS 命令は通信相手のオプション機能やコーデック等の能力に関する問合せに用いられ、通信相手が INVITE 命令を受入れ可能な状態かを判断するテスト命令として用いられる。起動時接続手法では規格の枠組みを超えない範囲で OPTIONS 命令を拡張し、コネクションの確立、SDP 呼応、状態遷移の制御、および ACK を必要としない高速転送要求を実現する。拡張 OPTIONS 命令によるリクエストメッセージは、SIP リクエストの標準ルールを用いて構築する。通常、OPTIONS リクエスト中に ContactHeader フィールド等を含まないが存在自体は許可されている。そこで、転送先 Dev の宛先を示す ContactHeader、転送メディアタイプを指定する MediaTypeHeader、および CP の通信相手 CN の URI を通知するための CorrespondentNodeHeader を追加し、高速転送要求用命令として拡張した。この拡張 OPTIONS 命令を受信した Dev1 は、Sleep 状態のメディアストリーム接続を Wake-up することで高速なメディアストリーム制御を実現する。その後の破線 T 下部は従来手法と同じである。

3.3 デバイス間メディアストリーム転送の改良

デバイス間メディアストリーム転送とは、Dev1 に転送したメディアストリームをさらに別の Dev2 へと転送する機能である。具体的には、前述の基本メディアストリーム転送によって CN と Dev1 が B2BUA を介してメディアストリーム通信を行っている状況で、CP の指示で Dev1 から Dev2 へメディアストリームを転送する。その後、B2BUA と Dev1 間のメディアストリーム接続を Sleep 状態とし、後の転送に備える。

図 5 に従来手法におけるデバイス間メディアストリーム転送のコールフローを、図 6 に起動時接続手法におけるデバイス間メディアストリーム転送のコールフローを示す。従来手法と起

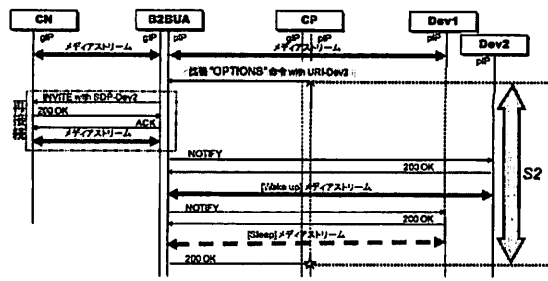


図 6 デバイス間メディアストリーム転送（起動時接続手法）

動時接続手法の違いは、コールフロー全体に現れている。起動時接続手法の場合、起動時動作によって B2BUA と新たな転送先 Dev2 の間のメディアストリーム接続は既に完了しているだけでなく、基本メディアストリーム転送と同様に 3PCC を用いない。そのため、既存手法で必要であった B2BUA と Dev 間のメディアストリーム接続確立時間を削減できるだけでなく、拡張 OPTIONS 命令を用いることでメッセージ数およびメッセージサイズも削減し、高速なデバイス間メディアストリーム転送を実現している。

従来手法では、転送時に起点となる CP が指示を出すことで B2BUA と Dev2 間のメディアストリーミング接続を開始する。通常、転送要求に用いる REFER 命令は、コネクションが確立された 2 者間で送受信される命令であるが、CP と Dev2 間のメディアストリーム接続は不要なため、CP と Dev2 間のメディアストリーム接続を省略して REFER 命令の手続きを行っていた。しかし、基本メディアストリーム転送の場合と同様、引き続き実行される INVITE 命令は負荷が高く、さらに Dev1 と Dev2 のコーデックが異なる場合は、CN に対してもメディアストリーム接続を行わなければならないため、処理時間は基本メディアストリーム転送時と同様に膨れ上がる。

一方、起動時接続手法では、前述のように基本ストリーミング転送（図 4）における破線 T 上部とほぼ同じコールフローで処理を終えることができ、メッセージ数とメッセージサイズの削減が実現できる。また、新たな転送先 Dev2 のコーデックが転送元 Dev1 と同じであれば、CN と B2BUA 間の再接続が省略可能となる。つまり、起動時接続手法のデバイス間メディアストリーム転送では最良の場合、メディアストリーム接続の手続きを必要としない。

3.4 メディアストリーム返納の改良

メディアストリーム返納とは、Dev に転送したメディアストリームを CP へと返納する機能である。具体的には、前述の基本メディアストリーム転送やデバイス間メディアストリーム転送によって、CN と Dev が B2BUA を介した Indirect 型メディアストリーム通信を行っている状況で、CP の指示により B2BUA と Dev 間および CN と B2BUA 間のメディアストリームの切断を行い、最初の基本メディアストリーミング転送時に Sleep 状態にした CN と CP 間の通信トラフィックを復旧させて Direct 型メディアストリーミング接続へ戻す。

図 7 に従来手法におけるメディアストリーム返納のコールフ

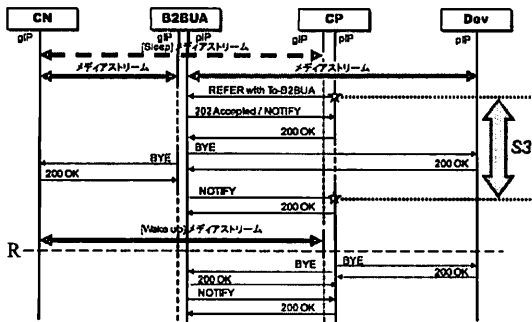


図 7 メディアストリーム返納（従来手法）

ローを、図 8 に起動時接続手法におけるメディアストリームの返納のコールフローを示す。従来手法と提案方式のメディアストリーム返納における違いは、図 7 における破線 R 下部に現れている。従来手法では、CP からの BYE メッセージ送信が必要であるが、起動時接続手法では必要としない。これは、従来手法では基本メディアストリーミング転送に 3PCC を用いているため、CP は Dev や B2BUA との間に INVITE 命令によって確立されたメディアセッションを切断しなければならないからである。一方、起動時接続手法では CP は Dev や B2BUA との間にメディアセッションを張らないため BYE の送信が不要である。ただし、CN と CP 間のメディアストリームを Wake-up 状態に戻すまでのコールフローは、従来手法とほぼ同じで、返納に要する制御時間は高速である。

4. 性能評価

4.1 実験環境

NIST で開発された SIP UA である SIP Communicator を機能拡張し、CP、CN、B2BUA、Dev として動作可能な mPAN 対応 SIP UA を開発した。SIP Communicator は、SIP (JAIN SIP RI)、Media (JMF: Java Media Framework)、および GUI (Java Swing) の大きく 3 モジュールから成り、JAVA で実装されている。また、SIP サーバとして SER (SIP Express Router) を Linux 上で動作させ、各端末は固定 pIP を割り当て、ネットワーク遅延を最小にするよう有線 LAN とスイッチングハブを用いて接続した。ここで、mPAN の制御ポイントは携帯電話を想定しているが、簡単のためノート PC 上で実装しており、B2BUA での NAT 越え処理も省略している。

性能評価実験では、音声 (G.723) および映像 (H.263) の両方を用いたメディアストリーム転送に対して測定を行った。なお、測定はプログラム内に埋め込んだタイマによって差分を取る手法を用い、測定時に必要となる各端末での応答操作等はプログラム内で自動化し人的タイムロスは発生しない。

4.2 SIP シグナリング処理時間

mPAN の基本的な 3 つの転送機能に関して、SIP シグナリング処理時間を測定した。具体的には、基本メディアストリーム転送における従来手法 (図 2) と起動時接続手法 (図 4) の区間 S1、CN との再ネゴシエーションを必要としないデバイス

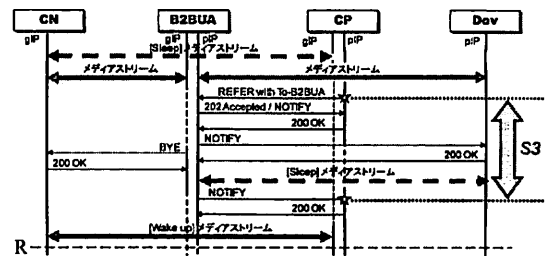


図 8 メディアストリーム返納（起動時接続手法）

間メディアストリーム転送における従来手法 (図 5) と起動時接続手法 (図 6) の区間 S2、メディアストリーム返納における従来手法 (図 7) と起動時接続手法 (図 8) の区間 S3 である。図 9 に、各 30 回の測定結果の平均値と 95% 信頼区間を示す。図中の SigComp 理論値とは、SIP メッセージ圧縮における最良ケースを 40% の遅延改善と想定し [7]、従来手法と起動時接続手法の実測値に適用することで算出している。また、評価指標として、リアルタイム通信の遅延を規定している G.114 を参考にする。G.114 によれば、人は約 400ms 以上の遅延で会話が成立せず、150~400ms の遅延で違和感を感じる。そのため、ユーザに遅延を意識させないようにするには、遅延を約 150ms 以下に抑えることが望ましい。

区間 S1 の測定は CP 上でを行い、CP が基本メディアストリーム転送要求を送信し B2BUA と Dev1 間の Indirect 型メディアストリーム確立の成功応答が返るまでを測定した。従来手法の約 247ms に対し、起動時接続手法では約 26ms と 1/10 程度の遅延削減を達成しており、従来手法に SigComp を適用する場合 (約 148ms) と比較しても約 1/6 程度の遅延削減を実現できる。また、起動時接続手法に SigComp を適用すればさらなる遅延削減が見込まれる (約 15ms)。以上の結果より、起動時接続手法によって 150ms を大きく下回る遅延で移動系と固定系の網間転送の SIP シグナリングを完了できることが確認された。

区間 S2 の測定は CP 上でを行い、CP がデバイス間メディアストリーム転送要求を送信し、Dev2 (従来手法の場合) もしくは B2BUA (起動時接続手法の場合) からデバイス間メディアストリーム転送成功を表す通知が返るまでを測定した。従来手法の約 323ms に対し、起動時接続手法では約 77ms と 1/4 程度の遅延削減を達成しており、従来手法に SigComp を適用する場合 (約 194ms) と比較しても 1/2 程度の遅延削減を実現できる。また、起動時接続手法に SigComp を適用すればさらなる遅延削減が見込まれる (約 46ms)。以上の結果より、CN との再ネゴシエーションを必要としなければ起動時接続手法によって 150ms を大きく下回る遅延でデバイス間メディアストリーム転送の SIP シグナリングを完了できることが確認された。

区間 S3 の測定は CP 上でを行い、CP がメディアストリーム返納要求を B2BUA へ送信し、B2BUA から CP へのメディアストリーム返納成功を表す通知が返るまでを測定した。ただし、前述したように従来手法と起動時接続手法でメディアストリーム返納に要する SIP シグナリングに変更はほとんどないため、

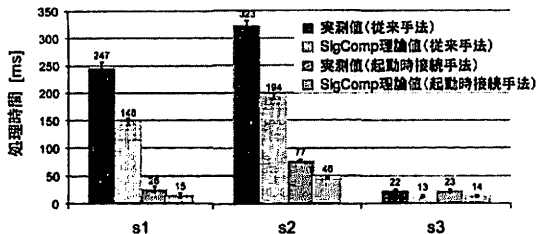


図9 SIP シグナリング処理時間

実測値に差はほとんど見られない。従来手法の約 22ms に対し、起動時接続手法でも約 23ms、従来手法に SigComp を適用する場合は約 13ms に対し、起動時接続手法に SigComp を適用する場合は約 14ms であった。いずれにせよ、150ms を大きく下回る遅延でメディアストリーム返納の SIP シグナリングを完了できることが再確認された。

4.3 メディアストリーム再生待ち時間

次に、エンド端末でメディアストリームが再生されるまでの待ち時間を測定した。具体的には、基本メディアストリーム転送における従来手法(図2)と起動時接続手法(図4)の区間Mで、CPが基本メディアストリーム転送要求を送信しCNやDevで実際にメディアストリームが再生され始めるまでの時間である。区間Mの時間は、前述のS1にDev1でSIPシグナリングが終了してからRTPパケットを受信し再生処理に入るまで、CNでSIPシグナリングが終了してからRTPパケットを受信し再生処理に入るまでの時間を足すことで算出している。

ここで、従来手法ではB2BUAは転送要求時にDev1とのメディアストリーム接続を確立する必要があったが、起動時接続手法ではDev1起動時に確立されたメディアストリーム用のポートを利用するためメディアストリーム接続を確立する時間を削減できる。さらに、従来手法版のB2BUAでのメディアストリーム中継処理を改良し、本実装ではB2BUA内のJMFによるメディアストリーム処理を省略することで大幅なメディアストリーム中継処理の短縮を実現した。

図10に、メディアストリームが再生されるまでの時間を示す。ここで、メディアストリームには音声と映像の2つがあり、それぞれCNからDev1への下り方向と、Dev1からCNへの上り方向のメディアストリームがある。SIP Communicatorの実装上の特徴から、音声処理を行ってから映像処理が実行されるため、映像メディアストリームの再生待ち時間は音声メディアストリームの再生待ち時間を含んでいる。また、上り方向と下り方向のメディアストリーム再生待ち時間に差があるのは、各端末のCPU等の性能差に依存していることを追加実験によって確認している。本結果は、CNにPentium4 2.40GHzのCPU搭載PCを、Dev1にPentium 1.73GHzのCPU搭載PCを使用した際の結果であり、逆の構成にした場合は逆の特性を示した。

最短で約1秒のメディアストリーム再生待ち時間で、長いと約6秒のメディアストリーム再生待ち時間が生じた。メディアストリーム再生待ち時間に数秒のオーダーの時間を要しているが、

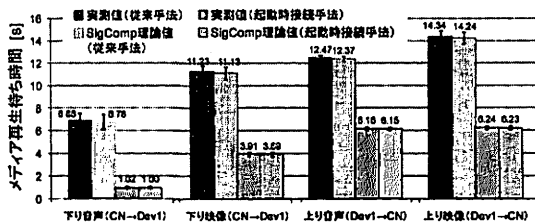


図10 メディアストリーム再生待ち時間

全端末の処理時間を詳細に分析してみるとSIP Communicatorの利用しているJMFによるメディアストリーム処理が約67%を占めていることが分かった。そのため、デバイスの高性能化とメディアストリーム処理の実装方法を改良することで、メディアストリーム再生待ち時間をそれぞれ半分程短縮でき、最短で500ms程度といった実用的な値まで短縮できると考える。

5. おわりに

本稿では、これまで検討してきたmPAN内の入出力メディアストリーム制御をさらに高速化する高速メディアストリーム制御手法を検討した。プロトタイプを用いたSIPシグナリング処理時間の評価より、従来手法に比べ数十ms程の高速で制御できることを確認した。また、メディアストリーム再生待ち時間を詳細分析し、エンド端末の性能向上とメディアストリーム処理の実装方法を改良することで、最短で500ms程度のメディアストリーム再生待ち時間に短縮できる見通しを得た。

本アーキテクチャは実現に必要なSIP拡張の追加をIMS側に必要としないため、将来のIMSとの統合についても高い親和性を持っているが、今後、mPANメディアストリーム転送時のIPsecトンネル利用といったセキュリティ(機密性、正当性、改竄防止)やデバイスの認証に関しても検討が必要である。また、DLNAやWSN(Wireless Sensor Network)等、異種混在ネットワークとの連携を視野に入れたヘテロジニアスネットワークコンバージェンスに関して研究を進めていく。

文 献

- [1] H. Schulzrinne, et al. "SIP: Session Initiation Protocol," *IETF RFC 3261*, 2002.
- [2] C. Hesselman, et al., "Measurements of SIP Signaling over 802.11b Links," *ACM WMASH*, pp.74-83, 2005.
- [3] H. Fathi, et al., "Optimization of SIP Session Setup Delay for VoIP in 3G Wireless Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.5, No.9, pp.1121-1132, 2006.
- [4] M. Hasegawa, et al., "Cross-Device Handover Using the Service Mobility Proxy," *WPMC*, Vol.2, pp.1033-1037, 2003.
- [5] K. El-Khatib, et al., "Personal and Service Mobility in Ubiquitous Computing Environments," *ACM Wireless Communications & Mobile Computing*, Vol.4, pp.595-607, 2004.
- [6] R. Shacham, et al., "The Virtual Device: Expanding Wireless Communication Services through Service Discovery and Session Mobility," *IEEE WiMob*, pp.73-81, 2005.
- [7] D. Bin, "Performance Analysis of Signaling Using SigComp Scheme in Narrowband System," *CCNC*, pp.376-379, 2006.
- [8] H. Mineno, et al. "Seamless Streaming Transfer Method between Devices within Mobile Personal Area Networks," *IEEE CCNC*, pp.701-705, 2007.