

推薦論文

モバイル環境における MMD セッション制御の高速化に関する研究

小森田 賢史^{†1} 我妻 知典^{†2,*1} 千葉 恒彦^{†1}
横田 英俊^{†1} 井戸上 彰^{†1} 羽鳥 光俊^{†2}

次世代ネットワークの中核技術として標準化が進められている IMS (IP Multimedia Subsystem)/MMD (MultiMedia Domain) においては、各端末の通信を制御するために SIP を用いる。さらに、筆者らが着目する MMD では移動端末のモビリティサポートのために Mobile IP の利用が想定されている。しかしながら、この SIP と Mobile IP を併用する方式においては、それぞれが独立して処理を行うため、MMD セッションの移動制御が非効率となり、その結果ハンドオーバーの遅延を招くという問題がある。本論文では、それら 2 つのプロトコルを連携させることにより、MMD セッション制御を高速化する手法を提案し、その方式設計について述べる。さらに、提案に基づいて実装、および評価を行い、MMD セッション制御時間の改善性について示す。

Study on the Fast MMD Session Control Methods in the Mobile Environment

SATOSHI KOMORITA,^{†1} TOMONORI AGATSUMA,^{†2,*1}
TSUNEHICO CHIBA,^{†1} HIDETOSHI YOKOTA,^{†1}
AKIRA IDOUE^{†1} and MITSUTOSHI HATORI^{†2}

In recent years, IMS/MMD architectures standardized by 3GPP and 3GPP2 are becoming important as the key technologies for the Next Generation Network. These architectures utilize SIP for managing sessions between nodes. In addition, MMD utilizes Mobile IP for mobility support of mobile nodes. How-

ever, in the case of the utilization of the both protocols, the problem of a delay of the MMD session controls for handover happens because they work individually. In this paper, we propose fast session control methods by cooperation between these protocols. Further, we implement and evaluate our proposed methods, and show the improvements in session control time.

1. はじめに

近年、固定、移動通信を統合し、より高度なサービスを提供するための基盤として NGN (Next Generation Network) が注目されている。その中核技術である IMS (IP Multimedia Subsystem)/MMD (MultiMedia Domain) は、それぞれ 3GPP¹⁾/3GPP2²⁾ において標準化が進められている。IMS/MMD は、VoIP を含む多様なマルチメディアサービス提供基盤となる ALL IP ネットワークのための標準仕様であり、セッション制御をはじめ、認証や既存回線交換網とのゲートウェイ、メディアリソース提供や変換などの機能と、その機能間のインタフェースを定めている。これらにより、IMS/MMD では QoS 制御や課金、通信事業者以外のサードパーティによるサービスなどを提供することができる。

IMS/MMD におけるセッション制御には、SIP (Session Initiation Protocol)³⁾ が用いられ、さらに MMD においては異なるアクセス網へ端末が移動した場合のハンドオーバー制御に Mobile IP⁴⁾ を利用する。しかしながら、MMD において Mobile IP と SIP を独立に動作させるだけでは、冗長な動作が発生する⁵⁾。まず、それぞれを動作させる場合、はじめに Mobile IP の位置登録を行い、その後 SIP の登録処理を行う⁶⁾。この際、SIP のメッセージは先に登録した Mobile IP によって HA (Home Agent) を通過する冗長な通信経路を通る。また、それぞれで登録メッセージを送るためにメッセージ数が多く、認証も個別に行っている。これらにより、Mobile IP と SIP の登録などに時間を要し、ハンドオーバーの際の通信遮断時間などの遅延を招く。

筆者らは、Mobile IP と SIP の併用時における冗長性に対して、それらのプロトコルを連携させることで、MMD におけるセッション制御の高速化を行うことを提案する。そのた

^{†1} KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories Inc.

^{†2} 中央大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Chuo University

*1 現在、UQ コミュニケーションズ株式会社
Presently with UQ Communications Inc.

本論文の内容は 2007 年 5 月のモバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会にて報告され、同研究会主催により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である。

めに、制御メッセージの経路の最適化、制御メッセージ数の最適化、および安全性を低下させない認証手順の最適化に着目した。これらに基づき、本論文では SIP メッセージが HA を経由しない Selective Reverse Tunneling, Mobile IP と SIP の登録パケットをまとめる PiggyBacking, および Mobile IP の認証結果を SIP の認証に反映させる認証連携の 3 手法とそれらを統合した手法について述べる。

また、提案した手法の有効性を確認するために、MMD ネットワークを構築し評価実験を行う。本実験では、Mobile IP ノードと SIP ノードを MMD ネットワークを模擬した LAN 内に設置し、ネットワーク遅延を変動させてセッション制御時間の測定を行い、セッション制御処理速度の改善を示す。

本論文では、まず 2 章で MMD のセッション制御について概説し、Mobile IP と SIP を独立に動作させた場合の動作について述べる。次いで 3 章でその動作時の問題点を述べ、4 章でその問題点を解決する手法を提案する。5 章で実験について、6 章でその結果・考察を述べ、最後に 7 章でまとめとする。

2. MMD セッション制御概要

2.1 ネットワーク構成

本論文で想定するセッション制御に関する MMD のネットワーク構成を図 1 に示す。本ネットワークは、通常 1 つの HN (Home Network) とアクセス種別や地域ごとに分割される複数の VN (Visited Network) により構成される。HN-VN 間は、専用線やインターネットなどのバックボーン網によって接続されており、HN-VN 間が離れている場合には大きな遅延が生じることが想定される。

2.2 ノード構成

MMD では、移動端末である MN (Mobile Node) のモビリティ制御を行う Mobile IP に関するノードとして、HA や FA (Foreign Agent), および認証サーバがある。HA および認証サーバの AAA (Authentication Authorization Accounting) は HN に、FA は VN に配置される。

SIP のセッション制御に主に関わるノードとしては、ユーザ情報を扱う HSS (Home Subscriber Server) や SIP サーバである CSCF (Call Session Control Function) がある。MMD において CSCF はローミング機能や負荷分散を考慮し、P-CSCF (Proxy-CSCF), I-CSCF (Interrogating-CSCF), S-CSCF (Serving-CSCF) 3 種類に分かれる。P-CSCF は SIP プロキシサーバとして動作し、MN が送受信する SIP メッセージはすべて P-CSCF

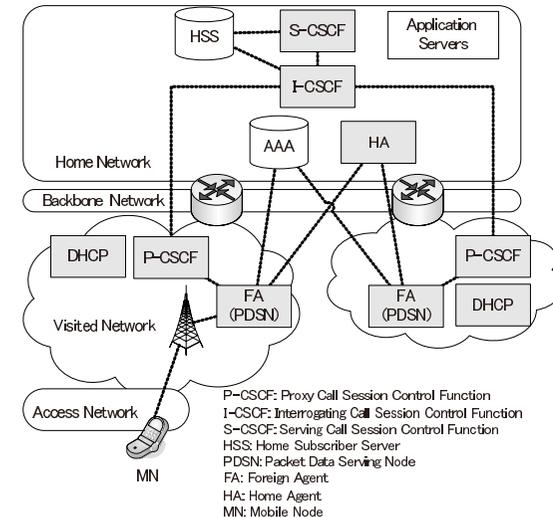


図 1 本論文で想定する MMD ネットワーク構成
Fig. 1 Network architecture we suppose in this paper.

を通る。I-CSCF は、管理ドメインの端に配置される SIP プロキシサーバであり、ドメイン間の SIP メッセージや、P-CSCF と S-CSCF 間の SIP メッセージを中継する。S-CSCF は中心的な SIP ノードであり、セッション制御機能やレジストラの機能を備える。I-CSCF, S-CSCF, および HSS は基本的に HN に配置されるが、P-CSCF については HN に配置する手法と、VN に配置する手法がある⁷⁾。HN-VN 間の遅延時間やアクセス種別ごとの管理の容易さを考慮した場合、運用上 P-CSCF を分散させる構成がより重要と考えられ、筆者らは各 VN に P-CSCF を設置する手法を提案している⁵⁾。

2.3 Mobile IP/SIP の動作概要

MMD では、MN が VoIP などのサービスを利用するために、まず Mobile IP と SIP の登録処理を行う。また、異なるネットワークへ MN が移動した際には、Mobile IP と SIP の登録処理を再度行う必要がある。

MN が、Mobile IP と SIP の登録を完了するまでの動作シーケンスを図 2 に示す。MN はネットワークに接続した後、まず P-CSCF のアドレスを取得する。P-CSCF のアドレスの取得には、ネットワーク接続時に固有のプロトコルで取得する方法や DHCP を使用する方法が定められているが^{8),9)}、本論文では一般性を考慮し DHCP を利用する。次に、MN

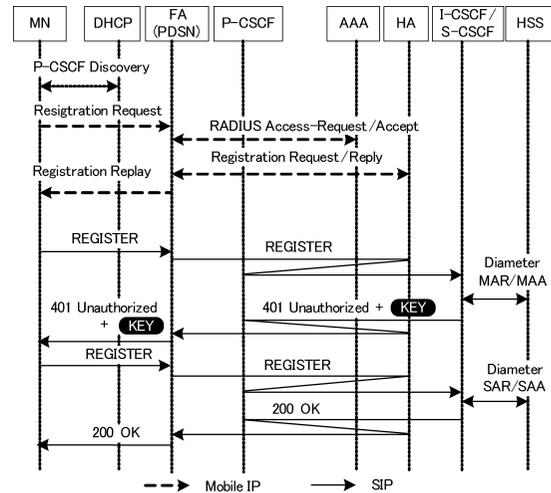


図2 MMDにおけるMobile IP/SIPの登録シーケンス
Fig. 2 Basic Mobile IP/SIP registration sequence in MMD.

は Mobile IP の登録要求メッセージを FA へ送信する。FA は、AAA と Mobile IP の認証処理を行い、認証成功後に HA へ登録要求メッセージを送信する。HA は MN の登録完了後、MN へ Mobile IP 登録完了メッセージを送信する。MN は、同メッセージを受信後、SIP 登録メッセージを P-CSCF へ送信する。P-CSCF は I-CSCF へ、I-CSCF は S-CSCF へ SIP 登録メッセージを送信する。S-CSCF は、SIP 登録メッセージを送信したユーザの情報を HSS から取得し、取得した情報に基づいて MN とチャレンジレスポンス認証を行う。認証後、S-CSCF は HSS へユーザの登録完了処理を行い、MN へ SIP 登録完了メッセージを送信する。またチャレンジレスポンス認証の際に鍵を渡して、P-CSCF と MN の間に SA (Security Association) を構築し、以後 MN と P-CSCF 間の通信を暗号化する。なお、3GPP2 で規定される Mobile IP では Reverse Tunneling¹⁰⁾ が用いられるため、FA-HA 間に双方向のトンネルが確立される。そのため、Mobile IP 登録後に MN が送受信する SIP メッセージは、すべて HA を経由して送受信される。

3. Mobile IP/SIP 併用時の問題点

3.1 Mobile IP/SIP 動作の冗長性

図1に示す MMD ネットワークにおいて MN が移動しながら通信を行う場合、Mobile IP/SIP の登録は、MN が異なる VN にハンドオーバーを行うごとに必要である。この登録処理が完了するまで MN は通信を再開することができないため、高速なハンドオーバーのためには登録処理の高速化が必要となる。

しかしながら、2.3 節で述べた Mobile IP と SIP の独立した動作は、次の点において冗長となる。第1に、MN の SIP メッセージの通信相手は、基本的に同じ VN に配置された P-CSCF であるにもかかわらず、SIP メッセージが Mobile IP によって HA を経由し VN-HN 間を往復している点である。第2に、Mobile IP と SIP メッセージの登録メッセージが逐次的に送信されている点である。MN は Mobile IP 登録完了メッセージの受信まで待機し、その後 SIP 登録メッセージを送信する必要があるが、無線区間の遅延が大きく帯域が狭い場合には、無線区間のメッセージ数が全体の処理時間に大きく影響する。第3に、同じ HN に対する認証であるにもかかわらず、Mobile IP は FA から AAA へ Radius による認証を、SIP は S-CSCF と MN 間でチャレンジレスポンス認証を個別に行っている点である。これらの冗長性により、Mobile IP と SIP の登録完了までに時間を要し、セッション制御の遅延を招く。

3.2 既存技術

上記で述べた第1の問題に対する既存の手法として、SIP メッセージが HA を通らないように Mobile IP の経路の最適化を図る Mobile IP Route Optimization¹¹⁾ があげられるが、この機能を利用するために新たなシグナリングを必要とし、メッセージ数が増加してしまう。MMD の登録処理高速化は、MN がネットワークに接続した直後の短時間における処理を高速化するものであるため、長期的に有効であってもネットワーク接続開始時に新たにシグナリングが増加することは望ましくない。そこで、新たにシグナリングを加えることなく、現在のシグナリングから冗長なメッセージを省略することを検討する。第2の問題に対しては、メッセージの送受信を効率化するため1度に類似する複数のメッセージをまとめて送信する手法¹²⁾があるが、本システムにおいては Mobile IP と SIP のシーケンスを考慮する必要がある。第3の問題についても、ユーザの1度の認証で以後の認証が自動的に行われる Single-Sign-On^{13),14)}のように、サーバ間での認証や認証チケットを発行する手法があげられるが、本システムでは既存の枠組みを大きく逸脱しないように、また処理の高速化

を考慮する必要がある。なお、これらの類似した手法を用いる関連研究については 6.3 節で述べる。

4. セッション制御高速化手法の提案と設計

4.1 設計指針

上記の Mobile IP と SIP の独立動作時における冗長性を低減させ、セッション制御を高速化するため、Mobile IP と SIP を連携する手法を提案する。本手法は、3.1 節で述べた第 1 の問題に対し制御メッセージの経路の最適化を図ること、第 2 の問題に対し制御メッセージ数の最適化を図ること、第 3 の問題に対し安全性を低下させずに認証手順の最適化を図ることを指針とした。それぞれの指針に対して、Selective Reverse Tunneling, PiggyBacking, および認証連携の 3 つの手法とそれらを統合した手法を次に提案する。

4.2 Selective Reverse Tunneling

本手法は、SIP メッセージを HA を経由する冗長な経路を通過させず直接 P-CSCF へ送信させることで、SIP メッセージのトラフィック量と遅延の削減を図る手法である。

Mobile IP の登録完了後、まず MN は P-CSCF への SIP メッセージを FA に送信する。FA は受信したパケットを解釈し同じ VN 内にある P-CSCF 宛の SIP メッセージであれば、SIP メッセージをカプセル化し、P-CSCF へ直接送信する。P-CSCF は FA からのパケットを受信し、カプセル化された内部の SIP メッセージを処理する。また、P-CSCF は内部の SIP メッセージの送信元 (IP_{MN}) とカプセル化している外部のパケットの送信元 (IP_{FA}) の対応を保持し、今後 IP_{MN} 宛にパケットを送信する場合は、カプセル化を行い IP_{FA} 宛に送信する。FA はパケットを受け取ると、カプセル化を解除し内部のメッセージの送信先である IP_{MN} へ送信する。なお、この P-CSCF が保持する IP アドレスの対応は、FA から Mobile IP の登録解除を通知された場合、または一定時間経過後に削除される。

4.3 PiggyBacking

本手法は、MN が個別に送信している Mobile IP の位置登録パケットと SIP の登録パケットを、まとめて送信することで無線区間のメッセージ量の削減と SIP 登録処理の高速化を図る手法である。

まず MN は、Mobile IP の登録処理の際に SIP 登録メッセージを作成し、これを Mobile IP の登録メッセージの拡張部に格納して、FA へ送信する。FA では、Mobile IP の登録メッセージから SIP 登録メッセージを分離して待機させ、先に Mobile IP の登録処理を行う。FA は、HA から Mobile IP の登録処理完了メッセージを受信すると、これを契機に待機し

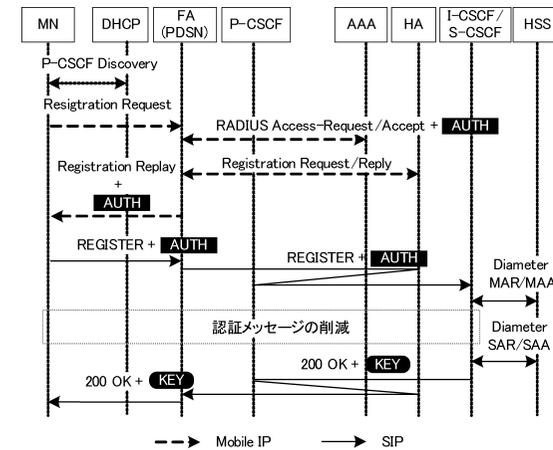


図 3 認証連携手法の登録シーケンス

Fig. 3 Registration sequence with collaborative authentication.

ていた SIP 登録メッセージの処理を行う。

4.4 認証連携

本手法は、先に認証を行う Mobile IP の認証情報を SIP の登録メッセージに付加し、SIP の認証サーバに渡すことによって SIP の認証を行い、SIP メッセージ量の削減と SIP 登録処理の高速化を図る手法である。

認証を連携した場合の登録処理を図 3 に示す。まず Mobile IP の認証時に、AAA は認証済みとする認証情報を Radius の返信メッセージに付加して FA に返す。FA は、この認証情報を Mobile IP の登録完了メッセージに付加して MN へ返す。MN は、この認証情報を付加した SIP 登録メッセージを送信する。認証を行う S-CSCF は、この認証情報付き SIP 登録メッセージを受信すると、この認証情報の正当性を検証し、信頼できる AAA による認証であると正しく確認できれば認証済みとして、チャレンジレスポンス認証を省き、SIP 登録完了メッセージを MN に返す。

しかしながら認証連携では、MN が AAA の認証情報を一度受信した後、再び送信している。そのため、悪意のある MN のユーザが AAA の認証情報の捏造などを行って、SIP の認証を行う可能性がある。これに対し認証連携を安全に行うため、本手法では電子署名を利用する。AAA は、認証情報を自身の秘密鍵で署名し、S-CSCF は HSS から受け取った

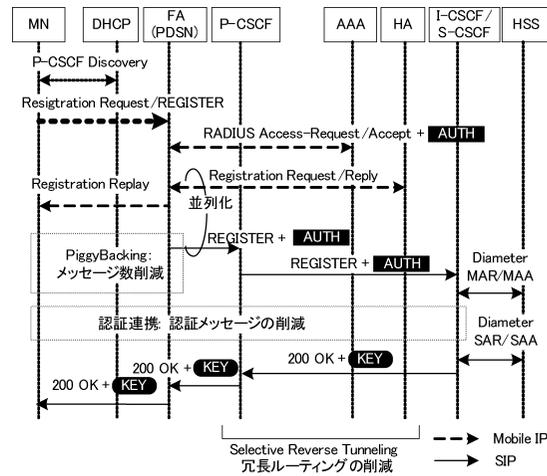


図 4 統合手法の登録シーケンス

Fig. 4 Registration sequence with integrated methods.

AAA の公開鍵を用いてこれの正当性を検証する。

なお、通常の SIP 認証処理では MN と P-CSCF 間の通信暗号化に使用する共通鍵を、本手法において削減されるチャレンジレスポンスのシーケンス中に交換する。そこで、本手法ではこの鍵を SIP 登録完了メッセージに付加して P-CSCF と MN へ渡す。

4.5 提案手法の統合化

4.1 節で示した設計指針を同時に満足させるため、上記 3 手法を統合したシーケンスを図 4 に示す。Selective Reverse Tunneling による冗長経路の最適化、PiggyBacking による無線区間のトラフィックの削減、さらに認証連携による重複した認証処理の最適化が行われ、端末の移動にともなうセッション再確立時の時間短縮が可能となる。またこの際に、Selective Reverse Tunneling と PiggyBacking の相乗効果として、Mobile IP の認証が完了した段階で Mobile IP の登録完了を待たずして FA から SIP の登録メッセージを送信することができ、より高速化が可能となる。

5. セッション制御高速化手法の実装と評価方法

5.1 実験ネットワークの構成

本論文で用いた MMD 実験ネットワークの構成を図 5 に示す。本ネットワークは、HN、

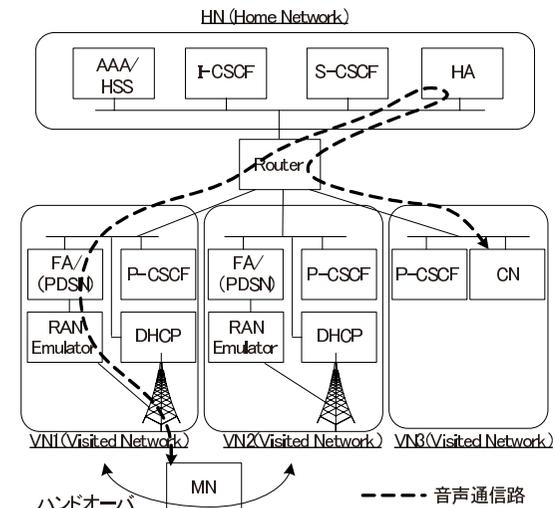


図 5 MMD 実験ネットワーク構成

Fig. 5 MMD experiment network configuration.

および 3 個の VN で構成され、それらはバックボーン網を想定した Router により接続されている。VN1, VN2 は無線アクセス網、VN3 は固定網とし、HN と VN はローミングなど地理的に離れた環境も想定する。また、MN は VN1, VN2 間でハンドオーバーを行いながら、VN3 の CN (Correspondent Node) と双方向の音声通信を行う。このハンドオーバーの際、セッション制御により継続して音声通信が可能である。

本ネットワークでは、SIP 構成ノードとして、HN に SIP サーバである I-CSCF, S-CSCF, ユーザ情報を保持する HSS を配置し、VN に P-CSCF を配置している。また、Mobile IP 構成ノードとして、HN に HA, 認証サーバである AAA を配置し、VN1, VN2 に FA を配置している。MN は IEEE802.11b 無線 LAN を用いて無線アクセス網に接続する。また、無線アクセス網として想定した 1xEV-DO¹⁵⁾ におけるプロトコルや遅延を模擬するための RAN (Radio Access Network) Emulator および PDSN (Packet Data Serving Node) を VN に配置した。ネットワーク上の各ノードは Ethernet で接続し、HN と VN 間のバックボーン網遅延は Router において変動させている。

5.2 各ノードの実装

実装に用いた各ノードの仕様を表 1 に示す。基本的に Mobile IP, SIP の構成ノード、およ

表 1 実装に用いた各ノードの仕様

Table 1 Specifications of nodes used for implementation.

Mobile IP, SIP の構成ノード (S-CSCF, I-CSCF, P-CSCF, AAA/HSS, HA, FA DHCP)	
OS	Fedora Core 3
CPU	Pentium4 2.8 GHz
Memory	2 GB
Network Card	Intel PRO/1000MT
その他 NW 構成ノード (Router, RAN Emulator)	
OS	FreeBSD 5.5-RELEASE
CPU	Pentium4 3 GHz
Memory	1 GB
Network Card	Intel PRO/1000MT
モバイルノード (MN)	
OS	Fedora Core 3
CPU	PentiumM 1.4 GHz
Memory	1 GB
Network Card	IO-DATA WN-AG/CB2

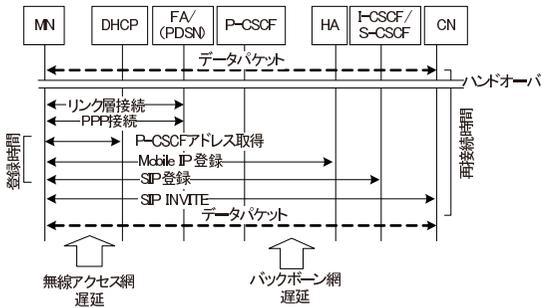


図 6 セッション制御時間
Fig. 6 Session control time.

表 2 遅延パターン
Table 2 Delay patterns.

	バックボーン網遅延	無線アクセス網遅延
パターン 1	20, 22, 24, 33, 53, 68, 88, 136, 150 ms	80 ms 固定
パターン 2	24 ms 固定	40, 80, 110, 220 ms

びMN は Fedora Core3 を用い、遅延を変動させる Router や RAN Emulator は DummyNet を用いるため FreeBSD5.5-RELEASE を用いている。

5.3 評価対象

本論文では、基本の動作および提案手法のうち以下の 2 動作を評価対象とした。

Mode1: MMD 基本動作のみ

Mode2: 認証連携手法の適用

Mode3: 全提案の統合手法の適用

なお、Selective Reverse Tunneling および PiggyBacking の評価については文献 5) で述べている。評価指標はセッション制御処理における登録時間と再接続時間とした。登録時間と再接続時間の定義を図 6 に示す。登録時間とは、P-CSCF のアドレス取得のための DHCP メッセージを送信してから SIP 登録完了メッセージを受信するまでの時間である。これは MN が VN に接続してからサービスを楽しむことが可能になるまでの時間になる。再接続時間とは、MN がハンドオーバー前に CN から最後のデータパケットを受信してから、MN のハンドオーバー処理を完了し、ハンドオーバー後に再びデータパケットの受信を開始するまでの時間である。これは VoIP など通話中にハンドオーバーした際、音声遮断される時間になる。

5.4 測定方法

セッション制御に対する提案手法の有効性を検証するため、無線アクセス網とバックボーン網の遅延を変化させて測定を行った。遅延パターンとして、表 2 の 2 パターンを用いた。なお、表 2 中の遅延は片方向遅延を表している。バックボーン網遅延は、HN を東京と仮定して VN を東京からワシントンなどの主要都市にかけての距離から算出し¹⁶⁾、無線アクセス網遅延は文献 17) を参照した。

測定では、まず図 5 中の VN1 において MN が Mobile IP および SIP の登録を完了させ、CN と VoIP による音声通信を開始した後、VN2 にハンドオーバーさせた。その際に MN、VN、および HN でパケットキャプチャを行い、5.3 節で述べた登録時間と再接続時間を求めた。

6. 測定結果と考察

6.1 実験結果

登録時間と再接続時間の遅延パターン 1 での測定結果を図 7 に、遅延パターン 2 での測

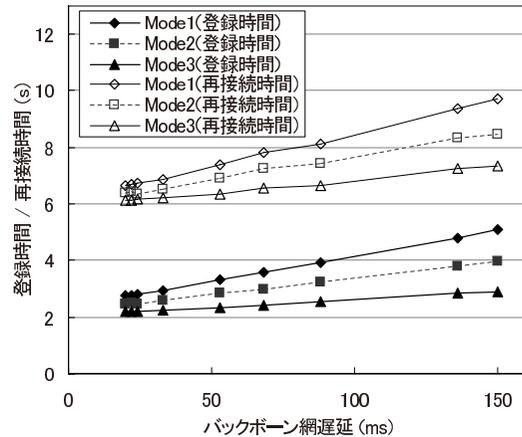


図 7 遅延パターン 1: 登録/再接続時間

Fig. 7 Delay pattern1: Registration/Reconnection time.

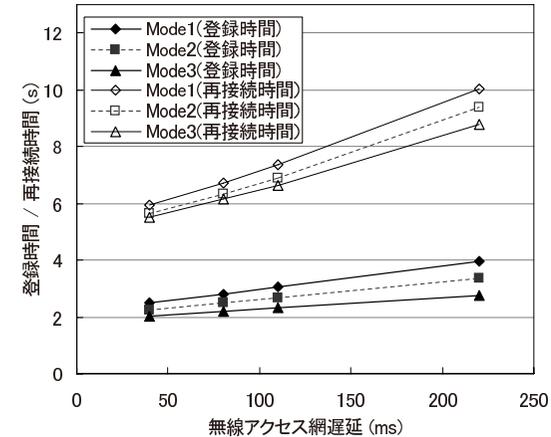


図 8 遅延パターン 2: 登録/再接続時間

Fig. 8 Delay pattern2: Registration/Reconnection time.

定結果を図 8 に示す．MMD 基本動作である Mode1 と比較して，認証連携の Mode2，統合手法の Mode3 の順に登録/再接続時間が減少していることが確認できる．また，バックボーン網遅延，無線アクセス網遅延の変化に対する登録時間および再接続時間は，ほぼ線形に変化している．

測定結果の他の特徴として，Mode1 に対する時間の短縮量は Mode3 で Mode2 の 2 倍ほどとなっていることがある．たとえば，遅延パターン 1 でバックボーン遅延が 150 ms の場合には，登録時間が Mode2 で約 1.14 秒，Mode3 で約 2.12 秒の短縮である．同様に，遅延パターン 2 で無線アクセス網遅延が 220 ms の場合には，登録時間が Mode2 では 0.62 秒，Mode3 では 1.22 秒短縮されている．

6.2 評価・考察

6.2.1 登録完了までの時間短縮効果

登録時間の絶対値には通信以外で生じる遅延が含まれており推定が困難であるため，各網の遅延および各 Mode に対する登録時間の変化量を検証する．

MMD 登録処理における通信遅延は，バックボーン網遅延を D_{back} ，無線アクセス網遅延を D_{access} ，バックボーン網を通過するメッセージ数を N_{back} ，無線アクセス網を通過するメッセージ数を N_{access} とすると，

$$D_{back} \times N_{back} + D_{access} \times N_{access} \quad (1)$$

表 3 登録処理時に各網を通過するメッセージ数

Table 3 The number of messages through each network in registration process.

	Mode1	Mode2	Mode3
バックボーン網 (N_{back})	18	12	6
無線アクセス網 (N_{access})	8	6	4

表 4 各網の遅延に対する登録時間の変化量

Table 4 Registration time variations per delays in each network.

	Mode1	Mode2	Mode3
バックボーン網遅延	18.1	11.7	5.6
無線アクセス網遅延	8.1	6.1	4.0

と表される．よって，通信遅延は各網での遅延時間と各網を通過するメッセージ数に比例して線形に変化する．また，各網の遅延に対する通信遅延の変化量は，それぞれの網を通過するメッセージ数となる．

これらより，6.1 節で述べたように登録時間が線形に変化することは妥当な結果である．さらに，4 章の設計に基づいて，それぞれの Mode の各網を通過するメッセージ数を表 3 に，登録時間のグラフの傾きを最小二乗法により求めて表 4 に示す．表 4 に示す傾きの値は，各網の遅延に対する登録時間中の通信遅延の変化量を表す値であり，式 (1) より表 3 に

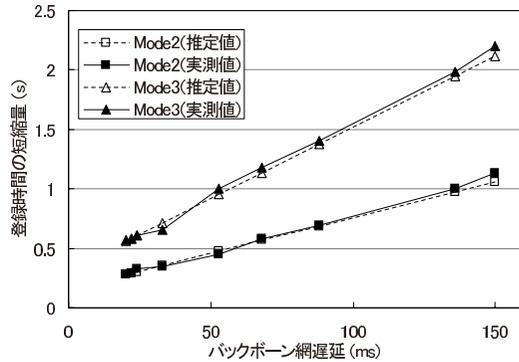


図 9 遅延パターン 1: 登録時間の推定値と実測値の比較

Fig. 9 Delay pattern1: Comparison of estimate values with observed values of registration time.

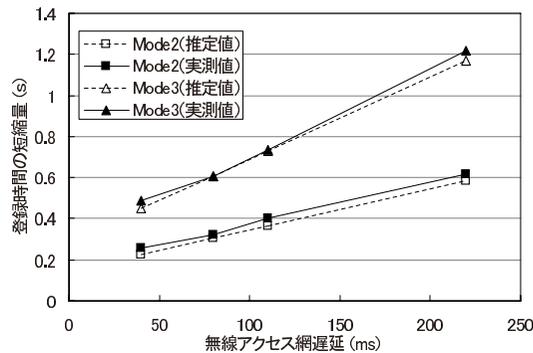


図 10 遅延パターン 2: 登録時間の推定値と実測値の比較

Fig. 10 Delay pattern2: Comparison of estimate values with observed values of registration time.

示す各網を通過するメッセージ数に等しくなるはずである．比較するとそれぞれの Mode でほぼ同程度の値になっており，登録時間の変化は妥当な結果であると考えられる．

登録時間の短縮量については，表 3 より Mode2 では N_{back} が 6， N_{access} が 2，Mode3 で N_{back} が 12， N_{access} が 4 だけ削減されている．よって，6.1 節で述べたように登録時間の短縮量が 2 倍程度となる．これら登録時間の短縮量について，Mode2 および Mode3 における実測値と式 (1) による推定値の比較を，遅延パターン 1 と遅延パターン 2 について図 9 と図 10 に示す．実測値は推定値どおりであり，おおむね設計に沿った性能が得られる

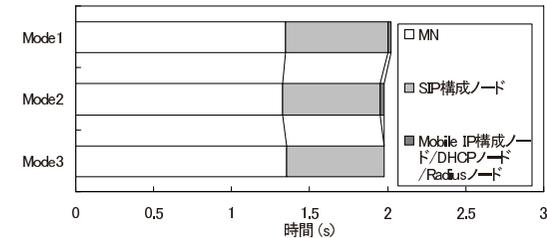


図 11 各ノードでの登録処理時間の総和

Fig. 11 Amount of time required at each node for a registration.

ことが確かめられた．なお，数十 ms ほど推定値よりも実測値の短縮量が多いが，この原因としては次の 6.2.2 項で述べるように提案手法適用による処理メッセージ数の削減によって各ノードでの処理時間が減少したことが考えられる．

6.2.2 各ノードの処理時間削減効果

メッセージ数を削減することで，通信遅延の影響を小さくし，登録処理の時間を短縮することができた．本実験ではこれに加え，メッセージを削減したことにより，各ノードでの処理時間が削減されている．

図 11 に，各 Mode の登録処理時における各ノードでの処理時間の総和を示す．なお，この処理時間とは各ノードがメッセージを受信してから処理を行い，その後レスポンスを送信するまでの時間である．Mode1 に対して，メッセージが削減された Mode2，Mode3 では 50 ms 程度処理時間が短縮されている．Mode2 よりも Mode3 の処理時間が大きくなっているが，Mode3 では PiggyBacking による Mobile IP と SIP のパケットの統合など，1 回の処理量が増えているためと考えられる．

上記処理時間の絶対値に関しては，本実験の実装に大きく依存するところである．特に，処理時間のうち最も多く占める処理は MN での処理と SIP ノードでの処理であるが，これらも使用した SIP クライアントソフト，ならびに SIP サーバソフトの影響が大きい．

しかしながら，本結果より本提案手法を用いることによる処理負荷が大きくなることと分かる．また，MN での処理に時間を要していることから，利用できる機能やパフォーマンスなどに制約があることの多い端末での処理量を削減することも重要な課題といえる．

6.2.3 再接続時間の改善

本提案手法により MMD における登録時間の短縮化を実現することができたが，バックボーン網遅延 150 ms，無線アクセス網遅延 80 ms 時には，依然登録処理に約 3 秒，再接続

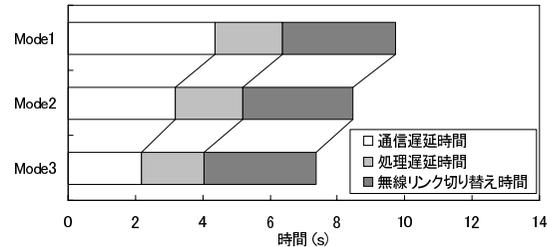


図 12 MMD 再接続時の時間内訳
Fig. 12 Detail of reconnection time.

には約 7 秒の時間を要する。これについて、図 12 にその際に要する時間の内訳を示す。同図に示すとおり、本提案手法の改善対象とならない無線リンクの切替えや各ノードでの処理に時間を要していることが分かる。

この無線リンクの切替え部分には、主に物理的な無線の切替えに約 2 秒、および PPP コネクションの確立に約 1 秒の遅延を含んでいる。この物理的な無線の切替えについては、基地局のスキャンなどを行った本実装環境の影響が大きい、スキャンの高速化を行うことにより¹⁸⁾ 数 ms ~ 数百 ms 程度の時間で切り替えることが可能である。一方、PPP コネクションの確立では、その際に多数のメッセージが交換されており、処理の遅延を招いている。これに対しては、確立時間を 1/6 ほどに短縮する PPP 高速化手法¹⁹⁾ のような PPP を効率化したプロトコルを用いることが有効であると考えられる。これらによって、無線リンクの切替えは 2 ~ 300 ms 程度に短縮できると期待できる。

ノード処理に関しても前記したように本実験では SIP ソフトウェアの影響が大きい。特に MN では P-CSCF のアドレスを取得してから SIP と Mobile IP の登録メッセージを送信するまでの間に 1.3 秒もの時間を要し、処理時間内の多くを占めている。この主な原因はログ出力等の実験用付加機能であり、これらを除いて処理を最適化することで 500 ms 程度以下に短縮可能であると期待できる。

なお、再接続時における 2 秒ほどの通信遅延に関しては、図 4 で示した MMD セッションの登録シーケンスによる約 1.2 秒の遅延のほかに、異なる FA に接続が切り替わったことを FA からの Agent Advertisement によって検知していることや、QoS 制御のため登録処理完了後に再度 INVITE を送信する必要がある、主にこれらに時間を要している。このため、より高速化を行うには、異なるネットワークへの移動を高速に検知することや QoS 情報を高速に処理することが課題と考えられる。

6.3 関連研究

3.1 節において Mobile IP/SIP の冗長動作による問題を 3 点述べた。その中の SIP メッセージが冗長な経路を通る第 1 の問題に対する既存研究として、Mobile IP の経路の最適化を行う Mobile IPv6 Route Optimization¹¹⁾ や、ゲートウェイを経由する手法²⁰⁾ があげられる。これら既存の研究は、Mobile IP の三角経路問題を解決する手法であるが、主に不特定多数の端末間の経路最適化を想定している。そのため、経路最適化の前に認証のために 1 度 HA を経由する必要がある。これらに対し本手法では、経路が最適化されるノードが信頼できる FA と P-CSCF 間であると限定されることから、初めから HA を経由せずに経路を最適化し、メッセージ数の削減を試みている。

Mobile IP と SIP のメッセージが逐次的に送信、処理されていることでメッセージ数が増加し、処理の遅延を招いている第 2 の問題に対し、既存研究では性質の類似した複数のパケットを統合して送ることでトラフィック量の低減と高速化を図っている¹²⁾。これに対し本手法では、IP パケットの特徴ではなく、各々順次送信および処理されていたパケットを、Mobile IP と SIP のシーケンスを考慮したうえで一括して送信し送信先で一括して処理を進めることで、トラフィック量の削減と処理の高速化を行っている。

認証が 2 度行われるという第 3 の問題に対して、既存研究では複数の認証サーバに対し効率的に認証を行うために Single Sign-On 技術^{13),14)} が進められている。これらは、認証を集中的に行うサーバで認証した情報を他のサーバに送信し、認証サーバ間で認証を行う。また、Kerberos 認証のようにチケットを発行することで、ユーザが認証を行う手間を省くものもある。本研究では、ユーザの認証作業の効率化ではなく、処理時間の短縮を目的としている。そのため、メッセージ数が増加しないよう、認証サーバを最初に認証が行われるサーバとし、途中のメッセージにその情報を組み込むことを行っている。

7. おわりに

MMD の網構成として P-CSCF がアクセス種別や地域ごとに分割してネットワークに配置される環境では、Mobile IP と SIP の独立した動作により MMD セッションの移動制御において非効率な動作が発生し、ハンドオーバーの際の通信遮断時間などの遅延を招く。この問題に対し、本論文では Mobile IP と SIP の連携に着目し、SIP メッセージが HA を経由しないよう冗長経路の最適化を行う Selective Reverse Tunneling、メッセージを統合することでトラフィックの削減を図る PiggyBacking、Mobile IP の認証結果を SIP の認証に反映させることで重複した認証を最適化する認証連携、さらにそれらを統合した手法を提案し

た。また、MMD ネットワークを構築して提案手法の実装および評価を行い、その有効性を示した。

謝辞 日頃ご指導いただく KDDI 研究所秋葉所長に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 3GPP. <http://www.3gpp.org/>
- 2) 3GPP2. <http://www.3gpp2.org/>
- 3) Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks, R., Handley, M. and Schooler, E.: RFC3261: SIP: Session Initiation Protocol, Internet RFCs (2002).
- 4) Perkins, C.: Mobile IP, *IEEE Communications Magazine*, Vol.35, No.5, pp.84–99 (1997).
- 5) Chiba, T., Yokota, H., Idoue, A., Dutta, A., Manousakis, K., Das, S. and Schulzrinne, H.: Trombone Routing Mitigation Techniques for IMS/MMD Networks, *WCNC 2007* (2007).
- 6) Faccin, S., Lalwaney, P. and Patil, B.: IP multimedia services: analysis of mobile IP and SIP interactions in 3G networks, *IEEE Communications Magazine*, Vol.42, No.1, pp.113–120 (2004).
- 7) Chiba, T., Yokota, H., Idoue, A., Dutta, A., Das, S., Lin, F. and Schulzrinne, H.: Gap Analysis and Deployment Architectures for 3GPP2 MMD Networks, *IEEE VT Magazine*, Vol.2, No.1, pp.35–42 (2007).
- 8) 3GPP TS 23.228 V8.1.0: IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2(Release 8) (2007).
- 9) 3GPP2 X.S0013-004-A v1.0: All-IP Core Network Multimedia Domain - IP Multimedia Call Control Protocol Based on SIP and SDP Stage 3 (2005).
- 10) Montenegro, G.: RFC2344: Reverse Tunneling for Mobile IP, Internet RFCs (1998).
- 11) Johnson, D., Perkins, C. and Arkko, J.: RFC3775: Mobility Support in IPv6, Internet RFCs (2004).
- 12) 安達洋介, 圖師尚典, 三好 匠: 類似パケット競合転送方式による擬似マルチキャストの実現とその評価, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.153, pp.7–10 (2006).
- 13) Pfitzmann, B. and Waidner, M.: Analysis of liberty single-sign-on with enabled clients, *Internet Computing*, Vol.7, No.6, pp.38–44, IEEE (2003).
- 14) DeClercq, J.: Single sign-on architectures, *Infrastructure Security, International Conference, InfraSec*, pp.1–3 (2002).
- 15) 3GPP2 X.S0011-001-C v3.0: cdma2000 Wireless IP Network Standard: Introduction (2006).

- 16) ITU-T Recommendation Y.1541: Network performance objectives for IP-based services (2002).
- 17) ITU-T Recommendation G.114: One-way Transmission Time (2000).
- 18) Mishra, A., Shin, M. and Arbaugh, W.: An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.33, No.2, pp.93–102 (2003).
- 19) Chiba, T., Shinbo, H., Yokota, H. and Idoue, A.: Fast Link-layer Connection Method for 3G CDMA Data Communications, *IEEE WPMC*, pp.408–413 (2006).
- 20) 高木康志, 井原 武, 大西浩行: 次世代移動通信に適した Mobile IP 経路最適化方式, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.84, No.3, pp.344–353 (2001).

(平成 19 年 9 月 21 日受付)

(平成 20 年 4 月 8 日採録)

推 薦 文

本論文では、次世代ネットワークの中核技術として標準化が進められている IMS/MMD (IP Multimedia Subsystem/MultiMedia Domain) において、各端末の通信を制御するために用いられる SIP と、移動端末のモビリティサポートのために利用される Mobile IP を連携させ、経路や認証手順の最適化、メッセージ数の削減を図ることにより、セッション制御を高速化する手法を提案した。さらに、提案に基づいて実装、評価を行い、セッション制御時間が改善されたことを示した。本研究成果はモバイル環境を含む次世代ネットワークの発展に大きく寄与するものであり、ここに推薦論文として推薦する。

(モバイルコンピューティングとコピキタス通信研究会主査 渡辺 尚)



小森田賢史

平成 18 年東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報工学専攻修士課程修了。同年 KDDI 株式会社入社。現在、株式会社 KDDI 研究所モバイルネットワークグループ研究員。SIP、IMS/MMD の高度技術化の研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



我妻 知典 (正会員)

平成 19 年中央大学大学院理工学研究科電気電子情報通信工学専攻修士課程修了。同年 KDDI 株式会社入社。現在、UQ コミュニケーションズ株式会社にて WiMAX の開発業務に従事。



千葉 恒彦

平成 12 年北海道大学工学部電子工学科卒業。同年第二電電株式会社 (現 KDDI 株式会社) 入社。以来、cdma2000 システムの設計・開発・運用支援に携わり、平成 16 年より株式会社 KDDI 研究所にて、高速移動管理技術、IMS の高度化技術の研究ならびに 3GPP2 標準化活動に従事。現在、株式会社 KDDI 研究所モバイルネットワークグループ研究員。平成 19 年度電子情報通信学会学術奨励賞受賞、電子情報通信学会会員。



横田 英俊 (正会員)

平成 2 年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。平成 4 年同大学院修士課程修了。同年国際電信電話株式会社入社。平成 7~8 年米国スタンフォード研究所客員研究員。現在、株式会社 KDDI 研究所モバイルネットワークグループ・グループリーダー。博士 (国際情報通信学)。平成 10 年電子情報通信学会学術奨励賞受賞、平成 17 年情報処理学会山下記念研究賞受賞、平成 18 年情報処理学会論文賞受賞、モバイルネットワークの研究・標準化に従事。電子情報通信学会、IEEE 各会員。



井戸上 彰 (正会員)

昭和 59 年神戸大学工学部電子工学科卒業。昭和 61 年同大学院修士課程修了。同年国際電信電話株式会社 (現 KDDI 株式会社) 入社。ネットワークアーキテクチャ/プロトコル、プロトコル実装・試験、モバイルネットワーク、ユビキタスネットワーク等の研究に従事。平成 19 年電気通信大学大学院情報システム学研究科博士後期課程修了。現在、株式会社 KDDI 研究所ユビキタスネットワークグループ・グループリーダー。平成 5 年情報処理学会大会奨励賞、平成 10 年情報処理学会大会優秀賞受賞。博士 (工学)。電子情報通信学会会員。



羽鳥 光俊

昭和 38 年 3 月東京大学工学部卒業。昭和 43 年 3 月同大学院工学系研究科博士課程修了、工学博士。同年 4 月東京大学工学部講師、昭和 44 年 4 月同助教授、昭和 61 年 7 月同教授、平成 11 年 5 月同名誉教授、平成 11 年学術情報センター教授 (現国立情報学研究所)、平成 16 年 10 月同名誉教授、平成 16 年 4 月中央大学理工学部教授、現在に至る。平成 17 年 12 月電波監理審議会会長、現在に至る。通信工学・放送工学の研究に従事。電子情報通信学会名誉員、映像情報メディア学会名誉員、IEEE ライフフェロー。