

# 従来端末に対する移動透過通信支援方法と そのプロトタイプ実装

関 顕生, 正岡 元<sup>†1</sup>, 西村 浩二<sup>†2</sup>, 相原 玲二<sup>†2</sup>, 前田 香織<sup>†3</sup>

広島大学工学部

<sup>†1</sup>広島大学大学院総合科学研究科

<sup>†2</sup>広島大学情報メディア教育研究センター

<sup>†3</sup>広島市立大学大学院情報科学研究科

MIPv4/MIPv6, LINA, MAT などの移動透過性を実現するアーキテクチャでは、高い汎用性とスケラビリティを実現するため、移動端末のプロトコルスタックに大幅な変更を要求する。しかし、端末のプロトコルスタック変更は利用者に対する負担が大きく、普及の妨げとなる。本稿では、キャンパスネットワークなどネットワーク構築ポリシーが同一である範囲での利用を想定し、ネットワーク側に支援機能を持たせることで従来端末に移動透過性を提供する方式を提案する。提案方式の具体的な設計には、移動透過アーキテクチャのひとつである MAT を拡張した。プロトタイプシステムの実装について述べ、その動作結果を示す。

## IP Mobility Support Method for Legacy Nodes and Its Prototype Implementation

Akio Seki, Hajime Masaoka<sup>†1</sup>, Kouji Nishimura<sup>†2</sup>,

Reiji Aibara<sup>†2</sup> and Kaori Maeda<sup>†3</sup>

Faculty of Engineering, Hiroshima University

<sup>†1</sup> Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

<sup>†2</sup> Information Media Center, Hiroshima University

<sup>†3</sup> Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

IP mobility support architectures such as MIPv4/MIPv6, LINA or MAT demand significant modification of the protocol stack in mobile nodes to realize widely used, scalable mobility. The necessity of the modification, however, will prevent deployment of the mobility support. In this paper, we propose an IP mobility support method for legacy nodes by attaching support function onto a network designed under the same policy, e.g. campus network. We extended MAT that is one of the IP mobility support architectures, to design the proposed method. We describe its prototype system and show results of the experiments.

### 1 はじめに

近年、移動しても通信相手との接続を維持する機能を持たせる移動透過通信の研究が盛んにおこなわれている。この移動透過通信を実現するプロトコル/アーキテクチャには、MIPv4 (Mobile IPv4)[1] / MIPv6[2] や LINA (Location Independent Net-

work Architecture)[3]、MAT (Mobility support Architecture and Technologies)[4]<sup>1</sup>などが存在する。これらのアーキテクチャには、通信におけるシグナリング方式の違いや中継ノードの有無など、それぞれに長所と短所が存在する。ただし、いず

<sup>1</sup>MAT Official Site: <http://www.mat6.org/>

れのアーキテクチャとも、移動端末に移動透過性を持たせるためには、プロトコルスタックの改変が必要である。この移動端末に求める要求が、移動透過通信の普及を妨げている可能性がある。

一方、NEMO (Network Mobility)[5] や MAT-MONET (MAT for Mobile Network) [6] には、移動透過性を持たない端末 (以降、従来端末と呼ぶ) にモビリティを持たせる仕組みがある。それを実現するためには、MR (Mobile Router) と呼ばれる、下位のネットワーク (以降、モバイルネットワーク) に対して移動透過通信のためのアドレス変換機能を提供する移動端末を利用する。MR はモバイルネットワークと一緒に移動することで、モバイルネットワークに移動透過性を提供する。つまり、従来端末が移動透過通信を行うには、この MR と共に移動しなければならない。

ネットワーク側にモビリティの機能を持たせることにより従来端末でも移動透過通信を可能にする方式として PMIPv6 (Proxy Mobile IPv6)[7] がある。しかし、PMIPv6 はトンネル技術を使って通信経路を確保するためデータ転送の効率が悪い。そこで本稿では、同一大学内など利用登録をしている組織の中で使用するという条件のもとで、従来端末に IP モビリティを提供するシステムを提案する。提案システムは、利用者認証機能付き情報コンセントシステムである PortGuard[8] と MAT のアドレス変換機能を統合することで実現を目指していることから MAT-PortGuard と呼ぶ [9]。MAT-PortGuard は PMIPv6 と異なり、経路中にトンネルが存在しないため、データ転送密度を低下させることなく通信できるメリットがある。ただし、本稿での提案および実装は、端末認証機能を除く移動透過機能の提供に限定している。提案システムの応用例としては、キャンパス内を移動する学生が講義情報をリアルタイムに取得することなどがある。

本論文では、まず第 2 節で移動透過通信の概要と MAT について述べ、第 3 節で移動透過通信支援システムの構成を説明する。第 4 節では、プロトタイプの実装と処理の流れについて述べる。動作確認のためのテスト内容について第 5 節で説明し、第 6 節で考察を述べる。

## 2 移動透過通信

端末がネットワーク間を移動しても通信を継続できる性質を移動透過性といい、移動透過性を利用した通信を移動透過通信と呼ぶ。

移動透過通信を実現するアーキテクチャは、前節に述べたように複数の方式がある。提案システムでは、移動透過通信のアーキテクチャとして MAT を採用する。

MAT は、IP アドレスが持つノード識別子と位置識別子の役割を分離し、モバイルネットワークの境界ルータが、アドレス変換によってそれらの識別子を使い分けることで移動透過通信を実現する。

MAT 機能を持つ (MAT 対応の) 移動加端末 (MN: Mobile Node) は、移動先で付与される一時的なアドレス (MoA: Mobile Address) とアプリケーションが通信を行う際に使用する恒久的なアドレス (HoA: Home Address) をそれぞれ持つ。MAT では HoA と MoA の対 (以降、マッピング情報) を管理する特別なノード、IMS (IP Address Mapping Server) を用意する。MN がアドレス変換する際に IMS にマッピング情報を問い合わせ、MN が移動するたびにマッピング情報を更新する。MN は移動に伴って MoA が変更となるたびに HoA との対応表を更新し、移動端末内で HoA と MoA との間のアドレス変換を行うことで、アプリケーションに対して移動透過通信の機能を提供する。また、MAT 対応のルータは MR と呼ばれる。MN は MN 自身で HoA と MoA の 1 対 1 のアドレス変換を提供していたのに対し、MR は配下のネットワークに対して多対多のアドレス変換機能を提供する。そのため MAT 機能を持たない端末 (LN: Legacy Node) は MR と一緒に移動することで移動透過性を持つ。LN は従来端末であり、ネットワークモビリティ (NEMO や MAT-MONET) における LFN (Local Fixed Node) と機能面では同じであるが、LFN とは利用シーンが異なるため、本稿では LN (Legacy Node) に統一して表記する。

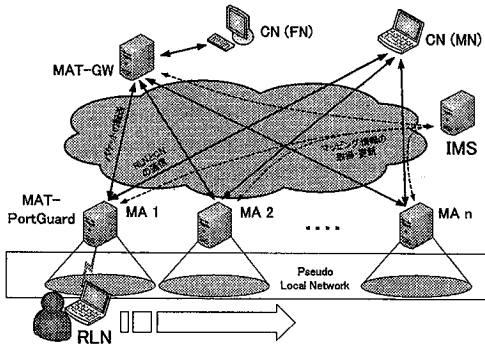


図 1: システム構成

### 3 移動透過通信支援システムの構成

#### 3.1 構成要素

システムの概要を図 1 に示す。従来端末 LN のうち、移動透過通信機能を提供してもらうために IMS に HoA を事前登録している従来端末を「登録済従来端末 (RLN : Registered Legacy Node)」と呼ぶ。RLN の通信相手のことを CN (Correspondent Node) と呼ぶ。MAT 対応 CN を CN (MN)、MAT 非対応 CN を CN (FN) と標記する。また、単に CN と標記した場合は CN (MN) を意味する。IMS は MAT で使用する IMS を拡張し、マッピング情報に加えて MAC アドレスや認証情報を保持する。

MAT-GW は、CN が MAT 対応でない場合に、MAT-PortGuard と CN の間に入って MIPv4/MIPv6 のホームエージェントと類似に機能をする。MAT-GW は MAT-PortGuard から転送されたパケットの送信元アドレス MoA を HoA に変換して CN に送信する機能をもつものである。ただし、今回は CN が MAT 対応であることを想定しているため、実装の対象に含まれていない。

ここで、MAT-PortGuard は RLN の HoA と MoA のマッピング情報をもたねばならないが、これを MAT と同様に、IMT (IP Address Mapping Information Tree) というデータベースで管理する。IMT に存在する個々のマッピング情報を IMT レコードと呼び、IMT レコードは HoA によって一意に特定することができる。MAT-PortGuard は

IMS に問い合わせを行い、IMT レコードを動的に生成する。

#### 3.2 MAT-PortGuard

本論文では、従来端末に対して、移動透過通信を可能にすることに主眼をおいている。この移動透過通信支援を MR を改良したルータ (MAT-PortGuard) を使用することで実現する。MAT においては、通常、MR は MoA と HoA アドレスの対応表とアドレス変換機能の両方を持ち、LN と共に移動する。すなわち、LN は MR なしに移動透過通信はできなかった。MAT-PortGuard は、従来の MR と異なり、自身は移動しない。対応表と LN のみが移動する。

RLN が移動してもゲートウェイが変わらないように見せかけるため、システムを構成する全ての MAT-PortGuard のローカル側のインターフェースには、共通の IP アドレスと MAC アドレスを使用する。MAC アドレスに関しては、ベンダ識別子 (OUI: Organization Unique Identifier) 内の U/L (Universal/Local) ビットを 1 (ローカル管理) にした上で適当に使用する。図 2 に MAC アドレスの構造と U/L ビットの位置を示す。

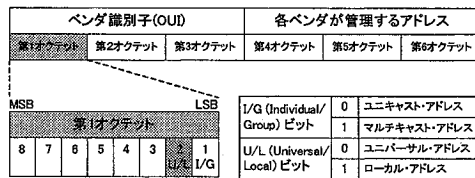


図 2: OUI 内の U/L ビットの位置

### 4 MAT-PortGuard のプロトタイプ

#### 4.1 MAT-PortGuard の処理概要

MAT-PortGuard の処理は 2 つに分かれる。1 つは、カーネル側でアドレス変換機能を提供する MAT カーネルで、もう 1 つは、ユーザランド側

のMATデーモン(matd)である。matdは、MATカーネルを制御し、IMSと通信を行うプログラムである。MATカーネルとmatdはMAT socketを通じて制御メッセージをやりとりする。

図3に、MATカーネルとmatd、さらにIMSとの間でやり取りされるメッセージのフローを示す。また、その後のアドレスの変換処理については、第4.4節で述べる。

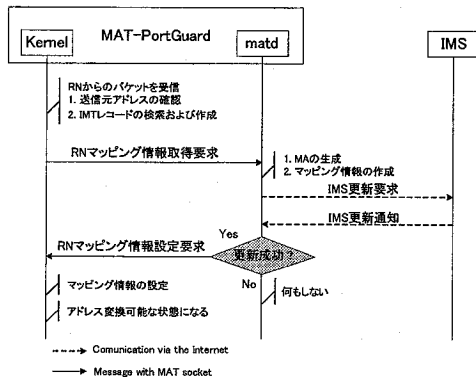


図3: カーネル・matd・IMS間のメッセージ

## 4.2 MATカーネルの処理の流れ

RLNに対してモビリティを提供するためには、MAT-PortGuardがRLNのHoAとMoAのマッピング情報を持っている必要がある。

RLNのマッピング情報を取得するために以下の処理を行う。

(1) 入力パケットの送信元アドレスを調べ、ローカル側のネットワークにいる端末から送られたものかどうかを判断する。ローカル側の端末からのパケットの場合、以降の処理に入る。

(2) 次に、IMTから送信元アドレス(HoA)を探し出す。もし、IMTにHoAが存在する場合は、ここで処理を終了する。HoAが存在しない場合は、候補レコードとして、IMTにHoAだけのレコードを作成しておく。

(3) そして、MAT socketを通じてmatdにマッピング情報更新要求を送信する。このメッセージにはHoAが含まれている。

(4) matdから、マッピング情報設定要求を受け取るとIMTにマッピング情報を書き込む。ここまでの処理でアドレス変換ができる状態になる。

## 4.3 matdの処理の流れ

ここでは、カーネルからマッピング情報更新要求を受け、処理内容に応じてカーネルにマッピング情報設定要求を伝えるまでの処理を説明する。

(1) matd側で、HoAとMoAのマッピング情報を作成する。matdは、カーネル側からの要求を受けると、要求のあったHoAに対するMoAを生成する。MoAは、HoAのネットワークアドレス部分をMPで置き換えたアドレスである。

(2) 次に、IMSに対してHoAとMoAのマッピング情報を更新するように要求する。IMS上にHoAが存在すればマッピング情報の更新に成功する。(3) IMSからの応答をもとに、マッピング情報設定要求をカーネルに伝えるか判断する。カーネルから要求のあったHoAがRLNのものであった場合、IMSにはHoAが存在しないのでマッピング情報の更新に失敗する。ちなみに、IMSにマッピング情報更新要求を行う際には、HoAに対応する秘密鍵の情報を利用している。これにより、第三者によるサービス妨害(マッピング情報の書き換え)を防いでいる。

(4) matdは、マッピング情報の更新に成功した時だけカーネルにマッピング情報設定要求を伝える。

こうして、候補レコードにMoAが追加された場合はRLNのIMTレコード、すなわちRLNのマッピング情報となる。一方で、MoAが書き込まれず、候補レコードのままである場合は、MoAが存在しないのでLNとして扱われる。

## 4.4 アドレス変換処理

RLNのマッピング情報がIMTに書き込まれると、MAT-PortGuardはパケットのアドレス変換処理を行うことができる。

RLNがMAT対応CNと通信を行うとき、MAT-PortGuardは次のようなアドレス変換を行う。

#### 4.4.1 RLN から CN へのパケット

MAT-PortGuard と MN はグローバルネットワークで繋がっている。パケットのアドレスは、アプリケーションレイヤで使用されるアドレスから、ネットワークでルーティング可能なアドレスに変換する必要がある。そのため、RLN からのパケットが到達したら、宛先アドレスを MN の HoA から MoA に変換し、送信元アドレスを RLN の HoA から RLN の MoA に変換する。

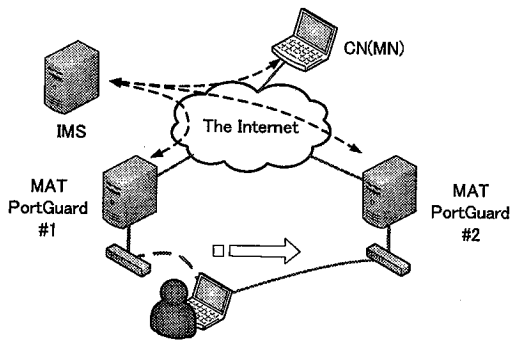


図 4: テスト構成

#### 4.4.2 CN から RLN へのパケット

CN から MAT-PortGuard に到達したパケットには、ネットワークでルーティングに使用されるアドレスが付いている。MAT-PortGuard から RLN にパケットを転送する際には、アプリケーションレイヤで使用されるアドレスに変換する必要がある。そのため、宛先アドレスを RLN の MoA から RLN の HoA に変換し、送信元アドレスを CN の MoA から CN の HoA に変換する。

### 4.5 実装

プロトタイプの実装として手掛けた部分は MAT-PortGuard である。今回の実装では、認証を省略しているので従来の IMS を代用している。また、现阶段では利用端末に割り当てるアドレスを管理する DHCP サーバは使用せず、端末には固定的にアドレスを付ける。

MAT-PortGuard の実装に使用したオペレーティングシステムは Debian GNU/Linux 4.0、カーネルは Linux-2.6.16.5 である。これは、現在稼働している MR に機能を拡張・改良する形で開発を行った。

## 5 動作確認

従来端末が、MAT-PortGuard により移動透過通信ができることを確認するために、以下に述べような実験環境を構築した。

### 5.1 使用機器

この動作確認で使用した機材の仕様を表 1 に示す。MAT-PortGuard はグローバル側とローカル側のネットワークに接続するため、2 つの NIC を使用する。

表 1: 使用機器

	MAT-PortGuard	CN
CPU	Pentium 4 1.72GHz	Mobile Pentium III 933MHz
RAM	512Mbytes	512Mbytes
OS	Debian 4.0 etch	Debian 4.0 etch
kernel	2.6.16.5	2.6.16.5
matd	1.5.x	1.5.0

	RLN
CPU	Celeron M 1.6GHz
RAM	1.25Gbytes
OS	Debian 4.0 etch
kernel	2.6.18
matd	N/A

#### 5.1.1 MAT-PortGuard の共通設定

RLN からは、どの MAT-PortGuard も同じゲートウェイであるかのように見せかけるために、ローカル側のネットワーク設定内容を統一する必要がある。表 2 に動作確認で使用したアドレス類を示す。

### 5.2 テスト内容

ネットワークを移動しても、次の条件をクリアしていることを確認するためにテストを行った。

表 2: ローカル側に使用したアドレス

	ローカル側インターフェース
IP Address	2001:e38:3561:3ce::1/64
MAC Address	02:AA:BB:CC:DD:EE

- 同じアドレスを使用し、通信ができていないこと
- 上位レイヤのセッションを維持したまま通信ができていないこと

今回のテストでは、RLNとMAT-PortGuardの接続は有線LANを使用し、ケーブルの抜き差しによるハンドオーバーテストを行った。ハンドオーバーに要する全体時間の正確な計測は行えなかったが、数秒の通信断が発生した場合でもセッションが維持できることが確認できた。

### 5.2.1 RLNの移動

RLNがCNに対してping6を打ち続け、MAT-PortGuard #1から#2に移動(ケーブルの差し替え)を行った。結果、ケーブルを#2のローカル側のネットワークに挿してから、ping6の画面が更新されるまでには約1秒から2秒を要した。この時間は、ケーブルを挿してからリンクが確立されるまでの時間と、MAT-PortGuardがRLNからのパケットを受け取って、マッピング情報が更新されるまでの時間(表3:マッピング情報更新所要時間)の和である。ケーブルを接続してリンクが確立されるまでの時間は、使用するOSとNIC、さらにドライバに依存する。

MAT-PortGuardとIMSのシグナリングに要する時間を測定した。表3に取得したデータを示す。試行回数は100回、MAT-PortGuardがマッピング情報をIMTに書き込むまでに要した時間を計測した。所要時間は約2ミリ秒であった。合わせて、ネットワークの遅延を把握するために、MAT-PortGuardとIMS間のRTTも計測した。また、IMSの負荷に関する評価は文献[10]で述べられている。

表 3: マッピング情報の更新に要する時間

	最大値 (msec)	最小値 (msec)	平均値 (msec)
マッピング情報更新所要時間	2.79	1.23	2.00
MAT-PGとIMSのRTT	0.54	0.45	0.48

### 5.2.2 SSH接続

RLNがCNにSSHで接続を行い、xclockをXフォワードさせて表示し、ハンドオーバー時における時計の挙動を調べる実験を行った。図5に実験の様子を示す。ケーブルを抜いた時にはパケットが届かないため、時計の針が止まる。そして、再び別のMAT-PortGuardのネットワークに挿すと針が動き出す。また、TCPの再送が機能するため、通信断絶中に失ったパケットを通信再開時に受け取っている。

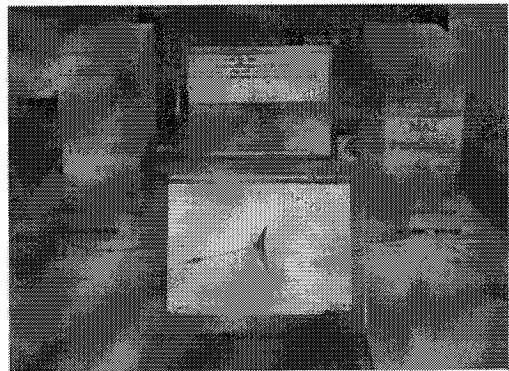


図 5: RLNがCNの時計を表示している様子

## 6 考察

### 6.1 CNからのパケットの到達性

CNからRLNにパケットが届くためには、RLNのマッピング情報がIMTに存在している必要がある。RLNはMAT-PortGuardの配下に入ったとき、IMTレコードを作ってもらうために最低でも1つのパケットを送信する必要がある。このとき、RLNがMAT-PortGuardにパケットを送信しな

ければ、MAT-PortGuardにRLNが移動してきたと認識されない。

上記の理由から、このシステムモデルはユーザ(RLN)がデータの受信のみを目的とした利用には不向きである。しかしこの問題は、keep-aliveを行うクライアントプログラムを導入することで回避可能である。また、このようなクライアントプログラムの導入は、移動検知の高速化にも効果がある。

## 6.2 従来端末による移動透過通信

本システムでは、移動端末に一切の変更及びクライアントソフトウェアの導入を要求しない。

移動透過プロトコル/アーキテクチャの研究では、複数インターフェースを使ったバイキャストリングなどにより通信不能時間をなくすことが検討されているが、それを実現するためのコストは膨大なものになる。しかし、サイト内では移動も距離も限られていることから、広域での移動透過通信と利用形態が異なっている可能性がある。そのため、ハンドオーバー時の通信不能時間がそれほど問題にならないことも予想される。

また、本システムの最大の特徴は、従来端末を使用して移動透過通信を実現することである。

提案システムでは、ユーザ自身が所有する端末でシステムを利用することができ、利用に関して特別なアプリケーションプログラムの導入などを必要としないため、サポート業務にも大きな負担をかけないことが利点である。

## 6.3 認証について

利用者が同じIPアドレスを使い続けることで、第3者にIPアドレスが知られ、本人になりすまして通信を盗聴される恐れがある。利用者が使用するIPアドレスを他人に使われないようにするための仕組みや、通信の乗っ取りを防ぐ仕組みが必要になる。

筆者らが提案しているシステム [9] では、IPアドレスとMACアドレスの組合せとユーザ認証を対応させることで移動端末の認証を行っているが、今回のプロトタイプの実装には認証の機構を含ん

でいない。また文献 [11] では、組織間で認証連携を行うことで、組織をまたがった移動透過通信を実現する手法の提案を行っている。

第6.1節でもクライアントプログラムについて言及したが、プログラムを導入することで、より高度な認証を実現することも可能である。本稿では、端末を改変しないことを前提としたが、クライアントプログラムを使用することで得られるメリットと移動端末への導入コストとのトレードオフで、選択的に使用する事も考えられる。

## 7 おわりに

本稿では、MATと情報コンセントの機能を統合し、移動透過性表現のための機能をネットワーク側に持たせることで、従来端末にモビリティを提供するシステムを提案し、そのプロトタイプの実装と考察を行った。RLNの移動の検出方法や認証など、現在のシステムには解決すべき点もあるが、それらを解決できる可能性を示した。今後、これらについてさらに調査・検討を行う予定である。

現在はMATの実装がIPv6のみであるため、本プロトタイプの実装もIPv6での実装となったが、本来MATはIPv4でも動作可能であり、本システムのIPv4上の実装も検討している。

## 謝辞

日頃からMATに関する議論にご参加頂いている広島大学相原研究室、広島市立大学インターネット工学研究室の各位に感謝します。株式会社デアイティの藤田貴大氏には、MATの実装について技術的に有益なご意見を頂きました。なお、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(19300019, 20300029)及び、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE-地域ICT, 082308001)の支援を受けて実施しています。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1] C. Perkins and Ed. IP Mobility Support for IPv4. RFC 3344, IETF, August 2002.

- [2] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko. Mobility Support in IPv6. RFC 3775, IETF, June 2004.
- [3] Masahiro Ishiyama, Mitsunobu Kunishi, Keisuke Uehara, Hiroshi Esaki, and Fumio Teraoka. Lina: A new approach to mobility support in wide area networks. *IEICE Transaction on Communication*, Vol. E84-B, No. 8, pp. 2076–2086, 2001.
- [4] 相原玲二, 藤田貴大, 前田香織, 野村嘉洋. アドレス変換方式による移動透過性インターネットアーキテクチャ. *情報処理学会論文誌*, Vol. 43, No. 12, pp. 3889–3897, 2002.
- [5] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert. Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol. RFC 3963, IETF, January 2005.
- [6] 藤田貴大, 西村浩二, 相原玲二. アドレス変換によるモバイルネットワークとその評価. *インターネットカンファレンス 2004 論文集*, Vol. 2006, pp. 29–38, 2004.
- [7] S. Gundavelli, Ed., K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil. Proxy Mobile IPv6. RFC 5213, IETF, August 2008.
- [8] 西村浩二, 前田香織, 相原玲二. 遠隔機器制御プロトコルを用いた有線/無線 LAN 用情報コンセントシステム. *情報処理学会論文誌*, Vol. 43, No. 2, pp. 662–670, 2002.
- [9] 西村浩二, 前田香織, 相原玲二. 移動透過アーキテクチャに対応した情報コンセントシステムによるサイト内モビリティ管理手法. *情報処理学会研究報告 2005-DSM-039*, pp. 55–60. 分散システム/インターネット運用技術研究会, 2005.
- [10] 森廣勇人, 畠中翔, 前田香織, 井上博之, 相原玲二, 岸場清悟. 移動透過アーキテクチャ MAT のスケーラビリティに関する評価. *電子情報通信学会技術研究報告. IA, インターネットアーキテクチャ*, Vol. 108, No. 74, pp. 49–54, May 2008.
- [11] Kouji Nishimura, Akio Seki, Hajime Masaoka, Tohru Kondo, Koichi Tashima, Seigo Kishiba, and Reiji Aibara. Realizing policy roaming by cooperating edge-mobility and authentication systems. *SAINT2008 International Symposium on Applications and the Internet*, pp. 285–288, July 2008.