

## 地理的位置情報を用いた分散 LMM

泉川 晴紀<sup>†</sup> 甲藤 二郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup>早稲田大学大学院理工学研究科 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: {haruki, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp

あらまし インターネットの普及に伴い、移動しながらインターネットへ接続することへの要求が高まってきており、現在 Mobile IP がモバイルユーザをサポートするプロトコルとして提案されている。本稿では、地理的位置情報を用いることで地理的に最適なローカルドメインを形成し、ハンドオーバー遅延によるデータ損失やインターネットへのシグナリングを減少させるとともに、Fast Handover に必要な、AR が隣接 AR 群の情報を保持することのできる提案を行う。さらに計算機シミュレーションによる性能評価を行い、提案手法の有効性を定量的に評価する。

キーワード Mobile IP, Micro-Mobility, LMM, Fast Handover, IP Mobility

## Distributed Localized Mobility Management using Geographical Location Information

Haruki Izumikawa<sup>†</sup> and Jiro Katto<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Engineering, Waseda University 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 Japan

E-mail: {haruki, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp

**Abstract** With dissemination of Internet, demand for Internet access to mobile users is increasing. Currently Mobile IP has been defined to come up with their expectations. In this paper, we propose a new distributed Localized Mobility Management approach using geographical location information, where optimal local domain can be formed from a geographical viewpoint. This approach contributes to reduction of the amount of data loss from handover delay and signaling overhead over the global Internet. We also refer to an optional method that an AR can share the knowledge of geographically neighboring ARs which is necessary for Fast handover approaches. Finally, computer simulations are carried out, and effectiveness of our approach is quantitatively verified.

**Keyword** Mobile IP, Micro-Mobility, LMM, Fast Handover, IP Mobility

### 1. はじめに

インターネットの普及に伴い、移動しながらインターネットへ接続することへの要求が高まってきており、公衆無線 LAN サービスの商用化も開始され始めた。また、それに伴いインターネット接続を可能にするポータブルデバイスの数は飛躍的に増加すると思われる。

現在、Mobile IP[1][2]がモバイルユーザをサポートするプロトコルとして提案されている。Mobile IP では移動端末(MN)に2つのIPアドレス-MNを識別するための静的なホームアドレス(HoA)と、MNの最新の接続先を示す動的な気付けアドレス(CoA)を割り当てることで、ユーザはあるサブネットワークから他のサブネットワークへ移動しながら通信を継続することができる。しかし頻りにサブネットワークを移動するMNを十分にサポートできない[3]。ハンドオーバー(HO)の際、新しいCoAを自身のホームエージェント(HA)や通信相手端末(CN)(経路最適化が用いられている場合)へ登録するまでの間、パケットロスを引き起こしてしまう。特に高速での移動や、セルが小さくなることによりHOが頻りに発生すると、パケットロス

が一層増大すると共に、遠くにあるかもしれないHAやCNへの登録によりオーバーヘッドが増大する。

この問題を解決するために様々な提案がなされており、特にシグナリングをローカルなドメイン内で行うことで解決を図るものはIP Micro-Mobilityプロトコルと呼ばれている[4]。IP Micro-Mobilityプロトコルは大きく、Local Mobility Management(LMM)アプローチとFast Handoverアプローチの2つに分けられる[5]。LMMアプローチにはHMIP[6]やLMMD[7]などの提案があり、いくつかのAR群でローカルなドメインを形成し、その中での移動をそのドメイン外のHAやCNから隠蔽することで、登録にかかる時間を減少させパケットロスを減らすことができる。また、インターネットでのシグナリングパケットを減らすことができる。また、Fast HandoverアプローチにはFMIP[8]などの提案があり、MNは実際のHOに先駆けて移動先でのCoAを構成し、移動後は旧アクセスルータ(AR)がMN宛のパケットを新ARまたは新AR経由でMNまでトンネル転送するためHOによるパケットロスを最小限に抑えることができる。

しかし、HMIP では Mobility Anchor Point(MAP)というモビリティエージェントをルートとするツリー構造のため、MAP がボトルネックとなる上 MAP の故障に非常に敏感となり、また管理者が手動でツリー構造を構成する必要もある[9]。また LMMD ではローカルドメインとローカルドメインのルートとなるルータが動的に選択されるため上記の HMIP での問題は起こりにくいが、ローカルドメインのルートとなるルータからあるホップ数以内の全 AR 群でローカルドメインを形成するため、地理的観点から最適なローカルドメインの形成が難しい。

また、Fast Handover アプローチでは、現 AR もしくは MN が隣接 AR の情報やその中でどの AR が新 AR の候補となるかなどの情報を保持していることが前提となっており、その動的なメカニズムが必要とされている[10][11]。

そこで本稿では地理的な位置情報を用いることで、地理的観点からの最適なローカルドメイン形成を行うとともに、ある AR が隣接 AR 群の情報を保持することのできる提案を行う。また、ns-2[12]を用いた計算機シミュレーションによる性能評価を行い、提案手法の有効性を定量的に評価する。

## 2. 研究背景

### 2.1. LMM

#### 2.1.1. HMIP

HMIP を用いたネットワーク構成は図 1 のようになる。MAP をローカルドメインのルートルータとし、複数の AR が MAP に接続される。MAP は HA、CN に対しては MN のように振る舞い、MN に対してはローカルな HA のように振る舞う。つまり MN は Binding Update(BU)(MIPv4 では HA 登録)を用いて MAP で構成された気付けアドレス Regional CoA(RCoA)を CoA として HoA とともに HA や CN に登録し、Local BU を用いて AR で構成された気付けアドレス Local CoA(LCoA)を HoA とともに MAP に登録する。こうすることで、MAP ドメイン内で MN が移動する限り HA や CN に再登録する必要がなくなる。HA や CN へのシグナリングは MN が異なった MAP ドメインへ移動した場合のみ必要となる。MN 宛てのパケットは HA 経由もしくは CN から直接 MAP に送信され、MAP から MN へ配送される。

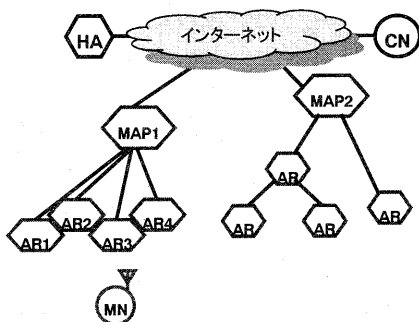


図 1 HMIP のネットワーク構成例

#### 2.1.2. LMMD

LMMD を用いたネットワーク構成例は図 2 のようになる。HMIP と同様にローカルなドメインを形成するが、MAP に相当するローカルドメインのルートルータである Local Mobility Agent (LMA)は HMIP の場合と異なり動的に決定される。最初に MN が接続した AR を LMA とし、そこから予め指定されたホップ数を閾値として、その閾値以内にある全ての AR 群でローカルドメインを形成する。図 2 において、MN が最初に AR2 に接続したとすると、AR2 がこの MN の LMA として振る舞う。そして、閾値ホップ数を 2 とすると、この LMA、つまり AR2 から 2 ホップ以内にある全 AR で Local Mobility Domain 1(LMD1)(図 2 の点線部)を形成する。MN が AR2→AR4→AR6 と移動し、この LMD1 を出ると、移動先の AR6 を新たな LMA として新たに LMD2(図 2 の実線部)を形成する。

LMMD においても LMA は HA、CN に対しては MN のように振る舞い、MN に対してはローカルな HA のように振る舞う。つまり、MN は BU を用いて LMA で構成された気付けアドレス RCoA を CoA として HoA とともに HA や CN へ登録し、Local BU を用いて AR で構成された気付けアドレス LCoA を HoA とともに LMA に登録する。ここで、ローカルドメインを形成する際(ローカルドメイン移動直後)は、RCoA = LCoA となっている。MN 宛てのパケットは HMIP 同様、HA 経由もしくは CN から直接 LMA に送信され、LMA から MN へ配送される。

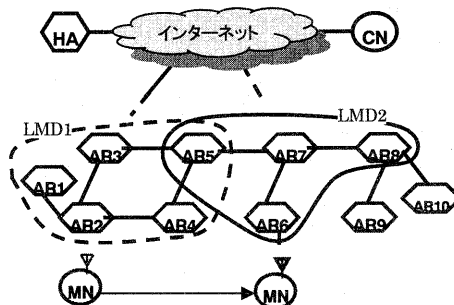


図 2 LMMD のネットワーク構成例

#### 2.2. Fast Handover

ここでは FMIP について説明する。通常の Mobile IP や HMIP、LMMD では、AR からの ICMP メッセージによって MN は自身の移動を検出する。FMIP は AR や MN が L2 からの情報をトリガとして HO が実際に起こる前に新 AR での新 CoA を構成し、MN の移動後は、新 CoA が HA や CN に登録されるまで旧 AR が MN 宛てのパケットを新 AR もしくは新 AR 経由で直接 MN までトンネル転送する。FMIP のメカニズムは図 3 のようになる。0: MN が FMIP のプロセスを開始する時は、Router Solicitation for Proxy (RtSolPr) メッセージを現 AR に送信する。ここには HO を行うための情報が含まれている。①: MN から RtSolPr メッセージを受信した現 AR

は MN に Proxy Router Advertisement(PrRtAdv)メッセージを送信すると共に Handover Initiate(HI)メッセージを新 AR に送信する。PrRtAdv メッセージは MN が HO すべきかの情報を含んでいる。HI メッセージは新 AR での新 CoA の有効性を問い合わせるのに用いられる。ここで、AR が FMIP のプロセスを開始する時は PrRtAdv メッセージには新 CoA が含まれる。

②: MN は新 CoA を含んだ Fast BU(F-BU)メッセージを現 AR に送信する。現 AR は新 AR から新 CoA の有効性についての HI の応答を Handover Ack(HAck)で受信し、MN 宛てのパケットを新 CoA へ転送するための一時的なトンネルをセットアップする。

③: 現 AR は Fast Binding Ack(F-Back)を MN へ送信するとともに④: MN 宛てのパケットをトンネル経由で転送する。

⑤: MN が新 AR 接続後、MN が送信する Fast Neighbor Advertisement(F-NA)メッセージを新 AR が受信すると MN へ MN 宛てのパケットの転送を始める。

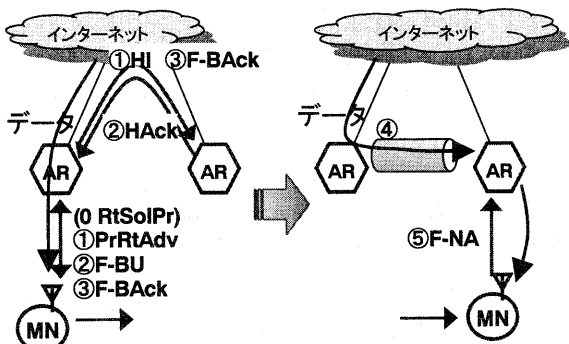


図3 FMIP の HO メカニズム

### 3. 地理的位置情報を用いた分散 LMM

#### 3.1. 従来手法の問題点

HMP は MAP 及び MAP をツリーのルートとするローカルドメインを管理者が手動で構成する必要があり、また MAP がルートのツリーとして固定されているので MAP の故障に非常に敏感となる。またローカルドメイン内へ(から)の全フローが MAP を経由するため MAP がボトルネックにもなりうる。また LMMD ではローカルドメインを形成する閾値として LMA からのホップ数を用いるため、隣接した AR が同じローカルドメインに属さないこともあるなど、地理的観点からの最適なローカルドメインの形成が難しい。

また、Fast Handover アプローチでは、現 AR もしくは MN が隣接 AR の情報やその中でどの AR が新 AR の候補となるかなどの情報を保持していることが前提となっている。そのメカニズムとして、MN が新 AR からの広告を受け取り、それを現 AR に伝えることで現 AR が新 AR の情報を得る方法が考えられるが、セルがオーバーラップしていない場合や、電波強度・干渉の問題がある場合は解決できない[13]。また予め管理者等が AR に隣接する AR の情報を与えておくことで隣接 AR の情報を保持する方法が考えられるが、AR の追

加、撤去及び故障といった変化に動的に対応できない。よって、上記の問題を抱えない動的なメカニズムが必要とされている。

#### 3.2. 提案手法

このプロトコルは LMMD の基本的な考え方を継承するが、Local Mobility Domain の構成基準が異なっている。つまり物理的な距離を閾値としてローカルドメインを形成するのである。HA に変更はなく、CN に対して透過である。MN、AR はなんらかの手段(例えば GPS 等の利用)を用いて地理的位置情報を取得できるものとする。

##### 3.2.1. 隣接 AR 情報の保持

3.1 でも述べたが Fast Handover アプローチでは、現 AR が隣接 AR の情報等を保持する必要がある。ここではネットワーク内に、AR が定期的に自身の位置情報を登録する AR Location Register(ALR)を導入する。

AR は位置情報とともに、自身の識別子、提供可能サービス(リンク層技術、QoS、セキュリティ、マルチキャスト、ヘッダ圧縮等)も登録する。AR は ALR に周期的に問い合わせを行うことで、自身の周囲にある AR 群の情報を保持することができる。例えば、ローカルドメインを形成する際の閾値距離を  $L(m)$  としたとき、図 4 のトポロジに対応する、各 AR が保持する隣接 AR 群のリスト Physical Neighborhood List(PNL)は表 1 のようになる。ここには隣接 AR の識別子、位置情報、提供可能サービスが含まれている。これにより Fast Handover アプローチにおいて、現 AR が隣接 AR の情報を保持することができ、また提供可能サービス等の考慮の結果、新 AR の候補を選択することも可能となる。さらに L2 トリガ等の受信で MN が移動前に自身の位置情報を現 AR に送信することで、ターゲットとなる新 AR を選択することも可能となる。

ただし ALR の導入は必須ではなく、AR が PNL を保持するための一手法として ALR を用いるものである。

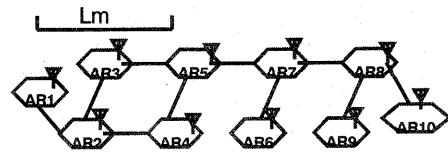


図4 提案手法のネットワーク構成例

表1 Physical Neighborhood List(PNL) (距離が  $L$  以内)

AR1	AR2	AR3	AR4	AR5	AR6	AR7	AR8	AR9	AR10
AR2	AR1	AR1	AR2	AR2	AR4	AR4	AR6	AR7	AR8
AR3	AR3	AR2	AR3	AR3	AR5	AR5	AR7	AR8	AR9
	AR4	AR4	AR5	AR4	AR7	AR6	AR9	AR10	
	AR5	AR5	AR6	AR6	AR8	AR8	AR10		
			AR7	AR7	AR9	AR9			

### 3.2.2. ローカルドメイン形成手法

提案手法を用いたネットワーク構成例を図5に示す。LMMDの場合と同様、最初にMNが接続したARをLMAとする。この例の場合AR2がLMAとなりLMAから閾値距離以内にあるAR群でローカルドメインLMD1が形成される。MNはRCoAであるLMAでのCoAをHA、CNへBUで登録するとともに、今LCoAでもあるのでLocal BUでLMAへも登録する。MNが他のARに移動した際、まだLMD内にいるか、もしくはLMD外へ移動したかをチェックする必要がある。これは、①新ARのPNLが現LMAを含んでいるか、もしくは②現PNLが新ARを含んでいるかをチェックすればよい。①の方法としては、新ARがHMIPでのMAPオプションのようにARからのICMPメッセージ(ルータ広告)でPNLを送信する方法とMNがMIPv6のHoAオプションのようにルータ要請メッセージで現LMAのアドレスを送信し、新ARが自身のPNLをチェックして返答を返す方法がある。②の方法としては新ARからのルータ広告メッセージを受信し、MNが保持するPNLに新ARが含まれていればLMD内、含まれていなければLMD外への移動として、新ARに新たなPNLを要請し、自身のPNLを更新するという方法がある。図5でMNがAR2→AR4へ移動し、上記のチェックの結果まだLMD1内だと判断すると、LCoAであるAR4でのCoAをLMAへLocal BUで登録する。さらにAR4→AR6へ移動した場合を考える。このとき、上記のチェックの結果LMD1外への移動だと判断すると、MNは移動先のAR6を新たなLMAとし、RCoAとなるLMAでのCoAをBUでHA、CNに登録するとともに、LCoAでもあるのでLMAにLocal BUで登録し新たにLMD2を形成する。これにより、隣接したAR群で地理的観点から最適なローカルドメインを形成することができる。位置情報を持たないARはMNからの位置情報をALRに登録することで従来との互換性は保つことができる。

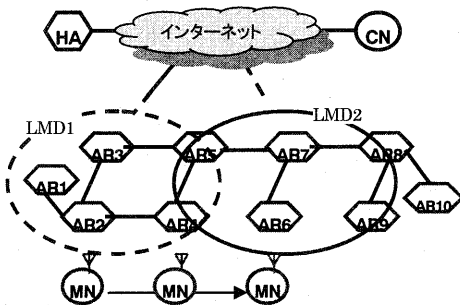


図5 提案手法のネットワーク構成例

### 4. シミュレーション評価

筆者らは[14]において、MIP、HMIP、LMMD、提案手法の4手法における解析結果を示した。本稿ではns-2を用いて、上記4手法についてのシミュレーションを行い、提案手法の有効性を定量的に評価する。

### 4.1 シミュレーションモデル

本稿のシミュレーションでは、ユーザアクセス網に正方メッシュネットワークを基にしたものを用い、ネットワークトポロジ生成には図6に示すPrim's algorithmを変更したトポロジ生成アルゴリズム[15]を用いる。このアルゴリズムを用いることで毎回異なったトポロジを生成することができる。このアルゴリズムではまずツリーを構築し、その後接続していない辺を等確率で繋いでいくものである。このアルゴリズムを用いて実際に6×6の正方メッシュを基に生成したトポロジ例を図7に示す。各ノードはARを表している。

E, V: それぞれ正方メッシュの全辺と全頂点を表す

1.  $S \leftarrow T \leftarrow \emptyset$
2.  $S \leftarrow SU\{v_i\}$ , where  $v_i \in V$  はツリーのルートでランダムに選択される
3. While  $S \neq V$  do
4. ランダムに選択した辺  $(u, v_j) \in E, u \in S, v_j \in V - S$
5.  $T \leftarrow TU(u, v_j)$
6.  $S \leftarrow SU\{v_j\}$
7. END
8. E-Tにおけるそれぞれの辺を1/2の確率でTへ入れる

図6 ネットワークトポロジ生成アルゴリズム

図7にそれぞれの手法によるローカルドメインの形態を示す。HMIPでは、図7の実線で示すドメインのように予め指定したローカルドメインを用いる。なお、MAPは、「ローカルドメイン中央のAR」-「MAP」-「コアネットワーク」の順になるよう配置する。LMMDではLMAとなるARからの閾値ホップ数以内にあるARでローカルドメインを形成する。図7の例では、閾値ホップ数を2とし、①のARがLMAである場合のローカルドメインを①及び●のARで形成している。提案手法では、LMAとなるARからの閾値距離以内にあるARでローカルドメインを形成する。図7の例では、閾値距離をLMAから上下左右斜めのARが入る距離として、②のARがLMAである場合のローカルドメインを点線で示している。

ここでは9×9の正方メッシュを基にした81個のARからなるネットワークをユーザアクセス網とする。ユーザアクセス網はコアネットワークに接続され、コアネットワークからHAやCNと接続されている。コアネットワークへは、このユーザアクセス網を3×3の9個のARからなるAR群9個に等分した時のそれぞれのAR群の中央のARから接続している。

ユーザアクセス網内の有線リンク帯域幅 10Mbps、有線リンク遅延 3msec、無線リンク帯域幅 2Mbps、無線リンク遅延 10msec、コアネットワーク部は合計で帯域幅 100Mbps、リンク遅延 150msec とする。

またここでは1つのMNが上下左右1/4の等確率で移動するものとする。

HMIPでは各ローカルドメインを3×3の正方メッシュとし、ユーザアクセス網内に全9個の静的なローカルドメインを予め形成する。LMMDでは閾値ホップ数を図7のように2ホップとする。提案手法では閾値距離を図7のようにLMAから上下左右斜めのARが入る距離とする。

それぞれの手法についてTCPトラフィックをCNからMNに向けて送信するモデルと、UDPトラフィックをCNからMNに向けて送信するモデルを用いる。

その際、以下に示す3つのデータについて調査する。

- ①TCPトラフィックを用いた場合のスループット
- ②UDPトラフィックを用いた場合の平均パケットロス率
- ③UDPトラフィックを用いた場合の平均遅延時間と平均ホップ数

ただし、TCPトラフィックとしてはFTPを、UDPトラフィックとしては200kbpsのCBRを用いる。

以上についてそれぞれMNが3、5、10秒毎にHOした場合について評価を行う。シミュレーション時間は105秒間とし、それぞれの手法、条件について100回実験を繰り返した際の平均を用いる。

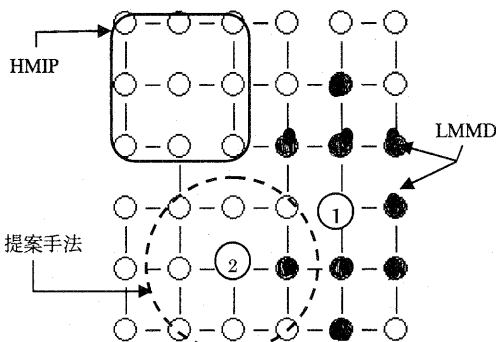


図7 ネットワークトポロジ例と各手法のローカルドメイン

## 4.2. シミュレーション結果と考察

### 4.2.1 TCPトラフィックを用いた場合のスループット

図8はTCPトラフィックを用い、HO間隔を変化させた場合の各手法におけるスループットを表している。HOの度にHAやCNにまでBUを送信しなければならないMIPは、HO完了に時間がかかるため最もスループットが低くなっている。他の3手法ではローカルドメイン内での移動の際はMAPやLMAにLocal BUを送信するだけでよいので、MIPに比べ大幅にスループットがよくなっていることがわかる。その中でも提案手法では最適なローカルドメインを形成できているため、HMIP、LMMDと比べて約5%~22%のスループット改善が見られる。HMIPとLMMDについてはほぼ同様の結果

が得られた。

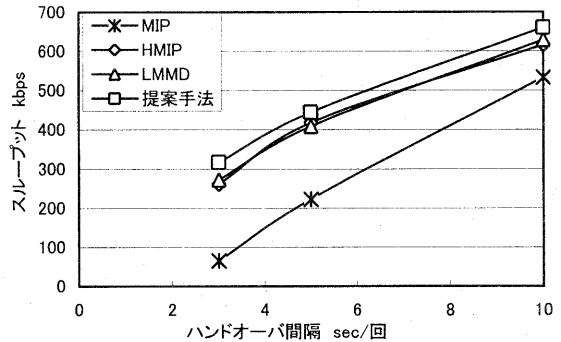


図8 TCPトラフィックを用いた場合のスループット

### 4.2.2 UDPトラフィックを用いた場合の平均パケットロス率

図9はUDPトラフィックを用い、HO間隔を変化させた場合の各手法における平均パケットロス率を表している。MNが3秒毎にHOした場合の平均パケットロス率例にとってみると、MIPが13.7%であるのに対し、HMIP、LMMDがそれぞれ5.6%、5.4%と低減しており、提案手法においては4.3%とさらに低減していることがわかる。

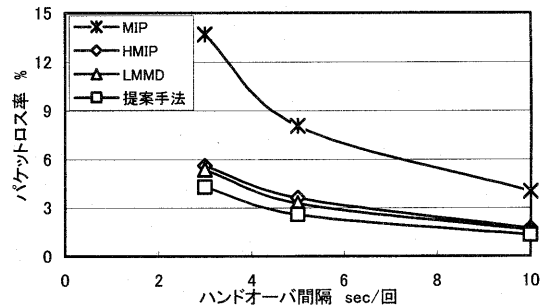


図9 UDPトラフィックを用いた場合の平均パケットロス率

### 4.2.3 UDPトラフィックを用いた場合の平均遅延時間と平均ホップ数

図10、図11はそれぞれUDPトラフィックを用い、HO間隔を変化させた場合の各手法における、パケットがCNで送信されてからMNで受信されるまでの平均ホップ数と平均パケット転送遅延時間を表している。図11より、最短経路でパケット転送を行うMIPが最も短い平均ホップ数となっており、その結果平均転送遅延時間も各手法の中で最小となった。それぞれローカルドメインのルートルータを経由し3角経路となる他の3手法では、経路が最適とならないため平均ホップ数が増え、それに伴い平均転送遅延時間も大きくなった。その中でも提案手法は、ローカルドメインを位置情報のみに

基づいて(論理的な基準を入れず)形成したため、HMIP、LMMDと比較してホップ数が約0.5ホップ、平均転送遅延時間で0.5ホップ分の約1msecの増加が見られた。

提案手法ではCNからMNまでのホップ数が従来手法に比べ大幅に増加してしまう可能性もあるが、実際の運用の際はLMAからのホップ数の上限を設定しローカルドメインを形成するようにすることで、極端な遅延時間の上昇は抑えることができる。

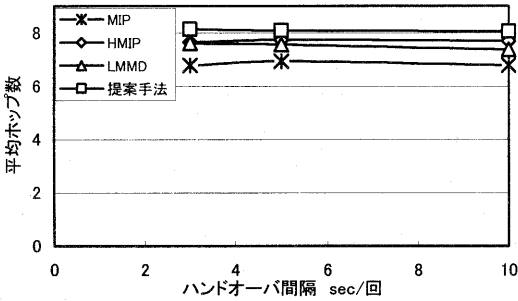


図 10 UDP トラフィックを用いた場合の平均ホップ数

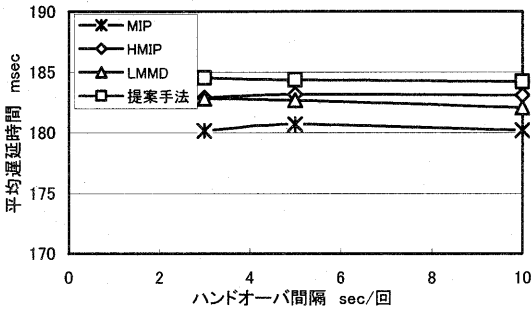


図 11 UDP トラフィックを用いた場合の平均遅延時間

## 5. まとめ

本稿では地理的位置情報を用いることで地理的に最適なローカルドメインを形成できるようにするとともに、ARが隣接AR群の情報を保持することのできる提案を行った。また計算機シミュレーションによる定量評価を行い、提案手法の有効性を確認することができた。

## 参考文献

- [1]C.Perkins, Ed., "IP Mobility Support," Internet RFC2002, Oct. 1996
- [2]D.B.Johnson, et al., "Mobility Support in IPv6," draft-ietf-mobileip-ipv6-15.txt, Jul. 2001
- [3]Charles E. Perkins, et al., "Optimized Smooth Handoffs in Mobile IP," Proceedings of the Fourth IEEE Symposium on Computers and Communications, Jul. 1999.
- [4]Pierre Reinbold, et al., "A survey of IP micro-mobility protocols," Infonet Technical Report 2002-06, Mar. 2002
- [5]C.E.Williams, "Micro-mobility in 4G+ Networks," Connectathon 2002, San Jose, California, Mar. 2002
- [6]H.Soliman, et al., "Hierarchical MIPv6 mobility management," draft-ietf-mobileip-hmipv6-03.txt, Feb.2001
- [7]J.Choi, et al., "Localized Mobility Management for Mobile IPv6 in Distributed Manner," draft-jinchoi-mobileip-lmmdv6-01.txt, Nov. 2001
- [8]G.Dommety et al., "Fast Handovers for MIPv6," draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-03.txt, Jul. 2001
- [9]J.Xie, et al., "A Distributed Dynamic Regional Location Management Scheme for Mobile IP," in Proc. IEEE INFOCOM 2002, vol. 2, pp. 1069-1078, Jun. 2002
- [10]D.Funato, et al., "Geographically Adjacent Access Router Discovery Protocol," draft-funato-seamoby-gaard-00.txt, Nov. 2001
- [11]D.Trossen, et al., "Issue in candidate access router discovery for seamless IP-level handoffs," draft-ietf-seamoby-cardiscovery-issues-03.txt, Jun. 2002
- [12]"The Network Simulator - ns-2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [13]S.Jamadagni, et al., "A combined Context Transfer and Candidate Access Router Discovery protocol," draft-satish-carct-00.txt, Mar. 2002
- [14]泉川晴紀 他, "地理的位置情報を用いた Mobile IP スムースハンドオーバーの評価," 2002 信学ソ大, SB-5, Sep. 2002
- [15] Chunhung Richard Lin, et al., "Mobile Multicast Support in IP Networks," IEEE INFOCOM'00, Mar. 2000