

# 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

Evaluation of the Smooth Handover for Mobile IP using Geographical Location Information

泉川 晴紀

甲藤 二郎

Haruki IZUMIKAWA

Jiro KATTO

早稲田大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Waseda University

## 1. はじめに

近年、Mobile IP(MIP)[1]に代表される IP ベースのモビリティ方式を次世代移動通信網に適用する検討が行われているが、ハンドオーバー遅延によるリアルタイムアプリケーションのサービス品質の低下が問題となることが予想される。

筆者らは地理的位置情報を用いた MIP のスムーズハンドオーバー手法を提案した[2]。本稿では、解析とシミュレーションにより評価を行い、提案手法の有効性を示す。

## 2. 従来手法と問題点

上記の問題に対してはローカルドメインを形成し、その中での移動端末(MN)の移動を外部に隠す階層化 MIP(HMIP)や LMMD などが提案されている。また、実際のハンドオーバーに先駆けてハンドオーバー処理を開始することでハンドオーバー遅延を最小限に抑える目的の FMIP なども提案されている。

ここで HMIP はローカルドメインとローカルドメインのルートルータである MAP が固定されているので、ローカルドメイン構成が最適とは言えず、また、MAP の故障に敏感である。LMMD は移動先の AR をルートルータ LMA とし、LMA からのホップ数を閾値としてドメインを作るため動的にローカルドメインを形成するが、同じドメインに属する AR が物理的に離れて配置されてしまう可能性があり、その場合効率的なドメイン構成ができない。また FMIP のレイヤ 2 トリガベースのハンドオーバーでは、AR が隣接 AR の情報を保持していることが前提となっているが、その方法は示されていない。

## 3. 提案手法

AR、MN が、自身に搭載された GPS 等により地理的位置情報を得ることができることを前提にする。

### 3.1. ローカルドメイン形成手法

MN が初めに移動した先の AR を新ドメインのルートルータである CR(Center Router)とし、CR からの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。そのドメイン内での移動では CR のみに移動先を登録する。ドメインを出た場合、移動先の AR を新 CR として新ローカルドメインを形成する。これにより、地理的に近いセル同士でローカルドメインを形成できるので、登録コストや時間のかかるドメイン間ハンドオーバー回数の減少が期待できる。

### 3.2. 隣接 AR 情報の保持

AR が定期的に位置情報等を登録する AR Location Register (ALR)を用いることで、AR は近くにある AR の情報を保持することができる。また MN は定期的に自身の GPS 値を AR に送信することで、AR は MN が移動しそうなターゲット AR を明確に認識可能となり、FMIP の処理をスムーズに行うことができる。

## 4. 有効性の評価方法

ここでは HMIP、LMMD、提案手法におけるローカルドメイン形成の効果を評価する。

### 4.1. 解析評価

この解析で用いるパラメータを表 1 に示す。周長  $l$  の正方形セル  $n^2$  個で成り立つ正方形のエリアを考える。各セルはツリー構造の末端部とし、 $n^2$  個のセルのうち  $m$  個のセルが異なるルートを持つツリーと仮定する。よって、提案手法ではこのエリアがそのままローカルドメインになるが、HMIP と LMMD においては、 $m$  個のセルと残りのセルとは異なるローカルドメインに属することになる。

#### 4.1.1. シグナリングコスト解析

MIP のシグナリングコスト  $C_{MIP}$  と HMIP、LMMD、提案手法のシグナリングコストを表す  $C_{LMM}$  はそれぞれ次のように表せる[3]。コストの単位は hops\*pkt/sec である。(RT=ドメインルートルータ)

$$C_{MIP} = 2R_{cell}n(D_{HA-MN} + D_{CN-MN}) + 2\left(\frac{l}{4}\right)^2 r_r n(D_{HA-MN} + D_{CN-MN})$$

$$C_{LMM} = 2R_{dmn}(D_{HA-MN} + D_{CN-MN}) + 2R_{cell}nD_{RT-MN} + 2\left(\frac{l}{4}\right)^2 r_r n(D_{HA-MN} + D_{CN-MN} + D_{RT-MN}) \quad (1)$$

ここで  $R_{cell}$  は単位時間にセルを横断する MN 数であり、[3]より

$$R_{cell} = \frac{vl}{S_{disc}} \quad (\text{MN 数/s}) \text{ となる。また } R_{dmn} \text{ は単位時間にドメインを横}$$

断する MN 数である。式(1)の第一項は HA、CN への登録コスト、第二項はローカルドメインのルートルータへの登録コスト、第三項は登録リフレッシュコストをそれぞれ表している。ここで、ドメインの横断時は 4 方向等確率で移動するものとする。

表 1 パラメータ

記号	意味	値
$D_{xy}$	ノード x-ノード y 間の平均ホップ数	-
$n$	全セル数	36
$\rho$	MN の密度	0.0002 mobiles/m <sup>2</sup>
$v$	移動速度	15 m/s
$l$	セル周長	2000 m
$r_r$	平均登録リフレッシュレート	-
$S_{disc}$	平均制御メッセージバケットサイズ	512 bits
$B_w$	有線リンク帯域幅	100 Mbps
$B_w$	無線リンク帯域幅	2 Mbps
$L_w$	有線リンク遅延	0.5 ms
$L_w$	無線リンク遅延	2 ms
$P_x$	ノードにおけるルックアップ/バケット処理遅延	0.01 ms

#### 4.1.2. ハンドオーバー遅延解析

ハンドオーバー遅延時間は新 AR 探索時間  $T_{disc}$  とリンク確立時間  $T_{est}$  の和と考えられる。ここで、 $T_{disc}$  は基地局の広告送信時間間隔に依存すると考えられるので、ここではそれぞれの手法によって

## SB-5-4

違いが出る  $T_{est}$  についてのみ考える。P をローカルドメイン間ハンドオーバー確率とすると次のように表すことができる。

$$T_{est} = P \left\{ 2 \frac{S_{CTRL}}{B_{wl}} + 2D_{HA-MN} \frac{S_{CTRL}}{B_w} + 2L_{wl} + 2D_{HA-MN} L_w + 2(D_{HA-MN} + 1)P_x \right\} \\ + (1-P) \left\{ 2 \frac{S_{CTRL}}{B_{wl}} + 2D_{RT-MN} \frac{S_{CTRL}}{B_w} + 2L_{wl} + 2D_{RT-MN} L_w + 2(D_{RT-MN} + 1)P_x \right\}$$

## 4.2. シミュレーション評価

60×60 の計 3600 個のメッシュ構造の AR 群を、MN が 4 方向に等確率で移動するモデルを用いる。HMIP では予め固定のローカルドメインを形成し、LMMD 及び提案手法では、動的にローカルドメイン形成を行う。以上の条件で、ドメインの大きさを 2×2 から 6×6 まで変化させ、それぞれにおいて MN が 100000 回ハンドオーバーした場合のドメイン間ハンドオーバー回数の割合を求める。

## 5. 評価結果

### 5.1. 解析評価結果

ここでは、MIP における HA(CN)–AR 間、及び HMIP、LMMD、提案手法における HA(CN)–{MAP,LMA, CR}間を平均 25hop、MAP–AR 間を平均 2hop、LMA–AR 間を平均 4hop、CR–AR 間を平均 6hop とする。

#### 5.1.1. シグナリングコスト解析結果

提案手法の場合、単位時間に MN がドメインを横断する確率  $P_{dmm\_PROP}$  はエリアの外周部のみを考慮すればよく、

$$P_{dmm\_PROP} = \frac{\frac{1}{4} * 4(\sqrt{n} - 2) + \frac{2}{4} * 4}{n}$$

となる。一方 HMIP、LMMD の場合は、エリア中の  $m$  個のセルへの移動においてもドメインを横断することになるので、ドメインを横断する確率  $P_{dmm\_H\_L}$  は

$$P_{dmm\_H\_L} = \frac{\frac{1}{4} * 4(\sqrt{n} - 2) + \frac{2}{4} * 4 + m \left( \frac{(\sqrt{n} - 2)^2}{n} + \frac{4\sqrt{n} - 8}{n} * \frac{3}{4} + \frac{4}{n} * \frac{2}{4} \right)}{n}$$

となる。よってドメインを横断する MN 数  $R_{dmm}$  はそれぞれ

$$R_{dmm\_PROP} = P_{dmm\_PROP} R_{cell} n, \quad R_{dmm\_H\_L} = P_{dmm\_H\_L} R_{cell} n$$

となる。ただし登録更新コスト及び無線リンクにおけるコストは各手法でほぼ等しくなるため除外し、また、 $m$  個のセルは互いに隣り合わないと仮定する。シグナリングコストを図 1 に示す。図より提案手法では  $m$  の値にかかわらず常に低いシグナリングコストを示しており、 $m$  が大きくなるにつれ他と比べ有効であることがわかる。

#### 5.1.2. ハンドオーバー遅延解析結果

ドメイン間ハンドオーバー確率 P は 5.1.1. の  $P_{dmm\_PROP}$ 、 $P_{dmm\_H\_L}$  である。ハンドオーバー遅延を図 2 に示す。シグナリングコスト同様  $m$  が大きくなると提案手法の性能が他と比べてよいことがわかる。

### 5.2. シミュレーション評価結果

シミュレーション結果をそれぞれ図 3 に示す。図 3 より、LMMD や提案手法では、ローカルドメインを横断後、新 AR を中心とした新ローカルドメインを動的に形成するため、HMIP に比べドメイン

間ハンドオーバーの割合が 25%–60% 減少し効率的なドメイン構成となっていることが分かる。

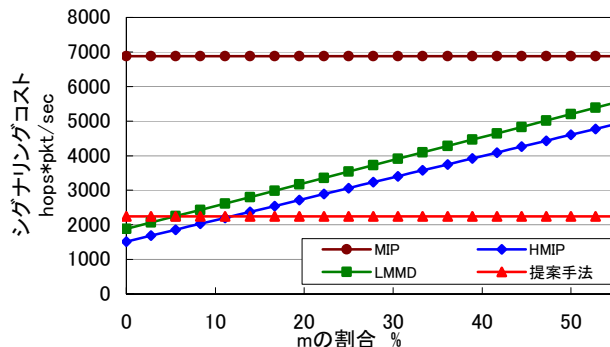


図1 シグナリングコスト解析結果

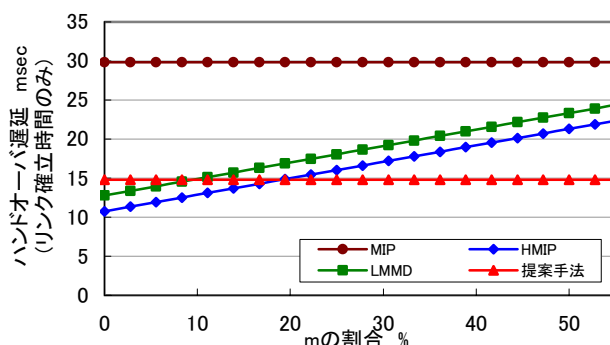


図2 ハンドオーバー遅延解析結果

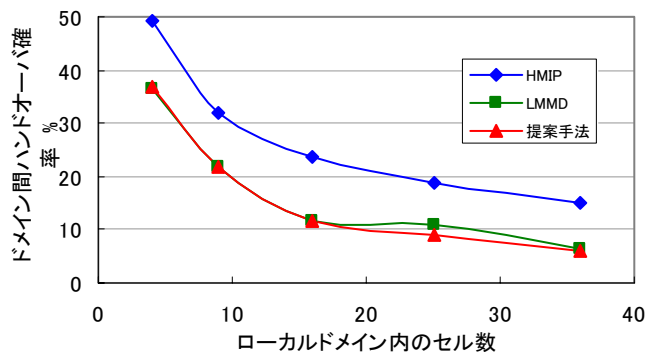


図3 シミュレーション結果

## 6. まとめ

本稿では地理的位置情報を用いたハンドオーバー手法について解析及びシミュレーションによる評価を行い、有効性を示すことができた。今後は引き続き更に詳細な解析を行っていくつもりである。また、物理的な距離だけでなく論理的な距離をも考慮に入れた検討も今後に残された課題である。

## 7. 参考文献

- [1] C.Perkins, editor, "IP Mobility Support", RFC2002, 1996
- [2] 泉川他, "地理的位置情報を用いた Mobile IP スムースハンドオーバー", 信学会全国大会, B6-117, 2002年3月
- [3] X. Zhang, et al. "P-MIP: Paging in Mobile IP", The Fourth International Workshop on Wireless Mobile Multimedia, 2001