

# 位置登録エリアを考慮したモバイル IP の検討

木村 徹 小野 夏子 藤井 輝也

日本テレコム株式会社 情報通信研究所

〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-9-1

E-mail: {toru.kimura, natsuko.ono, teruya.fujii}@japan-telecom.co.jp

## あらまし

モバイル IP において気付アドレスの位置登録制御は重要な課題である。従来、移動端末は外部エージェント(FA)が変わる毎にホームエージェント(HA)に位置登録を行っていた。そのため、移動端末が高速移動した場合、外部エージェントが頻繁に変わることから、位置登録トラフィックが増大する。また、移動端末の気付アドレス登録に起因するパケット損失も増大する。そこで筆者らは、複数の外部エージェントを一つの外部エージェント群として登録し、その群を一つの位置登録エリアとするモバイル IP 位置登録エリア制御方式を提案した。本稿では、モバイル IP 位置登録エリア制御方式を拡張させ、外部エージェントが自律的に位置登録エリアを形成する、モバイル IP 自律的位置登録エリア制御方式を提案し、その適用効果を明らかにする。

## キーワード

モバイル IP、位置登録制御、位置登録エリア

## A Study on Mobile IP with Location Registration Area

Toru KIMURA Natsuko ONO Teruya FUJII

Information and Communication Laboratories, Japan Telecom Co., Ltd.

9-1, Hatchobori 2Chome Chuo-ku, Tokyo, 104-0032 Japan

E-mail: {toru.kimura, natsuko.ono, teruya.fujii}@japan-telecom.co.jp

## Abstract

In Mobile IP, a registration of care of address is one of important problems. Conventionally, whenever a mobile terminal changes the cell, the registration of care of address to Home Agent had to be performed. Therefore, in case of mobile terminal moves at high speed the registration to Home agent is frequent its traffic increases. Moreover the frequently registration generates the packet loss. So we proposed a Mobile IP registration method, which register some Foreign Agents as a Location Registration Area. In this paper, we propose a new Mobile IP registration method expanded our proposed method, which Foreign Agent constructs a group of Location Registration Area autonomically. And we clarify the system construction and effect of proposed method.

## Keyword

Mobile IP, Registration of care of address, Location Registration Area

## 1. まえがき

高速・広帯域移動通信方式では、一般にセル半径が小さくなることから、着信制御に必要な位置登録制御、呼び出し制御を効率的に行う必要がある。

高速・広帯域移動通信への適用が検討されているモバイル IP において、移動先のサブネットワーク(外部リンク)でパケットを受信するには、移動端末のホームエージェント(HA)に外部リンク(外部エージェント(FA))のアドレス(気付アドレス)を登録する必要がある。従来のモバイル IP では、移動端末は外部エージェントが変わる度にホームエージェントに位置登録を行っていた。そのため、高速移動している移動端末は位置登録が多数発生し、特に有限資源である無線帯域を圧迫することになる。また、通信中の移動端末が位置登録を行った場合、位置登録の遅延によりパケット損失が発生する。この位置登録遅延に起因するパケット損失は位置登録回数に比例することから、移動端末が高速移動している時に顕著となる。

そこで筆者らはセルラー方式の位置登録エリアの概念をモバイル IP に拡張した、モバイル IP 位置登録エリア制御方式を提案した[1]。位置登録エリア制御方

式では、複数の外部エージェントで形成されている位置登録エリアが変わるまでは位置登録制御を行わないことから、位置登録トラフィックの大幅な削減が期待できる。また、位置登録エリア内の複数の外部エージェントからパケットを同時に送信することで、高速移動中の移動端末への着信パケット損失の低減も期待できる。

ところで位置登録トラフィックを削減する制御方法として、ページングエリアを設定して、移動端末の位置登録回数削減する IP ページング方式が検討されている[2,3]。一般に IP ページング方式は、待ち受け時の制御に用いられるものであり、通信中のパケット損失等についての検討は行われていない。

本稿では筆者らが提案した位置登録エリア制御方式を拡張して、各外部エージェントが自律的に位置登録エリアを形成する新たなモバイル IP 位置登録制御方式を提案する。そして提案方式の具体的な制御アルゴリズムとパケット損失の低減等の適用効果について述べる。

## 2. 従来のモバイル IP

### 2.1. ネットワーク構成

図 1 にモバイル IP のネットワーク構成を示す。IP コアネットワークから中継ノードとサブネットワークが階層的に接続され、サブネットワークの先に無線基地局(BS)が設置されている構成とする。サブネットワークには外部エージェントが置かれ、宛先である IP アドレスや位置登録等の制御を行う。無線基地局(BS)は無線を介して端末と通信を行う。ここで一つの無線基地局がカバーする無線エリアをセルと呼ぶ。

まず、従来のモバイル IP の接続制御について説明する。図 2 に示すように、移動端末がホームネットワークから、例えば無線基地局 B3(セル C3、外部エージェント#3)に移動した場合を想定しよう。セル C3 では外部エージェント#3 からサブネットワークを識別するための広告(エージェント広告)が送信(放送)されている( )。移動端末がセル C3 に移動した場合、移動端末のホームエージェントとは異なるエージェント広告を受けることになる。そこで移動端末は、ホームネットワークではなく外部リンクに接続していることを知り、ホームエージェントに対して気付アドレスである移動先の外部エージェントの IP アドレス(#3)を登録する( )。次に移動端末に着信する場合の接続について説明する。送信元端末は移動端末のホームアドレス宛てにパケットを送信する( )。ホームエージェントは移動端末がホームネットワークに存在しないことを知っているのので、移動端末の移動先であるサブネットワークの外部エージェントのアドレス(#3)宛てにパケットをカプセル化し、トンネリングする( )。トンネリングされたパケットは外部エージェントでカプセル化が解かれ、移動端末に転送される( )。

### 2.2. 位置登録トラヒック

今、移動端末が図 2 に示すように移動することを考えよう。図 2 に示すように移動端末がセルを移動する毎に外部エージェントは変わる。そのためセルが変わる毎に移動先の外部エージェントの IP アドレスをホームエージェントに位置登録する必要がある。位置登録の頻度は一般に移動速度に比例して増加することから、特に移動端末が高速移動するような場合には位置登録トラヒックは急増する。また、位置登録を頻繁に行えば、接続遅延によりパケット損失が増大する。従

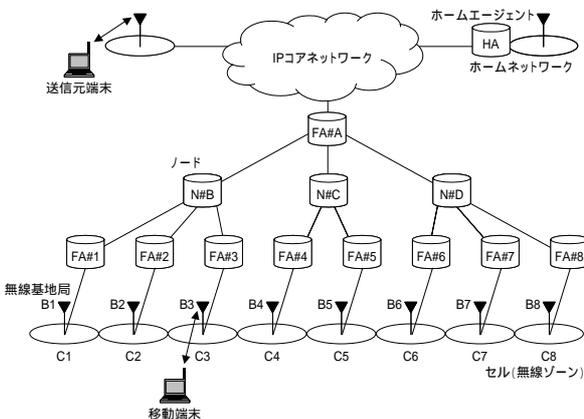


図 1 モバイル IP のネットワーク構成

って、端末が高速移動するネットワークシステムにおいてモバイル IP を実現するためには、ネットワーク上に流れる位置登録トラヒックの適正化が強く求められている。

## 3. 提案する自律的位置登録エリア制御方式

### 3.1. 位置登録エリア構成

我々は、セルラー方式の位置登録エリアの概念をモバイル IP に拡張し、図 3 に示すように隣接する複数の外部エージェントを一つの外部エージェント群(グループ)として管理し、各外部エージェントグループに接続される基地局の無線エリアを一つの位置登録エリアとするモバイル IP 位置登録制御方式を提案した。図 3 では外部エージェント#1、#2、#3、#4 に接続される基地局 B1、B2、B3、B4 はグループ G#1 に属し、外部エージェント#5、#6、#7、#8 に接続される基地局 B5、B6、B7、B8 はグループ G#2 に属し、同一の位置登録エリアを形成している。従って、端末が異なる位置登録エリアに移動した場合にだけホームエージェントに位置登録を行うことから、一つのセルを移動する毎に位置登録を行っていた従来方式と比較して、ネットワーク上に流れる位置登録トラヒックを大幅に削減できる。例えば図 3 においては、隣接する 4 つの外部エージェントが同一の位置登録エリアを形成していることから、位置登録トラヒックは従来方式の 4 分の 1 に低減することができる。但し位置登録エリアを形成

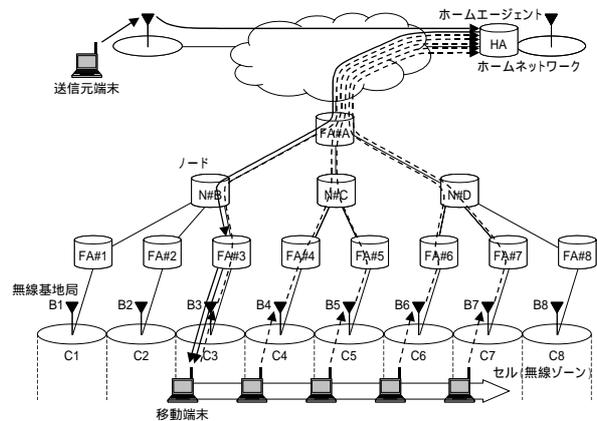


図 2 モバイル IP の位置登録

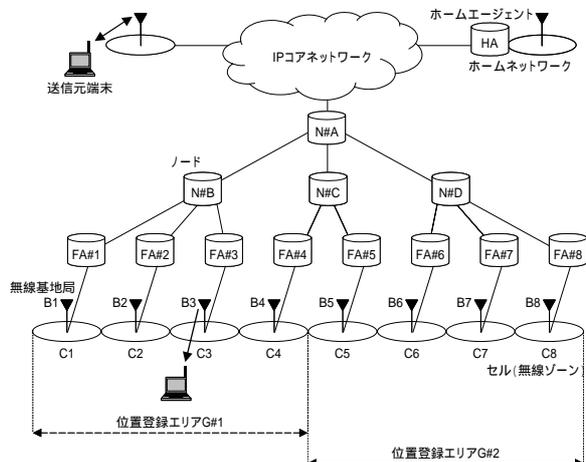


図 3 位置登録エリア制御方式

するためには外部エージェント間に何らかの仕掛けが必要であった。そこで我々は、提案した位置登録エリア制御方式を拡張させ、各外部エージェントが自律的に位置登録エリアを構成するモバイル IP 自律的位置登録エリア制御方式を提案する。

提案するモバイル IP 自律的位置登録エリア制御方式は図 4 に示すように、各外部エージェントは自ノードを中心とした位置登録エリアを構成する。例えば外部エージェント#3 は自ノードを中心とした外部エージェント(#1、#2、#3、#4、#5)で位置登録エリア G#3 を構成する。同様に外部エージェント#4、#5、#6 は位置登録エリア G#4、G#5、G#6 を構成する。そして外部エージェントは位置登録エリア内の外部エージェントの IP アドレスを認識し、蓄積する。例えば外部エージェント#3 は、外部エージェント(#1、#2、#4、#5)の IP アドレスを蓄積する。図 3 に示す従来の提案方式は図 4 に示す位置登録エリアとは異なり、位置登録エリアにオーバーラップが無く、外部エージェントはどの位置登録エリアに属するかを外部エージェント相互間で調整して決定する必要があった。一方図 4 に示す新たに提案する位置登録エリア制御方式はオーバーラップを許容していることから、自分を中心に周辺の外部エージェントを必要に応じて適宜組み入れることで位置登録エリアを構成する。すなわち提案方式は外部エージェント間で相互の調整を行わないで自律的に必要な外部エージェントを組み入れることが可能であり、その制御は簡易である。

### 3.2. 着信制御方式

提案する自律的位置登録エリア制御方式の着信制御方式として( )同時着信制御方式、( )ランク別ページングエリア設定方式の 2 通りについて検討する。

#### ( )同時着信制御方式

同時着信制御方式は、ホームエージェントからトンネリングされたパケットを外部エージェントが自身の位置登録エリアを構成する外部エージェントに対して同時にパケットを転送する方式である。

図 5 に示すように送信元端末は移動端末のホームアドレス宛てにパケットを送信する( )。ホームエー

ジェントは移動端末が移動した外部エージェント#3 のアドレス( #3)宛てにパケットをトンネリングする( )。トンネリングされたパケットは外部エージェント#3 でカプセル化が解かれる( )。外部エージェント#3 は位置登録エリア G#3 を構成する外部エージェント(#1、#2、#4、#5)宛てにパケットを再カプセル化し、トンネリングする( )。パケットは、基地局(B1、B2、B3、B4、B5)から無線信号に変換されて移動端末に送信される( )。

このように移動端末が位置登録した外部エージェントがアンカーポイントとなり、各外部エージェントが自律的に形成した位置登録エリアの外部エージェントに再トンネリングすることで、移動端末のホームアドレス宛てに送信されたパケットは、位置登録エリアの全ての外部エージェントに送信される。

#### ( )ランク別ページングエリア設定方式

ランク別ページングエリア設定方式は、位置登録制御方式の着信パケットの効率化を図る方式である。着信があった以降のパケットは、送信する外部エージェントをさらに絞り込むことで、効率良い通信が可能となる。具体的には図 6 に示すように、一度パケットを送信した外部エージェント#3 は、端末の移動特性を考

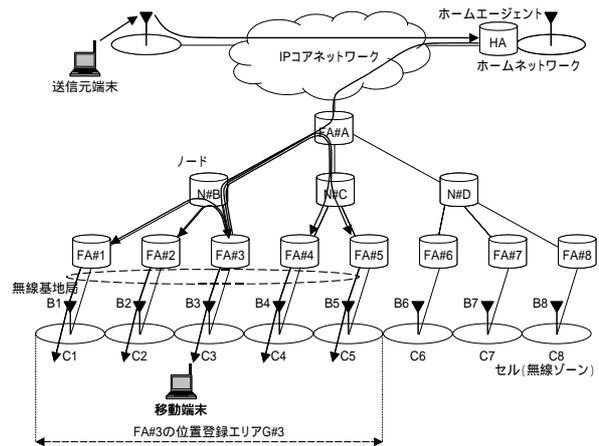


図 5 同時着信制御方式

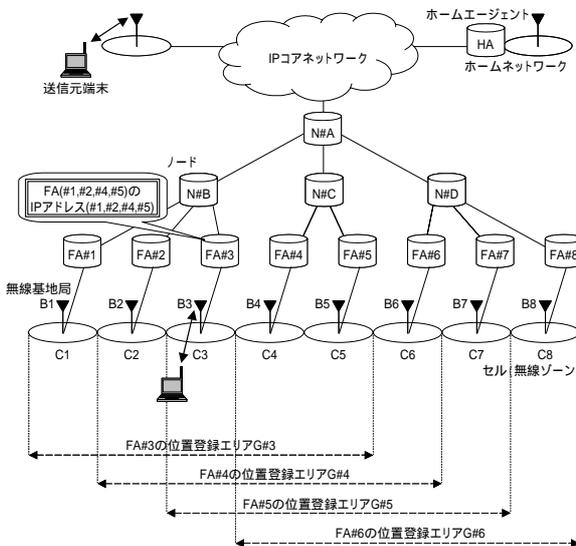


図 4 自律的位置登録エリア制御方式

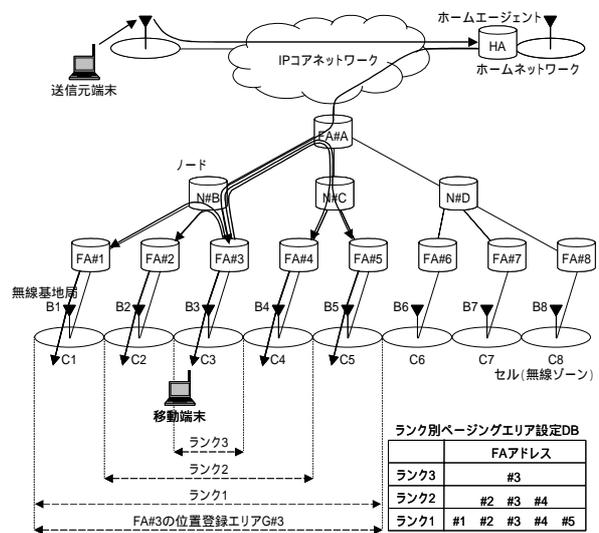


図 6 ランク別ページングエリア設定方式

慮してその後のパケットをランク 3 の外部エージェント #3、それよりも少し広い範囲のランク 2 の外部エージェント #2、#3、#4 等を選択して送信する。このような制御により、ランク 1 に設定されている外部エージェント #1、#2、#3、#4、#5 よりも狭い範囲の外部エージェントに対してのみ着信することから着信トラヒックの削減が期待できる。

## 4. 適用効果の解析

### 4.1. 最適位置登録エリア

同時着信制御方式における位置登録エリアの最適化は、着信呼び出しと位置登録エリア変更時の位置登録回数の総和を評価関数として最適化できる[4]。

図 7 に示すように、セルの形状は半径が  $r$  [m] の正方形セルとし、位置登録エリアの一辺のセル数を  $N_c$  とする。移動端末は水平方向 ( $x$  方向) あるいは垂直方向 ( $y$  方向) を一方向だけに一定速度  $v$  [m/s] で移動し、移動端末はエリア内に一様に分布しているものと仮定する。また移動端末の 1 時間当たりの着信回数を  $N_p$  とする。

この場合、1 時間あたりの基地局の送信回数を  $N_r(N_c)$  とおくと、総送信回数  $N_r(N_c)$  は次式で近似できる。(詳細は参考文献[4]を参照。)

$$N_r(N_c) \approx N_p \times N_c^2 + \frac{1800v}{rN_c} + \frac{1}{2} \quad (1)$$

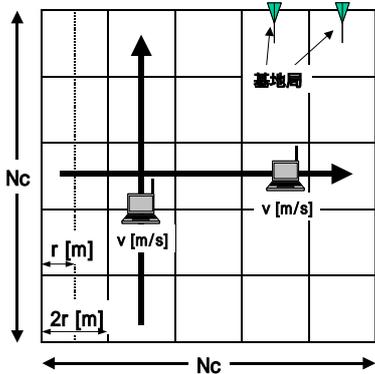


図 7 最適位置登録エリア構成モデル

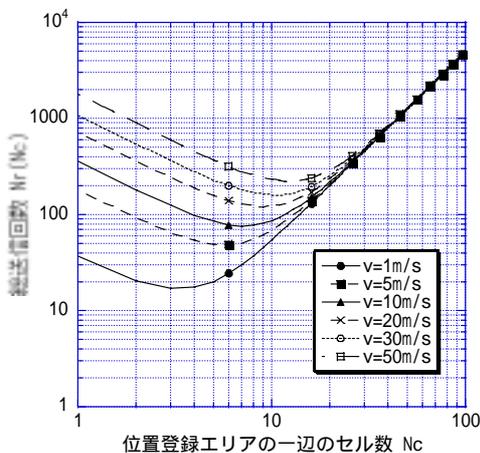


図 8 最適な位置登録エリア数

図 8 に位置登録エリアの一辺のセル数  $N_c$  と総送信回数  $N_r(N_c)$  の関係を示す。パラメータは移動速度  $v$  であり、 $v=1,5,10,20,30,50$  [m/s] としている。但しセル半径  $r=50$  [m]、1 時間当たりの着信回数  $N_p=0.5$  [回/時間] としている。

図 8 より、速度  $v$ 、着信回数  $N_p$  に応じて総送信回数  $N_r(N_c)$  を最小とする最適な位置登録エリア数  $N_c$  が存在することがわかる。少なくともどの移動速度であっても  $N_c > 1$  となる適当な  $N_c$  を選択することで、 $N_c=1$  (従来方式に相当) と比較して総送信回数を低減できる。特に、最適な  $N_c$  を設定すれば、 $N_c=1$  の場合に比べて送信回数を大幅に削減できる。

### 4.2. パケット損失率

移動端末が図 7 に示すように移動している場合の同時着信制御方式のパケット受信率について解析する[1]。

接続遅延時間を  $T$  とおくと、移動端末の移動速度が  $v$  の場合、 $vT$  の距離を移動する。従って、位置登録エリア境界から手前  $vT$  の距離に存在する位置登録エリアはパケットを受信する時には位置登録エリアを超えているためパケットを受信できない。位置登録エリアの一辺は  $2rN_c$  であり、移動端末は一様に分布していると仮定しているため、位置が  $[2rN_c - vT, 2rN_c]$  に位置する移動端末はパケットを受信できない。逆に、位置が  $[0, 2rN_c - vT]$  に位置する移動端末はパケットを受信できる。従って、パケットを受信できる確率 (パケット受信率) を  $R_s$  とおくと、パケット受信率  $R_s$  は移動端末の位置が  $[0, 2rN_c - vT]$  の範囲内に存在する移動端末の存在確率で表すことができる。今、移動端末の位置  $x$  における存在確率は一様に分布しているため、 $1/2rN_c$  となり、 $R_s$  は次式で表せる。

$$R_s = \int_0^{2rN_c - vT} \frac{1}{2rN_c} dx = 1 - \frac{vT}{2rN_c} \quad (2)$$

提案方式では、先ず位置登録された外部エージェントにパケットを転送し、次に位置登録エリア内の全ての外部エージェントにトンネリングされる。その場合、図 9 に示すように位置登録された外部エージェントとそれ以外の外部エージェントではパケット到達遅延時間が異なる。解析ではそれらを考慮する必要がある。先ず、位置登録された外部エージェントから転送されたパケットのパケット受信率  $r_{s1}$  はパケット到達遅延時間が  $(T_h + T_f)$  となるので、移動端末の位置が  $[0, 2r - v(T_h + T_f)]$  の範囲内に存在する移動端末の存在確率で与えられ、次式で表せる。

$$r_{s1} = \int_0^{2r - v(T_h + T_f)} \frac{1}{2rN_c} dx \quad (3)$$

一方、それ以外の外部エージェントでは接続遅延時間が  $(T_h + T_f + T_n)$  となり、パケット受信率  $r_{s2}$  は移動端末の位置が  $[2r - v(T_h + T_f + T_n), 2rN_c - v(T_h + T_f + T_n)]$  の存在確率で与えられ、次式で表せる。

$$r_{s2} = \int_{2r - v(T_h + T_f + T_n)}^{2rN_c - v(T_h + T_f + T_n)} \frac{1}{2rN_c} dx \quad (4)$$

また、位置が  $[2r - v(T_h + T_f + T_n), 2r - v(T_h + T_f)]$  である移動端末は、位置登録された外部エージェントとそれ以外の

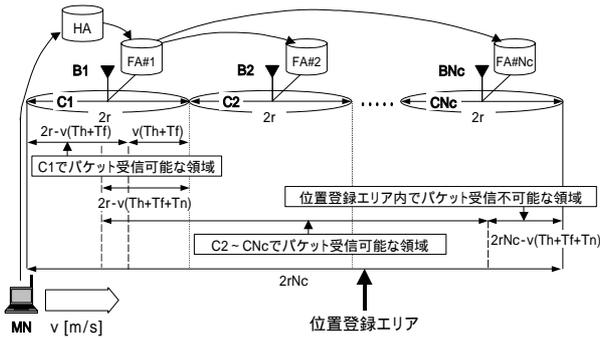


図9 同時着信制御方式におけるパケット受信

外部エージェントの両方でパケットを受信することができ、その確率  $r_{s1\&2}$  は次式で表せる。

$$r_{s1\&2} = \int_{2r-v(T_h+T_f+T_n)}^{2r-v(T_h+T_f)} \frac{1}{2rN_c} dx \quad (5)$$

従って、提案方式の場合のパケット受信率  $R_s$  は式(2)-(4)より次式で表せる。

$$R_s = r_{s1} + r_{s2} - r_{s1\&2}$$

$$= \begin{cases} \int_0^{2r-v(T_h+T_f)} \frac{1}{2rN_c} dt = 1 - \frac{vT_h + vT_f}{2rN_c} & (N_c = 1) \\ \int_0^{2r-v(T_h+T_f)} \frac{1}{2rN_c} dt + \int_{2r-v(T_h+T_f+T_n)}^{2rN_c-v(T_h+T_f+T_n)} \frac{1}{2rN_c} dt - \int_{2r-v(T_h+T_f)}^{2rN_c-v(T_h+T_f+T_n)} \frac{1}{2rN_c} dt \\ = 1 - \frac{vT_h + vT_f + vT_n}{2rN_c} & (N_c \geq 2) \end{cases} \quad (6)$$

また図10に示すように各外部エージェントが自ノードを中心としたグループを自律的に構成する自律的位置登録エリア制御方式では、位置登録回数が図7に示す場合の2倍になるため、それに伴いパケット損失率は2倍になる。

図11に自律的位置登録エリア制御方式のパケット損失率  $R_L (= 1 - R_s)$  を示す。同一位置登録エリア内の外部エージェント間のパケット到達時間  $T_n$  は、ホームエージェントから外部エージェントへのパケット到達時間  $T_f$  とほぼ等しいと考えられるので、 $T_f = T_n$  としている。また、セル半径を  $r = 50$  [m]、位置登録に要する時間を  $T_h = 1$  [s]、ホームエージェントから外部エージェントへのパケット到達時間を  $T_f = 0.1$  [s] と固定している。パラメータは移動速度を  $v = 20, 30$  [m/s] としている。従来方式はグループ内外部エージェント数が1に相当する。提案方式は従来方式 ( $N_c = 1$ ) に比べて、 $N_c$  を大きくする程パケット損失率を大きく改善できることがわかる。特に移動速度が大きい程、従来方式ではパケット損失率が大きい。しかし提案方式は  $N_c$  を大きくすることでパケット損失率の改善を図ることができる。

## 5. 位置登録エリア形成

高速・広帯域移動通信のセル半径は、現行のセルラ方式のセル半径よりも大幅に小さくなるため、セル

数は大幅に増大する。また、小さなエリアでは電波環

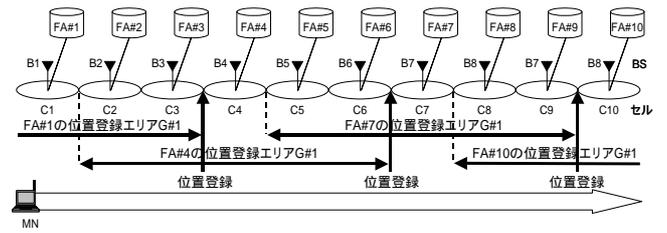


図10 自律的位置登録エリア制御方式の位置登録

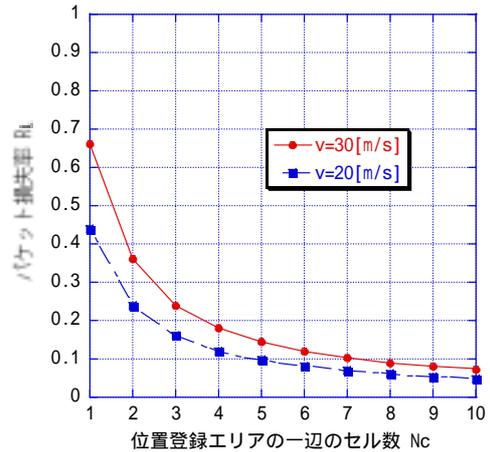


図11 同時着信制御方式のパケット損失率

境が非常に複雑であり、基地局を規則的に配置しても理想的な正六角形セル（構成）や正方形セル（構成）を構成することは一般に困難である[12]。そのため基地局を不規則に設置する必要があり、比較的大きなセルで構成するセルラ方式と比べて、セル構成は更に複雑となる。従って複雑なセル構成において位置登録エリアを人為的に構成することは非常に煩雑であり、セルラ方式においてもその自動化や自律的構成が強く求められている。そこで本提案方式では、各外部エージェントが位置登録エリアを自律的に形成することを前提とする。以下に位置登録エリアの形成について説明する。

### 5.1. 気付アドレス情報の取得

自律的位置登録エリア制御方式では、外部エージェントは他の外部エージェント情報を収集し、その中から位置登録エリアを形成するために必要な周辺(隣接)外部エージェントを選択する必要がある。他の外部エージェント情報を取得する方法として我々は移動端末を利用する方法を提案している[4]。移動端末は、各外部エージェントがブロードキャストしている気付アドレスを「気付アドレス情報」として記録(保有)(例えば、現在のセル直前の5気付アドレス程度)しておいて、必要なタイミングで外部エージェントへその情報を送信する。「気付アドレス情報」を取得した外部エージェントは、周辺の外部エージェントを推定し、自ノードを中心とした位置登録エリアを自律的に形成する。

ここでは外部エージェントが移動端末から「気付アドレス情報」を取得する方法を、図12を用いて説明する。ここでは外部エージェント#3を例に説明する。外部エージェント#3は、エージェント広告内に「気付ア

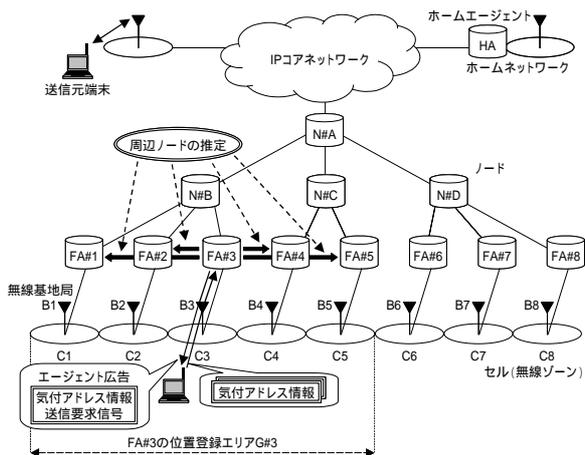


図 12 気付アドレス情報取得方法

ドレス情報送信要求信号」を挿入し、ブロードキャストする( )。エージェント広告を受信した移動端末は、「気付アドレス情報送信要求信号」を読み取り、保有している「気付アドレス情報」を外部エージェント#3へ送信する( )。外部エージェントは、「気付アドレス情報送信要求信号」を定期的エージェント広告に挿入することで、新たな「気付アドレス情報」を取得する。

## 5.2. 位置登録エリアの形成

移動端末が保有する「気付アドレス情報」を取得した外部エージェントは、その情報から必要な周辺外部エージェントを選択する必要がある。筆者らは「気付アドレス情報」から、自セルに空間的に近い順に隣接外部エージェント、次隣接外部エージェントというように階層化できる外部エージェントの位置推定法を提案している[5]。それを用いれば、図6に示すように外部エージェント#3は隣接外部エージェント( #2、#4)までで構成される位置登録エリア( #2、#3、#4)や、次隣接外部エージェント( #1、#5)までで構成される位置登録エリア( #1、#2、#3、#4、#5)というように、空間的な距離を考慮した位置登録エリアを必要に応じて自在に形成できる。

## 6. 周辺外部エージェントの推定

### 6.1. 基本的な考え方

自律的位置登録エリア制御方式では、周辺外部エージェントの推定に、移動端末が移動する毎に得る外部エージェントの気付アドレスを用いる。図13にその概要を示す。個々のセルにおいて外部エージェントは、移動端末がサブネットワークを識別できるよう、気付アドレスを含んだエージェント広告をブロードキャストしている。移動端末はエージェント広告を受信することにより、ホームネットワークとは異なるサブネットワークにいることを知る。移動端末は、エージェント広告から気付アドレスを取り出し、「気付アドレス情報」として保有する。例えば、移動端末がセルC1、C2、C3、C4、C5、C6と移動したとすると、移動端末は「気付アドレス情報」としてセルを通過した時間が現在に近い順に気付アドレス#6、#5、#4、#3、#2、#1を保有する。尚、保有する気付アドレス数を  $N_c$  とす

る。この例では  $N_c=6$  である。移動端末は、移動先外部エージェントから「気付アドレス情報送信要求信号」を受信すると、外部エージェントへ「気付アドレス情報」を送信する。図13では、外部エージェント#6が移動端末に対し「気付アドレス情報」を要求しており、移動端末は保有している「気付アドレス情報( #6、#5、#4、#3、#2、#1)」を送信する。ここで、「気付アドレス情報」を要求している外部エージェントから見て、セルを通過した時間が現在に最も近いIPアドレス( #5)を「直前外部エージェント気付アドレス」、2番目に近いIPアドレス( #4)を「2回前外部エージェント気付アドレス」、 $n$ 番目に近いIPアドレスを「 $n$ 回前外部エージェント気付アドレス」と定義して用いる。「気付アドレス情報」を受信した外部エージェントは、受信した「気付アドレス情報」を保存すると共に複数の端末からの「気付アドレス情報」を処理して周辺外部エージェントの気付アドレスを推定する。

### 6.2. 推定アルゴリズム

我々が提案したアルゴリズムの中で最も基本的な周辺外部エージェントの推定アルゴリズムについて説明する。尚、外部エージェントとセルは1対1に対応しているため、周辺外部エージェントの推定は周辺セルの推定と同等である。以下では周辺外部エージェントの推定を周辺セルの推定と表現する。「気付アドレス情報」の「直前外部エージェント気付アドレス」は、必ず隣接セル(1周辺セル)のIPアドレスである。また、

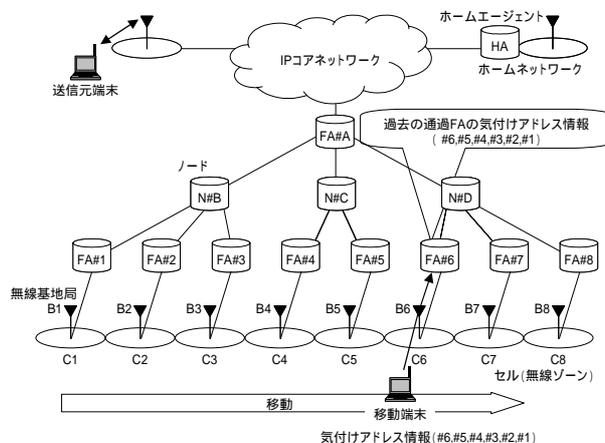


図 13 周辺外部エージェント推定原理

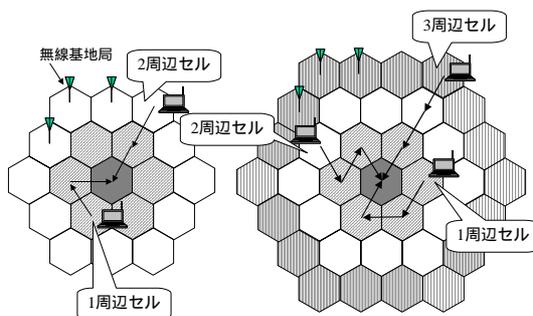
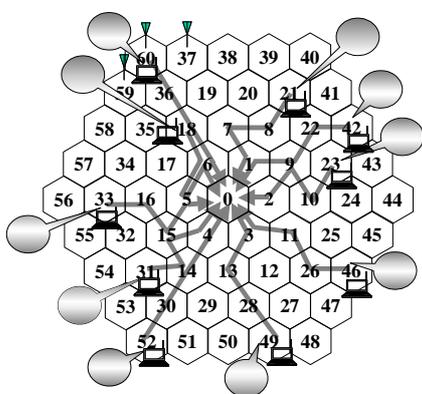


図 14 気付アドレス情報に現れる位置と物理的位置の関係

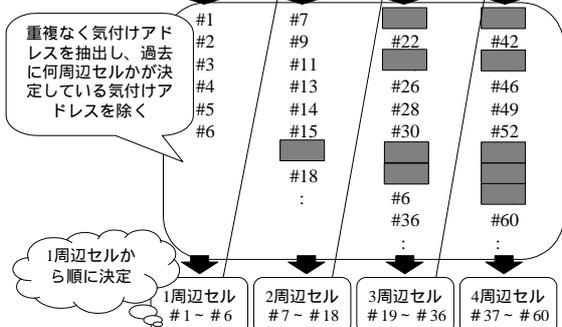
「2 回前外部エージェント気付アドレス」は、次隣接セル(2 周辺セル)であるか、隣接セル(1 周辺セル)の IP アドレスである。同様に、「 $n$  回前外部エージェント気付アドレス」は、 $n$  周辺セル、 $n-1$  周辺セル、 $\dots$ 、1 周辺セルのいずれかの IP アドレスである(図 14)。すなわち、「直前外部エージェント IP アドレス」は全て 1 周辺セルの IP アドレスであり、2 回前セル IP アドレスから 1 周辺セルの IP アドレスを除いたものが 2 周辺セルの IP アドレスである。同様に、「 $n$  回前外部エージェント IP アドレス」から  $1 \sim n-1$  周辺セルの IP アドレスを除くことにより  $n$  周辺セルの IP アドレスを推定できる。

具体的なアルゴリズムを図 15 に示す。まず推定を行う外部エージェントは、複数の移動端末から取得した「気付アドレス情報」を蓄積する。図 15(a)において、移動端末は #21 #8 #7 #1 #0 と移動してセル #0



(a) 移動端末の移動

気付けアドレス情報	直前外部エージェント気付アドレス	2回前外部エージェント気付アドレス	3回前外部エージェント気付アドレス	4回前外部エージェント気付アドレス
気付けアドレス情報	#1	#7	#8	#21
気付けアドレス情報	#1	#9	#22	#42
気付けアドレス情報	#2	#9	#10	#23
気付けアドレス情報	#3	#11	#26	#46
気付けアドレス情報	#3	#13	#28	#49
気付けアドレス情報	#4	#14	#30	#52
気付けアドレス情報	#4	#15	#14	#31
気付けアドレス情報	#5	#15	#16	#33
気付けアドレス情報	#6	#5	#6	#18
気付けアドレス情報	#6	#18	#36	#60
:	:	:	:	:
気付けアドレス情報 $N_m$				



(b) 推定アルゴリズム

図 15 周辺外部エージェント推定アルゴリズム

に到着した。移動端末がセル #0 で受信するエージェント広告に「気付アドレス情報送信要求信号」が挿入されていた場合、外部エージェント #0 は、移動端末から「気付アドレス情報」として(#1、#7、#8、#21)を取得する。移動端末は、#42 #22 #9 #1 #0 と移動してセル #0 に到着した。この時移動端末がセル #0 で受信するエージェント広告に「気付アドレス情報送信要求信号」が挿入されていた場合、外部エージェント #0 は、移動端末から「気付アドレス情報」として(#1、#9、#22、#42)を取得する(図 15(b))。外部エージェントは、端末からの「気付アドレス情報」を予め決められた情報数( $N_m$ )取得する毎に、隣接セルの推定を開始する。まず、「直前外部エージェント IP アドレス」に着目し、その IP アドレスを重複なく抽出する。これを 1 周辺セルの IP アドレスと決定する。次に、「2 回前外部エージェント IP アドレス」に着目し、その IP アドレスを重複なく抽出する。そして、その IP アドレスから 1 周辺セルと決定した IP アドレスを除いたものが、2 周辺セルの IP アドレスである。同様に、「 $n$  回前外部エージェント IP アドレス」に着目し、その IP アドレスを重複なく抽出する。その IP アドレスから  $1, \dots, n-1$  周辺セルと決定した IP アドレスを除くことにより  $n$  周辺セルの IP アドレスを求めることができる。基本的なアルゴリズムのフローを図 16 に示す。

実際には、電波状況により、セルを素通りし、そのセルを通過したがその情報が「気付アドレス情報」に反映されない場合がある。これを素通りによる「不完全な気付アドレス情報」と呼ぶ。周辺外部エージェントを正確に推定するには「不完全な気付アドレス情報」の影響を除外しなければならない。そこで「不完全な気付アドレス情報」の影響を除外できる外部エージェント推定アルゴリズムを提案し、その有効性を明らかにしている[5]。

## 7. 位置登録制御

移動端末の位置登録制御について説明する。移動端

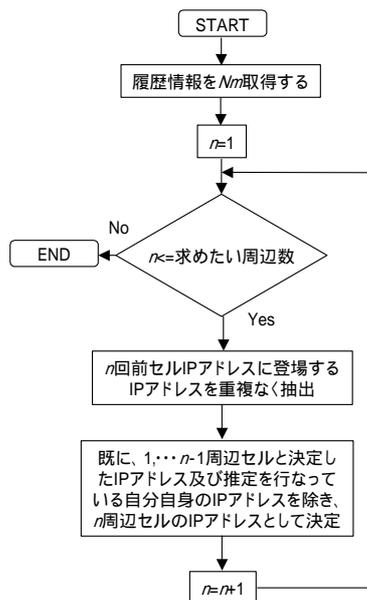


図 16 周辺外部エージェント推定アルゴリズム

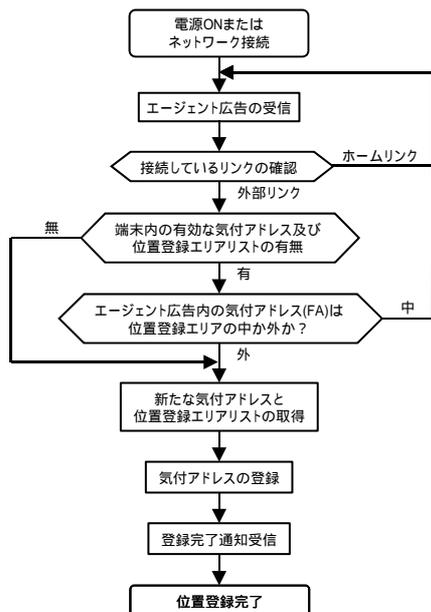


図 17 移動端末の位置登録制御フロー

末は、電源投入時、及び位置登録エリアが変更した場合に位置登録を行う。図 17 に位置登録制御フローを示す。移動端末は位置登録時に取得した「位置登録エリア情報」と随時受信する外部エージェント広告の気付アドレスを比較して、位置登録の必要性を判別する。例えば移動端末は、接続しているサブネットワークが位置登録した外部エージェントの位置登録エリアの外であれば、その外部エージェントに新たに位置登録する。

提案した自律的位置登録エリア制御方式における位置登録について図 18 を用いて具体的に説明する。例えばセル C3 で位置登録を行った移動端末は、外部エージェント#3 の「位置登録エリア情報(#1、#2、#3、#4、#5)」を保有し、サブネットワークを移動するものとする。セル C4 に移動した移動端末は、外部エージェント#4 がブロードキャストするエージェント広告(気付アドレス#4)を受信する。移動端末は保有している外部エージェント#3 の「位置登録エリア情報(#1、#2、#3、#4、#5)」を参照して、外部エージェント#4 は位置登録した外部エージェント#3 の位置登録エリアであるため、位置登録を行わない。次に移動端末がセル C6 に移動した場合を考える。セル C6 に移動した移動端末は、外部エージェント#6 がブロードキャストするエージェント広告(気付アドレス#6)を受信する。移動端末は保有している外部エージェント#3 の「位置登録エリア情報(#1、#2、#3、#4、#5)」を参照して、外部エージェント#6 が外部エージェント#3 の位置登録エリアではないことを認識する。そこで移動端末はホームエージェントに新たに位置登録する(気付アドレス#6)。また併せて外部エージェント#6 がブロードキャストしている「位置登録エリア情報(#4、#5、#6、#7、#8)」を保有する。その後は、セル C3 で位置登録した場合と同様である。

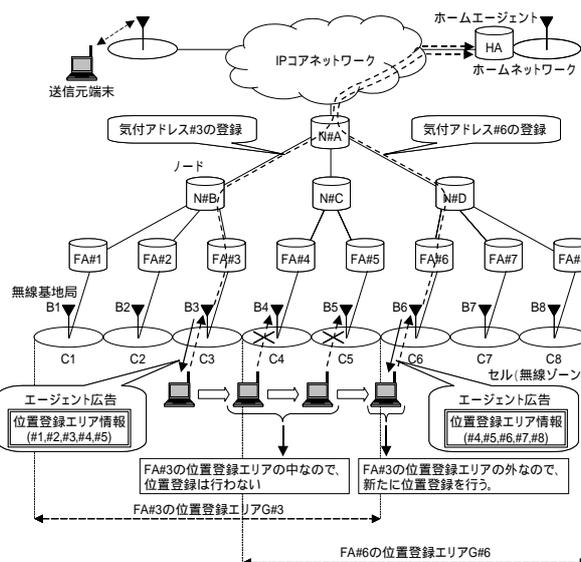


図 18 移動端末の位置登録制御

## 8. 自律的位置登録エリア制御方式のシーケンス

提案したモバイル IP 自律的位置登録エリア制御方式のシーケンスを図 19 に示す。まず外部エージェントの位置登録エリアの形成について説明する。例えば外部エージェント#3 は移動端末から「気付アドレス情報」を取得する( )。外部エージェント#3 は「気付アドレス情報」を用いて周辺外部エージェントを選択し( )、位置登録エリア G#3(#1、#2、#3、#4、#5)を形成する( )。

次にパケット着信フローについて説明する。例えばセル C3 に移動した移動端末は、外部エージェント#3 がブロードキャストするエージェント広告を受信し( )、位置登録制御フローに基づいて位置登録の必要性を判断する( )。位置登録が必要と判断した移動端末は気付アドレス#3 と「位置登録エリア情報」を取得し( )、ホームエージェントに気付アドレス#3 を位置登録する( )。送信元端末から移動端末のホームアドレス宛てに送信されたパケットはホームエージェントで受信され( )、位置登録している気付アドレス#3 宛てにトンネリングされる( )。外部エージェント#3 はトンネリングを解除し( )、移動端末へ転送する( )。外部エージェントはそれと同時に位置登録エリア G#3 の各外部エージェントへ再トンネリングし( )、パケットを受信した各外部エージェントはトンネリングを解除する( )。位置登録エリア G#3 の各外部エージェントはパケットを移動端末へ転送する( )。移動端末は外部エージェント(#1、#2、#3、#4、#5)のいずれかから転送されたパケットを受信する( )。

## 9. まとめ

本稿では、モバイル IP を実現する上で重要な課題である位置登録制御について検討し、モバイル IP 自律的位置登録エリア制御方式を提案した。そして提案方式の具体的な制御アルゴリズムと適用効果について検討した。主な結果は以下の通りである。

( ) 提案方式である自律的位置登録エリア制御方

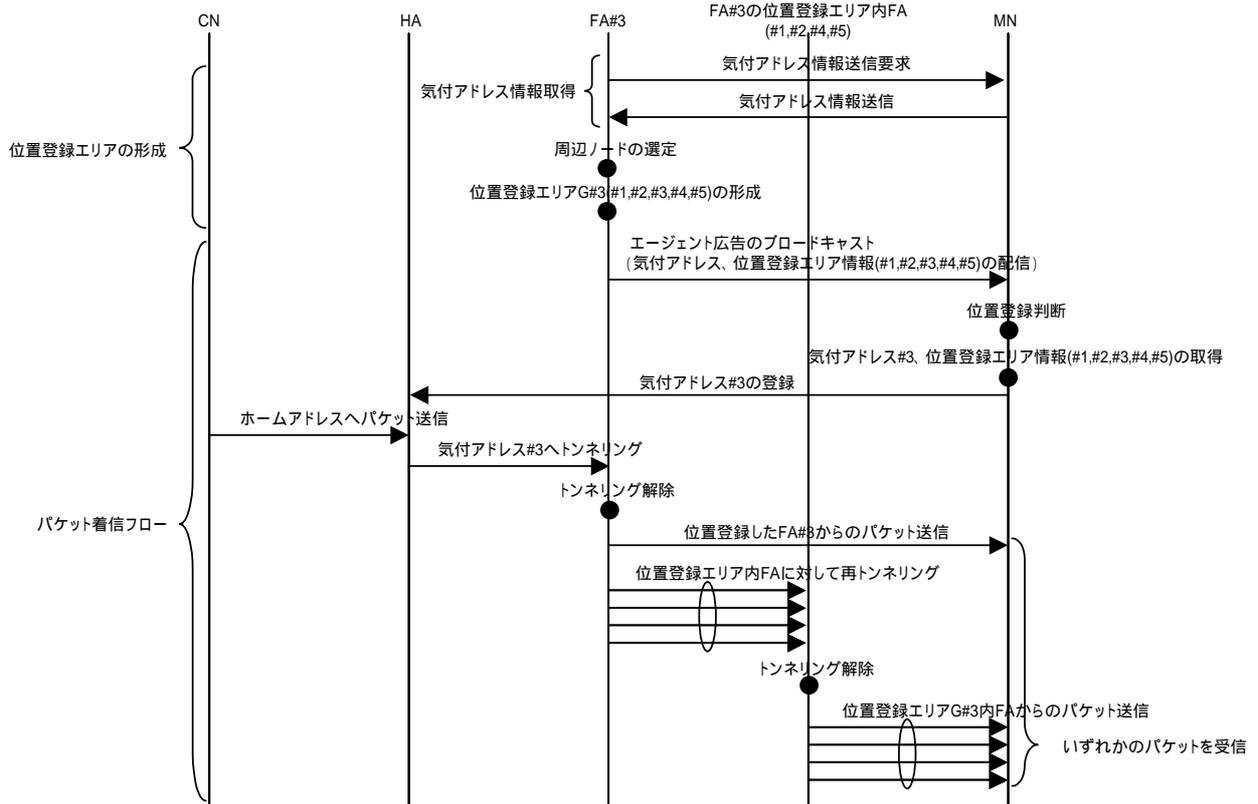


図 19 自律的位置登録エリア制御方式のシーケンス

式は、位置登録エリアのオーバーラップを許容し、外部エージェントは自律的に位置登録エリアを形成するため、一般には非常に煩雑である位置登録エリアの形成が比較的容易にできる。また外部エージェント間の位置登録エリアの形成に関する複雑なトランザクションは必要ないため、従来のモバイル IP との親和性が高い。

( ) 外部エージェントは自ノードを中心とした位置登録エリアを形成する。従って位置登録を行った移動端末は、必ず位置登録エリアの中心セルに位置する。そのため移動端末がランダムに移動する場合には位置登録回数が最小となり、大幅なネットワーク資源の削減が図れる。

### 文 献

[1] 木村徹, 小野夏子, 藤井輝也, "位置登録エリアを考慮しモバイル IP の検討", 信学技報, RCS2002-29, CQ2002-29(2002-04).

[2] Xiaowei Zhang, Javier Gomez Castellanos, and Andrew T. Campbell, "P-MIP: Paging Extensions for Mobile IP" ACM Journal on Mobile Network and Applications(MONET), 2001.

[3] Claude Castelluccia and Pars Mutaf, "An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture", ACM SIGCOMM Oct 2001.

[4] 小野夏子, 木村徹, 藤井輝也, 弓削哲也, "移動通信における適応的位置登録制御方式の検討", 信学技法, RCS2001-314(2002-03)

[5] 小野夏子, 木村徹, 藤井輝也, "モバイル IP における自律的位置登録エリア検出法の検討", 信学技法, RCS2002-139(2002-08)

[6] 木村徹, 藤井輝也, 弓削哲也, "位置登録エリアを考慮しモバイル IP の検討", 2002 春季信学総全大 B-5-4, pp454

[7] ジェイムズ D ソロモン著 (寺岡文男監訳), 詳解 Mobile IP 移動ノードからインターネットアクセス、ピアソン・エデュケーション (2001).

[8] 奥村善久監修, "移動通信の基礎", 電子通信学会 (1986).

[9] 前原明宏, 尾上誠蔵, 安田周二, "多層エリア構成位置登録方式の効果", 1991 春季信学総全大, B-329.

[10] 安田周二, 藤井輝也, 尾上誠蔵, "移動特性群分け多層エリア構成位置登録方式", 1991 秋信学総全大, B-261.

[11] 渡辺有吾, 藤原真寿美, 藪崎正実, "モビリティ/トラフィックアダプティブロケーション制御", 信学技報, MoMuC2001-28(2001-07).

[12] 藤井輝也, 中島信生, "セルラ移動通信における無線チャネル配置システム", 信学論, Vol.J84-B, No.5, pp.872-882, May.2001