

移動通信における適応的位置登録制御方式の検討

小野 夏子 木村 徹 藤井 輝也 弓削 哲也

日本テレコム株式会社

〒104-0032 東京都中央区八丁堀2-9-1

TEL: 03-5540-8420 FAX: 03-5540-8485

E-mail: n.ono@nts.japan-telecom.co.jp

あらまし 移動通信では位置登録エリアの大きさに応じて、制御チャネルのトラヒックが増減することから位置登録エリアの大きさの最適設計が望まれる。本稿では、各ユーザ固有の特性(移動速度、着信回数)に応じて位置登録エリアの大きさを適応的に変える適応的位置登録制御方式について理論解析し、効果を明らかにする。また制御トラヒックを一層削減する方法として、順次呼び出し制御方式を提案し、その適用効果も併せて明らかにする。

キーワード 移動通信、位置登録エリア、制御トラヒック、最適化

A Study on Adaptive Location Registration Management for Mobile Communications

Natsuko ONO, Toru KIMURA, Teruya FUJI, Tetsuya YUGE

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

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

TEL: +81-3-5540-8420 FAX: +81-3-5540-8485

E-mail: n.ono@nts.japan-telecom.co.jp

Abstract In mobile communications, the control channel traffic relating to the location registration increases according to the size of the location registration area. So, determining the optimal size of location area is expected. First, in this paper, we propose the adaptive location registration management method, which changes the size of the location registration area according to the mobile speed and the number of paging traffic. Then we clarify the effects of proposed method. Furthermore, we suggest and clarify the location registration sub-area paging management method, which divides the location registration area into small sub-areas, and pages the location registration sub-area in turn when paging occurs.

Key words Mobile Communication, Location Registration Area, Control Traffic, Optimization

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に必要な制御トラヒック(呼び出し及び位置登録トラヒック)が大幅に増加することが予想される。そのため制御チャンネルの有効利用が必須であり、位置登録制御、呼び出し制御を効率的に行なう必要がある。

位置登録制御を効率的に行なう手法として、端末毎に位置登録エリアを動的に変更する適応的位置登録制御方式[1]-[4]が提案されている。この方式は各移動端末の移動特性、トラヒック特性に応じて移動端末毎に位置登録エリアを最適に設定することで、制御トラヒックの大幅な削減を可能とする。

適応的位置登録制御方式では、着信時位置登録エリア内のセルを一斉に呼び出す。しかし、位置登録エリア内を更に小エリアに分割し、小エリアごとに順次呼び出す順次着信制御方式を適用すれば制御トラヒックの一層の削減が可能となる。

本稿では、適応的位置登録制御方式に基づき、制御トラヒックの指標として、基地局下り回線の電波送信回数を最小とする最適な位置登録エリア数を導出し、この位置登録エリアを設定した時の適用効果を解析的に明らかにする。また、適応的位置登録制御方式に、順次着信制御方式を併せて適用した場合の、位置登録エリア数及び適用効果を解析的に明らかにする。

2. 適応的位置登録制御方式及び

順次着信制御方式

2.1 適応的位置登録制御方式

従来の移動通信における位置登録エリアは、移動端末が持つ移動速度、着信回数に関わらず、全ての移動端末に画一的に設定されている。従って、位置登録エリアの変更ごとに位置登録を行うため、実際には通信を行わない移動端末についても位置登録を行わなければならない。特に高速移動を行なっている端末に対しては無駄な位置登録が多数発生する。また、移動せずに同じ場所で固定的に通信をしているにも関わらず位置登録エリアが広いと、着信ごとにそのエリア全体に電波を送信することになり、無線周波数資源、及びネットワーク資源を無駄に使うことになる。

そこで、図1に示すように個々の移動端末の特性(移動速度、着信回数)に応じて最適な位置登録エ

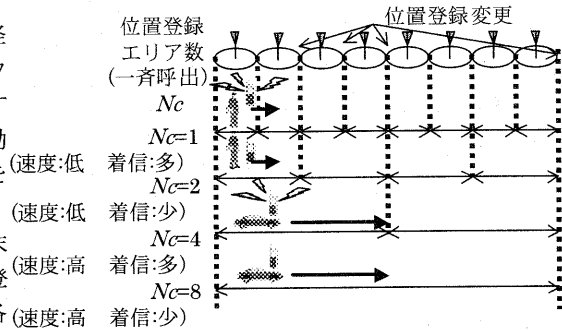


図1 適応的位置登録制御方式

リアを設定する適応的位置登録制御方式を用いれば、位置登録制御を効率的に行なうことができる。

2.2 順次着信制御方式

着信時の呼び出しトラヒックを一層削減する方法として、順次着信制御方式を提案する。従来、着信制御に関しては位置登録エリア内の全ての基地局から一斉に呼び出し信号を送出する同時着信制御方式がとられている。順次着信制御方式は、位置登録エリア内をいくつかの小エリアに分割し、その小エリアごとに順次呼び出す。イメージを明確化するために1次元で表した例を図2に示す。図2では、位置登録エリア N_c 内を4つの小エリア (a_1, a_2, a_3, a_4) に分割している。着信時は、例えばまず小エリア a_1 に電波を送信する。 a_1 に移動端末が存在しない場合には、 a_2 に電波を送信する。 a_2 存在しない場合には a_3 に電波を送信する。順次着信制御を行えば、最後に送信した小エリア a_4 に移動端末がいた場合でも、全エリアに一斉呼び出した場合と同じ送信

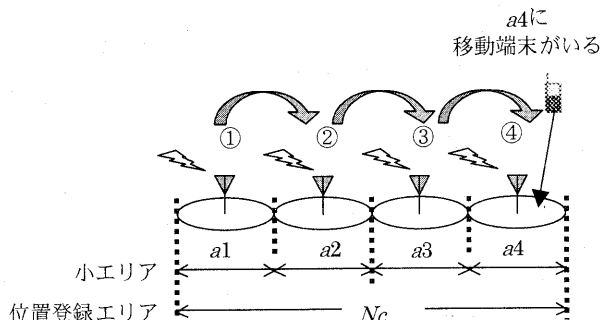


図2 順次着信制御方式

回数となり、平均的には送信回数の削減が期待できる。

尚、順次着信制御方式を適用すると、最初に送信する小エリアに移動端末が存在しない場合には、時間遅延が生じるが、例えば即時性を要求しないデータ等に適用すれば、送信回数の削減が図れる。また、直前の位置登録を行なった時のセルの位置、速度、移動方向などを利用して、着信を受ける移動端末の位置を推定することができれば、更に送信回数を減らすことが可能である。

3. 解析モデル

3.1 評価モデル

(1) セル構成

セル構成は、図3に示すように2次元構成とする。セルの形状は一边が $2r$ [m]の正方形セルとし、 r はセル半径とする。位置登録エリアの一边のセル数を N_c とする。従って、位置登録エリア内のセル数は N_c^2 となる。順次着信制御方式の場合、位置登録エリアの分割数を定める必要がある。今、位置登録エリアの一边のセル数 N_c の分割数を N_d とおくと、位置登録エリアの分割数である小エリア数は N_d^2 となる。従って、小エリア内のセル数は $(N_d/N_d)^2$ となる。

(2) 移動モデル

移動端末は図3に示すように水平方向(x 方向)あるいは垂直方向(y 方向)を速度 v [m/s]で一方向だけに移動するものとする。すなわち、途中で方向を変えることはない。また、移動端末はエリア内に一様に分布しているものとする。

(3) 着信モデル

移動端末の1時間あたりの着信回数を N_p [回/時

間]とする。

3.2 解析

位置登録エリアの最適化は有線系の位置登録トラヒックを最適化する方法と無線系の位置登録トラヒックを最適化する方法が考えられる。無線を利用する移動通信の場合、周波数資源が有限であることから無線系の位置登録トラヒックの最適化が重要となる。ここでは無線系の位置登録トラヒックを評価関数として位置登録エリアの最適化を図る。具体的には基地局の下り回線の電波の送信回数を最小化する位置登録エリア数(最適位置登録エリア)を評価関数とする。尚、無線系の位置登録トラヒックの最適化と有線系の位置登録トラヒックの最適化との差は、評価関数の係数が若干変わるだけで本質的な差は無いので本稿の手法がそのまま適応できる。

3.2.1 評価関数

基地局が位置登録に関して電波を送信するのは以下に示すように(i)着信時と(ii)位置登録エリア変更時に限定される。

(i) 着信時

一斉呼び出しエリア内の基地局から一斉に着信信号を送信する。従って、1回あたりの着信においての基地局の送信回数は位置登録エリア数(N_c^2)となる。

(ii) 位置登録エリア変更時

位置登録エリアを変えると、移動端末は位置登録要求を送信し、基地局は位置登録確認を送信する。従って、位置登録エリアの変更毎に、基地局の送信は1回行なう。

そこで、(i)着信時と(ii)位置登録エリア変更時の

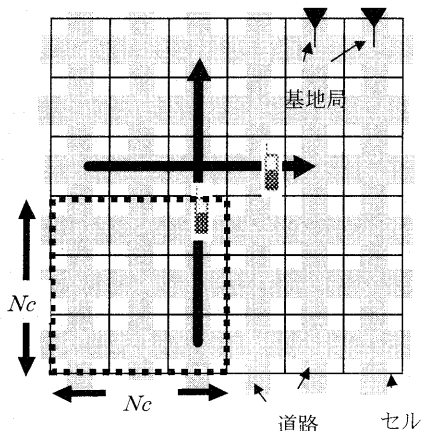


図3 位置登録エリア構成モデル

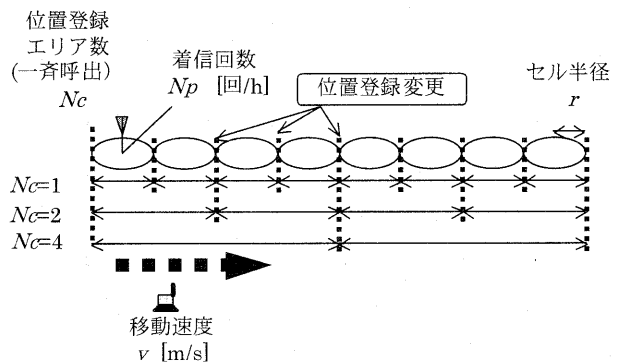


図4 位置登録エリア構成の一次元モデル

送信回数の総和を評価関数として最適化を図る。尚、図4は解析イメージを明確化するために図3の一方方向(水平方向)だけを書き出したモデル図である。

以下では(a)同時着信制御方式、(b)順次着信制御方式に分けて最適化を行なう。

(a) 同時着信制御方式

着信時の基地局の送信回数 $Nr1$ は、位置登録エリア内セル数 Nc と着信回数 Np を用いて次式で表せる。

$$Nr1 = Np \times Nc^2 \quad (1)$$

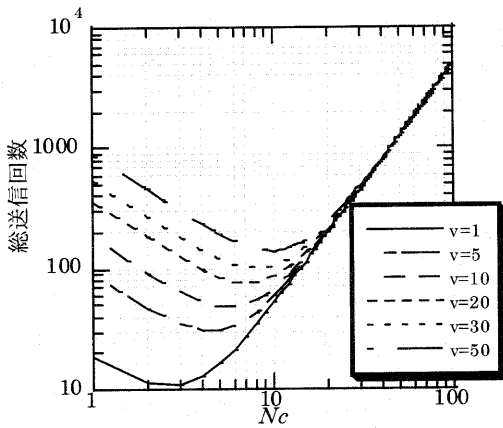
位置登録エリア変更時の基地局の送信回数 $Nr2$ は、移動距離 $3600v[m]$ と位置登録エリアの一辺の距離 $2rNc[m]$ を用いて次式で表せる。

$$Nr2 = \text{Int} \left[\frac{3600v + rNc}{2rNc} \right] \quad (2)$$

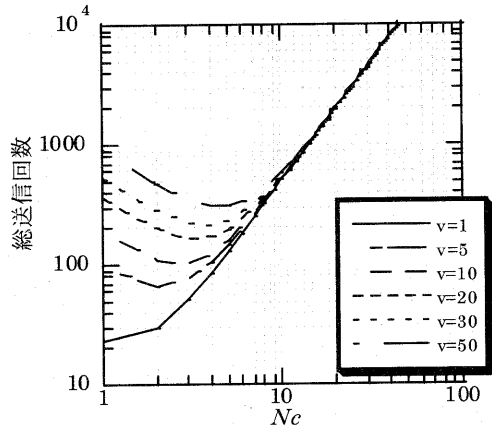
但し、 $\text{Int}[*]$ は、*の整数部を与える関数である。今、例えば1時間あたりの基地局の送信回数を $Nr(Nc)$ とおくと、式(1)、(2)より $Nr(Nc)$ は次式で表せる。

$$\begin{aligned} Nr(Nc) &= Nr1 + Nr2 \\ &= Np \times Nc^2 + \text{Int} \left[\frac{3600v + rNc}{2rNc} \right] \\ &\approx Np \times Nc^2 + \frac{1800v}{rNc} + \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

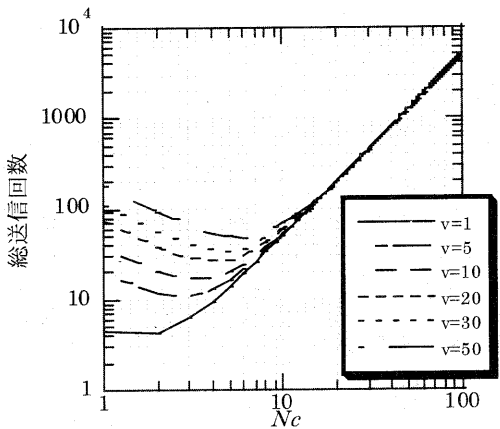
図5に位置登録エリア数 Nc と総送信回数 $Nr(Nc)$ の関係を示す。パラメータは移動速度 v であり、 $v=1, 5, 10, 20, 30, 50[m/s]$ としている。但し、セル半



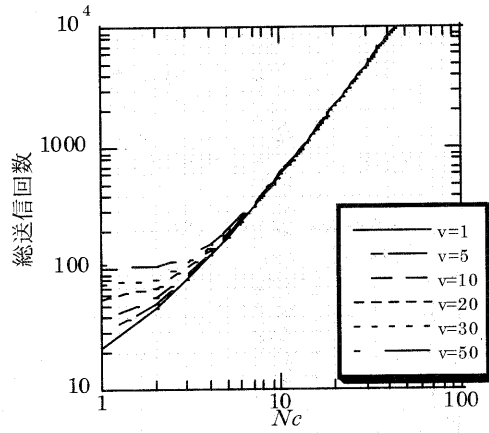
(a) $r=100m, Np=0.5$ 回/h



(c) $r=100m, Np=5$ 回/h



(b) $r=500m, Np=0.5$ 回/h



(d) $r=500m, Np=5$ 回/h

図5 位置登録エリア数と総送信回数

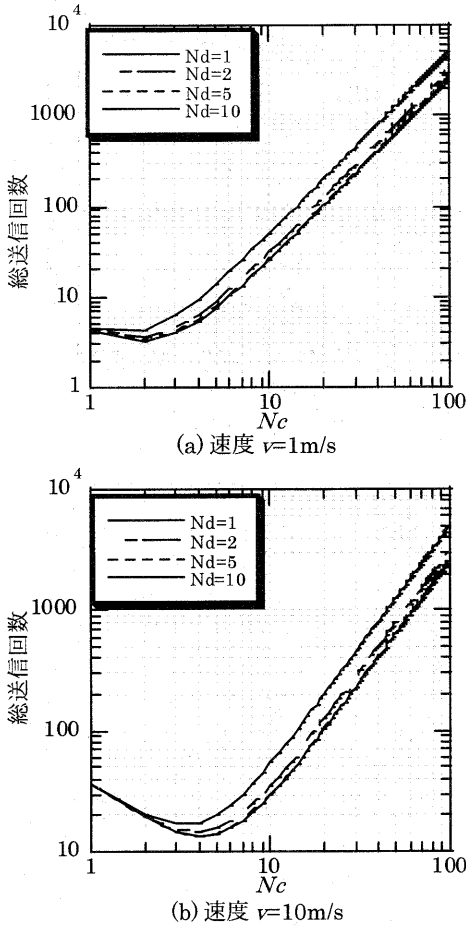


図6 位置登録エリア数と総送信回数(順次制御方式)

径 $r=100, 500$ [m], 1時間当たりの着信回数 $Np=0.5, 5$ [回/時間]としている。

速度 v , 着信回数 Np に応じて総送信回数 $Nr(Nc)$ を最小とする最適な位置登録エリア数 Nc が存在することがわかる。 $Nc=1$ の場合に比べて、最適な Nc を設定することで、送信回数を大幅に削減できる。

(b) 順次着信制御方式

順次着信制御方式では位置登録エリア内の全てのセルから一斉に着信信号を送信しない。同時に着信するセル数は小エリア内のセル数 $(Nd/Nc)^2$ であり、小エリア数 Nc^2 に対して順次着信する。着信順により当然ながら着信特性は変わる。しかしここでは一例として任意の小エリアから順次着信し、着信応答が無ければ別の任意の小エリアに着信するランダム着信制御法を用いる。今、 i 番目の位置登録小エリアで初めて着信に成功した場合の送信回数は $i(Nc/Nd)^2$

となる。 i 番目の小エリアに移動端末が存在する確率を α_i とおくと、1回着信があった時の基地局の平均送信回数 $Nrone$ は次式で表せる。

$$Nrone = \sum_{i=1}^{Nd^2} i(Nc/Nd)^2 \alpha_i \quad (4)$$

ここでは、移動端末の位置は一様と仮定すると、 $\alpha_i = 1/Nd^2$ となることから、着信時の基地局の平均送信回数 ($Nr1$) は移動端末当たりの着信回数 Np を考慮して次式で表せる。

$$\begin{aligned} Nr1 &= Np \sum_{i=1}^{Nd^2} i(Nc/Nd)^2 (1/Nd)^2 \\ &= Np Nc^2 \left(\frac{Nd^2 + 1}{2Nd^2} \right) \\ &= Np Nc^2 \eta \end{aligned} \quad (5)$$

但し、

$$\eta = \left(\frac{Nd^2 + 1}{2Nd^2} \right) \quad (6)$$

ここで、 η は順次着信による送信回数の低減率を与えている。

一方、位置登録エリア変更時の基地局の送信回数 ($Nr2$) は式(2)と変わらない。従って、1時間あたりの基地局の総送信回数を $Nr(Nc)$ は次式で表せる。

$$Nr(Nc) \approx Np Nc^2 \eta + \frac{1800v}{rNc} + \frac{1}{2} \quad (7)$$

式(5)において、 Nd を大きくするほど平均送信回数 $Nr1$ は小さくなり、 $Nd \rightarrow \infty$ とすれば $Nr1$ は $Np Nc^2 / 2$ となり、順次着信制御方式は平均送信回数 $Nr1$ を $1/2$ に低減できる。

図6は、移動速度 $v=1, 10$ [m/s], 着信回数 $Np=0.5$ [回/時間], 基地局半径 $r=500$ [m] と固定した場合の、分割数 Nd^2 をパラメータとした場合の総送信回数 $Nr(Nc)$ を示す。分割数 Nd^2 を多くするに従い、総送信回数 $Nr(Nc)$ を削減できることがわかる。 Nd を大きくすると η が $1/2$ に収束するので、総送信回数も収束していくことがわかる。 $Nc=1, Nd=1$ の場合に比べて、最適な Nc を設定し、順次呼び出し制御方式を適用することで、総送信回数を約 $30 \sim 60\%$ 程度削減できることがわかる。

3.2.2 最適化エリア数

式(7)において、 $Nr(Nc)$ を最小とする $Ncmin$ を求める。式(7)を Nc で微分して、極小値を求めると次式を得る。

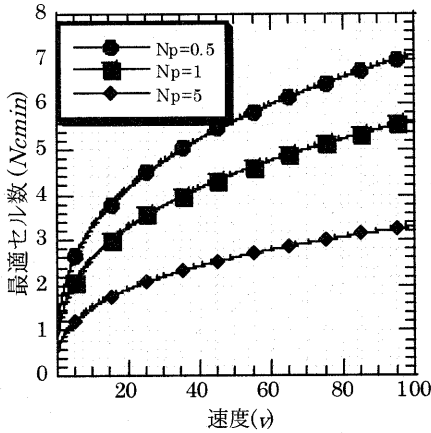


図7 最適セル数

$$\frac{dNr(Nc)}{dNc} = 2NpNc\eta - \frac{1800v}{r} \frac{1}{Nc^2} = 0 \quad (8)$$

$$Ncmin = \sqrt[3]{\frac{900v}{rNp\eta}} \quad (9)$$

式(9)を式(7)に代入して、総送信回数 $Nrop(v, Np)$ を求めると、 $Nrop(v, Np)$ は次式となる。

$$Nrop(v, Np) = 3\sqrt[3]{\frac{900^2 v^2 Np\eta}{r^2} + \frac{1}{2}} \quad (10)$$

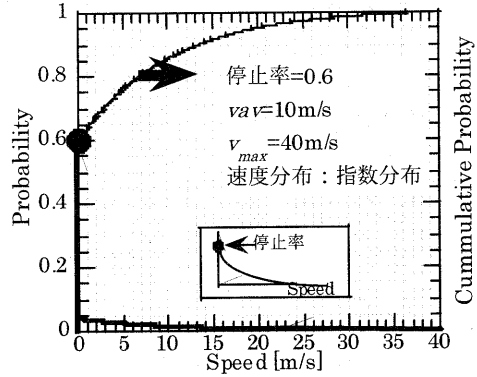
式(9)により移動局の速度 v 、着信回数 Np が決まれば最適な Nc が求まり、式(10)より送信回数の最小値 $Nrop$ が求まる。式(9)、(10)により求まる $Ncmin$ 及び $Nrop$ は図5、6における総送信回数の最小値とその時の Nc の値と一致する。尚、式(9)において $\eta = 1$ とおけば、同時着信制御方式の最適値を与える。

図7に最適セル数 $Ncmin$ と速度 v との関係を示す。分割数 $Nd=1$ 、すなわち $\eta = 1$ 、基地局半径 $r=500$ [m] と固定し、着信回数 Np をパラメータとしている。 Np が大きくなるに従い、最適セル数 $Ncmin$ は小さくなる。

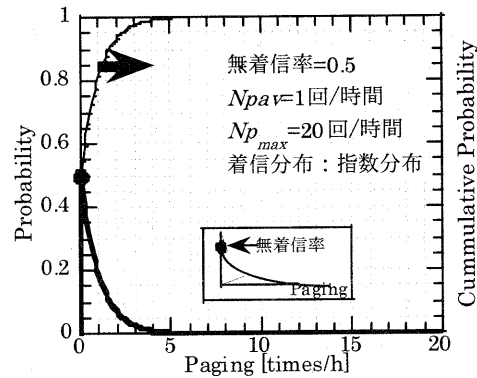
4. 提案方式の評価

4.1 提案方式

移動局の速度 v 、着信回数 Np が理想的に推定できるものとして、提案方式の効果を評価する。一般に移動局の速度 v 、着信回数 Np はユーザ毎に異なっている。そこで、分布の概念を取り入れて評価する。移動端末の速度 v の分布を $p(v)$ 、着信回数 Np の分布を $q(Np)$ とおく。移動局の速度 v と着信回数 Np には一般に相関が無いことから、ここでは独立と仮定



(a) 速度分布 (1時間当たり)



(a) 着信回数分布 (1時間当たり)

図8 速度の分布と着信回数の分布

する。すなわち、 v と Np の結合確率は $p(v)q(Np)$ で表せる。

今、 $p(v)$ 、 $q(Np)$ を一例として次式で示す指数分布を仮定する。

$$p(v) = p1 \times \delta(v) + (1-p1) \times \frac{\exp(-\frac{v}{v_{av}})}{v_{av} p0} \times (1-\delta(v)) \quad (0 \leq v \leq v_{max}) \quad (11)$$

$$q(v) = q1 \times \delta(Np) + (1-q1) \times \frac{\exp(-\frac{Np}{Np_{av}})}{Np_{av} q0} \times (1-\delta(Np)) \quad (0 \leq Np \leq Np_{max}) \quad (12)$$

但し、 $\delta(*)$ はクロネッカーの δ 関数、 $p1$ は移動端末の移動速度が0である確率 (停止率)、

v_{av} [m/s] は速度が0である時を除いた平均速度、 v_{max} [m/s] は速度 v の最大値、 $q1$ は着信回数が0である確率 (無着信率)、 Np_{av} [回/時間] は着信回数が0である時を除いた平均の着信回数、 Np_{max}

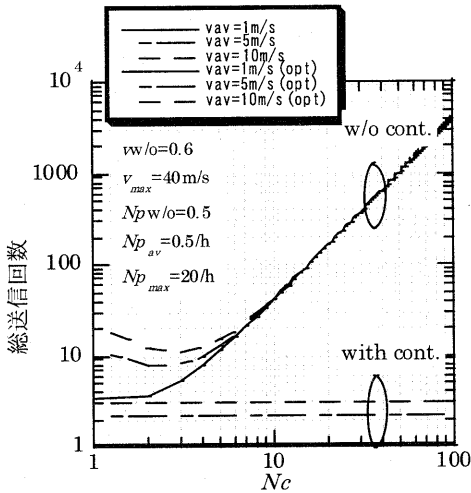


図9 総送受信回数(1時間あたり)
(移動速度 v 依存性)

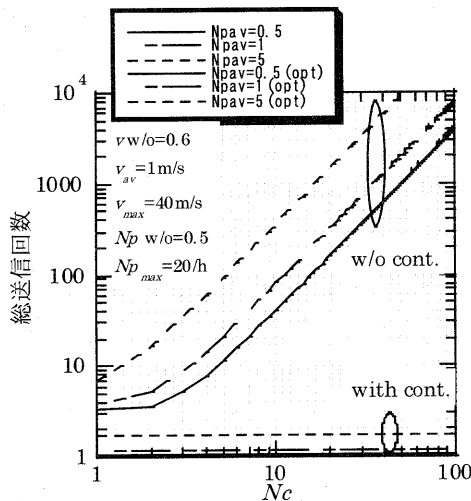


図10 総送受信回数(1時間あたり)
(着信回数 N_p 依存性)

[回/時]は移動端末の着信回数の最大値, p_0, q_0 は確率を1にするための規格化定数である. 図8に式(11), (12)で与える移動局の速度分布, 着信回数分布の一例を示す. ユーザの様々な移動速度, 着信回数に対して, 提案法を動作させた場合の総送受信回数 (N_{ropt}) は式(10)で与える $N_{ropt}(v, N_p)$. 式(11)で与える移動局の速度分布 $p(v)$, 式(12)で与える着信回数分布 $q(N_p)$ を用いて次式で表せる.

$$N_{ropt} = \int_0^{v_{max}} \int_0^{N_{pmax}} N_{ropt}(v, N_p) p(v) q(N_p) dv dN_p \quad (13)$$

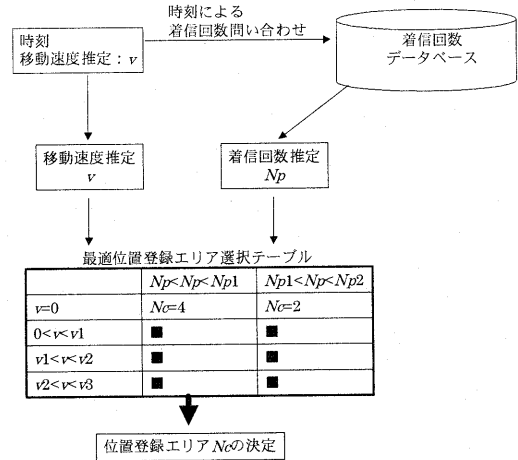


図11 位置登録エリアの決定アルゴリズム

4.2 従来方式

従来方式では, N_c の値は1つである. この場合の総送受信回数 $N_{rfix}(N_c)$ は, 式(3)の $N_r(N_c)$, 式(11)の移動局の速度分布 $p(v)$, 式(12)の着信回数分布 $q(N_p)$ を用いて次式で表せる. 但し, $N_r(N_c)$ に v, N_p の変数を追加して, $N_r(N_c, v, N_p)$ としている.

$$N_{rfix}(N_c) = \int_0^{v_{max}} \int_0^{N_{pmax}} N_r(N_c, v, N_p) p(v) q(N_p) dv dN_p \quad (14)$$

位置登録エリア数 N_c を設定すれば, 式(14)より従来方式での総送受信回数 $N_{rfix}(N_c)$ は求まる.

4.3 評価結果

一例として, 着信回数の最大値 $N_{pmax}=20$ 回/時間, $N_p=0$ である確率 $p_1=0.5$, 速度の最大値 $v_{max}=40$ m/s, $v=0$ である確率 $q_1=0.6$, 分割数 $N_d=1$, 基地局半径 $r=500$ m として評価する.

図9に, 移動端末の平均速度 v_{av} を変化した時の総送受信回数 $N_r(N_c)$ を示す. 但し, $N_{pav}=0.5$ としている. 図より, 適応的位置登録制御方式を用いれば, 用いなかった時の $N_c=1$ と比較して電波の総送受信回数を, $v_{av}=1$ で約 $1/3$, $v_{av}=10$ で約 $1/7$ に低減できる. また, 総送受信回数が少なくなるように最適な N_c を選んだとしても, 送信回数は約 $1/4$ となり, 適応的位置登録制御方式が有効であることがわかる.

図10に, 移動端末の平均着信回数 N_{pav} を変化した時の総送受信回数 $N_r(N_c)$ を示す. 但し, $v_{av}=1$ としている. 図より, $N_{pav}=0.5$ の時で送信回数を約

1/3に、 $N_{p_{ar}}=5$ の時では約1/4に低減できる。以上のことから、移動速度、着信回数によらず適応的位置登録制御方式が有効であることがわかる。

[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”, 2002春季信学総全大発表予定。

5. 適応的位置登録制御アルゴリズム

位置登録エリアの最適化を図るためには、移動端末毎に移動速度、着信回数に応じて位置登録エリアを個別に設定する必要がある。しかし、移動端末毎に個別に設定することはシステム側からみれば非常に大きな負荷となる。そこで、予め複数の位置登録エリアパターンを決めておいて、移動速度と着信回数に応じて最適なパターンを選択する。このような制御により比較的簡単に最適位置登録エリア制御を実現できる。最適なパターンの選択アルゴリズムについて説明する。移動速度と着信回数に応じて予め最適位置登録エリア数を決定し、それを図11に示すようにテーブル化しておく。実際の位置登録エリア選択では、移動端末毎に推定した移動速度と着信回数に応じて図11のテーブルから最適位置登録エリア数を決定する。

6. まとめ

本稿では、移動端末毎の移動速度と着信回数を考慮して、移動端末毎に最適な位置登録エリアを適応的に決定する適応的位置登録制御方式を提案し、最適位置登録エリア数を理論解析した。従来方式において、位置登録エリア数を固定的に1つに設定した場合と比較して、速度、着信回数に分布の概念を取り入れて評価した結果、適応的位置登録制御方式は基地局下り回線電波送信回数を約1/3～1/7に低減できることがわかった。

また、適応的位置登録制御方式に位置登録エリア内の小エリアを順次呼び出す順次着信制御方式を併せて適用した場合についても、理論解析し、最適位置登録エリア数を明らかにした。順次呼び出し制御方式を併せて用いることで、受信時の電波送信回数を最大で1/2に削減可能で、全体として電波送信回数を約30～60%程度削減できることがわかった。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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春信学総全大.
- [3] 渡辺有吾, 藤原真寿美, 藪崎正実, “モビリティ/トラヒックアダプティブロケーション制御”, 信学技報, MoMuC2001-28(2001-07).