

## 移動パターンを考慮した移動端末の位置登録最適化

中野 裕介<sup>†</sup> 李 頤<sup>††</sup> 亀田 壽夫<sup>††</sup>

最近の新規加入者の増大により、日本における携帯電話・PHSの累計契約数は5,000万台を突破し、移動体には単なる通信手段以上のものが求められるようになってきている。移動体通信に対するニーズは多様化しており、更に効率の良い通信方式の開発を目指して世界中で盛んに研究が行なわれている。本研究では、移動端末の発着信に関する位置登録コストを端末の移動パターンを考慮して最適化する。端末の移動時のふるまいを表す際、既に提案されているモデルと比較してより現実性の高い移動モデルを考案し、その計算アルゴリズムを新たに提案する。また、数値実験を行い、我々が新たに提案したモデルで有効性を示し、その実用性について考察を行なう。

### Optimization of Mobile Terminals' Location Registration by Considering Patterns of Movement

YUSUKE NAKANO,<sup>†</sup> JIE LI<sup>††</sup> and HISAO KAMEDA<sup>††</sup>

This paper studies the dynamic location update problem for a mobile-phone network. The service area of the network is divided into Location registration Areas(LA's). On the location update cost, there are various ways to decrease the cost. We formulate the optimization problem of the location update cost. The Greedy algorithm is used to provide a good solution of the optimization problem. Furthermore, we propose the "four-direction model" as the movement model of mobile terminals. The model represents movement of terminals more realistically than the previous "shortest distance model". We make experimentations using the "four-direction model", and apply the approach to the Manhattan City model. A big performance improvement is obtained.

#### 1. はじめに

日本では平成6年に携帯電話端末の売り切り制が導入されて以来、携帯電話端末を含めた携帯情報機器の普及のペースは目覚ましい。携帯電話は、通信手段として完全に一般的なものになっており、各通信キャリアごとに特色のあるサービスが提供されるようになり、インターネット接続機能を標準装備するなど、単純な「電話」の機能に留まらないインテリジェンスを持ち合わせるようになってきている。

我々は携帯電話やパーソナル・ハンディフォン・システム(PHS)に代表される移動体通信システムのサービスを提供する上で、消費者から要求されるさまざまな機能のうち、位置登録機能に着目し、そのコストを低減す

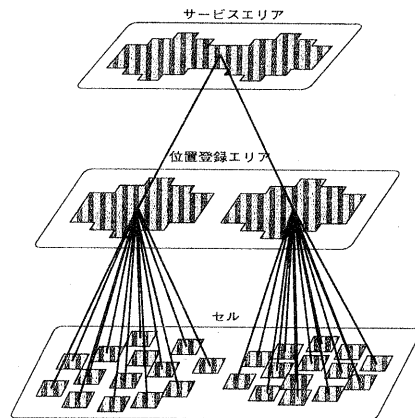


図1 端末の位置登録時のシステム構成

ることを目標とする。移動する携帯電話(以下、端末)の位置を追跡・制御する際のシステム構成は図1のようになっている。

- サービスエリア  
移動体通信サービスを提供する範囲。自動車電話・

<sup>†</sup> 筑波大学大学院理工学研究科  
Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba

<sup>††</sup> 筑波大学電子・情報工学系  
Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba

携帯電話では企業グループや業務提携によってはほぼ日本全国をカバーしている、加入者が通話できる範囲。

- 位置登録エリア (Location registration Area: LA)  
移動体通信ネットワークシステムが端末の所在位置を認識する際の範囲。複数の LA からサービスエリアが構成される。
- セル  
システムの最小構成単位。いくつかのセルが集まって LA が構成されている。セルごとに基地局が存在し、これによって通話情報をやりとりする。

位置登録時に行なわれるオペレーションには、次の2種類がある。

#### (1) 現在位置の更新 (Location Update : LU)

端末が LA を越えて移動した場合に、端末側からシステム側に信号を送り、システムが端末の現在位置情報を更新する。このオペレーションによって、着信時にページング信号を送る LA を特定することができる。端末が通話していない場合でも受信している微弱な電波には LA の識別信号が含まれており、一定周期で端末は自らが記憶している識別信号と送信された識別信号との符合を行っている。別の LA に移動した場合、識別信号が符合しないため端末は自動的にシステム側に発信し、更新作業を要請するようになっている。

#### (2) ページング

端末に呼が生じたときにシステム側から端末側に着信を知らせる動作。その端末が現在滞在している LA 内の全セルに対して、各セルにひとつずつ設置されている基地局を介してポーリング信号という呼び出し信号が送信され、ポーリング信号に応答した端末との間に回線が開かれ、通話ができるようになる。

この2種類のオペレーションのコストについて説明する。まず、LUのコストを下げるということは、端末からシステムに LA を越えた事を通知する信号を送信する回数を少なくするという事である。サービスエリアの広さは決まっているため、この信号を送信する回数を減らすということは、LA 一つ一つの広さを大きくし、サービスエリアを構成する LA の数を少なくすることになる。しかしこれは同時に、一つの LA に含まれるセルの数を多くするという事でもある。ページング信号は LA に含まれる全てのセルに送信されるため、ページングのコストが増大することになる。逆の理由でページングのコストを最小にすると、今度は LU のコストが大きくなってしまふ。このように、同時に2種類の

コストを最小化することは不可能である。

本研究は、ページングコストを一定にして、LUコストを最小にすることが目標である。移動体通信サービスの加入者は、それぞれが様々な移動パターンで自由に移動し、時には移動しながら通信を行なっている。この移動パターンに応じて LA を最適化し、位置登録コストを低減する。我々は Abutaleb<sup>1)</sup> らによって提案された手法を応用して、端末の移動パターンに応じて LA を最適化し、位置登録コストを低減することに成功した<sup>5)</sup>。しかしこの研究は、端末の移動モデルとして、最短路モデルと呼ばれるモデルを用いており、本来自由に移動することができる移動端末のふるまいをこの移動モデルで全て論じることは少々無理がある。そのため我々は新たに4方向モデルという移動モデルを考案し、これを用いて LA の最適化を行う。

## 2. 先行研究について

我々は Abutaleb ら<sup>1)</sup> によって提案された位置登録エリアの最適化方式を応用して実験を行なった<sup>5)</sup>。これは、端末の移動モデルとして「最短路モデル」を用いている。最短路モデルでは端末の移動方向は直進、左折、右折の3方向に限定されており、任意の2点間の移動に際し端末の取る経路は2点間の最短路をとる。後方に進路をとること、任意の2点間の移動時に冗長な経路をとることは許されない。そのため端末の移動手段としては自動車や鉄道など、高速で移動し、突然進路が変わることが少ないようなものが想定されている。

この移動モデル上で実験を行なった結果、全ての移動パターンにおいて LA の形状が端末の移動パターンに関係なく固定になっている LA を上回るコストパフォーマンスを示した。また、端末の移動速度が上がるほど効果が大きいこと、端末の移動パターンが直進性を帯びるほど効果が大きいこと、一つ一つのセルのサイズが大きいほど効果が大きいことなどが新たにわかっている。

今回の実験では最短路モデルよりもより現実的で柔軟な移動モデルである「4方向モデル」を実装し、そのふるまいを評価する。

## 3. システムモデル

本章では、システムモデルの詳細を述べる。

### 3.1 位置登録コスト

第1章で述べたように位置登録コストは LU のコストとページングオペレーションのコストの和で与えられる。端末に対する単位時間当りの LU およびページングの信号コストは、以下に挙げるパラメータに依存する<sup>3),4)</sup>：

- $k$ : LA に含まれるセルの数.
- $\mu$ : その端末への着呼率 (calls/unit time).
- $u_k$ :  $k$  個のセルを含む LA 内での単位時間当たりの LU の回数 (upds/unit time). この値は端末の移動性, 移動速度, LA の形状に依存する.
- $C_p$ : セル一つ当たりのページングコスト (BW/cell). BW は要求される周波数帯域.
- $C_u$ : LU1 回当たりのコスト (BW/upd).

以上より, 位置登録コストは次のように与えられる.

$$C(k, \mu, u_k) = k\mu C_p + u_k C_u. \quad (1)$$

第1章でも述べたように, この2種類のコストはどちらかを低く抑えようとすると, 他方が増大するという性質があるため, 一方を固定して他方を最小にする手法を用いる. 本研究ではページングに関するコスト ((1) 式右辺第一項) を, LA に含まれるセルの個数  $k$  を定数にすることで固定する. LU に関するコスト ((1) 式右辺第二項) を最小にするに当っては, (1) 式中の  $C_u$  はパラメータとして固定値を与えるので,  $u_k$  を最小にする.  $u_k$  は

$$u_k = \frac{u_1}{N_k}. \quad (2)$$

で与えられる<sup>1)</sup>. (2) 式中の  $u_1$  は単位時間当たりに通過するセルの個数 (端末の移動速度から決定される),  $N_k$  は  $k$  個のセルを含む LA 内で通過するセルの個数の期待値を示す.  $u_1$  は端末の速度を与えることで決定されるため, 本研究での信号コストの最小化とは, ある  $k$  に対する  $N_k$  を最大にすることに帰着する.

### 3.2 端末の移動モデル

一般に移動体通信ネットワークでは, 各セルに一つの基地局 (BS) が配置されており, 端末と無線で通信が行なわれている. 本研究では, 端末は市街地を移動するものとし, BS が交差点に設置されているものと仮定する. つまり十字形の交差点の数だけセルが存在する. このようなセルモデルをマンハッタン・シティモデルという<sup>1)</sup>.

#### 3.2.1 4方向モデル

第2章で言及している最短路モデルは主に自動車など, 高速で移動し, 方向を転換することがあまり多くない移動手段を用いて端末が移動する場合に適用している. しかし歩く程度の移動速度ならば頻繁にかつ簡単に方向を転換することができるため, ある目的地に到達するために最短路のみを辿ると決めるのには少々無理がある. そのため我々は前進, 左折, 右折以外に後進することも考慮に入れ, 任意の2点間の移動経路に制限を設けない, 4方向モデル (図2) を考案し, このモデル上で実験を行うことにする.

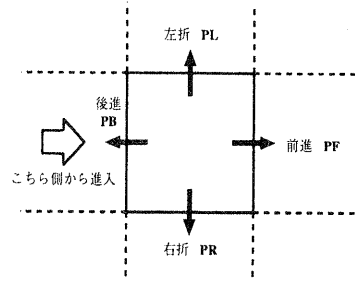


図2 4方向モデル

#### 3.2.2 4方向モデルにおけるセル訪問確率の算出

本小節では我々が考案した4方向モデルにおける端末の移動のふるまいを処理するためのアルゴリズムについて説明する.

- $prv(n, i, j)$  -  $n$  回セル追加試行を終了した時点で端末がセル  $(i, j)$  を訪れる確率に関する変数. 構造体変数の形をとり, メンバとして *east, west, south, north, prob, eye, jay* を持つ. メンバ *east, west, south, north* はそれぞれ, セル  $(i, j)$  に東, 西, 南, 北から進入する確率, *prob* はそれらの和, *eye, jay* はそれぞれ  $i, j$  を保持する.
- $tmp(n, i, j)$  - 試行を行なう際の確率の瞬時値. 形式は  $prv(n, i, j)$  と全く同じである. 追加されるセルが決まった時点で  $prv(n, i, j)$  にコピーされる.
- $x_{i,j}$  - そのセルが LA に assign されているかどうかを表す. 1 なら assign されており, 0 なら assign されていない.
- $PF, PL, PR, PB$  - それぞれ, 前進, 左折, 右折, 後進する確率.

以下に示すのはセル追加試行  $n$  回目における LA 内全セルの訪問確率を求める際の流れである.

- (1) 全ての  $i, j$  について,  $n$  回目の訪問確率を求める. 移動モデルが最短路モデルの場合訪問確率は端末が1回訪れたセルを2度と訪れることがないため, LUセルからの距離と端末の移動パターンが与えられれば一意に決定される<sup>1)5)</sup>. しかし4方向モデルの場合セルを2回以上訪れることができるためそれらの値だけでは決定することができない. そのためあるセルの  $n$  回目の訪問確率を求める際には, 隣接する4つのセルの  $n-1$  回目の訪問確率を用いるようにしている.  $n$  回目にセル  $(i, j)$  に東から進入する確率は, セル  $(i, j)$  の東側に隣接するセル  $(i+1, j)$  の  $n-1$  回目の訪問確率を用いて, セル  $(i+1, j)$  に東から進入し前進する確率, 西から進入し後進する確率,

南から進入し左折する確率, 北から進入し右折する確率の和に, セル  $(i, j)$  が LA に含まれているか否かのフラグである  $x_{i+1,j}$  を乗じることでより計算する.

$$\begin{aligned} & tmp(n, i, j).east \\ &= (prv(n-1, i+1, j).east * PF \\ &+ prv(n-1, i+1, j).west * PB \\ &+ prv(n-1, i+1, j).south * PL \\ &+ prv(n-1, i+1, j).north * PR) x_{i+1, j} \end{aligned}$$

同様にその他の方角から進入する場合の確率を求める.

$$\begin{aligned} & tmp(n, i, j).west \\ &= (prv(n-1, i-1, j).east * PB \\ &+ prv(n-1, i-1, j).west * PF \\ &+ prv(n-1, i-1, j).south * PR \\ &+ prv(n-1, i-1, j).north * PL) x_{i-1, j} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & tmp(n, i, j).south \\ &= (prv(n-1, i, j-1).east * PR \\ &+ prv(n-1, i, j-1).west * PL \\ &+ prv(n-1, i, j-1).south * PF \\ &+ prv(n-1, i, j-1).north * PB) x_{i, j-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & tmp(n, i, j).north \\ &= (prv(n-1, i, j+1).east * PL \\ &+ prv(n-1, i, j+1).west * PR \\ &+ prv(n-1, i, j+1).south * PB \\ &+ prv(n-1, i, j+1).north * PF) x_{i, j+1} \end{aligned}$$

- (2) LUセルについて, LAに進入した方向については訪問確率は1になるが, 上記の流れではそれが反映されないため補正を行なう.

$$tmp(n, i_{LU}, j_{LU}).direction += 1.0$$

- (3) 全ての  $i, j$  について,  $tmp(n, i, j).prob$  を求める.

$$\begin{aligned} & tmp(n, i, j).prob \\ &= (tmp(n, i, j).east \\ &+ tmp(n, i, j).west \\ &+ tmp(n, i, j).south \\ &+ tmp(n, i, j).north) \end{aligned}$$

このようにして求められたセル訪問確率を用いて, 次に説明するアルゴリズムで最適化されたLAを導出する.

### 3.3 貪欲戦略を用いたLAの最適化方法

端末の移動パターンに応じて最適化されたLAを求めるために, 最初はLUセル1個だけのLAから段階を踏んでセルを追加していき, 最終的にLAに含めるセルの個数  $(k)$  になるようにする. 追加する際, 次のような条件を満たすセルを追加する.

$$\text{Maximize } N_k = \sum_i \sum_j c_{ij}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{in (3) } c_{ij} = (|i - i_{LU}| + |j - j_{LU}| + 1)pre(i, j), \\ & \text{subject to: } \sum_{i=1} \sum_{j=1} x_{ij} = k. \quad (4) \end{aligned}$$

式中  $pre(i, j)$  はセル  $(i, j)$  がそのLA内で最後に訪れるセルである場合の確率, すなわちセル  $(i, j)$  を最後に別のLAのセルへ移動する状況を表す確率を表す. この問題は, LUに含めるセルの個数を決定し, その個数の範囲の中で通過するセルの個数の期待値  $N_k$  を最大にするという問題であるが, これはNP完全問題に属するナップザックの問題に他ならない. ナップザックの問題は必ず最適解を求めることができるような決定的なアルゴリズムが存在しないため, 我々はこの問題に対する解を導くために貪欲アルゴリズムによる発見的な解法を用いる. パラメータは,

- $B\_X(i, j)$  - セル  $(i, j)$  がLAに隣接するセルであるかどうかを示す変数. 0と1の2値変数であり, 1の場合セル  $(i, j)$  はLAに隣接していることを表す.
- $maxPRV$  - セル訪問確率の最大値.
- $count$  - LAに含まれるセルの個数.

提案するアルゴリズム

- (1) LUセルについて, そのLAに進入した方角を  $D_{in}$  として:

$$\begin{aligned} & prv(1, i_{LU}, j_{LU}).D_{in} = 1.0, \\ & tmp(1, i_{LU}, j_{LU}).D_{in} = 1.0. \end{aligned}$$

- (2)  $n = 2$ .

- (3) 全ての  $(i, j)$  について,

$$\begin{aligned} & \text{if } x(i, j) = 0 \cap (x(i-1, j)=1 \cup x(i+1, j)=1 \\ & \quad \cup x(i, j-1)=1 \cup x(i, j+1)=1), \\ & \quad B\_X(i, j) = 1, \\ & \text{else } B\_X(i, j) = 0. \end{aligned}$$

- (4) 3.2.2で示した確率計算ルーチンを引数  $n$  で実行する.  $n$  における訪問確率  $tmp$  が計算される.

- (5) 全ての  $(i, j)$  について,

$$\begin{aligned} & \text{if } B\_X(i, j)=1 \cap tmp(n, i, j).prob = maxPRV, \\ & \quad maxPRV = tmp(n, i, j).prob. \end{aligned}$$

(ここで訪問確率の最大値を求める.)

- (6) 全ての  $(i, j)$  について,

$$\text{if } tmp(n, i, j).prob = maxPRV,$$

$$x_{tmp(n, i, j).eye, tmp(n, i, j).jaye} = 1.$$

(訪問確率が最大値と等しいセルをLAに追加する. 4方向モデルの場合1回の試行で追加されるセルの個数は, 最短路モデルと異なり2個以上が同時に追加される場合があるため  $tmp.prob$ ,  $tmp.eye$ ,  $tmp.jaye$  の3つのメンバを追加した.)

- (7) 全ての  $(i, j)$  について,

if  $x_{i,j} = 1$ ,

$prv(n, i, j) = tmp(n, i, j)$ .

( $tmp$  を  $prv$  にコピーして訪問確率を確定する.)

- (8)  $maxPRV$  に 0.0 を代入し  $n$  をインクリメント。  
 (9) (3) に戻り,  $n$  が予め決めておいた試行回数に達すると終了。  
 (10)  $x_{i,j} = 1$  であるセルの個数を  $count$  に代入する。このアルゴリズムによって最適化された LA の形状が導かれる。このアルゴリズム終了時点の訪問確率  $prv$  と変数  $count$  を用いて  $N_k$  を計算する。 $N_k$  を算出するアルゴリズムとパラメータは、

- $pre(i, j)$  - セル  $(i, j)$  が LA の最も外側のセルであることを表す確率。この変数の値の確率で端末は LA から出て行くことになる。
- $\bar{x}_{i,j} - x_{i,j}$  の反転。

$N_k$  算出アルゴリズム

- (1) 全ての  $(i, j)$  について,  $pre(i, j)$  を求める。

$$\begin{aligned}
 pre(i, j) &= (prv(n, i, j).east * PB \\
 &+ prv(n, i, j).west * PF \\
 &+ prv(n, i, j).south * PR \\
 &+ prv(n, i, j).north * PL) x_{i,j} * \bar{x}_{i+1,j}, \\
 pre(i, j) &+ (prv(n, i, j).east * PF \\
 &+ prv(n, i, j).west * PB \\
 &+ prv(n, i, j).south * PL \\
 &+ prv(n, i, j).north * PR) x_{i,j} * \bar{x}_{i-1,j}, \\
 pre(i, j) &+ (prv(n, i, j).east * PL \\
 &+ prv(n, i, j).west * PR \\
 &+ prv(n, i, j).south * PB \\
 &+ prv(n, i, j).north * PF) x_{i,j} * \bar{x}_{i,j-1}, \\
 pre(i, j) &+ (prv(n, i, j).east * PR \\
 &+ prv(n, i, j).west * PL \\
 &+ prv(n, i, j).south * PF \\
 &+ prv(n, i, j).north * PB) x_{i,j} * \bar{x}_{i,j+1}.
 \end{aligned}$$

- (2) 全ての  $(i, j)$  について,

$$N_k = \sum_{i,j} \{(|i-i_{LU}| + |j-j_{LU}| + 1)pre(i, j)\}.$$

- (3)  $count$  に対応した  $N_k$  を返す。

このようにして求められた  $N_k$  は、移動パターンが  $PF, PL, PR, PB$  であり、LA 内のセルの個数が  $count$  であるときの最大値になっている。

#### 4. 数値実験、結果及び考察

本章では、4.1 で最適化された LA の形状の例を示し、4.2 で最適化された LA と固定式正方形 LA とをそれぞれの  $N_k$  の値で比較する。4.3 ではマンハッタン・シティ モデルで様々なパラメータを与えて評価を行なう。

##### 4.1 最適化された LA の形状

第3章に示したアルゴリズムによって導かれた最適化された LA の例を図3に示す。いずれも端末は LU セル  $(51, 51)$  に西から進入している。

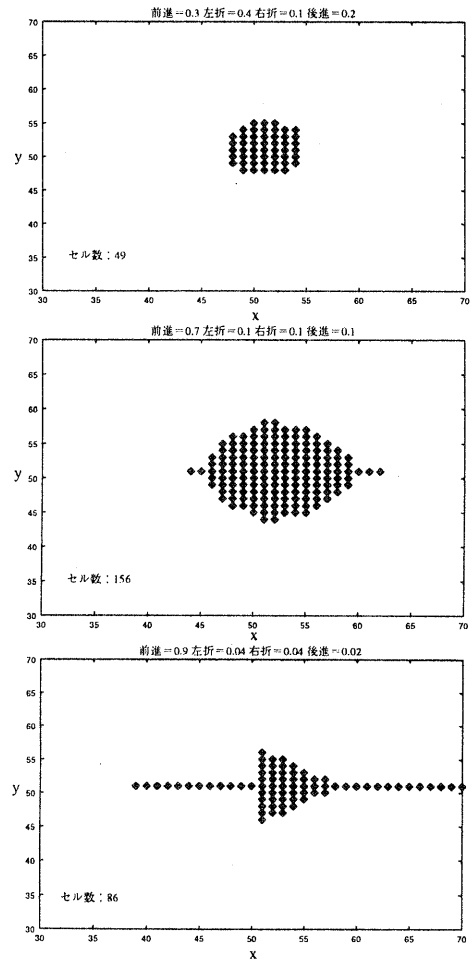


図3 最適化された LA の形状

端末の移動パターンが変化すると LA の形状が大きく変化することがよくわかる。西から LA に進入した場合、移動方向が4方向になったことで最短路モデルでは

決して見られなかった<sup>5)</sup>、LUセルを通り  $y$  軸と平行な直線よりも左側にも LA が広がっている。

#### 4.2 固定式の LA との比較

図4に貪欲戦略を用いて最適化した LA における  $N_k$  と固定式の正方形 LA における  $N_k$  との比較を示す。この正方形 LA とは LU セルから等距離に存在するセルから構成されている正方形の LA で、セルの個数は 1、5、13、25、... というように増加する。

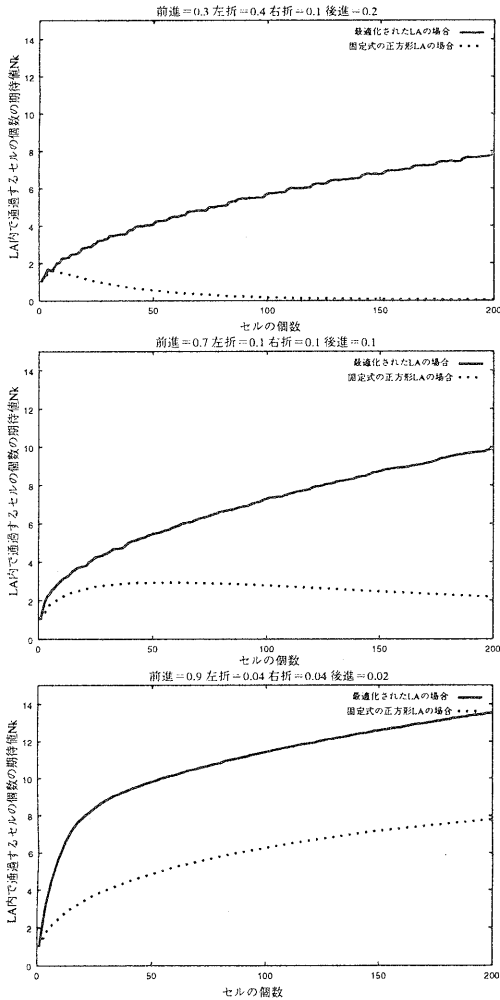


図4  $N_k$  の比較

図4からも明らかなように、圧倒的に最適化された LA の方が優れている。特に端末の移動パターンが前後左右に散らばっているほどその効果大きい。移動パターンが4方向に散らばっている場合に固定式 LA でセルの個数が増えるほど  $N_k$  の値が小さくなるのは、端末

がほとんど訪れないようなセルをも LA に含めてしまっているため、そのようなセルの方が端末が比較的訪れる可能性の高いセルの数よりも多くなってしまっているためである。貪欲戦略を用いた最適化によってこのようなむだをなくすることができる。

#### 4.3 システムパラメータの変化による影響

4.2では  $N_k$  を指標として評価を行なったが、本小節では  $N_k$  を含めた種々のパラメータから式(1)にしたがって位置登録コストを算出し、これを用いて評価を行ない、マンハッタン・シティモデル<sup>1)</sup>を適用してパラメータを変化させ評価を行なう。以下に考察するパラメータを挙げる。

- BS 間距離  $L$ . BS は交差点に設置したので、交差点間距離を示す。
- 端末の平均速度  $\bar{v}$ , 標準偏差  $\sigma_v$ . 単位はともに m/s.
- 青信号, 赤信号の待ち時間をそれぞれ,  $g=30s, r=30s$  とする。
- 平均着呼率  $\mu$  calls/h. または  $\mu/3600$  calls/s.
- 端末の移動パターン PF, PL, PR, PB.
- $\gamma = C_p/C_u$   
 $C_p$  はページングコスト,  $C_u$  は LU コスト. LU コストに対するページングコストの比率である.  $\gamma$  が大きい程ページングコストの占める割合が大きく, 小さい程 LU コストの占める割合が大きい。
- あるセルが端末の目的地である確率は全てのセルについて等確率であるとし, これを  $P_{dest}$  とする。
- 目的地のセルに滞在する時間の平均  $\bar{T}_{dest} = 6 \times 3600s$ .
- 端末がある1つのセルに滞在している時間の平均  $\bar{X}$ .

式(1)より、

$$C(k, \mu, u_k) = k \frac{\mu}{3600} C_p + u_k C_u.$$

但し、平均着呼率  $\mu$  は 1 秒ごとの着呼率を用いている。この式の両辺を  $C_u$  で割り、さらに  $C(k, \mu, u_k)/C_u = c(k, \mu, u_k)$  とすると、

$$c(k, \mu, u_k) = \frac{k\gamma}{3600} + u_k.$$

端末が1つのセルの中で移動している時間は次のように近似される<sup>1)</sup>。

$$\bar{T}_i \simeq \frac{L}{\bar{v}} + \frac{2L\sigma_v^2}{2\bar{v}^3}.$$

交差点で停止する確率は  $P_d = r/(r+g)$ . 停止した時の待ち時間の平均は  $\bar{T}_D = r/2$ . したがって全行程での遅れは平均で

$$\bar{T}_d = \frac{r}{2} P_d = \frac{r^2}{2(r+g)}$$

以上より、端末がある1つのセルに滞在している時間の平均は

$$\bar{X}_i = (\bar{T}_i + \bar{T}_d)(1 - P_{dest}) + \bar{T}_{dest} P_{dest} = \frac{1}{u_1}$$

式(2)より

$$u_k = \frac{u_1}{N_k} = \frac{1}{\bar{X}_i \times N_k}$$

以上のパラメータを用いると、位置登録コストは次のように書き表すことができる。

$$c = \frac{\gamma k}{3600} + \frac{1}{\bar{X}_i \times N_k}$$

このコストを比較対象として数値実験を行なう。

#### 4.3.1 $\gamma$ の値の影響

まず、 $\gamma$  の値を変化させた場合のふるまいを見る。パラメータは、

- BS 間距離  $L=500\text{m}$ 。
- $\bar{v}=10.86\text{m/s}$ ,  $\sigma_v=2.19\text{m/s}$ 。
- $P_{dest}=1/400$ 。
- 前進 = 0.7, 左折 = 右折 = 後進 = 0.1。

結果を図5に示す。 $\gamma$  の値が大きくなるに従って、コストが増大することがわかる。 $\gamma$  の値が大きくなる、すなわちページングコストが総コストに占める割合が高くなるのにつれ、LAに含まれるセルの数  $k$  の増加と、総コストの増加との相関が大きくなる。

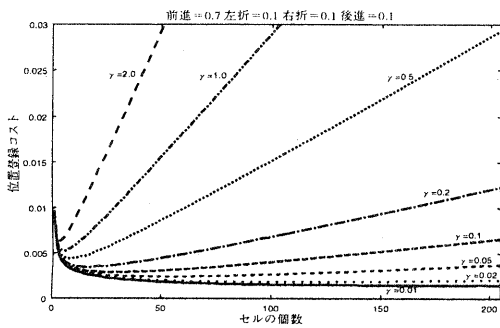


図5  $\gamma$  の値の影響

#### 4.3.2 端末の移動速度の影響

次に、貪欲戦略を用いて最適化されたLAと、固定式の正方形LAとの比較を行なう。 $\bar{v}=10.86\text{m/s}$ ,  $\sigma_v=2.19\text{m/s}$ (時速60kmの自動車を想定)、前進=0.7、左折=右折=後進=0.1、 $\gamma=0.05$ のときの比較を図6に、端末の移動パターンのみを前進=0.9、左折=右折=0.04、後進=0.02としたときの比較を図7に示す。い

ずれの場合も最適化されたLAの方がコストを低く抑えることができてはいるが、図6と図7を比べると、セルの個数が少ない(25個以下)では移動パターンが直進性を帯びるほど最適化LAの方が効果が大いだが、セルの個数が増加するほど移動パターンにばらつきがある方が効果が大いという結果になっている。これは最短経路モデルでの実験では見られなかった興味深い結果である。

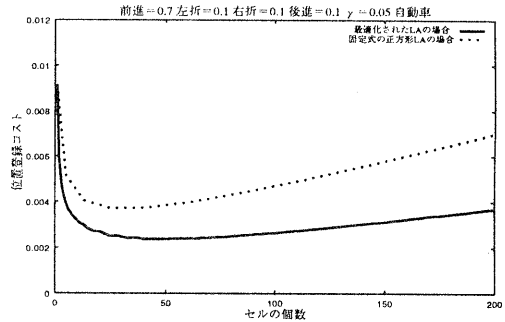


図6 端末の移動速度の影響

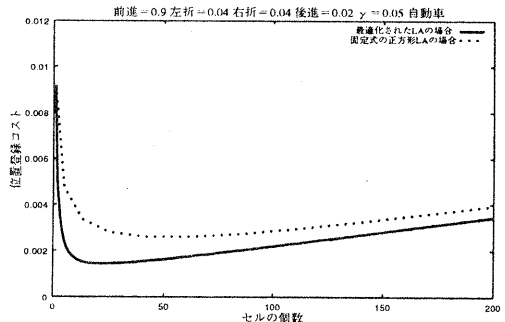


図7 端末の移動速度の影響

次に、 $\bar{v}=1.39\text{m/s}$ ,  $\sigma_v=0.28\text{m/s}$ (時速5kmの徒歩での移動を想定)、前進=0.7、左折=右折=後進=0.1、 $\gamma=0.05$ のときの比較を図8に、端末の移動パターンのみを直進=0.9、左折=右折=0.04、後進=0.02としたときの比較を図9に示す。

端末の移動速度が徒歩程度の場合でも自動車の場合と同様、セル数が少ない場合は直進性が強い方が、セル数が多い場合はばらつきが大いの方が、コストを下げる割合が大きくなっている。

自動車、徒歩ともに見られるこの結果は、まず、セル数が少ない場合、位置登録コスト全体に占めるページングコストの割合は小さいため、LUコストの割合が大きくなる。直進性が高いほど効果が大きくなるのは、最適

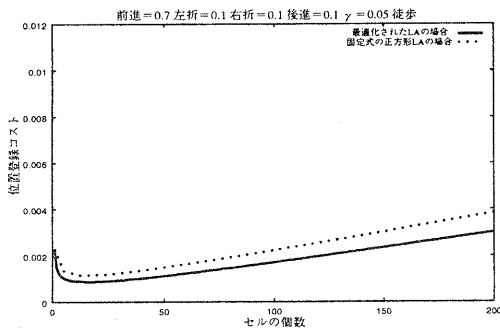


図8 端末の移動速度の影響

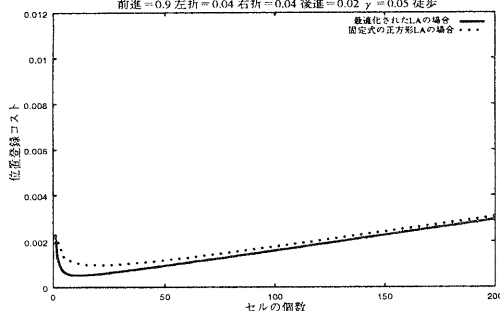


図9 端末の移動速度の影響

化LAではLUの頻度をより少なくすることができているためである。逆にセル数が多い場合、ページングコストの占める割合が大きくなり、セル数増加とともにコストは漸増する。ページングコストの増加割合はどちらのLAの場合も同じであるため、ばらつきが大きい時に最適化LAの場合の方がコスト上昇が少ないのは、LU最適化の効果が表れているためである。正方形LAは端末の移動パターンとは関係ないためLUの頻度が大きくなる。直進性が高いときにセル数が増加したとき両方で差がないのは、図3のエリア形状からわかるように、エリアが前後に長くなっているため正方形エリアでも訪問確率の大きいセルを比較的カバーできているためである。

## 5. おわりに

本研究では、端末の移動性を考慮し、LAに含まれるセルの数を一定にした上で、LUのコストを最小にするようなLAを導いた。貪欲戦略を用いて最適なLAを計算し、端末の移動モデルとして新たに考案した4方向モデルを用いた。我々は移動方向を、後進を含めた4方向に拡張した4方向モデルを考案し、移動方向が3方向に限定される最短路モデルより現実的な状況での実験を行い、固定式のLAを用いるよりも位置登録コストを低減することができた。さらに、移動モデルに4方向モデルを用いた時にマンハッタン・シティモデル上で実験を

行なった結果でも、固定式LAより優れていることが確かめられた。さらに、端末の移動速度や移動性を様々に変化させた結果、速度は大きいほどコスト低減効果が大いことがわかった。この結果は最短路モデルでも同様であるが、最短路モデルではLAに含まれるセル数が少ないほど効果が大きかったのに対し、4方向モデルでは端末の移動パターンによってはセル数が増加しても効果が得られることがわかった。もちろん実際にサービスが行なわれているLAは実験で用いた正方形のような、端末の移動確率を完全に無視したエリア形状になっているわけではなく、統計処理を施してできるだけむだのないようなエリア形状になっているが、それでも固定式であることに違いはない。今回提案した最適化方式は端末の移動パターンのデータを用いてLAを動的に割り当て、さらにむだをなくすことができる可能性を示していることに意味がある。

今後の課題として、

- この方式を用いて複数のLA間の相関について調査する。
  - 明示的に移動確率を与えるのではなく、過去の移動の履歴から移動確率を求め、これに応じてLAを割り当てるシステムを設計する。
  - 最適なLAを求める際に、貪欲戦略とは異なるアルゴリズムを用いる。具体的にはアニーリング、タブーサーチ等を用いたランダムマルチスタート探索法などが考えられる。
- などが挙げられる。

## 参考文献

- 1) Ahmed Abutaleb and Victor O.K.Li: Location update optimization in personal communication systems, *Wireless Networks*, vol.3, no.3, pp.205-216, 1997.
- 2) A.Bar-Noy, I.Kessler and M.Sidi: To update or not to update?, *ACM-Baltzer J, Wireless Networks*, vol.1, no.2, pp.175-186, 1995.
- 3) U.Madhow, M.L.Honing and K.Steiglitz: Optimization of wireless resources for personal communications, *Proceedings IEEE INFOCOM*, pp.577-584, 1994.
- 4) H.Xie, S.Tabbane and D.J.Goodman: Dynamic location area management and performance analysis, *Proceedings IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.536-539, 1993.
- 5) 中野 裕介, 李 頌, 亀田 壽夫: 移動体通信における端末の位置登録最適化, 情報処理学会研究報告, 99-MBL-9-9, pp.63-70, 1999.