

移動体通信における端末の位置登録最適化

中野 裕介[†] 李 頡^{††} 亀田 壽夫^{††}

最近の新規加入者の増大により、日本における携帯電話の累計契約数は約4,000万台に達し、移動体は通信手段として完全に一般的なものとなった。この増加傾向は今後も続くと思われるため、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、一般に二つに分けられる移動体の通信コストの一つである、現在地情報更新コストを端末の移動性を考慮して最適化した。端末の移動時のふるまいを表すモデルとして、既に提案されているモデルに加えて、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した。また、数値実験を行い、既に提案されているモデル及び我々が提案したモデルで有効性を示した。

Optimization of terminals' Location Registration in mobile communications

YUSUKE NAKANO,[†] JIE LI^{††} and HISAO KAMEDA^{††}

This paper studies the dynamic update method for Personal Communication Service (PCS) networks. The service area of a PCS network is divided into location registration (LR) areas. 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 solve the optimization problem. Based on the results of numerical experiments, we approximate the shape of the LR area by using optimal rectangular shapes. We show that the proposed approach provides a good approximation. Furthermore, we apply the approach to the Manhattan City model. A performance improvement is obtained.

1. 序 論

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、今日までのその増加のペースは目覚ましい。累計契約数は4,000万台に達し⁷⁾、この傾向はしばらく続くと見られている。携帯電話は、通信手段として完全に一般的なものになったと考えてよいだろう。

増加する一方の契約者数に対して、現在の通信方式では許容能力に限界があり、日米欧、その他世界各国で次世代の通信方式の開発が行なわれており、標準化を勝ち取ることを目標に、盛んに競争が繰り広げられている。これらは主に通話時に割り当てる周波数帯域の有効利用という点に主眼が置かれているが、その一方で通話コストの削減についても盛んに議論がなされている。実際通話料金の値下げが相次いでいるという現状がこのことを如実に物語っている。

本研究では、携帯電話やパーソナル・ハンディフォン・システム (PHS) に代表されるパーソナル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た。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。

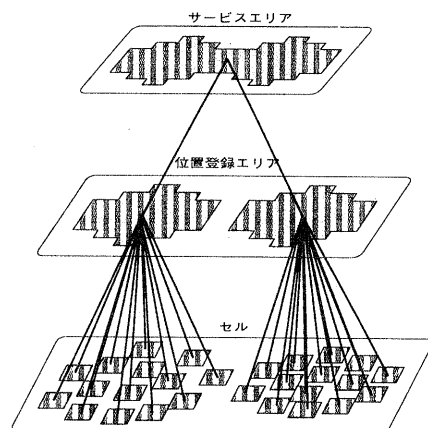


図1 端末の位置登録時のシステム構成

[†] 筑波大学大学院理工学研究所
Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba

^{††} 筑波大学電子・情報工学系
Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba

- サービスエリア
パーソナル通信サービスを提供する範囲。自動車電話・携帯電話で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)
端末の所在位置をシステム側で登録する最小単位。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。

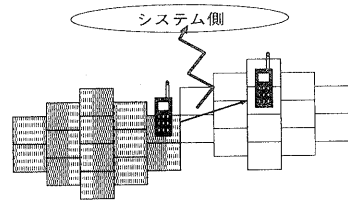
位置登録時に行なわれるオペレーションには、次の 2 種類がある。

- (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。
- (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ページング信号が送信される。

位置登録時に生じるコストは図 2 に挙げられる 2 つのオペレーションのコストに大別されるが、この両方を最小にすることはできない。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 の数を少なくするという事になる。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られるため、逆にページングのコストが増大することになる。反対に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う。現在提供されているサービスでは、利用率や端末の移動性などを総合的に考慮して、全体的に見て最適になるエリア構成が取られている^{1),2)}が、固定式の設定であり、動的に更新されるわけではない。

本研究は、ページングにかかるコストを一定にして、LU にかかるコストを最適化することが目標である。これに際し、Abutaleb³⁾らによって提案された手法を用いる。これは、あるサービスエリアの中で、LA に割り

1. 現在位置の更新 (Location Update: LU)



2. ページング

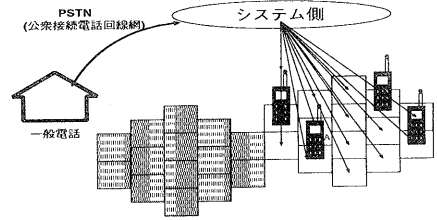


図 2 位置登録時のオペレーション

当てるセルの数を決め、端末の移動性に依って動的に LA の形状を変化させるというものである。したがって本研究は、移動体通信に関する研究における一つの到達点である、通信のパーソナル化¹⁾実現に繋がるものと考えられる。この手法を実現するためのアルゴリズムを実装し、さらに、そのアルゴリズムによって得られる最適な LA の形状を長方形を用いて近似することによって、より現実的な LA の選択ができるようにする。この手法と、LA が既に固定されているモデルとを比較して、その有効性を確認する。さらに、マンハッタン・シティモデルを用いて実験を行う。このモデルは実際の環境に近い状況を想定しているモデルである。また、このモデルにおいて端末の速度や、移動性などのパラメータを変更した場合の特性についての実験も行う。

端末の移動モデルとしては、Abutaleb らの提案する最短路モデルと、我々が考案した 4 方向モデルの両方を用いて比較・検討を行う。最短路モデルは前進、左折、右折の 3 方向への移動のみを考えているため、端末の移動性によっては現実的でない場合がある。そのため我々は後進を加えた 4 方向の移動を考えた移動モデルを考案し、両モデルで実験を行う。

2. 移動体通信ネットワークのモデル化

本章では、本実験におけるモデルの詳細を述べる。

本研究では端末の移動を、Abutaleb らによる「最短路モデル (Shortest distance model)」³⁾及び我々が考案した「4 方向モデル」を用いてモデル化した。このモデル上で端末がどの方向へ移動するかという確率を与え、ネットワーク内の全セルに対して、端末がそのセル

を訪れる確率を求めた。これをもとにして最適な位置登録エリアを決める。この際、Greedy Algorithm³⁾を用いた。このアルゴリズムは時間と周波数資源を浪費するため、長方形によってエリアを近似する方法についても検証した。

2.1 信号コスト

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^{5),6)}：

- k : LA に含まれるセルの数
- μ_k : 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 : セルごと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、信号コストは次のように与えられる。

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

序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、という手法を用いた。本実験ではページングに関するコスト ((1) 式右辺第一項) を固定する。LU に関するコスト ((1) 式右辺第二項) を最小にするに当たっては、(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³⁾。(2) 式中の u_1 は単位時間当たりを通過するセルの個数、 N_k は k 個のセルを含む LA 内で通過するセルの数の期待値を示す。 u_1 はパラメータとして与える固定値なので、本実験での信号コストの最小化とは、ある k に対する N_k を最大にすることである。

2.2 端末の移動モデル

一般にパーソナル通信システムでは、各セルに一つの基地局 (BS) が配置されており、端末と BS の間で無線、BS とシステム側は有線で通信が行なわれる。本研究では、端末は市街地を移動するものとして、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ある。

2.2.1 最短路モデル

最短路モデルでは、このようなセル構成のもとで端末が目的地までの最短路を通るものと仮定する。例えば、図3で、LU セルから D_1 セルまで移動するのに、×のついた経路は通らず、 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 5$ という経路を通る

ということである。交差点に差ししかかった端末は、この最短路モデルでは、直進・右折・左折のいずれかの行動をとることになる。

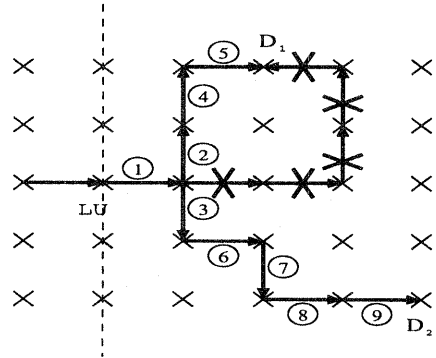


図3 最短路モデル

2.2.2 最短路モデルにおける N_k の算出

最短路モデルでは、セルを表現するのに2次元行列を用いた。あるセルを特定するために、 (i, j) の形の x-y 座標を用い、これと行列を対応させて実験を行なった。この行列を X と呼ぶことにし、各要素 x_{ij} は対応するセルが LA に含まれているか否かによってそれぞれ 1、0 の値をもつ。

(2) 式中の N_k は次の式で表される³⁾。

$$N_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (|i-\alpha| + |j-\beta| + 1) P(e(i, j)). \quad (3)$$

ここで m は行列の行数及び列数、 (α, β) は LU セルの座標を表す。 $P(e(i, j))$ は、セル (i, j) が、端末がその LA 内で最後に訪れるセルであることの確率を示す。

$$\begin{aligned} P(e(i, j)) &= x_{ij} (S(i, j+1) \bar{x}_{i, j+1} + W(i+1, j) \bar{x}_{i+1, j} \\ &\quad + N(i, j-1) \bar{x}_{i, j-1} + E(i-1, j) \bar{x}_{i-1, j}), \end{aligned} \quad (4)$$

但し、

$$\bar{x}_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{if } x_{ij} = 1, \\ 1, & \text{if } x_{ij} = 0. \end{cases}$$

また、 $S(i, j), W(i, j), E(i, j), N(i, j)$ はそれぞれ、南、西、東、北から、セル (i, j) を訪れる確率である。

2.2.3 4方向モデル

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応している。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には少々無理がある。そのため我々は直進、左折、右折以外に後退することも考慮に入れた、4方向モデルを考案し、このモデル上でも実験を行うことにする。

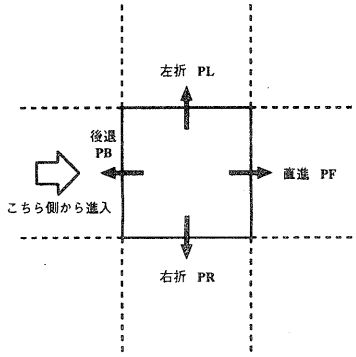


図4 4方向モデル

このモデルの場合、あるセルに移動するとき、どのような経路をとってもよいということになるため、セルの境界を横切った回数で制御を施す。

2.2.4 4方向モデルにおける N_k 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。

- $Prv_{n,i,j}$ - 後述する Greedy Algorithm の反復回数が n 回目の時のセル (i,j) への訪問確率。構造体変数の形をとり、メンバとして *east*、*west*、*south*、*north* を持つ。
 - $P(e(i,j))$ - 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。
 - $x_{i,j}$ - 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。
 - $\bar{x}_{i,j}$ - $x_{i,j}$ の反転。
 - PF, PL, PR, PB - それぞれ、直進、左折、右折、後進する確率。
- (1) Greedy Algorithm の関数からこのアルゴリズムの関数が引数 n で呼び出される
 - (2) 全ての i,j について、 $P(e(i,j))$ を 0 で初期化
 - (3) 全ての i,j について、 n 回目の訪問確率を求める

$$Prv_{n,i,j}.east = (Prv_{n-1,i+1,j}.east * PF + Prv_{n-1,i+1,j}.west * PB + Prv_{n-1,i+1,j}.south * PL + Prv_{n-1,i+1,j}.north * PR) x_{i+1,j}$$

$$Prv_{n,i,j}.west = (Prv_{n-1,i-1,j}.east * PB + Prv_{n-1,i-1,j}.west * PF + Prv_{n-1,i-1,j}.south * PR + Prv_{n-1,i-1,j}.north * PL) x_{i-1,j}$$

$$Prv_{n,i,j}.south = (Prv_{n-1,i,j-1}.east * PR + Prv_{n-1,i,j-1}.west * PL + Prv_{n-1,i,j-1}.south * PF + Prv_{n-1,i,j-1}.north * PB) x_{i,j-1}$$

$$Prv_{n,i,j}.north = (Prv_{n-1,i,j+1}.east * PL + Prv_{n-1,i,j+1}.west * PR + Prv_{n-1,i,j+1}.south * PB + Prv_{n-1,i,j+1}.north * PF) x_{i,j+1}$$

- (4) 全ての i,j について、 $P(e(i,j))$ を求める

$$P(e(i,j)) = (Prv_{n,i,j}.east * PF + Prv_{n,i,j}.west * PB + Prv_{n,i,j}.south * PL + Prv_{n,i,j}.north * PR) x_{i,j} * \bar{x}_{i-1,j}$$

$$P(e(i,j)) += (Prv_{n,i,j}.east * PB + Prv_{n,i,j}.west * PF + Prv_{n,i,j}.south * PR + Prv_{n,i,j}.north * PL) x_{i,j} * \bar{x}_{i+1,j}$$

$$P(e(i,j)) = (Prv_{n,i,j}.east * PR + Prv_{n,i,j}.west * PL + Prv_{n,i,j}.south * PF + Prv_{n,i,j}.north * PB) x_{i,j} * \bar{x}_{i,j+1}$$

$$P(e(i,j)) = (Prv_{n,i,j}.east * PL + Prv_{n,i,j}.west * PR + Prv_{n,i,j}.south * PB + Prv_{n,i,j}.north * PF) x_{i,j} * \bar{x}_{i,j-1}$$

- (5) N_k を求める

$$N_k = \sum_{i,j} (|i - \alpha| + |j - \beta| + 1) P(e(i,j))$$

- (6) 求められた N_k を返す

このように、一つ前の状態を用いて現在の状態を求め

るアルゴリズムになっている。このアルゴリズムによって、端末の4方向の移動が完全に再現できる。

3. アルゴリズム

本章では、LAを決定するために用いたアルゴリズムについて説明する。3.1では、最適なLAを決定するためのGreedy Algorithmについて述べる。3.2では、3.1で決定された最適なLAを、計算を簡略化するため、長方形を用いて近似する。

3.1 Greedy Algorithm

LAに含まれるセルの数 k に対する N_k の最大値を求めるための“Greedy Algorithm”について述べる。目標は、

$$\text{Maximize } N_k(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij}(X), \quad (5)$$

$$\text{in (5) } c_{ij}(X) = (|i - \alpha| + |j - \beta| + 1)P(e(i, j)),$$

$$\text{subject to: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m x_{ij} = k. \quad (6)$$

この解を導くためのアルゴリズムは、LAがLUセルのみを含んでいるという状態からスタートし、次にLAを取り囲むセルの中から N_k が最大になるものを新たにLAに加えていく、というループを繰り返すものである。これをセル数が予め決めておいたLAに含まれるセルの数 k になるまで繰り返す。以下にその詳細を述べる。

Greedy algorithm

- O - LAに含まれるセルの座標のリスト。アルゴリズムによって新たにLAに加えられたセルはこのリストの末尾に追加される。
- X - $m \times m$ 行列。要素として x_{ij} をもつ。
- $\max N_n(X)$ - LAに含まれるセルの個数が n である状態で、アルゴリズムによって計算された $N_n(X)$ の最大値。
- $B(X)$ - LAの周囲を取り囲んでいるセルの集合。この集合に含まれているセルについては $x_{ij} = 0$ である。

- (1) 各変数を初期化する: $n = 1; \max N_n(X) = 1; O = (\alpha, \beta); X = 0; x_{\alpha, \beta} = 1$.
- (2) $n = n + 1$.
- (3) $B(X) = \{(i, j) | x_{ij} = 0 \cap (x_{i+1, j} = 1 \cup x_{i-1, j} = 1 \cup x_{i, j+1} = 1 \cup x_{i, j-1} = 1)\}$.
- (4) $B(X)$ の要素であるセル (i, j) に対して、
 $x_{ij} = 1$;
 もし $N_n(X) > \max N_n(X)$ ならば

$$\max N_n(X) = N_n(X);$$

$$(x_{new}, y_{new}) = (i, j);$$

$$x_{ij} = 0.$$

- (5) $B(X)$ の要素である全てのセル (i, j) に対して4を行なう
- (6) (x_{new}, y_{new}) をリスト O に追加する
 $x_{x_{new}, y_{new}}$ を1にする
- (7) n が k になるまで2に戻りループを繰り返す

このアルゴリズムによって得られる最適なLAの形状は、直進する確率が小さい程、長方形に近い形状を示すことが実験によりわかっている。

4において最短路モデルと4方向モデルとで N_k の算出アルゴリズムを別々に用意して計算を行う。

Greedy Algorithmを用いると、LAの最適化が行われるが、LUが行われる度にアルゴリズムのルーチンを実行し、これをダウンロードしては効率が悪い。そのため、アルゴリズムで得られたLA形状が長方形に近いことから、得られた最適LAの形状を長方形で近似し、コストの削減を図る。

3.2 長方形を用いたLAの近似

長方形を用いたLAの近似を式で表すと次のようになる。

Maximize

$$N_k(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij}(X), \quad (7)$$

subject to:

$$\begin{aligned} x_{ij} &= 1 \quad \forall i \in \{i', \dots, i' + L - 1\}, \\ & \quad i' \in \{1, \dots, m - L + 1\}, \\ & \quad \forall j \in \{j', \dots, j' + W - 1\}, \\ & \quad j' \in \{1, \dots, m - W + 1\}, \end{aligned} \quad (8)$$

and $LW = k$,

$$c_{ij}(X) = (|i - \alpha| + |j - \beta| + 1)P(e(i, j)).$$

4. 実験、実験結果及び考察

本章では、本研究で行なった実験とその結果及び考察について述べる。初めに、Greedy Algorithm、長方形による近似、正方形モデルの3つを比較する。次に、実際に携帯電話が利用されている状況を想定したモデル上でパラメータを変化させた場合の振る舞いを調べる。なお、長方形による近似については、最短路モデルでのみ実験を行った。

4.1 各方式の性能の比較

LAに含まれるセルの数 k を与えた時の N_k の最大値をGreedy Algorithm、長方形による近似、正方形モデ

ルの3種類の方式で算出した結果を図5に示す。ここでいう正方形モデルとは、LUセルを中心とし、セル数が k であるような正方形のLAのことである。この正方形の辺の長さを l とすれば、 $l \times l = k$ となる。実際に用いられているLAも、形状こそ複雑であるが、その形状が動的に変わることはないので、この正方形モデルに比較的近いと言える。

図5から、長方形を用いた近似はGreedy Algorithmのよい近似になっていることがわかる。正方形モデルと両者を比較した場合の性能の差は顕著である。また、端末の移動性が直進性を帯びていく程、性能の差が大きく現われることがわかる。これはGreedy algorithmに対する正方形モデルの場合のみならず、長方形による近似の場合でも差が現われて来る。Greedy AlgorithmによるLAの形状は端末の移動性が直進性を帯びる程長方形とは異なって行くが、そのためであろう。

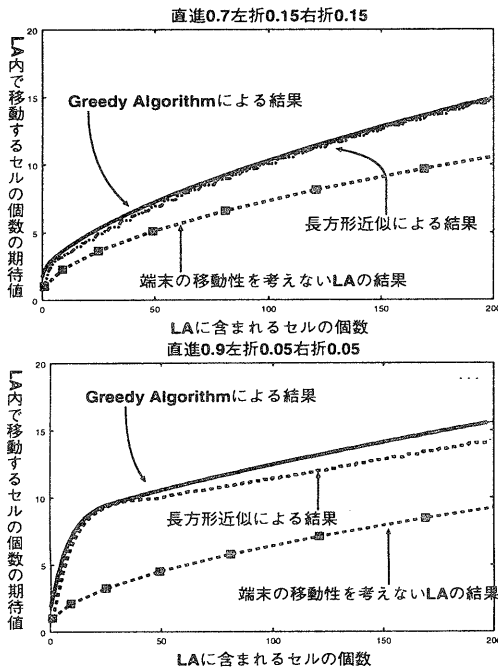


図5 各方式による N_k の最大値(最短路モデル)

図6では4方向モデルでGreedy Algorithmによって求められたLAでの N_k の値と、端末の移動性を考えないLAでの N_k の値とを比較している。4方向モデルでは移動性を考えないLAの形状は正方形ではなく、LUセルから等距離のセルをLAに含める形をとった。最短路モデルの場合との厳密な比較は出来ないがおおよその対象にはなるものと考えられる。図6からも明ら

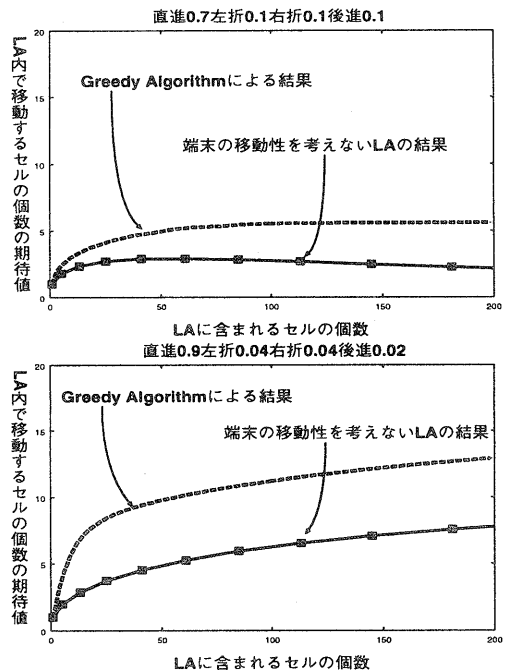


図6 各方式による N_k の最大値(4方向モデル)

かなように、4方向への移動を考えた場合でもGreedy Algorithmを用いた方が、端末の移動を考えないLAよりも N_k の値を大きくすることができることが分かった。

どちらの場合でもGreedy Algorithmを用いた場合の方が N_k の値が大きくなった。最短路モデルと比較して全体的に N_k の値は小さくなっている。これは後進の要素を含めたため、LA内に含まれるセルの数が同じでも、一度訪れたセルに再び訪れる可能性が生じたために、期待値であるところの N_k が減少したためと考えられる。したがってのべ数はさほど変わらないであろう。

4.2 マンハッタン・シティモデル上での実験

では現実に近い状況での効果は如何程であろうか。この実験では、マンハッタン・シティモデル³⁾という米国の大都市を想定したモデル上で、端末の移動速度などをパラメータとして与え、性能を調査した。以下に考察するパラメータを挙げる。今回は最短路モデルを用いた実験の結果のみを示す。

- 端末の平均速度 \bar{v} 及び標準偏差 σ_v . 単位はともに m/s.
- $\gamma = C_p / C_u$
 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. γ が大きい程ページングコストの占める割合が大きく, 小

い程 LU コストの占める割合が大きい。

- 端末がある 1 つのセルに滞在している時間の平均 \bar{X} .

以上のパラメータを用いると、正規化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。

4.2.1 γ の値による比較

まず、 γ の値を変化させた場合のふるまいを見る。パラメータは、

- $\bar{v}=10.86\text{m/s}$, $\sigma_v=2.19\text{m/s}$.
- 直進 = 0.8 左折 = 右折 = 0.1 .

結果を図 7 に示す。 γ 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。 γ 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。逆の場合では、セル数が多くなっても総コストへはそれほど影響しない。

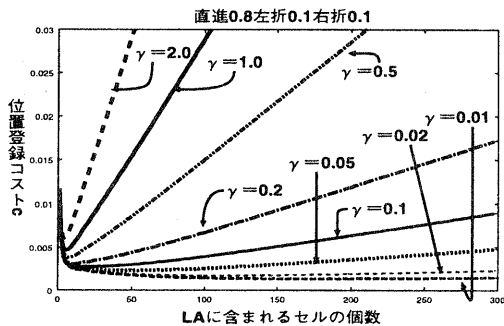


図 7 γ の値による比較

それぞれの場合での最小コストと、それを与える k 、Width、Length、 N_k を表 1 に示す。Length、Width はそれぞれ、長方形近似を行ったときの最適長方形の縦の長さ、横の長さを表す。

γ	c_{min}	k	Length	Width	N_k
0.01	0.00132	170	10	17	13.0204
0.02	0.00168	99	9	11	9.8047
0.05	0.00227	54	9	6	7.2981
0.1	0.00271	14	14	1	4.7801
0.2	0.00304	11	11	1	4.5705
0.5	0.00378	8	8	1	4.1611
1.0	0.00467	6	6	1	3.6893
2.0	0.00598	4	4	1	2.952

表 1 最小のコストを与える LA

4.2.2 長方形近似と正方形モデルの比較

次に、長方形を用いた近似によって得られる LA と、正方形の LA との比較を行なう。まず、 $\bar{v}=10.86\text{m/s}$ 、 $\sigma_v=2.19\text{m/s}$ 、直進=0.8、左折=右折=0.1、 $\gamma=0.02$ のときの比較を図 8 に示す。次に、図 8 で直進=0.6、左折=右折=0.2 とした場合を図 9 に示す。いずれの場合も長方形近似によるものの方がコストを低く抑えることができていたが、図 8 と図 9 を比べると、端末の移動性に直進性が増す程、コスト低減効果が大きいことがわかる。とくにセル数 k が少ない程顕著である。

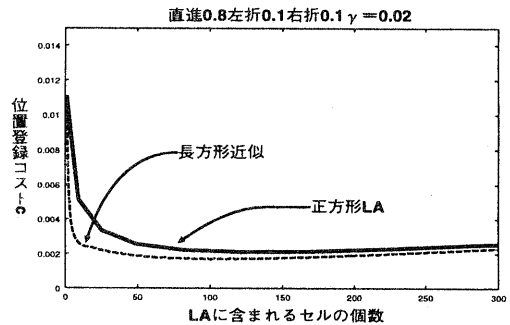


図 8 長方形近似と正方形モデルの比較

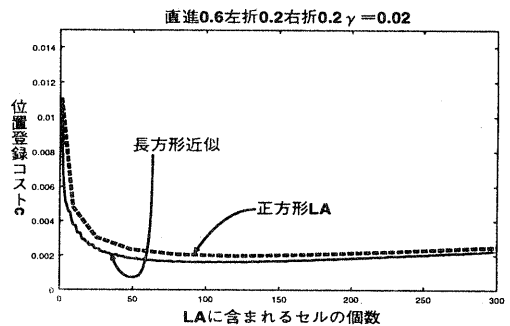


図 9 長方形近似と正方形モデルの比較

4.2.3 端末の速度の違いによる比較

次に、端末の速度によってどれほど性能に違いが生じるかを調べる。端末の移動性は各図の上部に記す。CAR の場合 $\bar{v}=10.86\text{m/s}$ 、 $\sigma_v=2.19\text{m/s}$ で、WALK の場合 $\bar{v}=1.39\text{m/s}$ 、 $\sigma_v=0.28\text{m/s}$ とした。 γ については、図 10、図 11 は 0.02、図 12 は 0.1 である。

端末の移動の速度が小さくなると、長方形近似の効果はそれほど得られないことがわかる。図 12 でとくに顕著だが、歩行者の速度では k が増加するとほとんど効果が得られない。長方形近似は自動車のように高速で移動する端末の場合特に有効であることがわかる。

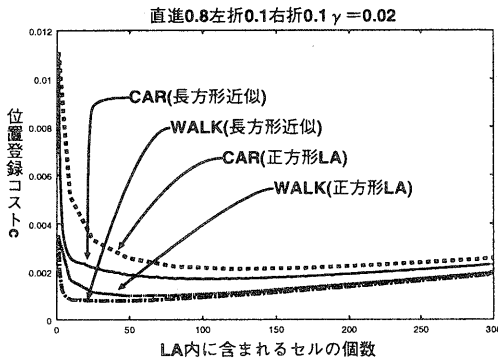


図10 端末速度の違いによる比較
直進0.6左折0.2右折0.2 $\gamma=0.02$

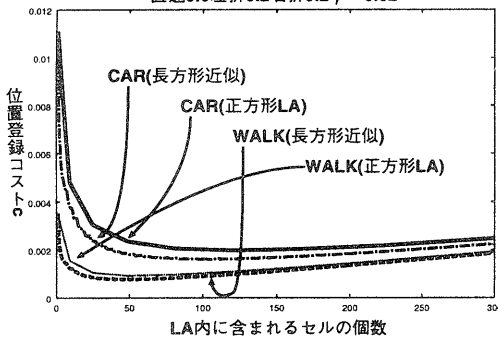


図11 端末速度の違いによる比較
直進0.8左折0.1右折0.1 $\gamma=0.1$

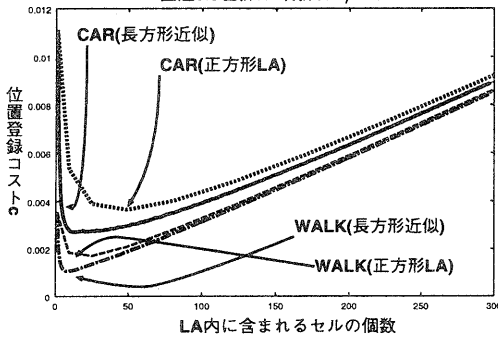


図12 端末速度の違いによる比較

5. 結 論

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。まず、Greedy Algorithmを用いて最適なLAを計算した。端末の移動モデルとしては、最短路モデルと4方向モデルを用いた。最短路モデルは端末が自動車などで高速で移動する場合には端末の移動のふるまいをよく表すモデルであるが、移動方向が3方向しかないためやや現実性に欠ける。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、より現実的な状況での実験を行った。この場合でも固定式のLAを用いるよりもよい結果が得られた。しかしGreedy Algorithmを実際に使用するとネットワーク資源を浪費するため、長方形を用いてこれを近似した。このモデルは最適なエリア形状をよく近似できており、正方形のLAと比較してコストパフォーマンスに優れることが確認された。また、この長方形モデルを実際の状況に近いケースに適用した結果でも、正方形モデル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、速度は大きい程、また、移動性は直進性を帯びる程、コスト低減効果が大きいことがわかった。また、信号コストの構成比とはあまり相関がないようである。

今後の課題として、

- 今回の一連の実験では、対象となる端末は1台であったので、複数の端末での特性について考察を行なう
- この方式を用いて複数のLA間の相関について調査する
- 4方向モデルでマンハッタン・シティモデルでの実験を行う
- 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

などが挙げられる。

参 考 文 献

- 1) 小松山 賢二 他: わかりやすいパーソナル通信技術, オーム社, 1995.
- 2) 服部 武 他: モバイルパーソナルインテリジェンス, 共立出版, 1996.
- 3) Ahmed Abutaleb and Victor O.K.Li: "Location update optimization in personal communication systems", *Wireless Networks vol.3 no.3*, pp.205-216, 1997.
- 4) A.Bar-Noy, I.Kessler and M.Sidi: "To update or not to update?", *Proceedings IEEE INFOCOM*, pp.570-576, 1994.
- 5) U.Madhow, M.L.Honing and K.Steiglitz: "Optimization of wireless resources for personal communications", *Proceedings IEEE INFOCOM*, pp.577-584, 1994.
- 6) H.Xie, S.Tabbane and D.J.Goodman: "Dynamic location area management and performance analysis", *Proceedings IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.536-539, 1993.
- 7) <http://www.mpt.go.jp/>
郵政省