

# 移動体通信における遅延情報に基づくユーザ位置管理の効率化

千 崎 大 輔<sup>†1</sup>    ゴウタム チャクラボルティ<sup>†2</sup>  
馬 淵 浩 司<sup>†2</sup>    松 原 雅 文<sup>†2</sup>

携帯電話をはじめとする移動体通信ネットワークの加入者増加により、モバイル環境における通信サービスの品質は飛躍的に向上した。それにともない、次世代移動体通信ネットワークへの移行が議論されている。ユーザ数および帯域幅確保のために基地局の通信範囲は縮小される傾向にあり、今後、移動端末の位置管理は、より複雑さを増していくと考えられる。移動端末の位置登録とページングにかかるコストのトレードオフがより顕著になるため、動的な位置管理手法が求められる。本論文では、動的な位置管理手法を用いる際に想定される、端末の移動特性による問題点を指摘し、着信応答にかかる接続遅延の履歴を利用した簡潔なアルゴリズムによって位置管理コストを削減する。具体的には日常の移動端末の特性を考慮した移動モデルおよび、random waypoint モデルを用いてシミュレーションを行う。本提案手法を用いることで、位置登録エリアを広く設定したまま接続遅延を削減し、従来手法に対し位置管理コストを最大で約 45%削減することに成功した。

## An Efficient Location Management Based on Delay Information for Mobile Communications

DAISUKE SENZAKI,<sup>†1</sup> GOUTAM CHAKRABORTY,<sup>†2</sup>  
HIROSHI MABUCHI<sup>†2</sup> and MASAFUMI MATSUHARA<sup>†2</sup>

Next generation personal communication services (PCS) will be based on high-capacity cellular communication networks. Cell size has to be reduced when the system needs to support high-throughput data transfer and high quality telephone calls. The mobile terminals' mobility (cell crossing) is frequent on the micro cellular networks. Thus location management is most important issue for the next generation PCS networks. Two basic tasks of location management, namely location update and terminal paging, is a trade-off problem. In addition, paging delay is a serious concern for quality of service. In this paper, an additional update is proposed within the distance-based location management scheme. Additional update is triggered which use the standard deviation of paging delay as a measure of the mobility of the mobile terminal. The performance evaluation of the proposed scheme is simulated using practical mobility model and random waypoint model. The proposed scheme enabled extension of the registration area as well as reducing total location management cost and paging delay, both up to a maximum of 45 percent.

### 1. はじめに

近年の、携帯電話をはじめとしたモバイル通信機器の普及により、通話や電子メールの送受信にとどまらないマルチメディアサービスが普及している。これにともない、次世代における移動通信サービスはユーザ需要の多様化から、さらなる発展が期待されている。

具体的には、IMT-Advanced で示される第 4 世代移動通信 (4G) システムによる、移動通信の高速・大容量化、異種ネットワーク間でのシームレスな接続、コアネットワークの総 IP 化などがあげられる<sup>1)</sup>。

4G システムにおける高速・広帯域の移動通信を実現するために、電波伝搬特性による減衰などに対する伝送技術および回路技術の高性能化が進められている。これにより、従来の基地局がカバーできるセルの範囲をある程度維持したままサービスを提供できると考えられる。しかし、一般にはセル半径を縮小し、基地局の数を増やすことでサービスエリアをカバーするマイクロセル化が必要であるとされており、移動時 100 Mbit/s、準静止時で 1 Gbit/s といった 4G シス

†1 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究所  
Graduate School of Software and Information Science,  
Iwate Prefectural University

†2 岩手県立大学ソフトウェア情報学部  
Faculty of Software and Information Science, Iwate  
Prefectural University

テムにおける高速通信の要求条件から、屋外においてもマイクロセル化が進んでいくと考えられる。その際に、着信制御にともなうトラフィックが増大し、無線帯域の圧迫、接続遅延による QoS の低下など、4G システムにおける要求の障害となる可能性が高い。また、4G は単なる通信の高速・大容量化にとどまらず、無線 LAN やこれまでの移動通信システムを包含したヘテロジニアスなネットワークの総体として考えられており、移動端末の位置管理にかかる複雑さはより増大すると考えられる。そのため、従来の固定的なエリア構成および移動端末に対する画一的な位置管理は、煩雑かつ効率性に欠けるおそれがある。そこで、位置登録エリアの自律的な構成<sup>2)</sup>、動的な位置管理手法が求められる<sup>3),4)</sup>。

セルラー方式における移動端末の位置管理は、位置登録 (update) およびページング (paging) の 2 種類の処理によって行われる<sup>3)</sup>。

位置登録は、端末の位置情報をデータベースに登録・更新する処理である。移動端末が基地局の通信範囲内 (セル) にある場合、一定周期で位置登録エリアの識別信号を受信している。位置登録エリアは複数のセルの集合によって構成されている。端末は、現在記憶している位置登録エリアと基地局から発信される識別信号を比較し、異なる場合は基地局を通して位置情報データベースに位置登録要求を発信する。

ページングは、移動端末に着信がある場合、データベースに登録されている位置登録エリアに含まれるすべてのセルに対し、基地局を介してポーリング信号を送信する処理である。これにより、端末間での通信が可能となる。これらの処理にともなう制御トラフィックの増大は、有限の無線周波数およびネットワーク資源の圧迫を招くため、効率的な位置管理手法が求められる。一般に、位置登録エリアに含まれるセルの数を減らした場合、移動端末の位置は比較的正確に把握されるが、位置登録が頻繁に発生する。逆に位置登録エリアに含まれるセルの数を増やした場合、位置登録要求の頻度は下がるが、着信時のページングコストが増大する。これらの問題はトレードオフの関係となっており、位置管理における課題は、両者のコストをできる限り削減することであるといえる。

動的な位置登録の手法である distance-based update は、移動端末が位置登録を行ったセルを中心に新たな位置登録エリアを設定する手法である<sup>3)</sup>。これにより、移動端末が位置登録エリアの境界を往復することによる位置登録トラフィックの増大を防ぐことが可能であるが、制御にかかるオーバーヘッドが大きいため実

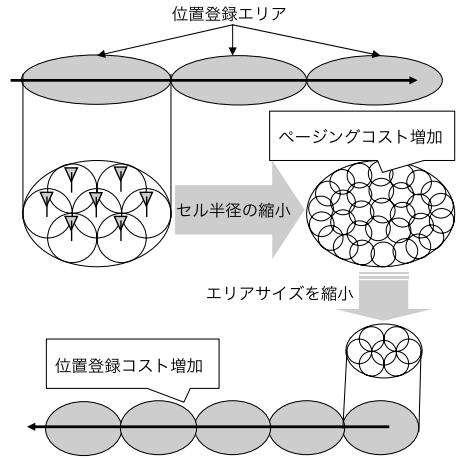


図 1 セル半径の縮小による制御コストのトレードオフ

Fig. 1 A trade-off problem of a location management cost by micro-cell.

現は難しいとされていた<sup>4)</sup>。しかし、木村ら<sup>2)</sup>によって提案されたモバイル IP 自律的位置登録エリア制御方式は、動的な位置登録手法をモバイル IP に適用したものであり、その効率性が示されている。位置登録を行った端末は、必ず位置登録エリアの中心セルに位置するという自律的位置登録手法は、distance-based update と共通の概念を持っていることから、4G システムを構成する IP ベースのネットワークでは、動的な位置管理手法が実現可能であるといえる。

しかし、セルの半径が小さくなるということは、移動端末がセルを通過する速度が上がるということであり、位置登録エリアを更新する頻度も同様に増加することになる<sup>5)</sup>。セル半径の縮小による、位置登録とページングにかかるコストのトレードオフを図 1 に示す。これは特に移動頻度の高い端末の場合に顕著であるため、位置管理においては位置登録エリアを広く設定し、ページングを効率的に行うことで全体の位置管理コストを削減する手法が有効であるといえる<sup>6)</sup>。

ページングの際には、位置登録エリア内のすべてのセルに同時にポーリング信号を送る従来の blanket polling<sup>7)</sup>ではなく、段階的に送信範囲を広げていくことにより、位置登録エリアのサイズを維持したままページングコストを削減する selective paging が有効である<sup>8)-11)</sup>。これにより、着信時の無駄な呼び出し信号を抑制することが比較的容易に可能となる。また、distance-based update と selective paging を組み合わせることにより、位置管理コストの効率的な削減が可能である。セル半径の縮小により、頻繁に移動を行うユーザや、ほとんど一定の場所から動かないユーザなどの特徴がより強く現れることから、それぞれの

ユーザに対して最適な位置管理を行うことで全体のトラフィックを抑えることが可能になるといえる。個々のユーザに着目した動的な位置管理手法として、predictive distance-based update<sup>9)</sup> や、移動パターンおよび着信パターンにより位置登録エリアを構成する研究が数多く行われている<sup>12)–15)</sup>。これらの研究では、位置の推定や移動パターンの抽出にともなう制御オーバーヘッドの大きさが課題としてあげられている。次世代移動通信ネットワークにおける動的な位置管理は、その通信の多様性やシステムの複雑さから、スケーラブルかつ導入が容易な手法が望まれる<sup>7)</sup>。システムへの負荷を避けるために、ユーザ特化型の位置管理手法では、その大部分の処理を端末側で行うべきである。その際、端末のバッテリーと処理能力を考慮したうえで、簡潔かつ計算負荷の低いアルゴリズムが必要となる。

動的な位置管理手法の性能は、ユーザの移動パターンや着信パターンに強く依存する<sup>7),16),17)</sup>。そのため、位置管理手法の評価においてユーザの移動モデルは非常に重要である。モバイルアドホックネットワークの研究分野において、多くの移動モデルが提案されているが、これらのモデルはセルラーネットワークにおいても有用であるといわれている<sup>18)</sup>。また、実環境に即したシミュレーションを行うためには、十分に現実的かつシンプルな移動モデルであることが求められる<sup>19)</sup>。セルラーネットワークにおける現実のユーザは、日々変化しながらもある一定のパターンに従って行動していると考えられる。たとえば、平日における自宅と会社間の往復などは、多くのユーザが持つ移動パターンであるといえる。このような行動パターンを表現する場合、ユーザが移動するエリアの通信トラフィック特性、交通手段、移動速度などを考慮する必要がある<sup>20)</sup>。また、確率的に移動しながらも、ある地点にとどまるような安定状態を考慮したモデル<sup>21)</sup>も求められる。

もし、動的に形成された位置登録エリアの境界付近にユーザの自宅や会社などがある場合、ページングコストと接続遅延が増大する、boundary stay problem<sup>22)</sup>が発生すると考えられる。この問題はマイクロセル化する次世代移動体通信ネットワークにおいてより深刻となる<sup>23)</sup>。そこで本論文では、boundary stay problem に対し、着信時の接続遅延を端末に保存し、移動端末自身が静止状態におけるページングの無駄を判断することで、自律的に位置登録を行う triggered update を提案する。

提案手法の有効性を示すため、会社員や学生の日常的な移動パターンを想定した office worker's mobility model を定義し、シミュレーションにより評価を行っ

た。その結果、端末への着信頻度が高い場合、従来手法と比較して位置管理コストを最大で約 45%削減することに成功した。また、提案手法のより一般的な性能を確認するため、random waypoint モデル<sup>24)</sup>を用いてシミュレーションを行った。その結果、短時間の移動と静止状態を頻繁に繰り返すユーザに対して、提案手法は十分な効果が得られなかったが、位置管理コストを従来手法とほぼ同等に抑えられることが確認できた。

## 2. ネットワークモデル

### 2.1 6 角形セル構成ネットワーク

本論文では、あるセルから移動が可能な隣接セル数を 6 とする、6 角形セル構成のネットワークを仮定して評価を行う。これは、隙間なく配置できる最も大きな正多角形が 6 角形であることと、6 角形セルが無線回線設計において一般的に用いられる形状であることに基づく。現実には、セル半径の狭小化にともないセルラーネットワークの構成はより複雑になるため、一般的な正多角形セルを想定した実験は困難である。しかし、ユーザの行動パターンに対する位置管理手法の平均的な評価を得るには、セルの形状や重なりによって発生するトラフィックの偏りなどの、不確定要素を排除することが必要となる。また、既存の位置管理手法において、実験に用いられるネットワークモデルは 4 角形または 6 角形セル構成であり、本論文の提案手法と比較を行ううえで、同様の環境を構築する必要がある。移動端末は図 2 のように、現在の滞在セルから  $(1, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(-1, 1)$ ,  $(-1, 0)$ ,  $(0, -1)$ ,  $(1, -1)$  のセルへ移動を行うことができる。各セルの中心には無線基地局があり、それぞれの基地局は有線で無線交換機およびロケーションレジスタと接続されている。

### 2.2 Distance-based Update

distance-based update は、図 3 に示されるように、移動端末が最後に位置登録を行ったセルを中心に、位

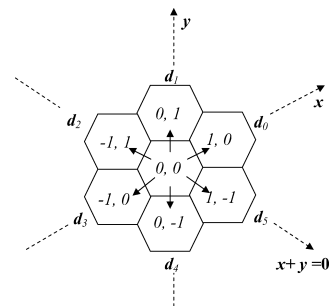


図 2 6 角形セル構成

Fig. 2 Hexagonal cellular configuration.

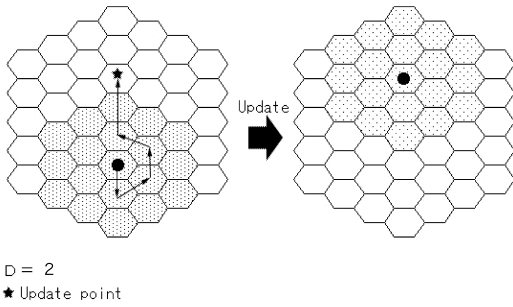


図3 Distance-based update法  
Fig. 3 Distance-based update scheme.

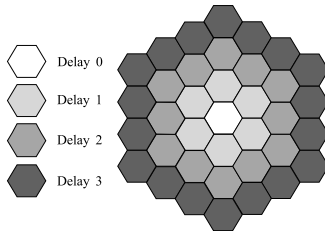


図4 Selective pagingによる呼び出しサイクル  
Fig. 4 The polling cycle with selective paging.

位置登録エリアサイズを決定するパラメータ  $d$  に基づいて位置登録エリアを構成する手法である。このとき、位置登録エリア内のセルを移動することによる位置登録は行わない。これにより、位置登録エリアを固定した場合と異なり、登録エリアの境界付近を往復することによる位置登録トラヒックの増加を避けることが可能となる。位置登録エリアに含まれるセルの数  $g(d)$  は、6角形セルラーネットワークにおいて式(1)で表される。

$$g(d) = 3d(d + 1) + 1, \quad d = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

### 2.3 Blanket-polling

位置登録エリアに含まれるすべてのセルに対し、同時にポーリング信号を送信するページング手法を blanket-polling という<sup>7)</sup>。したがって、distance-based update により設定された位置登録エリアにおける blanket-polling の呼び出しセル数は式(1)と等しい。このため、位置登録エリアを大きく設定した際にはページングにかかるトラヒックが大幅に増大することになる。また、移動端末が最後に位置登録を行ったセルから移動していない場合でも、周辺セルに対してポーリング信号を送信するため、端末の移動特性によってはリソースの無駄遣いとなる場合がある。

### 2.4 Selective Paging

selective paging は、図4に表されるように、最後に位置登録を行ったセルを中心に移動端末の応答があるまで段階的に呼び出し範囲を広げていく手法である。

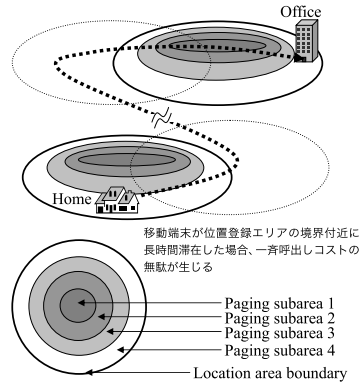


図5 端末の滞在地点が位置登録エリアの境界にある場合の問題点  
Fig. 5 Boundary stay problem.

distance-based update と併用した場合、その呼び出しサイクルは最大で  $d$  回となる(2.2節参照)。ここで、端末が応答するまでの呼び出しサイクル数  $C_d$  が、selective paging における遅延となる。このため、回線の接続に遅延が発生するが、ページングにかかるトラヒックは端末が応答する時点までに抑えられるため、blanket-polling に対して平均的に低いページングコストを保つことが可能である。

### 2.5 Boundary Stay Problem

もし、ユーザの滞在地点が位置登録エリアの境界にあるならば、ページングコストと接続遅延は大きくなる。図5にその例を示す。設定した位置登録エリアが大きく、着信回数が多いほどこの問題は深刻になる。特に移動速度の速い端末には、比較的大きな位置登録エリアが設定されると考えられる。そのような場合、端末の位置管理にかかるリソースの浪費は大きい。これを boundary stay problem と呼び、位置登録エリアに含まれるセル数が増える次世代のネットワークではこの問題が深刻になると考えられる。

現在用いられている固定的な位置管理手法では、トラヒック負荷が高いエリアの基地局を増設することで対処しているが、distance-based update を用いる場合は、端末により位置登録エリアが個別に設定されるため、従来よりトラヒックの分散が困難となる。また、有効であるとされている selective paging を用いた場合でも、boundary stay problem により、ページングコストと遅延の両方が増大してしまうおそれがある。

### 3. 提案手法

一般的なユーザの日常的な移動パターンの多くは図5の例に示されるように、移動状態と静止状態が明確であるため、boundary stay problem が発生しやす

いと考えられる .

そこで、端末が遅延の大きいセルにとどまり続けている場合に、位置登録を強制的に行い、端末の滞在するセルに位置登録エリアの中心を設定し直す triggered update を提案する . これにより、個々の移動端末ごとに設定された位置登録エリアの境界にいることによるページングコストの累積的な増加を回避することが可能となる .

triggered update を実行するタイミングは、各端末の移動と着信に依存し、一様に定めることは難しい . たとえば一定時間ごとに強制的に位置登録を行うのではトラヒックの面で問題がある . 端末は、最後に位置登録を行ったセルと、ポーリング信号に回答したセルの位置関係から得られる、接続遅延情報を端末に記録することで、以下の簡潔なルールにより triggered update を実行する .

$$\begin{aligned} &\text{if} && ((\sigma == 0) \wedge (\delta_\nu \geq 1)), \\ &\text{then} && \text{triggered-update.} \end{aligned} \tag{2}$$

$\sigma$  は、着信にかかった遅延の履歴  $\nu$  における現在までの遅延の標準偏差を表す .  $\delta_\nu$  は最後の着信時にかかった遅延を示す . つまり、前回の呼び出し遅延が 1 以上かつ、 $\nu$  のばらつきがなくなった時点で、端末が強制的に位置登録を行う .

提案手法における着信遅延の定義は、selective paging における呼び出しサイクルの着信時のカウント値  $C_d$  とする . つまり、 $C_d$  が 3 の場合は着信遅延が 3 という実数として扱われる . これにより、細かな実時間の遅延を離散化し、提案手法のルールにあてはめて扱うことが可能となる .

図 6 は、パラメータ  $\nu$  を 3 に設定した際の例を表している . 移動端末が、最後に位置登録を行ったセルから、selective paging における呼び出しサイクルが 2 となるセルに移動するまでの間の着信遅延を記録する . 移動端末は、過去 3 回の着信遅延の標準偏差を計算し、条件がルールと合致した場合に triggered update による位置登録要求を送信する .

移動端末が着信遅延情報を取得するまでのシーケンスを図 7 に示す . 移動端末 MS#1 から MS#2 に対して発信要求が送信されると、コアネットワーク内のロケーションレジスタに保存された位置登録情報から、該当する位置登録エリアに対してページング要求が発生する . 提案手法は、無線アクセスネットワーク (RAN) 内でページング処理を行う、無線制御装置 (RNC) の機能を一部拡張することで、selective paging における着信遅延のカウント値を含めた信号を移

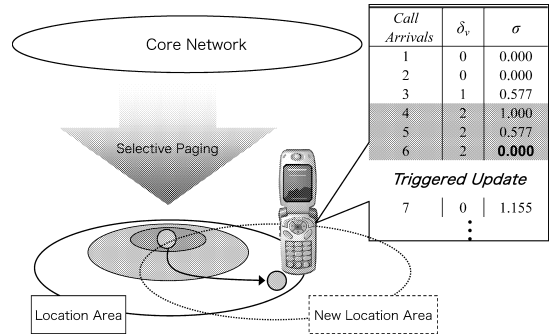


図 6 Triggered Update の実行 ( $\nu = 3$  の場合)  
Fig. 6 An example of triggered update scheme (parameter  $\nu = 3$ ).

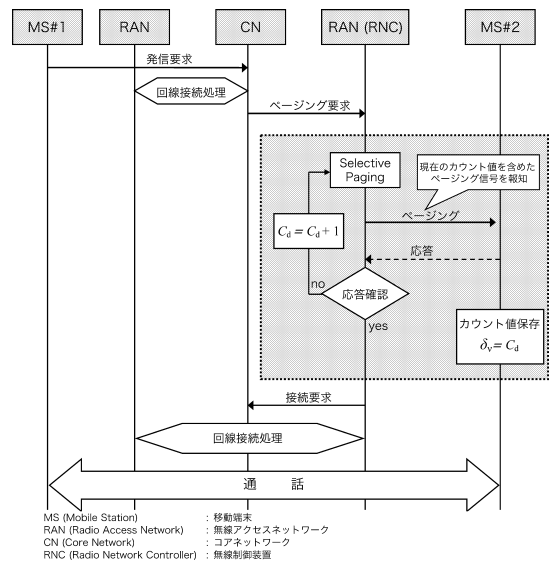


図 7 ページング遅延情報取得までのシーケンス  
Fig. 7 A sequence until acquiring paging delay information.

動端末に報知する . 移動端末は基地局からのページングに回答するとともに、受信したカウント値を端末に保存し、triggered update の実行条件を判定する .

提案手法は、着信ごとの接続遅延情報のみを端末に保存し、それまでの遅延時間の偏差を計算するだけで位置登録の必要性を判断する、簡潔かつ導入が容易なアルゴリズムである . 無線アクセスネットワーク内の制御機構に、selective paging の呼び出しサイクル数をカウントする機能を追加することで、コアネットワークに負荷をかけずに提案手法を実現することが可能であると考えられる . また、新たな位置登録の条件を判定するのは移動端末自身であり、システム側の制御コストは従来の位置登録と変わらず、提案手法を導入の際の制御オーバーヘッドは発生しないといえる .

### 4. Office Worker's Mobility Model

#### 4.1 概要

現実的なユーザの移動パターンを考慮した場合、多くの移動端末は1日のうちでいくつかの滞在地点を持つはずである。自宅やオフィス、学校などでは、端末は長時間その場から移動しないことが多い。

本論文では、日常生活において一般的であると考えられる移動パターンを想定したモデルとして、office worker's mobility model を定義する。boundary stay problem が発生しやすと考えられる提案移動モデルを用いて、triggered update の性能を評価する。

提案モデルの概要を図8に示す。提案モデルはタイムスロットに基づき、指定したタイムスロットの上限まで、現在のセル、移動方向、セル滞在時間を出力する。本論文では、1タイムスロットを1秒と想定し、24時間と同等である86,400スロットを  $t_{max}$  としている。出力の過程は4.2~4.4節にあげる3つのステップに分けられる。

#### 4.2 Scenario making ステップ

図8に示された各種パラメータの初期化とともに、長時間の滞在地点となる、residence location (RL) における滞在時間や RL 間の経路数を指定する。RL の数を表すパラメータを  $\Gamma_n = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $n > 0$  とし、各 RL における滞在時間を  $\Gamma_t = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n\}$ ,  $n > 0$  とする。ホームポジションとなる  $\Gamma_1$  の位置は任意もしくは一様乱数により定められ、各 RL の位置は  $\Gamma_1$  と direction decision ステップ(4.4節)に依存する。RL 間をつなぐ経路の本数  $\rho$  と移動順および往路と復路は任意に指定される。このとき RL 間の接続が可能な経路の最大数  $P$  は  $\Gamma_n(\Gamma_n - 1)$  となり、RL

間の接続は  $\rho \times \rho$  の二次元行列により表される。

#### 4.3 Cell dwell time generation ステップ

ここでは、割り当てられた各経路の移動時間に対し、確率分布に基づいてセル滞在時間が決定される。多くの移動モデルでは各セルにおける滞在時間の分布を、独立同分布もしくは指数分布に基づいて決定しているが、実測データに基づいた研究により、セルサイズが小さい場合にセル滞在時間は対数正規分布でよく近似できる<sup>25)</sup>とされているため、提案モデルでは対数正規分布乱数によりセル滞在時間を決定する。ここで移動端末の平均時速を表すパラメータ  $v_m$  と標準偏差を表す  $v_\sigma$  から、正規分布の平均  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  に変換する。

$$\sigma = \sqrt{\log\left(\frac{v_\sigma^2}{v_m^2} + 1\right)}. \tag{3}$$

$$\mu = \log(v_m) - \frac{\sigma}{2}. \tag{4}$$

式(3)、(4)により得られたパラメータ  $\mu$  と  $\sigma$  を用いた正規分布乱数の指数をとると、乱数  $v_x$  は式(5)の確率密度関数に従う、任意の平均と標準偏差を持つ対数正規分布乱数となる。

$$f(v_x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma v_x} \exp\left(-\frac{(\log v_x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) & x > 0, \\ 0 & x \leq 0. \end{cases} \tag{5}$$

各セルにおける平均時速  $v_x$  とセル半径  $r$  から各セルの通過時間  $t_{m_i}$  が得られる。

$$T_m = \sum t_{m_{(1,2,\dots,\infty)}} \quad T_m \leq t_{max} - \Gamma_t. \tag{6}$$

総セル通過時間を  $T_m$  とすると、端末の移動は式(6)を満たす間繰り返される。ここまでのステップにより、RL とその滞在時間、RL 間の移動順、セル間の移動回数とその通過時間が決定される。

#### 4.4 Direction decision ステップ

このステップで、端末の移動方向は cell dwell time generation ステップにより求められたセル移動回数だけ出力される。

$\Gamma_1$  をホームポジションとし、各 RL 間の具体的な移動経路が確率的に出力される。出力は ISS process を用いる<sup>17)</sup>。それぞれの移動パターンは6つの移動方向を持つ6状態のマルコフモデルによって表されている。

あるセルから移動可能な方向を  $d_0, d_1, \dots, d_5$  としたとき、それぞれの方向へ移動する確率は  $p_0, p_1, \dots, p_5$  と表される。この確率は6種類の移動方向に対し、 $6 \times 6$

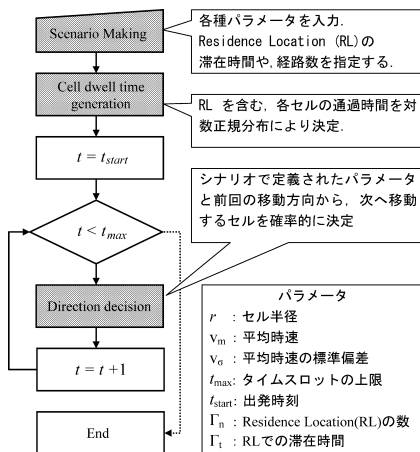


図8 移動モデル出力の流れ

Fig. 8 A flow of the office worker's mobility model.

の循環行列で表される  $d_0$  の状態から  $d_1$  へ遷移する確率は  $p_1$  となるが、 $d_1$  の状態から再び  $d_1$  へ遷移する確率は、行列の要素がシフトしているため  $p_0$  となる。つまり、 $p_0$  は前回と同じ方向に移動する確率を表し、 $p_0$  が 1 の場合、移動する方向はつねに一定となる。

3 種類の移動パターンの持つ特徴と、確率  $p$  はそれぞれ下記のとおりである。

**directional**  $p = \{0.8, 0.025, 0.025, 0.1, 0.25, 0.025\}$ .

前に移動した方向へ移動する確率が最も高くなる、直線的な移動を表現するパターン。

**t-spin**  $p = \{0, 0, 0, 0.1, 0.8, 0.1\}$ .

移動の軌跡が三角形を描くように方向を折り返すパターン。

**h-spin**  $p = \{0.1, 0.8, 0.1, 0, 0, 0\}$ .

六角形を描くように大きく回り道をするような移動を表現するパターン。

Wu ら<sup>17)</sup> はそれぞれのパターンを独立に評価しているが、現実には地形や道路などの影響により、単一のパターンで移動する状況は考えにくい。また、特徴的な ISS process は 6 種類紹介されているが、上記以外のパターンはランダムや引き返しの性質を持つものであり、上記の 3 種類で十分に目的地を持った移動を表現できると判断し、これらのパターンを本移動モデルに採用した。本論文においてこれら 3 種類のパターンは移動ごとに確率に基づいて変更される。パターン変更の確率  $p_d, p_t, p_h$  はそれぞれ 0.8, 0.1, 0.1 に設定している。

以上のステップを  $t_{max}$  まで繰り返すことにより、各タイムスロットにおける移動端末の振舞いを出力する。図 9 はそのプロセスのイメージである。RL である  $\Gamma_n$  に滞在している間は移動は行われず、滞在時間が過ぎると 3 種類のマルコフモデルを切り替えながらセル間を移動する。また、scenario making ステップで設定した復路は、direction decide ステップで出力された往路と同じ経路を戻るようになっている。

### 5. 位置管理コスト

1 端末あたりの位置管理コストは、位置登録コスト、ページングコストの 2 種類に分類され、それぞれのコストの和が総位置管理コスト（トータルコスト）となる。位置登録コスト  $C_u$  は位置登録の回数  $N_{lu}$  と位置登録 1 回あたりのコストに依存し、式 (7) で与えられる。

$$C_u = N_{lu}U. \tag{7}$$

ページングコストは、着信回数  $c$  ごとに、ポーリン

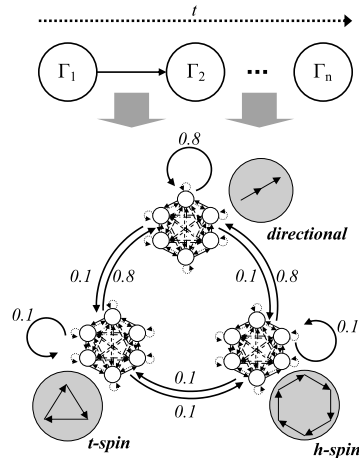


図 9 移動方向出力の状態遷移

Fig. 9 State transition of mobile direction output by Markov chain.

グ信号を送信した基地局数の総和と、1 セルあたりの送信コスト  $G$  に依存する。

blanket polling のページングコストは式 (8) で与えられる。

$$C_p = G \sum_{c=0}^{\infty} g(d). \tag{8}$$

selective paging におけるページングは、呼び出しサイクルが  $d$  になるまで繰り返されるため、ある呼び出しサイクル  $j$  におけるページングコスト  $g(j)$  は式 (9) で表される。

$$g(j) = \begin{cases} 1 & j = 0, \\ 6j & j \leq d. \end{cases} \tag{9}$$

ページングコストの合計は、端末が応答するまでのコストの総和と 1 セルごとの送信コスト  $G$  の積から、式 (10) で与えられる。

$$C_p = G \sum_{c=0}^{\infty} \sum_{j=0}^d g(j). \tag{10}$$

また、本論文におけるページングにかかる遅延  $C_d$  は、端末が応答した時点での呼び出しサイクルに等しい。

$$C_t = C_u + C_p. \tag{11}$$

トータルコスト  $C_t$  は位置登録コストとページングコストの和であるので、単純に式 (11) で与えられる。位置登録 1 回あたりのコスト  $U$  と 1 セルあたりの呼び出しコスト  $G$  は、端末の性能、バッテリー、システムの周波数帯域、データベースの構造など複数の要因に強く依存するため、これらのコストを定量化すること

表 1 シミュレーション条件  
Table 1 Simulation conditions.

パラメータ	値
ネットワーク範囲	500 × 500 (cells)
移動端末数	10,000
試行回数	各移動端末につき 10 (日)
セル半径 ( $r$ )	200, 500 (m)
滞在地点 (RL) 数 ( $\Gamma_n$ )	2
移動速度 ( $v$ )	平均が 20 km/h, 分散 5.0 の対数正規分布乱数
タイムスロット ( $t$ )	86,400 (秒)
着信回数 ( $\lambda_c$ )	平均 5, 10, 30 (回) (ポアソン分布乱数)
位置登録エリア範囲 ( $d$ )	0~9
遅延履歴の記憶範囲 ( $\nu$ )	1~10 (Triggered update 時のみ)

は不可能である<sup>9)</sup>。本論文では Liang ら<sup>9)</sup>, Wu ら<sup>17)</sup>の研究を参考に、固定値として  $U = 10, G = 1$  を与える。

### 6. シミュレーション

本論文では、ある場所からある場所へと、毎日ほぼ同じ経路をたどり移動状態と静止状態を繰り返す、一般的な学生やサラリーマンなどを想定し、静止状態での無駄な制御トラフィックを削減することを目的としている。そのため、office worker's mobility model により出力された移動パターンを、仮想のセルラーネットワーク上でトレースすることにより提案手法の性能を確かめる。

シミュレーション条件を表 1 に示す。本シミュレーションでは、セル半径を 4G における要求である半径 500m のセルと、さらにセルが高密度化する状況を想定し半径 200m の 2 種類の環境で評価を行った。実際の基地局の配置では、それぞれのセルの通信半径はすべて同じになることはないが、本シミュレーションではすべてのセルが同じ半径であるものとしている。

各端末の移動速度は、office worker's mobility model のパラメータ  $v_m$  および  $v_\sigma$  によって決定される。本シミュレーションでは、 $v_m = 20, v_\sigma = 5.0$  と設定した。これにより端末の移動速度は、都市部におけるユーザの歩行から公共交通機関、マイカーの利用を考慮した、時速が平均で 20 km/h, 分散が 5.0 となる対数正規分布に基づく。

移動端末が長時間滞在する地点数  $\Gamma_n$  は、自宅とオフィスを想定して 2 に設定している。移動端末は毎日それぞれのホームポジションからある滞在地点間を往復する。 $\Gamma_n$  に対する滞在時間は  $\gamma_1$  が 12 時間、 $\gamma_2$  が 8 時間、 $\Gamma_1$  からの出発時刻は 25200 (AM 7:00) に設定しており、それぞれの値に誤差として  $\pm 10$  分

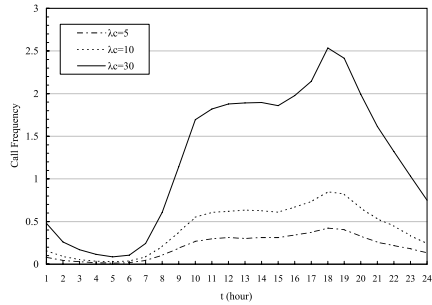


図 10 時間帯別着信回数  
Fig. 10 I/C call frequency per hour.

表 2 シミュレーションに用いる位置管理手法  
Table 2 Location management schemes.

	従来手法	提案手法
位置登録	distance-based update	distance-based + triggered update
ページング	blanket polling または selective paging	selective paging

のガウスノイズを与えている。また、各端末に対する 1 日の平均着信回数  $\lambda_c$  は、5, 10, 30 回の条件を設定している。この条件から、着信頻度の異なる端末に対する提案手法の効果を評価する。着信の確率はポアソン分布に基づくが、その確率は時間帯により変動する。各時間における着信頻度を図 10 に示す。これは、ポアソン分布のパラメータを時間ごとに変化させることで表現している。各時間におけるパラメータは統計データ<sup>26)</sup> から得られた時間帯別通信回数から算出している。

本論文における提案手法と従来手法の位置づけを表 2 に示し、それぞれにおいてシミュレーションを行う。

### 7. シミュレーション結果および考察

#### 7.1 最適なパラメータ

本提案手法での最適なパラメータを求めるために、distance-based update で最適となる位置登録エリアサイズ  $d_{opt}$  を求めた。ページング手法には selective paging を使い、 $d$  に対するトータルコストの値から、コストが最小となる  $d$  を  $d_{opt}$  とする。着信回数およびセル半径に対する  $d_{opt}$  の値を表 3 に示す。表 3 から、 $d_{opt}$  の値は着信回数が増えるほど小さくなり、セル半径が小さくなるほど大きくなる傾向にあることを確認した。これは、トータルコストに占める位置登録コストとページングコストの割合が着信とセルの通過頻度に影響を受けているためである。



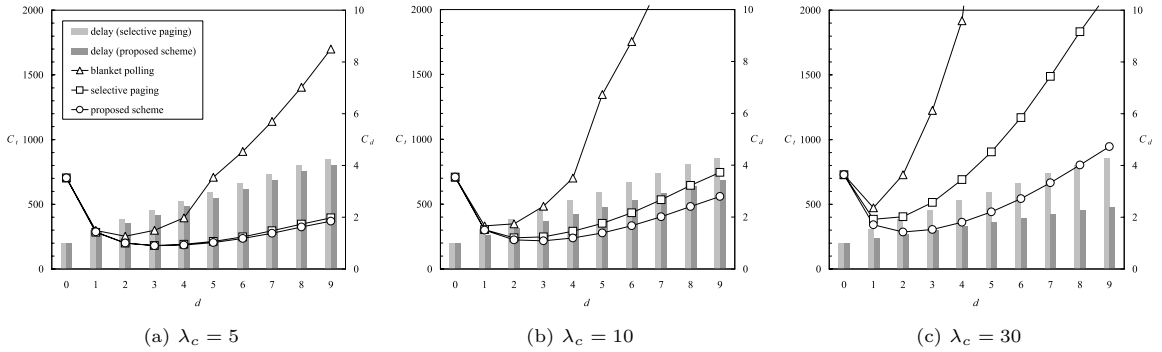


図 11 ページング手法によるトータルコストの変化と接続遅延の推移 ( $r = 500$ )

Fig. 11 Threshold distance vs. total cost and paging delay ( $r = 500$ ).

表 3 最適位置登録エリアサイズ  
Table 3 Optimum threshold distance.

$\lambda_c$	$r = 500$	$r = 200$
5	3	4
10	2	3
30	1	2

次に、本提案手法である triggered update における最適な遅延履歴パラメータ  $\nu_{opt}$  を求めるために、位置登録エリアサイズを  $d_{opt}$  に固定した状態で、 $\nu$  の値に対する遅延を求めた。その結果、どの条件においても  $\nu$  の値が 2 の場合に遅延が最も少なくなることから、 $\nu_{opt} = 2$  となる。したがって、比較的早い段階で強制的に位置登録をやり直したほうが効果的であると考えられるが、このパラメータはセル半径や着信頻度よりも、端末の移動パターンに大きく影響を受けると考えられる。office worker's mobility model では、端末の移動状態と静止状態の区別が明確であるために、早期に位置登録を行ったほうが良い結果となっている。しかし、比較的短時間の滞在地点を複数持つ場合や、移動速度が頻繁に変動するような移動パターンを持つ端末では、 $\nu$  の値を小さく設定しすぎると無駄な位置登録を行ってしまう可能性が高いため、このパラメータは端末の移動パターンによって考慮されるべきである。

## 7.2 本提案手法と既存手法の比較

セル半径 500 m, 着信頻度  $\lambda_c = 5, 10, 30$  の場合の、各手法におけるトータルコストの平均と接続遅延の推移を図 11 に示す。

$d$  を大きく設定した場合、blanket polling はコストが飛躍的に増加しているが、提案手法と selective paging ではコストの増加が緩やかになっている。これらの結果から、提案手法と selective paging はトータルコストの大幅な削減が可能であるといえる。提案

手法は着信回数が少ない場合には selective paging とほぼ同等の性能だが、着信頻度が増すごとに selective paging との差が大きくなっているのが分かる。また、呼出遅延も大幅に減少している。これは、従来手法がページングの際に、位置登録エリアにおける端末の位置を考慮しないため、boundary stay problem によるページングにかかるリソースの浪費が発生していたためであると考えられる。

## 7.3 最適パラメータ設定時のトータルコストの比較

各パラメータを  $d_{opt}, \nu_{opt}$  とし、すべて最適な状態でトータルコストを比較したものを図 12 に示す。また、同時に blanket polling に対する提案手法と selective paging のトータルコスト削減率を示している。着信頻度の増加に対し、selective paging はコスト削減率が低下しているが、提案手法では逆に増加しており、その傾向はセル半径が小さくなるとより大きくなっている。また、図 12 の (b) から、 $\lambda = 30$  の場合に提案手法が、blanket polling に対して 45% のコスト削減率を示しているが、これは同時に distance-based update のみで位置登録を行った場合に対して selective paging の性能が 20 ポイント以上向上していることを表している。これらの結果は、着信頻度が上がると性能が低下する selective paging の欠点を、triggered update を導入することによって補っていることを示している。表 4 にそれぞれのトータルコストと  $d_{opt}$  の値を示す。

表 4 から、提案手法は selective paging より広い位置登録エリアを設定しながらもトータルコストを低く保っていることが分かる。これは、端末自身がページングの無駄を判断し位置登録を行うことで、selective paging の範囲を狭めることができているためである。これにより、ページングコストが大幅に削減され、従来よりも位置登録エリアを広く設定してもトータルコ

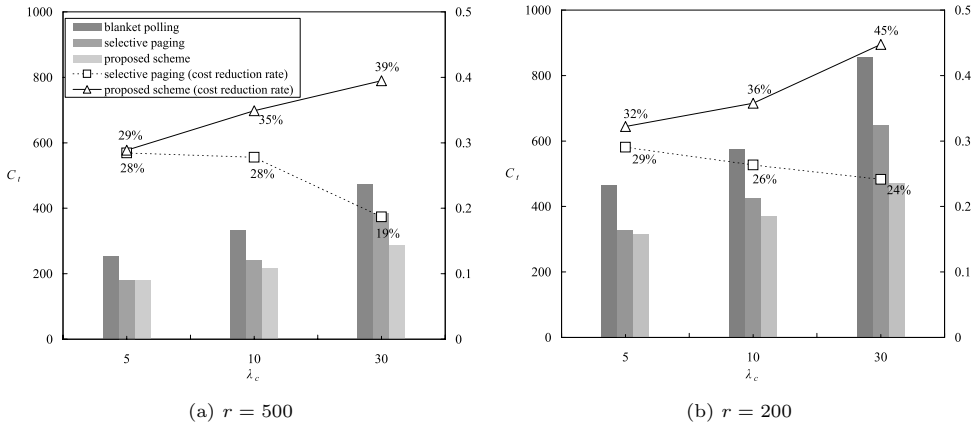


図 12 着信回数によるトータルコスト削減率の変化 ( $D_{opt}, \nu_{opt}$ )  
Fig. 12  $\lambda_c$  vs. total cost.

表 4 各手法におけるトータルコストと最適位置登録エリア

Table 4 Total cost and optimum threshold distance for different paging schemes.

(a) $r = 500$			
$\lambda_c$	blanket	selective	proposed
5	253.175 (2)	181.124 (3)	180.090 (3)
10	332.896 (1)	240.355 (2)	216.688 (3)
30	473.060 (1)	384.623 (1)	286.258 (2)

(b) $r = 200$			
$\lambda_c$	blanket	selective	proposed
5	464.032 (3)	329.212 (4)	314.586 (5)
10	576.920 (2)	424.993 (3)	370.524 (4)
30	855.324 (1)	648.746 (2)	472.421 (3)

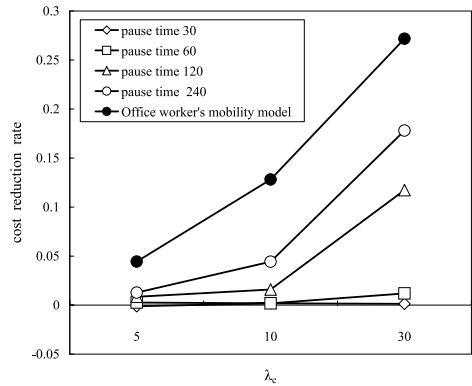


図 13 Distance-based update と selective paging を併用した場合に対する提案手法のコスト削減率  
Fig. 13 The cost reduction rate of proposal scheme.

ストの増加が抑えられている。

## 8. Random waypoint モデルを用いた位置管理手法の評価

### 8.1 概要

ユーザの日常的な移動を想定した office worker's mobility model において、提案手法は非常に効果的であることが分かった。しかしながら、現実にはこのようなモデルにあてはまらない行動パターンを持つユーザも多数存在すると考えられる。たとえば、営業回りのサラリーマンや配送業者などは、滞在時間が短いのにセル間の移動頻度が非常に高い。このようなユーザの場合、提案手法が必ずしも有効には働かない可能性がある。そこで、モバイルアドホックネットワークにおける一般的なモビリティモデルである、random waypoint モデルを、本論文のネットワークモデルに適用し、提案手法の評価を行った。

random waypoint モデルのパラメータである pause time は、30, 60, 120, 240 (min) に設定している。

半径 200 m のネットワーク内で、それぞれの pause time に設定した場合のトータルコストを評価する。その他のパラメータは office worker's mobility model でのシミュレーション条件と同様とする。

### 8.2 結果と考察

selective paging を用いた従来手法に対する、提案手法のトータルコスト削減率を図 13 に示す。

このグラフから、pause time が長くなるほど、着信頻度に対するコスト削減率の推移が office worker's mobility model の結果に近づいていることが分かる。これは、ある地点における滞在時間が長くなるほど、triggered update の発生する確率が高くなることから、着信頻度が高くなるに従い既存手法に対するコスト削減率が上がっていくためであると考えられる。逆に、pause time が短い場合は、コスト削減率はほとんど上昇せず、着信頻度が低い場合にはわずかにコストが増加する結果となった。しかし、pause time が 30,

表 5 Random waypoint モデルにおける最適パラメータと提案手法のコスト削減率  
Table 5 The optimum parameters and the cost reduction rate on the random waypoint model.

pause	$\lambda_c = 5$			$\lambda_c = 10$			$\lambda_c = 30$		
	$d_{opt}$	$\nu_{opt}$	コスト削減率	$d_{opt}$	$\nu_{opt}$	コスト削減率	$d_{opt}$	$\nu_{opt}$	コスト削減率
30	7	5	-0.001	5	6	0.002	5	5	0.001
60	6	5	0.003	5	5	0.002	3	2	0.012
120	5	4	0.009	4	2	0.016	3	2	0.117
240	4	2	0.013	3	2	0.044	3	2	0.178

$\lambda_c$  が 5 の場合に  $-0.1\%$  程度の性能悪化であり、提案手法が既存手法と比較して著しく悪い結果とはなっていない。これは、pause time が短い場合は、セル間の移動頻度が高いために、triggered update の実行条件が満たされることがほとんどないためであるといえる。この傾向から、pause time がゼロとなる random walk model<sup>18)</sup> においても同様の結果がいえると考えられる。これらの結果から、提案手法は office worker's mobility model のような、ステレオタイプの行動パターンを持つユーザ以外にも、既存手法と比較して性能が悪化する可能性が低いということがいえる。

それぞれの条件における最適パラメータ  $d_{opt}$ 、 $\nu_{opt}$  およびコスト削減率を表 5 に示す。表 5 から、pause time が長く、着信頻度が高いほど、 $d_{opt}$  および  $\nu_{opt}$  の値が小さいことが分かる。

pause time が長いユーザの場合、移動の方向はランダムであっても、その性質は office worker's mobility model と同様であるといえる。その場合、相対的に移動頻度が低くなることから、 $d_{opt}$  の値は小さくなる。また、滞在セルから移動する確率が低くなることで、boundary stay problem が発生した場合のコスト増加が大きくなるため、 $\nu_{opt}$  の値も必然的に小さくなっていく。一般的なユーザを想定した場合、ユーザは 1 日のうちで長い pause time となる滞在セルを、少なくとも 1 つは持っていると考えられる。そのため、 $\nu$  の値はあらかじめ小さく設定しておくことで、boundary stay problem を回避することが可能であると考えられる。

しかし、より個々の振舞いに最適化された位置管理のためには、それぞれのユーザの現在の状況によって最適なパラメータを設定する必要がある。移動頻度や着信頻度が非常に高い、あるいは低い場合などの、変化する状況に応じて  $\nu$  の値を端末内で更新するアルゴリズムを追加することで、理想的な位置管理コストの削減が行えると考えられる。

## 9. おわりに

本論文では、次世代移動通信システムを視野に入れ

た、マイクロセル構成のネットワークについて、現実的なユーザの振舞いから想定される boundary stay problem と、効率的な位置管理手法の必要性について述べた。次世代移動通信システムでは、動的かつ導入が容易な位置管理手法が求められるため、ページング時の接続遅延情報を利用した、簡潔なアルゴリズムである triggered update を提案した。

提案手法の有効性を示すため、日常的な端末の行動パターンを考慮した office worker's mobility model を定義し、シミュレーションによる評価を行った。シミュレーションの結果、提案手法を用いることで着信時の接続遅延を減少させ、blanket polling をページング手法に用いた場合と比較して、最大で 45% のトータルコスト削減率を得ることができた。また、想定しない行動パターンを持つ移動端末に対する提案手法の性能を確認するため、random waypoint モデルを用い、異なる pause time を設定しシミュレーションを行った。その結果、短い pause time に設定した場合の端末に対し提案手法を適用した場合、selective paging を用いた従来手法と比較して性能の向上は見られなかったが、著しく性能が悪化する結果とはならなかった。これらの結果から、個々の振舞いに着目した端末主導による動的な位置管理手法の有効性を示すことができた。

今後は、リアルタイムで変化する端末の移動および着信特性に対し、動的に最適なパラメータ値を設定するアルゴリズムの検討が課題となる。また、端末で取得可能な情報から得られるユーザの特徴を利用した、導入の容易な動的な位置管理手法について研究を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 正村達郎 (編): 移動体通信, chapter5, pp.293-396, 丸善 (2006).
- 2) 木村 徹, 小野夏子, 藤井輝也: 位置登録エリアを考慮したモバイル IP の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, No.22, pp.67-72 (2002).
- 3) Bar-Noy, A., Kessler, I. and Sidi, M.: Mobile users: To update or not to update?, *ACM Wireless Networks*, Vol.1, No.2, pp.175-185 (1995).

- 4) Akyildiz, I.F. and Ho, J.S.M.: On Location Management for Personal Communications Networks, *IEEE Communications Magazine*, Vol.34, No.9, pp.138–145 (1996).
- 5) Jeon, W.S., Kessler, I. and Jeong, D.G.: Performance of Improved Probabilistic Location Update Scheme for Cellular Mobile Networks, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.49, No.6, pp.2164–2173 (2000).
- 6) Senzaki, D., Chakraborty, G., Mabuchi, H. and Matsuhara, M.: Distance Based Location Management in Cellular PCS Network — A Critical Study, *Proc. 18th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2004)*, Vol.2, pp.95–98 (2004).
- 7) Wong, V.W.S. and Leung, V.C.M.: Location Management for Next-Generation Personal Communications Networks, *IEEE Network*, Vol.14, No.5, pp.18–24 (2000).
- 8) Akyildiz, I.F., Ho, J.S.M. and Lin, Y.-B.: Movement-Based Location Update and Selective Paging for PCS Network, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.4, No.4, pp.629–638 (1996).
- 9) Liang, B. and Haas, Z.J.: Predictive Distance-Based Mobility Management for Multidimensional PCS Networks, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.11, No.5, pp.718–732 (2003).
- 10) Abutaleb, A. and Li, V.O.K.: Paging Strategy Optimization in Personal Communication Systems, *ACM Wireless Networks*, Vol.3, No.3, pp.195–204 (1997).
- 11) Escalle, P.G., Giner, V.C. and Oltra, J.M.: Reducing Location Update and Paging Costs in a PCS Network, *IEEE Trans. Wireless Communications*, Vol.1, No.1, pp.200–209 (2002).
- 12) 久保田敦, 李 頔, 亀田壽夫: 端末の移動パターンを考慮した位置登録最適化, *情報処理学会論文誌*, Vol.43, No.12, pp.3922–3930 (2002).
- 13) Chakraborty, G.: Efficient Location Management by Movement Prediction of the Mobile Host, *Proc. 4th International Workshop on Distributed Computing (IWDC '02)*, LNCS 2571, pp.142–153, Springer-Verlag (2002).
- 14) Ghosh, R.K., Rayanchu, S.K. and Mohanty, H.: Location Management by Movement Prediction Using Mobility Patterns and Regional Route Maps, *Proc. 5th International Workshop on Distributed Computing (IWDC '03)*, LNCS 2918, pp.153–162, Springer-Verlag (2004).
- 15) Varsamopoulos, G. and Gupta, S.K.S.: Dynamically Adapting Registration Areas to User Mobility and Call Patterns for Efficient Location Management in PCS Networks, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.12, No.5, pp.837–850 (2004).
- 16) Bettstetter, C.: Mobility Modeling in Wireless Networks: Categorization, Smooth Movement, and Border Effects, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol.5, No.3, pp.55–66 (2001).
- 17) Wu, C.-H., Lin, H.-P. and Lan, L.-S.: A New Analytic Framework for Dynamic Mobility Management of PCS Networks, *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol.1, No.3, pp.208–220 (2002).
- 18) Camp, T., Boleng, J. and Davies, V.: A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research, *Wireless Communications & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, Vol.2, No.5, pp.483–502 (2002).
- 19) 前田久美子, 小西一樹, 佐藤和基, 山口弘純, 安本慶一, 東野輝夫: 現実的なシミュレーションシナリオが記述可能な無線ネットワークシミュレータ MobiREAL, *情報処理学会論文誌*, Vol.47, No.2, pp.405–414 (2006).
- 20) Markoulidakis, J.G., Lyberopoulos, G.L., Tsirkas, D.F. and Sykas, E.D.: Mobility Modelling in Third-Generation Mobile Telecommunications Systems, *IEEE Personal Communication*, Vol.4, No.4, pp.41–56 (1997).
- 21) Lee, J.-K. and Hou, J.C.: Modeling Steady-state and Transient Behaviors of User Mobility: Formulation, Analysis, and Application, *ACM MobiHoc'06*, pp.85–96 (2006).
- 22) Senzaki, D., Chakraborty, G., Mabuchi, H. and Matsuhara, M.: Improvement of Paging Cost by Updating Using Paging Delay Divergence, *Proc. 6th International Workshop on Distributed Computing (IWDC '04)*, LNCS 3326, pp.502–507, Springer-Verlag (2004).
- 23) Senzaki, D., Chakraborty, G., Mabuchi, H. and Matsuhara, M.: Performance Analysis of Distance Based Trigger Update Location Management Algorithm with Respect to Cell Size and Mobility Behavior, *The 2nd IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS 2005)*, pp.88–94 (2005).
- 24) Broch, J., Maltz, D.A., Johnson, D.B., Hu, Y.C. and Jetcheva, J.: A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols, *ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom'98)*, pp.85–97 (1998).
- 25) Nagai, Y. and Kobayashi, T.: Statistical Characteristics of Pedestrian's Motion and Effects

on Teletraffic of Mobile Communication Networks, *The 2nd IEEE and IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks 2005 (WOCN 2005)*, pp.377–382 (2005).

- 26) 総務省：情報通信白書平成 18 年度版，chapter 2(1), pp.106–124 (2006).

(平成 19 年 4 月 2 日受付)

(平成 19 年 10 月 2 日採録)



千崎 大輔 (学生会員)

2005 年岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科ソフトウェア情報学専攻博士前期課程修了。現在、同大学院同研究科博士後期課程在学中。知識処理，移動体通信の位置管理手法に関する研究に従事。



ゴウタム チャクラボルティ

1993 年東北大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程修了。1998 年岩手県立大学ソフトウェア情報学部助教授。2002 年岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授，現在に至る。博士 (工学)。パターン認識，最適化問題，ワイヤレスアドホックネットワークに関する研究に従事。IEEE，ACM 各会員。



馬淵 浩司

1995 年北海道大学大学院工学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。同年東和大学工学部電気工学科講師。1998 年岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師。2002 年同大学同学部助教授。2007 年同大学同学部准教授，現在に至る。博士 (工学)。人工知能，知識処理，等価変換による問題解決の研究に従事。人工知能学会会員。



松原 雅文 (正会員)

2003 年北海道大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師，現在に至る。博士 (工学)。知識情報処理，自然言語処理に関する研究に従事。電子情報通信学会，人工知能学会，言語処理学会各会員。