

## 移動体計算環境における動的グループ化を用いた位置管理方式

萩野浩明 原隆浩 塚本昌彦 西尾章治郎

大阪大学大学院 工学研究科 情報システム工学専攻

近年の無線通信技術や計算機技術の発達によって、いつでもどこでも計算機を用いてネットワークにアクセス可能な移動体計算環境が実現されつつある。移動体計算環境の実現には、移動体の位置管理が重要な課題となる。そこで本稿では、移動体通信にともなうトラフィックの低減を目的として、動的なグループ化を用いた階層的な位置管理方式を提案する。本方式では、移動体の移動頻度や通信頻度が時間の経過にともなって変化すると、動的にルータをグループ化しそのグループ構成を用いて階層的に位置管理を行う。また、各グループではグループの特性に応じて移動体の移動通知や通信の方法を選ぶことができる。これによって本方式は移動体の移動頻度や通信頻度に偏りがあり、その偏りが時間の経過にともなって変化するような環境において、移動体の位置管理にともなうトラフィックを低減できる。さらに、提案した方式の性能評価のために行ったシミュレーション実験の結果を示す。

### A Hierarchical Location Management Method Using Dynamic Grouping for Mobile Computing Environments

Hiroaki HAGINO Takahiro HARA Masahiko TSUKAMOTO Shojiro NISHIO

Department of Information Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

Recent advances in network and computer technologies have led to the development of mobile computing environments. In such environments, the location management is one of the most important issues. In this paper, for reducing the traffic caused by the mobile communication, we propose a *hierarchical location management method using dynamic grouping*. In this method, when the migration frequency and the communication frequency of mobile hosts vary as time goes by, groups of routers are dynamically formed and the location of the mobile host is hierarchically managed using the groups. Moreover, in each group, appropriate methods for the notification of the mobile hosts migration and the packet forwarding to mobile hosts are selected according to the characteristics of each group. Therefore, in environments where the migration frequency and the communication frequency vary depending on the location of a host and the time, our proposed method is expected to reduce the traffic caused by the location management of mobile hosts. We also show results of simulation experiments regarding the performance of our proposed method.

## 1 はじめに

近年の無線通信技術や計算機技術の発達によって、ユーザが小型で軽量の携帯型計算機（移動体）を用いて通信を行う、移動体計算環境の普及が進んでいる。今後、移動体計算環境のさらなる普及にしたがって、従来の固定ネットワークに配置されたデータベースだけでなく、各ユーザが移動体上のデータベースにプロフィール情報のようなユーザ固有の情報を格納し、遠隔地から他のユーザがそれにアクセスするような状況が考えられる。筆者らの研究グループでは、このような移動体上のデータベースを移動携帯型データベースと呼び、これに対する処理の性能向上のための研究を推進

している。

その一環として、移動体計算環境における移動体の位置管理の研究を行っている。移動体計算環境では、自由に移動する移動体との通信を実現するために、移動体の位置管理が必要不可欠な技術として考えられる。移動体の位置管理とは、移動体との通信において、位置透過性（mobility transparency）、すなわちユーザが通信相手の移動体の移動を意識せずに通信できるための技術である。

移動体の位置管理では、一般にユーザの移動や通信の発生にともなってユーザの位置情報をルータ間で交換し、その情報に基づいてパケットをルーティングする。そのため、従来の固定ネットワークにおける通信と比較すると、ユーザの位置情報

を交換するためのパケット（制御パケット）が必要となる。したがって、ユーザ間の通信のためのパケット（データパケット）の配送に利用できる帯域は従来の固定ネットワークよりも少なくなってしまう。移動携帯型データベースを使用する環境では、このように、利用可能な帯域の減少によってデータベース処理の性能低下が予想される。

これまでに、移動体計算環境において効率的に位置管理を行うための研究が盛んに行われている [5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]。その一例として、現在 IETF (Internet Engineering Task Force) によって標準化がすすめられているモバイル IP [10] について説明する。モバイル IP では、移動体は移動する度に位置情報をホームエージェント (HA: Home Agent) と呼ばれるルータに登録する。なお、HA は各移動体ごとに設定できる。これによって、HA は担当する移動体の位置情報を必ず保持できる。移動体に対して通信するときは、一旦その移動体の HA にパケットをフォワードする。HA は移動体の現在地を知っているので、その場所へパケットをさらにフォワードする。モバイル IP では、このようにして移動体通信を実現している。

しかし、モバイル IP にはトラフィックの観点から二つの問題点がある。一つ目の問題点は、移動体の移動や通信の偏りを考慮していない点である。例えば、大学のキャンパスネットワーク上の移動体計算環境を想定すると、それぞれの校舎内ではユーザが頻繁に移動するのに対して、校舎と校舎の間ではあまり頻繁に移動が発生しない。このような状況において、移動体がある校舎の中で移動する度に他の校舎内にある HA に通知が行われると、移動体の局所的な移動によって生じる移動通知がネットワーク全体のトラフィックを増大させてしまう。また、通信の偏りについても同様である。同じ校舎内にいるユーザ同士が通信しているような場合でも、HA が他の校舎内であれば、データパケットは必ずそこを経由してルーティングされる。

二つ目の問題点は、モバイル IP は必ずしもすべてのネットワークに対して有効ではないことである。モバイル IP では通信時にパケットが必ず HA を経由するため、通信が頻繁に発生するような状況ではトラフィックが増大してしまう。モバイル IP だけでなく、その他の研究にも、この

二つの問題点が当てはまるものが多い。

そこで筆者らの研究グループでは、移動体通信にともなうトラフィックの低減を目的として、これまでに階層的な位置管理方式を提案している [2]。階層的な位置管理方式とは、ルータとそれらを結ぶ有線からなる固定ネットワークを、移動体の移動や通信の偏りを考慮してグループ化し、そのグループ構成を利用して階層的に位置管理を行うものである。また、各グループ内およびグループとグループの間では、それぞれのもつ特性（移動体の移動頻度や通信頻度）に最も適した手法を用いて位置管理を行う。

文献 [2] の方式では、あらかじめグループ構成と位置管理に用いる手法を静的に設定する。しかし、移動体の移動頻度や通信頻度は時間の経過によって変化することが一般的である。そこで本稿では、グループ構成や用いる手法を動的に変化できる動的なグループ化を用いた階層的な位置管理方式を提案する。最適なグループ構成を求めるアルゴリズムは計算量が膨大であるため、本稿ではヒューリスティックなアルゴリズムを利用する。このアルゴリズムでは、二つのルータの間に移動体の移動頻度と通信頻度およびルータ間の距離に基づいた重みづけをし、それに基づいてルータを一つずつグループ化する。このように、グループ構成を動的に変化させることによって、環境の変化に適応可能となり、移動体通信にともなうトラフィック量を低減できるものと考えられる。

以下では、まず 2 章において、階層的な位置管理方式の概要について述べる。次に 3 章において、本稿で提案するグループ化アルゴリズムを説明する。そして 4 章において、シミュレーションによる本方式の性能評価の結果を示す。最後に 5 章において、本稿のまとめと今後の課題について述べる。

## 2 階層的な位置管理方式の概要

### 2.1 ルータのグループ化

階層的な位置管理方式では、ルータとそれらを結ぶ有線からなる固定ネットワークにおいて、ルータをグループ化し、そのグループ構成を用いて階層的に位置管理を行う。本節では、ルータのグループ化について説明する。

固定ネットワークの一つ以上のルータをグルー

ブ化したものを、レベル1グループと呼ぶ。各レベル1グループに対して、必ず一つ代表ルータと呼ぶ特殊なルータが選ばれる。一つのルータから構成されるレベル1グループでは、そのルータ自身が代表ルータとなる。そして、各レベル1グループの代表ルータをグループ化したものをレベル2グループと呼ぶ。ルータのグループ化によるネットワークの階層化は多段階にすることも可能であるが、本稿では二段階の階層に関して議論をすすめる。したがって、ここではレベル2グループはネットワーク内の全ての代表ルータをグループ化したものとする。階層的な位置管理方式では、このようなグループ構成を用いて位置管理を行う。

## 2.2 各グループにおける位置管理

階層的な位置管理方式では、前節で述べたようなグループ構成を用いて、各グループ内で独立して位置管理を行う。レベル1グループ内では、移動体が接続しているグループ内のルータの情報を管理し、レベル2グループでは、移動体が存在するレベル1グループの代表ルータの情報を管理する。各グループでは、文献[8]で議論されているいくつかの位置管理手法の中から一つを適用する。各グループに適用する位置管理手法を以下に示す。

**BN 手法:** 移動体の移動が、グループ内のすべてのルータに通知される。グループ内に存在する移動体の位置情報は、そのグループ内のすべてのルータが保持している。これによって、移動体が存在するグループ内でその移動体に対する通信が発生した場合、データパケットを直接移動体の現在地にフォワードできる。これは、文献[1]において提案されている手法である。

**DF 手法:** 移動体が移動すると、特定のルータ(デフォルトルータ[8])にだけ位置情報が通知される。この手法はモバイルIPや、文献[9, 12, 14, 13, 15]などで利用されており、最も一般的なアプローチであると考えられる。

レベル1グループでは、代表ルータがデフォルトルータの役割をする。また、レベル2グループでは、代表ルータのうちのどれか一つがデフォルトルータの役割をする。レベル2グループのデフォルトルータは移動体ごとに設定できる。このルー

タが属するレベル1グループを、その移動体のデフォルトグループと呼ぶ。移動体に対して通信する場合、一旦各グループでデフォルトルータの役割をするルータにデータパケットをフォワードする。もし同じグループに宛先の移動体が存在するならば、移動体の現在地へデータパケットをフォワードする。

**BF 手法:** この手法では、移動体が移動してもその情報の通知を行わない。移動体宛の通信が発生すると、グループ内のすべてのルータに対してデータパケットをフォワードする。移動体と接続しているルータはこのパケットを受けとり、移動体へフォワードする。このようにして、移動体の位置情報を管理せずに移動体宛の通信を実現する。

階層的な位置管理方式では、各グループにおいてこれらの三つの手法の中から一つを選択して適用する。ただし、これらの手法を適用する際に、いくつか明記しておくべき事柄がある。

- BN手法を適用しているレベル1グループにおいて通信が発生したとき、宛先の移動体があるレベル1グループに存在しないならば、データパケットを代表ルータにフォワードする。
- BN手法もしくはDF手法を適用しているレベル1グループにおいて、代表ルータが他のレベル1グループに存在する移動体宛のデータパケットを受けると、レベル2グループに適用されている手法に従って移動体の存在するレベル1グループにデータパケットをルーティングする。
- BF手法はレベル1グループに適用できない。なぜなら、そのレベル1グループ内では移動体の位置情報を保持しないため、レベル2グループにおいても移動体が存在するレベル1グループの情報を得られないからである。
- 移動体があるレベル1グループから他のレベル1グループに移動すると、移動元のグループの位置情報を無効にしなければならない。そこで、移動先レベル1グループの代表ルータが移動元レベル1グループの代表ルータに移動体が移動してきたことを通知する。

階層的な位置管理方式では、各グループを移動体の移動頻度や通信頻度の偏りを考慮して構成し、

$$T_{BN} = \sum_{i \in R} \sum_{j \in R} (M_{i,j} \sum_{k \in R} D_{j,k} + C_{i,j} D_{i,j})$$

$$T_{DF} = \sum_{i \in R} \sum_{j \in R} (M_{i,j} \sum_{k \in U} D_{j, \text{def}(k)} / N + C_{i,j} (D_{i, \text{def}(k)} + D_{\text{def}(k), j}))$$

$$T_{BF} = \sum_{i \in R} \sum_{j \in R} C_{i,j} \sum_{k \in R} D_{i,k}$$

図 1: 従来 3 手法のトラフィック見積り

それぞれのグループに最も適した手法を用いることができるので、ネットワーク全体におけるトラフィックを低減できる。

### 3 グループ化アルゴリズム

本章では、2章で説明した階層的な位置管理方式において、グループ化および手法選択を動的に行うためのアルゴリズムについて議論する。

最適なグループ構成と手法選択を発見するために、ネットワーク内のルータで構成可能なすべてのグループについて評価を行うアルゴリズムでは、ルータ数を  $n$  とすると少なくとも  $n^n$  オーダの計算量となる。そこで本稿では、実時間でグループ構成および手法選択を行えるヒューリスティックなアルゴリズムを提案する。

まずはじめに、アルゴリズムの簡単な流れを説明する。最初に二つのルータの間に、それらのルータの間での移動体の移動頻度や通信頻度および距離を考慮して重みを設定する。そして、その重みの順に二つのルータを同じグループにした場合のトラフィックの見積りを行う。もしトラフィックが低減するのであれば、そのグループ構成を採用し、そうでない場合は元にもどして他の候補について見積りを続ける。これをすべてのルータの組合せについて行い、グループ構成と手法を決定する。

以下では、このアルゴリズムの詳細について説明する。ここで、固定ネットワークのトポロジ、ユーザ数とそれぞれのデフォルトルータ、移動体の移動頻度や通信頻度が入力として与えられているものとする。出社する時刻や帰宅する時刻など、

ユーザの行動と時刻とは密接な関係にあるので、ユーザの移動パターンや通信パターンが既知であることは一般的な仮定であると考えられる。

1. グループ化の優先順位を決定するために、各ルータの組に対して優先度を割り当てる。ルータ  $i$  とルータ  $j$  との距離（ホップ数）を  $D_{i,j}$ 、ある時間に移動体がルータ  $i$  からルータ  $j$  へ移動する頻度を  $M_{i,j}$ 、ルータ  $i$  からルータ  $j$  に対して通信の発生する頻度を  $C_{i,j}$  とする。このとき、ルータ  $i$  とルータ  $j$  からなる組合せの優先度  $P_{i,j}(t_1, t_2)$  を次のように表す。

$$P_{i,j}(t_1, t_2) = D_{i,j}(M_{i,j}(t_1, t_2) + C_{i,j}(t_1, t_2)) \quad (1)$$

2. グループ化を行う前に、従来の手法を適用した場合のトラフィックを見積もる。本稿では、パケットがフォワードされる際のホップ数をトラフィックとしている。BN 手法、DF 手法および BF 手法におけるトラフィック  $T_{BN}$ 、 $T_{DF}$ 、 $T_{BF}$  は、それぞれ図 1 のように見積もることができる。ここで、 $R$  はルータの集合、 $U$  はユーザの集合、 $\text{def}(i)$  はユーザ  $i$  のデフォルトルータ、 $N$  はネットワーク内のユーザ数である。
3. 1 で求めた優先度の大きい順に、ルータをグループ化する。ルータ  $i$  とルータ  $j$  に対して、ルータ  $i$  の属するレベル 1 グループ  $G(i)$  とルータ  $j$  の属するレベル 1 グループ  $G(j)$  を一つのグループにする。そして、そのグループ内で他のルータとの平均距離が最も小さいも

$$\begin{aligned}
T &= \sum_{i \in R} \sum_{j \in R \text{ かつ } G(i)=G(j)} (T_{L1M}(i, j) + T_{L1C}(i, j)) \\
&\quad + \sum_{i \in R} \sum_{j \in R \text{ かつ } G(i) \neq G(j)} (T_{L1M}(i, j) + T_{L2M}(i, j) + T_{L2C})
\end{aligned}$$

$$T_{L1M}(i, j) = \begin{cases} \sum_{k \in G(j)} D_{j, del(j)} & L1method(j) = BN \\ & L1method(j) = DF \end{cases}$$

$$T_{L2M}(i, j) = \begin{cases} \sum_{k \in G} D_{del(j), Gdel(k)} + \sum_{k \in G(i)} D_{del(i), k} & L2method = BN \\ \sum_{k \in U \text{ かつ } del(def(k)) \neq del(i)} \frac{D_{del(j), del(def(k))}}{N} & L2method = DF \\ + \sum_{k \in U \text{ かつ } del(def(k)) = del(i)} \frac{D_{del(j), del(def(k))} + D_{del(j), del(i)}}{N} & L2method = BF \\ 0 & \end{cases}$$

$$T_{L1C}(i, j) = \begin{cases} D_{i, j} & L1method(i) = BN \\ D_{i, del(i)} + D_{del(i), j} & L1method = DF \\ \sum_{k \in G(i)} D_{i, k} & L1method = BF \end{cases}$$

$$T_{L2C}(i, j) = \begin{cases} D_{i, del(i)} + D_{del(j), j} + D_{del(i), del(j)} & L2method = BN \\ D_{i, del(i)} + D_{del(j), j} & \\ + \sum_{k \in U} \frac{D_{del(i), del(def(k))} + D_{del(def(k)), del(j)}}{N} & L2method = DF \\ D_{i, del(i)} + D_{del(j), j} + \sum_{k \in G} D_{del(i), Gdel(k)} & L2method = BF \end{cases}$$

図 2: トラヒックの見積り

のを、そのレベル1グループの代表ルータとする。ルータ*i*が属するレベル1グループの代表ルータを $del(i)$ 、そのグループで用いられている位置管理のための手法を $L1method(i)$ 、レベル1グループ*g*の代表ルータを $Gdel(g)$ 、レベル2グループで用いる手法を $L2method$ とすると、トラヒック*T*は図2に示す式で見積もることができる。ここで、図2において、 $G$ はレベル1グループの集合である。 $T$ を全ての手法の組合せに対して計算し、最もトラヒックを低減できる手法の組合せと、従来手法のトラヒックおよび前の状態におけるトラヒックを比較する。これらのトラヒックよりも小さい場合は、このグループ構成と手法の組合せを採用し、小さくない場合はもとのグループ構成( $G(i)$ と $G(j)$ )に戻す。そして、次の候補に対して同様の操作を繰り返す。

アルゴリズムの流れを図3に示す。

## 4 シミュレーション評価

本章では、動的グループ化を用いた階層的位管理方式の性能評価のために行ったシミュレーションの結果を示す。

### 4.1 移動モデル

シミュレーション評価では、移動体の移動モデルとして、プロフェッサーモデルと呼ばれるものを用いた。このモデルは、文献[11]などにおいて移動体の移動モデルとしてシミュレーション評価に用いられている。このモデルでは、基本的にユーザは“ホーム”と呼ばれる場所と“キャンパス”と呼ばれる場所の行き来を繰り返す。そして稀に他の場所へ“出張”する。ほとんどのユーザは普段このようなあまり変化のない移動を行っていることが多いため、このモデルはユーザの一般的な移動を表現しているといえる[4]。ホームおよびキャンパスは複数のルータから構成される。ユーザが

- 入力: ネットワークトポロジ, 各ルータ間における移動体の移動頻度, 各ルータ間における通信頻度  
 出力: グループ構成と適用する手法
- (1) グループ化していないネットワークにおいて従来の3手法に関して図1の式を用いてトラヒックを見積もる.
  - (2) 二つのルータ(ルータ*i*とルータ*j*)のすべての組合せについて, 式1を計算する.
  - (3) 二つのルータのすべての組合せについて, (2)で求めた値の大きい順に, ルータ*i*とルータ*j*がそれぞれ属するグループを一つにまとめる.  
 レベル1グループとレベル2グループに適用する手法のすべての組合せに関して,  
 図2の式を用いてトラヒックを見積もる.  
 最もトラヒックを低減できる手法を, このグループ構成における最適な手法選択として採用する.  
 これまでにグループ化が行われていないなら, 従来の3手法のトラヒック見積りと比較する  
 もし従来の3手法のどれかの方が見積り値が小さければ,  
   ネットワークのグループ化を初期化する.  
   従来の3手法のうち最もトラヒックを低減できるものを現時点での最良の手法として採用する  
   そうでなければ,  
     新しいグループ構成を現時点での最良のグループ構成として採用する.  
     新しい手法の組合せを現時点での最良の手法として採用する.  
   そうでなければ,  
     これまでに採用されているグループ構成におけるトラヒックの見積り値と比較する.  
     もし元の値の方が小さければ, グループ構成を元にもどす.  
     そうでなければ  
       新しいグループ構成を現時点での最良のグループ構成として採用する.  
       新しい手法の組合せを現時点での最良の手法として採用する.
  - (4) 最終的な結果を出力する.

図3: グループ化アルゴリズム

ホームあるいはキャンパスに留まる時間は, 正規分布に従う。それに対して, ユーザがホーム内やキャンパス内で移動する間隔は指数分布に従う。また, ユーザが出張に行く間隔も指数分布に従う。

## 4.2 シミュレーションの設定

本節では, シミュレーションの設定について説明する。シミュレーションは図4のようなトポロジのネットワークで行った。なお, 図中の四角形と実線はそれぞれルータとそれらを結ぶ有線ネットワークを表す。ルータについての番号はルータの識別子である。ルータ17~20は他のルータから遠い場所に位置し, ルータ1~16との距離(ホップ数)は15とした。また, ルータ7とルータ8の間の距離を3と設定した。

ユーザ数は100とし, ルータごとに頻繁に通信する五つの移動体をランダムに設定した。各ルータで発生する通信の50%をこの五つの移動体のどれかに対するものとした。また, ユーザは前節で述べたモデルにしたがって移動する。ユーザがホー

ムあるいはキャンパス内で移動する間隔の平均を3単位時間, ホームとキャンパス間を移動する間隔の平均を20単位時間, 標準偏差を5単位時間とした。また, ユーザの出張の間隔を140単位時間, 出張先に留まる時間の平均を50とした。

そしてまずこのような設定の元で, 移動体の移動と移動体宛の通信だけを発生させて, 任意の時間における移動頻度と通信頻度を記録した。そしてその情報を用いて25単位時間ごとに3章のアルゴリズムにしたがってグループの再構成を行った。なお, 移動および通信記録を得るときに用いる乱数列と, シミュレーション実験で用いる乱数列は異なるものを使用した。シミュレーション時間は250単位時間とした。

本稿で筆者らが提案した方式(動的方式)の他に, 従来の位置管理手法(BN手法, DF手法, BF手法), および静的なグループ化を用いた階層的な位置管理方式(静的方式)におけるトラヒックをシミュレーションして比較した。静的方式におけるグループ化では, はじめからおわりまでの移動及び通信の記録を用いて3章で述べたアルゴリズム

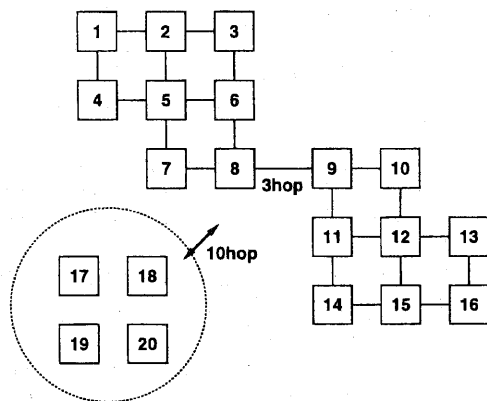


図 4: シミュレーションに用いたネットワーク

ムによってルータをグループ化した。

### 4.3 シミュレーション結果

まず図4のネットワークにおいて、ホームおよびキャンパスとなるルータを8個ずつランダムに選択してシミュレーションを行った。なお、移動体宛の通信は、単位時間あたり各ルータでたかだか一回発生するものとした。そしてこれを10回くりかえし、時刻ごとのトラフィックの平均値を求めた。

シミュレーションの結果を図5に示す。なお、10単位時間ごとにトラフィックを合計してプロットしている。BN手法は他の手法と比べて著しくトラフィックが大きいいため、結果をみやすくするためにここでは省略する。

このグラフから、静的手法も動的手法も、従来の手法よりトラフィックを低減できているのがわかる。静的手法がだいたい3/4から2/3程度の低減であるのに対し、動的手法は3/5から1/2もトラフィックを低減できる。また、従来の手法や静的方式では、時刻によって発生するトラフィックに大きな変動があるが、動的方式のトラフィックは安定していることがわかる。

次に、動的方式が特に有効な場合として、図4のネットワークにおいてルータ1~8をホーム、ルータ9~16をキャンパスに設定した場合のシミュレーションの結果を図6に示す。このネットワークではホーム内のルータもしくはキャンパス内のルー

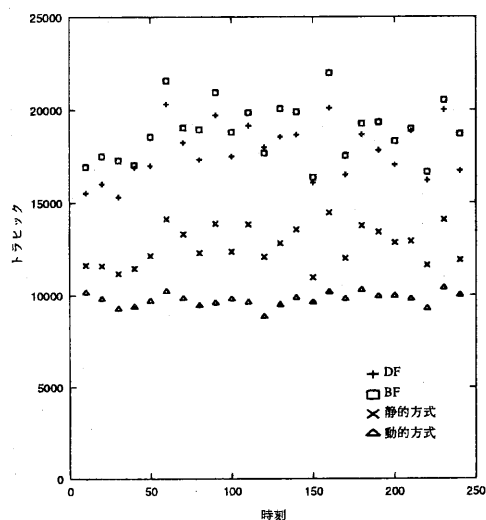


図 5: ホーム、キャンパスをランダムに設定した場合のトラフィック

タ同士の距離が小さいため、グループ化により大きくトラフィックを低減できる。特に本稿で提案した動的方式ではほとんどの場合において従来の手法で発生するトラフィックを安定して1/2以下にまで低減できる。

## 5 おわりに

本稿では、移動体の位置管理にともなうトラフィックを低減するために、動的グループ化を用いた階層的な位置管理方式を提案した。この方式では、移動体の移動頻度や通信が発生する頻度の時間変化にともなう、グループ構成を動的に切替え、そのグループ構成を用いて階層的に位置管理を行う。また、本方式の性能評価のためにシミュレーションを行い、従来の位置管理手法や静的にグループ化する位置管理方式と比較した。これによって、本方式がネットワーク特性の時間変化に関わらず、安定してトラフィック量を低減できることが分かった。

今後の課題としては、他のグループ化のアルゴリズムの検討や、本方式の実装が挙げられる。また、グループ再構成の際に移動頻度と通信頻度の

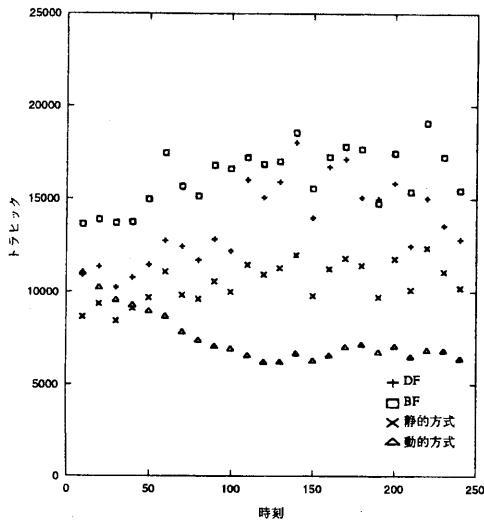


図 6: ホーム内, キャンパス内のルータが近い場合のトラヒック

履歴から以降の移動や通信の特性を推測するアプローチについても研究をすすめていく予定である。

**謝辞** 本研究は, 文部省科学研究費補助金重点領域研究 (1)「高度データベース」(課題番号 08244103) の研究助成によるものである。ここに記して, 深謝の意を表す。

## 参考文献

- [1] Carlberg, K.G.: "A routing architecture that supports mobile end systems," in *Proc. IEEE MILCOM*, pp.159-164 (1992).
- [2] Hagino, H., Hara, T., Tsukamoto, M., Nishio, S., and Okui, J.: "A location management method using network hierarchies," in *Proc. IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'97)*, Vol.1, pp.243-246 (Aug. 1997).
- [3] 原隆浩, 春本要, 塚本昌彦, 西尾章治郎: "ATM ネットワークにおけるデータベース移動のための位置管理手法," 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J80-D-I, No.2, pp.137-145 (1997).
- [4] Imielinski, T., Badrinath, B. R.: "Wireless Computing: Challenges in Data management,"

*Comm. of the ACM*, pp.19-28 (1994).

- [5] Ioannidis, J., Duchamp, D., and Maguire Jr., G.Q.: "IP-based Protocols for Mobile Internetworking," in *Proc. ACM SIGCOMM*, pp.235-245 (1991).
- [6] Joseph, S.M. Ho, Ian, F. Akyildiz: "Local anchor scheme for reducing location tracking costs in PCNs," in *Proc. ACM MOBICOM*, pp.181-193 (1995).
- [7] 門林理恵子, 塚本昌彦: "移動体通信のための適応的ルーティング方式," 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.5, pp770-778 (1996).
- [8] Kadobayashi, R. and Tsukamoto, M.: "Traffic-based performance comparison of mobile support strategies," *ACM Baltzer Mobile Networks and Nomadic Applications (NOMAD): Topical Journal on Mobility of Systems, Users, Data and Computing*, Vol.1, No.1, pp.57-65 (1996).
- [9] Perkins, C. and Bhagwat, P.: "A mobile networking system based on internet protocol," *IEEE Personal Communications*, Vol.1, No.1, pp.32-41 (1994).
- [10] Perkins, C.: "IP Mobility Support," *RFC2002* (1996).
- [11] Rajagopalan, S. and Badrinath, B. R.: "Adaptive location management method for Mobile IP" in *Proc. ACM MOBICOM*, pp.170-180 (1995).
- [12] 重野寛, 大島浩, 松下温: "インターネット上でホスト移動をサポートするプロトコル HMSP," 電子情報通信学会論文誌 B-I, Vol.J80-B-I, No.3, pp.111-120 (1997).
- [13] Teraoka, F., Yokote, Y., and Tokoro, M.: "A network architecture providing host migration Transparency," in *Proc. ACM SIGCOMM*, pp.209-220 (1991).
- [14] 塚本昌彦, 門林理恵子: "CLNP ネットワークにおける広域移動体通信プロトコル," 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.8, pp.2001-2018 (1995).
- [15] Wada, H., Yozawa, T., Ohnishi, T., and Tanaka, Y.: "Mobile computing environment based on internet packet forwarding," in *Proc. Winter USENIX*, pp.503-517 (1993).
- [16] Wada, H., and Fukushima, H.: "Mobile computing on wireless telecommunication networks," in *Proc. Winter USENIX*, pp.503-517 (1993).