

ルータのグループ化を用いた移動体位置管理方式

萩野 浩明[†] 原 隆浩[†]
塚本 昌彦[†] 西尾 章治郎[†]

移動体計算環境では、移動体と通信するために移動体の位置管理が必要となるため、通信だけでなく位置管理のためのトラヒックが発生する。そこで本論文では、移動体計算環境における通信のスループットの向上のために、ルータのグループ化を用いた移動体位置管理方式を提案する。この方式では、固定ネットワーク上のルータをグループ化し、それぞれのグループにおいて独立に位置管理を行う。各グループで用いる位置管理のための手法は、これまでに提案されている複数の手法から選択できる。さらに本論文では、シミュレーション評価によって、ネットワークポロジに応じて効率的にルータをグループ化し、各グループにおける移動や通信の特性に応じた位置管理のための手法を選択することで、位置管理にともなうトラヒックを大きく低減できることを示す。また、提案方式における通信のオーバーヘッドについても検証し、そのうえで提案方式が十分に有効な方式であることを示す。さらに、提案方式の問題点について議論し、いくつかの拡張の方向性について検討する。

A Location Management Method for Mobile Hosts Based on Groups of Routers

HIROAKI HAGINO,[†] TAKAHIRO HARA,[†] MASAHIKO TSUKAMOTO[†]
and SHOJIRO NISHIO[†]

In mobile computing environments, location management is necessary for communicating with a mobile host, and thus, traffic is caused by not only communication but location management. In this paper, we propose a location management method based on groups of routers for improving the mobile communication throughput. First, this method creates groups of routers in a fixed network, and then, in each group, location management is executed independent of other groups. Moreover, the location management method in each group is chosen from several conventional methods. We also show results of simulation experiments for comparing the traffic volume of our method and mobile-IP. The results show that our method can greatly reduce the traffic volume compared with the mobile-IP. Moreover, we discuss the communication overhead of our method and show that our method can be practically used in the real environment. Moreover, we address some problems of the proposed method and show possible extensions to solve them.

1. はじめに

近年、計算機の小型化、軽量化および無線インフラストラクチャの整備により、いつでもどこでもネットワークにアクセス可能な移動体計算環境が急速に普及しつつある。移動体計算環境では、移動体と通信するために移動体の位置管理をサポートする必要があるため、通信だけでなく位置管理によるトラヒックが発生する。移動体計算環境での通信性能には、トラヒックが大きな影響を与えるので²⁾、位置管理のために増加するトラヒックの影響も無視できない。特に今後、

移動体数が急速に増加することが予測されるので、移動体計算環境において通信性能を向上するためには、位置管理にともなうトラヒックの低減が重要な課題となる。

これまでに様々な研究機関において、移動体の位置管理に関する研究が進められている^{1),3),6),7),9)~17)}。この中で、モバイル IP¹⁰⁾ は IETF において標準化が進められており、最も一般的な方式の 1 つである。モバイル IP では、各移動体ごとにホームエージェント (HA: Home Agent) と呼ばれる特殊なルータを設置する。HA はその移動体の位置情報を保持する。移動体がサブネット間を移動すると、その情報は HA に通知される。移動体に対する通信が発生すると、移動体宛のペケットはいったん HA にフォワードされ、

[†] 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻
Department of Information System Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

さらに HA が持つ位置情報に基づいて移動体の現在地へフォワードされる。

このようなモバイル IP での位置管理には、トラヒックの観点から 2 つの問題点がある。まず、現実のネットワークでは、移動体の移動や通信の特性が場所によって異なることが多いにもかかわらず、モバイル IP はそれに対応していない。たとえば、大学のキャンパスに構築された移動体計算環境において、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移動が発生しないような場合でも、モバイル IP では校舎内の頻繁な移動が必ず HA に通知されるため、HA が別の校舎にある場合にネットワーク全体に位置管理のための大きなトラヒックが発生してしまう。次に、モバイル IP では通信のたびに HA を経由してパケットがルーティングされるため、通信相手が近くにいても HA が別校舎に存在する場合は、通信時に大きなトラヒックが発生してしまう。

そこで本論文では、このような問題点を解決し、移動体の位置管理にともなうトラヒックを低減することを目的として、ルータのグループ化を用いた階層的な位置管理方式を提案する。階層的な位置管理方式では、有線リンクで接続されたルータからなる固定ネットワークにおいて、移動や通信の特性が周囲と異なる部分をグループ化し、そのグループ構成に基づいて位置管理を行う。それぞれのグループでは、移動体の位置情報の管理および通信のためのいくつかの従来の手法から、そのグループに最適なものを選択する。さらに本論文では、シミュレーション評価によって、提案方式が上記の問題を解決して位置管理のためのトラヒックを低減できることを示す。また、通信時のオーバーヘッドについても議論し、そのうえで提案方式が十分に有効であることを示す。

以下では、2 章で筆者らの提案する階層的な位置管理方式について説明し、3 章においてシミュレーション結果を示す。4 章で筆者らの提案する方式について考察を行い、最後に 5 章で本論文のまとめを行う。

2. 階層的な位置管理方式

階層的な位置管理方式では、有線リンクで接続されたルータをいくつかのグループに分け、これをレベル 1 グループと呼ぶ。各レベル 1 グループにおいて代表ルータと呼ぶルータを 1 つ選択する。すべてのレベル 1 グループの代表ルータを 1 つのグループとして、レベル 2 グループと呼ぶ。そして、レベル 1 グループとレベル 2 グループの 2 階層を用いて位置管理を

行う。レベル 1 グループではグループ内のルータに接続している移動体の位置情報だけを管理し、それらの移動体宛のパケットを移動体が接続しているルータへルーティングする。レベル 2 グループでは、各移動体がどのレベル 1 グループに存在するかという情報を管理し、その情報に基づいて、移動体の接続しているレベル 1 グループの代表ルータまでパケットをルーティングする。

各レベル 1 グループおよびレベル 2 グループでは、移動体の位置情報の管理および通信のための手法（位置管理手法）を、従来の手法をベースとした、3 種類の中から選択する。位置管理手法の選択は、他のグループに依存せずに各グループで独自に行う。

提案方式では、各ルータはモバイル IP と同様にアドバタイズメントメッセージを定期的送信しており、移動体はこのメッセージを受け取ることで、自身が接続しているルータを同定できる。移動体は新しいルータからアドバタイズメントメッセージを受け取ると、このメッセージを発信したルータに対して登録要求を行う。登録要求を受けたルータは自局が属するレベル 1 グループに適用されている位置管理手法に基づいて、新しく接続してきた移動体の位置情報を他のルータへ登録する。また、各移動体はモバイル IP と同様に HA を持つものとする。

2.1 位置管理手法

階層的な位置管理方式では、各レベル 1 グループおよびレベル 2 グループで適用する移動体の位置管理手法として、文献 8) において用いられている DF 手法、BN 手法および BF 手法を拡張したものを採用する。なお、前述のモバイル IP は DF 手法に分類されるものである。各グループで独自に位置管理手法を選択できるため、それぞれのグループに適した手法で位置管理が行える。以下では、3 手法をそれぞれレベル 1 グループに適用する場合とレベル 2 グループに適用する場合について説明する。なお、BF 手法は後に示す理由によりレベル 1 グループには適用しない。

DF (Default Forwarding) 手法:

レベル 1 グループの場合: 移動体の移動時には、移動体が新たに接続したルータが、自局の所属するグループの代表ルータに位置情報を通知する。これによって、レベル 1 グループの代表ルータはつねにグループ内に存在する移動体の位置情報を保持できる。また、移動元のルータも、そのグループの代表ルータに、移動体が移動してしまったことを通知する。移動体への通信時には、移動体宛のパケットを受け取ったルータが、それを自

局が所属するグループの代表ルータへフォワードする．移動体が同じグループに存在する場合、代表ルータは移動体が接続しているルータへパケットをフォワードし、同じグループに存在しない場合は、レベル 2 グループに適用されている手法に基づいて、移動体が存在するレベル 1 グループへパケットをルーティングする．

レベル 2 グループの場合： 各移動体に、デフォルトグループと呼ぶ特定のレベル 1 グループを割り当てる．ここでは、デフォルトグループは HA が属するレベル 1 グループの代表ルータとする．移動体の移動時には、自局の担当するレベル 1 グループに移動体が移動してきたことを検出した代表ルータが、デフォルトグループの代表ルータに移動を通知する．これによって、デフォルトグループの代表ルータは、担当する移動体が存在するレベル 1 グループの情報をつねに保持できる．移動体の通信時には、移動体宛のパケットを受け取った代表ルータが、その移動体のデフォルトグループの代表ルータへパケットをフォワードする．デフォルトグループの代表ルータは、受け取ったパケットを移動体が存在するグループの代表ルータへフォワードする．

BN (Broadcast Notification) 手法：

レベル 1 グループの場合： 移動体がルータ間を移動すると、移動体が新たに接続したルータが、自局が属するレベル 1 グループ内のすべてのルータに対して新たな位置情報を通知する．これによって、移動体が存在するレベル 1 グループのすべてのルータがその位置情報を保持できる．移動元のグループでも、同様にして、移動体がいなくなったことをレベル 1 グループ内のすべてのルータに通知する．移動体への通信時には、移動体宛のパケットを受け取ったルータが、まず自局の持つ移動体の位置情報を参照し、移動体と同じレベル 1 グループ内にいる場合はその情報に基づいてパケットをフォワードする．同じレベル 1 グループ内にいない場合は、自局が属するレベル 1 グループの代表ルータへパケットをフォワードし、レベル 2 グループにルーティングを委託する．

レベル 2 グループの場合： 移動体の移動時には、自局の担当するレベル 1 グループに移動体が移動してきたことを検出したルータが、すべてのレベル 1 グループの代表ルータに移動体が存在するレベル 1 グループの情報を通知する．これによって、すべての代表ルータは、移動体が存在するレ

ベル 1 グループの情報を保持できる．移動体への通信時には、移動体宛のパケットを受け取った代表ルータが自局の持つ位置情報に基づいて移動体の存在するレベル 1 グループの代表ルータへそのパケットをフォワードする．

BF (Broadcast Forwarding) 手法：

この手法では、移動体の移動時には、位置情報などの通知を行わない．移動体への通信時には、移動体宛のパケットを受け取ったルータが、グループ内のすべてのルータにパケットをフォワードする．この手法では、グループ内に存在する移動体をルータが把握できないため、レベル 1 グループに適用すると、レベル 2 グループにおいて移動体が存在するレベル 1 グループを特定できないことになる．したがって、レベル 1 グループには BF 手法を適用できない．

レベル 2 グループの場合： レベル 2 グループに属するルータのうち、移動体が存在するレベル 1 グループの代表ルータ以外は移動体の位置情報を保持しない．移動体への通信時には、移動体宛のパケットを受け取ったルータがすべてのレベル 1 グループの代表ルータにパケットをフォワードする．移動体が存在するレベル 1 グループの代表ルータのみがそのパケットを受け取り、それ以外の代表ルータはパケットを破棄する．

2.2 ルータのグループ化

本節では、ルータのグループ化アルゴリズムについて説明する．このアルゴリズムでは、ある時間帯における移動体の移動や通信の平均回数を記録しておき、その記録に基づいてルータをグループ化する．以下にアルゴリズムの詳細を示す．また、グループ化アルゴリズムの適用例を付録 B に示す．

(1) 2 つのルータのすべての組合せに対して、グループ化の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 $D_{i,j}$ 、ネットワーク内で最も遠くに位置する 2 つのルータ間の距離を D_{max} 、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 に対して通信が発生する頻度を $C_{i,j}$ 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 $P_{i,j}$ を次のように表す．

$$P_{i,j} = (D_{max} - D_{i,j} + 1)(M_{i,j} + C_{i,j} + M_{j,i} + C_{j,i})$$

この評価値は 2 つのルータ間で発生する移動頻度や通信頻度が大きいほど、またルータ間の距離が小さいほど大きい値になる．

(2) ルータの組を優先度の大きい順に並べ、ある閾

値以上のものをグループ化し、付録 A の式を用いてトラヒック T を見積もる。ここで、各レベル 1 グループ、およびレベル 2 グループに適用する手法のすべての組合せについてトラヒックを見積もり、その値が最も小さいものを採用する。また、各レベル 1 グループの代表ルータには、グループ内でネットワーク内の全ルータとの平均距離が最も小さいルータを選択する。以下ではトラヒックを、ルータ間で交換されるパケットが通る経路のホップ数とする。これは、ネットワーク全体でルータが処理しなければならないパケットの総数を表している。

- (3) 残りの組に対して次の操作を繰り返す。優先度の大きい順にグループ化し、(2)と同様にしてトラヒックを見積もる。グループ化することでトラヒックが増加する場合はグループ構成を元に戻して次の組について評価し、減少する場合はそのままグループ化して次の組へ進む。
- (4) モバイル IP で位置管理を行う場合のトラヒック T_{MIP} を付録 A の式を用いて見積もり、これを最終的に得られたグループ構成におけるトラヒックの見積り T と比較する。 T_{MIP} の方が小さい場合はグループ化を行わずにモバイル IP と同様の方式で位置管理を行い、大きい場合はルータをグループ化して位置管理を行う。

以上のようにグループ構成が決定すると、ルータ間で情報を交換し、新しいグループ構成に基づくグループ化を行う。まず、代表ルータは自局が担当するレベル 1 グループ内に存在する移動体の位置情報を、その情報を必要とする新しい代表ルータに送信する。その後、新しい代表ルータの間でパケットを交換し、レベル 2 グループにおける位置情報を作成する。

3. シミュレーション評価

本章では、階層的な位置管理方式の有効性を示すために、トラヒックの観点から行ったシミュレーション評価の結果を示す。

3.1 シミュレーションモデル

本節では、シミュレーション評価に用いたモデルについて説明する。

3.1.1 ネットワークモデル

シミュレーションでは、より一般的な評価のためにランダムにネットワークポロジを構築した。パラメータとして、ルータ数を表す NUM_ROUTER と各ルータ間に有線リンクが存在する確率 LNK_RATE を用いる。 NUM_ROUTER の値はネットワークの規模

を、 LNK_RATE はネットワークの疎密の度合いを表す。まず NUM_ROUTER 個のルータを与え、それぞれのルータ間に関して、発生した 0 から 1 までの乱数の値が LNK_RATE より小さければリンクが存在するものと決定する。このようにして生成したネットワークのうち、すべてのルータが連結されたものをシミュレーションに用いた。

3.1.2 移動モデル

本論文では、文献 [11] で提案されているプロフェッサモデルの概念を拡張した、移動体が 24 時間周期の移動特性を持つ移動モデルを提案し、これをシミュレーション評価に用いる。

このモデルでは、各移動体はホームエリアとオフィスエリアと呼ぶルータの集合を持ち、ホームエリア内でホームルータと呼ぶ特定のルータが割り当てられる。移動体は毎日ある時刻になるとホームエリアとオフィスエリアの間を移動する。ホームエリアからオフィスエリアに移動する時刻は、時刻 AT_M を平均、 AT_D を分散とする正規分布に従う。オフィスエリアからホームエリアへの移動時刻は、時刻 LV_M を平均、 LV_D を分散とする正規分布に従う。ホームエリアおよびオフィスエリアの中では、移動体はそれぞれ IV_H 、 IV_O を平均とする指数分布に従う間隔で移動する。また、移動体は、平均時刻 BD_M 、分散 BD_D の正規分布に従う時刻にホームルータに移動して移動を休止する。移動を再開する時刻は、平均時刻 WK_M 、分散 WK_D の正規分布に従う。

このモデルは、一般的なユーザの通勤、通学の様子を表現している。

3.1.3 通信モデル

移動体宛の通信は各ルータにおいて、 CM_FRQ を平均とするポアソン分布に従う頻度で発生する。各ルータは、特定のいくつかの移動体に対して頻繁に通信する。その数を FR_HOST 、それらの移動体に対して通信を行う確率を FR_RATE とする。

3.2 シミュレーション結果

本論文で提案した階層的な位置管理方式を、3.1 節で述べたネットワーク、移動および通信モデルを用いてトラヒック量の観点からシミュレーション評価を行い、モバイル IP で用いられている位置管理方式と比較した。なお、与えられたルータ数とリンク存在確率の値に対して、100 通りのネットワークポロジをランダムに生成した。それぞれのネットワークポロジに対して、10 日間の時間を経過させて性能評価を行った。全シミュレーションに共通のパラメータの値を表 1 に示す。また、シミュレーションでは、3 時間ごとに

表 1 固定パラメータの値
Table 1 Parameter configuration.

パラメータ	値	パラメータ	値	パラメータ	値	パラメータ	値
<i>AT_M</i>	9時	<i>AT_D</i>	15分	<i>LV_M</i>	17時	<i>LV_D</i>	2時間
<i>IV_H</i>	5分	<i>IV_O</i>	5分	<i>BD_M</i>	23時	<i>BD_D</i>	2時間
<i>WK_M</i>	6時	<i>WK_D</i>	20分	ホスト数	10	<i>FR_HOST</i>	2
<i>FR_RATE</i>	0.8						

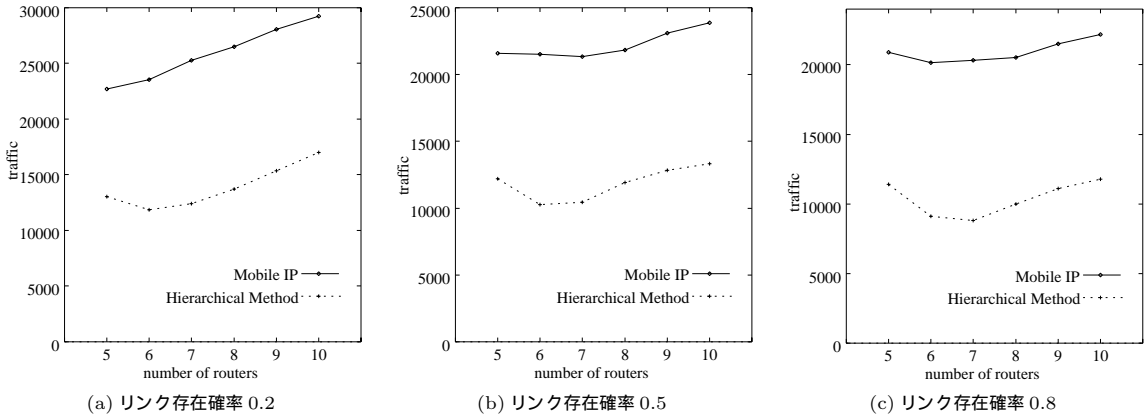


図 1 ルータ数によるトラフィック変化

Fig. 1 Relationship between traffic and number of routers.

グループの再構成を行った．1日を3時間ごとに8つの時間帯に分割し，各時間帯に発生する移動および通信の回数をあらかじめ10日間数えたものを，各時間帯における移動および通信の頻度として，ルータのグループ化のためのトラフィック見積りに用いた．

3.2.1 ルータ数による変化

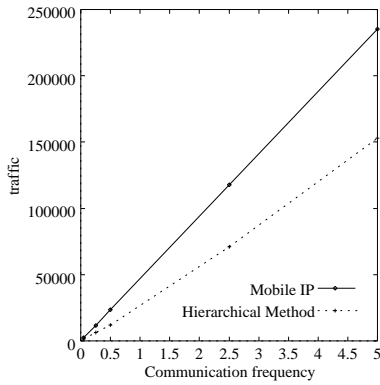
まず，ネットワークの規模がトラフィックに与える影響を調査するために，ルータ数に対するトラフィックについてシミュレーション実験を行った．ネットワーク内のルータを2つに等分割し，それぞれからランダムに取り出した2つのルータを各移動体のホームエリアおよびオフィスエリアに設定した．グループ化アルゴリズムの閾値は0.8とし，1つのルータで通信が発生する頻度は0.5とした．このような設定のもとで，リンク存在確率0.2, 0.5, 0.8のそれぞれについてルータ数とトラフィックの関係を調べた．その結果を図1に示す．各グラフは横軸がルータ数，縦軸がトラフィックを表している．

いずれのネットワーク規模においても，階層的な位置管理方式がトラフィック量を平均して40%から50%低減している．特に，ルータ数が6, 7のときに良い結果が得られた．これは，ネットワークの規模が小さいとルータ間の距離が小さくなりすぎて，階層的な位置管理方式によって低減できるトラフィック量が少なくなり，

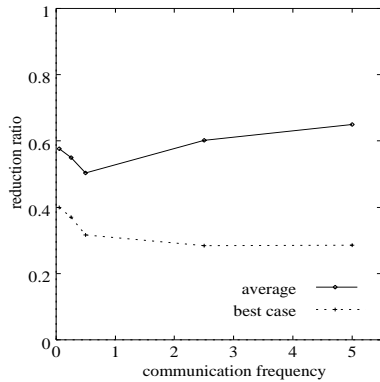
ネットワークの規模が大きいと，移動や通信が頻繁に発生するルータ間の距離が遠くなる可能性があるため，グループ化の効果が小さくなるからである．

3.2.2 通信頻度による変化

次に，通信頻度と移動頻度の比がトラフィックに与える影響を調べるために，移動に関するパラメータを固定したまま通信頻度を変化させてシミュレーション実験を行った．シミュレーションに用いるネットワークは，ルータ数6，リンク存在確率0.2とした．それ以外のパラメータは3.2.1項と同様とし，1つのルータで通信が発生する頻度を0.05から5まで変化させたときのトラフィックを調べた．その結果を図2(a)に示す．横軸は通信頻度，縦軸はトラフィックを表している．このグラフから，通信回数がどのようなときでも提案方式が平均して60%程度にトラフィックを低減していることが分かる．次に，トラフィックの低減率を調べるために，図2(b)にモバイルIPによるトラフィックを1としたときの階層的な位置管理方式のトラフィックを示す．横軸は通信頻度，縦軸はトラフィックの低減率を示している．実線のグラフは100通りのネットワークの平均値であり，点線のグラフは其中最もトラフィックを低減できたものを表している．平均値のグラフから，通信頻度が0.5付近で最も効率が良いことが分かる．これは通信頻度が小さすぎると，トラフィックを低



(a) トラフィックの比較



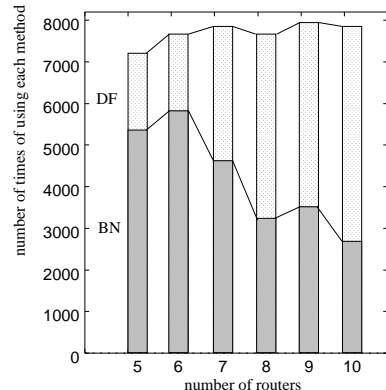
(b) トラフィックの低減率

図 2 通信頻度によるトラフィック変化

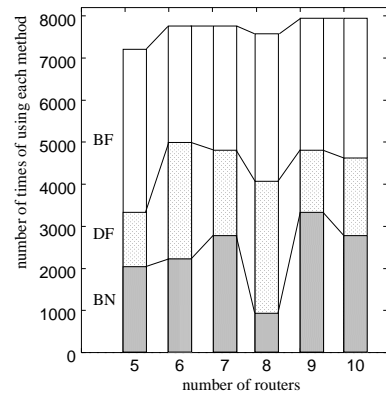
Fig. 2 Relationship between traffic and communication frequency.

減できる機会が少なくなるために、方式の効果が小さくなるからである。また、頻度が 0.5 以上のときは通信が頻繁であるほど提案方式の有効性が小さくなっているが、これは、最も効率良くトラフィックを低減できたネットワークポロジの場合は通信が頻繁になるほど低減率も大きくなっていることから、グループ化アルゴリズムによる部分が大きいものと考えられる。

提案方式のグループ化アルゴリズムでは、移動頻度と通信頻度の和だけを考慮し、ホップ数の近いルータ間でこれらの頻度の高い場所を優先的にグループ化する。しかし、通信時のトラフィックの低減には、距離の近いルータを優先的にグループ化するよりもむしろ、通信が頻繁に発生するルータ間の通信を、できるだけ直線的で遠回りの少ない経路でルーティングするようなグループ化を優先する必要がある。筆者らのアルゴリズムは、通信が頻繁に発生するルータが近い距離にある場合は有効なグループを構成できるが、通信が頻繁に発生してもそれが遠い距離で行われている場合は効率的なグループ化は困難である。そのため今後は、



(a) レベル 1 グループでの変化



(b) レベル 2 グループでの変化

図 3 ルータ数による手法適用数の変化

Fig. 3 Relationship between number of times of using each method and number of routers.

通信が頻繁に発生するルータ間での通信経路を可能な限り直線的にするようなグループ化アルゴリズムの拡張について検討する必要がある。

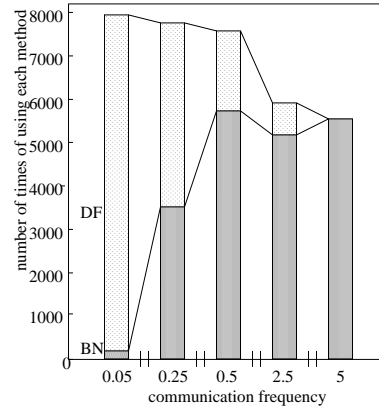
3.2.3 適用手法の分布

各グループで BN 手法、DF 手法、BF 手法のいずれが適用されているかを調べるために、ルータ数と通信頻度を変化させたときの各手法の適用回数を記録した。まず、ルータ間のリンク存在確率が 0.5 で、その他のパラメータは 3.2.1 項の設定に従うような環境において、ルータ数を変化させたときのグラフを図 3 (a) と図 3 (b) に示す。図 3 (a) はレベル 1 グループに各手法が適用された回数を、図 3 (b) はレベル 2 グループに各手法が適用された回数を示している。図中の横軸はルータ数を、縦軸は各手法が適用された回数を表している。また、濃い灰色は BN 手法、薄い灰色は DF 手法、白色は BF 手法をそれぞれ表している。それぞれのグラフの高さが異なるのは、ルータがグループ化されずにモバイル IP と同様の位置管理が行われて

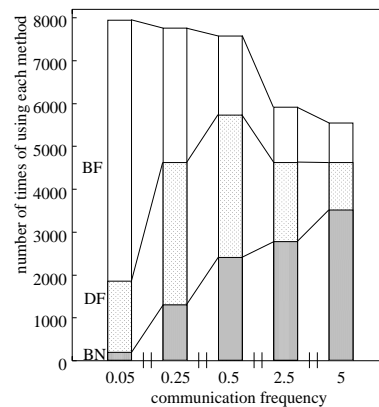
いる場合があるからである．図 3 (a) を見ると，ルータ数が多いと，構成されるレベル 1 グループも大きくなる可能性が高いため，移動通知にブロードキャストを用いる BN 手法が選択される回数が増加している．しかし，一様な減少ではないため，ネットワーク全体でのルータ数よりも，それぞれのレベル 1 グループ内のルータ数が大きな影響を与えるものと考えられる．図 3 (b) では各手法が適用されている回数は大きく上下を繰り返しているところから，レベル 2 グループでは，ルータ数による適用手法の影響はほとんどないものと考えられる．また，両方のグラフの高さの変化から，ルータ数が少ない場合，すなわちネットワークの規模が小さいほど，ルータがグループ化されない場合が多いことが分かる．これは，3.2.1 項で述べたように，ネットワーク規模が小さいときはルータをグループ化しても，さほどトラヒックを低減できないためである．

次に，ルータ数 6，リンク存在確率 0.8 とし，通信頻度を変化させたときの，各手法の適用回数を図 4 (a) と図 4 (b) に示す．図中の横軸は通信頻度，縦軸は各手法の適用回数を表している．この 2 つのグラフから，通信頻度が高くなると通信時にブロードキャストを用いる BF 手法が使われる回数が少なくなり，通信頻度が低くなると移動体の移動時にブロードキャストを用いる BN 手法が適用される回数が少なくなることが分かる．また，グラフの高さを比較すると，通信が頻繁であるほどルータがグループ化されていない．これは，3.2.2 項において通信が頻繁になるに従ってルータのグループ化の有効性が低くなった結果と一致する．ルータをグループ化した場合，異なるレベル 1 グループの間で通信が発生すると，パケットは少なくとも 2 つの代表ルータを経由しなければならない．そのため，もし有効なグループ構成にならなかったときは，通信にともなって大きなトラヒックが発生する．通信が頻繁な状況では，その影響が顕著に現れるため，モバイル IP と同様の位置管理が行われる回数が増加するものと考えられる．

以上の結果から，提案方式は，ルータ間の平均距離が遠い場合でも，ルータをグループ化し各グループ内で独立に位置管理を行うことでその影響を少なくし，移動頻度や通信頻度の特性に応じて各グループで適用する手法を変えることでトラヒックを低減可能であることが分かる．したがって，階層的な位置管理方式は，様々なネットワーク環境に，グループ構成や手法の使い分けによって柔軟に対応できる．



(a) レベル 1 グループの変化



(b) レベル 2 グループの変化

図 4 通信頻度による手法適用数の変化

Fig. 4 Relationship between number of times of using each method and communication frequency.

3.2.4 通信時のオーバーヘッド

前項までのシミュレーション結果より，階層的な位置管理方式を用いることで，広範囲のネットワーク環境において，トラヒックを低減できることが分かった．しかし，モバイル IP が通信時に HA のみを経由するのに対して，提案方式では異なるグループ間で通信が発生すると，各グループの代表ルータを経由し，さらにレベル 2 グループで DF 手法が用いられている場合はデフォルトグループの代表ルータを経由する．代表ルータでは，ルーティングテーブルだけでなく，移動体の位置情報を参照する必要があるため，モバイル IP に比べてオーバーヘッドが大きい．

そこで，この影響について考察するために，ルータ数 7，リンク存在確率 0.8 としたときに，1 回の通信でルータが移動体の位置情報を参照する平均回数を調べた．その結果，モバイル IP が 1 回の通信で移動体の位置情報を 1 回参照するのに対して，提案方式で

は 1.41 回参照することが分かった。提案方式がトラヒックを平均して半分程度まで低減できることを考えると、1.41 回の位置情報参照のオーバーヘッドは実用上、問題はないものと考えられる。

4. 考 察

本章では、提案方式についての考察および関連研究との比較を行う。

4.1 グループ化アルゴリズムについて

提案方式では、グループ化の際に、トラヒックが可能な限り小さくなるようにグループ構成と選択手法を決定する。本節では、その計算量について考察する。以下では、ルータ数を N 、移動体数を M とする。グループ化では、まず 2 つのルータの組について計算を行うため、ここにのみ着目すると、 N^2 の計算量になる。また、それぞれの組について行うトラヒックの見積りは、付録 A に示された式から $(M+N)N^2$ オーダの計算量であることが分かる。よって、グループ再構成のための計算は $(M+N)N^4$ オーダの計算量となる。

このことから、大学内のネットワークなど、中規模までの大きさのネットワークでは有効な時間内で計算可能であるが、WAN 環境などの大規模ネットワークではグループ構成の計算に長時間必要な場合がある。したがって、大規模ネットワークで提案方式を利用するためには、さらに効率的なグループ化アルゴリズムについて検討する必要がある。

4.2 代表ルータの選出について

提案方式では、各レベル 1 グループにおいて、グループ内でネットワーク内の全ルータとの平均距離が最も小さくなるルータを代表ルータとしている。これは、パケットが代表ルータを経由することが多いため、通信量の低減を考慮したものである。しかし、代表ルータは、自局が担当するレベル 1 グループ内のルータに接続しているすべての移動体の位置情報を管理しなければならないため、その処理負荷も考慮する必要がある。たとえば、各レベル 1 グループにおいて、移動体の分布を可能な限り一様にするのが有効と考えられる。これを実現する方法として、レベル 1 グループのサイズに関する閾値を与えることで、各レベル 1 グループの大きさが均等に小さくなり、処理負荷の低減が期待できる。本論文で目的としているトラヒックの低減も重要な課題だが、今後は、トラヒックの低減と代表ルータにかかる処理負荷の低減の双方を考慮した代表ルータの選出方法について検討する必要がある。

4.3 障害時の対処について

本論文で行ったシミュレーション実験では、ルータの障害について考慮していない。しかし、提案方式を実システム上で実装する際は、ルータに障害が発生したときの対処方法について考えなければならない。

代表ルータに障害が発生すると、グループ内とグループ間の通信情報を代表ルータが保持しているため、提案方式は正常な動作が困難である。したがって、代表ルータの障害時には、代表ルータを同じレベル 1 グループ内の他のルータに交代しなければならない。このためには、障害が発生した代表ルータが担当していたレベル 1 グループ内の移動体の情報を二重化し、位置情報の複製を他のルータに持たせる必要がある。

一方、代表ルータ以外のルータに障害が発生したときは、トポロジの変化による現在のグループ構成の有効性の低下と、グループ再構成の負荷を考慮して、再構成を行うかを決定する必要がある。しかし、一般に固定ネットワークは安定しており、それほど頻繁に障害が発生することがないため、障害時に再構成を行う必要はないものと考えられる。したがって、障害時には、一般のインターネットで用いられている程度の障害復旧を行うことで十分である。

4.4 関連研究

本論文で提案した階層的な位置管理方式のほかに、様々な研究機関において移動体の位置管理方式が提案されている。

文献 3) で提案されている位置管理方式では、ルータは移動体の位置情報をキャッシュする。通信が発生したときに、パケットを受け取ったルータが宛先移動体の位置情報を持たない場合や、キャッシュの示す場所に移動体が存在しなかった場合は、ネットワーク内のすべてのルータに位置情報を問い合わせ、移動体が接続しているルータから得られた結果に従ってパケットをルーティングする。また、文献 1) では、IS-IS プロトコル⁵⁾において計算機の接続やダウン、ルータのダウンなどの情報がブロードキャストされる機能を拡張して、移動体が移動するたびにすべてのルータに位置情報を通知する方式がとられている。通信時はそれぞれのルータが持つ位置情報に基づいて、最短経路でルーティングが行われる。この方式は本論文の方式における BN 手法をネットワーク全体に適用したものである。前者は移動体の移動が通信に比べて著しく多い場合、後者は通信が移動よりも多い著しく場合に有効であるが、どちらもブロードキャストを用いているため、スケーラビリティがない。それに対して本論文で提案した方式では、ネットワークの規模が大きくなっても、

ルータをグループ化し、位置管理をグループ単位で行えるため、ネットワークの規模がトラヒックに与える影響を抑えることができる。

文献 9), 12), 14), 17) で提案されている手法はいずれも、パケットのルーティング方式で分類すると、モバイル IP¹⁰⁾ で用いられている位置管理方式と同様のものである。これは、前述のように本論文の方式における DF 手法をネットワーク全体に適用したものである。すなわち、移動体が移動するとある特定のルータにだけ通知し、通信時はそのルータにパケットをフォワードし、さらにそのルータが移動体の現在地へパケットをフォワードし直す。この手法は先に示した 2 方式と比較して、ブロードキャストを用いていないのでスケラビリティがある。しかし、モバイル IP と同様に、1 章で示したような問題点があるのに対して、階層的な位置管理方式は、それらの問題をルータのグループ化と各グループでの手法選択によって解決している。

このほかにも、これまでにあげた従来の方式を基にして、拡張を加えた方式がいくつか提案されている。文献 7) では、移動通知を行う手法と通信を行う手法をそれぞれ複数用意し、移動や通信が発生するときの状況に応じて適応的に手法を使い分ける適応的位置管理方式を提案している。しかし、移動や通信特性が一般的なネットワーク環境を想定しており、ネットワーク全体で 1 つの手法を適用するため、移動や通信の特性が一般でない一般的な環境では性能が低下する。一方、提案方式はルータのグループ化と位置管理手法の選択によって一般的な環境に対して有効である。

文献 11) で提案されている適応的モバイル IP では、モバイル IP の位置管理方式を基本として、移動体に対して頻繁に通信が発生するルータの中からグループを動的に生成し、そのグループに属するすべてのルータにも位置情報の通知を行う。この方式は通信が発生する頻度がネットワーク内で一般ではなく偏りがある環境を想定している点で本論文の方式と類似している。しかし、移動の偏りを考慮しておらず、また移動が頻繁になるとモバイル IP とほぼ同じ方法で位置管理が行われるため、移動通知のためのトラヒックにより性能が低下する。それに対して本論文の方式では移動と通信の偏りの両方を考慮しているため、移動頻度や通信頻度が変化しても安定してトラヒックを低減できる。

文献 6) では、PCS (Personal Communication Service) における位置管理の効率化を目的として、ローカルアンカー方式を提案している。PCS ではモーバ

イル IP とほぼ同様の方式で位置管理を行っている。つまり、端末の移動通知はある 1 つの位置情報サーバに登録される。ローカルアンカー方式では、位置情報サーバを 1 つに限定せず、移動体の現在地にできるだけ近いサーバに位置情報を登録する。これによって、端末の移動通知にともなうトラヒックを低減できる。局所的な移動による移動通知のトラヒックを抑えることによって性能を改善している点で、本論文の方式と類似している。しかし、ローカルアンカー方式が移動通知にともなうトラヒックの低減だけを目的としているのに対して、階層的な位置管理方式は移動および通信の頻度に着目してルータのグループ化や各グループでの手法選択を行うので、通信にともなうトラヒックも低減できる。ただし、これは PCS において、通常の通話のための通信に用いるネットワークと、位置情報を管理し呼の発生に対して端末どうしを接続するネットワークが別れているためであると考えられる。

文献 13), 16) では、IS-IS プロトコルに基づいて、ネットワークをグループ化しグループ内ではブロードキャストによる移動通知、グループ間では単一のルータへの移動通知を用いる方式を提案している。この方式は、本論文の方式において、レベル 1 グループで BN 手法、レベル 2 グループで DF 手法を適用したものに相当する。

5. おわりに

本論文では、移動体の位置管理にともなうトラヒックの低減を目的として、ルータのグループ化を用いた階層的な位置管理方式を提案した。シミュレーション評価によって、モバイル IP との性能比較を行った。その結果、階層的な位置管理方式はルータのグループ化と各グループにおける手法の選択という 2 つのアプローチによって、位置管理にともなうトラヒックを平均して 40% から 50% 低減できることを示した。さらに、通信時のオーバーヘッドが実用上問題のない程度であることを示した。また、通信が頻繁に発生するほど階層的な位置管理方式の有効性が小さくなることを確認し、グループ化アルゴリズムの拡張が必要であることを示した。なお本論文では、2 階層の階層的な位置管理方式についてのみ議論しているが、2 段階のグループ化を繰り返すことによって、多段の階層化にも応用できる。

将来の移動体計算環境の展望を示すものとして、文献 4) では国際会議の参加者に携帯端末を配布し、参加者同士のコミュニケーション支援を行っている。このように、あるコミュニティのユーザ全員が移動体を常時携帯し、様々な用途に用いる環境がますます普及

していくものと考えられる。今後、ハードウェア技術やソフトウェア技術の発展にともなう、ユーザのほとんどの作業が移動体上で可能になると、固定ネットワーク上のトラヒックに対する移動体通信によるトラヒックの割合の増加が予想される。そのため、本論文で対象としている、移動体通信によるトラヒックの低減は、固定ネットワーク上の通信性能においても重要な課題である。

今後は、グループ化アルゴリズムの拡張および、本方式の実装と実測評価を行う予定である。

謝辞 本研究に関して有益なご助言をいただいた大阪大学大型計算機センター春本要講師および大阪大学西尾研究室の諸氏に慎んで感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) Carlberg, K.G.: A Routing Architecture That Supports Mobile End Systems, *Proc. IEEE MILCOM*, pp.159-164 (1992).
- 2) Ebling, R.M., Mummert, B.L. and Steere, C.D.: Overcoming the Network Bottleneck in Mobile Computing, *Proc. 1994 Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.34-36 (1994).
- 3) Ioannidis, J., Duchamp, D. and Maguire Jr., G.Q.: IP-based Protocols for Mobile Internetworking, *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp.235-245 (1991).
- 4) 石田 亨, 西村俊和, 八幡博史, 後藤忠広, 西部喜康, 和氣弘明, 森原一郎, 服部文夫, 西田豊明, 武田英明, 沢田篤史, 前田晴美: モバイルコンピューティングによる国際会議支援, *情報処理学会論文誌*, Vol.39, No.10, pp.2855-2865 (1998).
- 5) ISO: 10589, Information Technology - Telecommunications and Information Exchange between Systems - Intermediate System to Intermediate System Intra-Domain Routing Information Exchange Protocol for Use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service. (ISO8473) (1992).
- 6) Ho, J.S.M. and Akyildiz, I.F.: Local Anchor Scheme for Reducing Location Tracking Costs in PCNs, *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, pp.770-778 (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, IETF RFC2002 (1996).
- 11) Rajagopalan, S. and Badrinath, B.R.: An Adaptive Location Management Strategy for Mobile IP, *Proc. ACM-MOBICOM*, pp.170-180 (1995).
- 12) 重野 寛, 大島 浩, 松下 温: インタネット上でホスト移動をサポートするプロトコル HMSMP, *電子情報通信学会論文誌 (B-I)*, Vol.38-B-I, No.3, pp.111-120 (1997).
- 13) Tanaka, R. and Tsukamoto, M.: A CLNP-based Protocol for Mobile End Systems within an Area, *Proc. IEEE International Conference on Network Protocols*, pp.64-72 (1993).
- 14) Teraoka, F., Yokote, Y. and Tokoro, M.: A Network Architecture Providing Host Migration Transparency, *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp.209-220 (1991).
- 15) Teraoka, F., Uehara, K., Sunahara, H. and Murai, J.: VIP: A Protocol Providing Host Mobility, *Comm. ACM*, Vol.37, No.8 (1991).
- 16) 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).
- 17) Wada, H., Yozawa, T., Ohnishi, T. and Tanaka, Y.: Mobile Computing Environment Based on Internet Packet Forwarding, *Proc. Winter USENIX*, pp.503-517 (1993).

付 録

A トラヒック見積り

2.2 節で述べたトラヒック見積りに用いる式について説明する。変数および関数の定義を表 2 に示す。

まず、移動体がルータ i から他のルータへ移動したとき、もしくは他のルータからルータ i へ移動したときに、ルータ i が属するレベル 1 グループにおける位置情報通知によって発生するトラヒック $T_{L1M}(i)$ は次のような式で表される。

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

ルータ i が属するレベル 1 グループ $G(i)$ で BN 手法が用いられている場合は、 $G(i)$ 内のすべてのルータとルータ i の距離 (ホップ数) の合計が $T_{L1M}(i)$ となる。DF 手法の場合は、ルータ i とルータ $del(i)$ の距離となる。

表2 変数および関数の定義
Table 2 Definition of variables and functions.

R	ルータの集合
U	移動体の集合
G	レベル1グループの集合
$M_{i,j}$	ルータ i からルータ j への移動頻度
$D_{i,j}$	ルータ i, j 間のホップ数
$def(i)$	移動体 i の HA
$del(i)$	ルータ i が属すレベル1グループの代表ルータ
$Gdel(i)$	レベル1グループ i の代表ルータ
N	移動体数
$C_{i,j}$	ルータ i からルータ j への通信頻度
$G(i)$	ルータ i が属するレベル1グループ
$GR(i)$	ルータ i が属するレベル1グループ内のルータの集合
$L1method(i)$	ルータ i が属するレベル1グループ内で用いる手法
$L2method$	レベル2グループで用いている手法

次に、移動体がルータ i からルータ j へ移動した際、レベル2グループにおける位置情報の交換によって発生するトラヒック $T_{L2M}(i, j)$ は次のように表される。

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

$G(i)$ と $G(j)$ が異なり、かつレベル2グループに BN 手法が適用されている場合、 $T_{L2M}(i, j)$ は、すべてのレベル1グループの代表ルータと $del(j)$ の距離の合計になる。一方、DF 手法の場合は、 $del(j)$ と、デフォルトグループの代表ルータの距離で計算できる。提案方式では、各移動体がモバイル IP と同様に HA を持つものとし、デフォルトグループを HA が属するレベル1グループとしているため、移動体によってデフォルトグループが異なる。そこで、すべての移動体 k に関して $del(j)$ と $del(def(k))$ の距離を計算し、その合計を移動体数で割ることによって、平均値としてトラヒックを見積もる。最後に、BF 手法の場合もしくは $G(i)$ と $G(j)$ が同じ場合は、移動体が移動してもレベル2グループにおいては通知を行わないため、 $T_{L2M}(i, j)$ は0となる。

移動体がルータ i からルータ j へ移動したときに発生するトラヒック $T_M(i, j)$ は、 $T_{L1M}(i)$ と $T_{L2M}(i, j)$ を用いて、次のように表される。

$$T_M(i, j) = T_{L1M}(i) + T_{L1M}(j) + T_{L2M}(i, j)$$

ルータ i からルータ j に接続している移動体に対する通信において、レベル1グループのパケットの交

換によって発生するトラヒック $T_{L1C}(i, j)$ は、次のようになる。

$$T_{L1C}(i, j) = \begin{cases} D_{i,j}, L1method(i) = BN \wedge G(i) = G(j) \\ D_{i, del(i)} + D_{del(i), j}, \\ L1method(i) = DF \vee G(i) \neq G(j) \end{cases}$$

$G(i)$ と $G(j)$ が同じで、 $G(i)$ において BN 手法が適用されている場合は、ルータ i とルータ j の距離がトラヒックとなる。また、DF 手法が適用されている場合、もしくは $G(i)$ と $G(j)$ が異なる場合は、ルータ i とルータ $del(i)$ の距離と、 $del(j)$ とルータ j の距離の合計で表される。

一方、ルータ i からルータ j に接続している移動体に対する通信において、レベル2グループでのパケットの交換によって発生するトラヒック $T_{L2C}(i, j)$ は次のように表される。

$$T_{L2C}(i, j) = \begin{cases} D_{del(i), del(j)}, \\ L2method = BN \wedge G(i) \neq G(j) \\ \frac{1}{N} \sum_{k \in U} (D_{del(i), del(def(k))} \\ + D_{del(def(k)), del(j)}), \\ L2method = DF \wedge G(i) \neq G(j) \\ \sum_{k \in G} D_{del(i), Gdel(k)}, \\ L2method = BF \wedge G(i) \neq G(j) \\ 0, G(i) = G(j) \end{cases}$$

$G(i)$ と $G(j)$ が異なり、レベル2グループに BN 手法が適用されている場合は、ルータ $del(i)$ とルータ $del(j)$ の距離が T_{L2C} となる。DF 手法の場合は、ルータ $del(i)$ と移動体のデフォルトグループの代表ルータの距離および、移動体のデフォルトグループの代表ルータとルータ $del(j)$ の距離の和になる。移動体ごとにデフォルトグループが異なるため、 T_{L2M} と同様に、各移動体ごとの平均としてトラヒックを見積もっている。BF 手法の場合は、 $del(i)$ と他のすべての代表ルータの距離を足したものでトラヒックが表される。最後に、 $G(i)$ と $G(j)$ が同じ場合は、レベル2グループでパケットのルーティングが行われなため、 $T_{L2C}(i, j)$ は0となる。

ルータ i からルータ j に接続している移動体に対する通信によって発生するトラヒック $T_C(i, j)$ は、 $T_{L1C}(i, j)$ と $T_{L2C}(i, j)$ を用いて、次のように表される。

$$T_C(i, j) = T_{L1C}(i, j) + T_{L2C}(i, j)$$

以上より、ルータのグループ化を用いた方式のトラヒック T は、次式で表される。

$$T = \sum_{i \in R} \sum_{j \in R \wedge i \neq j} (M_{i,j} T_M(i, j) + C_{i,j} T_C(i, j))$$

一方、モバイル IP による位置管理にともなうトラヒック T_{MIP} は次式で表される。

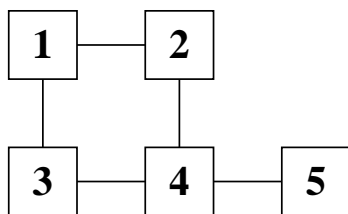


図5 ネットワーク例
Fig. 5 Example of network.

	1	2	3	4	5
1	-	10	6	4	7
2	10	-	8	6	4
3	6	8	-	9	6
4	4	6	9	-	5
5	7	4	6	5	-

図6 移動頻度
Fig. 6 Mobility frequency.

	1	2	3	4	5
1	-	20	10	5	10
2	20	-	15	3	3
3	10	15	-	2	3
4	5	3	2	-	9
5	10	3	3	9	-

図7 通信頻度
Fig. 7 Communication frequency.

$$T_{MIP} = \frac{1}{N} \sum_{i \in R} \sum_{j \in R \wedge i \neq j} \sum_{k \in U} (M_{i,j} D_{j,def(k)} + C_{i,j} (D_{i,def(k)} + D_{def(k),j}))$$

Bグループ化アルゴリズムの適用例

2.2節で述べたグループ化アルゴリズムの適用例を示す。以下では、ネットワーク内の各ルータをHAとする移動体の数は等しいものとする。

いま、図5に示すようなネットワークが与えられているものとする。各ルータ間における移動体の移動頻度および通信頻度は、それぞれ図6、図7で与えられている。

まず、2つのルータのすべての組について、優先度を計算し、値の大きい順に並べると、図8のような順番になる。ここで、優先度に関する閾値を100とすると、ルータ1とルータ2が無条件でグループ化される。いま、ルータ1とルータ2からなるレベル1グループをレベル1グループ1とする。ルータ1とルータ2とでは、他のルータへの平均距離がそれぞれ、1.75と1.5なので、レベル1グループ1の代表ルータはルータ2となる。次に、レベル1グループ1とレベル2グループにおいて適用する手法を決定する。すべての手

ルータの組	優先度
ルータ1とルータ2	180
ルータ1とルータ3	96
ルータ2とルータ3	92
ルータ4とルータ5	84
ルータ3とルータ4	66
ルータ2とルータ4	54
ルータ1とルータ4	36
ルータ3とルータ5	36
ルータ1とルータ5	34
ルータ2とルータ5	28

図8 ルータの組の優先度
Fig. 8 Priority of each pair of routers.

法の組合せについて付録Aの式を用いてトラヒックを見積もると、レベル1グループ1にDF手法、レベル2グループにDF手法を適用する場合の見積り値、543.75が最も小さいことが分かる。そこで、このグループ構成および選択手法を採用する。

以降、優先度の高い順にルータをグループ化し、トラヒックの見積りが小さくなるものを採用する。したがって、次にルータ1とルータ3をグループ化したときのトラヒックの見積りを計算する。つまり、レベル1グループ1にルータ3が加わることになる。このとき、ルータ2とルータ3の他のルータへの平均距離が等しくなるが、識別子の値が小さいルータ2が代表ルータとなる。このグループ構成においてトラヒックを見積もると、レベル1グループ1にDF手法、レベル2グループにおいてBF手法を用いたときのトラヒックの見積り値、568が最も小さくなる。しかし、これは先の見積り結果よりも大きくなっているため、ルータ3をレベル1グループに加えずに、次の優先度を持つ組について調べる。

次は、ルータ2とルータ3の組が優先度が高い。しかし、これは前の組と同じグループ構成になるため、採用されない。したがって、次はルータ4とルータ5をグループ化する。ルータ4とルータ5からなるレベル1グループをレベル1グループ2と呼ぶ。提案方式では、手法選択は各グループにおいて独立に行われるため、レベル1グループ1ではDF手法が最適であることは変化しない。そのため、ここではレベル1グループ2に適用する手法とレベル2グループに適用する手法について調べればよい。トラヒック見積りの結果、レベル1グループ2とレベル2グループの両方にDF手法を適用したときの見積り値、515.6が最も小さいことが分かる。これは、前の結果である543.75よりも小さくなっているため、このグループ構成および選択手法を採用する。

同じように、ルータ3とルータ4をグループ化し、レベル1グループ2にルータ3を加えたときのトラフィックを計算すると、レベル1グループ2にDF手法、レベル2グループにBF手法を適用したときのトラフィックの見積りが454となる。これは、前の結果よりも小さくなっているため、このグループ構成が採用される。

これ以上グループ化すると、ネットワーク全体が1つのレベル1グループになってしまうため、ここでアルゴリズムを終了する。最終的に、ルータ1とルータ2からなるレベル1グループ(代表ルータはルータ2)、およびルータ3、ルータ4とルータ5からなるレベル1グループ(代表ルータはルータ4)の2つのレベル1グループが構成され、両方にDF手法を適用する。また、レベル2グループにはBF手法を適用する。次に、モバイルIPと同様の位置管理方式を用いた場合のトラフィックを見積もると、573.8となる。したがって、上述のグループ構成と選択手法がアルゴリズムを実行した最終結果となる。

(平成11年3月23日受付)

(平成12年7月5日採録)



萩野 浩明 (学生会員)

1996年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1998年同大学院工学研究科博士前期課程修了。現在、同大学院工学研究科博士後期課程在学中。モバイルコンピューティング、知識処理に興味を持つ。



原 隆浩 (正会員)

1995年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1997年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、同大学院工学研究科博士後期課程中退後、同大学院工学研究科情報システム工学専攻助手となり、現在に至る。工学博士。1996年本学会山下記念研究賞受賞。2000年電気通信普及財団テレコムシステム技術賞受賞。データベースシステム、分散処理に興味を持つ。IEEE、電子情報通信学会各会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学院工学研究科修士課程修了。同年、シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師、1996年より、同大学院工学研究科情報システム工学専攻助教授、現在に至る。工学博士。時空間データベースおよびモバイルコンピューティングに興味を持つ。ACM、IEEE等7学会の会員。



西尾章治郎 (正会員)

1975年京都大学工学部数理工学科卒業。1980年同大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。京都大学工学部助手、大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授を経て、1992年より大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授となり、現在に至る。2000年より大阪大学サイバーメディアセンター長を併任。この間、カナダ・ウォータールー大学、ピクトリア大学客員。データベース、知識ベース、分散システムの研究に従事。現在、Data & Knowledge Engineering, Data Mining and Knowledge Discovery, The VLDB Journal等の論文誌編集委員。ACM、IEEE等8学会の会員。