

モバイルコンピューティングのための階層的位置管理手法について

萩野 浩明 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

近年のネットワーク技術の発展や端末の小型化，軽量化によって移動体がさまざまな場所，用途で利用されるようになってきたため，移動体通信をサポートする技術に対する要求が高まってきている．移動体通信をサポートする上では，通常，移動体の位置管理およびデータパケットの転送を効率的に行なうことが重要な問題となる．本稿では，その方法として，階層的に両者を行なう手法を提案する．つまりネットワークにおいて，ドメインと呼ぶネットワークの部分集合をいくつか構成し，ドメイン内とドメイン間に従来のプロトコルで用いられている移動体サポート方式を階層的に適用する手法である．いくつかの可能な組合せに対して，本手法をトラヒックの観点から定量的に比較し，本手法の有効性を示す．

On Hierarchical Location Management for Mobile Computing

Hiroaki HAGINO Masahiko TSUKAMOTO Shojiro NISHIO

Department of Information Systems Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University

Due to the recent advancement of network and computer technologies, it has become possible to utilize a handy computer anywhere any time. To support such mobile computers, there have been a lot of studies on a *mobility transparent* communication protocol, where two mechanisms are usually introduced: the location management mechanism of the mobile hosts and the packet forwarding mechanism to these mobile hosts. In this paper, we propose several strategies to carry out these two mechanisms in a hierarchical manner. In these strategies, the network is composed of several fragments of subnetworks, called *domains*, and the mechanisms are separated into the *inter-domain* level and the *intra-domain* level. By applying an appropriate method in each level, we can reduce the total traffic. Using a grid topology, we compare these strategies with conventional strategies from a traffic point of view, and show the effectiveness of our strategies.

1 はじめに

近年のネットワーク技術の発展や端末の小型化，軽量化によって移動可能なホスト，すなわち移動体がさまざまな場所，用途で利用されるようになってきたため，移動体通信をサポートする技術に対する要求が高まってきている．移動体通信をサポートする上では，通常，移動体の位置管理およびデータパケットの転送を効率的に行ない，ネットワーク資源を有効に利用することが重要な問題となる．従来のプロトコルでも，この問題を解決するためにさまざまな方法がとられている [1, 2, 5, 6, 7, 8]．これらの方法は，いくつかの移動体サポート方式に分類される．移動体サポート方式は，移動体の移動頻度や通信頻度，ネットワークトポロジ，およびパケットの大きさなどのネットワークのパラメータによって最適なものが異なることが示され

ている [3]．この結果に基づいて，文献 [4] では，ネットワークのパラメータに従って各方式を切替えるプロトコルを提案し，方式の選択基準を解析的に示している．このプロトコルでは，方式の選択基準を，ネットワーク全体における各パラメータの値を用いて求めている．そのため，ネットワーク内にまわりとパラメータの値が大きく異なる部分がある場合，その影響がネットワーク全体に及んでしまう．

そこで本稿では，ドメインとよぶネットワークの部分集合をいくつか構成し，方式をドメイン内，ドメイン間にわけて階層的に適用することによって，移動体の位置管理，およびデータパケットの転送を効率的に行なう階層的な位置管理手法を提案する．そして，この手法と，従来の移動体サポート方式をトラヒックの観点から定量的に比較し，この手法の有効性を示す．

以下では、まず2章で、従来のプロトコルで用いられている移動体サポート方式と階層的位管理手法について説明する。3章では、トラフィック量の観点から階層的位管理手法の性能を評価し、その結果に基づいて従来の方式との比較を行なう。最後に4章で本稿のまとめとする。

2 階層的位管理手法

この章では、従来のプロトコルで用いられている移動体サポート方式と本稿で提案している階層的位管理手法について説明する。

2.1 移動体サポート方式

移動体をサポートするにあたって、1章で述べたように移動体の位管理およびデータパケットの転送を効率よく行なう必要がある。この節では、この問題を解決する移動体サポート方式である、BN、DF、DQ方式について説明する。以下で、デフォルトルータとはある移動体の位情報を保持しているルータのことである。また、カレントルータとは、移動体と直接通信可能なルータのことを指す。

BN. 移動体が移動するたびに、移動先と移動元のルータが位情報を全てのルータに通知する。データ通信時には、すべてのルータが移動体の位情報を保持しているので、移動体の現在地へ直接転送することができる。

DF. 特定のデフォルトルータが常に移動体の位情報を保持する。移動体の移動が発生した場合、新しいカレントルータがデフォルトルータに位情報を送信する。デフォルトルータはこれに対してACKパケットを送信する。データ通信時は、データパケットはいったんデフォルトルータに転送され、その後、デフォルトルータによってカレントルータへ転送される。

DQ. 移動体の移動が検出されたときは、DFと同様にカレントルータがデフォルトルータに通知を行なう。データパケットを受けとったルータはデフォルトルータへ移動体の位を問い合わせ、その結果に基づいてデータパケットの転送を行なう。

2.2 階層的位管理手法の概要

本節では、本稿で提案する階層的位管理手法の概要について説明する。この手法は、ネットワークにおいて、移動頻度がまわりより大きい部分をひとつのドメインとし、ドメイン内とドメイン間に2.1節で述べた移動体サポート方式を階層的に適用する。以下では、上の階層、すなわちドメイン間にDF、下の階層であるドメイン内にBNを適用するDF/BN、同様のDQ/BN、BN/DF、BN/DQについて説明する。DFとDQは移動頻度ではなく、データパケットのサイズによってどちらがいいか決まるため、DF/DQ、DQ/DFという組合せは階層化の効果はないものといえる。そのため、以下ではこの組合せについて考察の対象とはしない。

DF/BN. この手法では、ドメイン単位でDFを適用するために、デフォルトルータに当たるものとして、デフォルトドメインを用いる。各ドメインには代表ルータがひとつ存在し、そのドメインがデフォルトドメインである場合、代表ルータが実質的なデフォルトルータとして働く。このルータは、移動体が他のドメインにいる時は、移動体がどのドメインに存在するかという情報を保持する。

移動体がドメイン内を移動すると、ドメイン内のルータにブロードキャストで移動先ルータおよび移動元ルータから移動が通知される。また、移動体がドメイン間を移動する時は移動元と移動先のドメイン内で位情報をブロードキャストし、移動先のドメインの代表ルータがデフォルトドメインの代表ルータに移動体の存在を通知する。

データ通信時は、ドメイン内ではBNを適用しているので、すべてのルータが移動体が存在するかどうかを知っている。存在がわかっているときは、直接データパケットを転送し、わかっていないときは、デフォルトドメインの代表ルータへデータパケットを転送し、代表ルータが移動体の存在するドメインへデータパケットを転送する。

DQ/BN. 移動体の移動時の処理はDF/BNと同じである。データパケットを受けとったルータが移動体の位情報を保持していないときは、デフォルトドメインの代表ルータに移動体の位を問合せ、その結果に基づいて転送を行なう。

BN/DF. この手法では、各ドメインの代表ルータを、そのドメイン内におけるデフォルトルータとする。すなわち、代表ルータはそのドメイン内

	BN	DF	DQ
移動時	$2Lc$	$2Hc$	$2Hc$
通信時	Hd	$2Hd$	$2Hc + Hd$
総トラヒック量	$(n+1)Hc\lambda + Hd\lambda$	$2Hc\mu + 2Hd\lambda$	$2Hc\mu + 2Hc\lambda + Hd\lambda$

表 1: 移動体サポート 3 方式によって生じるトラヒック量

に存在するすべての移動体の位置情報を保持する。移動体がドメイン内で移動した場合、移動通知はこのルータのみに送信される。ドメイン間の移動では、移動先のドメインの代表ルータが他のすべてのドメインの代表ルータに対して移動体の存在を通知する。

ルータがデータパケットを受けとると、まずドメイン内の代表ルータにパケットを転送する。通信先の移動体があるドメイン内に存在する場合は、代表ルータが直接データパケットを転送する。通信先の移動体があるドメイン内に存在するならば、代表ルータが移動体のいるドメインの代表ルータにデータパケットを転送する。通信先の移動体があるドメインでは代表ルータが位置情報に基づいてデータパケットを転送する。

BN/DQ. 代表ルータの働きや移動通知の方法は BN/DF と同様である。ルータがデータパケットを受けとると、そのドメインの代表ルータに移動体の位置を問い合わせ、その結果に基づいてデータパケットを転送する。

3 評価

この章では、階層的位置管理の 4 手法と移動体サポートの 3 方式の性能を、トラヒック量を用いて評価し、比較する。

3.1 トラヒック解析

本節では、1つの移動体の移動および通信によって生じるトラヒック量を解析する。ここでは、同じパラメータをもつドメインが N 個集まっているネットワークを考える。移動体の移動および通信はランダムに発生するものとする。移動間隔、通信間隔は指数分布とし、その頻度を μ , λ とする。ネットワークは n 個のルータが L 本の回線で接続された構造であり、ルータ間の平均距離を H とする。各ドメイン内のルータ間平均距離を H_i 、回

線数を L_i とし、あるルータから、他のドメインのルータへの平均距離を H_o とする。また、移動体がドメイン内で移動する頻度を μ_i とする。移動体が受信するデータパケットの平均サイズを d 、移動通知や問合せに用いる制御パケットの平均サイズを c とする。

文献 [3] に従い、移動体サポート方式のトラヒック量は、表 1 のように表されるものとする。この表から、次のようなことがわかる。

BN は、移動時に移動元と移動先の 2 つのルータがすべてのルータに位置情報をブロードキャストするため、移動が頻繁な場合にはトラヒック量が増加する。しかし、通信時には最短距離でデータパケットを転送できるので、最も効率が良い。そのため、移動頻度に比べて通信頻度が非常に大きいときに有効であると考えられる。

DF は通信時に一度デフォルトルータへデータパケットの転送が行なわれるので、BN と比べてトラヒック量が増加する。しかし、移動時は位置情報の通知と確認の制御パケットが交換されるだけなので、移動が頻繁な場合に対応できる。

DQ は移動時の処理が DF と同じであり、同様に移動が頻繁な場合に対応できる。通信時には、デフォルトルータへ問合せを行なって最短ルートでデータパケットを転送することができる。そのため、データパケットのサイズが大きいときは DF より効率的である。DF と DQ を比べると、 d が c の 2 倍のとき、総トラヒック量を表す式が同じになることが分かる。すなわち、 $d < 2c$ のときは DF が、 $d > 2c$ のときは DQ が効率的であるといえる。

次に、階層的位置管理の 4 つの手法のトラヒックを求める。

DF/BN. 移動体が同一ドメイン内を移動するときには、 $2L_i c$ のトラヒックが生じる。また、ドメイン間の移動のうち、移動先がデフォルトドメインではない場合、トラヒックは $2L_i c + 2H_o c$ と

DF/BN	$2L_i c\mu + \frac{N-1}{N} 2H_o c\mu - \frac{N-1}{N} 2H_o c\mu_1 + \frac{2N-1}{N^2} H_i d\lambda + \frac{(N-1)^2}{N^2} 2H_o d\lambda$
DQ/BN	$2L_i c\mu + \frac{N-1}{N} 2H_o c\mu - \frac{N-1}{N} 2H_o c\mu_1 + \frac{1}{N} H_i d\lambda + \frac{N-1}{N^2} 2H_i c\lambda + \frac{N-1}{N} H_o d\lambda + \frac{(N-1)^2}{N^2} 2H_o c\lambda$
BN/DF	$2H_i c\mu + N H_o c\mu - N H_o c\mu_1 + 2H_i d\lambda + \frac{N-1}{N} H_o d\lambda$
BN/DQ	$2H_i c\mu + N H_o c\mu - N H_o c\mu_1 + 2H_i c\lambda + H_i d\lambda + \frac{N-1}{N} H_o d\lambda$

表 2: 4つの階層的位管理手法によって生じるトラヒック量

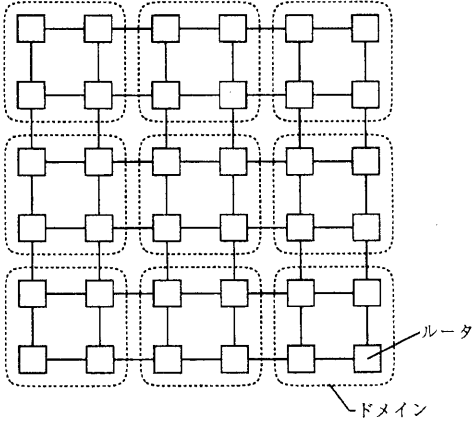


図 1: ネットワークトポロジの例 ($m = 3$)

なる。移動体がデフォルトドメインへ移動するとき、ドメイン内でのブロードキャストによる通知がデフォルトドメインの代表ルータへの通知を兼ねるため、 $2L_i c$ のトラヒックを生じる。

次にデータ通信時に生じるトラヒックを求める。ドメインの中で通信を行なう場合、 $H_i d$ のトラヒックが生じる。デフォルトドメインから他のドメインへの通信のときは、 $H_i d + H_o d$ のトラヒックが生じる。また、デフォルトドメイン以外のドメインからデフォルトドメインに通信するときは、デフォルトドメインに転送したデータがそのまま、通信先ルータに届くので、 $H_o d$ のトラヒックが生じる。それ以外の場合はトラヒックは $2H_o d$ となる。

DQ/BN. 移動体の移動と、ドメイン内での通信によって生じるトラヒックはDF/BNと同じである。デフォルトドメインからそれ以外のドメインへ通信が発生したときは、 $2H_i c + H_o d$ のトラヒックが生じる。それ以外のときは、生じるトラヒックは $2H_o c + H_o d$ となる。

BN/DF. 移動体がドメイン内で移動すると、 $2H_i c$ のトラヒックが生じる。また、ドメイン間を移動する時は、生じるトラヒックは $2H_i c + N H_o c$ となる。

ドメイン内での通信では、 $2H_i d$ のトラヒックが生じる。また、ドメイン間の通信では、 $2H_i d + H_o d$ のトラヒックが生じる。

BN/DQ. 移動体の移動とともなう生じるトラヒックはBN/DFと同じである。ドメイン内で通信では、 $2H_i c + H_i d$ のトラヒックが生じる。また、ドメイン間にまたがる通信では、 $2H_i c + H_o d + H_i d$ のトラヒックが生じる。

各手法における総トラヒック量は、表2で表される。この結果から、これらの手法では、 μ_1 が大きいときは移動とともなう位置情報の通知によるトラヒックを小さく抑えることが可能であるといえる。

3.2 評価に用いるネットワーク

評価を行なうために、ドメイン内にルータが格子状に 2×2 個接続されており、ドメインが格子状に $m \times m$ 個接続されているトポロジのネットワークを考える。このネットワークトポロジの例を図1に示す。

このモデルでは各パラメータは次のように表される。

$$\begin{aligned}
 n &= 4m^2 \\
 N &= m^2 \\
 H &= \frac{m(2m-1)(2m+1)}{3m} \\
 H_i &= 1 \\
 H_o &= \frac{m(2m-1)(2m+1)-1}{2(m^2-1)} \\
 L &= 4m(2m-1) \\
 L_i &= 4
 \end{aligned}$$

これらを各手法のトラヒック量の式に代入し、 $c\mu$ で割った式を表3に示す。ここで、 j は μ_1/μ であり、移動頻度中のドメイン内移動の比率を表す。

BN	$\frac{2m-1}{3m}(24m^2 + (2m+1)kl)$
DF	$\frac{2(2m-1)(2m+1)}{3m}(1+kl)$
DQ	$\frac{2(2m-1)(2m+1)}{3m}(1+(2+l)k)$
DF/BN	$\frac{2(m(2m-1)(2m+1)-1)}{3m^4}(m^2(1-j) + (m^2-1)lk) + \frac{2m^2-1}{m^4}lk + 8$
DQ/BN	$\frac{2(m(2m-1)(2m+1)-1)}{3m^4}(2m^2(1-j) + m^2lk + (2m^2-1)k) + \frac{1}{m}lk + \frac{2(m^2-1)}{m^4}k + 8$
BN/DF	$\frac{m^4(m(2m-1)(2m+1)-1)}{3(m^2-1)}(1-j) + 2lk + \frac{m(2m-1)(2m+1)-1}{3m^2}lk + 2$
BN/DQ	$\frac{m^2(m(2m-1)(2m+1)-1)}{3(m^2-1)}(1-j) + 2k + lk + \frac{m(2m-1)(2m+1)-1}{3m^2}lk + 2$

表 3: 格子状ネットワークにおけるトラヒック量

k は λ/μ で、通信頻度と移動頻度の比である。また、 l は d/c であり、データパケットと制御パケットのサイズの比を表す。

表 3から、トラヒック量は BN では $O(m^2)$ 、DF、DQ および DF/BN、DQ/BN では $O(m)$ 、BN/DF、BN/DQ では $O(m^3)$ となることが分かる。ただし、BN/DF と BN/DQ では、 j の値が 1 に近付くほど、また、 lk の値が大きくなるほど、 $O(m)$ に近づく。

3.3 トラヒック量比較

この節では、ネットワークのサイズを表す m と移動頻度中のドメイン内移動の比率を表す j の値によってどの手法が最もトラヒックが少なくなるかを示す。 l が 1 の場合と 5 の場合のそれぞれにおいて、 k を 4, 10, 50 に固定し、 m を 2 から 7 まで、 j を 0 から 1 まで動かしたときに最もトラヒックが少ない手法を示したグラフが図 2 である。3.1 節の議論から、DF と DQ は l の値と 2 との大小によって有効であるかどうかが決まるため、 $l=1$ のときは DQ より DF を用いている手法が、 $l=5$ では DF より DQ を用いている手法が有効である。

このグラフから、ネットワークの規模を表す m が大きくなるにつれ、DF/BN、DQ/BN の有効な範囲が広がるのが分かる。すなわち、DF/BN、DQ/BN はスケラビリティがあるといえる。また、ネットワークの規模が中規模であるときは、BN/DF、BN/DQ が有効であることも分かる。また、通信頻度が大きくなるほど DF より DF/BN が、DF/BN より BN/DF が有効になることも明らかである。DQ、DQ/BN、BN/DQ においても同様の結果が得られているが、DF を使っている

場合と比べて BN の有効範囲が広いと、あまり顕著に現れていない。これは、 l の値が大きい場合、すなわち通信によって生じるトラヒックが大きいときほど、BN が有効であることに起因するものと考えられる。また、通信頻度が大きくなるにつれて BN の有効性が増すこともわかる。

3.4 考察

今回評価したネットワークトポロジにおいては、以上の議論から、本稿で評価した各手法は次のように使い分けるべきであると考えられる。通信頻度が移動頻度に比べて十分大きく、ネットワークの規模が小さいときは BN が有効である。また、通信頻度が小さく、ネットワーク規模が中規模でドメイン内移動頻度が大きいときや通信頻度が大きく、ネットワークの規模が大きい場合は BN/DF、BN/DQ を使うのが良い。また、通信頻度があまり小さくなく、ネットワークが大規模で、ドメイン内移動頻度が大きい場合は DF/BN、DQ/BN が有効である。その他の場合は DF、DQ が有効である。ここで、あらかじめドメインを決定しておくのではなく、各ルータ間の移動頻度を見てドメイン内移動頻度が全体の平均移動頻度の一定のしきい値を越える部分をドメインとすれば、階層的な位置管理手法の有効性は飛躍的に増大すると考えられる。

4 おわりに

本稿では、移動体をサポートする手段として 4 つの階層的な位置管理手法を考え、従来のプロトコルで用いられている移動体サポート方式とともに

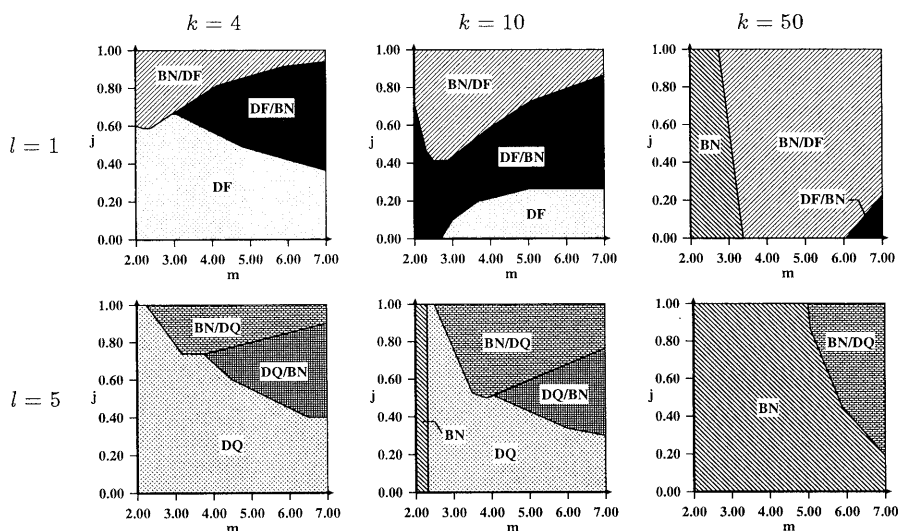


図 2: 各手法によって生じるトラフィック量比較

トラフィックの観点から定量的に評価を行ない比較を行なった。それによってネットワークのさまざまなパラメータによってどの手法が有効であるのかを示した。

今後の研究課題としては、今回評価に用いた格子状トポロジ以外のトポロジによる評価がある。また今回提案した手法を実装し、実ネットワーク環境下で評価を行なう必要がある。

謝辞 本研究の一部は、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)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," *Proc. IEEE MILCOM*, pp159-164, 1992.
- [2] Perkins, C.E. and Bhagwat, P.: "A Mobile Networking System Based on Internet Protocol," *IEEE Personal Communications*, Vol.1, pp.32-41, 1994.
- [3] 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 Sytems, Users, Data and Computing*, Vol.1, No.1, 1996 (to appear).

- [4] 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, May 1996.
- [5] 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.
- [6] Teraoka, F., Yokote, Y. and Tokoro, M.: "A Network Architecture Providing Host Migration Transparency," *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp.209-220, 1991.
- [7] 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, pp2001-2018, 1995.
- [8] Wada, H., Yozawa, T., Ohnishi, T. and Tanaka, Y.: "Mobile Computing Environment Based on Internet Packet Forwarding," *Proc. Winter USENIX*, pp.503-517, 1993.