

グループ移動のための移動体位置登録方式

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

E-mail: {hagino,hara,tuka,nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

筆者らはこれまでに、グループで移動するユーザの位置登録を一括で行うことでネットワーク負荷を低減することを目的とした、移動体位置登録方式を提案している。この方式では、各移動体がモバイル IP における HA に個別に位置登録を行う代わりに、グループで一括してグループ情報を管理するルータに位置登録を行うことで、ネットワーク負荷を低減できる。本稿では、この位置登録方式のいくつかの技術課題について考察し、それぞれの解決方法について議論する。まず、交通機関の運行情報などグループの移動のスケジュールが既知である場合に、その情報を利用して位置登録の手間を軽減する方法を提案する。次に、提案方式がモバイル IP と比較して、通信時に大きなネットワーク負荷が発生するという問題の解決法として、移動体が自身の通信頻度に基づいて、グループに参加するかどうかを決定する方法を提案する。さらに、位置登録の際に無線通信部分で大量のパケットが交換される問題の解決として、グループ間でグループ構成情報を交換し、登録処理を効率化する方法を提案する。

A Mobile Location Registration Method for Group Migration

Hiroaki HAGINO

Takahiro HARA

Masahiko TSUKAMOTO

Shojiro NISHIO

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

In our previous work, we proposed a routing method called *Mr. G (Mobile Routing Method for Group Migration)* to reduce the network load when there are group migrations of mobile users. In this method, users moving together in a group can register their location information in a lump instead of individually. In this paper, we discuss the implementation issues of our proposed method and our solutions for those issues. First, we propose the use of schedule information of public transport as a strategy to reduce the number of packets in the location registration. Second, To reduce the communication overhead, we propose a strategy that makes users automatically join a group if they frequently communicate each other. Finally, to reduce radio communication packets exchanged on the location registration, we propose a registration strategy that makes use of member information exchanged among groups.

1 はじめに

近年、計算機の小型化、軽量化および無線ネットワーク技術の発展により、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実現されつつある [1]~[7]。今後は、この環境がさらに普及し、ウェアラブルコンピューティング [11] に代表される、よりユーザの生活に密着した通信環境の実現が予想される。このような環境では、ユーザのもつ移動体は常に通信可能な状態が維持され、いつでも情報の発信および受信が可能となる。したがって、ユーザが通信を行わないときでも、ユーザの移動による位置登録処理が発生するため、ユーザ数の急激な増加にともない、位置登録のトラヒックによるネットワーク負荷は無視できなくなるものと考えられる。

一方、実環境では一般に、電車や飛行機などの公共交通機関を利用する場合など、ユーザがグループ単位で移動することが多い。ここで、従来のモバイル IP では、例えば、新幹線に乗っている 1000 人のユーザに対して、新幹線が新たな基地局のサブネットに入る度に、同様の 1000 回の位置登録が個別に行われる。そこで、筆者らはこれまでに、位置登録によるネットワーク負荷を低減することを目的として、ユーザのグループ単位での移動を考慮した移動体通信方式 *Mr.G (Mobile Routing method for Group migration)* を提案している [3]。提案方式では、公共の交通機関を利用しているユーザをグループとして管理し、一括で位置登録を行う。これによって、位置登録にともなうネットワーク負荷を大きく低減できる。しかし、*Mr.G* には通信オーバーヘッドや、無線通信部分における衝突の発生など、

実環境において用いるにはいくつかの技術課題が残されている。

本稿では、Mr.Gを実現するための技術課題を示し、それを解決するためのMr.Gの拡張に「ついて議論する。まず、交通機関の運行情報など、グループ移動のスケジュールが既知な場合に、その情報を用いて、位置登録処理の回数を低減する方法を提案する。また、Mr.Gにおいて、位置登録によるネットワーク負荷を低減できる一方、通信時にはパケットが冗長な経路でルーティングされ、ネットワーク負荷が増加するという問題を解決するために、移動体が自身への通信頻度に基づいて、グループに参加するかどうかを決定する方法を提案する。さらに、一度に大量の位置登録メッセージが送信されると、無線通信部分において衝突が発生するという問題を解決するために、グループ間でグループ構成情報を交換することで位置登録を効率化する方法を提案する。

以下では、まず2章において、筆者らがこれまでに提案しているMr.Gについて説明する。3章では、Mr.Gの拡張について述べる。4章では、Mr.Gに関する考察を行い、最後に5章において、本稿の結論を述べる。

2 Mr.Gの概要

本章では、これまでに筆者らが提案した、ユーザのグループ単位での移動を考慮した移動体通信方式Mr.Gについて説明する。Mr.Gは、モバイルIPで用いられている通信方式を拡張することで実現できる。以下では、1章で述べたように、各ユーザのもつ移動体が常にネットワークに接続されている状態を想定する。

2.1 構成要素

Mr.Gの構成要素を以下に示す。

- ホームアドレス
移動体に割り当てられた固有のアドレス。移動体が移動しても変化しない。
- ホームネットワーク (HN)
移動体のホームアドレスと一致するネットワークプレフィクスをもつサブネット。
- ホームエージェント (HA)
移動体のホームネットワークに存在するルータ。移動体の位置情報を管理する役割をもつ。
- フォーリンエージェント (FA)
ホームネットワーク以外のサブネットに存在

するルータ。移動体が接続しているときは、移動体のデフォルトルータとして機能する。

- 気付アドレス
移動体がHN以外のサブネットで獲得するアドレス。移動体の位置によって変化する。
- グループエージェント (GA)
電車や新幹線の各車両、飛行機などに設置される無線基地局。交通機関を利用しているユーザの情報の管理、登録を行う。
- グループホームアドレス
GAに割り当てられた固有のアドレス。GAが移動しても変化しない。
- グループホームネットワーク (GHN)
GAのグループホームアドレスと一致するネットワークプレフィクスをもつサブネット。
- グループホームエージェント (GHA)
GAのグループホームネットワークに存在するルータ。GAの位置を管理する。

2.2 Mr.Gの動作

Mr.GはモバイルIPの通信方式の拡張であるため、交通機関を利用していないユーザはモバイルIPと同様の位置登録、および通信を行う。以下では、交通機関を利用しているユーザの位置登録、および、それらのユーザに対する通信について述べる。

2.2.1 位置登録

Mr.Gにおける位置登録処理の流れを以下に示す。

1. GAは、定期的にアドバタイズメントを放送する。ここで、例えば電車の車内の場合、GAの無線通信範囲は車内に届く程度であると仮定する。それを受け取った移動体は、GAにアドレスの割り当てを要求し、気付アドレスを獲得する。移動体がFAから受け取るアドバタイズメントは、GAからのものがタイムアウトしない限り無視する。その後、移動体は気付アドレスとホームアドレスを含んだ登録要求メッセージをGAに送信する。
2. GAは、FAに対しては、モバイルIPにおける移動体として動作し、気付アドレスを獲得する。GAはアドバタイズメントを放送した後、しばらくの間待機し、その間に受信した登録要求メッセージに基づいて、ユーザのグループを構成する。その後、モバイルIP

の登録要求メッセージにグループ構成の情報を付加したものを生成し、FA に登録要求を行う。このメッセージのホームアドレスにはGA のグループホームアドレスを、気付アドレスにはGA の気付アドレスを用いる。また、登録要求メッセージに付加するグループ構成の情報として、GA は次の2つのいずれかを選択する。

- グループに属する全ての移動体の情報。
- グループの差分情報。

グループ構成の変化が小さい場合には前者を、グループ構成が大きく変化した場合には後者を選択することで、位置登録メッセージのサイズを小さくできる。

3. FA は、受け取った位置登録メッセージをGHA にフォワードする。
4. GHA は、位置登録メッセージを受け取ると、まずGA の位置情報を更新する。そして、新たにそのグループに参加した移動体については、気付アドレスをGA のグループホームアドレスとする登録要求メッセージをHA に送信する。
5. HA は、GHA から登録要求メッセージを受け取ると、自局のもつ位置情報を更新し、登録応答メッセージをGHA に送信する。
6. GHA は、位置登録を行った全てのHA から登録応答メッセージを受け取ると、GA に登録応答メッセージを送信する。
7. GA は、各移動体に登録応答メッセージを送信する。

このようにして、HA は移動体の属するグループのグループホームアドレスを、GHA はグループの気付アドレスを、GA は各移動体の気付アドレスをそれぞれ管理する。

2.2.2 通信

Mr.G における移動体に対する通信時の処理の流れを以下に示す。

1. 移動体宛のパケットは、モバイル IP と同様にHN まで送られる。グループ単位で移動している移動体はHN に接続していないため、必ずHA がパケットを受け取る。

2. HA は自局のもつ情報に基づいて、GA のグループホームアドレスを宛先とするIP ヘッダでパケットをカプセル化して送信する。
3. このパケットはGA のGHN まで送られ、GHA によって受け取られる。GHA は、受け取ったパケットから、カプセル化したIP ヘッダを取り除く。そして、GA の気付アドレスを宛先とするIP ヘッダでそのパケットをカプセル化して送信する。
4. パケットを受け取ったFA は、IP ヘッダを取り除き、グループホームアドレスに基づいて、パケットをGA に送信する。
5. GA はさらにIP ヘッダを取り除き、ホームアドレスを参照することで、宛先である移動体にパケットをフォワードする。

このように、GHA がHA の代わりにグループの位置情報を管理することで、グループ単位で移動している移動体への通信を実現している。しかし、モバイルIP では、HA を経由するだけで通信可能であるのに対して、Mr.G ではさらにGHA を経由するため、通信にともなうネットワーク負荷が増大する。

3 Mr.G の拡張

本章では、Mr.G の技術課題について述べ、それぞれの課題に関して解決方法を提案する。

3.1 運行スケジュール情報の利用

ユーザが公共の交通機関を利用している場合、ユーザのグループは特定のスケジュールに基づいて移動することが多い。そこで、このようなスケジュール情報を用いることで、GA がGHA に対して位置登録メッセージを送信するタイミングを次の場合に限定することができるため、位置登録の効率化が可能となる。

- グループメンバに変更があった場合。
- 運行スケジュールに変更があった場合。例えば、GA があるサブネットに接続する時間が予定より遅くなったときに、GA はその情報をGHA に通知する。GHA は受け取った情報に基づいて、運行スケジュール情報を補正する。

GHA はGA が移動するルート上に存在するFA の情報と、GA が各FA に接続する時刻の情報を保

持っている。GHAはGAから位置登録が行われない間は、グループメンバに変更がなく、かつ予定通りの時刻に移動しているものとみなし、自動的にGAの気付アドレスを変更する。これによって、GAからGHAに送信される位置登録メッセージの数が減少し、位置登録にともなうネットワーク負荷を低減できる。

3.2 通信オーバーヘッドの低減

2.2節で述べたように、Mr.Gでは、移動体宛の packets がHAだけでなく、GHAを経由するため、通信時のオーバーヘッドが大きい。この問題を軽減するために、Mr.Gにおける移動体の位置登録処理を次のように変更する。

1. GAは、新しいFAと接続する度に、アドバタイズメントをブロードキャストする。このメッセージには、GAが接続したFAとGHAの間のホップ数 H_{GHA} と、次にGAが位置登録を行うまでに通過すると予想されるサブネットの数 N に関する情報が含まれている。
2. 移動体は、自身への通信回数のログを保持しており、それに基づいて過去の平均通信頻度を計算する。ここで、固定ネットワークにおける2ルータ間の平均ホップ数を H 、アドレス長を L 、通信パケットの平均データサイズを d 、GAが一つのサブネットに接続している間にその移動体宛に発生する平均通信回数を C とする。このとき、移動体がGAを経由して位置登録を行う場合、次の位置登録までに発生するネットワーク負荷は次式のように見積もることができる。

$$4L(H + H_{GHA}) + (2H + H_{GHA})dCN \quad (1)$$

一方、移動体がGAを介さずに直接FAからHAに位置登録を行う場合、ネットワーク負荷の見積もり値は次式で表される。

$$2HLN + 2dCHN \quad (2)$$

移動体は、位置登録時に上記の2式を計算する。前者の方が値が小さくなる場合は、図1のようにGAに位置登録を行う。一方、後者の方が値が小さくなる場合は、図2に示すように、モバイルIPと同様の方法で、直接HAに位置情報を登録する。もし、移動体が元々GAに位置登録を行っていたなら、移動体はGAに対して登録情報を無効化するメッセージを送信する。

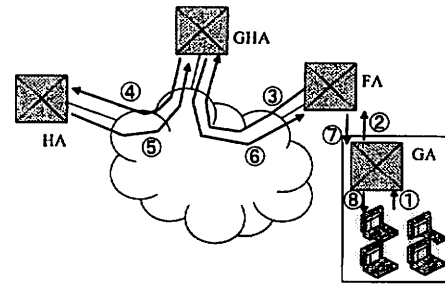


図1: 通信が頻繁でない場合の位置登録処理

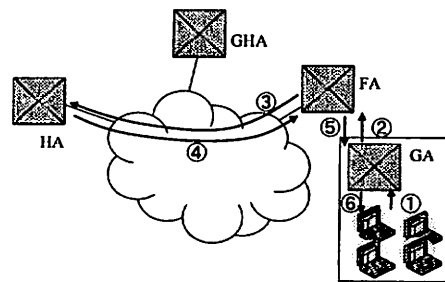


図2: 通信が頻繁な場合の位置登録処理

3. GAは移動体から受け取った位置登録メッセージから、グループメンバの変更の有無を調べる。3.1節で述べたように、グループメンバに変更がある場合は、GHAに対してグループメンバの変更を通知し、グループメンバに変更のなかった場合は、通知を行わない。

この拡張によって、自身への通信が頻繁に発生する移動体は、通信オーバーヘッドの小さいモバイルIPと同様の位置登録を選択でき、通信が頻繁でない移動体は、位置登録によるネットワーク負荷の小さい、GAを介した位置登録を選択できる。その結果、全体としてネットワーク負荷の低減が期待できる。

3.3 GA間のグループ情報の交換

Mr.Gでは、GAがアドバタイズメントをブロードキャストする度に、それぞれの移動体が一斉に回答メッセージの送信を試みる。ここで、グループのメンバが非常に多い場合は、無線通信部分においてパケットの衝突が発生し、結果として登録処理が円滑に行われない可能性がある。GAが移動中、すなわち公共交通機関が移動している間は、その交通機関を利用しているユーザの構成は変化しないため、

登録処理の遅延は大きな問題ではないと考えられる。特に、Mr.G では 3.1 節で述べた拡張によって、GA から GHA へ登録メッセージが届かない場合でも、GHA は運行スケジュール情報に基づいて自律的に GA の位置情報を更新するため、登録処理の遅延が問題となる状況は少ない。しかし、GA が停止している間、すなわち駅やバス停などで公共交通機関が停止している間は、ユーザの乗り降りによって、グループ構成の変更および移動体への通信経路の変更が発生する。この場合、円滑な位置登録は非常に重要な問題となる。

そこで、直接無線通信可能な GA 間でグループメンバーの情報を交換し、各 GA がその情報に基づいて移動体を点呼することによって、グループメンバー情報を更新するように Mr.G を拡張する。以下では、説明の簡単化のために、駅に停車中の電車におけるグループメンバー情報の交換手順について説明する。

1. ある GA (GA1) が設置された電車 (電車 1) が駅で停車したとき、駅に他の電車が停車していなければ、GA1 は、自身のもつグループ構成情報に基づいて、移動体の点呼を開始する。GA1 に登録されている移動体のアドレスを、一定の時間間隔で順にブロードキャストし、応答の得られた移動体のみで新しくグループを構成する。点呼が終了すると、従来のアドバタイズメントメッセージをブロードキャストし、通常の登録処理を行う。
2. 電車 1 が停車している間に、別の GA (GA2) が設置された電車 (電車 2) が駅に停車したとき、GA1 と GA2 は、互いのアドバタイズメントメッセージによってそのことを検出する。GA1 は、自身の担当するグループから離脱した移動体のリストに、タイムスタンプと GA1 のアドレスをつけて GA2 に送信する。一方、GA2 は GA1 と同様に、自身の担当するグループで点呼を行い、その結果、グループを離脱したメンバーのリストに、タイムスタンプと GA2 のアドレスをつけて GA1 に送信する。GA1 と GA2 は、受け取った情報を用いて点呼を行う。
3. さらに、別の GA (GA3) が設置された電車 (電車 3) が駅に停車したとき、GA3 は、まず自身の担当するグループについて点呼を行い、その結果を GA1 と GA2 に送信する。一方、GA1 と GA2 は、点呼した結果にタイムスタンプと GA1、GA2 のアドレスをつけて GA3 に送信する。GA3 は受け取った情報のうち、新しいものを用いて点呼を行う。

このように、グループメンバーの点呼と従来の登録処理を併用することで、無線通信部分における衝突を可能な限り回避し、円滑な登録処理を行うことができる。

4 考察

本章では、筆者らの提案した Mr.G と本稿で行った拡張について考察を行う。

4.1 関連研究

本研究における GA をルータとみなすと、GA の担当するグループは移動可能なサブネットとみなすことができる。移動するサブネットに関する研究は、これまでにいくつか行われている。文献 [9] では、移動体ではなく、ルータに HA を割り当てることで、サブネットが移動可能になる可能性を示している。しかし、具体的な通信方式は提案されていない。また、文献 [5] では、移動するサブネットを実現するためのネットワークアーキテクチャを提案しており、その実現方法の一つとしてモバイル IP の拡張について議論している。この研究は、移動体のための HA とサブネットのための HA を併用し、2 段階のカプセル化を用いて通信を実現する点において、筆者らの提案した Mr.G と類似している。しかし、提案方式のように、このアプローチの実環境における問題点について考慮しておらず、それを解決するための拡張も行っていない。

また、多段階のカプセル化を用いた通信を実現する研究として文献 [2, 8] がある。文献 [8] では、位置登録の効率化を目的として、多段階に階層化された HA を用意し、通信時には、上位の HA から順に位置情報を検索する。また、文献 [2] では、ネットワークをグループ化し、グループ内およびグループ間において独立に位置管理を行う方式を提案している。これらの研究では、個々の移動体に対する通信の効率化を目的としており、グループ移動を行う移動体を対象としていない。

4.2 位置登録の与える影響

Mr.G は、移動体の位置登録によって発生するネットワーク負荷の低減を目的としている。したがって、ネットワーク全体での負荷に対して、位置登録による負荷の占める割合が大きくなければ、提案方式の重要性は低い。しかし、以下の理由から、今後、位置登録がネットワーク全体に与える影響が大きくなるものと考えられる。

- 1 章で述べたように、今後はウェアラブルコンピューティングに対する注目の高まりとと

もに、移動体がよりユーザの生活に密着したものにすることが予想される。それによって、全ての移動体が常時ネットワークに接続しており、携帯電話と同じような感覚で他のユーザとデータ通信を行うことが可能になるものと考えられる。このような環境では、ユーザが通信を行うとき以外でもユーザの位置を同定する必要があるため、位置登録が常に行われる。

- 文献 [10] では、移動体数の増加が予想されるため、今後は、従来のように計算機の位置が固定されているのではなく、計算機が移動することを前提にネットワークアーキテクチャを構築すべきであると述べている。つまり、今後は、ユーザが移動体を一人一台所有するような環境の実現が予想される。これによって、移動体通信によって発生するネットワーク負荷は、固定ネットワークでの通信による負荷と比較して、無視できなくなるものと考えられる。

4.3 GA 間のグループ情報の交換

3.3節で述べたように、提案方式では、位置登録処理の円滑化を目的として、GA 間でグループ情報を交換し、個々の移動体の点呼を行う。しかし、この方法は、グループを構成する移動体の数が少ない場合、アドバタイズメントとそれに対する応答による位置登録処理よりも位置登録に時間がかかる可能性がある。この問題を解決するために、グループを構成する移動体数に関する閾値を設け、移動体数がそれよりも大きいときのみ、点呼による位置登録を行う方法が考えられる。

5 おわりに

本稿では、移動体のグループ単位での移動を考慮した通信方式 Mr.G のいくつかの技術課題について考察し、それぞれの解決方法を提案した。まず、公共交通機関の運行スケジュール情報を利用することで位置登録を省略する方法を提案した。次に、各移動体が、自身を宛先とする通信の発生頻度に基づいて、位置登録処理の手法を適応的に選択する方法を提案した。最後に、円滑な位置登録処理を行うために、GA 間でグループ情報を交換し、個々の移動体に対して点呼を行う方法を提案した。その結果、Mr.G の実用性が増したものと考えられる。

今後は、本稿で行った拡張を含めた Mr.G の性能評価を、シミュレーション実験などによって行う予

定である。さらに、提案方式を実現するプロトコルの設計と実装および実測評価を検討している。

参考文献

- [1] Carlberg, K.G.: "A Routing Architecture That Supports Mobile End Systems," *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," *Proc. IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'97)*, pp.243-246, 1997.
- [3] 萩野浩明, 原隆浩, 塚本昌彦, 西尾章治郎: "グループ移動を考慮した移動体通信方式," 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集, pp. 715-720, 2000.
- [4] Ioannidis, J., Duchamp, D., and Maguire Jr., G.Q.: "IP-based Protocols for Mobile Internetworking," *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp.235-245, 1991.
- [5] 石井公夫, 寺岡文男, 村井純: "移動するネットワークのための透過的な通信機構の設計," 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.125-132, 1995.
- [6] 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.
- [7] 水野忠則, 太田賢: "モバイルコンピューティングの現状と将来像," 電子情報通信学会誌, Vol.80, No.4, pp.318-323, 1997.
- [8] Perkins, C.: "Mobile-IP Local Registration with Hierarchical Foreign Agents," *IETF INTERNET DRAFT*, 1996 (expired).
- [9] Perkins, C.: "IP Mobility Support," *IETF RFC2002*, 1996.
- [10] 舌間一宏, 寺岡文男: "移動指向ネットワークアーキテクチャの設計と実装," 情報処理学会研究報告 99-MBL-9, pp.49-56, 1999.
- [11] Smailagteosic, A. and Siewiorek, D. P.: "Modalities of Interaction with CMU Wearable Computers," *IEEE Personal Communications*, Vol.3, No.1, pp.14-25, 1996.