

Mobile IP ネットワーク上での マルチキャスト通信に関する一検討

橋本 崇[†] 植野 誠史[†]
加藤 聰彦^{††} 鈴木 健二^{††}

モバイルコンピューティングの基本プロトコルとして Mobile IP がある。また、複数の受信者に映像や音声などを配信する技術として IP マルチキャストが使用されている。しかし、Mobile IP と IP マルチキャストはそれぞれ独立して検討されているため、その親和性が高いとは言えない。そこで、本稿ではマルチキャストトラフィックの受信要求を管理するプロトコルである IGMP に注目し、Mobile IP の手順と組み合わせることにより、シームレスなマルチキャスト通信を実現する解決手法について検討を行う。

A Study on Multicast Communications over Mobile IP Network

TAKASHI HASHIMOTO[†], SEIJI UENO[†], TOSHIHIKO KATO^{††}
and KENJI SUZUKI^{††}

Mobile IP is a basic protocol of a mobile computing. IP multicast is used as a technology which delivers information such as video and voice to multiple users. However, there is a problem that the procedures of those two protocols are not harmonized because they are standardized respectively. This paper discusses the coordination between IGMP, which manages receive requests of IP multicast datagram, and the registration procedures in Mobile IP, and proposes a solution technique by which a seamless multicast communication in the Mobile IP network is achieved.

1. はじめに

近年、ノートパソコンなどを利用したモバイルコンピューティングが急速に普及している。また、インターネット上で動画や音声などのデータを多数の受信者に向けて送信するためにはマルチキャスト技術の利用が不可欠となっている。しかし、モバイルコンピューティングの基本プロトコルである Mobile IP [1] [2] と IP マルチキャスト [3] の転送手順はそ

れぞれ独立して検討されているため、必ずしも親和性が高いとは言えない。例えば、あるネットワークでマルチキャストトラフィックを受信していた端末が、Mobile IP を使用して別のネットワークに移動する場合、端末の登録手順とマルチキャストトラフィックの受信要求はそれぞれ独立しているため、移動直後には受信が一時的に途切れるという問題点がある。

これに対する解決手法として、移動先におけるマルチキャストトラフィック受信をサポートするエージェントを導入する方法が提案されている [4]。しかし、マルチキャストパケットの受信要求を行う IGMP (Internet Group

[†] 電気通信大学大学院情報システム学研究科
The University of Electro-Communications.

^{††} 株式会社 KDD 研究所
KDD R&D Laboratories, Inc.

Management Protocol) [5] に注目することで、端末がネットワークを移動した場合でも、新たなエージェントを導入することなく、連続的にマルチキャストトラフィックの受信を実現できると考えられる。本稿では、その方式の手順の検討結果について述べる。

まず第 2 章では Mobile IP と IP マルチキャストの概要について述べ、第 3 章では Mobile IP を使用したネットワーク上でのマルチキャストパケットの受信における問題点の提示と解決法の提案を行う。第 4 章では第 3 章の提案を実装した実験と評価を行う。

2. Mobile IP と IP マルチキャスト

2.1. Mobile IP の概要

Mobile IP とは、端末が通常使用している IP アドレスを変更することなく移動先ネットワーク上で、IP 通信を可能にすることができるプロトコルである。Mobile IP ネットワークの例を図 1 に示す。

モバイル端末 (Mobile Terminal : MT) には、通常接続しているネットワーク (Home Network) の IP アドレス (Home Address) が割り当てられる。端末と他のホストとの通信は、この Home Address を使用して行われる。

MT が Home Network を離れ、別のネットワーク (Foreign Network) に移動した時には、Foreign Network 上に接続された FA (Foreign Agent) によって、気付アドレス (Care-of Address: FA のアドレス) が割り当てられる。一方、ホームネットワーク上には、Care-of Address と Home Address の対応付けと転送管理を行う HA (Home Agent) が置かれる。

HA と FA は、Agent Advertisement メッセージをそれぞれのローカルネットワーク上に定期的に送信している。MT は Agent Advertisement メッセージを検証することによって、ネットワークを移動したことを検出し、Care-of Address の取得を行う。Agent Advertisement メッセージは、1 秒に 1 回まで

送信することができるため、MT は 1 秒以内にネットワークを移動したことを検出できる。

Care-of Address を取得した MT は FA に Registration Request メッセージを送信し、FA はそれを処理した後 HA に転送する。HA は受信した Registration Request メッセージから MT の Care-of Address を登録する。さらに HA は Registration Reply メッセージを FA に送信し、FA は受信したメッセージを MT に転送する。

MT が他のホストに対してユニキャストの IP パケットを送信した場合は、そのパケットは FA および HA とは独立に宛先に向けて転送される。一方、他のホストが MT 宛てのユニキャストパケットを送信すると、そのパケットは MT の Home Network に転送される。HA は MT 宛てのパケットを補足し、登録された Care-of Address に向けてカプセル化して転送する。そのパケットは FA まで転送され、FA においてカプセル化されたもとのパケットが取り出され、MT に配送される。

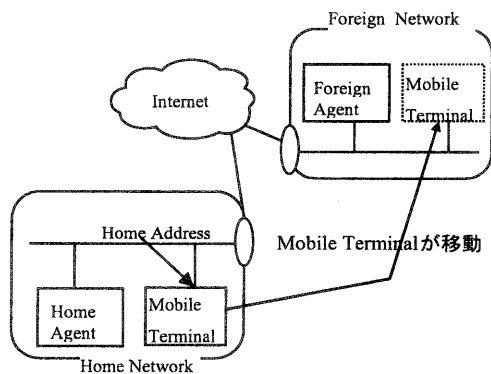


図 1 Mobile IP のネットワーク構成

2.2. IP マルチキャストの概要

マルチキャストとは複数の受信者に対してデータを同時に配信するための技術である。データをマルチキャスト配信したいホストは宛先 IP アドレスに、マルチキャストグループに対応するクラス D アドレスを設定する。各パケットは送信ホストから最短パスツリー(場合によってはマルチキャストグループ毎のランデブーポイント毎からの最短パスツリー)に沿って転送される。

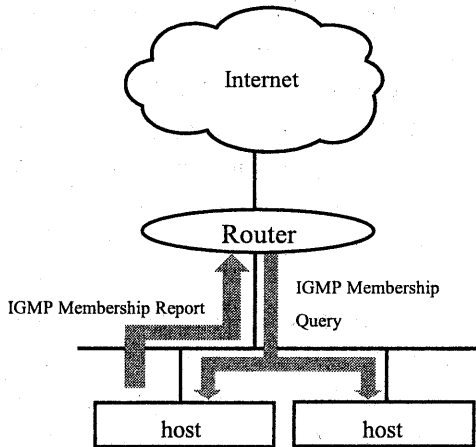


図2 IGMPの手順

マルチキャストをサポートするルータは直接接続するサブネットに IGMP Membership Query メッセージを送信する。マルチキャストパケットを受信したいホストは IGMP Membership Report メッセージにより要求するクラス D アドレスを通知する。ルータは IGMP Membership Report メッセージを受信すると、マルチキャストルーティングプロトコルを使用して自分のネットワークにそのマルチキャストパケットを配信するよう手配を行う。この手順を図 2 に示す。このようにして、マルチキャストルータは、自分の管理するサブネットに、マルチキャストパケットの受信を希望する端末が存在する場合のみ、マルチキャストパケットを転送させるように制御する。

マルチキャストルータはサブネットに直接接続されるホストに対して IGMP Membership Query メッセージをブロードキャストする。その送信間隔は 60 秒程度が一般的である。同一ネットワーク上に Query メッセージを送信するホストが複数ある場合は、最も小さい IP アドレスを持つホストが Query メッセージを送信する。

3. Mobile IP を利用したマルチキャストの受信手順

3.1. 問題点

ユニキャストの IP パケットを受信する場合は、MT がその移動を検出し HA にその Care-of Address を登録すれば、MT 宛のパケットの転送が開始される。Mobile IP では Agent Advertisement メッセージの送信頻度を 1 秒に 1 回までと定めている。これにより、FA は Agent Advertisement メッセージを 1 秒に 1 回まで送信が可能で、MT は 1 秒以内に移動を検出し、Home Address 宛に自分宛てのパケットの転送を要求することが出来る。

しかし、この手順はマルチキャストパケットの受信に適用することはできない。MT が移動先の Foreign Network で、以前他のネットワーク上で受信していたマルチキャストパケットを受け取るようにするためには、直接接続しているルータに対して IGMP Membership Report を送信し、受信を希望するクラス D アドレスを知らせる必要がある。IGMP Membership Report はルータから送信される IGMP Membership Query メッセージを受けてから送信される。しかし、ルータは IGMP Membership Query メッセージを 60 秒間隔で出すために、Mobile IP によってネットワークを移動した MT は、最大 60 秒間マルチキャストパケットを受信することはできないことになる。そのために、パケットの受信再開に時間がかかるのである。この手順例を図 3 に示す。

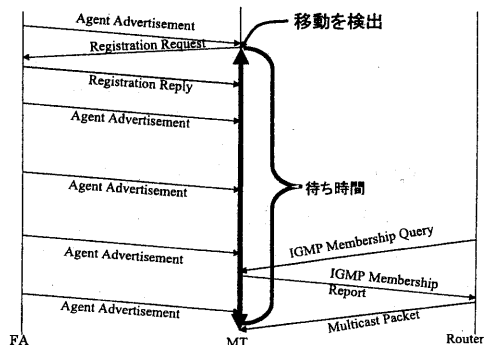


図3 移動時における Multicast 手順例

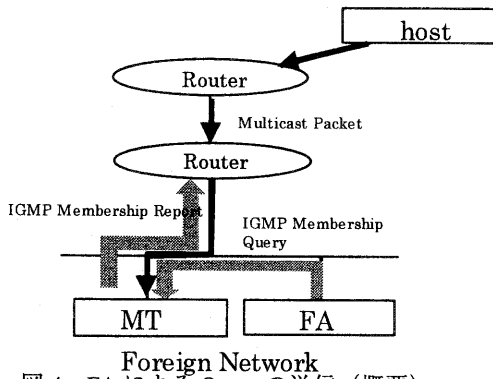


図4 FAによるQueryの送信(概要)

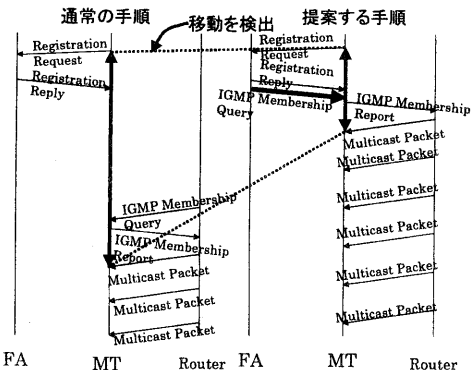


図5 FAによるQueryの送信(シーケンス)

3.2. 解決法の提案

Mobile IP を使用してネットワーク間を移動した場合でも、出来るだけ待ち時間を少なくしてシームレスにマルチキャストパケットを受信できるようにしたい。そのためには、別のネットワークに移動したMTが、受信を希望しているマルチキャストグループのクラスDアドレスをルータができるだけ早く取得する必要がある。このために、ここでは以下のような2種類の方法を提案する。

方式1: 移動後、FAがIGMP Membership Queryをサブネットに送信する方法

上記の問題は、ルータからのIGMP Membership Queryメッセージの送出が、MTがそのネットワークに移動するタイミングとは独立に行われているために生ずる。一方MTの移動を検出するのはFAの機能である。

さらに、上記のようにQueryメッセージ自身は必ずしもルータが送出する必要はない。そこで、Foreign NetworkにMTが接続され、MTが出したRegistration Requestメッセージに対して、HAがRegistration Replyメッセージを返し移動を確認した時点で、FAがそのネットワークにQueryメッセージを送信することとする。これにより、そのQueryメッセージに回答する形でIGMP Membership ReportメッセージをMTが送信することができ、移動直後に、それまで別のネットワークで受信していたマルチキャストグループの情報の受信を再開することが可能である。(図4, 5参照)

方式2: 移動後、MTがIGMP Membership Reportを自発的に送信する方法

これまでの、IGMP Membership Reportメッ

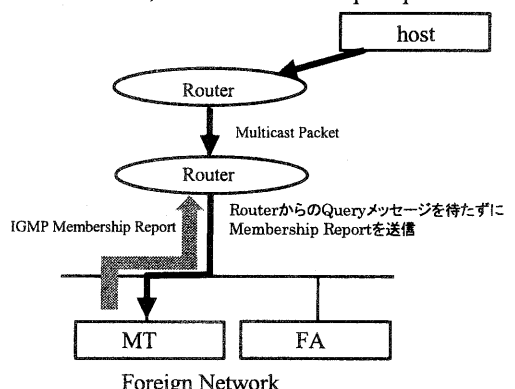


図6 MTによるReportの自発的送信(概要)

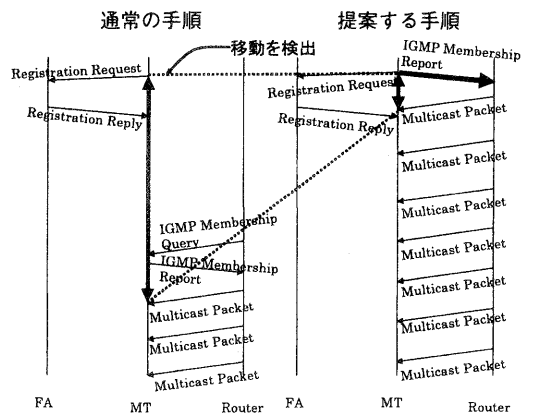


図7 MTによるReportの自発的送信(シーケンス)

セージは、Query メッセージに対応して送出されるとしたが、IGMP の手順は Report メッセージを自発的に送出することも許している。MT は移動に際し、それまでにマルチキャストのデータを受信していたかどうか、受信していた場合はそのグループアドレスは何かを知っている。そのため、MT が Foreign Network に移動し HA に対する登録を終了した後に、MT 自身が Report メッセージを自発的に送出する方式によっても、移動直後に必要となるマルチキャストグループの情報の受信を要求できると考えられる。(図 6, 図 7 参照)

4. 解決法の実装及び評価

提案した方法が、実際の Mobile IP に基づくネットワークにおいて、移動時のマルチキャストパケット受信の待ち時間短縮に効果が出るかどうか、前節で提案した 2 種類の方法を実装し、評価を行った。

4.1. 実験ネットワーク

ルータ 5 台及びマルチキャストパケット送信ホスト、MT、HA、FA を用意し、図 8 で示すようなネットワークを構築した。Mobile IP のパッケージは CMU Monarch プロジェクトで開発されたものを使用した。

マルチキャストパケットを送信するホスト(送信 Host)は Router4 のサブネットに接続し、そこから特定のマルチキャストグループ宛てにパケットを送信する。MT には受信を希望するマルチキャストグループを指定する機能を持たせ、マルチキャストパケットを受信す

ると、受信した旨を表示させるようにした。

4.2. 通常の手順の評価

まずはじめに、今回の提案方法と比較するために、通常の手順により、マルチキャストパケットを受信しながら Mobile IP を利用してネットワークを移動すると、移動時のマルチキャストパケット受信再開までの待ち時間を測定した。実験の手順は以下のとおりである。

1. MT を Home Network に接続。
2. 送信 Host からマルチキャストグループ宛にパケットを送信。
3. MT においてマルチキャストパケットの受信を要求するプログラムを稼動(ルータの間では PIM-SM [6] に従った通信を行わせ、このタイミングで、送信 Host が送信しているマルチキャストグループへの join が行われる)。本プログラムでは、マルチキャストパケットを受信すると、画面にメッセージを表示する。
4. MT を Home Network から外し、Foreign Network に接続。
5. MT を Foreign Network に接続してから MT がメッセージを表示するまでの時間を計測。

上記の手順 4 において、FA は Agent Advertisement メッセージをネットワーク内にブロードキャストしている。MT を Foreign Network に接続すると(タイミング 1)、ブロードキャストされている Agent Advertisement メッセージを受信後、Registration Request メッセージを FA に送信する。FA は Registration Request メッセージを受信後、HA に転送する。HA は Registration Reply メッセージを FA に向けて送信し、FA はさらに MT に転送する。また手順 5 において、Router5 は IGMP Membership Query メッセージを 60 秒毎にブロードキャストしている。MT は Query メッセージを受けてから、IGMP Membership Report メッセージをクラス D アドレス宛てに送信する。Report メッセージを受信した Router5 はマルチキャストグループに join する。マルチ

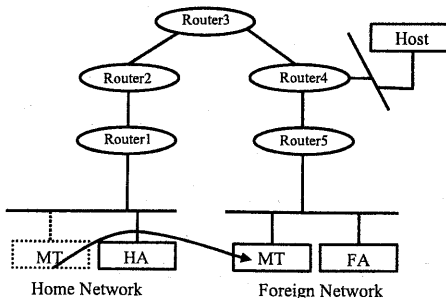


図 8 実験用ネットワークの構成

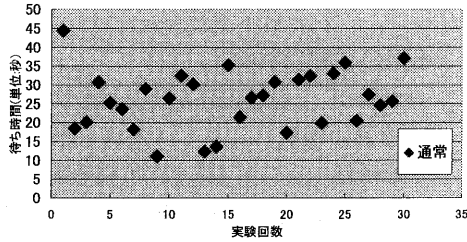


図9 受信再開までの時間(通常の場合)

キャストパケットが流れてきて、MT がそれを受信したら画面にメッセージが表示される(タイミング 2)。タイミング 1 とタイミング 2 の間の時間が待ち時間になる。

この実験を行った結果、移動後 MT がメッセージを出すまでに、11.11 秒から 44.41 秒(平均 26.10 秒)の時間が掛かった。各測定待ち時間を図 9 に示す。

4.3. 方式 1 の評価

次に、FA が MT の移動を検出すると IGMP Membership Query メッセージを送出する方式(方式 1)の評価を行った。このため、MT からの Registration Request メッセージに応答する形で、Registration Reply メッセージを送信する際に、IGMP Membership Query メッセージを MT に向けてユニキャストするプログラムを、Mobile IP の FA 機能に追加した。

実験の手順は上記と同様である。FA は Agent Advertisement メッセージをネットワーク内にブロードキャストしている。実験の手順 4 において MT を Foreign Network に接続すると(タイミング 3)、ブロードキャストされている Agent Advertisement メッセージを受信後、

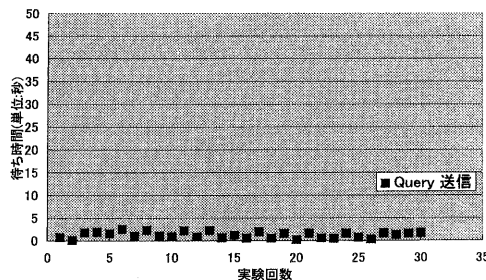


図 10 受信再開までの時間(方式 1)

Registration Request メッセージを FA に送信する。FA は Registration Request メッセージを受信後、HA に転送する。HA は Registration Reply メッセージを FA に向けて送信し、FA はさらに MT に転送する。また、この時に IGMP Membership Query メッセージを MT に向けてユニキャストする。次に、FA からの IGMP Membership Query メッセージを受けて、MT は IGMP Membership Report メッセージをクラス D アドレスに向けて送信する。Report メッセージを受信した Router5 はマルチキャストグループに join する。マルチキャストパケットが流れてきて、MT がそれを受信したらメッセージを表示する(タイミング 4)。タイミング 3 とタイミング 4 の間の時間が待ち時間になる。

この実験を行った結果、移動後 MT がメッセージを出すまでに、0.22 秒から 2.62 秒(平均 1.33 秒)の時間が掛かった。各測定待ち時間を図 10 に示す。

4.4. 方式 2 の評価

さらに、MT が自発的に IGMP Membership Report メッセージを送信する方式(方式 2)の評価を行った。このために、Foreign Network の Agent Advertisement メッセージを受信して FA に向けて Registration Request メッセージを送ると同時に、自分が直前まで受信していたマルチキャストグループの情報を取得し、そのグループアドレス宛に Report メッセージを送信するプログラムを Mobile IP の MT 機能に追加した。

実験の手順は 4.2 節と同様である。実験手順 4 において、FA は Agent Advertisement メッセージをネットワーク内にブロードキャストしている。MT を Foreign Network に接続すると(タイミング 5)、ブロードキャストされている Agent Advertisement メッセージを受信後、Registration Request メッセージを FA に送信する。ここで MT は IGMP Membership Report メッセージをクラス D アドレスに向けて送信する。FA は Registration Request メッセージを受

信後、HA に転送する。HA は Registration Reply メッセージを FA に向けて送信し、FA はさらに MT に転送する。さらに手順 5 において Report メッセージを受信した Router5 はマルチキャストグループに join する。マルチキャストパケットが流れてきて MT がそれを受信すると、メッセージを表示する(タイミング 6)。タイミング 5 とタイミング 6 の間の時間が待ち時間になる。

この実験を行った結果、移動後 MT がメッセージを出すまでに、0.33 秒から 2.42 秒(平均 1.19 秒)の時間が掛かった。各測定待ち時間を図 11 に示す。

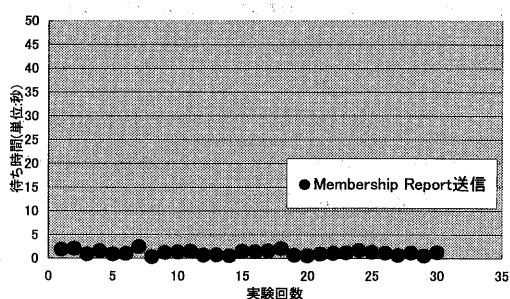


図 11 受信再開までの時間(方式 2)

4.5. 考察

(1) 提案した方式 1, 方式 2 共に、MT が移動してからマルチキャストパケット受信再開までの待ち時間は改善され、ほとんど途切れることなくマルチキャストパケットの受信を継続できていることが確認できた。従来の手順、方式 1 および方式 2 における待ち時間の最大値、最小値、平均値を表 1 に示す。この表からも提案した 2 つの方式の有効性が明らかである。

(2) 今回提案したシステムはいずれもマルチキャストルータなど既存の設備はそのまま

手を加えることなく、また特別なエージェントを別途用意する必要もなく、Mobile IP のプログラムに一部機能を追加することで利用できるというメリットがある。

(3) 方式 1 で構築したシステムでは IGMP Membership Query メッセージをユニキャストで MT のみに対して送信するようにした。本来、Query メッセージはルータによってネットワーク内の全てのホストに向けてブロードキャストされるものである。また、同一ネットワーク上では Query メッセージを送信するホストは 1 つのみと規定されており、複数存在する場合は IP アドレスが一番小さいホストのみが送信できることになっている。もし、FA の IP アドレスが Query メッセージを送信しているルータよりも小さい場合で、サブネット上の全ホスト宛てに Query メッセージを送信すると、ルータは Query メッセージの送信機能を止めることになる。これを防ぐために、FA はユニキャストで Query メッセージを MT のみに向けてユニキャストするようにした。

(4) 方式 1 では、FA は MT からの Registration Request メッセージを受けるごとに Registration Reply メッセージと共に IGMP Membership Query メッセージを送信する。このため、同じネットワークに MT が何台も接続されるようなケースでは、IGMP Membership Query メッセージおよびそれに対応する IGMP Membership Report メッセージが度々ネットワーク上を流れることになる。また、どのネットワークにマルチキャストパケットの受信を行う MT が接続されるのかは分からないので、各 Mobile IP ネットワーク上に存在する各 FA がこの機能を実装する必要がある。

(5) 方式 1 のシステムの場合は、FA が

表 1 移動時におけるマルチキャストパケット受信再開までの待ち時間

	最小値(sec)	最大値(sec)	平均値(sec)
標準環境	11.11	44.41	26.1
FAがMembership Query送信	0.22	2.39	1.33
MTがMembership Report送信	0.33	2.42	1.19

Registration Reply メッセージを送信するタイミングで IGMP Membership Query メッセージを送信する。一方、方式 2 で構築したシステムの場合は、MT が Registration Request メッセージを送信するタイミングで IGMP Membership Report メッセージを送信するので、その分だけ早くマルチキャストパケットを受信できるようになる。また、マルチキャストパケットを受信する MT のみがこの機能を実装すればよく、方式 1 のシステムのように全ての FA に機能を追加する必要が無いのでより負担が少ないという利点がある。

5. おわりに

本稿では、Mobile IP の FA もしくは MT に IGMP メッセージを送信するプログラムを組み込む方法により、ネットワークを移動する場合でもシームレスなマルチキャストパケットを受信できるようなシステムを提案した。

具体的には、次の 2 通りである

- ・ FA が MT からの Registration Request メッセージに対する Registration reply メッセージを送信すると同時に IGMP Membership Query メッセージを送信する方法
- ・ MT が Registration Request メッセージを送信すると同時にマルチキャストアドレスに IGMP Membership Report メッセージを送信する方法

いずれの方法を採用した場合でも、移動先のマルチキャストルータは通常よりも早くメンバーがいることが分かり、より待ち時間を少ない状態でマルチキャストパケットを受信できるようになる。

さらにこの方法を採用して、実際にネットワークを構築し、Mobile IP を利用してネットワークを移動しながらマルチキャストパケットを受信する実験を行った。その結果、移動時における受信再開までの待ち時間は非常に短くなることが確認された。

参考文献

- [1] C. Perkins, "IP Mobility Support," IETF RFC2002, October 1996.
- [2] J. Solomon (寺岡 文男, 井上淳 監訳), "詳解 Mobile IP," ピアソン・エデュケーション, June 1998.
- [3] T. Maufer, et al., "Introduction to IP Multicast Routing," IETF Internet Draft draft-ietf-mboned-intro-multicast-03.txt, July 1997.
- [4] J. Wu, "Seamless IP Multicast Receiver Mobility Support," IETF Internet Draft draft-jiang-msa-00.txt, April 2000.
- [5] W. Fenner, "Internet Group Management Protocol, Version 2," IETF RFC 2236, November 1997.
- [6] D. Thaler, et al., "Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM)," IETF RFC 2362, June 1998.