

# 移動体計算環境における連続メディア配送のための通信方式

萩野浩明<sup>†</sup> 新谷 剛<sup>††</sup> 原 隆浩<sup>†</sup>  
 塚本昌彦<sup>†</sup> 春本 要<sup>†</sup> 西尾 章治郎<sup>†</sup>

近年、計算機の小型化、軽量化と無線通信技術の発展により移動体計算環境が実現されつつある。また、ネットワークを介してビデオやオーディオなどの連続メディアをユーザへ配送するサービスが出現している。しかし、移動体計算環境では、移動体の移動時の処理に時間がかかるため、連続メディアの配送が途切れてしまう。そこで本論文では移動体が存在するサブネットだけでなく、その近くに位置するサブネットにもパケットを配送することでメディアの途切れを回避する通信方式を提案する。さらに、モバイル IP と UDP を拡張して提案方式を実装し、実測評価によって有効性を示す。提案方式およびその実装の問題点について考察し、今後の拡張方針を示す。

## A Communication Method for Continuous Media Delivery in Mobile Computing Environments

HIROAKI HAGINO,<sup>†</sup> GO SHINTANI,<sup>††</sup> TAKAHIRO HARA,<sup>†</sup>  
 MASAHIKO TSUKAMOTO,<sup>†</sup> KANAME HARUMOTO<sup>†</sup>  
 and SHOJIRO NISHIO<sup>†</sup>

Recent advances in network and computer technologies have led to the development of mobile computing environments. At the same time, delivery services of continuous media such as video data or audio data have become in common. In mobile computing environments, because of the hand-off operation overhead, mobile hosts cannot continuously receive the continuous media. To resolve this problem, in this paper, we propose a communication method which delivers the continuous media not only to a subnetwork in which the destination mobile host exists but to subnetworks which are adjacent to the destination subnetwork. We also implement our proposed method by extending mobile-IP and UDP, and show the effectiveness of our proposed method by using an actual measurement. We discuss the problems of our proposed method and its implementation, and show some future extension policies.

### 1. はじめに

近年、計算機の小型化、軽量化と無線通信技術の発展により、無線通信機能を備えた携帯端末（移動体）が普及し、いつでもどこでもネットワークにアクセスできる移動体計算環境が実現されつつある<sup>16)</sup>。一方、有線ネットワークにおける帯域幅の拡大や、ストリーミング技術の発展により、ネットワークを介してビデオデータやオーディオデータなどの時間的に連続しているデータ（連続メディア）をユーザへ配送するサービスが出現している。今後、移動体計算環境の普及が

さらに進むことを考慮すると、移動体を持って移動するユーザに対して連続メディアの配送を行うサービスへの要求が高まるものと考えられる。そのため、移動体計算環境において、連続メディアを配送するための通信プロトコルの実現は重要な課題となる。

特に、固定ホストから移動体に対して、リアルタイム再生を目的とした連続メディアを配送する際には、映像や音声などの途切れを可能な限り回避する機能が必要である。しかし、従来の移動体計算環境における通信プロトコルではこのような機能は実現されていない。たとえば、モバイル IP<sup>17)</sup>では、移動体は通信中にサブネット間を移動しても移動先で通信を再開できるが、ハンドオフ処理によって発生する配送遅延や配送誤りのためにデータが時間的に連続して配送されず、映像や音声に途切れが生じる。これは、移動体が新しいサブネットに移動しているにもかかわらず、ハンドオフ処理が終了するまで移動体が存在するサブネット

<sup>†</sup> 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.

<sup>††</sup> NTT コミュニケーションウェア株式会社ノードシステム事業部移動通信ノードプロジェクト  
 Mobile Communications Project, Network Node Systems Division, NTT Communicationware Corporation

にパケットが配送されないことに原因がある。

そこで本論文では、移動体が存在するサブネットだけでなく、その近くに位置するサブネットにもパケットを配送する通信方式を提案する。これにより、移動体が連続メディアを受信しながらサブネット間を移動しても、メディアを途切れることなく受信し続けることができる。さらに本論文では、提案方式をモバイル IP と UDP を拡張することで実装し、実験によってその有効性を示す。

以下では、2 章においてモバイル IP の概要と、モバイル IP を用いて連続メディアを配送する場合の問題点について述べる。3 章で本論文で提案する通信方式について説明し、4 章でその実現のためのプロトコルの設計について議論する。5 章ではプロトコルの実装と実測評価の結果を示す。6 章において、提案方式およびその実装の問題点を述べ、今後の拡張について議論する。7 章で関連研究との比較を行い、最後に 8 章で結論を述べる。

## 2. モバイル IP

本章では、モバイル IP の概要と、モバイル IP を用いて連続メディアを配送する場合の問題点について述べる。

### 2.1 モバイル IP の概要

移動体計算環境では、移動体のアドレスが移動にともなって変化するため、固定ネットワークで用いられる IP などのプロトコルでは移動体への通信は困難である。インターネット標準であるモバイル IP は、移動体の移動をサポートしており、ユーザは移動体のアドレスの変化を意識せずに通信が行える。また、通信中に移動体が移動してアドレスが変化しても、移動先において通信を再開できる。

モバイル IP を用いた移動体計算環境の構成要素は次のとおりである。

- 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: Home Network)  
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持つサブネット。
- ホームエージェント (HA: Home Agent)  
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持つ。
- フォーリンエージェント (FA: Foreign Agent)  
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。

- モビリティエージェント  
ホームエージェントあるいはフォーリンエージェントを指す。
- 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。  
モバイル IP では、次の方法により、移動体の位置を意識させない通信を実現している。

- (1) 移動体は、FA が定期的に放送するアドバタイズメント ( 自局の情報をサブネット内に広告するパケット ) を受け取ると、新しいサブネットに接続したものと判断して気付アドレスを獲得する。移動体は FA に対して、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送信する。
- (2) 登録要求メッセージを受信した FA は、その登録要求メッセージを HA にフォワードする。
- (3) 登録要求メッセージを受信した HA は、移動体のホームアドレスと気付アドレスの対を記録し、登録応答メッセージを FA に送信する。
- (4) FA は登録応答メッセージを受け取ると、それを移動体にフォワードする。

これによって、HA はつねに移動体の気付アドレスを保持できる。移動体に対する通信は、次のような手順で実現される。

- (1) 移動体と通信したい計算機は、移動体のホームアドレスを宛先とするパケットを送信する。
- (2) 移動体宛のパケットは、従来のルーティング方式 ( IP ) に基づいて移動体の HN まで送られる。
- (3) 移動体が HN にいない場合は、そのパケットを HA がいったん受け取る。なお、移動体が HN に接続している場合は従来と同様のルーティング方式で移動体にパケットが送信される。
- (4) HA は自局の持つ移動体のホームアドレスと気付アドレスの対から移動体の現在地を知り、気付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。
- (5) FA はこのパケットを受け取り、カプセル化した IP ヘッダを取り除く。そして、移動体のホームアドレスを参照して、移動体にパケットをフォワードする。

このように、通信時につねにホームアドレスを宛先とすることで、移動体の移動を意識させない通信が可能となる。

## 2.2 モバイル IP で連続メディアを配送する場合の問題点

モバイル IP を用いて移動体に連続メディアを配送する場合、前節で述べたように、移動体がサブネットワーク間を移動すると、HA に気付アドレスを登録しなければならない。そのため、移動体が通信中に移動した場合、登録が終了するまではパケットは移動体が元になっていたサブネットワークに送信されてしまう。また、誤って送信したパケットの紛失に対して、上位層での解決が終了しパケットが再送されるまで、移動体の受け取るパケットが途切れてしまう。さらに、移動体の移動速度が極端に速い状況では、HA への登録処理を行っている間に、他のサブネットワークへ移動してしまう可能性がある。

連続メディアではデータの途切れを極力避ける必要があるため、上記の理由により、モバイル IP をそのまま移動体への連続メディア配送に用いるとユーザの要求を十分に満たすことは困難である。

## 3. 連続メディア配送のための通信方式

本章では、2.2 節で述べたような、モバイル IP を用いた場合の問題点を解決し、途切れない連続メディアの配送を実現するための通信方式を提案する。提案方式では、パケットの放射とパケットのバッファリングの 2 つのアプローチを用いる。パケットの放射およびバッファリングの概念を図 1 に示す。なお以下では、次に示すような場合を、サブネットワークあるいは FA が「隣接する」と表現する。

- サブネットワーク A (FA A) とサブネットワーク B (FA B) の通信可能範囲が接している場合。
- サブネットワーク A (FA A) とサブネットワーク B (FA B) の通信可能範囲が重なりを持つ場合。
- その他の場合で、移動体がサブネットワーク A (FA A) の通信可能範囲からサブネットワーク B (FA B) の通信可能範囲へ他のサブネットワークを経由せずに移動できる場合（ただし、断線が発生する）。

### 3.1 放射範囲の決定

提案する通信方式では、連続メディアの途切れの回避を目的として、移動体が存在するサブネットワークだけでなく、そのサブネットワークに近い場所に位置するサブネットワークにもパケットを送信する。これによって、移動体が新しいサブネットワークに移動しても、すぐにパケットを受け取ることができる。このように、複数のサブネットワークに同じパケットを送信することをパケットの放射と呼ぶ。

提案方式では、移動体の所在地の情報は、モバイル IP と同様に HA が管理する。移動体は自身がサブ

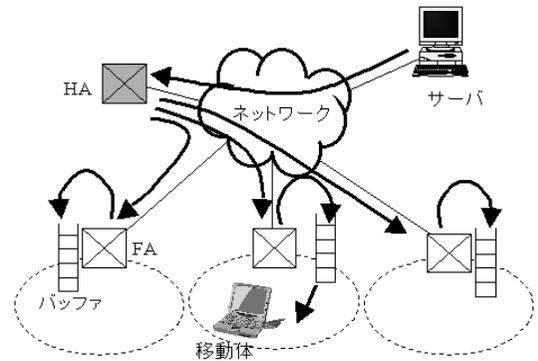


図 1 提案方式の概念図

Fig. 1 Concept of our proposed method.

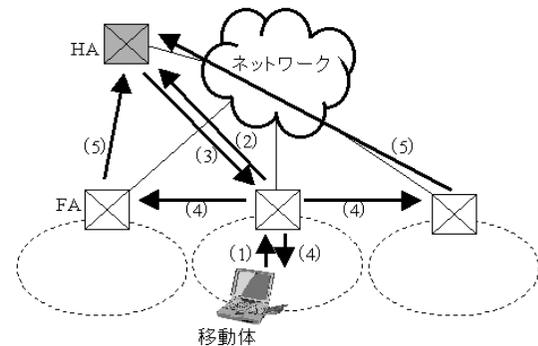


図 2 移動体の移動時のメッセージ交換

Fig. 2 Message exchange when a mobile host moves between two subnetworks.

ネットワーク間を移動したことを検出すると、HA に対して位置情報の登録を行う。また、移動体宛のパケットはいったん HA を経由してルーティングされる。

パケットの放射を実現するために、各 FA は自局に隣接する FA の情報を保持する。移動体の移動時の処理の流れを以下に示し、メッセージ交換の様子を図 2 に示す。

- (1) モバイル IP と同様の手順で、移動体は自身の移動を検出し、FA に登録要求を送信する。移動体が高速に移動する場合は、位置情報の登録が終了する前にさらに他のサブネットワークに移動してしまう可能性があるため、提案方式では、隣接するサブネットワークだけでなく、より広範囲にパケットを放射する。パケットの放射範囲は、移動体が登録要求の中で指定する。放射範囲は数値で表され、たとえばこの値が 1 の場合は隣接するサブネットワークにのみ放射し、2 の場合は 2 つ隣りのサブネットワークまで放射する。
- (2) 移動体の登録要求を受け取った FA は、HA に対してその登録要求をフォワードする。HA は

モバイル IP と同様に位置情報を登録する。さらに、登録要求に含まれるパケットの放射範囲に関する情報も登録する。

- (3) HA は FA に対して登録応答を送信する。
- (4) FA は登録応答を受け取ると、移動体に登録応答をフォワードするとともに、隣接する FA に対して移動体宛のパケットが配送されることを通知する（移動体存在通知）。移動体存在通知には放射範囲も記載する。
- (5) 移動体存在通知を受け取った FA は、通知に記載された放射範囲をデクリメントする。その結果が 1 以上であれば、さらに自局に隣接する FA に移動体存在通知を行う。その際の放射範囲としてデクリメントした値を用いる。さらに、HA に対して自局と隣接する FA のリストを送信する。デクリメントした結果が 0 の場合は、それ以上の移動体存在通知を行わない。
- (6) HA は、複数の FA から受け取った隣接 FA リストを統合し、パケットを放射すべき FA のリストを作成する。

移動体宛のパケットはいったん HA に配送され、HA が保持している放射先の FA の情報に従って、複数のサブネットに放射される。

### 3.2 パケットのバッファリング

パケット放射範囲に含まれるすべての FA と HA との間の配送遅延が同じで、さらに移動体がサブネット間の移動を瞬時に行えるなら、パケットの放射によって、移動体は連続メディアを途切れることなく受け取ることができる。しかし、現実のネットワーク環境では、放射範囲に含まれる複数の FA と HA との間の距離はそれぞれ異なることが一般的である。また、FA の設置状況によっては、隣接するサブネットが物理的に接していない場合もある。さらに、FA のアダプタズメントは定期的に行われるため、移動体がサブネット間を移動しても、瞬時にそれを検出するのは困難である。このような環境では、パケットを放射していても、移動体の隣接サブネットへの接続時には、そのサブネットにおいて受け取るべきパケットがすでに送信済みとなっている可能性がある。したがって、映像や音声の途切れが発生してしまう。この問題を解決するために、提案方式では、パケット放射範囲に含まれる FA においてパケットを一定時間バッファリングする。これにより、HA-FA 間の配送遅延の差をある程度吸収できるので、移動体の移動時に必要なパケットを受け取れる可能性が高くなる。

### 3.3 連続メディアの配送

本節では、3.1 節、3.2 節に基づいて、連続メディアを移動体に配送する際の処理手順について説明する。以下では、通信中に移動体がサブネット間を移動した場合を例にとる。なお、ここでのパケット放射範囲は 1 とする。

- (1) サーバが、移動体のホームアドレス宛にパケットを送信する。
- (2) ホームアドレス宛のパケットが、HA に届けられる。
- (3) HA は、受け取ったパケットを、移動体の気付アドレスおよび隣接する FA に対してユニキャストで送信する。
- (4) 移動体が現在接続している FA は、パケットを受け取ると、そのままそれを移動体にフォワードする。それ以外の FA は、受け取ったパケットをバッファリングする。
- (5) ここで、移動体が隣接するサブネットに移動すると、その移動体は移動先のサブネットの FA に登録要求を送信する。
- (6) FA は、登録要求を受け取ると、バッファリングしているパケットを移動体に送信し、その後 HA に 3.1 節で述べた登録処理を行う。
- (7) FA は登録応答が HA から届いているか否かにかかわらず、受け取ったパケットを移動体にフォワードする。

## 4. プロトコルの設計

本章では、提案方式を実現するためのプロトコル設計について述べる。まず、プロトコルスタックについて述べ、さらにプロトコルのメッセージフォーマットについて説明する。

### 4.1 プロトコルスタック

提案方式において、移動体の位置情報の管理には、モバイル IP と同様の方法を用いる。したがって、パケットの放射は、モバイル IP を拡張することで実現する。これは、OSI7 層モデルにおけるネットワーク層に対応する。一方、パケットのバッファリングはトランスポート層において実現する。これは、OSI7 層モデルにおいて、パケットの正しい配送を保証する機能はトランスポート層がサポートすべきであるという概念に基づくものである。トランスポートプロトコルとしては、UDP にパケットを一定時間バッファリングする機能を追加したものをを用いる。これは、連続メディア配送には通信オーバーヘッドの大きい TCP ではなく UDP を用いるのが一般的であるうえに、提案方

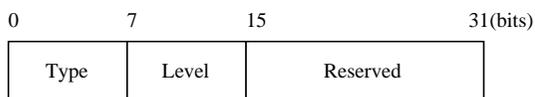


図 3 放射範囲指定のフォーマット

Fig. 3 Message format for specifying the range of packet radiation.

式は通信相手の存在しないサブネットにまでパケットを送信するため、コネクションの設定が困難なためである。

#### 4.2 モーバイル IP の拡張

本節では、提案方式を実現するためのメッセージフォーマットについて説明する。ここで述べるメッセージは、UDP/IP を利用して送受信される。なお、連続メディアを HA から FA へ送信する際は、モバイル IP と同様にカプセル化を用いるため、ここでは割愛する。

##### 4.2.1 登録要求

提案方式では、移動体は HA への登録要求メッセージの中で、パケット放射範囲を指定する。そこで、モバイル IP の登録要求メッセージおよび登録要求メッセージの Extensions フィールドにパケットの放射範囲を指定するタイプを設けた。そのフォーマットを図 3 に示す。図中の各フィールドは以下のとおりである。

**Type ( 8 ビット ):** 39( Packet Projection Level ).  
**Level ( 8 ビット ):** パケットの放射範囲の大きさ。  
 値が 0 なら放射しないことを示す。  
**Reserved ( 16 ビット ):** 予約領域。

##### 4.2.2 存在通知

提案方式では、FA 間で移動体の存在通知メッセージを交換する。このメッセージフォーマットは以下のとおりである。

IP ヘッダ :

**Source Address :** 自局の IP アドレス。  
**Destination Address :** 存在通知を送信する隣接 FA の IP アドレス。

UDP ヘッダ :

**Source Port :** 可変 . そのときによって変わる。  
**Destination Port :** 434 。

UDP ヘッダの後に図 4 のようなフィールドが続く。  
**Type ( 8 ビット ):** 7 ( Location Notification ).  
**Level ( 8 ビット ):** パケットの放射範囲の大きさ。  
 値が 0 なら他の FA に存在通知を送信しないことを示す。

**Reserved ( 16 ビット ):** 予約領域。

**Home Address ( 32 ビット ):** 移動体のホームアドレス。

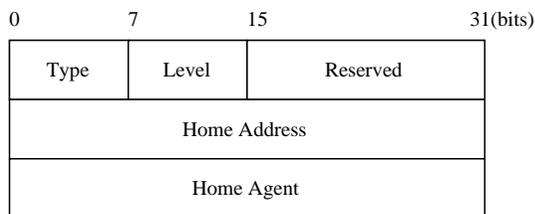


図 4 移動体の存在通知のフォーマット

Fig. 4 Message format for notifying the existence of a mobile host.

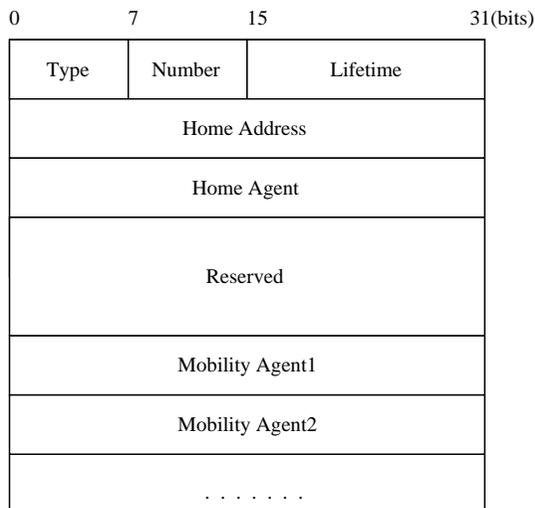


図 5 隣接 FA リストのフォーマット

Fig. 5 Message format of the list of adjacent foreign agents.

**Home Agent ( 32 ビット ):** 移動体の HA の IP アドレス。

##### 4.2.3 隣接リストの通知

登録応答メッセージあるいは存在通知メッセージを受信した FA は、隣接する FA のリストを HA に通知する。このメッセージフォーマットは以下のとおりである。

IP ヘッダ :

**Source Address :** 自局の IP アドレス。  
**Destination Address :** HA の IP アドレス。

UDP ヘッダ :

**Source Port :** 可変 . そのときによって変わる。  
**Destination Port :** 434 。

UDP ヘッダの後に図 5 に示すフィールドが続く。  
**Type ( 8 ビット ):** 5 ( Mobility Agent List ).  
**Number ( 8 ビット ):** Mobility Agent フィールドのエントリの数。  
**Lifetime ( 16 ビット ):** リストの有効期限 ( 秒 )。

値が 0 ならリストが削除され, 0xffff なら無期限に登録される.

**Home Address ( 32 ビット ):** 移動体のホームアドレス.

**Home Agent ( 32 ビット ):** 移動体の HA の IP アドレス.

**Reserved ( 64 ビット ):** 予約領域.

**Mobility Agent**

( Number フィールドの値  $\times$  32 ビット ):

隣接するモビリティエージェントの IP アドレス. 複数指定可能.

### 4.3 UDP の拡張

本節では, 提案方式を実現するための UDP の拡張について述べる. UDP には, 提案方式の中でパケットをバッファリングする機能を付加し, シーケンス番号の管理などは行わない. そのため, UDP のパケットフォーマットに対する拡張は行わず, 移動体存在通知を受け取った FA が, その移動体宛のパケットを受け取ると, 一定時間パケットをバッファリングするように拡張を加える.

## 5. プロトコルの実装と実測評価

本章では, 4 章の設計に基づいた, 提案方式の実装および, 実測評価の結果について説明する.

### 5.1 実装環境

4 章の設計に基づいて, 図 6 に示す実験環境において提案方式を実装した. 連続メディアの配送を受ける移動体には Pentium 133MHz 40MB RAM の PC/AT 互換機, HA および FA には i486SX 33MHz 12MB RAM の PC/AT 互換機を使用し, OS には FreeBSD 2.2.1-RELEASE を用いた. また, ルータには Cisco の Catalyst5000 を使い, 2 つのサブネットでは, 10Mbps のイーサネットを用いて LAN を構成した. このような環境で, Carnegie Mellon 大学 Monarch Project のモバイル IP を拡張して提案方式を実装した. 連続メディア配送サーバと HA は同じサブネットで LAN 接続し, FA はルータを介して別のサブネットに設置した.

### 5.2 実測評価

5.1 節で述べた環境において, パケット受信の途切れの発生について, モバイル IP と提案方式を比較した. サーバから移動体に対して, 1500 バイトの大きさのパケットを 1 秒間に 14 個ずつ送信し, 移動体をサブネット 1 からサブネット 2 へ移動させた. 測定に用いた通信量は H.261 の QCIF ( Quarter Common Intermediate Format, 解像度: 176 $\times$ 144 ) の動画を

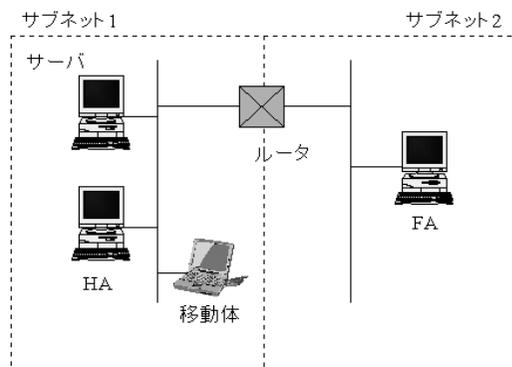


図 6 実装環境

Fig. 6 Implementation environment.

約 7 fps で送信している場合にほぼ等しい. なお, 移動体の移動は, サブネット 1 とサブネット 2 にそれぞれ接続している 2 枚の LAN PC カードを移動体にさし, ifconfig コマンドと route コマンドを使ってネットワークインタフェースとデフォルトルートを切り替えることで実現した. そのため, 移動時に物理的な断線は発生しない. また, パケットの放射範囲は 1, パケットをバッファリングする時間は 1 秒, バッファサイズをパケット 15 個分に設定した. 実験結果を図 7, 図 8 に示す. 図 7 はモバイル IP の結果を, 図 8 は提案方式の結果を表している. 各図の横軸はパケット番号を, 縦軸は最初のパケットの到着時刻を 0 としたときのそれぞれのパケットの到着時刻を表す. この結果から, モバイル IP では移動体がサブネット 1 からサブネット 2 に移動したときにパケットが途切れてしまっているのに対して, 提案方式ではパケットの途切れは発生していないことが分かる. 実験で用いたモバイル IP の性能をあらかじめ調べた結果から, HA への登録処理に平均約 4 秒かかることが分かっている. この実験では, ハンドオフ時に物理的な断線は発生しないことから, モバイル IP を用いた場合の約 4 秒のパケットの途切れは, HA への登録処理によって発生していることが分かる. それに対して, 提案方式では, FA が登録要求を受け取ったときから, 移動体にパケットをフォワードできるため, パケットの途切れが起こっていない.

ここで, ハンドオフ時に物理的な断線があった場合, 断線中は移動体はパケットを受け取ることができないため, 提案方式を用いても, 時間的な途切れが発生してしまう. しかし, 提案方式では, FA は移動体が断線している間も受け取ったパケットを一定時間バッファリングしているため, 短時間の断線であればパケットの途切れを回避できる.

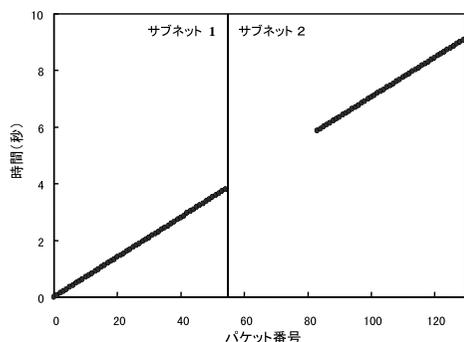


図7 実験結果(モバイルIP)

Fig. 7 Result of the experiment (mobile-IP).

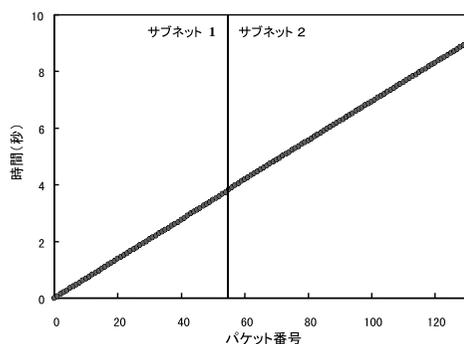


図8 実験結果(提案方式)

Fig. 8 Result of the experiment (our proposed method).

## 6. 考察

提案方式は、アプリケーション層ではなく、ネットワーク層とトランスポート層において途切れない連続メディア配送を実現している点で汎用性が高い。この方式を用いることで、連続メディアを用いるさまざまなアプリケーションを、再生時の途切れを考慮せずに設計することができる。

本論文でベースとしたモバイルIPが今後さらに普及することを考えた場合、モバイルIPが動作する環境であれば、新しい機器を追加せずに提案方式の実現が可能であるため、本方式の導入は比較的容易である。しかし、モバイルIPをベースとするために、本方式はモバイルIPと同様に次のような問題点を持つ。

**経路の最適性：** いったんHAを経由してパケットのルーティングが行われるため、最適な経路にはならない。そのため、伝送遅延が大きくなり、連続メディアの再生に影響を与える可能性がある。

**信頼性：** すべてのパケットがHAで放射されるため、HAに障害が発生すると、そのHNに所属するすべての移動体に対して通信ができなくなる。

これらの問題を解決するには、パケットがHAを経由せずに、FA間で直接通信できる仕組みを考える必要がある。

一方、提案方式に特有の問題点として、次に示すものが考えられる。

**セキュリティ：** 提案方式では、同時に複数のサブネットにパケットを送信する。そのため、モバイルIP以上に「なりすまし」の問題が重要となる。つまり、通信の宛先である移動体と別の場所にいる移動体が、その移動体になりすますことで、パケットを簡単に横取りできる。この問題に対しては、実現の際にデータ要求パケットに認証情報を付加するなどの方法で対処する必要がある。

**パケット放射範囲の最適性：** 提案方式では、登録要求が間に合わないような移動体の高速な移動に対応するために、パケットの放射範囲を指定する。しかし、移動体の移動は必ずしも一様な速度ではないため、有効な放射範囲の決定は困難である。たとえば、予想よりも移動が速ければ移動体が移動先サブネットでパケットを受け取れない可能性がある。また、予想よりも移動が遅ければ、冗長なトラヒックが増加してしまう。そこで、移動先サブネットのFAが持つ隣接FAリストに従って、HAに登録を行う前に一時的にパケットを放射するような仕組みが必要になる。また、GPSなどを使って移動方向や速度を考慮し、放射範囲をさらに最適化するアプローチも考えられる。

最後に、本研究で実装したプロトコルの問題点として、次のものが考えられる。

**ネットワークへの負荷：** 実装したプロトコルでは、HAがパケットの放射を行う。本論文では、特にデータ量の多い連続メディアを対象としているため、パケットの無駄な放射はネットワークに対して大きな負荷を与える。そこで、マルチキャストなどを導入することで、放射による負荷をできるだけ小さくする必要がある。

**トランスポートプロトコルについて：** 実装したプロトコルでは、トランスポートプロトコルにUDPを用い、FAが一定時間パケットをバッファリングするような拡張のみを行った。しかし、トランスポート層におけるサポートは、これだけで十分ではない。たとえば、現在の実装では、移動体は移動先のサブネットで、すでに受け取ったパケットを再び受け取る可能性がある。4.1節で述べたように、本方式の実現にTCPを用いるのは現実的ではないが、UDPよりは信頼性の高いプロト

コルが必要になるものと考えられる。上記の問題を解決するためには、少なくともシーケンス番号を用い、移動体が必要なバケットを要求できるようなプロトコルが必要である。

バッファサイズについて： バッファが大きいほど、HA-FA 間の配送遅延の差を吸収することができ、より信頼性の高い通信が可能となるが、FA にかかる負荷が大きくなってしまふ。本論文の実装では、ハードウェアの都合上、単純なネットワークを用いたため、特に意識することなく、バッファリングの時間を 1 秒、バッファの上限をバケット 15 個分とした。しかし、実環境では、1 つの FA が複数の移動体に対するバケットをバッファリングしなければならぬ状況が起こりうるため、バケットのバッファリングによって FA にかかる負荷を無視できない。今後は、複雑なネットワークに複数の移動体が存在する環境を想定して、最適なバッファサイズについて検討する必要がある。

## 7. 関連研究

移動体計算環境における移動体への通信に関する研究や、連続メディア配送に関する研究は、これまでに数多く行われている。

移動体の移動を考慮したネットワーク層プロトコルとして、文献 8), 17), 23) など、さまざまな提案がある。これらのプロトコルを用いることで、移動体の移動透過性が実現できる。しかし、これらのプロトコルでは連続メディアの配送が考慮されていないため、メディアの途切れが発生する。

移動体計算環境におけるトランスポート層プロトコルに関する研究として、文献 1), 6) などがある。これらの研究では、無線通信路におけるバケットの紛失やハンドオフ時の一時的な断線などによって TCP が輻輳制御を行ってしまうことに起因する通信性能の低下を防ぐことができる。しかし、これらのプロトコルは、固定ネットワークにおける TCP と比較しても通信オーバーヘッドが大きいため、連続メディアの配送には適さない。しかし、無線通信路の問題は本研究にも共通する問題であるため、今後、これらのプロトコルを参考にした何らかの解決策が必要である。

移動体の移動時の通信の途切れを考慮した研究として、文献 2), 3), 7) などがある。特に文献 2), 3) は、移動体が存在する基地局だけでなく、隣接する基地局にもあらかじめバケットを配送しておくことでハンドオフ性能を向上させている点において、提案方式と類似している。しかし、提案方式は、バケットの放射範

囲の指定が可能のため、より高速に移動する移動体にも対応できる。また、モバイル IP を拡張することでプロトコルを実現しているため、導入が容易であり、汎用性が高い。

ビデオやオーディオなどの連続メディアのリアルタイムな配送を行うためのプロトコルについて、RTP<sup>22)</sup>、RSVP<sup>4),5),15)</sup>、ST2<sup>10)</sup>をはじめとして数多くの研究が行われている<sup>9),11)~13)</sup>。これらは、帯域予約や QoS 制御によって、連続メディアの安定した配送を実現している。しかし、これらの研究はいずれも固定ネットワークを想定したものであり、移動体の移動は考慮されていない。

移動体計算環境でのマルチメディア配送に関する研究として、文献 21), 24) などが報告されている。文献 21) では、地図や静止画像データなどの大きなサイズのデータを部分領域に分割し、利用者の優先度を割り当てる。これによって、ユーザの必要なデータの優先的な転送が可能である。また、受信済の部分領域をキャッシュとして再利用できるため、利用時間に従った高速な応答およびオフライン処理が可能となる。文献 24) では、アプリケーションごとにトラフィックを動的に制御し、ユーザ全体の満足度を向上させる方式を提案している。これらの研究では静止画などのマルチメディアデータを対象としており、連続メディアの途切れを考慮していない。

移動体計算環境において、連続メディアの配送を考慮した通信プロトコルの研究もいくつか報告されている<sup>14),18)~20)</sup>。文献 14) では、先行ハンドオフ制御とリンク分割機構を用いて高速なハンドオフを実現することで、妥当なレベルのサービス品質とメディアの連続性を達成している。しかし、アドミッションコントロールやネットワーク帯域幅の動的な割当てに関する評価が中心で、メディアの途切れそのものに関する評価は行われていない。文献 18) では、無線ネットワークにおけるメディアの途切れを回避するための方法について述べられているが、無線電波の物理的なメディアの途切れを対象としているため、ハンドオフ時の途切れには対応できない。文献 19), 20) では、蓄積型マルチメディアデータの配送について、各フレームに優先度を割り当て、優先度の高いフレームを優先的に配送する通信方式を提案している。また、優先度の高いフレームをあらかじめキャッシュしておくことで、優先度の低いフレーム転送に専念できる。さらに、無線通信の帯域幅を考慮した QoS 制御が可能となっている。しかし、蓄積型マルチメディアデータを対象としており、本論文で議論しているような連続メディアを

受信しながら再生するようなアプリケーションには不適である。

## 8. おわりに

本論文では、移動体計算環境において連続メディアを配送するための通信方式を提案した。提案方式は、移動体が存在するサブネットだけでなくその近くに位置するサブネットにもパケットを送信し、FAにおいてパケットをバッファリングすることで、メディアの途切れを回避するものである。さらに本論文では、提案方式をモバイルIPとUDPを拡張することで実現し、実測評価することでその有効性を確認した。提案方式は、導入の容易さや汎用性の観点から現実のネットワーク環境に対して十分に有効と考えられる。また、提案方式およびその実装の問題点について明らかにし、今後の拡張について述べた。

今後は、実現したプロトコルに対して、6章であげたような拡張を行う予定である。

## 参考文献

- 1) Bakre, A. and Badrinath, B.R.: Indirect Transport Layer Protocols for Mobile Environment, *Mobile Computing*, Imielinski, T. and Korth, H.F. (Eds.), pp.229-252, Kluwer Academic Publishers (1996).
- 2) Balakrishnan, H., Seshan, S., Amir, E. and Katz, R.H.: Improving TCP/IP Performance Over Wireless Networks, *Proc. 3rd Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'95)*, pp.2-11 (1995).
- 3) Balakrishnan, H., Seshan, S. and Katz, R.H.: Improving Reliable Transport and Hand-off Performance in Cellular Wireless Networks, *Wireless Networks*, Vol.1, No.4, pp.469-481 (1995).
- 4) Braden, R., Zhang, L., Berson, S., Herzog, S., and Jamin, S.: Resource Reservation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification, RFC 2205 (1997).
- 5) Braden, R. and Zhang, L.: Resource Reservation Protocol (RSVP) - Version 1 Message Processing Rules, RFC 2209 (1997).
- 6) Brown, K. and Singh, S.: M-TCP: TCP for Mobile Cellular Networks, *Proc. ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, pp.19-38 (July 1997).
- 7) Cohen, R., Patel, B.V. and Segall, A.: Handover in a Micro-cell Packet Switched Mobile Network, *Wireless Networks*, Vol.2, No.1,

- pp.13-25 (1996).
- 8) Carlberg, K.G.: A Routing Architecture That Supports Mobile End Systems, *Proc. IEEE MILCOM*, pp.159-164 (1992).
- 9) 知念 正, 柴田義孝: 圧縮オーディオ・ビデオのための連続メディア転送プロトコルの研究, 情報処理学会研究報告, Vol.96, No.63, pp.7-12 (1996).
- 10) Delgrossi, L. and Berger L.: Internet Stream Protocol Version 2 (ST2) Protocol Specification - Version ST2+, RFC 1819 (1995).
- 11) 橋本浩二, 勝本道哲, 渡辺光輝, 柴田義孝: 連続メディアを主体としたサービスのための QoS 保証機能, 情報処理学会研究報告, Vol.95, No.61, pp.97-102 (1995).
- 12) 加藤聰彦, 木村 昭, 鈴木健二: QoS 保証をしないネットワークのための輻輳制御機能を有する連続メディア情報転送プロトコル, 情報処理学会研究報告, Vol.97, No.57, pp.43-48 (1997).
- 13) 串田高幸, 河内谷清久仁, 山内長承: インターネット上においてオーディオおよびビデオを配送するプロトコル, 情報処理学会研究報告, Vol.96, No.40, pp.157-162 (1996).
- 14) Lee, K.: Adaptive Network Support for Mobile Multimedia, *Proc. 3rd Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'95)*, pp.62-74 (1995).
- 15) Mankin, A., Baker, F., Braden, B., Brandner, S., O'Dell, M., Romanow, A., Weinrib, A. and Zhang, L.: Resource Reservation Protocol (RSVP) Version 1 Applicability Statement Some Guidelines on Deployment, RFC 2208 (1997).
- 16) 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).
- 17) Perkins, C.: IP Mobility Support, RFC 2002 (1996).
- 18) 岡村耕二, 中川晋一: Wireless Multimedia 端末の QoS に関する考察, 情報処理学会研究報告, Vol.97, No.117, pp.1-6 (1997).
- 19) 太田 賢, 渡辺 尚, 水野忠則: ワイヤレス通信環境における蓄積型マルチメディア通信方式, 情報処理学会研究会報告, Vol.96, No.MBL-1, pp.69-74 (1996).
- 20) 太田 賢, 増田彰久, 渡辺 尚, 水野忠則: コンテンツ指向モバイルマルチメディアアクセス方式の空間的解像度の制御, 情報処理学会研究会報告, Vol.97, No.117, pp.69-74 (1997).
- 21) 桜井鐘治, 下間芳樹: 無線インフラを使ったマルチメディアデータ転送システムの開発, 情報処理学会研究会報告, Vol.98, No.13, pp.51-56 (1998).
- 22) Schlzrinne, H., Casner, S., Frederick, R. and Jacobson, V.: RTP: A Transport Protocol for

Real-time Applications, RFC 1889 (1996).

- 23) Teraoka, F., Uehara, K., Sunahara, H. and Murai, J.: VIP: A Protocol Providing Host Mobility, *Comm. ACM*, Vol.37, No.8 (1991).
- 24) 和久田貴英, 勅使河原可海: モバイル環境におけるユーザ満足度を考慮したマルチメディアトラフィックのマネジメント方式, 情報処理学会研究会報告, Vol.99, No.13, pp.79-84 (1999).

(平成 11 年 4 月 30 日受付)

(平成 11 年 12 月 2 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。



新谷 剛

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。同年, NTT コミュニケーションウェア株式会社入社。モバイルコンピューティング, 通信プロトコルに興味を持つ。



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。1996 年本学会山下記念研究賞受賞。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。



春本 要 (正会員)

1992 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1994 年同大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同年, 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻助手, 1999 年より, 同大学大型計算機センター講師, 現在に至る。工学博士。データベースシステム, グループウェア等の研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会の各会員。



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。この間, カナダ・ウォータールー大学, ビクトリア大学客員。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。