

Title	モバイルネットワークプロトコルにおけるハンドオフ処理の最適化に関する研究
Author(s)	石橋, 賢二
Citation	
Issue Date	1999-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1229">http://hdl.handle.net/10119/1229</a>
Rights	
Description	Supervisor:日比野 靖, 情報科学研究科, 修士

# 修士論文

## モバイルネットワークプロトコルにおける ハンドオフ処理の最適化に関する研究

指導教官 日比野 靖 教授 (中島 達夫 助教授)

北陸先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科情報システム学専攻

石橋 賢二

1999年2月15日

## 要旨

通信メディアの多様化と携帯型計算機の進歩は目覚ましい。オフィスビルなどでは、さまざまな通信メディアを利用して構内にネットワークを張り巡らし、計算機を持ち歩くことでどこにいてもネットワーク上のサーバや資源にアクセスできる環境が整っている。こうした環境を活用するために、携帯型計算機は状況に応じて最も有効な通信メディアを選択できる機能を持つべきである。また通信プロトコルは通信メディアの特性の変化に適応することが望まれる。本稿で提案する拡張 Mobile IP システムはこれらの問題を解決し、より柔軟な移動計算機環境を実現する。

# 目次

<b>1</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>移動計算機環境の特徴</b>	<b>4</b>
2.1	従来の移動計算機環境	4
2.2	柔軟な移動計算機環境の実現	6
2.2.1	通信メディアとプロトコルに対応するアドレスの分離	8
2.2.2	メディア特性への適応	8
2.2.3	ハンドオフ処理の最適化	8
<b>3</b>	<b>関連研究との比較</b>	<b>10</b>
3.1	移動透過性プロトコル	10
3.1.1	IETF Mobile IP	10
3.1.2	IETF Mobile IP の利用	12
3.1.3	VIP	16
3.1.4	サービスプロキシ	18
<b>4</b>	<b>ハンドオフサポートされた拡張 Mobile IP システム</b>	<b>20</b>
4.1	通信メディアの自由な切り替えを可能にする Mobile IP システムアーキテクチャ	20
4.1.1	システム概要	20
4.2	ハンドオフ	26
4.2.1	ハンドオフシーケンス	27
4.2.2	移動検出メカニズム	30
4.2.3	メディア特性に応じた切り替えのタイミング	34
<b>5</b>	<b>評価</b>	<b>38</b>

5.1	実行環境 . . . . .	38
5.2	機能動作の確認 . . . . .	39
5.3	ハンドオフチューニングによる通信性能測定 . . . . .	39
6	議論	43
6.1	通信メディアの選択方針 . . . . .	43
7	おわりに	45
	参考文献	47
	謝辞	48

# 目次

2.1	移動計算機環境	7
3.1	IETF Mobile IP の基本アーキテクチャ	11
3.2	IETF Mobile IP の動作	14
3.3	VIP のプロトコル階層	16
3.4	サービスプロキシを用いた移動計算機環境の基本アーキテクチャ	18
4.1	拡張 Mobile IP の基本アーキテクチャ	21
4.2	ホストの識別子とネットワーク接続点の識別子の分離	22
4.3	移動ホストのシステム構成	24
4.4	システム構成	26
4.5	ハンドオフシーケンス 1	28
4.6	ハンドオフシーケンス 2	29
4.7	エージェント広告メッセージ	30
4.8	通信メディアの特性の違い	35
4.9	無線基地局間のハンドオフ	36
4.10	ハンドオフコントロール	37
5.1	実験ネットワーク構成	38
5.2	無線基地局間ハンドオフレイテンシ	41

# 表 目 次

2.1	TCP/IP の概念的なプロトコル階層 . . . . .	5
4.1	通信メディア選択機構とハンド オフコントローラの移動検出方法の比較 . .	33
5.1	測定に必要なパラメータ . . . . .	40
5.2	DHCP リクエスト周期別接続成功パターン . . . . .	42

# 第 1 章

## はじめに

計算機技術の発展により、計算機は多様化し、PDA、組み込み計算機、PHS、ノートブックコンピュータなどのように携帯可能になってきている。これにより時間や場所を選ばずネットワーク上の様々なサービスや資源にアクセスできる移動計算機環境が実現している。一方、通信基盤となる通信メディアも多様化し、Ethernet、無線 LAN、公衆回線を利用した ISDN や PHS など様々なものが利用できるようになってきた。ユーザはノート型計算機などを携帯し、移動した先々で有効な通信メディアを選択してネットワークへの接続を維持することができる。

こうしたネットワークインフラストラクチャが整備されている一方で、ネットワークアーキテクチャは TCP に代表されるようにクライアント・サーバ方式によるアプリケーションが多く、これはネットワークを形成する各ノードが固定的であるとの仮定の元で設計されている。そのために携帯型計算機を持ち運び、その場所で利用可能な通信メディアへ接続しようとするると様々な問題が生じる。

例えば、大学やオフィスビルなど構内 LAN が整備されているような場所で、作業中の計算機を持ち運び、移動した先で作業の続きをするためには、ネットワークの設定を変更しなければならず、再更新の手続きが必要となる。このような設定の変更をアプリケーション側でサポートするものもあるが、個々のアプリケーションで計算機の移動に対応するのは非効率的である。

こうした状況を受けて、従来の TCP/IP アーキテクチャでカバーできない計算機の移動に対する概念を取り入れたプロトコルが提案されている。DHCP [1] では移動ホストがサブネットを越えて移動する場合に、IP アドレスやネットマスクなどのネットワークパラメータの自動設定を行い、移動した先のサブネットで IP アドレスの割り当てを行う。これにより、自動的な IP アドレスの割り当てや設定変更が可能となった。しかし、DHCP



の支援だけでは、移動ホストの識別ができなかったり、移動前に確立しておいた TCP コネクションの維持は不可能である。このような DHCP で補えない問題点を解決するために IETF (Internet Engineering Task Force) の Mobile IP [3] や、Sony CSL の VIP [4]、また本学で開発されたサービスプロキシ [5] といった技術が提唱されている。

IETF Mobile IP は移動するホストに一定不変のアドレスを割り当てることによって、外部から一意のアドレスとして認識される。移動した場合は行き先のサブネット上に移動をサポートするホストがあり、移動ホスト宛のパケットの転送を行うことによって移動を可能にしている。VIP はコンピュータそのものを示す ”識別子” と、コンピュータの位置を示す ”アドレス” を分離している。識別子は位置に依存せず一定不変であり、アドレスは位置に依存している。このことによりトランスポート層以上では識別子でコンピュータを認識するので、自由な移動を可能にしている。また、サービスプロキシでは、別のアプローチを採っている。アプリケーションを 2 つに分割し、この負荷やメディアの特性に応じて、一つを強力な CPU 資源を持ち移動を支援するための代理計算機上で処理する。代理計算機とアプリケーションサーバ間の通信は従来の TCP/IP が使われ、代理計算機と移動計算機の通信はそのメディアに最適なプロトコルが使用される。

これらのプロトコルはそれぞれ移動ホストと通信相手のホストとの TCP/IP 接続が維持されるように設計されているが、実際に運用する過程で様々な問題が生じてきている。IETF Mobile IP や VIP はメディアが異なる場合の移動を考慮していないため、拡張して使用することができない。また、サービスプロキシでは従来のプロトコル体系には当てはまらず既存のシステム全体を新たに構成し直す必要がある。

そこで本研究では、多様な通信メディア間でもこれらのアーキテクチャが有効に利用できるようにするため、個々の利点と欠点を再検討しさらに利便性を持ったシステムに拡張するための新たな機能を提案する [11][12]。考察すべき問題点を次の 3 つに分類する。

- 通信メディアとプロトコルスタックに対応するアドレスの分離
- 通信メディア特性への適応
- ハンドオフ処理の最適化

特に本稿では ”ハンドオフ処理の最適化 ”に照準を当て、これを実現する機能とそれが関連する機能を統合したシステムがどのように振舞うかについて考察を行う。これは、従来の無線 LAN において移動ホストが基地局の切り替えをどのようにして行うかというハンドオフ処理と呼ばれる問題を、異なる通信メディア間の切り替え操作のコストを扱う問題と同等に捉え、個々の通信メディアの特性に合わせた最適化を行う。メディア切り替

えのタイミングを制御する機構は、通信メディアの選択を行うメディアセクタの内部モジュールとして位置し、一連のアドレス分離や通信メディア特性への適応する機能と協調して動作する。まとめとして、これらを統合した環境が移動計算機環境にどのように作用し、他のシステムとの有用性を比較することによって検討を行う。

## 第 2 章

# 移動計算機環境の特徴

本章では移動計算機環境を従来の計算機環境と比較し、その特徴について概観する。その上で構築しようとしている移動計算機環境を実現するためにはどのような問題点が生じるかについて考察を行う。

### 2.1 従来の移動計算機環境

近年、インターネットの急激な発展などによって、従来のデスクトップ型の PC を、設置されている場所でのみ使うだけではなく、様々な用途で場所にとらわれることなく使用することが考えられるようになった。このような経緯から移動計算機環境を整備し快適に使えるようにしようとする動きが出てきた。例えば、急速に利用者が増えてきた PHS や携帯電話を PDA や計算機端末として接続し、公衆回線を使ってネットワークリソースにアクセスしたりする。このように計算機自体は高性能化、小型化してきて携帯して使用しても十分に活用できるようになってきた。

また、ネットワーク基盤も多様化してきている。Ethernet のような従来からの有線ネットワークはもとより、FDDI や ATM、無線 LAN、ISDN や PHS などの公衆回線を使ったものなどさまざまである。

しかし、インターネットでアプリケーションが一般に使用するアーキテクチャは TCP/IP [2] と呼ばれるプロトコル群に基づいており、このアーキテクチャは有線のネットワークを対象として構成されたものである。そのため計算機が移動することは考慮されていない。そこでアプリケーションが TCP/IP によって通信する際に計算機が移動することによってこのプロトコルのメカニズムがどのように動作し、どこが障害となっているかについて考察する。

TCP/IP は表 2.1に示した 4 つの階層で表現される。TCP/IP プロトコル群の中核をなす IP(Internet Protocol) はネットワーク層プロトコルであり、TCP はトランスポート層のプロトコルである。ネットワーク層では、ルータを含む一つのネットワーク単位であるサブネットを相互に接続して、全体としてコンピュータネットワークを構成し、各ホストには一意なネットワーク層アドレスを割り当てる。正確には IP アドレスはホストごとではなく、ホストがもつネットワークインターフェイスごとに割り当てられる。例えば、2 本の Ethernet に接続されているホストは、それぞれの Ethernet インターフェイスに 1 つずつ IP アドレスが割り当てられる。IP アドレスはサブネット部とホスト部からなる。サブネット部はネットワーク内で一意であり、ホスト部は 1 つのサブネット内で一意である。従って IP アドレスはネットワーク全体で一意になる。IP は毎回、パケットヘッダに受信局 IP アドレスおよび送信局 IP アドレスを含めて送信する。送信元と受信先がサブネットを通過する場合、サブネット間で IP パケットを中継するルータを介して行われる。各ルータは経路制御情報を交換することにより経路表を作成し、この経路表に従って IP パケットの中継を行う。パケットを次のルータに中継する際、中継先ルータの IP アドレスからデータリンク層アドレスが導き出され、このアドレスに基づいてデータリンク層がパケットの配送を行う。このように、データリンク層では一つのサブネット内の通信機能を提供している。

表 2.1: TCP/IP の概念的なプロトコル階層

層	代表的なプロトコル
アプリケーション層	FTP, TELNET, HTTP
トランスポート層	UDP, TCP
ネットワーク層	IP (ICMP, ARP, RARP)
データリンク層	ATM, FDDI, ISDN, PHS, Ethernet, 無線 LAN

トランスポート層プロトコルでは、最終的な通信の端点 (ソケット) 間で信頼性のある通信機能を提供する。TCP は通信開始にあたってバーチャルサーキットと呼ばれる論理通信路を確立してから通信を行うコネクション型のプロトコルである。通信を行う際には、確立された論理通信路 (TCP コネクション) 上で、損失、重複、データ誤り、順序誤りのない、信頼性のある通信機能を提供し、TCP コネクションは両側のソケットの対で識別される。

このような TCP/IP プロトコルスタックに従ったアプリケーションを実行中に計算機

が移動することによって次の 2 つの問題が生じる。

1. アプリケーションプログラムは DNS(Domain Name System) と呼ばれるホスト名と IP アドレスを変換するサービスによって送信先の IP アドレスを得るが、送信先の計算機が別のサブネットへ移動すると IP アドレスが変わってしまうために移動した計算機を認識できなくなる。
2. TCP コネクションが確立されている場合に、計算機が移動したとする。TCP コネクションはソケットの対、すなわち両側の IP アドレスおよびポートの番号の対で認識される。そのために計算機の移動によって IP アドレスが変化してしまうと、たとえ移動後も通信が可能であっても、移動前に確立した TCP コネクションを維持することができなくなる。

このように従来の TCP/IP が移動する計算機をサポートしないといった問題を新たなプロトコルを提案することにより解決する試みが多数されている。その中でも IETF Mobile IP はインターネット標準への手続きが順調に進められている。IETF Mobile IP はホームアドレス (home address) と呼ばれる一定不変の IP アドレスと、移動先では気付アドレス (care-of address) と呼ばれる IP アドレスの 2 つのアドレスを持つ。移動ホストは他のホストからは常にホームアドレスで認識される。移動ホストの移動性はホームエージェント (Home Agent) とフォーリンエージェント (Foreign Agent) によってサポートされる。気付アドレスは移動ホストが移動した際に、ホームエージェントとフォーリンエージェント間の移動ホスト宛のパケットをトンネリングして転送するために使用される。

IETF Mobile IP によって計算機の移動は可能である。しかし実際に移動計算機環境へ導入するにはいくつかの問題点がある。一つは移動ホストが移動した場合に 2 つの IP アドレスによって認識されるために変則的なルーティングが行われることである。これはホストの識別子とネットワークへの接続点の識別子が明確に分離されていないために起こる。もう一つには、異なる通信メディアへの移動も論理的には可能ではあるが、各メディアの特性が考慮されていないために、例えば、メディア切り替えの際に遅延が生じるというような問題が生じる。この遅延が長引くことにより通信路の維持ができなくなりアプリケーションが停止してしまう可能性もある。

## 2.2 柔軟な移動計算機環境の実現

前節で述べられたような背景から、より一掃移動に対して柔軟な計算機環境が求められるようになった。そこで柔軟な移動計算機環境実現のためのモデルとして図 2.1 のよう

な環境を想定した。この図では大学の構内 LAN や会社のオフィスビル規模のネットワークを想定している。このような環境では、通常の作業は Ethernet などの有線通信メディアに接続された計算機を自分専用の机上で作業する。無線ネットワークが利用可能な会議室や講義室、あるいは少し離れた喫茶店などでも打ち合わせに必要なデータを利用するために移動計算機を持ち運んで使用する。

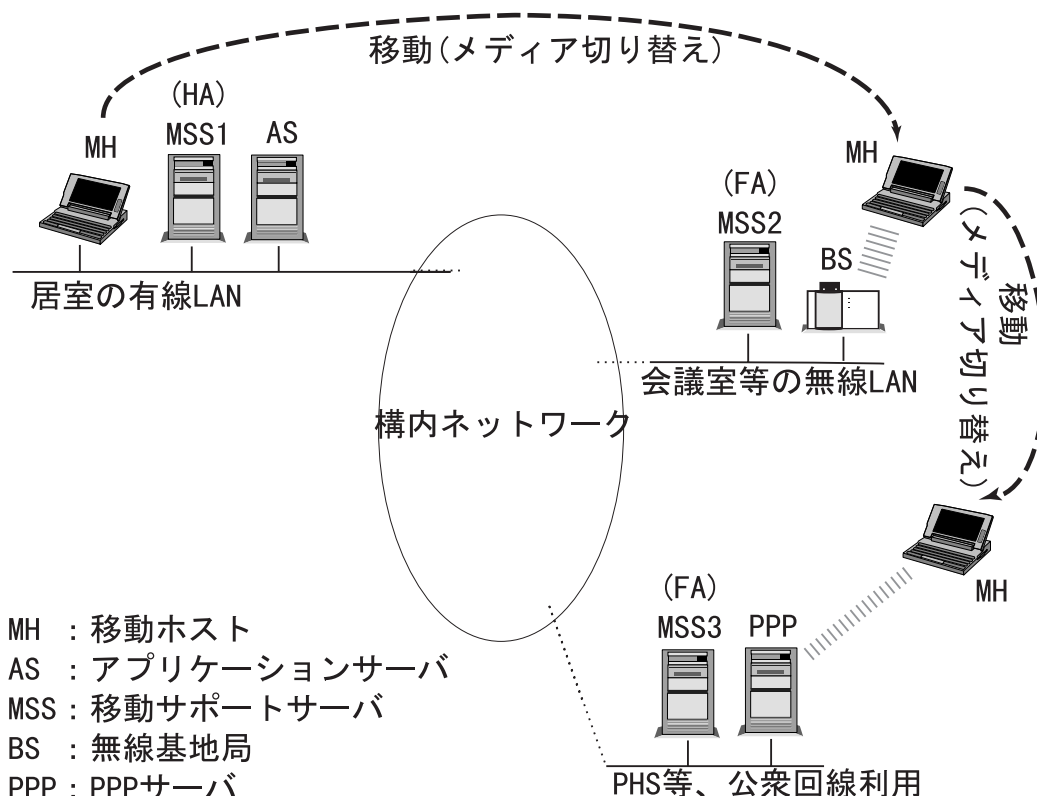


図 2.1: 移動計算機環境

あるひとつの事例として、研究室など通常使用する場所で計算機を使ってある作業を行っており、途中で会議に出席するために会議室へ向かうとする。もし作業中の内容をプレゼンテーションやデータの参照のために会議でも使用するとすれば、そのままの状態でも会議室で持ち運びできればシステムを再起動したり、使用していたアプリケーションを再び立ち上げ直さなくてもよくなる。会議室では無線 LAN が配備されているのでネットワークリソースを使用することは可能となるが、その間の廊下などで移動の際はネットワークに接続することは難しい。しかし PHS など、公衆回線が使用できればネットワークの接続の維持は可能である。

最近では携帯型の計算機にネットワークインターフェイスとなる PC カードを複数同時にサポート可能なものも出ている。複数のネットワーク用 PC カードを常に差し込ん

でおきシステム側で最適なメディアを自動的に選択できるようになれば、ユーザはネットワークの設定に関しては殆んど意識することなく使用できるようになる。

このような移動計算機環境を実現するためには、前節で挙げたように既存の TCP/IP が移動性を考慮していない問題などを解決する必要がある。そこで、本システムでは計算機の移動を可能とするプロトコルである IETF Mobile IP の現状での問題点を考察し、拡張されたシステム上でも正しく機能させるために問題となってくる箇所を挙げ、それぞれについての対応を考察する。

### 2.2.1 通信メディアとプロトコルに対応するアドレスの分離

移動計算機が複数の通信メディアを常時利用可能であるような図 2.1 のような環境を想定する。このような環境でユーザが意識せずに自動的にメディアが切り替えられるようにするためには、動的にメディアを切り替える仕組みが必要である。しかし、IETF Mobile IP では動的なメディア切り替えについては考慮されていない。その問題を解決するためには、まず、プロトコル側と通信メディア側で IP アドレスを分離する。これによって通信メディアのデバイスは抽象化され、デバイス選択の自由度が向上する。このメディアを選択する機構をメディアセレクトと呼び、プロトコルインターフェイスとメディアデバイス間の管理、制御を行う。後述するハンドオフコントローラやスヌーパ、メディアスイッチャーなどの様々な機能はメディアセレクトの内部に追加することによって実現される。

### 2.2.2 メディア特性への適応

円滑にメディアの切り替えを行うためには、メディア切り替えの高速化とメディア固有の特性に応じたパケットの送信が必要である。通信メディアの特性、エラー率、バンド幅、遅延などに応じて、パケットの圧縮、エラーリカバリなどの処理をして送信を行う機構である、スヌーパを提案することによってメディアの切り替え後もアプリケーションの性能を最大限に引き出すことを検討する。

### 2.2.3 ハンドオフ処理の最適化

無線 LAN におけるハンドオフ処理に関してはかなり多くの技術が提唱されているが、無線 LAN を含むさまざまなメディアへの切り替えについての研究はされていない。円滑な通信メディアの切り替えを可能にするには、使用できるメディアの情報を統一して管理し、その情報を元に切り替えのタイミングを適切に制御する必要がある。メディアセレクト

夕内に設けられたハンドオフコントローラによってこのような切り替えを管理し、IETF Mobile IP モジュールを時間的制約とどのように同期を取りコントロールするかが鍵となる。また、公衆回線を使う場合の課金など、そのメディアを利用するコストをどのようにするかといったポリシーもハンドオフコントローラによって調節される。



## 第 3 章

### 関連研究との比較

#### 3.1 移動透過性プロトコル

無線 LAN の普及によりコードレス化の進んだ計算機は、さらに自由度が追求され、無線セルを含んだ広域なネットワークで利用されるようになってきている。このようなネットワークではコンピュータの移動を透過に見せるためのプロトコルが必要となる。ここでは、移動透過性を実現するプロトコルとして IETF Mobile IP と VIP を挙げ、またこれらと別のアプローチによってモビリティサポートを行うサービスプロキシの概要について述べる。

##### 3.1.1 IETF Mobile IP

IETF で標準化が進められている Mobile IP は可搬性をサポートするための二つのエージェント、ホームエージェントとフォーリンエージェントが協調動作することにより計算機の移動を可能としている。図 3.1 は IETF Mobile IP の基本アーキテクチャを示している。図において、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  はルータであり、移動ホスト MH は拠点とするネットワーク (ホームネットワーク) 上に一意の IP アドレス (ホームアドレス) が割り当てられる。このアドレスはホームネットワークのルータ  $R_2$  であるホームエージェントによって管理される。ホームエージェントは移動ホストがホームネットワーク上にいるときには通常のルータとして機能し、移動ホストがホームネットワークから離れている場合には、移動ホスト宛ての packets を移動先のネットワークにフォワーディングする。ホームネットワークから離れた移動ホストは、フォーリンエージェントが存在するサブネットに接続することができる。ホームエージェントから転送される packets は IP in IP [7] の

トンネリングが用いられ、フォーリンエージェントによって受け取られる。このとき、気付けアドレス (care-of address) と呼ばれる一時的なアドレスがフォーリンエージェントによって提供される。その割り当て方法には二通りある。一つは、接続したサブネット上にあるフォーリンエージェントの IP アドレス (foreign agent care-of address) を使用する方法で、もう一つは、DHCP を用いて割り当てられた一時的に使用可能な IP アドレス (co-located care-of address) を気付けアドレスとして使用する方法である。移動ホストは、このフォーリンエージェントによって割り当てられた IP アドレスをそのホストのホームエージェントに登録することによってフォーリンエージェントへのパケットの転送が可能となる。転送されたパケットを受け取ったフォーリンエージェントはカプセル化を解き、移動ホストには通常の IP ルーティングとして配送する。例えば、図 3.1 において、送信元の固定ホスト S から移動ホスト MH に対してデータ送信を行う一連の過程は以下の経緯で行われる。

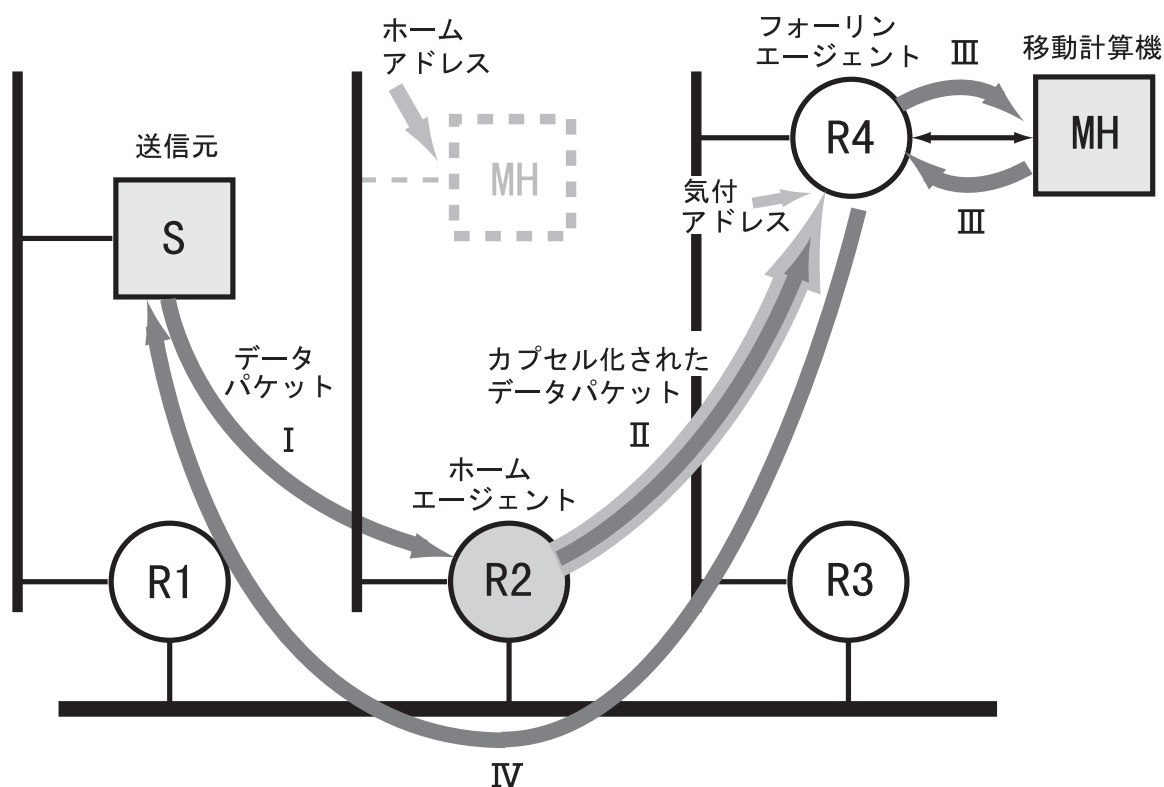


図 3.1: IETF Mobile IP の基本アーキテクチャ

- I. ホスト S は、MH 宛てのデータグラムを標準的な IP ルーティングを使用してホームネットワーク上に送信する。

- II. ホームエージェント  $R_2$  は、MH 宛てのホームアドレスに指定されたパケットを受け取ると、登録されている気付けアドレスを元に MH が接続されているサブネット上のフォーリンエージェント  $R_4$  に IP in IP でカプセル化し転送する。
- III.  $R_4$  は、カプセル化された IP パケットから元の IP パケットを取り出し、移動ホスト MH へ配送する。
- IV. 移動ホスト MH がホスト S へパケットを送信する場合は、標準の IP ルーティングによって送信される。図 1 において、フォーリンエージェント  $R_4$  は移動ホスト MH のデフォルトルータとなる。

移動ホスト MH がホームネットワークから移動する場合、自分宛てのパケットを転送してくれるフォーリンエージェントを見つける必要がある。これには ICMP Router Discovery プロトコル [6] を拡張した Agent Discovery の仕組みを利用する。Agent Discovery はエージェント広告 (Agent Advertisement) とエージェント要請 (Agent Solicitation) の 2 つのコントロールメッセージから成る。エージェント広告はあるリンク上でそのサービスを知らせるためにモビリティエージェント (ホームエージェント、フォーリンエージェント、または両方) から送信される。移動ホストはインターネットへの現在の接続点を決めるためにエージェント広告を使用する。エージェント要請は、エージェント広告を待つ余裕がない移動ホストが送信するメッセージである。この Agent Discovery の機能によってフォーリンエージェントを検出し、気付けアドレスが割り当てられる。その気付けアドレスは移動ホストによってホームエージェントに登録され、ホームエージェントは移動ホスト宛ての IP パケットを気付けアドレスへ転送することが可能となる。

### 3.1.2 IETF Mobile IP の利用

IETF Mobile IP を前章の図 2.1 で挙げたような環境で利用した場合、どのような問題が生じるかについて詳細に検討する。前章で述べたように、IETF Mobile IP の問題点を大きく分けて 3 つに分類した。これらの問題点が実際にどのような過程で障害となるのかを考察する。

#### 移動ホストの識別

IETF Mobile IP ではホームエージェントが移動ホストへ IP パケットを転送することで計算機の移動に伴うネットワークアドレスの変化に対応している。しかし、その構造上にいくつかの問題点が見受けられる。

移動ホストが移動し、フォーリンネットワーク上でフォーリンエージェントからのサポートを受ける場合、移動ホストに転送される IP パケットの宛先アドレスはホームアドレスである。ホームアドレスはフォーリンネットワーク上のアドレスではないので、通常の IP パケットのルーティングは使用できない。このためフォーリンエージェントはデータリンク層を直接制御して移動ホストにパケットを転送しなければならない。データリンク層が Ethernet の場合、フォーリンエージェントは移動ホストの MAC アドレスを指定してパケットを転送する (図 3.2)。

移動ホストが PPP で接続される場合、移動ホストは PPP サーバを経由してフォーリンネットワークに接続される。そのためフォーリンエージェントがホームアドレス宛のパケットを転送する先は PPP サーバとなる。もし、PPP 接続においても IETF Mobile IP をサポートしようとするれば、PPP サーバでもモビリティエージェントの機能を果たさなければならない。このようにフォーリンエージェントから移動ホストへの IP パケットの転送はリンク層の制御が必要となり、移動ホストが使用する通信メディアごとに IETF Mobile IP に対応する必要がある。

また、気付アドレスを移動ホスト自身が確保する場合、ホームエージェントから転送されてくるカプセル化された IP パケットを受け取るためには、移動ホストの通信メディアは気付アドレスで動作しなければならない。一方、移動ホストから通信相手のホストへ送信される IP パケットのソースアドレスには気付アドレスではなくホームアドレスを使用しなければならない。そのために、ネットワークに接続された通信メディアはネットワークからの ARP などの処理に対しては気付アドレスを持ったホストとして動作し、送信される IP パケットにはホームアドレスを持ったホストとして動作するという変則的な行程で実行されることになる。

### メディア切り替えのタイミング

IETF Mobile IP のスコープは、ネットワーク層で移動ノードへパケットを配送するために必要な機構を単に仕様化しているだけであり、他のレイヤとの技術の継承については述べられていない。例えば、データリンク層ではメディアごとにプロトコルが異なったり、特性や扱いも異なってくる。さまざまな種類の通信メディアの切り替えが要求されるような移動計算機環境を実現することは、どのようにして IETF Mobile IP を使いこなすか、という問題になってくる。この節で述べる”メディア切り替えのタイミング”や、続く節の”メディア特性の適応性”では、IETF Mobile IP を複数の通信メディアをサポートするネットワークで動作させるときに生じる問題点を検証する。

無線 LAN ではユーザが意識しない間に、使用する無線基地局の切り替わりが発生する

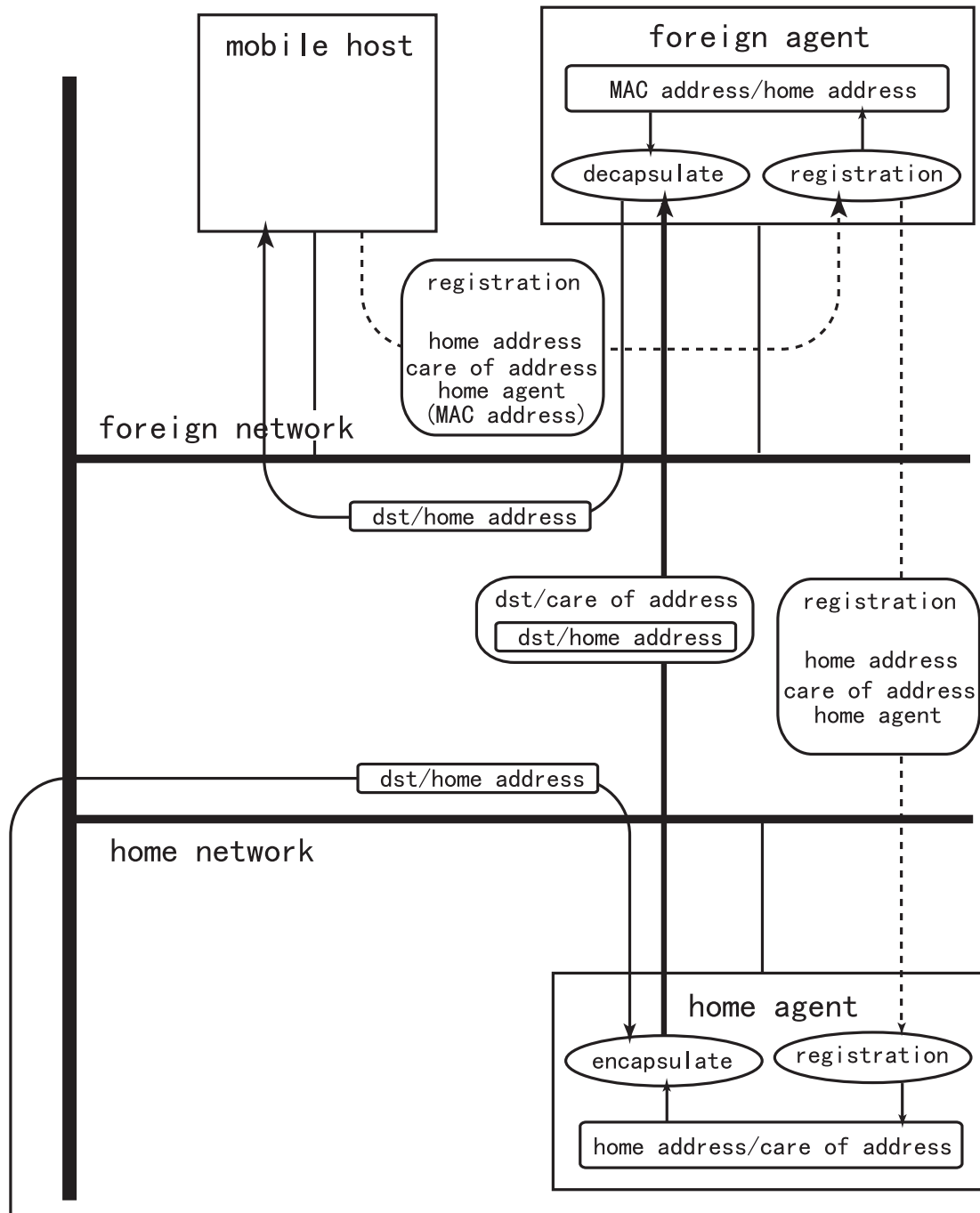


図 3.2: IETF Mobile IP の動作

場合がある。これはデータリンク層レベルで電波強度に応じて無線基地局を強制的に切り替えを行っているために起こる。また、異なる通信メディアを切り替える場合はデバイスインターフェイスが異なるため、別に初期化などの手続きが必要となる。このようにメディア切り替えに関しては、同一メディア間の切り替えと異種メディア間の切り替えの2種類に分類できる。

同一メディア間、特に無線セル間を移動することによって生じるハンドオフでは、基地局が切り替わったことは IETF Mobile IP によるタイムアウトまで、その切り替わりはわからない。LAN の代表的な国際標準化機構である IEEE では、無線 LAN について標準化した技術として、IEEE 802.11 [10] を公表している。IEEE 802.11 は、無線メディアと有線の基盤ネットワーク間のブリッジ機能を提供するトランシーバ (送信機/受信機) を定義している。計算機内の無線ネットワークインターフェイスデバイスは、802.11 の仕様に従ってこのようなトランシーバと通信する。リンク層プロトコルは、802.11 のトランシーバによるネットワークを、ネットワーク層から見ると1つのリンクのように見せる。つまり、802.11 での移動性は IP 層からは完全に隠蔽されている。そのようなネットワークで IETF Mobile IP を使用することによって TCP/IP 上の通信路は確保できるようになる。しかし、IETF Mobile IP が実際に行っている処理は、移動ホストと現在通信中のモビリティエージェントからの応答がなくなって初めて、新しく支援してくれるモビリティエージェントの検索をし始める消極的なものである。この消極的なアプローチによる遅延は大きい。

また、複数の PC カードインターフェイスがサポートされている計算機では、理論上複数のネットワークインターフェイスが使えることになる。しかし、Mobile IP 側ではネットワークデバイスの状態までは把握しておらず、これを指示する必要がある。この場合、単純に使用可能なメディアを使用するのでは、バンド幅のより遅いネットワークに接続したり、コストのかかるネットワークを選択する可能性がある。バンド幅やコスト、遅延、エラー率といった通信メディア特性の違いをどのように Mobile IP に反映するかを管理する機能は必要不可欠である。これは、できるだけ継続して接続を維持したいとか、コストをできるだけ少なくしたいといった様々なポリシーがなければ、通信メディアを選択するときに、無意味な切り替えが生じることになる。

### メディア特性の適応性

異なる通信メディア間の移動が可能になると、それぞれのメディア特性も変わってくることを考慮しなければならない。例えば、バンド幅の広い Ethernet で使っていたネットワークアプリケーションが、メディアの切り替わりが生じバンド幅の狭い PPP 接続に

なったとする。この場合に、両方で同じような使い方をすると PPP ではかなりの遅延が生じ、使用に耐えないかもしれない。それでは、動的なメディア切り替えも十分に機能しているとは言えなくなる。メディア固有の特性に応じた最適なパケット送信処理を行うことは、多様な通信メディアをサポートする IETF Mobile IP を充分機能させるために重要なことである。

### 3.1.3 VIP

IP アドレスは、ホストのインターネット内での位置を表すと同時に、そのホストの識別子としても使われている。このような IP アドレスの持つ二重性が、移動ホストとの移動透過な通信を妨げていた。

VIP (Virtual Internet Protocol) はアドレスと識別子とを明確に分け、IP アドレスと同じフォーマットを持つ VIP アドレスを識別子として導入している (図 3.3)。IP アドレスは移動ホストの移動によって変化するが、VIP アドレスは常に一定である。TCP/UDP 層以上では、VIP アドレスによって計算機を識別する。従って、TCP/UDP およびネームサーバを含む既存のアプリケーションがそのまま利用できる。

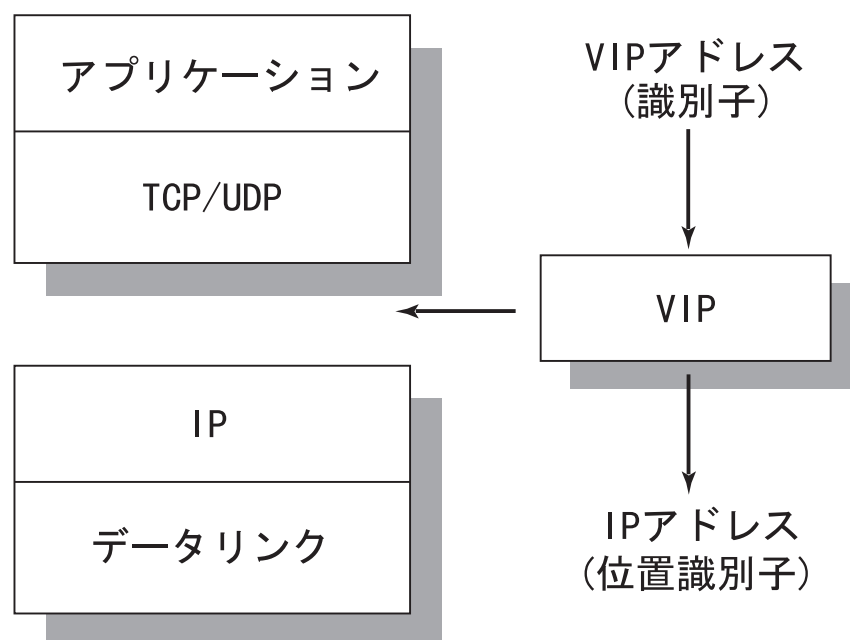


図 3.3: VIP のプロトコル階層

VIP は仮想ネットワーク (virtual network) の概念を導入したネットワーク層プロトコルである。仮想ネットワークは、インターネットのようなコンピュータネットワークを構

成する物理ネットワーク上に仮想的に存在するネットワークであり、物理ネットワークがサブネットを相互に接続して構成するのと同様に、仮想サブネット (virtual subnet) を相互に接続することで構成する。そして、ネットワーク層から上位層のプロトコル階層には、仮想ネットワークのみが見える。仮想ネットワークの概念を導入したネットワークでは、計算機を物理ネットワークに直接接続するのではなく、仮想ネットワークに接続する。そして、物理ネットワークと仮想ネットワークのマッピングを行っている。計算機が接続されている仮想サブネットは、ホームサブネット (home subnet) と呼ばれている。仮想ネットワークでは、計算機が移動してハンドオフが発生すると、物理サブネットは変更されるが、ホームサブネットは変更されない。すなわち、ホームサブネットと物理サブネットのマッピングが変更されるだけである。このため、仮想ネットワーク上では、計算機に一定不変のアドレスが割り当てられる。この計算機に割り当てられたアドレスは、仮想アドレス (virtual address) と呼ばれている。そして、仮想ネットワークの概念を導入したネットワークに接続された計算機は、仮想ネットワーク上のアドレスである仮想アドレスと物理ネットワーク上のアドレスである物理アドレスの 2 つのアドレスが割り当てられる。

VIP では仮想ネットワークの概念を TCP/IP プロトコルスタックに適用している。仮想アドレスは VIP アドレスと呼ばれている。そして、物理アドレスは、IP アドレスである。IP アドレスは、計算機が接続している物理サブネットのアドレスを示しており、接続するサブネットによって動的に変更されるが、VIP アドレスは動的に変更されることはない。VIP アドレスは、従来の分散アプリケーションとの互換性を考慮して、IP アドレスと同じアドレスフォーマットが採用されている。このため、従来の分散アプリケーションにおいて、IP アドレスの代わりに VIP アドレスを指定するだけで VIP を利用することができる。すなわち、従来の TCP/IP を用いた既存のアプリケーションを変更することなく VIP を利用することが可能である。VIP では、計算機の移動によって計算機が接続している物理サブネットが変更されると、IP アドレスは変更される。このとき、VIP アドレスと IP アドレスのマッピングをキャッシュしている AMT (Address Mapping Table) を変更する必要がある。VIP では、この AMT の変更には拡散キャッシュ法と呼ばれる方法を用いている。この拡散キャッシュを用いることによって、パケットの配送経路の最適化を行うことができるが、そのためには、各ルータにおいて VIP を支援する必要がある。また、通信メディアの特性の変化に柔軟な対応するための拡張は考慮されていない。



### 3.1.4 サービスプロキシ

サービスプロキシのフレームワークは利用者の計算機上で実行するアプリケーションを2つに分割して構成する。2つに分割されたアプリケーションのうち、一つは移動ホスト上で実行し、もう一方は移動ホストとアプリケーションを実行しているサーバの間に位置する固定ホスト上で実行する。この固定ホストを代理計算機 (proxy computer)、利用者の計算機上で実行するアプリケーションの断片をサービスエージェント (service agent)、代理計算機上で実行するアプリケーションの断片をサービスプロキシ (service proxy) と呼ぶ。サービスエージェントは、既存の分散アプリケーションを変更することなく利用するために、そのアプリケーションとサービスプロキシ間の通信を仲介するために利用することもできる。図 3.4 にサービスプロキシを用いた移動計算機環境の基本アーキテクチャを示す。

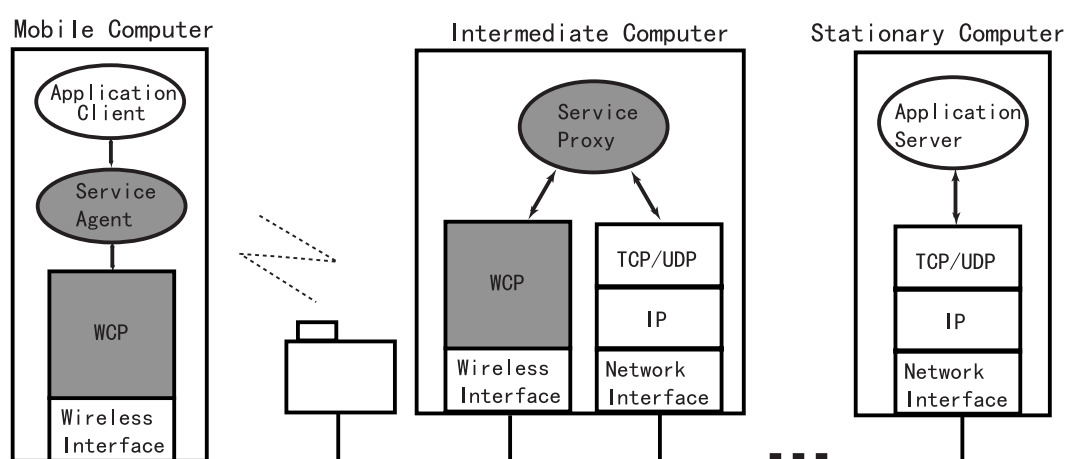


図 3.4: サービスプロキシを用いた移動計算機環境の基本アーキテクチャ

サービスプロキシを実行する代理計算機は、移動ホストが通信するために利用している無線基地局が接続されている末端のサブネットに設置される。代理計算機とアプリケーションサーバが実行されている固定ホスト間の通信は ATM や Ethernet などの有線通信メディアを用いて接続される。また、移動ホストと代理計算機の間は、無線 LAN や PHS のような無線通信メディアを用いて接続される。サービスプロキシフレームワークでは、間接通信アーキテクチャを採用している。サービスエージェントとアプリケーションサーバの2つの通信コネクション上で標準的に使用されている通信プロトコルを利用し、サービスエージェントとサービスプロキシ間の通信には、無線通信メディアに適した WCP (Wireless Communication Protocol) を使用する。これによって、通信メディアの特性と通信プロトコルの不整合による性能低下を回避する。

サービスプロキシのアプローチは無線 LAN において、有線通信メディアを有し強力な CPU 資源を持つ固定ホストと、無線ネットワークを利用する移動ホストで異なる通信プロトコルを採用し最適化しようとするものである。確かにこのアプローチでは無線 LAN では有効ではあるかもしれないが、既存のシステムに大幅な変更を要し汎用性に欠ける。また無線 LAN 以外での使用は全く考慮されず、移動ホストをさまざまな場所で使用するユーザにとってコストが大きく拡張性にも乏しいように思える。

## 第 4 章

# ハンド オフサポート された拡張 Mobile IP システム

### 4.1 通信メディアの自由な切り替えを可能にする Mobile IP システムアーキテクチャ

#### 4.1.1 システム概要

まず、システム全体の概要を図 4.1 に基づいて説明する。この図において、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  はルータであり、各サブネットはそれぞれルータを経由してバックボーンに接続されている。またこの図において MH は移動ホスト、PA は IETF Mobile IP のフォールンエージェントの機能を拡張したプロキシエージェントを示している。基本となるアーキテクチャは IETF Mobile IP に基づいており、このシステム上では IETF Mobile IP で必要とされる機能は十分に提供される。各移動ホストはホームネットワーク上にホームエージェントによって管理され、一意に識別できる IP アドレス (ホームアドレス) が割り当てられる。ホームネットワークから離れた移動ホスト宛てに送信された IP パケットはホームエージェントによって仲介され、IP in IP のカプセル化をして移動先のサブネット上のプロキシエージェントへ転送される。パケットを受け取ったプロキシエージェントはカプセル化を解き、元の IP アドレスである移動ホストに転送する。

これら IETF Mobile IP の機能に加えて、図 4.1 のような有線ネットワークや無線ネットワーク、あるいは PHS などによる PPP 接続といった異なるメディア間での移動をサポートするシステムを構築する。その上で問題となる、多様な通信メディアへの対応、メディア切り替えのタイミング制御、メディア特性の変化、などに対処するために次の新た

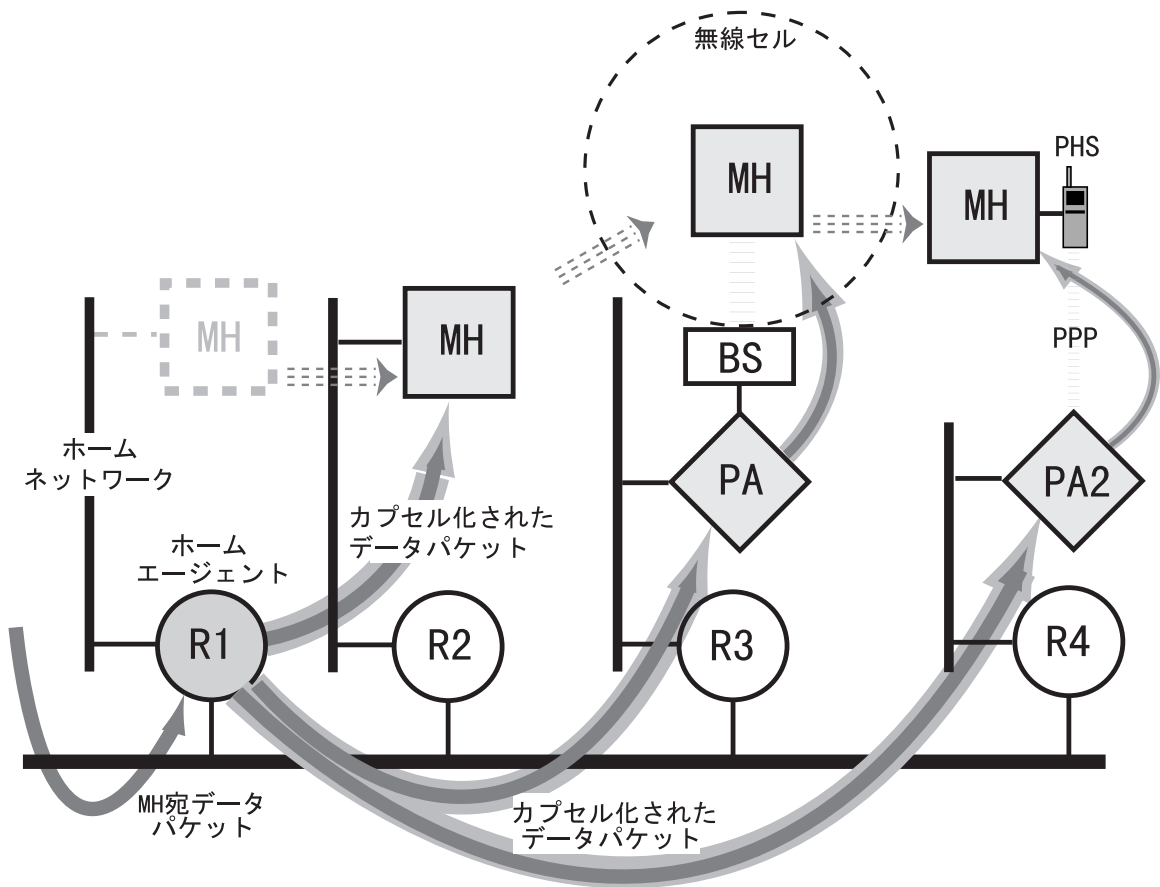


図 4.1: 拡張 Mobile IP の基本アーキテクチャ

な機能が追加される。

## メディアセレクタ

有線ネットワークを前提とした古い形式のネットワークシステムは各ノードが静的であるとして設計されている。IETF Mobile IP ではホストの移動を可能にするために、計算機の識別子とネットワーク接続点としての識別子の分離が行われている。しかし、一つのノードで一貫した完全な意味での分離が行われていないために、プロトコルの上位層と下位層では異なった処理が行われている。これが異なる通信メディアへの対応を考慮した場合には対処できない原因となっている。そこでプロトコルと通信メディアを明確に分離し、プロトコルの下位に通信メディアを管理する層を配置する。プロトコル側はホストの識別子としての IP アドレス、すなわち Mobile IP のホームアドレスを、通信メディア側の IP アドレスは DHCP などによって接続要求毎に割り当てる (図 4.2)。

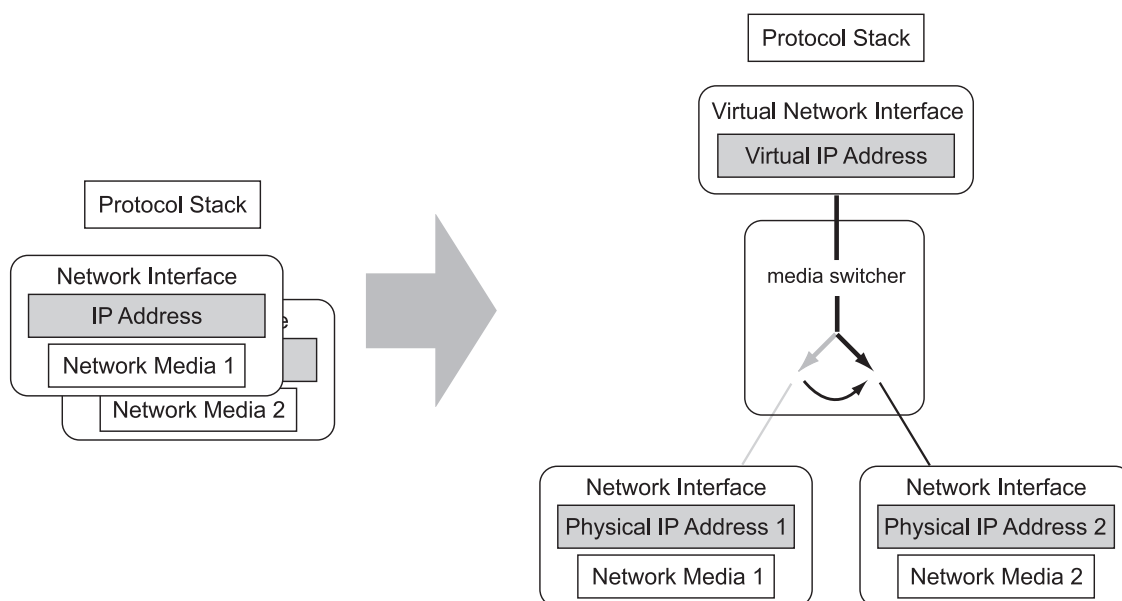


図 4.2: ホストの識別子とネットワーク接続点の識別子の分離

通信メディアを管理する層は複数の通信メディアを管理する機構であるメディアセレクタ [13][15] で管理し、その内部機構であるハンドオフコントローラによって最適な通信メディアが選択されてネットワークに接続される。ネットワークへの接続に必要な IP アドレスの確保や ARP 処理はこの層で行われる。各通信メディアの違いはこのメディアセレクタ内のメディアスイッチャーで吸収され、プロトコルからは単一のネットワークインターフェイスとして仮想化する。プロトコルはこのメディアセレクタにホスト識別子とし

てホームアドレスを与えたインターフェイスとして使用する。

メディアセクタはプロトコルに対してプロキシエージェントの機能もエミュレートすることができる。メディアセクタで確保した IP アドレスを気付アドレスとして使用し、ホームエージェントから移動ホストへの IP パケットの転送を IP を用いて行う。ホームエージェントによってカプセル化されて転送されたパケットは、メディアセクタによってカプセル化を解かれて、上位のプロトコルに渡す。

プロトコル側で使用するインターフェイスはメディアセクタが提供する仮想インターフェイスのみなので、プロトコルスタックの経路は常にこの仮想インターフェイスを使うように設定するだけである。また、実際に使用する物理的通信路は通信メディアを管理するレベルである物理インターフェイスをネットワークに接続する過程で DHCP などを用いて決定する。

## スヌーパ

プロキシエージェントでは、フォーリンエージェントを拡張した機能を備えている。拡張機能の主要な役割はパケットスヌーピング機構である。移動ホストが通信メディアを次々に切り替えることを想定した場合、メディア特性の変化にも関わらず同様の方式でデータの送受信をすることは移動ホストのパフォーマンス低下を生じる。パケットスヌーピングとはそのようなメディア特性の違いに応じて二つのホスト間を通信するパケットを監視して最適な処理を行う機構である。

パケットスヌーピングを実現するためのモジュールをスヌーパ [17] と呼び、プロキシエージェント、および移動ホストに装備され、その間を独自のプロトコルを用いて通信する。現段階においてスヌーパは 2 つの機能を提供する。一つはパケット圧縮モジュールで、もう一つはエラーリカバリモジュールである。パケット圧縮モジュールは、PHS などを使って PIAFS に準拠したようなバンド幅の狭い回線に接続している場合に、移動ホストとプロキシエージェント間の双方向のパケットを圧縮して、データグラムをできる限り小さくすることで、バンド幅を有効に活用する。また、エラーリカバリモジュールは無線 LAN のようなエラー率の高い回線に接続している場合に、TCP のデータ転送において高速なエラー回復を実現するために移動ホストとプロキシエージェント間で独自に再転送の処理を行う。

## 移動ホストにおける拡張機能

移動ホストにおける拡張 Mobile IP システムの役割はホームエージェントへの気付アドレスの登録や移動の検出、経路表の変更などの IETF Mobile IP 本来の機能に加えて、

移動ホストに関するネットワークリソースなどの環境情報をデータベースとして一括管理し、それらを統合化されたインターフェイスとともにアプリケーションに提供する機能 (環境サーバ) [14]、通信メディアの円滑な切り替えを行うための機能 (メディアセクタ)、などを提供する。メディアセクタの内部モジュールとして、メディアの特性に合わせた通信を行うための機能 (スヌーパ)、円滑なメディアの切り替えを行うための機能 (ハンドオフコントローラ)、各通信メディアを管理しそれらを透過に見せるためのインターフェイスを提供する機能 (メディアスイッチャー) がある。(図 4.3)

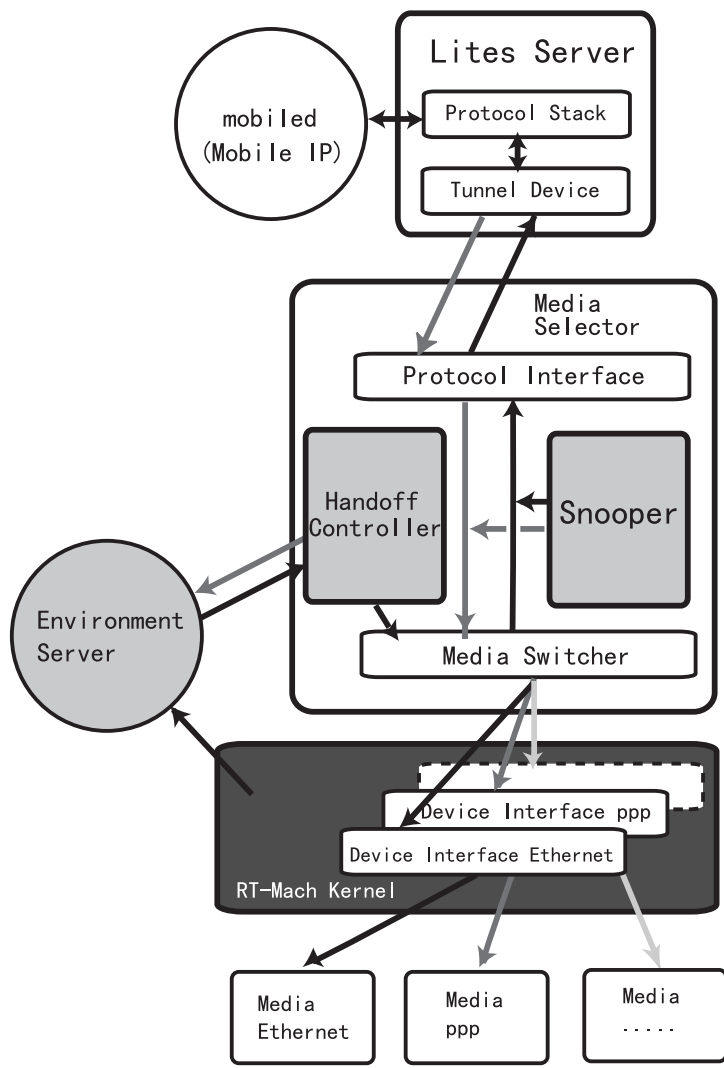


図 4.3: 移動ホストのシステム構成

## 環境サーバ

環境サーバは計算機の環境情報をデータベースとして一括管理し、それらを統合化されたインターフェイスとともにアプリケーションに提供する。アプリケーション側では個別にカーネルから情報を得る必要はなく環境サーバに問い合わせを行うことで様々な環境情報を取得することができる。これによってアプリケーションはそれぞれの計算機のシステムに依存した情報をシステム間の差異を考慮しないで取得できるという利点がある。たとえば、環境サーバが提供する情報によって、現在使用中の通信メディアの実効バンド幅や通信コストを知ることや、バッテリー容量が残り少なくなっていることを把握することが可能である。

拡張 Mobile IP システムにおいては、メディアセクタ内部で動作するハンドオフコントローラによって定期的に問い合わせが行なわれ、環境サーバが持つ動的なデータベースの情報を引き出すことで通信メディア切り替えの判断に使用される。問い合わせに使用する情報は以下のものがある。

- 使用可能な通信メディアデバイス

複数の PC カードインターフェイスを持つ計算機では、使用可能な通信メディアデバイスが計算機の使用中に変更される場合がある。有効になったメディアの情報はハンドオフコントローラで認識し、ある選択方針に基づいて適切なメディアの選択を行なう。

- 無線基地局の識別子 (無線 LAN で使用している場合)

無線 LAN では計算機の移動や、無線セルの中間位置で使用している場合にはフェージングによって、データリンク層レベルでの強制的な無線基地局の変更が発生する。このようなハンドオフでは Mobile IP は元のリンクが切れたことを判断してから次の無線基地局を検索するシステムになっている。これを無線基地局の識別子に変更が生じた場合に Mobile IP モジュールに通知することによって無線基地局の切り替わりの影響を最小限に留めることができる。

- 使用している通信メディアの実効バンド幅

無線 LAN で使用中に基地局との通信状態が悪くなり、実効バンド幅が下がってきたという情報を環境サーバから得ることによって、もしユーザが通信をできる限り維持したいときには、ハンドオフコントローラ側である閾値を設け、このレベル以下になったときには自動的に PHS を使用した PPP 接続へ切り替えることが可能となる。このときの接続をどうするかといったポリシーはハンドオフコントローラ



によって管理される。

これらの情報をハンドオフコントローラによって取得することによって、最適な通信メディアの選択と円滑な切り替えを可能にする。

## ハンドオフコントローラ

ハンドオフコントローラは無線リンク間でのハンドオフや、異なる通信メディア間を切り替えする場合に、より最適なメディアをあるポリシーに基づいて選択し、高速な切り替えを実行するための機能である。ハンドオフコントローラはメディアセクタ内に位置し、環境サーバとメディアスイッチャーを結んで、その結果を Mobile IP モジュールに通知する。この詳細については次節で説明する。

移動ホストとモビリティをサポートするホスト間でのやりとりを示したシステム全体の構成 [16] は図 4.4 のようになる。実装にはマイクロカーネル方式である RT-Mach [8] を採用、IETF Mobile IP との通信は UNIX サーバである Lites [9] を介して行われる。

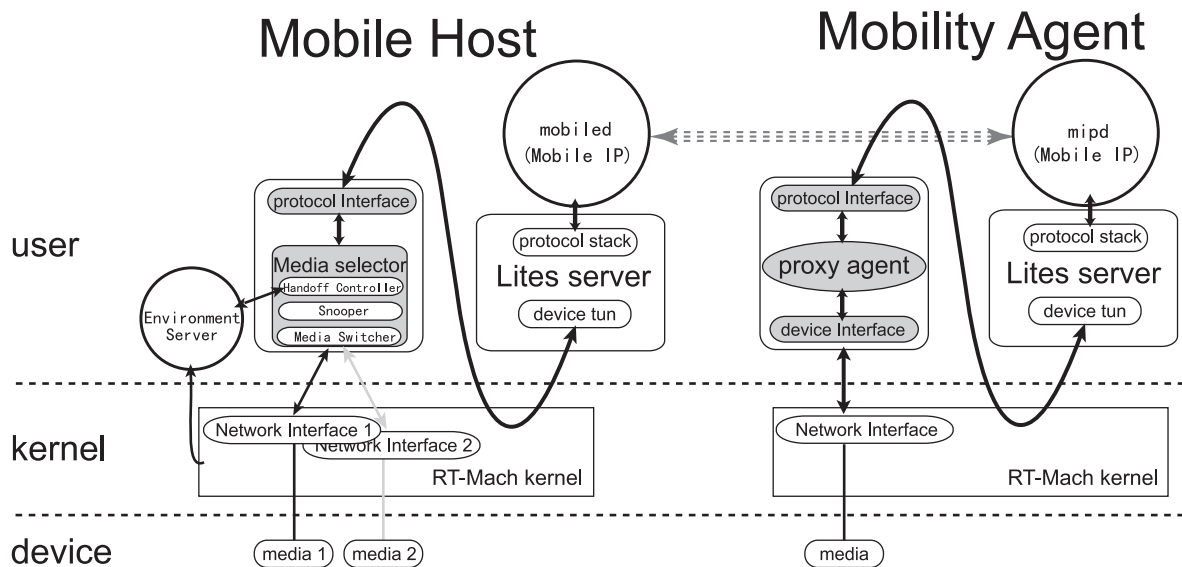


図 4.4: システム構成

## 4.2 ハンドオフ

プロトコルスタックと通信メディアの分離を行うことによって通信メディアが仮想化され、異なる通信メディアの切り替えや、無線基地局間でのハンドオフなどが透過的に扱う

ことができるようになった。しかし、それぞれのメディア特有の性質によって、メディアを切り替える場合に同一メディア間での切り替えでは生じ得なかった遅延が発生する。また、無線ネットワークにおけるハンドオフについてもそのネットワークの特性に応じた最適化は可能である。これらの問題点を解決するために、メディアセクタ内部にハンドオフコントローラを導入し、通信メディアの切り替えのタイミングの制御を行う。

#### 4.2.1 ハンドオフシーケンス

ハンドオフコントローラはメディアセクタ内で環境サーバから必要な情報を取得し、バンド幅や遅延、コストといったそれぞれのメディア特性を考慮したポリシーに基づいてメディア切り替えを行う。また、メディアの切り替えの手順はそれぞれ異なるため、個々の状況に応じた最適化を行う。

##### 外部にモビリティエージェントを検出した場合

図 4.5 は移動ホストが気付けアドレスをホームエージェントに(再)登録するシナリオの一つである。ハンドオフコントローラとメディアスイッチャーは移動ホストのメディアセクタ内部に位置する。まず、ハンドオフコントローラは数秒間隔で環境サーバにポーリングして情報を取得する。問い合わせの内容は使用可能なメディアの属性や、実効バンド幅、無線 LAN においては無線基地局の識別子、無線リンクの状態等である。この情報を元にハンドオフコントローラは後述する一定のポリシーと照合し、メディア切り替えが必要であるかどうかを判断する。メディア切り替えが必要であると判断した場合、ハンドオフコントローラは気付けアドレスの(再)登録作業を行う(実際には Mobile IP のプロセス (mobiled) に通知することで行われる)。この時点で新しく切り替わるメディアは既に有効な状態となっている。(再)登録の最初の過程はプロキシエージェントにエージェント要請メッセージ (Solicitation) を送る。エージェント要請メッセージは直接プロキシエージェントに渡すのではなく、その間でメディアスイッチャーを中継する。メディアスイッチャーは有効となったメディアへの切り替えを行い通信路を一意に限定する。このようにすることによって移動ホストにおいて余分なコントロールメッセージパケットを減らす。エージェント要請メッセージを受け取ったプロキシエージェントはその移動ホストを受け入れることが可能であることを示すために、そのメッセージに対するエージェント広告メッセージ (Advertisement) を一度だけ移動ホスト側に送る。プロキシエージェントが受け入れ可能であることを認識したハンドオフコントローラはその後ホームエージェントに気付けアドレスの登録要求 (Registration Request) を送信し、ホームエージェントが受

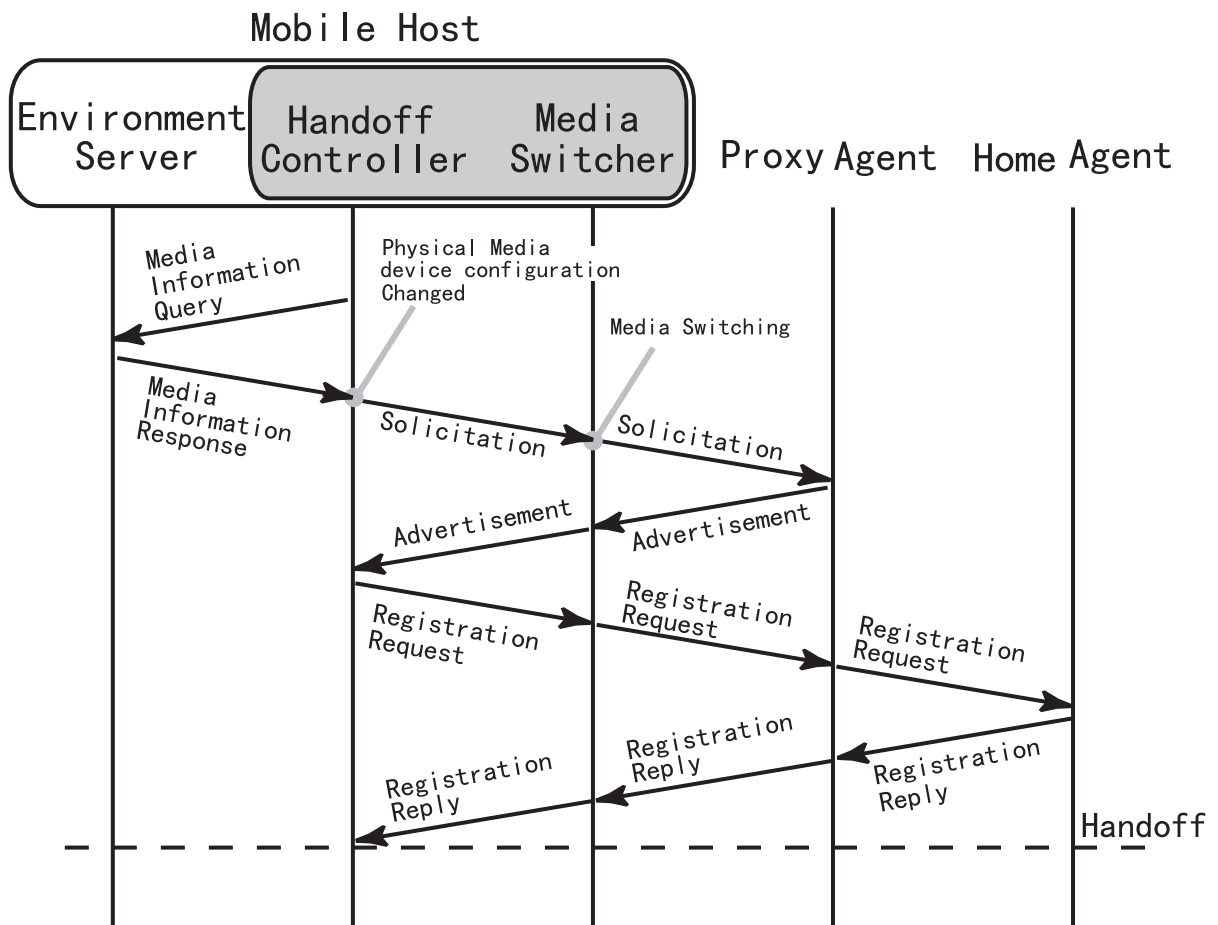


図 4.5: ハンドオフシーケンス 1

理すれば登録が完了したことを登録応答 (Registration Reply) によってハンドオフコントローラに伝える。ほとんどの (再) 登録の過程はこのシナリオに基づいて行われる。

このシナリオを採用する最大の効用は、環境サーバから得られた情報に応じて即座にホームエージェントに登録を行えることにある。IETF Mobile IP を適用したシステムでは以前の登録の寿命を待ち、一連の登録の過程を経るため、ある程度の遅延が生じた。この処理が高速化されることによってネットワークが寸断される時間を必要最低限に抑える。

#### 外部にモビリティエージェントを検出できない場合

また別のシナリオとして、移動ホストがホームネットワークを離れ、プロキシエージェントを発見できない場合も考えられる (図 4.6)。この場合、移動ホスト自身で一時的な気付けアドレス (共存気付けアドレス) を割り当てる。IETF Mobile IP ではネットワークに接続された通信メディアはネットワークからの ARP 処理に対しては気付けアドレスを持ったホストとして動作し、送信される IP パケットにはホームアドレスを持ったホス

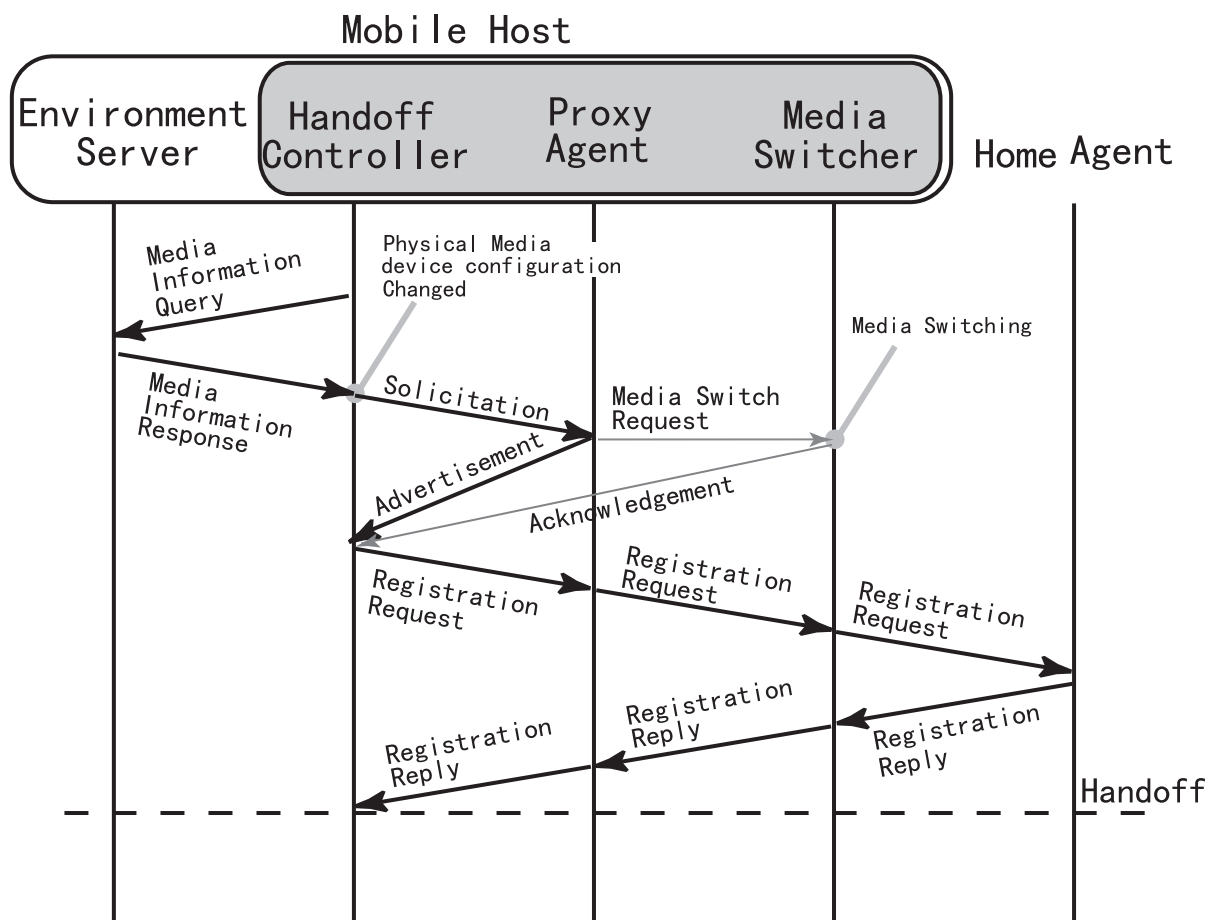


図 4.6: ハンドオフシーケンス 2

トとして動作するという一貫性のない振る舞いによって制御される。しかし、本方式ではプロトコルスタック側には仮想アドレスを与え、通信メディア側には物理アドレスを与えるという IP アドレスの分離を行うことで移動ホストでの作業は非常に単純化される。メディアの切り替えは一つのインターフェイス (メディアスイッチャー) に対してのみ行えばよく、メディアデバイスの切り替えによる物理アドレスの変化を意識することなくメディアの切り替えが行える。またこのフレームワークを利用すれば移動ホスト内にプロキシエージェントを組み込むことで外部エージェントが存在するときと同様の手順でメディアの切り替え、気付けアドレスの登録が行えることになる。

## 4.2.2 移動検出メカニズム

### IETF Mobile IP の移動検出

IETF Mobile IP は移動ホストが移動したことを検出するために Agent Discovery の機構を使用する。Agent Discovery は移動ホストが現在接続状態であるネットワークがホームネットワークかあるいはフォーリンネットワーク (ホームネットワークとは別のネットワーク) かどうかを決めるための手段であり、あるネットワークから別のネットワークへ移動する時に、移動ホストが検出されるための手段となる。Agent Discovery は ICMP Router Discovery を拡張したものであり、2 つの単純なメッセージから構成される。一つはエージェント広告 (Agent Advertisement) であり、フォーリンエージェントかホームエージェントとしてサービスを提供するリンクに、ブロードキャストまたはマルチキャストで定期的送信される。リンクに接続した移動ホストは、定期的送信されるエージェント広告の有無により、リンクにエージェントが存在するかどうかを知り、もし存在するならばエージェント広告の内容から、それぞれの IP アドレスを知る。図 4.7 はエージェント広告メッセージのフォーマットである。

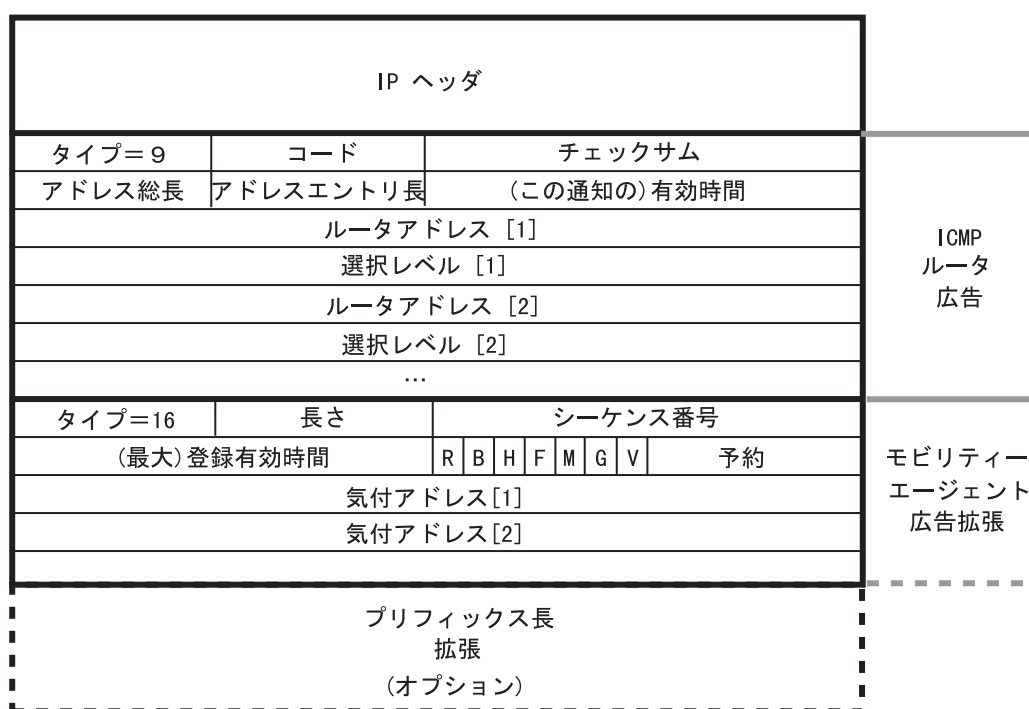


図 4.7: エージェント広告メッセージ

もう一つのメッセージはエージェント要請 (Agent Solicitation) で、これは ICMP ルータ要請メッセージとまったく同じフォーマットである。移動ホストがこのメッセージを送

信することによってただちにモビリティエージェントにエージェント広告を送信させる。このメッセージは移動ホストに負荷を増大させるため、定期的には送信されない。

Agent Discovery の機構を使用して移動ホストがサブネット間を移動したことを検出する方法には二通りある。一つ目はネットワークプリフィックスを利用する方法である。この方法を使って移動を検出するためには移動するネットワーク上の全てのモビリティエージェントから送信されるエージェント広告メッセージ中にプリフィックス長拡張を含まなければならない、本システム上でのモデルの対象外とした。

もう一つの方法はエージェント広告の ICMP ルータ広告部分の中にある Lifetime フィールドを用いるものである。移動ホストは Mobile IP の登録がなされている場合、定期的にはエージェント広告を受信するが、これがなんらかの状態を受信されなくなると通信中のエージェントに障害が発生して接続が不可能になったと判断する。ただし、特に無線リンク上などではこれらの通知はエラーが起きやすく伝送時に損失する可能性もあるので、通常 Lifetime はエージェント広告を送信する間隔の 3 倍に設定される。Lifetime が期限切れになったとき、移動ホストはエージェント要請メッセージを送信し、新たにエージェントとのリンクを確立するという手段である。IETF Mobile IP の仕様では移動ホストがモビリティエージェントを探している間はその最初から 3 秒間隔で 3 回の エージェント要請メッセージを送信し、続く間隔はローカルリンク上のオーバーヘッドを減らすために送信間隔を 2 倍にしながら、ある最大の間隔になるまで、2 乗バックオフメカニズムを使って延長させていくことを定義している。

この方式ではデータリンク層レベルでの接続の接続状況を知らないままに、エージェント要請メッセージを送信しているため、まだ不要なパケットロスを招いており、移動ホストの負担も軽くない。さらに、異なるメディアに切り替わったときにはメディアデバイスも変わるため、再びコンフィギュレーションが必要となり、IETF Mobile IP アーキテクチャでは全く対応できない。

## 環境サーバによる移動検出

メディアセクタ構築のために使用した、従来のモデルである通信メディア選択機構 [15] では通信メディアの仮想化と計算機の識別子とネットワーク接続点の識別子の分離を目的に設計および実装が行なわれた。そのために通信メディアの切り替えは単に切り替えるだけの機能を持つだけである。特に、計算機の識別子とネットワーク接続点の識別子となるアドレスを分離するために移動のたびに DHCP アドレス取得が行なわれている。DHCP アドレスの取得および Mobile IP での気付けアドレスの再登録の処理はデータリンク層におけるリンクの切断の関知によって行なわれる。通信メディア選択機構ではこの

リンクの切断状況を知るために ARP パケットの送出によって行なわれている。ARP パケットがある一定の時間応答がない場合にリンクが切れたと判断する。このように気付けアドレスの再登録を行なう Mobile IP モジュールと DHCP アドレス取得を行なう通信メディア選択機構の 2 つの機構でそれぞれ独自の判断材料を用いてリンクの切断状況を調べることは IP 層以上での通信できない状態が長くなる原因となっている。また、ARP の送受信や Agent Discovery の送受信でのリンクの切断を調べる方法では、エラーが起きやすい無線リンク上などでは伝送時に消失することもあり誤確認しやすいという問題もある。

メディアセクタでは移動ホストの移動検出に環境サーバの情報を使用する。環境サーバは移動ホストに関する様々な情報をハンドオフコントローラに提供する。現在使用可能なメディアデバイス、それぞれのメディアデバイスの実効バンド幅、無線ネットワーク上では無線基地局の識別子、無線リンクの状態等である。これだけの情報が随時引き出せるということは有効なメディアデバイスを定常的に認識していることになり、そこでメディアが切り替わった情報が得られ次第エージェント要請メッセージが送信される。これは前述した通信メディア選択機構での問題点であった不要なパケットの送出をなくし、正確にリンクの切り替わりを判断できるために、DHCP のアドレス取得、Mobile IP での気付けアドレスの登録への一連の過程がスムーズに行なうことができる。

同時にメディアデバイスの管理はメディアスイッチャーに一元化されているのでハンドオフコントローラ側ではメディアが同一であっても、異なるメディア間であっても同じインターフェイスに切り替え要請を出し、リコンフィギュレーションの必要はない。ただし、ハンドオフコントローラによる環境サーバへの問い合わせの間隔と、DHCP アドレス取得のタイミング、エージェント広告の期限切れ、エージェント広告の送信間隔、気付けアドレスのホームエージェントへの登録に対する寿命はうまく調節する必要がある。例えば、無線セル間を移動する場合、中間位置にいる状態では環境サーバから詳細な情報のために基地局の切り替わりが頻繁に起こることも想定できる。それに合わせて再登録の手続きを随時行えば、無駄が生じる恐れもある。無線リンクが弱まっても再登録をしないで待つ方が有利であるかも知れない。このようなさまざまなパラメータから切り替えに最も適当なタイミングを考察し、実際に計測する段階でどのようにこれらの値が反映されているかを繰り返し試行することによって対処していかなければならない。

表 4.1 は移動計算機が通信中のあるメディアが通信不可能となり、次の新しいメディアへ切り替えを行なう場合の、通信メディア選択機構と環境サーバを使用したメディアセクタ内のハンドオフコントローラの処理手順の違いを一つの例を挙げてまとめたものである。この表から ARP 応答のタイムアウトを待たないために環境サーバを利用したハン

表 4.1: 通信メディア選択機構とハンドオフコントローラの移動検出方法の比較

手順	移動計算機の状態	通信メディア選択機構	ハンドオフコントローラ
定常動作の設定		<ul style="list-style-type: none"> <li>• mobiled (Mobile IP) による Agent Advertisement の定期的な受信による接続状況の確認</li> <li>• ARP パケットの定期的な送受信による接続状況の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mobiled (Mobile IP) による Agent Advertisement の定期的な受信による接続状況の確認</li> <li>• 環境サーバへの定期的な環境情報の取得</li> </ul>
1	メディア 1 で通信中 (別のサブネットから IP アドレスが認識できる状態)		
2	メディア 2 が使用可能 (メディア 1 で通信中)		環境サーバからメディア 2 が使用可能であることを認識
3	メディア 1 が切断 (通信不能)		環境サーバからメディア 1 が使用不可能になったことを認識
4		ARP 応答のタイムアウト待ち	メディア 2 を通じて DHCP アドレスの取得
5		メディア 2 を通じて DHCP アドレスの取得	Agent Solicitation の送信 (気付けアドレスの登録)
6	メディア 2 で通信 <ハンドオフコントローラ側> (別のサブネットから IP アドレスが認識できる状態)	Agent Solicitation の送信 (気付けアドレスの登録)	登録完了
7	メディア 2 で通信 <通信メディア選択機構側> (別のサブネットから IP アドレスが認識できる状態)	登録完了	



ドオフコントローラの処理過程の方が早く登録を行えることがわかる。

### 4.2.3 メディア特性に応じた切り替えのタイミング

無線ネットワークにおいて無線セル間を移動するときに接続している無線基地局を切り替えることをハンドオフ処理と呼んでいる。無線セルとは無線基地局との通信が可能な距離にある領域のことである。ハンドオフ処理では使用中のアプリケーションがハンドオフによって実行が停止しないように、寸断された状態をできる限り短くすることが重要である。このようにハンドオフは通常無線基地局の切り替えのみに限定されて議論されるが、このシステムでは有線 LAN や無線 LAN、または PHS などの公衆回線を使った PPP 接続への切り替えも透過に扱えるようになり、これらの切り替えに対して柔軟な対応が可能となっている。このような無線ネットワーク間でのハンドオフや、異なるメディア間の切り替えに対して、次のようなポリシーを与え、これに基づいて各メディア間の切り替えの最適化を行う。

#### 通信メディア選択方針

通信メディア選択方針はさまざまに想定できる。このようなポリシーとしては

- コストのできる限り低い通信メディアの選択
- 可能な限り通信の切断が生じないような選択
- バンド幅の大きな通信メディアの選択

といったものがあり、これら複数を融合させたポリシーなども考えられる。このようなポリシーをユーザが場面に応じて選択できるインターフェイスを提供できるようなシステムを目的として、本研究では可能な限り接続の維持を試みるという一つのポリシーを想定する。

- 有線 LAN-無線 LAN 間のメディア切り替え

既存のネットワークで有線と無線とを比較した場合、有線 LAN の方がバンド幅は広い。図 4.8 は実験環境で使用する通信メディアの伝送速度の相違を含む特性の違いを示したものである。本研究で想定する有線 LAN には高速な Ethernet が使用される。そのため使用可能なメディアが有線と無線であれば、ハンドオフコントローラでは常に有線 LAN として使用する Ethernet へ接続されるようにする。このようにすることによってより安定してネットワークへ接続することが可能となる。

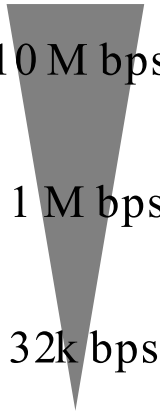
	伝送速度	位置的制約	その他
(高速有線ネットワーク) <b>Ethernet</b>	 10 M bps	移動不可能	
(無線ネットワーク) <b>Netwave</b>		基地局から 半径 50m	・エラー率が高い
(公衆回線) <b>PHS</b> PIAFS 準拠		PHS が使用 可能な場所	・ダイヤリングによる遅延 ・課金

図 4.8: 通信メディアの特性の違い

- 無線基地局間ハンドオフ

無線 LAN を使用する場合にはハンドオフされることを考慮しなければならない。実験環境として無線 LAN には Bay Networks 社の Netwave を使用する。Netwave は伝送速度が 1 Mbps、通信範囲は 50 m という性能を持ち、最近では IEEE において 802.11 として規格化された製品も出ている。このシステムは基地局毎に割り当てられるドメインと呼ばれるチャネルによってサブネットを分割している。現在の仕様では同じドメインを持つ基地局間で移動した場合、データリンク層レベルで強制的に切り替えが行われ、ハンドオフへの対応はそれ以上の層でなされる。

この Netwave は、ハードウェアレベルの接続状況の情報を得ることができる。これをもとに移動ホストと基地局の間の実効バンド幅や、現在どの基地局と通信を行っているかなどの情報を得ることができる。こうした情報は環境サーバが常時モニタリングしており、環境サーバのインターフェイスに問い合わせることで容易に得ることができる。無線 LAN においては無線リンクの状態と無線基地局の識別子の情報を環境サーバから利用する。ハンドオフコントローラはこの情報を定期的にポーリングし、ハンドオフのタイミングを制御する。図 4.9 は、移動したホストが無線基地局が BS1 から BS2 に切替わったという情報を環境サーバから得て、その後すぐに Mobile IP のホームエージェントに再登録する過程を示している。この機構によって、データリンク層での自動的な基地局の切り替わりに対して、即座に移動ホストはホームエージェントへの登録を行うことができるようになり、不必要なコント

ロールメッセージパケットによるネットワークおよび CPU 資源を節約し、Mobile IP における気付けアドレスの登録での遅延をなくすることができる。

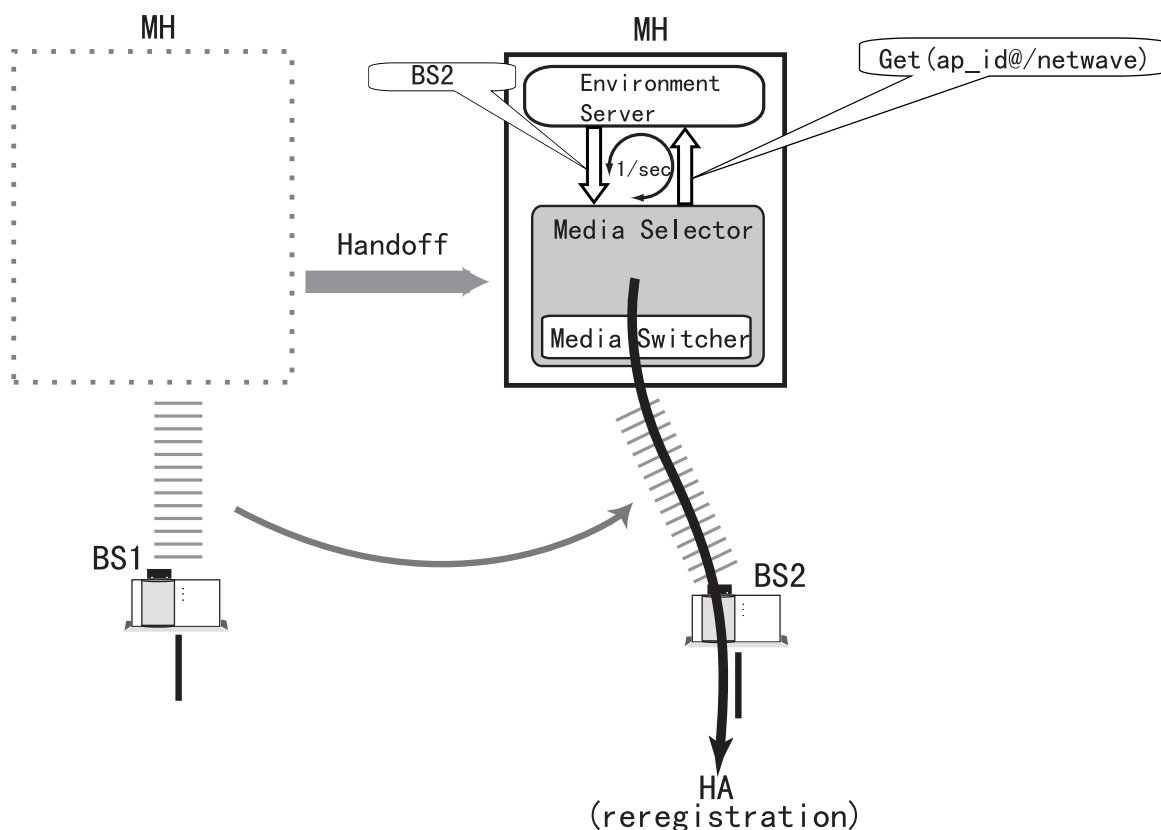


図 4.9: 無線基地局間のハンドオフ

- PHS へのメディア切り替え

Netwave では一つの無線セルの領域が半径 50 m という制約がある。このため、ユーザが Netwave を使用中に移動ホストを持ち運び基地局の無線セルの領域外に移動したり、Netwave の基地局がないような場所で使用中の有線 LAN から切り離して使用する場合も想定される。もし PHS などを利用した PPP 接続が可能であれば、コネクションを維持することは可能となる。しかし、PHS で公衆回線を使用した場合には、課金やバンド幅が小さいという問題もある。そこで他の通信メディアのリンクが弱まり、接続の維持が困難だとハンドオフコントローラが判断した場合にのみ、接続を維持させるため PPP 接続へ切替えるようにする。ただし、PPP 接続ではダイアリングの遅延が大きいという問題がある。それを考慮し先行してダイアリングを行なう。

以上をまとめるとハンドオフコントローラの機能は図 4.10 のようになる。dev\_ether\_up(), dev\_ether\_down(), dev\_ppp\_up(), dev\_ppp\_down() はそれぞれのメディアのデバイスをオープンする関数であり、dev\_ether\_attach(), dev\_ether\_detach(), dev\_ether\_detach(), dev\_ppp\_attach(), dev\_ppp\_detach() はそれぞれのデバイスが使用可能にするための関数である。

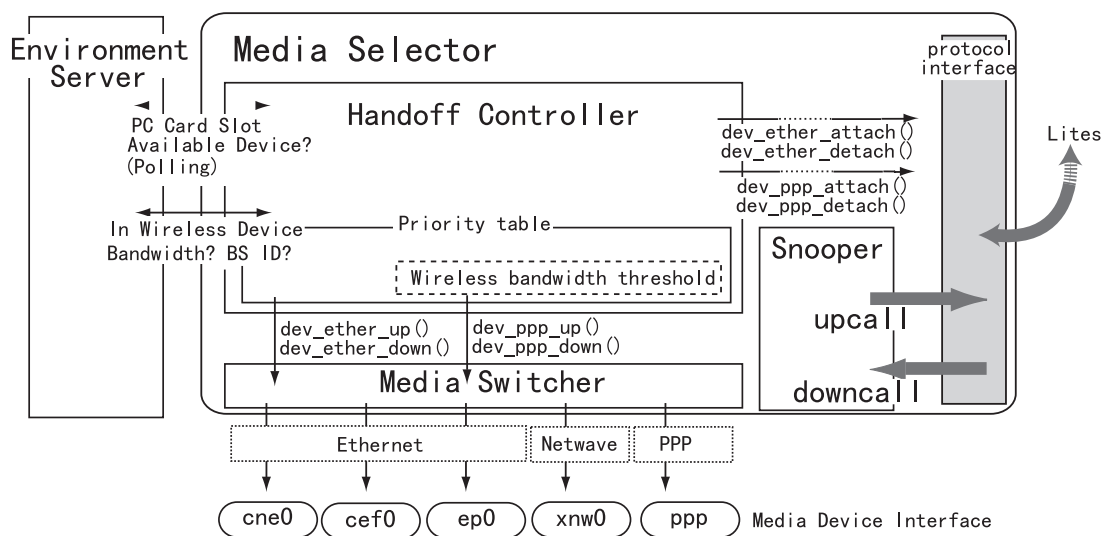


図 4.10: ハンドオフコントロール

# 第 5 章

## 評価

評価として拡張された Mobile IP システムの動作の有効性を示すとともに、ハンドオフコントローラによってタイマーチューニングされたシステムが既存のシステムと比較して、どのように通信速度性能を向上させたかについて述べる。

### 5.1 実行環境

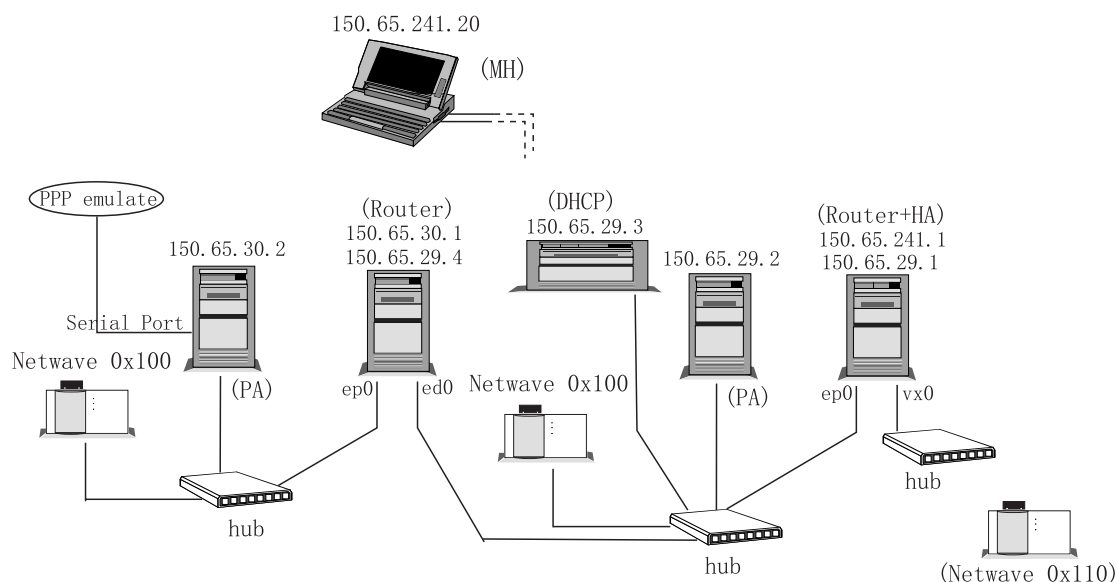


図 5.1: 実験ネットワーク構成

実験ネットワークの構成は図 5.1 のようになる。プロキシエージェント (PA) および移動ホスト (MH) におけるメディアセレクタは Real-Time Mach 上に実装された。移動ホストには IBM の ThinkPad560(Pentium 133MHz) を使用、ホームエージェント (HA)、プロキ

シエージェント、および DHCP サーバには PC/AT 互換機 (それぞれ Pentium 120MHz、Cyrix6x86 200MHz と Pentium MMX 90MHz、486DX4 66MHz)、ルータは TOSHIBA Portege 610CT (Pentium 90MHz) を使用した。ホームエージェントと DHCP サーバ、およびルータは FreeBSD2.2.7 上で動作させている。ネットワークはホームネットワーク上と別の 2 つのサブネット上にそれぞれ無線 LAN で使用する Netwave の無線基地局を配置、ホームネットワークではドメインを 0x110、別のサブネット上にある二つの基地局にはそれぞれ同じドメイン 0x100 を割り当てている。また、一つのプロキシエージェントには PPP 接続をエミュレートさせるためにシリアル回線を使用している。その他のネットワークは全て Ethernet で接続している。

## 5.2 機能動作の確認

図 5.1 の環境で拡張された Mobile IP システムが動作することを確認した。移動ホストは外部のサブネットにプロキシエージェントを検出したときと、検出できなかったときの 2 つの事象についてそれぞれ動作するかを調べた。ホームネットワークとフォーリンネットワーク間、異なる 2 つのフォーリンネットワーク間において、使用する通信メディアを無線ネットワークである Netwave のデバイスと Ethernet を切り替える全ての組み合わせにおいて、動作が確認された。また、PPP 接続の切り替えはシリアル回線によってエミュレートしたがこの切り替えも可能である。移動ホストは 2 つの PC カード用スロットが装備されており、通常の動作では通信中であっても複数の通信メディアデバイスの抜き差しが可能であるが、一部新しい PC カード用のデバイスドライバをカーネルが受け付けないことがあり、不具合が発生するために改善する余地がある。このような環境において、特に無線のメディア間のハンドオフ処理の高速化を行うハンドオフコントローラの機能を検証する。

## 5.3 ハンドオフチューニングによる通信性能測定

本研究で提案されたハンドオフコントローラによってハンドオフ処理の高速化を実現することができた。この性能を示すために実際の切り替わり時間を測定することで実証する。図 5.2 は無線基地局間のハンドオフにおいて他のサブネットから IP アドレスが認識できなくなった時間 (切り替わり時間) を計測したものである。実際の測定では計算機の移動を正確に把握するために次のようにしてシミュレートした。無線基地局はどちらも位置的に同じ場所に置かれる。移動先となる無線基地局は常に受信可能な状態にしてい

る。そこで切替えを発生させるために最初にリンクしていた無線基地局の電源をオフにする（正確には無線基地局の通信メディアインターフェイスを抜いている）。計算機は次に送受信する先として予定していた無線基地局を自動的に選択する。これによって、通信メディア選択機構とハンドオフコントローラとも同じタイミングでハンドオフすることができる。

移動計測はハンドオフコントローラを使用して最適化処理を行ったものとハンドオフコントローラ未使用時の各 30 回ずつ行っている。切り替えは図 5.1 において、移動計算機はホームアドレス (150.65.241.30) を保有しており、最初にプロキシエージェントのサブネット (150.65.29.\*) に配置された無線基地局 (Netwave 使用ドメイン 0x100) から、もう一方のプロキシエージェントのサブネット (150.65.30.\*) に配置されたフォーリンネットワーク上の無線基地局 (Netwave 使用ドメイン 0x100) へ移動することによって行った。計算機の移動時のチューニングに必要なパラメータは表 5.1 のようになる。

表 5.1: 測定に必要なパラメータ

機能	パラメータ値
ホームエージェントから送信される Agent Advertisement の間隔 (共通)	1 sec
Agent Advertisement の移動計算機側での有効期限 (共通)	3 sec
移動計算機による ARP パケットの送信間隔 (通信メディア選択機構のみ)	1 sec
ARP パケットの未受信による使用メディアのタイムアウト (通信メディア選択機構のみ)	5 sec
環境サーバへのポーリング間隔 (ハンドオフコントローラ)	1 sec
DHCP の再送周期 (共通)	10 sec

また、測定時は移動ホスト側でプロキシエージェントをエミュレートしており、この使用によって外部にプロキシエージェントを探索する時間が必要となり、それぞれのシステムで切り替え時間の最初の 5 秒は遅延が生じる。ハンドオフコントローラはこれらのパラメータとシステムの処理能力とを適当に調整しなければ、場合によってはより遅延が長

くなる可能性もありうる。

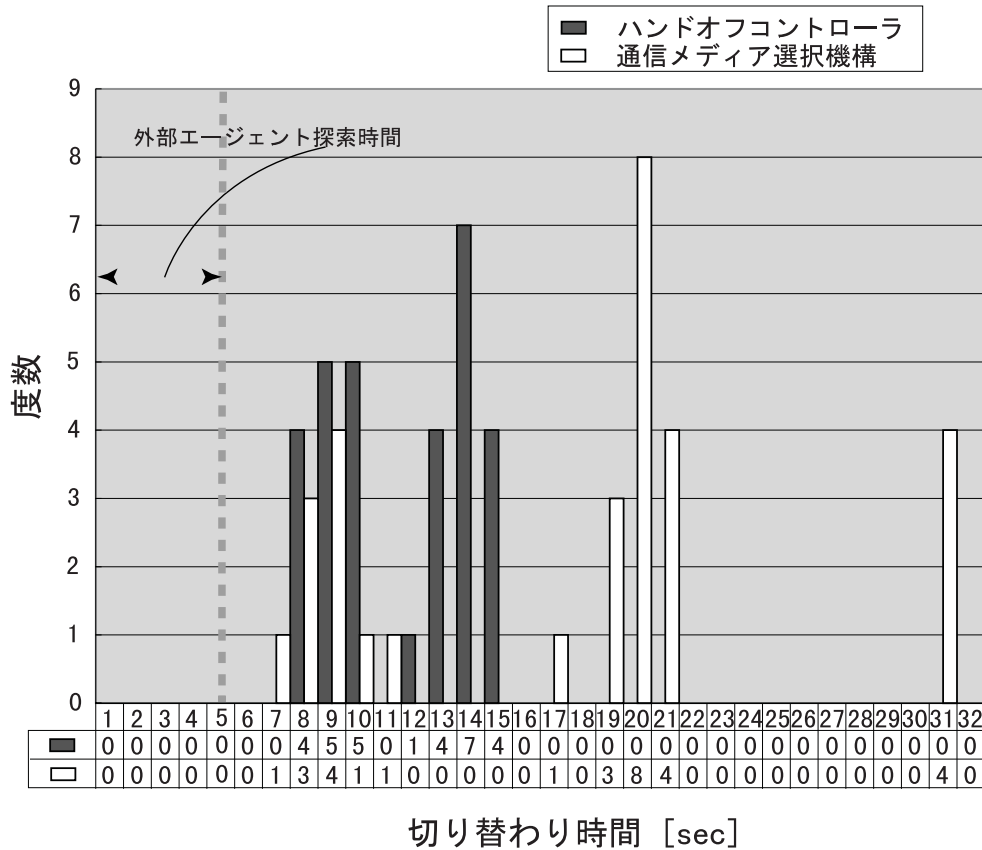


図 5.2: 無線基地局間ハンドオフレイテンシ

平均すると 6.1 秒切り替わりに要する時間は減っている。グラフを見てわかる通り、通信メディア選択機構を使用した場合、一度登録が失敗すると DHCP のリクエスト再送に 10 秒程度のインターバルが生じている。このサイクルを基準にしてまとめたものを表 5.2 に示す。

ハンドオフコントローラは環境サーバからの情報によってできる限り早い段階でメディアの切り替えを指示できるが、そのことは登録成功が 1 回目の周期にすべてシフトしていることによりわかる。



表 5.2: DHCP リクエスト周期別接続成功パターン

登録周期	再接続成功数	
	通信メディア選択機構 (割合 [%])	ハンドオフコントローラ (割合 [%])
第一周期	10 (33.3)	30 (100)
第二周期	16 (53.3)	0 (0)
第三周期	4 (13.3)	0 (0)

# 第 6 章

## 議論

今回の測定評価によって使用中の通信メディアのリンクの正確な接続状況を知ることによって通信路の切り替えを実行できたことは無駄なパケットを削減し、それによって移動ホストにおける負荷を減らすという効率上の面でも充分意義のあった結果である。しかしながら、切断時間の最も短い値がハンドオフコントローラの未使用時であったことは、さらに高速化可能であることを示している。これは複雑に関係する各パラメータの値とそれを実行するシステムの処理能力を的確に分析することにより実現できることであり、今後さらに検討する余地を残すものである。

### 6.1 通信メディアの選択方針

本研究では大学におけるキャンパスネットワークや会社での構内 LAN を想定したことで、PHS を利用する際に生じる課金などがないという前提を置き、できる限りネットワークが寸断されないようにすることを目的にしてシステムの構築を行った。

しかし、移動計算機が複数の PC カードをサポートできるようになり、複数の通信メディアが同時に利用可能な環境が実現しつつある。このような環境で最適な通信を行うためには使用する通信メディアを決定するために更に詳細な仕組みが必要になってくる。通信メディアを選択するためのパラメータとしては通信メディアのバンド幅、遅延、エラー率、コストや、移動計算機を使用する場所などがある。この情報と、どのような条件の時にどの通信メディアを選択するかというポリシーをあらかじめ用意しておくことで、ユーザからの要求に応じて使用するメディアが選択される。今回の実験ではコストやバンド幅の大きさなどを無視してできる限りネットワークとの接続を維持するといったポリシーを用いたが、他にバンド幅が大きいメディアを選択する、コストの小さいメディアを選択す

る、といった通信メディアの特性を条件としたポリシーを記述しておき、指定された特性を満たす通信メディアの選択を行う。実際の使用環境を考慮すると、指定されたコストの範囲で最もバンド幅の大きい通信メディアというように複数の条件を指定できる方が好ましい。

バンド幅やコストのように複数の条件を指定する場合、複数の条件の間で優先順位やトレードオフを考慮しなければならない。このような記述は多次元のマトリクスを使う方法などがあるが、次元数が2や3くらいまでは記述できるがそれ以上になると記述が非常に複雑になり、矛盾は避けられなくなる。このように、通信メディア選択の方針はユーザーの要求と通信メディアの特性が複雑に関係しており非常に難しい。今後、さまざまなポリシー選択方針を提案し比較検討してみる必要があると思われる。

## 第 7 章

### おわりに

本研究では、IETF Mobile IP を拡張し異なる通信メディア間でも円滑に移動が可能なシステムにおいて、円滑な計算機の移動を実現するため、通信メディア間ハンドオフの最適化を行うハンドオフコントローラを提唱した。検証例として、無線基地局間ハンドオフにおいて高速に切り替えられることを示した。設計と実装においては、ハンドオフコントローラによって、通信メディアの切り替えを Mobile IP の機能側には単一メディア間の切り替えとして扱えるインターフェイスとして機能し、ハンドオフコントローラ側で各種通信メディアの特性を吸収し、あるポリシーの記述により円滑な通信メディアの切り替えを実現できるようにした。

今後の最も重要な課題は、さまざまな状況下で通信メディア間のハンドオフを繰り返し試行、検証を行うことである。繰り返し試行することによってあらゆるパラメータとその処理能力との因果関係を鮮明にすることによって更に高速なハンドオフ処理が可能になる。また、我々のシステムのネットワーク規模を大きくして実際に運用する上での問題点がないかどうかを検証していきたい。

## 参考文献

- [1] R. Droms, “Dynamic Host Configuration Protocol”, RFC1541, October, 1993.
- [2] D.E.Comer, “Internetworking with TCP/IP Vol.I - Principles, Protocols and Architecture, Second Edition”, Prentice Hall, 1991.
- [3] C. Perkins, “IP Mobility Support”, RFC2002, October, 1996.
- [4] F. Teraoka, Y. Yokote and M. Tokoro “A Network Architecture Providing Host Migration Transparency”, ACM SIGCOMM'91, 1991.
- [5] Tatsuo Nakajima, Akihiro Hokimoto, “Adaptive Continuous Media Applications in Mobile Computing Environments”, IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'97), June, 1997.
- [6] S.E.Deering, “ICMP router discovery messages”, RFC1256, September, 1991.
- [7] C. Perkins, “IP Encapsulation within IP”, RFC2003, October, 1996.
- [8] T. Tokuda, T. Nakajima, and P. Rao, “Real-Time Mach: Towards a Predictable Real-Time System”, Proceedings of the 1st USENIX Mach Symposium, October, 1990.
- [9] J. Helander, “Unix under Mach: The Lites Server”, Helsinki University of Technology, Master's Thesis, 1994.
- [10] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) & Physical Layer (PHY) Spec. vD5, IEEE Catalog Number DS2972, May 1996.
- [11] 森川 大樹, 植田 道成, 石橋 賢二, 中島 達夫, “通信メディアの特性を利用する Mobile IP システム”, Summer United Workshops on Parallel, Distributed, and Cooperative Processing (SWoPP), August, 1998.

- [12] 石橋 賢二, 森川 大樹, 植田 道成, 会津 宏幸, 中島 達夫, “通信メディアの性質を考慮した Mobile IP システム”, System for Programming and Applications (SPA), JSSST, March, 1999.
- [13] 小林 勝, 中島 達夫, “動的なメディア選択が可能な Mobile IP の設計と実装”, IPSJ OS, February, 1998.
- [14] Tatuo Nakajima, Hiroyuki Aizu, Masaru Kobayashi, Kenji Shimamoto, “Environment Server: A System Support for Adaptive Distributed Application”, The 2nd International Conference on Worldwide Computing and Its Applications'98 (WWCA'98), March, 1998.
- [15] 小林 勝, “移動計算機環境におけるネットワークアーキテクチャに関する研究”, 北陸先端科学技術大学院大学 1997 年度 修士論文, March, 1998.
- [16] 森川 大樹, “モバイルネットワークのためのシステムアーキテクチャに関する研究”, 北陸先端科学技術大学院大学 1998 年度 修士論文, March, 1999.
- [17] 植田 道成, “通信メディアの特性を考慮したモバイルネットワークに関する研究”, 北陸先端科学技術大学院大学 1998 年度 修士論文, March, 1999.

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、終始熱心な御指導を賜りました中島達夫助教授に心から感謝致します。

また、適切な御助言をして頂きました日比野靖教授に深く感謝致します。

さらに、貴重な御意見、御討論を頂きました宮崎純助手と中島研究室の学生の皆様に心から御礼を申し上げます。

最後に、多くの方々の御援助によって本研究を行なうことができましたことを厚く御礼申し上げます。