

# モバイルIPv4による異なるメディア間でのハンドオーバーの実現

大森 幹之<sup>†1</sup> 太田 昌孝<sup>†2</sup> 平原 正樹<sup>†3</sup>  
真野 浩<sup>†4</sup> 荒木 啓二郎<sup>†5</sup>

有線 LAN, 無線 LAN, PHS, および, 携帯電話といった異なるメディア間でのハンドオーバーをモバイル IPv4 を用いて実現した. 本稿ではまず異なるメディア間でのハンドオーバーの必要性について述べる. 次に既存のインターネット環境でハンドオーバーを実現するための必要条件を定義する. そしてモバイル IP の仕様の中からエンドツーエンド原理に則った必要となる要素のみを抽出して最小構成のモバイル IP を設計し, 実装を行ない評価した. これによって, 既存のインターネットへ変更を加えることなく, 異なるメディア間でのハンドオーバーを実現できた.

## Implementation of Handover among Different Media by Mobile IPv4

MOTOYUKI OHMORI,<sup>†1</sup> MASATAKA OHTA,<sup>†2</sup>  
MASAKI HIRABARU,<sup>†3</sup> HIROSHI MANO<sup>†4</sup> and KEIJIRO ARAKI<sup>†5</sup>

We implemented handover among different media such as wired LAN, wireless LAN, PHS and cellular phone by mobile IPv4. In this paper, we describe necessity of the handover and define requirements to implement handover on existing Internet. Then, we designed a minimum mobile IP system according to the end-to-end principle, and implemented and evaluated that system. In that system, we implemented handover among different media without any modification to existing Internet.

### 1. はじめに

インターネットのような有線 LAN に加え, IEEE802.11b<sup>†1)</sup> などの無線 LAN や PHS, 携帯電話といった技術の上で IP (Internet Protocol) を用いて通信できるようになってきた. またそれに伴い, 任意の地点でインターネットに接続する機会が増加してきている. しかし, 移動によるインターネットへの接続先の変更 (ハンドオーバー) が生じると IP アドレスも変わるため, 通信が切断されてしまう問題がある. この問題を解決するためにモバイル IP<sup>†2)</sup> が提案されたが, その仕様にはフォーリンエージェントと呼ばれるノードを新規に導

入することを仮定している部分があり, インターネットの基本原則であるエンドツーエンド原理に反する要素が存在する.

我々はモバイル IP の仕様の中からエンドツーエンド原理に基づいた要素のみを抽出し, それらの要素以外の仕様がインターネットに適用できない事を示した. そしてモバイル IP の仕様を基に最小構成となるモバイル IP を設計し実装した. これによって, 既存のインターネットへ変更を加えることなく, 有線 LAN, 無線 LAN, PHS, および, 携帯電話といった異なるメディア間での途切れないハンドオーバーを実現できた.

本稿では, まず異なるメディア間でのハンドオーバーの必要性について述べ, モバイル IP の概要について述べる. 次に, モバイル IP の仕様のうち必要となる要素のみを抽出し, 対象となるネットワークを定義する. そして, 異なるメディア間でのハンドオーバーを実現するシステムを設計する. 最後に, そのシステムを実装し実験によって評価する.

### 2. 異なるメディア間でのハンドオーバーの必要性

モバイル環境において, 有線 LAN, 無線 LAN,

†1 九州大学大学院システム情報科学府  
Graduate School of Information Science and Communication Engineering, Kyushu University

†2 東京工業大学  
Tokyo Institute of Technology

†3 財団法人九州システム情報技術研究所  
Institute of Systems & Information Technologies/KYUSHU

†4 モバイルインターネットサービス株式会社  
Mobile Internet Services, Inc.

†5 九州大学大学院システム情報科学研究院  
Graduate School of Information Science and Communication Engineering, Kyushu University

PHS, 携帯電話, および, その他の技術を用いてインターネットへ接続することを考える。

有線 LAN は通信帯域幅が 10Mbps 以上で安定した通信が可能であるが, ある特定の場所でしか利用できず, 有線 LAN で移動しながら通信する事はできない。そのため有線 LAN は移動せずにある地点でインターネットへ接続するのに適している。

一方, 無線 LAN は有線 LAN には劣るが通信帯域幅は 11Mbps あり, 移動しながらの通信も可能とする。無線 LAN を利用したインターネット接続サービスを提供する動きも活発化しており, 無線 LAN はモバイル環境における通信手段として最も適したメディアと言える。しかし, 現在そのサービスエリアはごく一部の地域に限られている。

また, PHS や携帯電話はサービスエリアも十分広く PPP (Point-to-Point Protocol)<sup>3)</sup> を併用してインターネットへの接続も可能とする。しかし, その通信帯域がそれぞれ 128Kbps, 9600bps 程度であるという欠点を持っている。そのため, 無線 LAN や有線 LAN が利用できない環境でインターネットへ接続するのに適している。

以上のように, モバイル環境でインターネットに接続するためのメディアは, それぞれ長所と短所を持っており, 1つのメディアだけでは最適なインターネット環境は得られない。そのためモバイル環境においては, その時点で最適となるメディアを選択しハンドオーバーすることが必要となる。

### 3. モバイル IP

#### 3.1 モバイル IP の構成要素

モバイル IP は以下のような要素から成っている。

- モバイルノード (Mobile Node)  
ノート PC や PDA といった移動体端末。
- ホームエージェント (Home Agent)  
モバイルノードの現在位置を管理し, モバイルノードへパケットを転送するルータ。
- フォーリンエージェント (Foreign Agent)  
モバイルノードとホームエージェントを仲介するルータ。
- コレスポンデントノード (Correspondent Node)  
移動端末の通信相手となるホスト。

#### 3.2 モバイル IP における IP アドレス

モバイルノードはホームアドレス (Home Address) と気付アドレス (Care-of Address) の 2 種類の IP アドレスを持つ。ホームアドレスはモバイルノードが移動しても変化することのない IP アドレスであり, 気付

アドレスはモバイルノードが移動先のネットワークで使用する IP アドレスである。さらに気付アドレスは共存気付アドレス (Co-located Care-of Address) とフォーリンエージェント気付アドレス (Foreign Agent Care-of Address) の 2 つに分類することができる。前者はモバイルノードが DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)<sup>4)</sup> や PPP などによって得る IP アドレスであり, 後者はフォーリンエージェントの IP アドレスである。

モバイルノードはコレスポンデントノードとの通信に常にホームアドレスを用いることによって, その通信を維持したまま, ネットワーク上を移動することができる。またホームエージェントはモバイルノードのホームアドレスと気付アドレスを管理しておき, モバイルノードのホームアドレス宛のパケットをモバイルノードに配送する。

#### 3.3 モバイル IP の動作

モバイル IP には大きく分けて 2 つの動作モードがある\*

1 つは共存気付アドレスモード (Co-located Care-of Address Mode) である。共存気付アドレスモードではモバイルノードは DHCP や PPP などを用いて共存気付アドレスを得る。そして, モバイルノードはその共存気付アドレスをホームエージェントに登録する。この登録に成功するとホームエージェントはモバイルノードのホームアドレス宛のパケットを共存気付アドレスでカプセル化し, モバイルノードまで配送する。モバイルノードはそのカプセル化されたパケットを解き, 通常のパケットの処理を行なう。共存気付アドレスモードでは, ユーザのネットワーク上であればユーザが自由にホームエージェントを設置でき, モバイル IP を任意の地点で利用できるという利点がある。

もう 1 つはフォーリンエージェントモード (Foreign Agent Mode) である。フォーリンエージェントモードではモバイルノードはフォーリンエージェント気付アドレスをフォーリンエージェント経由でホームエージェントに登録する。この登録に成功するとホームエージェントはモバイルノードのホームアドレス宛のパケットをフォーリンエージェント気付アドレスでカプセル化し, フォーリンエージェントまで配送する。フォーリンエージェントはそのパケットのカプセル化を解きモバイルノードまで配送する。モバイルノードはフォーリンエージェント気付アドレスを利用するた

\* 共存気付アドレスモードとフォーリンエージェントモードを組み合わせたものもあるが簡単のために省略する。

め、モバイルノードのためにグローバルアドレスを確保しておく必要がない。しかし、既存のインターネット中にフォーリンエージェントを設置したり、その機能を既存のルータに追加しなければならない。さらに、フォーリンエージェント気付アドレスを登録する際にフォーリンエージェントとホームエージェントとの間で認証が必要となる。

### 3.4 モバイル IP とエンドツーエンド原理

前述したようにモバイル IP には2つの動作モードが存在するが、そのうちフォーリンエージェントモードがインターネットの基本原則であるエンドツーエンド原理に違反しているためにその普及は困難である事を明らかにし、共存気付アドレスモードの方が優れていることを示す。

フォーリンエージェントモードでは、インターネット中にフォーリンエージェントを設置しなければならない。インターネットの基本原則であるエンドツーエンド原理とはインターネット中の機器に変更を加えることなく末端のホストのみを変更することによって新しい機能を実現するというものである。しかし、フォーリンエージェントはモバイルノードとホームエージェントとの間に存在する中間ノードであるため、モバ

イル IP に新しい機能を追加する際にはモバイルノードとホームエージェントに加え、フォーリンエージェントにも変更を加えなければならない。また現在あまり利用されていないモバイル IP のためにフォーリンエージェントを新規に設置することは既存のインターネットに変更を加えることになり、その設置には時間がかかると考えられる。これらのことからフォーリンエージェントモードはエンドツーエンド原理に反していると言える。エンドツーエンド原理に反していることによる問題として、ユーザが自由にホームエージェントを設置してモバイル IP を利用できないことがある。これはフォーリンエージェントとホームエージェントの機能が一致している必要があり、フォーリンエージェントを設置している組織しかホームエージェントを設置できないためである。ユーザが自由に利用できないモバイル IP が普及することは困難であり時間がかかる。

一方、共存気付アドレスモードについて考える。共存気付アドレスモードでは既に広く普及している動的なアドレス割り当て方式を用いてグローバルアドレスの共存気付アドレスがモバイルノードに割り当てられる。モバイルノードはその共存気付アドレスを用いることによってフォーリンエージェントを介さずホームエージェントと通信する。モバイルノードとホームエージェント、ホームエージェントとコレスポンデントノード間では既存のインターネットに変更を加えることなく通信が行なわれる。またモバイル IP に新しい機能を追加する際にはホームエージェントとモバイルノードのみに変更を加えるだけで良い。これらのことから、共存気付アドレスモードはエンドツーエンド原理に則っていると言える。このため、ユーザがホームエージェントを設置し管理することでユーザがホームエージェントとモバイルノードに新しいモバイル IP の機能を追加でき、ユーザが自由にモバイル IP を利用できるようになる。さらにセキュリティに関してホームエージェントとモバイルノード間でのみ認証を行えば良いため規模適応性の問題もない。その反面共存気付アドレスのためのアドレス空間を IP アドレスを配布するアクセスポイントが常に保持しなければならない。これは IPv4 アドレス空間の浪費につながると言われているが、IPv4 のアドレス空間を使い果たしたとしても、IPv6 でモビリティをサポートするモバイル IPv6<sup>5)</sup> や LING<sup>6)</sup> といった技術を利用すればよく、IPv4 のアドレス空間は問題とはならない。

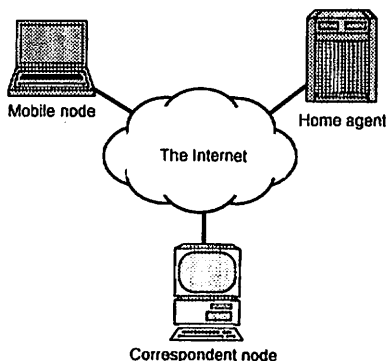


図 1 共存気付アドレスモード  
Fig. 1 Co-located care-of address mode.

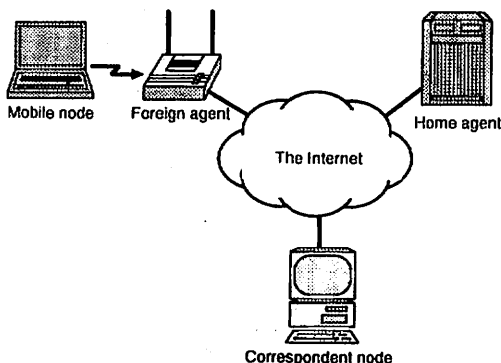


図 2 フォーリンエージェントモード  
Fig. 2 Foreign agent mode.

## 4. モバイル IP システムの設計

### 4.1 システム構成

図 3 に本稿でのモバイル IP システムの構成を示す。3.4 節の考察から本稿ではハンドオーバを実現するために共存気付アドレスモードのみを用い、想定するネットワークとしては、ホストにはグローバルアドレスが割り当てられるもの考える。モバイルノードにはグローバルなホームアドレスを割り当てる。また簡単のためにホームアドレスが属するホームネットワークは仮想的なネットワークとする。これはモバイルノードがホームネットワークに直接接続することがないことを意味しており、そのためモバイルノードやホームエージェントが自身の存在を知らせるためのエージェント広告に関する処理が必要がなくなる。さらにモバイルノードは有線 LAN や無線 LAN, PHS, 携帯電話といった複数のインターネットに接続するためのメディアを有しており、任意の地点で最も適したメディアを選択し、インターネットへ接続を試みるものとする。

### 4.2 共存気付アドレスの取得と登録

モバイルノードは DHCP や PPP といったプロトコルなどを用いて、利用可能なインターフェースすべてで独立に IP アドレスの取得を試みる。複数のインターフェースで IP アドレスが取得された場合最適なインターフェースを選択し、そのインターフェースの IP アドレスを共存気付アドレスとして用いてインターネットに接続し、ホームエージェントへ登録する。もし登録した共存気付アドレスが失われると、モバイルノードは次に最適となるインターフェースの IP アドレスを共存気付アドレスとしてホームエージェントに登録する。このようにしてモバイルノードは常に最適なインターフェースを用いてインターネットに接続する。

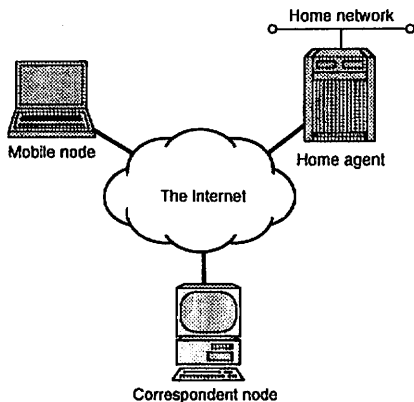


図 3 モバイル IP システム構成  
Fig. 3 Mobile IP system.

### 4.3 トンネリング方式

モバイルノードのホームアドレス宛のデータをホームエージェントがモバイルノードへトンネリングするための手段として IP-in-IP カプセル化<sup>7)</sup>を用いる。IP-in-IP カプセル化では、ホームエージェントはモバイルノードのホームアドレス宛のパケットに外部ヘッダと呼ばれる IP ヘッダを付加する(カプセル化)。外部ヘッダの宛先アドレスにモバイルノードの共存気付アドレスを設定することによって、そのパケットがモバイルノードまで配送される。モバイルノードはパケットを受け取るとそのパケットから外部ヘッダを取り除き元のパケットを取り出し通常のパケットの処理を行なう。

### 4.4 リバースパストンネリング

IAB (Internet Architecture Board)<sup>8)</sup> は、ISP (Internet Service Provider) などに対して送信元アドレスフィルタリングをするよう勧告している。これはある悪意を持ったユーザがあるホストに攻撃をしていた場合に、そのユーザが存在しているネットワーク上の位置を把握して対策を立てやすくするためのものである。送信元アドレスフィルタリングはセキュリティ上重要であり一般的な ISP はこのフィルタリングを行なっている。このことはモバイルノードのパケットの送信に影響を与える。通常モバイルノードはパケットを送信する際にはそのソースアドレスにはホームアドレスを設定する。しかし、ホームアドレスはモバイルノードが接続しているネットワークのアドレスとは異なることが多いため、送信元アドレスフィルタリングが行なわれているネットワーク上ではモバイルノードが送信するパケットはフィルタリングされる。そこで、リバースパストンネリング<sup>9)</sup>が提案された。リバースパストンネリングではモバイルノードからのパ

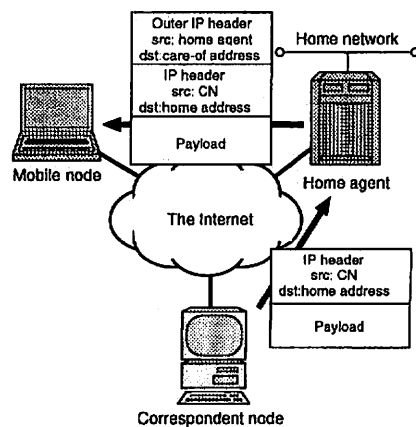


図 4 IP-in-IP トンネリング  
Fig. 4 IP-in-IP tunneling.

ケットもカプセル化されてホームエージェントまで配送される。そしてホームエージェントでカプセル化が解かれコレスポンデントノードまで配送される。

ISP が送信元アドレスフィルタリングを行なっているかを知ることは困難なため本システムでは常にリバースパストネリングを用いてモバイルノードがパケットを送信する。

## 5. 実装と評価

### 5.1 ホームエージェント

ホームエージェントを FreeBSD-4.3RELEASE 上で実装した。ホームエージェントにはパケットのカプセル化とカプセル化を解く機能と気付アドレスの登録を処理する機能を実装した。前者はパケットの転送速度を落さないためにカーネル内で実装し、前者はユーザランドで実装した。

ホームエージェントの性能評価するために、まず1秒間に受け付けられる気付アドレスの登録要求の数を計測した。このときホームエージェントがトンネルの設定を変更する場合、つまり、モバイルノードの共存気付アドレスが変化する場合について計測した。計測を行なったホームエージェントは、ファーストイーサネットに接続されており、PentiumIII 500MHz を搭載した PC であった。計測の結果、1秒間に約 2000 個の登録を処理できていることがわかった。これはモバイルノードが1秒間隔で異なるサブネット間を移動していたとすると1つのホームエージェントで 2000 のモバイルノードを管理できるということである。次に同様のホームエージェントでパケットの転送速度を UDP の計測用のパケットを用いて計測したところ約 93Mbps であった。

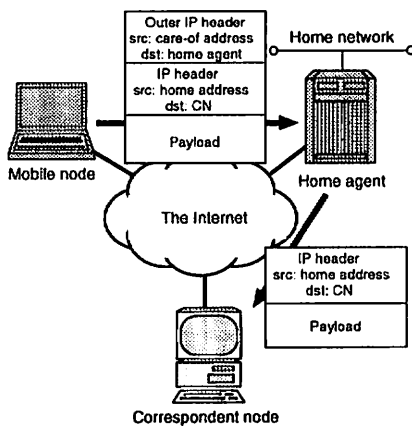


図 5 リバースパストネリング  
Fig. 5 Reverse path tunneling.

表 1 インターフェースの優先度  
Table 1 Preference of interfaces.

インターフェースの種類	優先度
有線 LAN	1
無線 LAN	20
PPP	200

### 5.2 モバイルノード

モバイルノードを NetBSD-1.5ZA 上で実装した。4.2 節で述べたようにモバイルノードは利用可能なインターフェースのうち最適なものを選択するが、本実装では表 1 に示すような優先度にした。なお、優先度の値が小さなインターフェースが優先される。このような優先度を設定することによって利用可能なインターフェースの中で通信帯域の広いインターフェースを常に利用できるようになった。しかし、有線 LAN でケーブルが接続されていない場合や無線 LAN で電波が届いていない範囲にいった場合においても IP アドレスがインターフェースに割り当てられていることがある。これは手動でインターフェースに IP アドレスを割り当てた場合や DHCP によってアドレスを取得した後に、有線 LAN のケーブルが抜かれたり、無線 LAN の電波が届かない範囲に移動した際に起こる。このような場合、インターフェースには IP アドレスが割り当てられていても通信はできない。そこで1秒毎にインターフェースのリンク状態を監視することによって問題を解決した。

モバイルノードの評価として有線 LAN、無線 LAN、および、PPP の間でハンドオーバーにかかる時間を計測した。なお PPP は PHS を用いてインターネットに常時接続している状況にしておいた。このような状況で PPP から無線 LAN、無線 LAN から有線 LAN というように狭帯域のインターフェースから広帯域のインターフェースにハンドオーバーする際には、IP アドレスが取得されてからハンドオーバーするためほとんど時間がかからなかった。しかし、広帯域のインターフェースが利用不可能になった際に、狭帯域のインターフェースにハンドオーバーする際には1秒以上の時間がかかった。これはインターフェースのリンク状態を1秒間隔で監視しているためである。

## 6. おわりに

本稿では、まず異なったメディア間でのハンドオーバーの必要性について述べた。またモバイル IP のフォーリンエージェントモードの問題を明らかにしその普及が困難であることを述べた。次に共存気付アドレスモードを採用しモバイル IP システムを設計すること

によって、既存のインターネットに変更を加えることなく異なるメディア間でのハンドオーバを実現した。そしてその設計を基に実装し、実験し、評価した。

本システムではエンドツーエンド原理に基づく共存気付アドレスモードを採用したことによって、既存のインターネットに変更を加える必要がなくなった。このことからモバイル IP においてもインターネットの基本原則であるエンドツーエンド原理が有効であることが明らかになった。今後広帯域のインターフェースから狭帯域のインターフェースへのハンドオーバにかかる時間を改善していきたい。

### 参 考 文 献

- 1) *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band* (1999).
- 2) C. Perkins, Ed.. *IP Mobility Support for IPv4* (2002). RFC 3220.
- 3) W. Simpson. *The Point-to-Point Protocol (PPP) for the Transmission of Multi-protocol Datagrams over Point-to-Point Links* (1992). RFC 1331.
- 4) R. Droms. *Dynamic Host Configuration Protocol* (1997). RFC 2131.
- 5) David B. Johnson, Charles E. Perkins, and Jari Arkko. *Mobility Support in IPv6* (2002). Internet Draft.
- 6) <http://www.lin6.net> LIN6 (Location Independent Networking for IPv6).
- 7) C. Perkins. *IP Encapsulation within IP* (1996). RFC 2003.
- 8) <http://www.iab.org/iab/> Internet Architecture Board Home Page.
- 9) G. Montenegro. *Reverse Tunneling for Mobile IP, revised* (2001). RFC 3024.