

# シームレスローミング技術

## Seamless Roaming Technology

あらまし

ユビキタス時代の中核を成す技術として注目されている異種ネットワーク間のシームレスローミングは、状況に応じて無線LANや携帯電話といったアクセスネットワーク間を移動しても、ユーザがインターネット上のサービスを継続的に利用できるようにするための技術である。シームレスローミングの課題としては、最適なネットワークの自動選択と接続、通信中のネットワーク切替えに対するセッション維持がある。

本稿ではこれらを解決する手段として、エージェントによるネットワークの自動選択と、Mobile IPによるセッション維持について述べる。さらに、リアルタイムサービスへの取組みとして階層化Mobile IPをベースとした高速かつスケーラブルにローミングできる技術についても紹介する。

Abstract

Seamless roaming over heterogeneous networks is regarded as a key technology for ubiquitous networks. Seamless roaming technology enables users to use services on the Internet without interruption when moving between different types of access networks, including wireless LANs and cellular networks. Issues in seamless roaming are the automatic selection of and connection to the optimal network and the preservation of communication sessions when switching networks. In this article, we describe solutions to these issues that use agents for automatic network selection and Mobile IP for session preservation. We also present our technology based on hierarchical Mobile IP that realizes fast and scalable roaming for real-time services.



加藤次雄 (かとう つくお)  
ネットワークシステム研究所IPフォ  
トニック研究部 所属  
現在、キャリアインターネット、モ  
バイルインターネットの研究開発に  
従事。



藤野信次 (ふじの のぶつく)  
ITコア研究所Webテクノロジー研究部  
所属  
現在、モバイルインターネット、ユ  
ビキタスサービスの研究開発に  
従事。

### まえがき

近年、従来の携帯電話やPHSに加え、第3世代携帯電話の登場、さらに公衆無線LANサービスの普及により、ユーザは様々なアクセスネットワークを使用してインターネットにアクセスできるようになってきた。また、PC、PDAなどの端末も複数のネットワークメディアを扱うことが可能になってきた。これらに伴い、状況に応じて無線LANや携帯電話といったアクセスネットワーク間を移動しても、ユーザがインターネット上のサービスを継続的に利用できる異種ネットワーク間のシームレスローミングの要求が高まっている。シームレスローミング技術はユビキタス時代の中核を成す技術として注目されている。富士通研究所ではエージェントによるネットワークの自動選択と、Mobile IP<sup>(1),(2)</sup>をベースとする高速なネットワーク切替え（ハンドオーバ）を特徴とするシームレスローミング技術を開発した。

本稿では、複数のアクセスネットワークから最適なネットワークを選択する技術、通信中にネットワークを切り替えてもサービスを継続して受けられる技術、さらにリアルタイムメディアでもスムーズかつスケラブルにローミングできる技術について述べる。

### シームレスローミングの課題

異種ネットワーク間のシームレスローミングが必要となるようなモバイル環境においては、ユーザは状況が変わるたびにいちいちネットワークを選択し直したり、設定を変更したりするのは煩わしい。また通信中にネットワークが切り替わった場合にユーザやアプリケーションにそれを意識させない仕組みが必要となる。そのためには、以下の機能の実現が課題となる。

(1) 最適なネットワークの自動選択と接続

(2) 通信中のネットワーク切替えに対するセッション維持

従来、ネットワークを選択するためには、今どのようなネットワークが使用可能かを調べ、さらにどのネットワークで接続すれば最も効率的かをユーザが判断して自分で接続する必要があった。またインターネットに接続するためにはユーザ認証のための

ID、パスワードを自分で入力する必要があった。さらに企業内のイントラネットに外部から接続するためには、セキュリティ維持のためにVPN（Virtual Private Network）と呼ばれる暗号化したネットワークを使用するための認証情報も入力する必要があった。

また、通信中にネットワークを切り替えると、アプリケーションからは通常、通信異常に見えるため通信セッションは継続できない。そのためユーザはアプリケーションを立ち上げ直したり、一からデータを取り直ししたりする必要があった。

以下、これらの課題への解決策と富士通研究所の取り組みを紹介する。

### ネットワークの自動選択と接続

最適なネットワークを選択し接続を自動的に行うためには、以下に示すようにネットワークの状態を把握し、ユーザ嗜好を反映し、接続形態を決定する必要がある。

(1) ネットワーク状態の把握

ネットワークを選択するために、現在どのネットワークが使えるのかを把握する必要がある。具体的にはネットワークデバイスの有無、基地局の圏内・圏外などの検出を行う。

(2) ユーザ嗜好の反映

ユーザごとにどのようなネットワークを使用したいかは異なる。例えば、高速なネットワークを優先するか、安価なものを優先するかといった選択基準を反映させる必要がある。

(3) 接続形態の決定

ユーザがアクセスする場所と接続先によっては接続の形態を変えなければならない場合がある。例えば、社外から社内のイントラネットにアクセスする場合には、直接社内へのアクセスポイントに接続する方法と、一般のインターネットプロバイダを経由する方法がある。インターネットプロバイダを経由する場合には、セキュリティ維持のためにVPN接続を使用する必要がある。

エージェントによるネットワーク選択

上記のような操作や決定を自動的に行うために、ユーザの代わりにこれらを代行するソフトウェアエージェントの導入が有効である。富士通研究所ではエージェントによるネットワーク自動選択を特徴

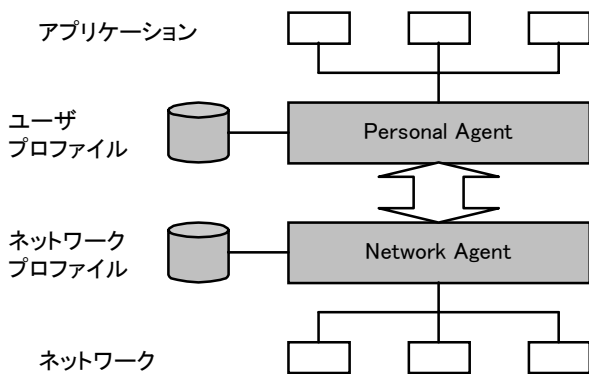


図-1 端末側ソフトウェアの構成  
Fig.1-Configuration of terminal side software.

とするシームレスローミングソフトウェアを開発した。

シームレスローミングソフトウェアの端末側の構成を図-1に示す。端末ソフトウェアはPersonal Agent, Network Agentと呼ぶ二つのモジュールから成る。

Personal Agentはユーザの代わりにネットワーク接続やアプリケーションを駆動する主体となるエージェントである。そのため、ユーザのネットワーク接続に関する嗜好や認証情報などのユーザ情報をユーザプロフィールとして管理する。また、ユーザが使用するアプリケーションを管理し、アプリケーションが起動されるとNetwork Agentに対してネットワーク接続を要求する。同時に、ユーザ嗜好情報として、安価優先、速度優先などの接続基準を通知し、Network Agentが最適なネットワークを選択するように指示する。また逆に、ネットワークのローミング時にNetwork Agentからネットワーク特性を受け取り、アプリケーションが要求するネットワーク特性と比較し、合致すればアプリケーションを起動させる。

Network Agentはユーザやアプリケーションからネットワークに関する設定や処理を隠蔽し、ネットワークを仮想化するエージェントである。そのため、ネットワーク帯域などの特性、接続するアクセスポイント情報や課金情報などをネットワークプロフィールとして管理する。また、端末に搭載されたネットワークメディアの有無、基地局圏内・圏外情報や電波強度などのネットワーク状態を監視する。そしてネットワークの状態に変化が生じると、

ネットワーク特性（ネットワークの帯域や課金情報など）とPersonal Agentからのユーザ嗜好情報をもとに、評価関数を適用して現在使用できるネットワークの中から最もユーザの嗜好に合ったネットワークを選択する。例えば、安価優先の場合には、ネットワークの通信コストとISP（Internet Service Provider）の接続コストを計算し、最小となる組合せを選択する。さらに取得したネットワーク情報から現在のネットワーク上の位置を推測し、アクセス先のネットワークがイントラネットであればVPN接続するかどうかを決定する。この結果をもとに必要であればネットワークの設定を行い、そのネットワークへの切替えを行う。

#### エージェントによる自動接続

上記のような手順でネットワークが選択された後、実際に接続する際にはISPごとにID、パスワードなどの認証情報を入力する必要がある。場合によっては更にVPNのための認証情報を入力する必要がある。これらをローミングするたびにユーザがいちいち手で入力しては、とてもシームレスとは言えない。そこで富士通研究所で開発したシームレスローミングソフトウェアではエージェントによる自動認証を行っている。携帯電話やPHSなどによるインターネット接続では認証方法が標準化されており、自動認証機能による自動接続を標準サポートしている。

公衆無線LANサービスでは現状、提供事業者ごとに認証方法や手順が異なっている。またVPNについても同様である。そこでこれらに対応するため、Personal Agentが外部の認証ソフトウェアと連携できるようになっている。事業者またはVPNに合わせた認証ソフトウェアを用意することによって、これらの自動認証も可能である。

上記のことから、ユーザはあらかじめ認証情報を登録することで、スムーズな接続およびシームレスなローミングが可能である。

なお、これらの認証情報は通常は暗号化されて端末内に保存されるが、USB（Universal Serial Bus）キートンやSIM（Subscriber Identity Module）カードなどの外部のセキュアデバイスに保存することも可能である。

## セッション維持とMobile IP

シームレスローミングを実現するための、もう一つの重要なプラットフォーム技術がMobile IPである。ノートPCやPDAを移動端末として持ち歩き、オフィスの自席の有線LANから携帯電話へ、または携帯電話からホットスポットの無線LANなどへと接続先を切り替えていくと、移動端末のIPアドレスも接続先を切り替えるたびに変わってしまう。これがもし通信中であった場合は、相手側から見ると、突然宛先のIPアドレスが変わってしまうことになり、セッションを継続することができなくなってしまう。また、移動端末側にしても、自分のIPアドレスが変わると、多くの場合アプリケーションを再起動しなければならない。Mobile IPは、その名前のおりIP層で移動をサポートする技術であり、端末が移動しても、相手先には、あたかも動いていないように見せかける仕組みを提供する。言い換えると、IPより上位の層（TCP/UDPといったセッション層やアプリケーション層）に対して端末の移動を隠蔽する技術であり、このため、相手先と通信をしたまま接続先を切り替えていっても、アプリケーションの再起動などをする必要もなく、セッションを維持したままで、シームレスなローミングを実現することが可能となる。

図-2はMobile IPの基本的な動作を示したものである。移動端末は、普段Home Networkに接続されており、Home Addressと呼ばれる固定的なIPアドレスを持つ。またHome Networkには、Home

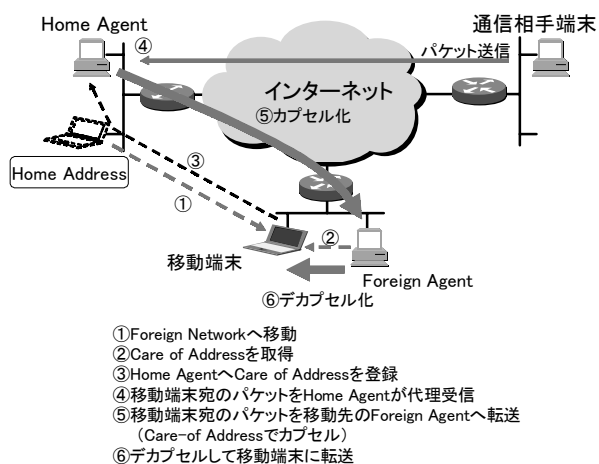


図-2 Mobile IPの概要  
Fig.2-Outline of Mobile IP.

Agentと呼ばれる移動端末の位置管理を行うノードが設置される。また、移動先のネットワークのことをForeign Networkと呼んでおり、ここにはForeign Agentと呼ばれるノードが配備される。以下図中の から に従って動作の概要を説明する。

移動端末がForeign Networkへ移動して、接続先を変更する。

移動端末は、DHCP（Dynamic Host Configuration Protocol）などを利用して接続先での一時的なIPアドレスを取得し、IPアドレスが切り替わったことを認識する。この一時的なIPアドレスをCare of Addressと呼んでいる。

移動端末は移動するたびに、このCare of Addressを最新の位置情報としてHome Agentに登録する。

Home Agentでは、移動端末ごとにCare of Addressを管理しており、通信相手端末から移動端末のHome Address宛に送られてきたすべてのパケットを代理受信する。

Home Agentは、代理受信したパケットを、Care of Address宛のパケットにカプセル化してForeign Agentへ転送する。

Foreign Agentは、受信したパケットをデカプセル化してもとのHome Address宛のパケットを取り出し、移動端末へ送る。

なお、Foreign Agentは移動端末の中に配備することも可能で、これをCo-locatedモードと呼んでいる。Co-locatedモードは、移動先のネットワークごとにあらかじめForeign Agentのような特殊なノードを配備する必要がなく、既存のネットワークを活用できるため、Mobile IPの普及には欠かせない技術であると言える。また、移動端末から、自身の最新のCare of Addressを、Home Agentだけでなく通信相手端末に直接登録するモードも用意されており、わざわざHome Agentを経由することなく、通信相手端末から移動端末に最適なルートでパケットを転送することもできる。

このMobile IPと前章で示したNetwork Agentを連携させることにより、通信中に最適なネットワークに切り替えながらセッションを維持することが可能となる。

富士通研究所では、2000年からMobile IPの実用化に向けた検討を本格化してきた。Mobile IPv4だ



けでなく、Mobile IPv6についても、すでに実用化レベルの開発を完了している。次章ではMobile IPに関する富士通研究所の取組みの一端を紹介する。

### リアルタイムサービスへの適用に向けて

前章で記載したように、セッション維持のために欠かせないMobile IPであるが、もともとが高速に移動する端末への適用を想定して検討が始まったものではない。そのため、接続を切り替えるときの位置登録の高速性、いわゆる高速なハンドオーバーの実現に課題があり、Voice over IPをはじめとするリアルタイムサービスへの適用に向けて克服しなければならない。

高速なハンドオーバーが困難な要因としては、以下の2点が挙げられる。一つは、Mobile IP自身がIPレイヤに閉じたプロトコルであることによる。データリンク層やネットワークの構成に依存しないように設計されているため、逆にデータリンクの切断や再接続が起こっても、IPアドレスが切り替わったことを検出しないと、位置登録処理を始めようとする仕組みになっている。このため、移動端末が実際に接続先を変えてから、Home Agentや通信相手端末への位置登録が完了し、パケットの転送先を新しい接続先へ切り替えるまでに時間が掛かってしまい、その間、以前の接続先へ転送されていたパケットがすべて損失してしまうことになる。もう一つの原因は、移動端末の位置を管理するノードがHome Agentまたは通信相手端末だけだということによる。ネットワークが大規模化してHome Agentや通信相手端末が遠方にある場合、Round Trip Time (RTT) の増大によって位置登録処理にやはり時間が掛かってしまい、ハンドオーバー時のパケットロスが無視できなくなる。

こういった課題の克服に向けては、IETF (Internet Engineering Task Force) をはじめ各所で研究が進められている。前者の課題に対しては、例えば実際に移動する前に、前もって同様の位置登録手順を実行する方法<sup>(3)</sup>などが提案されているが、移動端末が接続されるネットワーク側のルータにも特殊な機能が必要になるなど、まだまだ課題は多い。富士通研究所ではデータリンク層との連携によるハンドオーバーの高速化に着目し、とくにシームレスローミングにおけるセルラーから無線LAN、また

は無線LAN間的高速なハンドオーバーの実現に向けて、IEEE802.1xなどに基づく認証完了を契機に位置登録処理を始める仕組みを開発した。無線LANの電波強度の監視機能と組み合わせることにより、1秒以内の瞬断での高速ハンドオーバーを実現している。

一方、後者の課題についても各所で研究が進められている。代表的なものが階層化Mobile IP<sup>(4)</sup>である。ローカルなサブネットワークごとにHome Agentと同等の機能を有するProxy Home Agentを配備し、サブネットワーク内の端末の移動については、いちいちHome Agentや通信相手端末まで位置を通知せずにProxy Home Agentに通知して、Proxy Home Agentが代理で位置管理を行う方法である。ネットワークの大規模化とハンドオーバーの高速性の両立が可能であるが、必ずProxy Home Agentを経由するため、最適なルートを通すわけではなく、また場合によってはProxy Home Agentの輻輳<sup>ふくそう</sup>も懸念される。こういった問題を回避する方法として、富士通研究所で提案している方式<sup>(5)-(7)</sup>を図-3に示す。

階層化Mobile IPをベースとしたものであるが、新たにサブネットワークの入り口にEdge Nodeを配備して、Proxy Home Agentと連携する機能を盛り込み、制御(移動管理)と転送(カプセル化処理)の分離を図っている。移動端末の位置管理は従来の階層化Mobile IPと同様にProxy Home Agent

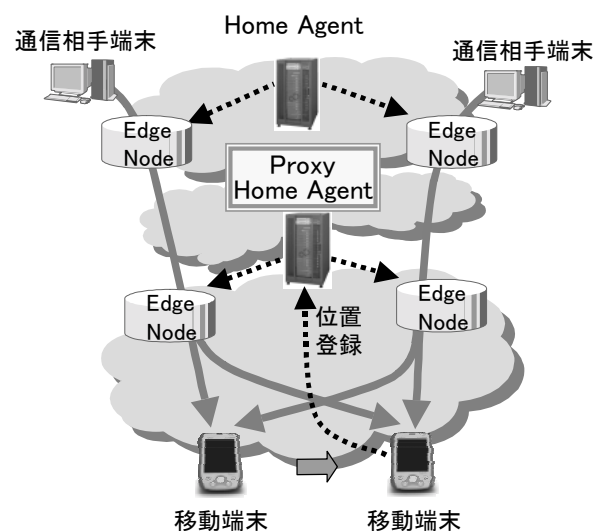


図-3 階層化Mobile IPの制御/転送分離拡張構成  
Fig.3-Distributed architecture in hierarchical Mobile IP.

で行われるが、実際のパケットはEdge Nodeからダイレクトに移動端末へ転送されるので、ハンドオーバーの高速性を犠牲にすることなく、さらにProxy Home Agentの輻輳回避とパケット転送ルートの最適化を実現している。条件にもよるが、エンドエンドのホップ数を最大で30%程度削減可能との結果を得ており、伝送遅延が削減されるという意味でも、リアルタイムなサービスを提供するために有効な技術と考えている。

### む す び

以上、シームレスローミングの実現技術として、エージェントによるネットワークの自動選択技術、Mobile IPによるセッション維持技術について述べた。これらの技術により、ユーザは場所やネットワークの状態を意識することなく、いつも最適なネットワークでインターネット上のサービスを継続して利用することができるようになった。さらにリアルタイムサービスへの適用に向けた階層化Mobile IPをベースとする高速ハンドオーバーおよび大規模化技術について述べた。

エージェントによるネットワークの自動選択技術については富士通のソフトウェア製品Seamlesslinkに適用されている。また高速ハンドオーバーおよび大規模化技術については同じくネット

ワークハードウェア製品Geoserve Home Agentとして一部適用されている。

今後はPDAなどほかのプラットフォームへの展開と、リアルタイムアプリケーションと組み合わせたソリューションへの適用が課題である。

### 参 考 文 献

- (1) C. Perkins et al. : IP Mobility Support for IPv4 . RFC3344 , August 2003 .
- (2) D. Johnson et al. : Mobility Support in IPv6 ; draft-ietf-mobileip-ipv6-21.txt . February 2003 .
- (3) R. Koodli : Fast Handovers for Mobile IPv6 ; draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-06.txt . March 2003 .
- (4) H. Soliman et al. : Hierarchical MIPv6 mobility management ; draft-ietf-mobileip-hmipv6-05.txt . November 2001 .
- (5) T. Kato et al. : A Mobile Telecommunication Network Architecture for the Multimedia Age . ICC'99 S42.1 , June 1999 .
- (6) A. Rouz et al. : Broadband Interworking Architecture for Future Mobile Multimedia System . ICPWC99 , Jaipur , India , Feb. 1999 .
- (7) R. Takechi et al. : Study of Mobility Management Architecture Based on Mobile IPv6 . WTC2002 , September 2002 .