

解説



無線 LAN

4. ホスト移動透過性を提供するプロトコル†

寺岡 文男†

1. はじめに

広域ネットワークは種々のサブネットが相互に接続されて構成される。OSI のプロトコル階層モデル¹⁾におけるネットワーク層*を、これら種々のサブネットを相互接続するものとして考えると、有線 LAN や無線 LAN はもとより、X.25 網や ATM ネットワーク、さらには PHS のようなセルラーネットワーク全体も、一つのサブネット、すなわちデータリンク層**に対応する。ある一つの無線 LAN の中だけで移動するホストとの通信は、それぞれの無線 LAN 固有の方式で実現される。しかしサブネット間で移動するホストと移動透過な通信を行うためには、ネットワーク層プロトコルの支援が必要になる。本稿では、インターネットにおいてサブネット間を移動するホストと移動透過な通信を行うためのプロトコルとして、分割サブネット方式²⁾、ソースルーティング方式³⁾、識別子アドレスマッピング方式^{4)~6)}、パケット転送方式 (Mobile-IP ワーキンググループ方式)⁷⁾の4つの案を紹介する。なお本稿では広域ネットワーク全体を指すときには「ネットワーク」を用い、LAN のような構成要素ネットワークを指すときには「サブネット」を用いる。また「インターネット」とは、主として TCP/IP プロトコル群で運用されているネットワークを指すこととする。

2. IP の概要

OSI のプロトコル階層と TCP/IP プロトコル群のプロトコル階層の比較を図-1に示す。図から明らかなように、TCP/IP プロトコル群におけるネットワーク層プロトコルは IP (Internet Protocol)⁸⁾である。本章では IP の機能を簡単に紹介し、移動ホストとの通信を行う際の問題点を明らかにする。

各ホストは 32 ビットの IP アドレスで識別される*。IP アドレスはネットワーク番号、サブネット番号およびホスト番号からなる。ネットワーク番号はネットワーク全体で一意である。サブネット番号は一つのネットワーク内で一意である。ホスト番号は一つのサブネット内で一意である。したがって IP アドレスはネットワーク全体で一意になる。

IP はコネクションレス型通信プロトコルである。すなわち通信開始にあたって論理通信路の確立を行わず、毎回パケットに宛先 IP アドレス、送信元 IP アドレスを含めて送信する。これに対し通信開始にあたって論理通信路の設定を行い、以降は論理通信路の識別子を指定することにより

OSI	TCP/IP		
	application	NFS, ...	tftp, ...
presentation	XDR		
session	RPC		TCP
transport	UDP		
network	IP		
data link	Ether, FDDI, ...		
physical			

図-1 プロトコル階層の比較

† Protocols Providing Host Migration Transparency by Fumio TERAOKA (Sony Computer Science Laboratory Inc.).

†† (株)ソニーコンピュータサイエンス研究所

* ネットワーク層は広域ネットワークにおいて送信ホストと最終的な受信ホストの間の通信機能を提供するプロトコル階層である。7層モデルの第3層。

** データリンク層は広域ネットワークを構成する各サブネットに対応する通信媒体内での通信機能を提供するプロトコル階層である。7層モデルの第2層。

* 正確には IP アドレスはホストごとではなく、ネットワークインタフェースごとに割り当てられる。

通信を行う方式をコネクション型通信と呼ぶ。IP パケットを中継するマシンをルータと呼ぶ。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、この経路表にしたがって IP パケットの中継を行う。

ホストが他のサブネットに移動すると、そのホストの IP アドレスは変化してしまう。相手の IP アドレスが分からなくては通信できない。通常ユーザが指定したホスト名は名前サーバに問い合わせることによって IP アドレスに変換される。移動ホストが移動するごとに新しい IP アドレスを名前サーバに登録すれば移動ホストとの通信は可能であるように思われる。しかし名前サーバはキャッシュを使用しているため、変更された情報は瞬時にはネットワーク全体に広まらない。またコネクション型のトランスポート層プロトコル*である TCP は自分と相手の IP アドレス（およびポート番号）の対で論理通信路を管理している。したがってホスト移動により IP アドレスが変化してしまうと論理通信路を維持することができなくなってしまう。

3. 分割サブネット方式

本方式は Columbia 大学の Ioannidis らが提案したものである²⁾。本来のインターネットでは、あるネットワーク番号およびサブネット番号の対で示される一つのサブネットは、1本の Ethernet ケーブルのように物理的に連続でなければならない。本方式では、物理的に分散した移動ホスト用サブネットがすべて同じネットワーク番号およびサブネット番号をもつようにしている。すなわち一つのサブネットが物理的に分割されており、移動ホストはそのサブネット内でのみ移動するので、トランスポート層からみればホストの移動が隠蔽されるのである。

本方式では、MH（移動ホスト）と MSR（移動支援ルータ）が既存のインターネットに接続される。すべての MH は同一のネットワーク番号とサブネット番号を IP アドレスの一部としてもつ。MSR は既存のインターネットと移動ホスト用サブネットとの間のゲートウェイの役割を果たす。

*トランスポート層は開放分散環境における通信主体間での信頼性のある通信機能を提供するプロトコル階層である。7層モデルの第4層。

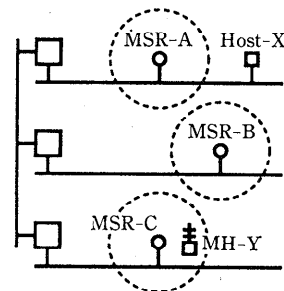


図-2 分割サブネット方式

図-2において、Host-X が MH-Y に送信する場合を考える。図において三つの破線円が移動ホスト用サブネットであり、これらはすべて同一のネットワーク番号およびサブネット番号を有する。三つの MSR はこの移動ホスト用サブネットに関する経路情報をそれぞれアナウンスしている。MH-Y は現在 MSR-C にサービスされている。Host-X が MH-Y 宛てに IP パケットを送信すると、MSR-A がアナウンスしている移動ホスト用サブネットの経路情報にしたがって、この IP パケットはまず MSR-A に到達する。MSR-A は MH-Y が自分の移動ホスト用サブネットに存在しないことを検出すると、他のすべての MSR に問合せを行う。この場合は MSR-C から応答がある。MSR-A は元の IP パケットをもう一度 IP パケットの中にカプセル化して MSR-C へ送信する。一見すると Host-X が送信した IP パケットは MSR-A で一度消滅し、MSR-C で再び出現しているように見える。すなわち MSR-A から MSR-C にトンネルが掘られており、この中を Host-X が送信した IP パケットが通っているように見えるのである。そこでこのような手法はトンネリングと呼ばれている。MSR-C はトンネリングされてきたパケットの中から元の IP パケットを取り出し、MH-Y へ送信する。MSR-A は MSR-C からの応答をキャッシュしておき、以降の通信の際このキャッシュを利用する。

本方式の利点は、既存のインターネットを変更することなく、MSR を接続するだけで移動ホストとの移動透過な通信が実現できることである。しかし本方式には以下に示すようにスケラビリティの点で問題がある。第一にすべての MH は同一のネットワーク番号およびサブネット番号をもたなければならないので、移動ホストの総数が

アドレス空間の大きさに制限される。第二に MSR が自分の移動ホスト用サブネットに存在しない移動ホストへ最初にパケットを転送するときには、他のすべての MSR に問合せをしなければならない。MSR の数に比例して、このオーバーヘッドも増加する。さらに例でも示したように、移動ホストへのパケットは必ず MSR が中継しなければならない。経路が最適でない場合が多い。

4. ソースルーティング方式

本方式は IBM の Rekhter らが提案したものである³⁾。分割サブネット方式では、多くの場合移動ホスト宛てのパケットは MSR 間でトンネリングしなければならない。もし送信ホストが宛先移動ホストをサービスしている MSR を通るように指定してパケットを送信できれば、MSR 間でのトンネリングが不要になり、最適な経路で移動ホストとの通信ができるようになる。IP には 8 種類のオプションが定義されており、その中に Loose Source and Record Route(LSRR) というオプションがある。ソースルーティング方式は LSRR オプションを利用して宛先移動ホストをサービスしている MSR を指定するようにしている。

本方式では、MSR の代わりに BAS (基地局) という用語を用いている。移動ホストの IP アドレスには、分割サブネット方式のような制限はない。各移動ホストにはこれを管理する MR (移動管理ルータ) が存在する。MR は自分が管理している移動ホストが現在どの BAS にサービスされているかを管理する。さらに MR は自分が管理している移動ホストのための経路情報をアナウンスする。

図-3 において Host-X が MH-Y に送信する場合を考える。図では MH-Y は BAS-A にサービスされている。MH-Y を管理している MR-Y は MH-Y が現在 BAS-A にサービスされていることを知っており、さらに MH-Y のための経路情報

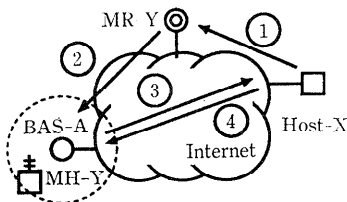


図-3 ソースルーティング方式

をアナウンスしている。(1)Host-X が送信した MH-Y 宛ての IP パケットは、MR-Y がアナウンスしている経路情報にしたがって、まず MR-Y に到達する。(2)MR-Y は BAS-A を通るように指定した LSRR オプションを元の IP パケットに付加して中継する。このパケットは BAS-A で中継されて MH-Y に到達する。通信は通常双方向で行われると考えられる。(3)MH-Y が Host-X にパケットを送信するときも、BAS-A を通るように指定した LSRR オプションを付加して IP パケットを送信する。このパケットは BAS-A で中継されて Host-X に到達する。すると受信したパケットの LSRR オプションにより、Host-X はこのパケットが BAS-A を通過したことを知る。(4)以後 Host-X は LSRR オプションで BAS-A を指定して MH-Y 宛てに送信する。

本方式の利点は、IP 自体には何も変更を加えていないことである。また分割サブネット方式と同様に、既存のインターネットに MR と BAS を接続するだけで移動ホストとの移動透過な通信が実現できることである。しかし本方式はコネクション型のトランスポート層プロトコルである TCP には有効であるが、コネクションレス型のトランスポート層プロトコルである UDP ではうまく働かない。また IP 固有の機能に依存しており、他のネットワーク層プロトコルに適用することは困難である。さらに現実問題として LSRR の実装はマシン依存であり、正しく実装されているもののほうが少ない。結局本方式を採用するには、ネットワーク上の大部分のルータやホストのソフトウェアを更新する必要がある。

5. 識別子アドレスマッピング方式

本方式は筆者らが提案しているものである^{4)~6)}。前述した二つの方式は、もともとネットワーク内での特定の位置を表す IP アドレスを用いて位置が変化する移動ホストを指定している。そして位置を表していない IP アドレスで示された移動ホストとの通信を経路制御によって解決するものであった。これらに対して、本方式ではホストそのものを示す識別子と、ホストの位置を示すアドレスを分離した。トランスポート層以上では識別子でホストを認識するので、移動透過な通信が可能になる。そしてネットワーク層で識別子

をアドレスにマッピングしてパケット転送を行うのである。

従来のネットワークアーキテクチャにホスト識別子を組み込むため、本方式では「仮想ネットワーク」という概念を導入している。仮想ネットワークとは現実の（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、仮想サブネットが相互に接続されて構成される。トランスポート層以上には仮想ネットワークしか見えないものとする。ホストは、たとえ物理的にサブネット間を移動しても、仮想ネットワーク上では常に同一の仮想サブネットに接続されているとみなす。この仮想サブネットをその移動ホストのホームサブネットと呼ぶ。このように考えることにより、ホストは一定不変の仮想ネットワークアドレス（VN-アドレス）と、移動によって変化する物理ネットワークアドレス（PN-アドレス）という二つのネットワークアドレスを併せもつことになる。VN-アドレスが識別子であり、PN-アドレスが従来の意味でのアドレスである。

トランスポート層はネットワーク層に対して相手ホストを VN-アドレスで指定して送信要求を発行するので、ネットワーク層はなんらかの方法で VN-アドレスから PN-アドレスを見つけださなければならない。識別子からアドレスを導き出すので、これをアドレス解決と呼ぶ。このアドレス解決機能は従来のネットワーク層の機能とは明らかに異質であるので、本方式では従来のネットワーク層を以下の二つの副層に分割している。

- 仮想ネットワーク副層：ホストに VN-アドレスが割り当てられる。トランスポート層から指定された VN-アドレスはこの副層で PN-アドレスに解決される。

- 物理ネットワーク副層：ホストに PN-アドレスが割り当てられる。この副層の機能は従来のネットワーク層の機能と同等である。

この分割によって、パケットヘッダにおいても従来のネットワーク層ヘッダが物理ネットワーク副層ヘッダと仮想ネットワーク副層ヘッダに分割されることになる。

アドレス解決を効率よく行うために、本方式では「拡散キャッシュ法」を導入している。拡散キャッシュ法では各ルータやホストがアドレス解決のためのキャッシュ（AMT：Address Mapping

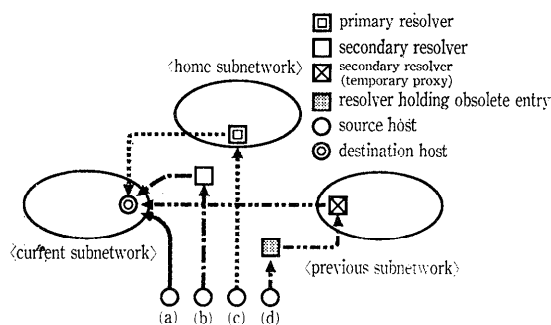


図-4 識別子アドレスマッピング方式

Table) をもつ。パケットには送信ホストの VN-アドレスと PN-アドレスが含まれているので、パケットの中継時や受信時に送信ホストのためのエントリを AMT に登録する。したがって移動ホストが送信したパケットの経路に沿ってネットワーク中に AMT エントリが拡散していくのである。

図-4 に本方式におけるパケットの経路を示す。パケットの経路には4つの場合が考えられる。(a)は送信ホストが宛先ホストのための AMT エントリを保持しており、送信時に相手の PN-アドレスを正しく指定するため、パケットは最適な経路を通る。(b)から(d)は送信ホストが宛先ホストのための AMT エントリを保持していない場合である。この場合、送信ホストは宛先ホストがホームサブネットに存在すると仮定してパケットを送信する。すなわち、宛先ホストの PN-アドレスは VN-アドレスと等しいと仮定してパケットヘッダを生成するのである。したがってこのパケットは宛先ホストのホームサブネットに向かって転送される。(b)の場合、途中のルータが宛先ホストのための AMT エントリを保持しているので、このルータが正しい PN-アドレスをヘッダに書き込む。(c)の場合、このパケットは宛先ホストのホームサブネットまで到達して正しい PN-アドレスが解決される。(d)の場合、途中のルータが宛先ホストのための古い AMT エントリを保持しているので、これによって以前に接続していたサブネットに転送されてしまう。しかしホスト移動時のプロトコルにより、以前接続していたサブネットも最新の PN-アドレスを保持するようになるので、誤って転送されてきたパケットも正しく宛先ホストへ転送される。

本方式の特徴は汎用的なことである。本方式は IP に限らず、あらゆるコネクションレス型のネットワーク層プロトコルに適応可能である。本方式を IP に適応したのが VIP (Virtual Internet Protocol) である。通信は通常双方向で行われるので、通信するホストは相互に相手の AMT エントリをもつことになり、多くのパケットは図-4 の(a)のように最適な経路を通る。各ルータやホストが保持すべき AMT エントリはネットワークの規模や移動ホストの総数には依存しないので、スケラビリティの問題もない。本方式の欠点は、第一に基本的にはネットワーク内のすべてのマシンが本方式を採用することを要求することである。しかし部分的に本方式を採用したマシンを既存の IP ネットワークに接続しても、パケットは最適な経路を通らない可能性が高くなるが、移動ホストとの移動透過な通信は可能である。第二には認証を行わないとなりすましが容易にできてしまうことである。これは鍵付きチェックサムや公開鍵暗号方式を用いた電子署名による認証を行うことで、防止している。

6. パケット転送方式

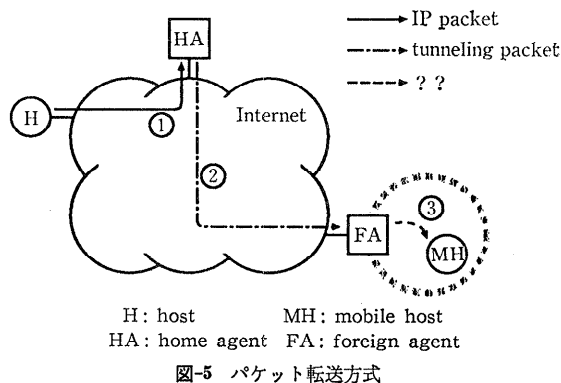
IETF (Internet Engineering Task Force) と呼ばれる組織がインターネット上のプロトコル標準化を行っている。IETF は多数のワーキンググループから構成されており、1992年7月から Mobile-IP と呼ばれるワーキンググループがインターネットでの移動ホスト用プロトコルの標準化作業を行っている。この標準化作業には前述した3方式をはじめ、参考文献9)などを含む多数の方式が提案された。議論の結果1993年11月から、提案された方式から一つを選択するのではなく、それぞれの長所を統合した方式を作成することになった。本章では Mobile-IP ワーキンググループ案を紹介する。

本方式では、移動ホストはホームアドレスと呼ばれる一定不変の IP アドレスをもつ。通信にはこのホームアドレスが用いられる。さらに移動ホストは移動先で訪問先アドレスと呼ばれる IP アドレスをも併せもつ。分割サブネット方式の MSR やソースルーティング方式の BAS と同様に、本方式でも移動ホストは訪問先エージェントと呼ばれる特殊なマシンがサー

ビスするサブネットにのみ移動する。訪問先エージェントはインターネットと移動ホスト用サブネットのゲートウェイの役割を果たすわけであるが、訪問先エージェントのインターネット側のネットワークインタフェースに割り当てられている IP アドレスが、そこに移動している移動ホストの訪問先アドレスとなる。すなわち、ある訪問先エージェントにサービスされている移動ホストはすべて同一の訪問先アドレスをもつことになる。各移動ホストには、それを管理しているホームエージェントが存在する。ホームエージェントは自分が管理している移動ホストが現在どの訪問先エージェントにサービスされているかを管理し、さらに移動ホストのための経路情報をアナウンスする。

図-5 に本方式におけるパケットの経路を示す。図左側に存在するホスト H から図右側に存在する訪問先エージェント FA にサービスされている移動ホスト MH へパケットを送信する場合を考える。MH はホームエージェント HA に管理されている。(1)送信ホストから送信された IP パケットは、HA がアナウンスしている MH のための経路情報にしたがってまず HA に到達する。(2)HA は MH が FA にサービスされていることを知っているので、元の IP パケットをもう一度 IP パケットでカプセル化して FA へトンネリングする。(3)FA は元の IP パケットを取り出し、MH へ転送する。

この方式の設計方針は、既存のインターネットに変更を加えることなく、移動ホストのために余分な IP アドレスを必要としないことである。移動ホストと移動透過な通信ができることが第一で



あり、論理的整合性やパケットの経路の最適性は二の次と考えている。

図-5 では、3の矢印が??と示されている。この意味は、この部分の通信は従来のIPの通信モデルとは整合が取れていないということである。訪問先エージェントは自分がサービスしている移動ホストへは移動ホストのホームアドレスを用いて通信を行う。訪問先エージェントがサービスする移動ホスト用サブネットには同時に多数の移動ホストが存在することが可能である。本来一つのサブネットに接続されるホストはすべて同一のネットワーク番号およびサブネット番号をもたなければならないが、本方式ではそれぞれの移動ホストが異なったネットワーク番号およびサブネット番号をもつ可能性がある。

また移動ホスト宛でのパケットは必ず冗長な経路を通ることになる。たとえ通信相手の移動ホストが同一のサブネット上に接続されていても、移動ホスト宛でのパケットは、移動ホストのホームエージェントで中継されるのである。現在のところこの問題を解決する方法は本方式には含まれていない。

7. おわりに

本稿ではインターネットにおいて移動ホストと移動透過に通信するためのプロトコルを4種類紹介した。分割サブネット方式とソースルーティング方式についてはその後の進展はみられない。Mobile-IP ワーキンググループとしては、6. で示した方式を基にして、1994年12月のIETFミーティングで標準案を決定するものと思われる。しかし6. でも述べたように、この方式には論理的な不整合という問題点があり、IETFが標準プロトコルとして承認しないのではないかという見方もある。

筆者らは、5. で示したVIPの実験運用を行なっている。VIPの実験はもっぱらEthernetなどの有線ネットワークを使用して行っているが、近々広域無線モデムも導入する予定である。すると、オフィスで有線ネットワークを介して確立していたセッションを、移動中は無線ネットワークを介してそのまま連続して使用することが可能になる。本稿が掲載されるころには、慶應義塾大学

の湘南藤沢キャンパスと矢上キャンパス、および電気通信大学における実験運用を経て、WIDEインターネットでの実験運用が行われているであろう。この実験を通して実績を積み、再びVIPをインターネット標準プロトコルとして提案していきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) ISO. Information Processing Systems—Open Systems Interconnection—Basic Reference Model, 1984. ISO 7498.
- 2) Ioannidis, J. and Maguire, G. Jr.: The Design and Implementation of a Mobile Internetworking Architecture, In Proceedings of 1993 Winter USENIX (Jan. 1993).
- 3) Rekhter, Y. and Perkins, C.: Loose Source Routing for Mobile Hosts (Feb. 1994). Internet-draft: draft-rekhter-lsr-mobile-hosts-00. txt.
- 4) Teraoka, F., Yokote, Y. and Tokoro, M.: A Network Architecture Providing Host Migration Transparency, In Proceedings of MCA SIGCOMM '91 (Sep. 1991).
- 5) 寺岡文男: VIP: ホスト移動透過性を提供するプロトコル, 日本ソフトウェア科学会コンピュータソフトウェア, Vol. 10, No. 4 (July 1993).
- 6) Teraoka, F., Uehara, K., Sunahara, H. and Murai, J.: VIP: A Protocol Providing Host Mobility, Communications of the ACM, Vol. 37, No. 8 (Aug. 1994).
- 7) Simpson, W.: IP Mobility Support (Sep. 1994) Internet-draft: draft-ietf-mobileip-protocol-06. txt.
- 8) Postel, J.: Internet Protocol (Sep. 1981) RFC 791.
- 9) Wada, H., Yozawa, T., Ohnishi, T. and Tanaka, Y.: Mobile Computing Environment Based on Internet Packet Forwarding, In Proceedings of 1993 Winter USENIX (Jan. 1993).

(平成6年1月11日受付)



寺岡 文男

1959年生。1984年慶應義塾大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年キャノン(株)入社。1988年(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所入社。工学博士。1991年日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞受賞。1993年元岡記念賞受賞。コンピュータネットワーク、オペレーティングシステム、分散システム等に興味を持つ。ACM, IEEE, Internet Society, 日本ソフトウェア科学会各会員。