

IPv6 によるマルチホームネットワークの構築と運用

北口 善明 中川 郁夫
インテック・システム研究所 インテック・システム研究所

概要

近年のインターネットの急速な成長に対処するために、IPv6(Internet Protocol version 6)が提案され、現在6boneにおいて実験運用が行われている。このIPv6では、現行のIPv4の長所を受け継ぎつつ、様々な改良が行われている。

また、インターネットが情報のインフラとなるに連れて、冗長性の向上やトラフィックの負荷分散を目的とした「マルチホーム」環境を構築する組織が増えてきた。この「マルチホーム」は経路制御の面で困難な技術であることが知られている。

本稿では、このIPv6によるネットワーク構築と運用事例の報告、IPv6マルチホームネットワークにおける経路制御の手法についての提案を行う。

Operating multi-homed network with IPv6

Yoshiaki KITAGUCHI Ikuo NAKAGAWA
INTEC Systems Laboratory INTEC Systems Laboratory

Abstract

Recently, IPv6(Internet Protocol version 6) has been experimental used on 6bone, which was proposed to solve many issues due to the fast growth of the Internet. IPv6 is an evolutionary step from current Internet Protocol(IPv4).

On the other hand, multi-homed sites which have benefits of redundancy or load balancing are increasing as the Internet becomes infrastructure of information.

In this paper, we describe an experience to install and operate our IPv6 network and we propose a routing technique at multi-homed IPv6 network.

1 はじめに

近年、インターネットの爆発的な成長により、アドレス空間の枯渇と経路情報の巨大化によるネットワーク負荷の増大が深刻な問題となっている。この問題を対処するために、1994年、IPv6(Internet Protocol version 6)が提案された。このIPv6では、アドレス空間が現行のIPv4の4倍のビット長に当たる128ビットに拡張されて

おり、天文学的な数のIPアドレスを使用可能である。また、経路集約を考慮したアドレス設計により経路情報の縮小化が可能になっている。

一方、インターネットが情報のインフラとして成り立っている現在では、冗長性の向上のために複数のISP(Internet Service Provider)と接続を行うマルチホーム環境が求められている。このマルチホームはトラフィックの負荷分散のためにも有効な技術である。また、IPv6の場合、

容易に複数のアドレス空間の利用が可能であるため、このようなマルチホーム環境を構築する組織が現在に比べ増えると思われる。

当研究所ではこのIPv6を利用したネットワークの実験を行うために、実験用アドレス空間をWIDEプロジェクトとMerit Networkから取得して、今回、マルチホーム環境でのIPv6ネットワークの構築・運用を行った。また、IPv6アドレスの二次割り当ても実施し、下位組織の接続によるINTEC-6boneを形成している[1]。

本稿では、まず、IPv6によるネットワーク運用実験の現状と運用上の問題点について述べる。さらにマルチホーム環境における経路制御手法の提案を行い、IPv6での必要性をまとめる。

2 IPv6の現状

前述したIPv6は、現行のIPv4の長所を継承し且つ、以下のような特徴を持っている。

- 128ビットのアドレス空間
- 経路集約型のアドレス構造
- アドレス設定のプラグ&プレイ機構
- セキュリティの標準実装(IPsec)
- ストリーム通信のサポート

現時点ではまだ実用されるアドレスは使用されておらず、実験用のアドレス(3ffe::/16)のみがIPv6の世界的なテストベッドである6boneにて実験運用されている。

現在もインターネットでの標準を議論するIETF(Internet Engineering Task Force)において標準化が進められており、1998年12月にはRFCにおいてDraft Standardとして提起されている[2]。さらに1999年第三四半期からは正式に使用されるアドレス空間の割り当ても開始予定となっている。

このIPv6による通信を行うためには、ホスト側において

- OSのIPv6対応

BSD系 UNIX	INRIA,WIDE(KAME),NRLがそれぞれ実装 今夏には統合の予定
SUN	Solaris-2.5.1用のIPv6スタックを実験的に配布 SunOS 4.1.4用にはデーモンで起動するv6dが存在
Linux	Kernel-2.1, 2.2系列にてサポート
Microsoft	NT4.0,Windows2000β用のIPv6スタックを実験的に配布 Windows95用IPv6スタックとして日立がトランスレータを実験的に配布
MacOS	MENTAT社がIPv6スタックを提供
日立	NR60にてIPv6対応
Cisco	IPv6対応のIOSβ版
Nortel	BayRS 12.0で対応

表1: 各OS/ルータのIPv6対応状況

- アプリケーションのIPv6対応

の2点が必要となる。IPv6の対応がなされている代表的なOSとルータの現状を表1に示す[3]。

アプリケーションのIPv6実装も進んでおり、現在ではIPv4のインターネットサービスのほとんどがIPv6対応されている。

3 INTECのIPv6ネットワーク

3.1 6boneとの接続

6boneは1996年より運営されている国際的なIPv6の相互接続実験ネットワークで、現在39の国と地域に接続している[4]。この6boneに参加するには、pTLA¹を管理する最上位の組織との接続が必要であり、現在56組織が接続している。

¹ pseudo Top Level Aggregator: 現在の6boneにおける最上位の集約識別子
8ビットで構成され、バックボーンでの経路制御に使用される

日本においてはWIDEプロジェクトとNTTがこのpTLAを取得している。

当研究所では、この6boneに接続するためにWIDEプロジェクトよりIPv6のアドレス委譲を1998年4月より受けている²。この委譲されているアドレス空間はWIDEプロジェクトによるアドレス体系(図1参照)のNLA1³にあたり、このNLA1の割り当てを受けている組織は我々を含め10組織となっている(1999年3月現在)[5]。また、マルチホーム環境の研究・実験のため、米国のMerit Networkにも接続し、上記のアドレス空間とは独立なアドレス空間の委譲を受けている⁴。

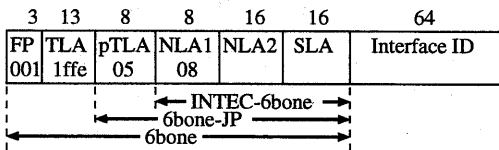


図 1: WIDEプロジェクトによるアドレス体系

行った。現在NLA2のアドレスを委譲した組織は自組織も含め8組織となっている。

また、NLA1を取得した組織との相互接続も実施し、現在5組織との経路情報交換を行っている。図2に現在のINTEC-6boneの接続状況を、表2に相互接続実験を行っている組織の一覧を示す。

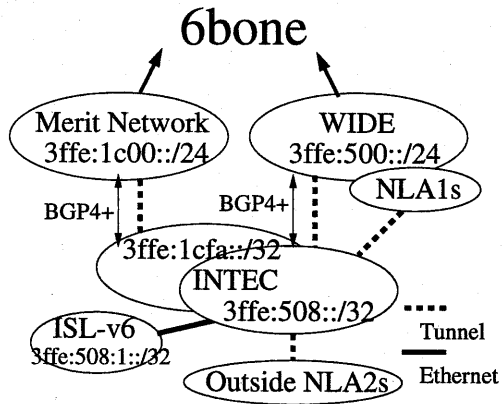


図 2: INTEC-6bone 構成図

IPv6 ネットワークを構成するホストやルータにはFreeBSDのKAME(WIDE)とINRIAの二つの実装を用いた。また、接続には容易に構築可能なIPv6 over IPv4技術を用いるトンネル接続を使用した。このトンネル接続技術を用いると、現行のIPv4ネットワークの構成に囚われることなく、IPv6ネットワークを自由に構成できる。これは経路制御実験のためのネットワーク構築に適しており、ネットワーク変更にも柔軟に対応可能である。

3.2 下位組織の受け入れとNLA1組織との相互接続

WIDEプロジェクトより取得したアドレス空間をその体系に基づき、他の組織に割り当てを

² 3ffe:508::/32のアドレス空間

³ Next Level Aggregator: TLAに続く第二レベルの集約識別子でISP間の経路制御に使用される

WIDEではこれを二つに分け、NLA1 NLA2としている

⁴ 3ffe:1cfa::/32のアドレス空間

NLA1 組織	address
NTT	3ffe:503::/32
IRI	3ffe:504::/32
IMASY	3ffe:505::/32
DML	3ffe:506::/32
DTI	3ffe:50a::/32
NLA2 組織	address
ISL	3ffe:508:1::/48
System-COBO	3ffe:508:2::/48
Honnet	3ffe:508:3::/48
Asaka net	3ffe:508:4::/48
富山大学	3ffe:508:5::/48
NORTH	3ffe:508:6::/48
YACC	3ffe:508:7::/48
山梨県立女子短期大学	3ffe:508:8::/48

表 2: 相互接続実験している組織一覧

3.3 経路情報交換とアプリケーション

以上のようにして構築した INTEC-6bone において、経路情報交換や IPv6 アプリケーションサービスの実験を行っている。ネットワーク構築当初は RIPng⁵ により経路情報の交換を行っていた。現在、WIDE プロジェクトと Merit Network、DML(Digital Magic Lab.) の 3 組織とは BGP4+⁶ の利用を開始した。RIPng による経路制御には、IPv6 パッケージに含まれる hrout6d(KAME)と ndpd-router(INRIA)をそれぞれ使用し、BGP4+による経路制御には我々が開発したルーティングエンジン RADIX[6]を用いて動的な経路制御を実現している。

IPv6 アプリケーションサービスとしては、電子メール、WWW、NetNews のサービス実験を実施している。IPv4/IPv6 のデュアルスタックなホスト上で運用することで、IPv4-IPv6 間のシームレスな通信を実現している。さらに、NetNews サービスでは、NORTH による IPsec を用いた Secure NetNews 実験 [7]に参加し、IPv6 with IPsec の検証を行っている。

4 IPv6 ネットワーク運用上の問題点と課題

この章では、現在運用している INTEC-6bone における問題点と今後の課題についてまとめる。

4.1 DNS の複雑化

ホスト名から IP アドレスを解決する正引きにおいては、AAAA レコードが IPv6 のために定義されている。これにより、IPv4 と IPv6 を共存させる環境が容易に設定できる。我々は各 IPv6 ホストに両方の IP アドレスを設定しているが、ドメイン的には IPv4 と IPv6 とを切り分け、IPv6 用に "v6.intec.co.jp" というドメインを

⁵ Routing Information Protocol next generation: IPv4 の経路制御プロトコルの IPv6 拡張版

⁶ Border Gateway Protocol 4+: IPv6 における自立システム間の経路情報交換プロトコル

用意した。すなわち、v6.intec.co.jp ドメインへの通信は IPv6 でしか行えないようにしている。

また、IP アドレスからホスト名を取得する逆引きでは、IPv4 の場合の "in-addr.arpa." の代わりに "ip6.int." を付加して定義するため、同一データベースファイルとして扱うことはできない。さらに、正引きの場合と異なり 4 ビット単位で区切って表記するため、管理者の負担や設定上のミスが IPv4 のそれと比較し増大している。

この管理を簡易化する仕組みは IPv6 ネットワーク管理において必要不可欠なことであると思われる。

4.2 プラグ&プレイ機能の問題

IPv6 のアドレスは OSI モデル第 2 層の MAC アドレスを用いて動的に設定される。そのため、ホストの NIC(Network Interface Card) が変更されるとそのホストの IP アドレスが変更されてしまう。また、IPv4 トンネルのための仮想インターフェイスには、最初に OS に認識された NIC の MAC アドレスが利用されるため (KAME)、IPv6 アドレスを埋め込んだ設定を行っているときに変更作業が発生する。

このような特性を考慮したアプリケーションの開発が今後必要であり、アプリケーション内で IPv6 アドレスによるホスト指定を行う場合には注意が必要となる。

4.3 レジストリシステム

下位組織の受け入れのためには、その組織の構成情報等を作成する必要がある。これは、6bone-JP の規則に定義されている。現在は 8 組織と少ないため手動で変更作業を行っているが、今後、管理の簡易化や情報公開のためにレジストリシステムを構築していく必要があると思われる。その際には上位組織 WIDE プロジェクトなどによるシステムとの連携も考えねばならない。

このレジストリ情報の公開を近日中に行う予定である。

4.4 IPv4 ネットワークとの相互接続

IPv4 ホストと IPv6 ホストとの通信を行うためには、間にデュアルスタックのホストが必要になる。現在の IPv6 対応の実装はデュアルスタックのものが一般的であるため問題ないが、今後 IPv6 のみのネットワークが必ず出現してくる。その場合に備え、プロトコル変換サーバ等の導入、設定を行う必要がある。

また、Proxy サーバや Socks[8] を利用したアプリケーションゲートウェイの導入により、多くのプロトコルへの対応を行う予定である。

4.5 IPsec の問題

IPsec を設定する際には、両端のホストや組織毎にそれぞれ電子メール等で協議を行い、暗号方式等を決定した。この方法では、初期の通信が保護されておらず、セキュリティ的に十分とは言えない。また、現在は IPsec のトランスポートモードの利用のみで、トンネルモードは利用していない。

WIDE プロジェクトによる KAME スタックでは、IKE(The Internet Key Exchange) を用いた鍵管理デーモンが開発されており、この利用が今後必要である。

5 IPv6 マルチホーム環境下での経路制御

前節までに述べたように、IPv6 ネットワークの運用を行っているが、マルチホーム環境を生かした経路制御は現在実現できていない。本節では、マルチホーム環境下での経路制御手法について述べる。

5.1 IPv6 でのマルチホーム環境の重要性

IPv6 では一つのインターフェイスに対して複数の IP アドレスが標準で設定される。また、IPv6 では IPv4 と比較にならないほどの IP アドレスを利用可能であるため、容易に複数のアド

レス空間を使用できる。このため、IPv6 ネットワークではマルチホーム形態を取る組織が現在よりも多くなると考えられ、マルチホーム環境下での経路制御が重要になってくる。

また、IPv6 は経路集約型のアドレス構造を持っており、上位にアナウンスできる経路情報は委譲されたアドレスのみが基本原則となっている。このため、現在の経路制御技術では解決できない問題が生じる。

5.2 マルチホーム環境とその問題点

図3のように組織 X が ISP A、ISP B の二つのプロバイダの接続を行っており、それぞれのプロバイダから Xa と Xb のアドレスを割り当てられているとする。外部のホスト Z から Xa のアドレス宛に通信があった場合、送信パケットの経路は ISP A 経由となる。ここで、ISP B 側から Z の経路情報を受け取っていた場合、返信パケットは ISP B 経由で配送されてしまう。

近年、「なりすまし」等に対するセキュリティ上の理由から、他組織の送信元 IP アドレスのパケットを通過禁止にするケースが増えており、上記のような通信ができない場合がある。これは宛先 IP アドレスによる経路制御では制御が困難となっている。

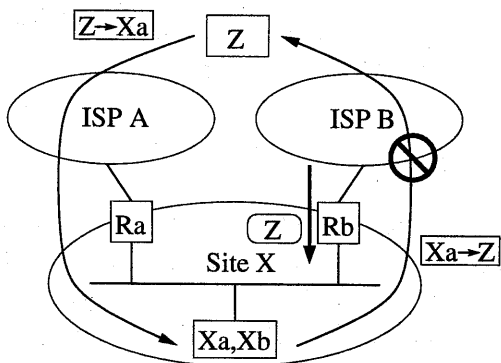


図3: マルチホーム環境でのパケットの流れ

5.3 IPv6 マルチホームネットワークでの経路制御

前述した問題を解決するには、次の送信元 IP アドレスによる経路制御を考えなければならない。

現在の経路制御では、宛先 IP アドレスにより次の経路を決定しているが、送信元 IP アドレスによる経路制御では、送信元の IP アドレスにより次のルータを決定する。実装方法としては、経路表を送信元 IP アドレス (グループ) 毎に複数保持し、パケット転送時に送信元 IP アドレスに関する経路表の選択し、宛先 IP アドレスによる次の経路の選択を行うものが考えられている [9]。

また、前述したように、IPv6 では一つのインターフェイスへの複数のアドレス設定がサポートされている。そのため、送信元 IP アドレスを送信時に選択する必要がある。IPv6 のアドレスは経路集約型の構造を持っているため、プレフィックス番号が同じものほど経路的にも近くなる。したがって、宛先 IP アドレスに最長一致 (longest match) する送信元 IP アドレスが選ばれるべきである。さらに、最長一致が十分長くなければ経路的に近いとはいえないため、その場合の発信元アドレスは任意に選択できることが良い。これにより、負荷分散の仕組みを構築可能になる。

当研究所において、現在 FreeBSD と WIDE プロジェクトの KAME を用いた実装を計画しており、その評価を行う予定である。

6 まとめ

本稿では、IPv6 を実装したネットワーク運用実験の報告を行い、その問題点を提示した。また、マルチホーム環境における経路制御の手法について触れ、その優位性と IPv6 における必要性を示した。

IPv6 は仕様がほぼ固まり、正式なアドレスの利用が始まればその普及が加速し、マルチホーム環境を構築する組織も増えてくると思われる。

今後、本稿で述べたマルチホーム環境におけ

る経路制御手法の実装を行い、実運用にて検証していきたいと考えている。

謝辞:

本研究にあたって、相互接続実験に参加・協力して頂いたみなさまに感謝致します。

参考文献

- [1] Intec 6bone Home Page,
<http://www.v6.intec.co.jp/>
- [2] S. Deering, R. Hinden, Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, RFC2460, 1998.
- [3] IPng Implementations,
[http://playground.sun.com/ipng/ipng-
implementations.html](http://playground.sun.com/ipng/ipng-implementations.html)
- [4] 6bone Home Page,
<http://www.6bone.net/>
- [5] 6bone-JP Home Page,
<http://www.v6.sfc.wide.ad.jp/6bone-jp/>
- [6] RADIX - a new route server implementation,
<http://www.noc.intec.co.jp/~ikuo/radix/>
- [7] NORTH 6bone,
<http://www.north.ad.jp/6bone/>
- [8] 陣崎明, 小林伸治, SOCKS64:SOCKS プロトコルを用いた IPv4-IPv6 相互接続ゲートウェイ,
<http://www.v6.wide.ad.jp/Papers/socks64/>
- [9] 鍛冶武志, 他, ソース IP アドレスを考慮した経路制御システムの提案, 情報処理学会 DSM 研究会報告 8-2, 1997.