

IPv6 対応 INS ルータを用いた小規模ネットワークの構築

– WIDE プロジェクトワークショップにおける運用実験報告 –

白砂 哲[†] 野田 明生[†] 木本 雅彦[†] 木村 俊洋[‡] 大野 浩之^{*}

[†] 東京工業大学大学院 情報理工学研究科

[‡] ヤマハ株式会社 システム機器事業部通信機器開発室

^{*} 郵政省 通信総合研究所 通信システム部

概要

家庭内 LAN やサテライトオフィスに代表される小規模組織ネットワークは IPv4 の抱える、アドレスの枯渇や経路表増大などの問題のため、確保できる IP アドレス数が少ない、柔軟にネットワークを構成できないという問題を持つ。これら問題を抜本的に改善するために、著者らは巨大なアドレス空間をもつ IPv6 を用いた小規模組織ネットワークの構築を提案する。まず、小規模組織ネットワーク内で DNS、Mail、WWW など各種サービスを IPv6 に対応させた。次に、ユーザが利用する端末を IPv4 と IPv6 のデュアルスタックとし、IPv4 から IPv6 への移行を促進する環境を整えた。実際に著者らの研究室ネットワークに導入した結果、これらのサービスを支障なく利用できることを確認した。そして、INS ルータに IPv6 を実装し、小規模組織が IPv6 を利用して容易に对外接続できる環境を整えた。本論文では小規模組織で IPv6 ネットワークを構築するための技術や運用技法について述べる。また、WIDE プロジェクトワークショップで行なった IPv6 対応 INS ルータを用いた運用実験について述べる。

Construction of small IPv6 network using INS router

– A report of experimental operation at WIDE Project workshop –

Satoshi SHIRASUNA[†] Akio NODA[†] Masahiko KIMOTO[†] Toshihiro KIMURA[‡] Hiroyuki OHNO^{*}

[†] Graduateschool of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology.

[‡] Communication Devices Department, Electronic Systems Division, Yamaha Corporation

^{*} Communications Research Laboratory, Ministry of Posts and Telecommunications.

Abstract

IPv4 which is widely used in the current Internet has the problems such as the shortage of the address space, the explosions of routing tables etcetera. To solve these problems, the new Internet Protocol (IPv6) has been specified at IETF. Some experiments on large networks were launched. In this paper, we describe the importance of IPv6 network for small organization and construct experimental IPv6 small network. Furthermore we propose INS router as a key element for IPv6 small network. We experimentally implemented the IPv6 INS router and evaluate it at the WIDE Project workshop.

1 はじめに

現在インターネットは、大企業や研究機関などの大規模な組織だけではなく、個人利用者や、営業所程度の小規模な組織が数多く接続している。個人利用者であっても、家庭内に LAN を敷設して利用する場合が増えており、数台から十数台の計算機から構成される小規模のネットワークの構築、運用手法に関心が集まっている。

現在インターネットで利用されている IP バージョン 4 プロトコル [1] には、アドレス空間の不足などの問題が既に指摘されている。実際、前述の小規模ネットワークが常時接続型プロバイダを利用する場合、組織内のすべての計算機を収容するために十分なアドレスが割

り当てられることはほとんどない。この場合、組織内の独立したアドレス空間を对外接続箇所ではアドレス変換 (NAT) したり、アプリケーションゲートウェイを用いて内外を接続するといった手法が用いられる。

IPv4 が抱える問題を根本から解決するために、現在 IETF で IPv6 の仕様策定がすすめられている [2]。IPv6 は既に世界規模のバックボーンが完成し、運用段階に入っている。しかし現在の研究の主流は基幹ネットワークの構築に焦点が当てられている。著者らは IPv6 の利点は末端の小規模ネットワークが抱える問題の解決に有効であるという見地から、小規模組織のための IPv6 ネットワークの構築について議論する。

本稿では、小規模組織に適した IPv6 ネットワークの

構築手法を検討し、実際に著者らの研究室ネットワークに適用した結果について述べる。また、小規模向けの対外接続手段として適しているという理由から、INS ルータへ IPv6 プロトコルスタックを実装した。その概要について述べる。

2 IPv4 の問題点と小規模組織における IPv6 への移行

2.1 IPv4 の問題点と IPv6 の特徴

現在インターネットで用いられている IPv4 プロトコルには、ネットワークの複雑化に伴う経路表の増大とホスト数の増加に伴う IP アドレスの不足という二点が問題になっている。これに対して CIDR の導入や NAT を用いたプライベートアドレス空間の利用といった対策が取られているが、特に後者については根本的な対策が求められていた。

現在 IETF¹ において、次世代インターネットプロトコルである IPv6 の仕様が定まりつつある。IPv6 は、IPv4 の欠点を補い IPv4 に置き換わるプロトコルであり、以下に挙げる特徴がある。

広大なアドレス空間 IP アドレス枯渇の問題が解決するため、アドレス長が 32bit から 128bit に拡張された。

ヘッダの簡略化 IPv4 で使用頻度の少なかったヘッダフィールドを削り、ヘッダを簡略化した。また従来の IP オプションを一般化し、拡張ヘッダとして実現した。これらは、中継するルータの負担が軽減するように設計されている。

フローラベルの導入 フローラベルというフィールドを設け、上位層からネットワーク層のデータに関与できる枠組を提供した。これにより、リアルタイム通信が必要なマルチメディアコンテンツに対応できる。

セキュリティ ネットワーク層での暗号化や認証を必須機能として挙げている。

アドレスアーキテクチャ アドレスに構造を持たせることにより、経路情報を集約した。また、アドレスの自動設定やエニーキャストなどの機能を提供した。

2.2 小規模組織における IPv6 導入の利点

個人利用者や営業所程度の小規模な組織がインターネットに接続する場合、一般的には低速専用線や INS 回線、アナログ回線を用いたダイヤルアップ接続が、現在国内では用いられる。IPv4 アドレスの不足から、クラス C アドレスの割当を受けることは難しくなっている。そのため、家庭内でネットワークを運用する場合は、プロバイダから 1 つのグローバルアドレスを取得し、NAT を用いてネットワークを運用するケースが多い。また、アドレスの不足は途上国では特に深刻な問題となっており、国内のバックボーンでプライベートアドレスを用いている国もある。

しかし、外部からアクセスされるサーバについては、別扱いするなどの運用上の技術が必要になる。また、NAT はあくまで飽和期を暫定的に救済する技術でしかなく、元来のインターネットプロトコルの特徴である、一意にアドレス付けされた端末間の通信機構という枠組を破壊しているという見方もできる。

IPv6 によって得られる広大なアドレス空間は、途上国や小規模組織などのアドレスの枯渇に苦しむ事例に対しても必要十分なアドレス数を提供する。これにより、本来のインターネットの通信アーキテクチャが改めて浸透すると考えられる。

小規模組織においては、接続先のプロバイダを変更することが多い。IPv4 では、そのたびにすべてのホストの IP アドレスを変更してきた。しかし、IPv6 ではルータの IP アドレスを設定すればホストの IP アドレスは自動的に設定されるので、管理の負担が軽減される。また、接続先のプロバイダが 2 箇所ある場合など、1 つのホストが 2 つの IP アドレスを同時に持つので、柔軟な対応ができる。

3 小規模組織への IPv6 ネットワークの導入

3.1 IPv4 と共存するための技術

現在、インターネット上では大半のネットワークが IPv4 によって構築されているので、LAN に IPv6 を導入するためには IPv4 と IPv6 の両方に対応したネットワークを構築する必要がある。この場合、既に IPv4 のネットワークで提供しているさまざまなサービスを停止することなく IPv6 に移行することが求められる。また、必ずしも提供しているサービスが IPv6 に対応していないことが考えられるため、移行の際には IPv6 非対応サービスへの対応方法を考える必要がある。

¹ The Internet Engineering Task Force.
<http://www.ietf.org>

以降では IPv6 と IPv4 を共存させる技術について、端末の対応とネットワークの対応という二つの視点から述べる。

端末の対応

端末は IPv4 と IPv6 の二つのプロトコルを併用できる、デュアルスタック対応でなければならない。デュアルスタック対応のホストは、IPv6 を用いて通信できるホストとは IPv6 で、IPv4 のみ対応しているホストとは IPv4 を用いて通信する。その際、利用するプロトコルの変更は利用者には意識させずに行われなければならない。

アドレス長が変化したことにより、OS が提供するネットワーク API にも変化が加えられる [3]。このためアプリケーション側での変更も必要になる。すべてのアプリケーションが IPv6 に対応するのが望ましいが、アプリケーションの数は膨大であり、中には既に保守されていないものもある。従って、IPv4 のアプリケーションを IPv6 用に変換する機構が必要である。この機構としては後述するトランスレータのように組織内のホストをまとめて変換する方法と、ホスト内で変換する方法とある。

ネットワークの対応

IPv6 への移行の初期には、IPv4 のみを中継できるネットワーク (IPv4 ネットワーク) を介さなければ IPv6 での通信はできないことが予想される。IPv6 のパケットを IPv4 ネットワーク内で転送するためにはトンネリングを用いる。トンネリングでは、IPv6 のパケットを IPv4 のパケット内に格納し (カプセル化)、その IPv4 のパケットを IPv4 ネットワーク内で転送する。そして、IPv6 のみを中継できるネットワーク (IPv6 ネットワーク) に到着すると、IPv4 のパケットから IPv6 のパケットを取り出す。逆に、移行の終期には、IPv6 のネットワークが増えてくるので、IPv4 ネットワーク同士が通信するためには、IPv4 のパケットを IPv6 のパケットにカプセル化し、IPv6 ネットワーク内を通す。

すべての IPv4 のホストを IPv6 に対応させるのには、労力と時間がかかる。また、将来 IPv6 が十分に普及した状態であっても、管理者がいないなどの理由で IPv6 に対応しないホストも存在すると予想される。アプリケーションによっては前述のように IPv6 への対応が遅れるものがある可能性もある。この場合、トランスレータを用い、IPv4 のパケットを IPv6 のパケットに変換する。トランスレータにより、IPv4 のみに対応したホストでも IPv6 のみに対応したホストと通信で

きる。

3.2 小規模組織への IPv6 の導入

家庭や SOHO などの小規模組織におけるネットワークに IPv6 を導入する場合は、対外接続の方法を検討する必要がある。

多くの場合、外部ネットワークとの接続には INS 回線やアナログ回線を用いたダイヤルアップ接続や、常時接続サービスを利用している。これらの接続方式では、通信速度は高速ではないので、高性能のルータは必要ない。そこで、対外接続機器には PC ルータか低価格の INS ルータが利用されることが多い。

PC ルータで IPv6 の対外接続性を確保する場合は、PC UNIX 等に IPv6 のプロトコルスタックを導入する場合が多い。この方法は、管理者にある程度の技能が必要とされる。

価格と保守生の高さの利点から、INS ルータが採用される場合も多い。IPv6 に対応した INS ルータ専用機が提供されていれば、管理者の負担軽減も期待できる。次節では INS ルータを用いて IPv6 での対外接続を実現する手法について論じる。

4 IPv6 対応 INS ルータ

4.1 INS ブリッジによる対外接続

INS 回線を用いた IPv6 接続を行う場合、INS ブリッジ機能を用いる方法と IPv6 対応 INS ルータを用いる方法とがある。

著者らが IPv6 対外接続を始めた 1997 年当初は、IPv6 に対応した INS ルータが市販されていなかったため、INS ブリッジを用いる方法を採用した。この場合のネットワーク構成は図 1 のようになる。

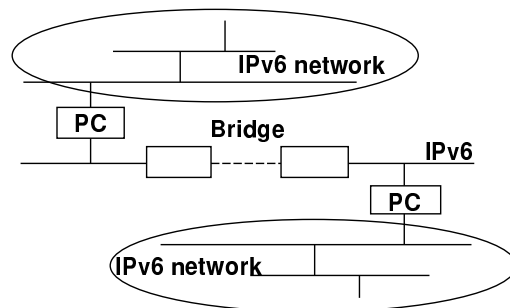


図 1: ブリッジを用いた IPv6 ネットワークの接続

しかし、実際に運用してみた結果、ブリッジを用いた接続方式における以下の欠点が明らかになった。

- 対向組織ごとに独立した PC ルータとセグメントを必要とする。
- ブロードキャストパケットにより、無駄な発呼が生じる。
- 不要なパケットが INS 網に流れるため、帯域が圧迫される。
- INSブリッジを介しているセグメントでは、ネットワークアドレスの設定が静的である。そのためネットワークの構造が変化した場合、ネットワークポロジに合わせて手作業で設定を変更する必要がある。

4.2 INS ルータによる対外接続

INSブリッジによる対外接続を運用した経験から、上記の問題を解決するためには IPv6 に対応した INS ルータが必要であるという結論を得られた。この場合、ネットワーク接続は図 2 のように変更できる。

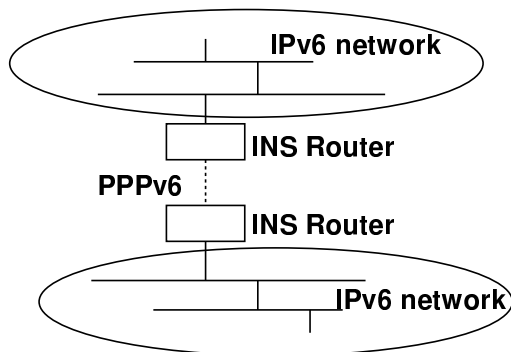


図 2: IPv6 対応 INS ルータによるネットワーク接続

INS ルータを用いた対外接続によって、以下の利点を得られる。

- 外部ネットワークと接続する際、IPv6 対応の INS ルータ以外に余分な機材やネットワーク資源を必要としない。
- ネットワークアドレスを動的に取得できるため、一つのルータで複数の組織と接続できる。

また、特に低価格 INS ルータを対象とすると、以下の効果が期待できる。

- 低価格で容易に IPv6 が導入できるので、小規模組織や一般家庭においても IPv6 に移行しやすくなる。
- 小規模組織や一般家庭のネットワークが IPv6 に対応するので、プロバイダの IPv6 対応を促進し、インターネットの IPv6 化を早める。

- INS ルータに IPv4、IPv6 のトランスレータを実装することにより、IPv4 のネットワークと IPv6 ネットワークの透過性が向上する。

4.3 IPv6 対応 INS ルータの開発

これまでに述べた内容をうけて、著者らは IPv6 対応 INS ルータの開発を行っている。これは東京工業大学大学院 情報理工学研究科 大野研究室とヤマハ株式会社との共同研究としてすすめている。同社が開発している INS ルータを基にして、IPv6 プロトコルスタックを実装した [4]。このルータは組み込み向けリアルタイム OS を採用している。現在の実装では、IPv6 に関する処理を独立したタスクに割り当てた。これにより、IPv6 パケットの受渡しによるタスク間通信が生じ効率の低下が予測された。しかし、新規にプロトコルスタックを追加する開発作業自体の効率化を優先させ、この方針をとった。結果として、タスクを独立させる事により既存のコードにとらわれずに IPv6 処理部を独立して実装できた。

5 小規模組織での IPv6 ネットワーク構築

5.1 ネットワークの構築

小規模組織のネットワークが IPv6 へ移行する例として、大野研究室ネットワークの事例を示す。大野研究室では、ネットワーク運用に関して特に小規模組織用ネットワークに着目した研究を行なって来た [5]。ネットワークを構築する際、その組織や接続先の組織の運用ポリシーを守る必要がある。東京工業大学キャンパス情報ネットワークの運用ポリシーとして、IPv4 以外のパケットを東京工業大学の基幹ネットワークに流せない。そこで、IPv6 用の対外接続は別途 INS 回線を用いることにした。接続を開始した 1997 年当初は INS ブリッジを用いて他組織に接続し、その組織の IPv6 ネットワークを中継して IPv6 のバックボーンである 6BONE² に接続した。

大野研究室の IPv6 ネットワークは、既存の IPv4 ネットワークを徐々に IPv6 に対応させ構築した。IPv6 の機能である Router Advertisement を用い、アドレスを動的に割り振っている。

5.2 IPv4 から IPv6 への移行

大野研究室のネットワークは、IPv4 のネットワークとして運用して来た。そこでデュアルスタック戦術を

² 6BONE. <http://www.6bone.net>

用い、IPv6 のネットワークと IPv4 のネットワークが共存する形で構築した。

各ホストをデュアルスタックとし IPv6 に対応させ、各種サービスは、IPv4 対応のものを、IPv4 と IPv6 両方に対応させた。

5.3 各ホストの IPv6 対応

大野研究室では、統一した計算機プラットフォームとして PICKLES 端末 [6] を利用している。PICKLES 端末は PICKLES プロジェクトの一環として大野研究室が開発しているプラットフォームであり、現状では PC UNIX の一種である BSD/OS を基盤としている。

PICKLES の IPv6 対応には KAME³ を用いた。

PICKLES を用いて、大野研内の各マシンを IPv4 と IPv6 のデュアルスタックに対応させた。

5.4 各種サービスの IPv6 対応

IPv4 で提供されているサービスを IPv6 にも対応させた。各サービスの対応方法を以下に述べる。

DNS IPv6 に対応した bind8 を用いて運用する。bind8 は、IPv6 アドレス用のレコードである AAAA レコードを扱える。

Mail MTA は IPv6 に対応した qmail を導入した。

WWW IPv6 に対応した apache を導入した。apache の機能を用いてプロキシサーバとしても機能させた。

5.5 アプリケーションの対応

IPv4 で可能であったことを IPv6 でも可能にすることを目標に対応を行なった。本節ではその一部を紹介する。

基本コマンド telnet, ftp 等のコマンドラインでの利用を前提とした基本的なクライアントは、KAME に含まれる。

管理コマンド ping, traceroute 等の基本的なネットワーク管理コマンドは、KAME に含まれる。

メールの受信 PICKLES では、IPv6 に対応した MUA である IM を用いてメールサーバからメールを取得している。

Web ブラウザ IPv6 に対応した Lynx を導入した。また、IPv6 に対応したプロキシサーバを導入したため、IPv6 非対応のブラウザを用いても IPv6 で通信を行える。

5.6 セキュリティ

大野研究室では、すでに IPv4 でも利用者が外部から内部ネットワークのホストを利用する際には ssh の利用を前提としていた。IPv6 でもこれを踏襲する。ファイアウォールの実現には FreeBSD 用の ip6fw を BSD/OS に対応させたものを利用した。

6 実験と評価

本章では、IPv6 ネットワーク運用実験について述べ、その評価を行う。

6.1 大野研究室 IPv6 ネットワーク運用実験

IPv6 を研究室内に普及させ IPv6 ネットワーク運用実験を行うため、IPv6 のみを用いる日を設けた。これを「IPv6 デー」と称した。

大野研究室ネットワークには、外部へサービスを提供するバリアセグメントが存在する。IPv6 デーでは、IPv4 の利用を禁止し、IPv6 を使ってどの程度日常業務を行えるかを調べるため、バリアセグメントと内部ネットワーク間のルータで IPv4 の経路制御を停止した。バリアセグメント上では IPv4 と IPv6 の両方が使えるが、ネットワークの内部からバリアセグメントまでは、IPv6 しか使用することができない。

IPv6 デーで提供したサービスと、運用実験の結果について以下で述べる。

ネームサービス 運用実験のためまずセカンダリサーバのみに導入した。運用結果は良好であるので、マスターサーバも IPv6 に対応した bind8 に置き換える予定である。

メール環境 メール送信は、バリアセグメント上にあるメールの中継サーバにメールを中継させて行った。MUA である IM と中継サーバである qmail は IPv6 に対応しているため、その間の通信は IPv6 を用いて行える。これにより、外部の IPv4 のメールサーバと IPv6 のメールサーバの両方にメールを送信できた。

メールの受信は、バリアセグメント上にあるメールサーバから POP を用いて行った。MUA の IM が IPv6 に対応しているため通信は IPv6 を用いて行えた。

Web 環境 バリアセグメント上にある IPv6 に対応したプロキシサーバを用いて行った。プロキシサーバまでを SSH を用いてトンネリングすることにより、その間の通信を IPv6 で行えた。これにより外部の IPv4 のサーバと IPv6 のサーバの両方

³ KAME Project. <http://www.kame.net>

と通信できた。ネットワーク内部の WWW サーバは IPv6 に対応しているため、IPv6 を用いて閲覧できた。

IPv6 のみを用いて支障無く作業を継続できた。また、今回の実験で研究室内の IPv6 に対する知識が深まり、IPv6 の利用が促進された。

6.2 ワークショップでの運用実験

1999 年 9 月 6 日から 9 日にかけて行われた WIDE プロジェクト⁴ のワークショップにおいて、著者らが開発した IPv6 対応の INS ルータによるネットワーク対外接続環境を提供した。200 名以上の研究者が利用するネットワークの対外接続回線での運用実験により、性能および安定性の評価を行った。

この実験では、INS 回線を用いて 128kbps で実験会場を外部のネットワークに接続した。INS 対外接続での経路制御は、静的経路のみを用いた。当初は IPv6 のうち一部のプロトコルのみを INS 経由にした運用体制を予定していたが、INS ルータの安定度が十分であったため、IPv6 の通信トラフィックはほぼ期間中すべて INS 経由でやりとりされた。

3 日間連続して運用した間に異常停止が 2 回発生した。これらは、回線の接続と切断が頻繁に行なわれた時に起こっていると原因は推測できているが、追って検証する必要がある。実験最終日には連続 24 時間以上運用が行なえており、安定性の点では当初の目的を達成できた。

7 考察と今後の課題

7.1 ネットワーク運用技法の考察と課題

今回の実験の結果によって、多くの日常業務を IPv6 のみに依存して行えることが証明できた。ソースリストが公開されているプログラムであれば、IPv6 対応の改変は容易である。しかしバイナリ配布されているアプリケーションや、IPv6 に対応していない OS 上のアプリケーションを利用したいという要求はある。そこで、現在トランスレータの導入を検討している。すでに、KAME プロジェクトで開発中の faith の導入実験を終了しており、今後は定常的な運用を目指す。

また、一般的に長くなりがちな IPv6 アドレスの表記を直接入力するのは困難であることから、DNS の活用が必須になる。とくに、自動割り当てされた IPv6 アドレスの DNS への動的更新機能が必要であると考えられる。

7.2 INS ルータの考察

実験的な IPv6 サービスの提供の開始を表明しているインターネットプロバイダが既に登場している。一般の利用者が IPv6 バックボーンに接続できる環境は、整いつつあるといえる。現在のところ国内では家庭等での利用目的では INS 接続がもっとも適当であると考えられる。

また、INS ブリッジを用いた手法では、接続先ごとに余計なセグメントを必要としていた点が解消された。余計な発呼を防止するためのするためのパケットフィルタの設定も必要なくなったため、初期設定作業の手間も軽減できた。

8 おわりに

近年の急激なインターネットの発展にともないネットワーク形態が多様化した。そのためそれぞれのネットワーク形態に適したさまざまなネットワークの構築技法が必要となる。本研究では、小規模組織に適した IPv6 ネットワークの構築に着目し、実際に、IPv6 ネットワークを構築し評価を行なった。また、IPv6 ネットワークの外部接続の形態を考え、INS ルータを IPv6 に対応させ、このルータがインターネットの IPv6 化に果たす役割について述べた。このルータは低価格であり、設定が容易なため、インターネットが IPv6 に移行するのに重要な役割を果たすと考える。

参考文献

- [1] Jon Postel. Internet Protocol. Request for Comment: 791, Internet Engineering Task Force, September 1981.
- [2] Stephen E. Deering and Robert M. Hinden. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification. Request for Comment: 2460, Internet Engineering Task Force, December 1998.
- [3] Jim Bound Robert E. Gilligan, Susan Thomson and W. Richard Stevens. Basic Socket Interface Extensions for IPv6. Request for Comment: 2133, Internet Engineering Task Force, April 1997.
- [4] 白砂哲, 木本雅彦, 大野浩之, 木村俊洋. 小規模 IPv6 ネットワーク用 INS ルータの実装. 情報処理学会第 58 回 (平成 11 年前期) 全国大会論文集, March 1999.
- [5] 上田仁. 多様な利用形態に対応した小規模組織用ネットワークに関する研究. 修士論文, 東京工業大学大学院情報理工学研究科, February 1999.
- [6] 木本雅彦, 大野浩之. 自律型ネットワーク端末 (PICKLES) を用いたシステム運用技法. 分散システム運用技術 シンポジウム'98 論文集, February 1998.

⁴ WIDE Project. <http://www.wide.ad.jp>