3J-2

スケールフリーネットワーク(SFN)方式を用いた IPv6 トランスレータの実装

植松 洋知† 廣津 登志夫‡

†法政大学 情報科学部

1. まえがき

ネットワークの拡大にともなう IPv4 アドレスの枯渇が近付いており、IPv6 環境へ移行する必要性が高まっている。IPv6 への移行期には、IPv4 と IPv6 の両ノードが混在するため互換性のない両プロトコルを中継する必要がある。そこで本研究では、IP アドレス拡張技術であるスケールフリーネットワーク(SFN)方式[1][2]を用いた、SFNv6 トランスレータの設計と実装を行う。

SFN 方式とは、Realm というネットワークの構成単位を用いて再帰的に拡張できるネットワークモデルである。Realm 間は Realm Gateway(RG)により接続され、RG が仮想アドレス空間への射影やパケット変換の機能を提供し、通信を行う。SFN 方式は、RG を実装することで実現できるため、従来のネットワーク機器を変更せずに、ネットワークを拡張できる。SFNv6 トランスレータでは、RG に、IPv4,IPv6 を変換するトランスレーション機能を実装し、IPv4,IPv6 プロトコルの変換を行う。

2. Scale-Free Network 方式

SFN 方式は、Realm と呼ばれるネットワーク構成単位を用い、Realm を RG により連結することで実現される。SFN 方式は、以下のような特徴を持つ。

・再帰的なネットワークの拡張
Realm に接続した RG は、Realm 内では単一のホストとして扱われる。そして、Realm に RG を接続し再帰的にネットワークを拡張することができる。SFN では、インターネットがトップレベルの Realm となる。

・拡張アドレスを用いたソースルーティング
SFN 方式では、RG が Realm アドレス、Realm 内のホストが SFN 実アドレスをそれぞれ持つ。Realm アドレスは RG 自身のアドレスとして、SFN 実アドレスはトップレベルの Realm から自身の所属するレルムまでの Realm アドレスの連接に RG 自身のアドレスを結合したものとして表現される。通信の際、通信元ノードの所属する RG で、ホスト自身のアドレスを IP ヘッダに、Realm アドレスの連接を拡張ヘッダに格納しパケットを送信する。パケットを中継する RG で、拡張ヘッダを参照しルーティングを行う。

2.3 多重仮想アドレス空間

SFN 方式では、RG でノードごとの仮想アドレス空間が用意される。ノードの Full Qualified Domain Name に対する DNS のクエリを RG で中継し、通信先のアドレスを Realm 内で未使用の仮想アドレスにマッピングする。ノードがパケットを送信すると RG が仮想アドレステーブルを参照し、宛先アドレスを書き換え、Realm 外のネットワークに流す。

3. IPv4,IPv6 共存技術

IPv4,IPv6 のプロトコル間では互換性がないため相互に通信を行うことができない。そのため、IPv4,IPv6 が混在する移行期に通信を行うには IPv4/IPv6 の共存技術が必要になる。IPv4 と IPv6 を共存させる技術には、主にトンネリング,デュアルスタック,トランスレータがある。

トンネリングでは、プロトコルの境界でパケットをカプセル化、解除を行い、異なる IP プロトコルのネットワークを超えて通信を行う。異なるプロトコルの両端でカプセル化、解除に対応する必要があるため、IPv6 ネットワークの固定的な接続などの場合には有用である。デュアルスタックでは、IPv4 と IPv6 のそれぞれのプロトコルスタックを使って通信を行う。デュアルスタックでは異なるプロトコル間を直接通信することはできない。また、IPv6 の実装が提供されないようなレガシーな機器に対しては対応できない。トランスレータでは、プロトコルの境界で IPv4,IPv6 のパケットを相互に変換することで通信を行う。トランスレータを、プロトコ

Implementation the translator of IPv6 with Scale-Free Network Architecture
† Hirokazu Uematsu (Hosei University)
‡ Toshio Hirotsu (Hosei University)

ルの境界に実装する必要があるが、ホストに変更を加えずに異なるプロトコル間を直接通信することができる。

4. 設計と実装

本研究では、トランスレータに SFN 方式を適用し SFNv6 トランスレータを設計する。SFN 方式では、トランスレータと同様にルーター上に RG を実装することで、Realm 内のノードに変更をえることなく SFN 方式の持つ拡張性や仮想アドレス空間などの特徴を持つことができる。SFNv6 トランスレータを実現するために、ノードのアドレスを仮想アドレス空間に射影する IPv6 仮想アドレス空間、および RG による IPv4/IPv6 パケット変換の機能を設計する。

4.1. IPv6 仮想アドレス空間

IPv4 ノードから IPv6 ノードへパケットを送信する場合、RG が DNS クエリを中継し、通信先の IPv6 アドレスを IPv4 仮想アドレス空間に射影する。射影の際、通信元 IPv4 ノードが宛先アドレスに指定可能なすべてのアドレスが仮想アドレス空間となる。IPv6 ノードから IPv4 ノードへ通信を行う際は、通信先の IPv4 アドレスは RG に割り当てられた IPv6 変換用 prefix により拡張され、IPv6 仮想アドレス空間に射影される。例えば、IPv4 ノードの 192.168.0.2 と IPv6 ノードの 2001:db8:10::2 が通信を行う際、IPv4 アドレス空間側からは、2001:db8:10::2 を仮想アドレスに射影したアドレス(例えば 192.168.0.5)と通信するように、IPv6 アドレス空間側からは、192.168.0.2 を RG に割り当てられた IPv6 プレフィクスで拡張した 2001:db8:11::C0A8:0002 と通信するように見える。

4.2. RG による IPv4/IPv6 パケット変換

プロトコルの境界 RG では、IPv4/IPv6 のヘッダの書き換えを行う。TTL と Hop Limit フィールドなどヘッダ内で共通するフィールドはコピーし、Total Length などのフィールドは RG により再計算される。また、Realm 外へパケットを送信する際、IPv4 から IPv6 へのアドレス変換の際は仮想アドレス空間を参照し、IPv4 から IPv6 への変換では RG の持つ変換用のプレフィクスを用いて拡張しパケット内へ格納する。

4.3 PC ルーター上の実装

多重仮想アドレス空間による変換機能である SFNv6 を CentOS-6.0 上に実装した。NIC が受信したパケットが RG により変換が必要なものかどうかを識別するには ebtables を用いた。ebtables は、layer2 のファイアウォールとして機能し、ルーティングなど変換の必要のないパケットは透過的に処理し、RG の持つ変換用 IPv6 プレフィクスにマッチしたパケットなど RG が変換する必要のあるパケットを RG 内に転送する。RG 内に転送されたパケットは、TAP デバイスと呼ばれる仮想ネットワークカーネルドライバで受信し、read()と write()を用いてパケットを送受信し、アプリケーション空間で仮想アドレス空間の管理およびパケット変換を行った。

5 評価

VM Ware Workstation 上に仮想マシンを 3 台設置し、2 台をノード、1 台をルーターと仮定した環境で、ルーターノードに IPv4 ルーティング、IPv6 ルーティング、IPv4NAT、SFNv6 の機能をそれぞれ割り当て、転送のオーバヘッドを比較した。ルーター以外の２ノード間で ping パケットを送受信した場合の遅延を図１に示す。

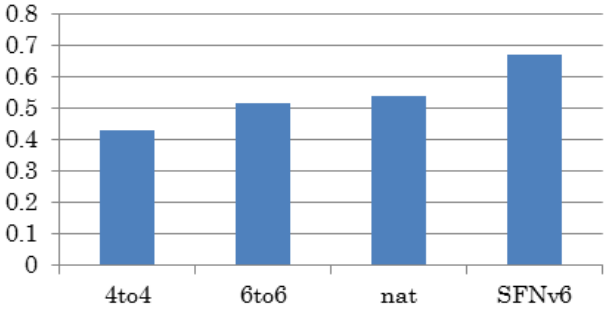

図 1:機能ごとの遅延

6 考察

評価結果から、IPv4 ルーティングとは 0.2ms、IPv6 ルーティングおよび NAT とは 0.1ms の遅延が観測された。この遅延は、パケット長の異なるパケットの生成や IP パケット内のフィールドの再計算によるものだと考えられる。今回は小さいパケットでの遅延しか測定していないが、実際の TCP のバルクフローなどの大きなパケットの場合は、遅延は目立たなくなり、通信の大勢に影響はないと考えられる。

参 考 文 献

[1] 村上健一郎, 菅原俊治, 明石修, 福田健介, 廣津登志夫, ”フリースケールネットワーク方式”, 情報処理学会研究報告, No.104, pp 81-88, January 2007.

[2] 片山忠和,廣津登志夫,福田健介,明石修,菅原俊治,村上健一郎,” フリースケールネットワーク方式の予備評価 --- 仮想アドレス使用量の予測”, 第 9 回インターネットテクノロジーワークショップ (WIT2008) 論文集 (ISSN 1341-870X, Web post-proceedings),日本ソフトウエア科学会, June 26-27, 2008.