

多重経路ルーティング技術を用いた PA アドレスを持つ ISP のマルチホームに関する研究

A Study on Multi-homing of Internet Service Providers with Provider Aggregatable Addresses using the Multiple Routing Technology

福家 孝彦
高知工科大学大学院

菊池 豊
高知工科大学 総合研究所

Takahiko FUKE
Graduate School of Engineering,
Kochi University of Technology

Yutaka KIKUCHI
Research Collaboration Center,
Kochi University of Technology

概要

本研究では、IPv4 PA アドレス体系に基づくネットワークに対して、インターネットへのマルチホームを行う手法を提案する。本提案では、アドレスプレフィックスの長い経路を広告しないため、インターネットバックボーンに与える影響が小さい。また、トンネリングによる仮想接続上にトラフィックを流すことで、冗長経路の有効利用や障害時の高速切り替えを実現する。これらの機能について、所定の性能が確保できることを検証した。本研究の内容は、企業や地域 ISP などの PA アドレス環境において特に有効であり、バックボーンへの負荷をかけずに高品質なインターネット環境を提供できる。

Abstract

This research proposes a technology of multi-homing to the Internet on a network that uses IPv4 provider-aggregatable or PA addresses. This proposal will make a little impact to the Internet backbone because it does not advertise longer prefix routing information. It flows traffic over virtual connections by tunneling therefore it also realizes to utilize of redundant routes and high-speed selection to an alternative link. This paper describes detail of the technology and shows an experimental verification of the performance of the proposal. It provides a high quality Internet connectivity without almost any load to the Internet backbone, which is especially effective in enterprises and regional ISPs using PA addresses.

1 はじめに

インターネットの冗長性を確保する手法にマルチホームがある。近年、企業や ISP (Internet Service Provider) においてインターネットが重要な役割を果たしている。それに伴い、マルチホームによるインターネットの信頼性の向上を意識する組織も多くなってきている。例えば、リアルタイムにインターネットへの接続が必要な組織において、インター

ネットへの接続が切断されることは大きな問題である。さらに、マルチホームを行う際にトラフィックの流れを制御したいという、トラフィックエンジニアリングの要求も高まってきている。

本研究では PA アドレスを持つ組織に焦点を当て、多重経路ルーティング技術を用いたマルチホームの手法を提案する。また、提案手法の検証結果について報告する。

2 マルチホーム

マルチホームには大きく分けて2通りの手法がある。独自に組織が取得したPIアドレス (Provider Independent Addresses) を用いる手法と、上位のISPから割り当てられたPAアドレス (Provider Aggregatable Addresses) を用いる手法である。PIアドレスの取得が困難であることから、インターネットに接続する組織の多くは、PAアドレスで運用を行っている。

本節では、PIアドレス、PAアドレスに関し、IPv4でのマルチホームの方法について述べる。また、PIアドレス、PAアドレスにおける場合のメリット・デメリットを示す。

2.1 PIアドレスにおけるマルチホーム

PIアドレスを持つ組織はAS番号を持つことができる。PIアドレスを持つ組織がマルチホーム(図1)を行うには、AS間で経路情報を交換する。User Networkからそのネットワークの経路情報をISP-AとISP-Bに広告し交換することでマルチホームが成立する。このAS間の経路情報の交換にはBGPが用いられる。また、ASにはAS番号とい

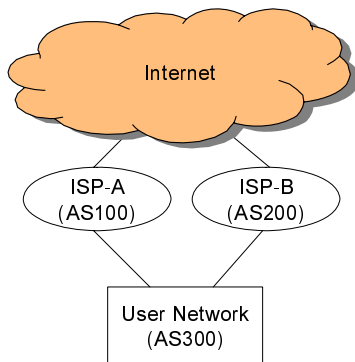


図1 PIアドレスを用いたマルチホーム

うASごとに独立した2オクテットの数値が割り当てられており、この番号によりASの区別を行う。

PIアドレスを用いてマルチホームを行う際のメリットは以下の通りである。

- 上位ISPの運営ポリシーによる制約を受けない
- 上位ISPを変更した際の自組織内のアドレスのリナンバリングが不要

デメリットは以下の通りである。

- PIアドレスの取得には一定以上の規模が必要
- ASを管理する必要がある

2.2 PAアドレスにおけるマルチホーム

PAアドレスを持つ組織がマルチホーム(図2)を行う際には、User Networkからそのネットワークの経路情報をISP-AとISP-Bに広告し交換する。

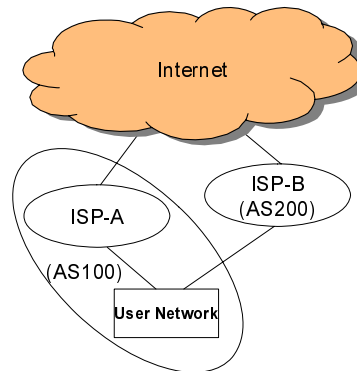


図2 PAアドレスを用いたマルチホーム

この時、User NetworkからISP-Aに経路情報を広告すると、User Networkのアドレス空間はISP-Aが保持するアドレス空間の一部であるため、ISP-Aで集約がなされ、ISP-Aからインターネットへ広告される。しかし、User NetworkからISP-Bへ経路情報を広告した場合は、User Networkのアドレス空間はISP-Bの保持するアドレス空間とは独立であるためアドレスの集約はできない。そのためISP-Bからインターネットへ広告される経路情報は集約されないまま広告される。この集約されない経路情報をパンチングホールと呼ぶ(図3)。

PAアドレスを用いてマルチホームを行う際のメリットは以下の通りである。

- 小さい規模の組織でも可能

デメリットは以下の通りである。

- 上位ISPの運営ポリシーによる制約を受ける
- インターネットに流れる経路数の増加につながる
- 上位ISPを変更した際には自組織内のアドレスリナンバリングが必要

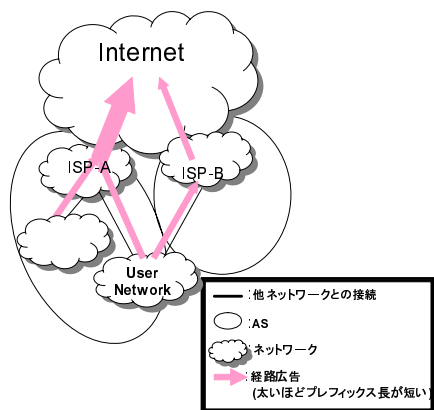


図3 パンチングホール

- プレフィックス長が長い経路情報はインターネット上で伝播しない可能性がある

なお、2001年にはインターネットに流れる経路数は約105,000経路あり、その内55%が集約されていない経路であった[1]。現在、インターネットに流れる経路数は約177,000経路あり、その内66%が集約されていない経路である(2006年1月現在 <http://bgp.potaroo.net/>)。

3 多重経路ルーティング型マルチホームアーキテクチャ

宇多らにより提案された多重経路ルーティング型マルチホームアーキテクチャ[2]について説明する。これは、本研究における提案で用いる技術である。

3.1 アーキテクチャ概要

ここでは、多重経路ルーティング型マルチホームアーキテクチャを用いて、2つのISPに接続した例について説明する(図4)。このアーキテクチャではトラフィック分散制御装置(DR)と利用者側端末装置(UR)と呼ばれる通信制御装置を用いる。多重経路ルーティング型マルチホームアーキテクチャを用いてマルチホームを行うために、DRをインターネットバックボーンに1台以上設置し、URをユーザ側のネットワークに1台設置する。このとき、URはISP-AとISP-Bからそれぞれ割り当てられた2つのアドレスをインタフェースに持つ。

URにおいてBGPによる経路情報の交換は行わない。DRにおいてユーザネットワークの経路情報

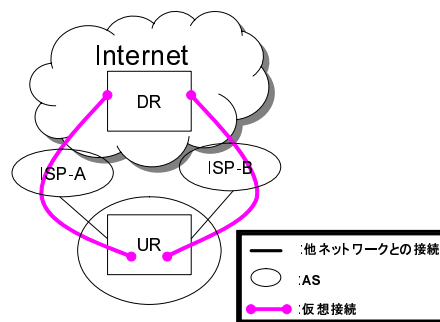


図4 多重経路ルーティング型マルチホームアーキテクチャ

をBGPで広告をする。この際、ユーザネットワークで使用するアドレスはDRを設置・運営する事業者が持つPIアドレスの一部が割り振られる。また、複数のユーザネットワークのPIアドレスの経路情報を、集約しDRから広告することにより、ユーザネットワーク毎の経路情報が個別に広告されるのを防いでいる(図5)。このため、インターネットに流

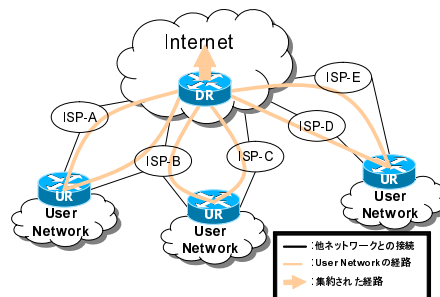


図5 DRで集約して経路広告

れる経路数に与える影響は少ない。

このURとDRをトンネルを用いて仮想接続することにより、トラフィックをトンネルを介して通信する。ここでのトンネリングには、IPパケットをIPパケットで運ぶ手法で、IP-IPやGREといったプロトコルがある。

さらにURとDRのそれぞれではパケットをカプセル化し転送すると共に、利用者のポリシーに従いパケットを仮想接続に振り分けることが可能である。それに加え、URとDRの間で仮想接続の監視・死活検出を行っており、他方の仮想接続に切り替えできる。これは、BGP-4による切替よりも

速い。

ここで DR が 1 台のみの場合、DR が単一障害点となる。また、UR-DR のトンネルの経路が長くなる可能性がある。これについて DR を複数設置することで解決を行っている。流入するトラフィックは、BGP により最も近いと判定された DR に到達し、DR はトンネルを介して UR に伝達する。

3.2 実装状況

UR と DR の機能はインテック・ネットコアが NetBSD2.x の OS 上で動作可能なソフトウェアとして実装している。

UR-DR 間のシグナリングに MIP4 を、トンネリングに GRE を用いている。死活監視用の KeepAlive は 100ms ごと、HoldTime は 300ms である。

さらに、UR-DR においてトラフィックエンジニアリングが可能である。記述できるポリシーは、プロトコルとポート番号および仮想接続の優先順位である。この記述の組み合わせによりトラフィックの制御を実現している。

4 提案の概要

本節では、目的について説明する。つぎにその目的に対する本研究での目標を述べる。さらに、その目標を達成するための基本方針を述べる。最後に、これらを踏まえた提案の詳細を述べる。

4.1 目的

比較的小規模な組織を対象し、インターネットバックボーンに負荷を掛けず、高機能なマルチホームを構成する手法を示すことを本研究の目的とする。

これは、インターネットにおいて多くの組織は PA アドレスを持つ小規模な組織であることが大きな理由である。これらの組織の中で、マルチホームによりインターネットへの冗長性を確保しようとする組織は増加傾向にある。

さらに、障害により接続が切断されたときに、迅速に経路が切り替わってほしいという要求もある。

また、マルチホームによりインターネットへの接続を複数持つことで、その複数の接続を有効に利用したいという要求がある。複数の接続を有効に利用

するためには、トラフィックの制御が必要である。

4.2 目標

本提案では、パンチングホールを一切発生させないことを目標とする。

ほとんどの小規模な組織では PA アドレスを使用している。この PA アドレスを使用してマルチホームを行う際にパンチングホールが発生する。このパンチングホールは、インターネットに流れる経路数を増加させ、インターネットバックボーンに負荷を与える。

また、インターネットにおける障害時の切り替えの速さは、経路制御によるそれよりも十分に早く切り替わることを目標とする。

さらに、冗長リンクを有効に利用するためのトラフィックの制御、特に流入トラフィックの制御を従来の経路制御より柔軟にできることを目標とする。

これらを満たすマルチホーム手法を IPv4 環境で提案する。

4.3 基本方針

パンチングホールの発生を解消するには、プレフィックス長の長い経路情報の広告は AS 内で行い、AS から外に広告する際に集約してやることで解決できる。

つぎに、従来のマルチホームにおいて障害時の経路切り替えに時間がかかるのは、BGP により経路を監視しているためである。より速い経路の監視を行うためには、独自に接続を監視すればよい。

また、流入トラフィックの制御を行うためには、流入経路を選択するルータにおいて、トラフィックの振り分け規則を自由に設定できればよい。このような冗長経路への機能付加はトンネリングによる仮想接続で実現できる。

これらの方針にもっとも近いアーキテクチャを持っている、多重経路ルーティング型マルチホームアーキテクチャを用いることにする。

5 提案の詳細

本節では、提案の詳細を述べる。まず、通信制御装置である UR と DR および経路制御の設定について述べる。そして、UR と DR を用いたトラフィックの流れについて述べる。最後に、単一障害

点の回避として DR の複数設置について述べる。

5.1 通信制御装置 UR-DR と経路制御の設定

まず、本来インターネット上に設置する DR を、PA アドレスの割り当て元の ISP-A 内に設置する。UR は User Network のボーダールータに位置する場所に設置する。

このとき UR には DR への経路がなくてよい。これは、UR の持つ経路表とは無関係に UR のインタフェースから anycast パケットが送出され、DR との間に接続が確立されるからである。その代わりに、UR 以外の全てのルータは DR への経路を知っている必要がある。この DR への経路については、User Network への経路と同様に、ISP-A の外部接続ルータよりインターネットへ広告されるため、インターネットから到達可能である。

また、設置した DR から OSPF 等の IGP を用いて、自組織である User Network のアドレスを同一 AS 内にて経路広告する。DR から IGP を用いて経路広告することにより、ISP-A 内では AS 内で経路情報が交換される。この AS 内で広告された経路情報は、ISP-A の外部接続ルータからインターネットへ経路広告される際に集約され広告される。そのため、ISP-A から User Network のみの経路情報が流れることはない。

これらより、UR は ISP-B に接続しているものの、ISP-B からパンチングホールとして経路が広告されることはない (図 6)。

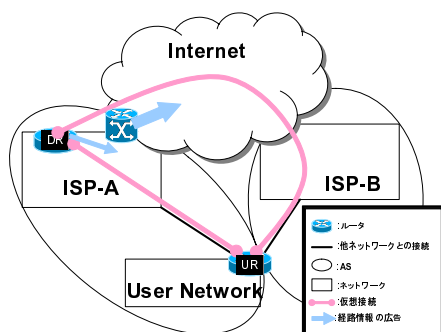


図 6 PA アドレスを持つマルチホームの提案手法

5.2 トラフィック制御

設置した UR の ISP-A 側および ISP-B 側のインタフェースで、DR との間にトンネルによる仮想接

続を確立する。インターネットから User Network 宛へのトラフィックは、BGP にて広告されている経路情報に従い一度 ISP-A に到達する。そこから AS 内部で広告されている経路に従い DR へと到達する。DR へと到達したトラフィックは、UR と DR 間の仮想接続を通り User Network へと到達する。

逆に User Network からインターネットへのトラフィックは、UR と DR 間の仮想接続を通り DR へと到達する。DR では ISP-A の AS 内の経路情報に従い、ISP-A の外部接続ルータへと到達する。ISP-A の外部接続ルータに到達したトラフィックは、そのルータが持つ経路情報に従い、インターネットへ流れる。

このように、全てのパケットは DR を通して通信されるため、DR での流入トラフィックの制御が可能である。User Network 宛のトラフィックは、DR へ到達したとき、DR 自身により解析される。その際、DR に設定されたトラフィックの振り分けポリシーに従い、そのトラフィックを任意の仮想接続に送出する。また、UR と DR 間では、仮想接続の死活検出を行っており、どちらかの仮想接続が障害により切断されると、もう一方の仮想接続に切り替わる。

5.3 DR の冗長化

DR が単一障害点となるのを防ぐため、DR を複数台用意し冗長化することが可能である。この冗長化のための DR も ISP-A 内に設置する。こうして複数の DR を設置することで、DR が停止した場合に他方の DR が代わりを務めることができる。この時、冗長化した DR から広告する User Network の経路情報は、UR との仮想接続が確立されたとき IGP により経路広告される。

UR と DR 間で仮想接続がなされていないとき、DR では仮想接続の経路情報を持っていない。そのため、IGP による経路情報は広告されない。仮想接続が確立されたとき、DR は User Network への経路情報を持つ。このとき IGP による経路広告がなされる。これにより、UR と DR の接続状況に応じて、機能していない DR にトラフィックが流入することを防ぐことができる。

6 検証手法

PI アドレスを用いたマルチホームと PA アドレスを用いたマルチホームの両方のネットワークをローカル環境に構築し、片方のネットワークが障害により切断されたときの他方への経路の切り替わり時間を計測した。

提案した手法において DR から IGP にて動的に経路を広告する部分については、現在の UR-DR の仕様上不具合が生じたため静的に経路を注入することにした。

切り替わり時間の計測は、インターネットに想定したネットワークに設置した装置から、ユーザネットワーク内に設置した装置に UR と DR を挟む形で、1 秒間に 1000 パケットを送信した。切り替えの際のパケットの損失数をもって切り替え時間とした。計測はそれぞれ 5 回行った。

なお、各 AS の外部接続ルータ及び UR、DR は OS に NetBSD を使用し、ルーティングソフトウェアには Zebra を使用した。外部接続ルータでは EGP として BGP-4 を使い、RFC1771[3] で推奨されている KeepAlive 30 秒、HoldTime 90 秒という値を使用した。また、切り戻り時におけるパケットロスの有無についても確認を行った。

7 結果

提案手法における検証結果は表 1 の通りである。

ここで、A、C は標準の経路制御を用いた場合、B、D は多重経路ルーティング型マルチホームアーキテクチャを用いた場合である。

提案手法において多重経路ルーティング型マルチホームアーキテクチャを用いた手法での、所定の性能が維持できている。また、切り戻り時のパケットロスは全ての試験において発生しなかった。

8 まとめ

本稿では、PA アドレスを持つ組織が PA アドレスを保持したままマルチホームを行う際のアーキテクチャを提案し検証した。本提案手法によりパンチングホールの発生を解消することが可能である。現在、インターネットに流れる全経路数の半数以上を

表 1 提案手法における検証結果

		アドレス体系	トラフィック制御	切り替え時間 (標準偏差)	切り戻り	パンチングホール
従来の手法	A	PI	△	8.2×10^1 (5.1×10^0)	損失無	無
	B	PI	◎	2.8×10^{-1} (2.8×10^{-2})	損失無	無
	C	PA	△	8.2×10^1 (9.1×10^0)	損失無	有
	D	PA	◎	2.6×10^{-1} (2.5×10^{-2})	損失無	有
提案手法	E	PA	○	2.6×10^{-1} (2.9×10^{-2})	損失無	無
				2.8×10^{-1} (2.7×10^{-2})		

占める集約可能な経路数を、インターネットバックボーンに流さないですむようにできる可能性を示した。また、マルチホームでのトラフィック制御と障害時の高速な切り替えを実現した。

謝辞

本研究は TERECo プロジェクト [4] の一部であり、総務省 SCOPE (戦略的情報通信研究開発推進制度 受付番号 042309002) による助成を受けています。

参考文献

- [1] G. Huston. IETF RFC3221: Commentary on Inter-Domain Routing in the Internet. Dec 2001.
- [2] 宇多仁ほか. 多重ルーティング型マルチホームアーキテクチャの提案. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J87-B, No. 10, pp. 1564–1573, Oct 2004.
- [3] Y. Rekhter and T. Li. IETF RFC1771: A border gateway protocol 4 (BGP-4). Mar 1995.
- [4] 菊池豊, 福家孝彦ほか. 多重ルーティング型マルチホームの地域 ISP における応用. 情報処理学会研究報告 2005-DSM-39, pp. 19–24, Oct 2005.