

アドレス・プリフィクスの 動的割り当て機構の提案と実装

河部 展†, 門林 雄基†, 山口 英†, 尾家 祐二◇

†奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

‡大阪大学 大型計算機センター

◇九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科

/奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 (併任)

概要

最近のインターネットの急激な成長によって引き起こされた経路情報の巨大化は、インターネットの拡張性を制約する深刻な問題となっている。IP アドレスの再割り当て、すなわちリナンバリングの適切な実行によって、経路情報の集約度の向上が可能であることは認識されている。しかしながら、低コストでリナンバリングを行える環境が整備されておらず、積極的には進められていない。本研究では、経路情報の効率的な集約を目的とする、IP アドレスの動的な割り当て環境を提案し、基盤となる割り当て機構を実装した。この環境下では従来半恒常的に割り当てがなされている IP アドレスを、流動的に割り当てを行うものとならえなおし、経路情報の集約状況の変化に応じて、ネットワークのリナンバリングを継続的に実行する。

Dynamic Address Prefix Management System and Its Depeloment

Hiraku Kawabe†, Youki Kadobayashi†, Suguru Yamaguchi†, Yuji Oie◇

† Nara Institute Science and Technology

Graduate School of Information Science

‡ Osaka University

Computation Center

◇ Kyushu Institute of Technology
Dept. of Computer Science and Electronics

Nara Institute Science and Technology

Abstract

Over the past few years, the Internet has experienced a major scaling issue, particularly rapid growth in the size of routing table. While it is known that the re-numbering technique is fairly effective for aggregation of routing information, few network made their addresses re-numbering primarily because of the cost problem. This paper proposes our approach for address renumbering problem, along with the description of our system that assists renumbering. Our system allocates addresses dynamically to the networks and achieve the high degree of routing table aggregation.

1 はじめに

近年のインターネットの急激な成長は、アドレス空間の枯渇と経路情報の巨大化という深刻な問

題を生むこととなった。アドレス空間についてはプライベート・アドレス [1] 利用の推進、サブアロケーションの開始などで当面の危機は去っている。一方、経路情報の規模は、CIDR (Classless Inter-

Domain Routing)といわれる経路集約技術の導入後も依然として拡大し続けており、インターネットの拡張性(スケーラビリティ)を制約する最大の要因となっている。現在バックボーン・ネットワークで観測される経路数は約40,000経路(MAE-East '98年1月現在)であり、いまやルータの処理性能限界に達しつつある。

CIDRが効果的であるためには、ネットワーク・トポロジ上で隣接しているネットワークが、共通のアドレス・ブロック(CIDRブロック)に含まれていなければならない。また、新規にアドレスの割り当てを受ける組織についてはCIDRを適用することができるが、CIDR導入以前にアドレスの割り当てを受けた組織についてはアドレスの割り当ての再割り当て、すなわちリナンバリングをしない限り、経路情報を減らすことはできない。実際、CIDR導入以前に割り当てがなされた「192/8」(通称“swamp”¹といわれている)のアドレス空間は、ネットワーク・トポロジと無関係に散逸しているため集約が全くできず、このアドレス空間に対する経路数の割合は相当なものとなっている(図1)。

現在標準化の進められているIP version 6 (IPv6)においても経路制御には大きな関心がよせられており、経路情報を最小化すべくアドレッシング方式について議論がなされている[2]。現時点における仕様では、アドレス・フォーマット中で、バックボーンとそれ以外の領域、それぞれでの経路制御に利用される部分を分離しており、バックボーンでの経路数に制限を課している。ただし、これは整然とした階層的なネットワーク・トポロジを前提としており、最上層以外での経路の交換を考えた場合(例えば地域IX¹での経路の交換)、IPv4と同様に経路情報の集約度の低下が問題になる可能性がある。

現行のIPv4は将来このIPv6に取って代わられるが、移行期においてはIPv6の経路情報にIPv4の経路情報が加わることとなる。よってIPv4が抱えている経路数の問題はIPv6への移行が完全に終了するまで、あるいは移行後も継続して解決の努力がなされなければならない。

本稿では、リナンバリングを恒常的におこなうことで、経路情報の最小化を維持するシステムの

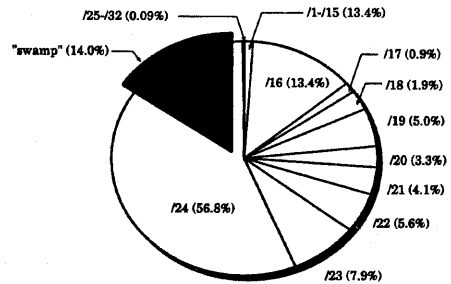


図1: アドレス・プリフィクス長別の経路情報

提案を行う。

2 システムの目標

図1に示したのはバックボーン・ネットワーク(Mae-East)における、アドレス・プリフィクス長ごとの経路情報の割合である('98年1月現在)。クラスCにあたる「/24」のプリフィクスが半分以上を占めているが、これはCIDRによる経路の集約がなされていないことを意味する。これは逆に、ある程度のリナンバリングを実施するだけでも、経路情報の規模を今の半数以下に削減できる可能性を示している。

こうしたリナンバリングによる経路集約の効果は十分認識がなされており、各登録局(registry)でも奨励がなされているが、ほとんど進められていないのが実情である。これは対象とされる組織が、人的、経済的コストがかかるなどの理由によりリナンバリングに消極的であり、さらにアドレス空間の割り当てを行う登録局に強制力が無いことによる。また、アドレスに対して所有意識があることも一因と考えられる。

本提案ではリナンバリングを考えるにあたって、アドレスの役割の転換を考える。これは従来、なかば所有権をもったもののように割り当てや登録がなされてきたアドレスというものを、ネットワーク末端の組織・ユーザからは直接的に見えない存在とし、「割り当てられる」という意識を排除する。同時にバックボーン上でのアドレスの役割は、これまでの「位置を表すもの(Locator)」と「識別子(Identifier)」を兼ねたものから、単に経路制御上

¹Internet eXchange

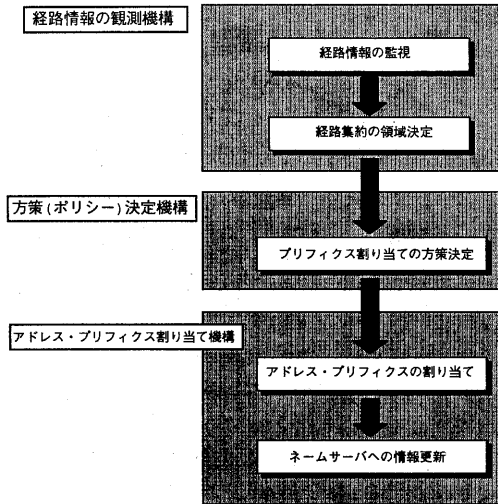


図 2: システムの概念

の都合のみに利用される「荷札」としての役割に専念させる。アドレスはある一定の期間のみ、個々のネットワークへの経路制御のために割り当てられるものとし、経路情報の集約度が低下した際には随時、より集約度が向上するようにリナンバリングが実行される。アドレスを現在の半恒常的な割り当てをされるものから、動的な割り当てをされるものへと変えるのである。

この環境下ではある瞬間でのアドレスとネットワークとの対応づけを把握しているのは、名前解決サービス (Domain Name System) のみとなる。よって名前解決サービスの位置づけが現在より重要なものとなる。またアドレスの動的割り当てのために、名前解決サービスはデータベースの動的な更新ができることを要求される。この要求を満たすものとして現在 Dynamic DNS[3] が利用可能である。

3 システムの設計

前章に述べた機能を実現するシステムには、図 2 に示した技術要素が必要となる。以下に各要素の役割を説明する。

3.1 経路情報の観測機構

本システムでリナンバリングの引き金になるのは、ネットワークのトポロジの変化である。トポロジの変化は、例えばサービス・プロバイダの契約者の加入・脱退にともなうネットワークの接続や切断によってトポロジの変化が生じる。トポロジの変化が発生すると、バックボーンに広報される経路情報に変化があらわれる。経路観測機構はこの変化がどこで発生したのかを経路情報から読み取り、経路情報の集約度が低下したと判断した場合は、この領域に対してリナンバリングを実施することを決定する。

例えば経路制御プロトコルとして BGP4 を使用している場合は、同じ AS (Autonomous System) パスから広報される経路数が増えたときに、経路情報の集約度が低下したと判断する。

3.2 割り当て方策、戦略の決定機構

リナンバリングをすべき領域が確定すると、次にこの領域内での具体的なリナンバリングの対象となるネットワークを決定する。この領域が、ネットワーク・トポロジの階層中においてどのような場所にあるか、あるいは割り当て範囲が AS (Autonomous System) 内に限定されるのか AS 間にわたるのか、といった条件によって方針 (Policy) と戦略 (Strategy) が異なる。こうした条件に応じた割り当て方法を決定するのがこの部分である。方策、戦略の違いはリナンバリングを実施するネットワークの選択と割り当てのされるプリフィクスの大きさに反映される。

3.3 アドレス・プリフィクス割り当て機構

リナンバリングを実施する対象のネットワークが決定されたのち、実際にアドレス・プリフィクスの割り当てや回収を実行する部分である。リナンバリング時に各ネットワークに課せられるコストが最小になるようなしくみが含まれる。またシステムと名前解決サービスとの連携をとるのもこの部分である。

4 アドレス変換機構の採用

本システムでは、各ネットワーク内で使用するアドレスをプライベート・アドレスとすることでリナンバリング時のホストの再設定にかかるコストを取り除く。

また外部のパブリック・ネットワークとの接続のために境界ルータ上に NAT (Network Address Translator)[4]、あるいは類似のアドレス変換機構を設置する。つまりネットワークに割り当てられるアドレスというのは、NAT に対するパブリック・アドレスとなる²。アドレス変換機構を使用することで次にあげる利点が得られる。

リナンバリング時の影響の最小化

従来通り、ネットワーク内のコンピュータにパブリック・アドレスを利用する場合は、リナンバリング時にはコンピュータの再設定等のため、利用の停止が強要されることとなる。これでは任意の時点でのリナンバリングは困難である。一方、NAT を利用した場合は、ネットワークアドレスが変更された場合でも、影響が NAT により吸収されるためにネットワーク内のホストは全く関知せず済む。よって、任意の時点でのリナンバリングが可能となる。

割り当てを行うアドレス空間の最小化

アドレス変換機構の利用下では、パブリック・アドレスの個数は、最低限ある瞬間に変換機構を経て確立をしているコネクションの数だけあればよい。通常、ある瞬間のコネクション数は、ネットワーク内に存在するホスト数より少ないと考えられる。よってアドレス変換機構の採用により、ネットワークに割り当てを行うアドレス・プリフィクス(以後プリフィクス)長を、変換機構を利用しない場合より小さくできる。

²NAT 利用環境下では、内部ネットワーク側のアドレスはプライベート・アドレス、インターネット側の IP アドレスはパブリック・アドレスと呼ばれる

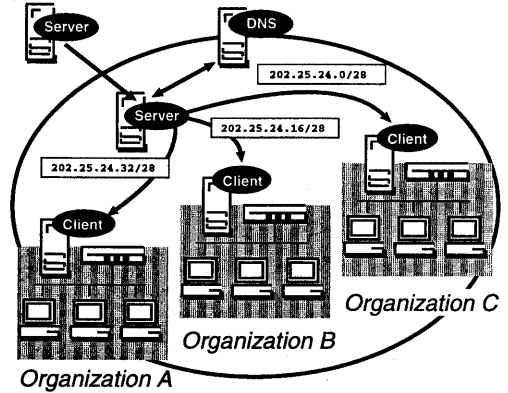


図 3: プリフィクスの動的割り当てシステム

導入コストの最小化

アドレス変換機構はすでに NAT、PAT (Port Address Translator) などとしてルータや OS に組み込まれており、一般的な存在となっている。よって初期導入コストを低く抑えることができる。

5 システムの実装

現在、システム設計の項で述べたプリフィクスの動的割り当て機構部分に関して実装を進めている³。この動的割り当て機構を PAS (Prefix Allocation System) と呼ぶ。PAS の基本構成はプリフィクスのブロックをプールする PAS サーバと、割り当てを受け取る PAS クライアント、そしてネットワークとプリフィクスとの対応情報のサービスを行うネームサーバ (DNS) からなる (図 3)。PAS サーバがプリフィクスの割り当てをする範囲は、ひとつのネームサーバがサービスを行う領域とほぼ一致する。システムを広域に拡大するためには、PAS サーバに階層構造を導入する。この場合、階層の上位に位置する PAS サーバは下位の PAS サーバに対して特定の領域についてのプリフィクスの割り当て権限を委任する形になる。

³現在 FreeBSD-2.2.2 上で実装中

表 1: PASプロトコルで定義したメッセージの概要

クライアントからサーバ	
Prefix Request	プリフィクス割り当て要求
Prefix Renew	プリフィクス更新要求
Prefix Release	プリフィクス解放通知
サーバからクライアント	
Prefix Allocate	プリフィクス割り当て通知
Prefix Exchange	プリフィクス交換通知
Prefix Notify	プリフィクス回収通知
Prefix Expire	プリフィクス解放通知

5.1 PASプロトコル

PASでのサーバ・クライアント間通信のために、新たに PASプロトコルを定義した。プロトコルで使用されるメッセージの概要を表 1 に示す。プロトコルは下位層に UDP を使用する。

5.2 PASサーバ

サーバではプリフィクスのプールと割り当て対象となるネットワークのリストを管理する。また割り当てたプリフィクスに関する情報のネームサーバへの登録、更新、削除を行なう。

5.3 PASクライアント

PASクライアントはプリフィクスの割り当てを受けるネットワーク内に置かれる。PASクライアントの役割は、与えられたプリフィクスをもとにゲートウェイ・ルータのインターフェース・アドレスと、アドレス変換機構の変換テーブルを設定し、外部からこのネットワークに対しての接続性を確保することである。図 4 にネットワーク内におけるクライアントの設置例を示す。

位置“1”は、境界ルータ上でアドレス変換機構と同一ホスト上でクライアントを稼働させる例、また位置“2”は境界ルータとは別のホストでクライアントを稼働させる例である。位置“2”の場合は境界ルータとしてルータ専用機を利用することができる。

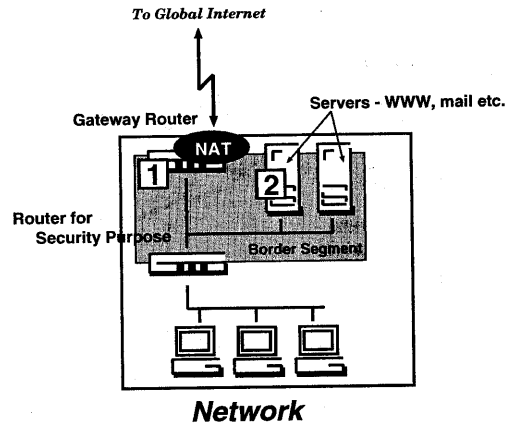


図 4: クライアントの設置

5.4 ネームサーバ

本実装では、ネームサーバに動的なデータベース更新をサポートした BIND version 8.1.1⁴を利用した。

5.5 動作の概要

PASサーバ・クライアント間でなされる処理の内容は大別して次の三種類である。

● プリフィクスの割り当て

ネットワークが新規に PAS の管理化に入るときに行われる処理である。プリフィクスの割り当てを受けるとともに、サーバはネームサーバに対して情報を登録する。このとき必要に応じてプリフィクスには使用期限が定められる。

● プリフィクスの回収

ネットワークが PAS の管理下から抜けるとき、あるいはプリフィクスが使用期限に達したときに行われる処理である。プリフィクスが回収されるとともに、ネームサーバから情報が削除される。

● プリフィクスの更新

プリフィクスの使用期限に達したときに、使用期限を延長するために行われる処理である。

⁴<http://www.isc.org/bind/>

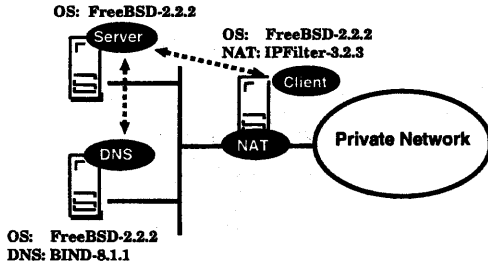


図 5: 実証環境

- プリフィクスの交換

ネットワークがリナンバリングされるときに
行われる手順である。まず、新しいプリフィ
クスがクライアントに向けて発行され、同時
にネームサーバに対して情報の更新が伝え
られる。新しいプリフィクスについての経路
情報がいきわたる、あるいは通信中のコネク
ションが終了するなどの猶予期間が経過した
後、旧プリフィクスが回収される。このよう
にネットワークに与えられるプリフィクスに
重複期間を設けることで、接続性が不連続に
なることなく移行をすることができる。

6 評価および今後の計画

現在までに、前節に述べたプリフィクスの操作、
ネームサーバへの情報の登録・削除といった各動
作が行われていることを確認済みである。検証環
境を図 5 に示す。方策決定機構に関しては未実装
のため、割り当てるプリフィクスの大きさについ
ては、一時的にサーバ、またはクライアント側で
あらかじめ設定する仕様になっている。今後順次、
割り当て方策機構、経路監視機構の実装をすす
める予定である。またネームサーバに対するトラ
ンザクションを単純化するような DNS プロトコ
ルの拡張を検討中である。加えて、現時点ではア
ドレス変換機構として IP Filter⁵ を利用しているが、
Cisco など市販の各種機器に対応する予定である。

⁵<http://coombs.anu.edu.au/~avalon/>

7 まとめ

本稿ではアドレスを、従来の半恒常的な割り当
てから動的な割り当てに変更することで、任意の
時点でネットワークのリナンバリングを可能とす
るシステムを提案した。このシステムの利用によ
り経路情報の大幅な削減を達成し、インターネッ
トのより一層の拡張性が得られることを期待する。

参考文献

- [1] Y. Rekhter, B. Moskowitz, D. Karrenberg, G. J. de Groot, and E. Lear. Address Allocation for Private Internets. RFC 1918, February 1996.
- [2] S. Deering R. Hinden, M. O'Dell. An ipv6 aggregatable global unicast address format. draft-ietf-ipngwg-unicast-aggr-02.txt, 1997.
- [3] P. Vixie, Ed., S. Thomson, Y. Rekhter, and J. Bound. Dynamic Updates in the Domain Name System (DNS UPDATE). RFC 2136, April 1997.
- [4] K. Egevang and P. Francis. The IP Network Address Translator (NAT). RFC 1631, May 1994.