

# 博士研究計画：次世代インターネット経路制御に関する研究

政策・メディア研究科 後期博士課程 小原泰弘

学籍番号: 80166281 E-mail: yasu@sfc.wide.ad.jp

2004年 11月 12日

## 概要

OSPF に代表される現在のインターネットルーティングプロトコルは、通信の終点に依存する単一の経路しか利用できない、通信の種類を考慮した経路決定 (QoS ルーティング) ができない、回線故障時に代替経路が発見されるまでに長時間を要するなど、多くの問題点を持つ。次世代経路制御機構に必要なものは、ネットワークの状態を反映した複数のパスから経路を選択できる機能、個々の TCP セッション毎に経路を決定できる機能、ネットワーク回線ごとのトラフィック量を予測し変更できる機能、さらにそれらを実行する際に、網全体に与える影響を最小に抑える機能である。本研究では経路制御の手法を根本から見直すことによって、大規模であっても堅牢なインターネットを実現する。本研究が提案する新しい経路制御機構は、パスベクタ型アルゴリズムを利用してフローベースのルーティングを実現する。

## 1 複数候補からの最適経路の選択

インターネットは代替経路を多く提供するようなネットワークのネットワークを目標として構築されている。そのため、ある任意の二地点間には複数の物理経路が存在する場合が多い。しかし、経路制御機構が計算できるのは基本的に単一の経路のみであり、最善とされる経路以外は利用できない。

複数ある物理経路は、それぞれ異なった特徴を持っている。例えば、経由するルータホップ数、経路上のリンク遅延の総和、経路上の現在の空きネットワーク帯域の量、経路上の最小パス MTU などである。ネットワーク上で転送される通信データトラフィックは、それがどのような通信を実現するかを考慮し、通信の要件にあった経路を利用するべきである。その場合、経路を決定しようとする対象の通信の種類によって、どれが最善の経路であるかは大きく変化する。

例えば、インターネットゲームに利用される通信は、インタラクティブなトラフィックと定義できる。この通信には短いネットワーク遅延時間が求められるが、経路上のネットワーク帯域消費は極く少量である。これに対してファイル共有などのバルク通信では、空き帯域幅やスループットの高い経路が求められ、ネットワーク遅延時間が長くても問題にならない。

これから多様化していくインターネットアプリケーションに最適な経路を提供するためには、多数の経路候補を多くの性質に関して自動計算し、その中からアプリケーションに適切な経路を選択するべきである。遅延を要求する通信のデータトラフィックをそれ以外より優先して特別な経路で転送することによって、ユー

ザが必要とするインターネットの処理性能をあげることができる。

## 2 耐故障性の向上

現在の経路制御機構は複数の経路候補を計算できず、単一の経路しか利用できないことを前述した。結局単一の経路しか利用できないという理由から、ネットワーク管理者は冗長な回線を施設することにメリットを見出さないため、回線を追加しネットワークの冗長性を向上することに意欲的でない。そのため、もともとのインターネットの目的であった代替経路を多く提供することは目標とされず、中央集権的な、多数の single point of failure を含むネットワークが多く構築されている。このことは、ネットワークの耐故障性の問題に大きく関わる。故障しない回線やルータは存在しないことから、ネットワークの耐故障性は、その冗長性に大きく依存する。冗長性が高く代替経路を多く提供するネットワークは、一地点の故障が網全体に与える影響がより少ないことから耐故障性が高い。ネットワークは冗長性を高めるように成長して行くべきであるが、経路制御機構が複数の経路候補をサポートできないことがその障害となる。

また現在の経路制御プロトコルは、代替経路への切替えに長い時間を要するという問題点がある。代替経路が多数存在しても、故障経路の回復が遅ければ、耐故障性が十分であるとは言えない。故障が発生した際に、瞬時に経路が切り替われば、耐故障性の高いネットワークだと言える。

## 3 トラフィック操作

ネットワーク管理者がトラフィックを予測し適切な回線設計をすることや、輻輳があるネットワークのトラフィックを操作して輻輳を回避することは、正常なインターネット通信を機能させるために必要である。輻輳は故障と同じく、通信性能を著しく阻害する。

トラフィックの管理は、リンクステート型ルーティングプロトコルを使ったトラフィック管理手法が開発中であるが、現在のインターネットでは基本的にパスベクタ型ルーティングプロトコルである BGP[1] による手法が利用されている。大規模な ISP (Internet Service Provider) ではコンフェデレーション [2] によって自組織のネットワークをいくつかの AS に分割し、その間での BGP 経路制御で AS-path prepend 手法や終点アドレスプレフィックス分割を使ってトラフィックを制御している。また、リンクステート型ルーティングに共通の SPF 計算ではトラフィックの予測が難しいこ

とや、リンクコストの変更がトラフィックの大部分に影響を与えてしまうことから、開発中のリンクステート型のトラフィック管理手法は困難であると思われる。

## 4 解決案

複数の候補からの最適な経路を選択することが望まれることや、現状 BGP でのトラフィック操作が利用されていることから、次世代の経路制御機構には、パスベクタ型ルーティングアルゴリズムを利用するのが相応しい。パスベクタ型アルゴリズムは、受信した複数の経路候補から最適経路を選択し伝播させるという簡潔なアルゴリズムである。また、パスベクタ型のルーティングプロトコルであれば現在と変わらない手法が利用でき、トラフィック操作が機能することも知られている。インターネットの AS 間ルーティングでスケラビリティが実証されていることや、経路が伝播するあいだに中間ルータの合意を得て経路の特性を自動計算できることなどからも、パスベクタ型アルゴリズムが適切であることが言える。

また、最適経路の選択を実現するには、フローベースのルーティングが必要不可欠である。経路を構成するそれぞれのインターネット回線はインターフェイスキューによって帯域制御や優先制御がなされるが、「どのようなトラフィックにはどのような制御が適用されるか」という設定を無視しては、通信にとって最適な経路であるかという判断は不可能である。そのため、帯域制御や優先制御が設定されるリンクを経由する経路を計算する場合は、経路制御機構がその設定を伝播しなければ正しい経路計算が行えない。この設定に含まれるトラフィックの識別のための情報（どのようなトラフィックであるかという記述）を用いた経路制御は、フローベースのルーティングと呼ばれる。

さらに、インターネットの耐故障性を向上させるためには、代替経路への切替えの速度が重要であると前述した。現在一般的に目標とされているのは、一秒以内に代替経路へ切り替わるような経路制御機構である。これを実現するためには、切断検知などルーティングプロトコルの設計自体を変更しなければならない。

既存のパスベクタ型プロトコルである BGP は、ルータレベルでの経路を計算することが難しいこと、近隣のルータを発見する術を持たないこと、フローベースのルーティングを行えないことから、次世代経路制御プロトコルとして最適ではない。代替経路への切替えを迅速にするためにいずれにしろ切断検知の部分のプロトコル仕様を変更しなければならないことから、本研究では新しいパスベクタ型ルーティングプロトコルを設計する。

## 5 期待される成果

本研究の提案する新しいルーティングプロトコルで冗長経路を適切に利用できることによって、インターネットはより冗長な耐故障性の高いネットワークに成長していく。

新しいルーティングプロトコルでは、複数の経路候補を、その経路の特性を自動計算した上で各ルータに伝播させていく。各ルータでは、受信した IP パケットがどのような IP フローであるかによって適切な経路候補を選択するという、フローベースのルーティン

グを実現する。

ネットワーク管理者がトラフィックを予測することや、操作・制御することができるため、トラフィックが帯域を枯渇させることや、長時間輻輳が持続することがなくなり、通信性能がより向上し、インターネット通信環境が安定する。

これらのことから、本研究はインターネットの社会基盤としての信頼性を向上する。

## 参考文献

- [1] Y. Rekhter and T. Li. *A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)*, March 1995. RFC 1771.
- [2] D. McPherson P. Traina and J. Scudder. *Autonomous System Confederations for BGP*, February 2001. RFC 3065.