

## プリファレンスによる経路制御のモデル

藤原 和典  
早稲田大学

村山 優子  
WIDE プロジェクト

吉田 茂樹  
東京大学

複数の網を通して通信を行なう場合、各網の異なる主張や方針を考慮に入れて経路制御を行なう必要がある。また、通信を行なうのは終点(発信元と宛先)の意思であるから、その希望にそって経路を選択したい。本稿では、インターネット(域間網)における使用制御と利用者の希望という観点から政策的経路制御について議論し、発信元や宛先の好きな経路を選択することを可能にする経路制御手法とそのモデル化について述べる。

## Routing by preference model

Kazunori Fujiwara  
Waseda University

Yuko Murayama  
WIDE Project

Shigeki Yoshida  
Tokyo University

When communicating across plural networks, routing needs each network's varied policies and assertions. And we want to make a route with each terminal's preference(will) because each communication's core is each terminal's will. This paper describes a policy routing model for enabling the originator and the destination to choose their preferred route and paths. We explore the problem in the inter-domain environment, and come to terms that each one of the end sites of a communication flow — source and destination, has its own preference in routing. Routing by preference is achieved by minimizing costs in unfavourable domains.

## 1 まえがき

米国を中心とするインターネットは年々拡大を続け、初期の ARPA-NET と地域ネットワークという構成から、複数のネットワークの相互接続という形に変化し、発信者から宛先への経路が複数あることが珍しくなくなった。ネットワークには、使用目的により特定の目的では使用してはいけないネットワークや、スピード、バンド幅の違い、課金されるネットワークなど、さまざまな違いがある。このような場合、従来の EGP/BGP/RIP などの hop by hop routing では一つのコストについて最適な経路を選ぶことになるが、ユーザとしては、複数の経路を使うことが許されているのであれば、好きな方を選んで使いたい。そのための経路制御手法が最近注目されてきている政策的経路制御 (Policy Routing)[1] であり、従来のようにひとつのコストについての最適な経路を計算するものではなく、各ノードの異なる主張や方針を考慮に入れて経路を決定するものである。

インターネットを構成する各ノードは運用方針を同じくする物理的に連続な網の集合である。ここで、「物理的に連続」とは、その網集合内では、内部経路だけで、ある地点から任意の地点まで到達できる範囲という意味である。この網集合を域と呼ぶと、政策的経路制御とは、域間経路制御においてそれぞれの域内の網資源についての使用方針を反映させることである。

この政策的経路制御の背景には 2 つの流れがあり、それぞれの流れから 2 つの種類のプロトコルが作成された [7]。

ひとつは、インターネット網の増大問題であり、その規模の拡大と網の相互接続の複雑化から、Border Gateway Protocol [3] が生まれた。もうひとつは、使用制御 (access control) の観点から生まれた Inter-Domain Policy Routing [5] である。日本のインターネット網では、現在ノードの増大問題に対処するため、米国で広く使われている BGP を使用する方向にある。

WIDE ポリシー・ルーティングの研究グループでは、日本における各域の政策について議論していたが、網制御の諸問題を検討していくうちに、政策経路制御には、網の政策、通信の始点、終点の意思という三種類の要求があり、いくつかの通信の始点、終点の意思についての事例を得ることができた。「宛先までいくのにできるだけ速い網を使いたい」「自分あてのトラフィック (メールなど) はできるだけ速く自分の域に入ってほしい」などである。これらは、速い域を通してほしい、ある域を通してほしいということを表している。これらの問題については、プリファレンスによる経路制御 [6] で議論した。本稿ではプリファレンスを考慮したより一般的な政策的経路制御を考え、域間接続のモデルとそこから最適経路を導出する方法を示す。

また、通信の始点、終点の意思については、グラニュラリティを考慮する必要がある。域全体、域を構成する個々の組織、組織を構成する部分、さらにその下の階層があり、最終的には、ユーザごと、セッションごと、セッションの時間ごとに要求が変化することが考えられる。これらを考慮した政策的経路制御を行なう必要がある。

IDPR [5] では、網の政策、通信の始点の意思を実現するルーティングを実現しようとしている。始点の意思については、現状では、組織単位などの大きいグラニュラリティで実装しているようである。

本稿では、第 2 章で網の政策と始点・終点の意思について議論し、第 3 章でネットワークをモデル化し、第 4 章で最適経路を導出する方法を説明する。第 5 章で始点・終点の意思の階層化、認証について議論し、第 6 章で議論のまとめを行なう。

## 2 網の政策と始点・終点の意思

網の政策とは、始点、終点間にあるパケットを中継する域が、通過パケットに対して行使する絶対的なアクセス制御の方針であり、始点・終点の意思と

は、通信における終端サイトが持つネットワーク全体に対する「できれば、かなえて欲しい」という要求である。また、始点・終点の域自体にも政策があり、そこからどのようなパケットを出してよいか、受けとってよいかを規定している。

政策的経路制御とは、インターネットを構成する域の政策を満たしつつ、できるだけ終点の意思を尊重する経路制御であるということができる。

## 2.1 網の政策と経路情報

網経路制御に反映させなければならない政策や方針には、通過パケットに対するものと、終端域として自域から発着信されるパケットに対するものがある。

通過パケットに対する方針には、例として網資源の使用に対する制約や課金の条件などがある。終端域の方針には、安全性、遅延時間、速度などの他、信頼度、使用可能な度合い、使用料金などを含めた網サービスの種類による通過網の選択や、もっと人間レベルでの政策的な通過網の選択などがある。

Estrinによると [2]、通過、終端の両タイプの方針には、一般に、次のような種類の方針・政策がある：

- 終端サイト 指定による規制： パケットの発信元と宛先の組合せにより、網資源使用を制限する。この発信元や宛先の単位は、域であったり、終端システムであったり、ユーザクラスであったりする。
- 部分経路指定： 終端域の方針例として、宛先までの経路に通ってほしい、あるいは避けたい域や複数の域を指定する。通過域の方針例として、自分の好まない域や複数の域を通過したあるいは通過しようとするパケットは通さない。
- 網資源の質 (Quality of Service)： 例えば、高速、低遅延時間の特別なリンクは、選ばれたところだけが使用できるであろう。このように、網資源の質によって、その資源への規制は行なわれる。
- ユーザ・クラス： 様々なユーザのクラス識別ができることにより、域単位よりも細かい、あるいは、域から独立した単位での資源使用制御を行なうことができる。このクラスとは、使用制御のためのグループである。
- 網資源保証： 通過域方針例として、選ばれたところへは、ある程度の網資源の質を保証する。
- 時間に関わる制限： 時間帯によって資源の使用を制限する。
- アプリケーション別使用制御： パケットが、どの種類のアプリケーションに関わっているものかによって、網資源の使用を制御する。
- 限られた網資源： 限られた資源を活用するために、ある時間内に、発信元から出されるパケットの量を制限する。
- 認証と完全性 (integrity)： 特別な資源使用の制限には、鍵などを使用した本格的な認証を必要とする場合もある。また、完全性が検証された情報に基づく経路しか通さないという方針もあるだろう。
- 課金についての方針： 課金に際しては次のような要因を考慮されるであろう：
  - － 課金の単位 (例： 日本円、米国ドル)
  - － 課金対象の単位 (例： 一様なレート、キロ・バイトごと、キロ・パケットごと)
  - － 実際の値段 (例：0.50ドル/メガ・バイト)
  - － 支払う人と支払われる人 (例：パケットの発信元、あるいは宛先、パケットを送りこんできた隣接域、第三者など)

- だれの測定したパケット数を課金のために使うか(例: 発信元、宛先、通過域、経路上のその他の域)
- 課金の限度(例: 支払者が使える金額の限度、あるいは、通過域が転送するパケット量の限度)

これら以外に、各域がユーザに対し、Acceptable Use Policy を提示し、それを守るように指定することがある。たとえば、学術ネットワークでは商業利用はできない。政策的経路制御を行なうには、これらの政策をパラメータ化し、広告して全ユーザから利用できるようにする必要がある。

また、経路制御を行なうためには、各域間の接続情報と、各リンクのバンド幅などのコスト情報が必要になる。これらの情報も政策情報といっしょに配布する。

以下に網間の接続情報の例を示す。これは網を通過するときのコスト:QoS 情報 (Quality of Service) として与える。

- バンド幅 (Band Width)
- 遅延 (Latency)
- セキュリティ
- 最大パケット長 (MTU)
- 課金情報

このうち、網の政策については、パケットフィルタリングなどで実現することができる。フィルタリングを行なっている場合には、それを広報しないと到達不可能になり、通信ができなくなることがある。

網の政策について、いくつかの例を図 1 に示す。図の Research Network1 は、商用目的の利用を禁止するという政策をもつ。Commercial Network2 は商用、学術などの目的は問わない。次に QoS 的情報であるが、Network1 はバンド幅が太く、Network 2

は比較的バンド幅が細い。実際には具体的な数値で表す必要がある。また、Network3 はパケット網を利用しているため、パケットそのものの発信者のアドレスに課金することになっているとする。

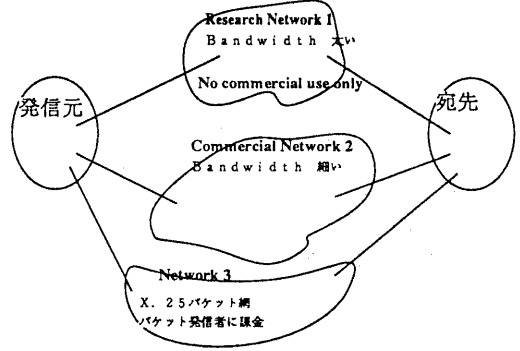


図 1: 網の政策と接続情報、QoS 情報

## 2.2 始点の意思

始点の意思には、パケット発信者の意思、サイトの管理者の意思、始点の網の意思のように階層的なグラニュラリティが存在すると考えられる。パケット発信者の意思にしても、使うアプリケーションや、時間により変化すると考えられる。また、一番基本的なグラニュラリティはコネクションであると考えられる。

原始的な意思はユーザにより与えられ、それを階層的に認証し、その階層での要求を付け加え、最終的にネットワークレベルの意思を作る。要求だけではなく、支払えるコストを与える。それには以下のようなものが考えられる。

- 遅延 (Latency) を抑えたい
- (自分の組織からみた) security の重視

- 支払い可能なコストの最大値 (allowance)
- 経路の希望、通って欲しい網の指定、通って欲しくない網の指定

これ以外に、ユーザの意思を認証するために、ユーザ情報、アプリケーションなどを使い、ユーザの要求の正当性をチェックし、実際に経路のもととなるネットワークレベルの意思を作成する。

図1での発信元の意味の例を説明する。発信元は、遅延の少ない速いネットワークが使いたいと主張するだろうから、Network1 と Network2 では、バンド幅の太い方を使いたい。そのとき自己申告の形で商用目的か学術目的かを与える。このような方針でルーティングを決めると、商用目的の場合は Network2、学術目的の場合はバンド幅の太い Network1 を使うような経路制御を行なうことになる。

### 2.3 終点の意思

クライアント・サーバモデルでの終点はサーバ機能となるが、終点の意思としては外からのトラフィックに対する要求、すなわち以下のようなものを例として挙げるができる。

- セキュリティ問題などで、mail はできるだけ早く自分の信頼している網に入ってほしい
- anonymous ftp や Gopher などを公開してる場合に、パケットを発信する側が課金される網があった場合
- 遅延を抑えたい
- 経路の希望

始点の意思と同様に階層的に認証する必要がある。

図1の例では、宛先で匿名 ftp を公開している場合、発信元からの要求にもかかわらず、宛先から大量のデータ転送が発生することになる。その場合、Network3 を使うと、発信元の払うべきパケットで

あるにもかかわらず、課金が宛先にかかる。そのために、宛先の意思として、パケット発信者に課金されるようなネットワークは通りたくないというものが発生する。

## 3 ネットワークのモデル化

次に、前章で述べた要求を満たすような経路制御を取り扱うモデルを考える。

一般的には、網と網はその間を二点間リンクや IX と呼ばれる接続点によって接続される。複数の経路があるネットワークの例を図2の左側に示す。

### 3.1 接点モデル

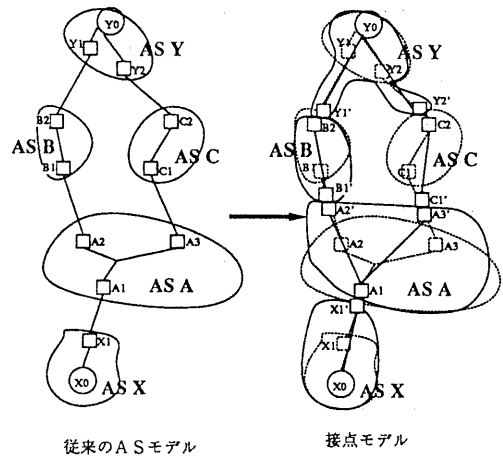


図2: 接点モデル

ここで、網と網の間の二点間リンクにはコストがないというモデルを考える。つまり、図2左の A1-B1 リンクのどこかに網の境界があり、そこで網が接していると考え。そして、その接点を新しく網の出入口と考える。そのようにして簡略化すると、図2の右側のような簡略化されたグラフとなる。各網 (AS) は網を通過するときの情報を、任意の接点間の情報としてだけ与えればよい。網単位に経路制御を行なうため、各網は一度のみ通る。

### 3.2 接点モデルでのIX

一つのサブネットに複数の網が接続し、網間の接続を行なっている場所をIX(Internet eXchange)という。

IXで物理的に接続していても、経路情報をやりとりしていない場合は接続していないのと同じであるので、網と網の接続が複数あると考えるのが妥当である。そのため、IXのモデルは経路情報交換を行なっている網間の接点複数に分割される。

図3に3つの網が相互接続しているIXのモデル化の例を示す。

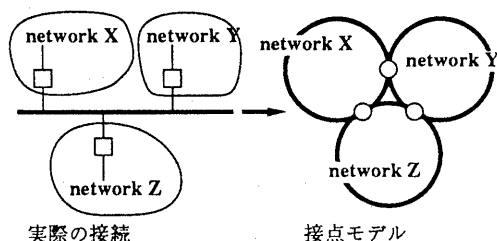


図3: 接点モデル (IX)

## 4 最適経路の導出

最適経路を求めるには、可能な経路の中からコストが最小のものを選ぶという方法をとる。つまり、リンク  $i$  のコストを  $C_i$  とし、可能な経路の集合  $Routes$  の要素のうちで、全体のコストを最小にするものを選ぶ。

$$\text{最適経路} = R : \underset{R \in Routes}{\text{minimum}} \sum_{i \in R} C_i$$

### 4.1 コストモデル

接点モデルで与えられる網の経路の政策、各リンク  $QoS$  情報を  $A$  とすると、リンク  $i$  のパラメータ

$A_i$  は次のように与えられる。

$$A_i = QoS_i + Policy_{AS(i)}$$

$QoS$  パラメータの部分には、遅延、スループット、MTU、セキュリティパラメータ、金銭的成本などが含まれる。

次に、始点・終点の意思であるが、全体として抑えたいコストを  $B$  とし、プリファレンスによる経路制御 [6] でのプリファレンスパラメータ  $\beta$  という形で通したい網、通したくない網を指定する。

そうすると、各リンクのコストは以下の式で与えられる。

$$C_i = f(A_i, B, \beta_i)$$

このように定義すると、最適経路制御問題を最短経路問題に帰結できる。関数  $f$  にて発信元、宛先アドレスやユーザクラスなどによる政策のチェックを行なっていると考えている。

### 4.2 政策的経路制御情報交換

前節で述べたような最適経路制御問題を解くためには、終点の意思とすべてのネットワークの政策情報、接続情報、すべてのリンクのパラメータ  $A_i$  を持っている必要がある。少なくとも域の一つはこれらの情報を集めているノードが必要である。また情報量が大きいため、リンクステート型としたほうがいだろう。基本形としては、すべての網で同じデータを持ち、同じ条件で経路を決定すべきであろう。また、域に複数の経路情報を計算するノードがある場合、一台が代表して他の域とやりとりを行ない、それが一括してその域の別の経路サーバに情報をわたすようにすべきであろう。

## 5 終端の意思のグラニュラリティ

第2章にて議論した域の政策のうち、ユーザ・クラスによる利用制御や、課金の管理などは、ユーザ個人を把握し、認証する必要から、終端域の各組織

の網や、そのなかのサブグループ内の網レベルで解決されることになるだろう。

第1章でも説明したが、経路制御のグラニュラリティとしては、始点・終点の意思(プリファレンス)をどのように与えるか、そしてそれをだれが認めるかという問題がある。なぜなら、域としてはその中の組織の網の1ユーザのことは知らないだろうからである。また、各組織でも、ユーザの所属部所ですか、各ユーザの事情は把握できないであろう。また、ユーザの意思以外に、所属部所での方針や、組織の方針、域の方針のため、終端の意思は図4のように表せる。

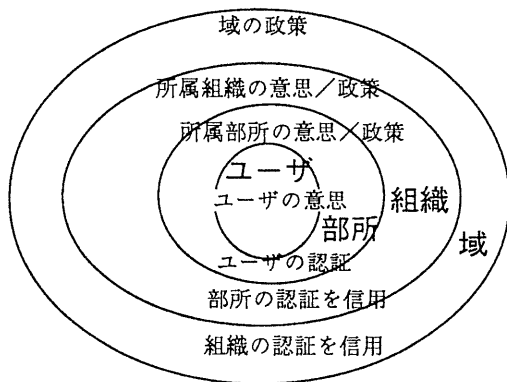


図4: 終端の意思

ユーザがあるサービスを受ける時、ある意思(プリファレンス)を持つとすると、一つ上の階層のユーザの所属部所でユーザ個人の認証を行ない、そして所属部所の政策/意思を付加されてさらに上位に送られる。そこで所属組織レベルの政策/意思を付加され、ネットワークレベルの意思(プリファレンス)となる。この意思と各域の政策をもとに、第4章で説明したような最適経路計算を行なうことで、経路を得ることができる。

ここで例をあげる。ある組織では個別課金される

ネットワークの利用は教員に限るような制限をしているとする。すると、部所として、学部は教員リストを持っているため、あるユーザが教員であり、課金されるネットワークを使ってでも速いネットワークを使いたいという意思を持ったとする。すると、ユーザの所属部所である学部がユーザが教員であることを認証し、それを上位の組織レベルに伝え、組織の意思/政策を満たすか調べ、そして域の政策を満足したものがネットワークレベルの意思となる。

ユーザの分散管理という面から、ユーザ管理のドメインごとにこのようなシステムが必要であるので、DNS(Domain Name System)[4]の各ドメインなどに一つづつ以上、このような仕組みが必要になるだろう。

## 6 まとめ

いままで説明したことをまとめると次のようになる。

- 各域は政策や接続情報を全ての域に広報する
- 各域や各組織のルーティングサーバはすべての域の情報を収集する
- ユーザが新しいセッションを張るとき、ユーザの意思を上位意思サーバに送る
- 中間意思サーバでは、ユーザを認証し、ユーザの意思に自分のレベルでの意思/政策を追加し、ユーザの意思を上位に送る
- 各組織の意思サーバでは、中間サーバから受けとった意思に自分のレベルでの意思/政策を追加し、ネットワークレベルの意思をつくる
- ポリシールーティングサーバは、発信元と宛先の意思を得、持っている各域の政策、接続情報をもとに最適経路を計算する。
- その結果をもとに、通信を行なう

今回は、できるだけ一般的な政策的経路制御について述べ、政策的経路制御を行なうのに適したモデル化と、その場合の経路制御について述べた。

今後は、経路情報として交換する情報の決定、情報交換の方法、始点・終点の意思の認証、始点・終点間での意思の統一などの問題を解決し、経路制御に必要なコストの算出を行ない、実際に動くモデルを作る必要がある。

さらに、バンド幅のリザベーションについてもとりこみ、考える必要がある。ソースルーティングとバンド幅リザベーションを組み合わせる場合、電話網の回線交換との類似性が出てくるため、そのあたりの調査が必要となる。

## 参考文献

- [1] D. Estrin. Policy requirements for inter-administrative domain routing. *Computer Networks and ISDN Systems*, No. 22, pp. 179-191, 1991.
- [2] D. Estrin. Policy requirements for inter-administrative domain routing. *Computer Networks and ISDN Systems*, No. 22, pp. 179-191, 1991.
- [3] K. Lougheed and Y. Rekhter. Border gateway protocol (bgp). RFC 1163, June 1990.
- [4] P. Mockapetris. Domain concepts and facilities. RFC 1034.
- [5] M. Steenstrup. Inter-domain policy routing protocol specification: Version 1. Internet draft, May 1992.
- [6] 村山優子, 中村素典, 清水亮博, 藤原和典, 相川秀幸. プリフェレンスによる経路制御. 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会報告書, November 1993.
- [7] 村山優子, 曾根文樹. 政策的経路制御とその動向. 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会報告書, May 1993.