

域間経路制御における終端サイトの意思について*

村山 優子 中村 素典 清水 亮博 藤原 和典
WIDE プロジェクト† 京都大学‡ 東京工業大学§ 早稲田大学¶

相川 秀幸
富士通研究所 ||

Abstract

政策的経路制御では、ひとつの運用方針に従う網の集合をひとつのノードと考え、それぞれのノードの様々な方針を調整することを目的としている。本論文は、それらの方針の中で、最も素朴なものと思われる発信ノードと宛先ノードなど終端サイトにおける経路に対する「嫌いなところではコストを抑えたい。」という意思の問題を論じ、それらの意思を経路制御でどのように実現できるかを探る。

1 まえがき

現在米国を中心とするインターネット網において注目されている政策的経路制御 [1] は、従来のように単純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。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 [4] 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、昨春来、「日本における各域の政策とは？」ということについて、議論していたが、日本のインターネット網の現状では、「まず、つなげれば良い。」という以外に具体的な方針を見出すことができなかつた。しかし、網制御の諸問題を検討していく内に、ある基本的な要求が存在することを発見した。それは、「宛先に行くのに、なるべく速い網を通って行きたい。」ということである。これは、筆者の一人である、京都大学の中村素典が解説したので、「もとのり問題」と呼ばれていた。同時に、2つの国に網を持ち、それらが内部の国際リンクでつながっている組織では、「自分宛のトラヒックはなるべく速く自分の域に入ってほしい。」という要求があることが判明した。この2つの要求は、インターネット網上での域間経路制御における興味深い問題に展開することができた。それは、「嫌いな域ではコストを抑えたい。」という意思が発信元と宛先にそれぞれ存在し、それらが網レベルの経路制

*Preference of end sites in inter-domain routing

†Yuko Murayama, WIDE Project

‡Motonori Nakamura, Kyoto University

§Akihiro Shimizu, Tokyo Institute of Technology

¶Kazunori Fujiwara, Waseda University

||Hideyuki Aikawa, Fujitsu Laboratories Ltd.

御でどのように実現できるかということである。本論文では、この問題を改めて「もとのり問題」と呼び、その解決法として、プリフェレンスすなわち終端サイトの意思による経路制御 (Routing by Preference) を提案する。

以下、2. では「速い網を通りたい。」という元祖もとのり問題や内部国際リンクを持つ組織の要求を解説し、それらを域間環境の問題として展開した形で「もとのり問題」を再定義する。3. では解決の条件を議論し、4. はこれらの議論のまとめをおこなう。

2 もとのり問題の定義

我々は、先にもこの問題定義を試みたが [6]、その後の研究で、さらに宛先の要求問題について展開させたので、ここで、改めて、全体を定義することにする。

以下に元祖もとのり問題、組織内リンク活用問題、そしてこれらを域間の環境において展開させたもとのり問題を論じる。

2.1 元祖もとのり問題

2つの網を接続するリンクが複数ある場合、2つの網間を流れるトラフィックについて、複数存在するリンクをそれぞれどの様に利用するかということに関して何らかの政策的要求が発生する。リンクが複数あると、それに伴って経路も複数できるため、経路の性質の違いによる得失を考慮した経路設定が望まれる訳である。例えば、両方の網を接続するそれぞれのリンクの特性 (回線速度の違いなど) およびその位置付け (バックアップの利用が目的であるなど)、さらに各網自身の持つ特性 (一方の網を構成しているバックボーン回線速度が非常に遅い、あるいはパケット交換に非常に時間がかかる) 等が経路の性質の違いとなる。

ここでは、網を接続する各リンクの性質はほぼ等しいものと考え、一方の網の遅延が他方に比べて大きい場合について考えてみる。この状況下で考えられる要求としては、まず会

話的処理が快適に行なえるようにするというものがある。

例えば、図1のようにL1, L2の2本のリンクによって接続された2つの網A, Bがあり、A, Bを結ぶ2本のリンクL1, L2の性質は同じものであるとする。図中のA1, A2は網Aのゲートウェイであり、B1, B2は網Bのゲートウェイである。さらに、網AとBでは遅延が大きく異なるものとし、網Aの方がBより遅延が少ないと仮定する。

ここで、網Aに属するサイトXと網Bに属するサイトYの2つのホストの間の通信を考えた場合、図1のようにサイトXがゲートウェイA2よりA1に時間的に近い位置にあり、サイトYがゲートウェイB1よりA2に時間的に近い位置にある場合、遅延を少なくするためには、一般に網Bを通過する時間を極力小さくするような経路が選択されることが要求される。具体的には、以下のような要求が満たされることが必要となる。

1. 網Aに属するサイトXから出たパケットは、サイトYに最も近いリンクL2を経由して網Bに移りサイトYに到達する。
2. 網Bに属するサイトYから出たパケットは、最も近い網AへのリンクL2を経由して網Aに移りサイトXに到達する。

明示的に通信チャネルを設定するような経路制御を用いない限りは、上記1と2の要求は個別に実装する必要がある。研究グループでは、この要求をRIP(Routing Information Protocol) [2]を用いて経路情報を交換し、最小コストにより経路決定を行なっている網において実装することを考えたが、いずれかのリンクに障害が発生した場合にも最適な経路制御が行なわれるような一般的な制御は容易ではないという結論に達した [5]。

2.2 組織内リンク活用問題

海外にオフィスを持つ企業などでは、それらのサイトとの間で企業内リンクを持っていて、そ

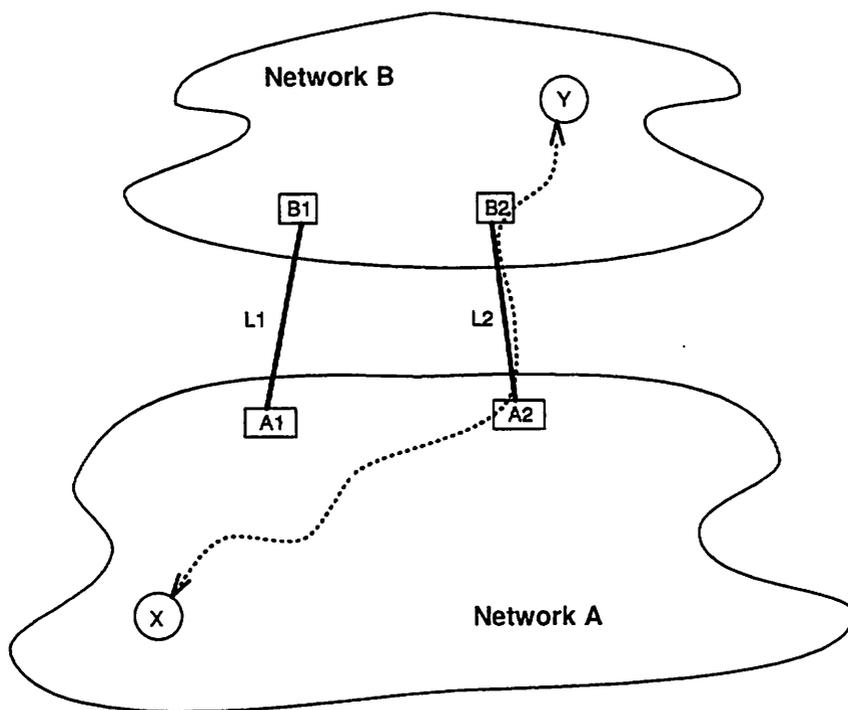


Figure 1: 元祖もとのり問題

の企業が図 2 のように二ヶ所でインターネット網に接続している場合がある。ここで、この企業の全体の網を A、A の日本側部分を A1、海外部分を A2、A1 と接続しているインターネットの部分を B、A2 と接続しているインターネットの部分を C とする。

このとき企業 A は、インターネットの国際リンク L3 のトラフィックを軽減するため、あるいは、安全性の理由から、自分宛や自分からのトラフィックを、できるだけリンク L4 を通したいと考える。この方針は具体的には以下のようなになる。

1. A1 中のサイト X からインターネット網の C 中のサイト Y へ情報を転送する場合は、トラフィックはなるべく長く企業 A の網を通りたいので、リンク L4、L2 を通って送られる。

2. C 中のサイト Y から A1 中のサイト X へ情報を送る場合には、トラフィックはなるべく早く A2 に入りたいので、リンク L2、L4 を通って送られる。

3. A2 中のサイトからインターネットの B 中のサイトへのトラフィックはなるべく長く企業 A の網を通りたいので、リンク L4、L1 を通って送られる。

4. B 中のサイトから A2 中のサイトへのトラフィックはなるべく早く A2 に入りたいので、リンク L1、L4 を通って送られる。

3 と 4 は 1 と 2 にそれぞれ同等である。1 と 2 は前節で述べた元祖もとのり問題と同じである。従って、海外との内部リンクを持つサイトのメールの経路問題は、元祖もとのり問題とほぼ同じであるように見える。しかし、2. の元祖もとのり問題は、発信元の意味による問

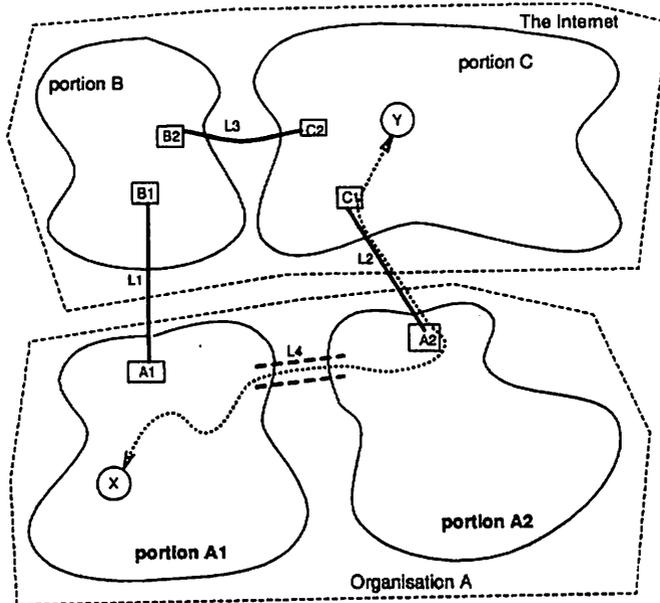


Figure 2: 組織内リンク活用問題

題であったのに対し、ここで解説した内部リンク活用問題は、宛先の意思による問題も含んでいる。

2.3 域間環境におけるもとのり問題

ここでは、「速い網をできるだけ通って宛先に行きたい。」という問題と、「できるだけ組織内のリンクを使いたい。」という要求をまとめ、域間 (inter-domain) における経路制御の問題として定義を行なう。以下、この問題をもとのり問題と呼ぶ。

問題を域間環境に適用させるため、まず、発信元と宛先を独立した域 — Autonomous System (AS) に属し、その途中に様々な域が存在すると仮定する。事実、複雑な相互接続のインターネット網環境では、発信元や宛先が主要網などの通過のための中間網とは別である方が一般的であろう。図 3 のように、発信元は X という名の域 (AS) に属し、宛先は AS Y という域に属する。

「速い網をできるだけ通って宛先に行きたい。」という問題は次のよう拡張できる。X と Y が通信する際、2つの域、AS A と AS B を通過しなければならないとする。ここで、2つの域の通過コストが異なる場合、すなわち、A は B よりも速くパケットを通すとすると、問題は次の2つの方針を実現することである：

1. X に属する X0 から Y に属する Y0 に情報を送る時は、なるべく A を通り、B における滞在コストはなるべく少なくする。
2. 逆に、Y から X へ行く時は、B を出来るだけ早く抜け出て A に入る。

もう少し一般化すると、問題は発信元が、宛先までの経路を構成する n 個の AS の内自分が望む m 個の AS がある時、望まない $n - m$ 個の AS ではできるだけコストを低く通り抜きたいという方針を、いかに実現できるかということである。もとのり問題における発信元の要求は、嫌いな AS ではできるだけ通過

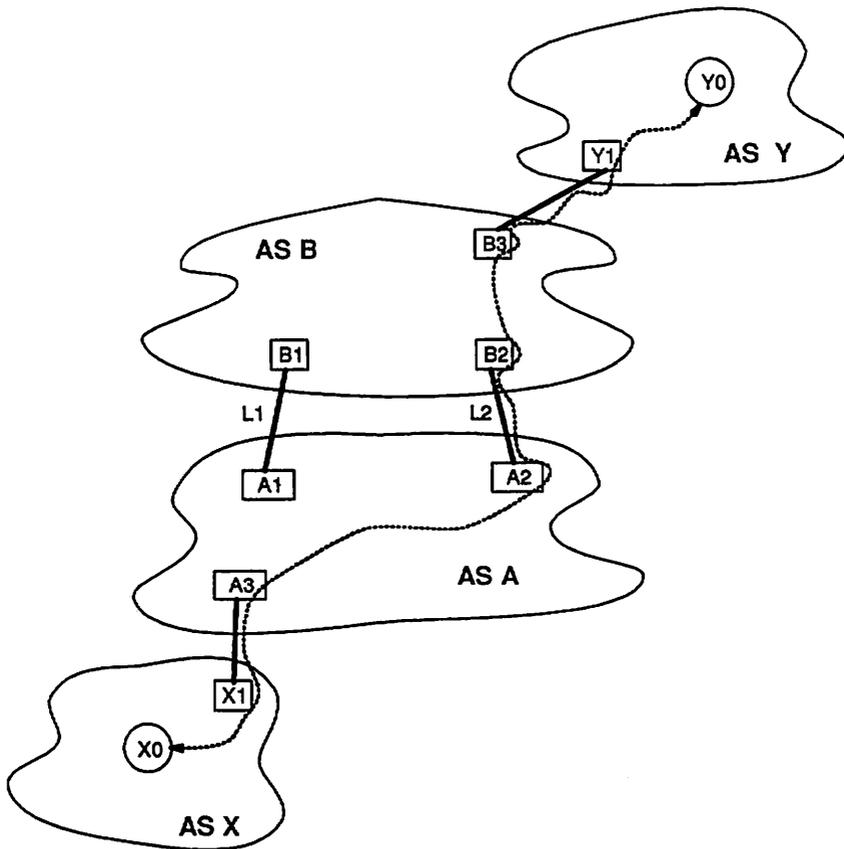


Figure 3: もとのり問題

コストを抑えることで、達成されるのである。すなわち、好きな AS ではどんなにコストがかかっても気にしないが、嫌いな AS ではあるコスト面での最短経路を通りたいという要求である。

さて、「できるだけ組織内の国際リンクを使いたい。」という要求のうち、その組織から外部へのトラフィックについては、なるべく自分のところに通って外に出るという発信元の要求は、先に述べた元祖もとのり問題と同じである。これに対して、外部からのトラフィックについての要求は、なるべく早く自分の組織域にはいつて欲しいということで、宛先の要求である。

以下にこの宛先 AS の受け入れトラフィックに対する要望を、域間環境 (図 3 参照) において、展開していく。本来は、できるだけ早く自分の AS に入って欲しいということであるが、さらに、これを一般化すると、できるだけ早く自分の好きな AS に入って欲しいという要求に展開できる。それは、好きな AS まではコストを抑えて来て欲しいということであり、「望まない AS ではできるだけコストを低く通り抜けたい。」ということに帰結する。

これらをまとめると、「望まない AS ではできるだけコストを低く通り抜けたい。」という意思が発信元にも宛先にも存在するということである。これをもとのり問題と呼び、その

解決策を Routing by Preference と呼ぶ。

Routing by Preference では、発信元と宛先それぞれの意思 (preference)、また中間域の意志 (policy) の調整によって経路が決定されなければならない。ここで、意思とは、通信における終端サイトが発信元から宛先の間を介する中間域全体に対する「できれば、かなえて欲しい」という要求であり、これに対して、中間域の意志とは、中間域が通過トラフィックに対して絶対行使されるアクセス制御の方針である。すなわち、Routing by Preference は、様々な質の網サービスが提供され、様々なアクセス制御の行使された域が混在する環境下で、如何に通信の終端サイトの「望まない AS ではできるだけコストを低く通り抜けたい。」という意思を行使していくかの問題である。

3 解決の条件

問題の解決のためには、Routing by Preference に必要な情報と、その情報がいつ誰により提供されるか、また実際にいつ使われるかを考えなければならない。これらは、今後の研究課題であるが、ここでは、現在考えられる可能性を論じる。3.1 では、必要な情報を考え、3.2 では、その情報がどのように流れ、使用されて行くかを述べる。

3.1 必要な情報

中間 AS の通過パケットに対する諸条件は、経路制御情報として何らかの形で関係 AS に配布されるが、これに加えて、Routing by Preference では、次のような情報が必要となる。

発信元や宛先などの終端サイトの意思は 2 つのパラメータで表される。それは、「避けたい AS」と「そこで低く抑えたいコスト」である。

避けたい AS は、AS レベルの属性やその AS の網レベルのサービスの質 (Quality of Service(QoS)) で指定することができる。例えば次のようなもので指定できる：

- AS レベル属性, 例) 特定のプロジェクトのメンバーである/ない AS, 学術系 AS, 研究系 AS, 商業系 AS など。
- 網レベル属性, 例) AS 内の網の最大パケット長 (Maximum Transmission Unit (MTU))
- 網レベル QoS 基準, 例) 遅延時間, 速度, 安全性の度合い, 課金コストなど。

低く抑えたいコストは、網サービスの品質 (Quality of Services) のパラメータを指す。これは、距離に比例するものと、独立なものに分けられる。もとのり問題では、距離関係のコストの方が分かり易いが、独立なものでも論じることが可能である。発信元は、避けたい AS で低くしたいパフォーマンスや安全性のレベル、課金のコストなどを指定する。

3.2 必要情報の流れと使われ方

先ず、発信元の意思は、次のように発生する。ユーザのレベルで他の域にあるユーザとの通信が要求される。これが、網レベルでのプリフェレンス (意思) を生み出すと思われる。ただし、どんなトラフィックについても、網レベルでは一様な意思が存在している場合もあるだろう。

発信元意思は、経路決定の際に使われる。域間経路決定では、AS 単位での全体経路 (route) とルータ単位での部分経路 (path) の決定を行なう。これらは、hop-by-hop などの方式のように同時に同じ場所で決定される場合や、それぞれ異なる時に異なるところで決定されることもできる。例えば、hop-by-hop を基盤とするインターネット網において発信元指定の AS 単位の経路を用いれば、AS 単位の経路は発信元で決められるが、それぞれの AS 内での経路は、hop-by-hop で各ルータごとに決定される。

発信元の意思情報、「避けたい AS」と「低く抑えたいコスト」は、hop-by-hop の場合、各

関係ルータに知らせなければならない。この場合は、おそらく、各パケットに発信元の意味を付加情報として挿入した形で運ばれて行くと思われる。発信元指経路決定の場合は、その発信元 AS 内の経路決定者（例：経路サーバ）に経路要求情報を内部で伝えるであろう。

また、「低く抑えたいコスト」要求を満たすために、部分経路決定者は、中間域における通過コスト情報を知る必要がある。これは経路情報の配布の問題である。

宛先の「避けたい AS」と「低く抑えたいコスト」の意味は、発信元からのトラヒックが発生する以前に存在すると思われる。この意思情報は、発信元からの問い合わせに応じて発表されることもあり、また、中間域の方針のように、次節で述べるような方法で経路情報として流すことができる。さらに、この宛先域の意思の背景には、公的な主要網の一部のリンクの使用軽減につながる場合もあるので、他の域も協力した形での経路情報制御が可能であろう。

中間域の方針（意志）も、基本的には経路情報として他の域に配布されていく。既存の政策的経路制御のプロトコルで使用されている経路情報配布の方法には、distance vector における隣の ASs への配布や link state での flooding 方式などが上げられる。我研究グループでは、このような経路情報は網レベルで経路制御プロトコルの一部の機能を利用して配布するという従来の手法から離れ、もっと自由な発想の情報配布方法を検討中である。すなわち、情報の配布自体を経路制御から独立した機能として見ている。現段階では、次のようなものが考えられる。

- 新聞（マスメディア）方式
- セールスマン方式
- 問い合わせ方式

新聞方式は、本質的に flooding、すなわち、すべてのノードが一様な情報を配布する。X.500

ディレクトリの使用なども、情報がだれにでも公開されるという観点から見て、この方式の一種であると考えられる。

セールスマン方式は、異なるノード群あるいは個別のノードに、それぞれ、異なる内容の情報を配布する。すなわち、伝える相手によって、異なる情報を異なる暗号で流すことができる。このように、アクセス制御の面からは、非常に有用な方法であるが、域間網全体としての相互接続性の一貫性の維持に留意しなければならない。

問い合わせ方式とは、Request-Reply の方式で、必要な時に、各ノードが、相手ノードに直接問い合わせ、情報を得る方式である。

この他にも数々の手法があると思うが、今後、それらの検討とともに、その組合せた形の配布手法を考えてみたい。

最後に、これら発信元、宛先、中間域のそれぞれの意向は調整が必要である。終端サイトの意思が、どの程度中間域の意志の上に実現されるかで経路が決定される。これらの方針や意志の承認手続きも必要で、これらは今後の重要な研究課題である。

4 むすび

本論文では、経路制御を使用制御の観点から考えた政策的経路制御において実施されたい具体的な方針のひとつを定義した。それは、「ある点からみて好ましい域をできるだけ通って宛先に行ってほしい／来て欲しい。」という発信元と宛先のそれぞれの要求を、その間に介在する中間域の通過トラヒックに対する経路制御の方針の下に、如何に実現できるかである。この問題を「もとのり問題」と呼び、解決のための経路制御を Routing by Preference と呼んだ。

解決のためには、発信元、宛先の要求を関係域に伝えなければならない。これは、パケット転送時や経路情報配布時に行なわれるであろう。

WIDEプロジェクトのポリシー・ルーティングのグループでは、現在、Routing by Preferenceのサブ・グループにおいて、この研究を進めている。現在は、問題のモデル化を行なっている。

本論文で紹介した終端サイトの意思を経路制御で実現する上で、様々な問題を考慮にいれていかなければならない。例えば、終端サイトの意思のなかで、好き嫌いというインターネット網の部分は、域単位で良いかどうかを検討されなければならない。それは域の一部分かもしれないし、域の集合かもしれない。これに反し、中間域は、管理域単位で経路情報公開をしていくであろう。その際、中間域は域内情報の公開をどれだけ許すのだろうか。公開が許されない場合でも、域間経路制御のルータ間を観察することでそれらの内部リンクのコストは得られてしまうのではないだろうか。この論議は次の大問題を提起する。インターネット網上の域間経路制御ルータはインターネットの一部と考えて良いのだろうか。それとも、それらは各域の所有物でしかないのだろうか。こうした問題は、域間経路制御だけの、問題ではなく、インターネット網とそれを構成する各管理域の協调度合の問題であり、今後検討されていかなければならないであろう。

謝辞

WIDEプロジェクトのポリシー・ルーティングおよびPreferenceのグループのメンバーの諸氏に感謝します。

References

- [1] D. Estrin. Policy requirements for inter-administrative domain routing. *Computer Networks and ISDN Systems*, No. 22, pp. 179-191, 1991.
- [2] C.L. Hedrick. Routing information protocol. RFC 1058, June 1988.
- [3] K. Lougheed and Y. Rekhter. Border gateway protocol (bgp). RFC 1163, June 1990.
- [4] M. Steenstrup. Inter-domain policy routing protocol specification: Version 1. Internet draft, May 1992.
- [5] 中村素典, 出水法俊. Ripにおける最適経路選択のための preference の導入. 情報処理学会研究会報告書, July 1993.
- [6] 村山優子, 中村素典, 相川秀幸. 経路制御におけるもとのり問題の定義. 情報処理学会研究報告, No. 93-DPS-61, pp. 195-201, July 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.