

## RIPにおける最適経路選択のためのプレファレンスの導入

中村 素典<sup>†</sup>

出水 法俊<sup>‡</sup>

京都大学 工学部

オムロン 株式会社

インターネットの経路制御プロトコルの一つである RIP (Routing Information Protocol) において経路情報に含まれているコスト情報によらずに経路を選択するため、プレファレンスと呼ぶ概念を導入することを試みた。多くのネットワークが複雑に相互接続をおこなうインターネット環境では、目的地までの経路が複数存在することがある。通信に利用できる経路が複数存在する場合には、最適な経路が選択されることが望まれる。そこで、現在日本において主に用いられている経路情報に経路の特性を十分表現できない RIP によって、より最適な経路制御を実現するために、プレファレンスを導入することの有効性と問題点について考察する。

## Incorporating Preference into RIP for Optimized Routing

Motonori NAKAMURA<sup>†</sup>

Noritoshi DEMIZU<sup>‡</sup>

Kyoto University

OMRON Corporation

We have tried to incorporate the “preference” factor into the routing mechanism based on RIP (Routing Information Protocol), so that a better optimized route could be selected. RIP has been used throughout the Japanese Internet. There may well be more than one route from a source to a destination across the Internet due to multiple interfaces between networks. Since we wish to use the most optimized route in terms of a cost like throughput, we have incorporated the concept of preference into the current routing system. This paper reports its effects and problems.

---

<sup>†</sup>motonori@kuis.kyoto-u.ac.jp

<sup>‡</sup>demizu@nff.ncl.omron.co.jp

## 1 まえがき

日本における IP インターネットは、WIDE, JAIN, TISN 等のネットワークを中心に発達し、現在では SINET, JOIN その他地域ネットワークも参加してさらに広がり続けている。これらのネットワークは、それぞれ相互接続をおこなない IP の相互乗り入れを可能としている。

これらのネットワークのうちのいくつかは複数箇所でも相互接続をおこなっているが、複数箇所でも相互接続をおこなう場合には、通信の速度や容量などのコストを考慮した最適な経路選択や、各リンクに流れるトラフィックを均衡化することによる負荷分散が望まれる。このような要望は政策 (policy) として表現される。

経路選択への要件の表現である政策は経路制御プロトコル上に実現されることになるが、日本のインターネットにおいては、その創世期から今日まで経路制御プロトコルとして RIP (Routing Information Protocol[1]) を利用してきていることから、RIP 上に政策を実現する 1 方法について考察する。

## 2 RIP メトリックの調整

RIP では、あるネットワーク<sup>1</sup> に到達するためのコストを 1 から 15 までの値を持つメトリックによって表現する。メトリックは目的ネットワークに到達するまでに通過するゲートウェイの数 (ホップ数) に対応し、目的ネットワークまでの経路が複数存在する場合には、メトリックの小さい方の経路が選択される。

政策を実現するにあたって、複数存在する経路のうち特定の経路が優先的に選択されるようにするためには、優先したい経路に関する RIP のメトリックが他の経路に関する RIP のメトリックよりも小さくなる必要がある。もし、優先させたいリンクのメトリックが最小でない場合には、

- 優先させたい経路に関する RIP のメトリック

クを他の経路のメトリックより小さくなるように減らす (redistribute)。

- バックアップとさせたい経路に関する RIP のメトリックを優先させたい経路のメトリックよりも大きくなるように増やす。

このうち前者は、経路情報にループが発生し、正しくない経路情報が流れてしまう可能性があるため望ましい方法とは言えない。

また、RIP のメトリックは 15 が到達可能を示す最大値であり 16 は到達不能であることを示すため、RIP を用いているインターネットの規模が大きくなるにしたがって、メトリックを増加させて対処するという方法は現実的でなくなる。

さらに、RIP のメトリックは単に通過するゲートウェイの数を示す値であり、ネットワークトポロジに変化が発生するたび容易に変動する。このため、メトリックを操作することにより経路微妙な調整をおこなっている場合には、メトリックが変動する毎にネットワーク管理者がその時点での各経路のゲートウェイの数を考慮して RIP のメトリックの再調整をおこなわなければならないという問題があり、望ましい方法とは言えない。

## 3 RIP プレファレンスの導入

### 3.1 Gated の変更

ワークステーション上のルーティングソフトウェアとして広く利用されている gated[2] では第二版からプレファレンスという概念が導入された (以下 gated-2 と表す)。これは、同一のネットワークに対する経路情報がプロトコルによらず複数存在する場合、特定の経路情報が到達可能を示していればメトリックにかかわらずその経路情報を優先的に採用できるようにするものである。だが、gated-2 の仕様では、RIP から得られた複数の経路情報の間ではプレファレンスは機能せずメトリックの値のみによって経路選択がおこなわれるようになっている。RIP 同士

<sup>1</sup>ここでネットワークとは、RIP の経路情報アナウンスの単位である、ひとつの IP ネットワークアドレスをもつホストの集合体を意味する。

づく経路選択を機能させるためには、gated-2 のソースの中の rip.c に図 1 の変更をおこなう必要がある。

変更を加えた gated-2 では、gated.conf におい

て図 2 のように RIP を送出するゲートウェイ毎にプレファレンスの値を変えた記述が意味を持つようになる。

```
*** rip.c.ORIG Sat Sep 5 17:14:35 1992
--- rip.c      Sat Sep 5 17:15:59 1992
*****
*** 635,641 ****
--- 635,647 ----

    if ((metric >= RIPHOPCNT_INFINITY) || (rt->rt_state
& RTS_HOLDDOWN)) {
        continue;
    }
+ #ifdef NO_RIP_PREFERENCE
    if ((metric < rt->rt_metric) ||
+ #else
    if ((preference < rt->rt_preference) ||
+
    (preference == rt->rt_preference) &&
+
    (metric < rt->rt_metric) ||
+ #endif

        ((rt->rt_timer > (rt->rt_timer_max / 2)) &&
        (rt->rt_metric == metric) && !(rt->rt_state &
(RTS_CHANGED | RTS_REFRESH)))) {
        if (rt_change(rt,
```

図 1: gated 2.1 へのパッチ

プレファレンスは値が小さいものほど高い優先度を表しものであり、図 2 の例では IP アドレス 130.54.4.2 を持つゲートウェイから送られてきた RIP の経路情報に含まれる到達可能な経路については、IP アドレス 130.54.20.192 を持つゲートウェイからの情報によらず IP アドレス 130.54.4.2 を持つゲートウェイ経由の経路が選択されることになる。

```
accept proto rip gateway 130.54.20.192 {
    listen all preference 80 ;
};
accept proto rip gateway 130.54.4.2 {
    listen all preference 60 ;
};
```

図 2: プレファレンスを用いた gated.conf の例

### 3.2 RIP プレファレンスを導入する上で の前提条件

RIP にプレファレンスを導入した場合、メトリックが大きくとも到達可能であることを示し

ている場合には、その方向の経路を選択させることが可能になる。しかし、到達可能であることを示す経路情報を送った先のゲートウェイから、送った情報に基づいた到達可能を示す経路情報が送り返されてくることが考えられ、もし送り返してきたゲートウェイの方向の経路の優先度を高く設定してあるとすれば、実際には到達不能である方向であるにもかかわらずその方向の経路を選択してしまうことになる。この場合、経路は安定せずに振動が発生する可能性がある。

元来、RIP では経路が変化する際に安定で迅速な状態遷移を可能とするため、split horizon with poisoned reverse という手法が定義されている [1] が、この手法が実装されているならばこの振動は回避することができる。したがって、RIP による経路情報間にプレファレンスを導入する場合には

- split horizon with poisoned reverse が実装されている

- メトリック 16 (到達不能を示す値) を示している経路はプレファレンスの値にかかわらず他の到達可能な経路に優先しない

という前提条件が必要となる。実際に gated-2 はこの条件を満たしているため、この条件を以下の議論における前提とする。

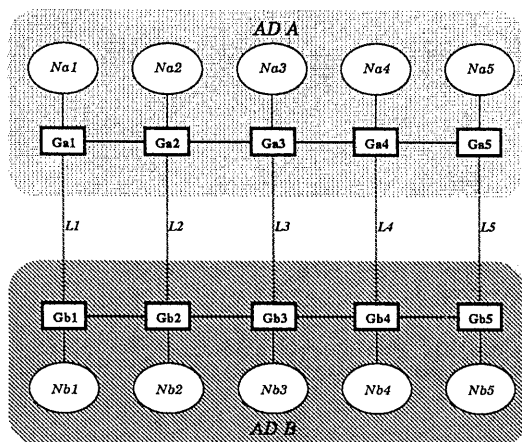


図 3: 2 管理域間に複数のリンクがあるモデル

## 4 政策の実現

ここで図 3 に示すように 2 つの管理域 (AD; Administrative Domain) <sup>2</sup> が複数のリンクで相互接続をおこなっているモデルを考える。

図中の  $L_n$  は管理域間のリンク、 $Gx_n$  ( $x$  は  $a$  または  $b$ ) はリンクに接続された管理域  $X$  ( $X$  は  $A$  または  $B$ ) のバックボーンを構成するゲートウェイ、 $Nx_n$  は管理域  $X$  の各ゲートウェイに接続されたネットワークを示す。

ここでは簡単のため、両管理域は一直線のバックボーン構成で、バックボーンを構成するゲートウェイはそれぞれ他方の管理域の対向するゲートウェイに対してリンクを持つものとする。

2 つのネットワークを接続するリンクの利用に関する政策は、両ネットワーク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 (バックアップ的利用が目的であ

るなど)、さらに各ネットワーク自身の持つ特性 (一方のネットワークを構成しているバックボーンの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) さらには回線費用等の経路の性質の違いによる得失を考慮したものになるのが一般的である。

このとき、政策として少なくとも次に挙げる 2 つのものが考えられる。

1. 始点ホストから最も近いリンクを経由させる
2. 終点ホストに最も近いリンクを経由させる

以下ではこの 2 つの政策を RIP プレファレンスに基づいて実現するための方法について述べる。ただし、実現にあたっては RIP メトリックの操作はおこなわないものとする。なお、どちらの場合においても管理域  $A$  から管理域  $B$  への経路に注目するものとする。

### 4.1 始点ホストから最も近いリンクを経由

始点となるホスト  $Ha_n$  に最も近いリンクを経由して管理域  $B$  に到達させる場合には、各リンクのゲートウェイ  $Ga_n$  は、対となっている相手側ゲートウェイ  $Gb_n$  から送られてくる、管理域  $B$  に属するネットワークに関する RIP を高い優先度で受け、他のリンクを経由して到達可能であることを示す、両隣のゲートウェイ  $Ga_{n-1}$ 、 $Ga_{n+1}$  から送られてくる RIP を低い優先度で受けるように設定する。両隣のゲートウェイから受けとる RIP に対するプレファレンスが等しく設定してあれば、最寄りのリンクが使用不能である場合にメトリックに従って両隣のゲートウェイのうちのどちらかの方向が選択される。

両隣のゲートウェイから受けとる RIP に対するプレファレンスの設定が等しい場合、各ゲートウェイは単に各々の持つリンクの方向を高い優先度で選択し、リンクが使用不能な場合にはメトリックのみに基づいて経路選択をおこなうことになる。よって、管理域  $A$  の内部トポロジ

<sup>2</sup>ここで管理域とは、同一 IP ネットワークアドレスをもつホストの集合であるところのネットワークが、複数集まって構成する一つのネットワーク組織に対応する。

は一直線のバックボーン構成でなく任意のトポロジでよい。

優先順位第2位以下のリンクに対しても異なる優先順位を与えたい場合には、両隣のゲートウェイから受けとるRIPについても異なるプレファレンスを与えることになるが、この場合は管理域Aの各ゲートウェイが連携した経路選択動作をする必要があるため、次項の議論に帰着される。

## 4.2 終点ホストに最も近いリンクを経由

管理域A内部で最も終点ホストに近いリンクまで近付いてから管理域Bに進入させたい場合には、管理域Aのゲートウェイは、各々の保持するリンクに最も近い相手のネットワークに関する経路情報を高い優先順位で受けとり、他のリンクに近いネットワークに関しては、保持するリンクから送られてくる経路情報よりも管理域A内部からの経路情報を高い優先順位で受けとる。このようにすることで、各々のネットワークに対して特定のリンクを経由させることができる。

また、どのような組合せでリンクが使用不能になった場合であっても、終点ホストに極力近いリンクを経由させるためには、それぞれのリンクに順位付けをおこない、管理域A全体としてその順にリンクが選択されるようなプレファレンスを設定する必要がある。

図3を例にとると、まず相手の管理域B内部の各ネットワークがどのリンクに最も近いかを調べ、ネットワーク毎に利用するリンクの優先順位を決定する(表1、値が小さいほど優先度が高いことを示す)。

表1: リンクの優先順位

|        | $L_1$ | $L_2$ | $L_3$ | $L_4$ | $L_5$ |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Nb_1$ | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    |
| $Nb_2$ | 20    | 10    | 20    | 30    | 40    |
| $Nb_3$ | 30    | 20    | 10    | 20    | 30    |
| $Nb_4$ | 40    | 30    | 20    | 10    | 20    |
| $Nb_5$ | 50    | 40    | 30    | 20    | 10    |

この表に基づき、管理域Bの各ネットワー

ク $Nb_m$ に関して $Ga_n$ では、リンク $L_n$ (ゲートウェイ $Gb_n$ )からのRIPをプレファレンス $P(Nb_m, L_n)$ で、 $Ga_{n-1}$ からのRIPをプレファレンス $P(Nb_m, L_{n-1})$ で、 $Ga_{n+1}$ からのRIPをプレファレンス $P(Nb_m, L_{n+1})$ で受けとるようにgated.confを設定する。 $Ga_2$ における具体的な設定は図4のようになる。

```
accept proto rip gateway Ga1 {
    listen Nb1-list preference 10; #  $P(Nb_1, L_1)$ 
    listen Nb2-list preference 20; #  $P(Nb_1, L_2)$ 
    listen Nb3-list preference 30; #  $P(Nb_1, L_3)$ 
    listen Nb4-list preference 40; #  $P(Nb_1, L_4)$ 
    listen Nb5-list preference 50; #  $P(Nb_1, L_5)$ 
};
accept proto rip gateway Gb2 {
    listen Nb1-list preference 20; #  $P(Nb_2, L_1)$ 
    listen Nb2-list preference 10; #  $P(Nb_2, L_2)$ 
    listen Nb3-list preference 20; #  $P(Nb_2, L_3)$ 
    listen Nb4-list preference 30; #  $P(Nb_2, L_4)$ 
    listen Nb5-list preference 40; #  $P(Nb_2, L_5)$ 
};
accept proto rip gateway Ga3 {
    listen Nb1-list preference 30; #  $P(Nb_3, L_1)$ 
    listen Nb2-list preference 20; #  $P(Nb_3, L_2)$ 
    listen Nb3-list preference 10; #  $P(Nb_3, L_3)$ 
    listen Nb4-list preference 20; #  $P(Nb_3, L_4)$ 
    listen Nb5-list preference 30; #  $P(Nb_3, L_5)$ 
};
```

図4:  $Ga_2$ のgated.confの設定

図3のように管理域Aのゲートウェイが一直線のバックボーン構成になっている場合、一般にリンクの優先順位はあるリンクを中心として両側に順に単調増加していくように振られるのが普通である。最も優先度の高いリンクの両側に振られるプレファレンス値は等しいものである必要はないが、もし等しく設定してあれば最も優先度の高いリンクが使用不能になった場合には、メトリックの値のみに従って代替経路が選択される。

使用不能となったリンクの両側に別のリンクが存在している場合には、その両側のリンクに負荷分散されることが理想的である。しかし、例えば $L_3$ が使用不能になった場合に $Ga_3$ が $Nb_3$ への経路として $Ga_4$ 方向の経路を選択したとすると、 $Ga_1$ 、 $Ga_2$ はプレファレンスにより $Ga_3$ の方

向を選択することになる。つまり、この方法ではあるネットワークへの経路として管理域 A 全体として 1 つの経路を選択することになる。

図 5 のように、管理域 A のゲートウェイが管理域 A 内で環状に接続されている場合、利用されるリンクの優先順位は期待通りとなるが、管理域 A 内部においてリンクに到達するまでの経路が冗長なものになってしまう恐れがある。例えば、図 5 において  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  の順に高い優先度を与えた場合、 $L_1$  が使用不能になると  $Ga_3$  からは  $L_2$  が隣のゲートウェイ  $Ga_2$  に接続されているにもかかわらず  $Ga_1$ ,  $Ga_2$  という経路を経由することになる。さらに  $L_2$  も使用不能となった場合についても同様であり、この問題は RIP にプレファレンスを導入しただけでは解決することができない。

終点ホストに最も近いリンクを経由するような設定をおこなう場合は、管理域内の全てのゲートウェイでリンクの優先順位に対する一貫性が保たれる必要がある。一貫性が保たれていない場合には正しい経路が選択できない可能性があり、望んでいる政策がうまく反映できないことになる。このことは次の章で述べる。

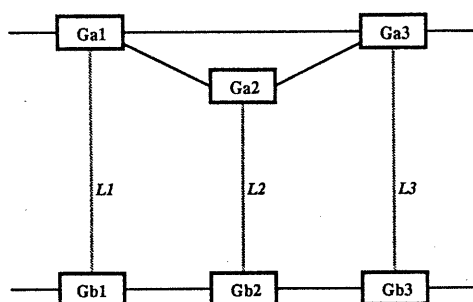


図 5: ゲートウェイが環状に接続されている例

## 5 RIP プレファレンスの問題点

### 5.1 状態遷移の安定性

RIP プレファレンスを導入した場合、複数のゲートウェイの間で次のような状況が発生すると、経路が不安定になると考えられる。

- 隣り合うゲートウェイが相互に相手からの経路情報を他より高い優先度で受けとるようになっている場合
- 3 つ以上のゲートウェイが環状に接続されていて、それぞれ高い優先度で経路情報を受けとる方向が巡回する関係になっている場合

前者の場合は、経路情報の送受のタイミングが完全に同期していることがなければ、割と早くどちらかの方向のみが選択された状態で安定すると考えられる。しかし、後者の場合は際限なく不安定な状態で振動を続けることになるため、このような設定がおこなわれないように注意することが必要である。

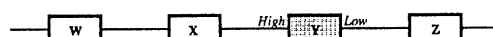


図 6: 2 つの安定状態を持つ例

### 5.2 2 つの安定状態の存在

RIP 間でプレファレンスによる選択ができるようにした場合、ルーティング情報の到達するタイミングの違いにより 2 つの安定状態が存在する。

図 6 においてゲートウェイ W, X, Z はプレファレンスによる経路選択はおこなわず、ゲートウェイ Y のみがプレファレンスによりゲートウェイ X 方向を優先しようとしているものとする。

ゲートウェイ Y の起動後、あるネットワーク N に関する RIP を最初に受けとるとき、その RIP がゲートウェイ X から送られてきたものであった場合は、プレファレンスの設定により X 方向が到達可能である限りは Z 方向から如何なるメトリックの RIP が送られてきても X 方向を選択し続ける。

ゲートウェイ Y がネットワーク N に関する RIP をゲートウェイ Z から最初に受けとった場合には、ゲートウェイ Y は Z 方向を選択し、ネットワーク N に関する RIP をゲートウェイ X に伝える。ゲートウェイ X はプレファレンスによる経路選択をおこなっていないので、純粋にメト

リックのみによる比較をおこなう。ここで、ゲートウェイ Y から送られてきている RIP のメトリックがゲートウェイ W からのものよりも小さかった場合には、ゲートウェイ X は Y 方向の経路を選択し Y 方向にネットワーク N に関する到達可能な RIP を送ることはない (split horizon)。したがって、ゲートウェイ Y は Z 方向の経路を選択したままとなる。

このような現象が発生する条件は、ゲートウェイ X の受けとるネットワーク N に関するメトリックが

$$\left( \begin{array}{c} \text{ゲートウェイ W} \\ \text{からのメトリック} \end{array} \right) > \left( \begin{array}{c} \text{ゲートウェイ Y} \\ \text{からのメトリック} \end{array} \right)$$

となるときである。

W 方向の経路が到達可能である場合に必ずそちらの経路を利用させるようにするためには、上の条件が成り立たなくなるまで W 方向に遡っていき、そこに達するまでに通過したすべてのゲートウェイにおいてプレファレンスを用いた経路選択の設定をしておく必要がある。

ただ、プレファレンスを用いて経路選択をおこなうゲートウェイ Y が、隣のゲートウェイ X、Z に対してネットワーク N に関する経路情報を送らない、あるいは、隣のゲートウェイ X、Z がゲートウェイ Y からの経路情報を無視するような場合、すなわちゲートウェイ Y がトランジット (transit) をさせないマルチホームド (multi-homed) であるような場合は、ゲートウェイ Y は近隣のゲートウェイの経路制御に影響を与えることなくプレファレンスによって自由に経路選択をおこなうことが可能である。

さらに、ゲートウェイ X もプレファレンスの設定をおこなっている場合に、ゲートウェイ X がゲートウェイ Y 方向を優先し、ゲートウェイ Y がゲートウェイ X 方向を優先するような状況が発生すると、立ち上がりの状態が非常に不安定となる。ただし、split horizon with poisoned reverse が前提であるので、ゲートウェイの RIP の送出間隔の微妙な差によりしばらくすると安定状態に移行すると考えられるが、安定状態に達するのに要する時間が長くなると予想される。この状況を回避する手段の 1 つとして、2 つの

ゲートウェイの間に新たにゲートウェイを挿入し、両方の経路情報をプレファレンスなしに受けとるように設定する方法がある。こうすることにより、不安定になることを防ぐことができるが、いずれにせよ、このような不安定な状況が発生するようなゲートウェイの設定は避けなければならない。

### 5.3 RIP の限界

RIP を用いる場合、あるゲートウェイが、選ばれるべき優先順位の高いリンクを通る経路をアナウンスしている場合と、無視されるべき優先順位の低いリンクを通る経路をアナウンスしている場合とがあるにもかかわらず、隣のゲートウェイではそのどちらであるかがアナウンスされている情報からでは判断できない。このため、RIP にプレファレンスを導入したとしても最適な経路を正しく選択することが困難な場合がある。このことは前章にも述べた通りであるが、この問題は、RIP が link state モデルでなく simple distance vector モデルに基づいた経路制御プロトコルであることによると考えられる。本稿では、RIP にプレファレンスの概念を導入することに関して述べたが、同じ simple distance vector モデルの経路制御プロトコルに対して同様の議論が成り立つものと考えられる。

simple distance vector モデルにプレファレンスを適用する上で主に問題となる性質は、

- 経路情報には、どのリンクを通る経路であるかが示されない。
- リンク情報をマージし、そのゲートウェイが選択した経路情報のみを次のゲートウェイに伝達する。

等であるが、これらは simple distance vector モデルの本質的性質であり、これは RIP では柔軟な経路制御が困難であることを意味することになるであろう。

また設定上の問題点として、RIP ではネットワークアドレスとそのネットワークまでのコストを示すメトリックのペアの情報しか配布され

ないため、あるネットワークがどの管理域に属するネットワークであるかが経路情報のみからは判断できない。そのため、ネットワークがどの管理域の属するものであるかを区別するためには、管理域毎に属するネットワークを調査し、明示的に列挙しなければならないという問題も存在する。

## 謝辞

日頃から御討論頂く WIDE プロジェクトメンバー、特にポリシールーティングワーキンググループのメンバーに深く感謝致します。また、実験環境を提供して下さる日本のインターネットの環境の構築に携わっていただける多くの方々に感謝致します。

## 6 むすび

本稿では、RIP にプレファレンスの概念を導入し、政策を経路制御に反映することを試みたが、RIP では柔軟な経路制御をおこなうことは困難であるという結論に達した。現在はさらに議論を進めて、既存の経路制御プロトコルにとらわれずに、様々な政策を実装するのに望ましい経路制御プロトコルのモデルについて検討をおこなっている [3]。

## 参考文献

- [1] C.L. Hedrick: Routing Information Protocol, RFC1058, June 1988.
- [2] GateDaemon Project: documents and source codes of GateD Release 2 (gated-2.0.1.14), Cornell University, Aug. 1991.
- [3] 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, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会, July 1993.