

# 送信者アドレス情報のみでの経路制御を行う IPv6 マルチホームの提案

藤川 賢治† 真野 浩† 太田 昌孝††

† ルート (株) 〒141-0031 東京都品川区西五反田 7-21-11 第 2TOC ビル 8F

†† 東京工業大学 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

E-mail: †{fujikawa,hmano}@root-hq.com, ††mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp

あらまし IPv6 エンドツーエンドマルチホームは、複数の上流から複数のアドレスを末端に与え、末端が通信時の始点・終点アドレスを選択することで経路を指定可能とするものである。しかしホストがマルチホームすると、(1) TCP SYN+ACK 送信時にパケットを返せない、(2) それを回避す為 source address based routing などの policy routing を必要とする、(3) 最適な経路が選択できなくなる、などの問題が生じる。本稿では送信者アドレス情報のみを用いる経路制御による問題解決手法を提案し、その有効性を明らかにする。

キーワード IPv6, エンドツーエンドマルチホーム, source address based routing, SABR, policy routing

## Proposal of IPv6 Multihoming Based Just on Destination Address Routing

FUJIKAWA KENJI†, MANO HIROSHI†, and MORIOKA HITOSHI††

† ROOT Inc., 8F TOC2 Bldg, 7-21-11 Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo 141-0031, JAPAN

†† Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, JAPAN

E-mail: †{fujikawa,hmano}@root-hq.com, ††mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp

**Abstract** In IPv6 end-to-end multihoming, multiple upstreams assigns multiple addresses to an end node. The end node can specify a route by means of selecting a pair of source and destination addresses when starting communication. However, in a multihoming situation, the following problems occur; (1) A server cannot return a packet when sending TCP SYN+ACK, (2) In order to avoid this problem, policy routing is required such as source address based routing, (3) and an end node cannot select the best path. In this paper, in order to solve these problems, we propose a routing method using just destination address information, and clarify its validity.

**Key words** IPv6, end-to-end multihoming, source address based routing, SABR, policy routing

### 1. はじめに

IPv6 はアドレス空間が IPv4 よりも格段に広いという特長がある。その特長を活かして、サイトに複数のアドレス空間を割当てる形式のマルチホームを行うことによって、冗長性確保、耐障害性向上、負荷分散を実現するという提案がなされている。[1]

各サイトで始点アドレス詐称 (source address spoofing) 対策のために、Source Address Filtering (SAF) が行われていることを前提した場合、上述のようなサイトマルチホームを行うと、次のような問題が生じることが知られている。

- TCP SYN+ACK 送信時にパケットを返せない場合がある。
- それを回避す為 source address based routing (SABR) などの policy routing が必要となる。

- 最適な経路を選択できない場合がある。

そこで本稿では、送信者アドレス情報のみを用いる経路制御

による問題解決手法を提案し、その有効性に関して議論する。

以下本稿では、2 章でマルチホーム時の各種問題点を指摘し、3 章で送信者アドレス情報のみを用いる経路制御による解決策を提案し、4 章で本方式の有効性について議論する。

### 2. マルチホーム時の各種問題点

本章ではマルチホーム時の各種問題点を明らかにする。

#### 2.1 TCP SYN+ACK 送信時の問題

図 1 のようなネットワークを考える。図 1 では、ホスト EN は ISP1 と ISP2 にマルチホームしており、それぞれから ISP1:EN と ISP2:EN というアドレスを割当てられている。また通信相手 CN への経路、すなわち ISP3 への経路が ISP1 を向いているとする。CN はアドレス ISP3:CN を割当てられている。

ここで、CN から EN の ISP2 側に対して TCP のセッションを開始したとする。CN は TCP SYN パケットを ISP2 経由で EN に向けて送信する。パケットヘッダには、

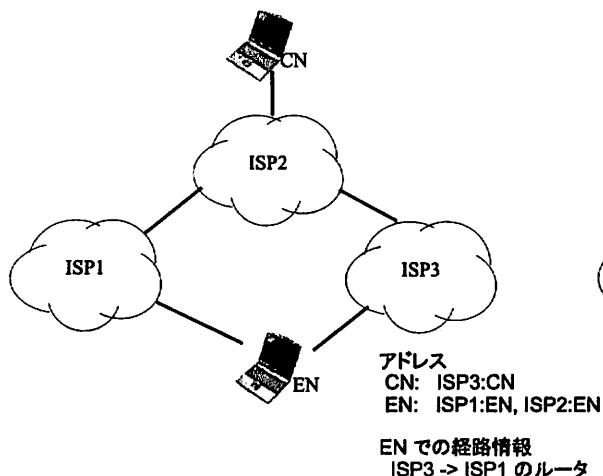


図1 TCP SYN+ACK 送信時に問題が生じるネットワーク

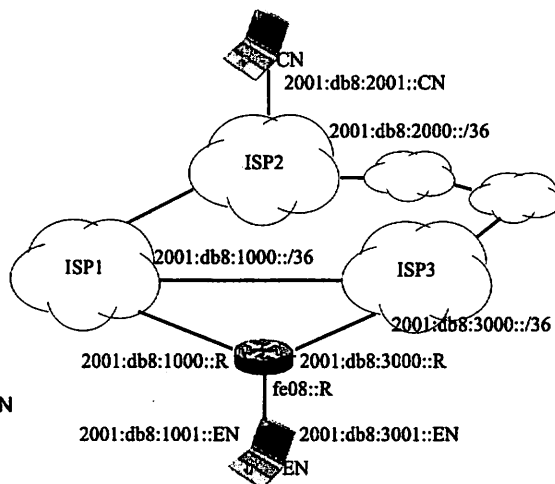


図2 最適経路を選択できないネットワーク

- 始点アドレス: ISP3:CN
  - 終点アドレス: ISP2:EN
- という情報が含まれることになる。

SYN パケットを受取った EN は SYN+ACK パケットを CN に返そうとするが、そのパケットに含まれるアドレス情報は、受信パケットの始点アドレスと終点アドレスを入替えたものである必要がある。そうでなければ CN から同一 TCP セッションと見做されなくなってしまう。ところが、

- 始点アドレス: ISP2:EN
- 終点アドレス: ISP3:CN

というパケットは、ホスト EN での経路情報に従えば ISP1 側に投げることになるが、それが出来ない。何故なら、始点アドレスが ISP2:EN であるため、ISP1 の Source Address Filtering (SAF) に遮られてしまうからである。

そこでマルチホームしているサイトでは、終点アドレスに基づく通常のルーティングでは無く、Source Address Based Routing (SABR) [2] などの policy routing を用いる方法が提案されている。これならば EN は終点アドレス情報に基づく経路情報を無視して、始点アドレスが ISP2:EN であるパケットを、ISP2 経由で ISP3 に届けられる。

以上のように、マルチホーム時の問題点として、TCP+SYN ACK を正常に動作させるためには、サイト内において、サイト内で一般的に利用されているとは言い難い SABR 等が必要となるということが挙げられる。

## 2.2 最適経路の選択ができない

RFC3484 [3] では、マルチホーム時の始点アドレス選択に関する様々な指針が示されているが、それに従うことで最適な経路を選べないという問題が生じる。

RFC3484 では 5. Source Address Selection の Rule 8. において、

Rule 8: Use longest matching prefix. If CommonPrefixLen(SA, D) > CommonPrefixLen(SB, D), then prefer

SA. Similarly, if CommonPrefixLen(SB, D) > CommonPrefixLen(SA, D), then prefer SB.

と規定しているが<sup>(注1)</sup>、図2のようなネットワークでは不具合を生じる。

図2中では、

- ISP1、ISP2、ISP3 は、それぞれ 2001:db8:1000::/36、2001:db8:2000::/36、2001:db8:3000::/36 のアドレス空間を持つ。
- 通信相手 CN は ISP2 配下であり、2001:db8:2001::CN のアドレスを持つ。

- 自ルータ R は ISP1 と ISP3 にマルチホームしており、2001:db8:1001::/48 と 2001:db8:3001::/48 とを配下に配る。

- 自ホスト EN は 2001:db8:1001:1:EN と 2001:db8:3001:1:EN との二つのアドレスを持つ。

なお IPv6 アドレス中の CN, R, EN は 64bit のインタフェース ID を示している。

Rule 8 に従うと、EN から CN に向うパケットの始点アドレスは、最長一致 (longest match) によって 2001:db8:3001:EN が選ばれる。そのため、

- SAF を回避するには、R においてパケットを ISP3 に向ける必要があるため SABR などの機構が必要となる。
- ISP3 を通ることで、経路が遠回りになる。

という問題が生じる。

なお前節で示した SYN+ACK 送信時に SABR を利用する方法においても、同様に経路が遠回りになる場合がある。

## 3. 終点アドレス情報による通常の経路制御のみによる問題解決手法

以上見てきたように、サイトマルチホーム時には SABR など

(注1)：ただし Rule 8 が必ずしも得策では無いことにも同時に言及されている。Rule 8 may be superseded if the implementation has other means of choosing among source addresses. For example, if the implementation somehow knows which source address will result in the best communications performance.

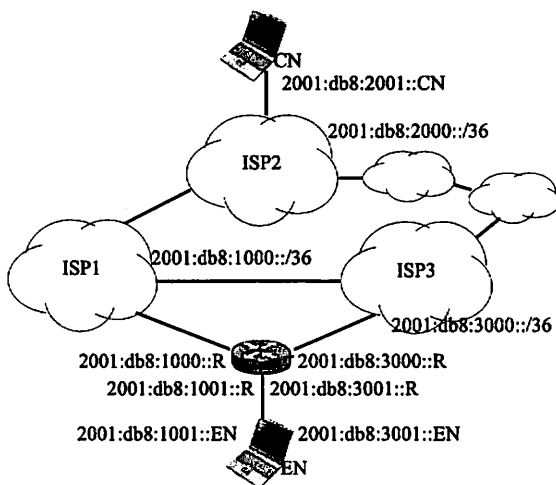
の policy routing が必須であり、その結果、最適経路が選ばないという弊害は避けられないかのように見える。しかしこれは、TCP など、アドレス情報をノードの識別子と見做しセッション管理を行う上位プロトコルが、マルチホーム環境化でも変更なしで動くことを目指しているからである。

本稿では発想を換え、2.1 節の SYN+ACK 送信時の問題は一旦棚上げし、policy routing を使わず、終点アドレス情報による通常の経路選択だけで適切な始点アドレスが選択される方法を考える。

まず 2.2 節の最適経路を選択できないという問題を解決する方法を提案する。2.1 節の SYN+ACK 送信時の問題は、4.1 節において考察する。

本解決手法の基本方針は、経路探索時の次ホップ (next hop) 選択時に適切な始点アドレスが選べるような経路表を構築することである。また本解決手法は次に示すように運用の工夫と適切な実装との組み合わせを必要とする。

### 3.1 運用上の工夫



#### 経路表

```
R:
Destination      Next Hop
2001:db8:1000::/36 address_of_ISP1's_router
2001:db8:2000::/36 address_of_ISP1's_router
2001:db8:3000::/36 address_of_ISP3's_router
EN:
Destination      Next Hop
2001:db8:1000::/36 2001:db8:1001:1:R
2001:db8:2000::/36 2001:db8:1001:1:R
2001:db8:3000::/36 2001:db8:3001:1:R
```

図3 ルータの下流インタフェースに複数アドレスを付与

まず、以下のようなネットワークを運用をする。

- R の下流のインタフェースのアドレスには 2001:db8:1001:R と 2001:db8:3001:R の二つのアドレスを付け

る。(図3) これはたとえ、下流インタフェースが一つしかない場合でも行う。

- R、EN ではそれぞれ図3に示す経路表を持つよう設定する。EN の上流ルータは一つしかないが、終点アドレスによって次ホップ (next hop) として指定するアドレスを変える。

### 3.2 実装上の工夫

経路表のエントリにヒットした場合、始点アドレスは次ホップへのインタフェースのアドレスの中から、最長一致 (longest match) するものを選ぶような実装をルータやホストに施す。

上の例でいえば、EN において、「2001:2::/32 2001:db8:1001:R」のエントリがヒットした場合、次ホップは 2001:db8:1001:R となるので、始点アドレスは最長一致する 2001:db8:1001:1:EN が選択される。

このように、終点アドレス情報に基く通常のルーティングを用いる場合でも、運用と実装の組み合わせで、適切な始点アドレスを選択できるようになる。

### 3.3 本手法の纏め

本手法を纏めると以下の通りである。

- ルータがマルチホームして複数アドレスの上流を持つ場合には、下流のインタフェースにも対応する複数アドレスを設定する。
- ホストは、たとえ上流が一つだけであつても、終点アドレスによって次ホップアドレスが異なるような経路表を持たす。
- 経路表のエントリにヒットした場合、始点アドレスは次ホップへのインタフェースのアドレスの中から最長一致 (longest match) するものを選ぶような実装をルータやホストに施す。

なお近隣探索プロトコル (NDP) ではルータはリンクローカルアドレスで指定することと規定しているため、ルータの持つ複数のグローバルアドレスをホストに伝える必要のある本手法に適用することは出来ない。本手法を実現するためにはマルチホーム時においても適切な経路情報を伝える経路交換プロトコルが必要となるが、実際にどのような経路交換プロトコルを用いるかは本稿の範囲外とする。

## 4. 各種考察

### 4.1 本手法の適用範囲に関する考察

本稿で提案する手法は、どのような環境下においても SYN+ACK 送信時の問題に適用できるわけではないが、併用する上位層によっては本手法を適用できる。それは上位層におけるセッション管理に、送信者アドレス情報を使っていない場合、もしくは送信者アドレス情報を必ずしも使わない場合である。

具体的には、Mobile IPv6 (MIPv6)[?]、HIP [6]、LIN6 [5]、SCTP [7] などを利用している場合である。

この内、MIPv6、HIP は、通常の IPv6 を L3 の下の層と見做して、その上に別の L3 を作るものであり、LIN6 は独自の L3 を持つものである。また SCTP は独自の L4 であるので、当然のことながら TCP での問題は生じない。

筆者は基本的には、既存の TCP のセッション管理に捉われず、これらの手法を併用することで SYN+ACK 問題を解決すべ

きと考えている。

以下、MIPv6 を利用する場合と LIPv6 を利用する場合について、更に考察する。

#### MIPv6 を利用する場合

MIPv6 を利用する際、ホストが移動ホストである場合には、改めて考察すべき点は無い。ただしホストが元々移動ホスト (mobile host) ではない場合、別途 Home Agent (HA) が必要となる。しかしこの Home Agent を当該ホスト内に組込むという方法も考えられ、これならば新たに HA を別ホストとして用意する必要は無い。

#### LIPv6 を利用する場合

LIPv6 では、相手が LIPv6 に対応していない場合は、通常の IPv6 に基づく通信を行う。そこで、通信相手が LIPv6 に対応しているかどうかを調べる必要が有る。これは、相手のアドレスにより判別できるため、その情報に基づいて、本手法を適用するかどうかを決定すればよい。

この方針に基づいて NetBSD 3.1 上での実装を行った。通信相手が LIPv6 の場合のみ、本提案手法での動作、即ち、次ホップアドレス情報から始点アドレスを決定する。現在、本実装はブロードバンドルータやホスト上で稼働し、運用実験を行っている。

#### 4.2 Source Address Based Routing (SABR) の有用性に関する考察

送信者アドレスのみに基づく経路選択では、データ受信側のホストが複数アドレスを持っていない限り、送信データを振り分けられない。そのため SABR のような policy routing により振り分けことが一般に提案されている。しかし、これが本当に SABR 等の利点と成り得るのかを議論する。

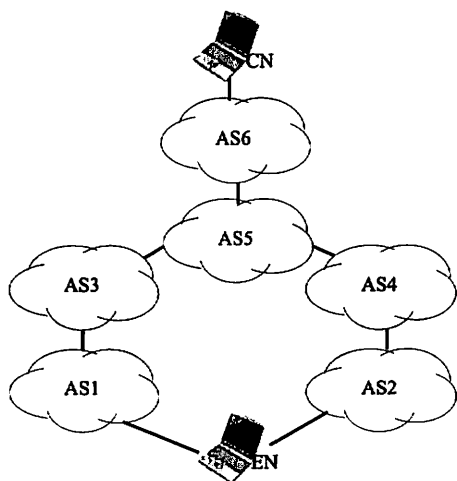


図4 複数 AS によるネットワーク

図4 のような環境において、

- 通信相手 CN はアドレスを一つしか持たず、
- 自ホスト EN は Autonomous System (AS) である AS1 及び AS2 からそれぞれアドレスを受取っており、送信する経路を

SABR などで AS1 と AS2 とに分散できるとする。

通信相手近くで経路断が起きた場合

CN にアドレスが一つしか割当てられていないため、AS1、AS2 どちらを通る経路においても、CN に近い所 (ホスト EN から遠い所) では同じ経路を通ることになる。

ここで AS5/AS6 間、AS6/CN 間などで経路が断たれたとする。その場合、SABR であろうが、送信者アドレスに基づく経路制御であろうが、パケットを CN に届けることはできない。

通信相手近くで経路断が起きた場合は、自ホストがマルチホームしていても、通信相手がマルチホームしていなければ、マルチホームの利点は活かせないといえる。

自ホスト近くで経路断が起きた場合

R/AS2 間、AS2/AS4 間、AS4/AS5 間などで経路が断たれたとする。確かに EN が SABR により AS1 を通る経路を選べば経路断を回避できる。しかし、送信者アドレスのみに基づくルーティングにおいても、経路断の情報即座に届けば、AS2 を回避できる経路表を作ることができる。逆に言えば、正しい経路情報即座に伝えることができなければ、送信者アドレスのみに基づく経路制御では経路を変更できない。更には、CN が EN のアドレスとして AS2 を指定して TCP コネクションを確立していたときなど、むしろ SABR を使うことで AS2 の経路断を全く回避できなくなる場合もあり得る。

つまり SABR 等の policy routing の利点は、送信者の近くで経路断が起きているのに、その情報がすぐに届けられなかったり、届いてもその情報を活用していなかったりするときに限られ、状況によっては弊害となる場合もあるといえる。

これらの考察により、マルチホームを活用するには SABR 等 policy routing が必須とはいえない。より重要なのは、

- 送信者側も受信側もマルチホームすること
  - 経路断の情報を即座に伝達しそれを活用すること
- だといえる。

## 5. おわりに

本稿では IPv6 マルチホーム時に生じる以下のような問題点を指摘した。

- TCP SYN+ACK 送信時にパケットを返せない場合がある。
- それを回避す為 Source Address Based Routing (SABR) などの policy routing が必要となる場合がある。

- 最適な経路を選択できない場合がある。

そして、送信者アドレス情報のみを用いる経路制御による問題解決手法を提案した。提案手法は、

- ルータがマルチホームして複数アドレスの上流を持つ場合には、下流のインターフェースにも対応する複数アドレスを設定する、

- ホストは、たとえ上流が一つだけであつても、終点アドレスによって次ホップアドレスが異なるような経路表を持たず、
- 経路表のエントリにヒットした場合、始点アドレスは次ホップへのインターフェースのアドレスの中から最長一致 (longest match) するものを選ぶような実装をルータやホストに施す、

というものである。また有効性について議論し、その結果、SABRなどの policy routing が無くとも、マルチホームの利点を活かし得ることを明かにした。

本提案方式は NetBSD 3.1 に実装されており、現在、運用実験を行っている。今後、本実装上でマルチホーム環境を構築して得られる冗長性を活かした映像伝送実験等を行う予定である。

#### 文 献

- [1] I. Abley, B. Black, and V. Gill "Goals for IPv6 Site-Multihoming Architectures," RFC3582, August 2003.
- [2] 大平 健司, 小山 洋一, 藤川 賢治, 岡部 寿男, "IPv6 エンドツーエンドマルチホーミングのためのアドレス割当てと送信元アドレスを考慮した経路制御," IA 研究会信学技報, Vol.104, No.173, pp. 25-30, July 2004.
- [3] R. Draves, "Default Address Selection for Internet Protocol version 6 (IPv6)," RFC3484, February 2003.
- [4] D. Johnson, C. Perkins, and I. Arkko, "Mobility Support in IPv6," RFC3775, June 2004.
- [5] M. Ishiyama, M. Kunishi, and F. Teraoka, "An Analysis of Mobility Handling in LIN6," International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communication, 2001.
- [6] R. Moskowitz, and P. Nikander, "Host Identity Protocol," RFC4423, June 2005.
- [7] R. Stewart, Q. Xie, K. Morneault, C. Sharp, H. Schwarzbauer, T. Taylor, I. Rytina, M. Kalla, L. Zhang, and V. Paxson, "Stream Control Transmission Protocol," RFC2960, October 2000.