

## OSPF アグリゲーションを用いたラベルスイッチルータ におけるラベル数の評価

永見 健一<sup>t1</sup> 今泉 英明<sup>t2</sup>  
中村 修<sup>t3</sup> 江崎 浩<sup>t4</sup>

ラベルスイッチ技術は、次世代の高速ルータ技術として IETF MPLS WG (Multi Protocol Label Switching WG) で標準化が進められている。本論文では、ラベルスイッチ技術を実用化したルータ (LSR; Label Switching Router) の実装上重要なポイントとなるラベル数の評価を実環境で行った。LAN 環境において LSR を使用し、従来のラベル割り当て方式の一種であるトラフィックドリブン/ホストペアで LSP を設定した場合と、OSPF 情報を利用するラベル割り当て方式であるトポロジードリブン/入口-出口ルータで LSP を設定した場合のラベル数を比較した。実験環境では、ブロードリブン/ホストペアの LSP では、最大 45 本のラベルが必要であった。OSPF を用いた入口-出口ルータの LSP でのラベル数は、20 本であった。OSPF による LSP アグリゲーションを用いることで、56% のラベルを削減できることがわかった。

### Evaluation of the number of labels for flow aggregation using OSPF in label switching router

KEN-ICHI NAGAMI,<sup>t1</sup> HIDEAKI IMAIZUMI,<sup>t2</sup> OSAMU NAKAMURA<sup>t3</sup>  
and HIROSHI ESAKI<sup>t4</sup>

Label switching technology is a technology for a high performance router, which is currently in the standardization process in the IETF MPLS (Multi-Protocol Label Switching) WG. This paper evaluates the required number of labels used in the LSR (Label Switching Router). We evaluate the required number of labels using a traffic-driven/host-pair label mapping policy and topology-driven/ingress-egress-router label mapping policy using OSPF information. In the traffic-driven/host-pair, the maximum required number of labels is 45. In the traffic-driven/ingress-egress-router, the required number of labels is 20. The flow aggregation using OSPF information reduces 56% labels than that of the conventional traffic-driven/host-pair label mapping policy.

#### 1. はじめに

ラベルスイッチ技術は、layer-3 パケットストリームを固定長ラベルに対応付けすることで、ルータの高性能化・高機能化を実現させる技術である。ラベルスイッチ技術を用いたラベルスイッチルータ (LSR) は、layer-3 パケットを従来

の layer-3 アドレス情報を用いて転送するだけでなく、layer-3 アドレス情報に対応させた固定長ラベルによってパケット転送を実現する。

LSR では、1つのパケットストリームに対して、1つのラベルが必要である。したがって、LSR の実現・実装可能性を知るためには、LSR での必要なラベル数を評価することが重要である。必要なラベル数は、ラベル割り当てトリガとパケットストリームの粒度によって決まる。

現在、主に2つのラベル割り当てポリシーが提案/実装されている。1つは、IFMP (Ipsilon Flow Management Protocol)<sup>1)</sup> や FANP (Flow Attribute Notification Protocol)<sup>2),4)</sup> で定義されているもので、トリガとなるパケットが来た時に

t1 (株) 東芝 情報通信システム技術研究所  
Information & Communication Systems Laboratory,  
TOSHIBA Corporation  
t2 慶應義塾大学総合政策学部  
Faculty of Policy Management, Keio University  
t3 慶應義塾大学環境情報学部  
Faculty of Environmental Information, Keio University  
t4 東京大学 大型計算機センター  
Computer Center, University of Tokyo

ラベルを割り当てる(トラヒックドリブン)。そのラベルに流すパケットストリームは、同一送信者アドレスと宛先アドレスを持つもの(ホストペア)である。もう1つのラベル割り当てポリシーは、TDP (Tag Distribution Protocol)<sup>3)</sup> で用いられている。これは、パケットストリームの粒度として宛先ネットワークを選び、ラベル割り当てトリガとして経路情報ができた時にラベルを割り当てるトポロジードリブン方式を使用している。両方式とも ISP のバックボーンで使用するとラベル数が多く必要であることが報告されている。

上記のラベル割り当てポリシーの他に、LSR ドメインの境界ルータである入口ルータと出口ルータの間で1つのLSP(Label Switched Path)を設定する方法が考えられる<sup>5)</sup>。この方法では、入口ルータから出口ルータを通るパケットをこのLSPで転送する。入口ルータでのラベル数は、最大でもLSRドメインの出口ルータの数になる。すべての出口ルータへのLSPを設定した時には、LSRドメインを通るすべてのパケットがLSPで転送できる。

この方式は、トラヒックドリブン/ホストペアやトポロジードリブン/宛先ネットに比較するとラベル数が少なくなると予想される。本論文では、トラヒックドリブン/ホストペアのラベル割り当て方式とOSPF<sup>7)</sup> 情報を使ったトポロジードリブン/入口-出口ルータのラベル割り当て方式を実装し、評価することを目的とする。2章では、LSRの概要を示す。3章では、実環境でトラヒックドリブンのラベル割り当て方式を使用した時の評価結果を示す。4章では、OSPF情報を利用したラベル割り当て方式を説明し、評価結果を示す。5章では、簡単なまとめを述べる。

## 2. ラベルスイッチルータ (LSR) の概要

### 2.1 LSR のアーキテクチャ

ラベルスイッチルータ (LSR) の概要を図1を用いて簡単に説明する。

LSRでは、通常のルータと同じ様にLayer 3のパケットのヘッダを見て転送するLayer 3転送(図1:L3 Forwarder) モジュールと、Layer 3のパケットのヘッダを見ることなく、固定長ラベル(例えばATMの場合は、VPI/VCI)によりパケットを転送するLayer 2転送(図1:L2 Forwarder)

モジュールを持つ。Layer 3転送では、パケットヘッダの宛先アドレスをキーとするベストマッチ検索が行われるが、Layer 2転送では、固定長ラベルでの検索を行えるため、低遅延での転送が行える。

まず、通常のルータと同じLayer 3転送を図1を用いて説明する。Edge1から送信したパケットは、デフォルトVCを通して、LSRで受信される。LSRでは、Layer 3転送モジュールでパケットヘッダの宛先アドレスをキーにIPルーティングテーブルを検索して、Edge2へデフォルトVCを通してパケットを送信する。

次に、LSRの特徴であるlayer 2転送の場合を説明する。まず、パケットを送信する前に、あるラベルに流すパケットストリームをLDP(Label Distribution Protocol)を用いて隣接ノード間で通知する。例えば、図1の場合は、Edge1とLSR、LSRとEdge2の間でLDPを動作させる。LDPを用いてラベルスイッチVCにEdge2宛のパケットストリームを流すことを通知する。LSRは、通知したラベルを持つパケットを受信した場合は、Layer 2転送モジュールのみで転送できるように、そのラベルをLayer 2モジュールに記憶する。

上記の通知が終わったあと、Edge1から送信されたEdge2宛のパケットは、通知してあるラベルをもつラベルスイッチVCを通して、LSRに送られる。LSRは、L2転送モジュールで、受信したパケットのラベルを検索し、予め登録されているものなので、そのラベルをもとにEdge2へのラベルスイッチVCにパケットを転送する。これにより、Layer 3転送処理を行うことなく、パケットを転送することが出来る。このように、ラベルスイッチVCを通して、Layer 2処理のみでパケットが転送される経路をLSP(Label Switched Path)と呼ぶ。

LSRの1つの実装形態としてATM-LSRがある。これは、Layer 2転送モジュールとしてATMスイッチを使うものである。ATM-LSRでは、それぞれのラベルの値毎にリアセンブルバッファを割り当てる必要がある。したがって、ATM-LSRでは、リアセンブルバッファ容量の大きさにより、割り当てられる最大ラベル数が決定される。ATM-LSRの拡張性を評価するためには、必要なラベル数を評価することが重要である。必要

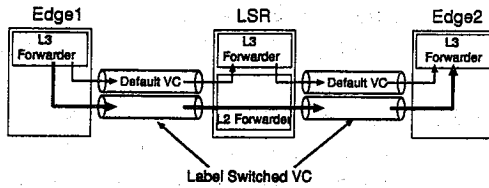


図1 LSRの概要

なラベル数は、以下の2つのパラメータに依存する。

- (1) ラベル割り当てトリガ
- (2) パケットストリームの粒度

### 2.2 ラベル割り当てトリガ

LSPを制御するトリガとして、トラヒックドリブンとトポロジードリブンの2つがある。

#### トラヒックドリブン

トラヒックドリブンとは、ある特定の packets を隣接 LSR に送信する時をラベル割り当ての契機とするものである。利点としては、LSP を動的に設定するため、ラベル数は、そのときに存在しているパケットフロー数だけで十分である。一方、LSP を設定する間は、Layer 3 転送を行わないといけなため、その間、LSR の特徴である layer 2 転送は行うことができない。

なお、LSP にトラフィックが一定期間流れないうちに解放される。

#### トポロジードリブン

トポロジードリブンは、経路エントリが構築されたときに、その経路エントリにしたがって、データパケットが流れる前に予め LSP を設定する。利点と欠点は、トラヒックドリブンのほぼ逆となる。

なお、LSP に対応する経路エントリが削除された場合に、その LSP は解放される。

### 2.3 パケットストリームの粒度

LSP に流すストリームの種類としては、例えば、(送信元アドレス、宛先アドレス) が同じパケットを流すことが考えられる。この他にこれより粒度を荒くしたストリームや粒度を細かくしたストリームが考えられる。粒度を細かくすると必要なラベル数は多くなり、粒度を荒くすると逆にラベル数は少なくなる。

ストリームの種類として以下のようなものが考えられる。上から順番に粒度が荒くなるため、必要なラベル数が少なくなると考えられる。

- (送信元アドレス、宛先アドレス) が同じストリーム。ホストペアと表現する。
- (送信元アドレス、宛先ネットワーク\*) が同じストリーム。
- (送信元ネットワーク、宛先ネットワーク) が同じストリーム。
- (宛先アドレス) が同じストリーム。
- (宛先ネットワーク) が同じストリーム。
- (入口 LSR, 出口 LSR) が同じストリーム。LSP の入口 LSR と出口 LSR が同じストリーム。

## 3. 従来方式

この章では、従来方式の1例として、トポロジードリブン/ホストペアでのラベル割り当て方式を実環境で用いた時のラベル数を評価する。

### 3.1 評価条件

1998年9月に行なわれた4日間の WIDE Project 研究会において、LSR の1実装例である CSR のバックボーンネットワークを構築した。研究会に参加した人が、このネットワークを利用して、メール、WWW 等の実トラヒックを流していた。ネットワークの利用ホスト数は、DHCP の最大アドレス貸し出し数より計算した。ホスト数は約130ホストであった。今回は、このネットワーク内の CSR を観測することにより、CSR に実トラヒックを流したときの動作を測定した。

今回の実験に用いた CSR のネットワークトポロジー図を図2で示す。CSR コアノード1台に CSR エッジノード5台を155M ATM でスター状に接続した。1台のエッジ(エッジ1)の先でインターネットに接続し、

他の4台のエッジ(エッジ2,3,4,5)から10M/100M イーサネットにより、ユーザホストが接続している。

このネットワーク構成で、4日間の実運用トラフィックをかけ、CSR に関する統計情報を測定した。2日間をトラヒックドリブン/ホストペアで運用し、もう2日間を後述の OSPF を利用したトポロジードリブン/入口-出口ルータで運用した。OSPF を利用したラベル割り当てポリシー

\* 宛先ネットワークとは、経路表に登録されているネットワークを指す。CIDR 環境では、様々なプレフィックス長を持つネットワークが存在することになる。

の詳細および評価は後の章で述べる。測定としては、MRTG<sup>8)</sup>を用いて、CSR CORE ノードのLSP 数を調べた。この項目を5分間隔で収集した。

CSR の動作パラメータとして、トラヒックドリブン/ホストペアのラベル割り当てポリシーを測定した。詳細は以下ものである。

ラベル割り当てトリガ: トラヒックドリブン

http/ftp/telnet/nntp \*の packets を送信するときにラベルを割り当てる。また、60 秒トラヒックが流れないときにラベルを解放する。

パケットストリーム: 同一ホストペア

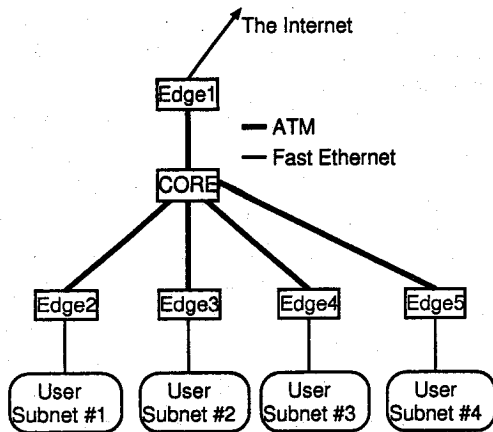


図2 実験トポロジー

### 3.2 評価結果

前節のネットワークにおいて、CSR を動作させ、ラベル数の評価を行なった。結果を図3に示す。最大のラベル数は、45本であった。

## 4. OSPF アグリゲーション

この章ではOSPF の情報を用いたLSP の設定方法を述べる。

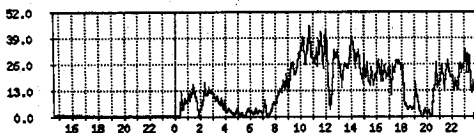


図3 トラヒックドリブン/ホストペアのラベル割り当てポリシーのラベル数

★ アプリケーションのポートとして、http=80, ftp=20/21, telnet=23, nntp=119 を選択した。

## 4.1 OSPF による経路決定

OSPF での経路情報決定方法を簡単に説明する。

OSPF による経路プロトコルを動作させているルータは、そのルータと同じOSPF エリア内のネットワークトポロジーとそれぞれのリンクのコストを保持している。この情報は隣接ルータ同士がOSPF で情報交換することにより生成される。ルータがパケットを転送するための次段ノードは、この情報により決定される。ルータはこの情報を用いて最小木を作りその経路に従ってパケットを転送する次段ノードを決定する。この動作をそれぞれのルータが行なうことにより、パケットが目的地まで転送される経路が決定する。OSPF エリア外のネットワークに関する経路計算は、エリア内のルータからエリア外のネットワークへの到達性とコストの情報を使う。コストが一番小さいエリア内のルータから到達できるものとして、そのエリア内のルータに到達できる次段ノードにパケット転送を行なうように設定できる。

例を図4に示す。この図は、R1 が保持しているトポロジー情報とリンクのコストを示している。R1 からそれぞれのノードへの経路は、太線で書いた矢印のような最小木となる。R1 は、R2 宛のパケットを送信する場合は、R2 へ転送すれば良いことがわかり、R3,R4,R5 へパケットを送信する場合は、R1 へ転送することがわかる。次に、エリア外のネットワークである Network A と Network B への経路計算を示す。Network A は、エリア内のルータ R4 から到達性があること、Network B は、エリア内のルータ R5 から到達性があることを R1 がOSPF 情報として保持している。そこで、Network A は、R4 宛の経路と同じ経路を通り、パケットは次段ルータである R3 へ転送すれば良いことがわかる。また、Network B は、R5 宛の経路と同じ経路をとり、次段ルータとして R3 を選ぶ。

## 4.2 OSPF 情報を用いたアグリゲートLSP

この節では、OSPF 情報を利用してラベル数を減少させる方法を示す。これは、OSPF 情報を用いて、入口ルータと出口ルータの間に1つのLSP を設定することにより実現する。このためには、以下の2点を実現する必要がある。

- (1) 入口ルータがLSP を設定すべき出口ルータ

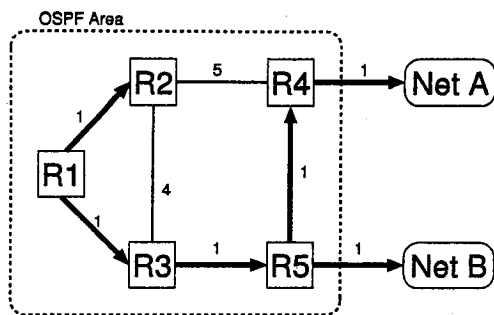


図4 OSPF Topology

- を認識できること
- (2) 入力ルータが出力ルータまでの LSP を設定できること
- (3) 入力ルータが出力ルータまでの LSP を通して転送するパケットを特定できること

(1) を実現する方法として、LSR ドメイン\*の出力ルータを自動判別する方法と出力ルータを手設定で設定する方法がある。本論文では、前者のアプローチによる方法を提案 評価している。(2) は、LSR 間のラベル配布プロトコルで実現する。今回は、CSR 上で動作している FANP を利用して実装したが、IETF で標準化中の LDP<sup>6)</sup> を使用しても同様のことができる。(3) を実現するためには、LSP の出力ルータより先に接続しているネットワークを入力ルータが知る必要がある。OSPF を扱うすべてのルータは、OSPF の同一エリア内のトポロジーと経路情報を知っている。そのため、入力ルータと出力ルータが OSPF の同一エリアに属している場合、(3) を実現することができる。

具体例として、図5を用いて、OSPF 情報を用いて入力ルータ R1 からの LSP の設定方法を説明する。R1 には予め R4, R5 がエッジルータであることを設定しておく。R1 はそれぞれのエッジルータに対して LSP を設定する。エッジルータである R4 への経路は、R1→R3→R5→R4 とわかるので、この経路で LSP を設定する。図4に示しているように R4 を経由して到達する宛先は、R4 と Network A であることがわかる。そこで、R4 宛の LSP では R4 と Network A 宛のパケットを転送すれば良いことがわかる。もう1つのエッジルータ R5 へは、R1→R3→R5 の

経路で LSP を設定する。この LSP では、R5 と Network B 宛のパケットを転送する。上記のように OSPF の情報を利用して、エッジルータまでの LSP を設定し、その LSP に流すパケットを設定することで、入口-出口ルータ間の LSP を設定することができる。

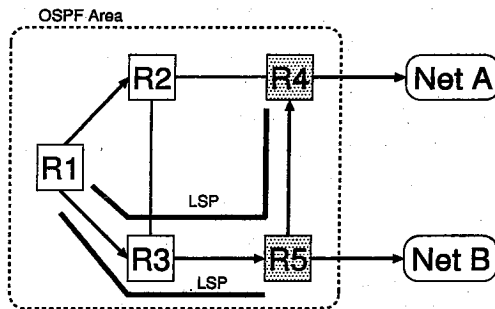


図5 LSP 設定例

### 4.3 ラベル数の評価

前章のネットワークにおいて、今回実装した OSPF の情報を用いた入口-出口ルータのパケットストリームの粒度の LSP を設定した場合のラベル数を測定した。測定結果を図6に示す。理想的には、入口-出口ルータの粒度で設定した LSP 数は、 $N \times (N-1)$  ( $N$  はエッジルータ数) になる。今回の結果では、いくつかの時間でこの数と異なる場合もあるが、これは、経路が不安定であったときに、このようになったと考えられる。前節のトラフィックドリブ/ホストペアのラベル割り当てポリシーの最大ラベル数が45本であるのに比べて、OSPF を用いた入力ルータ-出口ルータの LSP でのラベル数は、20本であった。この図では、OSPF による LSP アグリゲーションにより、56%のラベルを削減することができた。

## 5. まとめ

LAN 環境において LSR を使用し、従来のラベル割り当て方式であるトラフィックドリブ/ホス

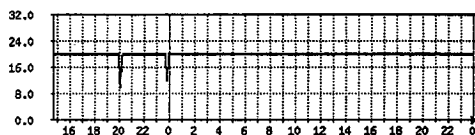


図6 OSPF 情報を用いた LSP のラベル数

\* LSR のみで接続されている領域

トペアでLSPを設定した場合と、ラベル割り当て方式をトポロジードリブ/入口-出口ルータのアグリゲートLSPを設定した場合のラベル数を比較した。

この環境では、フロードリブ/ホストペアのLSPでは、最大45本のラベルが必要であった。OSPFを用いた入口ルータ-出口ルータのLSPでのラベル数は、20本であった。OSPFによるLSPアグリゲーションにより、56%のラベルを削減することができた。

今後は、様々な規模の実ネットワークにおいて、OSPFアグリゲーションの効果を評価していく予定である。

### 参 考 文 献

- 1) P. Newman, W. Edwards, R. Hinden, E. Hoffman, F. Ching Liaw, T. Lyon, G. Minshall, "Ipsilon Flow Management Protocol Specification for IPv4 Version 1.0.", May, 1996.
- 2) Y.Katsube, K.Nagami, H.Esaki, "Toshiba's Router Architecture Extensions for ATM : Overview", IETF RFC2098, Feb., 1997.
- 3) Y. Rekhter, B. Davie, D. Katz, E. Rosen, G. Swallow, "Cisco Systems's Tag Switching Architecture Overview", IETF RFC2105, Feb., 1997.
- 4) K. Nagami, Y. Katsube, Y. Shobatake, A. Mogi, S.Matsuzawa, T. Jinmei, H. Esaki, "Toshiba's Flow Attribute Notification Protocol (FANP) Specification", IETF RFC2129, April, 1997.
- 5) A. Viswanathan, N. Feldman, R. Boivie, R. Woundy, "ARIS: Aggregate Route-Based IP Switching", IETF Internet Draft, March, 1997.
- 6) L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, B. Thomas, "LDP Specification", IETF Internet Draft, Nov., 1998.
- 7) J. Moy, "OSPF Version 2", IETF RFC2328, April, 1998.
- 8) T. Oetiker, D. Rand, "Multi Router Traffic Grapher", <http://ee-staff.ethz.ch/oetiker/webtools/mrtg/mrtg.html>, March 1998.