

ラベルスイッチ技術

～次世代高速高機能インターネット バックボーンの基盤技術～

永見 健一

(株) 東芝 デジタルメディア機器社
コンピュータ&ネットワーク開発センター

今泉 英明

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

中村 修

慶應義塾大学 環境情報学部

江崎 浩

東京大学 情報基盤センター

ラベルスイッチ技術は、固定長ラベルをネットワーク層パケットストリームに対応付けることで、ルータの高性能化および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、ネットワーク層アドレス情報によってパケット転送するだけでなく、ネットワーク層アドレス情報を対応付けたラベル情報によりパケット転送を行う。ラベルスイッチ技術は、RSVP技術やDifferentiated-Service技術との融合、さらには、トラフィックエンジニアリング機能による経路制御の課題の解決などの特長を持っており、次世代インターネットバックボーンの基盤技術として、今後広く普及・導入されるとともに、その機能拡張が継続して行われる。

はじめに

急速なインターネット・イントラネットの成長と、パソコンやワークステーションのデータ処理能力の増大に伴い、データネットワークにおけるパケット転送能力不足が顕在化してきている。すなわち、インターネットおよびイントラネットは、パケット転送遅延の増加やパケットの廃棄による通信品質の低下の問題に直面しようとしている。さらに、WEBブラウザを用いたインターネットレベルでの情報検索の急速な普及や、インターネット上

での音声・動画などのリアルタイムアプリケーションの登場により、大容量のデータを高速に処理することのできるルータの開発が要求されている。

インターネットは自律ネットワークの集まりであり、それぞれのネットワークがルータと呼ばれるパケット中継交換装置を用いて相互接続される。ルータは、自律ネットワークを相互接続し、パケット中の宛先情報 (Destination IP Address) を用いて転送経路を選択し、目的の計算機にパケットを転送する機能を実現する機器である。従来のルータは、基本的に、パケットの中継・交換する機能をすべてソフトウェア処理で実行していたために、処理速度の高速化に限界があった。このような背景のもと、従来のルータの処理能力を飛躍的に向上させることのできる次世代高速IPルーティング技術として、ラベルスイッチ技術が提案された^{1), 2)}。ラベルスイッチ技術は、インターネットの国際業界技術の標準化を行っているIETF (Internet Engineering Task Force) において正式に技術の標準化がスタートした (1997年3月ワーキンググループが発足) ^{2), 3), 5)}。

ラベルスイッチルータでは、パケットストリームをデータリンク層のラベル (e.g., VPI/VCI) に対応付け、このラベル情報を用いてパケットを高速処理することで大容量で高速なルータを実現する。さらに、ラベル情報を用いたパケットの転送を用いて、高機能のパケット転送サービス (たとえば、新VPNサービスやトラフィックエンジニアリング) を提供することができる。

ラベルスイッチ技術の概要

●ラベルスイッチ技術の動作概要

ラベルスイッチルータ (LSR) を用いたネットワークでは、現在のインターネットモデルを守り、ルータでは、ネットワーク層情報 (e.g., IP アドレス) に基づいてパケットを転送する。LSR は、パケット中のアドレス情報から転送先を決定するネットワーク層転送機能のほかに、ネットワーク層より下位の層の情報 (以下ラベルと呼ぶ) を利用してパケット転送を行うラベルスイッチ機能を持つ。ATM スイッチをラベルスイッチ機能として利用する場合には、ラベルとして VPI/VCI が使われる。ネットワーク層情報をラベル (e.g., データリンクヘッダ) に対応付けることにより、ラベル情報を用いて実際のパケット転送を行う。ラベルに対応付けるパケットストリームとしては、アプリケーションフロー (e.g., 動画フロー) から宛先ネットワーク (e.g., Address Prefix) まで、さまざまな粒度のパケットフローを定義することができる。ラベルに対応付けるネットワーク層のパケットストリームを FEC (Forwarding Equivalence Classes) と呼ぶ。LSR では、FEC とラベルを対応付けるためのプロトコル LDP (Label Distribution Protocol) が必要となる^{6)~9)}。LDP により、ラベルと FEC との対応付けが確立すると、ネットワーク層情報 (e.g., IP アドレス) を用いてパケット転送を行う必要がなくなり、IP アドレスのルーティングエントリを検索することなく、ラベル情報のみでパケットの転送を行うことができる (これをラベルスイッチ転送と呼ぶ)。ラベルスイッチパス (LSP: Label Switched Path) の経路、すなわち実際にパケットが転送される経路は、ルーティングプロトコルで示される経路と同一である。すなわち、LDP により LSP が確立された後でも、ネットワークの状況の変化に伴い、ルーティングプロトコルにより指示される経路が変化した場合には、エンド-エンドのアプリケーションが継続中でも、LSP の経路は自動的にルーティングプロトコルにより指示される経路と同じ経路に変更される。

既存のルータでは、ユーザデータパケットの転送処理とネットワーク制御機能処理 (たとえばルーティングプロトコル処理) とを、共通のプロセッサを用いて実行するのが一般的で、ユーザデータパケットの増加により、プロセッサが過負荷状況に陥り、ネットワークの制御機能が適正に動作しなくなる場合があった。LSR システムでは、ユーザパケット処理とネットワーク制御機能処理を、分離して処理することが可能となり、より信頼性の高いルータシステムを構築できる。

LSR で用いる固定長ラベルとしては、データリンクヘッダ内の情報 (たとえば、ATM における VPI/VCI 値、あ

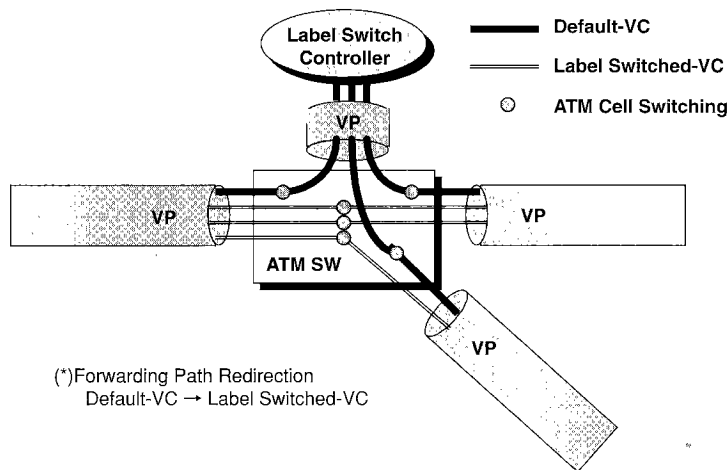
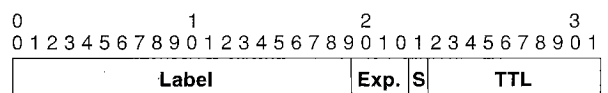


図-1 ATM スイッチを用いた LSR の動作概要



Label: Label value (20 bits)
Exp.: Experimental use (3 bits)
S: Bottom of Stack (1 bit)
TTL: Time To Live (8 bits)

図-2 シムフィールドフォーマット

るいは、フレームリレーにおける DLCI 値) を用いる方法 (図-1 参照) と、データリンク層ヘッダとネットワーク層ヘッダの間にシムフィールド (Shim Field: 図-2 参照) と呼ばれる固定長ラベルを書き込むことのできるヘッダを挿入する方法¹⁰⁾ の2つの方法がある。

●LSP 確立ポリシー

ラベルと FEC の対応付け確立 (i.e., LSP の確立) のポリシーとしては、実際のパケットの到着を契機とするデータドリブン、ルーティング情報のようなコントロール情報を用いる制御メッセージドリブン、さらに、運用上で必要となるノード間に必要に応じて LSP を生成するエンジニアリングドリブンの3つの動作モードがある。具体的には、LSP を確立する契機としては、以下のものがある。

▶データドリブン

実際のパケットの到着を契機に、LSP の確立を行うかどうかを判断する (図-3)。LSP は、ルーティングドメインに関係なく生成することができ、ルーティングドメインをまたがった LSP を提供することができる。各アプリケーションあるいは宛先ごとに排他的に通信資源を割り当てることができるので、RSVP などの資源予約プロトコルがなくても排他的に高い通信品質を提供することができる。また、帯域の確保をデータパケットの実際の到着により実行するので、トポロジドリブンのみでの運用と比較して、ルータ間で必要となる帯域幅の合計を小さく

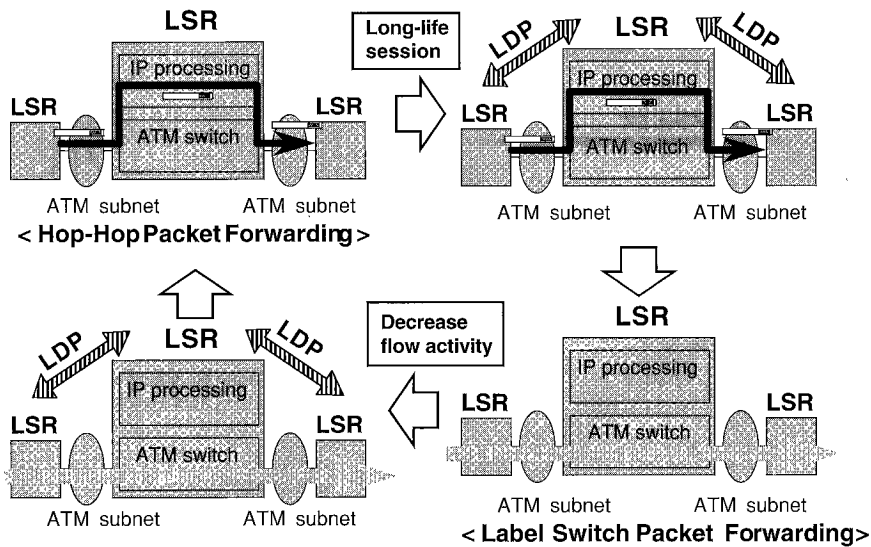


図-3 データドリブンでのLSP制御

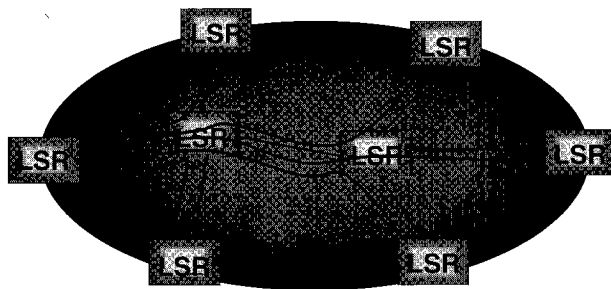


図-4 トポロジドリブンでのLSPの生成

することが可能となる。一方、各アプリケーションごとあるいは宛先ごとのパケットストリームを持つデータドリブンのみで運用した場合には、多数のラベルが必要となる。ラベルは有限な資源であり（ATMの場合にはVPI/VCI値）、特にバックボーンで必要となるラベル数が大きくなってしまふ⁴⁾。また、ラベルの生成の遅延（ATMではVCの設定遅延）も問題となる場合もある。さらに、ある割合のパケット（セッションの最初のパケットや短い寿命のセッションのパケット）は、通常のソフトウェア処理によるホップホップでのパケット転送を行う必要がある。

▶制御メッセージドリブン

• トポロジドリブン

ルーティングプロトコルで得られるネットワークのトポロジ情報（ネットワークアドレス情報あるいはボーダータアドレス）をもとに、LSPの確立を行う。すなわち、ルーティングプロトコルにより生成されるルーティングエントリをFECとする方式で、LSRで新しいルーティングエントリが生成された場合に、そのルーティングエントリに対応するLSPの生成を行う（図-4）。

LSPを、実際のパケットの到着を待たずにあらかじめ確立するので、セッションのすべてのパケットをラベルスイッチ転送することができる。宛先ネットワーク行き

アプリケーションフローがすべて共通のLSPを共有するので、アプリケーションごとに排他的に通信資源を割り当てることができず、ルーティングドメインのボーダータでは通常のソフトウェアによるホップホップでのパケット転送を行う必要がある。さらに、トポロジドリブンのみ運用を行った場合には、帯域の確保をデータパケットの実際の到着により行わないので、データドリブンのみでの運用と比較して、ルータ間で必要となる帯域幅の合計が大きくなってしまふ。

• 予約メッセージドリブン

RSVP（Resource ReSerVation Protocol）のような、資源予約用の制御メッセージをネットワークに通知するパケット流に対して、資源予約制御メッセージ（たとえば、RESVメッセージ）を用いてLSPの確立を行う（図-5）。

なお、ラベルとFECの対応付けを、資源予約制御メッセージに相乗り（Piggy Back）させることも可能となっている。

▶エンジニアリングドリブン（図-6参照）

ネットワークの良好な運用のために、特定のパケット流に対してLSPの設定を行う。LSPの確立により、同一宛先への複数の経路を容易に作り出すことができるようになる。LSPの確立の方法には、ルーティングプロトコルが指示する経路に基づく方法と、手動設定により絶対経路（Source RoutingあるいはExplicit Routing）を指定する方法とがある。複数の経路を提供する目的としては、以下の2つのものが挙げられる。

(1) 負荷分散

OSPFなどでは、同じコストの経路についてのみ複数の経路を提供することができるが、複数の経路に負荷を良好に分散させることは容易ではない。また、複数の経路を提供可能なのは、同じコストの経路が存在するときの

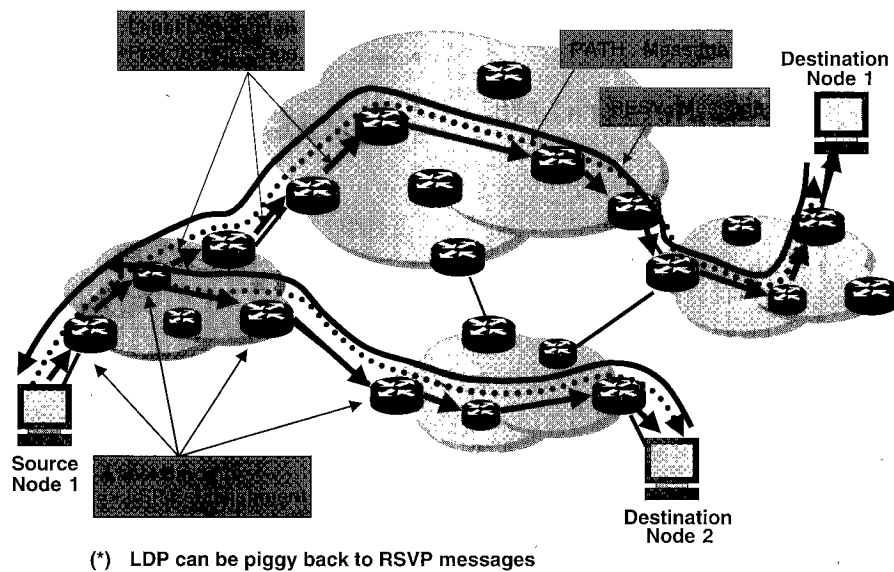


図-5 予約メッセージドリブンの動作例

みであり、一般的には、すべての宛先に対して複数の同一コストの経路を提供することは難しく、1つの宛先に対して、唯一の経路しか提供されない。LSRを用いることで複数の経路にパケットを分散させ、中継ノードでのパケット処理の負荷分散を行うことができる。

(2) CoS/QoS 提供

ノード間に複数の経路を提供し、各経路に対して、特定のCoS/QoSを提供することができるので、より容易に、同じ宛先に対して、異なるCoS/QoS品質を提供することができる。

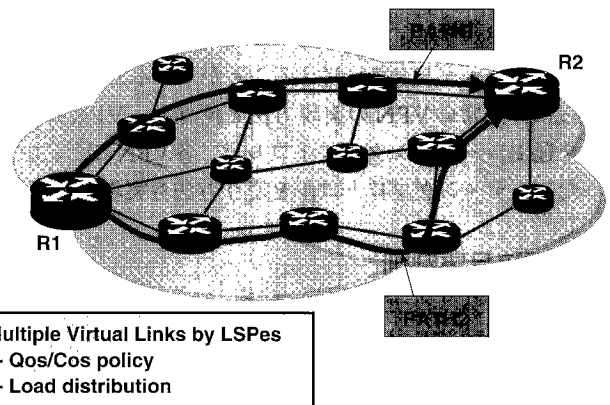


図-6 エンジニアリングドリブンの動作例

ラベルスイッチ技術の今後の課題と方向性

●マルチプロトコル対応 (レイヤ2/レイヤ3)

ラベルスイッチ技術は、ATMだけではなく、任意のデータリンク層技術 (e.g., フレームリレー) および任意のネットワーク層技術 (e.g., IPX) に適用可能である。現在は、主にデータリンク層としてATM、ネットワーク層としてIPの場合の検討が行われているが、今後はその他のデータリンク層への適用方法の検討が必要である (e.g., 100M/ギガイーサネット)。

●LSPの運用形態および運用ポリシー

データドリブン、制御メッセージドリブンおよびエンジニアリングドリブンの3つのLSP確立ポリシーに関する実際のネットワークでの運用形態の検討・確立が必要である。LSRの設置場所およびハードウェアの制約を考慮に入れた検討が必要である。データドリブンとトポロジドリブンの実トラフィックを用いた性能評価ならびに、必

要なラベル数の評価が行われている^{4), 11)}。さらに、2つの方式を融合することにより、より大規模化に適したラベルの割り当て方式が提案され、その評価が行われている¹²⁾。IPレベルのフローのデータリンクVCへのマッピングルールの確立 (たとえば、IP Integrated Service Modelサービスの具体的なデータリンクへの対応付け)、および、LSPの管理・制御方式の確立が必要である。

●ルーティングループ形成への対応

LSRにおいては、従来のIPパケット処理がカットスルーされるので、IPヘッダ中のTTL (Time To Live) 値が減少されない。従来のルータ網では、TTL機能によりパケットが永久にループすることを回避することができていた。したがって、ラベルマッピングプロトコル中に何らかのルーティングループ検出 (回避) 機能を持つ必要がある。簡単でかつ有効なルーティングループの検出方式が研究開発されてIETFに提案され、標準化が進められている¹³⁾。

● VPN (Virtual Private Network) 機能

LSPの中では、各IPパケットのIPアドレスを用いてパケットの転送処理を行わないので、LSPを用いて転送されるIPパケット流のIPアドレス（送信元IPアドレス、宛先IPアドレス）は、必ずしも、グローバルなIPアドレスである必要がなくなる。すなわち、図-7に示したように、プライベートIPアドレスを用いた同じVPNに属する複数のサイトを、アドレス変換なしに、相互接続することが可能となる。ルーティングプロトコルは、IPv6への対応やIP以外のプロトコルへの対応のために、マルチプロトコル対応化が行われており（BGP4+など）、各VPNごとに異なるネットワークプロトコルを用いると定義することで、1つのルーティングプロトコルで経路制御を実現することができる。いったん、プライベートIPアドレスを用いて経路が決まった後は、IPアドレス（プライベートIPアドレス）を用いず、ラベル情報（たとえばVPI/VCI値）を用いて、プライベートアドレスを持ったIPパケットを、インターネット上で転送することができるようになる。さらに、通常のVPNの実現方法と同様に、VPN内の情報を運ぶルーティングプロトコルは、各VPNごとに独立したルーティングプロトコルを使う方法も実現可能である。

● 通信品質制御

ラベルスイッチを適用したネットワークは、LDPを適用するコア部分にあるコアルータと、既存のネットワークとコア部分の境界に存在するエッジルータから構成される。エッジルータは既存のラベルスイッチ技術を適用していないネットワークと、ラベルスイッチ技術を適用したネットワークの間を相互接続する境界ルータとなる。このネットワーク構成は、通信品質の提供を行う Differentiated-Service のネットワークアーキテクチャモデルとほぼ同じである。

Differentiated-Service ネットワークも、エッジルータという概念を持っており、エッジルータにより、CoS/QoS 提供のための制御を行う。Differentiated-Service ネットワーク内のすべてのルータは、DSビット（Differentiated-Service Bits）を用いてパケットの転送スケジューリングを行う。ところが、ラベルスイッチ技術と Differentiated-Service を融合することで、コアルータでのパケット転送のスケジューリング処理を、より、簡素化、大容量化、高速化することができるようになる。ラベルスイッチ技術が現在の典型的なISPネットワークに適用された場合には、POP（Point Of Presence）ルータが Differentiated-Service およびラベルスイッチ技術的にエッジルータとなり、コアネットワークでは、ラベルスイッチ技術が適用され、ラベルに Differentiated-Service のDSビットにより処理ポリシーの指示が対応付けされることで、高速大容量の Differentiated-Service の提供が可能となる。

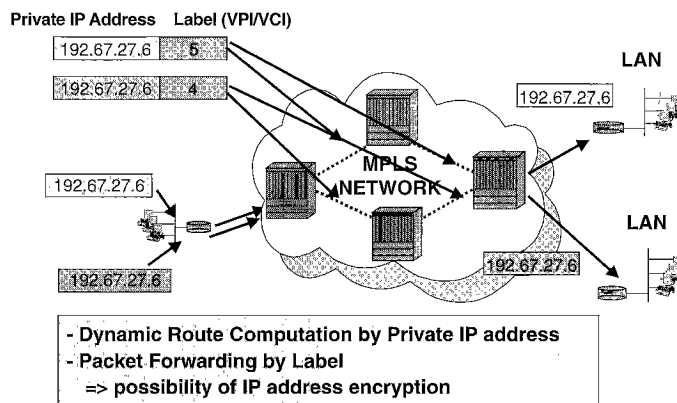


図-7 ラベルスイッチ技術を用いたVPNサービス

むすび

ラベルスイッチ技術は、固定長ラベルをネットワーク層パケットストリームに対応付けることで、ルータの高性能化および高機能化を実現させる技術である。ラベルスイッチ技術は、RSVP技術や Differentiated-Service 技術との融合、さらには、トラフィックエンジニアリング機能による経路制御の課題の解決などの特長を持っており、次世代インターネットバックボーンの基盤技術として、今後広く普及・導入されるとともに、その機能拡張が継続して行われる。一方、実運用の観点からは、LSP 確立ポリシーの具体的なシステムへの適用など、実践的なネットワークへの展開のための研究が今後進められることになる。

参考文献

- 1) Newman, P. et al.: Flow Labelled: Connectionless ATM Under IP, Engineer Conference, Network+Interop'96 Las Vegas (Apr. 1996).
- 2) Katsube, Y. et al.: Toshiba's Router Architecture Extensions for ATM: Overview, IETF RFC2098 (Feb. 1997).
- 3) Rekhter, Y. et al.: Cisco Systems's Tag Switching Architecture Overview, IETF RFC2105 (Feb. 1997).
- 4) Lin, S. et al.: A Simulation Study of IP Switching, ACM SIGCOMM 97 (Oct. 1997).
- 5) Woundy, R. et al.: ARIS: Aggregated Route-Based IP Switching, IETF Internet-Draft (Nov. 1996).
- 6) Newman, P. et al.: Ipsilon Flow Management Protocol Specification for IPv4 version 1.0, IETF RFC1953 (May 1996).
- 7) Nagami, K. et al.: Toshiba's Flow Attribute Notification Protocol (FANP) Specification, IETF RFC2129 (Mar. 1997).
- 8) Doolan, P. et al.: Tag Distribution Protocol, IETF Internet-Draft (Sep. 1996).
- 9) Andersson, L. et al.: Label Distribution Protocol, IETF Internet-Draft (May 1999).
- 10) Rosen, E. et al.: MPLS Label Stack Encoding, IETF Internet-Draft (Apr. 1999).
- 11) 永見 他: ラベルスイッチルータにおける必要ラベル数の評価とフローアグリゲーションの効果, Internet Conference 98 (Dec. 1998).
- 12) Nagami, K. et al.: Evaluation of Label Mapping Policy for Aggregated Packet Flow in Label Switching Network, INET 99 (June 1999).
- 13) Ohba, Y. et al.: MPLS Loop Prevention Mechanism, IETF Internet-Draft (May 1999).

(平成11年5月25日受付)