

## 第 6 部

# ラベルスイッチ技術によるインターネット の構築実験



## 第 1 章

# Label Switching 技術の評価

WIDE プロジェクトで Label Switching 技術に関する研究として、東芝と日立との共同実験として CSR に関する研究、そして CISCO 社との共同実験として Tag Switch 技術の研究を行なっている。今回の報告書では、CSR のカットスルーの性能評価および Label Switching 技術では非常に重要となるフローの数に関する実験の報告を行なう。カットスルーの性能評価に関しては、研究室レベルでの性能評価を行なった。また、フローの数に関する実験では、実際に WIDE インターネットの実トラフィックを解析し、大規模広域環境における Label Switching 技術の適応性に関する検討を行なった。

## 第 2 章

# CSR の概要

### 2.1 ラベルスイッチルータ技術

ラベルスイッチルータ技術は、IETF の MPLS (Multi Protocol Label Switch) ワーキンググループ (197 年 3 月 Routing Area の WG として発足) において、仕様・プロトコルの標準化検討が進められている。2.1 ラベルスイッチルータ技術の動作原理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 CATENET モデルを守り、ルータでのパケット転送情報として、レイヤ 3 情報 (e.g., IP アドレス) より下のレイヤの情報 (以下ラベルと呼ぶ) を利用する。ATM スイッチをパケットの転送エンジン (e.g., ラベルスイッチエンジン) として利用する場合には、ラベルとして VPI/VCI が使われる。すなわち、レイヤ 3 情報をラベル (e.g., データリンクヘッダ) にマッピングして、ラベル情報を用いて実際のパケット転送を行う。ラベルに対応するレイヤ 3 情報としては、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。ラベルにマッピングするレイヤ 3 のパケットフローを FEC (Forwarding Equivalence Classes) と呼ぶ。LSR では、FEC とラベルをマッピングするためのプロトコル (以下ラベルマッピングプロトコルと呼ぶ) が必要となり、現在いくつかの方式が提案されている [43, 44, 45]。ラベルマッピングプロトコルにより、ラベルと FEC とのマッピングが確立すると、レイヤ 3 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 (これをカットスルー転送呼ぶ)。カットスルーパスの経路、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常に同一である。すなわち、カットスルーパスが、ラベルバインディングプロトコルにより確立されたあとでも、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、カットスルーパスの経路も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、ユーザー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 (例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。

### 2.1.1 ラベルマッピング確立ポリシー

ラベルと FEC のマッピング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 Flow-driven と、ルーティング情報のようなコントロール情報を用いる Control-driven とがある。

#### 1. データドリブン (Flow-driven)

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品質な通信品質を提供することができる。カットスルーパスは、ルーティングドメインに関係なく生成することができる。ルーティングドメインをまたがったカットスルーパス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、Topology-Driven のみでの運用と比較して、トータルで必要となるルータ間の帯域幅を小さくすることが可能となる。一方、Flow-Driven 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。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。

#### 2. コントロールドリブン

- (a) Topology-driven 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ーを FEC とする方式で、LSR で新しいルーティングエントリーが生成された場合に、カットスルーパスを生成すべきルーティングエントリー先に対応するノード (e.g., ボーダルータ) にカットスルーパスの生成を行う。Topology-driven の適用により、必要となるラベルの数を少なくすることができる。カットスルーパスは、実際のパケットの到着を待たずに確立されるので、セッションのすべてのパケットをカットスルー転送することができる。宛先ネットワーク (i.e., Address Prefix) 行きのアプリケーションフローがすべて共通のカットスルーパスを共有するので、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ル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、Topology-driven のみでの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お根合わないので、Flow-Driven のみでの運用と比較して、トータルで必要となるルータ間の帯域幅が大きくなってしまふ。

表 2.1: ATM スイッチを用いた LSR の機能比較

	ARIS	CSR	IPSW	Tag
Data-Driven	No	Yes	Yes	No
Control-Driven	Yes	Yes	No	Yes
標準 ATM I/F	No	Yes	No	Yes*

Yes\* : 対応予定

## (b) Reservation-driven

RSVP のように、ネットワークに対して陽に資源予約を行うプロトコルのコントロール情報を用いてラベルとアプリケーションフローのマッピングを生成する方式である。Flow-driven とほぼ同じ特長を持つが、資源予約プロトコルが適用される必要がある。

## 2.1.2 ラベルスイッチルータ (LSR) の実現方法

高性能なラベル情報を用いてデータを転送するエンジンを利用することができれば、より高性能な LSR を実現させることが可能となる。ATM スイッチは高性能でスケラブルかつ安価なラベルスイッチエンジンと見ることができ、LSR のラベルスイッチエンジンとして ATM スイッチを利用する方式, [46, 47, 48, 49], がいくつか提案されている。Table-2.1 に ATM スイッチを用いた LSR の機能比較を行った。

[46, 48, 49] を適用した LSR は、データリンクラベルが各レイヤ 2 ノードで書き換え (swapping) が行われない Transparent なリンクを用いなければ相互接続できない。つまり、VPI/VCI を FEC にマッピングするラベルとし、ATM スイッチを LSR のラベルスイッチエンジンとして利用しているのであるが、LSR 間には標準の ATM スイッチを設置することができず、したがって、ATM リンクを使ったネットワークを行うことができない。さらに、ATM スイッチをスイッチハブとして利用し、例えば高性能な ATM サーバークラスタを構成した場合に、LSR と ATM サーバークラスタを高性能に相互接続をすることができない。

## 2.2 ラベルスイッチルータ技術の今後の課題

## 2.2.1 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、すべての L2 技術 (e.g., フレームリレー) およびすべての L3 技術 (e.g., IPX) に適用可能である。現在は、主に L2 として ATM/SONET、

L3 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)。現在、IETF ではイーサネットへの適用方式として、2 つの方式が議論されている。すなわち、IP ヘッダとイーサネットヘッダの間に固定長のラベルを挿入する方式と、ラベル情報を Encoding した Private イーサネット MAC アドレスを使用する方式である。現在のイーサネットスイッチを有効に利用することができれば、高性能で安価なイーサネットフレーム対応の LSR を構成することが可能となる。

### 2.2.2 カットスルーパス運用形態・ポリシー

Flow-driven、Topology-driven および Reservation-driven の 3 つのカットスルーパス確立ポリシーの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いれた検討が必要である。

### 2.2.3 カットスルーパスの管理方法

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 (例えば、IP Integrated Service Model サービスの具体的なデータリンクへのマッピング)、および、カットスルーパスの管理・制御方式の確立が必要である。

### 2.2.4 ルーティンググループ形成への対応

LSR においては、従来のレイヤ 3 の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グループ検出 (回避) 機能を持つ必要がある。

## 2.3 むすび

本論文では、次世代の高性能ルータとされているラベルスイッチルータ技術の概要を述べた。ラベルスイッチ技術は、任意の L2・L3 技術に適用可能な汎用性の高い技術である。

## 第 3 章

# CSR 技術を用いた高速ネットワークに関する研究

本研究では、帯域保証性の高い、次世代インターネットバックボーンとして注目されつつある、CSR(Cell Switch Routing) 技術に重点をおき、CSR 技術を応用したルータの評価実験を行った。特に、現在実験段階にある CS ルータを実験ネットワーク上に設置し、実験・評価を行った。

### 3.1 CSR 技術の性能評価

netperf を用いた、CSR の性能評価を行った。実験環境は BSD/OS の動作する PC (pentium120MHz, memory32Mbytes) をルータとして用い、コアとなるルータとして、Fore の ATM switch ASX2000 と上記の PC を利用した。表 3.1 に実験装置の構成を示す。

表 3.1: 実験装置

機器	構成
CSR Router	Pentium 120MHz 32MByte Memory 100BT Ethernet ATM
Fore Switch	FORE ASX-200

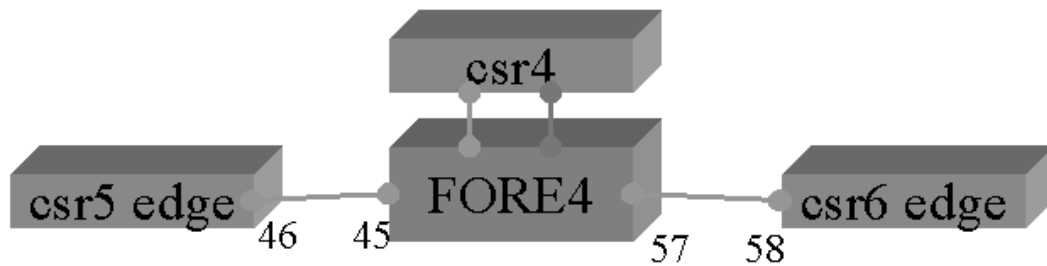
図 3.1 に実験環境の構成図を示す。

従来の IP 処理をした場合、以下のようなホップで通信が行われる。図 3.2 に従来の IP 処理による traceroute のホップ結果を示す。

ここで、csr4 の IP 処理をカットスルーした場合、図 3.3 のようにホップ数が 1 へ変化する。

この時の csr5 から csr6 の TCP のスループットを測定すると、図 3.4 のような結果となる。





**Address: 203.178.141.xx/30**

- optical fiber
- UTP for ATM
- UTP for Ethernet

図 3.1: 実験トポロジー

```
csr5<bsdi> % traceroute 203.178.141.58
traceroute to 203.178.141.58 (203.178.141.58), 30 hops max, 40 byte packets
 1  203.178.141.45 (203.178.141.45)  0.585 ms  0.501 ms  0.477 ms
 2  203.178.141.58 (203.178.141.58)  0.899 ms  0.842 ms  0.832 ms
```

図 3.2: 従来の IP 処理による traceroute 結果

一つのルータの IP 処理をカットスルーした場合約 46%程度のパフォーマンス向上が見られた。同様に以下に途中のルータが 2 つあったときのパフォーマンス計測をする。図 3.5 に実験トポロジー図を示す。

従来の IP 処理をした場合の traceroute の結果を図 3.6 に示す。

途中のルータ (csr4, csr3) がカットスルー処理した場合の traceroute の結果を図 3.7 に示す。

この時の csr5 から csr6 への TCP のスループットを測定すると、図 3.8 のように転送速度が向上する。

2 つのルータの IP 処理をカットスルーした場合 100%以上のパフォーマンス向上が見られる。

```

csr5<bsdi> % traceroute 203.178.141.58
traceroute to 203.178.141.58 (203.178.141.58), 30 hops max, 40 byte packets
 1 203.178.141.58 (203.178.141.58) 0.706 ms 0.539 ms 0.513 ms

```

図 3.3: csr4 の IP 処理をカットスルーした場合の traceroute の結果

```

TCP STREAM TEST to 203.178.141.58
Recv  Send  Send
Socket Socket Message Elapsed
Size  Size  Size  Time  Throughput
bytes bytes bytes secs.  10^6bits/sec

 8192  8192  8192  10.00  29.87 <- 従来の処理をしたとき
 8192  8192  8192  9.99  43.99 <- カットスルー処理したとき

```

図 3.4: TCP のスループット計測

## 3.2 ループ問題に関する実験

ATM switch を用いたルータの大きな問題点として、データリンク的なループが挙げられる。例を挙げると図 4 の各 ATM switch に Fore1 Fore2 Fore3 Fore4 Fore1 というループした vc が形成され、そこに cell が流れると、その vc が解放されるまで大きなパフォーマンス低下を及ぼす。

CSR はあるデスティネーションに送る際に、ルーティング情報を元に vc を張って行くため、基本的にデータリンク的なループは起こり得ない。しかし、過渡的なルーティングループが発生する可能性がある。

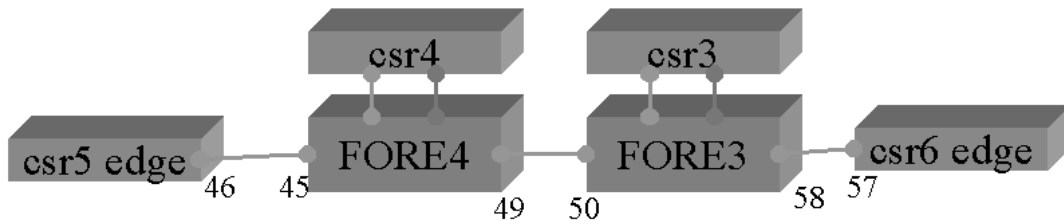
この実験の目標はそのような場合に、

- CSR がカットスループスを生成する段階でデータリンク的なループが発生させるか検証する
- ルーティングループが解決した後に正常に動作するか検証する

行った実験は図 3.9、図 3.10 の二つである。

203.178.141.24/29 への経路を csr1 は csr2 へ、csr2 は csr1 へ向ける。つまり 203.178.141.24/29 へのパケットは、csr1 と csr2 の間をピンポンループすることになる。

これら状況で、csr1 から 203.178.141.24/29 へカットスループスを張り、そこへデータを流す実験をした。ループされたカットスループスは張られたものの、SNAP/LLC エンキャ



Address: 203.178.141.xx/30

- optical fiber
- UTP for ATM
- UTP for Ethernet

図 3.5: 実験トポロジー

```
csr5<bsdi> % traceroute 203.178.141.57
traceroute to 203.178.141.57 (203.178.141.57), 30 hops max, 40 byte packets
 1  203.178.141.45 (203.178.141.45)  0.573 ms  0.495 ms  0.469 ms
 2  203.178.141.50 (203.178.141.50)  0.878 ms  0.827 ms  0.812 ms
 3  203.178.141.57 (203.178.141.57)  1.250 ms  1.201 ms  1.173 ms
```

図 3.6: 従来の IP 処理による traceroute 結果

プセレーション的に csr1 から出す cell は Fore1 においてマージされないため、その vc 上に cell は流れない。そのため、vc 解放の timeout 時にそのカットスループスは解放される。

その後経路を通常に戻した時、カットスループスが構築できるかどうか試したが、正常に動作した。

```

csr5<bsdi> % traceroute 203.178.141.57
traceroute to 203.178.141.57 (203.178.141.57), 30 hops max, 40 byte packets
 1 203.178.141.57 (203.178.141.57)  0.665 ms  0.565 ms  0.550 ms

```

図 3.7: 従来の IP 処理による traceroute 結果

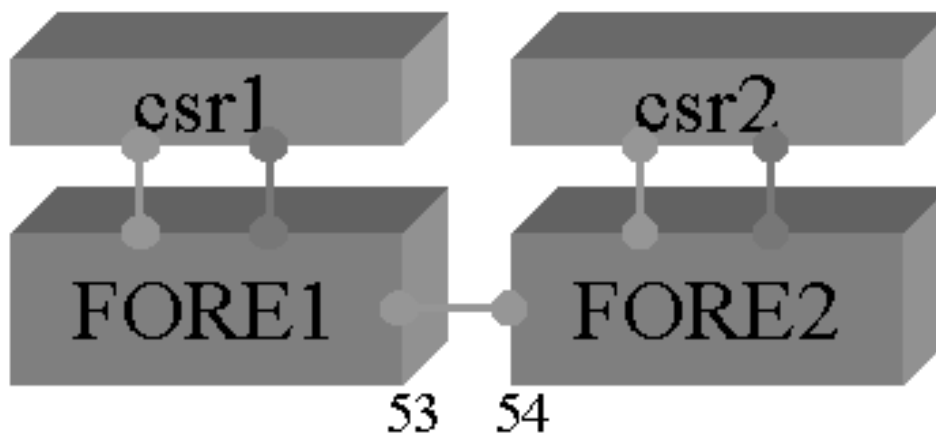
```

TCP STREAM TEST to 203.178.141.57
Recv  Send  Send
Socket Socket Message Elapsed
Size  Size  Size  Time  Throughput
bytes bytes bytes secs.  10^6bits/sec

8192  8192  8192  10.00  21.53  <- 従来の処理をしたとき
8192  8192  8192  10.00  43.35  <- カットスルー処理したとき

```

図 3.8: 従来の IP 処理による traceroute 結果



203.178.141.24/29への経路をループさせる。

図 3.9:

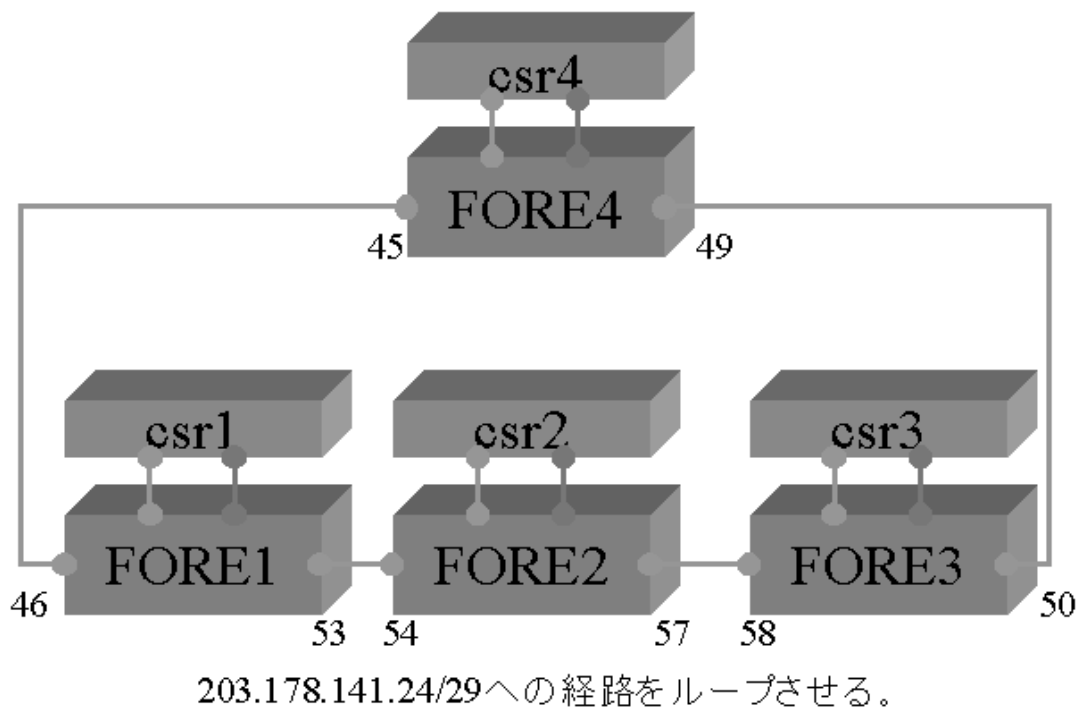


図 3.10: 203.178.141.24/29 への経路を csr1 csr2 csr3 csr4 csr1 のようにループさせる。

## 第 4 章

# LSR のフローアグリゲーションの効果解析

### 4.1 Introduction

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。ラベルスイッチ技術を利用した LSR(Label Switching Router) は、通常の Layer-3 ルーティング機能の他に、固定長ラベルを扱うスイッチを持っている。Layer-3 パケットストリームを、固定長ラベルに対応させ、固定長ラベルを用いて転送することで高速転送を実現する。この固定長ラベルで転送するパスを LSP(Label Swithed Path) と呼ぶ。LSR の適用例として、ラベルスイッチエンジンに ATM スwitchを用いる方法がある (ATM-LSR)[48, 50, 51]。この時、ATM-LSR で扱われる固定長ラベルは、VPI/VCI である。

ATM-LSR では、VC 毎に受信バッファが必要であるという ATM の性質上、多くのラベルを扱うことができない。そこで、必要なラベル数を評価することは重要である。必要なラベル数は、LSP の設定方法及びパケットストリームの定義によって変化する。

LSP の設定方法としては、フロードリブんとトポロジードリブンがある。フロードリブンは、特定の packets を送信する時に LSP を設定する方法であり、トポロジードリブンは、経路情報等により、予め LSP を設定しておく方法である。トポロジードリブんに比べて、フロードリブンの方が必要なラベル数が少ないことは明らかである。

1 つのラベルに流すパケットストリームの定義としては、例えば、同一の送信アドレスと宛先アドレスの組を持つパケットとすることができる。このパケットストリームでフロードリブンの場合の必要ラベル数の解析は、[52] で行なわれている。パケットストリームは、上記以外にも様々な定義方法がある。例えば、送信アドレスと宛先ネットワークが同一であるものというような定義もできる。この場合は、送信アドレスと宛先アドレスのパケットストリームを集約して 1 つのパケットストリームとして定義している。このようにパケットストリームを集約することで必要なラベル数は少なくなる。

本稿では、実際のトラフィック情報を用いて、フロードリブンを用いた時のラベル数を定量的に評価するとともに、パケットストリームの集約を行ったときのラベル数の評価を行う。

## 4.2 LSR の概要

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、固定長ラベルによりパケットを転送する Layer 2 転送がある。この章では、Layer 3 転送から Layer 2 転送に変更する契機を決めるフロードリブ/トポロジードリブの分類と LSP に流すパケットストリームの種類を説明する。

### 4.2.1 フロードリブとトポロジードリブ

LSP の設定/解放トリガは、フロードリブとトポロジードリブがある。フロードリブとは、ある特定のパケットを送信する時を LSP の設定トリガとするものである。利点としては、LSP を動的に設定するため、LSP 数は、そのときに使われている本数だけで十分である。欠点としては、LSP を設定する間は、Layer 3 転送を行わないといけないため、その間のパフォーマンスは悪くなる。トポロジードリブは、経路エントリが出来たときに、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、フロードリブの逆である。

フロードリブで設定した場合の解放トリガとしては、LSP にトラフィックが一定期間 (Disconnect Timer Interval) 流れないときである。どのくらいの長さが適切なのかは、そのネットワークに流れるトラフィックパターンに依存する。今回の解析では、フロードリブを使った場合の解放トリガの期間も調べている。トポロジードリブで設定した場合の解放トリガとしては、経路エントリが削除された場合である。

### 4.2.2 LSP に流すストリームの種類

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。これは、ホストからホストへのフローである。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、粒度を荒くするとラベル数は少なくなる。本稿では、必要なラベル数を少なくする方法を調べるので、粒度を荒くするものだけ調べた。

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。(以下 (src,dst) と省略する。)
- (送信元アドレス, 宛先ネットワーク) が同じストリーム。(以下 (src,dstnet) と省略する。)
- (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。(以下 (srcnet,dstnet) と表現する。)

- (宛先アドレス) が同じストリーム。(以下 (\*,dst) と表現する。)
- (宛先ネットワーク) が同じストリーム。以下 (\*,dstnet) と表現する。
- (始点 LSR, 終点 LSR) が同じストリーム。LSP の始点 LSR と終点 LSR が同じストリーム。以下 (ingress,egress) と表現する。

## 4.3 解析用トラフィック

### 4.3.1 トラフィック取得ポイントと取得方法

トラフィック情報は、WIDE ネットと海外の接続点のルータのイーサネットに測定用のホストを接続し、測定用ホストで tcpdump を用いて取得した。測定日時は、1997 年 11 月 4 日 14:08 から 16:11 の 7437 秒間である。

この測定ネットワークには、WIDE ネットから海外宛の packets 全てと、海外から WIDE 藤沢 NOC 宛の packets が流れている。

### 4.3.2 転送レート

トラフィック観測点での平均転送レートをバイト単位 (bps) 及びパケット単位 (pps) で解析した。結果を表 4.1 に示す。

	平均転送レート (Mbps)	平均パケット転送レート (pps)
海外 WIDE	1.225	329
WIDE 海外	0.926	564

表 4.1: 平均転送レート

## 4.4 トポロジードリブとフロードリブの解析結果

### 4.4.1 経路表のエントリ毎のパケット送信数

トラフィック測定点での経路表をトラフィック測定の終了時に測定した。このため、トラフィック測定途中の経路表の変更は、反映されていない。

トラフィック測定点での経路表エントリ数は、2870 エントリであった。このうち、5 エントリがデフォルトルートを含む海外向への経路であり、2860 エントリが国内向へのエントリ数である。



この経路表と測定したトラフィック情報を用いて、パケットを送信するときどの経路表のエントリを使っているのか調べた。これを、図 4.1,4.2 及び表 4.2 に示す。

海外へのトラフィックでは、96%がデフォルトルートで送信されている。全てのパケットを送信するために、181 エントリの検索が行われた (表 4.2)。このようなデフォルトルートが存在している場合は、デフォルトルートに対して、LSP を設定すると、大部分のパケットをこの LSP で運べることになる。海外向けの経路表のエントリ数は 5 エントリにも関わらず、181 エントリの検索が行われている。これは、トラフィック測定期間に経路表が変更され、個別経路が無くなりデフォルト経路にマッチしたため、海外向けにパケットが送出されたためと予想される。

海外からのトラフィックでは、1つの経路表エントリで、最大、33%のトラフィックを送信している。全てのパケットの送信するために、212 エントリの検索が行われた (表 4.2)。トポロジードリブンで全ての経路表のエントリの数だけ LSP を設定したとすると 2860 本必要になる。フロードリブンで設定すると、最大でも 212 本で十分である。212 本という値は、全ての使用経路エントリを数え上げたものなので、実際はこの値よりも少なくなる。この値については、以下の章で詳しく調べる。これから、フロードリブンで設定するとトポロジードリブンに比べて、7%のラベル数で十分なことがわかる。

以上の結果は、WIDE のルーティングテーブルを使った場合である。次に、トラフィック測定点のルーティングテーブルではないが、世界中のルート全てを持つ Full Route のルーティングを使って、上記と同様の解析を行った。Full Route のルーティングテーブルエントリは、50903 エントリである。このうち、国内向けの経路エントリ数は、2518 エントリであり、海外向けの経路エントリ数は、48385 エントリであった。この結果を図 4.3,4.4 及び表 4.2 に示す。

Full Route を用いたときでは、海外からのトラフィックに関しては、トポロジードリブンで設定した場合は、2518 本必要だが、フロードリブンで設定した場合は、最大でも 106 本の LSP で十分である。海外向けのトラフィックでは、デフォルトルートを使う代わりに個別の経路を使うため、1つのエントリにマッチする割合が少なくなる。海外向けのトラフィックの場合は、フロードリブンで設定するとトポロジードリブンに比べて、15%のラベル数で十分なことがわかる。

	全エントリ (海外向き/国内向き)	WIDE から海外へ	海外から WIDE へ
WIDE 内 Route	2865(5/2860)	181	212
Full Route	50903(48385/2518)	7530	106

表 4.2: 検索されたルーティングエントリの数

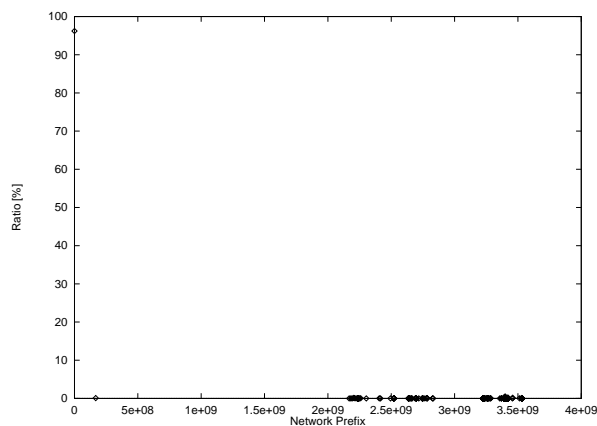


図 4.1: 経路表のヒット数 (海外へ)

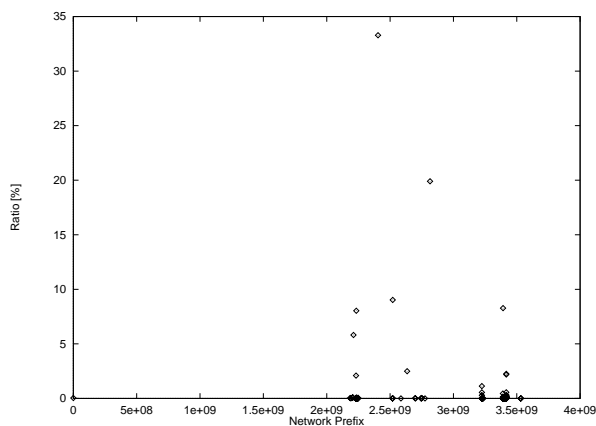


図 4.2: 経路表のヒット数 (海外から)

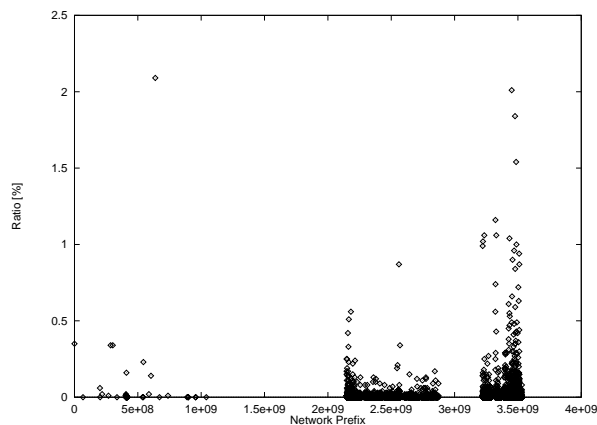


図 4.3: 経路表 (Full Route) のヒット数 (海外へ)

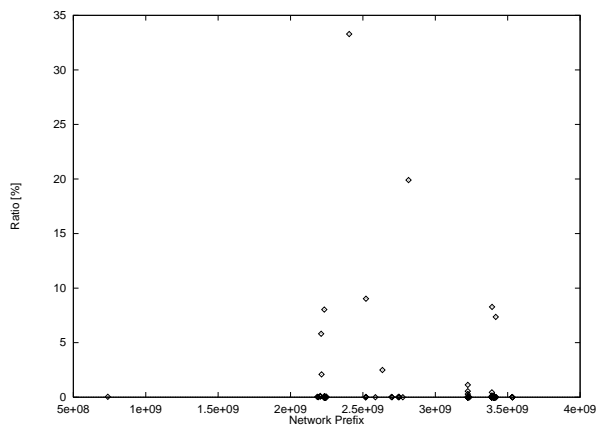


図 4.4: 経路表 (Full Route) のヒット数 (海外から)

## 4.5 アグリケートの解析

### 4.5.1 評価方法

今回は、トラフィック測定点に LSR を導入したと仮定し、以下の条件で LSR ネットワークの定量的評価を行った。

- 設定トリガとして http,ftp,telnet,nntp のパケットを送信したときとする。
- 解放トリガとして、Disconnect Timer Interval 間隔にパケットを送信しなかったときとする。Disconnect Timer Interval は、10,30,60,120,240,300,600s とする。
- LDP の遅延を 100ms とする。設定トリガを受信してから 100ms の間は、layer 3 転送でパケットが転送されたこととする。

- ストリームの種類は、(src,dst),(src,dstnet),(srcnet,dstnet),(\*,dst),(\*,dstnet) の 5 種類とする。(ingress,egress) は、今回のトラフィック情報だけでは、解析できないので、今回は対象外とする。

上記の条件で、測定データを使い、LSR の Edge における LSP で使うラベル数の平均値及びカットスルー率を評価した。カットスルー率は、全パケットに対する LSP に流れるパケット数とする。

#### 4.5.2 解析結果

WIDE から海外へのトラフィックを使ったラベル数とカットスルー率の結果を図 4.5,4.6 に示す。また、海外から WIDE へのトラフィックを使った結果を図 4.7,4.8 に示す。

図 4.6,4.8 から Disconnect Timer が 60sec 以上の場合は、ほぼ、カットスルー率が変わらないことがわかる。これにより、Disconnect Timer は 60sec が良いことがわかる。

Disconnect Timer が 60sec の場合のラベル数とカットスルー率は、以下のようになった。  
海外へ

- (src,dst) 1131 68%
- (src,dstnet) 498 78%
- (srcnet,dstnet) 113 94%
- (\*,dst) 859 73%
- (\*,dstnet) 99 99%

WIDE へ

- (src,dst) 365 61%
- (src,dstnet) 353 62%
- (srcnet,dstnet) 38 95%
- (\*,dst) 152 72%
- (\*,dstnet) 21 95%

海外へ向かうトラフィックでは、(src,dst) に比べて (\*,dstnet) は、約 1/10 の VC 数ですみ、カットスルー率も 99% に上昇している。また、日本に向かうトラフィックは、(src,dst) に比べて (\*,dstnet) は、約 1/20 の VC 数になっていて、カットスルー率も上昇している。アグリゲートすることにより、効果が現れることがわかる。

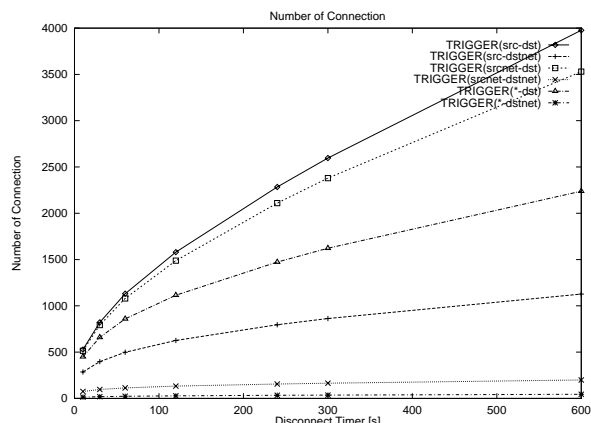


図 4.5: コネクション数 (海外へ)

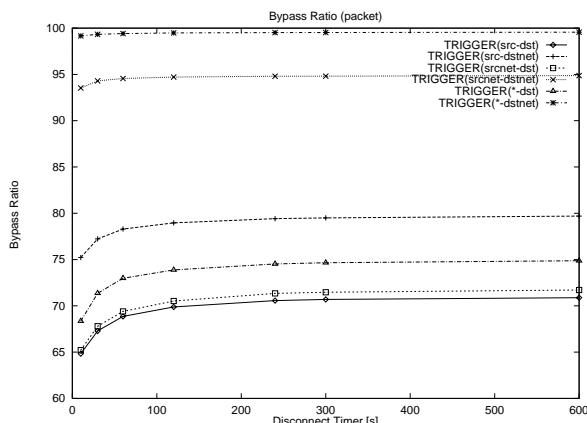


図 4.6: バイパス率 (海外へ)

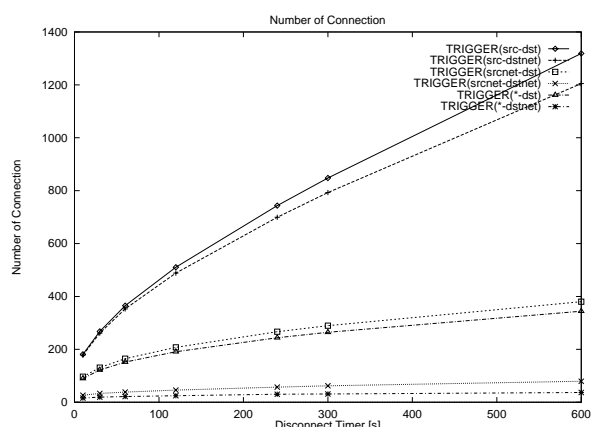


図 4.7: コネクション数 (海外から)

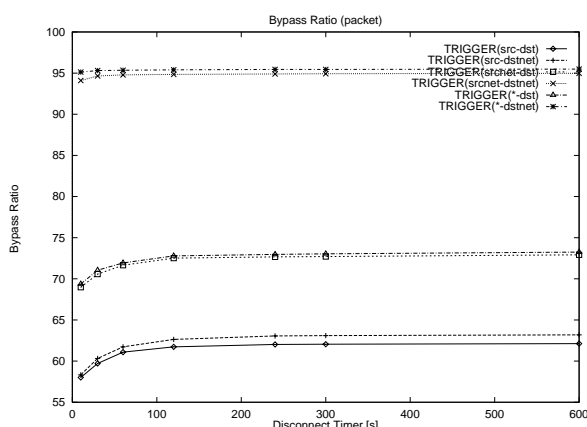


図 4.8: バイパス率 (海外から)

## 4.6 Conclusion

このドキュメントでは、実トラフィックを用いて、トポロジードリブンとフロードリブンの必要ラベル数、および、パケットストリームを様々に変更したときの必要ラベル数とおよび、カットスルー率を解析した。

この結果、(\*,dstnet) でフロードリブンを使用した場合は、必要なラベル数は、181 本。また、Full Route の場合は 7530 本であることがわかった。これらは、トポロジードリブンに比べて、必要なラベル数が 7% 及び 15% で十分であることを示している。

また、(src,dst) のストリームに比べて、(\*,dstnet) のストリームは、VC 数が約 1/10 に減少し、カットスルー率も 1.45 倍に上昇した。これにより、ストリーム集約は有効であることがわかった。今後は、他のトラフィックを解析するとともに実ネットワークでこれらを検証していく。

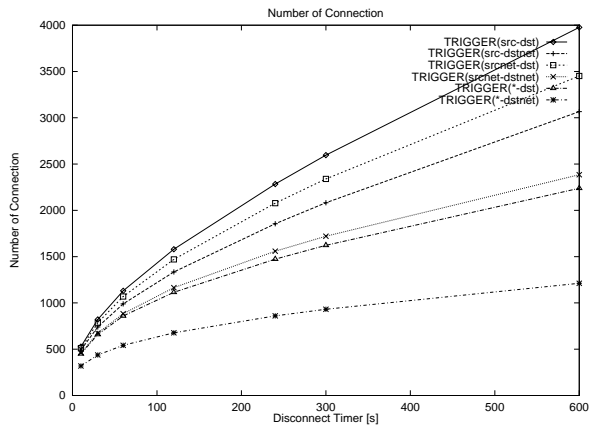


図 4.9: コネクション数 (Full Route:海外へ)

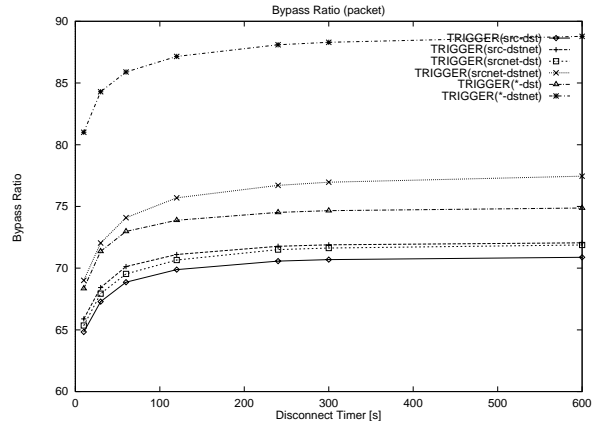


図 4.10: バイパス率 (Full Route:海外へ)

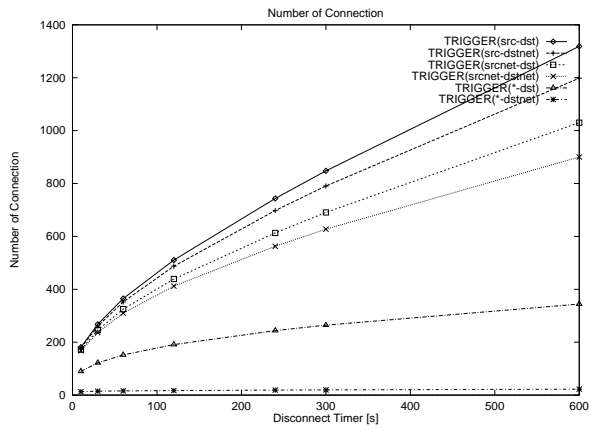


図 4.11: コネクション数 (Full Route:海外から)

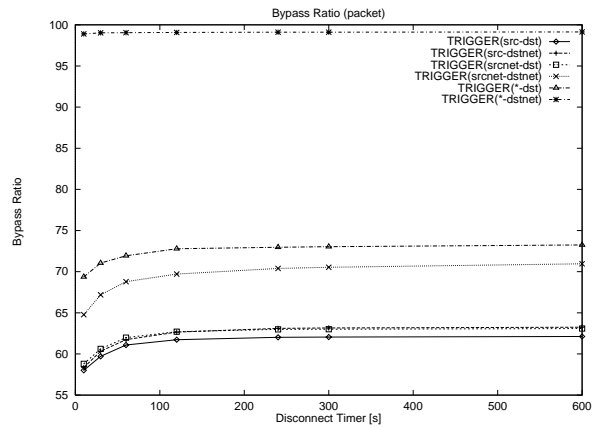


図 4.12: バイパス率 (Full Route:海外から)

