

Path Snapper: MPLS 検証システムの構想

瀧 智 博[†] 宇 夫 陽 次 朗[†] 宇 多 仁[†]
森 島 直 人^{††} 篠 田 陽 一^{†††}

インターネットにおいて高速なパケット配送・高度なトラフィックの制御を提供する技術として Multi Protocol Label Switching(MPLS) 技術が注目されている。インターネットが社会基盤として成熟している今日において、新規技術を実運用としてインターネットに投入する前に十分に機能を検証してその品質を高めておく必要がある。MPLS 技術も他のインターネット技術と同様、その実用化の過程において実装されたプロダクトを検証しなければならない。しかし、MPLS のアーキテクチャは従来のインターネット技術のアーキテクチャとは大きく異なる。そのため従来の検証技術をそのまま適用することはできない。

本稿では、MPLS 実装の検証フレームワークについて論じ、検証機構を設計する際に必要な議論をおこなう。

Path Snapper: overview of the MPLS verification system

TOMOHIRO TAKI,[†] YOJIRO UO,[†] SATOSHI UDA,[†]
NAOTO MORISHIMA^{††} and YOICHI SHINODA^{†††}

The Multi Protocol Label Switching(MPLS) technology is a great deal of interest as a fast transmit technology and/or an advanced traffic management technology on the Internet. Generally, a new technology has to made experiments and evaluated their functions before it's thrown into the Internet and widely used. As same as such technologies, an MPLS implementation also should be verified before widely used.

However, the architecture of MPLS and the architecture of traditional internet technology differs. Therefore, it is impossible applying the traditional verification method to verification of the MPLS implementation. In this paper, we clarify the verification framework of the MPLS implementation, and discuss the design of the verification mechanism of the MPLS implementation.

1. はじめに

今日のインターネットは情報通信の基盤として、そして社会システムの基盤として大きな役割を担っている。その利用は、学術目的だけにとどまらず、一般の個人あるいは企業の活動にも応用されつつあり、利用者数、利用者層ともに大きく拡大してきた。このよう

なインターネットの成功に伴い、高速なパケット配送・柔軟な経路制御・サービス品質の保証など、現在のインターネットが提供している機能よりも高い機能がインターネットに要求されつつある。インターネット上においてそれらの機能を提供できる技術として、Multi Protocol Label Switching(MPLS) が注目され、活発に研究が行われている。

一般に、インターネット技術の実装は、その実装が仕様を満たしているか否かを実用化以前に検証しなければならない。MPLS もその例外ではなく、実運用されているインターネットに導入する過程において実装の検証を行う必要がある。

最近では、ルータなどの IP ネットワークの構成要素の機能は複雑化しており、実ネットワークに投入す

[†] 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

^{††} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Nara Institute of Science and Technology, Graduate School of Information Science

^{†††} 北陸科学技術大学院大学 情報科学センター
Japan Advanced Institute of Science and Technology, Center of Information Science

る前に様々な検証がおこなわれることが一般的である。しかし、MPLS 技術は既存の IP ネットワークとは異なるアーキテクチャをもっているため、IP ネットワーク構成要素用の検証技術をそのまま適用することはできない。

そこで、本稿では MPLS 技術を単独で検証する機構について検討する。まず、MPLS 技術のアーキテクチャを分析し、MPLS 実装を検証する機構に必要な要素を明らかにする。その上で、実際のシステムを設計するための議論をおこなう。

2. マルチプロトコラベルスイッチングシステム (MPLS)

MPLS 実装の検証システムを議論するうえで、まず MPLS 技術の概略について説明する。

2.1 MPLS のアーキテクチャ

MPLS はその機能に着目した時、

- (1) 網の動作について規定する制御情報を MPLS 網に伝播させることによって、網全体の動作を制御する制御層
- (2) 制御層による制御に従ってパケットを配送する配送層

の2つに分離されている(図1)。これらの機能的に分割された2つの層が協調して動作している。

制御層では Forwarding Equivalence Class (FEC) を用いてパケット配送部の制御を行っている。FECは、MPLS 網内においてその FEC を持つパケットを『どのよう』に配送するかというパケットの属性を規定しており、その値にはさまざまな意味を持たせることができる。LDP(Label Distribution Protocol) が FEC を MPLS 網全体に伝播させることにより、MPLS 網内を配送されるパケットを柔軟に制御することができる。

2.2 IP と MPLS とのアーキテクチャの違い

MPLS で構成されたネットワークと既存の IP ネットワークの動作の違いを図2に示す。

IP ネットワークでは、各ノードが自律的に次ホップへの配送動作を決定するが、MPLS ネットワークでは入口ルータで決定された値がラベルとしてパケットに付随してきており、途中ルータはその値をもとに配送動作を行う。

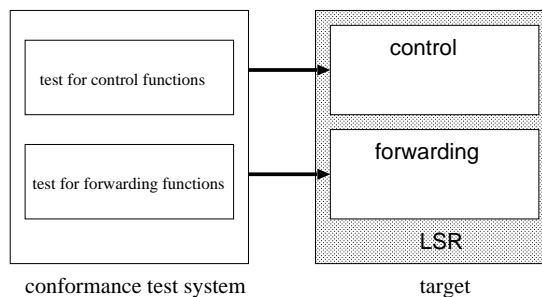


図3 MPLS 実装の検証 (LSR 単位)

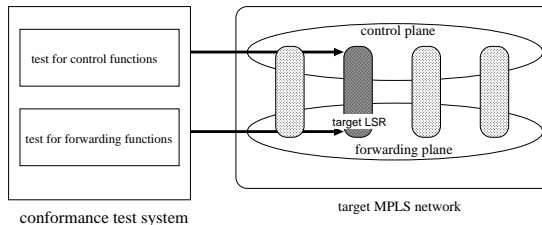


図4 MPLS 実装の検証 (網単位)

このように MPLS の基本動作は、ノード単位では無くラベルスイッチパス (LSP) 単位の動作となる。

3. MPLS 実装検証フレームワーク

IP ネットワークのアーキテクチャは各ノードが自律分散動作するため、各ノードの動作の正当性が検証できれば系全体の動作の正当性を導出できた。たとえば、THAI[4]による IPv6 実装検証システムは、膨大な検証項目が設定されているが、検証対象ホストに対する入力と出力の検査によって構成されている。

しかし、前節で説明した様に、MPLS の制御構造は単一ホスト単位では無く網単位になっている。したがって、MPLS 実装の検証を考えるとときには、既存の IP ルータ実装の検証とは異なる方法論が必要となる。

本節では、MPLS 実装検証をおこなうためのフレームワークについて論じる。

3.1 MPLS の動作モード

MPLS 技術は、転送層と制御層を分離するパラダイムを提供するアーキテクチャを持つため、機能的に『パケットの転送機構』と『その転送機構を制御する機構』に分割できる。また、制御単位が単体のホストでは無く網単位であることから、出入口ノードと途中ノードといったように、各ノードの位置によって機能が異なる仕様となっている。このように MPLS ノー

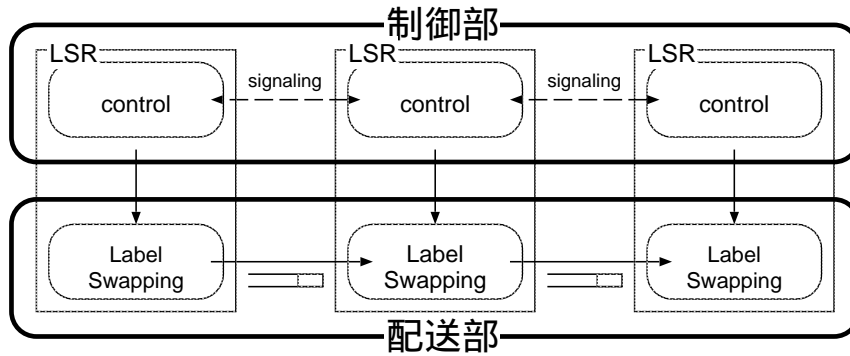


図 1 配送層および転送層の分離

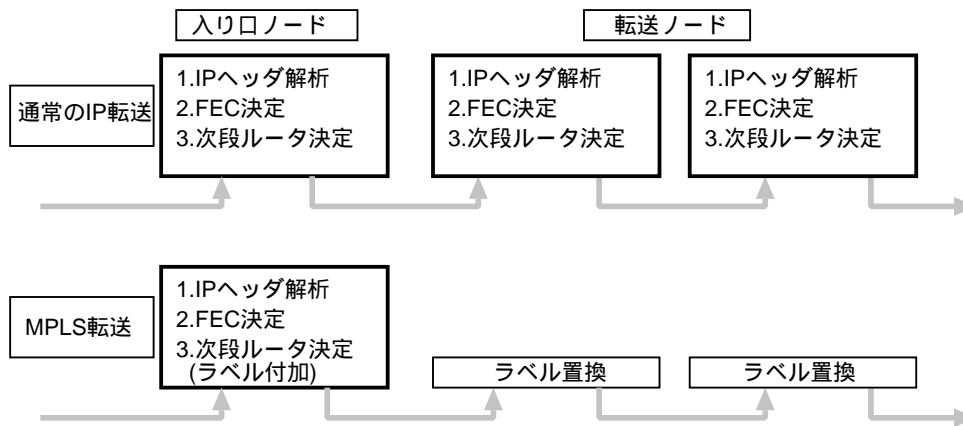


図 2 IP ネットワークと MPLS ネットワークの動作

ドは機能的、空間的に検証する項目および方法論が異なる。

そこで、MPLS ノードを検証するシステムは、同一の実装を検証対象とする場合でも、機能的および空間的な分類に応じた複数の場合分けを提供できなければならない。

機能的には、『パケット転送』および『MPLS 網の制御機構』の両方が対象となる(図 3)。さらにそのそれぞれに対して、MPLS ノードが配置される可能性がある場所の組み合わせで検証していかなければならない(図 4)。

各 LSR の動作を検証する際には、

- パケット配送機構
- MPLS 制御機構
- 2つの組み合わせ (LSR 全体)

のそれぞれに関して必要なテスト項目を設計しなければならない。

3.2 パケット配送機構の検証

MPLS の配送システムは LSP(Label Switch Path)と呼ばれるパスを基本とした動作をおこなう。パスは入口と出口を持つ仮想回線であり、実際には複数の LSR の連結として設定される。そのため、パスのどの部分に配置されるかによって LSR の動作が異なる仕様となっている。

MPLS仕様 [1] から LSR の動作を分類すると以下のようなになる(図 5)。

- 入口ノード パケットを識別しラベル付きパケット (MPLS パケット) に変換する
- 途中ノード MPLS パケットのラベルだけで転送動作をおこなう
- 出口の一つ前の途中ノード 途中ノードと同様だが、場合によってはラベルを全部取り外して普通の第 3 層パケットに戻す
- 出口ノード ラベルを全部外して第 3 層パケットを

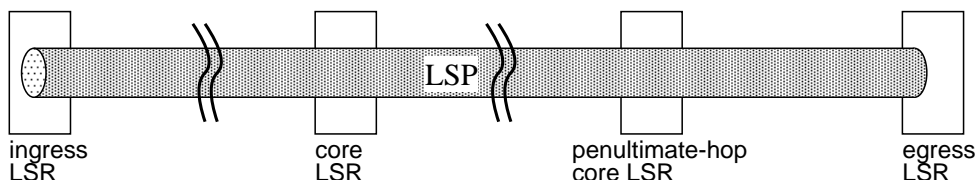


図 5 MPLS LSP の位置による LSR の場合分け

転送する

この分類から、MPLS ノードの packets 転送機構を検証するためには、4 種類の場合分けが必要なことがわかる。

それぞれの場合の検証方法の一部を以下に示す。

入口ノード 第 3 層からの入力を正しくラベル付きパケットとして出力できるか

途中ノード 与えられたラベル変換テーブルに応じた動作をおこなうか

出口の一つ前の途中ノード ラベル付きパケットに対して仕様に適合した動作をおこなうか

出口ノード LSP を終端しラベル付きパケットを第 3 層に転送できるか

実際の MPLS ネットワークでは、LSP の組み合わせによって一つの LSR が複数の機能を同時に実現する場合もありうる。そのため、上記の組み合わせなどを用いた検証項目を設計する必要がある。

3.3 MPLS 制御機構の検証

MPLS 網ではパケット配送網を制御する機構として、ラベル配布プロトコルが用いられる [1]。現在提案されている主なラベル配布プロトコルは LDP[2] と CR-LDP[3] である。

ラベル配布プロトコルは MPLS で転送するパケットのクラスに応じてラベルを割り振るプロトコルである。したがって、検証には

- プロトコル仕様に合致した挙動をおこなっているか
- あるテスト入力に対して発生するシグナリング出力が正しいか
- 複数ノード間でのラベル配布プロトコルの動作が正しいか

などの視点で検証をおこなう必要がある。

3.4 MPLS 制御機構と転送機構の組み合わせ検証

MPLS 制御機構で解決された情報は、MPLS 転送

機構の動作を規定する。したがって、MPLS 制御機構の入力と LSR の動作の関係について検証する必要がある。

3.5 MPLS 実装検証システムへの要求事項

MPLS 実装を検証するシステムを構築する際に必要となる機能を以下に列挙する。

- 検証対象となるノードを LSP の適切な場所に配置できる
- 適切な入力を発生しそれに対する出力をキャプチャできる

4. Path Snapper の設計

前節で述べた、パス中の位置によって動作の異なるターゲットノードを検証できる検証機構の設計手法について論じる。

一般に、実装の検証の難しさは、その実装の規模に比例して増していくものである。十分に小さな規模の実装は、より大きな規模の実装と比べて、比較的検証が容易である場合が多い。そのため、『限定された機能しか提供しない十分に規模の小さな実装』を用いて大規模な機能を提供する実装の動作を検証できるはずである。

このような『限定された機能しか提供しない擬似的な LSR』として本論文では、VLSR(Virtual LSR) の概念を導入する。VLSR は LSR の機能のうち限定された一部の機能のみを提供し、検証ターゲットとなる LSR に対する入力を生成する。

あるノードを検証するには、そのノードに対してなんらかの入力を与え、そのノードからの出力を取得して解析する必要がある。入力を与える方法は、実ノードを用いた方法と、擬似的なノードを用いた方法が考えられる。このように、検証ターゲットに対する入力方法に基づいた検証機構の設計のおおまかな分類を以下に示す。

- 実ノードを多用した検証機構

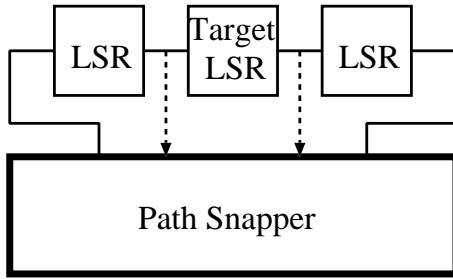


図 6 実ノードを用いた検証

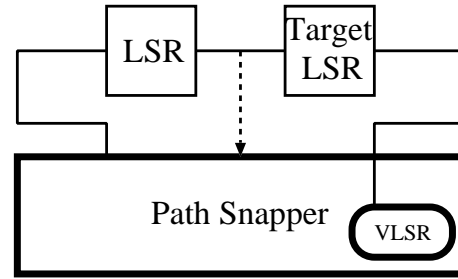


図 8 実ノードと VLSR を用いた検証

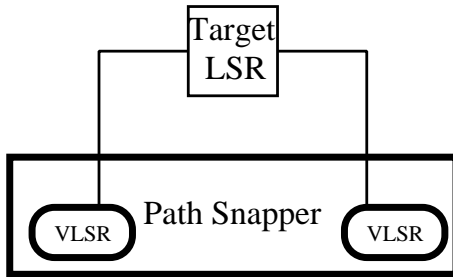


図 7 VLSR を用いた検証

- VLSR を利用した検証機構

- 4.1 実ノードを多用した検証機構

実ノードを多用した検証手法では

- 検証対象の MPLS スタックが実装されているノード
- そのノードに対する入力を与える複数の実ノード
- 本論文で提案する Path Snapper ノード

を用いる。検証対象となるノードには、実ノードによって生成された入力を与える。検証対象となるノードは、実ノード郡の一部として動作する。Path Snapper は、検証対象となるノードの入出力を監視しつつ、実ノード郡に対して入力を与え、実ノード郡に対して与えた入力に応じた検証対象ノードの入出力を監視する。実ノードを用いた検証手法を図 6 に示す。

この手法の利点は

- 実運用に近い環境で検証可能

という点である。一方、この手法の欠点は

- 実運用環境には存在しない意図的な不正入力の生成が困難

という点である。

- 4.2 VLSR を利用した検証機構

VLSR を用いた検証手法では、

- 検証対象の MPLS スタックが実装されているノード
- そのノードに対する入力を与える VLSR
- 本論文で提案する Path Snapper ノード

を用いる。VLSR は Path Snapper が仮想的に実現する単機能 LSR として動作する。VLSR は検証対象となるノードへの入力を生成し、検証対象ノードに入力を与える。実際には、VLSR は Path Snapper が外部に対して提供する機能に過ぎない。したがって、Path Snapper は、VLSR が生成した入力を検証対象の MPLS スタックが実装されているノードに与え、同時に検証対象ノードの出力を監視する。VLSR を用いた検証手法を図 7 に示す。

この手法の利点は

- 検証対象ノード以外の実ノードが不要

という点がある。この手法の欠点は

- 実ノード同士の協調動作を必要とする検証が不可能

という点がある。

- 4.3 実ノードと VLSR を利用した検証機構

実ノードを多用した検証および、VLSR を用いた検証は、それぞれ利点および欠点があることについて論じた。実際の検証場面では、検証すべき項目に応じて実ノードが有用な場合と、VLSR が有用な場合が考えられる。

実ノードによる手法と VLSR による手法は互いに相反する概念ではない。したがって、実ノードによる手法と VLSR による手法双方を同時に用いることで、検証項目に応じたより適切な検証が可能となる可能性がある。そのような検証手法を図 8 に示す

5. まとめと今後の課題

本論文では、転送層/配送層の分離という新しいネットワークパラダイムを提供する技術である MPLS 技術の検証について論じた。

MPLS は網単位で制御されるため、端点を単位とした既存の IP ネットワークで適用される検証手法をそのまま適用することはできない。それは MPLS ネットワークを構成するノードの動作が MPLS 網中で配置される場所によって変わること起因している。

本論文では、このような MPLS に特有の特性を考慮した、検証システムとして Path Snapper システムの構想について議論している。本論文では主にシステムの要求事項について論じただけにとどまっております、実装に向けてはさらなる詳細設計が必要である。

今後の研究において解決しなければならない課題を以下に示す。

制御層の検証方法および検証項目 配送層についてはある程度 MPLS のモデル化と、それに対応した検証方法を考察できたが、制御層の検証に関してはまだ未検討のままである。そのため、制御層の検証に関する議論が必要である。

多インターフェイスを持つ LSR に対応するモデル 配送層および LSP は、それぞれの LSR が単一の LSP を通過する形式でモデル化したが、実際の LSR は複数のインターフェイスを有している場合が多い。このような LSR に対応した場合の検証について考察する必要がある。

システムデザイン 実際にシステムを実装するうえで議論が足りない箇所が多い。プロトタイプシステムの実装を通して、実装に必要な議論を重ねていく予定である

今後、これらの各課題について検討し、実際に MPLS 検証環境を実装、構築していく予定である。

参 考 文 献

- 1) E. Rosen, A. Viswanathan, and R. Callon: "Multiprotocol Label Switching Architecture". RFC 3031, IETF. January 2001.
- 2) L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, and B. Thomas: "LDP Specification". RFC3036, IETF. January 2001.
- 3) O. Aboul-Magd, L. Andersson, P. Ashwood-

- Smith, F. Hellstrand, K. Sundell, R. Callon, R. Dantu, L. Wu, P. Doolan, T. Worster, N. Feldman, A. Fredette, M. Girish, E. Gray, J. Halpern, J. Heinanen, T. Kilty, A. Malis, and P. Vaananen: "Constraint-Based LSP Setup using LDP". Internet-Draft, IETF. work in progress, February 2001. (draft-ietf-mpls-cr-ldp-05).
- 4) TAHI Project, <http://www.tahi.org/>.