JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	マルチプロトコルラベルスイッチング技術を用いたマルチキャストに関する調査
Author(s)	小柏，伸夫；宇夫，陽次朗；宇多，仁；太田，悟史；篠田，陽一
Citation	Research report (School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology), IS-RR-2000-011: 1-23
Issue Date	2000-04-27
Type	Technical Report
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/8387
Rights	
Description	リサーチレポート（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）

JAIST
JAPAN ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

マルチプロトコルラベルスイッチング技術を用いたマルチキャストに関する調査

小柏伸夫, 宇夫陽次朗, 宇多仁, 太田悟史, 篠田陽一

2000年 4月 27日
IS-RR-2000-11

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科
〒923-12 石川県能美郡辰口町旭台1-1
n-ogashi@jaist.ac.jp

©Nobuo Ogashiwa, 2000

ISSN 0918-7553

要旨

インターネットの爆発的な普及に伴い、その規模は加速的に拡大し、その用途も多様化する傾向にある。規模の拡大はインターネット内で流通する情報量を全般的に増加させ、用途の拡大によって画像や音声といった従来のインターネットの用途とは異なる性質を持った情報の流通が増加しつつある。このような現状に対応するために、インターネットへの性能的要求が増大している。インターネットの性能を向上させるための技術は様々なものが検討、開発されているが、その中でも、インターネットを構成する基本要素であるルータの処理を軽減し、2層、3層における高機能化を実現するための技術として、ラベルスイッチング技術(MPLS)が注目を浴びている。

本稿では、MPLSにおけるマルチキャスト配送の実現について論じている。MPLS自体は開発途上技術であるため、マルチキャストの実現は今だ標準化の域に達していないが、現時点においてもIETFにおいて活発な議論がおこなわれている。これらの議論は主にInternet-Draftにまとめられている。マルチキャストを実現するために検討しなければならない要素は多いため、MPLSのIPマルチキャストへの対応化に関する議論や提案が扱う内容は非常に多岐にわたる。そのため、議論や提案の全体像を把握することが困難な状況である。そこで、本稿では現時点(2000年4月現在)のMPLSのマルチキャスト対応化に関する議論や提案を調査し、MPLSマルチキャストに関する要求や今後の課題をまとめることで、本分野の研究の課題を明確化することを目的としている。

もくじ

1 はじめに **1**
1.1 本稿の構成 ・・・

9 まとめ **22**

図一覧

1 既存伝送とラベルスイッチ伝送 3
2 MPLS転送と第3層転送の比較 6
3 各I-Dの相関図(経路ドメイン生成機構関連) 9
4 MPLSネットワークの境界をまたいだ配送木 11
5 第2層のマルチキャスト転送 12
6 第2層、第3層へのマルチキャスト転送 12

1 はじめに

インターネットの爆発的な普及に伴い、その規模は加速的に拡大し、その用途も多様化する傾向にある。規模の拡大はインターネット内で流通する情報量を全般的に増加させ、用途の拡大によって画像や音声といった従来のインターネットの用途とは異なる性質を持った情報の流通が増加しつつある。このような現状に対応するために、インターネットへの性能的要求が増大している。

インターネットの性能を向上させるための技術は様々なものが検討、開発されているが、その中でも、インターネットを構成する基本要素であるルータの処理を軽減し、2層、3層における高機能化を実現するための技術として、ラベルスイッチングが注目を浴びている。各ルータ毎に自律的に経路選択処理をおこなう『点』としての要素が強い既存のインターネットと比べ、ラベルスイッチ技術では始点から終点をより意識した『線』としての操作をおこなう。そのため始点において経路選択処理の大部分を処理することで途中ルータの処理を軽減させるだけでなく、QoS(Quolity of Service)、CoS(Class of Service)、トラフィックエンジニアリングを実現するための要素技術としても利用されようとしている。

インターネットの様々な技術はIETF(Internet Engineering Task Force) による標準化過程を通じて全域における標準仕様となる。現在IETFにおいてラベルスイッチ技術を標準仕様として規定するための議論がおこなわれている。IETFでは様々な既存のラベルスイッチ技術で得られた経験を集約し、新たにマルチプロトコルラベルスイッチング (MPLS:Multi Protocol Label Switching) 技術という汎用的な技術仕様を策定中である。そのため、本文書では主にMPLSを扱う。MPLS技術は既に様々な形でインターネット内で利用されつつあるが、MPLS技術はいまだ研究段階の要素が強く、2000年4月現在、IETFでの議論の途中であり、今後様々な仕様の変更、発展が予想される。現時点では、主にMPLSにおけるユニキャスト通信に関する仕様が議論の中心であり、MPLSのマルチキャスト対応化に関する議論は今だ理論的ものが多い。これらの議論は主にInternet-Draft[1] を通じて追うことができる。

MPLSおよびIPマルチキャストはそれぞれ第3層に深く依存しているうえ、それぞれ多くの要素技術によって複雑に構成されている。さらにマルチキャストはユニキャストとは本質的な部分で異なる技術であり、現在のMPLSの仕様をマルチキャストに対応させるためには現在のMPLSに対する多くの拡張が必要になる。そのためMPLSのIPマルチキャストへの対応化に関する議論や提案は非常に多岐にわたり、議論や提案の全体像を把握することが困難な状況となっている。

そこで、本稿ではMPLSのマルチキャスト対応化に関する議論や提案を調査し、MPLSマルチキャストに関する要求や今後の課題をまとめることで、本分野の研究の課題を明確化することを目的としている。

1.1 本稿の構成

本稿は以下に示す全9章から構成される。

[1]http://www.ietf.org/ID.html

第1章 本章

第2章 ラベルスイッチ技術の概要

第3章 MPLS技術の概要

第4章 MPLSのマルチキャスト対応の概略と現状

第5章 マルチキャスト対応MPLSルータ

第6章 MPLSのマルチキャスト対応と、経路制御およびラベル配布

第7章 MPLSのマルチキャスト対応のIETF (The Internet Engineering Task Force)[2] における標準化動向

第8章 MPLSでのマルチキャスト実現でのその他の課題

第9章 まとめ

[2]http://www.ietf.org/

2 ラベルスイッチ技術

インターネットはIP(Internet Protocol)によるノード間のパケット伝送を基本としたネットワークである。それぞれのノード(ルータなど)が受け取ったパケットを次中継点へ中継することで端点間(end-to-end)の接続が実現される。IPはインターネットのレイヤ構造的には第3層に位置しており、IPパケットを始点から終点へ到達させるための経路を解決する経路制御機構も第3層に置かれている。経路制御機構による次中継点の解決は各中継点が自律的におこなうため、中継点毎で

- 第3層でのパケット解析
- 次中継点決定のための経路検索処理

が必要である。

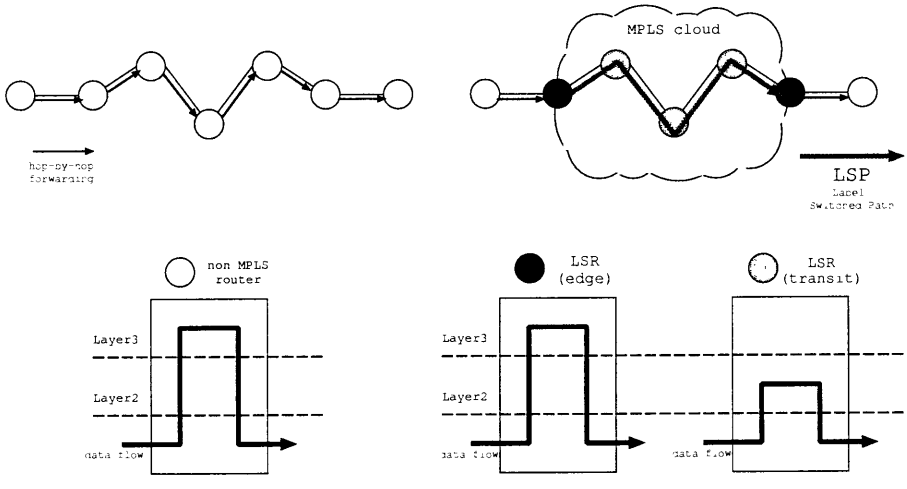

図 1: 既存伝送とラベルスイッチ伝送

ラベルスイッチ技術は、中継点毎におこなわれているこれらの処理を、入口ノード(ingress node)で集約する技術である。入口ノードで、パケットの第3層情報を解析し、その解析結果を短い固定長の**ラベル**に割り当てる。このラベルと第3層情報の対応関係をラベルスイッチ雲内に伝播させることで、中間ノードでの第3層情報を解析を省略できる。ルータでの処理を軽減することができるため、高速化技術として注目されてきた。既存のパケットの伝達とラベルスイッチでのパケットの伝達の違いを図1に示す。

また、ラベルという別の情報での経路制御をおこなうため、第3層での経路制御とは別の形態の経路制御を実現できる可能性が高い。そのため、ネットワーク内のトラフィックを高度に制御するためのトラフィックエンジニアリング技術やポリシー経路制御などを実現するための要素技術としての位置づけを確保しつつある。

インターネットの技術標準策定機関であるIETFでは、ラベルスイッチ技術の初期段階で提案されてきた様々なラベルスイッチ技術で得られた経験を集約し、ラベルスイッチ技術の標準化仕様としてMPLS(Multi Protocol Label Switching)技術を策定中である。以下、本文書ではラベルスイッチ技術としてMPLSを扱う。

3 MPLS技術

IETFにおける標準化がおこなれているMPLS(Multi Protocol Label Switching) 技術の基本アーキテクチャについて概説する。

3.1 MPLS技術の用語解説

MPLSを説明する上で必要な用語を以下にまとめる。

FEC forwarding equivalence classのこと。同一の流儀(パス、転送に関する扱いかた)で転送されるIPパケットのグループ。

ラベル 短い固定長の物理的に連続した識別子FECの識別に利用される。対向でローカルな意味しか持たない。

ラベルスイッチルータ (LSR) 第3層パケットを転送できるMPLSノード

ラベルスイッチパス (LSP) 1つもしくは複数のLSRsを通過する同一階層レベルにある経路(パス)。特定のFEC内のパケットはこの経路を通して転送される。

ラベルスタック ラベルをスタック形式で集約したもの。

ラベル配布プロトコル あるLSRが自分が作成したラベル/FECの束縛を他のLSRに対して通知するための一連の手続きがラベル配布プロトコルである。ラベル配布専用プロトコルであるLDPやCR-LDPと、他の経路制御プロトコルに相乗りする形式のBGP4-LDPやRSVP-LDP などがある。

MPLSドメイン MPLS経路制御と転送がおこなわれる隣接ノードの集合。単一の経路制御広告ドメインの中にある。

MPLSエッジノード MPLSドメインとその外のドメインのノードを接続するMPLSノード。エッジノードと接続される外部ノードは、非MPLSノードである場合や、別のMPLSドメインに属するノードの場合が考えられる。LSRの隣接ホストが非MPLSホストだった場合、そのLSRはMPLSエッジノードとなる。

MPLS出口ノード (egress node) トラフィックをMPLSドメインから取り出す処理をするMPLSエッジノード。

MPLS入り口ノード (ingress node) MPLSドメインへトラフィックを取り入れる処理をするMPLSエッジノード。

MPLSラベル パケットヘッダ中にあるラベル。パケットのFECを示している。

MPLSノード MPLSが動作しているノード。MPLS制御プロトコルを扱うことができ、一つ以上の第3層経路制御プロトコルの運用しており、ラベルを用いてパケットの転送できるノードを指す。第3層パケットをそのまま転送できる機能は無くてもかまわない。

3.2 MPLS技術の特徴

一般にパケットの転送処理は、そのパケットの転送特性であるFECに基づいておこなわれる。MPLSでは、FECの認識はMPLSドメインの入口LSRのみでおこなわれ、その情報はラベルとしてパケットに付加される。ラベルとFECの束縛情報(FEC/ラベルマッピング情報)は、ラベル配布プロトコルによって生成/広告される。各中継LSRはラベルのみを用いて、単純な『ラベル置換(label swapping)動作』のみを繰り返すだけである。パケットは、最終点に到達するかMPLSドメインの出口から非MPLSドメインへ転送されるまだラベル置換操作のみによって転送される。

この特性はすなわち、

- 転送は本質的に第3層経路ドメインとは無関係である

ということを意味する。つまり、MPLSドメインの経路制御技術は既存のインターネットのように第3層経路制御技術の束縛をうけないことを意味する。注意しておくが、このことから安易に『MPLSと第3層経路制御が一致しない』と考えてはいけない。第3層経路制御ドメインとMPLSによる経路制御ドメインがお互い独立して生成しているだけで、第3層経路制御ドメインと同一のMPLS経路制御ドメインを構成することは技術的に可能である。実際に、ラベル配布プロトコルにLDPを用いたMPLSの中継点毎転送モードでは、MPLSの経路制御ドメインは第3層経路制御ドメインと完全に一致する。

したがって、MPLSにおいては、

- 経路ドメインを生成する機構
- 経路ドメインに応じた転送を実現する機構

を完全に独立したものとして扱うことが可能である。ここでの『経路ドメインを生成する機構』とは、ラベル配布プロトコルと中心としたFEC/ラベルマッピングの生成系であり、『経路ドメインに応じた転送を実現する機構』とはLSRを中心としたMPLSの転送アーキテクチャを指す。

この特性は、転送がユニキャストであるかマルチキャストであるかに無関係で成立する。MPLS技術では転送の特性に応じた経路ドメインの構成および、その実現をおこなうことで、任意の転送特性が実現可能である。

3.3 MPLS経路ドメインの生成機構

MPLS経路ドメインはFECとラベルのマッピング情報で構成される。各LSRはラベル配布対となっているLSRとFEC/ラベルマッピング情報をラベル配布プロトコルを用いて交換する。

FEC/ラベルマッピング情報の交換によって、結果的にラベルスイッチパス(LSP:Label Switch Path)が構成される。LSPは一種の仮想経路(VP: Virtual Path)である。ユニキャスト通信ではこのラベルスイッチパスは一本の連続した経路となる。マルチキャスト通信については次の章で述べる。

3.4 MPLS経路ドメインに応じた転送の実現機構

MPLS経路ドメイン生成系によって生成された経路ドメインを実際に実現するための要素がLSRである。LSRはFECに対応するラベルから導出されるLSPを通してパケットの転送処理をおこなう。

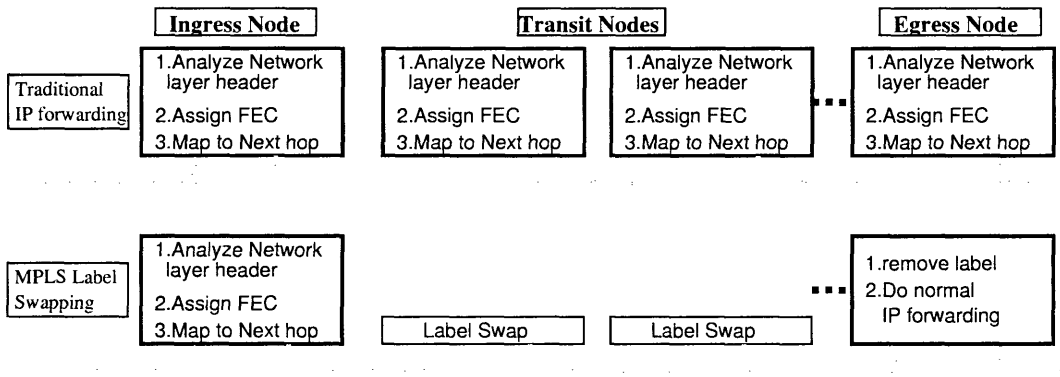

図 2: MPLS転送と第3層転送の比較

以下にMPLSドメイン内のパケット転送処理を示す。

1. 入口LSRでのFEC解析
   各パケットのFECを上位層の情報を用いて解析し、MPLS的なFECとして識別する。必要ならFECに対応するLSPを形成する。

2. 入口LSRでの初期ラベル付加
   FECに対応するラベルをパケットに付加し、そのパケットをMPLSドメイン内に転送する。

3. 中間LSRでのラベル置換処理
   パケットに付加されているラベルを、次中継点となるLSRと折衝して得られたラベルと付け変えて転送する。

4. 出口LSRでのラベルの除去
   MPLSラベルを取り除き、通常パケットとして転送する。

これらの操作と通常の第3層転送を比較を図2に示す。

FEC Fを持つパケットの伝送手順を以下に示す。まず入口LSRでは以下のようにほぼ通常の転送処理と同様な処理をおこなう。

1. 第3層のヘッダを解析し、そのパケットのFECを決定する。ここではFECをFとする。
2. 隣接LSRと折衝してあったFEC Fに対応するラベル(ここではラベルL)をパケットに付加する。
3. 次中継点となる隣接LSRに転送する。

続く中継LSRでは、

1. ラベルLからFEC Fであることを識別する。
2. FEC Fに対応するラベルをラベル表から検索(ここではラベルL'とする)。
3. パケットのラベルをラベル置換($L \rightarrow L'$)する。
4. 次中継点となる隣接LSRに転送する。

のように、入口LSRでの解析結果がラベルとして伝達されているため、第3層情報を解析せずに単純なラベル置換処理のみで転送できる。最終的なMPLS出口では、ラベルを取り除いてから通常IPパケットとして第3層転送する。

4 MPLSにおけるマルチキャストの実現

4.1 MPLSにおけるマルチキャスト実現の構成要素

MPLSでマルチキャストを実現するために考察しなければならない要素は大きく以下の2つの分類できる。これらは直交した要素である。

- マルチキャスト経路ドメインの生成機構
- マルチキャスト経路ドメインを実現するマルチキャスト配送機構

前者はマルチキャスト配送をおこなうための経路情報を形成するためのアルゴリズム、経路プロトコルなどが含まれる。後者は、マルチキャスト経路ドメインで生成された配送木を実際にMPLS的に実現するもので、LSRの実装などが含まれる。

4.2 マルチキャスト対応の現状

3章で述べたように、MPLSは本質的にはユニキャスト、マルチキャストの差異を問わない技術である。IETFでの議論においても、MPLSにおいてはユニキャストだけでなマルチキャストを視野に入れた議論をおこなうべきだと言われている[3]。しかしながら、実際のところ、現在のMPLSアーキテクチャ仕様[9]では、マルチキャストは将来の課題であるとし、ユニキャストについてしか規定していない。MPLSは全般的にまだ開発途上の技術であり、ユニキャストについてすら標準化が終了していない現状を考えると、この状況はある意味、現実的な対処の結果とも取ることができる。

一方、MPLSのアーキテクチャ仕様とは別に、MPLSにおけるマルチキャストを論じている文書が複数公開されている。2000年4月現在では、以下の5本のI-Dが公開されている。

- draft-ietf-mpls-multicast-00.txt[8]
- draft-farinacci-mpls-multicast-01.txt[5]
- draft-hummel-mpls-explicit-tree-01.txt[6]
- draft-wu-mpls-multicast-te-00.txt[10]
- draft-acharya-ipsofacto-mpls-mcast-00.txt[1]

これらの文書はそれぞれスコープとしている要素は異なっているが、なんらかの形でMPLSにおけるマルチキャストの実現を論じている。表1に、各I-Dがどの部分を論じているかを示す。表中の用語について捕捉しておく。

フレームワーク MPLSにおけるマルチキャスト実現の全般的フレームワークの規定、問題点、将来の課題についての議論

I-D名	経路ドメインの生成機構	マルチキャスト配送機構
draft-ietf-mpls-multicast-00	フレームワーク	LSR拡張機構
draft-farinacci-mpls-multicast-01	第3層準拠	無し
draft-hummel-mpls-explicit-tree-01	第2層独自	無し
draft-wu-mpls-multicast-te-00	第2層独自	無し
draft-acharya-ipsofacto-mpls-mcast-00	第3層準拠	無し

表 1: MPLS/Multicast関連I-Dの記述範囲

第2層独自 CR-LDPを用いた独自マルチキャスト配送木の形成方法および問題点の議論

第3層準拠 第3層でのIPマルチキャスト経路制御機構で生成された配送木をMPLS的に実現するための方法および問題点の議論

LSR拡張機構 マルチキャスト対応LSRについての議論

図3に各I-Dの経路ドメインの生成機構に関する関連を示す。

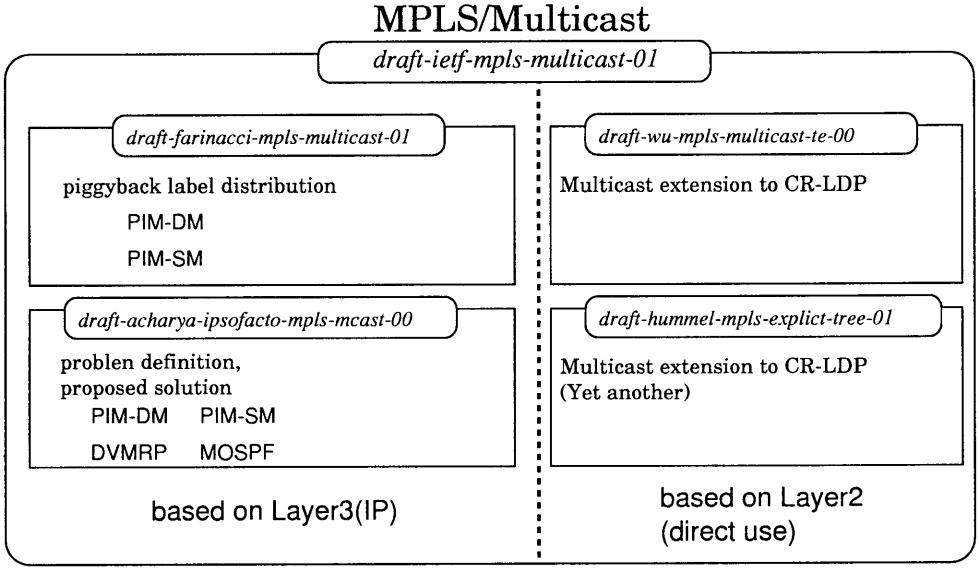

図 3: 各I-Dの相関図(経路ドメイン生成機構関連)

4.3 MPLS/マルチキャスト対応フレームワーク

IETFのMPLS分科会では、MPLSにおけるマルチキャスト対応フレームワークをMPLSフレームワーク[3]およびMPLSアーキテクチャ[9]とは独立して議論している[8]。このフ

レームワークは、最終的にはMPLSでのマルチキャスト関連の仕様を一括して定義することを目的としており、

- マルチキャスト経路ドメインの構築
- マルチキャスト対応LSRの実現

についてそれぞれ議論している。
現在のI-Dの概要を以下に示す。

- MPLSで対象とする第2層の特徴のまとめ
- マルチキャスト対応MPLSで扱うマルチキャストルーティングプロトコルの分類
- 複製されたパケットの第2層、第3層への同時出力の概要
- マルチキャスト対応MPLSにおけるLSP(Label Switched Path)確立のトリガの分類
- ラベル配布プロトコルの他プロトコルへの相乗りに関する問題点の指摘
- 明示的経路指定に関する問題点の指摘
- QoS、CoSのサポートに関する考察
- マルチアクセスネットワークにおける問題の指摘
- その他の問題の指摘
  - TTLフィールドに関する問題
  - ラベル配布コントロールに関する問題
  - ラベル維持モードに関する問題
  - ラベル割り当てに関する問題
  - ラベル配布に関する問題

LSRの拡張機構、および、このI-Dを含んだ各I-Dにおけるマルチキャスト経路ドメインの構築については、それぞれ5章および6章でまとめる。

5 マルチキャスト対応LSR拡張

MPLSでマルチキャストを実現するためのLSRの拡張については、draft-ietf-mpls-multicast-00[8]で議論されている。LSR拡張はMPLSアーキテクチャへの拡張として将来的にMPLSの標準アーキテクチャである[9]に統合されると予想される。

本章では、MPLS対応LSRに要求される機構についてまとめる。

5.1 マルチキャスト配送機能の分類

MPLSでのマルチキャスト配送は以下の2種類に分類できる。

- 第2層から第2層へのマルチキャスト配送
- 第2層から第2層/第3層へのマルチキャスト配送

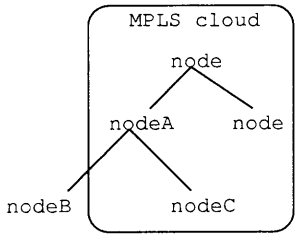

図 4: MPLSネットワークの境界をまたいだ配送木

前者はMPLSドメイン内で閉じた形式のマルチキャスト配送で、全配送木がMPLSドメイン内にある場合がこれにあたる。一方、マルチキャスト対応のMPLSルータによって構成されるネットワークとその外側のネットワークをまたがったマルチキャスト配送木(図4)を確立する場合も考えられるため、後者の配送機構も必要である。

それぞれの用途を実現するためには、LSRにおいて以下の条件を充足しなければならない。

1. 第2層からの入力に対して、第2層への複数の出力をおこなう
2. (1)に加えて第3層へも複数の出力をおこなう

図4の例ではnodeAが(2)の機能を必要とする。nodeBは第3層でマルチキャスト配送を行うルータ、nodeCは第2層でマルチキャスト配送を行うルータである。nodeBはMPLSネットワークの外側に存在するが、nodeCはMPLSネットワークの内側に存在する。

5.2 第2層へのマルチキャスト出力手法

第2層からの入力に対する第2層への複数の出力をおこなう手法はいくつか存在する。現時点では、どの方法を利用すべきかについては議論の最中であり、実現可能なモデルを提示するにとどまっている[8]。それらのモデルを図5に示す。図の左側から、

- 2層でのパケットコピー機構を利用
- 2/3層での折衷案
- 3層でのパケットコピー機構を利用

となっている。

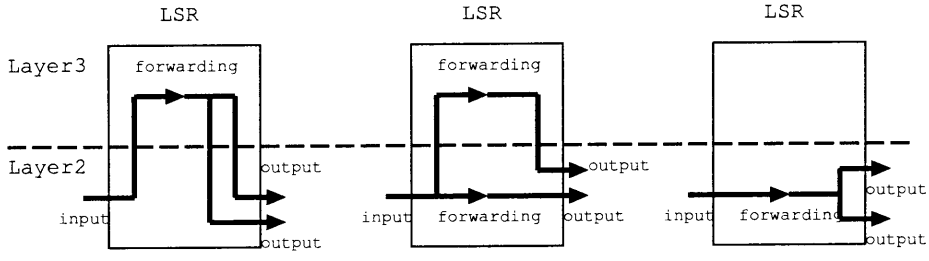

図 5: 第2層のマルチキャスト転送

5.3 第2/3層へのマルチキャスト出力手法

入力されたパケットを第2層および第3層へ出力する機能を実現するためには、図6に示す方法が考えられる。

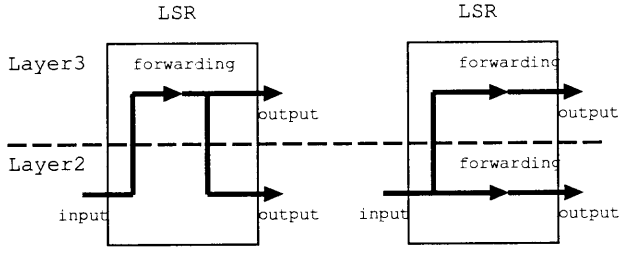

図 6: 第2層、第3層へのマルチキャスト転送

[8]では図6に示す方法をサポートすることによる以下の利点を挙げている。

- MPLSネットワークの内側と外側にまたがった配送木を確立できる。
- より低いサービス品質が要求された場合第3層へ出力することにより、より低いサービス品質が実現できる。これにより複数のサービス品質が定義できるので、区分化されたサービスの一種を提供できる。
- 後述のon Demand ラベル配布モードにおいてトラフィック駆動型のトリガが利用できる。

6 MPLSにおけるマルチキャスト経路ドメインの構成

MPLSでのマルチキャストを実現するうえで現在盛んに議論されているのが、『MPLS経路ドメインの生成手法およびその機構』についてである。4.2章で論じたように、その機構は大きく

- 第2層で独自にマルチキャスト配送木を生成するもの
- 第3層のIPマルチキャスト配送木をMPLS的に実現するもの

の2種類に分類できる。

現時点での議論の内容を以下にまとめる。

6.1 第2層マルチキャスト配送木のMPLS的実現

第2層での独自マルチキャスト経路網の実現は、現時点ではほとんど議論されていない。[10]ではトラフィックエンジニアリングのマルチキャスト対応という視点からMPLSを捕らえる際に、CR-LDPを拡張した第3層とは独立したマルチキャスト配送木の実現を論じている。

6.2 第3層マルチキャスト配送木のMPLS的実現

現在までに様々なIPマルチキャスト経路制御プロトコルが提案されている。現時点ではPIM-DMおよびPIM-SMが今後の主力プロトコルになると考えられており、MPLSのIPマルチキャスト対応化に関しても、MPLSをPIM-DMおよびPIM-SMに対応させることを目的とした議論が活発である。

PIM-DMおよびPIM-SMをMPLSで実現する上で現在指摘されている問題点を以下にまとめる。

PIM-DMに関する問題点 [1]ではMPLSのマルチキャスト対応化におけるPIM-DMに関する以下の問題点を指摘している。

- PIM-DMを用いてマルチキャスト経路制御をおこなうネットワークにおいて、現在のMPLSを利用する場合PIM-DMの性質から以下の制約が発生する。
  - ラベル割り当て方法の制約
    - ホップ・バイ・ホップ(hop-by-hop)の転送
    - トラフィック駆動型のLSPの確立
  - ソース/グループのペア(以下(S,G))について入力ラベル、出力ラベルの統一ができない

PIM-SMに関する問題点　[5]ではラベル配布の一手法として、PIM-SMへの相乗りを提案している。しかしながら、[8]では経路制御プロトコルへの相乗りに関して以下の欠点を指摘している。

- プロトコルの相乗りは既存のマルチキャスト経路制御プロトコルの拡張を必要とする。そのため、ラベル配布を特定のマルチキャスト経路制御プロトコルに相乗りさせることは複数の経路制御プロトコルの利用を制限する結果となる。

6.2.1　LSPの確立

マルチキャスト対応のMPLSにおけるLSP確立の駆動方法は現在以下の3種類の手法が提案されている[8]。

- 要求駆動

  制御メッセージの送受信をトリガとしてLSPを確立する。

- トポロジー駆動

  トポロジーの変化(経路表の変化) をトリガとしてLSPを確立する。

- トラフィック駆動

  マルチキャストのデータの到着をトリガとしてLSPを確立する。

IPマルチキャストでは複数の経路制御プロトコルが提案されており、経路制御プロトコルによって利用できる駆動方式がそれぞれ異なることが指摘されている。

6.2.2　ラベル配布

現在提案されているLDPでは以下に示すモードやコントロールが定義されている[2]。

- ラベル配布モード
- ラベル配布コントロール
- ラベル維持モード

上記のモードやコントロールについて、それぞれ複数のモードやコントロールが具体的に定義されている。

マルチキャスト対応のMPLSにおいても基本的にはユニキャストのMPLSと同様のモードが用いられる。ただし、モードの組み合わせ方やマルチキャスト経路制御プロトコルの関連によっては利用できない組み合わせも存在する。

ラベル配布モード

- on Demand ラベル配布モード

  他LSRからの明示的な要求があった場合のみ、自LSRにおけるFEC/ラベルマッピングを広告する。

- Unsolicited ラベル配布モード

  他LSRからの明示的な要求がなくても、自LSRにおけるFEC/ラベルマッピングを広告する。ただし、他LSRからの明示的な要求があった場合も自LSRにおけるFEC/ラベルマッピングを広告する。

ラベル配布コントロール

- Independent ラベル配布コントロール

  他LSRのFEC/ラベルマッピングに依存せずにFEC/ラベルマッピングを配布する。

- Ordered ラベル配布コントロール

  他LSRのFEC/ラベルマッピングに依存してFEC/ラベルマッピングを配布する。

MPLSのマルチキャスト対応化において、Independentコントロールの場合、前述の3種類のトリガは全て利用できるが、Orderedコントロールで第2層、第3層へのマルチキャストをサポートする場合、トラフィック駆動型のLSPの確立はできない。

ラベル維持モード

- Conservative ラベル維持モード

  必要なラベルだけ保持する。

- Liberal ラベル維持モード

  全てのラベルを保持する。

LDP[2]では上記の2種類のラベル維持モードが提案されている。

MPLSのマルチキャスト対応においてはLiberalモードの利用は意味を持たない。その理由として[8]では以下の2点を挙げている。

- ユニキャストにおいては、全てのLSRは全てのFECに対する経路を保持している。しかしマルチキャストにおいては、全てのLSRが全てのFECに対する経路を保持しているわけではない。

- マルチキャストでは、LSRはどの隣接LSRに対してラベル要求/ラベルマッピングメッセージを送信すべきか常に知っている。たとえば、ユニキャスト下流モードではLSRはどこにラベルマッピングメッセージを送信すべきか知らず、全ての隣接LSRに対してメッセージを送信する。このケースにおいて、Liberalモードをサポートすることは特別に新しいメッセージを生成することはなく、Liberalモードをサポートした場合のコストは低いと考えられる。

  ユニキャストのMPLSにおいてはLSR1からLSR2への経路は必ずしもLSR2からLSR1への経路と一致するとは限らない。そのため、あるLSRは次ホップを知っている必要はあっても、前ホップを知っている必要はない。しかしながら、マルチキャスト対応のMPLSにおいては、LSRは次ホップおよび前ホップを知っている必要がある。

7 MPLSにおけるマルチキャスト実現の課題

その他、現時点で論じられているトピックについてまとめる。

7.1 トラフィックエンジニアリングへの応用

ISPのバックボーンネットワークにおいて多数のマルチキャストグループのトラフィックが存在するときに異なるマルチキャストトラフィックに対してそれぞれ区分化されたサービスを提供することは非常に困難な課題となりつつある。複数のマルチキャストのトラフィックにおいてネットワークの資源を最適化し効率的に利用することも同様に非常に困難である。

[10]ではマルチキャストにおけるトラフィックエンジニアリングの一手法としてMPLSおよび明示的な経路束縛を用いることを提案している。

7.2 TTLフィールドに関する問題

[8]はマルチキャストに対応したMPLSにおけるTTLフィールドに関する問題を指摘している。

パケットの無限ループの防止を目的としてIPヘッダのTTLフィールドが用いられることがある。IPマルチキャストではIPヘッダのTTLフィールドの値をパケットの転送回数の上限とすることでパケットの無限ループを防ぐ。しかしながら、MPLSを用いたネットワークではパケットの転送時にIPヘッダのTTLフィールドの値は減算されない。

ユニキャストのLSPでは入口ノードおよび出口ノードはそれぞれ唯一であるので、LSPは必ず1本に決定することができ、LSPの長さ(LSPにおけるLSRの経由回数)はあらかじめ判明している。そのため入口ノードにおいてそのLSPにおける第2層でのパケットの転送回数が判明しており、TTLフィールドの値は入口ノードにおいて減算することができる。マルチキャストでは配送木の枝の長さはそれぞれ異なる可能性があるのでTTLフィールドの値は入口ノードでは減算できない。そのため、TTLフィールドの値が本来はパケットの破棄を意味する場合であってもパケットの転送がおこなわれてしまう可能性がある。

7.3 明示的経路指定に関する問題

MPLSでは[7]をサポートすることにより明示的にパケット転送の経路を指定することができる。[8]ではマルチキャスト対応MPLSにおける明示的経路指定における以下の問題点を指摘している。

- 既存のMPLSにおいて明示的に指定された経路は双方向である。マルチキャストにおいてはマルチキャストデータ(配送者から受信者)とマルチキャストルーティングメッセージ(受信者から配送者)が同一の経路を通ってしまう。
- RPF(Reverse Path Forwarding)の計算が明示的に指定された経路によっておこなわれてしまう。

7.4 QoS/CoSの実現

[8]ではマルチキャスト対応MPLSにおける区分化サービスの実現は容易であると論じている。あるマルチキャストのソース/グループ(以下(S,G))の組み合わせにCoSの情報を付加した(S,G,CoS)ツリーをLSPに対応させることで実現できると論じている。

[8]はRSVPを用いたQoSの実現についても言及している。マルチキャストにおける重要な問題として、どのようにして'heterogeneous receivers'の概念を第2層に適用するかという問題が挙げられる[4]。[8]ではこの問題に対し、以下の提案を行っている。

- 1つの(S,G)の組み合わせに対してサービスクラスごとに木を構成する(たとえばbest-effort用の木、QoS用の木)。これらの木ごとにLSPを確立する。
- 前述の第2層、第3層混在の出力を用いて、単一の配送木上で異なるサービスクラスを実現する。

8 IETFにおける標準化動向

MPLSのマルチキャスト対応化に関する議論はInternet-Draftを中心として行われている。

本章ではIETFにおけるMPLSのマルチキャスト対応化の標準化動向についてInternet-Draftごとにまとめる。

8.1 draft-ietf-mpls-multicast-01.txt

[8]はMPLSのマルチキャスト対応化のフレームワークを提供している。提供されているフレームワークを以下に示す。

- 対象とする下位層の特徴の明確化
- IPマルチキャスト経路制御プロトコルの分類
- マルチキャスト対応LSRにおける出力方法の考察
- マルチキャスト対応LSRにおけるLSR確立トリガの考察
- 明示的経路指定に関する考察
- QoS、CoSへの対応に関する考察

8.2 draft-acharya-ipsofacto-mpls-mcast-00.txt

[1]はMPLSネットワークにおけるIPマルチキャスト対応について論じている。特にIPマルチキャスト経路制御プロトコルに焦点を合わせている。

[1]では第3層のマルチキャスト経路制御プロトコルによって確立されたマルチキャスト配送木に沿って、第2層でマルチキャストデータを配送することを目的とした議論が行われている。そのため[1]は主に第3層のIPマルチキャスト経路制御プロトコルと、MPLSのLSPの確立やラベル配布との間の不整合に起因する問題の指摘や解決策の提案が議論の中心となっている。具体的な章構成を以下に示す。

- PIM-DMに関する問題点の指摘
- PIM-SMに関する問題点の指摘
- PIM-DMに関する解決策の提案
- PIM-SMに関する解決策の提案
- DVMRP、MOSPFに関する問題点の指摘と解決策の提案
- マルチキャストLSPにおける、第3層のトポロジの変化の影響

8.3 draft-farinacci-mpls-multicast-01.txt

[5]はIPマルチキャスト対応MPLSにおけるラベル配布手法を提案している。具体的には既存のIPマルチキャスト経路制御プロトコルであるPIMにラベル配布プロトコルを相乗りさせる手法を提案している。PIMに対する具体的な拡張を定義している。

8.4 draft-wu-mpls-multicast-te-00.txt

[10]はマルチキャストにおけるトラフィックエンジニアリングの一手法としてMPLSを用いることを提案している。

既存のIPマルチキャストの枠組みはサービスの区分化やトラフィックエンジニアリングの機能を提供していない。広域に展開された複数のマルチキャストグループに対する区分化されたサービスの提供は、現在のIPマルチキャストの枠組では実現は困難である。またマルチキャストトラフィックにおけるトラフィックエンジニアリングの手法も確立されていない。

[10]は、まずMPLSマルチキャストトラフィックエンジニアリングの概念を説明したうえで、マルチキャスト配送木の以下の確立方法について論じている。

- 送信者主導の配送木

  送信者が主導権を持ってマルチキャスト配送木を確立する。CR-LDPを拡張することによって確立可能。

- 受信者主導の配送木

  受信者が主導権を持ってマルチキャスト配送木を確立する。

[10]はCR-LDPに対する以下の拡張を提案している。

- MPLSマルチキャストツリーID

  ネットワーク全域においてマルチキャスト配送木を一意に識別できる識別子。

- 明示的配送木TLV

  明示的な1対多のLSPを確立するためのメッセージのTLV。

  - Tree-Hop TLV
    配送木の部分木を表現するためのTLV。

- ラベル要求TLV

  CR-LDP[7]で提案されている明示的経路指定ラベル要求メッセージにおけるER-TLVフィールドをTREE-TLVに置き換えたラベル要求TLV。

- JOINメッセージTLV

  下流LSRから上流LSRに送信されるJOINメッセージTLV。

8.5 draft-hummel-mpls-explicit-tree-01.txt

[6] は明示的経路指定情報を伝達するためのTREE ROUTE TLVを提案している。提案されているTLVの型を以下に示す。

- TYPE "("
- TYPE ")"
- TYPE "ER-TLV"
- TYPE "Opaque-Info"
- TYPE "Node-Info"
- TYPE "<Nodes-Info-Begin"
- TYPE "Nodes-Info-End>"

上記のTLVはマルチキャスト配送木の木構造を表す構文を構成する要素である。[6] ではマルチキャスト配送木の木構造を上記のTLVを用いて再起的に表現することを提案している。

9 まとめ

本稿ではMPLSのマルチキャスト対応化に関する議論や提案を調査し、まとめた。IETFにおけるMPLSのマルチキャスト対応化に関する標準化動向についてもまとめた。

現状では、MPLSマルチキャストについては、将来的な方向性についてや問題点の指摘が主な議論対象となっており、仕様や細部に関する提案は少ない状況である。その大きな理由は、MPLSの仕様全体がまだ策定途中であり、ユニキャストを実現する部分さえ議論途中の部分が多いことであろう。

MPLSで実際にマルチキャストを実現するためには、以下の項目についての詳細化/標準化が必要である。

- MPLSマルチキャストフレームワークの標準化
- LSR拡張機構の標準化
- 各種マルチキャストモデルに関するコンセンサスの確立
- FECとマルチキャスト関係の詳細化
- マルチキャスト配送木の表現手法の詳細化
- 各種マルチキャスト配送木の構成法の検討
- その他

また、MPLSのマルチキャスト対応化に関して現在指摘されている問題は、現在のMPLSと既存のIPマルチキャスト経路制御プロトコルの不整合に起因するものが多い。また、マルチキャストにおけるQoS、CoSのサポートに起因する問題も少なからず存在する。これらに関する議論も今後おこなっていかなければならない。

今後は現在指摘されている問題点に対する対策や、具体的な仕様の提案が増え、MPLSのマルチキャスト対応化に関する議論はこれまで指摘された問題点の具体的な対策方法や仕様の決定に徐々に移行すると思われる。

参考文献

[1] Arup Acharya, et al. IP multicast support in MPLS networks. *Internet-Draft*, February 1999. draft-acharya-ipsofacto-mpls-mcast-00.txt.

[2] Loa Andersson, et al. LDP specification. *Internet-Draft*, September 1999. draft-ietf-mpls-ldp-06.txt.

[3] R. Callon, et al. A framework for multiprotocol label switching. *Internet-Draft*, September 1999. draft-ietf-mpls-framework-05.txt.

[4] E. Crawley. A framework for integrated services and rsvp over atm. *RFC*, No. 2382, August 1998.

[5] Dino Farinacci, et al. Using PIM to distribute MPLS labels for multicast routes. *Internet-Draft*, January 2000. draft-farinacci-mpls-multicast-01.txt.

[6] Heinrich Hummel, et al. Explicit tree routing. *Internet-Draft*, June 1999. draft-hummel-mpls-explicit-tree-01.txt.

[7] Bilel Jamoussi. Constraint-based LSP setup using LDP. *Internet-Draft*, September 1999. draft-ietf-mpls-cr-ldp-03.txt.

[8] D. Ooms, et al. Framework for ip multicast in MPLS. *Internet-Draft*, June 1999. draft-ietf-mpls-multicast-00.txt.

[9] Eric C. Rosen, et al. Multiprotocol label switching architecture. *Internet-Draft*, August 1999. draft-ietf-mpls-arch-06.txt.

[10] Liwen Wu, et al. MPLS multicast traffic engineering. *Internet-Draft*, June 1999. draft-wu-mpls-multicast-te-00.txt.