

Title	既設MPLS網への導入を考慮したMPLSマルチキャスト機構の実装と評価
Author(s)	小柏, 伸夫; 宇多, 仁 ; 宇夫, 陽次郎; 篠田, 陽一
Citation	電子情報通信学会論文誌 D, J87-D1(5): 544-552
Issue Date	2004-05-01
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/4666
Rights	Copyright (C)2004 IEICE. 小柏 伸夫, 宇多 仁, 宇夫 陽次郎, 篠田 陽一, 電子情報通信学会論文誌 D, J87-D1(5), 2004, 544-552. http://www.ieice.org/jpn/trans_online/
Description	

既設 MPLS 網への導入を考慮した MPLS マルチキャスト機構の実装と評価

小柏 伸夫^{†a)} 宇多 仁^{††b)} 宇夫陽次朗^{†††c)} 篠田 陽一^{††d)}

Implementation and Evaluation of MPLS Multicast Mechanism Considering Deployment in Established MPLS Networks

Nobuo OGASHIWA^{†a)}, Satoshi UDA^{††b)}, Yojiro UO^{†††c)}, and Yoichi SHINODA^{††d)}

あらまし 現在, MPLS のマルチキャスト対応に関する議論が盛んに行われており, ユニキャストの LSP を用いてマルチキャスト LSP を確立する手法として MMT や BLAST-CAST が提案されている. それらの手法は, MPLS マルチキャスト技術導入のための移行技術として有用であるだけでなく, 段階的な規模拡張が可能であるため, 既設の MPLS 網へ MPLS マルチキャストを導入するには導入のコストや運用のコストを抑制可能であり有用性は高い. しかしながら, それらの手法で用いる具体的なシグナリングプロトコルの検討や, それらの手法を用いた際に発生する問題の検討などは行われていない. そこで我々は, それらの手法に应用可能なシグナリングプロトコルを検討した上で, RSVP-TE を用いた MPLS マルチキャスト機構を考案した. 更に, 同機構を実装し評価を行った. 本論文では, 同機構の設計と実装について論じ, その評価について述べる.

キーワード MPLS, シグナリング, マルチキャスト, RSVP-TE

1. ま え が き

近年の爆発的なインターネットの普及と利用者回線及びバックボーン回線の広帯域化に伴い, インターネット上で利用されるアプリケーションが多様化しつつある. それに伴い, 1 対多及び多対多の効率的な通信を目的としたマルチキャスト技術への期待が高まりつつある. その一方で, パケット転送処理の高速化や高機能化などの要求が高まり, それらを実現可能な技術として MPLS 技術が利用されつつある. 現在, MPLS

を用いたマルチキャスト技術は盛んに議論されている [1], [5], [7], [11].

インターネットには, 新規技術や新規機器が投入される際にはそれまでに利用されている機器及び技術が継続的に利用され続けるという特徴がある. そのため新規技術をインターネットに導入するためには, 既存の技術との相互運用性を維持しつつ技術移行を行う必要があり, その方式等の検討が必須となる. 既にユニキャストに限定した MPLS は普及しており MPLS のマルチキャスト対応に関しても既設の MPLS 網を有効利用可能な技術に関する議論は極めて重要である.

2. MPLS マルチキャスト

現在 MPLS の仕様は, IETF によって RFC3031 [9] 及びそれに続く複数の RFC として公開されている. RFC3031 では, MPLS のマルチキャスト対応は将来的な課題とされている. MPLS のマルチキャスト対応に関する議論は, 現在 IETF を中心に活発に行われており, 標準化に向けて議論が進められている. また, MPLS マルチキャストに関する研究も複数の機関で行われている.

[†] (株) インテック・ネットコア, 東京都

Intec NetCore, Inc., 1-3-3 Shinsuma, Koto-ku, Tokyo, 136-0075 Japan

^{††} 北陸先端科学技術大学院大学情報科学センター, 石川県

Center for Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology, 1-1 Asahidai, Tatsunokuchi, Ishikawa-ken, 923-1292 Japan

^{†††} (株) インターネットイニシアティブ技術研究所, 東京都

Research Laboratory, Internet Initiative Japan Inc., 1-105 Kanda Jinbo-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0051 Japan

a) E-mail: n-ogashi@jaist.ac.jp

b) E-mail: zin@jaist.ac.jp

c) E-mail: yuo@ijlab.net

d) E-mail: shinoda@jaist.ac.jp

2.1 関連技術

以下に MPLS に関する現在の主な議論をまとめる。以下の手法や議論については、後の章において、本論文で提案する手法の定性的な評価に用いる。

(a) フレームワーク

RFC3353 [8] では、単一 MPLS ドメイン内部における MPLS による IP マルチキャストのサポートに関する議論が行われている。また [12] では 1 対多の LSP (P2MP LSP: Point to Multi-Point LSP) のフレームワークに関する議論が行われている。いずれの文書も要求事項に関する議論であり技術仕様を定めていない。

(b) MPLS Multicast Tree (MMT)

[5] では複数のユニキャストの LSP を用いて P2MP LSP を構築する手法として MMT が提案されている。しかしながら、具体的なシグナリングプロトコルに関する議論は行われていない。また、具体的な制御方法にも言及していない。同ドラフトでは制御には NIMS (Network Information Management System) を用いているとしている。ここで導入されている NIMS とは、対象とする網の状態に関する情報を収集し、適切なマルチキャスト配送木の形状を決定する機構である。

(c) BLAST-CAST

我々は P2MP LSP の各枝となる LSP を双方向のユニキャストの LSP で実現する BLAST-CAST を提案した [7]。BLAST-CAST の基本的なアイデアは MMT と同類のものであるが、MMT は 1 対多のマルチキャストを対象としているのに対し、BLAST-CAST は多対多のマルチキャストを対象としている。BLAST-CAST も配送木の形状の決定には NIMS を用いる。

(d) MPLS Multicast Fast Reroute

[1] は、MPLS マルチキャストの高速再経路設定 (Fast Reroute) に焦点を合わせて、マルチキャスト用の Fast Reroute アルゴリズムを提案し、そのアルゴリズムに基づいて動作する拡張 LDP を実現している。

(e) P2MP LSP tunnel

[11] では、P2MP LSP の構築を可能にする RSVP-TE 拡張が提案されている。送信者主導型の P2MP LSP に焦点を当てている。

(f) AYAME-0.5 RELEASE

我々は、ソフトウェア MPLS 実装である AYAME [10] に、実験的に MPLS マルチキャスト機能の一部を組み込んで公開している。MPLS マルチキャストの

議論は、2003 年 8 月現在でいまだに進行中の段階であるので、仕様策定後にも必須となると考えられる極めて原始的な MPLS マルチキャスト機能とその設定のためのインタフェースのみ提供している。

2.2 既存シグナリングプロトコルの応用

現在の MPLS に関する議論は、フレームワークに関する議論、シグナリングプロトコルの拡張に関する議論、シグナリングプロトコルの流用に関する議論、に分類可能である。シグナリングプロトコルの流用に関する議論とは、既に仕様が RFC として確定し公開されているユニキャストに限定した MPLS の機能を P2MP LSP に応用しようとするものである。この方式を 1 対多のマルチキャストへ適用したものが MMT であり、多対多のマルチキャストへ適用したものが BLAST-CAST である。

この方式は単なる移行技術としてだけでなく、マルチキャスト機能をもたない MPLS 網において MPLS マルチキャストを展開可能にすることで MPLS マルチキャスト導入のコストの削減、管理コストの削減なども可能になると考えられる。更に、当然ながら従来の MPLS で培われた種々の技術を MPLS マルチキャストにおいても利用可能である。また、MPLS は LSP という抽象的なパスの概念を導入しており、適切な抽象化は種々のアプリケーションへの適応性を高める。ユニキャストの LSP をマルチキャストの LSP に応用することで、LSP という抽象化を適切に維持したまま MPLS をマルチキャストに対応させることができる可能性が高い。

3. RSVP-TE による MPLS マルチキャスト

本章では、MMT や BLAST-CAST で利用可能なシグナリングプロトコルとして適切なプロトコルについて検討し、現実的に実際の網への段階的な導入が可能な機構を提案し、その概要について論じる。

3.1 シグナリングプロトコルの検討

現在、単一の経路制御ドメイン内用の MPLS シグナリングプロトコルとして LDP [3]、CR-LDP [6]、RSVP-TE [4] の仕様が公開されている。IETF では、CR-LDP は RSVP-TE と機能が重複しており、CR-LDP に関するこれ以上の議論は不要という合意が得られている。そのため CR-LDP を用いた応用技術の今後の発展は望めない。LDP は、RFC3036 で規定されており、IP の経路制御に追隨してラベルマッピング

グを配布する．また，LSP の開始点から終端点までに，フローが合流するという特徴がある．これは一般にマージと呼ばれている特性である．更に，LDP では経路情報の変更時に，LSP も修正されるという特徴がある．RSVP-TE は，基本的には IP の経路制御に基づいてラベルマッピングを配布するが，パスの確立時に IP の経路情報を利用するだけであり，IP の経路情報の変化に起因して LSP が修正されることはない．また，RSVP-TE は LSP の確立時に IP の経路情報とは独立に LSP を決定するオプションをもっており，明示的な経路選択に基づく LSP の確立が可能である．RSVP-TE では，パスの確立時に LSP 経由で転送するパケットの情報を隣接 LSR 間で通知せず，そのためマージの特性ももたない．

MMT や BLAST-CAST では，パス指向のマルチキャスト配送木を前提としておりマージの特性は不適切である．更に，MMT や BLAST-CAST ではトランジットルータでは LSP に対するフィルタ情報の責任を入口 LSR に集約できることが望ましい．それらの理由により，マージの特性をもつ LDP を MMT や BLAST-CAST に適用することは困難であると考えられる．一方，RSVP-TE はマージの特性をもたない．そのため，MMT や BLAST-CAST への適用の可能性は LDP に比べ比較的高いと考えられる．

そこで我々はシグナリングには RSVP-TE を用いる手法を採用する．RSVP-TE は既に多くのルータ製品によってサポートされており，既設の MPLS ネットワークにおいて幅広く用いられているため，本機構の目的の一つである段階的な展開の可能性も高い．また段階的な展開の可能性は本機構の導入のコストを抑制することが可能であり，更に導入後の運用についても本機構の機能は一部の LSR に集約されることになり運用コストの抑制の可能性も高い．その上，RSVP-TE はマージの特性をもたないパス指向の LSP を確立でき，そのフィルタ情報の責任は入口ルータに集約可能である．

3.2 提案機構

図 1 に提案機構の概要を示す．提案機構では，RSVP-TE を用いてユニキャストの LSP を確立し，それらの LSP を特定の LSR で適切に接合することで P2MP LSP を実現する．この P2MP LSP は RSVP-TE によって確立されているため，マージ特性はなく，LSP 上で転送されるパケットのフィルタ設定の責任は P2MP LSP における最も上流の LSP の開始点の

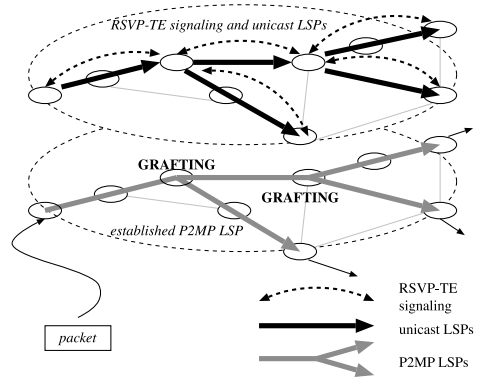


図 1 提案機構の概要
Fig. 1 Overview of the proposed architecture.

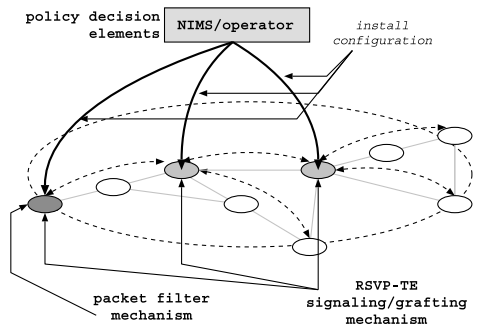


図 2 提案機構の要素
Fig. 2 Elements of the proposed architecture.

LSR に集約される．LSP を設定すべき LSR の決定は，P2MP LSP 全体の形状に依存しており，この決定は NIMS によって行われるものとする．

図 2 に提案機構に必要な要素を示す．本論文では，提案機構で用いられる LSR として，Graft LSR，Ingress LSR と呼ばれる 2 種の新規機能をもつ LSR を導入する．対象とする網を構成するそれ以外の LSR には，既に標準化されている MPLS の機能のみをもつ LSR を利用可能である．また，確立しようとする P2MP LSP の形態を決定する機構として NIMS あるいはオペレータを導入する．以下に各要素の説明を示す．

- Graft LSR

Graft LSR は，提案機構の中核となる機能を提供するための LSR である．Graft LSR が終端点となる単一の LSP を，Graft LSR が開始点となる一つ以上の LSP に接合する機能を提供する．この接合機能はユニキャストの LSP の確立機能とは独立であり，かつ他の LSR との通信を必要としない．RSVP-TE によ

て確立された LSP を，適切なタイミングで接合し，接合後は前者の LSP 上で転送されてきたパケットを複製し後者の LSP 上に転送する．具体的には，シグナリング時には出口 LSR として機能するが，パケット転送時にはラベル付き入力パケットを複製して異なるラベルを付加し転送するトランジット LSR として振る舞うことにより LSP の接合機能を実現する．

- Ingress LSR

Ingress LSR は，自身が開始点となる LSP 上で送信するパケットを選択するためのフィルタルール設定を記憶し，その設定に従ってパケットを選択的に LSP 上で転送する機能を提供する．この機能は LSP の確立，LSP の接合等の機能とは独立であり，かつ他の LSR との通信を必要としない．

- Transit LSR

Transit LSR は，RSVP-TE によって確立された LSP の通過点となる LSR である．提案機構においては，Transit LSR は既に標準化されている MPLS の機能を保持していれば構わない．

- NIMS/Operator

提案機構では NIMS (Network Information Management System) あるいは提案機構における意思決定と設定を行う管理者が必要となる．

4. 設計と実装

我々は，ソフトウェア MPLS 実装である AYAME を拡張し提案機構を実装した．本章では，その設計と実装について論じる．

4.1 AYAME を基本とした全体設計

我々は，ソフトウェア MPLS ルータである AYAME 上に提案機構を実装した．AYAME-0.5 は既に MPLS マルチキャスト機能を部分的に導入している．それらはカーネルにおけるラベル付きパケットの複製機能，複製されたパケットのラベル操作機能，ユーザランドにおける MPLS マルチキャストの静的設定機能である．現在 MPLS マルチキャストのためのシグナリングプロトコルは標準化されていないため，AYAME でも MPLS マルチキャストのためのシグナリングプロトコルデーモンは提供されていない．

我々は，AYAME の RSVP-TE のシグナリングプロトコルデーモンとして *mrsvdpd* を実装した．図 3 に我々の実装した *mrsvdpd* と AYAME の実装の概要を示す．図中の *mrsvdpd* が RSVP-TE によるシグナリングと AYAME プロトコルによる設定を行うデーモン

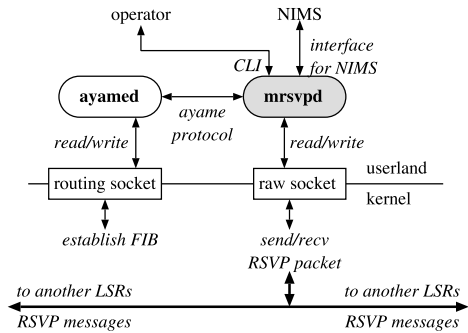


図 3 AYAME を基本とした全体設計
Fig. 3 Overview of the AYAME-based design.

```
! configuration for outgoing LSP1
interface tunnel 1 enable
interface tunnel 1 tunnel mpls address source 10.0.0.2
interface tunnel 1 tunnel mpls address destination 10.0.0.3
interface tunnel 1 tunnel mpls lsp-id 1
! configuration for outgoing LSP2
interface tunnel 2 enable
interface tunnel 2 tunnel mpls address source 10.0.0.2
interface tunnel 2 tunnel mpls address destination 10.0.0.4
interface tunnel 2 tunnel mpls lsp-id 2
! Graft the incoming LSP to tunnel 1 and 2
mpls multicast GRAFT enable
mpls multicast GRAFT incoming-lsp source 10.0.0.1
mpls multicast GRAFT incoming-lsp destination 10.0.0.2
mpls multicast GRAFT incoming-lsp tunnel-id 1
mpls multicast GRAFT outgoing-lsp interface tunnel 1
mpls multicast GRAFT outgoing-lsp interface tunnel 2
```

図 4 Graft LSR 設定例
Fig. 4 Example configuration of graft LSR.

プロセスとして動作する．RSVP は IP オプションの Router Alart オプションを用いる仕様となっているが，NetBSD の IP スタックでは Router Alart オプションはサポートされていない．そのため，ユーザランドで Router Alart オプションを含む IP パケットを生成し Raw Socket 経由で送受信する．この Raw Socket 経由で他の LSR と通信し，ラベルマッピングのシグナリングを行う．送受信したラベルマッピング情報は *ayamed* 経由でカーネルの FIB (Forwarding Information Base) に設定される．

4.2 設定例と動作例

図 4 に，単一の LSP を二つの LSP に接合する設定の例を示す．この設定は Graft LSR において適用される．RSVP-TE では，LSP は送信元アドレス，あて先アドレス，トンネル ID の 3 情報で一意に指定可能である．これを利用して Graft LSR が終端点となる LSP を指定する．この LSP を Graft LSR が開始

```

! filter configuration for LSP0
ip filter filter1 enable
ip filter filter1 address destination 192.168.1.0/24
! configuration for outgoing LSP0
interface tunnel 1 enable
interface tunnel 1 tunnel mpls address source 10.0.0.1
interface tunnel 1 tunnel mpls address destination 10.0.0.2
interface tunnel 1 tunnel mpls lsp-id 1
interface tunnel 1 tunnel mpls traffic-eng filter filter1

```

図 5 Ingress LSR 設定例

Fig. 5 Example configuration of ingress LSR.

点となる二つの LSP に接合する。

図 5 に、Ingress LSR において P2MP LSP 上で配送するパケットを指定するために記述するフィルタルールの例を示す。この設定は Ingress LSR において適用される。例では、あて先アドレスが 192.168.1.0/24 に該当するパケットを指定している。

これらの 2 種の設定を Ingress LSR と Graft LSR に設定することで、192.168.1.0/24 あてのパケットが 10.0.0.1 から LSP 経由で 10.0.0.3 及び 10.0.0.4 に送信される。

4.3 P2MP LSP の確立と破棄

P2MP LSP は複数のユニキャストの LSP から構成され、ユニキャストの LSP の接合及び破棄などの LSP 操作や、事故や故障などによる LSP 切断などの事象によって構成が変更される。

mrvpd は管理者用の CLI と、NIMS 用のインタフェースを備えている。双方のインタフェースでは基本的に同等の操作を行える。一部、網からのイベントを通知する機能は CLI では提供していない。*mrvpd* が提供する基本的な設定機能は、LSP の設定、フィルタの設定の 2 種である。LSP の設定機能には、付加的な設定項目として明示的経路制御指定など RSVP-TE のオプションを指定可能である。

予期しない事故や故障などによる LSP の切断を検知した場合には、NIMS のインタフェースがコールバックされる。この際、NIMS は状況に応じた適切な処理を行わなければならない。CLI が用いられている場合には、設定に応じてログが出力される。

4.4 入口 LSR におけるパケットフィルタ

入口 LSR では、P2MP LSP に入力するパケットを設定するためのフィルタ設定機能を提供する。この機能は AYAME で提供されている MPLS 用のパケットフィルタ機能を用いる。AYAME-0.5 では

- 送信元アドレス/送信元マスク長
- あて先アドレス/あて先マスク長

- 送信元ポート番号
- あて先ポート番号
- プロトコル番号

に基づくフィルタ機能を提供している。

AYAME で提供されている *rsvpd* では、あて先アドレス及びあて先マスク長によるフィルタ設定インタフェースを提供しているが、*mrvpd* では、上記の全情報を用いた設定インタフェースを提供している。

5. 評 価

我々は、類似技術及び関連研究と本実装の性質の比較を行い、また本実装を用いた場合と用いない場合の定量的な試験を行い本実装を評価した。

5.1 類似技術との比較評価

表 1 に類似技術や関連する議論のまとめを示す。以下にそれらの議論及び技術との比較をまとめる。

- MPLS Multicast Fast Reroute

既に触れたとおり MPLS Multicast Fast Reroute は独自の MPLS マルチキャストの Fast Reroute 機能を実現している。現在、ユニキャストに限定した MPLS においても、非常に多数の Fast Reroute 手法が提案され実装されてきている。これらの技術は既に利用可能な技術である。MPLS のマルチキャストにおいて、特定の LSP を指定して Fast Reroute する場合には基本的にはユニキャストの Fast Reroute 技術を流用可能である。もちろん、再経路設定した際に P2MP LSP を最適化する場合にはそのための機構が必要である。我々の実装と MPLS Multicast Fast Reroute の主な違いは、これまでに蓄積されてきた MPLS の Fast Reroute 技術をそのまま利用可能か否かという部分である。このような部分については提案機構ではサポート可能である。

- MPLS Multicast Tree (MMT)

MMT はシグナリングに用いる具体的なプロトコルの議論は行われていない。また、具体的な制御方法などの言及もない。本論文は、基本的な動作は MMT を踏襲しており、その上で具体的なシグナリングプロトコルを検討し、実際の網に展開可能な実装の実現に焦点を合わせている。

- BLAST-CAST

BLAST-CAST も MMT と同様に、シグナリングに用いる具体的なプロトコルに言及していない。また、具体的な制御方法などの言及もない。本提案機構は、BLAST-CAST にも応用可能であるが、FIB の情報の

表 1 類似技術との比較
Table 1 Comparison of the proposed architecture and related technologies.

	提案機構	BLAST-CAST	MPLS Multicast Fast Reroute	MPLS Multicast Tree	P2MP LSP tunnel
タイプ	仕様, 実装	概要	仕様, 実装	概要	仕様
主目的	実際の網に展開可能な実装の実現	多対多マルチキャストにおける経路数の削減	マルチキャスト LSP の Fast Reroute	1 対多マルチキャストにおける経路数の削減	マルチキャスト LSP の確立
非対応 LSR との接続性	あり	あり	なし	あり	なし
ラベル配布プロトコル	拡張 RSVP-TE	未定義	拡張 LDP	未定義	拡張 RSVP-TE
シグナリングプロトコル拡張	不要	不要	必要	不要	必要
送信方向	片方向/双方向	双方向	片方向	片方向	片方向
配送木の形態	1 対多/多対多	多対多	1 対多	1 対多	1 対多
制御機構	NIMS	NIMS	独自アルゴリズム	NIMS	NIMS

最適化機能はもたないため, [7] で議論されている FIB エントリ数の抑制はサポートしていない。

• Extended RSVP-TE for P2MP LSP tunnels

RSVP-TE の拡張が必要であり, 2003 年 8 月現在で仕様は確定していない。今後 IETF を中心とした議論によって仕様が確定していくと思われる。それらの議論が完結した後は, RSVP-TE に P2MP LSP 用の拡張を施したプロトコルが標準化され普及していくと思われるが, その段階においても我々の提案方針は有用である。これは, 我々の提案機構は P2MP の機能をもつ LSR ともたない LSR を機能面で完全に分離し管理や運用の面についても利点が存在するためである。

5.2 テストベッドネットワークを用いた実験

本機構の優位性は, 既設 MPLS 網に導入する際に変更点を集約可能であることである。実際の既設網では, 対外接続線や物理的接続等の関係により, いくつかの個所では変更を加えることが難しい場合が存在する。本機構では変更点を集約可能であるので, このような場合に変更点を集約した上で集約した個所の網資源を重点的に増強可能である。これにより比較的大きな網資源を要求するマルチキャストが可能である。

これを示すために我々は, 図 6 に示すテストベッドネットワークを用いて提案機構を評価した。図中の Graft LSR が複数の LSP を接合する。Graft LSR と Ingress LSR 以外の LSR, すなわち Core LSR, Egress LSR A, Egress LSR B には市販のルータ製品を用いた。図 6 の網は本論文で論じている段階的な MPLS マルチキャスト機構の展開を模倣した網である。表 2 に使用した機器の仕様を示す。

まず, テストベッドネットワーク上に図 7 に示す P2MP LSP を構築し, DVTS を用いて単一のホスト

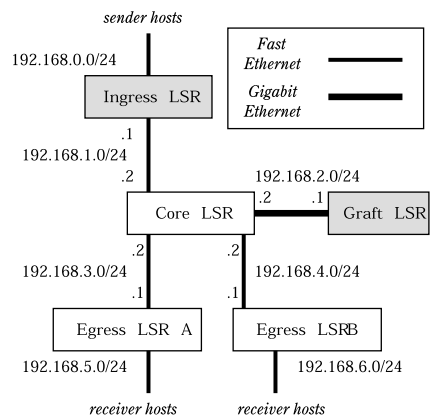


図 6 テストベッドネットワーク
Fig. 6 Testbed network.

表 2 使用した機器の仕様
Table 2 Specification of used machines.

	Ingress LSR	Graft LSR
CPU	Pentium III 800 MHz	Athlon MP 1.2 GHz Dual
チップセット	Intel 82440BX	AMD-760 MP
メモリ	PC100 SDRAM 256 M	PC2100 DDR RAM 512 M
バス	32 bit PCI 33 MHz	64 bit PCI 33 MHz
NIC	Intel i82559 100 BASE-TX	Intel i82542 1000 BASE-SX

から複数のホストに DV を送信し正しく DV が受信されることを確認した。これにより提案機構によるパケット複製, 複数受信者への送信機能が正しく動作していることが確認された。この試験の際には, DV のあて先アドレスを受信者ホストのループバックアドレスとして設定し, また MPLS ドメインの出口ルータでは同ループバックアドレスのホスト経路を受信者のインタフェースアドレスとすることで, ユニキャストのあて先アドレスを用いてマルチキャスト配送を行った。

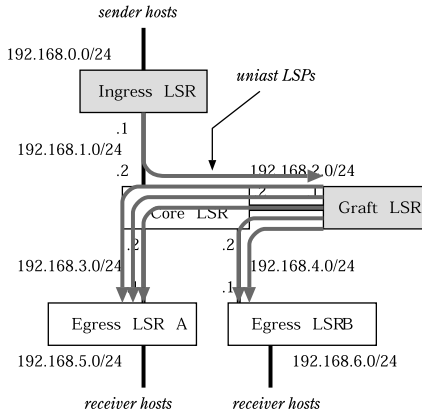


図 7 提案機構による送信
Fig. 7 Distribution using the proposed architecture.

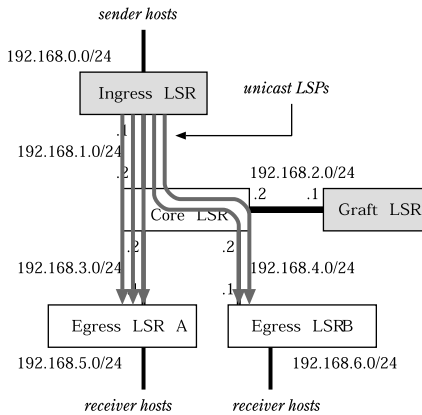


図 8 ユニキャストによる送信
Fig. 8 Distribution using unicast LSPs.

次に、同様に図 7 の P2MP LSP でパケットを複数のあて先に送信した場合と、図 8 に示すようにユニキャストで送信した場合の、それぞれのパケットの遅延時間と棄却率を測定した。マルチキャストの場合には、送信ホストは単一、受信ホスト数を 1, 2, 5 としてそれぞれ計測した。ユニキャストの場合には、送信ホスト数と受信ホスト数を等しく 1, 2, 5 としてそれぞれ計測した。各フローの消費帯域を 30 Mbit/s、パケットサイズを 1492 バイト、測定時間を 60 秒とした。ユニキャストで受信者数が 5 の場合には合計消費帯域が 150 Mbit/s となるため、Ingress LSR の入出力のインタフェースの帯域幅が 100 Mbit/s を大幅に上回りパケットの棄却及び遅延の発生が予想される。マルチキャストの場合には受信者が 5 であっても全リンクにおいて帯域幅を超過しないためパケットの大規模な

表 3 ユニキャストの場合の遅延時間と棄却率 (パケット長=1492 Byte, 各フロー帯域=30 Mbit/s, 測定時間=60 秒)

Table 3 Packet loss probabilities and latencies in case of unicast (size of packets=1492 Byte, bandwidth=30 Mbit/s, duration=60 s).

	1 対 1	2 対 2	5 対 5
送信パケット数 (個)	150805	301610	754024
受信パケット数 (個)	150801	301609	482709
パケット棄却率 (%)	0.00265	0.00033	35.98228
平均遅延時間 (ms)	0.73828	0.67933	14.09517
最大遅延時間 (ms)	2.97120	3.70585	16.60524
最小遅延時間 (ms)	0.36720	0.06204	13.19772

表 4 本機構の場合の遅延時間と棄却率 (パケット長=1492 Byte, 各フロー帯域=30 Mbit/s, 測定時間=60 秒)

Table 4 Packet loss probabilities and latencies in case of the proposed architecture (size of packets=1492 Byte, bandwidth=30 Mbit/s, duration=60 s).

	1 対 1	1 対 2	1 対 5
送信パケット数 (個)	150805	150805 (×2)	150805 (×5)
受信パケット数 (個)	150805	301608	754020
パケット棄却率 (%)	0.00000	0.00066	0.00066
平均遅延時間 (ms)	0.87489	0.84620	1.10742
最大遅延時間 (ms)	3.29342	3.60825	3.78056
最小遅延時間 (ms)	0.50660	0.17471	0.51207

棄却は発生しないと予想される。しかしながら、マルチキャストの場合には Core LSR と Graft LSR を往復する分の遅延時間が発生すると予想される。また、Graft LSR によるパケット複製処理の時間も複製数に応じて遅延時間として加算されると予想される。このパケット複製処理に要する遅延時間がパケット複製数の増加に応じて急激に増加してしまうと実運用は困難であるので十分に検討する必要がある。

表 3 にテストベッドネットワーク上で計測したユニキャストの場合の遅延時間と棄却率、表 4 にテストベッドネットワーク上で計測したマルチキャストの場合の遅延時間と棄却率を示す。提案機構を用いた場合には、ユニキャストとして送出されたパケットは Graft LSR で 2 倍及び 5 倍に複製されるため、パケット棄却率の算出には送出パケットの数を 2 倍及び 5 倍として計算した。表 3 から、ユニキャストの場合には受信者数が 1 あるいは 2 の場合に比べ、5 の場合に棄却率と遅延時間が大幅に増加していることが分かる。一方、

表 4 から、提案機構を用いた場合にはユニキャストほど大幅な遅延の増加と棄却率の増加は見られない。しかしながら、マルチキャストで受信者数が 1 の場合には、ユニキャストで受信者数が 1 の場合より遅延時間が増加している。これは Core LSR, Graft LSR 間のリンクの往復時間であると考えられる。またマルチキャストで受信者数が増えるに従って遅延時間が増加している。これは Graft LSR におけるパケット複製処理に要する時間であると考えられる。単一のパケット五つパケットに複製する際に発生する遅延がおよそ 1 ミリ秒程度であれば、厳密な制約を不要とする利用方法であれば実運用での利用も可能な遅延時間であると考えられる。これは、本機構の目的が段階的な展開であるため、必要に応じて接合する LSP の数を運用上制御することで、発生する遅延時間の制御も可能であるためである。具体的には、本機構を用いて各分岐点において 5 本に枝分かれする配送木を構築した場合、木の深さ、すなわち送信者から受信者へのホップ数を n とすると、遅延はホップ数に対して単調に増加するので単調増加する遅延に対して最大で 5^n にパケットを複製可能であるといえる。

以上から、本提案機構を用いた場合の以下の項目が確認され、本機構の有用性が確認された。

- 提案機構の基本動作
- 既設 MPLS 網に対する変更部分の集約
- P2MP LSP によるパケット棄却とふくそうの回避
- 同一リンク往復に起因する遅延時間
- パケット複製に起因する遅延時間

6. む す び

本論文では、既設の MPLS 網への展開が容易で、かつ、導入や管理のコストを削減可能な MPLS マルチキャスト手法として RSVP-TE を用いた手法を提案し実装と設計について論じた。また、テストベッドネットワークにおける実験と、類似技術との比較評価を通して、本機構及び実装の評価を行い本機構及び実装の有用性を示した。現在、広域展開の可能性を検証し実運用上での知見を得るため、次世代 IX 研究会 [2] の協力を得て、本機構の Graft LSR を次世代 IX 研究会の実証実験網に配置した。今後は、同実装を用いて定期的に動画配送などを行う予定である。また同時に、LSP の終端点及び中継 LSR に種々の実装を用いた実験を行い、上位層及び下位層に関する要求事項などを

検討していく。更に、本機構をより有用にするために NIMS について検討する予定である。

文 献

- [1] <http://www.cs.virginia.edu/~mngroup/projects/mpls/>
- [2] <http://www.distix.net/>
- [3] L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, and B. Thomas, "Ldp specification," Internet Engineering Task Force, RFC3036, Jan. 2001.
- [4] D. Awduche, A. Hannan, and X. Xiao, "Applicability statement for extensions to rsvp for lsp-tunnels," Internet Engineering Task Force, RFC3210, Dec. 2001.
- [5] A. Boudani, B. Cousin, and J. Bonnin, "An effective solution for multicast scalability: The mpls multicast tree (mmt)," Internet-Draft, Internet Engineering Task Force, June 2003. (draft-boudani-mpls-multicast-tree04.txt).
- [6] B. Jamoussi, et al., "Constraint-based lsp setup using ldp," Internet Engineering Task Force, RFC3212, Jan. 2002.
- [7] N. Ogashiwa, Y. Uo, S. Uda, S. Ohta, and Y. Shinoda, "BLAST-CAST: A bi-directional label switched multicasting," CQR2000, International Workshop on Communications Quality and Reliability, May 2002.
- [8] D. Ooms, et al., "Overview of ip multicast in a multi-protocol label switching (mpls) environment," Internet Engineering Task Force, RFC3353, Aug. 2002.
- [9] E. Rosen, A. Viswanathan, and R. Callon, "Multi-protocol label switching architecture," Internet Engineering Task Force, RFC3031, Jan. 2001.
- [10] Y. Uo, S. Uda, N. Ogashiwa, S. Ohta, and Y. Shinoda, "AYAME: A design and implementation of the cos capable MPLS layer for BSD network stack," INET2000, Internet Society, Sept. 2000.
- [11] S. Yasukawa, A. Kullberg, and L. Berger, "Extended rsvp-te for point-to-multipoint lsp tunnels," Internet-Draft, Internet Engineering Task Force, Feb. 2004. (draft-yasukawa-mpls-rsvp-p2mp-04.txt) work in progress.
- [12] S. Yasukawa, et al., "Requirements for point-to-multipoint capability extension to mpls," Internet-Draft, Internet Engineering Task Force, Oct. 2003. (draft-yasukawa-mpls-p2mp-requirement-01.txt) work in progress.

(平成 15 年 9 月 1 日受付, 12 月 12 日再受付)



小柏 伸夫 (正員)

1999 芝浦工大・システム工卒．2001 北陸先端科技大学院大学情報科学研究科博士前期課程了．2004 同博士(情報科学)了．現在、(株)インテック・ネットコア勤務．統合シグナリング層及びマルチキャストシステムの研究、あやめプロジェクトにおける MPLS ルータ開発に従事．



宇多 仁 (正員)

1997 東京理科大・理工卒．1999 北陸先端科技大学院大学情報科学研究科博士前期課程了．2004 同博士(情報科学)了．現在、同大学情報科学センター助手．高機能高速ルータの研究及びあやめプロジェクトにおける MPLS ルータ開発に従事．



宇夫陽次郎 (正員)

1995 東工大・工卒．1997 北陸先端科技大学院大学情報科学研究科博士前期課程了．2003 同博士(情報科学)了．現在、(株)インターネットイニシアティブ技術研究所勤務．



篠田 陽一 (正員)

1983 東工大・工卒．1985 同大学院工学部博士前期課程了．1988 東工大工学部助手．1989 東京工業大学工学部工博．1991 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授．現在、同大学情報科学センター教授．