論　文

ラベルスイッチ技術のマルチキャストへの拡張と評価

永見　健一[†]　松澤　茂雄[†]　茂木　章善[†]　伊瀬恒太郎[†]
勝部　泰弘[†]　江崎　浩[††]

Evaluation for a multicast extention of a label switching technology

Kenichi NAGAMI[†], Shigeo MATSUZAWA[†], Akiyoshi MOGI[†], Kotako ISE[†], Yasuhiro KATSUBE[†], and Hiroshi ESAKI[††]

あらまし　ラベルスイッチ技術を利用したLSR(ラベルスイッチルータ)は、パケット転送を通常のネットワーク層転送モジュールの他に、固定長ラベルによるラベル転送モジュールで行う。IPパケットを、固定長ラベルに対応させ、ラベル転送モジュールを用いて転送することで高速・高機能のパケット転送を実現する。LSRで用いるユニキャスト用ラベル配送プロトコルは、IETF(Internet Engneering Task Force)でその基本的な部分が決定されている。マルチキャストラベルスイッチ技術は、様々なプロトコル(FANP [5], TAG [7], IPSOFACT [11])が提案され、これらの方式の比較は、Oomsら[13]によって行われている。しかし、マルチキャストパケット転送をラベルスイッチ技術を使用する場合と使用しない場合を比較し、マルチキャストラベルスイッチ技術の有効性を評価したものはない。本論文では、1つのマルチキャスト用ラベルスイッチのプロトコル(FANP)を設計及び実装し、それを用いて通常ルータに比べてLSRのオーバヘッドであるLSP設定時間とラベルスイッチ技術を使用した場合と使用しない場合のスループットを測定し、マルチキャストラベルスイッチ技術の有効性を評価する。LSP設定時間は、LSR 1段当たり40ms程度であり、ラベルスイッチ技術のオーバヘッドは少ないことがわかった。また、ラベルスイッチ技術を使用した場合のスループットは、使用しない場合より高く、マルチキャスト受信者が多いバックボーンルータのようなマルチキャストパケットを多数複製するルータにおいて有効であることが分かった。

キーワード　ルータ, ラベルスイッチ技術, マルチキャスト, MPLS, ATM

1. はじめに

ラベルスイッチ技術は、次世代の高速・高機能ルータ技術としてIETFのMPLS WG(MultiProtocol 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(ラベルスイッチルータ)は、パケット転送を通常のネットワーク層転送モジュールの他に、固定長ラベルによるラベル転送モジュールで行う。IPパケットを、固定長ラベルに対応させ、ラベル転送モジュールを用いて転送することで高速・高機能のパケット転送を実現する。この固定長ラベルで転送するパスをLSP(Label Switched Path)と呼ぶ。LSPを設定解放するプロトコルとしてLDP(Label Distribution Protocol) [10]がIETFで標準化されている。このLDPは、ユニキャストパケットを扱うように設計されている。

一方、インターネットでは、ユニキャストパケット通信のみならず、マルチキャストパケット転送も提供する必要がある。マルチキャストパケット転送は、送信ノードから出力されたパケットをネットワーク内の適切な位置で複製して転送するため、ユニキャスト通信の場合に比べて、効率的なパケット配送を実現することができる。近年、マルチキャスト配信機能を利用して、ビデオ会議やビデオ放送を利用するアプリケーションが増加してきた。従って、ラベルスイッチ技術においても、マルチキャストパケット転送機能を提供する必要がある。

マルチキャストラベルスイッチ技術は、様々なもの

[†] (株) 東芝 コンピュータ&ネットワーク開発センター, 東京都
Computer & Network Development Center, TOSHIBA Corporation, 1, Toshiba–cho, Fuchu–shi, Tokyo, 183–8511, Japan
[††] 東京大学 情報基盤センター, 東京都
Information Technology Center, University of Tokyo, 2–11–16 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo, 113–8658, Japan.

(FANP [5], TAG [7], IPSOFACT [11]) が提案されている。それぞれの方式の比較は、Ooms ら [13] によって行われているが、マルチキャストパケット転送をラベルスイッチ技術を使用した場合と使用しない場合を比較し、マルチキャストラベルスイッチ技術の有効性を評価したものはない。本論文では、1 つのマルチキャスト用ラベルスイッチのプロトコル (FANP) を設計及び実装し、その実装を用いてマルチキャストラベルスイッチ技術の有効性を評価する。

マルチキャストパケット転送は、ソース木を用いる方法 (DVMRP [8],PIM-DM [9]) とコアベース木 (CBT [3], PIM-SM [6]) を用いる方法の 2 つが提案されている。ソース木を用いる方法は、あるグループの送信ノード毎に経路エントリを持つ方法である。コアベース木は、あるグループに対して 1 つの経路エントリを持つものである。本論文では、ソース木を用いた方法に焦点を当てて記述する。ただし、コアベース木の場合も同様な方法が使用できると考えられる。

2. 章では、ユニキャストラベルスイッチ技術の概要を示す。3. 章では、マルチキャストのパケット配送と経路表の作成手順の概要を示す。4. 章では、マルチキャストラベルスイッチ技術の動作を説明する。5. 章では、マルチキャスト拡張プロトコルを実装した CSR において、マルチキャストラベルスイッチ技術の評価を行う。6. 章では、まとめを述べる。

2. ユニキャストラベルスイッチ技術

ラベルスイッチルータ (LSR) の概要を図 1 を用いて説明する。

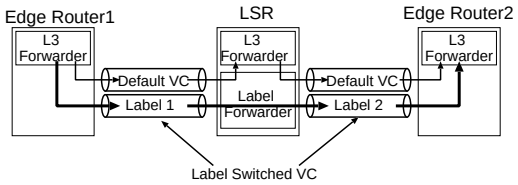

図 1 LSR の概要

LSR では、通常のルータと同じ様にネットワーク層パケットヘッダを参照して転送するネットワーク層転送モジュール (図 1:L3 Forwarder) と、ネットワーク層パケットヘッダを参照することなく、固定長ラベル (例えば ATM の場合は、VPI/VCI) によりパケットを転送するラベル転送モジュール (図 1:Label Forwarder) を持つ。

まず、LSR が通常のルータと同じホップバイホップ転送を行う場合のエッジルータ 1 からエッジルータ 2 へのパケット配送を説明する。エッジルータ 1 からデフォルト VC を通してパケットが LSR に配送される。LSR では、ネットワーク層転送モジュールでパケットヘッダを参照し、次に送るノードを決定する。この結果、エッジルータ 2 へデフォルト VC を通してパケットを送信する。

次に、LSR の特徴であるカットスルー転送の場合を説明する。まず、パケットを送信する前に、あるラベルで流すパケットストリーム(注1)をラベル配布プロトコル (LDP) を用いて隣接ノードに通知する。例えば、図 1 の場合は、エッジルータ 1 と LSR、LSR とエッジルータ 2 の間で動作させる。エッジルータ 1 は、LSR に LDP を用いてラベル 1 を持つラベルスイッチ VC にエッジルータ 2 宛のパケットストリームを流すことを通知する。また、LSR は、エッジルータ 2 に LDP を用いてラベル 2 を持つラベルスイッチ VC にエッジルータ 2 宛のパケットを流すことを通知する。これにより、ラベルの値を参照するだけで、パケットの転送先を知ることができる。LSR は、エッジルータ 1 からラベル 1 を持つパケットを受信した場合に、そのパケットをラベル転送モジュールのみで転送できるように、ラベル値をラベル転送モジュールに記憶する。

上記の通知が終わったあと、エッジルータ 1 が送信したエッジルータ 2 宛のパケットは、ラベルスイッチ VC を通して LSR に送られる。LSR は、ラベル転送モジュールで、受信したパケットのラベルを検索し、予め登録されているものなので、そのラベルをもとにエッジルータ 2 へのラベルスイッチ VC にパケットを転送する。これにより、ネットワーク層転送モジュールを使用することなく、パケットを転送することが出来る。このように、ラベルスイッチ VC を通して、ラベル転送モジュールのみでパケットが転送される経路を LSP(Label Switched Path) と呼ぶ。

3. マルチキャストの概要

この章では、マルチキャストパケットの転送方法を説明する。

マルチキャストを転送するルータは、図 2 に示す 2 つの表 (マルチキャスト経路表, マルチキャスト転送キャッシュ) を持つ。

(注1): パケットストリームとは、パケットヘッダの特定の部分が同じパケットの集合を指す。例えば、受信アドレスが同じパケット群である。

Source Address	Input Interface

(a) マルチキャスト経路表

Source Address	Group Address	Input Interface	Output Interfaces

(b) マルチキャスト転送キャッシュ

図 2　マルチキャスト経路表とマルチキャスト転送キャッシュ

マルチキャスト経路表には、各送信アドレスに対応する入力インターフェイスが記載されている。この経路表により、ある送信アドレスを持つマルチキャストパケットの入力インターフェイスが決定される。この経路表に書かれたインターフェイスから入力されたパケットは、有効なパケットとして扱い、転送処理を行う。逆に、この経路表に書かれていないインターフェイスから入力されたパケットは、廃棄する。これにより、マルチキャストパケットのループを避ける。この経路表は、DVMRP [8] のようにマルチキャスト経路プロトコルにより作成する場合と、PIM-DM [9] のようにユニキャスト経路表から作成する場合がある。

マルチキャスト転送キャッシュには、マルチキャストパケットの送信アドレス S とグループ G の組 (以下では、(S, G) と表す。) と入力インターフェイスと出力インターフェイスが記憶されている。この転送キャッシュを (S, G) と入力インターフェイスをキーに検索することで、出力インターフェイスが決定され、マルチキャストパケットの転送が行われる。マルチキャスト転送キャッシュは、マルチキャストパケット転送時に作成される。(S, G) のパケットを有効な入力インターフェイス I から受信すると、マルチキャスト転送キャッシュには、(S, G) と入力インターフェイス I に対応する出力インターフェイスに入力インターフェイス I 以外のインターフェイスを記入する。すなわち、入力インターフェイス I を除く、ルータの全てのインターフェイスにそのマルチキャストパケットを送信することになる。その後、隣接ルータより、そのマルチキャストパケットが必要ないことを制御メッセージで通知されると、そのメッセージを受信したインターフェイスを出力インターフェイスから削除し、必要のないマルチキャストパケットを転送しないようにする。この出力インターフェイスの変更は、ノードがグループに参加/脱退する時も行われる。

4. マルチキャスト拡張

本章では、マルチキャストパケットをカットスルー転送するための LSP の設定解放手順を提案する。LSP 設定プロトコルとして、CSR(Cell Switch Router) [1] で用いられている FANP(Flow Attribute Notification Protocol) [2], [4], [5] を使用し、マルチキャストへの拡張を行う。

4.1 マルチキャスト拡張プロトコル設計

マルチキャスト拡張した LSP の設定/解放のプロトコルは、ユニキャストのプロトコルと同じように、LSP で流すパケットストリームと LSP のラベル値を隣接ルータに通知することが基本である。パケットストリームは、送信アドレスとグループの組になる。マルチキャストラベルスイッチ技術がユニキャストラベルスイッチ技術と異なる点は、以下の 2 点である。これを考慮した LSP 設定/解放手順が必要である。

（1） 受信ノードがグループへの動的な参加/脱退がある。これにより、ルータでのマルチキャストパケットの出力インターフェイスが変更される。

（2） ラベル転送モジュールでのパケットの複製が必要。

まず、1 つ目の項目を述べる。インターネットを使ったマルチキャストパケットの転送では、受信ノードのグループへの参加/脱退は、マルチキャストパケットを新たに複製する必要があるルータと受信ノードが隣接しているルータの間のルータで認識することができ、送信ノードは認識できない仕組みになっている。ルータでは、マルチキャスト転送キャッシュの出力インターフェイスにインターフェイスが追加/削除されることにより認識できる。このため、受信ノードがグループへ参加/脱退したときにマルチキャスト LSP を設定/解放が可能なルータは、マルチキャストパケットを新たに複製するルータと受信ノードが隣接しているルータの間のルータである。そこで、これらのルータのマルチキャスト転送キャッシュが変更された場合に、そのルータが隣接ルータまでの LSP を設定/解放を行う。

2 つ目の項目の解決のためには、ラベル転送モジュールの設定方法を拡張することである。ユニキャストの場合は、1 つの入力 LSP と 1 つの出力 LSP しかなく、これらをラベル転送モジュールで転送すれば良かった。

しかし、マルチキャストの場合は、1 つの入力 LSP から複数の出力 LSP に転送する必要がある。そこで、1 つの入力 LSP から複数の出力 LSP に出力する場合には、ラベル転送モジュールでパケット複製を行い、転送するように変更する。ただし、マルチキャストパケットは、全てのルータで複製を作るわけではないので、複製を作る場合と作らない場合の変更が動的にできる必要がある。

これらの 2 つの拡張を行うことで、マルチキャストパケットをラベルスイッチ技術で転送することができる。

4.2 マルチキャスト拡張プロトコルの手順

この節では、図 3 を用いてマルチキャスト拡張プロトコルの具体的な手順を説明する。このネットワークでは、グループ G のパケットを送信する送信ノード S1 及び受信ノード D1, D2 が存在する。網掛けしてあるノードは、グループ G に参加しているノードである。また、LSR ドメインで示される範囲内に入っているノードは、LSP を設定できるノードとする。図中の表は、各ルータにおけるマルチキャスト転送キャッシュを示している。表の項目は、図 2(b) と同じである。表中の “In” が入力インターフェイスを示し、“Out” が出力インターフェイスを示す。

マルチキャストでは、受信ノードがグループに参加/脱退を動的に行う。そこで、グループ G に受信ノードが参加したときあるいは脱退したときの動作を説明する。具体的には、以下の状況の手順を示す。

（1） 送信ノード S1 がグループ G にパケットを送信

（2） 受信ノード D1 がグループ G に参加したときの動作 (R2 のマルチキャストパケット出力インターフェイスが 1 つになる)

（3） 受信ノード D2 がグループ G に参加したときの動作 (R2 のマルチキャストパケット出力インターフェイスが 1 つから複数になる)

（4） 受信ノード D1 がグループ G から脱退したときの動作 (R2 のマルチキャストパケット出力インターフェイスが複数から 1 つになる)

（5） 受信ノード D2 がグループ G から脱退したときの動作 (すべての受信者がいなくなった場合)

4.2.1 送信ノード S1 がマルチキャストパケット送信

図 3(a) に送信ノード S1 がグループ G にマルチキャストパケットを送信したときの状態を示す。グループ

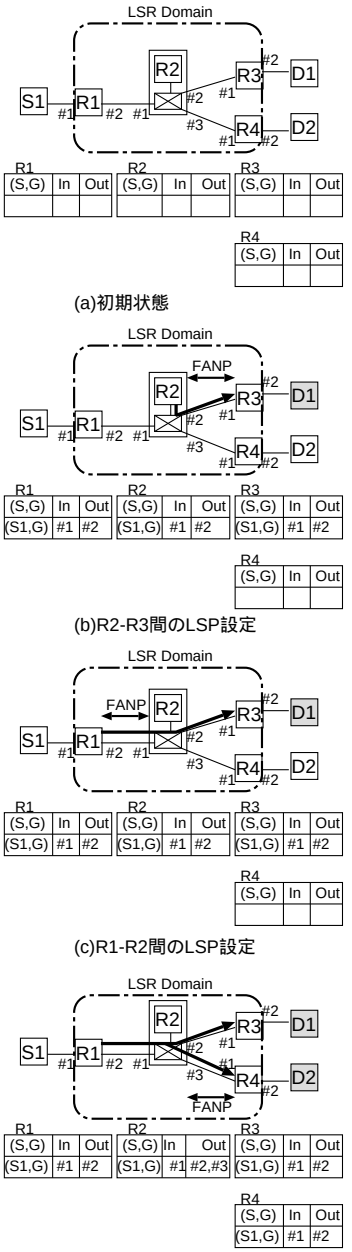

図 3 マルチキャスト LSP 設定手順

G の受信ノードが存在しないので、各ルータのマルチキャスト転送キャッシュは、何も記載されていない。そこで、マルチキャストパケットは配送されない。

4.2.2 受信ノード D1 がグループ G に参加

受信ノード D1 がグループ G に参加すると、R1, R2, R3 に (S1, G) のマルチキャスト転送キャッシュができる。R1, R2, R3 の入力インターフェイスは、すべて I/F #1 であり、出力インターフェイスは、すべて I/F #2 である。マルチキャスト転送キャッシュの出力インターフェイスが追加されたので、それぞれのルータで LSP の設定を行う。以下、図 3(b) で R2 の動作を示し、図 3(c) で R1 の動作を示す。なお、R3 は、LSR ドメイン境界に位置し、隣接ルータが LSP 設定を行えないので、LSP の設定は行わない。

R2 は、R2 から R3 への LSP(以下、R2-R3 間の LSP と表現する) を設定するために、マルチキャスト用に拡張した FANP を用いて、ラベルとパケットストリームを通知する。ATM の場合のラベルは、VPI/VCI である。パケットストリームは、この LSP で転送するマルチキャストパケットである (S1, G) の組である。

R1 も同様に R1-R2 間の LSP を設定する。このパケットストリームも (S1, G) である。R2 には、同じパケットストリームの R2-R3 間の LSP が設定されているので、R1-R2 間の LSP と R2-R3 間の LSP をラベル転送モジュールで転送できるようにラベル転送モジュールに設定する。ATM の場合は、ラベル転送モジュールが ATM スイッチであり、R1-R2 間の LSP の VPI/VCI と R2-R3 間の LSP の VPI/VCI を ATM スイッチで接続する。これにより、R1 から送信する (S1, G) のマルチキャストパケットは、R2 では、パケットヘッダを参照することなくラベルによって転送される。

4.2.3 受信ノード D2 がグループ G に参加

受信ノード D2 がグループ G に参加したときの動作を図 3(d) で示す。D2 がグループ G に参加すると、R2, R3 のマルチキャスト転送キャッシュが変更される。R2 には、(S1, G) のエントリの出力インターフェイスに I/F #3 が追加される。R4 には、(S1, G) のエントリが追加され、出力インターフェイスに I/F #2 が追加される。ここで、R2 は、追加された出力インターフェイスの隣接ルータが LSR である。そこで、R2 が LSP の設定を開始する。R2 は、R2-R4 間の LSP を設定する。この LSP のパケットストリームは、(S1 ,G) である。既に、このパケットストリームと同じ入力 LSP が設定済なので、R1-R2 間の LSP から受信するパケットを R2-R4 間の LSP へラベル転送モジュールで転送できるようにラベル転送モジュールの設定を行う。この時 R1-R2 間の LSP から受信したパケットは、R2-R3 間の LSP と R2-R4 間の LSP の両方に出力する必要がある。そこで、ラベル転送モジュールでは、パケットを複製して転送する。ラベル転送モジュールが ATM スイッチの場合は、ATM スイッチでハードウェア的にセル複製によりパケットの複製を行うことができる。

4.2.4 受信ノード D2 がグループ G から脱退

受信ノード D2 がグループ G から脱退すると、R4 のマルチキャスト転送キャッシュのグループ G に関する情報が削除され、また、R2 の (S1, G) のエントリの出力インターフェイスから I/F #3 が削除される (図 3(c) のマルチキャスト転送キャッシュと同じ状態)。R4 からの LSP は設定されていないので、R4 はこれによる動作を行わない。R2 の I/F #3 への LSP が設定されているので、R2 は、この LSP を削除する動作を行う。LSP がラベル転送機能により転送されているので、I/F #2 への転送を中止する。さらに、R2-R4 間の LSP を解放するために、FANP を用いて LSP 解放の通知を R4 へ送る。

4.2.5 受信ノード D1 がグループ G から脱退

受信ノード D1 がグループ G から脱退すると、R1, R2, R3 のマルチキャスト転送キャッシュからグループ G に関する情報が削除される。LSP を設定していた R1 及び R2 は、マルチキャスト転送キャッシュからグループ G に関する情報が削除されたので、それぞれが設定している LSP を解放する。R2 は R3 への LSP を解放するとともにラベル転送モジュールでのカットスルー転送を中止する。R1 は R2 への LSP を解放する。これにより、グループ G に関する LSP がすべて解放されることになる。

5. 評　　価

前章で説明したマルチキャスト拡張プロトコル (FANP) を LSR の 1 つの実装形態である CSR プロトタイプシステムに実装した。このマルチキャスト拡張版 CSR を用いて、(1) LSP 設定トリガを受信してから LSP が設定完了するまでの LSP 設定時間、(2) カットスルー転送とホップバイホップ転送のパケット転送能力を測定し、マルチキャスト拡張版ラベルスイッチルータの有効性を評価する。

5.1 実験環境

実験環境を図 4 に示す。CSR に送信ノード S1、及び、受信ノード D1, D2, D3 を ATM で接続する。CSR は、ネットワーク層転送モジュールとして PC(CPU: インテル社製 Pentium II 266MHz, メモリ:128MB) を使用し、ラベル転送モジュールとして ATM スイッチ (Fore 社製 ASX-200WG) を使用した。送信ノード及び受信ノードは、PC(CPU: インテル社製 Pentium II 266MHz, メモリ:128MB) を使用した。CSR、受信ノード S1 及び送信ノード D1, D2, D3 は、4. 章で説明したマルチキャスト拡張した FANP を搭載し、S1 から D1, D2, D3 にマルチキャストパケットを送信すると S1 から D1, D2, D3 に向けて LSP が設定され、CSR でカットスルー転送を行うことができる。

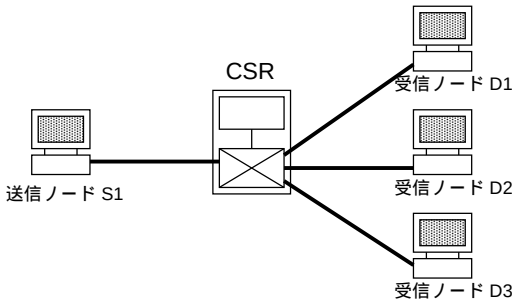

図 4 実験環境

5.2 LSP 設定遅延時間の評価

図 4 に示した実験環境において、送信ノード S1 から受信ノード D1, D2, D3 への LSP を設定するために必要な時間を測定する。LSP 設定時間は、通常ルータの転送方式 (ホップバイホップ転送) からラベルスイッチルータとしての転送方式 (カットスルー転送) まで遷移する時間を測定していることになる。従って、この値が少ない方が、ラベルスイッチルータ機能が働くまでの遅延が小さく、高速に LSP の設定を行うことができる。

LSP は、S1 から CSR、及び、CSR から D1, D2, D3 へそれぞれ設定される。LSP を設定するノードにおいて LSP 設定のトリガを受信してから、FANP メッセージの応答が返るまでの時間を測定する。測定は、5 回行いその平均を測定結果とする。

測定結果を表 1 で示す。送信ノード S1 から CSR までの LSP を設定時間は、30 ms であった。また、CSR から受信ノード D1, D2, D3 への LSP 設定時間は、それぞれ、40 ms, 42 ms, 41 ms であった。送信ノードから CSR までの LSP 設定時間より、CSR から受信ノードまでの LSP 設定時間が長いのは、CSR において、入力と出力の LSP が存在したときにラベル転送モジュールの設定が必要であるためと考えられる。

表 1 LSP 設定時間の評価

LSP	LSP 設定時間
送信ノード S1 から CSR	31 ms
CSR から受信ノード D1	40 ms
CSR から受信ノード D2	42 ms
CSR から受信ノード D3	41 ms

上記の結果より、本実験構成では、送信ノードから受信ノードへの LSP 設定時間は、平均 71 ms であり、受信ノードが増えるとマルチキャストに参加すると平均 41 ms でその受信ノードへの LSP が設定される。本提案プロトコルは、隣接ノード間のプロトコルであるため、隣接ノード間の LSP 設定時間は、CSR の段数に依存しない。そこで、送信ノードと受信ノードの間に CSR が複数段ある場合の LSP 設定時間は、

$$LSP \text{ 設定時間 } (ms) = 31 + (41 * CSR \text{ 段数})$$

と推定できる。実際のネットワークは、本実験環境より大きいものであるが、例えば、CSR 段数が 15 段であるネットワークでは、最初のマルチキャスト受信ノードが参加したときの LSP 設定時間は、646 ms と推定できる。2 つ目以降の受信ノードの参加の場合は、マルチキャストパケットが分岐する CSR から受信ノードの隣接の CSR までの段数である (LSP 設定時間 $(ms) = 41 *$ 分岐 CSR からの CSR 段数)。分岐 CSR からの CSR 段数は、ネットワークトポロジーに依存する。LSP 設定時間の最悪値は、最初の CSR で分岐する場合であるので、CSAR の段数が 15 段の時に LSP 設定時間が 613 ms と推定できる。

このように、ネットワークが大きくなった場合も LSP 設定時間は、1 秒にも満たない。カットスルー転送によりマルチキャストパケットを送信する場合は、大容量で継続時間の長い動画像等のストリームであると考えられる。1 秒以下 LSP 設定時間は、LSP を流れるストリームに比べて十分少ないと考えられるので、マルチキャストラベルスイッチ技術のオーバヘッドである LSP 設定時間の影響は少ないと考えられる。

5.3 パケット転送能力の評価

図 4 に示す実験環境において、送信ノード S1 から受信ノード D1, D2, D3 へのマルチキャストパケットのスループットを測定する。マルチキャストパケット

の受信者が、(1) 受信ノード D1 の 1 つの場合、(2) 受信ノード D1, D2 の 2 つの場合、(3) 受信ノード D1, D2, D3 の 3 つの場合について、CSR でカットスルー転送を行う場合とホップバイホップ転送を行う場合のそれぞれのスループットを測定する。比較のためにユニキャストで送信ノード S1 から受信ノード D1 へのスループットも測定する。

測定には、nttcp [12] プログラムを使用する。このプログラムは、UDP パケットを送信し、受信ノードでの受信スループットを測定できる。それぞれの項目で、5 回測定を行い、その平均を結果とする。

測定結果を、表 2 に示す。カットスルー転送の場合のスループットは、マルチキャストパケットを受信する受信ノードの数に関わらず、75 Mbps となった。一方、ホップバイホップ転送の場合のスループットは、マルチキャストパケットを受信する DstNode の数に依存している。スループットは、受信ノードが 1 の時が、73Mbps であり、受信ノードが 2 の時が、43Mbps であり、受信ノードが 3 の時が、32Mbps である。マルチキャスト受信ノードが増えるに従って、スループットが減少する。これは、コアルータでマルチキャストパケットを転送するときに、マルチキャストパケットの分岐数だけパケット複製を行ない、そのパケットを転送する必要があるため、コアルータの処理が多くなることが原因と考えられる。この結果より、マルチキャストパケットのカットスルー転送が有効であることがわかった。特に、マルチキャスト受信者が多いバックボーンのルータのようなマルチキャストパケットを分岐する必要があるルータにおいてカットスルー転送が有効である。

表 2　スループットの評価

受信ノード数	カットスルー転送 (Mbps)	ホップバイホップ転送 (Mbps)
1(ユニキャスト)	75	75
1(マルチキャスト)	75	73
2(マルチキャスト)	75	45
3(マルチキャスト)	75	32

次に、ユニキャストとマルチキャストカットスルー転送のスループットを比較する。ユニキャストのパケット転送は、カットスルー転送の場合もホップバイホップ転送の場合も 75Mbps となった(注2)。これにより、マルチキャストカットスルー転送が、ユニキャストのパケット転送と変わらない性能であることがわかった。

6. ま と め

本論文では、ラベルスイッチルータでのマルチキャスト拡張プロトコルを設計し、プロトタイプシステムの実装を行った。このプロトタイプシステムを用いて、マルチキャストラベルスイッチ技術の LSP 設定時間及びパケット転送能力を評価した。LSP 設定時間は、1 段当たり 40ms 程度であり、LSP に流れるデータの継続時間に比べて少ない。このため、ラベルスイッチルータの LSP 設定時間の影響は少ないと考えられる。さらに、カットスルー転送の場合は、ホップバイホップ転送の場合と比較して、スループットが高く、実システムにおいてマルチキャストカットスルー転送の有効性を検証することができた。特に、マルチキャスト受信者が多いバックボーンのルータのようなマルチキャストパケットを多数複製するルータにおいて有効であることが分かった。

文　献

[1] Y.Katsube, K.Nagami, H.Esaki, “Toshiba’s Router Architecture Extensions for ATM : Overview”, IETF RFC2098, Feb., 1997.

[2] K. Nagami, Y. Katsube, Y. Shobatake, A. Mogi, S.Matsuzawa, T. Jinmei, H. Esaki, “Toshiba’s Flow Attribute Notification Protocol (FANP) Specification”, IETF RFC2129, April, 1997.

[3] A. Ballardie, “Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing”, IETF RFC2189, Sep., 1997.

[4] K. Nagami, K. Ise, S. Matsuzawa, A. Mogi, Y. Ohba, “Flow Attribute Notification Protocol Version 2 (FANPv2) Neighbor Discovery”, IETF Internet Draft, Dec., 1997.

[5] K. Nagami, Y. Katsube, S. Matsuzawa, A. Mogi, K. Ise, “Flow Attribute Notification Protocol Version 2 (FANPv2) Distributed Control Mode”, IETF Internet Draft, Dec., 1997.

[6] D. Estrin, D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering M. Handley, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma, L. Wei, “Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification”, IETF RFC2362, June, 1998.

[7] D. Farinacci, Y. Rekhter, “Multicast Label Binding and Distribution using PIM”, IETF Internet Draft, Nov., 1998.

[8] D. Waitzman, C. Partrige, S. Deering, “Distance Vector Multicast Routing Protocol”, IETF RFC1075,

(注2): 今回の実験環境では、ユニキャストのホップバイホップ転送の場合に CSR のネットワーク層転送モジュールの転送速度の限界に達していないためにカットスルー転送場合もホップバイホップ転送の場合も同じスループットになっている。

Nov., 1988.

[9] S. Deering, D. Estrin, D. Farinacci, V. Jacobson, A. Helmy, D. Meyer, L. Wei, "Protocol Independent Multicast Version 2 Dense Mode Specification", IETF Internet Draft, Nov., 1998.

[10] L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, B. Thomas, "LDP Specification", IETF Internet Draft, Jan., 1999.

[11] A. Acharya, F. Griffoul, F. Ansari, "IP Multicast Support in MPLS Networks", IETF Internet Draft, Feb., 1999.

[12] E. Bartel, "NTTCP (New Test TCP Program)", http://users.leo.org/ bartel/nttcp/, Sep., 1999.

[13] D. Ooms, et al., "Framework for IP Multicast in MPLS", IETF Internet Draft, June, 1999.