

DVB-RCSを用いたネットワークにおけるブロードキャストリンクエミュレーション

山本 聡[†] 藤枝 俊輔[†]
楠本 博之[†] 竹井 淳^{††}

DVB-RCS(Digital Video Broadcasting Return Channel via Satellite)¹⁾は、デジタル衛星放送において視聴者から放送局へ衛星回線を用いてフィードバックを送信するための通信規格である。DVBと組み合わせてDVB-RCSを利用すると、衛星回線を用いてユーザが簡単に双方向通信を行えるため、高速な地上回線が敷設されていない地域でインターネット接続に利用できる。しかし、DVB-RCSを用いたネットワークは親局から全子局へ接続する広帯域な片方向回線と、子局から親局へ接続する個々の狭帯域な片方向回線から構成されている。インターネットではARP(Address Resolution Protocol)⁴⁾や経路制御プロトコルなど多くの基盤技術が双方向回線を前提に設計されており、片方向回線では正常に動作しない。本稿では、DVB-RCSにおける複数の片方向回線上に擬似的な単一のブロードキャストリンクを構築し、既存のインターネット技術をそのまま動作させる手法を提案する。本システムにより、DVB-RCSリンクを既存の通信回線と同様にインターネットで利用できる。

Broadcast Emulation for DVB-RCS

SOH YAMAMOTO,[†] SHUNSUKE FUJIEDA,[†] HIROYUKI KUSUMOTO,[†]
and JUN TAKEI^{††}

DVB-RCS(Digital Video Broadcasting Return Channel via Satellite) is a telecommunication standard for return channel on digital video broadcasting over satellite link. DVB-RCS makes bi-directional communication over satellite link briefly, thus it enables us to use Internet on any areas although there were no terrestrial links. There is a forward link from hub station to terminal stations and some return links from terminal to hub on a DVB-RCS network, but all of these links are uni-directional. Some important technologies on the Internet such as address resolution and routing protocols do not work correctly on uni-directional links. To solve this problem, we propose a system which emulates a bi-directional broadcast link on DVB-RCS. Our system enables any protocols on the Internet to work on DVB-RCS. With this research, DVB-RCS can be utilized efficiently as well as the other links on the Internet.

1. はじめに

DVB-RCS(Digital Video Broadcasting Return Channel via Satellite)¹⁾はETSI(European Telecommunications Standard Institute²⁾)が定義した通信規格である。DVB-RCSは、デジタル衛星放送において視聴者から放送局へ衛星回線を用いたフィードバック回線を提供し、DVBによる放送局から視聴者へのデータ配送と組み合わせて用いる。これまで、インターネットにおける衛星回線の利用方法は、2つの送受信局をポイントツーポイントで接続する方式と、単一の送信局から多数の受信専用局へ片方向に接続し、双方向の地上回線と組み合わせて用いる方式があった。衛星回線をポイントツーポイントで利用する方式では、両端の地球局に管理者が必要であり運用コストが高い。このため、多数のユーザにインターネット接続を提供する用途には、衛星回線を片方向に用いる手法³⁾が検討されている。しかし、既存の手法では受信専用局からデータを送信するために地上回線が必要である。DVB-RCSをインターネットで利用すると、衛星回線を用いて双方向に通信できるため、離島や山間部など地上回線が敷設されていない地域でも利用できる。また、DVB-RCSでは親局が子局の通信機能を制御し、専門知識を持たないユーザでも子局を利用できる。このため、地上回線が敷設されていない地域において容易にインターネット接続を提供できる。

DVB-RCSの概要を図1に示す。DVB-RCSは、単一の親局と複数の子局から構成される。親局はすべての子局に接続する広

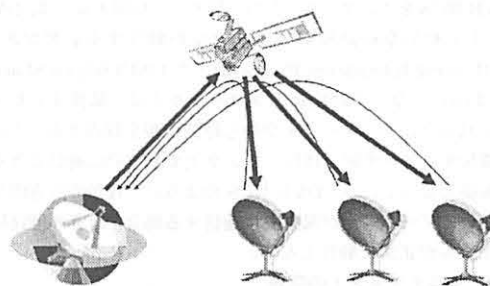


図1 DVB-RCSの概要図

帯域な片方向回線(以下フォワードリンク)を持つ。フォワードリンクでは、既存のデジタル衛星放送と同様に親局から複数の子局へ同報的にデータを送信できる。子局は親局にだけ接続する片方向回線(以下リターンリンク)を持つ。フォワードリンクとリターンリンクは個別の回線であり、利用するデータリンクプロトコルも異なる。現在はフォワードリンクにMPEG2-TS、リターンリンクにATMを利用するのが一般的である。親局と子局において、フォワードリンクとリターンリンクのインターフェースは別々である。このデータリンク構成を図2に示す。

2. 問題点

DVB-RCSでは、フォワードリンクにすべてのノードが接続し、リターンリンクに親局と単一の子局が接続する。既存のデータリンクとの違いは、親局とすべての子局が片方向リンクで接続する点と、フォワードリンクとリターンリンクで異なる通信形態をとることである。

[†] Keio University Shonan Fujisawa Campus 5322, Endo, Fujisawa, Kanagawa 252, Japan
E-Mail:soh@sfc.wide.ad.jp

^{††} JSAT Corporation 1-11-1, Marunouchi, Chiyoda, Tokyo 104, Japan

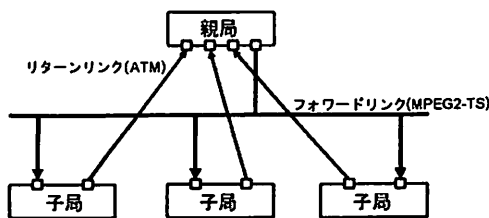


図2 DVB-RCS のデータリンク構成

既存の DVB-RCS の実装では、独立したフォワードリンクとリターンリンクを用いており、インターネットにおける既存のリンク形態とは異なるリンク上で IP の伝送だけを行っている。このため、ブロードキャストリンクやポイントツーポイントリンクを前提として設計されているインターネットプロトコルが正常に動作しない。このため、次のようなデータリンクアドレス解決の問題、経路制御プロトコルの問題、そしてマルチキャスト利用の問題が生じる。

2.1 データリンクアドレス解決の問題

フォワードリンクでは親局から複数の子局へ接続するため、子局のデータリンクアドレスを親局が解決する必要がある。インターネットでは、動的なデータリンクアドレスの解決に ARP⁴⁾ を用いる。しかし、フォワードリンクは親局と子局を結ぶ片方向リンクであるため、同一リンク上で双方向に通信できない。親局がフォワードリンクで ARP 要求を送信した場合、子局はフォワードリンク上で ARP 応答を送信できない。このため、親局から子局への ARP が機能しない。

2.2 経路制御プロトコルの問題

DVB-RCS をインターネットの一部として利用するには、DVB-RCS 上で動的な経路制御プロトコルが動作する必要がある。RIP(Routing Information Protocol)⁵⁾ や OSPF(Open Shortest Path First)⁶⁾ などの経路制御プロトコルでは、隣接するルータ同士が双方向にメッセージを交換し経路情報を取得する。このため、隣接するルータ同士は同一リンク上で双方向に通信できることが前提となっている。DVB-RCS のように、複数の片方向リンクを用いてノード同士が双方向に通信する場合、既存の経路制御プロトコルが正常に動作しない。

2.3 マルチキャストの問題

衛星回線の回線性を活かし、フォワードリンクで IP マルチキャストを送信する場合、上流のマルチキャストルータとなる親局がフォワードリンク上でマルチキャストグループを管理する必要がある。インターネットではマルチキャストグループの管理に IGMP⁷⁾ を用いる。IGMP では、マルチキャストグループの参加ノードが、同一リンク上でマルチキャストルータと通信することや、参加ノード同士が同一リンク上で双方向に通信することが前提となっている。DVB-RCS では、親局がフォワードリンク上で子局からの IGMP メッセージを受信したり、子局が他の子局からの IGMP メッセージを受信できないため、IGMP も正常に動作しない。

3. 解決手法

DVB-RCS 上でインターネットプロトコルを正常に動作させるには、既存のプロトコルを改変する手法が考えられる。しかし、この手法では ARP、経路制御プロトコル、IGMP を個別に改変し DVB-RCS に適応させる必要がある。また、新たな経路制御の技術を考える場合、DVB-RCS も含めて対応しなければならない。また、改変を加えたプロトコルを既存のインターネットへ導

入するには困難が伴う。したがって、この手法を用いて現在のインターネット上で DVB-RCS を利用することは難しい。

そこで、本稿では既存のインターネットプロトコルに改変を加えず、そのまま DVB-RCS を用いたネットワーク上で動作させる手法を議論する。インターネットで用いる通信媒体は、イーサネットなどのブロードキャストリンク、デジタル専用線などのポイントツーポイントリンク、ATM などの NBMA(Non-Broadcast Multiple Access) リンク、衛星回線における片方向リンクなど、様々な通信モデルを持つ。しかし、インターネットでは双方向のポイントツーポイントリンクとブロードキャストリンクが最も一般的に利用されており、多くの基盤技術がこれらの通信媒体を前提に設計されている。このため、NBMA リンクや片方向リンクなど、それ以外の通信媒体をインターネットで用いる場合、ポイントツーポイントリンクやブロードキャストリンクにエミュレーションすることが多い。例えば、ATM では LANE(LAN Emulation)⁸⁾、片方向リンクでは UDLR(Uni-Directional Link Routing) などを用いる。

同様の解決手法を DVB-RCS に用いる場合、親局と子局の接続性をそれぞれ複数の論理的なポイントツーポイントリンクにエミュレーションする手法と、DVB-RCS 全体を単一のブロードキャストリンクにエミュレーションする手法の 2 つが考えられる。次にこれらについて議論する。

3.1 複数の論理的なポイントツーポイントリンクに抽象化する手法

親局は子局すべてに対して接続性があるが、各子局は親局しか接続性を持たない。このため、親局と各子局は個別のポイントツーポイントリンクで接続されている構成として扱う手法が考えられる。この手法では、DVB-RCS を図 3 のように複数の論理的なポイントツーポイントリンクの集合として扱う。このため、既存のプロトコルをそのまま利用できる。しかし、マルチキャストやブロードキャストのように、親局から複数の子局に同時にデータを送信する場合、論理的に構成された複数のポイントツーポイントリンクに重複してデータが流れる問題が生じる。

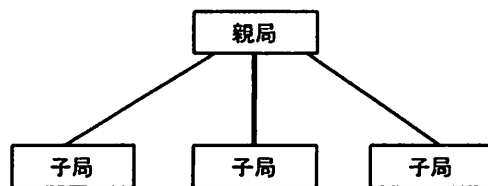


図3 複数の論理的な Point to Point リンク

3.2 単一の論理的なブロードキャストリンクにエミュレーションする手法

親局から子局へ回線的にデータ配送を行うには、図 4 のように親局と子局すべてが単一のブロードキャストリンクに接続している構成として扱う手法が考えられる。ブロードキャストリンクに抽象化する手法では、ポイントツーポイントリンクに抽象化したときと同じように、既存のプロトコルを改変することなく、インターネット上で DVB-RCS を利用できる。また、ポイントツーポイントリンクとして扱う手法とは異なり、親局はフォワードリンクを単一のリンクと認識するので、マルチキャストやブロードキャストのデータが重複して流れる問題は生じない。

しかし、ブロードキャストリンクでは、あるノードが送信したデータを同一リンク上のすべてのノードが受信できる必要がある。DVB-RCS の構造上、子局同士の通信は親局を介さなければならない。ブロードキャストリンクとして扱う場合、子局同士のユ

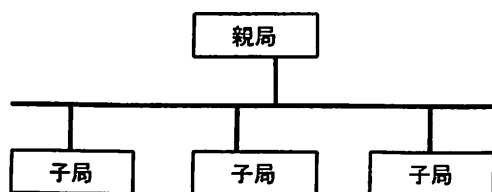


図4 単一の論理的なブロードキャストリンク

ニキャスト、子局からのマルチキャスト、ブロードキャストがそのままでは動作しない問題がある。

本研究では、次に示す理由により、DVB-RCS を単一のブロードキャストリンクにエミュレーションする手法を採用し、本章で述べた問題点を克服する手法を新たに導入する。

- 既存のプロトコルに改変を加える必要がなく、すぐにDVB-RCSをインターネットで利用できる。
- ポイントツーポイントリンクの集合として扱う場合と異なり、ブロードキャストリンクとして扱う場合、親局から子局への接続性が分割されないで、衛星回線の同報性がそのまま活かせる。

4. LAN エミュレーションシステムの設計

本研究では、DVB-RCS を単一のブロードキャストリンクとして扱えるシステムを構築する。本システムをLED(Lan Emulation for DVB-RCS)と呼ぶ。LEDは、フォワードリンクとリターンリンクを上位層から隠蔽し、親局と子局においてイーサネットと同等の機能を持つ擬似的なブロードキャストインタフェースを導入する。

LEDは、データリンク層のブリッジングやネットワーク層のルーティングよりも下位レイヤで動作する。衛星回線では、他の回線と比較して専用の機器が多く用いられる。そのため、DVB-RCSのインタフェースや、親局と子局に用いるノードも専用の機器である可能性が高い。親局や子局がルータの機能しか持たない場合、導入にあたって既存のネットワークポロジを変更する必要があったり、必要な機能がそのような専用ルータではサポートされていないなど、運用上の問題が生じる可能性がある。これに対して、DVB-RCSの親局と子局がブリッジの機能を持つ場合、DVB-RCSを既存のインターネットに透過的に導入でき、また、必要な機能を既存のルータで動作させるなど柔軟に運用できる。したがって、インターネットにおいてDVB-RCSを汎用的に利用するには、親局と子局がルータあるいはブリッジのどちらであってもLEDを利用できるように設計する必要がある。

4.1 設計要件

DVB-RCSをブロードキャストリンクにエミュレーションするためには、次の(1)、(2)の二つの機能が必要である。

(1) 片方向インタフェースの集約

ブロードキャストリンクでは、リンク上の各ノードは、双方向に通信できる単一のインタフェースで接続している。DVB-RCSでは、親局と子局が複数の片方向インタフェースによって双方向に接続するため、これらの複数の片方向インタフェースを単一の双方向インタフェースに抽象化して動作させる機能が必要である。

(2) 子局同士の直接的な通信

ブロードキャストリンクでは、あるノードが送信したデータは、同一リンク上のすべてのノードが受信できる。DVB-RCSでは、子局が直接データを送信できるのは親局だけであり、他の子局にユニキャストを送信したり、マルチキャストやブロードキャストを行えない。このため、子局から他の子局に対し論理的に単一リンク上でデータを送信できる機能が必要

である。

LEDはこれらの機能を提供し、以下の三つの機構で構成される。

- ・ インタフェース機構
- ・ 親局による送信の代行機構
- ・ LEDヘッダによる送信子局の識別機構

4.2 仮想インタフェース機構

仮想インタフェースは、複数の片方向インタフェースを論理的に単一の双方向インタフェースに抽象化する。仮想インタフェースによって、DVB-RCSの親局および子局は、双方向の接続性を持つ単一のインタフェースで論理的に接続するように扱える。仮想インタフェースの概要を図5に示す。

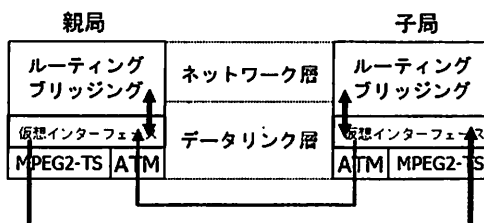


図5 仮想インタフェース

仮想インタフェースを親局、子局の両方で導入し、フォワードリンクのインタフェースとリターンリンクのインタフェースを統合して1つのインタフェースに抽象化する。親局と子局は、DVB-RCS上の送受信に関して、仮想インタフェースを介したデータリンクフレームの送信、受信として扱う。また、仮想インタフェースは独自のMACアドレスを持ち、データリンクフレームはイーサネットのフォーマットを用いる。

4.3 親局による送信の代行機構

4.1で述べたように、DVB-RCSをブロードキャストリンクにエミュレーションするには、子局同士が論理的に直接通信できるようにする必要がある。親局による送信の代行機構は、子局から子局への送信、子局からのブロードキャストとマルチキャストを親局が代行し、子局同士が論理的に直接通信できるようにする。

親局による送信の代行機構の概要を図6に示す。親局による送

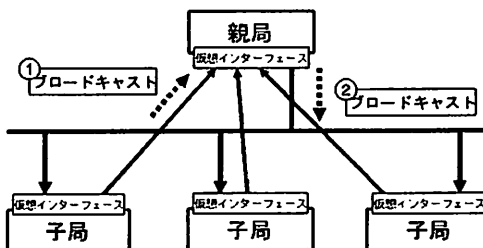


図6 親局による送信の代行機構

信の代行機構は次のように動作する。親局が仮想インタフェースからデータリンクフレームを受信した場合、送信先MACアドレスを判別する。送信先MACアドレスが自分以外であった場合、フォワードリンクにそのまま送信する。また、送信先MACアドレスがブロードキャストアドレスやマルチキャストアドレスの場合、仮想インタフェースからそのデータリンクフレームを受信し、フォワードリンクにもそのまま送信する。これにより、子局同士は親局を介して透過的に直接接続し、子局同士のユニキャストと、子局からのブロードキャスト、マルチキャストが行える。

4.4 LEDヘッダによる送信子局の識別

親局と子局がルータの場合、4.2で述べた仮想インタフェース

機構と、4.3で述べた親局による送信の代行機構によって、DVB-RCSを単一のブロードキャストリンクとして扱える。しかし、子局がブリッジの場合、親局による送信の代行機構によって、ブリッジに用いるMACアドレステーブルを子局が誤って学習する問題が生じる。その例を以下に示す。

図7において、子局AはノードXが接続するLANとDVB-RCS上の擬似的なブロードキャストリンク間をブリッジし、同様に子局BはノードYが接続するLANとの間をブリッジする。

- 1 ノードXがノードYのMACアドレスを解決するために、ARP要求を送信したとする。子局AはノードXからのブロードキャストフレームをLAN側から受信し、仮想インタフェースを介して親局に送信する。また、子局AはノードXがLAN上に存在すると学習する。
- 2 親局はノードXからのARP要求を受信し、送信先MACアドレスを判別する。この場合、送信先MACアドレスはブロードキャストアドレスなので、親局による送信の代行機構により、同じデータリンクフレームがフォワードリンクに転送される。
- 3 子局A、子局Bが仮想インタフェースからノードXのARP要求を受信する。このとき、子局AはノードXが送信したデータリンクフレームを仮想インタフェースで受信するため、ノードXが擬似的なブロードキャストリンク上に存在すると誤って学習する。

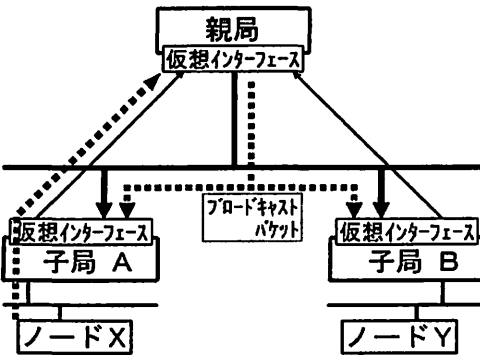


図7 子局がブリッジである場合の問題

子局Aは、ノードXがLAN上に存在すると新たに学習するまで、ノードX宛のデータリンクフレームを擬似的なブロードキャストリンクからLANに向けて転送しない。このため、ノードYからノードXにARP応答が送信されたとしても子局Aによって破棄される。

この問題は、子局が擬似的なブロードキャストリンクに送信したデータリンクフレームが、親局によってフォワードリンクに代行して送信され、そのデータリンクフレームを同一の子局が擬似的なブロードキャストリンクから受信することによって生じる。子局がルータの場合、データリンクヘッダやIPヘッダの宛先アドレスや送信元アドレスから、デバイスドライバやIPスタックによって、そのようなフレームを破棄できる。しかし、子局がブリッジの場合は、本章で述べたようにMACアドレステーブルを間違えて学習してしまう。

本研究では、子局が擬似的なブロードキャストリンクに送信するデータリンクフレームに、送信子局を識別するヘッダ(以下LEDヘッダ)を付加し、この問題を解決する。子局は、擬似的なブロードキャストリンクにデータリンクフレームを送信、または転送する際、データリンクヘッダとIPヘッダの間にLEDヘッダを挿入する。LEDヘッダは6バイトの子局識別子フィールド

と、2バイトのプロトコルフィールドを持つ。子局識別子フィールドには、そのデータリンクフレームを送信する子局の仮想インタフェースのMACアドレスを記述する。LEDにおいて送信子局の識別子にMACアドレスを用いる理由は、各子局に固有の識別子を簡単に設定できるからである。プロトコルフィールドは、LEDヘッダに続くプロトコルヘッダを示し、例えばIPv4ヘッダの場合は0x0800になる。LEDヘッダを挿入したデータリンクフレームを図8に示す。

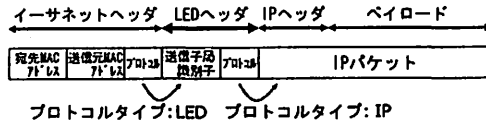


図8 LEDヘッダを挿入したデータリンクフレーム

子局は、仮想インタフェースからデータリンクフレームを受信した際、LEDヘッダの送信子局識別子フィールドを判別し、送信元がその子局自身ならばそのフレームを破棄する。送信子局がその子局自身ではない場合は、LEDヘッダを取り除き、そのフレームを受信する。また、データリンクフレームにLEDヘッダが挿入されていない場合、子局はそのフレームをそのまま受信する。

LEDヘッダによる送信子局の識別は以下のように動作する。図9は図7と同じネットワークポロジであり、子局Aと子局BはLEDの機能を持つブリッジである。

- 1 ノードXがノードYのMACアドレスを解決するため、ARP要求を送信したとする。
- 2 子局Aはこのブロードキャストフレームを擬似的なブロードキャストリンクに転送する。その際、データリンクフレームにLEDヘッダを挿入する。
- 3 親局は、子局から受信したデータリンクフレームを、フォワードリンクに代行して送信する。
- 4 子局Aは、擬似的なブロードキャストリンクからこのデータリンクフレームを受信するが、LEDヘッダの送信子局識別子が自分自身から送信されたフレームであることを示しているため、このフレームを破棄し、MACアドレステーブルを誤って学習しなくなる。

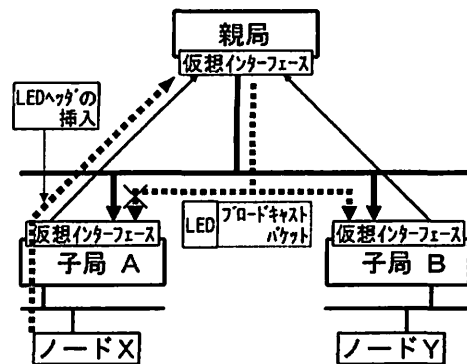


図9 LEDヘッダによる送信子局の識別

この一連の機構によって、子局が送信したデータリンクフレームを再び受信する問題を解決できる。

また、親局による送信の代行機構には、親局がブリッジの場合、フォワードリンクに無駄なトラフィックが流れる問題がある。例えば、親局がLANと擬似的なブロードキャストリンク間をブリッジしており、リターンリンクからLAN上のノードが宛先の

ユニキャストフレームを受信したとする。親局による送信の代行機構とブリッジの機能は別々に働くため、このようなデータリンクフレームはブリッジの機能によって LAN に転送されるほか、送信の代行機構によってフォワードリンクにも送信されてしまう。

この問題を解決するため、本機構では、子局が擬似的なブロードキャストリンクにデータリンクフレームを送信する際、親局によってフォワードリンクに代行して送信されるべきフレームと、その必要がないフレームを判別する。親局を宛先とするフレームと、親局がブリッジの場合に親局が接続する LAN 上のノードを宛先とするフレームは、親局がフォワードリンクに代行して送信する必要がない。この判別は子局で行い、子局は、親局と親局がブリッジしている LAN 上の MAC アドレスを格納する、親局による代行送信の不要宛先表を保持する。子局は、受信したデータリンクフレームに LED ヘッダが挿入されていなかった場合、親局や親局がブリッジする LAN 上のノードが送信したフレームであると認識し、送信元 MAC アドレスを代行送信の不要宛先表に格納する。子局は、擬似的なブロードキャストリンクにデータリンクフレームを送信する際、宛先 MAC アドレスが代行送信の不要宛先表に存在した場合は、LED ヘッダを挿入せず、そのままデータリンクフレームを送信する。親局は、受信したデータリンクフレームに LED ヘッダが挿入されていない場合、フォワードリンクへ代行して送信しない。このように判別を子局で行うことで、LED の負荷を親局と子局に分散させる。また、親局による送信の代行が不必要なデータリンクフレームから LED ヘッダを削ることで、帯域面での LED ヘッダのオーバーヘッドを軽減する。

5. 評価

本稿では、DVB-RCS を用いたネットワークをブロードキャストリンクにエミュレーションした場合、通信性能に影響を与えると考えられる以下の 3 つの点を評価する。

1 ブロードキャストフレームの流量

DVB-RCS を用いたネットワークには、大規模な子局が接続すると想定される。DVB-RCS をブロードキャストリンクにエミュレーションした場合、ノード数が増加するに従ってブロードキャストフレームの流量が増加すると考えられる。

2 経路制御プロトコルを動作させた場合のトラフィック流量

DVB-RCS を用いたネットワークでは、接続する大規模なルータが接続する可能性がある。LED による擬似的なブロードキャストリンク上で、これらのルータが RIP や OSPF を動作させた場合の経路制御メッセージの流量を検討する。

3 LED の性能

子局による LED ヘッダの付加や、親局による送信の代行機構が、既存の IP スタックと比較して十分に高速であるか評価する。

5.1 ブロードキャストフレームの流量

ブロードキャストフレームの流量は、使用するアプリケーションや、リンク上に存在するノード間の通信頻度によって大きく変化する。これらの条件を特定し評価するのは困難であるため、既存の末端ネットワークのブロードキャストリンクにおいて一定時間に流れるブロードキャストフレームの流量を計測し、同様の通信を DVB-RCS 上の擬似的なブロードキャストリンクで行った場合の流量を評価する。

実際に使われているイーサネットの末端ネットワークにおいて、30 分間に流れたブロードキャストフレームを計測した (表 1)。このリンクに参加するノード数は約 100 台であり、上流リンクには平均約 3.2Mbps のトラフィックが流れている。

この数値に基づき、DVB-RCS 上の擬似的なブロードキャスト

表 1 本稿ネットワークに流れたブロードキャストフレーム

パケットの種類	パケット数	バイト数	bps
ARP 要求	2018	128358	570
Net BIOS	286	38666	171
IGMP	6	360	1.60
合計	2310	167384	743.92

トリックに 1000 台のエンドノードが接続した場合のブロードキャストフレームの流量を検討する。表 1 の約 10 倍のブロードキャストフレームが流れると仮定すると、30 分間のフレーム数は 23100 であり、合計フレームサイズは約 1.67M バイトである。また、これらのブロードキャストフレームが子局から送信された場合、1 パケットにつき 8 バイトの LED ヘッダが挿入され、合計フレームサイズは約 1.86MByte となる。したがって、ブロードキャストフレームの流量は、約 8.26kbps となり、通常使われるフォワードリンクの回線速度 30Mbps に比べて十分に小さい。

5.2 RIP の流量

DVB-RCS を用いたネットワークを LED によってブロードキャストリンクにエミュレーションした場合と、親局と子局間の接続性を個別のポイントツーポイントリンクとして扱った場合とで、RIP2 を動作させた場合にフォワードリンクに流れる RIP パケットの流量を比較する。

DVB-RCS を用いたネットワークにおいて、ルータとして動作する 1 台の親局と 100 台の子局が存在すると仮定する。RIP2 のレギュラーアップデートの間隔を 30 秒とする。親局は静的に設定された 100 の経路を保持し、各子局は静的に設定された 10 の経路を保持する。経路、回線状態、ルータの状態は変化しないものとする。

RIP2 では、ポイズンリバースを使用するか管理者が設定し、ポイズンリバースを使用する場合と使用しない場合とで、トラフィックの流量が大きく変化する。ポイズンリバースを使用する場合、ルータは、あるセグメント上の隣接ルータから最もメトリックが低い到達可能情報を受信すると、そのセグメントにおいてメトリックを最大に設定した同一の到達可能情報を送信する。このため、ポイズンリバースを使用しない場合と比較して、各ルータから多くの到達可能情報が広告される。

DVB-RCS をブロードキャストリンクに抽象化した場合について議論する。ポイズンリバースを使用しない場合、親局は RIP 応答メッセージによってレギュラーアップデートごとに 100 の到達可能情報を広告する。RIP 応答メッセージは最大で 25 の到達可能情報しか広告できないため、25 経路の到達可能情報を含むメッセージを 4 パケット送信する。このメッセージは、12 バイトの RIP ヘッダ、20 バイトの IP ヘッダ、14 バイトのイーサネットヘッダを加えて 546 バイトである。子局はレギュラーアップデートごとに 10 の到達可能情報を含む RIP 応答メッセージを 1 パケット送信する。RIP 応答メッセージはマルチキャストフレームであるため、子局が送信する場合は LED ヘッダが付加され、データリンクフレームのサイズは 254 バイトとなる。親局と子局すべての RIP 応答メッセージの流量は、平均して約 7.35kbps であり、フォワードリンクの回線速度 30Mbps に比べて十分に小さい。

ポイズンリバースを使用する場合、各ルータは、擬似的なブロードキャストリンク上の隣接ルータから学習した到達可能情報を、メトリックを最大に設定して同一リンク上に広告する。このため、各ルータが広告する到達可能情報は経路制御ドメイン内の全経路数となり、1100 経路である。レギュラーアップデートごとに、親局は 546 バイトの RIP 応答メッセージを 44 パケット送信する。子局は 8 バイトの LED ヘッダが付加された 554 バイトの RIP 応答メッセージを 44 パケット送信する。この場合、

RIP 応答メッセージの流量は約 656Kbps となる。

次に、DVB-RCS を用いたネットワークにおいて、親局と子局間の接続性を個別のポイントツーポイントリンクとして扱った場合について議論する。ポイントツーポイントリンクでは、親局と子局だけが通信するため、子局からの RIP 応答メッセージはリターンリンクだけに流れる。親局は各子局と接続する論理的なポイントツーポイントリンクすべてにおいて、レギュラーアップデートごとに RIP 応答メッセージを送信する。

ポイズンリバースを使用しない場合、親局が送信する RIP 応答メッセージは、親局に静的に設定された 100 経路の到達可能情報と、送信先以外の子局から受信した 990 経路の到達可能情報を含み、合計 1090 経路の到達可能情報を広告する。100 台の子局に対し、1090 の到達可能情報を広告した場合のトラフィック量は約 635kbps である。

また、ポイズンリバースを使用する場合、親局が送信する RIP 応答メッセージは、経路制御ドメイン内の全経路の到達可能情報を含む。親局は 1100 経路の到達可能情報を 100 台の子局に広告し、このトラフィックの流量は約 641Kbps となる。

これらの結果から、ポイズンリバースを使用する場合、本研究による解決手法では、ポイントツーポイントリンクに抽象化する手法と同程度のトラフィックがフォワードリンクに流れることが分かった。しかし、ポイズンリバースを使用しない場合、本研究による解決手法は、ポイントツーポイントリンクに抽象化する手法と比較し、フォワードリンクにおける RIP2 のトラフィック量を大きく削減することが分かった。

5.3 LED の性能

FreeBSD 4.8-Release 上に LED を実装し、図 10 に示す試験環境において本実装と既存の IP スタックの処理性能を比較した。図 10 の試験環境では、親局と子局に LED の実装とイーサネットのインタフェースを持つ PC を使用した。フォワードリンクとリターンリンクにはイーサネットを用い、図 10 の矢印方向以外に送信できないように、各ノード上のデバイスドライバで片方向にフィルタした。

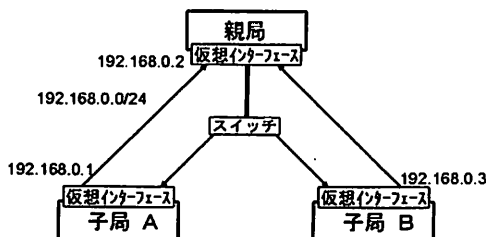


図 10 親局、子局の試装のトポロジ

上記のトポロジにおいて、子局 A から子局 B までの RTT (Round Trip Time) を計測した。また、比較対象として、図 10 で用いた PC ルータを直列に 3 台接続し、両端のルータ間の RTT を計測した。結果を表 2 に示す。

	最小 RTT	平均 RTT	最大 RTT
LED の実装	0.159sec	0.164sec	0.537sec
既存の IP スタック	0.170sec	0.175sec	0.461sec

LED を用いた試験環境では、子局から子局へ送信されたデータリンクフレームは、送信元の子局が LED ヘッダを付加し、親局が代行してフォワードリンクに送信し、宛先の子局が LED ヘッダを除去し受信する。比較対象とした既存の IP スタックを用いた環境では、中間のルータが IP フォワーディングによってパケッ

トを転送する。表 2 において、本研究における LED の実装は、既存の IP スタックよりも平均 RTT が短い。したがって、本実装における LED の処理は、既存の IP スタックにおける IP フォワーディングよりも高速であった。

6. まとめと今後の課題

本稿では、DVB-S と DVB-RCS を組み合わせて用いた双方の衛星通信を、インターネットにおいて既存の回線と同様に利用するため、ブロードキャストリンクにエミュレーションする手法を提案した。

DVB-RCS を用いたネットワークは片方向回線の集合であり、ARP、経路制御プロトコル、IGMP といった既存のインターネット技術が正常に動作しないことを述べた。この問題を解決する手法を議論し、親局と子局すべてが接続する擬似的なブロードキャストリンクを構築する手法が、他の解決手法と比べて有効であることを述べた。本手法を用いて LED を設計し、仮想インターフェース機構、親局による送信の代行機構、LED ヘッダによる送信子局の識別機構の 3 つの機構が必要であることを述べた。LED はデータリンク層のブリッジングやネットワーク層のルーティングよりも下位レイヤで動作し、親局や子局がルータとブリッジのいずれ場合も、DVB-S と DVB-RCS を組み合わせて用いたネットワークを擬似的なブロードキャストリンクとして利用できる。これによって、DVB-RCS を汎用的にインターネットで利用可能にした。

評価では、DVB-RCS を用いたネットワークに大規模な子局が接続した場合を想定し、イーサネットによる末端ネットワークのブロードキャストフレームの流量をもとに、大規模なブロードキャストリンクに流れるブロードキャストフレームを検討した。その結果、末端ネットワークの場合、ブロードキャストフレームはフォワードリンクの帯域に比べて十分に小さいことがわかった。次に、DVB-RCS を用いたネットワークにおいて RIP2 を動作させた場合の経路制御メッセージの流量を計算した。親局と子局の接続性をポイントツーポイントリンクに抽象化した場合と、LED によってブロードキャストリンクにエミュレーションした場合とで比較し、RIP を動作させた場合は、ポイズンリバースを使用すると、ポイントツーポイントリンクに抽象化する手法よりも本手法が経路制御メッセージの流量を大幅に削減できることがわかった。また、PC 上に LED を実装し、本実装の動作と既存の IP スタックの処理性能を比較した。その結果、本実装は既存の IP スタックよりも高速であった。

今後、LED を用いた擬似的なブロードキャストリンク上で OSPF や IS-IS など RIP2 以外の経路制御プロトコルを動作させた場合の評価が必要である。また、本機構の実用化を進めるため、実際に DVB-RCS を用いたネットワークにおいて本機構の動作検証と性能測定を行う必要がある。

参考文献

- 1) DVB Working Project: <http://www.dvb.org>.
- 2) ETSI Telecom Standards: "ETSI EN 301 790 v1.3.1" European Standard March 2003.
- 3) H.Izumiyama, N.Fujii. A Link Layer Tunneling Mechanism for Unidirectional Links, March 2001. RFC 3077
- 4) C.plummer. An Ethernet Address Resolution Protocol. November 1982. RFC 826.
- 5) G.Malkin. RIP version 2. November 1998. RFC 2453.
- 6) J.Moy. OSPF version 2. April 1998. RFC 2328.
- 7) W.Fenner. IGMP version 2. November 1997. RFC 2236.
- 8) ATM Forum. LAN Emulation over ATM version 2 - LNNI Specification. February 1999.