

広帯域ストリーミングにおける効率的配送に関する研究

三宅 喬[†] 阿部 哲士^{††} 小川 晃通^{†††} 小林 和真[†]

[†] 倉敷芸術科学大学 産業科学技術研究科 〒712-8505 岡山県倉敷市連島町西之浦 2640 番地

^{††} アクセリア株式会社 〒102-0084 東京都千代田区二番町 12-13 セブネスビル 3 階

^{†††} 慶應義塾大学 政策・メディア研究科 〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322

E-mail: †{miyake,kazu-k}@soft.kusa.ac.jp, ††a3104@accelia.net, †††akimichi@sfc.wide.ad.jp

あらまし 次世代インターネットを想定したアプリケーション開発が積極的に行われ、デジタルビデオ (DV) 品質の動画像を家庭に届けることが可能になってきている。しかし、これらの多くは、特定の実験ネットワーク環境を想定し設計されており、構築済みの商用ネットワークで大規模に配信することが困難である。そこで、ブロードバンド化などの次世代インターネット対応を実施した場合を想定し、IP プロトコルやマルチキャスト伝搬性に依存しない大規模 DV 映像伝送システムを提案する。提案システムは、DVTS を用いた配信映像を複数に分割するスプリッタを多段に構成し、効率的に DV 画像を伝送できる仕組みを提供する。また、IPv4/v6、ユニキャスト/マルチキャストの相互変換機能を有し、既存ネットワークにも柔軟に適用できる。実際に JGN IPv6 ネットワークで伝送実験を行い、有効に機能することも確認している。

キーワード DVTS, 広帯域ストリーミング, IPv6, CDN

The research of efficient transport for BroadBand streaming

Takashi MIYAKE[†], Satoshi ABE^{††}, Akimichi OGAWA^{†††}, and Kazumasa KOBAYASHI[†]

[†] Kurashiki University of Science and the Arts. 2640 Turajima, Kurashiki, Okayama, 712-8505 Japan

^{††} Accelia Inc. 3rd floor, Seveness Building, 12-13 Niban-cho Chiyoda-ku, Tokyo 102-0084 Japan

^{†††} Graduate School of Media and Governance, Keio University, 5322 Endo, Fujisawa, Kanagawa

252-0456 Japan

E-mail: †{miyake,kazu-k}@soft.kusa.ac.jp, ††a3104@accelia.net, †††akimichi@sfc.wide.ad.jp

Abstract Recently, the application development for the next generation Internet has become active. For example, delivering the dynamic scene of a digital video (DV) quality to the home by the Internet has become possible. However, it is difficult to apply these applications in the existing commercial network because these are designed for a specific experiment network environment. Then, we propose a large-scale system which transmits the DV quality images by no dependence on the IP protocol version and the multicast propagation by assumption that the existing commercial network executes the correspondence of the next generation Internet such as making to broadband. The system which proposes multistep tree structure composes the split device which transmits the image which uses the DVTS application to the multiple user. As a result, we offer the mechanism that the DV image can be efficiently transmitted even in the install based commercial network. In addition, because this system has the mutual translation function of IP protocol version v4/v6 and unicast/multicast, the application has wide coverage. And, it is confirmed to function effectively by the transmission experiment in the JGN IPv6 network.

Key words DVTS, BroadBand Streaming, IPv6, CDN

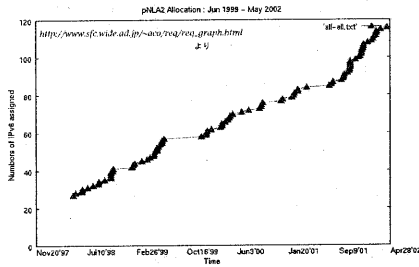


図1 WIDEプロジェクトにおけるIPv6アドレス割り当て状況

1. はじめに

次世代インターネット技術には、“IP version 6(以下 IPv6)” [1] とブロードバンド (Broadband) という二つの注目されているキーワードがある。日本を中心とするアジア諸国では、IPv6 に対する関心が特に高く、その環境は次第に一般に普及しつつある (図 1)。ユーザが普段利用しているパーソナルコンピュータ用のオペレーティングシステムも、その殆どが IPv6 対応を完了しており、インターネットサービスプロバイダ (Internet Service Provider) も、その多くが IPv6 による商用サービスをすでに開始している。近い将来に予測される IPv6 の大幅な普及により、これまでに無かった様々な利用形態が誕生してくるということが想像できる状況になりつつある。

ブロードバンドネットワークの急速な普及は、ユーザが利用できるアプリケーションを格段に増加させた。xDSL や CATV、あるいは FTTH に代表されるラストマイルのブロードバンド化は、Windows Media Streaming に代表される動画伝送や音楽データのダウンロードなど、ブロードバンドならではの利用形態を一層拡大させている。近い将来、ラストマイルで利用可能なネットワーク帯域は 100Mbps 以上になることが予測でき、これまでは必要帯域が十分でないために利用できなかったアプリケーションにも利用拡大のチャンスが訪れている。

我々が研究の対象としてきた Digital Video Transport System(以下 DVTS) [2] も、こうした次世代アプリケーションの一つである。DVTS は、WIDE プロジェクトと独立行政法人通信総合研究所が共同で開発した次世代ビデオ伝送システムで、民生用の安価な Digital Video(以下 DV) 機器を利用して、高品位ビデオ画像をインターネットで配信できるようにしたシステムである。DV フォーマット (約 25Mbps) をそのまま圧縮せずに伝送する方式であるため、ネットワーク化のオーバーヘッドを含めて約 30Mbps の伝送帯域を必要とするアプリケーションである。加えて、既存の IP プロトコルである IP version 4 (以下 IPv4) でも、次世代 IP プロトコルである IPv6 でも利用可能であり、実際に WIDE プロジェクトの次世代インターネット教育システムである School of Internet(SOI) や国内最大のインターネット総合展示会である Networld+Interop などでも頻繁に利用されている。また、ソースコードが公開されていることもあり、DVTS を応用した様々なアプリケーション開発も

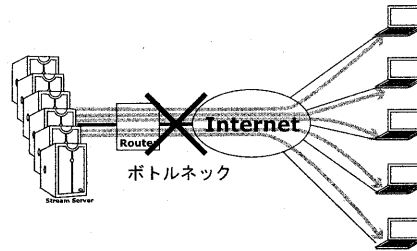


図2 ユニキャストのボトルネック

盛んである [3][4][5]。

一方、DVTS は既存のネットワークで大規模な配信ができないという問題がある。

本論文では、この問題を解決するための手法を提案しプロトタイプの実装を行う。また、提案手法の有効性を検証するために、既存の大規模実験ネットワークを用いた実証実験を行い、実用の可能性を示す。

2. DVTS 配信の問題点

DVTS でストリーム配信を行う際に、“ユニキャストの帯域が不足する問題”と“マルチキャストの伝搬性に関する問題”、“プロトコルバージョンの違いにより通信できない問題”がある。

ユニキャストで帯域が不足する問題を解説する。ユニキャストは一台の受信装置が一本のストリームを受信するため、回線帯域は受信装置が増加すると比例して上昇する (クライアント数 × ストリーム帯域)。そのため、送信装置側のネットワークとインターネットとの接続回線帯域がボトルネックになり大規模な配信が実現できない可能性がある (図 2)。また受信装置数の増加に比例して送信装置を用意しなければならないため、膨大なリソースや高いオペレーションコストを必要とする。

この問題を解決するために開発されたマルチキャストは、同一データを複数の受信者に対して送信することが可能な技術だが、マルチキャストもマルチキャストルーティングに関する問題を抱えている。現状ではマルチキャストを利用できるインターネットサービスプロバイダは非常に少ない。ルータを経由したマルチキャスト通信を実現するためには、経路上の全てのルータでマルチキャストルーティングの設定を行わなければならない。インターネットは管理ポリシーがそれぞれ異なる自律分散型のネットワークであり、マルチキャストルーティングの設定を全ルータに設定することが難しい。そのためマルチキャストの有効利用範囲は、ネットワーク管理者またはユーザが望むセグメントのみというのが現状である。

次に、IP プロトコルのバージョンに関する問題を説明する。IPv4 と IPv6 は相互に互換性がないためネットワーク上の回線、ネットワーク機器、エンドホストが同一のプロトコルバージョンを利用して通信する必要がある。例えば、倉敷芸術科学大学では IPv4 の対外回線は約 10Mbps であるが、IPv6 は JGNv6 [6] と接続された 622Mbps の対外回線がある。つまり本学で広帯域ストリームを配信するためには回線帯域の広い

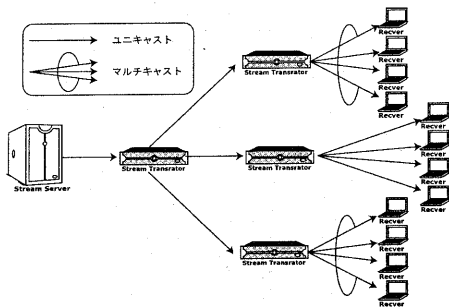


図3 ストリームトランスレータ概念図

IPv6 ネットワークを利用する必要がある。しかし、通信相手が、IPv4 しか利用できない場合には通信することができない。

3. 配信方式の提案

これまで述べてきた問題点を考慮し、ユニキャストとマルチキャストの双方の利点をできるだけ活用できるように、ストリーム配信ネットワークの構成を提案する。

まず、ユニキャストは、全てのルータに設定されているため、広域での通信を確立することは非常に容易である。そしてマルチキャストは組織の一部で多人数が受信する場合に回線帯域を節約できるというメリットがある。これら2つの通信技術は互いにメリットを共有することが可能である。しかし、今まではユニキャストとマルチキャストを組み合わせることで DVTS でストリーム配信するための装置がなかったため、効率的な配信を行うことができなかった。

そこで、ユニキャストとマルチキャストが混在可能で、なおかつ IPv4 と IPv6 が混在可能なストリーム配信ネットワークの構成を実現するためのサロゲートを実装する。このサロゲート機能を有したソフトウェアを以下「ストリームトランスレータ」と呼ぶ。ストリームトランスレータを設置することで、図3のような配信構成となり、送信装置からの配信をネットワークの途中で分散することが可能になる。また、ストリームトランスレータを多段に設置することで、より大規模な配信を行うことができると同時に、ストリーム自体のプロトコルや、ユニキャスト、マルチキャストの変換を行うことができるため、既存のネットワークに柔軟に対応できる。

3.1 ユニキャストで延長、分散する方式

ユニキャストで多地点に配信する場合、送信装置側の対外回線を全てのストリームが通過するためクライアントの台数によっては帯域が不足する。これを解消するためにネットワークの帯域が十分な場所、または経路の分岐点まで1本のストリームだけを配信し、そこからストリームトランスレータを利用してユニキャストで分散することでネットワークの帯域を効率よく利用できる(図4)。また、ストリームトランスレータを多段に構成し、ストリームの分散を繰り返すことでネットワーク帯域が許す限りのストリームを配送でき、クライアント数の増加に対応することが可能になる。

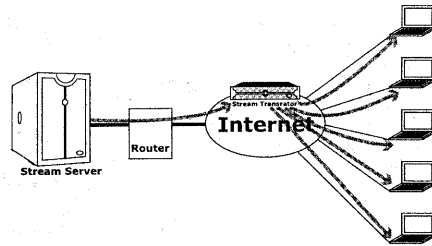


図4 ユニキャストで延長、分散する方式

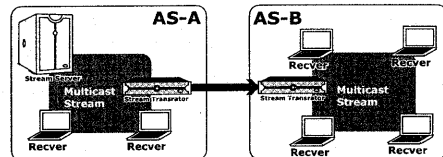


図5 IXを経由したAS間マルチキャスト配信

ストリームトランスレータは、送信装置と受信装置を1対Nで設置することができるため、帯域問題の解消と同時に配信側の運用オーバーヘッドも軽減することが可能である。

3.2 IXを経由したAS間のマルチキャスト配信を可能にする方式

IXを経由する Autonomous System(以下 AS)間でのマルチキャストストリーミングを行う場合、Multiprotocol extension Border Gateway Protocol(MBGP) [7] や、Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM) [8] などのマルチキャストルーティングプロトコルを利用して、配信を実現していた。しかし、この方法を行うためには、通信経路の途中にある全てのルータにマルチキャストルーティングを設定する必要がある。そこで、AS間にまたがる部分のみをユニキャストに変換することで中継する方式を提案する。

送信元のASをAS-A、受信側のASをAS-Bと仮定したネットワークに適用する場合の例を図5に示す。AS-Aの送信装置は自組織のクライアントに帯域的に効率よく配信するためマルチキャストでの通信を行う。マルチキャストで配信されたデータをストリームトランスレータが取得し、ユニキャストに変換してAS-Bに設置したストリームトランスレータに対して配信を行う。AS-Bに設置したストリームトランスレータは、AS-Aのストリームトランスレータから受信したユニキャストのストリームをマルチキャストに変換して、AS-Bのクライアントに配信を行う。AS-A内にクライアントがいなければ、送信装置から直接相手組織のクライアントに対して、ユニキャストのストリームを配信してAS-Bに配信することも可能である。

この配信方式によりIXを経由するマルチキャストストリーミングがIX上で他の接続組織に影響を及ぼすことなく、両端のネットワークで同じ映像をマルチキャストで配信することが可能となる。

3.3 プロトコル変換する方式

ネットワーク機器やクライアントコンピュータの制限により、

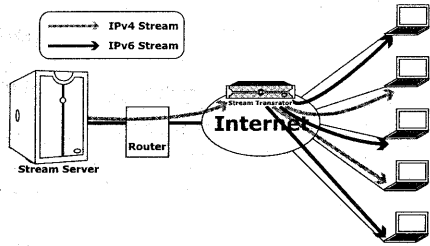


図 6 プロトコル変換する方式

利用可能な IP プロトコルに制限がある場合、IPv4 と IPv6 の互換性がないために通信を行うことができない。そこでネットワークの途中でストリームパケットのプロトコルを変換して、送信装置と受信装置がそれぞれ違うプロトコルであってもストリームを配信できるようにする方法を提案する (図 6)。

IPv4 から IPv6 へのプロトコル変換は、IPv4 のヘッダを DVTS ストリームのパケットから取り除き、IPv6 のヘッダに変更すればよい。IPv6 から IPv4 に変換する場合も全く同じようにヘッダを入れ替えばよい。

4. 設 計

提案方法を実現するためには、下記の機能の全てを実現する実装が必要である。

- ・ ストリームを中継点で分散できる
- ・ 多段にすることができる
- ・ ユニキャスト、マルチキャストの相互変換
- ・ IPv4、IPv6 の相互変換
- ・ 取得パケットのネットワーク層に依存しない

本実装は、基本的な機能としてストリーミングのパケットを取得し、再配信すると同時に上記の機能を実現する。再配信する際に必要となる情報は下記である。

- ・ 再配信ホストに関する情報
- ・ 取得ストリームのポート番号
- ・ ストリームを取得するインターフェイス名
- ・ マルチキャスト TTL

これらの情報を与えるため再送信設定ファイルと、コマンドライン引数を用いる。

ストリームを配信するためにはまず、そのデータを取得する必要がある。そのための方法には、次の二つの方法がある。一つは通常の通信ソケットを利用する方法、二つ目はネットワークを流れるパケットをキャプチャする方法である。この二つの方法を比較すると、通信ソケットは事前に取得したいパケットのプロトコル、ユニキャスト、マルチキャスト、TCP、UDP といった情報を必要とするのに対し、キャプチャ方式は、ヘッダを含めたデータの全てを取得することができるため、取得したいパケットが IPv4、IPv6、ユニキャスト、マルチキャストのように複数の場合は、キャプチャ方式の方が容易に取得できることがわかる。よって、後者のパケットをキャプチャする方法でストリームトランスレータを実現する。

表 1 実装環境

OS	FreeBSD 4.5-RELEASE
開発言語	C 言語
ステップ数	450

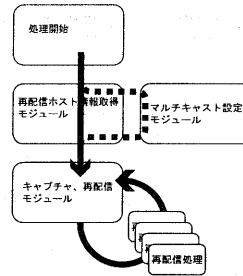


図 7 モジュール相関図

```

host.domain.net    YourHost
10.0.0.1           PrivateHost
3ffe:501::1       MyIPv6Host
ff05::4649        fxp0
224.0.1.1         fxp1
  
```

図 8 再送信設定ファイル

取得したパケットを、事前に設定したホストに再配信を行うためにはそれぞれの宛先に対応した通信ソケットを作成する必要がある。IPv4 と IPv6、ユニキャストとマルチキャストを指定する場合には、この通信ソケットに対して設定することで、プロトコル、ユニキャスト、マルチキャストの変換が実現できる。

作成した通信ソケットに対して、ストリームパケットのデータ部分を付加して送信を行えば、パケットの再配信が実現できる。また、再配送の処理を行う際に、一つのデータ部分を複数の通信ソケットに対して送信することで、分散処理も可能となる。

5. 実 装

実装環境は一般的に市販されているコンピュータで行った (表 1)。

詳細に実装を解説するために、モジュールに必要なパラメータを与えるための設定ファイルをまず解説する。次にモジュールの相関図を示し、順を追ってモジュールの解説を行う (図 7)。

5.1 再配信設定ファイル

再配信設定ファイルとは、受信装置の IP アドレス情報を列挙したファイルである (図 8)。

再配信設定ファイルにはホスト名、IPv4 アドレス、IPv6 アドレス、IPv4 マルチキャストアドレス、IPv6 マルチキャストアドレスのいずれかを記述することができる。マルチキャストアドレスの場合は、IPv4、IPv6 共に、TAB のあとにマルチキャストストリームを出力させたいネットワークインターフェイス

名を記述する必要がある。ユニキャストの場合は IPv4、IPv6 共に記述したアドレスの後ろにコメントを入力することができる。アドレスとコメントのセパレータは TAB である。

5.2 再配信ホスト情報取得モジュール

本モジュールは再配信するホストに IPv4、IPv6 のどちらで通信を行うのかを判定し、IP ヘッダを作成するための手続きを行う。モジュール内で全再配信ホストのプロトコル情報取得に "RFC 2554 Basic Socket Interface Extensions for IPv6" [9] で定義されている `getaddrinfo()` 関数を利用して再配信ホストの情報を取得する。`getaddrinfo()` 関数を設定ファイルの全再配信ホストに対して実行することで、通信に必要とする情報を取得できる。取得した情報は、動的な追加や削除を考慮し線形リスト構造で保持している。

`getaddrinfo()` 関数は、引数にホスト名が記入されていた場合 DNS サーバからの応答を名前解決に利用する。DNS には IPv4 正引用の A レコードや IPv6 正引用の AAAA レコードが記述されており、両方のレコードが 1 つのホスト名に対して設定されていた場合、通常は先に IPv6 の AAAA レコードが優先的に利用される。そのため IPv6 の AAAA レコードが DNS に登録されていた場合 IPv6 での通信を試みる。

5.3 マルチキャスト設定モジュール

本モジュールは、最初に再配信設定ファイルに設定されているアドレスがマルチキャストアドレスかどうかを判定する。次に、設定されたアドレスがマルチキャストアドレスだった場合のみ、該当する通信ソケットに対してマルチキャストフラグ、送出インターフェイス、Time To Live(TTL) をソケットオプションで指定する。TTL の指定は、コマンド実行時のコマンドライン引数で設定することができ、デフォルトの値はルータを越えないように 1 に設定している。

5.4 キャプチャ、再配信モジュール

パケット受信部分として、本モジュールでは `libpcap` ライブラリ [10] を利用してストリームデータを取得する。`libpcap` には、受信の際にデータのフィルタリングができるようフィルタ機能が実装されており、本モジュールもこの機能を利用して、DVTS ストリーミング以外のパケットを排除している。フィルタでは、様々なパケットの種類を指定することができるが、ポート番号をコマンドライン引数で設定していない場合、DVTS が標準で利用する UDP の 8000 番ポートのパケットだけを取得するようフィルタを設定している。

ポート番号がフィルタと一致するパケットは `libpcap` のハンドル関数に渡され、DVTS ストリームの再送処理をパケットごとに行う。なお `libpcap` ではパケット取得以降が無限ループになっているため、"パケット取得⇒再配信" を繰り返す。

無限ループ内の最初の処理は、取得したパケットのヘッダ長に応じてデータ部分までポインタを移動し UDP ヘッダより上位のデータ部分から利用できるようにすることである。次に、再配信ホスト情報モジュールで作成した通信ソケットに対してデータの送信を行う。また、送信部分の処理を再配信すべき通信ソケットの全てに送出することで分散機能を実現している。

表 2 通常の DVTS パケット損失率

場所	TrafficType	Total pkt	Drop pkt	DropRate
Recver	Unicast/IPv6	41781000	56	0.00013 %

6. 評価

ストリーミングの目的は受信装置で映像を受信することである。パケットの損失は映像を構成するデータの欠落を意味し、大きな問題となる。そこで、ストリームトランスレータで大規模に配信する場合に必要なと思われる下記の条件に関して計測を行った。

- ストリームトランスレータが一段の時のパケット損失率
- ストリームトランスレータが多段の時のパケット損失率
- 1 台でのユニキャスト分散限界数
- パケット到着間隔
- 広域配信時のパケット損失率

なおパケット損失の計測は、DVTS に内蔵された "-L" オプションを利用した。"-L" オプションは Real Time Protocol(RTP) [11] ヘッダに内蔵されたシーケンス番号を元に、3000 個のパケットごとに損失したパケット数を計測できる。

この評価で利用した NTSC 規格の DV は、1 フレーム分の音と映像を構成するために 1500 個の DIF block と呼ばれる 80byte ごとのデータにより構成されている。DVTS では 1 つの IP パケットに 17 個の DIF block をカプセル化しており、1 フレームを構成するための約 1% にすぎない。なおかつ NTSC では 1 秒間に 29.97 フレームを送出するため、多少のパケットロスならば、音と映像にまぎれてしまい十分実用に耐える品質を提供することが可能である。よって、本実験の評価としては、ストリームトランスレータを経由しても通常の DVTS で発生する 10^{-4} 程度のパケット損失に抑えることを目指した (表 2)。

また、実証実験の実施中に Layer2 スイッチの仕様に関する問題も発生した。Layer2 スイッチは基本的に双方向のトラフィックからフォワーディングデータベースを作成するため、DVTS のような片方向のトラフィックでは正常にフォワーディングデータベースを維持することができない。そのため、フォワーディングデータベースの保持期間を過ぎると、フォワーディングデータベースから削除されてしまい、パケットロスやほかのポートのトラフィックに影響を及ぼすなどの不具合が発生する。不具合の状況はスイッチの実装によって異なる。あるスイッチは全てのポートにトラフィックを送出するが、他のあるスイッチはパケットの転送がソフトウェアによって行われるようになり、性能の低下を招く。この問題を回避するために、ストリームトランスレータから全ての受信装置に対してストリームと同時に ping のような双方向のトラフィックを生成するコマンドを利用して対応する必要がある。

6.1 ローカル実験

まず、プログラムが正常に動作するか検証するため実験環境を構築した (図 9)。また、ストリームトランスレータ用の装置として DELL Computer 社の PowerEdge2550 を利用した (表



図9 ローカル実験環境

表3 検証に使用したPCのスペック

品名	Dell PowerEdge2550
CPU	1.26Ghz
Memory	1Gbyte
NIC	100base-TX
NIC	1000base-TX

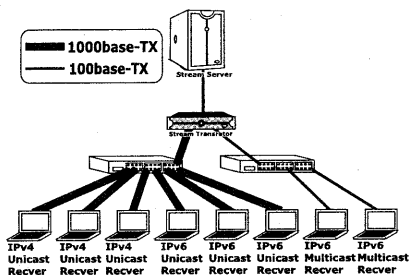


図10 ローカル実験トポロジ

3).

最初に一台のスプリッターでパケット損失が起きないことを検証するために、合計3時間程度の運用試験を行った。運用試験では、IPv4ユニキャスト、IPv6ユニキャスト、IPv6マルチキャストの3種類のパケットを8台の受信装置に対して送信した(図10)。なお、1時間の計測を3回行い平均値を算出した。

表4の“DropRate”を見ると、パケットの損失率が 10^{-4} 以下であることが読み取れ、分散機能、プロトコル変換、ユニキャストマルチキャスト変換機能、分散機能を利用しても大幅なパケット損失が起きておらず、十分実用に耐えられることがわかった。同じ環境で分散機能の限界値の計測も実施した。実験リソースの不足により、必要台数分の受信ホストを用意することができないので、3台のホストを利用して疑似環境を作成した(図11)。1台の受信装置には複数のストリームを配信し、残りの2台には1ストリームずつ送信を行った。複数のストリームを受信しているホストは、ただ単にストリームトランスレータからのデータを受け取っているだけであり、特別な処理は行っていない。ストリームトランスレータは同一ストリームを複数に分散し、送信するだけであり、他の2台の受信装置が

表4 各ホストのパケット損失率

場所	TrafficType	Total pkt	Drop pkt	DropRate
Host1	Unicast/IPv6	10800000	0	0.0%
Host2	Unicast/IPv6	10800000	0	0.0%
Host3	Unicast/IPv6	10800000	14	0.00012%
Host4	Unicast/IPv4	10800000	32	0.00029%
Host5	Unicast/IPv4	10800000	18	0.00016%
Host6	Unicast/IPv4	10800000	21	0.00019%
Host7	Multicast/IPv6	10800000	96	0.00088%
Host8	Multicast/IPv6	10800000	55	0.00050%

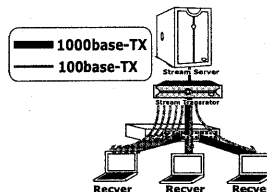


図11 分散限界数の計測トポロジ

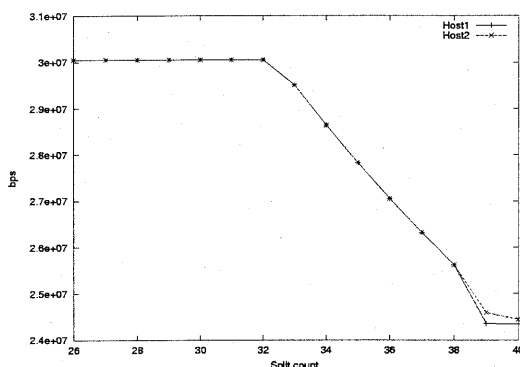


図12 帯域と分散数の関係

正常に受信できていれば、残りの複数のストリームも送出については問題がないことがわかる。よって、計測は、2台のホストで行い双方の結果を比較した。比較の対象は、両ホストで計測したストリームの受信帯域と、パケット損失率である。ストリームの帯域計測はtcpstat[12]コマンドで行い、パケットの損失はDVTSの“-L”オプションを利用した。その結果、分散機能の限界値は、32ストリームであることがわかった(図12)(図13)。CPUの利用率は約90%で多少の余裕があったが、出力帯域は約980Mbpsで、ハードウェアの送出限界に達している。また、二つのホストの計測結果は酷似したデータになった。

次に、多段構成の場合も正常に動作することを検証するために段数が九段のネットワークを構築して検証を行った(図14)。一段での実験と同じように多段にした場合のパケットの損失率を計測した(表5)。結果を解析すると、全計測結果のうち、損失が発生した部分は連続しており、2度まとまったパケット損失が発生している。この数値は、両方とも13パケットの損失であった。この損失を画像部分が欠落したと仮定すると、画像の

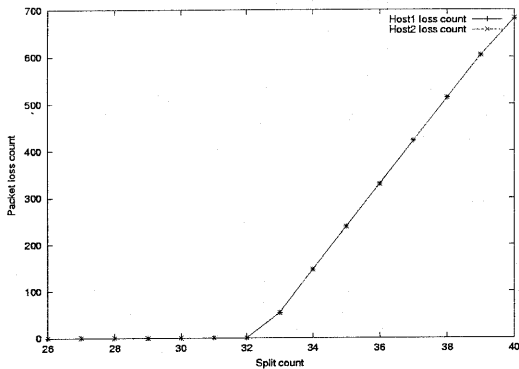


図 13 パケット損失と分散数の関係

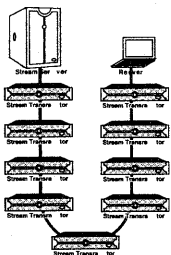


図 14 ローカル実験多段トポロジ

表 5 9 段構成でのパケット損失率

TrafficType	Total pkt	Drop pkt	DropRate
Unicast/IPv6	16419000	26	0.00015 %

四分の一が 33ms(1 フレーム分) 抜け落ちる状態が 2 回発生したことになる。

多段の環境で、パケットの到着間隔が乱れ DVTS の受信側に用意されているバッファ容量を越えると映像再生に影響するため到着間隔も計測をおこなった。計測は tcpdump [10] で、パケットが到着した時間間隔を計測した。通常の DVTS は最大で約 0.00052 秒到着間隔が開いている。到着間隔の時間にもばらつきがある (図 15)。これはデバイスドライバから DV データを取得したタイミングで送信を行っているためである。

ストリームトランスレータを経由したパケットは libpcap でバッファリングされるため、到着間隔の乱れが通常の DVTS よりも遥かに起こらず、ばらつきも少ない (図 16)。

ストリームトランスレータを利用しない場合よりも、利用した場合の方が、到着間隔が均等になり、個々のパケットが安定した間隔で送信されている。そして、全てのパケットが最大値の 0.00052 秒を越えていないため、到着範囲は十分に許容範囲である。

6.2 宮城 IT フォーラム配信実験

2001 年 5 月 21 日に宮城 IT フォーラムの配信実験を行った。この実験の目的は、大規模配信を実現するための本実装を、JGnv6 に適用し、動作検証を行うことである。検証項目には

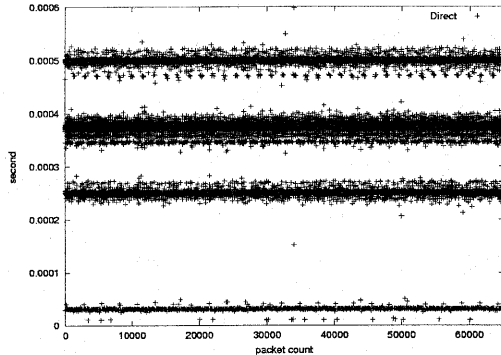


図 15 通常の DVTS パケット到着間隔

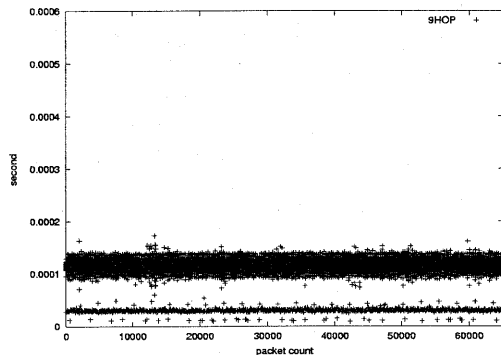


図 16 9 段構成の場合のパケット到着間隔

下記のものがある。

- ・分散機能
- ・多段構成
- ・ユニキャストマルチキャスト変換機能
- ・プロトコルバージョン変換機能

映像配信は、受信装置で映像を受信できることが重要である。そのため、これらの評価は、ローカル実験と同じように DVTS の“-L”オプションを利用して、パケットの損失率を計測した。

JGnv6 で利用されている IPv6 対応ルータは、IPv6 のマルチキャストルーティングプロトコルが実装されていない機器もある、そのためユニキャストも併用して実験を行った。

またこの実証実験ではストリームトランスレータの実験と同時に、IPv6 マルチキャスト対応のルータで問題なく通信ができるかどうかの実験も同時に行うため、JGnv6 上に IPv6 マルチキャスト対応ルータだけの専用ネットワークを作成して配信を行った。JGnv6 は Layer2 回線に Asynchronous Transfer Mode(ATM) を利用している。その性質により、論理的なトポロジを自由に変更でき、実験構成を容易に構成することが可能である。

宮城 IT フォーラム配信実験では 6 サイト、7 ホストでデータ採取を行った。実験では、宮城からのストリームを岡山検証評

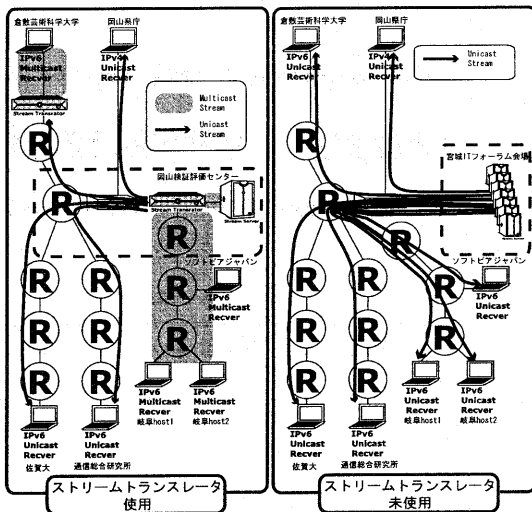


図 17 物理的ネットワーク構成図

表 6 各地のデータ

場所	Traffic Type	Total pkt	Drop pkt	DropRate
通信総合研究所	unicast/IPv6	2595000	982	0.037%
ソフトビジュアパン	multicast/IPv6	2625000	214	0.008%
岐阜 host1	multicast/IPv6	2619000	1891	0.072%
岐阜 host2	multicast/IPv6	2661000	2143	0.080%
佐賀大	unicast/IPv6	2694000	54	0.002%
岡山県庁	unicast/IPv4	2655000	132	0.004%
京都産科大	unicast/IPv6	2634000	38	0.001%

価センターでユニキャスト 4 本とマルチキャスト 1 本に分散できた。ネットワーク的に広帯域な岡山検証評価センターにストリームトランスレータをおくことで、6 つのサイトへの配信も、帯域を効率的に利用することができる (図 17)。ストリームトランスレータを利用しない構成の場合は、ユニキャストの帯域が不足する問題により、実現は不可能である (図 17)。さらに、分散したストリームを多段に構成した場合も問題なく配信することができ、同時にマルチキャスト変換機能も動作した。そして、IPv4 しか受信することができない受信装置で受信している岡山県庁へのストリームはプロトコル変換を行って IPv4 でストリームが配信できたことを確認した。

これらの機能を運用した際に取得した表 6 の DropRate は計測した全てのパケット数に対する損失パケットの占める割合である。DropRate を平均すると、0.029% となり非常に少ないパケット損失率であるため、実用上問題は起こらない。

本来、7 ホストへ送信するためには受信台数と同じ 7 台の送信装置が必要となり、高いオペレーションコストがかかる。しかし、ストリームトランスレータを利用することによって、複数の受信装置に配信する場合であっても、送信装置は 1 台のみとなり管理運用に掛かるオペレーションコストが改善できる (図 17)。

7. 今後の課題

実験実証中に、「ネットワーク装置が不調なので送信をとめてほしい」「マルチキャストはうまく動いていないので、ユニ

キャストで送信してほしい」というような要望があった。しかし、現在の実装では再送信ホストを追加、削除する際にプログラムを再起動する必要があり、送信中のストリームを一時停止させなければならない。実装の章で述べたように、リスト構造の通信ソケットに追加、削除の機能が必要だということを改めて認識した。また、今回実施した実証実験よりも大規模な 100 台以上の実験環境で検証を行いたい。

8. おわりに

本稿では、次世代インターネットでの利用が見込まれる広帯域なストリーミングを、大規模に配信する際に発生する問題点をいくつか指摘し、その問題に対する解決方法を示した。本研究で実装したアプリケーションは高機能なサロゲートで、ストリームの分散機能、ユニキャスト、マルチキャストの相互変換機能、IPv4, IPv6 の相互変換機能の 3 つの機能を有し問題を解決する。

本実装を送信装置と受信装置の間に設置し、長距離間の伝送はユニキャストで行い、クライアントのサブネットはマルチキャストで配信を行えば双方の問題をカバーでき、また同時に、プロトコル変換も自在に可能であるため、既存のネットワークに柔軟に対応できる。このサロゲートを多段に構成し分散機能と併用することで膨大なクライアントをカバーでき、広帯域ストリーミングの大規模な配信が可能になる。

文 献

- [1] S. Deering and R. Hinden. Internet protocol version 6 (ipv6) specification. RFC 2460, 1998.
- [2] Akimichi Ogawa, Katsushi Kobayashi, Kazunori Sugiura, Osamu Nakamura, and Jun Murai. Design and implementation of dv based video over rtp. 2000.
- [3] 阿部 哲士, 村山 公保, and 小林 和真. ネットワーク型分散メディアストレージの開発. 2001. 分散システム/インターネット運用技術シンポジウム 2001 情報処理学会.
- [4] 菅沢 延彦, 小川 晃通, and 杉浦 一徳. Dv データの蓄積転送機構の実現. In 情報処理学会第 63 回全国大会講演論文集 分冊 3, page 653, September 2001.
- [5] 杉浦一徳, 櫻田武史, 中村修, and 村井純. Dvts を用いた携帯型マルチキャスト会議システム. In 情報処理学会第 63 回全国大会講演論文集 分冊 3, September 2001.
- [6] 通信放送機構. Japan gigabit network. <http://www.jgn.tao.go.jp>, 2001.
- [7] Chandra R. Katz D. Bates, T. and Y. Rekhter. Multiprotocol extensions for bgp-4. RFC 2283(2858), 1997.
- [8] A. Helmy D. Thaler S. Deering M. Handley V. Jacobson C. Liu P. Sharma L. Wei D. Estrin, D. Farinacci. Protocol independent multicast-sparse mode (pim-sm): Protocol specification. RFC 2362, 1998.
- [9] R. Gilligan. S. Thomson. J. Bound. W. Stevens. Basic socket interface extensions for ipv6. RFC 2553.
- [10] LBNL's Network Research Group. Tcpdump public repository. <http://www.tcpdump.org/>, 2002.
- [11] Audio-Video Transport Working Group and H. Schulzrinne. RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control, 1996. RFC 1890.
- [12] Paul Herman. tcpstat home page. <http://www.frenchfries.net/paul/tcpstat/>, 2001.