

インターネットにおける TCP 協調型の DV 転送技術

杉浦 一徳
通信総合研究所
小川 晃通

慶應義塾大学政策メディア研究科

中川 晋一
通信総合研究所

中村 修 村井 純
慶應義塾大学 慶應義塾大学

1 はじめに

インターネットバックボーンの広帯域化によって、分散アプリケーションも発展してきた。ネットワークの広帯域化に伴い、テキストデータ、静止画像データといった情報に加え、ビデオ画像など時間軸に制約のある大容量データの転送が可能となった。末端ノードによるボトルネックでのネットワーク帯域の制限から、現在インターネット上で利用、開発されているアプリケーションの多くには以下の5つの制約がある。

1) 物理的接続による問題

インターネット上での利用を想定したアプリケーションの多数が、アナログモデムや ISDN 回線など 128kbps を最大転送速度とした低帯域ネットワークを想定している。そのため、LAN 等の高速ネットワークの能力を活かすネットワークアプリケーションが一般的にならなかった。

2) インターネットプロトコルによる問題

UDP を使用し、パケットの送信を行なうアプリケーションは、ネットワークの状況に応じたパケットの送信を行なわない。また、それらのトラフィックはバーストトラフィックも発生させやすい。

3) 遅延による問題

インターネットは、パケット交換型の通信を行なう。そのため、パケット交換、符号化などによる遅延を吸収するためデータバッファリングを行なう必要がある。バッファリングによりデータ到達に大きな遅延が発生する。

4) データ転送方針による問題

バースト送信されるパケットを一定の割合で送信するように制御し、バーストトラフィックを抑えるアプリケーションは開発されていない。

5) アプリケーションによる問題

広帯域を利用するアプリケーションは少ない。

これらの問題に対して、本研究ではインターネットにおける実時間動画転送に焦点をあて、それぞれの解決を行なった。上記の現存するインターネットアプリケーションインフラストラクチャを踏まえ、動画と音声データの送信を行なう次世代ネットワークアプリケーションである、DVTS(Digital Video Transmission System)を開発した [1][2][4]。DVTS には、5つの問題点に対して以下の解決方法を用いた。

- 1) DVTS は、LAN 環境を想定しており、最大約 32Mbps のネットワーク帯域資源を有する広帯域ネットワークを用いたりリアルタイムアプリケーションである。
- 2) RTP による DV データの送受信を行い、ネットワークの状況に応じて送信量を調節する動的な適応機構を実現した。
- 3) 受信者側でバッファリングをすることにより、ジッタと遅延を解決した。
- 4) 音声トラフィックと画像トラフィックを分離し、音声を優先的に転送した。同時にバーストトラフィックを発生させる画像トラフィックを平滑化することによりバーストトラフィックの発生を抑制した。
- 5) DVTS は、民生品の機材のみを利用する。そのため、DVTS を実現するための費用は安価である。高性能な画像と音声を実現するため、民生品の DV(Digital Video)[5] 機器を利用した。

2 DV を用いた音声、画像配信機構

図 1 に DVTS の全体像を示す。送信側の PC で IEEE1394 インターフェースからの DV パケットを IP パケットにカプセル化して受信側 PC に向けて送信する。受信側 PC では、IP パケットを脱カプセル化して IEEE1394 インターフェースへ DV パケッ

トとして送信する。送信側と受信側の PC は、オペレーティングシステムとして、FreeBSD を用いる。

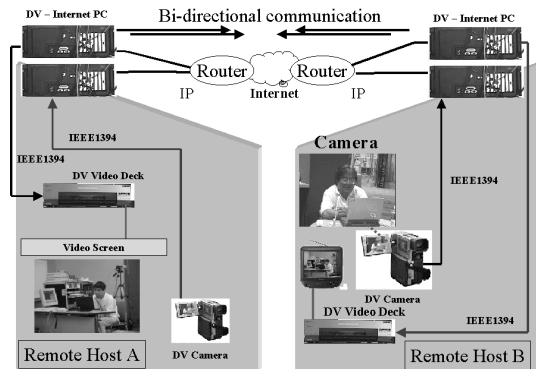


図 1: システム全体像

2.1 RTP への対応

RTP を利用することにより、他の実装との相互接続性を確保することができる。DVTS で利用した RTP ペイロードフォーマットは、IETF で提案中である。図 2 に、DV/RTP により送信されるパケットのフォーマットを示す。

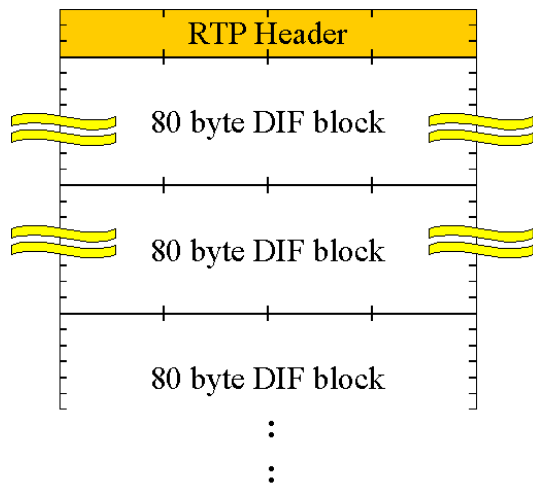


図 2: RTP ペイロードフォーマット

動的な適応機構を実現するために、DVTS に RTCP の機能を実装した。DVTS は、DV/RTP パケットを UDP ポート番号 1394 で送信する。RTCP は UDP ポート番号 1395 を利用して送られる。これらのポート番号は、DVTS 起動時に任意に設定でき

る。しかし、RTCP を利用するためのポート番号は、RTP ポート番号に 1 を加算した番号が利用される。

送信者と受信者は、両方とも RTCP パケットを受け取れる。送信者は、RTCP SR パケットを 3 秒毎に送信する。受信者は、RTCP RR パケットを 3 秒毎に送信する。送信者は、受信者からの RTCP パケットを受けると、トラフィックスループットを計算する。もし、TCP が利用可能なスループット以上のスループットを得ている場合には、画像間引き率を変更する。

2.2 転送帯域の調整

DV 画像、音声ストリームをインターネットを用いて転送するには、30Mbps 以上の帯域が必要である [3]。転送帯域が確保できない場合においても、DV フォーマットでは MPEG のようなフレーム間圧縮を行っていないため、送信する画像フレームを間引くことによって消費帯域の削減が可能となる。一方、音声については、画像とは異なり、連続的に送信する必要がある。図 3 に、DVTS における画像間引きによる帯域削減法を示す。DV フォーマットでは、シ

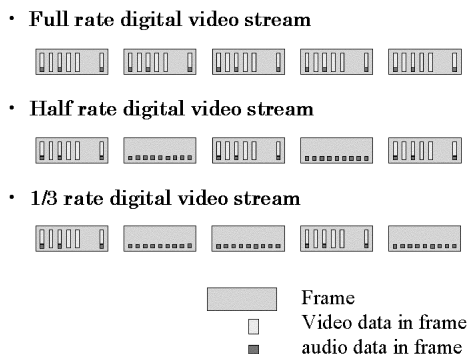


図 3: DV におけるフレーム間引き

ステム(ヘッダ、SUBCODE、VAUX)、画像、音声の 3 つのデータをフレームという単位で分けている [5]。図 3 は、画像間引きを行わないストリーム、画像間引き率 1/2 のストリーム、画像間引き率 1/3 のストリームを示している。

2.3 画像間引きによるバーストラフィック

IEEE1394 を利用して転送を行なう DV フォーマットは、一定の送信量で送信され続ける CBR(Constant Bit Rate)トラフィックである。転送帯域調整のため、画像フレームを間引くことによって、生成される本ア

アプリケーションのトラフィックはCBRトラフィックではなく、定期的なバーストトラフィックとなる。インターネットアーキテクチャでは、バーストトラフィックは輻輳を発生させやすい。途中経路のルータの処理能力が不足した時、パケットはqueueに貯められる。バーストトラフィックが発生した時にqueueに貯められることでパケットのジッタも増加する。queueから溢れたパケットについては破棄され、結果的に輻輳状態となる。輻輳が発生すると、同じルータを利用している他のトラフィックでもパケットの喪失が発生する。そのため、バーストトラフィックはインターネットアーキテクチャと親和性が低い。

図4に1/4画像間引きを利用したDVTSによるストリームが1秒間に送出するパケットのトラフィックパターンを示す。この例では、パケットシェーピングは行なっていない。縦軸はDVTSにより送出されるパケット数を示している。DVTSによるストリームは、1/4で送信されているため、4回に1回は1フレーム分の画像データが送信されている。このよ

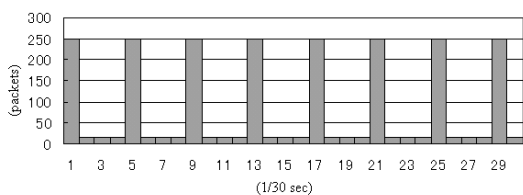


図 4: DV によるバーストトラフィック

うなバーストトラフィックはネットワークの負荷を急激に高めるため、パケットの喪失を発生させる。図5に、DVのバーストトラフィックによるパケット喪失の例を示す。本例では、送信者から受信者に対して1/4の画像間引きを行いDVストリームを送信している。DVストリームの薄色部分が画像データを表し、濃色部分が音声データを表している。送信者と受信者の間にはボトルネックとなるゲートウェイがある。ゲートウェイは送信者ホストと100Mbpsで接続されている。一方、受信者ホストとは10Mbpsで接続されている。ボトルネックとなるゲートウェイには大きなqueueはない。DVストリームの音声によるデータトラフィックは約2.6Mbpsである。そのため、音声だけが流れている時には、パケットは問題なく転送される。しかし、DVストリームの画像によるバーストトラフィックは約30Mbpsのため、ゲートウェイにてパケットは破棄される。画像間引き率1/4のDVTSによるトラフィックは約9Mbpsであり、10Mbpsよりも小さい値であるが、バーストトラフィックであるため、ゲートウェイで輻輳が発生

する。

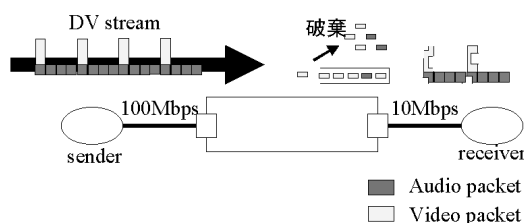


図 5: ボトルネックでのパケット喪失

3 音声と画像トラフィック分離

音声パケットのジッタを解決するために、DVTSに音声と画像を別ストリームに分割して送信する機能を実装した。音声と画像のDV DIFブロックを含むパケットは別のUDPポートを利用した二つのRTPストリームとして送信される。RTPでは、RTPストリームは偶数のUDPポート番号を使用し、それに対応するRTCPストリームは、RTPのUDPポート番号に1を加算した奇数のUDPポートを使用する。音声のDV DIFブロックを転送するためのUDPのポート番号は、画像のDV DIFブロックを転送するためのUDPポート番号に2を加算したポートを使用した。RTCPパケットを送信するためのUDPポート番号は、画像のDV DIFブロックを転送するためのUDPポート番号に1を加算した。

分離した音声トラフィックに対して送信ホストで優先制御をすることにより、ジッタの発生を抑制した。音声パケットは画像パケットよりも優先的に送信される。逆に、画像パケットはqueueに貯められることにより平滑化されて送信される。画像パケットによるバーストトラフィックが送信ホストで抑制させるため、途中経路への急激な負荷が解消し、音声パケットの到達遅延を減少させ、パケットの喪失も減少する。

音声パケットの優先制御を行なうために、図6のように音声と画像のストリームを別queueにして扱い、音声queueを画像queueよりも優先させた。本研究では、パケットの優先制御を行なうためにALTQ[6]を利用した。図6の色の濃四角が音声パケットを表している。図6の色の薄四角が画像パケットを表している。音声パケットを優先させることにより、画像パケットの遅延は増大する。そのため、音声と画像が多少ずれてしまうため、音声と画像の完全な同期が困難になる。

図7に示されるトポロジにて、音声、画像トラフィッ

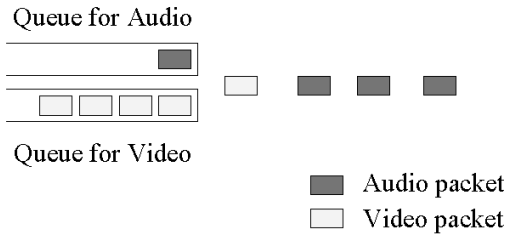


図 6: トラフィックシェーピング

クを分離し、トラフィックシェーピングをかけることによるジッタへの有効性を確認した。送信を行なう

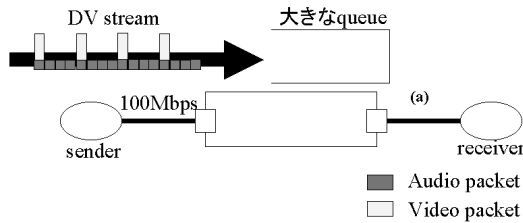


図 7: ジッタ測定トポロジ

際の画像間引き率は 1/10 に固定した。そのため、画像によるバーストトラフィックが 1 秒間に約 3 回発生する。それぞれの実験では、音声と画像は別ストリームで送信されている。表 1 にルータと受信アプリケーションとの間の転送帯域を変化させた時のジッタ値を示す。なお、IEEE1394 インターフェースから出力される DV 音声データのジッタも計測している。どの実験も平均値は 370 μsec 前後となった。IEEE1394 からデータを直接取得した場合以外のジッタ最小値が小さいのは、図 8 のように音声データをパッケージ化しているためである。極端に小さな音声データのジッタは、図 9 の (a) に示される連続部を測定した時に発生している。それ以外のデータは図 9 の (b) 部を測定した時のものである。

表 1: ジッタ測定結果

条件	最小 (μS)	平均 (μS)	最大 (μS)
1394	121	371	2365
100M	5	369	4724
10M	5	370	8638
10M 優先	5	367	4819

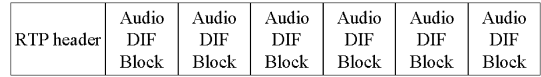


図 8: 音声パケット

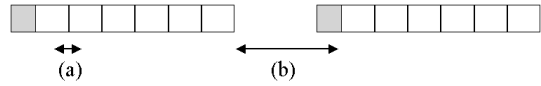


図 9: パケット中の音声データ

4 TCP への協調性

動的な適応機構を有する DVTS と TCP のフローの協調を証明するために、図 10 に示すトポロジで実験を行なった。ホスト ABC とホスト DEF は、同じ 10Mbps の回線 (a) を利用して通信を行なう。始めにホスト A からホスト D に対して動的な適応機構を有する DVTS フローを流した。DVTS フローの画像間引き率が安定した後に、ホスト B からホスト E に対して ftp を開始した。ftp により転送されるデータは十分に大きく、実験中には ftp は終了しなかった。DVTS フローの画像間引き率が再び安定した後に、ホスト C からホスト F に対して同様の ftp フローを追加した。

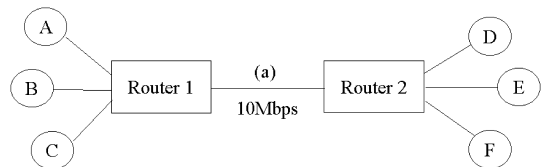


図 10: 動的適応機構実験トポロジ

図 11 に、DVTS の画像間引き率の推移を示す。図 11 の横軸は、3 秒単位で送信される RTCP パケットのシーケンスを示す。図 11 の縦軸は、画像画像間引き率を示している。図 11 における 1 の段階では、ホスト A からの DVTS フローだけが存在する。その時、画像間引き率は 1/4 周辺で収束した。ホスト B からの ftp フローが始まると、2 の段階で DVTS フローは画像間引き率 1/15 周辺で収束した。3 の段階でホスト C からの二つ目の ftp フローが始まると、DVTS フローは画像間引き率を小さくした。最後に、4 の段階で DVTS フローは画像間引き率 1/60 周辺で収束した。この結果、TCP のフローが増加すると DVTS フローは間引き率を大きくして使用するネットワー

ク帯域を減少させることが確認できた。

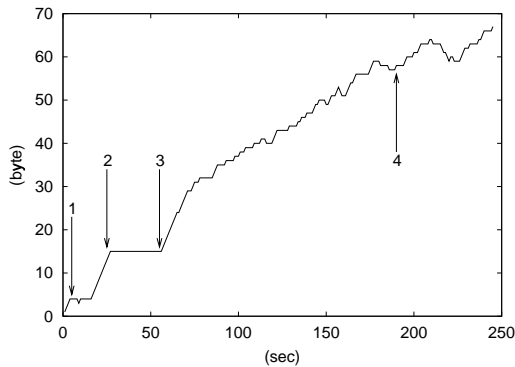


図 11: DVTS トラフィックと TCP の協調実験時の DVTS における画像間引き率の推移

図 12 に、それぞれのフローの使用した帯域を示す。図 12 の横軸は、秒を示している。図 12 の縦軸は、利用しているネットワーク帯域を示している。図 12 における、1 の段階では DVTS フローのみが存在する。その時、DVTS は最も帯域を利用している。ftp フローが一つ流れ始めると、DVTS フローは画像間引き率を大きくして使用しているネットワーク帯域を減少させている。2 の段階で DVTS フローの画像間引き率が収束した後は、DVTS フローと ftp フローはほぼ同様の帯域を消費した。DVTS フローは、1 の段階の約半分のネットワーク帯域を利用している。3 の段階で ftp フローが二つになると、DVTS フローは画像間引き率を更に小さくすることで使用しているネットワーク帯域を減少させている。4 の段階で DVTS フローが収束した後は、三つのフローはそれぞれほぼ同様の帯域を消費した。4 の段階以降に DVTS フローが利用しているネットワーク帯域は 1 の段階の約 1/3 である。以上の結果により、DVTS フローと TCP フローは公平にネットワーク帯域を分配した。

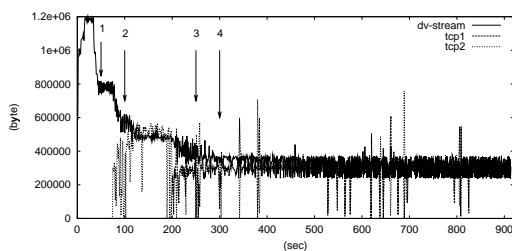


図 12: DVTS トラフィックと TCP の協調実験時の各フローのトラフィック量

5 おわりに

本研究では、広帯域化されたインターネットにおけるリアルタイムアプリケーションとして、インターネットの特徴を考慮した協調型の画像配信機構を実現した。画像フレームを間引くことにより、利用するネットワーク帯域資源を調節できる。このような、動画の画像フレームの間引きによる消費帯域の軽減は一般的である。しかし、動画の間引かれぬ画像フレームが送信される時、それらのデータを一度に送信するとバーストトラフィックを発生させてしまう。音声と画像のトラフィックを分離し、音声 packets を優先的に転送するとともに画像 packets によるトラフィックの平滑化を行ない、動画の画像間引き方式により引き起こされるバーストトラフィック問題を解決した。また、輻輳制御の行われぬ UCP に対して、画像フレーム転送数を変更する事によって、消費帯域を変更し、TCP と協調性の高い広帯域アプリケーションを実現した。

参考文献

- [1] A.Ogawa K.Kobayashi K.Sugiura O.Nakamura J.Murai, "Design and Implementation of DV Stream over Internet", IWS99, 199
- [2] "民生用 DV を用いたインターネットビデオ会議システム", 杉浦一徳, 小川晃通, 中村修, 村井純, 情報処理学会誌, Vol 40 No.7
- [3] "Infrastructure requirements for Internet Video Conference Using Broadband Networks", Kazunori Sugiura, RT-Mach Workshop 1999, August 1999
- [4] A.Ogawa, "Digital Video Transport System Web Page", <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/>, 1999
- [5] "Specifications Consumer-Use Digital VCR's using 6.3mm magnetic tape", HD Digital VCR Conference, 1994
- [6] K.Cho, "A Framework for Alternate Queueing: Towards Traffic Management by PC-UNIX Based Routers." In Proceedings of USENIX, 1999