

フレーム排他制御を用いたインターネット DV 転送技術

杉浦一徳¹ 小川晃通¹ 徳田英幸²

¹慶應義塾大学政策・メディア研究科、²慶應義塾大学環境情報学部

本論文では、インターネットを配送手段として利用した高品質リアルタイム AV(Audio Visual) コミュニケーションツールの開発について論ずる。本システムでは、一般的な DV(Digital Video) カメラ、DV ビデオデッキを AV CODEC として使用し、IEEE1394 インターフェースを持つ AV 機器を IP カプセル化し、接続されたホストから IP 通信を行なう。本機構では、IEEE1394 上で使用されている DV パケットを UDP/IP パケットにカプセル化し転送を行う。最高品質転送時では、本機構は約 35Mbps のネットワーク帯域を使用する。また、ネットワークの輻輳状況に応じて送信レートを調節することが可能である。本機構の実証実験として、Super Computer Conference 98 にて、アメリカと日本の間で DV 通信を行い、その評価も行った。

Design and Implementation of DV Stream over Internet

Kazunori Sugiura¹ Akimichi Ogawa¹ Hideyuki Tokuda²

¹Graduate School of Media and Governance, Keio University

²Faculty of Environmental Information, Keio University

An Internet Protocol based high quality real-time audio visual(AV) communication tool is developed. Digital Video (DV) camcorder and VCR being the product for the consumer market are adopted as AV CODEC. The AV devices having IEEE1394(Firewire) interface are connected to the IP host with its interface. The original packet format is adopted that the isochronous stream packet of DV is simply encapsulated with UDP/IP. In the highest quality of communication, the system consumes over 35Mbps network bandwidth. The system can also change the bandwidth according to the end to end network condition. In Super Computing '98, the DV communication effort was done using APAN Trans PAC link between the US and ASIA.

1 はじめに

現在、多くのインターネット用ビデオ通信アプリケーションが提案されている。高品質ビデオ通信機構である MPEG は、リアルタイムに高品質圧縮を行なうためには、実時間圧縮行程に高価な機材を必要とする。そのような高品質システムは高価であるため、現在のインターネットでは一般的ではない。低価格ビデオ通信アプリケーションとしては、H.261 や nv のようなソフトウェア圧縮を用いている。そのような低価格アプリケーションでは、高品質な画像・音声転送を保証できない。このような例は、インターネット上で転送帯域として確保可能なネットワーク帯域が多くても数 Mbps であり、ネットワーク帯域により通信が制限されることを前提としている。

WDM を例とする超高速ネットワークインフラストラクチャの普及によって、ネットワーク帯域による制限は取り払われようとしている。ネットワーク帯域の大幅な増加は、ビデオストリーム、もしくは民生用ビ

デオテープレベルの音声・画像を圧縮を行なうことなく直接リアルタイムでインターネット上に送信することを可能にする。インターネットは最善努力型のネットワークであるため、ネットワーク帯域による制限が緩和されてもパケットの喪失やジッタを防ぐことはできない。インターネットのような最善努力型のネットワークでは、そのような問題はエンドホストのアプリケーションにより解決されるべきである。

本稿では、開発を行なったインターネット上で動作する通信機構の紹介を行なう。通信機構は高品質であり、効果的なデータ圧縮を低価格な機材で実現する。通信機構は、一般的な民製品の機材を使用する。1) ビデオデータを IEEE1394 パケットに符号化するための一般的な DV[2] カメラ、2) 画像表示用に使用する一般的な DV デッキ、3) インターネット上で DV パケットの送信を行なうための PC 互換器である。カメラとビデオデッキに特殊な設定は行っていない。PC は以下の性能のものである。1) 最低限 128MB の

メモリ, 2) PCI lynx IEEE1394[1] インターフェースカード, 3) 高速ネットワークインターフェースカード(例えば 100BaseTX ネットワークインターフェースカード). 利用した PC のプロセッサは MMX Pentium 200MHz である. MMX の機能は使用していない.

ソフトウェアは, PCI lynx IEEE1394 インターフェースカードドライバ[8]を含む FreeBSD 2.2.6[3] カーネル, 送信アプリケーション, 受信アプリケーションからなる. 送信/受信アプリケーションは, DV ストリームを UDP[4] カプセル化を行し, インターネット上を送信するように実装された. 送信アプリケーションは, DV パケットをカメラから受け取りそれを UDP にカプセル化し, IP を使用して受信 PC へ送信する. 送信アプリケーションは, 様々なネットワーク帯域に適応するために画像データを間引く機能を持つ. クライアントアプリケーションは, UDP パケットを受けとり DV パケットへ脱カプセル化し, DV VCR に対してそれを送信する.

2 システム設計

2.1 IP カプセル化

本機構を図 Fig. 1 に示す. 送信者側に接続されたカメラ(左側)は IEEE1394 にカプセル化された DV パケットストリームを生成する. 送信者アプリケーションは, PCI lynx IEEE1394 インターフェースカードから DV ストリームを受信する. 送信者アプリケーションは DV パケットを UDP にカプセル化し, IP を使用して受信者側 PC (右側)へ送信する. 受信者側 PC は, UDP にカプセル化された DV パケットを受けとりそれを脱カプセル化する. UDP/IP ヘッダを取り除かれた DV パケットは, PCI lynx を通じて DV ビデオデッキへ出力される. DV ビデオデッキは接続されたディスプレイに DV データを出力する.

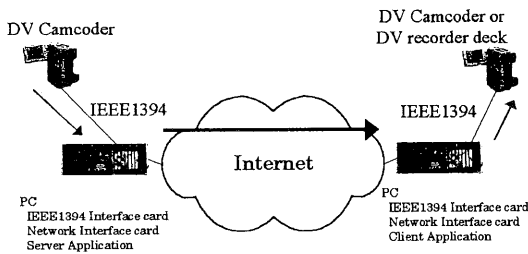


図 1: outline of system

本機構で使用したパケットフォーマットとヘッダフォーマットを図 2 と図 3 にそれぞれ示す. 使用されていないフィールドは今後の利用のために予約した.

2.2 フレーム排他制御

フルレートの DV ストリームは多くのネットワーク帯域を消費する. 525 ライン, 29.97Hz の NTSC ビデオシステムでは 35Mbps 以上のネットワーク帯域

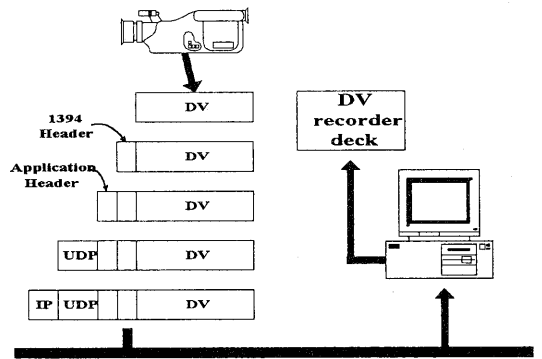


図 2: Packet Format

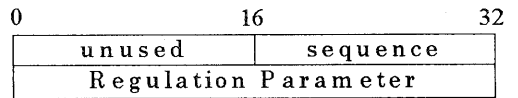


図 3: Application Header Format

を消費する. しかし, 多くの場合ではフルレートの画像転送を要求されておらず, 少ないフレームレートの転送サービスで十分である. 反面, 音声情報は画像情報ほど帯域を消費しないが, ジッタ, 情報欠損に対して影響力が大きく, 連続的な再生が要求される. 画像情報のフレームレートを減少させ, 音声情報を保持することによって, DV ストリームに対して効果的な圧縮を行なうことが可能となる. 本機構では複雑な画像圧縮行程を用いていないため, 画像処理負荷が増加しない. 複雑な処理は計算量を増加させ, 処理に対し負荷をかけるため, 画像フレームを現象させることによる解決を行っている.

使用可能な帯域が十分でありフルレートの DV 転送を行なう時, 送信アプリケーションは単純に受けとった全ての IEEE1394 パケットを受信 PC へ IP を使用して転送する. 帯域が不十分な場合には, 送信アプリケーションはフレーム間引きをすることによって送出レートを現象させる. 本機構の実装では, 送信アプリケーションは音声情報を間引かれた画像から抽出しそれだけを受信に対して送信する(図 4).

パケットの喪失が発生すると, 受信アプリケーションは前フレームの関連パケットを使用する. 送信アプリケーションがフレームの間引きを行なうと, 受信者アプリケーションは単純に前のフレームの画像を使用する. 音声のみの情報を受けとった時, 受信アプリケーションは前の画像にその音声をつけて表示する. そのため, 帯域が少ない場合には送信アプリケーションは音声情報を連続的に配信し続ける.

DV over IP に必要なフレームレートと消費される

・ Full rate digital video stream



・ Half rate digital video stream



・ 1/3 rate digital video stream

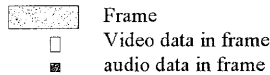


図 4: Frame Discard

帯域を図 5 に示す。

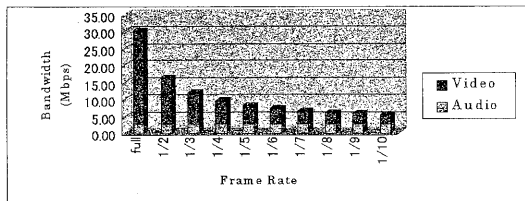


図 5: Frame Rate

UDP は宛先ホストへのパケットの到着を保証しない。UDP は途中経路での輻輳についても関知しない。そのため、DV ストリームでのデータ送出量の調整、パケットの喪失、ジッタへの適応が必要である。受信者アプリケーションは、ジッタに対応するためにフレームのバッファリングを行なう。フレームのバッファリングを図 6 に示す。

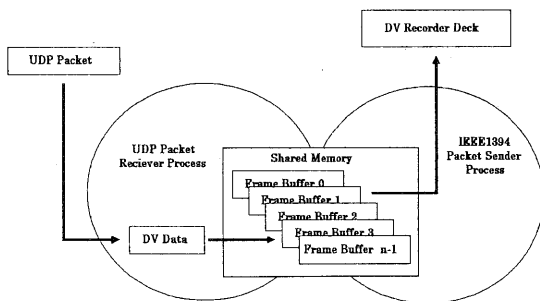


図 6: Frame Buffering

受信者アプリケーションはフレームバッファ用の共有メモリで接続された二つのプロセスからなる。大きなフレームバッファはジッタを吸収するが、画面表示

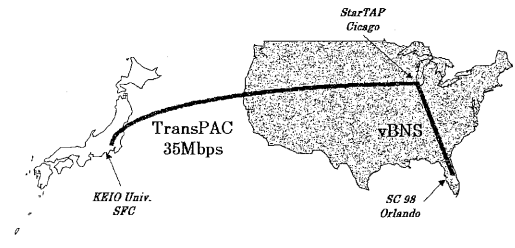


図 7: Network Topology

までの遅延が増加する。フレームバッファの数はネットワークの状態と必要に応じて受信者アプリケーション起動時に決定する。一つのプロセスは UDP パケットを脱カプセル化して共有メモリに書き込むものである。受信者プロセスは、単純に共有メモリ内の以前のデータを上書きする。受信者プロセスは DV パケットの連続性を要求しない。共有メモリの中の新しくパケットを受けとらなかつたフィールド内には以前の情報がそのまま残される。受信者プロセスは共有メモリ内のフレームバッファを書き終るとフラグを使用してそれを知らせる。

他方のプロセスは共有フレームバッファから情報を読み、IEEE1394 インターフェースからパケットを出力する表示プロセスである。表示プロセスは各フレームバッファ中のフラグを確認し、フラグがセットされているフレームを出力する。フラグがセットされていない場合には前のフレームが出力される。

本機構での送信者アプリケーションは、オペレータが始めに決定する静的なフレームレートを使用する。しかし、インターネットでは利用可能なネットワーク帯域は時間とともに変化する。自動的に利用可能な帯域に適応する機構は今後の課題である。

2.3 相互接続性

DV over IP の機能は富士通研究所の Comet プロジェクトの Comet ルータでも提供されている。Comet ルータは次世代インターネットのプロトタイプシステムである。Comet ルータには IEEE1394 インターフェースがあり DV/IP 転送を行なう。本機構は Comet との相互接続性があり、SC98 にてその実証実験を行なった。

3 TRANS-PAC 通信実験

本機構をインターネット上で使用し遠隔通信を行なうことの効果を実証するため、11月10日から14日までアメリカと日本間で APAN Trans pacific リンクを使用して二つの DV 通信実験を行なった (Fig. 7)。アメリカから日本に向けて送信された UDP にカプセル化されたパケットは、韓国にも転送された。

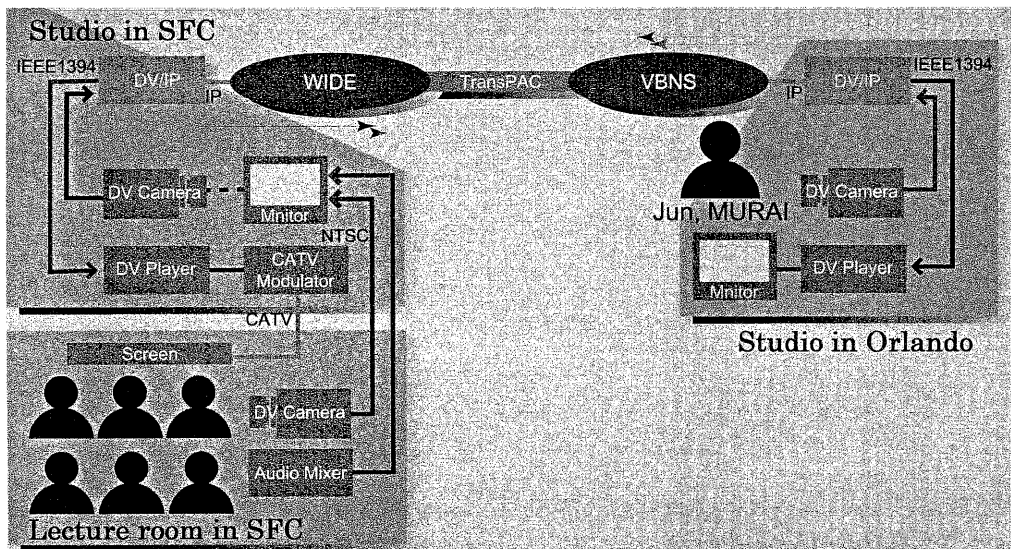


図 8: Lecture from USA to Japan[9]

3.1 遠隔授業

一つ目の実験は、本稿の著者の一人でもある村井純教授によるアメリカからの90分授業である (Fig. 8)。大陸間で行なわれた授業は、双方向で行なわれた。生徒の反応と質問が日本からアメリカへ、本システムを使用し送信された。

授業は、日本の慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) にて行なわれた (Fig. 8)。本機構が設置されたシステム部屋は授業を行なわれる教室から離れていた。DV ストリームを送信する PC は、授業が行なわれる教室には置かれなかった。アメリカからの DV ストリームを表示した映像は、CATV を使用して教室まで送られた。その際利用された民製品の DV 機材は、DV 入力をアナログ出力することができなかった。そのため、アメリカからの画像はシステム部屋に設置されたモニターの映像を撮影して教室へ送信した。

授業は1/2のフレームレートを_usingして行なわれた。1/2のフレームレートを使用中にはパケットの喪失は観測されなかった。授業中にフレームレートの説明のため、送信レートの変更も行なった。

授業の際に TransPAC で使用されたネットワーク帯域を図 Fig. 9 に示す。図は MRTG[7] により生成された。図中の灰色のエリアはアメリカから日本へのエクステンジポイントで観測された入力ビットの5分ごとの平均値である。図中の実線はアメリカから日本へのエクステンジポイントで観測された出力ビットの5分ごとの平均値である。

実験中には TransPAC 回線を使用するその他のトラフィックはなかった。そのため、TransPAC 上の全てのトラフィックは本機構により生成された。実線は

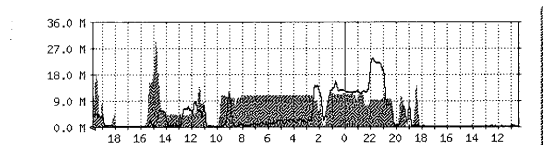


図 9: Traffic at TransPAC [10]

授業が行なわれた最中が最も利用量が多かったことを示している。灰色のエリアは、アメリカから日本への送信レートを最大にした時のものが最も高い。最大の送信レートを試した際には、帯域の上限によるパケットの喪失が観測された。

3.2 iGRID での発表

二つ目の実験はオーランドで行なわれた Super Computer Conference 98 の iGRID での対話デモである。実験に使用されたネットワークポロジは、大陸間の授業と同一である。韓国への DV データは、ATM スwitching の point-to-multipoint の VC (Virtual Connection) を使用して送信された。TransPAC ATM から韓国への回線の帯域は 30Mbps であった。StarTAP と vBNS を通過する際には、普通の IP トラフィックと同時に転送されていたため帯域は保証されていなかった。通常のインターネット同様、実験中もパケットの喪失やジッタが観測された。そのため、ネットワークの輻輳状況に応じて 1/2 から 1/100 のフレームレートを使用した。

The network bandwidth used at TransPAC for this

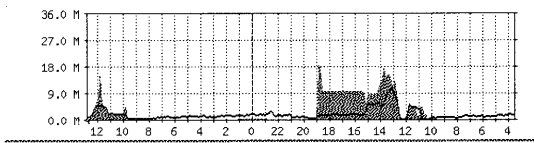


図 10: Traffic at TransPAC [10]

demonstration is shown in Fig. 10.

アメリカから日本への帯域よりも、日本からアメリカへのトラフィックのためにより多くの帯域が使用された。iGRID のデモはアメリカで行なわれたため、アメリカへのフレームレートがより高く設定されたためである。

SC98 のデモの最中に会場内ネットワークである SCInet で経路問題や物理的なリンクの問題が発生した。実験を行なっている最中に 0 - 40 % のパケットの喪失が観測されたが、日本との対話にはさほど支障はなかった。

4 結論

IP を使用して通信を行なう高品質リアルタイム AV コミュニケーションツールを開発した。ツールは一般的な低価格 DV カメラと PCI ベースの PC を使用する。

本機構での転送技術を使用したビデオの品質は NTSC と同一である。本機構では、NTSC 品質のビデオと CD 品質のオーディオが利用できる。MPEG のようなフレーム間圧縮技術は使用されていない。そのため、本機構はパケットの喪失やジッタの発生するインターネットに適合している。アメリカと日本の間で大陸間通信実験を行なった。その際、DV ストリームはインターネットを使用して転送が行なわれた。そのため、DV ストリームはインターネット上の問題点であるパケットの喪失やジッタのある環境で転送を行なわれていた。本機構では、これらの問題をエンドホストだけの努力で解決した。パケットの喪失が発生した際には、フレームの間引きを行なうことにより通信の継続を行なった。画像情報を含むパケットの喪失は致命的ではなかった。しかし、多くのオーディオ情報を含むパケットを多数喪失した際には通信に障害が発生した。

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank to the staff at the Fujitsu Lab for cooperation, and the staff at APAN-ops, vBNS and StarTAP for their support. The authors also wish to thank the staff of SOI at Keio University for their cooperation to making the remote lecture from the USA to Japan.

参考文献

[1] "IEEE Standard for a High Performance Serial Bus", IEEE computer society, 1995

[2] "Specifications Consumer-Use Digital VCR's using 6.3mm magnetic tape", HD Digital VCR Conference, 1994

[3] FreeBSD, <http://www.freebsd.org/>

[4] J.Postel, "User Datagram Protocol", RFC768, 1980

[5] K.Cho, "A Framework for Alternate Queueing: Towards Traffic Management by PC-UNIX Based Routers", Usenix98, 1998

[6] S.Floyd, "Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, 1995

[7] T.Oetiker, "Multi Traffic Router Grapher", <http://ee-staff.ethz.ch/oetiker/webtools/mrtg/mrtg.html>, 1998

[8] IEEE 1394 for BSD (in preparation)

[9] SOI(School Of Internet), <http://www.sfc.wide.ad.jp/soi/>

[10] TransPAC, <http://hydra.uits.iu.edu/transpac/ds3-apan/ds3-apan.html>