

招待論文

DV over IPv6

勝野 聡[†] 江崎 浩^{††} 追加 著者^{†††}

DV over IPv6

Satoshi KATSUNO[†], Hiroshi ESAKI^{††}, and et, AL.^{†††}

あらまし

次世代インターネットのアプリケーションとして、Digital Video(DV)映像伝送アプリケーション(DV over IP)が利用されはじめています。DV映像伝送アプリケーションは、家庭用デジタルビデオカメラやビデオデッキを利用して、通常のテレビ品質に匹敵する映像をインターネットでやりとりすることを可能にするものである。必要な伝送帯域は、既存のインターネット上のビデオアプリケーションより遥かに大きいですが、高価なハードウェアを必要とすることもなく、また伝送品質も非常に高い。一方、次世代インターネット技術として研究開発がすすめられているIP version 6(IPv6)の普及により、家電機器を含むコンピュータ以外のさまざまな機器がインターネットに接続され、いままでにないアプリケーションが登場することが予想される。DV映像伝送アプリケーションも、IPv6対応がおこなわれており、Japan Gigabit Network(JGN) IPv6ネットワークにおける映像伝送実験が行われている。本論文では、DV映像伝送アプリケーションについて紹介し、その概要や特徴、IPv6対応の実装等について解説する。

キーワード デジタル映像伝送、広帯域インターネット、IP version 6

1. はじめに

現在、インターネットのアクセス回線、バックボーン共に急速な高速化・広帯域化が進んでいる。これに伴い、これまでは要求する帯域や回線品質の面から困難であった、高品質のデジタル映像をインターネットで伝送しようとするアプリケーションの研究開発の試みがなされている。

最近、次世代インターネットのアプリケーションとして、Digital Video(DV)映像伝送アプリケーション(DV over IP)が利用されはじめています。DV映像伝送アプリケーションは、通常のテレビ品質に匹敵する映像をインターネットでやりとりすることを可能にするものである。伝送に必要なとされるネットワークの帯域は、従来よく使われてきたインターネット上の映像

アプリケーションより遥かに大きいですが、DV映像伝送アプリケーションは、高価なハードウェアを要求することなく、また映像品質も非常に高い。

一方、次世代インターネット技術として研究開発がすすめられているIP version 6(IPv6) [1]の普及により、原理的には全ての家電機器を含む、さまざまな機器をインターネットに接続する事が可能になる。将来は、インターネットを介して、家庭用映像・音響機器の間で、マルチメディア・データを送受信する等、従来になかったアプリケーションが登場することも予想される。

将来のインターネットにおいては、全体のトラフィックの増大とともに、現在のインターネットトラフィックの大部分を占めているWWWに代表されるデータ転送トラフィックに加えて、映像や音声配信等のマルチメディアアプリケーショントラフィックが増加していくことが予想されている。これらのアプリケーションを適切なサービス品質で提供するため、実際のアプリケーションのトラフィック特性、ネットワーク品質に対するアプリケーション品質の関係等の把握が必要になってきている。

ところで、これまで使われているインターネット上の映像アプリケーションは、ネットワークの速度等の

[†] 通信・放送機構, 東京都

Telecommunications Advancement Organization of Japan,
Shiba 2-31-19, Minato-ku, Tokyo, 105-0014 Japan

^{††} 東京大学, 東京都

The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo,
113-8656 Japan

^{†††} 追加所属

Address...

制限により、画面解像度が低く、1秒当たりのフレーム数も数枚程度というものが大部分であった。しかし、最近のネットワークの高速・広帯域化により、家庭用ビデオ、あるいは通常のテレビの品質相当の映像アプリケーションをインターネット上で伝送することも不可能ではなくなってきている。実際に、広帯域ネットワークにおける映像アプリケーション伝送の試みが各所で行われている[2]~[4]。

2. Digital Video(DV)の概要

Digital Video(DV)は、民生用の高画質デジタルビデオの規格である[5]。

DVの符号化方式としての特徴は、動画像符号化においては、空間軸方向の予測符号化のみを使用し、時間軸方向の予測符号化を行わないため、各フレームが独立であるという点にある。

動画像の符号化技術については、品質と情報量によって分類できる。動画像の品質と情報量を表1に、DVと他の主な符号化方式の比較を表2に示す。

デジタル動画像は、通常、高さを持つフレームから構成され、一フレーム中の画素数・ライン数、および1秒毎に伝送されるフレーム数が元の動画像が持つ情報量となる。表2に示すように、DVを除く動画像符号化の国際標準方式は、すべてMC + DCTを用いている。MC(Motion Compensation)は時間軸方向の符号化技術であり、フレーム間の動き予測をおこなって符号化効率を上げるものであり、ほとんどの映像符号化方式はこれを採用している。これに対して、DCT(Discrete Cosine Transform)は、静止画像の符号化方式(JPEG・MPEGなど)にも採用されている空間軸方向の符号化技術である。DVは、DCTのみを採用することにより、他の国際標準符号化方式に比べて、圧縮率は高くないが、特殊なハードウェアの必要なしに高速な符号化・復号を実現でき、記録した映像の編集が容易であるという特徴を持つに至った。この特徴をインターネットにおける映像伝送方式として見ると、必要とする回線容量は大きい、家庭用ビデオカメラ等で利用でき、かつ、テレビ品質の映像を容易に伝送できるという大変都合のよいものである。

3. DV映像伝送システムの設計

一般に、映像伝送にパケットの再送が不要かどうかは一考の余地がある。音声および映像データは符号化時に冗長な情報が削減されており、特に、低ビット

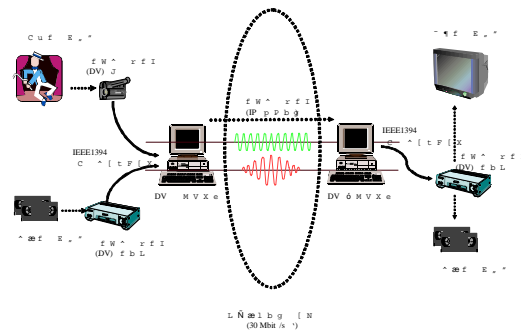


図1 DV映像伝送ネットワーク

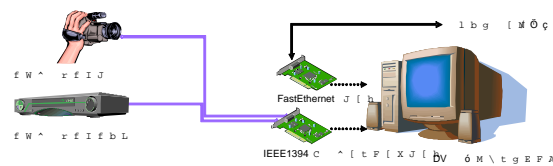


図2 DV映像伝送システム

レート符号化方式を用いた映像伝送では、パケットロスが映像品質に大きく影響するため、映像の品質を保つために、パケットの再送あるいは誤り訂正のための冗長パケットを送信する方法も考えられる。

TCP/IPで通常用いられるトランスポート層のプロトコルのうち、UDPは信頼性を提供しないプロトコルで、パケットを再送せず輻輳制御も行わない。TCPは、パケットを再送し信頼性のある伝送を行うが、ネットワークの状態に応じた輻輳制御を行い、通信速度を自律的に変動させるため、音声や映像の転送に適していない。インターネットにおける映像伝送アプリケーションには、しばしばTCPの上に実装されているものがあるが、特に、高速なネットワークにおける映像伝送を試みようとする場合には、TCPの輻輳制御による伝送速度の変更が映像伝送品質に大きな影響を及ぼす。

DVでは、先に述べた符号化方式の特性により、多少のパケットロスは再送映像の品質に致命的な影響を与えないため、UDPによる伝送が有効である。

4. DV/IPv6アプリケーションの実装

4.1 KDDI研究所のWindows用DV伝送システム

KDDI研究所において開発されたDV映像伝送システムは、Microsoft Windows 2000上で動作するIPv6に対応したアプリケーションソフトウェアである。

種別 (品質)	画素数	ライン数	フレーム数 (1秒あたり)	輝度・色差	情報量 (バイト/時間)	伝送速度 (bps)
VTR 品質 (VHS 相当)	360	240	30	4:2:0	14 G	30 M
現行テレビ (受信品質)	720	480	30	4:2:0	54 G	120 M
現行テレビ (スタジオ品質)	720	480	30	4:2:2	97 G	216 M
HDTV (スタジオ品質)	1920	1080	30	4:2:2	540 G	1.2 G

表 1 動画の品質と情報量 [6]

方式名	符号化方式	ビットレート (bps)	品質	伝送媒体
DV	DCT	30 M	テレビ品質	高速インターネット
MPEG-2	MC + DCT	10 M	テレビ品質	DVD, ATM
MPEG-4	MC + DCT	5k - 4M	TV 電話-VTR	移動体
MPEG-1	MC + DCT	1.5M	VTR 品質	CD-ROM
H.261	MC + DCT	64 k	TV 電話	ISDN
H.263	MC + DCT	32 k	TV 電話	アナログ電話

表 2 DV と他の主な符号化方式の比較

本システムは、映像信号を DV を用いて符号化し、IP パケットを生成、伝送して、伝送する。本システムは、現行テレビ受信品質に相当する画面解像度およびフレーム数を持つ映像信号を対象としている。

1 対の PC ベースのトラフィック送信用端末、受信用端末、およびそれらの上で動作するトラフィックデータ送受信ソフトウェアから構成されている。

データ送信側は、DV で符号化された NTSC 映像信号を RTP/UDP/IP パケット化して、指定したパケット長でリアルタイムに送信する。また、符号化したデータを一旦ファイルに出力し、これを後で読みだして IP パケット化して送信することもできる。

データ受信側は、送信側から受信した IP パケット化された符号化データを復号し、NTSC の映像信号を出力する。また、受信した符号化データをそのままファイルに出力することも可能である。

DV 送受信ソフトウェアは、Microsoft Research の IPv6 スタックを用いた Microsoft Windows 2000 上で動作し、Microsoft DirectShow [7] ライブラリ上のフィルタプログラムとして実装されている。

指定するポート番号に対するデータのバケット化と入出力との処理を行う。OS がサポートする標準的な IEEE1394 デバイスおよび DV 対応機器を利用できる。また、他のソフトウェアから、RTP パケット送受信機能呼び出すことも可能である。

本ソフトウェアは、一つのプログラムで送信モードと受信モードを切り替えることにより、映像信号の送受信を実行する。

送信モードでは、入力として IEEE1394 デバイスに接続された DV 対応機器を選択することにより、映像信号を DV 符号化データとして受け取る。出力として RTP フィルタプログラムを選択することにより、DV 符号化データに RTP ヘッダを付与して、指定する IP アドレス/ポート番号へ送出する。本ソフトウェアは、パケット毎にフレーム番号/フレーム内のパケット番号等の情報を DV データに付加している。ビットレートは固定で、約 30Mbit/s である。

受信モードでは、入力として RTP フィルタプログラムを選択し、DV 符号化されたデータを受信する。出力として IEEE1394 デバイスに接続された DV 対応機器を選択することにより、DV 符号化データを DV 対応機器 (ビデオデッキ、ビデオカメラ等) に出力する。

送信、受信の各モードにおいて、出力として、DV 対応機器の代わりに、ファイル出力および画面出力を選択することが可能である。DV 符号化データのファイルへの入出力は、Microsoft Windows 上の AVI 形式で保存する。

5. DV トラフィック特性

インターネットにおける DV 映像伝送アプリケーションのトラフィックの特性について述べるここでは、Microsoft Windows 2000 の動作する PC (pentium III 500MHz) に送受信ソフトウェアを搭載して、NTSC 入力した映像信号を DV で符号化・伝送した。各 PC は、100Mbit/s イーサネットでネットワークに接続し、イーサネットスイッチのモニタ・ポートより IP パケッ

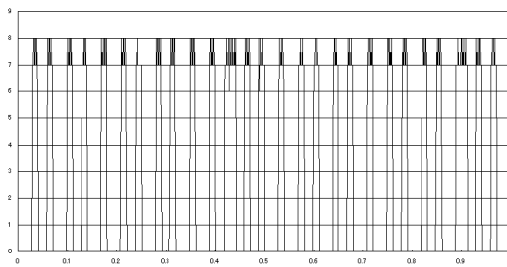


図 3 DV トラフィック



図 4 DV 再生画面

トを収集した。

最初に、送信端末と受信端末を直接接続した場合のトラフィックデータを収集した。次に、送信端末と受信端末の伝送経路間に PC ルータ (FreeBSD, pentium III 500MHz) を挟んで、回線にエラーが生じた場合に発生する再生画面のエラーの特徴について調べた。

5.1 DV トラフィックの測定

図 3 は、DV トラフィックを 1 ミリ秒単位で集計した結果の一部である。横軸は時間 (秒)、縦軸は 1 ミリ秒ごとのパケット数を示している。本実験時は、送信側の IP パケット長を 1500 バイトとしている。この結果から、DV 形式の場合、映像信号の各フレームに対応して、84 個のパケット群が送出されていることが分かる。パケット群の送出間隔は、フレームの間隔である 1/30 秒であるが、間隔の揺らぎは大きく一定していない。しかし、ここで見られるパケット間隔の揺らぎが原因と思われる再生画像への影響は見られなかった。また、伝送途中に 100 ミリ秒～1 秒の遅延を加えて伝送試験を実施したが、再生画像への影響は見られなかった。

次に、伝送途中にパケット損失がある場合の DV アプリケーションの再生画面を、図 4 および 5 に示す。

これらの結果より、DV アプリケーションでは、パケットの損失に対して、画面の小ブロック毎にエラーが発生することが分かる。また、画面を見て、後述する MPEG-2 アプリケーションと比較すると、画面のエラーは、映像の内容には依存していない。ただし、本アプリケーションは、画面の復号時に受信エラーが生じた場合、それ以前に受信し正常に復号できた画面をそのまま使用するという方法を用いているため、動きのない映像の場合にはエラーが目立たないという現象が見られる。



図 5 DV 再生画面

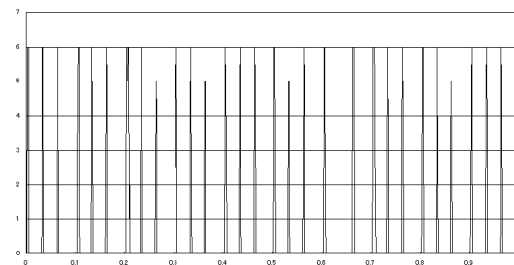


図 6 MPEG トラフィック

5.2 他の映像トラフィックとの比較

参考のため、国際標準方式の一つである MPEG-2 トラフィックについて、DV と同様の実験結果を示す。図 6 は、MPEG-2 トラフィックを 1 ミリ秒単位で集計した結果の一部である。横軸は時間 (秒)、縦軸は 1 ミリ秒ごとのパケット数を示している。送信側では、IP パケット長を 1500 バイトとしてパケット化している。符号化パ



図 7 MPEG 再生画面



図 8 MPEG 再生画面

ラメータは、ビデオのビットレートが5.0Mbit/s、オーディオのビットレートが192kbit/s、システムのビットレートが5.3Mbit/s、参照フレーム間隔が3、MPEGのフレームパターンはIPPBPPBPPBPPBPPである。この結果から、MPEG-2形式の場合、映像信号の各フレームに対応して、約30分の1秒ごとに、MPEG-2の符号量に応じた数のパケット群が送出されており、平均的には、IフレームおよびPフレームでは、Bフレームより多くのパケットを送出している。ただし、映像の内容に依存すると思われるトラヒックパターンの変化が見られ、各フレームに相当するパケット群の比は変化が大きく、Bフレームに相当するパケットが発生しない場合もある。また、伝送途中に100ミリ秒～1秒の遅延を加えて伝送試験を実施したが、再生画像への影響は見られなかった。

次に、MPEG-2の場合について、途中でパケット損失がある場合の、アプリケーションの再生画面を図7

および8に示す。

MPEG-2アプリケーションでは、パケットの損失に対して、エラーの発生度合いが一定ではなく、画面の一部が乱れたり、画面全体が停止するなどの現象が見られる。画面では、DVアプリケーションと比較すると、エラーは、画面中の広い範囲に及ぶことが分かる。また、動きのある画面で、画面全体にエラーが及ぶ現象が見られる。

5.3 DV と他の映像伝送アプリケーションに関する考察

トラヒック収集実験より、映像アプリケーションのトラヒックの品質劣化には、映像情報の符号化方式が関わっていると考えられる。

DV形式では、映像情報に含まれる各フレームを独立に固定長で符号化する。符号化方式は、画面中のブロック毎に独立したDCTベースの符号化方式であり、時間軸方向での予測は行っていない。

DVトラヒックについてエラー付加を行うと、画面中の小ブロック単位で画像の乱れが発生し、MPEG-2のように全画面に影響を及ぼすことはない。また、時間軸方向の依存性が無いため、特に画面の切替時にブロック単位のエラーが目立つという特徴がある。

一方、MPEG形式のような国際標準方式は、映像情報に含まれる各フレームを、符号化パラメータに従って、空間方向および時間軸方向で予測して符号化する。DVの場合と同様に、MPEGトラヒックについて帯域制限あるいはエラー付加を行うと、画面の特定の領域から連続した画面の乱れが発生したり、同じ場所の画面の乱れが継続したり、一定時間画面が停止する等の現象が見られる。

DV形式とMPEG-2形式を比較すると、同じパケット損失率を途中の回線に与えた場合、DV形式の方が、エラーの画面への影響が比較的小さく、ほぼ一定の画面の乱れが見られるのに対して、MPEG-2形式では、映像内容によりエラーの画面への影響が大きく異なり、最悪の場合復号処理が停止してしまうという現象が発生した。

6. む す び

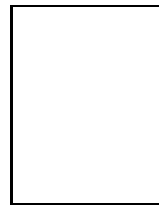
本論文では、次世代インターネットのアプリケーションとしてDigital Video(DV)映像伝送アプリケーションについて紹介し、その概要や特徴、IPv6対応の実装等について述べた。DV映像伝送アプリケーションは、将来のインターネットにおけるアプリケーション

の一つとして、Japan Gigabit Network(JGN) IPv6 ネットワークにおいて、ビデオ会議や映像配信のために盛んに利用されており、今後さらなる利用の拡大が期待されるところである。

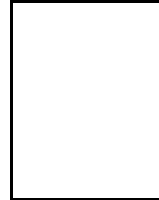
文 献

- [1] S. Deering and R. Hinden, "Internet protocol version 6 (IPv6) specification", RFC 2460, Dec. 1998.
- [2] Andrea Basso and Glenn L. Cash and M. Reha Civanlar, "Transmission of MPEG-2 Streams over Non-Guaranteed Quality of Service Networks", In Proc. of Picture Coding Symposium '97, Sep. 10-12, 1997.
- [3] A. Ogawa, K. Kobayashi, K. Sugiura, O. Nakamura and J. Murai, "Design and implementation of DV based video over RTP", Proc. Packet Video Workshop '2000, May 2000.
- [4] Takahiro Komine, Fumito Kubota, Shin-ichi Nakagawa and Akira Amemiya, "Development of the Japan Gigabit Network", In Proc. of ICATM 2000, Jun. 26-29, 2000.
- [5] IEC 61834, "Helical-scan digital video cassette recording system using 6,35 mm magnetic tape for consumer use (525-60, 625-50, 1125-60 and 1250-50 systems)", Aug. 1998.
- [6] 藤原 洋, "画像の情報圧縮", bit, Vol.29, No.4, Apr. 1997, pp.43-50
- [7] Microsoft Corp., "Microsoft DirectShow SDK", Aug. 1998.
- [8] ISO 10918-1, "Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Images — Part 1: Requirements and Guidelines", May, 1995.
- [9] ISO 13818, "Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information", Nov. 1994.
- [10] K. Kobayashi, A. Ogawa, S. Casner and C. Bormann, "RTP payload format for DV (IEC 61834) video", RFC 3189, Jan. 2002.
- [11] K. Kobayashi, A. Ogawa, S. Casner and C. Bormann, "RTP payload format for 12-bit DAT audio and 20- and 24-bit linear sampled audio", RFC 3190, Jan. 2002.
- [12] A. Machizawa, K. Sugiura, T. Komine, H. Okazawa, S. Nakagawa and S. Uetsuki, "On the delay and quality of DV transmission system using ATM networks", Proc. 15th ICOIN, Beppu, Jan.-Feb. 2001.

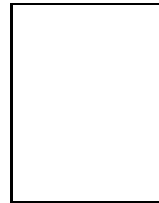
(平成 x 年 xx 月 xx 日受付)



勝野 聡 (正員)



江崎 浩 (正員)



追加 著者