

FTTH 網を使ったデジタルビデオ多地点会議用中継器の実装に関する検討

都築 伸二[†] 井口 義範[†] 山田 芳郎[†]

[†] 愛媛大学工学部 〒790-8577 松山市文京町 3, tsuzuki@ee.ehime-u.ac.jp

あらまし デジタルビデオ (DV) 方式の動画ストリーミングを、一般の Internet 回線で実現するために行ったパケットロス対策、およびその対策を組み込んだ多地点ビデオ会議用中継器について述べている。従来の方法では、バースト的にパケットを送信していたことに起因する、Internet 回線内でのバースト的なパケット欠落が問題であった。本稿ではソフトウェア的にパケットの送出間隔を平滑化すれば、汎用 OS 下の PC でも、バースト的なパケット欠落を大幅に減少できることを示している。またアナログ的に画面合成を行う従来の DV 多地点会議用中継器は、A/D 変換に伴う遅延時間やハードウェアが大規模になることが問題であったが、本研究ではアナログ変換することなくかつ PC 1 台で実現する方法を提案し、その実装結果を示している。

キーワード デジタルビデオ (DV)、動画ストリーミング、DV over IP、ビデオ会議システム、FTTH (Fiber To The Home)

An Implementation Study of a Repeater for Digital Video Multi-points Teleconferencing over FTTH Internet Access Services

Shinji TSUZUKI[†], Yoshinori IGUCHI[†], and Yoshio YAMADA[†]

[†] Faculty of Engineering, Ehime University Bunkyo 3, Matsuyama, 790-8577 Japan,
tsuzuki@ee.ehime-u.ac.jp

Abstract In this paper, an implementation method of a repeater for Digital Video (DV) multi-points teleconferencing over FTTH (Fiber To The Home) Internet access services is studied. One of the problems in the conventional DV streaming method was the serious number of packet-losses. This paper shows that the burst packet-transmission caused the problem. By the proposing software method of smoothing the packet intervals, the probability of the burst packet-loss decreased effectively even when PCs working under general propose OS transmitted the packets. The conventional repeater had another problem, which was the long delay time due to the analog to digital conversion for multi-window display processing. The proposed repeater selected automatically the speaker's picture which should be relayed, instead of multi-window displaying, so that the required delay time could be reduced.

Key words Digital Video (DV), Streaming of moving pictures, DV over IP, Video teleconferencing system, FTTH (Fiber To The Home)

1. はじめに

筆者らは DV(Digital Video) カメラで撮影した動画を、汎用の PC を用いてリアルタイムに IP 伝送する (DV over IP) ソフトウェアを開発している。同様の機能を有するソフトウェアとして DVTS [1], [2] や DVcom-

mXP^[E1]がある。これらのソフトウェアと比較して、

(a) 実装の形態として アプライアンス化することを視野に入れている^[E2]、

[注1]: <http://www.fatware.jp/product/index.html>

[注2]: <http://www.fase.co.jp/CamOnIP/>

- (b) TCP 回線を別途設けて送受信器間で回線状況に適応しながら動作する、
- (c) 音声の無音検出を使った遅延時間の短縮、
等が筆者らの特徴である [3] が、伝送ソフトウェアとしては本質的な違いはなかった。

筆者らを含めて従来の DV over IP 用ソフトウェアは、30Mbps の DV データを伝送するに十分な帯域を有し、かつ高品質な伝送路、例えば JGN(Japan Gigabit Network)^(注3)やキャンパスネットワークなどを、適用上の前提条件としていた。しかし、帯域幅や品質が保証されていない FTTH (Fiber To The Home) 回線でも利用したいというニーズが大きかった。

そのニーズは、例えば多地点間ビデオ会議である。DV 符号化ではフレーム間予測等の高能率圧縮を行わないため、MPEG を使った伝送装置に比べて本質的に低遅延であり、ストレスの少ない対話が可能である利点がある半面、一般家庭や通信基盤が脆弱な地方都市での利用を想定すると、DV 伝送に十分な広帯域高品質な回線を廉価に使用するのが困難であるという欠点がある。そこで、FTTH 回線で代用したいということになる。

また、既存の DV 多地点間ビデオ会議システムは、各地点からの DV データを一ヶ所に集め、一旦 DA 変換を行い、アナログ的に画面合成を行って再度 DV に変換して送り返す方式であり、各地点の様子が常にモニターできる利点はあるが、変換に伴う画質の劣化や、DA 変換に伴う遅延時間の増加(筆者らの経験では約 3 秒程度)のためスムーズな対話が困難になるという問題点がある。

本稿ではまず、FTTH 回線を使う場合に問題になるパケットロスに対して、その統計的性質を利用した対策を提案し、有効性を示す。次に、その提案方式を実装した装置にて、アナログに変換することなく DV データを中継するフルデジタルのビデオ会議用中継方式の実装方法を検討したので、以下に報告する。

2. FTTH 網でのパケットロス対策

2.1 従来の送出方式

筆者らが開発してきた従来のソフトウェアは以下のとおりであった。DV カメラで撮影した動画を、IEEE1394 経由で汎用の PC で受け取る。IEEE1394 ドライバからは、フレーム単位(フレームレートは、29.97fps (frame per second))。120kByte/フレーム)でデータを受け取り、所定の RTP ヘッダをつけ、指定したサイズにフラグメント(パケット化)して UDP で送出する [3]。IP 網でのパケットロス対策としては、

(注3) : <http://www.jgn.nict.go.jp/>

(1) 伝送する回線の容量が少なければ、画像データを間引き、フレームレートを下げて平均的な通信量 (bps 値) をさげる(レート変換方式と呼ぶ) [5]、

(2) (1) によっても防げないパケットロスは、直前に受信した画像をデータを再利用することで補間する [3]、
ことを行っていた。

他ユーザのトラフィックと輻輳せず、パケットの中継ルータ資源が潤沢な場合は、(1)の方法で十分であるが、本稿のように公衆インターネット回線を経由した伝送の場合は、パケットロスが多発し適用不能な場合が多い。筆者らのソフトウェアに限らず DVTS 等でも同様である。

2.2 パケットの送出間隔平滑化(無線 LAN)

100base-TX に接続された PC から、シーケンシャル番号をつけた DV パケットを順次送信している時に、その送出間隔時間をネットワークアナライザで観測した結果、およびそのイメージを図 1 に示す。従来方式では、1 フレーム、つまり 120kByte(図 1 では、100 パケットにフラグメント)毎に送信していたため、平均送出速度は 30Mbps であるが、瞬間的な最大実効伝送速度は 98Mbps であり、これを 33msec 毎にバースト的に送出していた。上記 (1) のレート変換方式の場合も同様に、瞬間最大実効伝送速度は 98Mbps のままであった。また DVTS も同様である。他ユーザのトラフィックと輻輳する公衆インターネット回線では、バースト的に到来する DV パケットによって、ルータ内のバッファがオーバーランし、DV パケットがバースト的に欠落しているものと予想できる。

そこで、本稿ではソフトウェア的に^(注4)パケット送出間隔を調整し、30msec かけて 120kByte(100 パケット)を送るようにして、検証してみた。これを以後平滑化方式と呼ぶ。図 1 に示したように 30Mbps の一定速度となる。

FTTH 網の代わりに、伝送容量が小さくて、かつバッファが小さいルータを経由する網を模擬するために、廉価な一般家庭用 IEEE802.11g 無線 LAN 用ルータを使い、平滑化の効果を調べた。図 2 が測定用のネットワーク構成図であり、DV と同サイズのパケットを実際の DV 伝送と同様のタイミングで送出して実験を行った。測定結果を図 3 に示す。ただし、無線の上りまたは下りの片方向のみの伝送結果であり、同時伝送は行っていない。この結果から、以下の点がわかる。

(注4) : ダミーループ回数を調整して実現。本研究では汎用 PC に、中継器として実装することを想定しているため、特殊なハードウェアなしで実現する方法にした。ただし、CPU 負荷が高くなる欠点があり、実装方法は今後の課題である。なお、DV データの送信器の場合は、IEEE1394 から 125 μ sec 毎に 6DIF ブロックのデータを受け取るので、1 フレーム (1,500 DIF ブロック) 分のデータがたまってから送出する必要はなく、随時送信するのも有効と思われるが、汎用 OS 下で 125 μ sec の動作をアプリケーションプログラムだけで記述するのは困難を伴う。

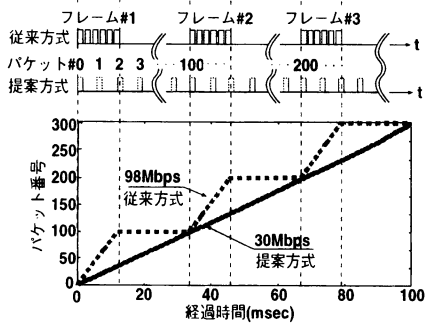


図1 DVパケットの送出速度と間隔

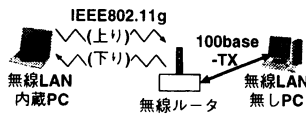


図2 無線LAN回線を用いた実験の構成図

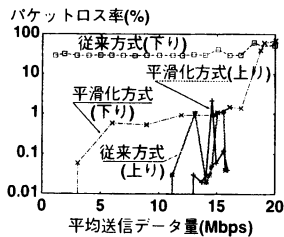


図3 無線LAN回線にDVストリーム相当のデータを流した際のパケットロス率

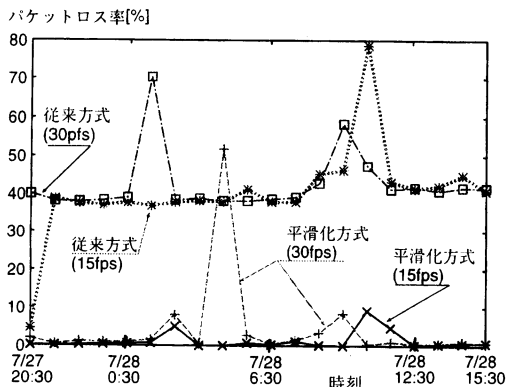


図4 パケットロス率の時間変動例. ($R = 0$)

• 上りは両方式ともパケットロスは同程度に少なく1%以下である。上りの場合は、PCに内蔵された無線LANデバイスから送信されるので、ハードウェア的にフロー制御され、回線容量以上のデータの送信は行われないため、FTTH網で起きるようなパケットロスは発生していないと考えられる。なお、両方式とも16Mbps以上は送信できない。つまり本実験で使用したIEEE802.11g回線の実効的な最大容量は16Mbps程度と言える。またこの範囲内であれば、ルータの中継能力に問題はないことも分かる。

• 従来方式による下りの場合は、中継能力としては問題ないはずの16Mbps以下でも、送信量にかかわらず30%程度パケットが欠落する。これは、回線の容量差を吸収するに十分なバッファ容量がルータにないためにオーバーランし、98Mbpsのバーストストリームがバースト的に欠落しているものと考えられる。

これに対して平滑化方式でかつ16Mbps以下の場合、送信データ量に応じてロス率は変化するが、高々1%以下である。もともとルータのバッファが潤沢にないので、パケットロスを完全に無くすことはできないにしても、上記のようなバースト的に欠落することは防ぐことができると言える。平滑化方式でかつ16Mbps以上の場合、IEEE802.11g回線の容量を越えているので、急激にロス率も増加する。

2.3 パケットの送出間隔平滑化 (FTTH網)

実際のFTTH網^(注5)に、DVデータを伝送した際に生じるパケットロスの統計的性質を調べた[4]。パケットロス率の時間変動例を図4に示す。研究室からキャンパスネットワーク、SINET^(注6)及びFTTH網を経由したPCまでの経路(20ホップ)で、従来方式と平滑化方式との平均パケットロス率を比較している。2004年7月27日から28日にかけて、1時間毎1分間、図示した4方式を連続測定した。また表1には、別の日に同様に測定した結果を示す。表中に、レート変換方式の、画像レートと通信量との関係を示す。ただし、音声繰り返し数(R)が1の場合(詳細は次節に述べる)である。いずれも、従来方式ではレート変換方式によりfps値を下げてでもロス率は改善しなかったが、提案方式ではロス率が高い場合レート変換が有効に機能することがわかる。

ただし、図4に示したように、回線状況が急激に変化する場合があるので、状況に応じた適応的なレート変換が必要であることが分かる。次節で述べる中継器では、パケットロス率は常時モニタしており、ロス率が悪化し

(注5)：本研究ではBフレッツ・ファミリー100かつOCN

(注6)：Science Information Network, <http://www.sinet.ad.jp/index.html>

表 1 従来方式と平滑化方式の平均パケットロス率比較。(2004年12月26日PM測定 $R=1$)

画像レート (fps)	30	15	10
通信量 (Mbps)	29.9	16.7	11.1
従来方式	85.7%	81.5%	85.6%
平滑化方式	78.0%	54.6%	14.3%

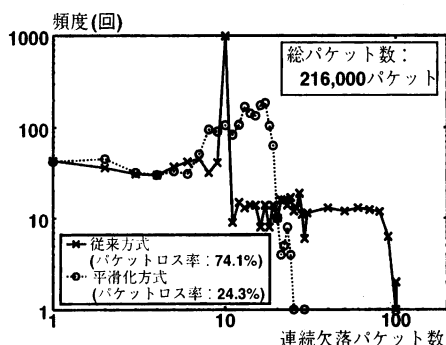


図 5 10fps 伝送時の連続して欠落したパケット数毎の生起頻度例 (2005年1月8日PM測定 $R=1$)

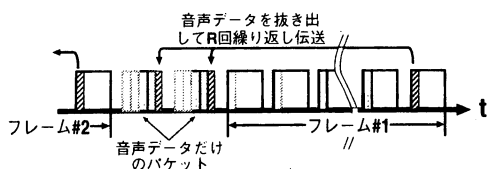


図 6 音声繰り返し伝送の原理 ($R=2$ の場合)

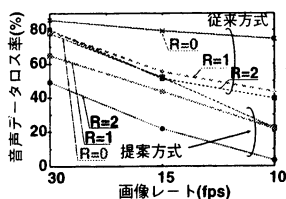


図 7 音声の繰り返し伝送による音声データロス率 (P_v) 改善 (2005年1月9日PM測定)

た場合にレートを自動的に下げようとしている。ロス率が改善した場合には、レートの戻し方は別途検討を要するので、ここでは手動で戻すようにしている。

また、図 5 はパケットロスのバースト性を 1 分間調べたものである。ここで横軸は連続して欠落したパケット数を、縦軸はその生起頻度である。この例では、20 パケット以上連続して欠落をする確率が、従来方式に比べて改善されていることがわかる。測定日が異なる、つまり回線状況も異なる表 1 及び図 4 についても 頻度分布の形状は異なる [4] もの、同様にバースト的に欠落をする確率が改善できる。

平滑化方式とレート変換方式とを併用して、FTTH 網経由で伝送した際の再生動画品質とパケットロス率との関係を、主観評価で調べた。その結果、スクリーンや黒板等を撮影している場合つまり動きが少ない場合はロス率を 20% 以下に、人物の様子等の動きがある場合は 10% 以下になるように画像レートを下げ、さらに 2.1 節 (2) で述べたように欠落パケットを過去の画像データで補間すれば、実用上問題のない再生画質を得られた。

しかし、音声については、欠落パケットを過去の音声で補間するとクリック音やチリチリ音等のノイズが発生する。そこで、音声データについては、以下に述べる繰り返し伝送を行ない、音質を改善した。

2.4 音声繰り返し伝送

欠落したパケットの回復手段は大別して

- ARQ (Automatic Repeat reQuest) 等による再送
- 誤り訂正符号を用いた回復

の 2 通りがある。再送は、TCP 等で広く用いられているが、本稿のようにリアルタイム伝送を目的としたストリーミングでは、遅延時間が問題である。他方、誤り訂正符号による損失パケットの回復は、送信側で送信データに訂正用の冗長データを加えてから送り、受信側では一部のパケットが欠落しても回復できる。再送に伴う遅延時間がないので、本稿ではこの手段のうち、最も簡単な方法である繰り返し伝送方式を実装した。

図 6 に、繰り返し伝送の原理を示す。フレーム単位で、その中の音声データを抜き出して複数回 (R とする) 繰り返し伝送する^(注7)。本稿では音声と映像の同期 (リップ同期) を容易に行うため、1 フレーム分の DV データ送信直後に当該フレームの音声を R 回繰り返し伝送している。受信側は、音声データが欠落していれば、繰り返し伝送されてくるデータで回復する。万が一回復できなかった (繰り返し伝送が足りなかった) ときは、過去の音声で補間している。

(注7) : 本稿では、DIF シーケンス毎に、9DIF ブロックを 1 パケットとしている。

表 2 音声の繰り返し回数と伝送量の関係

画像レート (fps)	30fps	15fps	10fps
音声繰り返し回数: 0	28.2Mbps	14.9Mbps	9.4Mbps
音声繰り返し回数: 1	29.9Mbps	16.7Mbps	11.1Mbps
音声繰り返し回数: 2	31.6Mbps	18.4Mbps	12.9Mbps

図 7 に、繰り返し伝送による音声データロス率改善の程度を示す。なお本稿では、音声とパケットでは、ロス率の定義が異なる。

$$\text{パケットロス率: } P_p \stackrel{def}{=} \frac{\text{欠落したパケット数}}{\text{繰り返し伝送分も含む送信した全てのパケット数}} \quad (1)$$

$$\text{音声データロス率: } P_v \stackrel{def}{=} \frac{\text{回復できず過去のデータで補間した音声 DIF ブロック数}}{\text{再生した音声 DIF ブロック数}} \quad (2)$$

ただし、1 DIF (Digital Interface Format) ブロックは、80Byte。

R 値を増やすほどロス率 (P_p) が低下することが分かる。ただし低下の程度が必ずしも線形でないのは、データロスがランダムに起こらずバースト性があるからと考えられる。

なお、 R を必要以上に増やし過ぎると通信帯域を圧迫し、さらにパケットロスを誘発する恐れがある。表 2 に、繰り返し回数と伝送データ量の関係を示す。DV データ量と繰り返し音声データ量の比は、パケット数で 10%^(注8)、データ量で 6%^(注9) と、帯域の占有量が小さいので、1-2 回の繰り返しであればパケットロス率に影響は出ない。逆に言えば、数回以下の繰り返しで済むように、前節の平滑化でロス率を下げておく必要がある。

提案方式で FTTH 網を伝送し再生した音質と音声データロス率 (P_v) との関係を示し、主観的評価を行ったところ、 $P_v < 3\%$ であれば違和感のない再生音質が得られる。したがって図 7 の場合であれば、提案方式にて 10fps かつ $R = 2$ のときが、これに該当する。

以上をまとめると、パケットの送出間隔を平滑化しパケットロス率 (P_p) をある程度下げた ($< 10\%$) うえで、音声については音声データロス率 (P_v) が 3% 以下になるように繰り返し伝送を行えば、従来できなかった FTTH 網でも所望の画質画質、音質を得ることができることを実験的に示した。

また FTTH 網に限らず同様にして、2.2 節の無線 LAN でも所望の画質画質、音質を得ることができた。

(注8)：フレーム毎に 100 パケットにフラグメントし、また 1 フレーム内は 10 シーケンスあるので繰り返し音声データは 10 パケットである。
(注9)：1 フレームは 1,500DIF ブロック。そのうち音声は 90DIF ブロック。

3. 多地点ビデオ会議システム

前章で検討した FTTH 網への適用方式を実装した装置にて、動画をアナログに変換することなくデジタルのまま DV データを中継するフルデジタルのビデオ会議用中継方式の実装方法について、以下に述べる。

図 8 に、既存の多地点間 DV 会議システム例を示す。各地点からの DV データを一ヶ所に集め、一旦 DA 変換を行い、アナログ的に画面合成を行った後再度 DV に変換して送り返す方式であり、各地点の様子が常にモニターできる利点はあるが、変換に伴う画質の劣化や、DA 変換に伴う遅延時間の増加(筆者の経験では約 3 秒程度)のためスムーズな対話が困難になるという問題点がある。また各地点からの DV データを一ヶ所に集めるため、中継システムを設置する場所は十分帯域の広いネットワーク基盤が必要となる制約がある。

提案するシステムは、送信器、中継器、受信器からなり、その構成を図 9 に示す。送信器は DV カメラで撮影したデータの中継器へ伝送する。ただし、事前に設定した閾値以下の音声、つまり無音区間には伝送を行わない。中継器は送信器から伝送されてくるデータを参照し、発言している人の映像・音声を、視聴者や各地点の発言者へマルチキャストでデータを送る。複数地点が閾値以上の音声つまり、同時に複数の人が発言している場合にはそれまで中継していない地点を優先して中継する。ただし音声は混合するので複数の発言者がいても問題ない。このように、多地点を同時にモニターできない代わりに、発言者の画面を自動的に選択して中継することとした。その結果、対向で通信する場合と同程度の通信容量の場所に中継器を設置できるようになり、また中継システムの規模が大幅に小さくなり PC 1 台で実現できるようになった。

表 3 に、アナログ変換を伴う既存の DV 多地点間会議用中継システムと、本提案中継器の比較を示す。送信器から中継器を経由して受信器で再生されるまでの遅延時間は約 0.8 秒(内、中継器は 0.3 秒)である。ストレスなく対話するに許容される遅延は 0.3 秒程度であり、さらに改善する必要があるものの、既存システムに比べると、フルデジタルで中継することにより大幅に遅延を短縮できた。

4. おわりに

本稿では、提案した DV パケットの送出間隔平滑化及び、音声の繰り返し伝送が FTTH 網において有効であることを示した。これらを併用し、所望の画質、音質を得るためのパケットロス率の目安値を満足するように、画

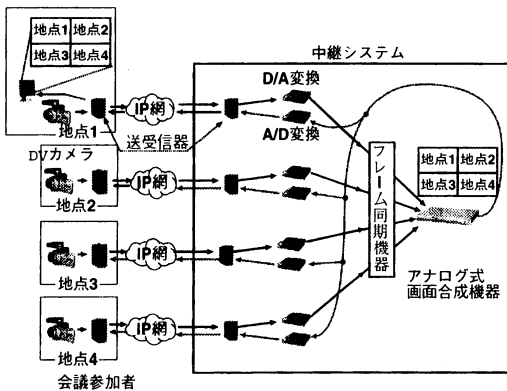


図 8 アナログ合成による 4 地点間 DV 会議システム例

表 3 DV 多地点間会議用中継器の比較

	アナログ変換を伴う中継システム	提案システム (フルデジタル)
遅延時間	大 (max. 3 秒程度)	小 (0.8 秒程度, うち中継は 0.3 秒程度)
画質	劣化有り (DV⇒NTSC)	劣化無し
多地点同時描写	○	×
中継システム規模	× (地点数分の PC とアナログ変換機器が必要)	○ (PC1 台)
画面切替え	手動	自動
中継システム設置場所の所要回線容量	× (地点数分のトラフィックを収容できる程度)	○ (対向で通信できる程度)

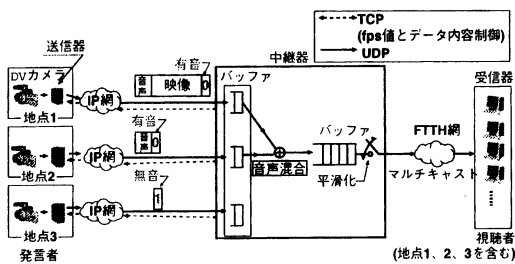


図 9 提案するフルデジタル方式の多地点間ビデオ会議システム

像のフレームレートを調整する方法が有用であった。

これらの結果を以下のように評価している。PC の標準イーサネットインターフェースは近いうちに 1Gbps になるであろう。しかし公衆インターネット網の速度が PC の速度を追い越すことは今後もないであろう。したがって、この速度差を吸収するルータの機能が本来であれば重要であるが、ベストエフォート型のネットワークが前提であるので、期待できない。ユーザサイドの自衛手段として、ストリーミング用途に UDP を使う場合に、上位レイヤで TCP 相当のフロー制御を行なったとしても、汎用 OS 下ではその時間管理の最小単位が数 msec であるため、本稿で指摘したバースト的なパケット欠落は回避できない。本稿の例では、33msec 間に 100 パケットを送信するので、パケットの生起間隔を $330\mu\text{sec}$ になるように OS が制御する必要があることになる。一方、2.2 節で述べたように内蔵無線 LAN からのパケット送出手が結果的に、ハードウェア的なフロー制御となり有効であったように、将来的にはイーサネットインターフェースでもハードウェア的なフロー制御ができるようになることが望まれる。したがって、本稿で提案したパケット間隔平滑化は、ハードウェア的なフロー制御の手段を持たず、かつ汎用 OS 下で動く PC でストリーミングを実施する際に、現実解として有効であると考えられる。

また、アナログ変換を伴わない多地点間ビデオ会議方式を提案し、低遅延 (約 300msec) の中継器を新たに開発し、有用であることを確認した。今後の課題は、以下のとおりである。開発した中継システムを、インターネット上で大規模に運用し、問題点の有無を調べる必要がある。また本研究では UNIX PC に中継器を実装したが、Windows PC へも実装するのが可搬性向上の意味で望ましい。また、FTTH と同様に回線品質が保証されない無線 LAN への適用、同様のプログラムである DVTS との互換性の付加、及び HDV (High Definition Video) 対応方法の検討が今後の課題である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、共同研究を行っている (株)FA システムエンジニアリング社殿に深く感謝致します。

文 献

- [1] A.Ogawa, K.Kobayashi, K.Sugiura, O.Nakamura, J.Murai, Design and Implementation of DV based video over RTP, Packet Video 2000, May, 2000.
- [2] 大森、久松、杉浦、中村、村井、DSCP (DV Stream Control Proxy) の設計と実装、情報処理学会、第 116 回 マルチメディア通信と分散処理研究会、2004-DPS-116, 2004.
- [3] 光枝、都築、山田、IP 網における DV 動画伝送プログラムの改良、信学技報 IA2003-36, Jan., 2004.
- [4] 井口、都築、山田、DV ストリームパケットの送出間隔平滑化の提案、平成 16 年度電気関連学会四国支部連合大会、12 - 15, 2004.9.25.
- [5] 光枝、都築、平屋、小池、山田、「IP 網における DV 動画伝送装置開発のための基礎検討」、信学技報 IA2002-21, pp.19-24 (2002.11).