

大学間遠隔コミュニケーションのための 高品質動画像伝送システム

西村 浩二[†] 近堂 徹[‡] 田島 浩一[†] 岸場 清悟[†] 相原 玲二[†]

[†] 広島大学情報メディア教育研究センター

〒 739-8511 東広島市鏡山 1-4-2

{kouji, tashima, kishiba, ray}@hiroshima-u.ac.jp

[‡] 広島大学大学院工学研究科

〒 739-8527 東広島市鏡山 1-4-1

tkondo@hiroshima-u.ac.jp

概要

複数のキャンパスを擁する大学や他大学との単位互換を進める大学において、インターネットを介した遠隔会議や遠隔講義のためのシステムの需要が高まりつつある。しかし、品質保証のないインターネットでは常にパケット損失が生じる可能性がある。既存のシステムでは、狭帯域での利用を前提として問題を回避しているが画質の面で、一方、実験ネットワーク上での利用を前提とするシステムでは、パケット損失に対する耐性の面で問題がある。本稿では、インターネットを介した大学間遠隔コミュニケーションを実現するため、FEC によるパケット損失回復機能を持つ高品質動画像伝送システムを開発し、理論的な考察のほか、実環境での利活用実験を通してその有効性を検証した。

キーワード: テレビ会議システム, 高品質動画像伝送, 前方誤り訂正符号 (FEC)

A High Quality Video Transmission System for Inter-University Communications

Kouji Nishimura[†], Tohru Kondo[‡], Koichi Tashima[†], Seigo Kishiba[†], Reiji Aibara[†]

[†]Information Media Center, Hiroshima University

1-4-2, Kagamiyama, Higashihiroshima, 739-8511

{kouji, tashima, kishiba, ray}@hiroshima-u.ac.jp

[‡]Graduate School of Engineering, Hiroshima University

1-4-1, Kagamiyama, Higashihiroshima, 739-8527

tkondo@hiroshima-u.ac.jp

Abstract

The demand for video-based distance conference and distance learning is emerging for universities which have more than one campus or proceed to the interchange of its credits with other universities. However, as the Internet does not guarantee the QoS (Quality of Service), packet losses may occur even if there is enough bandwidth. The existing TV conference systems and tools have the problem with respect to the robustness against the packet losses. In this paper, we develop a high quality video transmission system with packet loss recovery functionality using FEC to deploy for the inter-university communications via the Internet. We describe not only the theoretical result but also the practical experiments on several networks.

keywords: *TV Conference System, High Quality Video Transmission, Forward Error Correction (FEC)*

1 はじめに

これからの数年で大学を取り巻く情報環境は大きく変化することが予想される。少子化や国立大学の法人化に伴う大学の統廃合、あるいはキャンパスの移転などにより、複数の分散したキャンパスを擁する大学が数多く誕生する。これらの大学では大学運営のみならず、教育や研究の場面においても、人がキャンパス間を頻繁に行き来する必要が生じる。また他大学との差別化が求められる昨今では、より特色のある教育の実現のため、遠隔地の著名な教育者、研究者を招く大学も少なくない。

このような要求に応えるため、電話網やIPネットワークを利用する様々な遠隔会議システムが開発されてきた [1][2][3][4]。しかし多くのシステムでは、伝送路に対する制約の強さ(例えば帯域幅)と、伝送される動画像の品質との間にトレードオフの関係があった。遠距離に(伝送路に対する制約が厳しく)なればなるほど動画像の品質は低下し、動画像の品質を上げるには近距離に(伝送路の制約を緩く)する必要があった。また動画像の品質は、遠隔会議では許容できて、遠隔講義での利用に十分耐えられるレベルとは言い難かった。その一方、特別に構築され管理されたキャンパスネットワークや実験用ネットワークが利用できる環境では、MPEG2やDVによる高品質な動画像伝送が実現されている。

近年のネットワーク事情の変化によって、従来のキャンパス間は自設線や広帯域の専用線で運用され、対外接続も広帯域化した学術情報ネットワークや比較的安価なサービスが利用できるようになってきた。今後は通常のトラフィックに交じって、インターネットを介した大学間(キャンパス間)での遠隔会議や遠隔講義が主流になると考えられる。

そこで本稿では、ブロードバンド化したインターネットを介して大学間の遠隔コミュニケーションを実現する高品質動画像伝送システムを構築する。現在のインターネットでは伝送帯域やパケット損失に対する保証がないため、それらをいかに保証するかが成否の鍵となる。本システムでは動画像データに対してそれらを一定の許容範囲内に補償することで、他のトラフィックとの共存を図る。また本稿では、いくつかのネットワーク上での実験結果を示すほか、学術情報ネットワーク(SINET)上での利用実験を行い、それらの結果からシステムの評価を行う。

以下、第2章では、既存の遠隔会議システムについて述べ、大学間における利用を想定した場合の問題点および要求される仕様について述べる。第3章では、本研究で開発した高品質動画像システム Robst の概要について述べる。第4章では、今までに行っていたいくつかのネットワーク上での利用実験とその結果、および本稿で目標とする学術情報ネットワーク上での利用について述べる。

2 テレビ会議システム

本稿では、遠隔地間の会議だけでなく、遠隔地間の講義を含めた広義の意で遠隔コミュニケーションと呼ぶ。一般の遠隔会議では、あらかじめ配布資料があり、それを読み上げる形をとるため、映像は静止画に近い状態で行われることが多い。そのため仮に映像が乱れても、音声は明瞭であれば、会議の進行に影響を与えることは少ない。一方遠隔講義では、講師の声や顔だけでなく板書の文字や実験の様子なども伝送する必要がある。つまり、伝送される映像そのものに資料的価値があるため、高精細で高品質なものが求められる。また大学審議会の答申 [5] などにおいても、文字、音声、静止画、動画等の多様な情報を一体的かつ双方向に扱うことができる必要があり、講義中は講師と学生が互いに映像・音声等によるやりとりが行えることが望ましいとされていることから、実際の教室で受ける講義と大差のない品質が要求される。このように遠隔講義がシステムに求める仕様は遠隔会議のそれを大きく上回るが、今後の大学運営で求められる仕様は、最低でも上記の仕様となることは想像に難しくない。

現在、広く利用されている遠隔会議システムの例としては、NetMeeting¹やPolycom²などがある。これらはH.323勧告に基づいたテレビ会議システムで、一定の相互接続性を保ちつつ、QoS(Quality of Services)保証がないインターネット上で音声や映像、データなどをリアルタイム伝送することが可能である。また、電話をかけるのと同じ要領で通信相手との接続が行えるなど、ユーザインタフェースの面では非常に優れている。しかし、基本的にNetMeetingは個人向けアプリケーション、

¹<http://www.microsoft.com/japan/windows/netmeeting/default.htm>

²<http://www.polycom.com/home/>

Polycom は 10 人程度の規模のテレビ会議システムという位置付けであり、また使用する帯域も NetMeeting で最大 512kbps、Polycom で最大 2Mbps であることから、大規模教室で 100 名あるいはそれ以上の学生が大画面で視聴する遠隔講義での利用は画質などの面で十分とは言えない。

一方、キャンパスネットワークや実験ネットワークなど、特別に整備された環境での利用を前提としたシステムもある。現在大学等で多く利用されているテレビ会議システムは ATM ネットワークを使用して SDTV(標準テレビ) 品質の動画像を伝送する MPEG2 CODEC だが、そのほとんどは導入からすでに 7 年以上が経過し、メンテナンスコストが急激に増大しつつある。また、キャンパスネットワークも ATM ベースから IP(GbE) ベースへ移行が進んでいることから、次世代のテレビ会議システムの開発は急務である。

MPEG2 CODEC と同等の品質で市販されている IP ベースのテレビ会議システムとしては、沖電気製 VisualCast-SS³や、日本ビクター製 DM-NE300(D)、DM-ND300⁴などがある。前者は MPEG4 を、後者は MPEG2 を数 Mbps から 10 数 Mbps の帯域で IP ネットワーク上に伝送する。これらのシステムも、接続先をプリセットリモコンで操作できるなど、ユーザインタフェース面では NetMeeting や Polycom と同様に優れている。しかしいずれのシステムにおいても、パケット損失に対する対策は現在のところ損失したパケットを含むフレームを表示しないなどのエラーコンシールメント処理のみである。したがって、本稿が対象とするキャンパスネットワークをまたがり、1~数%のパケット損失が想定される環境での利用は困難が予想される。

主に実験ネットワークを基盤として開発されたシステムとしては、DVTS[1]がある。DVTS は約 35Mbps の帯域を使用し、DV(Digital Video) を伝送する。また最近では、LAN の広帯域化に伴い DV を伝送するシステムも市販されている。例としては、東京エレクトロン製 Ruff Systems⁵や、ファットウェア製 DVcommXP⁶、ネットワンシステムズ製 DVICS⁷などがある。

³<http://www.oki.com/jp/SSC/broadmedia/Visualcast/index.htm>

⁴http://www.victor.co.jp/pro/enc/ne300_nd300/index.htm

⁵<http://www.tel.co.jp/cn/cs/ma/ruff/ruffsystems.html>

⁶<http://www.fatware.co.jp>

⁷http://www.netone.co.jp/newsrelease/j/2003/news/20030716_dvics.htm

DV はフレーム内圧縮を行うため圧縮伸張に伴う遅延が小さく、フレームの間引きによる帯域制御やエラーコンシールメントも比較的容易に行うことができる。また多くのビデオカメラや PC などに標準で装備されている IEEE 1394 を入出力インタフェースに使用するため、利用の手軽さは他のシステムに引けをとらない。

大学間における高品質テレビ会議システムの利用が普及した場合は、常時数本の伝送が行われることを想定する必要がある。DV では約 35Mbps の帯域を必要とするが、MPEG2 ではある程度の遅延を許容することで、ほぼ同等の品質の MPEG2-SDTV を約 6Mbps で、HDTV(ハイビジョンテレビ) 品質の MPEG2-HDTV でも約 24Mbps で伝送することができる。したがって十分な帯域が確保できる場合、帯域の有効利用の点では、討論会などの双方向のやりとりが多い場合には DV を、講演会などの一方的な伝送が多い場合には MPEG2-SDTV または MPEG-HDTV を、黒板の文字や実験の様子を伝送する場合には MPEG2-HDTV を、というように用途によって使い分ける必要がある。

以下本稿では、伝送路上でパケット損失が常に発生することを前提として、伝送データの冗長化によりパケット損失に対する耐性が高く、かつ伝送する動画像の形式に依存しない伝送方式を提案し、インターネットで接続された大学間において高品質動画像伝送を行うシステムを構築する。

3 高品質動画像伝送システム Robst

本システムは、RFC2733[6] で標準化されたパリティ符号による冗長化手法を元に、より誤り訂正能力の高い RS(Reed-Solomon) 符号のための RTP ヘッダを定義し、実装を行っている [7][8]。このことから本システムを Robst(Robust Streaming Tool) と命名した。本方式により、映像に限らず RTP で伝送される様々なメディア [9] に対して RS 符号による誤り訂正機能を提供することができる。さらに本稿では、システムにいくつかの機能を付加することで、パケット損失の変動やバースト損失に対してより耐性の高い動画像伝送システムを構築する手法について述べる。

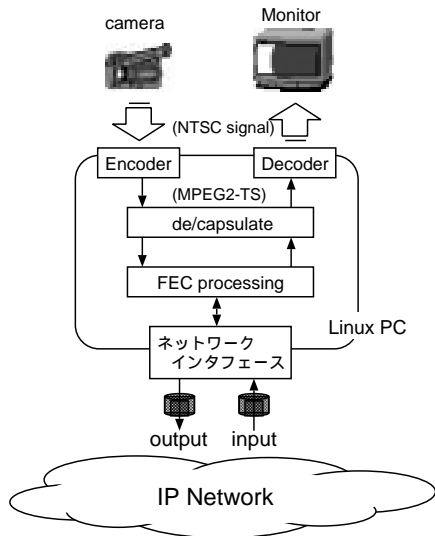


図 1: Robst/MPEG2 のシステム構成.

3.1 Robst/MPEG2 システム

3.1.1 システム構成

Robst では、扱うデータ形式を MPEG2 のようにシステム名の後ろに付加して呼ぶ。図 1 に Robst/MPEG2 のシステム構成を示す。本システムでは、動画のエンコード/デコードをハードウェアで行い、FEC(Forward Error Correction) を含むその他の処理をソフトウェアで行う。ソフトウェアの開発は Linux PC 上でっており、1 台の PC で送受信が可能である。

現在のところ、エンコーダボードとして BMK-Elektronik 製 LinuxTV MPEG2 Encoder⁸、デコーダボードは Vela 製 CineView⁹、Optibase 製 VideoPlex Xpress¹⁰ に対応し (いずれも PCI スロットに装着する)、MPEG2-TS(トランスポート・ストリーム) を入出力する。また、同じく MPEG2-TS を送受信するハードウェア MPEG2 CODEC を、ATM インタフェースを介してエンコーダ/デコーダとして利用することも可能である。以上は MPEG2-SDTV への対応状況であるが、本システムはさらに、MPEG2-TS の IEEE1394 インタフェースからの入力および DVB-ASI インタフェースへの出力にも対応しているため、MPEG2-HDTV の送受信も可

⁸<http://www.linuxtv.org/mpeg2/index.html>

⁹<http://www.vela.com/>

¹⁰<http://www.optibase.com/html/index.html>

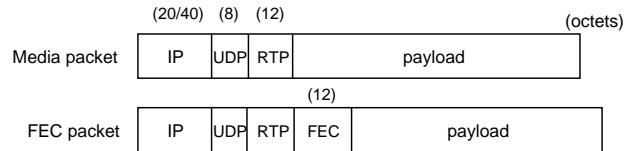


図 2: パケットフォーマット.

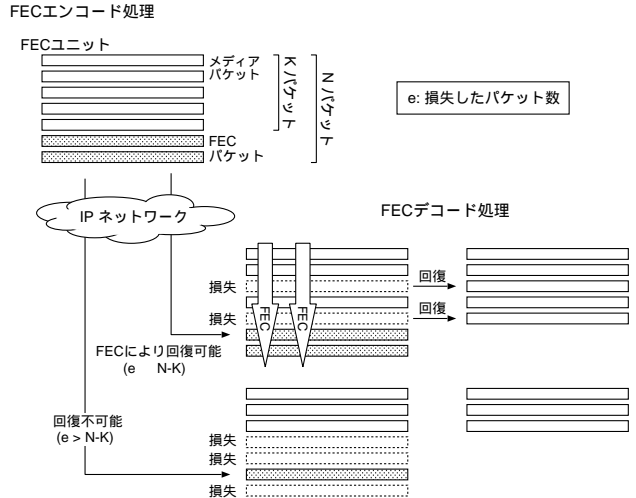


図 3: FEC によるパケット損失回復モデル.

能である [10]¹¹。

3.1.2 パケットフォーマット

本システムで使用するパケットフォーマットを図 2 に示す。メディアパケット (Media packet) は送信元から伝送されるユーザデータ (Robst/MPEG2 の場合は MPEG2-TS) であり、FEC パケット (FEC packet) は FEC 処理によって新たに生成されたパケットである。2 種類のパケットはそれぞれ別のストリームデータとして伝送し、FEC による誤り訂正機能を持たないノードに対する後方互換性を提供する。つまり、メディアパケットのストリームのみを受信することで、既存のシステムでも再生が可能となっている。

FEC によるパケット損失回復モデルは図 3 のように示される。本稿では、 K 個のメディアパケットと、そ

¹¹ただし Robst/MPEG2-HDTV の場合は、1 台の PC で送信または受信の一方のみが可能である。

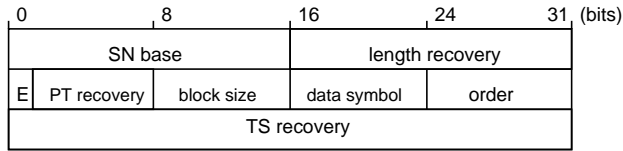


図 4: FEC ヘッダフォーマット.

れらから FEC 処理により生成された $N - K$ 個の FEC パケットをひとつの単位として扱い、FEC ユニットと呼ぶ。パケット損失の回復性能は FEC ユニット内の全パケット数 N とメディアパケット数 K の組合せで決まり、FEC ユニット内でのパケット損失数が $N - K$ 以下であれば回復可能である。

FEC ヘッダを図 4 に示す。SN base は FEC ユニット内のメディアパケットが持つシーケンス番号のうち、最小の値が入る。length recovery, PT(payload type) recovery, TS(time stamp) recovery には、FEC ユニット内のメディアパケットと FEC パケットの RTP ヘッダの該当するフィールドの冗長化されたデータが入る。block size, data symbol は、それぞれ FEC パラメータ N, K に対応する。

このフォーマットは、RFC2733[6] で標準化されたフィールドの一部を RS 符号のパラメータ用に再定義したものである。RFC2733 ではパリティ符号による FEC のための RTP ヘッダを提供しているが、RS 符号と比べ冗長度に対する誤り訂正能力が低いことがわかっている [3]。したがって RS 符号のための RTP ヘッダを新たに定めることで耐性を強化でき、さらに以下の利点が得られる。

- RTP ヘッダを含むペイロードの冗長化が可能。シーケンス番号などの重要フィールドの保護が可能。
- 可変ペイロード長に対応。伝送するメディアデータの形式に制約を与えない。
- FEC パケットに FEC パラメータを含むため、冗長度の動的変更が可能 (後述)。

3.2 ロバスト性の強化

パケット損失を回復する手段を大別すると、本稿が対象としている誤り訂正符号により冗長データを付加

することで受信側で損失部分を回復する前方誤り訂正法 (FEC) のほか、TCP など で用いられている損失したパケットを再送信する再送法 (ARQ: Automatic Repeat ReQuest) がある [11]。両者を比較すると次のようになる。

- ARQ による方法は、再送がない場合はネットワークの使用効率が良いが、再送が発生した場合はパケットの往復時間 (RTT) に比例した大きな遅延が発生する。また 1 対多通信の場合には、多数の再送要求により送信側をあふれさせる問題が発生する。これらは FEC による方法では問題とはならない。
- FEC による方法は、受信側での再構成処理のためにデータをバッファするための一定の遅延が発生する。またパケット損失率が変動したり、パケット損失が集中した場合、誤り訂正能力を超えてしまう可能性がある。これらは ARQ による方法では問題とはならない。

本稿が対象とするテレビ会議システムなど、伝送遅延に制約のあるリアルタイムアプリケーションや、受信端末数が大きくなる 1 対多通信では、FEC による方法によりパケット損失の回復が可能であるが、パケット損失率の変動やパケット損失の集中に対する対策を検討する必要がある。

3.2.1 FEC による冗長化の効果

FEC パラメータを N, K とし、個々のパケット損失は独立であると仮定すると、2 項分布でモデル化することができる。個々のパケットの損失率を p としたとき、FEC 復元後のパケット損失率の理論値は、 N, K, p を入力パラメータとして求めた FEC 復元後の損失パケット数の期待値を、 K で除算することで求められる [3]。ここでメディアパケット K 個の中から FEC 復元後に i 個損失している事象を X_i とし、 X_i が起こる確率を $P[X_i]$ とすると、 $i \neq 0$ の場合は次のように表される。

$$P[X_i] = \frac{{}_K C_i p^i (1-p)^{K-i}}{\sum_{j=t}^{N-K} {}_{N-K} C_j p^j (1-p)^{N-K-j}} \quad (1)$$

$$t = \begin{cases} 0 & (N-K < i \leq K) \\ N-K-i+1 & (0 < i \leq N-K) \end{cases}$$

式 (1) は回復できなかったメディアパケットが存在する場合について考えており、2通りの状況がある。ひとつはメディアパケットの損失のみで $N - K$ 個を超える場合、もうひとつはメディアパケットと FEC パケットの損失の合計が $N - K$ 個を超える場合である。前者の場合 ($N - K < i \leq K$) は、FEC パケットの損失の有無に関わらず回復は不可能である。したがって、FEC パケットが損失するすべての場合の和となるため、 $t = 0$ となり、 \sum 項が 1 となることに注意が必要である。後者の場合 ($0 < i \leq N - K$) は、FEC 処理により回復できないのは FEC パケットの損失が $N - K - i + 1$ 個から $N - K$ 個のときであるため、 t により回復不可能となる点での場合分けを行う。

一方 $i = 0$ の場合は、すべてのパケット損失が回復できる。すなわち、パケット損失数が許容範囲内であるので、

$$P[X_0] = \sum_{j=0}^{N-K} {}_N C_j p^j (1-p)^{N-j} \quad (2)$$

となる。損失パケット数の期待値は

$$E[X] = \sum_{i=0}^K iP[X_i] \quad (3)$$

なので、パケット損失率 $P[X]$ は次のようになる。

$$P[X] = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K i {}_K C_i p^i (1-p)^{K-i} + \sum_{j=t}^{N-K} {}_{N-K} C_j p^j (1-p)^{N-K-j} \quad (4)$$

$$t = \begin{cases} 0 & (N - K < i \leq K) \\ N - K - i + 1 & (0 < i \leq N - K) \end{cases}$$

3.2.2 冗長さの動的変更

前述のように FEC の冗長度を固定すると、パケット損失率の変動により誤り訂正能力を超えるパケット損失が生じた場合、損失したパケットを回復できない。一方、常に高冗長さの FEC を用いることで、パケット損失へのロバスト性を強化することは可能であるが、必要以上の冗長化は通信帯域を無駄に消費するという問題もある。

そこでここでは、ネットワークにおけるパケット損失の状態に応じて FEC の冗長度を動的に変更する手法を

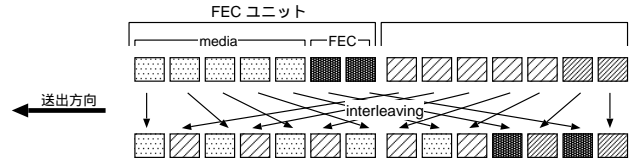


図 5: パケットのインタリーブ処理 .

示す。これにより、パケット損失の時間的変動への適応が可能となり、さらに伝送帯域の最適化を図ることができる。伝送帯域の最適化を行うことは、ネットワーク上の他のトラフィックとの親和性を高めることにもつながる。

送受信ホスト間での FEC パラメータは、FEC パケットに含まれる FEC ヘッダフィールドにより、FEC ユニット単位で同期している。そこで、この FEC パラメータを動的に変更することで、送信ホスト側で FEC の冗長度を制御する。

FEC 処理前後のパケット損失率は、式 (4) からあらかじめ算出して、テーブルとして保持しておく。送信ホストは、受信ホストから定期的にフィードバック情報として送られる受信側での FEC 処理前のパケット損失率と、あらかじめ決定しておいた FEC 処理後のパケット損失率の目標値からテーブルを検索し、FEC パラメータを決定する。フィードバック情報の送信は、RTCP (Real-Time Transport Control Protocol) の受信者レポートにより行い、通常 5 秒ごとに送信される。したがって、冗長さの動的変更の感度は、この送信間隔を変更することで調整が可能である。

3.2.3 インタリーブング

本稿の冗長化手法では、メディアパケットのグループに対し、それに付加する FEC パケットの個数により、パケット損失に対する耐性を制御している。そのため、平均のパケット損失率が同一でも、その発生パターンが均一であるかバースト的であるかによって、損失したパケットが回復可能かどうかが決まる。筆者らが SINET-FTTH 間で行った実験 [8] では、パケット損失のバースト長は数パケット程度がその多くを占めていた。

そこでここでは、複数の FEC ユニット間でパケットの送出順序を入れ替えることで、バースト的なパケット

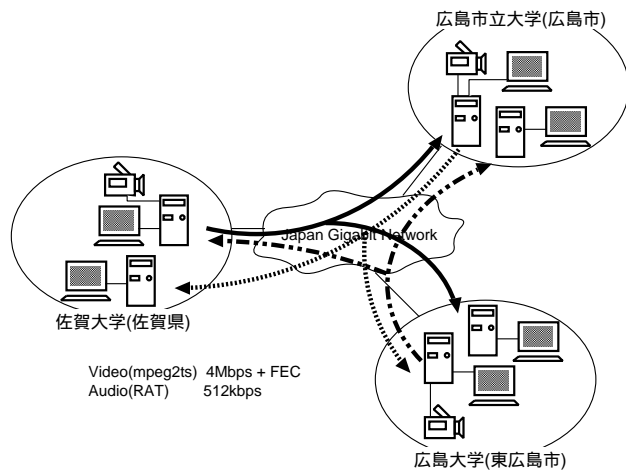


図 6: 3 地点遠隔ゼミのネットワーク構成.



図 7: 遠隔ゼミの様子 (広島大学).

損失を分散する手法を示す。インタリーブの深さが d であるとき、送信側は $d + 1$ 個の FEC ユニットからラウンドロビンでパケットを送出する。したがって、深さ 0 はインタリーブしないことを意味する。深さ 1 の場合の送信処理の概要を図 5 に示す。なお現在は実装の都合上、メディアパケットに対してのみインタリーブ処理を行っている。

一方受信側では、受信バッファの領域を多めに取り、パケットの到着順序の入れ替わりを許容することで対応している。しかしインタリーブの深さと再生遅延はトレードオフの関係にある。インタリーブが深くなればなるほど、バッファの対象となる FEC ユニットの数が多くなり、その分送受信ホスト双方で遅延が発生するため、深さの決定には留意する必要がある。

4 利活用実験と評価

本システムは、様々なイベントや日常的な利用を通してシステムの検証実験を行っている。以下では、実験ネットワークである研究開発用ギガビットネットワーク (JGN:Japan Gigabit Network) 上での利用、一般家庭で利用可能となりつつある FTTH 上での利用、そして大学間接続の典型例として SINET 上での利用について述べる。

4.1 JGN 上での利用

JGN に接続する広島大学 (東広島市)、広島市立大学 (広島市)、佐賀大学 (佐賀県) の 3 つの研究室では、2002 年 4 月から基本的に毎週遠隔ゼミを行っている。図 6 に示すような 3 拠点を結ぶ IPv4 マルチキャスト網を JGN に構築し、各拠点それぞれ本システムを設置してマルチキャスト通信を行うことで 3 地点間の遠隔ゼミを実現している。

映像伝送には Robst/MPEG2-SDTV を使用し、各拠点は約 5Mbps (MPEG2-TS レート 4Mbps) で自拠点の映像を送信しながら、他の 2 拠点の映像を合計約 10Mbps で受信する。一方音声伝送には、伝送遅延を最小限に抑えることを目的に広島市立大学で開発された MRAT (Multipurpose RAT) [12][13][14] を使用し、合計約 1.5Mbps の帯域を使用している。このように、全ての帯域を合計しても 20Mbps 未満の帯域で高品質動画映像による遠隔ゼミが可能となっている。

広島大学での遠隔ゼミの様子を図 7 に示す。中央の大画面テレビには発表者のいる拠点の映像が、横のテレビにはもう一方の拠点と自拠点の映像が表示されるようになっている。なお、本システムは IPv6 マルチキャストにも対応しているため、JGNv6 上でも利用可能である。

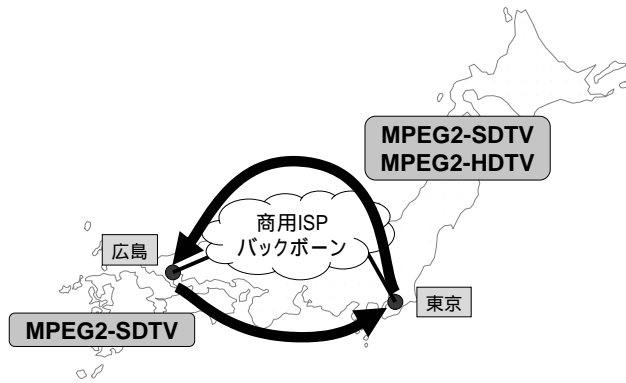


図 8: FTTH を利用したネットワーク構成.

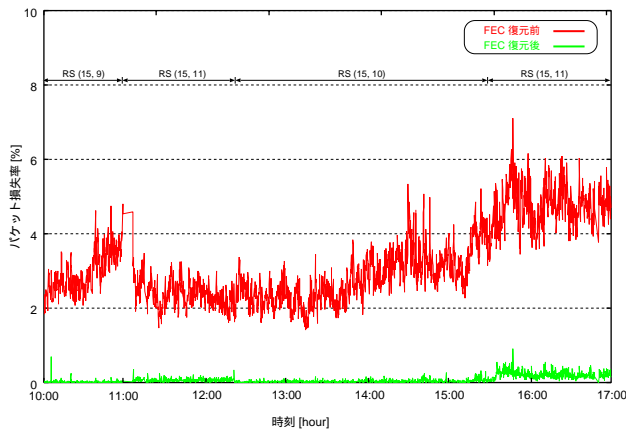


図 9: Robst/MPEG2-HDTV によるパケット損失回復の様子.

4.2 FTTH 上での利用

本システムの最終的な目標は、一般家庭でも利用可能となりつつある FTTH 環境において、高品質動画伝送を可能とすることである。その実証のため、一方あるいは双方の拠点に FTTH を適用した実験も行っている [8]。ここでは例として、双方の拠点で FTTH を利用した MPEG2-HDTV 伝送実験について述べる。

2003 年 5 月 30～31 日に広島市まちづくり市民交流プラザ (広島市中区) において広島 IT フェアが、5 月 28～31 日に東京ファッションタウン (東京都江東区有明) において New Education Expo 2003 がそれぞれ開催された。広島 IT フェアでは Robst/MPEG-HDTV のデモ展



図 10: 各拠点での様子 (左: 広島 IT フェア、右: New Education Expo 2003).

示、New Education Expo 2003 ではパネリストの 1 人が広島から遠隔参加するパネル討論が計画され、2 地点間での動画伝送実験を実施した。

各拠点には NTT 東西の B フレッツ (ベーシック) を敷設し、市販のブロードバンドルータを使用して商用 ISP 経由の接続を行った。デモ展示は東京 広島方向に Robst/MPEG2-HDTV (MPEG2-TS レート 20Mbps) で、パネル討論は双方向に MPEG2-SDTV (同 6Mbps) で伝送し、パケット損失の状況と FEC によるパケット損失の回復の様子を記録した。ネットワークの概略を図 8 に示す。

5 月 30 日の東京 広島方向 (Robst/MPEG2-HDTV) のパケット損失の状況、およびパケット損失回復の様子を図 9 に示す。各点は 1 秒ごとに観測されたパケット損失を 10 秒ごとに平均してプロットしている。また、図上部は先に述べた冗長度の動的変更により FEC パラメータが変化している様子を示している。10:00 から 17:00 の全区間において常に 2～4% (平均 3.26%) のパケット損失が発生しており、FEC 機能を使用しない場合は正常にデコード処理が行えない (デコーダが処理を停止する) 状態であった。しかし FEC による回復処理の結果、平均で 0.1%、主観的評価では 30 秒程度に一度モザイク状の画像の乱れが生じる程度にまで回復された。広島と東京の各拠点での様子を図 10 に示す。

4.3 SINET 上での利用

SINET は、全国の大学や研究機関を接続し、また国内の複数の商用 ISP や海外の研究ネットワークとの相互接続も行われている、実用ネットワークである。平成 14 年からは e-Japan 重点計画に基づいて全国の主要拠

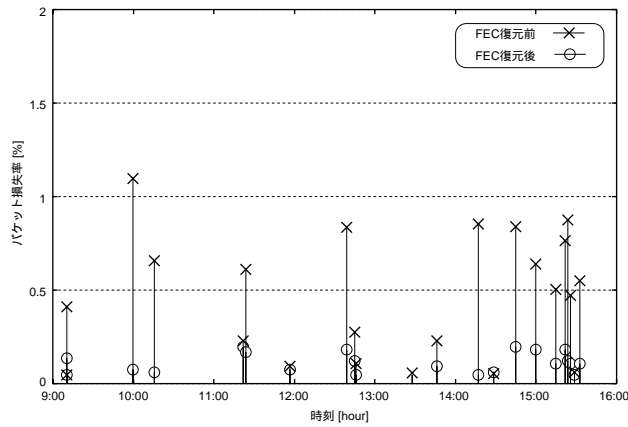


図 11: 広島大学での受信状況.

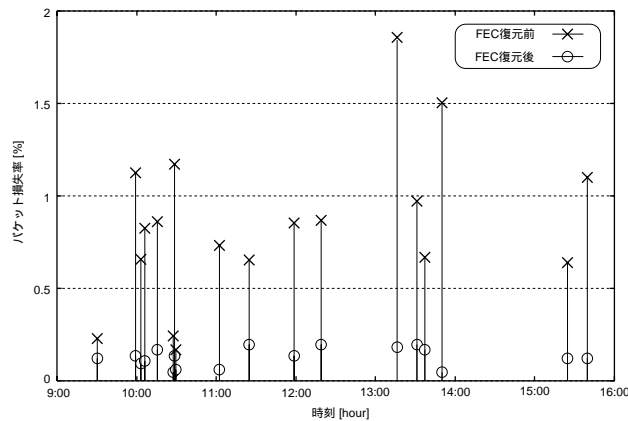


図 12: 東京大学での受信状況.

点にスーパー SINET ノードを設置し、さらなる広帯域化が図られている。このことから、将来の大学間遠隔コミュニケーションは SINET を基盤として行われると考えられる。そこで本システムを東京大学情報基盤センターと広島大学情報メディア教育研究センターに設置し、SINET 上での利用を想定した実験を行った。なお、広島大学は SINET ノードでバックボーン回線速度は 100Mbps である¹²。

東京大学のシステムからの経路は、東京大学ノード、大阪大学ノード、京都大学ノード、広島大学ノードを経由し、両端のキャンパスネットワークを含めて 11 ホップで広島大学のシステムに到達し、広島大学のシステムからはその逆を辿る。また、RTT(Round Trip Time) は約

¹²2003 年 10 月 1 日より、スーパー SINET ノードとなる予定。

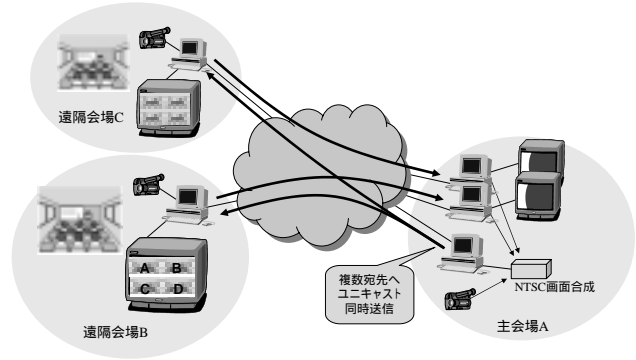


図 13: 多地点間テレビ会議のシステム構成.

20ms である。この環境で、両端のシステムから双方向に MPEG2-SDTV(MPEG2-TS レート 6Mbps) を 2003 年 7 月 24 日 (木)20:00 から約 20 時間連続して送信し、1 秒ごとにパケット損失および FEC 処理による回復の様子を記録した。このうち、7 月 25 日 (金) 9:00 ~ 16:00 に広島大学、東京大学で観測されたデータを 10 秒ごとに平均してプロットしたものを、それぞれ図 11、図 12 に示す。それぞれの拠点におけるこの時間帯の FEC 処理前後での平均パケット損失率は、0.006%と 0.001%、0.006%と 0.001%であった。また全時間帯を通しての平均パケット損失率は、0.004%と 0.0008%、0.005%と 0.0008%であった。これらの結果から、SINET 上であってもある程度のパケット損失は避けられないが、本システムの FEC 機能により、パケット損失率を約 1/5 に低減できることが確認された。

現在、本システムを利用した多地点間接続実験に向けた準備を行っている。システム構成を図 13 に示す。一般に多地点間接続では IP マルチキャストの利用が考えられるが、本実験ではマルチキャストを利用せず、主会場で各遠隔会場および主会場の映像を一画面に集約してユニキャストで各遠隔会場に送信する。この構成は、遠隔会場が軽微な設備で済むこと、また SINET を含むほとんどのネットワーク間のマルチキャスト配送は通常 IP トンネリングが利用されるため、結果として転送オーバーヘッドが小さくなると考えられることなどから、実際の利用においては現実的であると考えられる。

5 おわりに

本稿では、インターネットを介した大学間遠隔コミュニケーションを実現するため、FECによるパケット損失回復機能を持つ高品質動画伝送システム Robst を開発し、理論的な考察だけでなく、実環境における利活用実験を通してその有効性を検証した。その結果、JGN や FTTH 環境だけでなく、将来大学間遠隔コミュニケーションの基盤となることが予想される SINET 環境において、本システムが利用可能であることを示した。

本システムが様々な利用形態において本格的な利用に耐え得るかどうかは、さらなる検証実験が必要である。今後は、複数システムの同時利用や多地点間接続の実験を行う予定である。

謝辞

本研究における実験の実施にあたり有益なご助言・ご協力をいただいた広島市立大学前田香織助教授、佐賀大学渡辺健次助教授、東京大学安東孝二助手に感謝致します。本研究の一部は、通信・放送機構ギガビットネットワーク利活用研究開発制度 (JGN-P341005, JGN-G13013) および、日本学術振興会科学研究費補助金 (15700515) の支援を受けて実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] DVTS Consortium, <http://www.dvts.jp>.
- [2] mpeg2ts (MPEG2 over IP Transfer System), <http://net.ipc.hiroshima-u.ac.jp/mpeg2ts/>.
- [3] 大塚 玉記, 西村 浩二, 相原 玲二, 前田 香織, “FEC を用いた MPEG2 over IP システムの開発と評価”, 情処研報, 2001-DSM-24-8, pp.43-48 (2001).
- [4] 石田 雅, 大野 賢一, 鈴木 輝博, 穂山 知文, 木村 晃, “遠隔講義支援システムの構築について”, 学術情報処理研究, No.6, pp.61-65 (2002).
- [5] 大学審議会, “グローバル化時代に求められる高等教育の在り方について (答申)” (2000). http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/12/daigaku/toushin/001101.htm.
- [6] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, “An RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction”, RFC2733 (1999).
- [7] 近堂 徹, 西村 浩二, 相原 玲二, “FEC の冗長度動的変更による動画伝送の損失率制御”, 分散システム/インターネット運用技術シンポジウム 2003 論文集, pp.105-110 (2003).
- [8] 近堂 徹, 西村 浩二, 相原 玲二, “ブロードバンドインターネットで利用可能な高品質動画伝送システム”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2003) シンポジウム論文集, pp.509-512 (2003).
- [9] H. Schulzrinne, “RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control”, RFC1890 (1996).
- [10] 相原玲二, 西村浩二, 近堂徹, 前田香織, 渡辺健次, “HDTV MPEG2 over IPv6 システムの開発”, 信学技報, IA2002-19, pp.7-12 (2002).
- [11] 山内 長承, “補償度クラス別前方誤り訂正を用いたインターネットマルチメディア転送”, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.2, pp.206-212 (2001).
- [12] 岸田 崇志, 河野 英太郎, 前田 香織, 天野 橘太郎, “多目的な音声伝送システムの設計”, 情処研報, 2002-DSM-26-3, pp.13-18 (2002).
- [13] K. Maeda, T. Kishida, E. Kohno, “Collaborative Learning by Distance Chorus on the Internet”, Proc. of International Conference on Computers in Education (ICCE2002), pp.229-233 (2002).
- [14] T. Kishida, K. Maeda, E. Kohno, T. Kondo, K. Nishimura and R. Aibara, “Development of a Multipurpose Audio Transmission System on the Internet — To realize multiple audio communication scenes —”, Proc. of the 2nd International Conference on Human.Society@Internet, pp.372-382 (2003).