

## HDTV MPEG2 over IPv6 システムの開発

相原玲二<sup>†</sup> 西村浩二<sup>†</sup> 近堂 徹<sup>‡</sup> 前田香織<sup>††</sup> 渡辺健次<sup>‡‡</sup>

<sup>†</sup> 広島大学情報メディア教育研究センター

<sup>‡</sup> 広島大学大学院工学研究科

<sup>††</sup> 広島市立大学情報処理センター

<sup>‡‡</sup> 佐賀大学理工学部

あらし

筆者らはこれまで SDTV 品質の MPEG2 伝送システムを開発し、JGN などを用いた実証実験を繰り返し行ってきた。2001 年名護市で開催された JGN シンポジウムのスペシャルセッションにおいても広島からの映像を JGN 経由でシンポジウム会場に伝送し、高い評価を受けた。今後インターネット上では、より高品質の動画伝送の要求が高まってくると考えられ、特に HDTV 品質の動画伝送は医療や放送分野などでの応用が期待できる。本稿では、これまで開発した SDTV 伝送システムについて述べ、JGN 上で行った実証実験について紹介する。さらに FEC を用いた HDTV 品質の動画伝送を実現するにあたって、広帯域伝送における FEC の処理能力の評価を行い、その結果を基に構築している HDTV 伝送システムについて述べる。

キーワード: HDTV MPEG2, IPv6, IP マルチキャスト, 動画伝送

## Development of an HDTV MPEG2 over IPv6 System

Reiji AIBARA<sup>†</sup> Kouji NISHIMURA<sup>†</sup> Tohru KONDO<sup>‡</sup> Kaori MAEDA<sup>††</sup> Kenzi WATANABE<sup>‡‡</sup>

<sup>†</sup> Information Media Center, Hiroshima University

<sup>‡</sup> Graduate School of Engineering, Hiroshima University

<sup>††</sup> Information Processing Center, Hiroshima City University

<sup>‡‡</sup> Department of Science and Technology, Saga University

### Abstract

We developed an SDTV MPEG2 transfer system using IPv6 for broadband networks, and have conducted experiments using JGN(Japan Gigabit Network). At the JGN symposium special session held at Nago in 2001, the demonstration using the developed system met with good results. In the near future, the Internet users require to transfer high quality moving pictures. As for HDTV quality moving picture transfer system, applications in the field of medical treatment and broadcast is expected. In this paper, we show an SDTV MPEG2 transfer system using IPv6 and demonstrate a concrete example of the system using JGN. Moreover, we also describe an HDTV MPEG2 transfer system based on an evaluation of throughput with FEC in broadband transmission.

**Keywords:** HDTV MPEG2, IPv6, IP Multicast, Moving Picture Transmission

### 1 はじめに

近年インターネット上を流れる情報は映像、音声を含むマルチメディア情報がその多くを占めるようになってきた。リアルタイムにマルチメディア情報を再生、転送

するアプリケーションもさまざまであるが、これまでは通信帯域の制限により低品質の動画が主に利用されていた。しかし最近では通信帯域も拡大し、高速通信網の整備普及が進んでいるため、高品質動画伝送への期待はいつそう高まっている。一方、Internet Protocol

version 6 (IPv6)[1] が次世代インターネットの通信方式として、各方面で研究開発が進められている。IPv6 では 1 対多の通信を実現するマルチキャスト機能が標準でサポートされ、動画放送への本格的利用が期待されている。

そのような中で画像圧縮方式である MPEG2[2] はデジタル放送にも採用され、動画伝送の標準方式となりつつある。MPEG2 はフレームの相関関係を利用することにより、SDTV 品質の動画で 4Mbps~15Mbps、HDTV 品質でも 20Mbps~80Mbps 程度の帯域に抑えることが可能である。特に HDTV 品質の動画伝送が可能になると、医療や放送分野など、より高品質な動画必要とする分野での応用が期待できる。

筆者らはこれまで SDTV 品質の MPEG2 動画伝送システム [3]-[6] を開発し、通信・放送機構の研究開発用ギガビットネットワーク (以下 JGN) などを用いた検証実験を行ってきた [7]。本稿ではまず、これまで行ってきた SDTV MPEG2 over IP 伝送システムの検証実験の一例について示す。次に、HDTV 伝送へ向けた広帯域伝送における FEC の性能評価について示し、それらの結果を基に行っている伝送実験の概要について述べる。

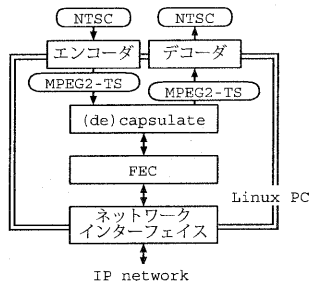


図 1: 伝送システムの処理。

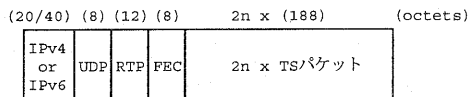


図 2: パケットフォーマット。

## 2 SDTV MPEG2 over IPv6 システム

我々が構築してきた SDTV MPEG2 over IPv6 伝送システムは MPEG2 トランスポートストリーム (以下 MPEG2-TS) 形式の動画データデータを IPv4/IPv6 ネットワークを通して伝送するシステムであり、IPsec や IP マルチキャストにも対応している。しかし、MPEG2 は画像フレーム間圧縮により高圧縮率を実現しているため、わずかのパケット損失でも画像の乱れが顕著に現れるため、広域ネットワークでの使用を考えるとパケット損失対策が必須であることが分かっている。そこで、我々は FEC (Forward Error Correction: 前方誤り訂正) を導入することによりこの点の改善を図った。

### 2.1 システムの処理概要

本システムの処理概要を図 1 に示す。本システムでは送信と受信は 1 台の Linux マシンで動作可能である。エンコーダとデコーダにはそれぞれカメラとモニタが NTSC インターフェイスにて接続される。現在の実装では、エンコーダには Kfir MPEG2 encoder[8]、デコーダには CineView[9] または Optibase VideoPlex XPress[10] が使用可能である。これらはいずれも PCI カードである。

以下、送信側と受信側の動作を簡単に示す。送信側では NTSC 信号をエンコーダにより MPEG2-TS へ変換し、TS パケット (MPEG2-TS を伝送する際の固定長最

小基本構成単位) 偶数個をカプセル化して固定長データを作る。FEC 部において固定長データから冗長パケットを生成し、順に送信キューに格納する。最後に FEC, RTP, UDP, IP の各ヘッダを付加し IP パケットを構成した後、ネットワークインターフェイスから IP ネットワークを介して受信ノードに転送する。受信処理は、送信処理の逆を行い、受信パケットから可能な限り損失パケットの復元 (誤り訂正) を行ない、MPEG2-TS を再構成する。この際、喪失パケットが多く FEC 復元不可能である場合は受信したデータパケットをそのまま出力する。

なお、我々は既に別の実装として、ATM インターフェイスを持つ市販の MPEG2 CODEC を利用するシステムも開発しているが、今回開発した PCI カードを利用するシステムとは相互通信可能である。

本システムでのパケットフォーマットを図 2 に示す。IP version 6、IP マルチキャストにも対応しており、UDP と RTP を用いる。RTP (Real Time Transport Protocol)[11] はリアルタイム性の要求されるマルチメディアデータの伝送に用いられる。システムでは、FEC ヘッダは RTP の拡張ヘッダとして実装している。RTP 拡張に対応していない受信ノードではこの FEC ヘッダは無視され、冗長パケットの付加されていない通常の MPEG2-TS として受信可能である。ペイロードには MPEG2-TS パケットを偶数個カプセル化する。

## 2.2 システム利活用事例

本システムは昨年の JGN シンポジウムでのスペシャルセッションを始め、様々な利活用実験を通してシステムの検証実験を行っている。以下では、その中の1つである3地点マルチキャストによる遠隔ゼミについて述べる。

この遠隔ゼミは2002年4月から定期的に概ね、毎週行っているものであり、JGN上の広島市立大学(広島市)、広島大学(東広島市)、佐賀大学(佐賀県)の3地点を接続するIPv4マルチキャスト網を構築し、3地点それぞれが図3に示す構成でマルチキャスト通信を行うことで3地点通信による遠隔ゼミを実現している。このシステムでの使用帯域は、映像伝送には本システムを使用して3地点合わせて約15Mbps、音声伝送はRAT(Robust Audio Tool)[12]を使用し約1.5Mbpsの帯域を必要とするが、全て合わせても20Mbps未満の帯域で高品質動画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4に示す。なお、開発した伝送システムはIPv6マルチキャストにも対応しているが、JGNv6でのマルチキャストネットワークの都合上、IPv4での実験を行っている。

## 3 RFC2733 準拠ヘッダフォーマット

これまで構築してきたシステムでは基本伝送における性能評価に重点をおいていたため、2.1に示したような独自フォーマットを採用してきた。そのため、FEC処理の対象としては固定長データのみに対応に留まり、さらにRTPヘッダは冗長化の対象外となっていた。

一方、パリティ符号化を用いるFECのためのRTPフォーマットがRFC2733[13]として標準化されている。RFC2733ではRTPヘッダの特定フィールドについても冗長化され、可変長データにも対応している。また、データパケットと冗長パケットは別ストリームとして伝送され、後方互換性を提供する。しかし、パリティ符号化はReed-Solomon符号方式に比べ、冗長度に対する誤り訂正能力は低い[3]。

そこで、我々はReed-Solomon符号を用いるFECのためのRTPフォーマットを新たに提案し、動画像伝送システムへの実装を行った。

### 3.1 パケットフォーマット

提案するパケットフォーマットを図5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で、冗長パケット(FEC packet)はFECアルゴリズムによって新しく生成したパケットである。2つのパケットはそれぞれ別ストリームとして伝送し、後方互換性を提供する。

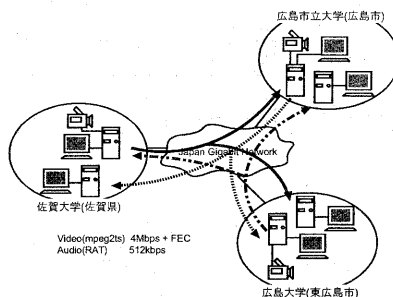


図3: システム利活用例(3地点マルチキャスト通信).

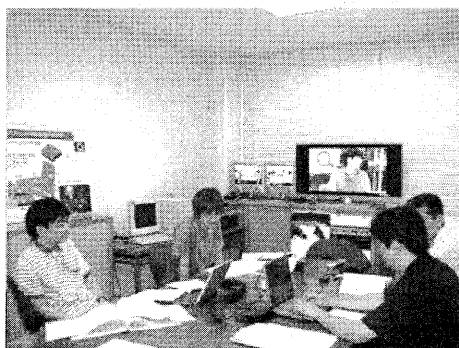


図4: 遠隔ゼミの様子(広島大学).

FECヘッダは図6の通りで、冗長パケットのRTP/FECヘッダの一部はRFC2733で標準化された、次節で述べるprotection operationにより生成され、length recovery、PT(payload type) recovery、TS(time stamp) recoveryはこれによって冗長化されたデータが付加される。

SN baseはFEC処理によって保護されたメディアパケットの最小シーケンス番号を付加し、block size、data symbolはRS符号によるFECパッケージの(N, K)コード(一般にdata symbol(K)個のデータパケットを冗長化し、block size(N)個のパケットを生成する方法)に対応している。

### 3.2 Protection operationによるFEC処理

FECのエンコード/デコード処理には、protection operationを用いることでRTPヘッダの特定のフィールドも冗長化を行う。protection operationによる冗長パケットの生成方法を図7に示す。FECエンコード処理では、

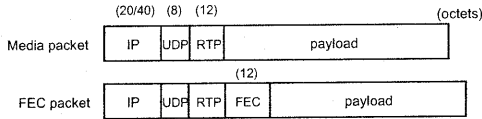


図 5: パケットフォーマット.

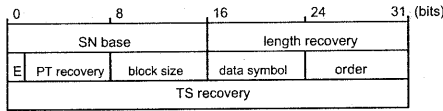


図 6: 提案する FEC ヘッダフォーマット.

メディアパケットの RTP ヘッダから特定のフィールドを連結したビットストリング複数パケット分を1つのユニットとし、それに対し垂直方向に FEC ブロックに対し FEC エンコーディングを行う。これによって生成されたビットストリングを冗長パケットの RTP/FEC ヘッダの特定フィールド、ペイロードに埋めることでヘッダを含むパケットの冗長化が可能となる。

デコード処理では、エンコード処理の逆の処理を辿る。冗長パケットの SN base と block size フィールドから自身のユニット内のメディアパケットを取り出し、FEC デコード処理が必要ならば各パケットからビットストリングを生成しデコード処理を行って喪失パケットの回復を行う。

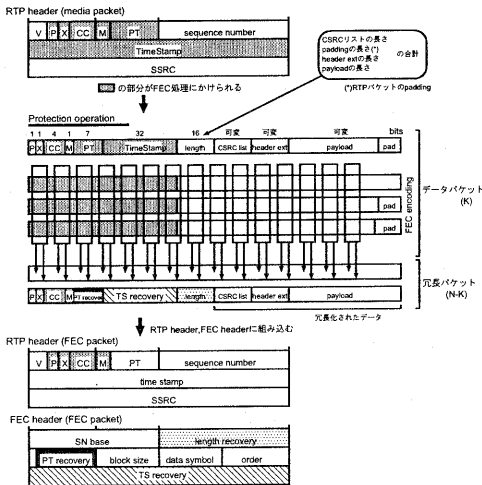


図 7: Protection operation.

## 4 広帯域伝送における FEC 処理の性能評価

これまで、SDTV 品質の動画像に対してパケット損失回復機能の付加を行ってきた。しかし、HDTV 品質の動画像を MPEG2 圧縮した動画像データをエラー訂正の対象とする場合、圧縮後のデータでも高ビットレート (20~80Mbps) のため FEC 処理部分がボトルネックになることが考えられる。そこで、伝送レートを任意に変更可能なシステムを構築し、その上で FEC エンコーディング/デコーディングを実装することで、伝送レートの変化に伴う FEC 処理の性能評価を行った。

### 4.1 システム概要

図 8、表 1 に実験の構成図と使用した機器をそれぞれ示す。



図 8: 実験構成.

表 1: 使用機器

	送信ホスト	ロス発生機	受信ホスト
CPU	P4-2GHz	P3-750MHz	P4-1.9GHz
memory	128MByte	128MByte	256MByte
OS	Vine-2.1.5	Vine-2.1	Vine-2.5
kernel	2.2.18	2.2.17	2.2.20

送信ホストでは、入力ストリームをファイルからの入力とし、2.1 と同様な方式で冗長パケットを生成し送信する。この時、Real Time Clock(RTC)を用いて  $\frac{n}{8192}(sec)$  の間隔で TS パケットをファイルから読み込み、パケットをカプセル化する数を変更することで、疑似的な伝送レートを実現した。RTC による割込み間隔と MPEG2-TS レートの対応表を表 2 に示す。なお予備実験を行い、構築したシステムが任意に設定された伝送レートでほぼ一定に送信できることを確認している。

受信ホストでは、受信したパケットから必要ならば FEC のデコード処理を行い喪失パケットの復元を行う。また、ロス発生機はパケットを転送する際に任意の確率でランダムにパケット損失を発生させることが可能であり、これを利用し受信ホストでの FEC の回復処理における性能評価を行う。

表 2: RTC の割込み間隔と伝送レートの対応

割込み間隔 n		ビットレート (Mbps)		
		2 x TS	4 x TS	6 x TS
1	(0.12ms)	24.64	49.28	73.92
2	(0.24ms)	12.32	24.64	36.96
3	(0.36ms)	8.21	16.42	24.64
4	(0.48ms)	6.16	12.32	18.48
5	(0.61ms)	4.93	9.86	14.78

## 4.2 測定内容

測定では、まず表 2 に示したそれぞれの伝送レートにおいて、FEC を付加する場合としない場合に、伝送レートの変化に伴う送信/受信処理の CPU 使用率について調べる。次に、パケット損失率の変化に伴う FEC デコード処理による CPU 使用率を測定する。ここで CPU 使用率は CPU 総時間 100% からアイドル時間の割合を差し引いたものと定義する。測定では、73.02、49.28、36.96、24.64Mbps の場合において、パケット損失率を 0 ~ 10% まで変化させ、その時の受信側での CPU 使用率を測ることで、広帯域伝送における FEC 処理の限界を見極める。なお測定時間を 1 分間とし、1 秒間隔で CPU 使用率を取得した値の平均を代表値としている。

## 4.3 結果と考察

図 9、図 10 に送信処理/受信処理における性能測定結果を示す。なお、横軸が伝送レート (Mbps) で、縦軸は CPU 総時間に対する送信/受信処理の CPU 使用率を表す。

まず送信処理においては図 9 より、FEC を付加した場合、伝送レートに比例して CPU 使用率が増加し、70Mbps を越えると CPU 使用率はほぼ 100% 程度まで上昇していることが分かる。また FEC を付加することで、約 2 倍の CPU を占有していることが分かる。

次に受信処理については図 10 より、パケット損失が発生しない状況下では、FEC のデコード処理は行われないため、通常の IP 伝送の場合とほぼ同程度であり、レートに比例して CPU 使用率も増加している傾向が得られた。

図 11 にパケット損失率の変化と CPU 使用率の測定結果を示す。横軸はパケット損失率で縦軸は CPU 総時間に対する送信/受信処理の CPU 使用時間のパーセンテージを表す。なお、測定結果は FEC の冗長度 (15,13) で行ったものである。結果より、伝送レートに比例して CPU 使用率も増加する傾向にあることが分かる。73.02Mbps でパケット損失率 7% の場合に CPU 使用率がほぼ 100% に

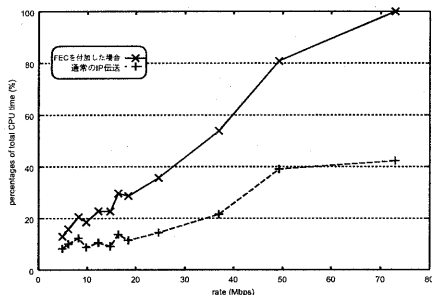


図 9: 送信処理における CPU 使用率。

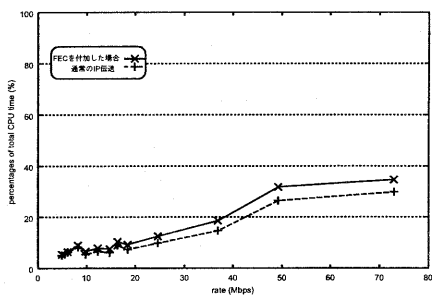


図 10: 受信処理における CPU 使用率。

なり、それ以上は正常に動作することができなかった。パケット損失率が増加し 8% 以上になると CPU 使用率が増加しない傾向が見られるのは、パケット損失がバーストで発生しているために、受信ホストにおいて FEC で回復可能な損失数を越えており回復不可能と判断し、FEC デコーディングを行わないためであると考えられることができる。

以上の結果を基に、HDTV MPEG2 over IP 伝送実験を行っている。図 12、表 3 に構成図とそれぞれ実験で使った機器を示す。

HD のテストストリームとして D-VHS に録画した BS デジタル放送の MPEG2-TS ストリーム (約 23Mbps) を使用し、送信ホストでは、IEEE1394 経由で TS パケットを受け取り、これを偶数個カプセル化し固定長データを作る。固定長データから FEC により冗長パケットを生成し、順に送信キューに格納する。図 2 に示すフォーマットで受信ホストに送信する。受信ホストでは送信処理の逆を辿り、受信したパケットから、パケットの欠落があり、かつ FEC により回復可能であるならば、FEC により可能な限り損失パケットの回復を行い MPEG2-TS を再構成し、DVB-ASI (Digital Video Broadcasting-

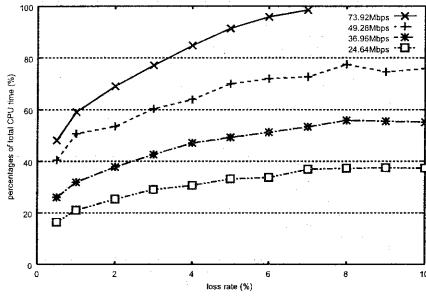


図 11: パケット損失率の変化と CPU 使用率。

Asynchronous Serial Interface) 出力する。ASI 経由で受け取った TS パケットはデコーダにより MPEG2 デコードされ、映像/音声出力される。現在、パケット損失が発生しない状況下で実験を行い動作確認を行っている段階である。今後、安定動作のための改良を加え、これが終り次第、パケット損失が発生する環境下での実験、広域ネットワークでの実証実験に入る。

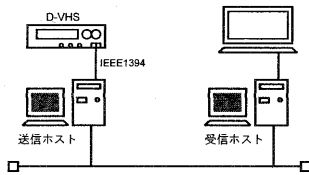


図 12: HDTV 伝送実験構成。

表 3: 使用機器。

	送信ホスト	受信ホスト
CPU	P4-2GHz	P4-1.9GHz
memory	128MByte	256MByte
OS	Vine-2.1.5	Vine-2.5
kernel	2.4.17	2.4.18
D-VHS	TOSHIBA A-HD2000	
DVB-ASI	Linear System DVB Master FD	
HD デコーダ	mediaglug MGHDB-3 HDTV Decoder	

## 5 おわりに

本稿ではこれまで開発を行って来た SDTV MPEG2 over IP 伝送システムについて示し、その検証実験の一例を紹介した。さらに、HDTV MPEG2 伝送実験を行うにあたり広帯域伝送における FEC 処理の性能評価を

行い、その結果をふまえた伝送実験についても述べた。現在は LAN 接続上での伝送テストを行っており、安定動作のための改良を行っている。今後の課題としては、広域ネットワーク経由での伝送実験や IPv6 ネットワークでの利用が挙げられる。

## 謝辞

本研究の一部は通信・放送機構ギガビットネットワーク公募利用プロジェクト (JGN-P341005) および一般公募プロジェクト (JGN-G13013) の支援を受けて実施しています。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1] S. Deering, R. Hinden: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, RFC 2460, December 1998.
- [2] 藤原 洋監修: ポイント図解式最新 MPEG 教科書, アスキー出版局, 1994.
- [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, 情報処理学会 DSM 研究会, 2001 年 11 月.
- [4] Kouji Nishimura, Reiji Aibara, Tamaki Ohtsuka, Tohru Kondo: An MPEG2 Transfer System using IPv6 Multicast and IPsec, Proceedings of the 7th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2001), 2001
- [5] 近堂徹, 大塚玉記, 西村浩二, 相原玲二: MPEG2 over IP 伝送システム mpeg2ts の開発と性能評価, DICO M シンポジウム 2002, 2002 年 7 月.
- [6] <http://net.ipc.hiroshima-u.ac.jp/mpeg2ts/>
- [7] 相原玲二, 大塚玉記, 近堂徹, 西村浩二, 前田香織: MPEG2 over IPv6 システムの開発と皆既日食中継, 電子情報通信学会 IA 研究会, 2001 年 11 月.
- [8] <http://www.linuxtv.org/>
- [9] <http://www.vela.com/>
- [10] <http://www.optibase.com/>
- [11] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson: "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC 1889, January 1996.
- [12] <http://www.mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/rat/>
- [13] J. Rosenberg, H. Schulzrinne: An RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction, RFC 2733, December 1999.