

# 低品質伝送路を用いた リアルタイム高品質映像通信手法の検討

柳田 洋邦 西原 功 中野 慎夫

富山県立大学 工学部 電子情報工学科  
〒939-0398 富山県射水郡小杉町黒河 5180  
yanagida@comp.pu-toyama.ac.jp

あらまし 本論文では、リアルタイム MPEG-2 映像通信を高品質かつ経済的に実現する手法について検討を行う。今回提案を行うシステムでは、ATM のサービスクラスの 1 つ ABR を映像通信パスとして利用することにより、従来の VBR パスを用いた手法に比べ低コストでの映像通信を実現する。さらに伝送路障害に起因する映像品質劣化は、映像受信端末側での情報回復処理を行うことにより最小限に抑える。情報回復手法として、本論文では映像ストリームに含まれる動きベクトルを用いた手法の提案を行う。シミュレーションの結果より、本提案方式は劣悪な通信環境下においても、映像品質の劣化を最小限に抑えることが可能であることを示した。

## A Study on Video-telecommunication Method Based on Poor Quality Telecommunication Paths

Hirokuni Yanagida Isao Nishihara Shizuo Nakano

Dept. of Electronics and Informatics, Toyama Prefectural University  
5180 Kurokawa, Kosugi-machi, Toyama, 939-0398, Japan  
yanagida@comp.pu-toyama.ac.jp

abstract This paper discusses a video-telecommunication method that can transmit real-time video at high quality and economically. The method is based on using ABR paths. Video quality degradation is minimized by placing an information recovery technique at the video-receiving terminal. As an information recovery technique, this paper proposes a method based on a new approach to motion vector interpolation. Simulation results showed that our method could keep video quality degradation to a minimum on poor quality telecommunication paths.

## 1. はじめに

近年の広帯域ネットワークの普及と映像圧縮技術の進歩により、従来実現が困難であった高品質映像通信が可能となりつつある。映像通信は遠隔教育、遠隔コラボレーション、VOD といった応用分野も広く、今後ますます利用されるようになるものと考えられる。

広帯域ネットワークに用いられる基幹通信方式の 1 つに ATM がある。ATM はトラヒック状況に因らず、通信パス毎に一定の通信サービス品質を保証する QoS 機構を備えている。情報量の時間変動が大きい映像通信に適したサービスクラスとして VBR があり、これを用いることで高品位映像通信が可能である。しかし VBR では映像通信に必要な広い帯域を常に確保する為コスト高となること、ストリーム数が増加した際の多重化効率低下により、回線使用効率が悪くなる問題がある。

本論文では、ATM サービスクラスの 1 つ ABR を利用した高品質かつ経済的なリアルタイム MPEG-2 映像通信手法及び映像受信端末側での喪失情報回復手法について検討を行う。

## 2. 映像通信制御手法

### 2.1 ATM のサービスクラス

ATM 伝送方式では、特性の異なる種々の通信トラヒックを効率的に扱うため、セル損失率、遅延時間保証といった通信品質保証が異なる 4 つのサービスクラスを規定している。各サービスクラスの特徴を表 1 に示す。

CBR、VBR はネットワーク側にて通信帯域及びセル遅延時間を保証するサービスクラスである。一方 UBR、ABR はネットワーク側での通信品質保証を殆ど行わないサービスクラスである。これらを適用した通信パスでは利用できる帯域幅がトラヒック状況により変動するが、CBR、VBR に比べ低コストでの通信が可能である。UBR を適用した通信パスは一切の品質保証が行われない。一方 ABR を適用した通信パスではミニマム・セルレートによる最小限の通信品質保証が行われる。

本論文にて提案を行う MPEG-2 映像通信手法では、ABR を適用した通信パスを用い、従来の VBR 適用通信パスを用いた方式に比べ低コストでの映像通信を実現する。加えて受信端末側での情報回復処理を併用することにより、伝送系での情報喪失による映像品質劣化を最小限に抑える。情報回復処理には映像復号が完了した時点で行う手法と MPEG-2 符号化されたままの状態で行う手法があるが、本論文では映像のリアルタイム再生を考慮し、回復処理に際し取扱う情報量が少なく高速処理が可能な後者の手法を採用する。

### 2.2 MPEG-2 符号化とフレームの重要度

MPEG-2 符号化では、隣接するフレーム間での動き相関を利用した圧縮が行われる。映像を構成するフレームは、圧縮方法の違いにより I、P、B いずれかのタイプに分類される。各フレームはさらにその内部でマクロブロッ

表 1 ATM 各サービスクラスの特徴

	CBR	VBR	ABR	UBR
トラヒック・タイプ	トラヒック・タイプが事前予測可能		トラヒック・タイプが事前予測不可能	
対象アプリケーション	STM エミュレーション	可変速度符号化映像・音声	データ転送	
品質保証	セル損失率、転送遅延時間を保証		ミニマム・セルレートを保証	なし
RMセルによる輻射通知	なし	なし	あり	なし
申告パラメータ	ピーク・セル・レート	ピーク・セル・レート サスティナブル・セル・レート	ミニマム・セル・レート	なし

ク（以下“MB”と略）と呼ばれる小単位で圧縮方式が選択される。I フレームでは全 MB に対して画面内相関性を利用した圧縮を行う。一方 P、B フレームでは参照元フレームとの動き差分を動きベクトルに表現し圧縮を行う。映像参照元フレームとして、P フレームは時間的に過去に存在する I 又は P フレームを、B フレームはそれに加え時間的に未来に存在する P フレームを利用する。P、B フレーム内でも特に動きの激しい領域、或いは参照元にはない新たな領域に対しては、MB 単位で画面内相関を利用した圧縮を行う。これにより生成された MB を特にイントラ MB と呼ぶ。

フレーム圧縮構造に着目すると、I、P フレームは映像の展開に際し GOP 内の多くのフレームより直接或いは間接的に参照される為、これらフレームに生じた品質劣化は多くのフレームへ波及し影響が大きい。一方 B フレームは他フレームから映像を参照されることが無い為、B フレームにて生じた品質劣化の影響は劣化の生じた B フレーム内に留まる。この性質より、MPEG-2 映像通信で映像品質を維持するには伝送路上での I、P フレーム情報の保護が特に重要となると考えられる。

### 2.3 フレーム重要度を利用した通信制御

本論文では、VBR に比べ低品質な ABR サービスクラスを適用した伝送路を利用しつつも、映像品質劣化を最小限に抑えるため、先に述べた MPEG-2 フレームタイプ毎の重要度の違いに応じた伝送制御を行う通信手法の提案を行う。本論文にて提案する映像通信システムのうち、送信端末システムを図 1 に示す。

本提案システムでは、MPEG-2 映像を構成するフレームのうち映像品質に対する影響が大きい I、P フレーム情報を、ABR 通信パスで確保されるミニマム・セルレート分の帯域を利用して伝送する。一方 B フレーム情報は、トラヒック状況に応じ送信端末の側で送信情報量制御を動的に行う（図 2 参照）。制御の際

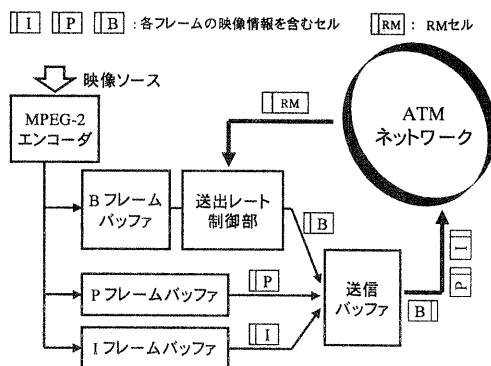


図1 映像送信端末システム図

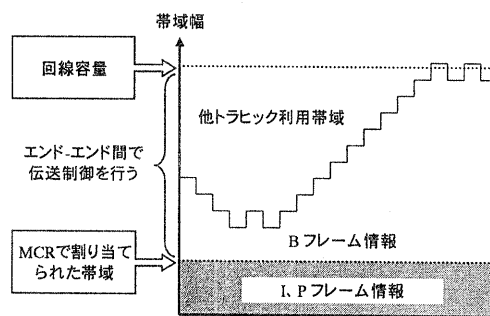


図2 帯域利用状況

しては、受信端末から送られてくる RM (Resource Management) セルに含まれる CI (Congestion Indication) ビットを利用する。CI ビット値は現在のネットワークの輻輳状態を反映しており、この値よりネットワークが輻輳状態にあるか否かを判定することが出来る。この CI ビットを調べた結果、ネットワークに輻輳が生じていると判断されれば、重要度の低い B フレーム情報送出力量を段階的に抑制しネットワーク輻輳を抑える。一方輻輳が生じていないと判断されれば、B フレーム情報送出力量を段階的に増加させてゆく。この制御により、映像品質を大きく左右する I、P フレーム情報を受信端末側へ確実に伝送させる。また今回の伝送制御により削減された B フレーム情報は、次に述べる受信端末側での情報回復処理を用いることで回復を図る。

### 3. 映像情報回復手法

#### 3.1 挿入補間法

従来行われてきた映像品質回復手法の 1 つに、挿入補間がある。これは情報の欠落により品質劣化が生じた領域を、劣化の生じていない別フレームの同位置領域と置き換えることで品質の改善を図る手法である(図3参照)。

この手法は動きの少ない映像に対しては効果を発揮する。しかし動きの激しい映像に対しては、補間を行った領域とそうでない領域との間で映像内容にずれが生じ、違和感が生じることがある。特に補間領域が広くなればなるほど、映像内容が補元フレームと同一になり、結果映像が一瞬止まったかのように見えることがある。このように挿入補間は動きのある映像に対しては適していない。

#### 3.2 動きベクトル補間法

MPEG-2 ストリームを構成するフレームのうち P、B フレームは動き相関を利用した圧縮が行われており、参照元フレームからの動き量を表す動きベクトルが含まれる。B フレームに着目すると、通常図4の様に参照元となる前後の I、P フレームの間には幾枚かの B フレームが存在し、それらは十分短い時間間隔で隣接する。よってこれらフレーム間での動きは線形的に変化していると見なすことが可能である。本論文ではこの特徴を利用し、映像劣化の生じた部位に付されるべき動きベ

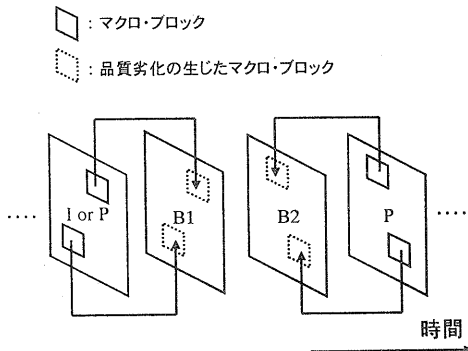


図3 挿入補間法

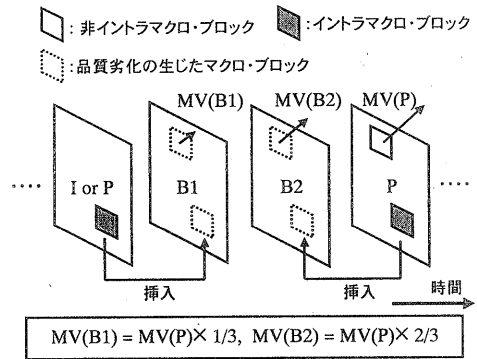


図4 動きベクトル補間法

クトルを、参照元となる P フレーム動きベクトルより予測生成し、このベクトル値を元に映像のデコードを行うことにより映像本来の動きを取り入れた補間を行う手法を提案する。

今回提案する手法を図4に示す。図4中の2枚の B フレーム B1、B2 には情報欠落による品質劣化の生じた領域 (MB) が含まれている。この部位に付すべき動きベクトル量をそれぞれ  $MV(B1)$ 、 $MV(B2)$ 、P フレーム同位置のマクロブロックに付された動きベクトル量を  $MV(P)$  とするとき、 $MV(B1)$  と  $MV(B2)$  を  $MV(P)$  より算出し、得られた値を元にデコード・補間を行う。算出式を以下に示す。

$$MV(B1) = MV(P) \times \frac{1}{3}, \quad MV(B2) = MV(P) \times \frac{2}{3}$$

補間処理に際して動きベクトルを用いることで、挿入補間に比べ本来の映像の動きに合致した補間が行えるものと期待される。本手法では動きベクトル  $MV(B1)$ 、 $MV(B2)$  の算出に際し P フレームの動きベクトル  $MV(P)$  を利用するが、算出元となる MB が動きベクトルを持たないイントラタイプである場合は該当部位の情報を挿入する補間を行う。

### 4. 映像品質評価

#### 4.1 実験概要

本提案手法の効果を確認するため、提案手法及び従来の挿入補間手法に従い品質回復処

理を行った映像の品質評価を行った。実験は MPEG-2 映像中の B フレームを構成する情報のみが失われたとの想定にて行い、評価映像として Flower Garden、Mobile & Calendar、Foreman の 3 映像を用いた。

#### 4.2 客観評価結果

提案手法及び従来手法により品質回復を行った MPEG-2 映像について、SNR 客観評価を行った結果を表 2 に、動きベクトル補間により品質回復処理を行った映像を図 5 に示す。

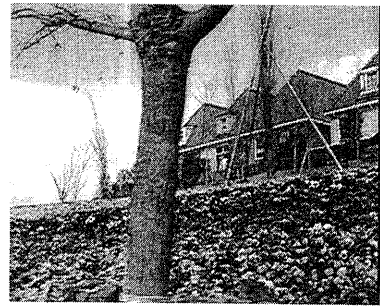
客観評価の結果、評価を行った全映像について従来行われてきた挿入補間処理を施した映像に比べ今回提案を行った動きベクトル補間を施した映像の品質が優れているという結果が得られた。これは映像の動きを全く考慮しない挿入補間に比べ、映像の動き量を示すパラメータ動きベクトルを用いる本提案手法では映像の動きに適合した補間を行うことが出来るためであると考えられる。

次に、動きベクトル補間を行った各映像の SNR 値に着目すると、どの映像についても挿入補間を施した映像に比べ大幅な SNR 値の改善がなされているが、Flower Garden 及び Mobile & Calendar の SNR 値が Foreman に比べ若干低くなっていることが判る。ほぼ全編が固定画面で構成される Foreman に対し、Flower Garden 及び Mobile & Calendar には左パンによるグローバルモーションが含まれている。図 5 に示す Flower Garden では、新たな映像が画面右側面及び木の幹の背後より徐々に出現し、その部位が P フレームにてイントラ MB となっている。本提案手法では P フレーム中各 MB に付される動きベクトルを

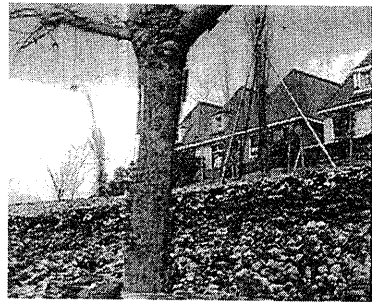
表 2 客観評価結果

映像名	劣化なし映像	挿入補間映像	動きベクトル補間映像
Flower Garden	36.54	15.23	26.07
Mobile & Calendar	35.76	19.95	27.12
Foreman	37.79	19.14	29.21

単位: dB



(a) 元映像



(b) 動きベクトル補間処理映像

図 5 補間処理映像

元に B1、B2 の情報欠落部位の動きベクトル量を推定するが、イントラ MB は元来動きベクトルを持たないため、このような部位に対しては従来手法と同じく映像内容をそのまま挿入する手法をとっている。このことが Flower Garden と Mobile & Calendar での SNR 値の低下につながったものと考えられる。

#### 4.3 B フレーム情報損失率と映像品質の関係

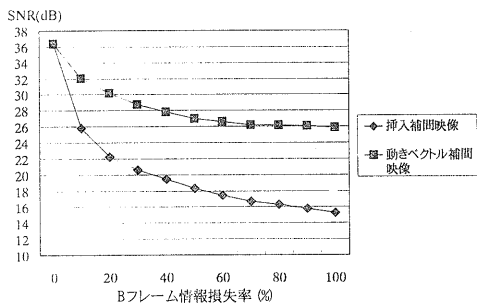
本提案手法では、伝送路の状況に応じて送信側で動的に B フレーム送出情報量の削減を行う。この操作が映像品質にどのような影響を与えるのかを検討する。評価映像 Flower Garden 及び Mobile & Calendar について B フレーム情報を情報損失率に従い欠落させ、挿入補間及び提案方式による補間を施した映像の品質評価を行った。

この結果を図 6 に示す。図 6 より両映像、両補間方式共に情報損失率が上がるにつれて

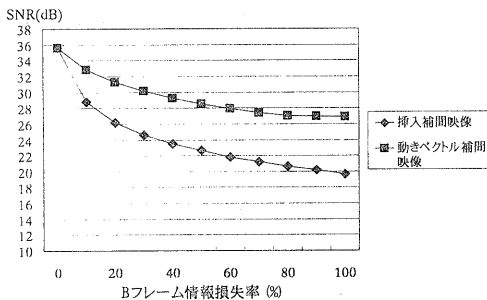
SNR 値が下がる傾向が見られる。しかし情報損失率の上昇により SNR 値が劇的に下がる挿入補間映像に対し、動きベクトル補間映像は情報損失率の上昇に対し SNR 値は下げ止まりの傾向が見られる。特に B フレーム情報の 7 割以上が失われたことを示す情報損失率 70%を超えた状態では、SNR 値がほぼ一定で推移している。これは従来の挿入補間が、補間処理を行った映像領域の面積が広がれば広いほど本来の映像の動きとくい違いを見せるのに対し、提案手法では動きベクトルを利用することで補間面積が広がった状態でも、本来の映像との動き差異を最小限に抑えているためであると考えられる。この結果より、本提案手法による映像補間は B フレーム情報が多量に失われる劣悪な状態時に特に効果を発揮するといえる。

#### 4.4 主観評価結果

客観評価と同じ 3 種の評価映像について、



(a) Flower Garden



(b) Mobile & Calendar

図 6 B フレーム情報損失率と映像品質

表 3 主観評価結果

映像	挿入補間映像	動きベクトル補間映像
Flower Garden	2.52	4.01
Mobile & Calendar	3.95	4.52
Foreman	2.78	4.11

挿入補間及び動きベクトル補間を施した映像に対して 10 名の被験者による 5 段階主観評価を行った結果を表 3 に示す。

客観評価同様、主観評価でも動きベクトル補間を施した映像が挿入補間を施した映像に比べ品質的に優れているとの結果が得られた。この結果は映像の動きが不自然になる挿入補間映像に比べ、元映像の動きを損なわない本提案手法の優位性を示すものといえる。

## 5 まとめ

本論文では ATM ネットワークで提供されるサービスクラスの 1 つ ABR を適用した伝送路を用いた低コスト MPEG-2 映像通信手法の検討を行った。伝送路上での映像情報喪失に起因する映像品質劣化を最小限に抑えるため、本論文では MPEG-2 映像に含まれるフレームタイプ毎の重要度に応じた映像伝送制御及び受信端末側での映像品質回復手法の提案を行った。シミュレーション結果より、劣悪な通信環境下においても本提案手法により映像品質劣化が最小限に抑えられることを示した。

今後は、本提案手法にて十分な品質回復効果が得られなかった、イントラ MB 発生部位の品質回復手法について検討を行う。

## 参考文献

- [1] アスキー出版局 マルチメディア通信研究会編, “最新 MPEG 教科書” (1994)
- [2] “MPEG-2 Video Codec ソースコード”  
ftp://ftp.mpegiv.com/pub/mpeg/mssg/mpeg2v12.zip
- [3] 大森, “ATM 網 ABR サービス ER 制御による MPEG2 画像伝送実験”, 信学技報, SSE99-210, IN99-173, Mar. 2000.