

スケーラブル映像配信システムのためのビットストリーム変換に関する検討

石橋聡, 村木隆浩, 小林直樹, 一之瀬進
NTTヒューマンインタフェース研究所

〒238-0847 横須賀市光の丘1-1

Tel: 0468-59-4953 Fax: 0468-59-2829 e-mail: ishi@nttvdt.hil.ntt.co.jp

あらまし: MPEG-2 で一元管理された映像コンテンツを様々な速度の伝送路を経由して様々な能力の端末に配信する方式について述べる。さらに、この方式の実現に必要な MPEG-2 ストリーム変換に関する検討結果について報告する。MPEG-2 で符号化されたビットストリームを、デコードすることなく直接変換することで、より低い符号化レートのストリームに変換するトランスコーディング手法を提案する。シミュレーション実験を行った結果、6Mbps の MPEG-2 ストリームを、ほぼ実時間で 1.5Mbps~500Kbps 程度のストリームに変換できることがわかった。

A Study of Compressed Video Bitstream Translation for a Scalable Video On Demand System

Satoshi Ishibashi, Takahiro Muraki, Naoki Kobayashi, Susumu Ichinose
NTT Human Interface Laboratories

Hikarinooka 1-1, Yokosuka-shi, Kanagawa 239-0847, Japan

Tel: +81-468-59-4953 Fax: +81-468-59-2829 e-mail: ishi@nttvdt.hil.ntt.co.jp

Abstract: A new flexible VOD (Video On Demand) system which distributes MPEG-2 video contents to several kinds of receiver terminals via several transmission rates is described. Also, a novel MPEG-2 bitstream transcoding scheme which realizes a real time translation to lower rate bitstreams is proposed. Experimental result shows that 6Mbps MPEG-2 bitstream can be transcoded to 1.5Mbps - 500kbps bitstream in real time.

1 はじめに

デジタル放送や DVD(Digital Versatile Disk)の普及により、映像コンテンツの多くが MPEG-2 形式で符号化・表現されることが想定される。一方、これを伝送する通信路は ATM に代表される高速系から、モバイルなど低速系まで帯域メニューが増え、またインターネットなど伝送帯域の保証されないベストエフォート型のネットワーク上での通信も増えてくる。さらに、これを受信する端末も、専用端末(STB:Set Top Box 等)はもとより、PC での受信が増える。PC もデスクトップ型から携帯型まで多様化し、その処理能力・具備機能も様々なものとなる。

このような環境において、映像提供サービスを行う場合、伝送路や端末の種類毎にサービスを構成するのではなく、一つの映像コンテンツが、様々な速度の伝送路を経由して配信され、様々な能力の受信端末で再生できる、スケーラブルな配信機能が重要である。ここでは、スケーラブルな映像配信方式について述べると共に、この方式の実現に必要なビットストリーム変換に関する検討結果について報告する。

2 スケーラブル映像配信システム

図 1 にスケーラブルな映像配信システムのイメージ例を示す。提供するコンテンツは MPEG-2 により 3Mbps から 20Mbps で符号化され一元管理される。このコンテンツを、ATM や高速 LAN などを経由してもとの符号化レートで送信し、MPEG-2 の専用デコーダを持つ STB で再生する。伝送路が ISDN や中速 LAN の場合、1Mbps から 3Mbps 程度で伝送し、デスクトップパソコンクラス等高速 PC でソフトウェア処理により再生する。伝送路がモバ

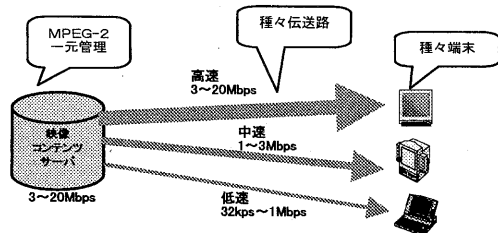


図1 スケーラブル映像配信システムのイメージ例
イルや低速 LAN の場合は、32kbps から 1Mbps 程

度で伝送し、ノート PC 等でソフトウェア処理により再生する。このように、スケーラブル映像配信システムでは、伝送路の条件と受信端末の能力・機能に応じて最適な形式で提供する。

3 スケーラブル映像配信のための符号化方式

上記スケーラブル映像配信を実現するためには、

- (1) 伝送路や端末能力に応じた符号化レートの変更、
 - (2) 伝送路のレート変動への対応、
- が必要である。

そのための符号化方式としては、マルチレート符号化方式、スケーラブル符号化、トランスコーディングによる方式がある。

●マルチレート符号化方式

一つの映像コンテンツを、伝送路の個々の伝送レートにあわせて個別に符号化する。例えば、図2に示すように、高速回線向け、中速回線向け、低速回線向けに、それぞれ符号化方式や圧縮率を選択し、ビットストリームを用意する。

本方式では、非常に広い範囲のスケーリングが可能である反面、個々のビットストリームに合わせて複数のエンコーダが必要であり、また、提供するコンテンツの一元的な管理が煩雑である。

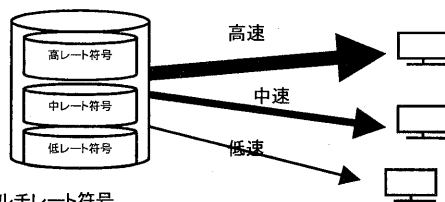


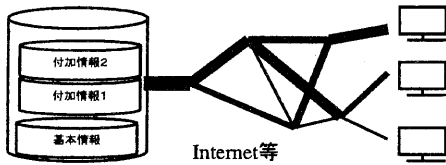
図2 マルチレート符号化符号化方式

●スケーラブル符号化方式

図3に示すように基本情報と付加情報で符号化する。MPEG-2のSNRスケーラブル符号化等が代表的な方式である。低レート向けには基本情報のみを送り、回線容量や処理能力の大きい端末に対

しては付加情報を合わせて送信する。付加情報も数レベルに分けておく。

この方式では、1つのビットストリームで複数の回線に同時に対応可能であり、配信ストリームの一元管理が可能である。また、LAN等の伝送速度が保証されておらず、伝送速度が逐次変動するネットワークに対しても、細かく対応することが可能である。その反面、固定レートの符号化に比べて圧縮効率が悪く、また、スケーリング範囲も大きくすることは困難である。



スケーラブル符号

図3 スケーラブル符号化方式

●トランスコーディング方式

最も高速な伝送路の速度に合わせて符号化。低レート向けには、トランスコードを行い符号化レートを落として送信する。この方式では広範囲なスケーリングが可能であるが、図4に示すように伝送路の速度が低下するところにトランスコードが必要となる。

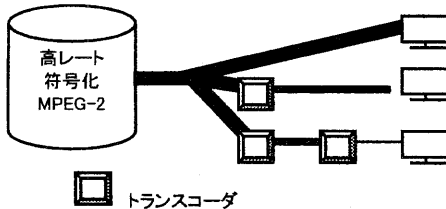


図4 トランスコーディング方式

トランスコーディング方式によるビットストリーム変換には、直接変換、ハーフデコード、完全デコードが考えられる。表1に各方式の比較を示す。

直接変換方式では PC 上のソフトウェアで実時間処理可能と考えられる。

フルデコード方式では MPEG-2 の完全デコードと再符号化を同時に行う必要があるため、現行 PC 上のソフトウェアのみで実時間処理することは困

難であり、MPEG-2 デコーダとターゲット符号のエンコーダをタンデム接続することで実現する。

ハーフデコード処理量は増えるが、ドリフトの発生を抑え画質低下を減少させる効果がある。

表1 MPEG-2トランスコーディング方式比較

	概要	特徴
直接変換方式	可変長復号(VLD)および、逆量子化(IQ)までを行い、DCT 係数のままで、変換を行う。動ベクトルはそのまま利用。	簡易な処理により実現できるため、PC 上のソフトウェアで実時間処理が可能。動ベクトル不一致等によるドリフトが発生しやすく、画質低下を招きやすい。
ハーフデコード方式	一部のブロックあるいはフレームについては逆 DCT まで行い、動ベクトルを再計算する。	直接変換方式に比べ処理量が増えるが、ドリフト発生を抑え、画質低下を少なくできる。また、コマ落しによる低レート化を図る際にも有効。
フルデコード方式	MPEG-2 を PCM レベルの画素値まで完全にデコードし、ターゲットの符号化方式で再符号化する。	ピクチャタイプの不一致に留意すれば、変換による画質低下を最小限におさえられる。MPEG-2 デコーダとターゲットの符号化器が必要であり、PC 上のソフトで実時間処理は困難。

4 MPEG-2トランスコーダ

実時間での変換を目的に、ここでは MPEG-2 ビットストリーム変換方式のうち、直接変換方式について具体的手法を提案する。

図4に MP2-Tran 方式の処理の流れを示す。MP2-Tran は、数 Mbpsで MPEG-2 符号化されたストリームを1~1.5Mbps 程度のストリームに変換する。MPEG-2 System のビットストリームを、一旦 DEMUX し、ビデオストリームとオーディオストリーム(MPEG-1 Audio)に分ける。オーディオについては、もともと 128kbps~256bps 程度であるので、低レート化を目的とする変換は行わない。

図5に示すように、画像サイズ縮小と、コマ落しによりレートを低減する。画像サイズの縮小については、ブロック数はそのまま DCT サイズを縮小する手法[1,2]と、DCT サイズを変更せずブロック数を減らす方法[3]がある。今回は処理の容

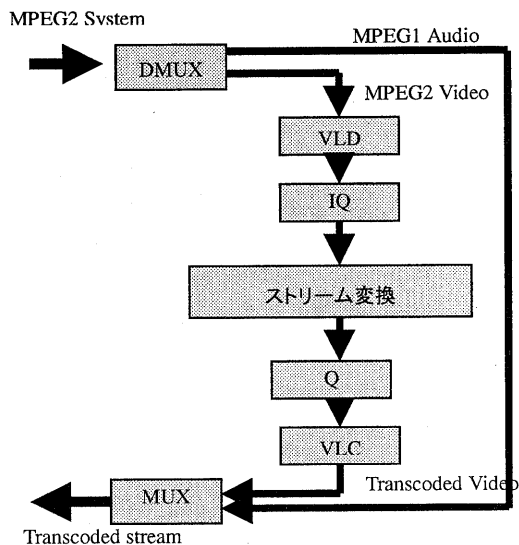


図4 MP2-Tran 方式

易さから、後者にを用いた 8×8 画素のDCT係数の高周波成分を削除して 4×4 あるいは 2×2 の低周波成分を残す。 4×4 あるいは 2×2 のIDCTを用いて、もとのサイズの $1/4$ あるいは $1/16$ の画像が復号される。画像の縮小によりDCT係数の個数が $1/4 \sim 1/16$ に減少する分の符号量が低減される。ただし、可変長符号化を用いているため、実際には $1/2 \sim 1/4$ 程度の低減効果になるものと思われる。

画像サイズの縮小に加えて、フレーム数を間引く(コマ落しする)ことでさらに符号量の低減を行う。MPEG-2はI,P,Bピクチャにより構成されており、動ベクトル等フレーム相互の関係が異なるため、ピクチャタイプに応じて間引き方法を変える必要がある。

Bピクチャの場合、他のフレームからの動ベクトル参照がされていないため、そのまま間引くことができる。

Pピクチャの場合、そのフレームの前後のフレーム間で動ベクトルが途切れるため、新たな動ベクトルを生成する必要がある。MP2-Tranでは、IDCTを行わないため、画素値から動ベクトルを再計算することはできない。そこで文献[4]の手法を用いて、前後を含め3つのフレームの動ベ

トルから、新しい動ベクトルを推定した。

Iピクチャを間引く場合は、前述のPピクチャ同様、新しい動ベクトルを生成する必要がある。しかも、Iピクチャはもともと動ベクトルを持っていない場合があるので、文献[4]の手法が適用できるとは限らない。そこで、今回はIピクチャの削除は行わないこととした。

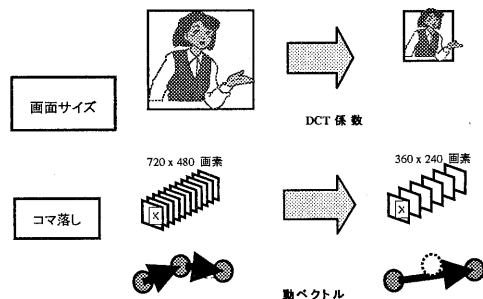


図5 MP2-Tran 方式におけるストリーム変換

5 シミュレーションおよび実験結果

MPEG-2 符号化したテスト画像に対して、上記4のMP2-Tran手法を適用し、ビットレートを低減するシミュレーション実験を行った。

符号化条件は、MPEG-2, SP@ML, TM5 準拠、 720×480 pixel, 色差信号 4:2:0, GOP 構造を $N=15, M=1$, フレーム DCT, フレーム予測, 符号化レートは 6Mbit/s である。

(実験1: 画像サイズ縮小)

MPEG-2 符号化した flower garden, mobile & calendar, table tennis に対して、各ブロックの 8×8 個のDCT成分のうち、高次成分を削除し、低次の 4×4 個の成分を残すことで、画像サイズをDCT係数上で $1/4$ サイズに縮小した。変換後のストリームは 4×4 サイズのIDCTを持つ独自デコーダにより復号する。表2に、各画像のストリーム中の、ヘッダ, MV, DCT係数のビット配分, トランスコーディングによるレート低減率を示す。この中の flower garden について、フレームごとのビット量変化を図6(a), (b)に示す。トランスコード

後のビットレートは,flower garden が 3.1Mbit/s, mobile & calendar が 3.0Mbit/s, table tennis が 2.2Mbit/s となり, 画像サイズ縮小により, 1/2~1/3のレート低減が行えることが分かった.図6からも分かるように,DCT係数への符号割り当ては,6Mbit/s の MPEG-2 ビットストリームの場合,約 90%を占めており,DCT係数削除の効果が大きいことが分かる.

表2 MP2-Tran 画像サイズ縮小によるレート低減効果

		ヘッダ	MV	DCT	Total
flower garden	MPEG -2	0.4M bps	0.2M bps	5.4M bps	6M bps
	trans-coded	0.4M bps	0.2M bps	2.5M bps	3.1M bps
	低減率(%)	100.2	100.0	46.3	51.7
mobile & calendar	MPEG -2	0.5M bps	0.2M bps	5.4M bps	6M bps
	trans-coded	0.4M bps	0.2M bps	1.9M bps	2.5M bps
	低減率(%)	97.6	100	43.6	49.1
table tennis	MPEG -2	0.4M bps	0.1M bps	5.5M bps	6M bps
	trans-coded	0.3M bps	0.1 Mbpps	1.8M bps	2.2M bps
	低減率(%)	95.6	100.2	32.2	37.2

(実験2:画像サイズ縮小+コマ落し)

実験 1 と同じ条件において,画像サイズを1/4および1/16に縮小し,かつPピクチャを削除することでコマ落しを行い,符号化レートを低減させた.

コマ落しは,Pピクチャを等間隔で削除することで行った.その際,削除されたPピクチャの前後のPピクチャ間で新たに動ベクトルを推定した.例えば N=15 のとき,以下のように行い,元の30fpsに対して,16fps~4fpsの画像を得た.

```

30  I P P P P P P P P P P P P P P P P P I
16  I P P P P P P P I P P P P P P P I
10  I P P P P P I P P P P P I
6   I P P P I P P P I
4   I P I P I

```

写真1(a)および写真2(a)に示すテスト画像(MPEG-2 6Mbps)に対してサイズ縮小とコマ落しを行った結果,写真1の場合,

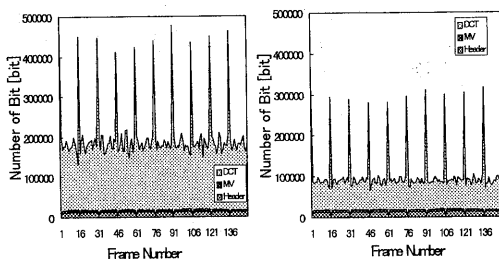
- 1/4 サイズ 16fps で 2.4Mbps,
- 1/4 サイズ 10fps で 1.5Mbps,
- 1/16 サイズ 6fps で 1Mbps,
- 1/16 サイズ 4fps で 600kbps,

であった.

(画質について)

写真1(b)および写真2(b)にトランスコード後のストリームの再生画像例を示す.今回用いた直接変換手法では,DCT 係数の高次成分削除と動ベクトルの不一致によるドリフトが発生し,以下の画質劣化が確認された.

- Iピクチャの後に続くPピクチャでSNRが低下を続け,次のIピクチャで急激にSNRが改善される.このため,目視の上ではフリッカは発生したような印象を受ける.
- 例えば Flower garden の右端や木の右側などカメラのパン等による,オクルージョンが起こる部分でブロック上のノイズが発生し画像が乱れる.これは,オクルージョンの部分では,Pピクチャ削除の際の動ベクトル推定がうまく作用していないため



(a) MPEG-2 ストリーム (b) トランスコード後のストリーム
図6 フレームごとのビット量変化 (flower garden)

と考えられる。



写真1(a) flower garden MPEG-2 6Mbps

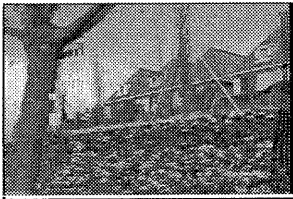


写真1(b) flower garden transcoded 1.5Mbps



写真2(a) sample-a MPEG-2 6Mbps



写真2(b) sample-a Transcoded 1.5Mbps

(処理時間について)

Pentium II 400MHz CPU 搭載の PC を用いて、1/4 サイズ 10fps への変換をほぼリアルタイムで実行することができた。

6 まとめ

スケーラブル映像配信システムの概要とそのためビットストリーム変換について述べた。MPEG-2 ストリームをデコードすることなくトランスコードし、画像サイズ縮小により、もとの MPEG-2 ストリームの符号量の $1/2 \sim 1/3$ にレート低減できることが分かった。また、コマ落しを行うにより、さらに(1/10程度まで)レート低減できることを示した。

トランスコード後のストリームからほぼ良好な再生画像を得ることができたが、一部、画質劣化の大きい部分があり、改善のための検討が必要である。また、今回はレート低減のみについて検討したが、固定レートの回線等での伝送を考慮した場合のレート制御手法についても検討する必要がある。

[参考文献]

- [1] 植野,小野他:“映像コンテンツ配信のためのビットストリーム変換に関する一検討,” 信学会総合大会, D-11-78, 1998
- [2] 村木,植野,石橋,小林:“MPEG-2 ビットストリーム変換に関する一検討,” 画像電子学会年次大会, 一般セッション 6, 1998
- [3] 宮本,太田:“DCT 係数上での画像縮小変換” 信学会総合大会, D-11-19, 1997
- [4] 清水,嵯峨田,渡辺,小林:“参照フレーム変更によるビットストリームスケーリング”, 信学技報 IE98-29, 1998