

圧縮方法を考慮したパケット オーディオ・ビデオ システムのレート制御

渡辺光輝 赤間孝司 柴田義孝

東洋大学工学部 情報工学科

{nabe,akama,shibata}@yosemite.cc.toyo.ac.jp

マルチメディア情報ネットワーク上でオーディオ、ビデオデータの同期をとりながら効率的なビデオ転送を行なう従来のパケットオーディオ・ビデオシステムに圧縮ビデオを取り入れ、これを取り扱うための可変レート転送、フレームレート制御機構の設計、開発を行なった。ネットワークの帯域やワークステーションの処理速度などに対して非常に大きなスループットが要求されるビデオデータを、圧縮方法を考慮することにより無圧縮のビデオデータを扱う場合に比べて効率的に転送することが可能になる。ここでは圧縮方法を考慮したパケット オーディオ・ビデオ システムのプロトタイプをFDDI上に構築し、その評価を行なった。

Rate Control for Packet Audio · Video System with Compression

Mituteru Watanabe, Takashi Akama, Yoshitaka Shibata

Department of Information and Computer Sciences
Toyo University

{nabe,akama,shibata}@yosemite.cc.toyo.ac.jp

In order to realize multimedia information network, we developed an efficient audio/video transmission system which takes account of each media characteristics and provides flexible synchronization mechanism between them, based on a compressed video coding scheme, MPEG. In this system, a rate control mechanism is introduced to keep constant video frame rate by variable bit-rate transmission. By this rate transmission mechanism, the synchronization between video and audio can be correctly attained while keeping higher data throughput and lower delay.

This paper describes implementation and evaluation of the prototype of PAVS with MPEG compression coding scheme under FDDI network.

1 はじめに

筆者らはこれまでにパケットオーディオ・ビデオシステム (以下 PAVS) として、マルチメディア情報ネットワーク上で効率的に同期 ("Lip Sync.") をとりながらビデオ転送を実現するための転送プロトコルと、ビデオ及びオーディオ処理方式、同期方式の設計、実装を行ってきた [1, 3]。しかしながら、ビデオのように非常にデータ量の大きなメディアを扱うためにはネットワークの帯域やコンピュータの処理能力もそれだけ大きくなければならず、ハードウェアの能力を超える場合はソースデータのレートで提供することができない。

そこで、MPEG 符号化方式によるビデオ圧縮を行い、データ転送量を減少させる場合、その際 1 フレーム当たりのデータ量が変化し、従来のような固定データ転送ではフレームレートにばらつきが生じ、ビデオ表示の品質の劣化を招くことになる。本研究では GoP 単位ごとに固定サイズのビデオパケットの生成率を変えることによって可変ビットレート転送を可能にすることにより、一定のフレームレートを実現できるようなレート制御機能を導入した。また、パケット間隔はパケットロス率が 0 になるように動的に調節することにより、ビデオ・オーディオの同期スケジュールに余裕を持たせることができ、これにより、より正確な同期が可能となる。そして実際に FDDI ネットワーク上にプロトタイプの実装を行い、無圧縮ビデオおよび圧縮ビデオの比較評価を行った。

2 システムアーキテクチャ

本システムは ISO の OSI 参照モデルを適用すると図 1 に示すような階層構造をしており、クライアント-サーバ方式によって PAVS を構成している [1]。

Synchronization 層では、ビデオフレームと対応するオーディオセグメント間の同期処理を行なう。

Data Transform 層では、ビデオデータ処理としてカラーモード変換、圧縮・伸張 (デコード) などを行い、オーディオデータ処理としてサンプリングレート・量子化ビット数・変調方式変換、無音検出などを行う。ネットワークを介して転送された圧縮データはクライアント側の Data Transform 層でデコードされる。

Media Flow Control 層では、サーバ・クライアント間のビデオフレーム及びオーディオセグメン

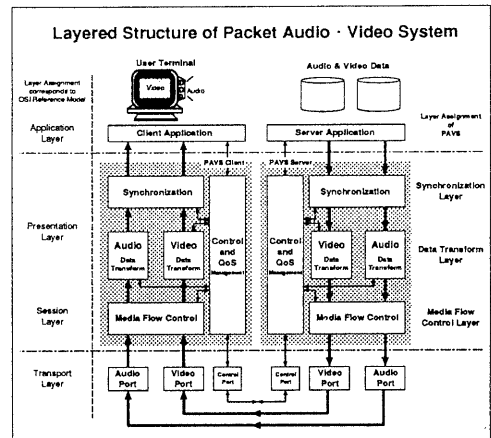


図 1: PAVS の階層構造

ト転送におけるパケット転送レート制御、ジッタの吸収、さらにバッファの溢れを監視することによるフロー制御を行う。

Control and QoS Management 層 (以下 CQM 層) では、QoS の保証状況やワークステーション及びネットワークの負荷状況によりサーバクライアント間で QoS の交渉がなされ、保証すべき QoS が決定される。QoS が決定されると、その QoS を保証するための処理が各層で行なわれる。

3 MPEG Video Coding

本システムにおけるビデオデータの圧縮アルゴリズムには MPEG-1[2] を採用した (以下、特に断りが無い場合、MPEG とは MPEG-1 のことを指す)。

MPEG は CCITT H.261 の後を受けた蓄積メディア用の符号化方式で、従来のビデオデータの圧縮アルゴリズムでは過去のフレームからの予測のみであったものを、未来のフレームからも予測を行い圧縮の効率を向上させている。

MPEG の符号化の対象としては具体的にはフルカラー画像で 360×240[pixels/frame]、30[frames/sec] のビデオデータを圧縮した時のレートの約 1.5Mbps を想定しており、本論文の評価でも同程度のデータを考慮している。

MPEG は画像フレームとして

- I-Picture — フレーム内コーディング画像
- P-Picture — フレーム間コーディング画像
- B-Picture — 双方向フレーム間予測画像

の三種類を圧縮データ内に持つ。I-Pictureはそのフレームの情報のみで圧縮された画像データで、DCTなどのフレーム内コーディング技術を要する。P-Pictureは1枚のI-/P-Pictureからの未来方向の予測で成り立っている画像データで、従来の予測フレームに相当する。B-Pictureは2枚I-/P-Pictureに挟まれた双方向予測で成り立っている画像データで、MPEGの圧縮効率の向上に寄与している。特徴として、これらの複数のフレームをGroup of Picture(以下GoP)という一つの編集単位として扱う。

3.1 MPEGのフレームシーケンス

図2はMPEGで圧縮されているソースデータ(図上段のフレームの並び)がデコードされてディスプレイに出力される際のフレームの並び(同図下段)の変化を示している。この図は、I-Pictureが格納されている周期(N)が8、双方向予測に用いられるフレーム(I-PictureもしくはP-Picture)が格納されている周期(M)が4の場合の例である。GoPは必ず1枚のI-Pictureを持つので、この例のGoPは8枚分のフレームデータを持つ。

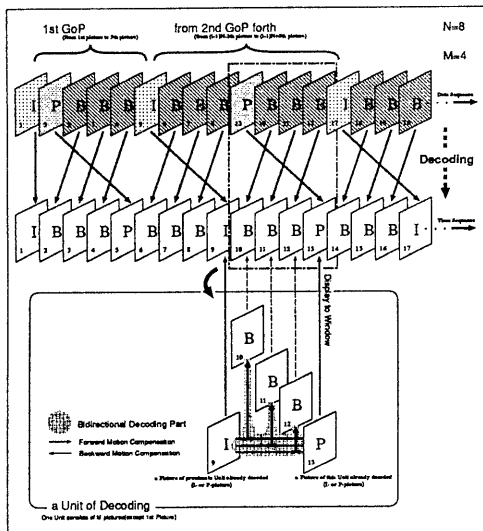


図2: MPEGのフレームシーケンス

双方向予測を用いるデコードの最小単位は $M+1$ 枚のフレームから構成される。双方向予測に用いられるフレームは常に過去のフレームおよび未来のフレームとしてバッファ中にセットされ、 $M-1$ 枚のB-Pictureの双方向予測に用いられる。通常、予測

はGoPをまたがることもあるので、GoP同士は完全に独立でない。

3.2 MPEGデータのネットワーク転送

本システムではMPEGにおけるGoPによる編集性を考慮して、ネットワーク転送の単位をGoPとした。図3はPAVSにおいてMPEGデータがどのように扱われるかを示している。

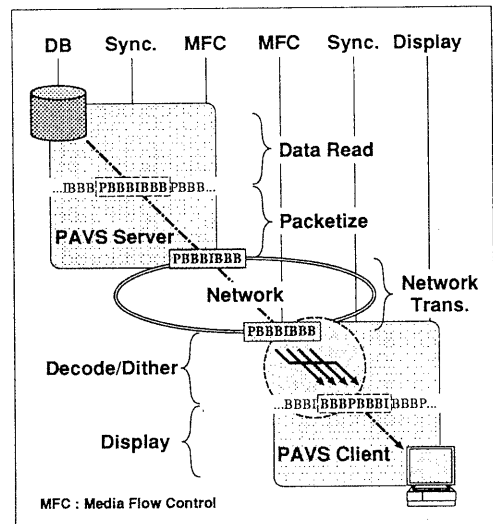


図3: MPEGデータのネットワーク転送

データベースから読み出されたMPEGデータは、サーバ側のSynchronization層においてオーディオデータとつぎ合わせてGoP単位の処理が開始される。次にMedia Flow Control層においてパケット化されて、ネットワークを介してクライアントに転送される。クライアント側ではMedia Flow Control層でこれを受けて、Data Transform層においてGoPごとにデコードする。そしてデコードされたデータはフレームごとにバッファリングされ、同期点ごとにオーディオデータとつぎ合わせて再生される。

したがって、MPEGのネットワーク転送における各層の役割はData Transform層におけるデコード処理の他に、Media Flow Control層におけるGoPの正確な転送と十分なスループットの確保、およびクライアント側のSynchronization層におけるフレーム単位でのオーディオデータとの同期が必要となる。

4 レート制御

MPEG ビデオを一定のフレームレートで表示するためには、そのフレームレートに相当する転送レートで GoP をネットワーク転送しなければならない。一般に、圧縮されたビデオデータはフレームごとのデータサイズが大きく異なる。したがって蓄積されている圧縮データを一定のフレームレートで扱うためにはその変化に合わせたビットレート、すなわち可変レートで転送しなければならない。

4.1 可変レート転送

図4のように、本システムではパケットのサイズは固定にし、送出するパケットの数を調節することで可変レート転送を実現している。一つの GoP に相当する時間 T_{GoP} 、パケット間隔を P_{Int} 、送出するパケットの数を N_p とする。例えば、ソースデータのフレームレートが 24[frames/sec]、GoP の持つフレーム数 (N) が 8、パケットサイズが 4096[byte] だとすると、データサイズが 64000[byte] である GoP を転送する場合は $N_p = \lceil \frac{64000}{4096} \rceil = 16$ 、 $T_{GoP} = \frac{8}{24} = \frac{1}{3}$ となり、1/3[sec] の間に 16 個のパケットを送信することになる。

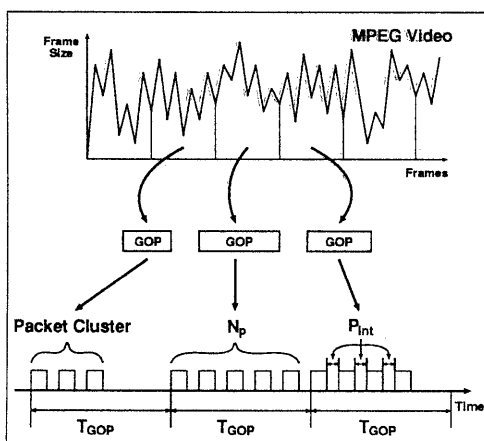


図 4: 可変レート転送

このように、 T_{GoP} 内の固定長パケットの生成率を GoP のデータレートに合致させることにより可変レート転送を行い、一定のビデオフレームレートを達成できる。

4.2 パケット間隔制御

図4のアルゴリズムでは、パケット間隔 P_{Int} を最小限に抑えることによって規定時間 T_{GoP} の中でどれだけ帯域に余裕を持たせられるかが決まる。許容できるパケットの最小間隔は、サーバおよびクライアントの処理状況やネットワークのトラフィックにより変化する。そこで、これらの負荷変動に応じて常に最小パケット間隔を追従させるために、クライアント側においてパケットロス率を常に監視し、もしパケットロスが一定期間 (t_{int}) 発生したならば、サーバ側に送信パケット間隔を上げるようにメッセージを送り、ロス率が 0 になるまでこれを繰り返す。そしてロス率が 0 になった時よりも多少大きな間隔を維持するように固定する。また、初期のパケット転送間隔はあらかじめ無負荷時において求められた測定値 (t_{measu}) を使用する。これによりパケットロスが発生しない程度に $t_{measu} \sim T_{GoP}$ の範囲内で最小化することにより、ビデオ、オーディオの同期スケジュールに余裕を持たせることができ、より正確な同期が可能となる。

5 Synchronization

サーバ側の Synchronization 層ではオーディオとビデオの相対的な転送のタイミング、クライアント側では相対的な再生のタイミングをつき合わせる。従来 PAVS ではフレームおよびセグメントの合計時間が一致した点で同期をとる Relaxed Synchronization が、同期ポイント数の抑制などの点から有効であった [3]。本システムではこれを圧縮ビデオ用に拡張した (図5)。

例えば α 秒の同期間隔で同期をとる場合、ビデオデータとオーディオデータのそれぞれのレートが R_G [GoPs/sec], R_s [segments/sec] である時、 R_G と R_s のそれぞれ α 倍の GoP およびセグメントで同期を行う。

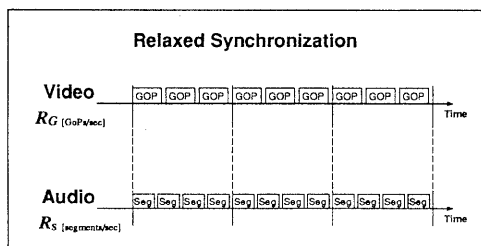


図 5: 圧縮を考慮した Relaxed Synchronization

6 プロトタイプ及び性能評価

圧縮ビデオを考慮したパケット オーディオ・ビデオ システムのプロトタイプを図6の環境で構築した。ネットワークは転送速度100[Mbps]のFDDI、ネットワークの通信プロトコルとしてはUDP/IPを用いた。測定はまずパケットのロス率とスループットについて行い、得られた最小パケット間隔でEnd-to-Endの最大スループット、各コンポーネント毎の処理時間、フレームレート制御を行った時の提供フレームレートのそれぞれについて行った。

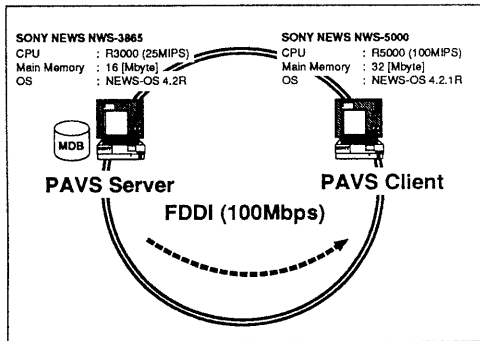


図6: プロトタイプ

6.1 FDDIにおける最適パケット間隔

ネットワークの十分なスループットを確保するために、パケット間のインターバルを0~1.2[msec]に変化させた時の、パケットロス率とスループットを測定した(図7)。この図より、このプロトタイプ上でのパケットロス率が0となる最小パケット間隔は0.75[msec]で、この時のスループットは最大の27.5[Mbps]であることから、0.8[msec]程度が最適パケット間隔であると言える。

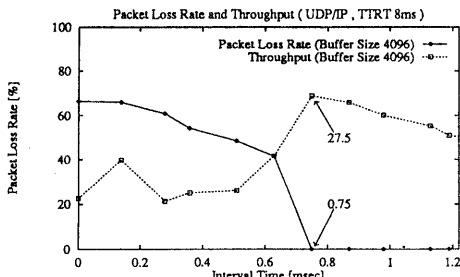


図7: パケットロス率とスループット

6.2 End-to-Endの最大スループット

図8に、MPEGビデオを転送した場合と無圧縮ビデオを転送した場合のそれぞれのEnd-to-Endの最大スループットを測定した。ビデオデータは同じシーン(353[frames])、同じフレームレート(24[frames/sec])で画像サイズがそれぞれ160×128[pixels/frame]、240×192[pixels/frame]、320×240[pixels/frame]の三種類をそれぞれMPEGビデオと無圧縮ビデオをソースデータに使用した。MPEGビデオの平均圧縮率はそれぞれ2.79[%]、2.33[%]、2.05[%]であった。MPEGビデオの方が高スループットを示しているが、ソースのフレームレート24[frames/sec]を満たしているのは一番小さい画像サイズのデータだけである。したがって、フレームサイズが大きい場合にはフレームの間引きなどによるフレームレート制御が必要であることが分かる。

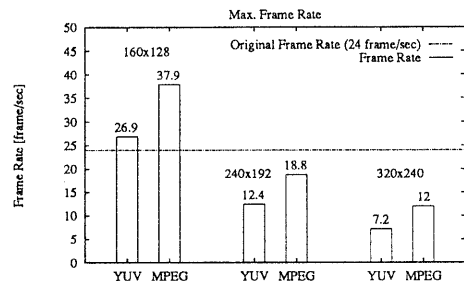


図8: End-to-Endの最大スループット

6.3 各コンポーネント毎の処理時間

MPEGビデオと無圧縮ビデオの処理時間の比較評価をするため、データの読み出しからディスプレイされるまでの各コンポーネントにおける処理時間をそれぞれについて測定した。

表1: 無圧縮ビデオ使用時の処理時間

Frame Size		160×128	240×192	320×240
Disk Read	[ms]	35.2	80.6	132.7
Send	[ms]	10.4	22.2	45.4
Receive	[ms]	12.5	24.4	46.5
Dither	[ms]	16.3	33.7	47.4
Display	[ms]	2.9	4.2	5.9

表1から分かるように、無圧縮ビデオ使用時はディスクからの読み出しに非常に時間がかかっており、

これが全体のスループット低下につながっていることが分かる。また、フレームレートが24[frames/sec]であることを考えると1フレームは約4.2[msec]で転送しなければならず、320×240のサイズではネットワーク転送も十分でないことが分かる。

表 2: MPEG ビデオ使用時の処理時間

Frame Size		160×128	240×192	320×240
Disk Read	[ms]	0.17	0.23	0.28
Send	[ms]	0.51	1.22	1.73
Receive	[ms]	0.72	1.22	1.71
Decode	[ms]	12.6	26.4	42.0
Dither	[ms]	9.0	20.0	32.4
Display	[ms]	2.5	4.3	6.4

MPEG ビデオ使用時は、表 2 から分かるようにディスクリード、ネットワーク転送について非常に小さく抑えられていることがわかる。しかしながら全体に対するデコードの処理時間が最も大きく、ハードウェアなどによるデコード時間の削減が必要であることが分かる。

6.4 提供フレームレート

前述の測定で十分なスループットが得られている160×120[pixels]のデータに対して、論理時間に出力されるようにフレームレート制御をした時の論理時間とのずれを図9に示す。このように、コンピュータの処理能力において十分なスループットが得られているソースデータは、一定のフレームレートで提供することができた。

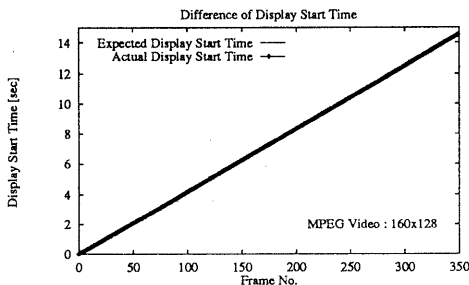


図 9: 提供フレームレート

7 まとめ

MPEG を用いて圧縮ビデオを考慮した PAVS を設計し、FDDI ネットワーク上にプロトタイプを構築した。このシステムでは、GoP ごとにパケット

数の調節による可変レート転送を実現した。結果として、クライアントでのフレームレートを一定に保つことができた。今後の課題としては、QoS 制御によるダイナミックなレート制御、マルチチャネル化した圧縮のオーディオの考慮などがあげられる。

参考文献

- [1] 神原久夫, 河野太基, 柴田義孝: パケットビデオシステムのための同期メカニズム, 情報処理学会第 46 回全国大会, 1K-05, 1993
- [2] D. L. Gall: "MPEG: A Video Compression Standard for Multimedia Applications," *Communications of the ACM*, vol. 34, no.4, pp. 46-58, Apr.1991.
- [3] 瀬田直也, 清水省悟, 柴田義孝: パケットオーディオ・ビデオの同期方法, マルチメディア通信と分散処理研究会, 64-4, 1994
- [4] 赤間孝司, 渡辺光輝, 鈴木隆之, 柴田義孝: FDDI ネットワークにおけるパケットオーディオ・ビデオシステムのための可変レート転送方式, 情報処理学会第 48 回全国大会, 6C-7, 1994
- [5] 橋本浩二, 渡辺光輝, 柴田義孝: パケットオーディオ・ビデオシステムの QoS 保証及び交渉機構について, マルチメディア通信と分散処理研究会,