

パケットロスを考慮したパケットオーディオ・ビデオシステム

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.sb.cs.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う従来のパケットオーディオ・ビデオシステムにおいて、過負荷時に生じるパケットロスを回復する機構の設計、開発を行った。ビデオデータのような連続メディアのネットワーク転送でのパケットロスが発生する環境下では、実時間性を重視するため再転送によってデータを回復することは難しい。このような場合には、すでに届いているデータから失われたデータを回復する方法が有効である。MPEG による圧縮ビデオを利用する場合において、このようなパケットロスの回復機構を取り入れ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構築し、その評価を行った。

The Packet Audio · Video System considered of Packet Loss

Mituteru Watanabe, Takashi Akama, Yoshitaka Shibata

Department of Information and Computer Sciences

Toyo University

{nabe,akama,shibata}@yosemite.sb.cs.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 to recover any packet loss in overload condition. Due to packet loss on network transmission of continuous media as video data, it is difficult to be recovered by retransmission of the lost packet in order to keep playing in real time. In our system, a recovering packet loss mechanism for compressed video by MPEG is introduced to recover the video frames which include lost data from previously transmitted frames. This paper describes implementation and evaluation of the prototype of PAVS with the recovering packet loss mechanism.

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、Quality of Service(QoS) 保証・交渉機構の設計及び実装を行ってきた [1, 2, 3, 4, 5]。

しかしながら、ネットワークに分散されたオーディオやビデオといった時間的制約を受けるメディアデータを処理する場合、ワークステーションの処理能力及びネットワークの負荷変動によって、各メディアを常にユーザの要求通りに提供できるとは限らない。特に実時間性が要求されるビデオ転送においては軽装プロトコルを利用することがスループット

トの向上に有効であるが、このようなプロトコルにおいてはUDPのような信頼性のない転送プロトコルを用いているためパケットロスが発生する可能性があるが、これまではパケットロスへの対応がなされていない。特にクライアントステーションの負荷変動は、オーバーランによるパケットロスを生じさせ、提供されるメディアの品質を大幅に劣化させてしまう可能性が高い。実時間性が要求されるメディア転送でパケットロスが生じた場合でもユーザが要求するQoSにできるだけ近いサービスを提供するためには、データの再転送を行うことなしに可能な限りデータを回復することによって本来のデータに近似することが有効である。

本研究では一つのパケットロスが複数のビデオフレームの再生に影響を及ぼすMPEGによる圧縮ビデオを対象とし、紛失したフレームデータのみを受信データから削除することによってデコード時の影響を最小限に抑える方法と、正常に受信されているフレームデータからの線形予測によって回復する方法による、パケットロス回復機構を導入した。

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]。

Control層では、ユーザからの再生、停止、早送り、巻き戻しといったインタラクティブな操作を受け付ける。

QoS Management層では、QoSの保証状況やワークステーションおよ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以下の各層で行なわれる。

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。このとき、パケットロスが生じていれば、それに応じた回復をここで行う。

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。

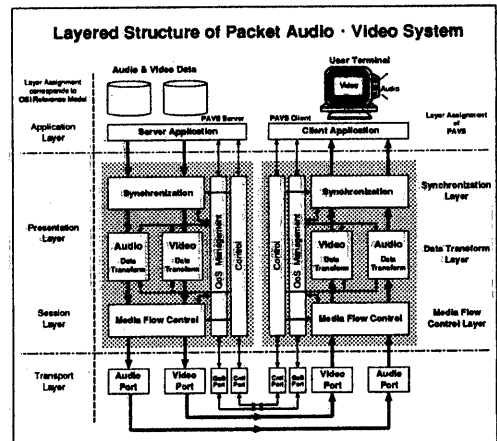


図1: PAVSの階層構造

3 MPEG Video Coding

本システムでは転送するビデオデータにMPEG-1 Video[6]を採用した(以下、特に断りがない場合MPEGとはMPEG-1 Videoのことを指す)。

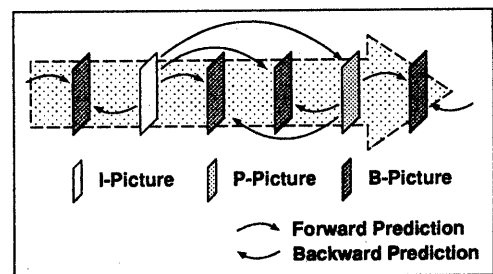


図2: MPEGの予測とフレーム構成

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。MPEGの特徴として、これら複数のフレームをGroup of Picture(以下GoP)という一つの編集単位として扱う。I-Pictureはフレーム内コーディングのみを用いるので他のフレームデータを必要としないが、P-Pictureは過去のフレームからの予測(順方向予測)を必要とし、か

つ B-Picture の予測の元になる。B-Picture は過去と未来のフレームからの予測 (双方向予測) を必要とし、他のフレームの予測の元とはならないので、B-Picture のロスが生じた場合は他のフレームへの影響はないが、I-Picture や P-Picture のロスが生じた場合に十分な対応策が練られていないと後続の P-Picture や B-Picture をデコードすることができない (図 2)。

4 ネットワーク転送

圧縮ビデオを一定のフレームレートで表示するためには、ソースのフレームレートに合わせて単位時間分に相当するフレームデータをその単位時間でネットワーク転送しなければならないが、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ため、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。また、ビデオのような大容量メディアを、実時間性やインタラクティブ性を重視してネットワーク転送を行う場合には、再転送をサポートした信頼性のあるプロトコルよりもスループットに余裕を持つことができる軽装プロトコルを用いる方が有利である。

圧縮ビデオのフレームデータは可変レート転送によって単位時間に複数パケットを用いて転送されるが、軽装プロトコルによるシステムの下では信頼性の問題からパケットを紛失する可能性がある。実時間性を重視するビデオのようなメディアでパケットロスが生じた場合は、無理に再転送を用いて正確なビデオフレームの再生を行うよりも、多少の画質の低下を許容して再転送を用いない何らかのパケットロス回復の方法を用いた方が実時間性を保つ意味で有効である。パケットロス回復のためには、少なくともそれぞれのパケットが保持している内容をクライアント側で正確に認識しておき、紛失した情報量を正確に把握することが必要である。

4.1 可変レート転送

本システムでは、圧縮ビデオ MPEG を一定のフレームレートで表示するために、図 3 のようにパケットのサイズは固定にし、送出するパケットの数及び動的にパケット間隔を調節する可変レート転送を行っている [5]。一つの Group of Pictures (GoP) に相当する時間を T_{GoP} 、パケット間隔を P_{Int} 、送出

するパケットの数を N_P とし、ソースビデオ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] とした場合、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。

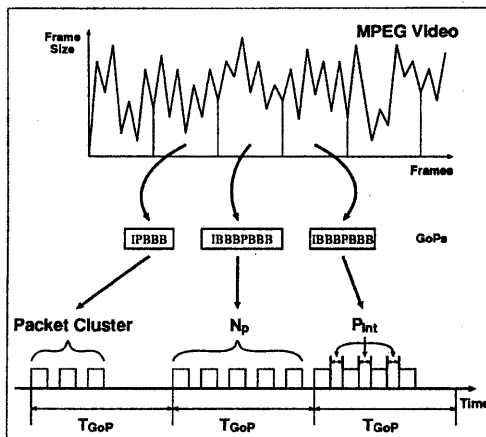


図 3: 可変レート転送

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, 5]。

4.2 パケットロス

前述のような、単位時間に規定量のパケットを転送することによって必要なスループットを得るネットワーク転送では、各モジュールを効率良く稼働させるためには与えられた単位時間の中でもできるだけ短い時間で規定量のパケットを転送してしまうことである。しかしながら、UDP のような信頼性のないプロトコルで不用意にパケットの転送間隔を短くしてしまうとオーバーランによるパケットロスが生じてしまう (図 4)。これを回避するためには転送間隔の調節が必要になるが [5]、そのような場合でも、常にパケットロスを 0 に抑えられるわけではない。このような場合に備えてパケットロスを許容する場合、

- データの回復はまったく行わない
- 再転送によってパケットそのものを回復する
- すでに転送されているデータを使って必要となるデータに相当するものを作り出す

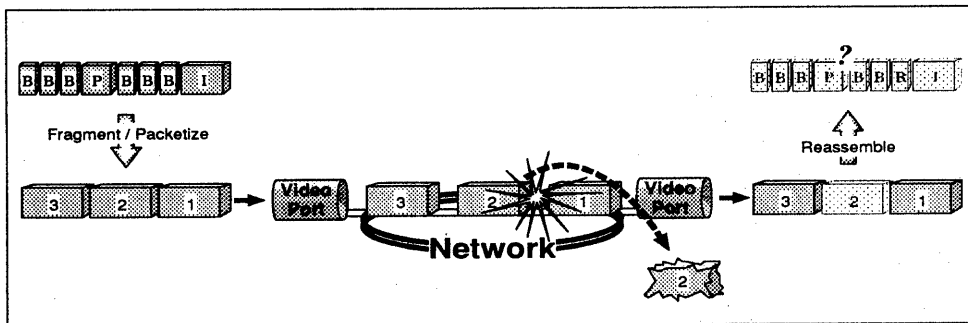


図 4: パケットロス

などが考えられる。ここで連続メディアを考慮すると、実時間性などの問題から再転送による回復は難しい。そこで、本研究ではすでに転送してあるデータによって回復を行い、パケットロスが生じた場合でも可能な限りユーザの要求に沿った品質のビデオデータを提供する方法を考慮する。

5 ビデオデータの回復

MPEG のデコードではフレーム間予測が用いられるため、不用意に I-/P-Picture を破棄すると、本来そのフレームを用いた予測によってデコードされる P-/B-Picture をデコードすることができなくなる。そこで本研究では、正しく届いているフレームのみを表示して予測に利用されるフレームには代替りのフレームを表示するスキップアンドコピー (SAC 法) による回復と、正しく届いているフレームから線形予測を行って紛失したフレームデータそのものを回復する方法を考慮する。

5.1 パケット化の問題

PAVS の Data Transform 層は GoP データのデコードにおいて、パケットロスにより生じるデータの欠落を何らかの方法をもって知ることができなければ、受け取ることができた残りの GoP データのすべてをも破棄しなければならない。したがってまず、パケットロスにより GoP データのどの部分が失われたかを知ることが重要である。逆に、どの部分が失われたかを知っていれば、その部分のみを破棄する、もしくは回復することによって、残りのデータを十分に活用することができる。

これを実現するためには、パケット化の際にどのように GoP データを分割したかを認識できるように図 5 のように GoP 長およびフレームデータ長を

ヘッダに格納しておけば良い。図 5 の例では、まずサーバ側で GoP データとそれに対応する GoP 長とその GoP に含まれる各フレームデータ長を読み出し、各データ長はヘッダに格納する。クライアント側ではデータを受け取った段階でヘッダを解析して各フレームデータ長を認識することによって、Packet3 を紛失している場合にはそのパケットには B、B、P のフレームが格納されていたことがわかる。したがって、これらを取り除いたフレームデータだけをデコードすることができる。

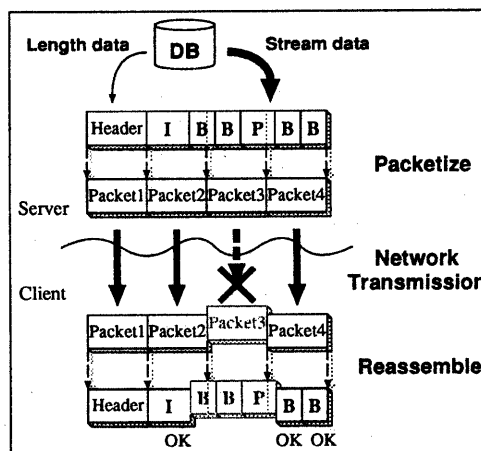


図 5: MPEG データのパケット化

5.2 スキップアンドコピー法 (SAC 法)

フレームデータを紛失した場合の比較的容易な回復方法として、紛失したフレームはスキップしてその間は前のフレームを表示し続ける方法が考えられる (図 6)。

Skip Pattern B-Picture は他のフレームのデコードには用いられないので、単純に表示をスキップ

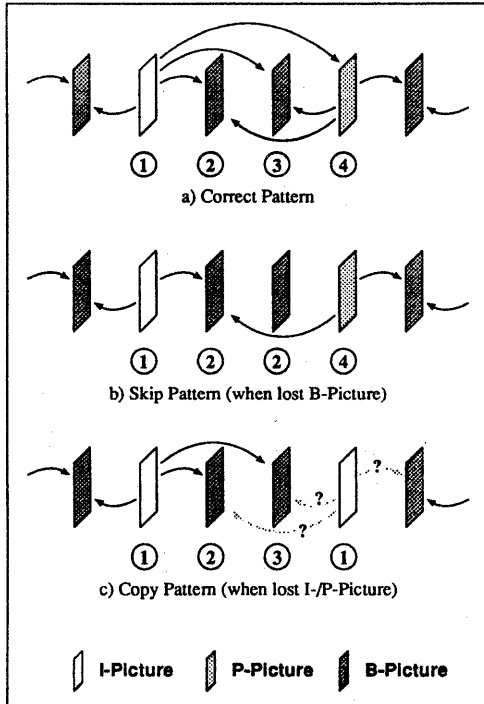


図 6: スキップアンドコピー

する (図 6b)。そのフレームに相当する表示時間には、一つ前のフレームを表示し続ける。

Copy Pattern I-/P-Picture は次の P-Picture の順方向予測や B-Picture の双方向予測によるデコードに用いられる。そのため単純にスキップしただけでは P-/B-Picture のデコード時に大きな誤差を生じさせることになる。そこで、I-/P-Picture 紛失時にそのフレームに時間的に最も近いフレーム、図 6c の例では紛失した 4 番の P-Picture の代わりに 1 番の I-Picture を予測用のフレームにセットし、2、3 番および後続のフレームの予測エラーを抑える。

5.3 線形予測法

SAC 法ではビデオデータの品質劣化をある程度抑えることは可能であるが、紛失したフレームそのものは回復しないので Skip Pattern の場合にはやはり画像が静止することになる。そこで紛失したフレームをも回復する方法として、すでにデコードされているフレームから線形予測を行って紛失したフレームの代わりに用いることが考えられる (図 7)。

線形予測は MPEG のマクロブロックと同じ 16 ×

16 のブロックごとにマッチングを行い、マッチしたブロックをコピーする。アルゴリズムは大きく分けて次の二つからなる。

変化がない場合 一つ前と二つ前のフレームの同座標のブロックの差分を取り、一定値以下なら変化がなかったブロックと判断し、一つ前のフレームの同座標のブロックをコピーする (図 7①)。

変化があった場合 変化があったと判断された場合、移動後の座標がそのブロックとなるようなブロックを走査する。図 7② の例では、一つ前のフレームでの周囲のブロックと、二つ前のフレームのさらに外側のブロックとのマッチングを行う。それでもマッチしなかった場合は、一つ前のフレームの同座標のブロックをコピーする。この場合、そのブロックに関しては大幅に画質が劣化する。

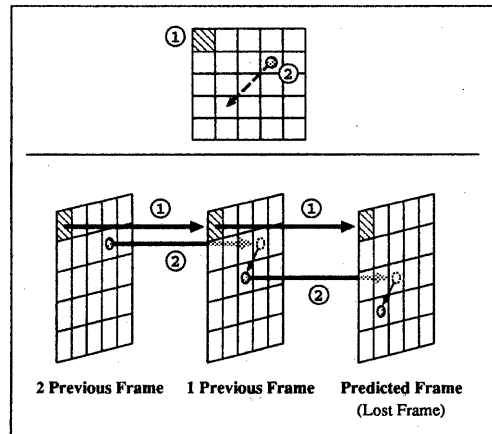


図 7: 線形予測

6 パケットロスに伴う制御

SAC 法や線形予測法が必要になる場合は、ネットワークやマシンが過負荷であると考えられる。このような場合、QoS 制御を働かせてパケットロスが生じない正常な QoS クラスが QoS Management 層によって選択されるが [3]、システム全体で QoS が変更されるまでには多少の時間誤差が生じる。このような状態でのフレームレート制御や同期制御はパケットロスを十分に考慮していなければならない。

SAC 法の場合 表示フレーム数が設定値より少なくなるため、スキップが生じた場合は一つ前のフレームの表示時間を長くしなければならない。もし

複数フレームをまとめて紛失すれば、それだけ長い時間、同じフレームを表示し続けることになる。

線形予測法の場合 表示フレーム数は予測が可能な限り保たれるので、基本的にフレームの表示間隔は一定である。

7 評価

SAC法で実装した場合のシミュレーション結果を示す。15秒間の音楽のライブシーンのMPEG VideoをPAVSで転送した時のロス packets をランダムに選び、その時紛失したフレームに対してSAC法を適用した時の画像の誤差を図8に示す。図は横軸がフレーム番号、縦軸が正確な画像との誤差であり、実線はそれぞれのフレームの誤差、点線がパケットロスによって紛失したフレームの始まりと終りを示している。

この例では、先頭から32、53、98番目のパケットをロスしており、これらはそれぞれ99~101、160~164、299~302番目のフレームを含んでいる。ところが、100、161、301番目のフレームがP-Pictureであるため、ロスしたフレーム以降にも誤差が現れている。SAC法を用いないでロスしたパケットを含むGoPをすべて破棄した場合にはこれらの誤差を含むフレームをすべて表示しないことになるが、SAC法を用いることによって不連続性を除去することができ、主観的な評価としてはビデオの内容を十分に理解できる程度のビデオ品質の低下に抑えることができた。

8 まとめ

従来のPAVSにおいて、パケットロスに対応するためのパケットロス回復機構の設計及び開発を行った。パケットロスを回復するために、紛失したフレームデータを適切に除去し、正しく届いているデータを可能な限り表示するSAC法のアルゴリズムと、紛失したフレームデータをも回復する線形予測法のアルゴリズムを提案した。SAC法では、表示フレーム数そのものが少なくなるので、ビデオの品質はかなり劣化するが、まったく表示を行わない場合に比べればビデオの内容を十分に理解できる程度の画質の低下に抑えられることが分かった。線形予測法でも、必ずしも正確な画像が得られるわけではないので画質は劣化するが、表示フレーム数を保

つことができるのでユーザが要求するビデオ品質の劣化はかなり防がれる。

現在、引き続き線形予測法を実装したときの主観的な評価および客観的な評価と、PAVSへの実装を行っている。

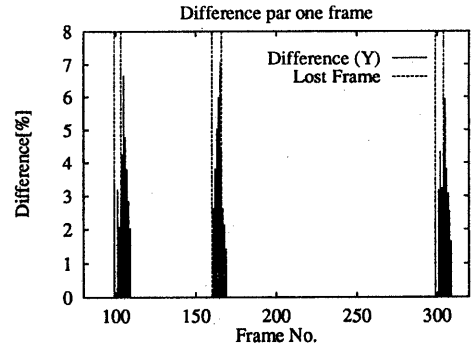


図8: SAC法による画質の誤差

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] 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
- [3] 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, 65-12, 1994
- [4] 渡辺光輝, 赤間孝司, 柴田義孝: 圧縮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, マルチメディア通信と分散処理研究会, 66-23, 1994
- [5] 赤間孝司, 渡辺光輝, 橋本浩二, 柴田義孝: パケットオーディオ・ビデオシステムのための動的なパケット間隔制御, マルチメディア通信と分散処理研究会, 67-7, 1994
- [6] D. L. Gall: "MPEG: A Video Compression Standard for Multimedia Applications," *Communications of the ACM*, vol. 34, no.4, pp. 46-58, Apr.1991.