

## 圧縮を考慮した連続メディア転送における 動的な転送レート制御方式の研究

渡辺光輝 知念正 橋本浩二 柴田義孝

東洋大学工学部情報工学科

E-mail:{nabe,chinen,hashi,shibata}@sb.cs.toyo.ac.jp

マルチメディア情報ネットワークにおいて、Video-on-Demand のようなアプリケーションを実現するためには、オーディオ、ビデオのように時間的制約のある連続メディアデータを同期を取りながら効率的に転送する必要がある。特に、連続メディアのように大量のデータを効率的に転送し適切なサービスの質 (QoS) を保証するためには、パケットロスによるデータの損失を十分に考慮していなければならない。また、圧縮された連続メディアは単位時間に生成されるデータ量が異なるため、転送レートを変化させることや、圧縮データ特有の画質への影響をも十分に考慮する必要がある。本稿ではユーザからの QoS 要求をエンド間で保証する連続メディアサービスにおいて、圧縮された連続メディアの動的なレート制御方式について述べる。

### 1 はじめに

FDDI や ATM のような高速ネットワークを利用して、Video-on-Demand(以下 VOD) のようなサービスのために、オーディオ・ビデオのように時間的制約を伴うメディアデータをユーザへ提供する場合、ユーザの要求や格納されたメディアデータの性質、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などから決定される適切なサービスの質を保証する必要があり、そのためにはアプリケーションからネットワークまで一貫した QoS 保証機能が必要となる [7]。また、ネットワーク上に分散されたオーディオやビデオなどのメディアデータをユーザに提供する場合、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の原因となり、提供されるメディアの品質を劣化させてしまう可能性がある。そこでユーザが要求する QoS に基づくサービスを提供するためには、これらの負荷変動に応じてビデオのフレームレート及びパケットの転送レートを動的に制御する機構が必

要となってくる。

一方、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 MPEG[8] のような圧縮技術が必要不可欠であるが、圧縮されたビデオは 1 フレーム当たりのデータ量が変化するためこれを一定のフレームレートでユーザに提供するためには可変レート転送を行う必要がある [5]。また、圧縮されたビデオデータの転送において QoS を保証するためには、圧縮ビデオを転送する際のパケットロスの性質を考慮したパケットの転送レート制御や、パケットロスに対する回復機構が必要となる。

ここでは、圧縮ビデオを含むビデオ転送のための、転送レートを動的に制御する機構を提案する。

### 2 システムアーキテクチャ

ネットワークにおける QoS 保証機能を持つ B-ISDN のプロトコルアーキテクチャをもとに、OSI 参照モデルの 7 階層に適用したアーキテクチャを図 1 に示す [7]。OSI 参照モデルのアプリケーション層とトランスポート層の間に、同期層、データ変換層、メディアフロー制御層の三層の導入により、連続メディアデータをユーザに提供するために必要となる機能を持ち、アプリケーションからネットワークまで一貫した QoS 保証を可能とする。ここで、同期層、データ変換層、及びメディアフロー制御層の 3 層を総称して、メディアコーデインイトアーキテ

---

Dynamic Rate Control for Continuous Media Transmission Considered of Compression  
Mitsuteru WATANABE, Tadashi CHINEN, Koji HASHIMOTO, Yoshitaka SHIBATA  
Toyo University.

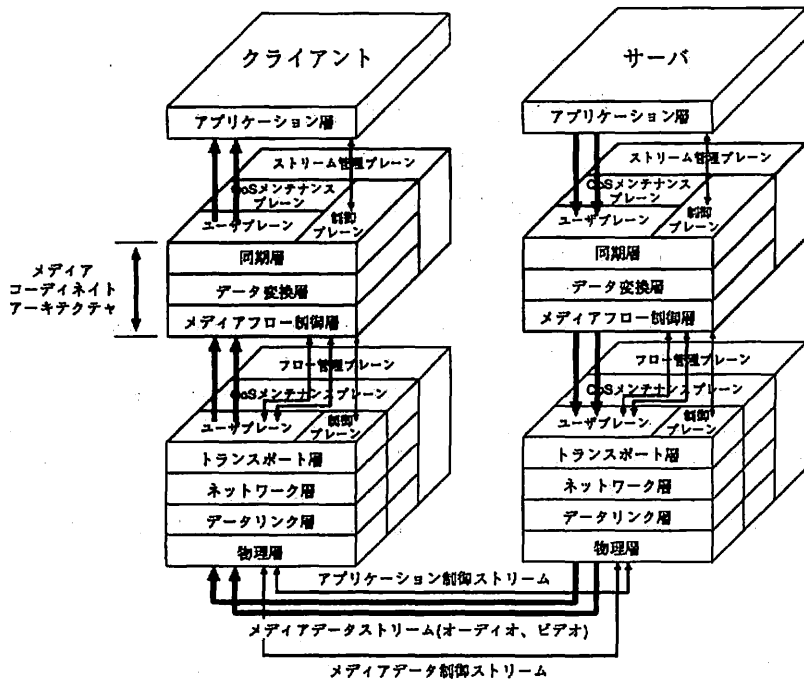


図 1: システムアーキテクチャ

チャと呼ぶ。

図 1において、例えばオーディオ、ビデオフレームレートなどの 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以下の各層で行われる [2]。

同期層では、ビデオフレームと対応するオーディオフレーム間の時間的同期処理を行う。

データ変換層では、ビデオデータ処理としてビデオフォーマット変換、圧縮・伸張などを行い、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、無音検出などを行い、さらにパケットロス発生時にはその修復処理を行う。また、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データ変換層で伸張される。

メディアフロー制御層では、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フレーム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。

### 3 同期制御方法

ビデオフレームとオーディオフレームの同期方式としては同期ポイントの決め方の違いによりいくつかの方法が考えられる [1] が、中でも本システムでは蓄積型メディア転送に適している Relaxed Synchronization 法を用いる。Relaxed Synchronization 法は、フレームの合計時間が一致した点で同期をとる方式である。例えば 1 秒以下の間隔で同期する場合、レート値がそれぞれ  $N_P$ [frames/sec]、 $N_A$ [frames/sec]

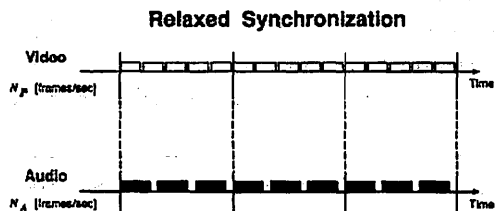


図 2: Relaxed Synchronization

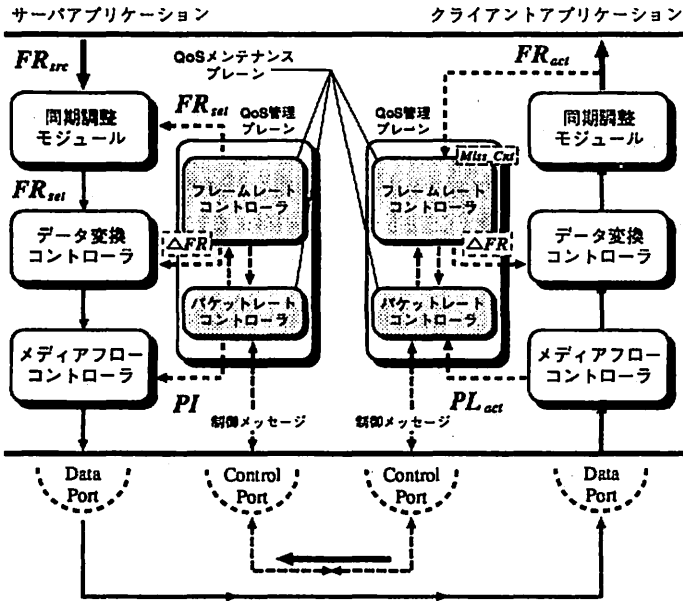


図 3: フレームレート制御フロー

のビデオ及びオーディオデータである時、 $N_P, N_A$ の公約数 $\alpha$ でそれぞれのレート値を割ったフレーム毎に同期を取る。この時、理論的な同期間隔は $1/\alpha$  [sec]となる。また1秒以上の同期間隔で行う場合、それぞれ $N_P, N_A$ の $\alpha$  ( $\alpha=1,2,3,\dots$ )倍のフレームで同期を行う。この時の理論的な同期間隔は $\alpha$  [sec]である。この方式により、比較的柔軟にフレームレートを変えることが可能である。

## 4 レート制御

VODのようなアプリケーションにおけるビデオデータの再生表示では、ユーザの希望する画質、すなわちビデオフレーム自体の品質と一定のフレームレートを保ちながら提供する必要がある。とりわけ、オーディオデータと比較してビデオデータは単位時間当たりの情報量が非常に大きいため、クライアントやサーバの負荷変動、ネットワーク上のトラフィックの変動によるフレームレートの変動を生じ易い。従って、ビデオのフレームレートを動的に制御するフレームレート制御、及びパケットの送信レートを動的調整するパケットレート制御を同時に行うことが必要となる。

### 4.1 フレームレート制御

クライアントステーションにおいてビデオサーバから転送されてくるビデオデータを正常に表示するには、ビデオソースが持つフレームレートで転送し再生できなければならない。しかしながら、ビデオサーバに格納されているビデオデータのレートで再生するために必要なスループットが End-to-End で得られない場合、フレームを間引くことによるフレームレート制御を行わなければならない[3]。

図3に示すように、クライアント側のフレームレートコントローラがビデオフレームの再生状態 ( $FR_{act}$  [frames/sec]) を定期的に監視して、その値と設定レートである  $FR_{set}$  [frames/sec] を比較する。もし  $FR_{act} < FR_{set}$  であれば測定値と設定値の誤差の頻度を示すパラメータ  $Miss\_Cnt$  をカウントアップし、 $FR_{act} > FR_{set}$  であればカウントダウンする。そして  $Miss\_Cnt$  の絶対値がある閾値を超えた時に、QoS管理プレーンによって負荷の原因がサーバ、クライアント、ネットワークのいずれにあるのかを判断し、それぞれの場合に適合した新しいフレームレートを設定する。

ネットワーク転送のスループットは十分であるが、

クライアントステーションのデータ変換・同期・再生表示処理能力が小さく、十分なフレームレートが得られない場合は、フレームレート制御によって表示するフレーム数を少なくし、現在の負荷状態に合ったフレームレートを達成する。ここで、過負荷である CPU がクライアントステーションであるかサーバステーションであるかによって、制御の方法もそれに合わせる必要がある。

#### 4.1.1 クライアント負荷時

サーバステーション、ネットワークはともに十分なスループットを持っているが、クライアントステーションにおける圧縮ビデオの伸長処理や他のアプリケーションの起動によって設定フレームレートによるサービスが不可能となった場合には、サーバやネットワークの処理量は変化させずにクライアント側でフレームデータを間引くことにより、クライアント以外の環境に影響を与えずフレームレートを制御することが可能である。

図3の制御フローにおいて、クライアントステーションの負荷がフレームレート劣化の原因であると判断された時、クライアント側のフレームレートコントローラが測定値と設定値の誤差  $\Delta FR (|FR_{set} - FR_{act}|)$  をデータ変換コントローラに通知し、間引くフレームの数を調節を行う。

#### 4.1.2 サーバ負荷時

逆にクライアントステーション、ネットワークはともに十分なスループットを持っているが、サーバにおける新しいクライアントのアクセス数の増加によってサーバステーションの負荷が増大し、設定フレームレート  $FR_{set}$  によるメディアデータの送信が不可能となった場合は、サーバはそのスループットで提供可能な新しいフレームレートを計算し、設定する。ソースフレームレート  $FR_{src}$  との誤差は、データ変換コントローラで誤差  $\Delta FR$  のフレームデータを間引くことによって送信フレームレートを  $FR_{set}$  に合わせる。

#### 4.1.3 圧縮ビデオのフレームレート制御

前述のようなフレームレート制御は、無圧縮のビデオや JPEG ビデオなどのようにフレーム間に依存関係のないものには問題なく適用できるが、MPEG ビデオのようにエンコーディング時にフレーム間予

測を用いているビデオデータを扱う場合には、不用意にフレームを間引くことはできない。そこで、予測に用いられる I-Picture や P-Picture の優先順位を高くし、B-Picture から間引いていくことにより可能な限り他のフレームに影響を及ぼさないフレーム間引きが必要となる。

具体的な方法として、GoP が  $N$  枚、間引くフレームの数が  $x$  枚とすると、ある GoP に対して、

$$1, \frac{N}{x} + 1, \frac{N \times 2}{x} + 1, \dots, \frac{N \times (x-1)}{x} + 1$$

のフレームを間引く。例えば、 $N = 8$ 、 $x = 3$  の時は、

$$1, \frac{8}{3} + 1 = 3, \frac{8 \times 2}{3} + 1 = 6$$

のフレームを選ぶことにより I-Picture、P-Picture のフレームを避けて間引くことが可能である。ただし、P-Picture が選択されてしまい、かつ近傍の B-Picture が残っている場合には、P-Picture の代わりにその B-Picture を間引くという優先順位をつける必要がある (図4)。

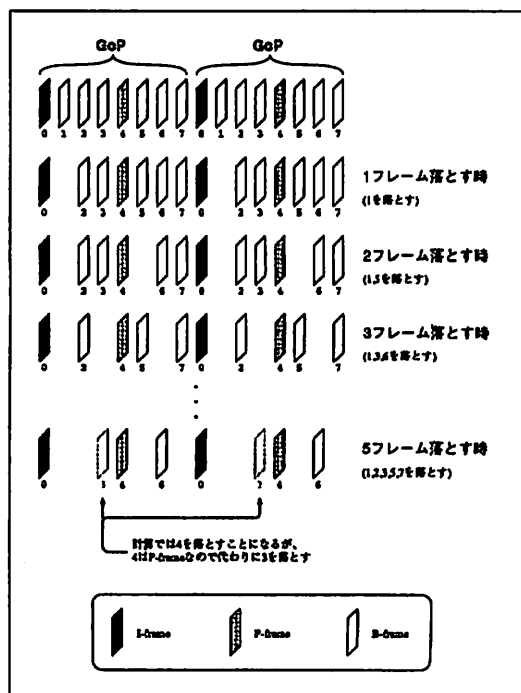


図4: MPEG ビデオフレームの間引き方

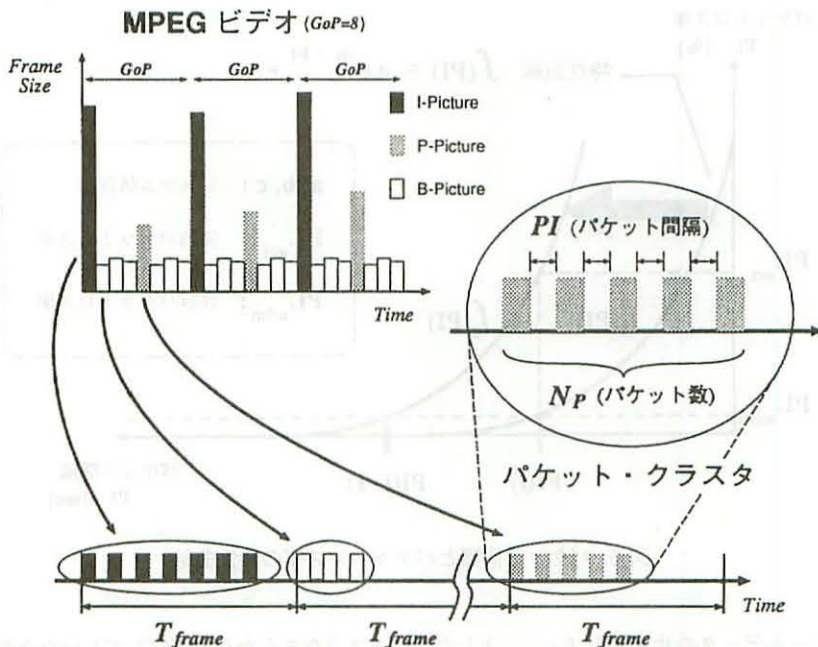


図 5: 可変レート転送

## 4.2 パケットレート制御

前述のようなクライアント及びサーバの負荷が原因となるフレームレート制御とは別に、ネットワークのトラフィックが増加しバッファオーバーフローなどによるパケットロスが生じる場合は、パケットロスを回避するためにパケット発生率を変化させて制御を行う。そしてそのパケットレートに相当するフレーム数を減少するようにフレームレートを再設定し、フレームレートコントローラによって設定もしくは調整されたフレームレートに相当するパケット送信レートを動的に制御する。

### 4.2.1 可変レート転送

無圧縮のビデオソースの場合にはフレーム毎のデータサイズが一定であるので、それにより生成されるパケット転送データ量も一定である。しかしながら、MPEG ビデオ等のように圧縮されたビデオの場合、フレーム毎にデータ量が異なり、その結果パケット転送データ量も時間的可変となる。その一方でビデオサービスの質を維持するためにはパケッ

トロスも許容範囲内に抑制しなければならない。そこで本システムでは、無圧縮ビデオのみならず圧縮ビデオでも一定のフレームレートでの転送表示を可能とするために、図 5 のようにパケットのサイズは固定し、単位時間に送出するパケットの数及びパケット間隔をフレームに対応させて調整する可変パケットレート転送を導入する。

例えば図 5 のような MPEG 圧縮ビデオにおいて、1 フレームごとにそれぞれに相当するパケット数を発生させ転送する。MPEG ビデオにおける 1 フレームに相当する時間を  $T_{frame}$ 、パケットサイズ

表 1: フレームサイズとパケット数の例

フレームの種類	平均サイズ [Kbyte]	平均パケット数 [個]
I-Picture	39.779	9.712
P-Picture	30.028	7.331
B-Picture	15.830	3.865

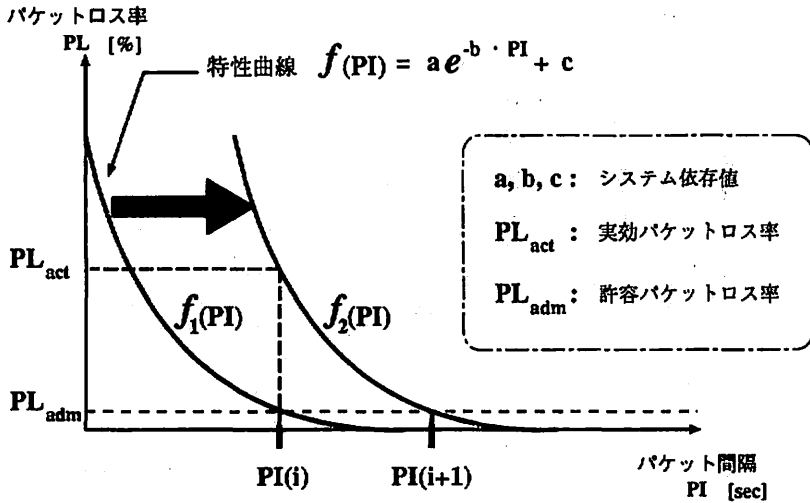


図 6: パケット間隔とパケットロス率の特性曲線

を  $L_P$ 、フレームデータのサイズを  $L_{frame}$  とした場合、サーバは  $T_{frame}$  の間に  $N_P = \lfloor \frac{L_{frame}}{L_P} \rfloor$  個のパケットを送出することになる。具体的な例を示すと、フレームレートが  $24[\text{frames/sec}]$ 、フレームの解像度が  $700 \times 480[\text{pixel}]$  で  $N = 8$ 、 $M = 4$  としてエンコードした MPEG ビデオにおいて、パケットサイズを  $4096[\text{byte}]$  とした場合の送信する平均パケット数はフレームの種類によって表 1 のようになる。

#### 4.2.2 パケット間隔制御

一方で、パケットロス率を許容率以下に抑制するためにパケット間隔  $PI$  の調整が必要となる。図 3 の制御フローにおいて、クライアントで検出されたパケットロス率  $PL_{act}$  が許容パケットロス率  $PL_{adm}$  を超えた時にはすぐに  $PL_{adm}$  以下に抑え、そして  $PL_{act} < PL_{adm}$  となるようにパケット間隔を動的に調整する。パケット間隔を広げたことによりデッドラインを超える場合には、QoS 交渉によりパケットレートを変更するパケットレート制御を行う。

**セッション開始時** セッション開始時には、必要なスループットを提供しつつ、許容パケットロス率以下に抑えるような正確なパケット間隔  $PI$  を得ることは難しい。そこで本システムでは、図 6 に示され

るようなあらかじめ測定しておいたそのマシンの特性曲線と、セッション開始時におけるネットワーク負荷、マシン負荷から、ロスを生じないと想定される最小パケット間隔を算出する。同時にその値からパケットレートが決定される。

セッション期間中 ある期間のパケット間隔  $PI(i)$  において、 $PL_{act}$  が  $PL_{adm}$  を大きく超えた場合、そのロス率に応じて、あらかじめ求めておいたロス率とパケット間隔の関係式から  $PL_{adm}$  以下になるように  $PI(i)$  を算出する。また、 $PL_{act}$  が  $PL_{adm}$  の近傍にある場合においては、 $PI$  の設定値が徐々に収束する式を用いて設定する。本システムでは  $PI$  を大まかに調整するための式と微調整するための二つの式を用いることにより、安定したパケット間隔制御を実現する。

また  $PI$  を大きくすることにより、転送すべきパケットがデッドライン内に収まらなくなってしまった場合にはパケットレートを下げることになるが、この際、ストリーム管理モジュールにパケットレートの劣化を通知し、フレームレートを下げてからパケット間隔、パケットレートを再計算する必要がある。ただし、圧縮ビデオを扱う場合には単純にデッドラインを規定することができないので、平均レートをを用いる。

## 5 パケットロス回復

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。特にフレームによってデータ量がランダムに変化し、予測符合化などを用いている圧縮ビデオのようにフレーム間に依存関係のあるメディアデータでは、ネットワーク転送におけるパケットロスがサービスの質の劣化の大きな原因となる。しかしながらビデオのようなメディア転送において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[6]。前述のフレームレート制御やパケットレート制御は、ビデオデータのこのような性質を踏まえ

ており、ある程度のパケットロスを許容することを前提としている。

### 5.1 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7)。

**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する(図7b)。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7c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。

その他の方法としては、ハードウェアにより線形予測のアルゴリズムを実装することによって、ロスした画像により忠実なフレームを再現する線形予測法も考えられるが、パケットロスを前提としたビデオサービスの中で、パケットロスの回復によってロスしたフレームを考慮に入れずにフレームデータの処理が可能であることが重要である。

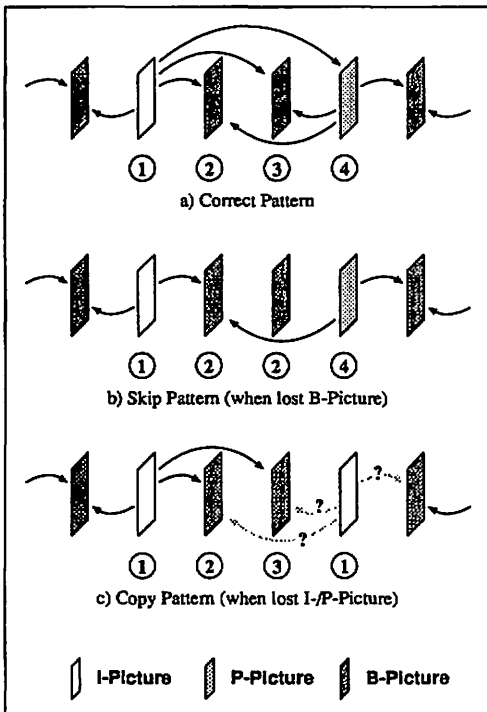


図7: スキップアンドコピー法

## 6 まとめ

オーディオやビデオなどの連続メディアデータをユーザに提供するサービスに柔軟なレート制御機構を取り入れるために、圧縮を考慮した動的なレート制御機構の設計、開発を行った。動的なフレームレート/パケットレート制御機構を導入することにより、ワークステーション及びネットワークの処理能力にあったビデオデータの提供が可能になり、ユーザの要求する画質を保つことが可能になる。

現在、アプリケーションにVODを想定したプロトタイプを構築し、圧縮/無圧縮ビデオのいずれれをも同様に扱える、動的なレート制御機構の評価を行っている。

## 参考文献

- [1] 柴田義孝: マルチメディア情報ネットワークにおける同期転送方式, 情報処理学会第 45 回全国大会, 1B-6, 1992.
- [2] 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
- [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] 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] 渡辺光輝, 赤間孝司, 柴田義孝: 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, マルチメディア通信と分散処理研究会, 68-6, 1995
- [7] 橋本浩二, 勝本道哲, 渡辺光輝, 柴田義孝: 連続メディアを主体としたサービスのための QoS 保証機能, マルチメディア通信と分散処理研究会, 71-17, 1995
- [8] D. L. Gall, "MPEG: A Video Compression Standard for Multimedia Applications," *Communications of the ACM*, vol. 34, no.4, pp. 46-58, Apr.1991.