

圧縮ビデオデータ転送のための パケットおよびフレームレート制御法

橋本 浩二[†] 知念 正^{††}
佐藤 純^{†††} 柴田 義孝^{†††}

圧縮法を用いたビデオデータはフレームごとにそのデータ量が異なる。ビデオデータをユーザに提供するクライアント/サーバシステムにおいて、圧縮したビデオデータを使用する場合、その実時間性を保証し、フレームレートを一定に保つためには可変ビットレート転送を行う必要がある。また、クライアント/サーバおよびネットワークの負荷変動により発生するパケット紛失は、画質の劣化やフレームレートの低下を引き起こす。本論文では、可変ビットレート転送として GoP 一括転送方式とフレーム転送方式の2つの方式を提案する。また、負荷変動によりパケットが紛失した場合でもビデオサービスの実時間性を保証するために、パケット間隔制御法とフレームレート制御法を提案する。パケット間隔制御は、動的にパケット間隔を調整することでパケット紛失率を抑制する。フレームレート制御は、クライアント側の実効フレームレートをサーバ側にフィードバックし、必要なら送信フレームを間引くことでフレームレートを調整する。我々は、これらの転送方式と制御法を導入したパケットオーディオ・ビデオシステム (PAVS) のプロトタイプを構築し、性能評価を行った。結果、これらの転送方式と制御法の有効性が確認できたので報告する。

Packet and Frame Rate Control Methods for Compressed Video Transmission

KOJI HASHIMOTO,^{††} TADASHI CHINEN,^{††} JUN SATO^{†††}
and YOSHITAKA SHIBATA^{††}

In a client/server system where compressed video data are transmitted from video server to userclient over highspeed network, variable bit rate transmission method is required to maintain the video frame rate constant because the amount of data of each video frame varies from time to time. On the other hand, video quality and frame rate degrade when packet loss occurred when CPU loads on the client/server or the network traffic increases. In this paper, two variable bit rate transmission methods: Group of Picture transmission and frame transmission methods are newly introduced. We also introduce both a packet rate control method to reduce the packet loss by controlling the inter-packet time interval and a frame rate control method to maintain the frame rate constant by controlling the transmitted frame rate on the server based on the feedback signal with set frame rate from the client. We implemented a prototyped Packet Audio/video System (PAVS) to evaluate performance of the packet rate control and Frame rate control functions. Through this performance evaluation of PAVS, we could justify the usefulness of our suggested control methods.

1. はじめに

高速ネットワークを利用して、Video-on-Demand を代表とする連続メディアサービスを実現するには、

サービスの質 (Quality of Service, 以下 QoS) に対するユーザの要求や格納された蓄積メディアの特性、クライアント端末やビデオサーバの処理能力、そして利用可能なネットワークの帯域幅などを考慮して適切な QoS を保証する必要がある。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¹⁾が必要となる。特に、クライアント端末やビデオサーバにおける過度の負荷変動は、パケットバッファのオーバフローによるパケット紛失の原因となり、その結果、ビデオの間延びや画質の劣化、オーディオとの

[†] 株式会社 CSK 総合研究所
CSK Research Institute

^{††} 日本ビクター株式会社
Victor Company of Japan, Limited

^{†††} 東洋大学工学部情報工学科
Department of Information and Computer Sciences,
Toyo University

同期のズレが発生し、QoSの低下を招く可能性がある。筆者らはこれまで、クライアント端末やビデオサーバおよびネットワークの負荷変動に対してEnd-to-End QoSの交渉と保証を行うアーキテクチャ¹⁾や、無圧縮ビデオにおけるビデオとオーディオの同期制御²⁾およびパケット/フレームレート制御^{3)~5)}、パケット回復制御方式⁶⁾を提案し、その有効性を報告してきた。

一方、オーディオ/ビデオのように単位時間あたりのデータ量が膨大なメディアを効率よく格納したり、ネットワーク転送するためには圧縮法を利用することが有効であり、H.261, Motion JPEG, MPEG-1, MPEG-2などの利用が考えられる⁷⁾。しかしながら、圧縮したビデオはフレームごとにそのデータ量が異なるため、これらを一定フレームレートでユーザに提供するためには可変ビットレート転送を行う必要がある⁶⁾。

ネットワーク転送プロトコルとしては、TCPのような信頼性を保証するプロトコルとUDPのような信頼性を保証しないプロトコルの利用が考えられる。信頼性を保証するTCPを用いた場合は、誤りのないパケット転送が可能であるが、複雑なエラー制御やフロー制御機能などによりパケット処理が複雑となる。その結果、スループットが十分に得られなかったり、スロースタート⁸⁾などによるパケットレートの大幅な変動によりビデオの持つ時間的制約を保証できなくなる場合がある。ここで、時間的制約とは、そのビデオを再生すべきフレームレートで転送しなければならないことを意味する。たとえば30 [fps]で構成されるビデオデータを使用する場合、1秒間に少なくとも30フレームのレートで転送する必要がある。転送できない場合、ビデオ再生時に間延びが生じる。一方、信頼性を保証しないUDPを用いた場合は、簡潔なパケット転送および処理により、より高スループットが期待できる。さらにEthernetやFDDIのようなアクセス共有型のLAN上ではマルチキャスト機能も効率良く利用できるため、グループ通信や遠隔講義システム⁹⁾など多様な形態のマルチメディア情報サービスの構築が実現可能である。しかしながら、エラー制御やフロー制御が存在しないので、UDPの上位層にQoSを保証するための制御機能が必要となる。

本論文では、LANやATMなどが相互接続された広域ネットワーク環境でのVoDサービスを想定している。より高いスループットでビデオを提供すること考慮し、転送プロトコルはUDPを用い、トランスポート層より上位層でのフロー制御やレート制御を実現する。また、圧縮法にはMPEG-1を用い、ビデオサーバに格納されたビデオデータを一定フレームレ

ートで転送することを考える。転送の際は、パケットサイズを固定にし、パケット数を可変にする可変ビットレート転送を行う。本論文では、MPEG-1のGroup of Picture (GoP) ごとに関連するフレームを一括して転送するGoP一括転送方式と、各GoPから構成するフレームを識別し、フレームごとに転送する2つの可変ビットレート転送方式を提案する。

また、クライアント/サーバの負荷変動により生じるパケット紛失は画質の劣化やフレームレートの低下を引き起こす。これに対し、動的にパケット間隔を調整してパケットの生成率を変化させることによりパケット紛失率を抑制するパケット間隔制御と、負荷変動のレベルに応じて適切にデータ量を調整して、時間的制約内で安定したフレーム再生表示を実現するフレームレート制御を組み合わせた方式を提案する。

そして、これらの方式の有効性を評価するために、複数台のワークステーションによるパケットオーディオ・ビデオシステム(PAVS)のプロトタイプシステムをFDDIおよびEthernet環境に構築し、実際にクライアント端末およびネットワークの負荷変動時におけるパケット紛失率およびフレームレートの時間的変化量を、制御機能方式がある場合とない場合における比較を行った。評価の結果、本論文で提案する制御機能方式を導入することにより、パケット紛失率をユーザの許容するパケット紛失率以下に抑制し、フレームレートもほぼ一定に維持することが可能となった。

2. システム構成

本システムはネットワーク上にクライアント・サーバシステムとして構成される。図1に本システムのアーキテクチャを示す。このアーキテクチャは、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3層からなるメディアコーデイトシステム^{1),10)}を導入している。そして、各レート制御を実現する機能モジュールは、このメディアコーデイトシステム内に配置される。これを図2に示す。

- フレームレート管理モジュール：クライアントおよびサーバにおける再生/送出される実効フレームレートを監視する。
- パケットレート管理モジュール：クライアントおよびサーバにおける受信/送信されるパケット数およびパケットロス率を監視する。
- ストリーム管理制御モジュール：クライアント/サーバやネットワークの負荷変動の監視機能やフレームレートおよびパケット間隔の設定、更新を

する。

3. 可変ビットレート転送

本システムでは、圧縮したビデオデータを一定のフレームレートで転送表示するために、可変ビットレート転送⁶⁾を導入する。図3に示すように、パケットサイズを固定とし、単位時間に送出するパケット数およびパケット間隔の調整を行う。本論文では、可変ビッ

トレート転送として、(1) GoP一括転送方式と(2)フレーム転送方式の2つの方式を提案する。

(1) **GoP一括転送方式**：MPEGビデオデータをGoPごとに識別し、1GoPに相当する複数のパケットを生成して転送する方式。たとえば、図3a)に示すように1GoPが8フレームで構成されるMPEGビデオデータの場合、8フレーム分に相当するデータを複数のパケットにして転送する。ここで、1GoPに相当する時間を T_{GoP} 、パケットサイズを L_P 、GoPデータのサイズを L_{GoP} とした場合、サーバは T_{GoP} 間に $N_P = \frac{L_{GoP}}{L_P}$ 個のパケットを送出しなければならない。 T_{GoP} 内パケットの生成率をGoPのデータ量に合致させて、可変レート転送を行うことにより、一定のビデオフレームレートを保証することが可能となる。この方式では、MPEGビデオデータをGoP単位で処理するのでMPEGのフレームに依存せずパケット化できる。そのため、同期処理が比較的容易であり、1GoPあたりのパケット総数も少ない。しかし、パケットを紛失した場合、1GoPに含まれる複数のフレームを失う可能性があり、また、失ったフレームの検出処理は複雑になる。

(2) **フレーム転送方式**：図3b)に示すように、MPEGビデオデータをフレームごとに識別し、パケット化して転送を行う方法。転送処理はフレームごとなので、GoP一括転送方式に比べてパケット紛失時に失わ

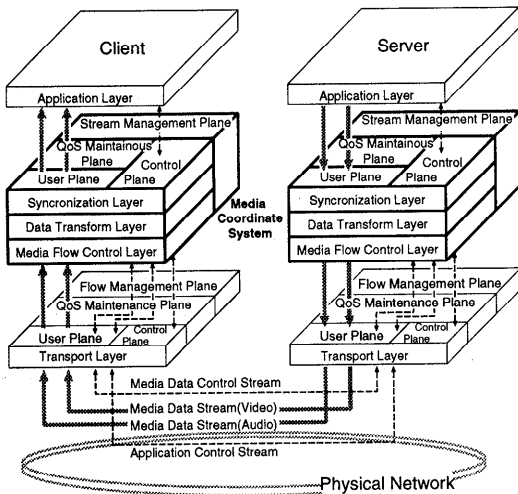


図1 システムアーキテクチャ
Fig.1 System architecture.

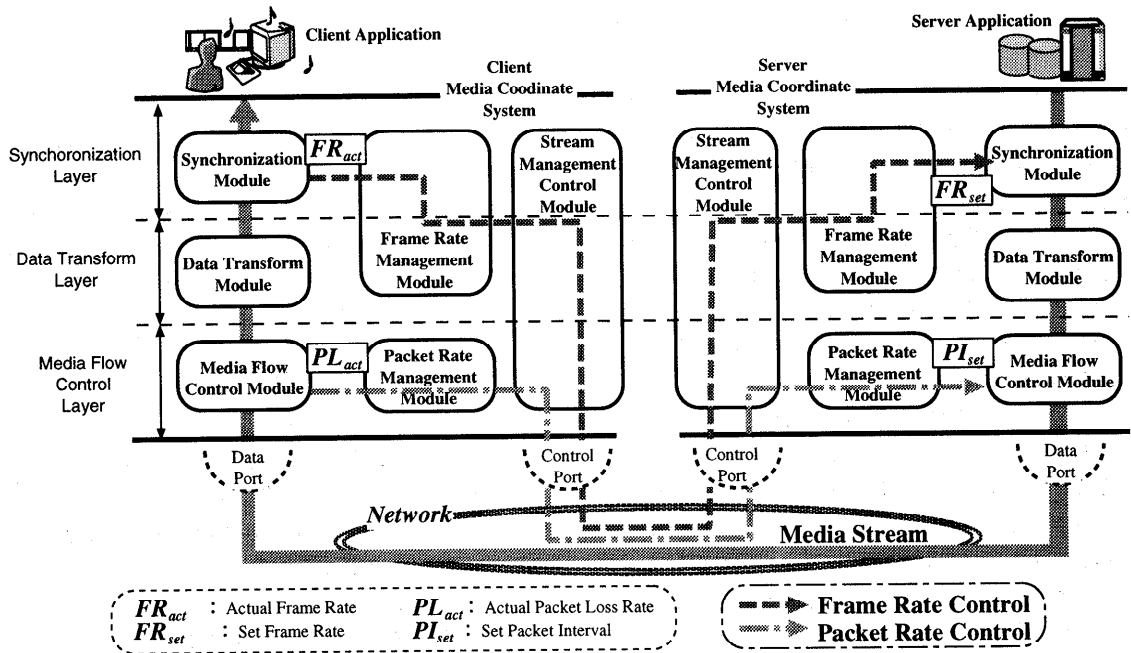


図2 モジュール構成とレート制御の流れ
Fig.2 Module configuration and flow of rate control.

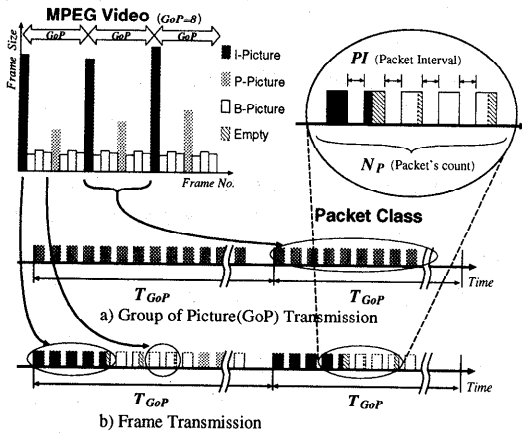


図3 可変ビットレート転送
Fig. 3 Variable bit rate transmission.

れるフレームの特定が容易である。また、フレームレート制御やパケット回復制御に柔軟に適用できる。しかし、生成されるパケット総数は多くなる。また、GoPをフレームに分割/組み立てする処理が必要となる。

このように、単位時間に送出されるGoPもしくはフレームのデータ量に応じて固定長パケット数を調整する可変パケットレート転送を導入することによって圧縮ビデオ転送を実現する。

4. パケット紛失制御

負荷変動によるクライアント/サーバの処理能力低下は、パケットバッファをオーバフローさせ、パケット紛失の原因となる。また、ネットワークトラフィックの変動は、交換機/ルータ内のパケット破棄を引き起こす。本システムでは、これらのパケット紛失を抑制するために、(1)パケット回復制御と(2)パケット間隔制御を考える。

(1)パケット回復制御：主として紛失したパケットを回復するためにパケットの再転送を行う。紛失したパケットを完全に回復できるが、再送に要する時間が大きい場合、ビデオデータの実時間性を保証できなくなる場合がある。

(2)パケット間隔制御：サーバ側で送出するパケットの間隔を動的に調整し、パケットの生成率を変化させることでパケット紛失率を許容以下に抑制する方法。パケットの紛失を完全に抑えることはできない。

本システムでは、ビデオサービスの実時間性を重視し、画質の劣化を多少許容する場合を対象としているので、(2)のパケット間隔制御を導入する。なお、(1)のパケット回復制御については、すでに2つの方式について報告している⁶⁾ので、本論文では実装および評

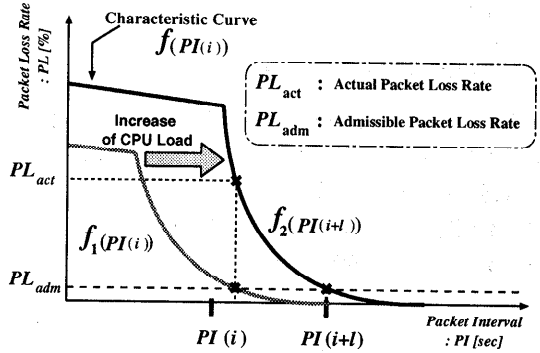


図4 パケット間隔とパケット紛失率の特性曲線
Fig. 4 Characteristic curve of packet loss rate for packet interval.

価を省略した。

4.1 パケット間隔制御

図2はパケット間隔制御の流れを示している。クライアントのパケットレート管理モジュールは実効パケット紛失率 PL_{act} [%] を測定する。測定値がユーザーの要求またはQoSの交渉によりあらかじめ設定された許容パケット紛失率よりも大きい場合、パケット間隔変更の要求をサーバに通知する。通知を受けたサーバは、あらかじめ評価しておいたパケット間隔とパケット紛失率の関係から、パケット間隔 PI_{set} [msec] を調整する。これまでの研究⁶⁾から、図4に示すとおり、クライアントの負荷状態に対してパケット間隔が一定値以下の場合、パケットの紛失を引き起こすことが確認されている。

そこで、クライアントで検出されたパケット紛失率 PL_{act} が許容パケットロス率 PL_{adm} を超えた場合、 $PL_{act} < PL_{adm}$ を満たすようにパケット間隔を動的に調整する。パケット間隔を大きくとったことにより時間的制約が保証できなくなる場合には、フレームレート制御ループのフィードバックによりフレームレートの設定値が下がり、これにより転送パケット数が減少することになる。

5. フレームレート制御

ビデオデータをユーザへ提供する際、実時間性を保証するためには、格納されているビデオデータのフレームレートで転送および再生するために必要なスループットをEnd-to-Endで確保する必要がある。End-to-Endで必要なスループットが得られない場合、フレームを間引くことで実時間性を保証するフレームレート制御⁵⁾を行うことが可能である。

フレームレート制御を行うため、図2に示すクライアント側のフレームレート管理モジュールは実効フ

フレームレート FR_{act} [fps] を定期的に監視する。そして、その値と設定フレームレート FR_{set} [fps] 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。 $Miss_{Cnt}$ の絶対値がある閾値を超えた場合、ストリーム管理制御モジュール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、それに応じて新しいフレームレートを設定する。フレームレート制御により負荷変動に適合した設定フレームレートの値が決まり、実時間性を保証することが可能となる。

負荷変動が生じている CPU がクライアントであるかサーバであるかによって制御もそれに合わせる必要がある。

5.1 クライアント負荷変動時

クライアントで測定した実効フレームレート FR_{act} の平均と統計値を基に設定フレームレート FR_{set} の変更を判断する。もし FR_{act} が FR_{set} を一定値以上下回っている場合、クライアントのデータ変換・同期・再生表示処理能力が低下したと判断し、実効値をサーバに通知する。サーバでは、その実効値から適切な FR_{set} を決定し、設定フレームレートを変更する。十分な FR_{act} が達成されている場合もフレームレート変更と判断し、実効値をサーバに通知する。

5.2 サーバ負荷変動時

新たなクライアントのサービス要求などによりサーバの負荷は変動する。これにより、設定フレームレート FR_{set} でビデオデータ送信が不可能となった場合、サーバは現在の処理能力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、データ変換モジュールで誤差 ΔFR のフレームデータを間引くことによって設定フレームレートを FR_{set} に合わせる。

5.3 圧縮ビデオのフレームレート制御

上述した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。しかし、MPEG ビデオのようにフレーム間予測を用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 から先に間引くことにより可能な限り I-Picture, P-Picture 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 枚のフレームから構成されているとし、この中から x フレーム間引く

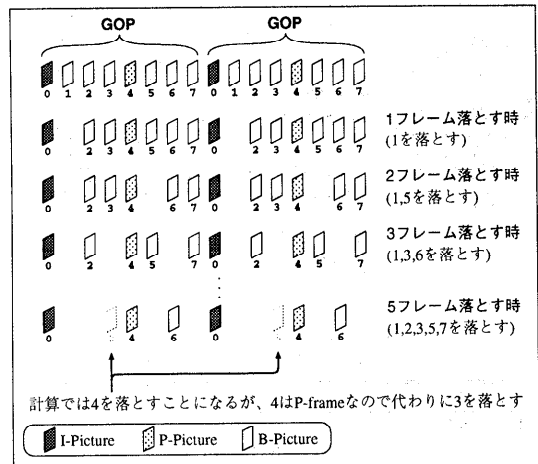


図5 MPEGビデオフレームの間引き方

Fig. 5 Method of subsampling MPEG video frame.

必要があると仮定すると、ある GoP に対して、次の式から算出される数のフレームを間引く。

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

たとえば、図5のように $N = 8$, $x = 3$ の場合、

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

すなわち、GoP の先頭から 1, 3, 6 番目の B-Picture 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 の代わりにその前後の B-Picture を間引くという優先順位をつける必要がある。その例を図5に示す。これらの間引き方式は、あらかじめ表として準備しておくことにより、容易に利用することが可能となる。

6. プロトタイプおよび性能評価

本論文で提案する可変ビットレート転送方法、パケット間隔制御およびフレームレート制御機能の有効性を評価するため、図2で示した機能モジュールに基づき、各制御方法を導入したパケットオーディオ・ビデオシステム (PAVS) のプロトタイプを図6に示す環境において構築した。

ネットワークとして転送速度 100 [Mbps] の非同期サービスをサポートする FDDI と 10 [Mbps] の Ethernet の異なるネットワーク環境を用い、転送プロトコルとしては UDP/IP を利用した。メディアコーデックシステムは、ワークステーション上に C 言語により実装した。各機能モジュールごとに 1 個のプロ

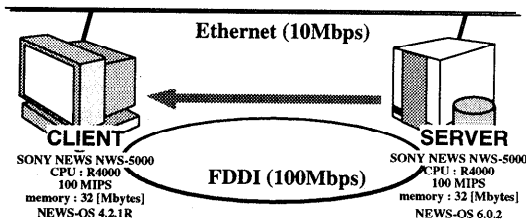


図6 プロトタイプ

Fig. 6 Prototype of packet audio/video system.

表1 システムパラメータ

Table 1 System parameters of evaluation.

| Extra Load | Client | Network |
|---------------------|----------------------|-------------------------|
| Physical Networks | FDDI (100 [Mbps]) | Ethernet (10 [Mbps]) |
| Packet Length | 4 K [byte] | 1 K [byte] |
| Ave. Video Bit Rate | 5.0 [Mbps] | 1.5 [Mbps] |

表2 使用ビデオデータのパラメータ

Table 2 Video parameters of source video data.

| Compression Format | MPEG-1 |
|---------------------------|----------|
| Pixel Resolution [pixels] | 640×480 |
| Color Depth [bits] | 24 |
| Frame Rate [fps] | 30 |
| Number of Frames in GoP | $N = 15$ |
| I, P Frames Cycle | $M = 5$ |

セスを割り当て、プロセス間のデータの受け渡しには共有メモリを使用した。また、データ変換層におけるビデオ伸張には、UCBで開発されたソフトウェア版の“MPEG-play”を利用した⁷⁾(表1, 2参照)。

ネットワークには、ネットワークスループットが十分に確保できる環境でクライアント負荷変動時の評価を行うためにFDDIを利用し、逆に、クライアントとサーバの処理能力が確保できる環境でネットワーク負荷変動時の評価を行うためにEthernetを利用した。

評価項目としては、

- (1) パケット間隔とパケット紛失率の関係
- (2) GoP一括転送方式とフレーム転送方式との性能比較
- (3) 外部負荷変動に対するパケット紛失およびフレームレートの性能評価(フレーム転送方式)を行った。また、負荷変動下での評価を行うために、クライアント負荷としてはMPEGビデオのソフトウェア伸張プロセスを使用し、ネットワーク負荷としては、TCPによるファイル転送を使用した。

6.1 パケット間隔とパケット紛失率

パケット間隔制御を行うためには、パケット紛失率とパケット間隔の関係式をあらかじめ知っておく必要

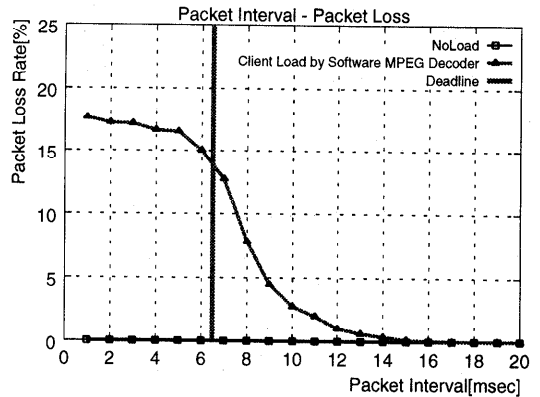


図7 パケット間隔とパケット紛失率の関係

Fig. 7 Relation between packet interval and packet loss rate.

がある。そこで、まずクライアントにおける異なる負荷に対してパケット紛失率とパケット間隔を実際に測定した。図7はその測定結果である。

図7上においてプロットされている点は、無負荷状態とソフトウェア伸張処理プロセスを負荷としてクライアントに与えたときの各パケット間隔に対するパケット紛失率の実測値である。この図から有負荷時においてパケット間隔が小さくなるにつれてパケット紛失率がほぼ直線的に上昇し、パケット間隔が大きくなるにつれてパケット紛失率は0[%]に近づくことが確認できる。

また、パケット間隔が約6.5[msec]を境に、グラフの傾きが変化していることが分かる。このラインは連続メディアの時間的制約を維持することが可能な最大のパケット間隔を表しており、これを限界パケット間隔 *deadline* と定義する。

この特性を考慮し、図7の曲線を以下の式で近似した。

$$y = \begin{cases} -0.37 \times x + 18.03 & (\text{PI} < \text{deadline}) \\ -3.55 \times x + 38.86 & (\text{PI} \geq \text{deadline}) \end{cases}$$

この式で現在の実効パケット紛失率とパケット間隔によって示される座標を通るように平行移動させることにより、次に設定すべき大まかなパケット間隔を再設定することができる。

6.2 GoP一括転送とフレーム転送との比較

図8は、GoP一括転送方式において、クライアントに対しソフトウェアのMPEG伸張プロセスを外部負荷として与えたときのパケット紛失率およびフレームレートの時間的変化を示している。パケット間隔は8[msec]固定である。図8a)から、パケット紛失はラ

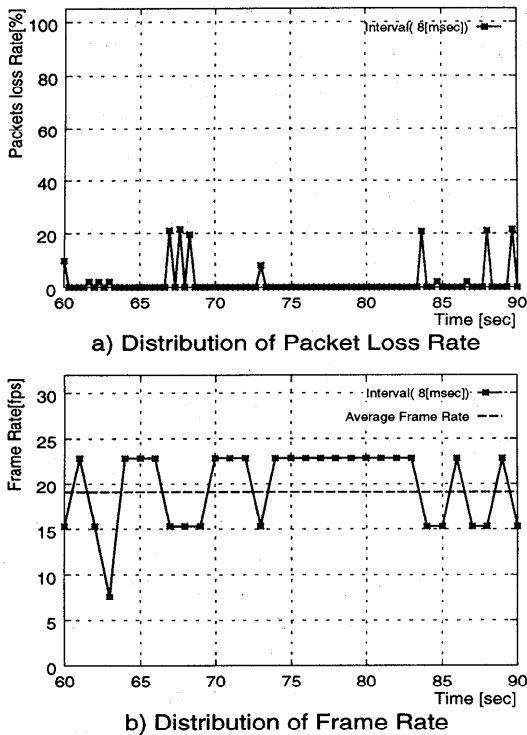


図8 GoP一括転送方式の場合
Fig.8 Evaluation of GoP transmission.

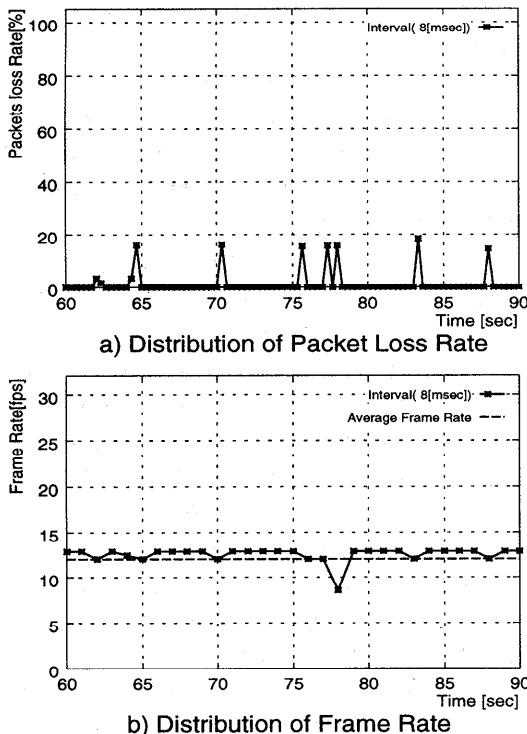


図9 フレーム転送方式の場合
Fig.9 Evaluation of frame transmission.

ンダムに発生し、図8 b)に示すよう実効フレームレートに大きく影響している。これは、GoPを最小単位としているために、パケットの紛失は、そのパケットに含まれるGoP内の複数のフレームに影響するためである。

一方、図9は、フレーム転送方式においてクライアントに外部負荷を与えたときのパケット紛失率およびフレームレートの時間的変化を示している。図8同様、パケット間隔は8[msec]固定である。フレームが個々に独立して転送されるため、GoP一括転送方式と比較して、パケット紛失によるフレームレートへの影響は小さく、フレームレートはほぼ安定している。しかし、サーバ側でフレームごとに識別しパケット転送が行われるためパケット処理量は増加し、かつ、個々のフレームサイズを考慮して転送を行うため、特にI-PictureやP-Pictureに相当する転送時間が大きくなり、平均フレームは13[fps]しか得られないことが分かる。これに対しGoP一括転送方式では、個々のフレームタイプには依存せず、I-PictureおよびP-Pictureにおける間延びも、フレームサイズの小さいB-Pictureの部分で吸収されるので、平均フレームレートが19[fps]まで得られていることが確認できる。

これより、GoP一括転送で得られるスループットは高くなるが、その変動幅は大きく、逆にフレーム転送で得られるスループットは低いが、ほぼ安定したフレームレートを提供できるという結果が得られた。

6.3 外部負荷に対するパケット紛失およびフレームレート制御の性能評価

パケット間隔制御とフレームレート制御の性能を評価するために、クライアント/ネットワークに外部負荷を与えたときのパケット紛失率およびフレームレートの時間的変化を評価した。パケット転送としては、フレーム転送方式を利用した。評価は、各制御機能を使用した場合としない場合とを比較することにより、本論文で提案する方式の有効性の確認を行った。

6.3.1 クライアント外部負荷の場合

図10 a)はクライアント負荷に対してパケット間隔制御を導入しなかった場合の結果を示し、図10 b)は導入した場合の結果を示している。

図10 a)では、負荷変動中パケットの紛失は約15[%]の割合で発生し続けている。これに対し、図10 b)では、セッション開始から30秒後、負荷プロセスを起動した時点で発生した30[%]のパケット紛失に対し、特性曲線より負荷の規模に応じたおおよかなパケット間隔を決定して転送を行い、その後に発生するパケット紛失を抑制することが可能となった。その後、パケッ

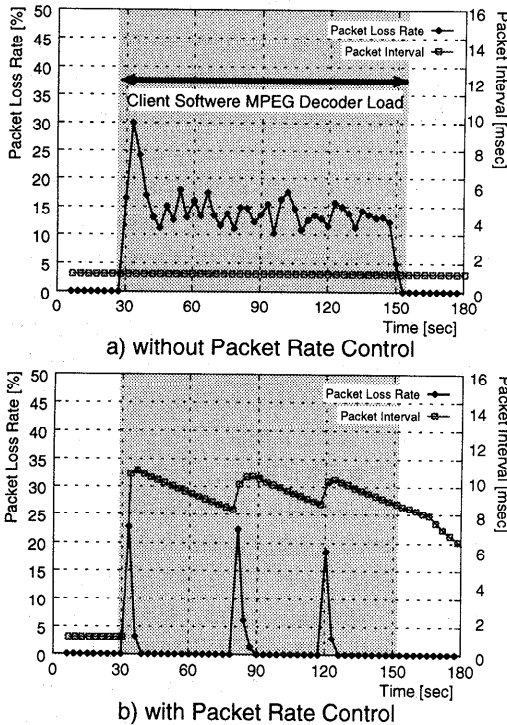


図10 クライアント負荷に対するパケット間隔制御の評価
Fig. 10 Evaluation of packet rate control (on client extra Load).

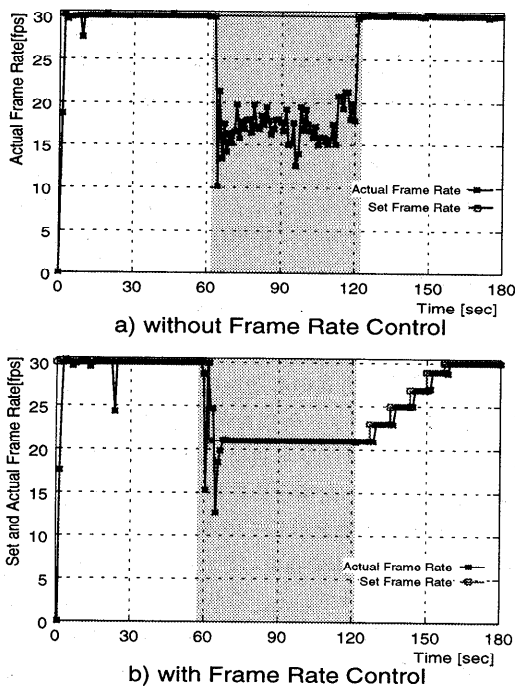


図11 クライアント負荷に対するフレームレート制御の評価
Fig. 11 Evaluation of frame rate control (on client extra Load).

ト間隔が収束しているが、80秒後の地点でパケット間隔が約8[msec]にまで収束したとき、再びパケット紛失が発生していることが確認される。

ここで、負荷変動中にパケット紛失率を許容以下に維持することが現時点においては不可能であるため、今後、計算機のCPU状況やネットワークのトラフィック状況などを監視しながら、不可状況とトレードオフを行い、パケット間隔の負荷変動中における細かい調整が必要となる。

また、図11 a)はクライアント負荷に対してフレームレート制御を導入しなかった場合の結果を示し、図11 b)は導入した場合の結果を示している。

図11 a)では、実効フレームレートが10 [fps]から22 [fps]まで激しく変動している。これに対し、図11 b)では、60秒後に負荷が発生し、実効フレームレートが瞬間的に15 [fps]にまで低下しているが、その後負荷に応じた適切なフレームレートを決定し、21 [fps]で転送を行い、一定したフレームレートで実時間以内に安定した画像表示が可能となった。

また、負荷変動終了後(120秒以降)は、クライアントシステムのCPU利用率を定期的に監視することにより、設定フレームレートの値を少しずつ上昇させ、150秒後付近において実効フレームレートがビデオデータの初期値である30 [fps]にまで上昇したことが確認された。

6.3.2 ネットワーク外部負荷の場合

図12は、Ethernet上でネットワーク負荷としてTCP/IPプロトコルによる平均7.5 [Mbps]の転送プロセスを起動した場合における、パケット間隔制御の性能評価を表している。

図12 a)は、パケット間隔制御を導入しなかった場合の結果であり、明らかに、負荷変動中パケット紛失率が約20 [%]から60 [%]まで激しくランダムに変動しているのが確認できる。これに対し、図12 b)は、パケット間隔制御を導入した場合の結果であり、30秒後に発生した40 [%]のパケット紛失をもとにパケット間隔を12 [msec]付近にまで調整した結果、その後のパケットの紛失を抑えることが可能となった。

最後に、外部負荷が終了したときにパケット間隔の収束率を高めてやることにより、セッション開始から180秒後において、初期パケット間隔である1 [msec]にまで速やかに収束し、最少限のパケット紛失でビデオサービスを維持することができた。また、外部負荷の規模や転送メディア量を変化させて実験を行ったが、いずれも、同様にパケット紛失を抑制することができた。

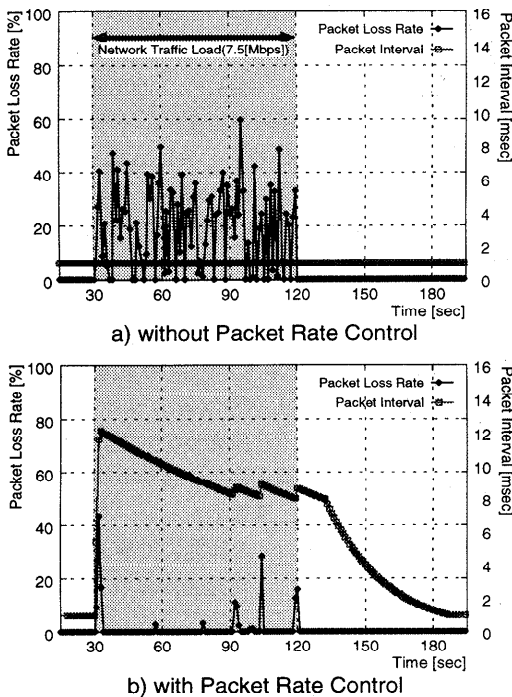


図 12 ネットワーク負荷 (7.5 [Mbps]) に対するパケット間隔制御の評価

Fig. 12 Evaluation of packet rate control (on network extra load).

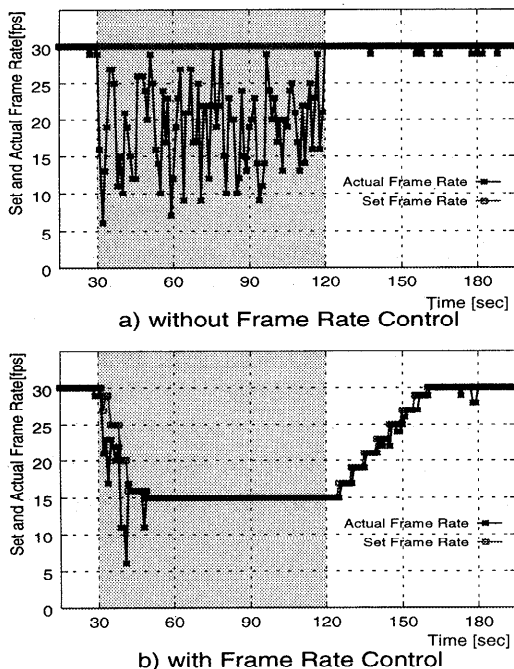


図 13 ネットワーク負荷 (7.5 [Mbps]) に対するフレームレート制御の評価

Fig. 13 Evaluation of frame rate control (on network extra Load).

次に, Ethernetトラフィック変動に対するフレームレート制御の性能評価を図13に示す. 図13 a)は制御を導入しなかった場合, 図13 b)は制御を導入した場合の結果である.

図13 a)では, 明らかに実効フレームレートが6 [fps]から30 [fps]と激しく変動した. これに対して, 図13 b)では, 30秒後に, 実効値と設定値とのトレードオフにより, 適切なレートを16 [fps]に決定している. その後, 負荷変動中は安定したレートでのサービス提供が可能となっている. このとき, サーバ側では同一LAN内でのパケット入出力を監視することでネットワークのトラフィック状況を監視しており, 外部負荷が終了した120秒後以降, ネットワーク上のトラフィック状況とのトレードオフを行いながらフレームレート設定値上昇の判断を行い, 徐々にレートを上昇させることで, サービス開始から160秒付近でソースレートである30 [fps]への復帰が可能となった.

7. ま と め

本論文では圧縮法を用いたビデオデータをネットワーク転送する場合において, 一定フレームレートで利用者に提供する可変ビットレート転送方式として, GoP一括転送方式とフレーム転送方式を提案し, その実装および性能評価を行った. その結果, GoP一括転送では, 高い平均フレームレートを達成することができるが, その変動幅は大きく, 逆にフレーム転送方式では, 平均フレームレートは低い, ほぼ安定したフレームレートを提供できるという結果が得られた. これらの転送方式は, メディアに要求されるQoSによって選択的に利用することが可能であると考えられる. また, 負荷変動に対して動的にパケット間隔を調整することにより, パケット紛失率を抑制し, かつ, クライアント側での実効フレームレートをサーバ側にフィードバックし, 送信フレームを間引いてフレームレートを調整することにより, ビデオサービスの実時間性を保証するパケット紛失制御とフレームレート制御方法を提案し, 実装および性能評価も行った. その結果, 本制御機能方式により, 急激なクライアント負荷の増加に対し, パケット紛失を迅速に抑制して不本意な紛失を削減し, またフレームレートの低下を最小限に抑え, かつ安定したなめらかな表示が可能となった. また, ネットワーク負荷変動に対しても, 多少フレームレートの変動はあるが, 同様にパケット紛失を抑え, かつ安定したレートでの提供が可能となり, 本制御機能方式の有効性が確認できた. 現在, 本システムは, IP マルチキャスト機能と組み合わせて本学工

学部の遠隔マルチメディア講義支援システムの一機能として利用されている⁹⁾。

今後の課題としては、(1) サーバの負荷変動における性能評価、(2) ビデオとオーディオとの同期を考慮したフレームレート制御、(3) パケット回復制御を導入したビデオシステムの構築と評価、そして、(4) 広域ネットワーク環境におけるマルチキャスト転送方式の開発などを行う予定である。

参考文献

- 1) Hashimoto, K., Katsumoto, M., Watanabe, M. and Shibata, Y.: End-to-End QoS Architecture for Continuous Media Services, *Proc. ICOIN-10*, pp.578-583 (1996).
- 2) Shibata, Y., Seta, N. and Shimizu, S.: Media Synchronization Protocols for Packet Audio/Video System on Multimedia Information Networks, *Proc. HICSS-28*, pp.594-601 (1995).
- 3) 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, 情報処理学会研究報告, DPS-67-7, pp.37-42 (1994).
- 4) Sato, J., Hashimoto, K. and Shibata, Y.: Dynamic Rate Control for Continuous Media Transmission, *IPSJ SIG-Notes*, DPS-85, Vol.97, pp.85-90 (1997).
- 5) 渡辺光輝, 知念 正, 橋本浩二, 柴田義孝: 連続メディア転送のための動的レート制御法の性能評価, 情報処理学会研究報告, DPS-75, Vol.96, pp.43-48 (1996).
- 6) 知念 正, 柴田義孝: パケット紛失を考慮した連続メディア転送プロトコルの研究, 情報処理学会ワークショップ論文集, Vol.96, No.1, pp.67-72 (1996).
- 7) Gall, D.L.: MPEG: A Video Compression Standard for Multimedia Applications, *Comm. ACM*, Vol.34, No.4, pp.46-58 (1991).
- 8) Stevens, W.: TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms, RFC 2001 (Jan. 1997).
- 9) 高坂幸春, 野村尚央, 柴田義孝: やわらかいマルチメディア遠隔講義支援システム的设计および評価, 情報処理学会研究報告, DPS-82, Vol.97, No.35, pp.81-86 (1997).
- 10) Campbell, A., Coulson, G. and Hutchison, D.: A QUALITY OF SERVICE ARCHITECTURE, *ACM Sigcomm Computer Communication Review*, Vol.24, No.2, pp.1-27 (1994).

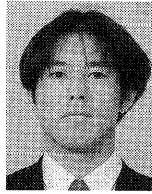
(平成9年5月19日受付)

(平成9年12月1日採録)



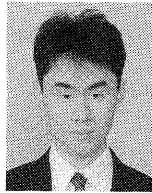
橋本 浩二 (正会員)

1970年生。1994年東洋大学工学部情報工学科卒業。1996年同大学院工学研究科電気工学科専攻博士前期課程修了。現在、(株)CSK 総合研究所所属、東洋大学工学部研究生。エンド間 QoS を考慮した連続メディア転送処理の研究に従事。



知念 正 (正会員)

1972年生。1995年東洋大学工学部情報工学科卒業。1997年同大学院工学研究科電気工学科専攻博士前期課程修了。在学中は、マルチメディア情報ネットワークにおける連続メディア転送プロトコルの研究に従事。現在、日本ビクター(株)に勤務し、高速光無線LANシステムに従事。



佐藤 純 (学生会員)

1974年生。1997年東洋大学工学部情報工学科卒業。現在、同大学院工学研究科電気工学専攻博士前期課程在学中。次世代のマルチメディア情報ネットワークにおける連続メディア転送プロトコルの研究に従事。



柴田 義孝 (正会員)

1950年生。1985年UCLA コンピュータサイエンス学科修了。Ph.D. in Computer Science. 1985~1988年Bellcore(旧AT & Tベル研究所)にて専任研究員としてマルチメディア情報ネットワークの研究に従事。1989年より東洋大学工学部情報工学科助教授。1997年同大学教授。以来、高速パケットビデオ、マルチメディアプロトコル、ハイパーメディアシステム、感性情報処理等の研究に従事。IEEE, ACM, 電子情報通信学会各会員。