

## 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

赤間孝司 渡辺光輝 橋本浩二 柴田義孝

東洋大学 工学部 情報工学科

{akama,nabe,hashi,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なう従来のパケットオーディオ・ビデオシステムに柔軟なレート制御機構を取り入れるために、動的なパケットの送信レート制御機構の設計、開発を行なった。動的な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。ここでは動的なパケットレート制御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FDDI上に構築し、その評価を行なった。

## Dynamic Packet Rate Control for Packet Audio · Video Systems

Takashi Akama, Mitsuteru Watanabe, Koji Hashimoto, Yoshitaka Shibata

Department of Information and Computer Sciences  
Toyo University

{akama,nabe,hashi,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 by frame and packet rate controls. In this system, dynamic packet rate control mechanism is introduced to keep user's required video quality, even if CPU loads of the client and server stations and network traffic load are randomly changed. This paper describes implementation and evaluation of the prototype of PAVS with dynamic packet rate control mechanism over 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ネットワークの高速性・メディアデータの特性及び圧縮性も考慮して、効率的に同期("Lip Sync.")をとりながら、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、Quality of Services(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、ネットワーク上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、各メディアデータ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、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劣化させてしまう可能性が高い。

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送信レートを動的に制御する機構が必要になってくる。本研究では、クライアント側においてパケット・ロス率を常に監視し、サーバ側ではそのロス率に応じてパケットの送信レートを動的に制御する機構を導入した。そして実際に FDDI ネットワーク上にプロトタイプを構築し、その評価を行なった。

## 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 Packet Audio・Video System(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時間的同期処理を

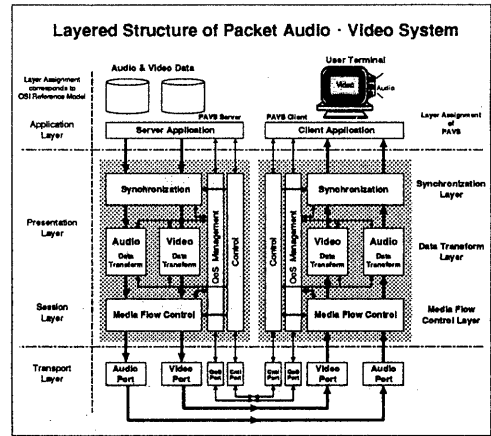


図 1: PAVS の階層構造

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、無音検出などを行ない、さらにパケット・ロス発生時にはその修復処理を行なう。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 Data Transform 層で伸張される。

**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。

## 3 FDDI ネットワーク

本システムにおけるサーバ・クライアント間の通信媒体には、高速ネットワークの一つである FDDI を用いた。FDDI は、ANSI/ISO で標準化された 100Mbps の転送速度を有し、信頼性の高いネットワークであり、同期と非同期モードの 2 種類のサービスを提供する [6]。同期モードサービスは、オーディオやビデオなどの連続的なメディアの転送のためにスループットや許容遅延の割り当てが必要な場合に帯域を保証するサービスで、ネットワーク上の各ステーションに 100Mbps の帯域の一部ずつが割り当てられる。また、非同期モードサービスは高帯域を必要とするバーストデータ転送などに用い

られ、同期モードサービスによって利用される以外の帯域を用いて行なわれる。このようなことから、一般に、オーディオやビデオを扱う場合には同期サービスを用いると言われているが、MPEG[7, 8]などにより圧縮されている場合には帯域の割り当てが効率良く行なえないという点と、通常、このモードはオプションであり、必ずしも全てのインターフェイスでサポートされているとは限らないという点から、本研究では非同期サービスのみを用いた。

## 4 レート制御

ビデオデータの再生表示は、ばらつきがなく(一定のフレームレートで)、ユーザの希望する画質(ビデオフレーム自体の品質)を保ちながら提供する必要がある。しかしながら、クライアントやサーバの負荷変動及びネットワーク上のトラフィックの変動によりフレームレートが変化してしまう。そのため、本システムでは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とパケットの送信レートを動的に制御するパケットレート制御を同時に行なうことでこれらを可能とする。

### 4.1 フレームレート制御

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りフレームレート制御を行ない、論理レートと実際のレートを合わせなければならない。End-to-End で十分なスループットが得られない要因として、

- (1) クライアントのデータ変換・同期・再生表示処理能力小さく十分なフレームレートが得られない場合
- (2) クライアントの負荷変動により、受信処理が間に合わずにパケット・ロスが発生したためにパケット間隔を広げた結果、ネットワーク転送で十分なスループットが得られない場合

の2つが考えられる。

本システムではこれらに対応するために以下のようにしてフレームレート制御を実現する。

- (1) の場合： 図2に示すようにクライアントのレートコントローラがビデオデータの再生状態( $R_{act}$ [frames/sec])を定期的に監視して、その値と設定レートである  $R_{set}$ [frames/sec] を比較し、も

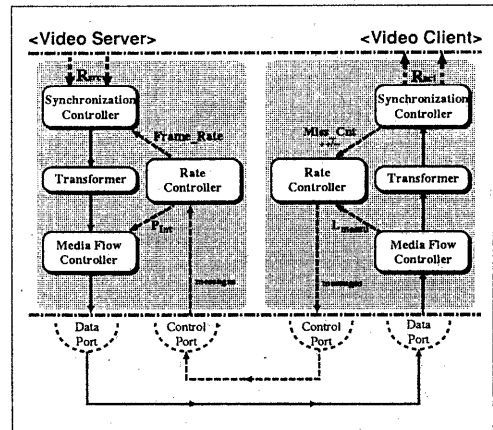


図2: フレームレート制御フロー

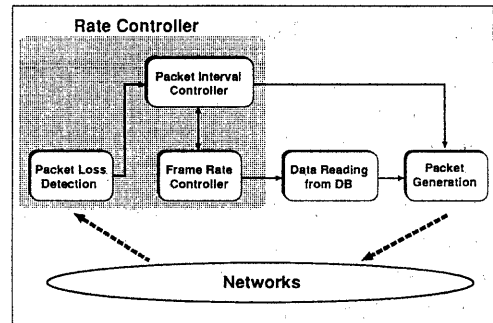


図3: パケットレートに基づくフレームレート制御

し  $R_{act}$  が  $R_{set}$  よりも小さいならば、Miss.Cnt を減少させ、そうでないならば増加する。そして、Miss.Cnt の絶対値がある閾値を超えた時にサーバにレート制御メッセージを送信し、そのメッセージに基づいてサーバ側でフレームデータを間引くかあるいは補完することにより、クライアントから要求されたフレームレートに制御する [2]。

(2) の場合： ある時間間隔 ( $T_{detect}$ ) においてクライアントの Media Flow Controller で検出されたパケット・ロス率は、図2に示すように Rate Controller を介してレート制御メッセージとしてサーバへ通知される。サーバの Rate Controller は、このメッセージに基づいてパケット間隔を再設定し、その設定値から得られるスループットを算出してフレームレートを決定する(図3)。そして、このフレームレートに合うようにサーバ側でフレームデー

タを間引くかあるいは補完することにより、クライアントが処理可能なフレームレートに相当するパケット転送を行なう。

## 4.2 パケットレート制御

サーバ・クライアント間で効率的なデータ転送を実現するためには、ネットワークやクライアントの負荷変動に応じてパケットの送信レートを動的に制御する必要がある。本システムでは、クライアントで検出された  $T_{detect}$  間のパケット・ロス率 ( $L_{measu}$ ) が許容パケット・ロス率 ( $L_{adm}$ ) を超えた時には  $L_{adm}$  以下に抑え、かつその状態を保ちながらパケットレートを徐々にアップさせていくことにより提供可能なスループットの向上及び同期スケジュールに余裕を持たせるという目的でパケットレート制御を行なう。

### 4.2.1 セッション開始時

セッション開始時は、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 ( $P_{Int}$ ) を知ることはできない。そこで、ハイスループットが要求される無圧縮データ使用時には、初めに設定されたフレームレートを提供することが可能な最大許容間隔 ( $P_{MaxInt}$ ) に設定し、MPEG Video などの比較的数据量の少ない圧縮ビデオ使用時には、あらかじめ無負荷時に於いて求められた測定値 ( $t_{measu}$ ) に設定する。

### 4.2.2 セッション期間中

ある  $P_{Int}$  において、 $L_{measu}$  が  $L_{adm}$  を大きく超えた時には、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  $L_{adm}$  以下になるように  $P_{Int}$  を算出し、設定する。また、 $L_{measu}$  が  $L_{adm}$  の近傍においては  $P_{Int}$  の設定値が徐々に収束してゆくような式を用いて設定する。

このように、本システムでは  $P_{Int}$  を大まかに調整するための式と微調整するための式の2つを用いることにより、安定したパケットレート制御を実現する。

## 5 転送方式

本システムでは、フレーム毎のデータサイズが異なる MPEG Video といった圧縮ビデオでも一定のフレームレートで表示するために図4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。一つの Group of Pictures (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  $N_P$  とした場合、ソースビデオのフレームレートが  $24[\text{frames/sec}]$ 、GOP の持つフレーム数 ( $N$ ) が 8、パケットサイズが  $4096[\text{byte}]$  とした場合、データサイズが  $64000[\text{byte}]$  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、 $1/3[\text{sec}]$  の間に 16 個のパケットを送信することになる。

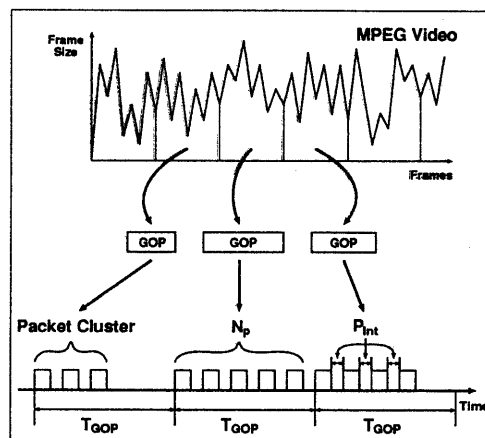


図4: 可変レート転送

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 [3, 5]。

## 6 プロトタイプ及び性能評価

動的なパケット間隔制御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図5のように測定の対象となるサーバ及びクライアントのほかに、ネットワーク負荷用として2つのサーバと1つのクライアントにより構築した。ネットワークには転送速度  $100[\text{Mbps}]$  の非同期サービスのみをサポートする FDDI を使い、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、まず負荷状況が異なるクライアントにおけるパケット・ロス率とパケット間隔について行ない、そこで得られたパケット・ロス率とパケット間隔の関係式を用いてクライアントの負荷変動に基づ

くパケット間隔の動的な制御について行なった。そして最後に実効スループットに対するネットワークの負荷影響についてパケットレベルで行なった。

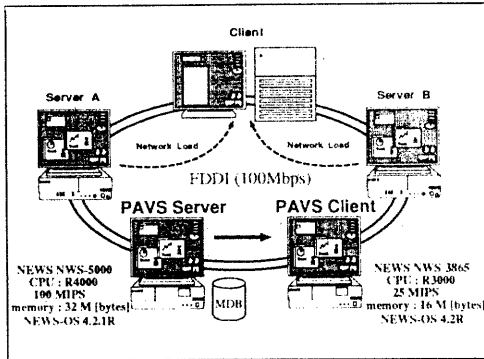


図 5: プロトタイプ

## 6.1 パケット・ロス率とパケット間隔の関係式

まず、パケット・ロスが許容ロス率よりも大きく越えてしまった際にパケット間隔の大まかな調整を行なうためのロス率とパケット間隔の関係式を得るために、クライアントの負荷状況が異なった時のパケット・ロス率とパケット間隔について測定した(図6)。図中で、プロットされている点は3通りの負荷状況における各パケット間隔に対するパケット・ロス率の実測値であり、各曲線はその近似曲線である。この図からどの負荷状況においてもロス率が0%に近づくのが緩慢になり、負荷が大きくなるほどその傾向が強くなっていることがわかる。そこで、本システムでは実際にPAVSを動作させた時の負荷に近い一番左の負荷状況でのロス率とパケット間隔の近似式を関係式とし(ロス率 =  $50e^{-0.425 \times \text{パケット間隔}} - 5.57 \times 10^{-2}$ )、この式を現在のロス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パケット間隔を再設定する。そしてこの設定値( $P_{Int}(i)$ )によってロス率( $L_{measu}(i)$ )が許容ロス率の近傍になった時には、再設定すべき  $P_{Int}(i+1)$  は  $P_{Int}(i) \times (1 + (k \times (L_{measu}(i) - L_{adm})))$  ( $k$  は設定回数が増えるにつれて指数関数的に減少してゆくパラメータでパケット間隔の大まかな調整を行なった時にリセットされる)で求めることができる。

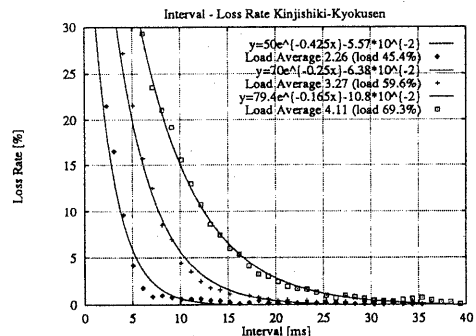


図 6: 負荷状況が異なるクライアントにおけるパケット・ロス率とパケット間隔

## 6.2 動的なパケット間隔制御

クライアントの負荷変動により生じるパケット・ロス、許容ロス率以下に抑える動的なパケット間隔制御機構を性能評価するために、ある負荷状況において許容ロス率(今回は1%)以下でビデオ転送サービスを行なっている最中に、新たにクライアントに負荷が加わった時のパケット・ロス率とパケット間隔を測定した(図7)。この図から、負荷の増加によって生じたパケット・ロス(5%)を次のロス検出時には0.7%以下に抑えることができ、その負荷状況において許容ロス率以下に抑えることができるパケット間隔を維持し、負荷軽減時にはもとのパケット間隔へ徐々に収束していくことがわかる。また、ビデオ転送サービスをほぼ許容ロス率以下で行なえたことも確認できる。

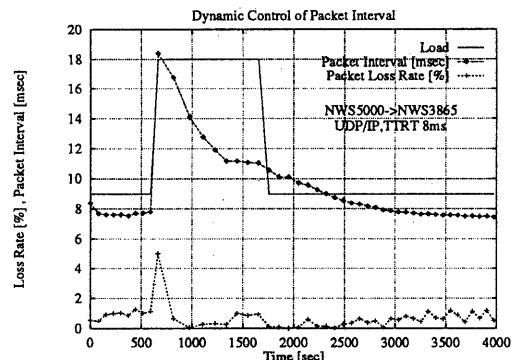


図 7: クライアント負荷変動時におけるパケット間隔とパケット・ロス率

### 6.3 FDDI における負荷影響

次に、FDDI の非同期サービスを用いて PAVS サーバと PAVS クライアントの通信時に、同一ネットワーク上に存在するサーバ A・サーバ B によって発生されるトラフィック ( $T_{load}$ ) による影響を調べた (図 8)。このようなプロトタイプにおいては、最大で約 28 Mbps のスループットが得られるため、それに近い 27.7 Mbps のスループットを必要とする  $320 \times 240$  [pixels/frame]、 $30$  [frames/sec] の YUV フォーマット ( $12$  [bits/pixel] に相当する) データの転送を行なった。その結果、 $T_{load}$  が 26 Mbps までは 27.7 Mbps 提供できるが、それよりも大きく 34 Mbps までの場合は約 24 Mbps ( $26$  [frames/sec] に相当する) にスループットが低下した。しかし、この結果からネットワークのトータル利用率が 50% の状態でもネットワークの負荷影響をほとんど受けないということから、非同期サービスを用いてもパケット送信時にうまくレート制御を働かせることによりオーディオ・ビデオの提供は可能であると考えられる。

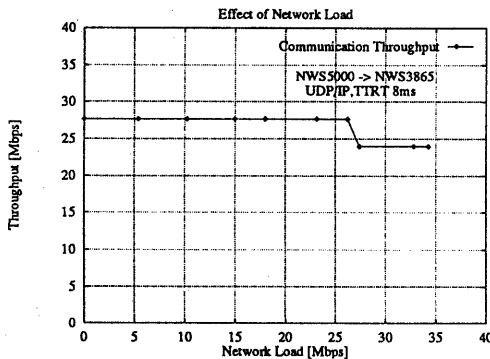


図 8: ネットワーク負荷変動時における実効スループットへの影響

## 7 まとめ

従来のパケットオーディオ・ビデオシステムにおいて柔軟なレート制御を実現するために動的なパケットの送信レート制御機構の設計及び開発を行なった。FDDI ネットワーク上に構築したプロトタイプでは、負荷変動により生じるパケット・ロスを許容ロス率以下に抑えながら、その負荷状況に応じたビデオ転送サービスを行なうことができた。今後の課題としては、パケット・ロスによる画質の劣化

をリカバーする機構の設計・実装が挙げられる。

## 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] 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] 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
- [4] 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
- [5] 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
- [6] R. Jain, "Performance Analysis of FDDI Token Ring Networks: Effect of Parameters and Guidelines for Setting TTRT," *Proceedings of ACM SIGCOMM'90*, pp.264-275, Sept.1990.
- [7] D. L. Gall, "MPEG: A Video Compression Standard for Multimedia Applications," *Communications of the ACM*, vol. 34, no.4, pp. 46-58, Apr.1991.
- [8] T. Urabe et al, "MPEGTool: An X Window Based MPEG Encoder and Statistics Tool," *Proceedings of ACM Multimedia 93*, pp. 259-265, Aug.1991.