

## 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

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

{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、VOD(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、ビデオ等の連続メディアデータを、互いに同期を取りながら効率的に転送する必要がある。また、転送効率を上げるために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、単位時間当たりの転送レートを変化させることや、動的な負荷変動に対する圧縮データ特有の画質への影響を考慮することなどが必要になる。そこで本研究では、大量のビデオデータを扱うための動画圧縮として MPEG を使用した場合に、ユーザに提供するメディアの品質を一定に保つため、サーバ、クライアントおよびネットワークにおいて可能なメディアデータ処理量に合わせたフレーム数を提供するフレームレート制御のそれぞれを実現する機構を設計し、その性能評価を行った。

## Evaluation of the Method of Dynamic Rate Control for Continuous Media Transmission

Mituteru Watanabe, Tadashi Chinen, Koji Hashimoto, Yoshitaka Shibata

Department of Information and Computer Sciences, Toyo University

{nabe, chinen, hashi, shibata}@sb.cs.toyo.ac.jp

In order to realize an application like VOD(Video-on-Demand), it is necessary to transmit continuous media which takes account of each media characteristics and provides flexible synchronization mechanism. As amount of the compressed continuous media data to transmit efficiently differ in each time, it is necessary to change the transmission rate and to consider of effect for compressed video quality.

In our system, a dynamic frame rate control mechanism for compressed video by MPEG is introduced to provide the video frames which is kept a quality desired by user in client-server system over the high-speed network. This paper describes implementation and evaluation of the prototype of the dynamic frame rate control mechanism.

### 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 [3]。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 のような圧縮技術が有効であるが、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 [2]。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などが必要となる。

本研究では、高速ネットワーク環境として信頼性の高いネットワークの一つである FDDI ネットワークを採用した。また、転送プロトコルには信頼性のある TCP を使用することも可能であるが、より高いスループットを利用すること、上位層でフロー制御を実現すること、ビデオのようなメディアに対しては必ずしも完全にパケットロスを抑える必要がないことなどから、本研究では UDP を用いることとした。その上で連続メディアをユーザの要求する QoS に基づいて効率良く提供するシステムにおいて、サービスの提供期間中に生じるマシンやネットワークの負荷変動に対して動的に対応するためのレート制御機構を実現した。

ここでは、この機構によりユーザの要求するフレームレートを実現するために十分に動的なレート制御が行われていることを検証するための性能評価を行ったので報告する。

## 2. システムアーキテクチャ

本研究では連続メディア転送サービスにおける動的レート制御機構を実現するにあたって、図 1 に示すシステムアーキテクチャを構成した。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 [3]。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、メディアコーデネイトシステムと呼ぶ。

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

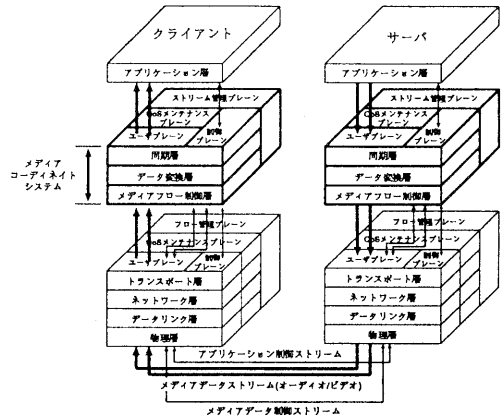


図 1: システムアーキテクチャ

ン及びネットワークの負荷状況を QoS メンテナンスプレーンにおいて監視し、ストリーム管理プレーンにおいてサーバクライアント間の QoS 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の制御プレーンで行われる [3]。

**同期層:** 3 章で述べるように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同期処理を行う。

**データ変換層:** 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、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:** 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 [1]。Relaxed Synchronization 法は、フレームの合計時間が一致した時点で同期をとる方式である (図 2)。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  $N_V$  [frames/sec]、

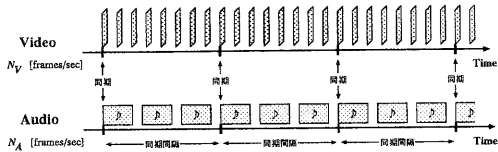


図 2: Relaxed Synchronization

$N_A$ [frames/sec] のビデオ及びオーディオデータである時、 $N_V, N_A$  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  $N_V, N_A$  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、クライアント及びサーバの処理能力に応じて柔軟にフレームレートを変えることが可能となる。

#### 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、ユーザの希望する品質、すなわちビデオフレーム自体の画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。そこで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、およ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 メディアフロー制御

VOD のように連続メディア転送を必要とするサービスにおいて、圧縮ビデオを考慮し、かつユーザの要求する QoS を保証するためには、

1. 時間と共にデータ量の変化する圧縮ビデオを、一定のフレームレートとなるように転送する
2. クライアントがパケットを取りこぼす(パケットロスが生じる) ことがないように、十分な間隔を開けてパケットを転送する

ことを考慮して実現する必要がある。

1. については、データ量の異なるフレームをそれぞれ一定の時間に送る可変レート転送を用いて実現する。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 3 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 3 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。

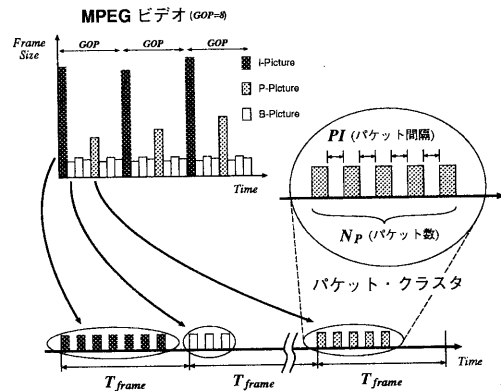
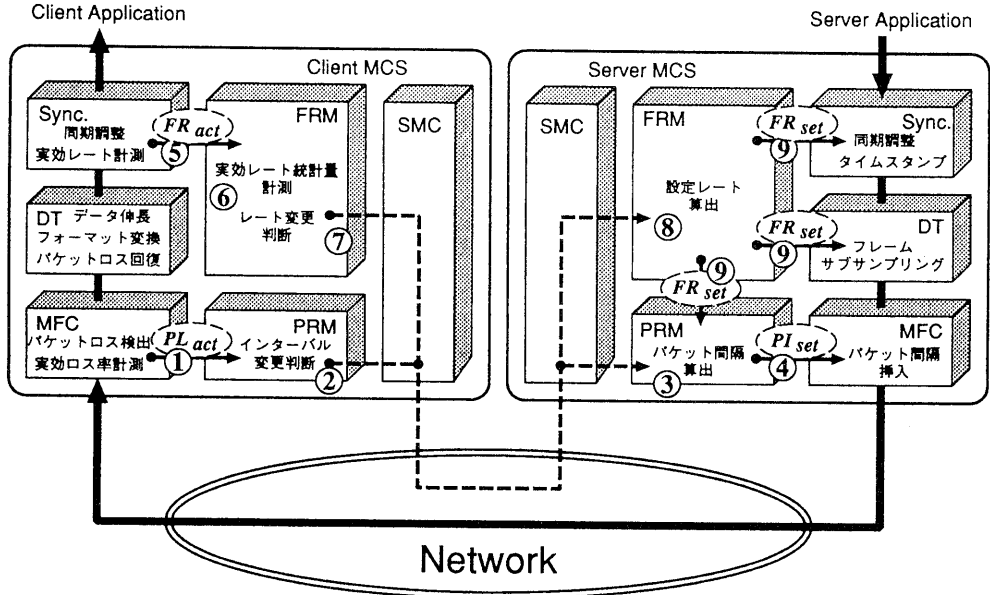


図 3: 可変レート転送

可変レートで転送されるメディアデータのパケットロスを制御する処理の流れは図 4 において次のようになる。

- ① 実効パケットロス率を測定する
- ② パケットロス率が一定値を越えている場合、もしくはパケットロス率が十分に小さい場合は、パケット間隔変更の必要性を判断し、サーバに通知する
- ③ あらかじめ評価しておいたパケットロスの性質と比較し、適切なパケット間隔を決定する
- ④ 設定パケット間隔を変更する

クライアントの過負荷によるパケットのオーバーランによってパケットロスが生じる場合は、パケッ



Sync.: 同期調整モジュール  
 DT: データ変換モジュール  
 MFC: メディアフロー制御モジュール  
 FRM: フレームレート管理モジュール  
 PRM: パケットレート管理モジュール  
 SMC: ストリーム管理制御モジュール

図 4: モジュール構成とレート制御の流れ

トロスを回避するためにパケット転送間隔を変化させてロス率を減少させる制御を行う。パケットロスをユーザが要求する品質のビデオを提供するために十分な許容ロス率以下に抑制するためにはパケット間隔  $PI$  の調整が必要となる。これまでの研究 [2] において、連続転送されるパケットのクライアントのマシン負荷に対するロス率は、図 5 のように、その負荷状態に対してパケット間隔が一定以上に小さいとパケットロスを発生するようになることが分かっている。そこで図 4 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 1 フレームに相当する時間 (デッドライン) 内にフレームデータのすべてがクライアントに到着しないことになるが、この場合はフレームレート制御による転送パケット数の低下のフィードバックを待ち、それまでは現状を維持する。

#### 4.2 フレームレート制御

メディアフロー制御の影響やマシンの処理能力に合わせた、実際のフレーム処理量を調節するフレームレート制御を行う。具体的な処理の流れは図 4 において次のようになる。

- ⑤ 実効フレームレートを計算する (クライアント側同期調整モジュール)
- ⑥ 実効フレームレートの統計値が設定フレームレートに一定以上下回っている場合、もしくは十分なフレームレートが達成されている場合は、フレームレート変更の必要性を判断する
- ⑦ 必要に応じて実効値および統計値をサーバに通知する

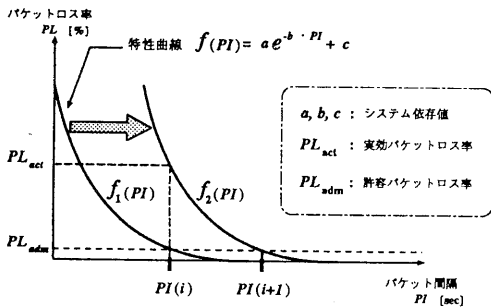


図 5: パケット間隔とパケットロス率の特性曲線

- ⑧ 実効値および統計値から適切なフレームレートを決定する
- ⑨ 各モジュールに通知し、設定フレームレートを変更する

マシンおよびネットワークの現在の処理能力に合わせてフレームレートを制御するためには、実効フレームレート（以下実効値）および実効値から求められる統計値などをフィードバックすることによって適切な値を算出する [2]。本システムでは、フィードバックに必要な情報として次の 4 つのパラメータを用いる。

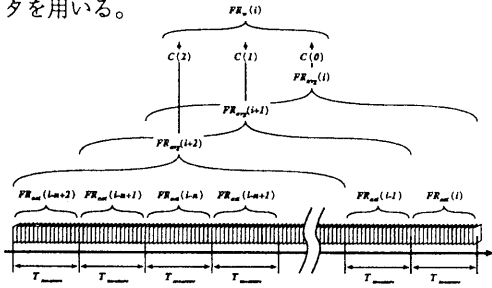


図 6: 実効値および統計値の測定

平均値  $FR_{avg}$ : 定期的に監視している過去の実効フレームレート  $FR_{act}$  を平均化することにより一時的な負荷変動による影響を抑え、設定値  $FR_{set}$  の調整を一定化させるために用いる。統計をとる幅  $n$  を適切に設定することによって、フィードバックによる影響を決定する。例えば、 $n$  の値を大きく取れば一時的な実効値の変動の影響がより小さくなるが、その時点でのスループットが反映されにくくなる。反対に小さくとれば、その時点でのスループットを反映し易くなるが、一時的な実効値の変動の影響を受け易くなる。

$$FR_{avg}(i) = \left( \sum_{j=i-n}^{i-1} FR_{act}(j) \right) / n$$

重み付け平均値  $FR_w$ : 統計値においては、時間的に新しい情報をより重要に扱う必要がある。したがって、過去の平均値  $FR_{avg}(i)$  に対して現在の時間に近い平均値ほど影響を持つように、重み付けをする。平均値  $FR_{avg}$  の場合と同様に、統計をとる幅  $m$  を適切に設定すること、および重み  $C(k)$  を適切に設定することによって、フィードバックによる影響を決定する。

$$FR_w(i) = \sum_{j=i-m+1}^i C(-(j-i)) \times FR_{avg}(j)$$

$$\text{ただし } \sum_{k=0}^{m-1} C(k) = 1$$

設定値からの誤差  $FR_{dev}$ : 実効値、平均値はその時点におけるスループットの目安になるが、マシンやネットワークが安定しない状態においては、実効値が設定値付近で振動する可能性がある。このような場合は、実効値や一時的な負荷変動の影響を抑えている平均値を参照しているだけではマシンやネットワークが安定しているかどうかを判断することが難しくなる。そこで、設定値からの誤差の統計を取ることによって、実効値の振動が生じているかどうかの判断を行う。

$$FR_{dev}(i) = \sum_{j=i-n}^{i-1} |FR_{set} - FR_{act}(j)|$$

負荷平均値  $L_{avg}$ : スループットの低下に伴って設定値を減少させる場合は実効値や平均値から現在のスループットを推測することは比較的容易であるが、設定値を上昇させる場合には、安定している状態でも上昇可能かどうかを実効値および平均値のみから判断すると、スループットを越えるフレームレートを設定する場合も考えられ、設定値が振動する可能性がある。このような場合は過去と現在の負荷平均値について比較し、減少している場合に限って設定値を上昇させることにより設定値の振動を抑えることが可能となる。

## 5. 性能評価

図 7 の環境で構築したユーザの要求に基づく QoS を保証する連続メディア転送サービスのアプリケーションにおいて、4.2 節で述べたフレームレート制御の性能評価を行った。負荷変動の要因（以下外部負荷）としては、サービス期間中にクライアントにおいて MPEG 伸張及びサーバクライアント間でファイル転送を行い、制御における各値の変化について測定した。ここでの評価に使用したビデオデータ及び測定条件は表 1 の通りである。

図 8 は、クライアントにおいてサービス期間中に転送データと同等の MPEG データを伸張した時の、実効フレームレート、平均値、重み付け平均値及び設定値の変化を示している。本測定では、セッション開始から約 45 [sec] 経過した時点で外部負荷としての MPEG 伸張を開始し、130 [sec] 経過した時点で終了している。同図において、外部負

表 1: ビデオデータ及び測定条件

圧縮フォーマット	MPEG-1
画像サイズ	160 × 128 [pixel]
色数	24 [bits/pixel]
フレームレート	30 [frames/sec]
測定間隔	1.0 [sec]
平均値の統計幅	5
重み付け平均値の統計幅	5
負荷平均の反映	過去 1 分間
下降条件	$FR_w - FR_{set} > 2$ もしくは $FR_{dev} > 15$
下降幅	$FR_w - 1$
上昇条件	$FR_w - FR_{set} < 2$ かつ $FR_{dev} < 2$ かつ $L_{avg}(i) < L_{avg}(i-1)$
上昇幅	$FR_w + 3$

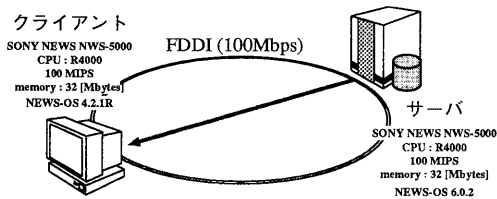


図 7: プロトタイプ

荷の開始約 1 [sec] 後から設定値の減少が開始され、重み付け平均値に合わせて変化している。一旦は実効値の振動により小さめのフレームレート (5[frames/sec]) が設定されるが、実効値の振動が収まると徐々に設定値を上昇させ、安定したフレームレート (10[frames/sec]) が設定されていることが分かる。外部負荷終了後も同様に徐々に設定値を上昇させ、外部負荷のない場合のフレームレートが実現されていることが分かる。

同様に図 9 は、サービス期間中に同一サーバクライアントにおいて、外部負荷として約 30 [Mbyte] のファイルを UNIX の rcp コマンドを用いて転送した場合の各値の変化を示している。この測定では、セッション開始から約 43 [sec] 経過した時点でファイル転送を開始し、82 [sec] 経過した時点で終了している。若干高めのフレームレート (6[frames/sec]) が設定されていることを除いて、MPEG 伸張による外部負荷の場合と同様の制御が実現されていることが分かる。

## 6. まとめ

VOD のようなアプリケーションを実現するために、ユーザの要求する QoS を保証する機能の一つとして、マシンやネットワークの負荷状況に合わせ

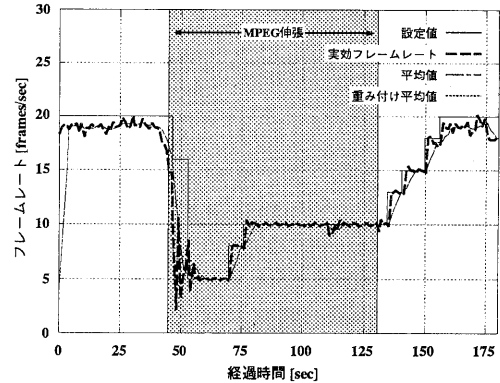


図 8: MPEG 伸張による外部負荷時の制御

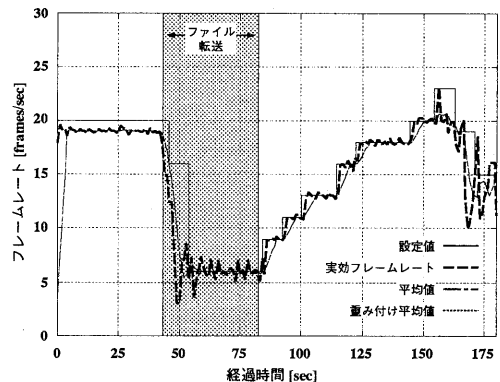


図 9: ファイル転送による外部負荷時の制御

てメディアデータの処理量を調節するレート制御機構を設計した。性能評価では、クライアントの負荷変動に対して十分に安定するフレームレートが提供できるフレームレートが実現できることが分かった。現在、無圧縮ビデオを扱った場合と圧縮ビデオを扱った場合の制御の違いの評価を行っている。

今後の課題としては、性能の異なるマシンや環境での性能評価、および制御パラメータを変えたときの追従性の比較などが挙げられる。

## 参考文献

- 1) 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.
- 2) 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,” 情処研報 DPS-67, Vol. 94, pp. 37-42, 1994.
- 3) 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,” 情処研報 DPS-71, Vol. 95, No. 61, pp. 97-102, 1995.