

## レート制御を考慮した連続メディア転送プロトコルの研究

知念 正 柴田 義孝

東洋大学工学部 情報工学科

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

圧縮技術を用いた連続メディア転送においては、フレーム当りのデータ量を大幅に削減することができるが、サーバ/クライアント及びネットワークの負荷変動によりパケット紛失が発生した場合、画質の低下やフレームレートの低下を引き起こす。本研究においては、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、パケットロス率を抑制し、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転送方式を提案する。そして、これらの転送方式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、負荷変動によって生じるパケット紛失の影響を抑制するパケット紛失制御、及び、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性能評価を行なった。

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

Tadashi Chinen, Yoshitaka Shibata

Department of Information and Computer Sciences, Toyo University

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

It is well known that video data can be dramatically reduced on continuous media transmission by using compression technique. However, video quality and frame rate degrade when packet loss occurred because CPU loads on the client/server on network traffic increases. In the paper, We introduce continuous media transmission method which guarantees the realtime audio video by adjusting packet interval to reduce packet loss dynamically and controlling frame rate on the client to adapt the effective throughput on the server. We implemented a prototyped Packet Audio · Video System (PAVS) to evaluate performance of the packet loss control and frame rate control function.

### 1 はじめに

ネットワークを通して時間的制約を伴う連続メディアデータをユーザへ提供する Video-on-Demand (以下 VoD) サービスでは、ユーザの Quality of Service(QoS) 要求や格納されたメディアデータの属性、クライアントステーションやビデオサーバの処理能力、及びネットワークの負荷変動などを考慮して適切なサービスの質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 保証機能が必要となる [3]。特に、クライアントステーションの過度の負荷変動は、パケットオーバーランによる紛失の原因となり、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の動的な制御や、パケット紛失に対する回復機構が必要となる。

一方、ビデオのようにデータ量が非常に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フレーム毎にそのデータ量に変化するため、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]。可変レート転送を TCP プロトコルで行なう場合は信頼性のあるパケット転送が可能であるが、TCP プロトコルの複雑なエラー制御やフロー制御機能によりスループットが十分に得られない点と時間的

制約を保証できなくなる点などにより、可変レート転送の実現が困難となる。一方、UDP プロトコルはその簡潔性より高いスループットが期待でき、又、マルチキャスト機能も利用でき、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しやすいが、パケット紛失やフレームレートに対する制御機能が必要となる。

本研究では、転送プロトコルとしてより高いスループットで、なおかつ、トランポート層より上位でのフロー制御やレート制御を実現するために UDP のような軽装なプロトコルを用いて圧縮された連続メディア転送を考える。この場合、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の影響による画質やフレームレートの低下を引き起こすので、動的にパケット間隔を調整することによってパケットロス率を抑制する 1) パケット間隔制御法と紛失したパケットを再転送させることによってパケット紛失を生じさせないための 2) パケット回復制御法、一方では、可能なメディアデータ処理量に応じたフレーム数に調整するフレームレート制御の性能評価を行なった。

## 2 可変レート転送

図 1 の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及びパケット間隔をフレームに応じて調整する可変ビットレート転送を導入する [2]。MPEG 圧縮ビデオでの転送方式の単位としては、図 1(a) のように各 GoP ごとにデータをフラグメント化してパケット数を発生させて転送する GoP 一括転送と図 1(b) のように GoP をフレーム毎に識別し、フレーム単位でパケットを生成して転送するフレーム転送方式を導入する [4]。

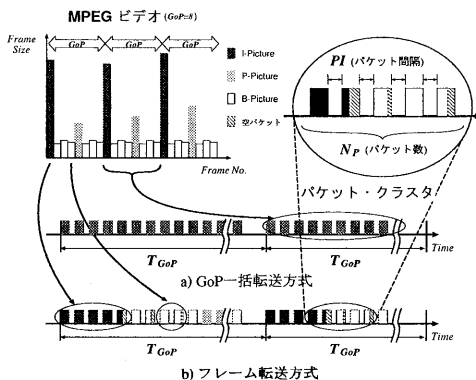


図 1: 可変ビットレート転送 (フレーム/GoP 単位) GoP 転送方式: フレームタイプに依存せず、パケット化できるため、フレーム単位で扱うときよりもパケット総数が少なく、処理が軽くなるが、パケット紛失が生じた場合、1 つの GoP に含まれている複数のフレームが失われる。

フレーム転送方式: GoP をフレーム毎に識別し、パケット転送するため、パケット総数は多くなり、各制御の処理が複雑となるが、パケット紛失の及ぶ範囲は 1 フレームに限定でき、しかもパケット回復制御に柔軟に適用できる。

## 3 システム構成

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、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から成るメディアコーディネイトシステムを導入し、このアーキテクチャ [1,3,4] にしたがってレート制御を実現する機能モジュールと、制御の流れを図 2 に示している。メディアコーディネイトシステムにおけるストリーム管理プレーンおよび制御プレーンの機能は密接に関連しているため、この 2 つのプレーンを統合して 1 つのモジュールとしている。また、制御プレーンとして主にフレームレートを実行する機能をフレームレート管理モジュールに、転送パケット間隔などの管理制御機能をパケットレート管理モジュールに分割して割り当てている。

可変ビットレート転送されるメディアデータのパケット紛失制御の流れは、クライアント側のメディアフロー制御モジュールで実効パケットロス率を検出し、パケットレート管理モジュールにおいてパケット間隔変更の判断を行なう。そして、サーバ側のパケットレート管理モジュールであらかじめ評価しておいたパケットロスの性質より適切なパケット間隔を決定し、メディアフロー制御モジュールで扱う設定パケット間隔を変更する。

一方、パケット紛失制御の影響やマシンの処理能力にあわせてフレーム処理量を調整するフレームレート制御の流れは、クライアント側の同期調整モジュールで実効フレームレートを検出し、フレームレート管理モジュールにおいてフレームレート変更の必要性を判断し、必要に応じて実効値および統計値をサーバに通知する。サーバ側のフレーム管理モジュールでは、通知された実効値及び統計値から適切なフレームレートを決定してデータ変換モジュールで設定フレームレートに合わせてフレーム量を調整する。

## 4 パケット紛失制御

パケット紛失を抑制するために 1) パケット間隔制御法と 2) パケット回復制御法を導入する。1) のパケット間隔制御法では、過負荷によって生じるパケットの取りこぼしを許容範囲に抑えるためにパケット間隔を調整する方法があり、制御の特徴として制御機構が比

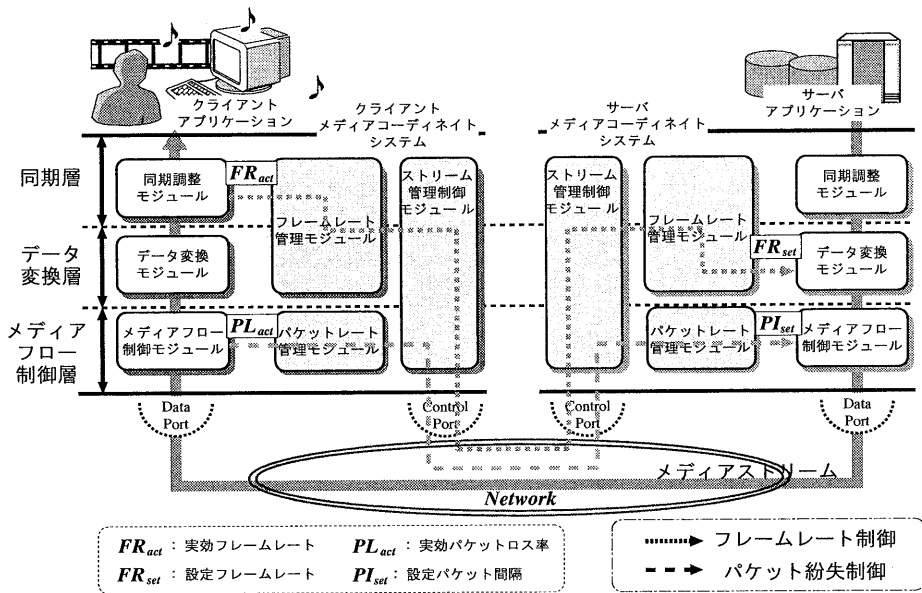


図 2: モジュール構成とレート制御の流れ

較的簡単に実現できるが、パケット紛失を抑えるためにパケット間隔を大きく取ると連続メディアが持つ時間的制約に影響するので、その制御に速応性が要求される [5]。

一方、パケット回復制御法においては、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なうもので、パケット紛失を完全に回復できるが、制約時間内に処理できない場合があり、フレームレートの実時間性を保てなくなる場合がある [4]。

#### 4.1 パケット間隔制御法

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。クライアント負荷に対して連続転送されるパケットのロス率は、図 3 のようにその負荷状態に対してパケット間隔が一定以下に小さいとパケット紛失が発生しやすいことが分かっている。そこで、図 2 に示す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  $PL_{act} < PL_{adm}$  となるようにパケット間隔を動的に調整する。パケット間隔を大きく取ったことにより時間的制約が保てなくなる場合には、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。

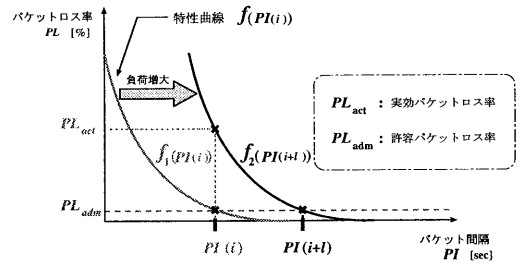


図 3: パケット間隔とパケットロス率の特性曲線

#### 4.2 パケット回復制御法

MPEG ビデオでは、パケット紛失により複数のフレームへ影響するのでパケット紛失を完全に抑える必要が生じる場合もある。そこで、パケット毎に付加されているシーケンス番号を用いてパケット紛失を検知し、パケットの再転送によるパケット回復方式として "Go back n" と "Selective repeat" の 2 つの方式を提案する [4]。

**Go back n 方式：** 送信側では、紛失したパケット以降の全てのパケットを再転送し、再転送要求の間に受信側に転送されたパケットは全て削除する。

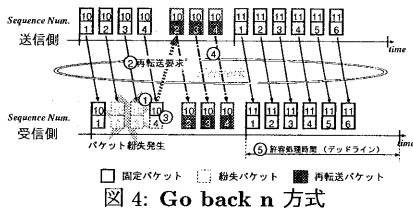


図 4: Go back n 方式

**Selective repeat 方式**：受信側では、紛失したパケットのみを送信側に再転送要求し、再転送要求間に転送されたパケットは、あらかじめ受信側に用意されたバッファに格納する。

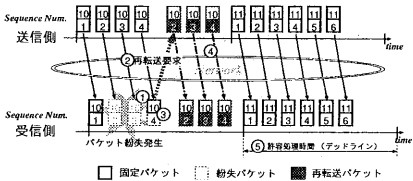


図 5: Selective repeat 方式

## 5 フレームレート制御

ネットワークトラフィックの影響やクライアント/サーバの処理能力に対応させて、実際のフレーム処理量を調節する必要がある。図 2 に示すようにクライアントで検出された実効フレームレート ( $FR_{act}$ ) の平均と統計値を基に新たな設定フレームレート ( $FR_{set}$ ) への変更を判断し、もし  $FR_{set}$  を一定以上上下回っている場合、もしくは十分な  $FR_{act}$  が達成されている場合は、フレームレート変更と判断し、実効値及び統計値をサーバに通知される。サーバでは、実効値および統計値から適切な  $FR_{set}$  を決定して変更する [1]。

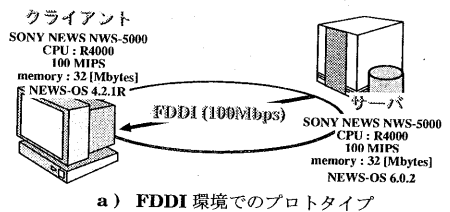
## 6 プロトタイプ及び性能評価

パケット紛失制御とフレームレート制御機能の性能評価を行なうためにレート制御機構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 のように構築した。ネットワークとして転送速度 100Mbps の非同期サービスをサポートする FDDI と 10Mbps の Ethernet の異なるネットワーク環境を用い、ネットワークプロトコルとしては UDP/IP を用いた。ここでの評価に使用したビデオデータは表 1 の通りである。

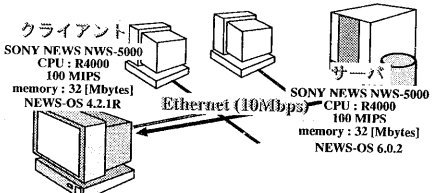
評価は、640x480 の MPEG ビデオのソフトウェア伸張処理を負荷として与えたクライアント負荷と UNIX の `rcp` コマンドを用いたファイル転送を行なったネットワーク負荷でのレート制御機構の有効性の評価を行なった。

表 1: ビデオデータ及び測定条件

ネットワーク	FDDI	Ethernet
圧縮フォーマット	MPEG-1	
画像サイズ	640 × 480 [pixel]	
色数	24 [bits/pixel]	
フレームレート	30 [frames/sec]	
必要転送速度	5.0 [Mbps]	1.5 [Mbps]
パケットサイズ	4K [bytes]	1K [bytes]
GoP 当たりのフレーム数	N = 10	
I、P フレーム周期	M = 5	
デッドライン監視の検出間隔	2 [sec/MDU]	
$PL_{act}$ の検出間隔	3.0 [sec]	
$FR_{act}$ の検出間隔	1.0 [sec]	
平均値の統計幅	10	
重み付け平均値の統計幅	10	



a) FDDI 環境でのプロトタイプ



b) Ethernet 環境でのプロトタイプ

図 6: プロトタイプ

### 6.1 パケット間隔とパケットロス率

パケットロス率が許容パケットロス率を大きく越えてしまった場合、パケット間隔のままかな調整を行なうためにパケットロス率とパケット間隔の関係式をあらかじめ知る必要がある。そこで、クライアントの異なる負荷に対してパケットロス率とパケット間隔を測定した (図 7)。図中で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ロス率の実測値である。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ロス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ロス率は 0% に近づくことがわかる。これより、パケット間隔とパケットロス率の関係は、

$$\text{パケットロス率} = a \times \text{パケット間隔} + b$$

の次式により近似できることが分かった。実際に PAVS を動作させた時にクライアント負荷として 640x480 の

MPEG ビデオの伸張プロセスを与え、そのときのパケットロス率とパケット間隔と近似式により(パケットロス率 =  $-4 \times$ パケット間隔 + 27)、パケット紛失が生じた場合に、この式で現在の実効パケット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、次に設定すべき大まかなパケット間隔を再設定することができる。そして、この設定値  $PI(i)$  によってパケットロス率 ( $PL_{act}(i)$ ) が許容パケットロス率の近傍においては、再設定すべき  $PI(i+1)$  は  $PI(i) \times (1 + (k \times (PL_{act}(i) - PL_{adm})))$  により細かな調整を行なう ( $k$ : 設定回数が増えるにつれて指数関数的に減少する係数)。

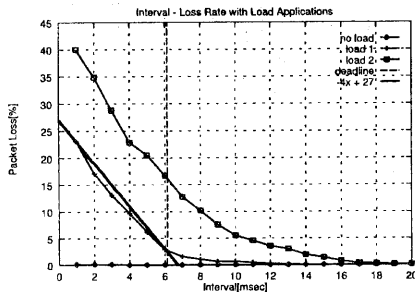


図 7: 負荷状況が異なるクライアントでのパケットロス率とパケット間隔

## 6.2 クライアント外部負荷時の制御

外部負荷として MPEG 伸張プロセスをクライアントに与え、図 8 a) に示すようにパケットロス率とパケット間隔を測定した。ビデオ転送開始時は、パケット間隔が  $1msec$  で許容パケットロス率以下に抑制されているが、60 秒後から負荷をクライアントに与えることでパケットロス率が急激に 20% まで上昇したが、パケット間隔制御法のフィードバックループが働きパケット間隔が大きくなり、その 3 秒後以降にはほぼ 0% 付近に抑えながら、パケット間隔を維持している。又、負荷を取り除いた際にはもとのパケット間隔である  $1msec$  へ徐々に収束していくことがわかる。このように、連続メディア転送サービスはほぼ許容パケットロス率以下で行なえることも確認できた。また、図 8 b) のように実効フレームレートと設定フレームレートも測定した。このときのビデオ転送開始時における設定フレームレートは  $30fps$  であったが、実効フレームレートが変動しているため 25 秒付近で  $30fps$  から  $25fps$  に変更されている。また、125 秒付近で実効フレームレートの安定していることが検出されると設定フレームレートは  $25fps$  から  $28fps$  へ上昇し、元のフレームレートへ回復することが確認できる。従って、フレーム処理量を調節することが確認できた。

## 6.3 ネットワーク外部負荷時の制御

次に図 9,10,11 は、Ethernet 上で UNIX の `rcp` コマンドを用いたファイル転送による外部負荷を与えた際の制御状況を測定した。この測定では、セッション開始から約 60 秒経過した時点でファイル転送を開始し、95 秒経過した時点で終了している。図 9 a) に示すように制御なしではランダムかつバースト的にパケット紛失が発生し、同時に実効フレームレートは急激に低下した。そこで、図 10 に示すようにパケット間隔制御のみを導入した場合、パケット紛失により設定パケット間隔が急激に変更することでパケット紛失を抑制し、実効フレームレートへの影響が低下することが分かる。さらに、図 11 のフレームレート制御の導入では、過去の実効フレームレートの統計値を重み付けすることにより  $26fps$  から  $7fps$  へフレームレートを変更することによって、パケット紛失の抑制に大きく影響することが分かる。一方、ファイル転送終了後は、パケット紛失は発生しないため、変更された設定パケット間隔は再び初期設定パケット間隔に収束し、同様に設定フレームレートも  $30fps$  に収束し、MPEG 伸張による外部負荷と同様の制御が実現されていることが確認できた。

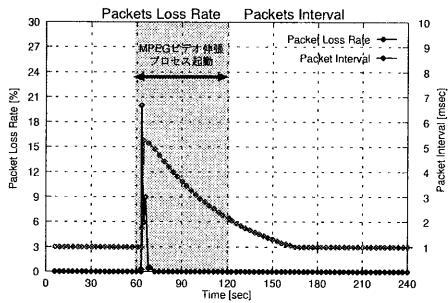
## 7 まとめ

パケット紛失を抑制するためパケット紛失制御機構及び転送フレーム量を調整するためのフレームレート制御を導入した連続メディア転送プロトコルの設計及び開発を行なった。パケット間隔制御法によって負荷変動時でも紛失を許容パケットロス率以下に抑えながら、その負荷状況に応じた連続メディア転送を行なうことが確認できた。一方、フレームレート制御が実効フレームレート状況に応じて転送フレーム量の動的調整を行なえることが確認できた。

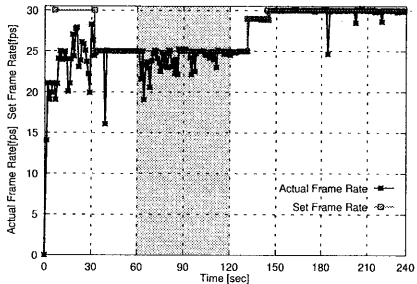
今後の課題としては、性能の異なる端末や環境での評価、及び、サーバ負荷でのレート制御の有効性を確認する。

## 参考文献

- [1] 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, 情処研報 DPS-75, Vol. 96, pp. 43-48, 1996.
- [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, マルチメディア通信と分散処理研究会, 67-7, 1994
- [3] 橋本浩二, 渡辺光輝, 柴田義孝: 連続メディアのための QoS 保証及び交渉機能情処研報 DPS-74, Vol. 96, pp. 67-72, 1996.
- [4] 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, 情処ワークショップ論文集, Vol.96, No.1, 1996

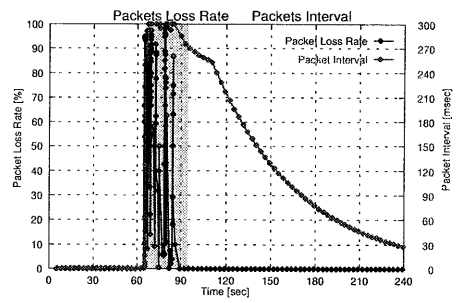


a) 実効パケットロス率と設定パケット間隔

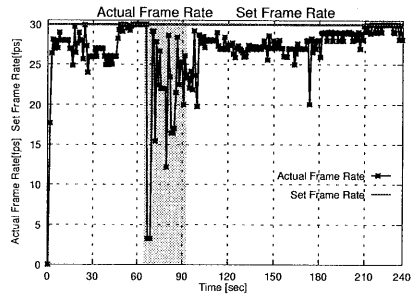


b) 実効フレームレートと設定フレームレート

図 8: MPEG 伸張による外部負荷時でのパケット間隔制御とフレームレート制御

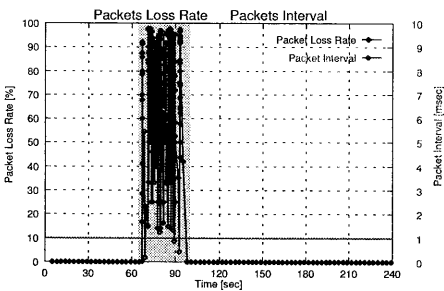


a) 実効パケットロス率と設定パケット間隔

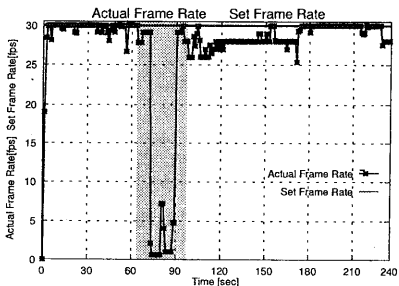


b) 実効フレームレートと設定フレームレート

図 10: ファイル転送による外部負荷時でのパケット間隔制御のみ

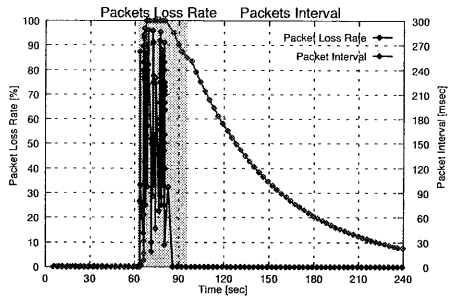


a) 実効パケットロス率と設定パケット間隔

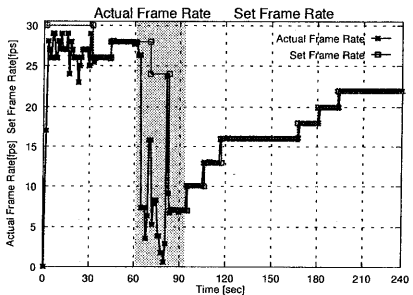


b) 実効フレームレートと設定フレームレート

図 9: ファイル転送による外部負荷時での制御なし



a) 実効パケットロス率と設定パケット間隔



b) 実効フレームレートと設定フレームレート

図 11: ファイル転送による外部負荷時の制御