

高速ネットワークにおけるビデオパケットレート制御方式

4 U-9

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

1. はじめに

マルチメディア情報ネットワーク上において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、リアルタイム性及びスループットが要求されるビデオ転送においては軽装プロトコルを用いることが有効である。このようなプロトコルの1つとしてUDP/IPが挙げられるが、フロー制御を有するプロトコルではないのでパケット・ロスが発生する可能性があり、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大幅に劣化させてしまう可能性が高い。

本研究では、画質の劣化に大きな影響を及ぼすパケット・ロスをユーザが希望する画質を提供するために許容されるロス率以下に抑える動的なパケットの送信レート制御機構についての考察を行なった。そして、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。

2. 転送方式

本システムのプロトコルアーキテクチャを図1に示す。ネットワークには、100Mbpsの転送能力を有するFDDIを採用し、転送モードとしては非同期モード[1]を用いた。またネットワークプロトコルとしては、FDDIが比較的信頼性の高いネットワークであることとリアルタイム性やスループットが要求されるメディアデータを扱うということからUDP/IPを用いた。

パケット転送は、実効スループットを得るためにACK無しで連続的に行なうが、パケットの送受信処理が追いつかず、オーバーランによるパケット・ロスが発生する可能性がある。そこで本システムでは、パケット・ロスの発生率に応じてパケットの発行間隔を動的に調整してパケットの送信レート（パケットレート）を制御することにより、パケット・ロスの発生を抑え、MPEGビデオといったフレーム毎にデータサイズが異なる圧縮ビデオでも一定フレームレートでの表示を可能とする可変レート転送を行なう[2]。

3. パケットレート制御

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

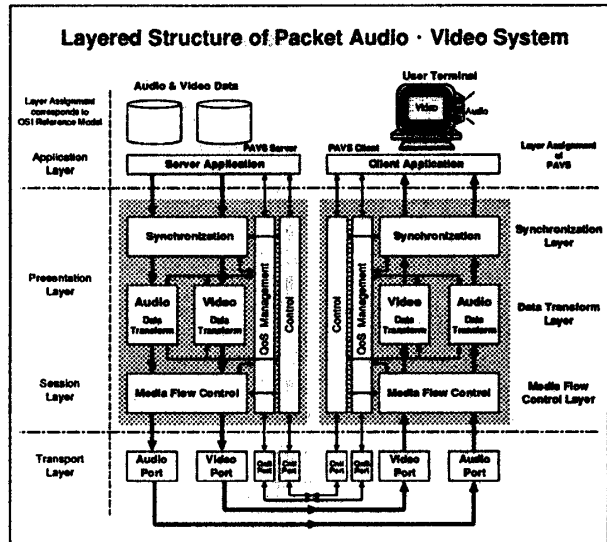


図1: パケットオーディオ・ビデオシステム

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。

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おいて求められた測定値 (t_{measu}) に設定する。

セッション期間中

図2に示すように、ある $P_{Int}(i)$ において、 L_{measu} が L_{adm} を大きく超えた時には、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 $f_1(P_{Int})$ を ($P_{Int}(i), L_{measu}$) という座標を通るように $f_2(P_{Int})$ へ平行移動し、 $f_2(P_{Int}) = L_{adm}$ となる P_{Int} を再設定値 $P_{Int}(i+1)$ とする。

また、 L_{measu} が L_{adm} の近傍においては再設定値 $P_{Int}(i+1)$ を $P_{Int}(i) \times (1 + (k \times (L_{measu}(i) - L_{adm})))$ (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きき調整を行なった時にリセットされる) で求める。このように、 P_{Int} を大きめ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。

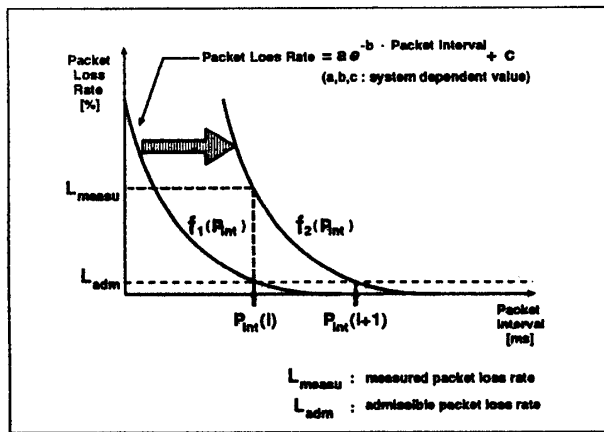


図 2: パケットレート制御

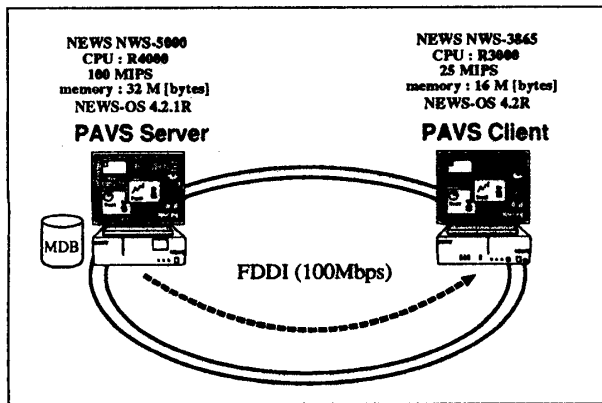


図 3: プロトタイプ

4. プロトタイプ及び性能評価

図 3 のように、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非同期サービスのみをサポートする FDDI ネットワーク上に構築し、ネットワークプロトコルとして UDP/IP を用いて性能評価を行なった。

まず、パケットレート制御時に使用するパケット・ロス率とパケット間隔の関係式を得るために、3 通りの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測定を行ない、プロットしたものが図 4 である。この図から、ロス率が 0% に近づくのは緩慢であるということ、負荷が大きくなるにつれてロス率を小さく保つために必要なパケット発行間隔も大きくなってはいるものの、数ミリ秒という時間的に非常に小さな範囲で推移していることがわかる。そして、ロス率 = $60e^{(-1.5 \times \text{パケット間隔})} - 1$ という関係式を得た。

次に、この関係式を用いて制御を行なう動的なパケット間隔制御機構の性能評価を行なうために、ロス率 1% までが許容されているという条件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加わった時のパケット・ロス率、パケット間隔、実効スループットを測定した(図 5)。この図から、負荷増加時には許容ロス率を越える

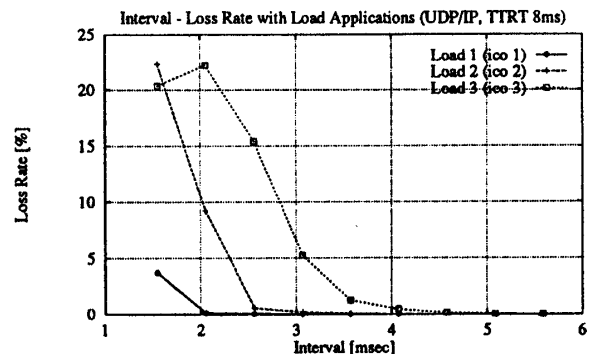


図 4: 負荷状況が異なるクライアントにおけるパケット・ロス率とパケット間隔

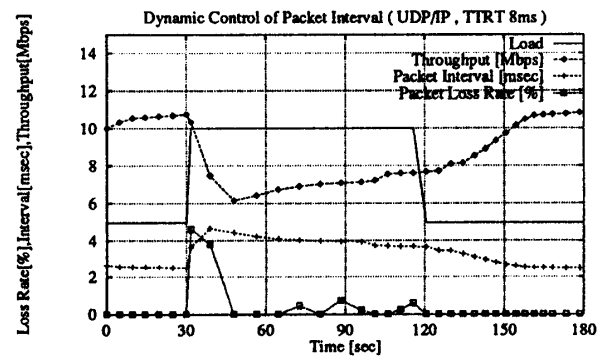


図 5: 動的なパケット間隔制御

パケット・ロスが発生するが、その後制御が働き、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が確認できる。

5. まとめ

パケットオーディオ・ビデオシステムにおいて、特にリアルタイム性と実効スループットが要求されるビデオデータを効率良く転送するためのパケットレート制御機構の設計及び開発を行なった。実際に、この制御機構を備え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 ネットワーク上に構築した結果、負荷状況に応じてパケットレートが制御でき、ほぼ許容ロス率以下で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、フレームレート制御機構との統合化及びパケット・ロスによる画質の劣化を防ぐ機構の設計・実装が挙げられる。

参考文献

[1] R.Jain, "Performance Analysis of FDDI Token Ring Networks : Effect of Parameters and Guidelines for Setting TTRT," *Proceedings of ACM SIG-COMM'90*, pp.264-275, Sept.1990.
 [2] 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