

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

橋本浩二 渡辺光輝 柴田義孝

東洋大学工学部 情報工学科

{hashi,nabe,shibata}@yosemite.cc.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 QoS 保証を取り入れるため、QoS の定義をし、その保証/交渉機構の設計、開発を行なった。QoS 保証/交渉機構により、オーディオ、ビデオデータを処理するワークステーションの処理能力やネットワークの負荷状況、ユーザの希望するメディアのサービスの質、などから適切な QoS のクラスを決定し、その QoS を保証することが可能となる。ここでは QoS 保証/交渉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構築し、その評価を行なった。

QoS Guarantee and Negotiation Mechanism on Packet Audio · Video System

Koji Hashimoto, Mituteru Watanabe, Yoshitaka Shibata

Department of Information and Computer Sciences
Toyo University

{hashi,nabe,shibata}@yosemite.cc.toyo.ac.jp

We developed a packet audio video system which facilitates quality of service (QoS) control mechanism to guarantee and negotiate the desired media service quality for clients while keeping the temporal synchronization between audio and video streams. Using the suggested QoS control and management mechanism, a suitable QoS class for both video and audio data can be dynamically determined depending on the CPU loads of the client and server stations, network traffic load, as a result, the desired QoS for clients are guaranteed.

1 はじめに

情報システムの発達により、画像や文字、音声といった異なるメディア・データを同時に表示再生可能なワークステーションを、個人で利用することが可能となりつつある。これにより、それらのメディア・データを意味的に結合させた情報としてユーザに提供するような、マルチメディア情報ネットワークを基本とするサービスの必要性が増加してきた。

我々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効率的に同期 ("Lip Sync.") をとりながらビデオ転送を実現するための転送プロトコルと、動画像及び音響処理方式、同期方式の設計、実装を行なってきた [1, 2]。

しかし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。そこで、個々のメディアに依存する提供可能なメディアの質を、ワークステーションの処理能力やネットワークの負荷状況に応じて保証する QoS(Quality of Services) のメカニズムが必要となってくる。そこで、従来のパケットオーディオ・ビデオシステム [1] にフレームレートをパラメータとした QoS 保証機構を導入し、実際にローカルエリアネットワーク上にプロトタイプを実装した。そして、ワークステーションの処理能力やネットワークの負荷状況からその保証機構の評価を行なった。

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 PAVS を構成している。

Synchronization 層 では、動画像フレームと対応する音響セグメント間の同期処理を行なう [3]。

Transform 層 では、動画像処理としてカラーモード変換、圧縮・伸長などを行い、音響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、無音検出などを行う。

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。

そして、**Control and QoS Management 層** (以下 CQM 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各層で行なわれる。

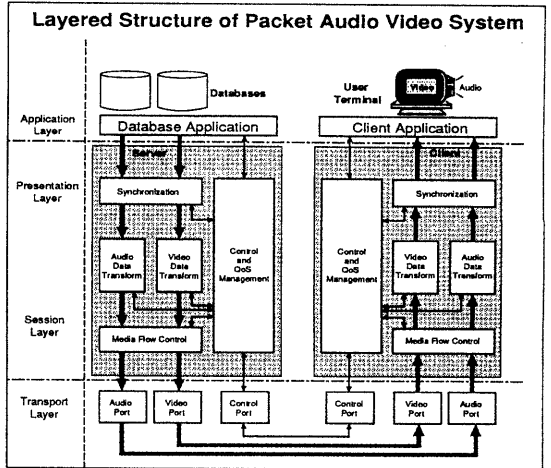


図 1: QoS 保証を伴った PAVS の階層構造

3 QoS の定義

まず、一般的な単一の連続メディアの QoS をスループット: $T[\text{bit/sec}]$ 、エンド間遅延: $D[\text{sec}]$ 、ジッタ: $J[\text{sec}]$ 、ストリームの信頼性: R^1 、で定義する [4]。

$$Q: \{T, D, J, R\} \text{ --- (1)}$$

これらのパラメータはクライアントの希望やネットワーク及びワークステーションの処理能力から決定され、リソース確保が可能ならその際の値として使われる。しかし、セッション期間中のネットワーク及びマシンにおける負荷の変動によって、QoS の状態 (状態値) が変化し、保証すべき QoS (設定値) 保証が不可能となった場合、あるいは負荷の減少から QoS を上げることが可能となった場合、QoS の設定値: $Q(i)$ (i 番目の更新状態) は、アプリケーションが希望する (desired) QoS: Q_d 、許容できる (admissible) QoS: Q_a 、エンド間で利用可能なスループット: T_{avail} 、許容 QoS でさえ保証できなくなった場合の緊急時のモード: E から更新される。

$$Q(i+1) = f(Q(i), T_{avail}, Q_d, Q_a, E) \text{ --- (2)}$$

¹ここでは tcp, udp などのプロトコルの選択でストリームの信頼性を表す

3.1 スループット

オーディオデータのスループット T_A をサンプリング周波数: f_s [Hz]、量子化ビット数: b_q [bit] の 2 つのパラメータで表し、ビデオデータのスループット: T_V をフレームサイズ: s_f [pixel/frame]、1 ピクセルあたりの色数 (ビット数): b_d [bit/pixel]、フレームレート: r_f [frame/sec] の 3 つのパラメータで表す。

$$T_A : \{ f_s, b_q \}, T_V : \{ s_f, b_d, r_f \} \text{ --- (3)}$$

3.2 オーディオ・ビデオ QoS

オーディオ・ビデオデータの QoS: Q_{AV} と、そのパラメータを以下のように定義する。

$$Q_{AV} : \{ Q_A, Q_V, D_{ra}, D_{abs} \} \text{ --- (4)}$$

Q_A : オーディオデータの QoS

Q_V : ビデオデータの QoS

D_{ra} [sec] : オーディオ、ビデオ間で同期をとる際の相対的な遅延。例えば、相対的な遅延が 1 秒の場合、1 秒に 1 度は同期をとるということを表す。(relative admissible delay)

D_{abs} [sec] : 同期をとる際に基準となるメディア、例えばビデオの同期ポイントにおいて表示されるべき論理的な時間に対して、実際に表示される時間のずれを表す絶対的な遅延 (absolute delay)

さらに、オーディオ・ビデオの QoS が更新される場合、設定値: $Q_{AV}(i)$ は、希望 QoS: $Q_{AV,d}$ 、許容 QoS: $Q_{AV,a}$ 、エンド間でオーディオ、ビデオを処理するために利用可能なスループット: $T_{AV,avail}$ (式 (3) の T_A 、 T_V を合わせて利用可能なスループット)、オーディオ、ビデオの優先順位を表す P_{AV} 、緊急時のモード: E_{AV} から更新される。

$$Q_{AV}(i+1) = f_{AV}(Q_{AV}(i), T_{AV,avail}, Q_{AV,d}, Q_{AV,a}, P_{AV}, E_{AV}) \text{ --- (5)}$$

4 QoS 保証機構

4.1 セッション開始時

図 2 で示すように、サーバ、クライアント間のコネクションが確立すると、サーバではクライアントから要求されたオーディオ・ビデオデータのメディア情報²と、サーバおよびネットワークで現在利用

²フレームサイズ、フレームレート、1 ピクセルあたりの色数、サンプリング周波数、量子化ビット数

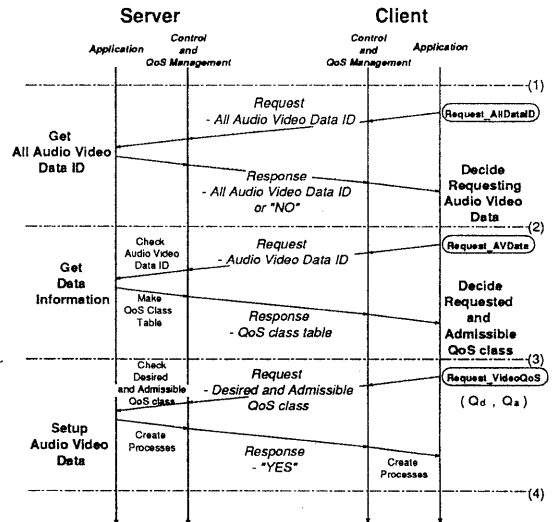


図 2: セッション開始時の QoS 交渉

可能な処理能力、クライアントの数から、提供できる QoS クラスを計算して表を作り、その表をクライアントに与える。クライアントではその表とクライアント自身の処理能力から希望 QoS 及びその許容 QoS を決める。そしてクライアントは、決定した QoS でオーディオ・ビデオデータの処理を行うことをサーバに要求する。

サーバではクライアントが要求するビデオデータの希望 QoS と QoS 許容範囲でオーディオ・ビデオデータを提供可能かどうかを確認し、クライアントに通知する。希望 QoS 及び許容範囲が決定すると、オーディオ・ビデオデータのインタラクティブな操作 (start, stop など) が可能となる。

4.2 セッション期間中

4.2.1 サーバ、ネットワークの負荷変動

サーバ及びネットワークにおいて負荷変動が生じ、QoS の保証状況が悪化した場合 (図 3)、まずサーバの CQM 層 がクライアントの CQM 層に QoS の更新要求をする。次に、クライアントの CQM 層ではその更新を受け入れるかどうかをサーバに通知し、クライアントでその QoS の更新を受け入れる場合、サーバではその QoS を保証するための同期間隔、データ変換方法、及び転送データレートなどの情報を Synchronization、Transform、Media Flow Control の各プロセスに通知すると同時に、クライアントへ更新された QoS の設定値を通知する。ク

クライアントでは、更新された QoS の設定値から、各層へその QoS を保証するための同期間隔、データ変換方法、及び転送データレートなどの情報を通知する。

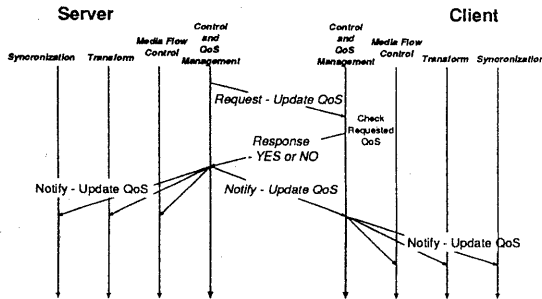


図 3: サーバ、ネットワークの
負荷変動による QoS 交渉

また、クライアントの負荷変動によって QoS の更新がなされる場合(図 4)には、まずクライアントの CQM 層が、サーバの CQM 層に QoS の更新要求を送る。サーバでは、その QoS 更新要求を受け入れるかどうかを決定し、受け入れる場合その QoS を保証するための同期間隔、データ変換方法、及び転送データレートなどの情報を各層に通知するとともに、クライアントへ応答を返す。

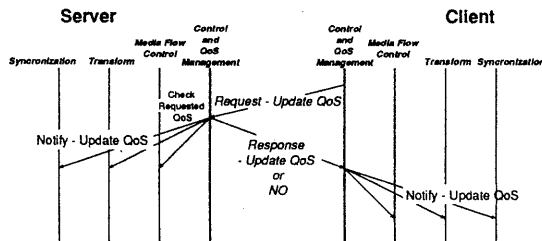


図 4: クライアントの負荷変動による QoS 交渉

4.3 QoS 更新モジュール

上述したようなセッション開始時の QoS の決定、及びセッション期間中の QoS 更新は、式 (1) におけるスループットから QoS の保証状況を決める場合、図 5 に示されるモジュールで行なわれる。全体的には、QoS の保証状況が悪化した場合、その時の負荷状況で利用可能なスループットに応じた QoS クラスを決定し、また、QoS が保証されていてワークステーションやネットワークの負荷が軽減し、利用可能なスループットが向上した場合、そのスループットから適切な QoS クラスを決定することで、QoS の更新がなされる。

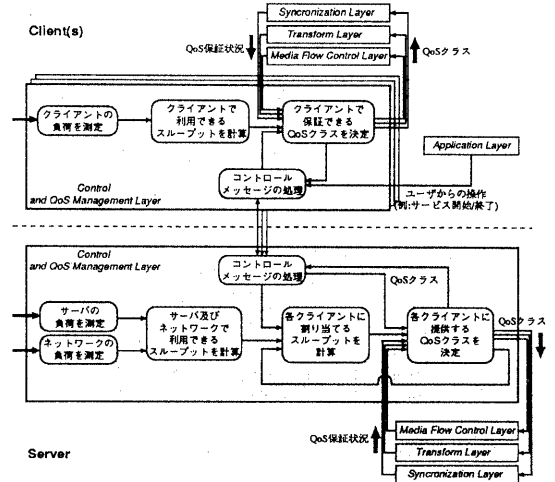


図 5: QoS 更新モジュール

クライアントの QoS 更新モジュールでは、Synchronization、Transform、及び Media Flow Control の各層における QoS の保証状況とクライアントで現在利用可能なスループットから、現在クライアント自身が保証できる QoS のクラスを決定し、それをサーバに通知する。

サーバの QoS 更新モジュールでは、ワークステーション及びネットワークで利用可能なスループットと、クライアントの数から各クライアントに割り当てべきスループットを計算する。

そして、クライアントから要求された QoS や、サーバの Synchronization、Transform、及び Media Flow Control の各層における QoS 保証状況をもとに、割り当てられたスループット内で各クライアントに提供する QoS のクラスを決定する。クライアントは、サーバに、クライアント自身が保証できる QoS クラスを通知するだけであり、サーバが各クライアントに提供する QoS クラスを決定する。

5 プロトタイプ及び性能評価

フレームレートをパラメータとした QoS 保証/交渉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 6 の環境で構築した。ネットワークは転送速度 10[Mbps] の Ethernet、ネットワークの通信プロトコルとしては UDP 及び TCP/IP を用いた。

フレームレートの制御は、サーバ側ではフレームデータを間引くことによって、クライアント側で

は出力フレームの間隔を変えることによって行なわれる。

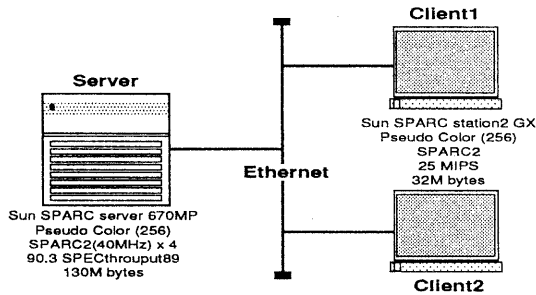


図 6: プロトタイプ

また、使用したオーディオ・ビデオデータを表 1 に示す。

表 1: オーディオ・ビデオデータ

Audio	Frequency[Hz]	8000
	QuantizeBit[bits]	8
Video	FrameSize[pixel]	160 × 120
	Color[bits/pixel]	8
	FrameRate[fps]	10

5.1 Client の数による QoS 保証

クライアントの数による QoS 保証機構の性能評価をするため、図 6 における Server-Client1 のセッション期間中に Client2 がセッションを開始し、終了した時のフレームレート、絶対的な遅延、論理時間と出力フレームを測定した。Client1、2 共に表 2、3 の希望及び許容値でセッションを開始している。また、図 7、8、9、10 において session1 は QoS 保証を行なわなかった場合、session2 は行なった場合の測定結果である。

表 2: スループットの希望及び許容値

	f_s	b_q	s_f	b_d	r_f
req.	8000	8	160 × 120	8	10
adm.	8000	8	160 × 120	8	2

(式 (3) 参照)

表 3: 絶対、相対遅延の希望及び許容値

	D_{abs}	D_{ra}
req.	0.125	1.0
adm.	0.125	1.0

(式 (4) 参照)

図 7 は、Client1 のセッション期間中、25 同期ポイント後に Client2 (図 8) がセッション開始要求をし、session1 では 35、session2 では 34 同期ポイント後にセッションを終了した場合のフレームレートについての測定結果を示している。この結果より、

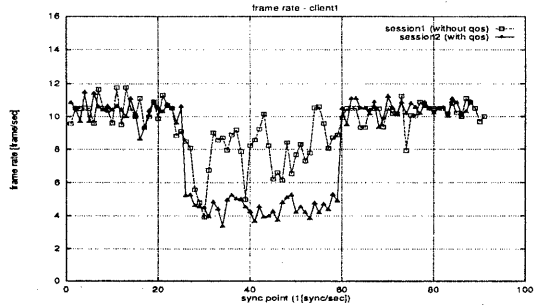


図 7: 負荷変動におけるフレームレート (Client 1)

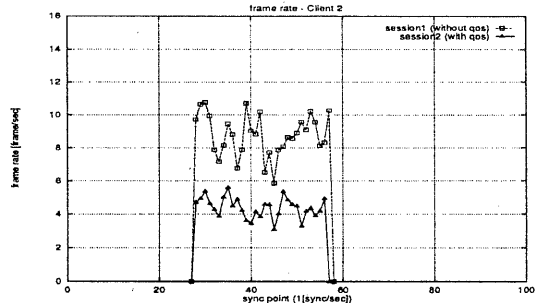


図 8: 負荷変動におけるフレームレート (Client 2)

表 4: Client 1 における フレームレートの評価

	平均	最大	最小	標準偏差
session1 区間 (25~60)	7.96	10.62	3.89	1.57
session2 区間 (25~59)	4.52	5.29	3.35	0.51

(単位: {frame/sec})

QoS 保証を行なった場合は、フレームレートを下げることによって、そのフレームレートがほぼ一定に保たれていることが分かる。一方、QoS 保証を行なわなかった場合は、フレームレートの変動が大きい。

また、表 4 は Client1、2 が共にサービスを受けていた期間の Client1 におけるフレームレートの評価である。表からフレームレートの平均値は、QoS の保証を行なった場合と行なわなかった場合では、行なわなかった場合の方が高い。しかし、保証すべきフレームレートに対し実際のフレームレート変動が大きいほど時間的にずれが生じ、オーディオ、ビデオの同期上、オーディオの途切れを生じさせ、品質を低下させる結果となった。よって、QoS の保証を行なった session2 は、行なわなかった session1 に比べ時間的連続性の観点から高品質といえる。

図 9 は Client1 における同期ポイントごとの絶対的な遅延 (ある同期ポイントから次の同期ポイント)

トまでの時間)を表している。セッション期間中は1[sync/sec]の同期をとっているので、同期ポイントの間隔は論理的には1秒である。この間隔が増加するという事はオーディオ、ビデオデータ出力の時間的連続性が崩れるということであり、相対的な同期がとれていなくてもオーディオの途切れを生じさ、ビデオは間延びすることになる。図9からQoSの保証を行なわなかった場合(session1)に比べ、行なった場合(session2)の方が絶対的遅延が少ない(ほぼ $D_{abs} = 0.125[sec]$ 内)。また逆に、絶対的遅延が増加した場合には、QoSの更新が必要となる。

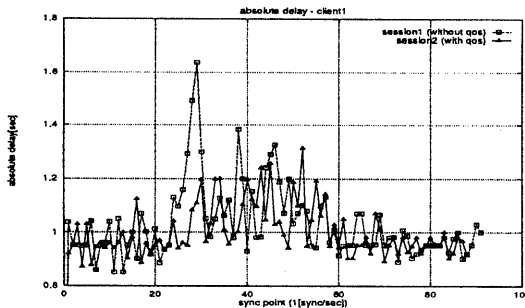


図 9: 絶対的な遅延 (client 1)

また、図10は、Client1におけるビデオフレームを出力すべき時刻に対し、実際に表示された時刻を表している。QoS保証を行なわなかったsession1ではsession2に比べ、フレームの出力時刻がずれていることが分かる。

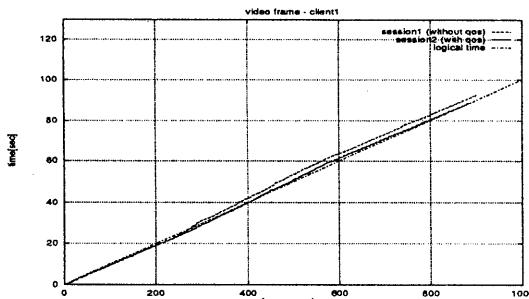


図 10: 論理時間とビデオフレーム (client 1)

5.2 負荷とスループット

ネットワークの負荷を測定するために、ネットワークに接続されている各マシンの出力パケット数をSNMP(Simple Network Management Protocol)で測定した。ネットワークの負荷状況は、出力パケット数である程度決定でき、ネットワークで利用

可能なスループットは、(利用可能な最大転送速度[bit/sec]) - (出力パケット数[個/sec]) × (パケットサイズ[bit]) から求められる。

また、ワークステーションの負荷を測定するために、CPUの占有率とロードアベレージをリモートプロシジャーコールのサービスライブラリであるrstat関数により測定した。しかし、CPUの占有率は変化が激し過ぎ、ロードアベレージでは収束する期間が長いので、現在の測定値をそのまま利用すると、ワークステーションの負荷を特定するのが困難であり、正確な負荷を測定するためには改善の余地が残されている。

6 まとめ

従来のパケットオーディオ・ビデオシステムにQoS保証を取り入れるために、QoSの定義を行ない、その交渉/決定をする機構の設計及び開発を行なった。プロトタイプでは、クライアントの数によるフレームレートの変更によりQoSの保証が可能となった。

今後の課題としては、ネットワークに負荷がかかった時のQoS保証機構の評価、エンド間遅延、ジッタを含むQoS保証、フレームレート以外のパラメータによるQoS更新、ワークステーションの負荷状況決定方法の改良、そしてFDDI上での実装及び評価、などがあげられる。

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] 清水省悟, 瀬田直也, 神原久夫, 柴田義孝: マルチメディア情報ネットワークのためのパケットビデオシステムの設計と性能評価, 情報処理学会第47回全国大会, 4V-05, 1993
- [3] 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,
- [4] 谷本敏一, 萩原正義, 分散環境における制約指向マルチメディア表現モデルの検討, 信学技報, TECHNICAL REPORT OF IEICE, CS93-16(1993-04)