

分散マルチメディアネットワークのQoS予測制御方式

上野 義人

創価大学工学部情報システム学科

あらまし 分散マルチメディアネットワークによって、ビデオやオーディオなどの連続メディアを伝送するとき、これらメディアの通信サービスの品質 (QoS) を確保する必要があり、このQoSに相当したネットワークの接続制御システムとして、QoS予測制御方式を考案した。この新しいQoS制御方式は、過去、数回のQoS制御結果を用いて、予測情報を生成し、ユーザのQoS要求値と予測QoS値との一致、不一致検定を実行する。その結果、一致したQoS値が存在するとき、QoS要求値を各レイヤにQoSマッピングを実行して、QoS制御を行う。不一致のとき、ユーザのQoS要求値とネットワークが提供できるQoSパラメータとの交渉を実施し、QoS要求値を調停し、必要ならば、ユーザのQoS要求値を変更する。このような予測アルゴリズムとそれに基づく予測制御機構を実現するユーザ端末の構成について考究した。

1. はじめに

ビデオやオーディオなどのマルチメディアデータを伝送する通信サービスの品質 (QoS) は、ユーザ自身によってネットワークサービス要求が実施されることが望ましい。これらの連続メディアは、時間制約特性をもっており、これらのQoS要求値を満足させるためには、ネットワーク資源やCPU資源を確保する必要がある。

もし、ネットワークの帯域が充分でなく、CPU資源が不足しているとき、ビデオデータの時間制約特性を満足させるため、ユーザのQoS要求値を下げる必要がある。複数の連続メディアを同時に通信処理するとき、これらメディア間の資源予約とQoS特性値を適当な値に調停する必要がある。このような連続メディアに対する資源管理の諸問題を解決するため、分散マルチメディアシステムにおける新しいQoS予測制御システムのアーキテクチャの概念を導入した。

この新しい手法を用いて、マルチメディア・ネットワークのQoSプロセスによるフロー制御を実行することができ、ユーザのQoS要求値に最適なネットワークパスを選択することができる。

2. 疑似標準アーキテクチャモデル

ネットワーク化されたマルチメディア通信の標準化作業は、マルチメディア通信フォーラム (MMCF: Management Committee Multimedia QoS Prediction Management System in Distributed Multimedia Systems

Yoshito Ueno

Faculty of Engineering, SOKA University

Communication Forum) によって、ユーザ団体、コンテンツ・プロバイダ、サービス・プロバイダ、アプリケーション・ソフトウェア業界、端末業者、ネットワーク提供業界、ベアラサービス業界、付加価値通信業者などの幅広い分野から、専門家が集まって、精力的に行われている。[1]

特に、マルチメディア会議、マルチメディア情報サービスなどのマルチメディア通信アプリケーションを実現するアーキテクチャモデルの標準化が緊急の技術課題となっている。

このうち、エンド・ツウ・エンド・マルチメディア通信を実現するアーキテクチャモデルは、急速に進歩しているネットワーク技術、アクセス技術、マルチメディア・デバイス、ユーザ・プラットフォームなどに左右されず、将来にわたっても標準となりうるマルチメディア・システム・アーキテクチャモデルを構築する必要がある。

図1にMMCFフォーラムで提案されている疑似標準アーキテクチャモデルを示す。特色として、各ドメイン間にコンピュータのアプリケーション・プログラム・インタフェース (API) に類似した開放的なインタフェースをもっている。そのため、各ドメイン特性をそれぞれ独立に変更・修正が可能であり、各ドメインを必要に応じて、バイパスすることもできる。

この疑似標準アーキテクチャモデルは、5つのドメインと各ドメインを共通に管理するマネージメント層とQoS層とから構成されている。ユーザプレゼンテーション層は、ユーザの要求に対応した情報を提示し、出力する機能をもっている。

アプリケーション層は、アプリケーションの応用毎にモジュール構成して、ユーザが要求するタスクに応じたアプリケーション群から構成されている。

ミドルウェア層は、アプリケーション層を支援する各種機能を持ち、トランスポート技術やプロトコルに左右されない構成になっている。

トランスポート層は、ISDN 回線、ATM 回線、POTS、フレームリレー、LAN、アナログ/デジタル回線、無線回線などの各種トランスポート・ネットワークからのトラフィックや情報をユーザに転送する機能をもっている。

メディア・デバイス層は、各種マルチメディア・デバイスの制御を実行する機能をもっている。また、マネージメント層は、ユーザからの情報を通信ネットワークを経て、相手エンドユーザに送受信する管理機構をもっている。

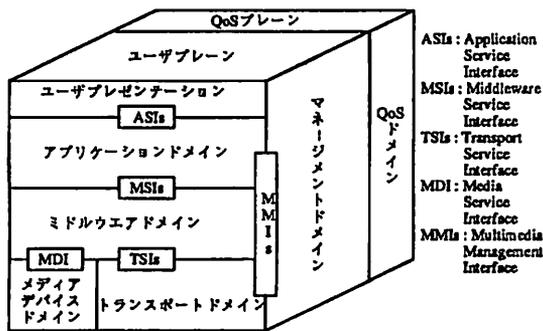


図1 疑似標準アーキテクチャモデル (MMCF)

サービス品質 (QoS) は、ネットワーク化されたマルチメディア通信の重要な属性であり、QoS パラメータは、エンド・ツウ・エンドのサービス品質を定義し、資源やネットワーク状態との交渉、再交渉などを実行して、サービス品質を決定する。

ユーザプレゼンテーション層の機能は、アプリケーション層へのユーザの要求や入力をプロセスする機能、ユーザにシステムからの応答を提示する機能、ユーザとシステム間での対話や相互作用を実行する機能などがある。

アプリケーション層の機能は、アプリケーション層のみで構成される水平アプリケーションとして、マルチメディア・デスクトップ共同作業、マルチメディア・メール/メッセージ通信、マルチメディア情報サービス、ビデオ再生、インタラク

ティブTV などがある。

また、多地点会議、多メディア転送など複数の水平アプリケーションを用いて、ユーザがリアルタイムに相互作用する垂直アプリケーションとして、遠隔医療、遠隔トレーニングなどがある。

ミドルウェア・サービスは、アプリケーションの共有、呼接続サービス、通信ブローカーの役割、メディア内同期、メディア間同期、多地点マルチメディア会議マネージャ、ネーミングやアドレッシングを行うディレクトリ、マルチメディア・オブジェクト間に発生する非同期イベントの通知、中断、巻き戻し、再生などのメディア制御、メディア間のインタオペラビリティを実行するメディア変換とプロトコル変換、地点移動サービス、他グループへのマルチキャスト、多地点間のマルチメディア接続機能、マルチメディアオブジェクトの生成、修正、削除、複製サービス、RPC サービス、トランスアクションの実行、同時制御、復元などのスケジューリング、セキュリティ、シグナリング、同期、トレーダ機能など多くの機能をもっている。

トランスポート層サービスは、通信セッションの維持管理機能として、端末までの通信を確立し、トランスポート・プロトコルに結合させる機能、QoS を明記し、交渉する機能、グループ通信セッションの機能、接続を終了する機能などがある。また、ユーザ情報を多地点間に転送し、通信セッションの誤りや性能情報を収集する機能をもっている。

メディアデバイス層の機能は、明記されたメディアサービス・ソフトウェア・モジュールの起動、停止機能、明記されたモード、フォーマット、符号化方法で動作状態にする初期化機能、スタート、ストップ、再生、記録、早回し、音量増減などの制御機能、特殊デバイスの状態情報の問い合わせ機能、通信チャンネルに接続するマルチメディア・デバイスからの情報を接続する機能などがある。

つぎに、マネージメント・ドメインの管理は、異常動作管理、料金請求管理、QoS 管理、セキュリティ管理、資源やアプリケーションの状態管理や性能管理、システム構成管理や資源管理などがある。

サービス品質 (QoS) は、従来のデータ通信アーキテクチャにはないマルチメディア・システム特

有な基本概念である。QoS は、サービス要求を定義し、他のアプリケーションへの通信リンクを定義する。さらに、ユーザは、品質レベルを定義し、各ドメインでは、異なるレベルにマッピングされ、トランスポート・インタフェースでは、パラメタリストによって定義され、ミドルウェア・インタフェースでは、要求を定義し、アプリケーション・インタフェースでは、一般的な機能を定義する。

TSI (Transport Service Interface) インタフェースでは、QoS は、帯域幅、レイテンシー、誤り率など多くのパラメタ項目で定義される。

MSI (Middleware Service Interface) インタフェースでは、QoS は、通信形式、すなわち、電話、データ転送、ビデオ再生、チャンネルの選択、データ圧縮形式などで定義される。

API (Application Service Interface) インタフェースでは、高品質ビデオ会議、スロースキャン監視、ファイル転送などの項目で定義される。

アプリケーション QoS の例として、ビデオ・フレームレート、ピクチャ解像度、音声とビデオ間の同期、音声周波数帯域、音声レベル、データレート、誤りの無い継続期間などがある。ミドルウェア QoS の例として、ピーク帯域幅、平均帯域幅、遅延、遅延変動、優先順位などがある。

トランスポート QoS の例として、QoS パラメタを満足する CPU サイクル、I/O デバイス、メモリ容量などの保証がある。

このような QoS プロセスの基本動作は、次の 3 ステップからなる。

- 1) 明記された QoS パラメタを実現するため、エンド・ツウ・エンドの交渉を行う。
- 2) 明記された要求の妨害の有無を常時、監視し、管理する。
- 3) 要求サービスを実現するため、性能劣化のない最適な通信パスを選択し、要求仕様が完遂できるまで交渉する。

図 2 にアプリケーション層のサービスを提供するサーバをもったネットワークが接続されたエンド・ツウ・エンド通信フローを示す。

このように、ネットワークがインテリジェンスをもっているとき、ユーザのピア・ツウ・ピア交換は、ネットワークのアプリケーション層を経て、実行される。このほか、ネットワークがアプリケーション層をもたない場合、トランスポート層

のみの場合などのマルチメディア通信フローも同様に構成できる。

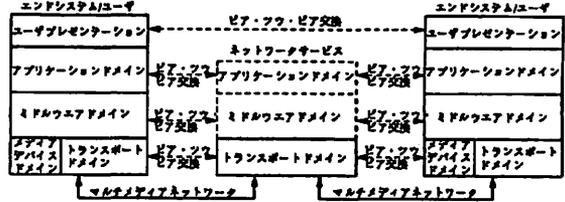


図 2 エンド・ツウ・エンド通信フロー (MMCF)

このように、ネットワークのインテリジェンスの程度に応じて、ピア・ツウ・ピア交換が直接、エンドユーザ同士の各層間で実行される。現状のデジタル通信用ネットワークは、余りインテリジェンスをもたず、主に、トランスポート層の機能のみをもったネットワークが提供されている。

このため、ユーザのマルチメディア端末には、マルチメディア・システムを利用するために多くの機能をもたせる必要がある。

3. QoS シミュレータ

マルチメディア通信の QoS は、多種多様であり、多くのユーザがユーザ自身の要求仕様を詳細かつ正確に記述することは、非常に困難である。そのため、ネットワーク提供側が、ネットワーク回線状態を常時監視し、QoS パラメタに相当したシミュレータを備える必要がある。これにより、ユーザの要求に応じて、提供できる回線状態に対応した代表画像を提示し、ユーザに表示する。例えば、図 3 に QoS シミュレータによるユーザ画面表示例を示す。

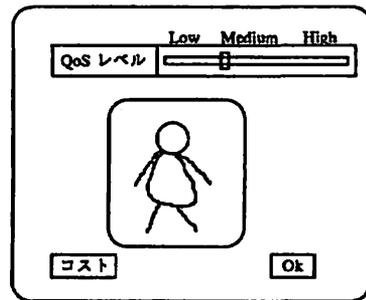


図 3 QoS シミュレータによるユーザ画面表示例

QoS シミュレータとして、ビデオ解像度、フレームレート、誤り率などの品質レベルを 3 段階 (または、5 段階) に区分した代表画像を格納し、ユーザの QoS レベルに相当した代表画像を表示する。

このとき、ユーザの QoS レベルには、3 段階 (High, Medium, Low) のスライディング・ウインドウを用いて、ユーザとネットワーク側とで交渉しながら、最終的にユーザの要求仕様を決定する。

もし、ユーザとネットワーク側との合意が得られたならば、OK ボタンを押す。このとき、QoS レベルに相当したマルチメディア通信システムのコストを同時に表示する。このような画像符号化方式として、スケーラビリティ特性の優れたウェブレット変換による多重解像度符号化方式が適している。

4. QoS 制御方式

分散マルチメディア・ネットワークの QoS 制御方式は、大別して、OS による制御方式と疑似標準アーキテクチャモデルによる QoS ドメインの各レイヤに相当したプロトコル群によって QoS 制御する方式とがある。

OS による QoS 制御は、単一メディア、例えば、MPEG ビデオのネットワーク・スループットを確保して、フロー制御する程度ならば、簡単に制御できるが、複数メディアを多地点間に接続してマルチキャストする通信サービスは、複雑なスケジューリング機構をもった OS が必要となる。

さらに、最近、開発されている通信プロトコル群による QoS 制御では、下位レイヤプロトコルは、トラフィックに対する帯域幅の確保と許容できる遅延の制御を実行し、上位レイヤプロトコルは、上位レイヤ QoS を下位レイヤプロトコルにマッピングする程度のジョブしかできない。

マルチメディア通信に対して、ATM ネットワークは、トランスポート・ドメインに必要な数多くの機能を有しているが、主な機能は、アプリケーションレイヤで記述された特性値によるプロセスを実行できるが、QoS パラメータに相当したバーチャルサーキット (VC) を接続する機能を有している。

しかし、マルチメディア・ネットワーク・インタフェースの目的は、QoS パラメータに相当した接続制御機能をもつことと、マルチメディア・ネットワークに対して、性能劣化のない最適なデータパスを確立することである。このため、ネットワークの接続制御とデータ転送パス制御との機能を分離した方が効率的な制御ができる。

現状の ATM アダプタ、例えば、AAL5 に対応し

たアダプタは、データ転送パスを実行するためのデータのセグメンテーションによるバケット化とバケットデータの再組立の機能だけをもっている。

したがって、マルチメディア・ネットワークに対する QoS 制御は、QoS ドメインの各レイヤを OS による制御とトランスポート・ドメインのネットワーク・プロトコル群による制御との役割分担によって制御している。すなわち、ネットワーク資源と OS 資源とを共有資源とみなし、アプリケーションレイヤと OS 間およびネットワーク・プロトコル群間とに常駐する QoS プロローカによって、QoS 制御を行う方法がある。[2]

また、これら資源割り当て管理制御には、資源の使用状況を常にモニターし、かつ、トラフィックのフロー管理機構が必要であり、実際、QoS マネージャと Q スレッドライブラリーとで、資源の割り当てと QoS の適合性とを管理する方式もある。[3]

ところで、QoS 保証の形式として、完全保証、統計的保証、最大努力保証の 3 種類がある。一般によく知られているように、インターネットプロトコルは、最大努力保証形式である。このため、トラフィックが輻輳したとき、到着バケットの遅延変動や CPU の過負荷やバケット損失が生じ、オーディオの途切れやビデオフレームの廃棄などの現象が生じる。

一方、マネージメント・ドメインのフロー制御管理機構は、ユーザからのシグナリングで起動された接続マネージャが、フロー制御プロトコルに応じて、バッファ容量を制限したり、トラフィックのフローを制限したり、キューからメディアデータをスケジューラにしたがって取り出したりする機能をもっている。

5. QoS 予測制御方式

ネットワークプロバイダから提供された QoS シミュレータによる代表画像によって、ユーザが決定した QoS 要求をアプリケーション QoS にマッピングし、ミドルウェア QoS で過去の履歴にもとずく予測制御を実行して、トランスポート QoS を決定する。この QoS 値がネットワーク側のトランスポート・ドメインの QoS マネージャによって、制御される。ユーザからの QoS 要求値は、QoS シミュレータ上のスライディング・ウインドウ・マネージャによって、ネットワークのフローに特有

な、多くの QoS パラメータに変換される。

これらの QoS パラメータは、QoS パラメータ毎に予測制御する方式と、代表的な QoS パラメータを組み合わせた図 4 に示す QoS 予測テーブルによって、予測制御する方式とがある。

QoS パラメータ	レベル (注)	要求値	予測値	予測結果状態値
帯域幅	High		√	
	Medium	√		√
	Low			
遅延	Long			
	Normal	√	√	√
	Short			
ジッター	Small	√	√	√
	Normal			
	Large			
信頼性	High			
	Normal	√		√
	Low		√	

注：5 レベル QoS パラメータの場合、excellent, very good, good, worse and worst などを用いる。

図 4 QoS 予測テーブル

この QoS 予測テーブル方式は、過去、数回の子測実行結果から、抽出した QoS 予測情報を含んでいる。要求された QoS パラメータは、過去の履歴に基づき QoS 値によって変化する。

この QoS 予測方法は、図 5 に示す Yeh' のアルゴリズムに類似した方法を採用している。[4] QoS パラメータは、各パラメータと共に QoS 予測テーブルに格納されている。いま、過去 4 回の子測結果を用いて、パケット化されたデータセグメント毎の各子測結果を、QoS 予測結果状態情報として、QoS 予測テーブルに格納される。さらに、QoS 予測パターンとそれらの予測生起確率も同様に格納される。もし、QoS 予測が成立したとき、QoS 予測履歴バッファは、“1” を記録し、もし、QoS 予測が不成立のとき、QoS 予測履歴バッファは、“0” を記録する。

この QoS 予測パターンによって、予測生起確率が調べられ、検査結果が QoS マネージャを制御する予測情報ビットを生成する。この予測プロセスが完了すると、予測履歴と履歴パターンは、動的に更新される。

例えば、ユーザの QoS 要求値である遅延パラメータが “long” のとき、QoS 予測結果状態情報は、過去 4 回の子測結果履歴から、(00) となる。これは、高い確率で予測が不成立の状態を表す。

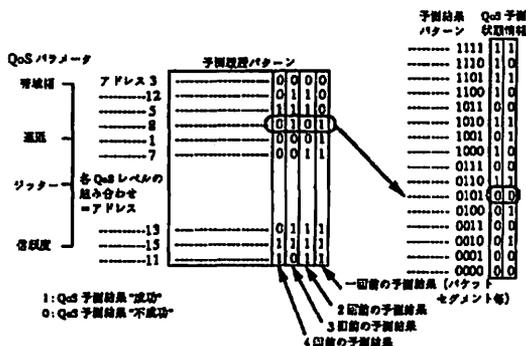


図 5 QoS 予測アルゴリズム

この QoS 予測結果状態情報の生起確率は、次の 4 つの状態で表される。

- (11): 高い確率で予測が成立
- (10): 低い確率で予測が成立
- (01): 低い確率で予測が不成立
- (00): 高い確率で予測が不成立

もし、QoS 予測結果状態情報が (11) または (10) のとき、ミドルウェア層の QoS 制御とトランスポート層のネットワーク・プロトコル・スタックを用いて、QoS パラメータに相当した最適なデータベースを選択するプロセスが開始される。もし、QoS 予測結果状態情報が (01) または (00) のとき、予測制御結果は、どのプロセスも実行されず、ユーザの QoS 要求値を下げることを要求する。この QoS 予測交渉が成立した後、交渉結果に基づいて、ネットワークのフロー制御を開始する。

これらの QoS 予測結果状態情報は、図 6 に示す QoS 状態遷移図にしたがって、何回か QoS 予測プロセスを繰り返した後、新しい QoS 予測結果状態情報に置き換える。この QoS 予測アルゴリズムは、短いプロセス時間で、“予測成立”か“予測不成立”かの事象が発生して、QoS 予測が可能となる有効な方法である。

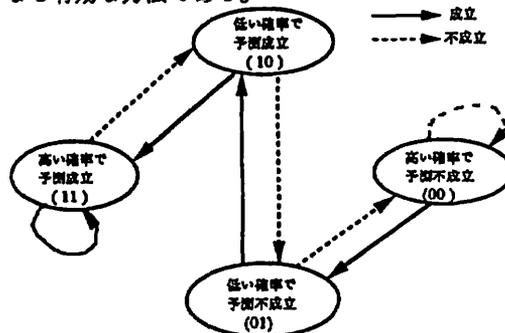


図 6 QoS 予測状態遷移図

図 7 に QoS 予測制御機構を示す。これは、一種のキャッシュに類似した機能をもっている。

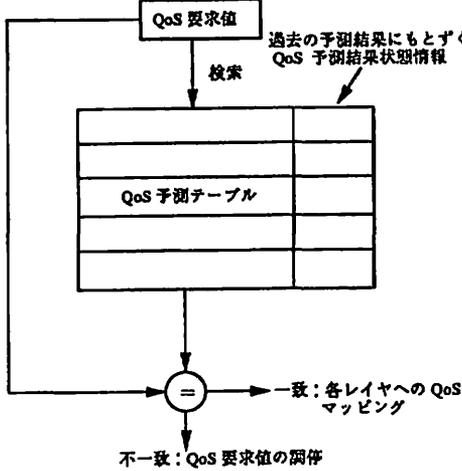


図 7 QoS 予測制御機構

QoS パラメータは、ユーザの QoS 要求値に相当した帯域幅、遅延、ジッタ、信頼度などの各レベルを組み合わせたアドレスを生成する。

この要求された QoS パラメータが QoS 予測テーブルの値と照合される。もし、要求した QoS パラメータが予測履歴パターンと一致したとき、QoS 予測は成立し、QoS 予測結果状態情報ビットが出力され、各レイヤの QoS マッピングを開始し、QoS 予測制御アーキテクチャにしたがって、ネットワークのフロー制御を行う。

もし、要求した QoS パラメータが QoS 予測履歴パターンと不一致のとき、ユーザの QoS 要求値とネットワークが提供できる QoS 値と交渉や再交渉を行って、QoS の適合性を実行する。この QoS テーブルの 2 番目の欄には、QoS パラメータが成立したか不成立であったかを記録し、QoS 予測プロセスの誤動作を少なくするように働く。

図 8 に、以上述べた QoS 予測アルゴリズムのフローチャートを示す。

ユーザからの QoS 要求値を QoS 予測テーブルへ送り、エントリーが QoS 予測バッファにあるかどうか調べ、もしあれば、QoS 予測制御機構により、一致、不一致の検定を実行し、その予測結果を出力する。もし、QoS 予測が成立すれば、QoS 予測は正確に実行され、待ち時間無く、QoS 予測制御プロセスを継続実行し、最適なデータベースを選定し、エンド・トゥ・エンドのマルチメディア通信を確立する。

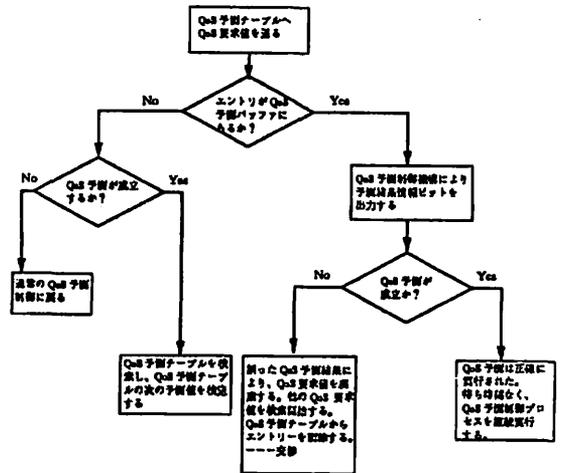


図 8 QoS 予測制御プロセスフローチャート

6. QoS 予測制御方式によるユーザ端末の構成

QoS 制御方式の設計では、ATM ネットワーク上の端末-ホスト間のマルチメディアデータを最適化するプロトコルの設計が必要である。[5]

ATM 網では、CBR (Constant Bit Rate), VBR (Variable Bit Rate) などのサービスクラスに対して、CAC (Call Admission Control), UPC (Usage Parameter Control) などの帯域管理方式が考えられているが、ビデオ、オーディオなどの連続メディア信号に対して、連続メディアのピークレートを予測することが困難であり、ネットワークでの平均セル到着率を常に監視することができない。

したがって、ネットワークの各種 QoS パラメータを ATM 網が動的に監視して、ユーザに QoS パラメータを提供して、ユーザが申告するネットワーク資源要求を契約したり、再交渉したりすることができない。

このため、ネットワークの各種パラメータにもとづいて、ユーザが自主的に QoS 予測制御する方針を採用する。その結果、具体的な QoS 予測制御方式を用いたユーザ端末の構成を図 9 に示す。

送信側では、ユーザインタフェースは、直接マルチメディア・インタフェースカードに接続され、マルチメディアデータを取り込み、デジタル化し、圧縮し、パケット化して、バッファメモリに格納する。

ユーザからのシグナリングは、デバイスドライバがユーザの指示を読める状態にするようにデータを送る。

マルチメディア・インタフェースのバッファメモ

りからのデータは、CPUによって読み出され、一定長のパケットセグメントに分割される。

その後、メインメモリのユーザバッファは、ネットワークの帯域幅に相当した可変長パケットにして、パケット化されたマルチメディアデータを格納する。

メインメモリのカーネルバッファは、プロトコルスタックを格納し、マルチメディアデータをコピーする計算量とCPUのQoS予測プロセスを実行するコスト予測結果を格納する。

この予測プロセスを実行した後、予測結果の出力ビットが得られる。

もし、予測が成立すると、プロセスは、前述したQoS予測制御プロセスのフローチャートにしたがって、次のステップに進む。

もし、予測が不成立のとき、QoS要求値は、前述したQoS予測遷移図にしたがって、調停される。次に、メインメモリ内のカーネルバッファは、ユーザバッファから、データをコピーする。

MPEG over ATMのプロトコルスタックによって、これらのデータは、ATMアダプタに供給される。

隣接するカーネルバッファは、次のデータをコピーし、QoS予測制御プロセスを実行した後、ATMアダプタに転送される。

最後に、データは、ATMアダプタのDMA (Direct Memory Access) 機能によって、デバイス制御バッファにコピーされる。

この結果、マルチメディア・デバイスの動作は、QoS予測結果の値を維持できるまで実行され、適合性を行う。

ここで、QoS予測が成立したときの全体のプロセスフローは、図9の点線に示すように実行される。

ユーザからのシグナリングを受信した後、マルチメディア・インタフェースボードは、端末にUDP/IPソケット接続によって、バッファに格納されたデータを送信する。

同様に、受信側では、マルチメディア・インタフェースボードは、ネットワーク・インタフェースからUDP/IPソケットを受信し、マルチメディア・インタフェース・バッファにデータを書き込む。

このとき、QoS予測機構による予測結果出力によって、送信側、受信側のデータの転送プロセス

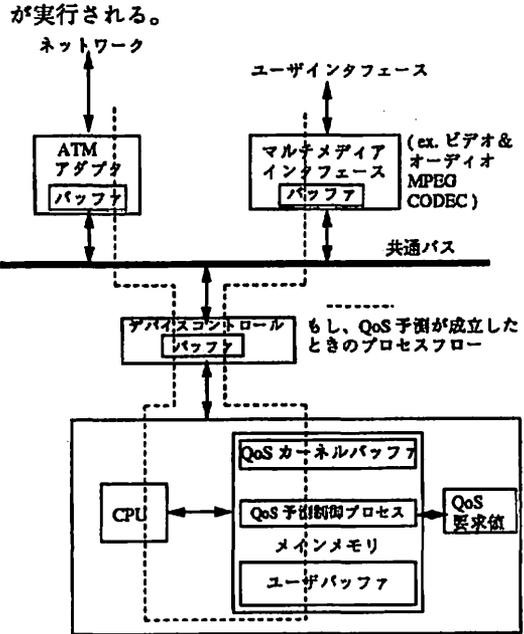


図9 QoS予測制御を含むユーザ端末の構成
このような動作により、ユーザのQoS要求にもと
づく、エンド・ツウ・エンドのマルチメディア・
ネットワークのデータパスが確立され、安定した
マルチメディア通信が行われる。

7. おわりに

以上、新しいQoS予測制御方式について詳細に検討した。特に、QoS予測テーブルの設計とそのアルゴリズムについて詳述した。

今後、本システムを実際に実装し、ATMLANに接続された複数台のワークステーションを用いて実験し、リアルタイムOS、特に、カーネル構造のOS変更を行って、QoS予測制御マネージャのAPIを構築し、MPEG2による圧縮データの伝送について検討する。

さらに、この方法を適用したアプリケーションとして、オン・デマンド・マルチメディア教育システムに適用し、輻輳したネットワークにおけるCPU資源のプロセス変化に対するQoS予測制御システムの評価を行う。

将来、マルチメディアデータを取り扱う適切なネットワーク・プロトコルが標準化されれば、分散マルチメディア・ネットワークは、ユーザのQoS要求値によって、完全な制御が行われるようになる。

文献：

[1] MMCF Draft. ARCH/REF/94-001.Rev.7.0, March 17, 1995

[2] K.Nhrstedt & J.Smith : "The QoS Broker" IEEE Multimedia, Spring 1995, pp.53-67

[3] 河内谷、徳田：" QoS チケットによる連続メディアの資源管理方式" 情報処理学会、シンポジウム、1995年12月

[4] T.Yeh & Y.N.Patt : "A Comparison of dynamic branch predictors that use two levels of branch history" Proc.20th Symposium on Computer Architecture, May 1993, pp.257-266

[5] D.Saha, etal.: "A Video Conferencing Test-bed on ATM : Design, Implementation and Optimizations" Proc. of IEEE ICMCS, May 1995, pp.23-30