

IP ネットワーク上での映像配信サービスを対象とした 利用者指向 QoS 制御手法の提案

加藤 由花[†] 佐々木 徹^{††} 箱崎 勝也[†]

本稿では、分散マルチメディアサービスの典型例である映像配信サービスを対象に、そのサービス品質 (Quality of Service: QoS) に対する利用者の満足度の向上を実現する、利用者指向 QoS 制御システムを提案する。特に、利用者のサービス品質に対する満足度の評価手法に着目し、以下の 3 種類の QoS 劣化検出手法を提案する。1 つ目は利用者自身が QoS 劣化を検出する手動検出方式、2 つ目は QoS パラメータの閾値を設定することによって、システムが自動で QoS 劣化を検出する自動検出方式、3 つ目はコストの概念を導入したこれら 2 つの方式のハイブリッド方式である。本稿ではさらに、映像配信サービスを実装した試作システムを構築し、提案した 3 種類の QoS 劣化検出方式に対する利用者の満足度を調べる評価実験を行う。その結果として、同一の劣化検出方式でも映像の種類によって満足度が変化すること、また本試作システムにおいては、自動検出方式が最も適していることを示す。また、様々な QoS 管理ポリシーに対して、自動劣化検出方式における QoS 制御に対する評価実験を行い、その結果として、利用者指向 QoS 制御システムは、様々なシステム環境の下でも、QoS 管理ポリシーに従った QoS 制御を可能にすることを示す。

A Proposal of User-oriented QoS Control Methods for Video Transport Services in IP Networks

YUKA KATO,[†] TORU SASAKI^{††} and KATSUYA HAKOZAKI[†]

This paper proposes the user-oriented QoS (Quality of Service) control system for distributed multimedia services, which targets are improving user satisfaction of the QoS. In particular, we focus on video transport services in IP networks, and the method evaluating the user satisfaction. In this paper, we propose the following three types of methods detecting QoS degradation. First is the manual method that system users detect QoS degradation. Second is the automatic method that the system detects QoS degradation using thresholds of the QoS parameters. Third is the hybrid method of these two methods. Moreover, we develop a prototype system of a video transport system, and evaluate the user satisfaction of these detection methods by using the prototype system. As the experimental results, we show that the user satisfaction varies according to the video contents in spite of using the same detection method, and the manual method is suitable for the prototype system. In addition, we conduct the experiment evaluating QoS control methods for various QoS management policies. As a result, we show that the user-oriented QoS control system makes it possible to control the QoS according to QoS management policies under various system conditions.

1. はじめに

近年、インターネットの普及とともにネットワークのブロードバンド化が急速に進んでいる。その結果、これまでは困難であった、高品質の映像や音声といった大容量データをインターネット上でやりとりすることが可能となり、マルチメディア通信が当たり前に行

われるようになってきた。さらに、次世代インターネットの通信方式として実用化が進められている Internet Protocol version 6 (IPv6¹⁾) では、1 対多の通信を実現するマルチキャスト機能が標準でサポートされており、マルチメディア通信の典型的なサービスである映像配信サービスの本格的な導入が期待されている。しかし、映像配信サービスの実現には、インターネット上での映像の配信方法の実現だけでなく、システム状況や利用者の要求に応じて、適切にサービス品質の制御を行うためのシステム管理手法の確立が必要である。

ここで、IP ネットワーク上で映像配信を行う場合には、以下の 3 つの問題点がある。1 つは、映像配信

[†] 電気通信大学大学院情報システム学研究所
Graduate School of Information Systems, University of
Electro-Communications

^{††} 株式会社リコー

Ricoh Company, Ltd.

サービスでは一般にサービスの提供に広帯域のネットワークが必要であるため、十分な帯域が得られずに利用者に提供されるサービス品質が劣化する事象が多く発生すること、2つ目は、広帯域を必要とするため、同一システム上に実装される他のアプリケーションのサービス品質を著しく劣化させる危険性があること、そして3つ目は、映像配信サービスのサービス品質に対する利用者の満足度は、システム環境、利用者の特性などによって大きく異なるため、単純に映像品質を向上させる制御が利用者の満足度の向上につながるには限らないことである。つまり、利用者に提供されるサービス品質 (Quality of Service: QoS) を適切に制御し、他のアプリケーションとの間で QoS 要求に対する調整をとりながらシステムを運用していく必要がある。ここで、利用者に提供されるサービス品質とは、映像の画質など、利用者が実際に体感するアプリケーションレベルの QoS である。一般に QoS という言葉は様々な意味に用いられるが、ネットワーク上でのパケット損失率やパケット転送遅延時間など、ネットワークレベルの QoS を指す場合が多い。本稿では、これらの QoS をそれぞれ、アプリケーション QoS、ネットワーク QoS と呼び、区別して扱う。

さて、ここまで述べてきたように、IP ネットワーク上で映像配信サービスを実現するためには、いくつかの問題を解決する必要がある、これまでもこれらの解決を目指して、様々な研究開発が行われてきた。たとえば、VOD (Video on Demand) サービスにおいてエンドツーエンド QoS をネットワーク QoS ヘマッピングするためのアプローチを提示し、ネットワーク QoS を制御することによってビデオサービスのアプリケーション QoS の維持を目指した研究²⁾ や、遠隔講義を対象にして、講義状況に応じて適切な映像を送信するための映像選択を自動化する手法の提案³⁾ などが行われている。また、ビデオデータを階層的にマルチキャストすることにより、ネットワーク状況に応じた適応的なビデオ転送を実現するサーバなどが製品として実用化されている⁴⁾。しかし、これらの研究では、他のアプリケーションとの協調に関する考察が行われていないことや、利用者の満足度を制御に反映させることが難しいという問題が残る。

本稿では、これらの問題の解決を目指して、IP ネットワーク上での映像配信サービスを対象とした、「利用者指向 QoS 制御システム」の提案を行う。具体的には、以下の3点を研究の目的とする。1つは、QoS 制御の実現方法を明らかにすることである。映像配信サービスは資源の不足から QoS 劣化が生じる可能性

が高いため、そのような場合の制御方法を明らかにする。2つ目は、QoS 管理ポリシーの設定方法を明らかにすることである。広帯域を使用する映像配信サービスでは、他のアプリケーションの品質への影響が問題となる。そこで、システムに QoS 管理ポリシーを設定することによってシステム内のアプリケーションを管理し、QoS 交渉を実現することによってポリシーに従った制御を実現する。そのために必要となる QoS 管理ポリシーの設定方法を明らかにする。3つ目は、QoS 劣化検出手法を明らかにすることである。映像配信サービスではシステム環境に依存する利用者の満足度をどのように評価するかという問題の解決が非常に重要である。そのため、アプリケーション QoS 劣化の検出手法を明らかにする必要がある。これにより、利用者の立場からみた QoS 劣化に対する制御を実現する。

さて、これらの目的を達成するため、本システムの構築には、アプリケーション QoS 管理システム (Application QoS Management System: QMS)⁵⁾ を利用することとした。QMS は IP ネットワーク環境を対象に、分散マルチメディアアプリケーションのサービス品質を適応的に制御することを目的に設計されており、ネットワークレベルとアプリケーションレベルの制御を組み合わせることにより、システム全体としてのアプリケーション QoS の向上を図っている。

以下、2章において本システムが利用する QMS の概要を説明した後、本稿で提案する利用者指向 QoS 制御システムについて3章で述べる。また、開発した実験システムを利用して実装評価実験を行ったので、4章でその結果を示す。最後に5章で本稿をまとめる。

2. アプリケーション QoS 管理システム

本稿で提案する利用者指向 QoS 制御システムでは、アプリケーション QoS 制御の枠組として QMS を利用する。本章ではこの QMS について説明する。

2.1 システムの概要

QMS は、分散マルチメディアシステム環境を対象に、システムの利用者が体感するアプリケーション QoS の制御を実現するシステムである。QMS の管理対象は、同一のシステム運用ポリシーに基づいて管理されるある IP ネットワークと定義され、管理者によるアプリケーション QoS 管理業務を支援する。QMS の設計コンセプトは以下の3点である：(i) アプリケーション QoS を制御対象とする；(ii) フィードバック型の簡易な制御を行う；(iii) 複数アプリケーション間での QoS 交渉を実現する。これらのコンセプトを実

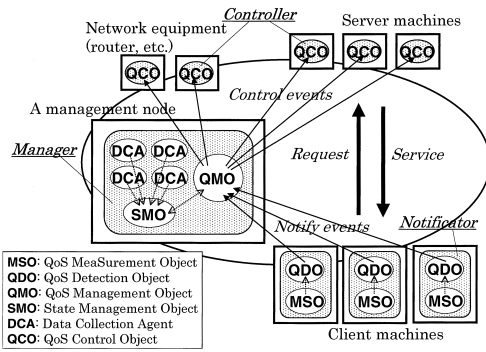


図 1 QMS のシステムの構成
 Fig.1 System architecture of QMS.

現するため、図 1 に示した 3 種類のモジュールから成る QMS のシステム構成を設計した。QMS では、分散オブジェクト環境上に実装されるこれらモジュール間の通信によって、アプリケーション QoS の制御を実現する。以下に各モジュールの機能を説明する。

2.1.1 Notificator モジュール

本モジュールは、システムの利用者に提供されるサービスの品質を監視、測定し、利用者の満足度を適切に判断するモジュールである。そのため、利用者とアプリケーションのインターフェースであるクライアント計算機上に実装される。QoS パラメータの測定を行う QoS Measurement Object (MSO) と、QoS 劣化を検出する QoS Detection Object (QDO) の 2 種類のオブジェクトから成る。QDO は劣化の検出結果を Manager モジュールに通知する。

2.1.2 Manager モジュール

本モジュールは、管理対象に実装されるすべてのアプリケーションの QoS 管理ポリシーを保持し、システム状態を監視することによって、適切な制御方法を決定するモジュールである。管理用計算機上に実装し、QoS の制御方法を決定する。管理ポリシーを基に制御方法を決定する QoS Management Object (QMO)、各種性能データを収集する Data Collection Agent (DCA)、収集したデータを蓄積する State Management Object (SMO) の 3 種類のオブジェクトから成る。

2.1.3 Controller モジュール

本モジュールは、Manager モジュールから依頼された制御を実際に行うモジュールであり、制御を実施する QoS Control Object (QCO) から成る。QCO はサーバ計算機やネットワーク装置に実装される。

2.2 QMS における QoS 制御

QMS はオブジェクト間の通信によってアプリケーション QoS の制御を実現するが、これは QMS に設

定されたアプリケーション QoS 管理ポリシーに従って行われる。本節ではこの管理ポリシーの設定方法を説明する。まず、システムの管理者は各アプリケーションの QoS 管理ポリシーを決定しこれを QMS に設定するが、この設定はネットワークレベルの制御の優先順位決定およびアプリケーションレベルの制御方法決定の 2 段階で行われる。ネットワークレベルの制御はネットワーク QoS を保証するための制御で、複数アプリケーション間の QoS 交渉を実現する。これにアプリケーションレベルの制御を組み合わせることにより、アプリケーション QoS の維持を目指す。

2.2.1 ネットワークレベルの制御

(1) 制御方法

ネットワークレベルの制御では、インターネットにおけるエンドツーエンドサービス品質として規定される 4 種類のデータ⁶⁾ (スループット、IP データグラムの遅延、遅延ゆらぎ、損失) を制御対象とする。スループットを保証するためには、RSVP (Resource reservation Protocol) などを利用してエンドツーエンドの転送帯域を保証し、遅延を防ぐためには、ルータなどのネットワーク装置上でバッファのキュー管理を行う。また遅延ゆらぎを防ぐためには、ネットワーク装置上でトラフィックシェーピングを行い、損失を防ぐためには、ネットワーク装置上でパケット廃棄の優先度を設定する。ネットワークレベルの制御では、アプリケーションごとにこれら 4 種類の制御の優先順位を決定するが、この順位はアプリケーションのトラフィック特性に従って QMS が自動で決定する。この優先順位が、ネットワークレベルの QoS 管理ポリシーになる。

(2) QoS 管理ポリシーの決定

QMS は、トラフィック特性によって分類されたクラスごとに、4 種類の制御の優先順位を決定する規則を持っている。これに従ってアプリケーションごとの制御の優先順位を決定し、QoS 管理ポリシーとして QMS に保持する。ここで、マルチメディアサービスにおけるトラフィック特性は、トラフィックの種類と応答時間に対する要求によって分類されるので⁸⁾、QMS ではこの分類に従ってアプリケーションをクラス分けした。トラフィックの種類としては、静止画などの Block 型、映像などの Stream 型、コマンドなどの Transaction 型の 3 種類、応答時間に対する要求としては、電話などの Real-Time 型、WWW などの Quasi-Real-Time 型、e-mail などの Non-Real-Time 型の 3 種類に分類する。

このように分類されたアプリケーションに対し、表 1

表 1 QoS 管理ポリシーを決定する規則
Table 1 The rule setting QoS management policies.

分類	スループット	遅延防止	ゆらぎ防止	損失防止
B-RT	2	1	2	2
S-RT	1	1	1	1
T-RT	-	1	-	5
B-QRT	-	2	-	3
T-QRT	-	2	-	5
B-NRT	-	3	-	4
T-NRT	-	3	-	5

に示す規則に従って 4 種類の制御の優先順位を決定する(ただし、これらはデフォルトの優先順位であり、管理者は状況に応じてこれらの順位を変更することが可能である)。ここで、S-NRT 型と S-QRT 型に該当するアプリケーションは存在しないので、これらを除く 7 種類の分類に対して優先順位を決定した。表 1 の各要素は、数字が小さいほど制御の優先順位が高いことを意味する。ここで決定した優先順位は、QMS がネットワーク装置に実装可能な形式に変換し、設定する。

2.2.2 アプリケーションレベルの制御

QMS における QoS 制御は、フィードバック型の簡易な制御であるため、アプリケーションレベルの制御として、準リアルタイムで変更可能な要素を対象とした以下の 4 種類の制御を行う。

- サービスレベルの変更: 映像の送出帯域の変更など。
- 負荷分散: 複数サーバ間での負荷分散。
- エラー訂正: 冗長パケットによるエラー検出など。
- 提供サービスの変更: 動画を静止画に変更するなど。

3. 利用者指向 QoS 制御システム

本稿では、前章で述べた QMS を利用し、映像配信サービスを対象とした利用者指向 QoS 制御システムを提案する。本章ではこのシステムについて説明する。

3.1 システムの構成

本システムではアプリケーション QoS 制御の枠組みとして QMS を利用したため、QMS を構成する各オブジェクトを以下のように設計した。まず、MSO において映像配信サービスにおけるアプリケーション QoS パラメータを測定し、そのデータを QDO に送信する。QDO では QoS の劣化を検出し、劣化イベントを QMO へ通知する。QMO はその内容に従って制御方法を決定し、QCO に制御を依頼する。ここでのアプリケーション QoS は「映像の品質」と定義した。さて、本稿で提案する QoS 制御システムは一般的

映像配信サービスを対象としているが、以下では特定の試作システムを取り上げ、そのシステム上での QoS 制御手法について述べる。これは、提案するシステムの具体的な実装方法を明らかにするためであり、同様の実装方法によって他の映像配信サービスへの本手法の適用が可能であると考えられるためである。試作システムとしては、映像配信を行うアプリケーションとして DVTS (Digital Video Transport System)⁹⁾ を利用したシステムを開発し、その上に提案する QoS 制御システムを実装することによって、システムの実現手段を明らかにした。DVTS は WIDE プロジェクト¹⁰⁾ によって開発された映像転送システムで、市販のデジタルビデオカメラで撮影したビデオデータ (DV 方式) を IEEE1394 を利用して PC に取り込み、そのデータを IP パケットにカプセル化することによって、イーサネット経由で受信側の PC に送信するシステムである。以下に QMS の各モジュールの実装方法を述べる。

3.2 Notificator モジュールの実装

QMS では、QoS 劣化を検出する機能は *Notificator* モジュールに実装する。ここで問題となるのは、システム環境や利用者の特性によって様々に変化する、利用者のサービス品質に対する満足度をどのように評価するか、ということである。特に映像配信サービスでは、その品質が利用者の視覚、聴覚に従うため、客観的な評価が困難である。本稿ではこの問題の解決を目指し、以下の 3 種類の QoS 劣化検出手法を提案する。

- (1) 手動検出方式: 利用者自身がサービスに対する満足度を評価し、クライアント計算機上の QoS 評価用画面を用いて、システムに劣化の発生を通知する。
- (2) 自動検出方式: QoS パラメータの閾値を利用し、システムが自動で QoS の劣化を検出する。
- (3) ハイブリッド方式: 上記 2 方式のハイブリッド方式であり、劣化の検出はシステムが自動で行うが、制御を行うかどうかは利用者が判断する。

このうちのどの方式を採用するかは、利用者の特性、システム環境などに依存する。本システムでは 3 種類の方式を用意しておき、管理者がシステム状態に応じて適切な方式を実装することとした。以下にそれぞれの方式の試作システム上での実装方法を述べる。

3.2.1 手動検出方式

実装した QoS 評価用画面を図 2 に示す。本システムでは、この画面上で DVTS において変更可能なパラメータを直接指定することにより、劣化の通知と制御を実現する。変更可能なパラメータは、フレームレート、受信バッファサイズ、ストリームの種類 (音声 +



図 2 QoS 評価用画面

Fig. 2 The window for QoS evaluation.

映像/映像のみ/音声のみ)の3種類である。システムの利用者は、この機能によって、システム状況や映像の内容に応じて、満足する品質の選択が可能になる。

3.2.2 自動検出方式

本方式では、利用者のサービス品質に対する満足度がある QoS パラメータで表現し、その QoS パラメータの閾値を決定することによって、QMS が自動で QoS の劣化を検出する。以下に閾値の決定方法を述べる。

(1) QoS パラメータの提案

一般に、デジタル映像の品質はパケットの損失によって大きく劣化するといわれている。そこで、画像の劣化度合いとネットワークにおけるパケット損失率の関係を調べた。具体的には、試作システムにおいて、映像の送出帯域を変化させたときのパケット損失率を測定するとともに、それぞれの状態においてサンプル画像をとり、画質の劣化度合いを調べた。実験映像としては、以下に示す3種類の映像を利用した。

- スポーツ：全体的な動き（動面積：約 100%）
- ディスカッション：少ない動き（動面積：約 50%）
- アニメーション：色数が少ない（動面積：約 100%）

本実験では、映像の送出帯域を 3~30 Mbps に変化させ、同一場面における様々な劣化画像を取得した。そして、各々の画像を 600（縦 20，横 30）のブロックに分け、劣化しているブロック数を数えることにより画像劣化率を求めた。画像劣化率とパケット損失率の関係を図 3 に示す。これらの結果から、画像の劣化度合いはパケット損失率と良い相関関係にあることが分かる。そのため、パケット損失率を本手法における QoS パラメータとして採用し、画像の劣化をどの程度許容するかによって QoS パラメータの閾値を決定することにした。

(2) QoS パラメータの閾値の決定

次に、システムの利用者が許容できる画像劣化率を調

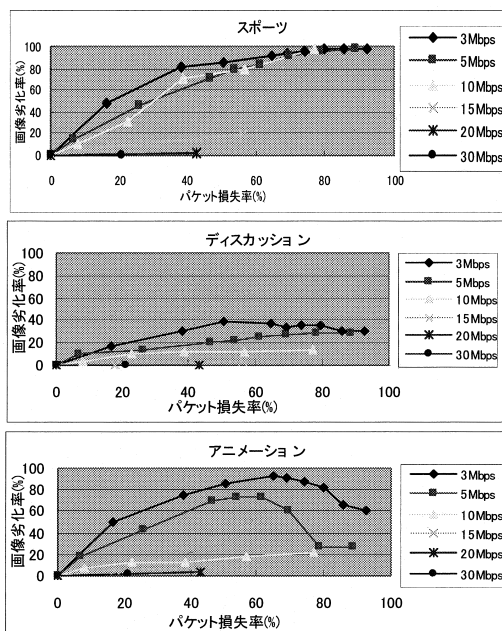


図 3 画像劣化率とパケット損失率の関係

Fig. 3 The relation between the degradation ratio of video quality and the packet loss ratio.

べることによって、QoS パラメータの閾値を決定する。そのため、劣化画像に対して主観評価実験を行った。ここで、画質の主観評価法には様々な方法があり、主観評価全体に関する勧告も ITU-R によって行われている¹¹⁾。本稿では、測定法として推奨され、最も広く用いられている二重刺激妨害尺度法 (Double-Stimulus Impairment Scale Method: DSIS 法) を用いて評価を行うこととした。DSIS 法は、劣化した画像を基準画像と比較することにより劣化程度の評価を行う方法である。まず基準画像を 10 秒提示し、3 秒の間隔をあけた後に劣化したテスト画像を 10 秒提示し、5 段階評価尺度 (5: 劣化が分からない/4: 分かるが気にならない/3: 気になるが邪魔にならない/2: 邪魔になる/1: 非常に邪魔になる) を用いてテスト画像の評価を行う。この作業をテスト画像すべてについて行う。

本実験では、評定者として評価経験のない非専門家の男性 13 名、女性 2 名に協力してもらい、劣化画像 30 枚の評価を行った。実験は 15 インチ液晶ディスプレイを用い、4H (H: 画面の高さ) の視距離で行った。評価結果を図 4 に示す。この結果より、得られた主観評価結果は、客観評価による画像劣化率と良い相関関係にあることが分かった。したがって、ある主観評価値が劣化を許容できる限界値であるとき、その値に対応する画像劣化率を、利用者が許容できる画像劣化率と見なすことができる。今回の実験の場合、たとえば

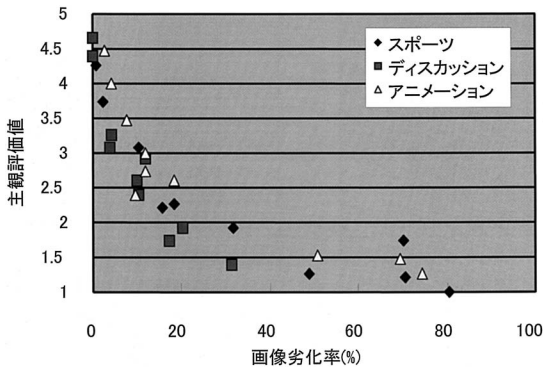


図 4 主観評価実験の結果

Fig. 4 The result of the subjective evaluation.

主観評価値が 3 以上の場合に劣化を許容できると考えると、それに対応する画像劣化率は約 10%である。その結果、本手法における QoS パラメータ (パケット損失率) の閾値は、スポーツとアニメーションでは約 4%、ディスカッションでは約 10%と決定できる。

3.2.3 ハイブリッド方式

これまで述べた 2 つの方式は、実装上の問題は存在しないが、運用上の問題をかかえている。まず手動検出方式では、利用者が必要以上に良いサービス品質を要求し続ける可能性が高いことがある。一方自動検出方式では、システム状態や利用者の特性によっては、利用者の満足度を高める制御が行われない可能性がある。これらの問題を解決する 1 つの方法として、本システムではハイブリッド方式の実装を行った。本方式では、QoS パラメータの閾値によって QoS 劣化を自動で検出するが、制御の実施にコストがかかる仕組みを構築しておき、制御を行うかどうかの判断はシステムの利用者に行わせる。その結果、利用者が必要以上に高い品質を要求する事象を回避するとともに、利用者がコストに見合った制御を選択することで、利用者の満足度をある程度制御に反映させる。

試作システムの実装に際しては、コストの決定方法として、サービスレベル (ここでは映像の送出帯域) を上げる場合にサービスレベル向上コストがかかることとした。コストの算出は帯域の使用率を基に行った。実装したコストを提示するための画面を図 5 に示す。システムの利用者はリストの中からサービスレベルを選択し、提示されたコストを払うことによってサービスレベルを変更する。

3.3 Manager モジュールの実装

試作システムでは、劣化検出方法ごとに制御内容決定アルゴリズムを実装した。手動検出方式では、利用者が指定したパラメータを制御内容と見なし、Con-

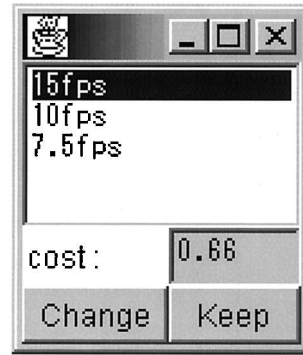


図 5 コスト画面の例

Fig. 5 An example of the window selecting a cost.

troller モジュールに通知する。自動検出方式では、劣化通知を受けるたびに、送出帯域を初期値から 1/2, 1/3, 1/4... という割合で低下させるよう Controller モジュールに依頼する。ハイブリッド方式では、現在の帯域の使用率を基にサービスレベル変更コストを計算し Notificator モジュールに通知するとともに、変更依頼の内容を Controller モジュールに通知する。

また、試作システムでは映像配信サービスのみを実装しているが、QMS ではネットワークレベルの制御によって、複数アプリケーション間の QoS 交渉機能が提供されている。そのため、この機能を利用して、他のアプリケーションとの処理の優先順位の設定や、クライアントごとの優先度の設定なども可能になっている。

3.4 Controller モジュールの実装

試作システムでは、DVTS における DV 転送プログラム「dvsend」のパラメータを制御することによって、Controller モジュールにおける制御を実現した。実装した機能は、dvsend で制御可能な、送出帯域の変更、ストリームの種類の変更、バッファサイズの変更である。具体的には、QCO は QMO からクライアントの QoS 要求を受け取ると、その QoS を dvsend のパラメータに変換して dvsend を実行し、指定されたクライアントへ DV の転送を開始するという処理を行う。

4. 評価実験

本稿では、実装した 3 種類の QoS 劣化検出方式に対して利用者の満足度を検証する実験、および提案したシステムによって管理ポリシーに従った制御が実現することを検証する実験を行った。以下に結果を示す。

4.1 試作システムの構成

試作システムの構成を図 6 に示す。本システムは、

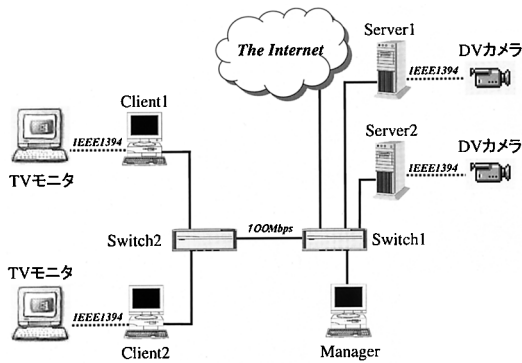


図 6 試作システムの構成

Fig. 6 System architecture of the prototype system.

表 2 各計算機の仕様

Table 2 Machine specification.

計算機名	CPU (メモリ)	OS
Server1	PentiumIII 1 GHz (256 M)	FreeBSD4.0
Server2	PentiumIII 1 GHz (256 M)	FreeBSD4.0
Client1	PentiumII 400 MHz (256 M)	FreeBSD3.4
Client2	PentiumIII 1 GHz (256 M)	FreeBSD4.0
Manager	PentiumIII 750 MHz (256 M)	Win2000

2 台のレイヤ 3 スイッチで接続された 2 つのネットワークから構成され、2 台のクライアント計算機、2 台のサーバ計算機、1 台の管理用計算機が図 6 のように接続されている。ネットワークはすべて 100 Mbps のイーサネットである。QMS の各オブジェクトの実装には Java 言語を用い、オブジェクト間の通信には Java RMI を利用した。各計算機の仕様を表 2 に示す。

4.2 利用者の満足度の評価

本システムにおける制御の目的は、利用者に対して提供されるサービス品質の向上である。そこで、3 種類の劣化検出手法を実際に利用者に体験してもらい、実験後にアンケートをとることによって、QoS 劣化の検出と制御についての満足度を調べた。

4.2.1 実験の方法

実験では、3.2.2 項で利用した 3 種類の映像を用い、バックグラウンドに適当なトラフィックを流すことによって視聴映像の品質を劣化させる。そのとき被験者に、映像を見ながら QoS 評価用画面を自由に操作してもらい、また、自動検出方式とハイブリッド方式では、バックグラウンドに適当なトラフィックを流すことによって映像品質を変化させ、制御が実行される状態を作り、品質に対する満足度や操作性に関するアンケートを行った。被験者は 20 代の男性 5 名である。

4.2.2 実験の結果

アンケートの結果の一部を以下に示す。

(1) 手動検出方式に対する意見

- つねに調整が気になって映像に集中できない。
- 操作は面倒だが自分で選択した品質には納得する。
- スクロールバーは操作しにくい。ボタンが良い。
- 映像の内容によって制御方法は変えた方がよい。

(2) 自動検出方式に対する意見

- 劣化に対する反応が遅くていららする。
- 自動で変更された映像の品質には満足している。
- 映像の内容によって制御周期を変えた方がよい。

(3) ハイブリッド方式に対する意見

- 操作が面倒なのに結果が良いとは限らない。
- 中途半端で利用する気になれない。
- 映像の内容によってコストの重みを変えるべきだ。

4.2.3 考察

アンケートの結果から、制御を行う場合、動きの激しさだけではなく映像の内容を考慮し、内容に応じた閾値を設定する必要があることが分かった。これは、今回の実験で DVTS を利用したこと依存しない事象であり、映像配信サービスにおいて QoS 制御を行う場合に考慮すべき事項である。さらに、映像に集中するためには、システムが自動で劣化を検出する方式が望ましく、手動の作業が介在することに対するわずらわしさを感じる利用者が多かった。これは、今回実装したインタフェースに依存する可能性が高く、今後インタフェースの改良が必要になってくる。また、できる限り手動介入を必要としないシステムが望まれる。ただし、利用者の要求をできるだけ制御に反映させるためには、システムと利用者とのインタラクションが重要である。そのため、今回実装したコストの導入方法は多くの作業量が要求され適切ではなかったが、何らかの形でコストの考え方を導入していく必要がある。たとえば、あらかじめ許容可能なコストをサービスプロバイダに通知しておき、それを超えない限りはサービス品質を向上させる制御などが考えられる。

4.3 利用者指向 QoS 制御システムの評価

前節の結果から、QoS 劣化の検出方式として自動検出方式を採用し、利用者指向 QoS 制御システムの検証実験を行った。本実験では、自動検出がうまく働き、QoS 管理ポリシーに従ったシステム運用が可能になることを示すため、サーバ計算機、クライアント計算機ともに 4 台ずつに増やして実験を行った。

4.3.1 実験の方法と結果

試作システムでは、4 台のサーバ計算機から 4 台のクライアント計算機へ映像データが配信されるため、4 つのフローが同一ネットワーク上を流れることになる。ここで、Switch1 と Switch2 の間の帯域を

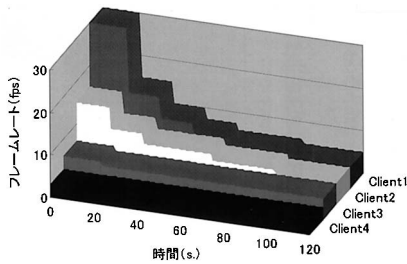


図 7 シナリオ 1 におけるフレームレートの時系列

Fig. 7 Video transmission rate of each server (Scenario 1).

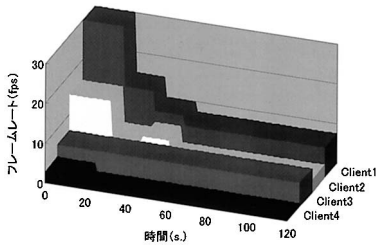


図 8 シナリオ 2 におけるフレームレートの時系列

Fig. 8 Video transmission rate of each server (Scenario 2).

40 Mbps に固定し, Server1 から Client1 へ, Server2 から Client2 へ, Server3 から Client3 へ, Server4 から Client4 へ映像データの送出を行った。実験では, クライアント計算機ごとに優先度を設定し, 以下の 2 種類のシナリオに対して, サーバ計算機からの送出帯域 (フレームレート) の時系列を測定した。

- シナリオ 1: 全クライアントの優先度を等しくする。
- シナリオ 2: 全クライアントに異なる優先度を設定。

サーバ計算機からの送出帯域の初期値は, シナリオ 1, シナリオ 2 ともに共通で, Server1 が 30 fps, Server2 が 15 fps, Server3 が 6 fps, Server4 が 3 fps である。ここで 1 fps は約 1 Mbps の送出帯域に相当する。また, シナリオ 2 におけるクライアントの優先度は, Client3 の優先度が一番高く, 以下, Client1, Client4, Client2 の順に優先度を低くしていった。制御方法としては, *Notificator* モジュールが劣化を検出したとき, 優先度が低い順番に送出帯域を下げる制御を行う。今回, 送出帯域を下げる制御のみを実装し, 劣化が回復した場合に帯域を上げる制御の実装は行わなかった。また管理用計算機における制御の周期は 15 秒とした。フレームレートの時系列を図 7, 図 8 に示す。

4.3.2 考察

すべてのクライアント計算機に対して制御の優先順位を等しくしたシナリオ 1 では, フレームレートは初期値からある一定の値へと推移し, ポリシーどおり

の制御が行われていることが分かる。また, フレームレートの初期値が高いクライアントでは, はじめのうちはパケット損失が多く発生するが, 制御によって損失が急激に減少し, システム全体でアプリケーション QoS が向上し, ポリシーに従った平等な制御が実現していることが分かる。

次に, すべてのクライアント計算機に異なる優先順位を設定したシナリオ 2 では, システム全体がふくそう状態にある場合に, 優先順位に従ってフレームレートが減少し, あるフレームレートへ推移していることが分かる。今回の制御では帯域に余裕がある場合にフレームレートを上げる制御を行っていないため, 50 秒前後でふくそう状態が解消した後に, 優先順位が一番高い Client3 の送出帯域は増加していない。しかしこの場合でも, 不必要なレートの増加を行わず, QoS の維持 (この場合は損失が発生しないこと) によってポリシーが満足されていると考えるべきであろう。

つまり, 本システムによってフローごとに設定された優先度に従った制御が実現していることが分かった。このとき, フロー開始時の初期フレームレートの値によらない制御が行われており, 様々なシステム環境下で適切な制御が行われている。利用者満足度の評価実験の結果から, 映像のコンテンツに応じた制御の必要性が確認されたが, 本実験のようにフローごとに QoS 管理ポリシーを設定することによって, この問題を解決可能である。たとえば, 映像のコンテンツや利用者の要求に応じて優先度の変更を行うことで利用者の満足度を高めることが可能となる。

5. まとめ

本稿では, 分散マルチメディアサービスの典型例である映像配信サービスを対象に, そのサービス品質に対する利用者の満足度の向上を目指して, 利用者指向 QoS 制御システムの提案を行った。ここではまず, 利用者のサービス品質に対する満足度の評価手法に着目し, 以下の 3 種類の QoS 劣化検出手法の提案を行った。1 つ目は利用者自身が QoS 劣化を検出する手動検出方式, 2 つ目はあらかじめ設定しておいた QoS パラメータの閾値を利用して, システムが自動で QoS 劣化を検出する自動検出方式, 3 つ目はコストの概念を導入したこれら 2 つの方式のハイブリッド方式である。本稿ではさらに, 映像配信サービスとして DVTS を利用した試作システムを構築し, 提案した 3 種類の QoS 劣化検出手法に対する利用者の満足度を調べる評価実験を行った。その結果, 同一の劣化検出方式でも映像の種類によって満足度が変化すること, また本

試作システムにおいては、自動検出方式が最も適していることが分かった。そこで2種類のQoS管理ポリシーに対して、自動劣化検出方式におけるQoS制御に対する評価実験を行った。その結果、利用者指向QoS制御システムは、様々なシステム環境の下でも、QoS管理ポリシーに従ったQoS制御を可能とすることが分かった。ただし、今後利用者の満足度をさらに高め、より一般的な環境に本手法を適用していくためにはいくつかの問題を解決する必要がある。本稿の最後に、これらを今後の課題としてまとめておく。まず、様々なアプリケーションへの対応である。本研究の目的の1つは、複数アプリケーション間でQoS交渉を実現し、管理ポリシーに従った制御を行うことである。本稿ではアプリケーションとして、DV転送サービスのみを実装し、実験では複数のフローにそれぞれ優先度をつけることによってQoS交渉の評価を行った。今後、この試作システム上に様々なアプリケーションを実装し、異なるアプリケーション間でのQoS交渉の結果について評価を行う予定である。また、今回行ったアンケートの結果に基づいて、インタフェースの簡易化、コスト導入方法の再考など、システムの改良を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) Deering, S. and Hinden, R.: *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*, IETF RFC1883 (1995).
- 2) Zamora, J., Jacobs, S., Eleftheriadis, A., Chang, S.F. and Anastassiou, D.: A practical methodology for guaranteeing quality of service for video-on-demand, *IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology.*, Vol.10, No.1, pp.166-178 (2000).
- 3) 先山卓郎, 大野直樹, 椋木雅之, 池田克夫: 遠隔講義における講義状況に応じた送信映像選択, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J84-D-II, No.2, pp.248-257 (2001).
- 4) KDDテクノロジー: 階層型ビデオマルチキャスト (1998).
- 5) 加藤由花, 佐々木徹, 箱崎勝也: 分散マルチメディアシステムにおけるアプリケーション QoS 管理手法の提案とその実装, *情報処理学会論文誌*, Vol.42, No.12, pp.2941-2951 (2001).
- 6) Paxson, V.: Towards a framework for defining Internet performance metrics, *Proc. INET'96*, p.3 (1996).
- 7) Braden, R., Zhang, L., Berson, S., Herzog, S. and Jamin, S.: *Resource reSerVation Protocol (RSVP)*, IETF RFC2205 (1997).
- 8) 間瀬憲一: マルチメディアネットワークとコミュニケーション品質 (社)電子情報通信学会(編), コロナ社 (1998).
- 9) Ogawa, A., Kobayashi, K., Sugiura, K., Nakamura, O. and Murai, J.: Design and implementation of DV based video over RTP, *Proc. Packet Video 2000* (2000).
- 10) WIDE プロジェクト: <http://www.wide.ad.jp>
- 11) ITU-R: *Methodology for subjective assessment of the quality of television pictures*, Recommendation ITU-R BT. 500-8 (1998).

(平成 14 年 6 月 26 日受付)

(平成 14 年 11 月 5 日採録)



加藤 由花 (正会員)

1989年東京大学理学部卒業。同年日本電信電話(株)入社。ATM網のトラフィック制御に関する研究, 双方向マルチメディアシステムの研究開発に従事。1999年電気通信大学院情報システム学研究科博士前期課程修了。2002年同後期課程修了。現在, 同助手。博士(工学)。分散マルチメディアシステムにおけるQoS制御手法, 利用者指向QoS等の研究に従事。電子情報通信学会, IEEE-CS各会員。



佐々木 徹

2000年電気通信大学電気通信学部情報工学科卒業。2002年同大学院情報システム学研究科博士前期課程修了。現在(株)リコー画像システム事業本部勤務。在学中, QoSの制御手法に関する研究に従事。



箱崎 勝也 (正会員)

1941年生。1963年九州大学工学部電子工学科卒業。同年日本電気(株)入社。中央研究所, ソフトウェア開発グループにおいて, システム性能評価, コンピュータアーキテクチャ, OS, ネットワークの相互接続性等の研究開発に従事。1994年から電気通信大学院情報システム学研究科教授。工学博士。分散システム技術, マルチメディア利用技術, モバイルコミュニケーション, 情報システムアーキテクチャ等の研究に従事。情報処理学会論文賞受賞(1982)。分散システム運用技術研究会主査。電子情報通信学会, IEEE, ACM各会員。