

アプリケーション QoS 管理システムにおける QoS 劣化検出手法の提案

佐々木 徹 加藤 由花 箱崎 勝也

電気通信大学 大学院情報システム学研究所

コンピュータネットワーク上に多くの分散マルチメディアシステムが導入されるにつれ、ユーザに対して提供されるサービスの品質 (Quality of Service: QoS) に対する注目が高まってきている。我々はこのサービス品質をアプリケーション QoS と定義し、システム環境に対して適応的なアプリケーション QoS 制御を実現する、アプリケーション QoS 管理システム (application QoS Management System: QMS) の研究を進めている。本稿では特に、QMS を実現するための要素技術の 1 つである、アプリケーション QoS の劣化を検出する方法に着目し、3 種類の劣化検出手法の提案を行う。我々は、これらの手法を研究室内に構築した実験システム上に実装し、検証実験を行った。その結果、これらの手法によって、ユーザが体感する QoS の劣化が検出可能なことがわかった。

A Proposal of a Method detecting QoS Degradation for Application QoS Management System

TORU SASAKI, YUKA KATO and KATSUYA HAKOZAKI

Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications

As a large number of distributed multimedia systems are deployed on computer networks, Quality of Service (QoS) for an application becomes more important. This paper defines it as application QoS, and proposes the application QoS Management System (QMS). Its control targets are application QoSes and it controls the QoSes according to the system environment. This paper proposes three types of method detecting QoS degradation for QMS. We implemented these methods on a prototype system in our laboratories and conducted the experiment using the system. As a result, we found out that these methods made it possible to detect QoS degradation felt by system users.

1. はじめに

近年、CORBA(Common Object Request Broker Architecture)[1]等の分散オブジェクト技術の発達により、インターネット上で多くの分散マルチメディアシステムが扱われるようになってきた。それに伴い、サービス品質(Quality of Service:QoS)に対する要求が高まっており、システム管理の必要性が増加してきている。インターネット上において、IP(Internet Protocol)自体に通信品質を保証する機能がないため、インターネット上でユーザが要求する QoS をエンドツーエンドで保障することは難しい。

このような背景から、IP ネットワーク上で QoS を保証する技術として様々な研究開発が行われてきた。まず、IP 層における QoS 制御手法として、IETF において IntServ[2]や DiffServ[3]などの標準化が行われてきた。また、ネットワーク利用者が動的にネットワークを制御する技術として Active Network[4]の研究が進められてき

た。しかし、これらの技術における制御対象は、IP パケットの遅延や損失といったネットワークレベルの QoS (以下、ネットワーク QoS) であるため、ユーザが要求するエンドツーエンドの QoS (以下、アプリケーション QoS) を保証するにはアプリケーション QoS をネットワーク QoS に変換する必要があった。

そのため、システムによってこの変換処理を実現しようという研究が行われるようになった。これらの研究では様々なモデル化が行われ、市場モデルを利用したもの[5]、Broker を利用したもの[6]等が研究された。しかし、これらの研究は複雑なモデルを用いるため、現在のように新しいアプリケーションが頻繁に追加、削除される環境に適用するのは困難である。

そこで、我々はアプリケーション QoS 制御を実現するためのフレームワークとして、複雑なモデル化を伴わない簡易な制御方法を採用する、アプリケーション QoS 管理システム (application QoS Management System: QMS) の研究を行っ

てきた[7]。QMS の設計目標は、以下の 3 つである。

1. アプリケーション QoS を制御対象とする。
2. 資源の割り当てに複雑なモデル化を用いず、測定に基づいた簡易なフィードバック型の制御を行う。
3. 複数アプリケーション間で、制御の優先順位を決定する仕組みを実現する。

QMS における QoS 制御は、アプリケーション QoS を基に決定されるアプリケーションレベルの制御ルールと、サービスのトラフィック特性を基に決定されるネットワークレベルの制御ルールを組み合わせて実現することにより実現する。

本稿では、QMS のアプリケーションレベルの制御における QoS 劣化検出手法を 3 種類提案する。それぞれ、

- 1) ユーザが評価ウインドウを操作することで QoS 劣化を QMS へ通知するユーザ検出方式
- 2) システムにより自動的に QoS 劣化の検出を行う自動検出方式
- 3) 自動検出方式をベースにし、コストの概念を取り入れ QoS 変更の際にシステムが提示したサービスレベルをユーザが選択するハイブリッド方式

である。

以下、2 章で QMS のシステム構成と制御方法について述べ、3 章で 3 種類の QoS 劣化検出手法の提案を行う。そして、4 章で DV 転送システムを用いた実験システムへの実装を行い、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

2.1 QMS のシステム構成

QMS は 3 種類のモジュール (*Notifier*, *Manager*, *Controller*) で構成される。QMS の各モジュールは CORBA 等の分散オブジェクト環境上に実装されるいくつかのオブジェクトから構成し、そのオブジェクト間の通信によってアプリケーション QoS の制御を行う。図 1 にシステム構成を示す。

まず、各モジュールの機能を説明する。

(1) *Notifier* モジュール

ユーザが体感するアプリケーション QoS を監視、測定するモジュールであり、クライアント端末上に実装する。アプリケーション QoS の測定を行う MSO (QoS Measurement Object) と、各アプリケーションの管理ポリシーに基づいて QoS 劣化を検知する QDO (QoS Detection Object) から成る。

(2) *Manager* モジュール

管理ポリシーに基づいて制御方法を決定するモジュールであり、管理用端末上に実装する。このモジュールには、管理者が管理ポリシーを設定するための機能、アプリケーション毎の管理ポリシーを保持する機能、管理スコープ内のシステム状況を集中管理する機能が含まれる。アプリケーション毎の管理ポリシーを保持し、制御方法を決

定する QMO (QoS Management Object)、管理スコープ内の各種性能データを収集する DCA (Data Collection Agent)、DCA が収集したデータをシステム状態として保存する SMO (State Management Object) から成る。

(3) *Controller* モジュール

実際のサービス制御を行うモジュールであり、サーバ端末上やネットワーク機器に実装する。QMS では、各アプリケーションやネットワーク機器が持つ、既存の制御機能をできる限り利用する。Manager モジュールで決定された処理を実行する QCO (QoS Control Object) から成る。

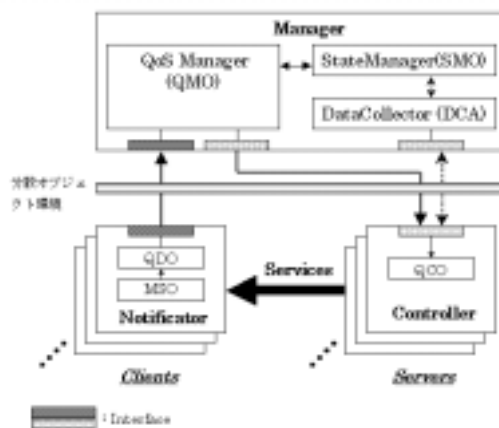


図 1: システム構成

2.2 QMS における QoS 制御

Manager モジュールにおける管理ポリシーの設定は以下の 2 段階で行う。

- (1) アプリケーション毎に、ネットワークレベルでの制御の優先順位を決定する。
- (2) アプリケーション QoS を基に、アプリケーションレベルでの制御方法を決定する。

まず、複数アプリケーション間で QoS 制御の優先順位を決定するため、各アプリケーションのネットワークレベルでの制御の優先順位を決定する。ただし、これだけではネットワークがふくそう状態になると QoS の保障ができない。そこで、アプリケーションレベルの制御との組み合わせによりアプリケーション QoS の維持を目指す。

ネットワークレベルでは、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、1) スループット、2) IP データグラムの遅延、3) 遅延ゆらぎ、4) 損失の 4 種類 [8] を制御対象とし、これらの劣化要因から制御方法を決定する。また、アプリケーションレベルでは、1) サービスレベルの変更、2) ロードバランシング、3) エラー訂正、4) 提供サービスの変更の 4 つを制御対象とする。

3. QoS 劣化検出手法

QMS では、システムの利用者に提供されるア

アプリケーション QoS を制御対象とするため、利用者がサービスを受けるクライアント計算機上で劣化の検出を行う。この機能は *Notificator* モジュールに実装され、劣化の検出結果は *Manager* モジュールに通知される。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。さらに、管理対象のシステム上に存在する複数の利用者が要求するサービス品質は、システムの状態によっては全ての要求に応えられるわけではない、という問題もある。

これらの問題点を考慮し、本研究では3種類の劣化検出手法を提案する。以下に、それぞれの手法について述べる。

3.1 ユーザ検出方式

ユーザ自身がサービスに対する満足度を評価する方式である。ユーザはクライアント端末上の評価用ウィンドウを操作することにより、*QMS* に劣化の発生を通知する。そのため、提供されているサービスの QoS 変化に対してユーザは臨機応変に対応でき、自らが望む品質へ QoS を変更することができる。しかし、サービスを受けている間中、手動で品質を *QMS* に伝える必要があるためわずらわしさがあること、その結果、ユーザは常に最高品質を維持しようとするような問題があると思われる。

3.2 自動検出方式

QMS にあらかじめ QoS パラメータの閾値を設定しておき、測定された QoS パラメータとその閾値を比較することにより自動的に劣化を検出し、制御を行う方式である。劣化を検出した場合にはサービスレベルを下げ、劣化が無くシステムに余裕がある場合はサービスレベルを上げることができる。自動検出方式を用いることでユーザが操作する手間が省け、必要以上の品質にならないように制御することが可能になる。しかし、設定したパラメータの閾値との比較によって QoS 劣化を判断するため、ユーザや環境の特性に応じたユーザの満足度を高めることは困難となる。

3.3 ハイブリッド方式

上記2つの方式を合わせた、ハイブリッド方式である。QoS の劣化検出に関しては自動検出方式と同様に QoS パラメータとその閾値を比較して QoS 劣化を検出するが、その後、実際に制御を行うかどうかはユーザが判断するという方式である。そこで、この方式ではコストの概念を導入する。劣化が生じ、サービスレベルを下げる場合にはサービスレベル維持コスト、システムに余裕があり、サービスレベルを上げる場合にはサービスレベル向上コストを考える。QoS の変更の際にユーザへ変更後のサービスレベルとそのため必要なコストをリストとして表示する。ユーザはそれを見て制御を行うかどうかを判断する。

システムに大きな影響を与える制御には高コストを、あまり影響を与えない制御には低コストを与える。ハイブリッド方式では、コストとユーザ満足度とのバランスにより、ユーザは必要以上にサービスレベルを上げることが無くなるので帯域に余裕を持たせることが可能になる。

4. 実験システムへの実装

3章で提案した3種類の劣化検出手法について実装検証を行うため、研究室内に実験システムを構築して検証実験を行った。実験システムにおけるアプリケーションとして、DV 転送システムを利用した。

4.1 システム構成

実験システムの構成を図2に示す。アプリケーションには WIDE プロジェクト研究グループによって開発された、DVTS (Digital Video Transport System) [9]を使用した。これは、インターネットによってデジタルビデオ(DV規格)動画像を実時間で転送するシステムである。各計算機をイーサネット上に接続し、そのうちのサーバ2台にそれぞれ IEEE1394 で DV を接続した。*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。DV 転送サービスにおける制御対象は、フレームレート、受信バッファサイズ、1パケット内の DIF ブロック数の変更(サービスレベルの変更)、接続先サーバの変更(ロードバランシング)、音声付動画像を音声付静止画像や音声無し動画像へ変更(提供サービスの変更)を考える。各計算機の仕様を表1に示す。

表1 各計算機の仕様

計算機名	CPU/メモリ容量	OS
サーバ1	Pentium 1G/256M	FreeBSD4.0
サーバ2	Pentium 1G/256M	FreeBSD3.4
クライアント1	Pentium 400M/256M	FreeBSD4.0
クライアント2	Pentium 1G/256M	FreeBSD4.0
管理用計算機	Pentium 750M/256M	Windows2000

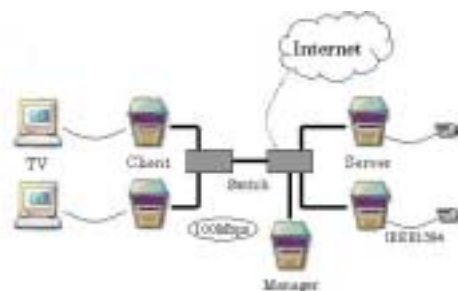


図2: 実験システムの構成

4.2 ユーザ検出方式の実装

ユーザ検出方式では、ユーザ自身が QoS 劣化を検出し、クライアント端末上に実装された評価用ウィンドウを操作することで QMS への QoS 劣化の通知および映像品質の制御を行う。実装した評価用ウィンドウを図 3 に示す。このウィンドウにより、DVTS において変更可能なパラメータを操作することができる。操作できる内容は、フレームレート、受信バッファサイズ、1 パケット内の DIF ブロック数、ストリームの種類である。フレームレート、受信バッファサイズ、DIF ブロック数に関してはスクロールバーにより値を指定する。ストリームの種類に関しては、音声付動画像、音声無し動画像、音声付き静止画像の 3 種類の中から選択する。そして、OK ボタンを押すことでパラメータが QMS へ設定され、指定したサービスレベルで映像が配信される。この場合、MSO の機能はユーザ自身が持ち、評価用ウィンドウを実現するオブジェクトが QDO となる。QDO によって得られた QoS 情報と、クライアント端末の IP アドレスを QMO へ送信することで制御を要求する。

これにより、ユーザはシステム状況や配信される映像の種類に合わせて、満足する品質の映像を受信することが可能になる。

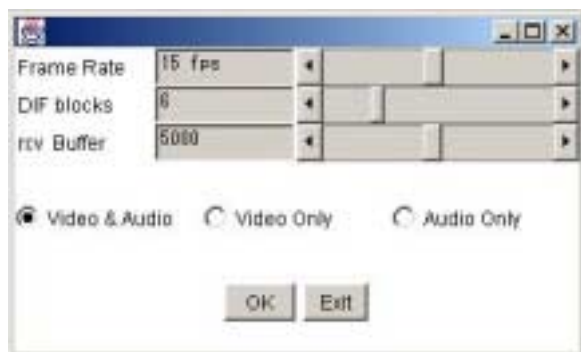


図 3：評価用ウィンドウ

4.3 自動検出方式の実装

本研究では、DV 転送サービスにおけるアプリケーション QoS を映像の品質と定義した。画質の劣化の検出方法として、客観評価、主観評価ともに多くの方法が提案されている[10,11,12]。しかし、これらの手法の多くは特殊で高価な機材を必要としたり、複雑な処理を要求するものである。ここでの目的は QoS 劣化の自動検出方式の実装検証であり、QoS パラメータと画質の劣化度合の関係を明らかにすることである。そこで、多少精度は落ちるが簡易な方法を採用した。

自動検出方式では、劣化検出からサービスレベルの変更を行うまでの制御を全て自動で行う。劣化の検出においては、ある QoS パラメータに対してあらかじめ閾値を設定しておき、その閾値を越えたかどうかで劣化を判定する。ここでは、DVTS に対する QoS パラメータの提案と、劣化

を検出するための閾値の決定方法について述べる。

4.3.1 QoS パラメータの提案と評価

一般的にデジタル映像の品質はパケットの損失により大きく劣化するといわれている。そこで、本研究ではパケット損失率を閾値に設定することにした。そこで、クライアント端末において、定期的に受信パケット数と損失パケット数を測定し、パケット損失率を算出する。そして、算出された現在のパケット損失率をシステムに設定されている閾値と比較し、閾値を超えていた場合にはマネージャへ制御を依頼する。

QoS パラメータとしてパケット損失率を用いるためには、複数のサンプルに対してあらかじめ評価を行っておく必要がある。評価に使うサンプル画像を取るための動画を 3 種類用意した。それぞれの特徴と、サンプル画像を取った場面での動きのあった面積の割合は次の通りである。これらの画像を図 4 に示す。

- ・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：少ない色数。動面積約 100%

これらの動画を用い、帯域を 30Mbps ~ 3Mbps、フレームレートを 30fps ~ 1fps に変化させ、同一場面における様々な劣化画像を得た。それぞれのサンプル画像を 600 マス(縦 20 マス、横 30 マス)のブロックに分け、劣化しているブロック数を求め、画像劣化率を求めた。具体例を図 5 に示す。その際の画像劣化率とそれぞれの画像のパケット損失率の関係をグラフ化した。その結果を図 6 に示す。

これらの結果より、画像劣化率とパケット損失率に良い相関関係にあることが分かる。また、帯域幅が大きいほうが画像劣化率が低くなる傾向にあることが分かる。そこで、映像の種類によって許容できる画像劣化率を調べることで、パケット損失率を用いた閾値を設定することが可能になる。



図 4：サンプル画像



図 5: 劣化画像(左)と劣化ブロックを数えた画像(右)

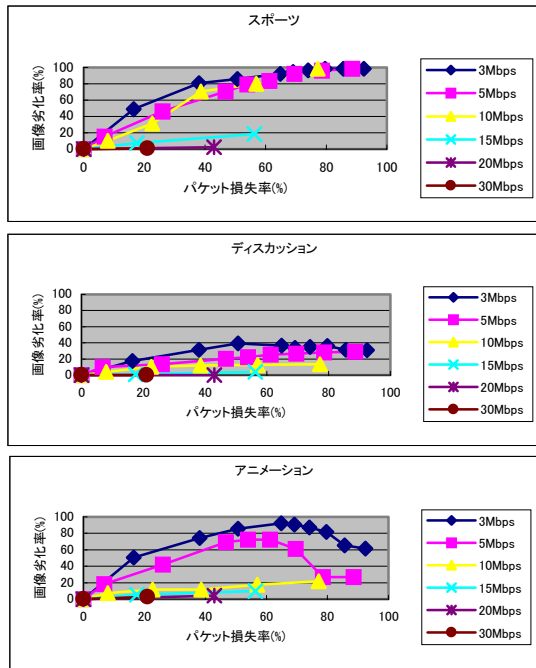


図 6: 画像劣化率とパケット損失率の関係

4.3.2 QoS 劣化検出のための閾値決定方法

ここでは、劣化画像に対しユーザが許容できる画像劣化率を調べる。そのために、劣化画像に対して主観評価実験を行った。画質の主観評価法には様々な方法があり、主観評価法全体に関する勧告が ITU-R によりなされている[13-16]。今回は、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) を用いることにした。DSIS 法は、伝送エラー等によって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 秒間の間隔をあけた後に劣化したテスト画像を 10 秒間表示する。そして、5 段階評価尺度でテスト画像を評価する。5 段階評価尺度を表 2 に示す。この作業を連続的に行い、評価したいテスト画像を全て評価する。評定者には評価経験のない非専門家 15 名に協力してもらい、劣化画像 30 枚を評価してもらった。実験には 15 インチ液晶ディスプレイを用い、4H (H: 画面の高さ) の視距離で評価した。評価結果を図 7 に示す。

この結果より、得られた主観評価値は客観評価

表 2: 5 段階評価尺度

評点	劣化尺度
5	わからない
4	わかるが、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

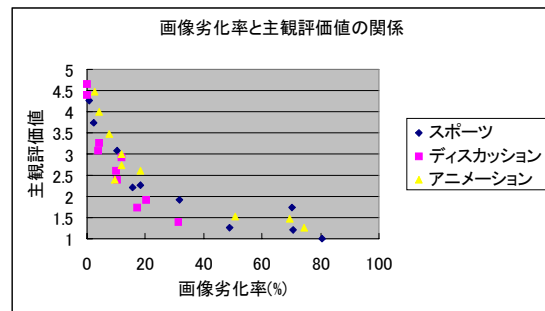


図 7: 主観評価実験の結果

による画像劣化率と良い相関関係にあることが分かる。よって、ある主観評価値が劣化を許容できる限界値とすれば、その値に基づき許容できる画像劣化率を求めることができる。その後、客観評価による結果を用いて閾値を求めることが可能だと分かった。今回の実験の場合、主観評価値が 3 以上の場合が劣化を許容できる範囲であることを考えると、それに対応する画像劣化率は図 7 より約 10% である。そして図 6 より、閾値として設定すべきパケット損失率は、スポーツとアニメーションは 4%、ディスカッションは 10% 程度と分かる。

4.4 ハイブリッド方式の実装

ハイブリッド方式は自動検出方式をベースとしているが、QoS の制御が行われる際にユーザへ変更後のサービスレベルをリストとして表示すると共に、その変更のために必要なコストも表示する。ここでは、サービスレベルの変更対象としてフレームレートのみを実装した。ユーザは表示されたフレームレートの中から自らが望むレベルを選択し、コストを払うことでレベルを変更する。コストの決定方法としては、システムに対する影響を与える要素の 1 つである帯域の使用率を考えることにした。今回、帯域に余裕がある場合にサービスレベルを上げる際の、サービスレベル向上コストの決定方法を実装した。以下にその手順について述べる。

1. *Notificator* モジュールにおいて損失パケットが検出されなかった場合、*Manager* モジュールへその旨を通知する。
2. *Manager* モジュールにおいて、サービスレ

- ベル変更前の状態のシステムの空き帯域 (A)と、そのサービスがレベルを変化させることによる帯域変化量 (B)を求め、その割合 (B/A)を基にコストを決定する。コストの高い順に変更後のサービスレベルを最大5つ決定し、Notificator モジュールへ送信する。
3. Notificator モジュールにおいて、受信したサービスレベルとコストをリストとしてユーザに提示する。提示されるウインドウの例を図8に示す。
 4. ユーザはリストの中から自らが望むサービスレベルを選択し、コストを払うことによってサービスレベルを変更する。また、Keep ボタンを押すことによってサービスレベルの変更を行わずに現状を維持することもできる。この場合はコストはかからない。

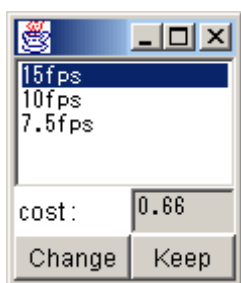


図8：コスト提示ウインドウ

5. まとめ

本稿では、アプリケーション QoS 管理システムにおける QoS 劣化検出手法の提案を行った。まず、クライアントにおける3種類の劣化検出手法の提案と DV 転送システムを用いた実験システムへの実装を行った。3種類の劣化検出手法はそれぞれ、ユーザ検出方式、システムによる自動検出方式、コストの概念を取り入れたハイブリッド方式である。また、自動検出方式における QoS 劣化検出において、QoS パラメータとしてパケット損失率を考えたときの DV 転送システムへの実装を行った結果、パケット損失率と画像劣化率、および画像劣化率と主観評価値に相関関係があることが分かった。これにより、QMS の自動制御において QoS 劣化を検出する際の閾値を求めることが可能であることが分かった。

今後は、評価実験により得られた閾値をシステムに設定し、QMS の評価実験を行う予定である。この評価実験では、本稿で提案した3種類の劣化検出手法を実際にユーザに体験してもらい、ユーザを満足させるような劣化の検出ができているか、また、QMS 管理ポリシーに従った運用がされているかを検証したいと考えている。

参考文献

- [1] Object Management Group: *The Common Object Request Broker: Architecture and Specification*, Object Management Group, Framingham, Massachusetts (1998).
- [2] Braden, R., Clark, D. and Shenker, S.: *Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*, IETF RFC1633 (1994).
- [3] Brake, S., Black, D., Carlson, M., Davies, E., Wang, Z. and Weiss, W.: *Architecture for Differentiated Services*, IETF RFC2475 (1998).
- [4] Tennenhouse, D. L., Smith, J. M., Sincoskie, W. D., Wetherall, D. J. and Minden, G. J.: A survey of active network research, *IEEE Commun. Mag.*, Vol.35, No.1, pp.80-86 (1997).
- [5] 八幡博史, マイケル P. ウェルマン, 石田亨: 市場モデルに基づくアプリケーション QoS の制御, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J81, No.5, pp.540-547 (1998).
- [6] Nahrstedt, K. and Smith, J.M.: The QoS broker, *IEEE Multimedia*, Vol.2, No.1, pp.53-67 (1995).
- [7] 加藤由花, 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, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.10, pp.2494-2504, (2001).
- [8] Paxson, V.: Towards a framework for defining Internet performance metrics, *Proc. INET'96*, p.3 (1996).
- [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*, Italy (2000).
- [10] 熊田純二ほか: 小特集 デジタル映像の画質評価, 映像情報メディア学会誌, Vol. 53, No.9, pp.1184-1208 (1999).
- [11] 植月修志ほか: DV over IP 伝送映像の品質評価, 電子情報通信学会信学技報, CQ2000-13, pp.77-82.
- [12] 中須英輔: ビデオ系の品質評価, 画像電子学会 VMA 研究会, No.5, 2000.
- [13] Recommendation ITU-R BT. 500-8, "Methodology for Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures", ITU (1998).
- [14] Recommendation ITU-R BT. 1128-2, "Subjective Assessment of Conventional Television Systems", ITU (1998).
- [15] Recommendation ITU-R BT. 1129-1, "Subjective Assessment of Standard Definition Digital Television (SDTV) Systems", ITU (1998).
- [16] Recommendation ITU-R BT. 710-3, "Subjective Assessment for Image Quality in High-definition Television", ITU (1998).