

IP ネットワーク上での音声・ビデオ伝送におけるユーザレベル QoS の 多次元評価

伊藤 嘉浩^{†a)} 田坂 修二[†]

Multidimensional Assessment of User-Level QoS for Audio-Video Transmission
over IP Networks

Yoshihiro ITO^{†a)} and Shuji TASAKA[†]

あらまし 本論文では、計量心理学的測定法の一つである SD 法を用いて、IP ネットワークによる音声・ビデオ伝送におけるユーザレベル QoS を多次元的に評価する。このために、音声・ビデオ送受信端末、負荷送受信端末及び 2 個のルータよりなる簡単な構成のネットワークにおいて 3 種類のコンテンツを対象としたシミュレーション実験を行う。また、総合的な主観品質も評価し、得られた結果から、音声・ビデオ伝送のユーザレベル QoS 評価における判断の主要因を調査する。更に、重回帰分析を用いた QoS マッピングにより、アプリケーションレベル QoS とユーザレベル QoS の各主要因との関係を明確にする。実験結果から、本実験環境においては、音声・ビデオ伝送における総合的な主観品質評価の要因は、ネットワークの品質劣化に影響されるものと、コンテンツに依存するものの二つであることが分かった。更に、ネットワークの品質に関連のある要因はアプリケーションレベル QoS パラメータから推定できることが分かった。

キーワード ユーザレベル QoS, 多次元評価, SD 法, QoS マッピング, 重回帰分析

1. ま え が き

アクセス網の整備と端末の高性能化により、インターネット上で音声やビデオなどの連続メディアを同時に伝送するマルチメディアアプリケーションが普及しつつある。マルチメディア伝送においては、その品質を劣化させる要因が多数考えられる。例えば、音声やビデオなどのパケットの遅延や損失によって生じる時間構造の攪乱もその要因の一つである。したがって、インターネット上でマルチメディア伝送におけるサービス品質 (QoS) を評価する場合は、複数の QoS パラメータを検討する必要がある。

一般に、ネットワークの機能は階層的に表現されるので、QoS も階層的に定義される。例えば、文献 [1] では、インターネットを六つのレベル (物理レベル、

ノードレベル、ネットワークレベル、エンドツーエンドレベル、アプリケーションレベル、ユーザレベル) に分類している。

音声・ビデオ伝送においては、ユーザが最終的に判断する QoS、すなわち、ユーザレベル QoS が重要となる。したがって、音声・ビデオ伝送を行う場合、最終的に高いユーザレベル QoS が得られるような QoS 制御を考えなければならない。

ユーザレベル QoS はユーザが判断するものであるため、これを直接制御することはできない。そこで、QoS の制御が可能な下位のレベルでの制御により、ユーザレベル QoS を高く保つようにすることが必要である。そのためには、ユーザレベル QoS と下位のレベルの QoS 間の関係を明確にしておかなければならない。QoS 間の関係を明らかにすることを、QoS マッピングと呼ぶ [2]。ユーザレベル QoS とのマッピングを行うためには、ユーザレベル QoS の定量的な評価が不可欠である。

音声・ビデオ伝送において、ユーザがその品質の善しあしを総合的に判断する際、音声の品質やビデオの

[†] 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻, 名古屋市
Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology,
Nagoya-shi, 466-8555 Japan

a) E-mail: yoshi@nitech.ac.jp

品質、コンテンツの内容など、多くの要因が評価された上で、最終的な判断が下されている。したがって、これらの判断の要因をユーザレベル QoS パラメータとして考え、複数のパラメータでユーザレベル QoS を多次的に評価することが必要である。更に、この判断の要因となるユーザレベル QoS パラメータに影響を与える物理的（客観的）な要因を調べることで、ネットワークの設計、制御における有用なガイドラインを示すことができる。

音声・ビデオ伝送におけるユーザレベル QoS の評価方法としてはいくつか考えられる。例えば、文献 [3]～[5] のように、平均オピニオン評点 (Mean Opinion Score: MOS) による評価を行った研究が多い。しかし、文献 [6], [7] で述べられているように、音声・ビデオ伝送のユーザレベル QoS 評価のための尺度として、MOS は必ずしも適切ではない。

筆者らは、これまで、計量心理学的測定法 [8] により、音声・ビデオ伝送におけるユーザレベル QoS を定量的に評価している [7], [9], [10]。計量心理学的測定法を用いることで、高い精度で音声・ビデオ伝送における主観量を定量化することができる。文献 [7] では、一対比較法と Thurstone の比較判断の法則 [8] を用いて、音声・ビデオ伝送におけるユーザレベル QoS を定量的に評価している。また、文献 [9] では、系列カテゴリー法 [8] を用いて、音声・ビデオ伝送のユーザレベル QoS 評価を行い、メディア間の相互補完性を調査している。文献 [10] では、系列カテゴリー法により、ライブメディア伝送におけるユーザレベル QoS 評価を行っている。これらの研究では、音声・ビデオ伝送のユーザレベル QoS を一次元の尺度を用いて評価し、QoS マッピングによりユーザレベル QoS と複数のアプリケーションレベル QoS パラメータとの関係を明確にしている。しかしながら、現状ではネットワーク及びアプリケーションの多様化が進み、ユーザレベル QoS に影響を及ぼす要因が増加している。この状況では、一次元尺度で表現されたユーザレベル QoS では、その値が低くなっても、具体的にどのような要因によるものなのかが判別しにくい。したがって、ユーザレベル QoS を多次的に表現することで、より詳細にこれを評価することが必要になると考えられる。

ユーザレベル QoS の多次元評価に関する研究として、文献 [11] では、マルチメディア通信のユーザレベル QoS 評価方法として、主観的満足度 (subjective satisfaction)、作業性能 (task performance)、ユーザ

コスト (user-cost) の三つの観点からの評価方法 (3-dimensional approach) を提案している。しかし、これは、IP ネットワーク上での音声・ビデオ伝送の主観品質そのものを多次的に評価したものではない。

本研究では、ユーザレベル QoS、特に、IP ネットワーク上での音声・ビデオ伝送における主観品質の多次元的な評価方法として、SD 法 (Semantic Differential method) [12] を適用することを提案する。SD 法は、計量心理学的測定法の一つであり、音声やビデオなど単一メディアの主観評価でこれを用いた研究は多数見られる。例えば、文献 [13]～[15] では、SD 法を用いた音声の主観評価が行われている。文献 [16], [17] はビデオの主観品質評価に SD 法を採用している。また、文献 [18] は、音と映像の組合せが主観的印象に与える影響を SD 法により多次元的に評価している。ネットワークの分野において、ユーザレベル QoS の多次元的な評価のために SD 法を用いた研究としては、筆者らが、コンテンツが音声・ビデオ伝送のユーザレベル QoS に及ぼす影響を多次元的に評価している [19]。また、文献 [20] も SD 法を用いている。しかしながら、これら以外に、ネットワークの分野において SD 法によりユーザレベル QoS の多次元的な評価を行った研究は見られない。

SD 法による多次元的な評価に加えて、本研究では、メディアの最終的な善しあしを表す総合的な品質を評価する。そして、この総合的な品質と SD 法で求めた複数のユーザレベル QoS パラメータとの関係を QoS マッピングにより明らかにし、総合的な判断における主要因を調査する。更に、ユーザレベル QoS と下位レベルの QoS、特にアプリケーションレベル QoS との関係を調査する。文献 [7], [9], [10] では、QoS マッピングの方法として重回帰分析を用いており、その有効性を確認している。本研究でも、重回帰分析による QoS マッピングを行う。

以下に本論文の構成を示す。2. では、SD 法を用いたユーザレベル QoS の多次元的な評価方法を述べる。3. において実験方法を説明する。4. では実験結果と考察を述べる。

2. SD 法によるユーザレベル QoS の多次元評価

本章では、まず、ユーザレベル QoS の多次元評価に用いる SD 法の概要を述べる。また、SD 法で得られた結果を処理するための系列カテゴリー法 [8] と主

成分分析手法 [21] も紹介する。

2.1 SD 法

SD 法は計量心理学的測定法の一つであり、多数の形容詞対（両極尺度）を用いて対象を評価するものである。この方法は、心理学者の Osgood らによって、言語の語感の違いを分析するための手法として提案された [12]。SD 法の特徴は、多数の形容詞対を用いることにより、評価対象を多くの視点から簡単に評価できることである。そのため、SD 法は、デザインや企業などのイメージ調査に広く用いられている。

SD 法では、評価に用いる形容詞対をいかに選定するかが重要となる。一般には、ヒアリングや予備アンケートを行うことで、分析に適した数十種類程度の形容詞対が選択される。

選択された各形容詞対に対して、評定尺度法 [8] により各評価対象（ここでは刺激と呼ぶ）の主観評価値が求められる。評定尺度法は、単一メディアの主観評価に広く用いられている MOS を測定するためにも用いられる。この方法は、被験者の判断基準に従って、被験者に刺激をカテゴリーに分類させるものである。すなわち、形容詞対間の主観的な感じ方をいくつかのカテゴリーに分類し、被験者は、すべての形容詞対に対して、刺激をいずれかのカテゴリーに分類する。各刺激を分類するカテゴリーの数として、5 ないし 7 が用いられることが多い。

一般的に、SD 法による多次元評価では、各カテゴリーにあらかじめ尺度値が付与される。そして、各形容詞対におけるカテゴリーの心理的な境界が等しいという仮定のもとで、刺激が分類されたカテゴリーの尺度値の平均をとり、その値をその形容詞対における刺激の評価尺度値とすることが多い [22]。しかしながら、SD 法で用いられる様々な形容詞対に対してこのような仮定が成り立つ保証はない。例えば、文献 [23] では、米語、イタリア語において、主観品質評価に用いられる評価語の心理的な間隔が等しくないことを実験により示している。したがって、各カテゴリーに付与された値の平均をとったものは順序尺度^(注1) [8] とみなす方が自然であり、これをユーザレベル QoS パラメータとして考えることは必ずしも適切ではない。

本研究では、各形容詞対ごとに、次節で示す系列カテゴリー法を適用し、形容詞対ごとの距離尺度^(注2) [8] を求める。そして、求められた距離尺度をユーザレベル QoS パラメータとして考える。

2.2 系列カテゴリー法

系列カテゴリー法とは、評定尺度法で得られた結果に対しカテゴリー判断の法則 [8] を適用して距離尺度を得る手法である。

評定尺度法では、カテゴリーの心理的な境界が等間隔であるという保証がない場合、この方法により得られた評価値は順序尺度にすぎない。順序尺度に対して、多くの統計的処理を行うことは不適切である。そこで、系列カテゴリー法では、カテゴリー判断の法則を用いて、評定尺度法によって得られた結果を、ほとんどの統計処理が可能な距離尺度に変換するのである。

カテゴリー判断の法則とは、被験者がある刺激に対して感じる判断の度合は、心理的連続体と呼ばれる脳内のある距離尺度上の数値として生起すると仮定するものである。そして、この値が心理的連続体上にあるカテゴリーの境界値と比較され、その結果、各刺激がカテゴリーに分類される。ただし、刺激に対して生起する値及びカテゴリーの境界は一定ではなく、正規分布に従って変動するものと仮定される。この仮定のもとで、各カテゴリーに分類された刺激数の割合から、各カテゴリーの境界値の平均値と、その距離尺度上における各刺激の心理的な位置の平均値を算出することができる。

カテゴリー判断の法則は、刺激の距離尺度上における位置の分散と境界値の分散、及び両者の共分散の値に応じて、条件 A, B, C, D に分類される [8]。本論文では、最も仮定が多く簡潔である条件 D をはじめに用いるものとし、必要に応じて、他の条件も検討する。

2.3 主成分分析

SD 法では、形容詞対の数に等しい次元数で刺激を評価するため、このままでは、次元数が大きく評価が困難となる。そこで、主成分分析や因子分析 [21] で次元数を縮小した後、評価が行われる。例えば、次元数を二次元か三次元に縮小できれば、平面または三次元のイメージ空間（意味空間）に刺激を布置し、この少ない次元数の空間上で刺激に対する評価を行うことができる。本研究では、各形容詞対に対して得られた尺度を変数として主成分分析を行い、必要な次元数の空間で刺激を評価するものとする。

主成分分析を行う際、最初に評価に用いるための主成分の数を決定する必要がある。主成分数としては、

(注1): 大小関係のみに意味がある尺度。

(注2): 数値の差のみに意味がある尺度。

一次元で十分な場合もあれば、最大で形容詞の数の次元数が必要なこともあり得る．最小限必要な主成分の数は必ずしも自明ではない．そこで、主成分数に対する各主成分の累積寄与率を求め、この値から必要な次元数を決定する．本研究では、この最小限必要な次元数までの各主成分をユーザレベル QoS パラメータとして扱う．

3. 実験

3.1 実験環境

ネットワークシミュレータ上で、音声・ビデオ伝送をシミュレートし、伝送された音声・ビデオを対象としてユーザレベル QoS の評価を行う．評価に用いる音声・ビデオには、異なる六つのコンテンツを扱い、ネットワークシミュレータソフトウェアとしては、ns2 [24] を用いた．コンテンツとしては、特徴が大きく異なる三つのジャンルを選び、各ジャンルから 2 種類ずつコンテンツを採用した．以下に、本実験で用いた 6 種類のコンテンツを示す．

- ニュース番組の一シーンでアナウンサーが記事を読み上げているもの：2 種類（以下、ニュース 1(N1)、ニュース 2(N2) と記す）
- テニスの試合中継の一シーンで、選手が激しくボールを打ち合っているもの：2 種類（以下、テニス 1(T1)、テニス 2(T2)）
- アニメーションの一シーン．このアニメーションは CG ではなく手書きのもので、4 名の登場人物が会話をしているもの：2 種類（以下、アニメ 1(A1)、アニメ 2(A2)）

アプリケーションレベル QoS が同じになるように、各コンテンツを同じ方式で符号化してある．各コンテンツの音声・ビデオの仕様を表 1 に示す．表内における MU とは、メディアユニットであり、メディア同期のための情報の単位を表す．例えば、ビデオのフレームがこれに相当する．

本実験では、負荷を加えたネットワーク上で音声・ビデオ伝送を行うことで、アプリケーションレベル QoS を変動させる．図 1 に示すネットワークを ns2 上で構築し、サーバ(media server) からクライアント(media client) に対して、各コンテンツの音声・ビデオを送信する．サーバの属するネットワークと、クライアントの属するネットワークをルータを介して接続し、ルータ間の回線速度は 4.0 Mbit/s とする．負荷生成器(load generator) は、負荷トラヒックとして、

表 1 音声・ビデオの仕様
Table 1 Audio and video specifications.

	音声	ビデオ
圧縮方式	G.711 μ -law	MPEG1
表示サイズ [pixel]	-	320×240
ピクチャパターン	-	IBBPBBPBBPBBPBB
平均 MU サイズ [Byte]	1000	5000
総 MU 数	120	300
再生時間 [s]	15	15
平均 MU レート [MU/s]	8	20
平均 MU 間隔 [ms]	125	50
符号化モード	-	CBR
平均ビットレート [kbit/s]	64	533

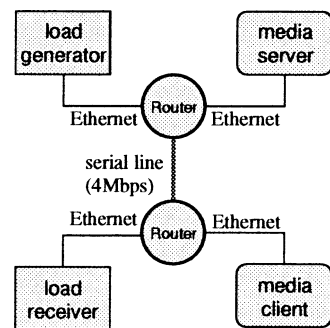


図 1 シミュレーションでのネットワーク構成
Fig. 1 Network configuration in the simulation.

1472 バイトのメッセージを UDP プロトコルにより、指数分布に従う間隔で負荷受信器(load receiver) に送信する．サーバ、クライアント、負荷生成器、負荷受信機はそれぞれイーサネット(10 Mbit/s) でルータと接続されている．ルータ間を流れる平均ネットワーク負荷量は、適度にアプリケーションレベル QoS が変動するよう 3.00, 3.40, 3.80 Mbit/s の三種類とする．負荷生成器が負荷トラヒックを生成する一方で、サーバは音声・ビデオストリームの送信を行う．クライアントは音声・ビデオストリームを受信し、これを出力する．負荷トラヒック量が増加するにつれて、出力された音声・ビデオストリームでは、音声の途切れや画面のフリーズが多く発生するようになった．クライアントが出力した音声・ビデオストリームを記録し、記録された合計 18 個の音声・ビデオストリームをユーザレベル QoS 評価用の刺激とした．

3.2 形容詞対の選択

はじめに、SD 法で使用する形容詞対を以下のように選定する．まず、SD 法を用いた過去の様々な文献

([18], [22] など) より, 90 の形容詞対を収集した. その中から, 音声やビデオの評価に関係あると思われるものを 30 組選んだ. 次に, 予備実験によりこの 30 組の中から通信品質に関係するもの 5 組と, 関係しないもの 5 組の形容詞対を, 音声とビデオそれぞれに対して選択し, 最終的に計 20 組の形容詞対を選んだ. 本研究では, 多次元評価を詳細に行うために, 音声及びビデオそれぞれの品質劣化を被験者がどのように感じているかを明確に分けて調査するものとする. そこで, 各形容詞対が音声を表すものかビデオを表すものかを被験者が明確に区別できるように, 各形容詞対には, 必要に応じて, “音声が”, “画像が” などの主語を付けてある. 以下に, 選定した 20 組の形容詞対を示す.
 [評価に用いた形容詞対] 雑音がない-ある, 画像が明るい-暗い, 音声が力強い-弱々しい, 画像が滑らかな-滑らかでない, 音声が澄んだ-濁った, 画像がきれいな-汚い, 音声が静かな-騒々しい, 画像が止まらない-止まる, 音声と画像のずれがない-ある, 画像が鮮明な-ぼやけた, 音声が豊かな-貧弱な, 画像が崩れない-崩れる, 音声が途切れない-途切れる, 画像にぎやかな-静かな, 音声が快い-不快な, 画像が安定した-不安定な, 音声がかすれない-かすれる, 画像に迫力がある-物足りない, 音声がきれいな-汚い, 画像が自然な-不自然な

3.3 SD 法による多次元評価

被験者は, 前節で得られたすべての形容詞対に対し, 18 個の刺激を 5 段階の評定尺度法で評価する. 評定尺度法で用いた評価語は, 各形容詞対に「非常に」と「やや」を付与したものと, 「どちらでもない」を加えた五つである. 便宜上, 高品質を表す形容詞側にあるカテゴリから順に, カテゴリ 5, 4, 3, 2, 1 と呼ぶ. 被験者は, 画質・音質評価の非熟練者である 20 代の男女 58 名である. SD 法では, 一つの刺激に対して評価する項目が多数あるため, 評価に時間がかかる. したがって, 最初に一度刺激を提示しただけでは, 評価の間に刺激に対する印象が薄れるおそれがある. そこで, 被験者は評価の途中で何度でも刺激を確認できるものとする.

SD 法で得られた結果に対して系列カテゴリ法を適用し, 各形容詞対ごとに各刺激の心理尺度値を求める. 得られた心理尺度がユーザレベル QoS パラメータとなる. すべての形容詞対に対する評価結果に対して系列カテゴリ法を適用することができれば, ユーザレベル QoS パラメータの数は, 形容詞対の数である

20 個となる. そして, 求められたユーザレベル QoS パラメータを変数として主成分分析を行い, 最小限必要な主成分数を求め, 得られた各主成分を新たにユーザレベル QoS パラメータとする.

3.4 総合品質評価

SD 法による多次元的な評価とは別に, 音声・ビデオ伝送における総合的な主観品質を求め, SD 法で得られた各主成分との関係を調べる. 総合的な主観品質は SD 法の被験者のうちの 24 名に対して, 系列カテゴリ法によって測定する. 被験者には, SD 法による評価で用いたものと同じ 18 個の刺激を提示し, 五段階の評定尺度法で, 総合品質を判断させる. 評定尺度法で用いるカテゴリは, “劣化が分からない”, “劣化が分かるが気にならない”, “劣化が気になるが邪魔にならない”, “劣化が邪魔になる”, “劣化が非常に邪魔になる” とし, 便宜上, それぞれ, カテゴリ 5, 4, 3, 2, 1 と呼ぶ.

得られた結果に対し, カテゴリ判断の法則を適用し距離尺度を求め, これを音声・ビデオ伝送の総合的な主観品質を表すユーザレベル QoS パラメータとする.

4. 実験結果と考察

4.1 形容詞対ごとの心理尺度

20 個の形容詞対に対し, 評定尺度法を適用した. その結果, 形容詞対「画像が止まらない-止まる」において, 被験者全員が二つの刺激を, 最も「画像が止まる」側にあるカテゴリに分類した. したがって, 形容詞対「画像が止まらない-止まる」においては, カテゴリ判断の法則によってこの二つの刺激の距離尺度を求めることができない. そこで, この形容詞対「画像が止まらない-止まる」を評価用の尺度として扱わないものとする.

残りの 19 個の形容詞対をそれぞれ, 形容詞対 j ($j = 1, \dots, 19$) と呼び, 系列カテゴリ法で求められた形容詞対 j の距離尺度を心理尺度 j とする. 表 2 に j に対応する形容詞対を示す. 各心理尺度に対して Mosteller の適合度検定 [25] を行った結果, 有意水準 5% で, 得られた心理尺度が測定値と適合するという仮定は棄却できなかった. また, 系列カテゴリ法で求められた各形容詞対におけるカテゴリ境界間の心理的な間隔を表 3 に示す. カテゴリ境界間の間隔とは, あるカテゴリの上限の境界値と隣接するカテゴリの上限の境界値との差を表す. 例えば, 表 3 において, 1-2 は, カテゴリ 1 の上限の境界値とカテ

ゴリー 2 のそれとの差である．また，カテゴリ 5 の上限は無限大となるので，カテゴリ 4 の上限の境界値とカテゴリ 5 のそれとの差は表に含めていない．表 3 を見ると，各形容詞におけるカテゴリ境界間の心理的な間隔は一定ではない．したがって，カテゴリ判断の法則による距離尺度への変換が必要であったことが分かる．

表 2 形容詞対 j
Table 2 Pair of polar terms j .

j	形容詞対
1	雑音がないーある
2	画像が明るいー暗い
3	音声が力強いー弱々しい
4	画像が滑らかなー滑らかでない
5	音声が澄んだー濁った
6	画像がきれいー汚い
7	音声が静かなー騒々しい
8	音声と画像のずれがないーある
9	画像が鮮明なーぼやけた
10	音声が豊かなー貧弱な
11	画像が崩れないー崩れる
12	音声が途切れないー途切れる
13	画像がにぎやかなー静かな
14	音声が快いー不快な
15	画像が安定したー不安定な
16	音声がかすれないーかすれる
17	画像に迫力があるー物足りない
18	音声がきれいー汚い
19	画像が自然なー不自然な

表 3 各形容詞対におけるカテゴリ境界間の心理的な間隔

Table 3 Psychological interval between category boundaries for each pair of polar terms.

形容詞対 j	カテゴリ境界間の間隔		
	1-2	2-3	3-4
1	1.606	0.563	1.157
2	0.556	1.209	1.374
3	0.723	1.242	1.577
4	0.797	0.495	1.099
5	1.654	0.724	1.188
6	0.963	0.853	1.272
7	1.290	1.382	0.948
8	0.789	0.421	0.731
9	1.126	0.921	1.270
10	0.980	1.298	1.521
11	0.739	0.685	1.100
12	1.193	0.443	0.902
13	0.886	1.531	1.109
14	1.092	1.155	1.140
15	0.910	0.555	1.174
16	1.370	0.780	1.064
17	0.877	1.228	1.028
18	1.389	0.902	1.222
19	0.908	0.613	1.113

例として，形容詞対 1~10 における各刺激の心理尺度値を，ネットワーク負荷量ごとに，図 2~ 図 4 に示す．図 2~ 図 4 において，各形容詞対ごとに，心理尺度値の最小値を原点としている．図 2~ 図 4 より，多くの形容詞対において，ネットワーク負荷量が多くなるにつれ心理尺度値が低くなっているが，その減少の割合は，形容詞対やコンテンツによって異なっていることが分かる．例えば，形容詞対 4 の“画像が滑らかなー滑らかでない”では，ネットワーク負荷量が多くなるにつれて，対応する心理尺度値は大きく減少している．一方，形容詞対 2 の“画像が明るいー暗い”においては，対応する心理尺度値の減少があまり見られ

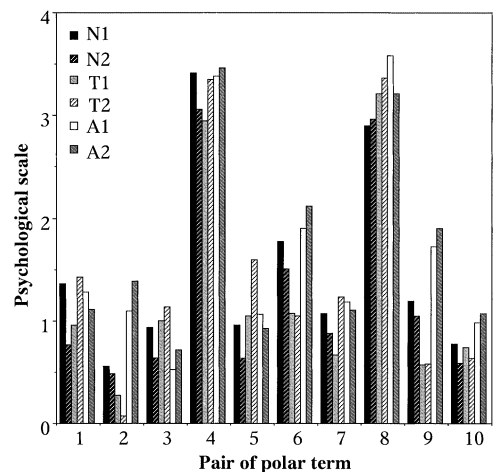


図 2 心理尺度 j (負荷が 3.0 Mbit/s のとき)
Fig. 2 Psychological scale j (3.0 Mbit/s load).

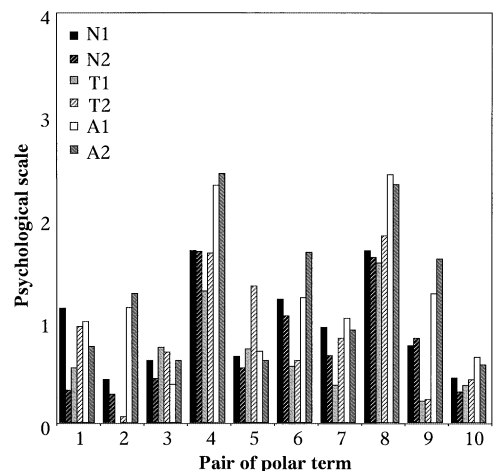


図 3 心理尺度 j (負荷が 3.4 Mbit/s のとき)
Fig. 3 Psychological scale j (3.4 Mbit/s load).

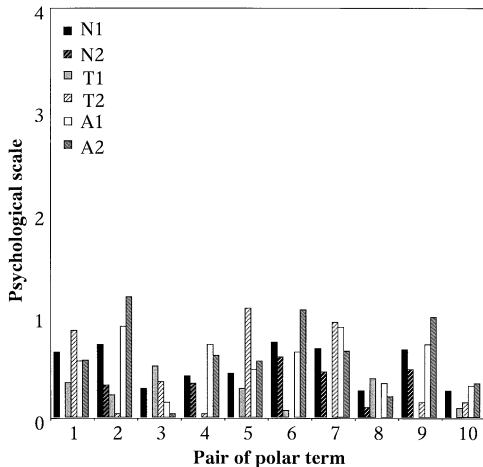
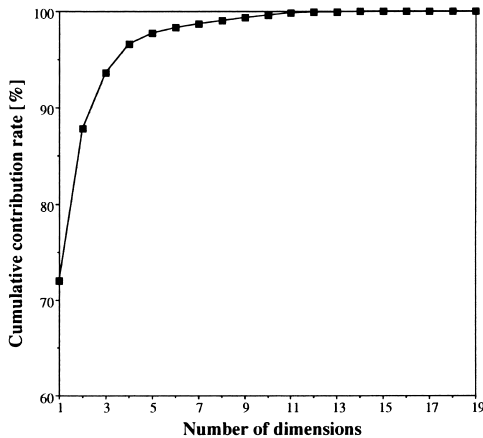
図 4 心理尺度 j (負荷が 3.8 Mbit/s のとき)Fig. 4 Psychological scale j (3.8 Mbit/s load).

図 5 心理尺度を変数として主成分分析を行った際の主成分数に対する累積寄与率

Fig. 5 Cumulative contribution rate versus number of dimensions.

ない。

4.2 主成分分析

前節で得られた心理尺度を変数として主成分分析を行い、19 次元の評価空間の圧縮を行った。主成分分析の結果、主成分数に対する各主成分の累積寄与率は図 5 のようになった。図 5 から、累積寄与率は、第二主成分までで 87.8%，第三主成分までで、93.6% となっている。第三主成分までは、主成分数の増加に伴い、累積寄与率も大きく増加しているが、第四主成分以降は、主成分数の増加により累積寄与率の大きな増加が見られない。したがって、第三主成分までをユーザレベル QoS パラメータとして考えるものとする。第

表 4 心理尺度 j の主成分負荷量Table 4 Principal component loading of psychological scale j .

心理尺度 j	主成分負荷量		
	第一主成分	第二主成分	第三主成分
1	0.860	-0.211	0.299
2	0.275	0.869	0.331
3	0.749	-0.501	-0.316
4	0.971	0.097	-0.194
5	0.731	-0.579	0.316
6	0.801	0.560	-0.084
7	0.771	0.093	0.488
8	0.958	0.003	-0.240
9	0.643	0.744	0.118
10	0.942	0.234	0.030
11	0.911	0.229	-0.254
12	0.925	-0.176	-0.266
13	0.828	0.096	0.177
14	0.927	-0.308	0.120
15	0.945	0.208	-0.224
16	0.802	-0.532	0.173
17	0.954	0.042	-0.005
18	0.881	-0.380	0.204
19	0.962	0.112	-0.226

三主成分まで含めれば、すべての心理尺度が表す情報量の 93.6% を表現できる。すなわち、19 個の心理尺度は、ほぼ三つの主成分に集約される。

各主成分に対する各心理尺度の主成分負荷量を表 4 に示す。また、図 6 に、第一主成分の主成分負荷量を横軸、第二主成分の主成分負荷量を縦軸として、各心理尺度を図示する。同様に、第一主成分の主成分負荷量を横軸、第三主成分の主成分負荷量を縦軸として各心理尺度を図 7 に示す。図 6 より、第一主成分は、「画像が滑らかな-滑らかでない」、「画像が自然な-不自然な」、「音声と画像のずれがない-ある」、「画像に迫力がある-物足りない」などに関する心理尺度と相関が高いことが分かる。したがって、第一主成分は、ビデオや音声の滑らかさを表す成分であると考えられる。また、第二主成分は、「画像が明るい-暗い」、「画像が鮮明な-ぼやけた」といった心理尺度と正の高い相関がある。すなわち、第二主成分は、ビデオの明るさ・鮮明さに関する成分であると推測できる。一方、図 7 より、第三主成分は、「音声が静かな-騒々しい」に関する心理尺度とやや弱い正の相関がある。したがって、第三主成分は、音声の静かさに関する成分であると考えられる。

各刺激に対する各主成分の主成分得点を表 5 に示す。また、表 5 の第一主成分の主成分得点を横軸に、第二主成分の主成分得点を縦軸に表したものを図 8 に

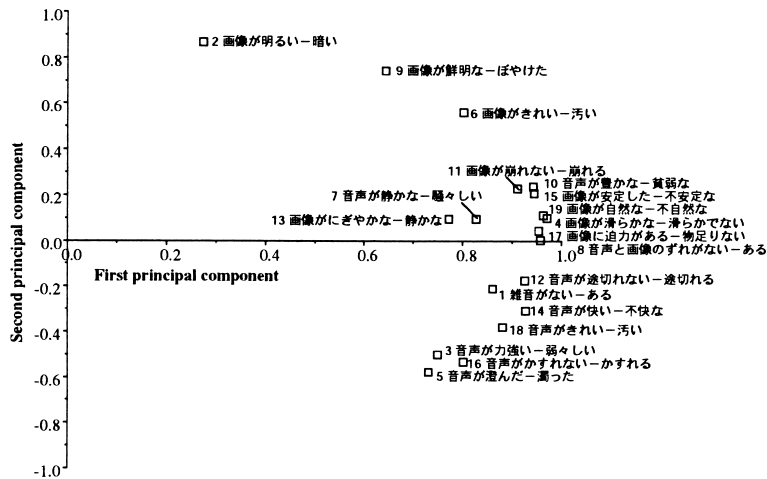


図 6 各心理尺度の主成分負荷量 (第一, 第二主成分)

Fig. 6 First and second principal component loadings.

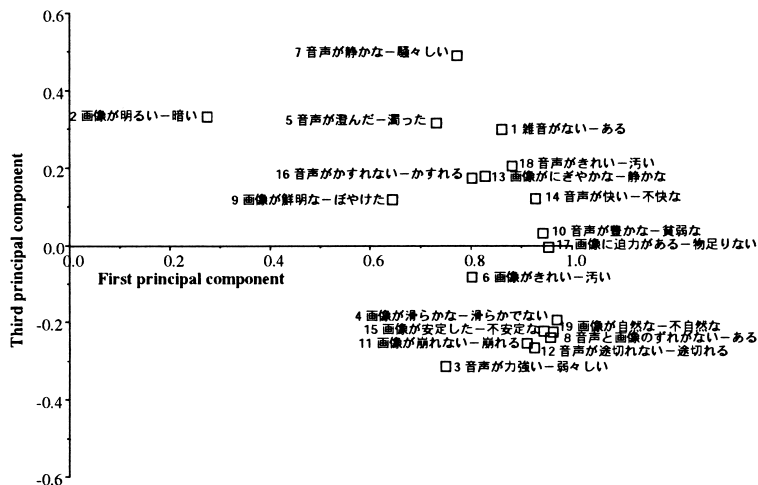


図 7 各心理尺度の主成分負荷量 (第一, 第三主成分)

Fig. 7 First and third principal component loadings.

示す. 同様に, 図 9 では, 横軸が第一主成分の主成分得点を, 縦軸が第三主成分の主成分得点を示している. 図中において, 各刺激はコンテンツ-平均ネットワーク負荷量の形で表されている. 例えば, A1-3.80 は, コンテンツがアニメ 1 で, ネットワークの平均ネットワーク負荷量が 3.80 Mbit/s のときの刺激であることを意味している.

図 8 より, 第一主成分の主成分得点は, コンテンツにかかわらず, ネットワーク負荷量が大きくなるに従って減少していることが分かる. これに対して, 第二主成分の主成分得点はネットワーク負荷量にかかわらず,

おおよそ, アニメ 2, アニメ 1, ニュース 2, ニュース 1, テニス 1, テニス 2 の順番で小さくなっていることが分かる. これより, 第一主成分, すなわち, 音声やビデオの滑らかさに関係する尺度は, ネットワークの品質によって影響を受ける尺度であり, 第二主成分の表すビデオの明るさ・鮮明さと関連する尺度は, コンテンツに含まれる内容に依存する尺度であることが予想できる. 各コンテンツのシーンを確認すると, アニメは, 手書きの線を着色したものであり, 画像がはっきりしている. 一方, テニスは, 屋外のシーンを中継したものであり, 他のコンテンツよりも画像が不

表 5 各刺激の主成分得点
Table 5 Principal component score of each stimulus.

刺激	コン テンツ	負荷 [Mbit/s]	主成分得点		
			第一主成分	第二主成分	第三主成分
1	N1	3.00	1.086	0.033	-0.662
2	N1	3.40	0.040	-0.228	0.203
3	N1	3.80	-1.047	0.458	0.467
4	N2	3.00	0.569	0.412	-1.711
5	N2	3.40	-0.338	0.075	-0.969
6	N2	3.80	-1.675	0.785	-0.944
7	T1	3.00	0.905	-0.871	-1.153
8	T1	3.40	-0.488	-0.958	-0.942
9	T1	3.80	-1.569	-0.487	-1.280
10	T2	3.00	1.409	-1.897	0.478
11	T2	3.40	0.095	-1.570	0.691
12	T2	3.80	-0.893	-1.454	1.708
13	A1	3.00	1.341	0.865	0.696
14	A1	3.40	0.351	0.786	0.684
15	A1	3.80	-0.828	0.544	1.279
16	A2	3.00	1.352	1.351	0.291
17	A2	3.40	0.432	1.217	-0.017
18	A2	3.80	-0.742	0.941	1.181

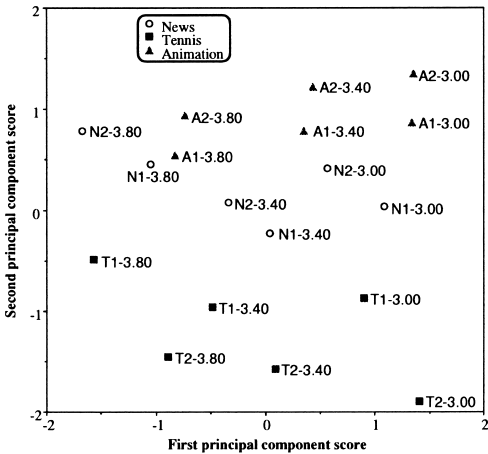


図 8 各刺激の主成分得点（第一，第二主成分）
Fig. 8 First and second principal component scores.

鮮明である．これらのことから，第二主成分がビデオの明るさ・鮮明さを表す尺度であることが確認できる．また，図 9 より，第三主成分の主成分得点もネットワーク負荷量との関連は見られない．その値は，おおそ，テニス 2，アニメ 1，アニメ 2，ニュース 1，テニス 1，ニュース 2 の順番で小さくなっており，特にテニス 1 とニュース 2 の値が低くなっている．各コンテンツに含まれるシーンを確認すると，テニス 2 は選手がボールを打ち合うシーンであるが，観客は静まり返り，ボールの打ち合う音のみが確認できるものであった．また，アニメ 1，アニメ 2 はそれぞれ，登場

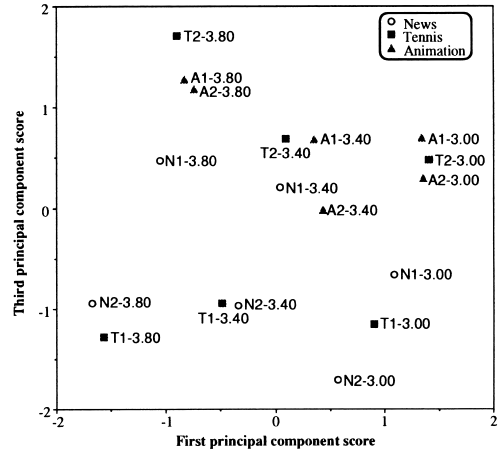


図 9 各刺激の主成分得点（第一，第三主成分）
Fig. 9 First and third principal component scores.

人物の会話以外の音声は含まれていなかった．ニュース 1，ニュース 2 はそれぞれ，アナウンサーが記事を読み上げているものであるが，ニュース 1 は社会記事を扱ったものであり，ニュース 2 は明るい内容の記事を取り上げている．テニス 1 もボールを打ち合うシーンであるが，選手の掛け声と，観客のざわめきが随所に現れている．また，ニュース 2 は明るい内容の記事を扱ったものであり，騒々しい感があった．この結果から，第三主成分も第二主成分と同様にコンテンツ自身に依存する尺度であり，そのコンテンツに含まれる音声の静かなものであるかどうかを示すものであると考えられる．

4.3 総合的な主観品質の測定

24 名の被験者に対し，総合的な品質に関する主観評価値を評定尺度法により求めた．その結果を表 6 に示す．表 6 の結果に対し，カテゴリー判断の法則を適用し，総合的な品質における主観評価値を表す距離尺度を求めた．得られた結果に対して，Mosteller の適合度検定を行ったところ，有意水準 5% で，得られた尺度と心理尺度が適合するという仮定は棄却できなかった．そこで，この距離尺度をユーザレベル QoS パラメータの一つとして考え，総合品質心理尺度と呼ぶ．また，本論文では，便宜上，総合品質心理尺度の最小値を原点とする．得られた総合品質心理尺度を表 7 及び図 10 に示す．図 10 において，横軸を平均ネットワーク負荷量，縦軸を総合品質心理尺度としている．図 10 より，すべてのコンテンツにおいて，平均ネットワーク負荷量が増加するに従い，総合品質心理尺度

表 6 総合的な品質に関する評価尺度法の結果

Table 6 Result of rating scale method for total subjective quality.

刺激	コンテンツ	負荷 [Mbit/s]	カテゴリー				
			1	2	3	4	5
1	N1	3.00	0	0	0	6	18
2	N1	3.40	0	5	10	9	0
3	N1	3.80	7	13	4	0	0
4	N2	3.00	0	0	2	6	16
5	N2	3.40	0	8	10	5	1
6	N2	3.80	13	8	3	0	0
7	T1	3.00	0	0	0	2	22
8	T1	3.40	3	12	7	0	2
9	T1	3.80	21	3	0	0	0
10	T2	3.00	0	0	1	7	16
11	T2	3.40	1	14	6	2	1
12	T2	3.80	23	1	0	0	0
13	A1	3.00	0	0	0	4	20
14	A1	3.40	1	2	9	8	4
15	A1	3.80	10	12	1	0	1
16	A2	3.00	0	0	0	4	20
17	A2	3.40	0	3	8	9	4
18	A2	3.80	11	11	2	0	0

表 7 総合的な品質に対する評価尺度

Table 7 Psychological scale for total subjective quality.

刺激	コンテンツ	負荷 [Mbit/s]	総合品質 心理尺度
1	N1	3.00	5.493
2	N1	3.40	3.847
3	N1	3.80	2.218
4	N2	3.00	5.355
5	N2	3.40	3.348
6	N2	3.80	1.800
7	T1	3.00	6.202
8	T1	3.40	2.954
9	T1	3.80	0.581
10	T2	3.00	5.529
11	T2	3.40	3.071
12	T2	3.80	0.000
13	A1	3.00	5.786
14	A1	3.40	3.917
15	A1	3.80	2.279
16	A2	3.00	5.786
17	A2	3.40	4.102
18	A2	3.80	1.788

値は減少しているが、その減少の割合は、コンテンツによって異なることが分かる。コンテンツがアニメとニュースの場合、平均ネットワーク負荷量の増加による総合品質心理尺度の減少の割合にほとんど違いは見られない。しかし、コンテンツがテニスの場合、平均ネットワーク負荷量の増加による総合品質心理尺度の減少の割合は、他のコンテンツよりも大きくなっていることが分かる。

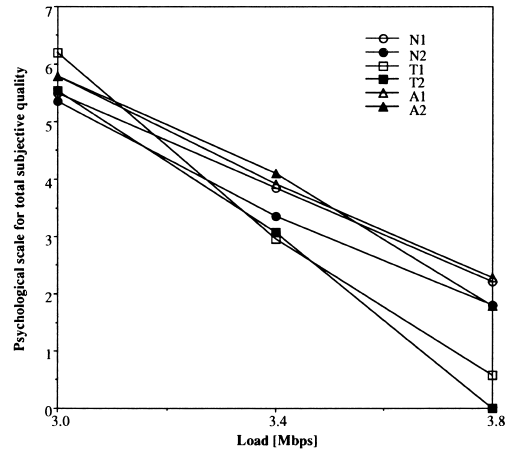


図 10 平均ネットワーク負荷に対する総合品質心理尺度
Fig. 10 Psychological scale for total subjective quality versus average load.

4.4 ユーザレベル QoS 間のマッピング

前節で求めた総合品質心理尺度と 4.2 で得られたユーザレベル QoS の各主成分との関係を明らかにするため、総合品質心理尺度を従属変数、各主成分を独立変数として重回帰分析を行った。その結果、次の重回帰式が得られた。

$$\hat{I} = 3.559 + 1.738U_1 + 2.457 \times 10^{-1}U_2 - 4.995 \times 10^{-1}U_3 \quad (1)$$

ここで、 \hat{I} は総合品質心理尺度の推定値であり、 U_1 、 U_2 、 U_3 は、それぞれ、ユーザレベル QoS パラメータの第一主成分、第二主成分、第三主成分である。自由度調整済み寄与率は 0.964 であり、高い精度で三つの主成分から総合品質心理尺度を推定できていることが分かる。しかし、式 (1) の各重回帰係数に統計的検定 [26] を適用したところ、有意水準 5% で、第一主成分及び第三主成分の係数は有意であったが、第二主成分の係数は有意ではなかった。すなわち、第二主成分は音声・ビデオ伝送における評価基準の一つではあるが、今回の実験においては、総合的な主観品質への大きな寄与は見られなかった。そこで、独立変数を第一主成分、第三主成分の二つとして重回帰分析を行い、得られた重回帰式を次に示す。

$$\hat{I} = 3.559 + 1.738U_1 - 4.995 \times 10^{-1}U_3 \quad (2)$$

この式の自由度調整済み寄与率は 0.957 であり、式 (1) とほぼ同じ寄与率が得られていることから第二

表 8 アプリケーションレベル QoS パラメータ間の相関係数
Table 8 Correlation coefficients between application-level QoS parameters.

	R_v	L_v	E_v	E_{int}	C_v	R_a	L_a	E_a	C_a
R_v	1.00	-1.00	0.33	-0.90	-0.98	1.00	-1.00	0.72	-0.99
L_v	-1.00	1.00	-0.33	0.90	0.97	-1.00	1.00	-0.72	0.99
E_v	0.33	-0.33	1.00	0.11	-0.21	0.35	-0.36	0.73	-0.24
E_{int}	-0.90	0.90	0.11	1.00	0.93	-0.89	0.88	-0.42	0.94
C_v	-0.98	0.97	-0.21	0.93	1.00	-0.96	0.95	-0.56	0.99
R_a	1.00	-1.00	0.35	-0.89	-0.96	1.00	-1.00	0.76	-0.99
L_a	-1.00	1.00	-0.36	0.88	0.95	-1.00	1.00	-0.78	0.98
E_a	0.72	-0.72	0.73	-0.42	-0.56	0.76	-0.78	1.00	-0.65
C_a	-0.99	0.99	-0.24	0.94	0.99	-0.99	0.98	-0.65	1.00

主成分は総合品質と関係が少ないことが分かる．更に，第一主成分のみを独立変数として単回帰分析を行った．得られた回帰式を式 (3) に示す．

$$\hat{I} = 3.559 + 1.738U_1 \quad (3)$$

この場合の自由度調整済み寄与率は 0.919 であり，第一主成分のみでも，主観品質のほとんどの部分を説明できる．しかし，第三主成分も独立変数とすることで，累積寄与率が 0.957 に増加することを考慮すると，第一主成分のみでは十分ではないことが分かる．すなわち，総合的な主観品質は，コンテンツの内容にも影響を受ける部分があることになる．

式 (2) において，第三主成分の係数が負になっている．すなわち，第三主成分の値が大きくなると，総合的な主観品質は劣化する．この理由を以下に述べる．4.2 において，第三主成分は「音声の静かさ」を表すことを述べた．このことから，音声の静かなコンテンツの場合は，音声の品質劣化を検知しやすくなるため，総合的な品質が低くなってしまったものと考えられる．

以上の結果から，音声・ビデオ伝送の総合的な評価において，通信品質に影響を受ける第一主成分が判断の主要因であり，第三主成分で表されるコンテンツの内容も判断の要因であることが分かった．また，コンテンツに関しては，個々のコンテンツが音の静かなものであるかどうか総合的な品質に影響を与えているといえる．

4.5 アプリケーションレベルとユーザレベル間の QoS マッピング

4.2 で求めたユーザレベル QoS パラメータの各主成分とアプリケーションレベル QoS との QoS マッピングを行った．ここでは，総合品質への寄与を確認できたユーザレベル QoS パラメータの第一主成分と第三主成分を扱う．アプリケーションレベル QoS パラメータとしては，文献 [1] で用いられているメディア同期

に関する以下の九つの尺度を用いた．まず，音声及びビデオのメディア内同期の QoS パラメータとして，メディア出力の滑らかさを表す出力間隔の変動係数（＝平均/標準偏差）を用いた．本論文では，音声，ビデオの変動係数を，それぞれ， C_a ， C_v で表す．更に，音声，ビデオのメディア内同期の平均二乗誤差 E_a ， E_v を検討した．これらは，MU の生成間隔と出力間隔の差の二乗平均として定義される．次に，音声，ビデオの平均 MU レート R_a ， R_v を用いた．平均 MU レートは，受信側で 1 秒間に出力された平均 MU 数である．また，総生成 MU 数に対する失われた MU 数の比率である MU 損失率も用いた．音声，ビデオの MU 損失率は，それぞれ， L_a ， L_v で表す．

メディア間同期品質を評価するために，メディア間同期平均二乗誤差 E_{int} を用いた．メディア同期においては，一つのメディアストリームをマスタストリーム，他のストリームをスレーブストリームとしてマスタと同期させる．メディア間同期平均二乗誤差は，スレーブメディアの MU の出力時刻とこれに対応するマスタメディアの MU の出力時刻の差から，それぞれのタイプスタンプの差を引いた値の二乗平均として定義される．

シミュレーション上での音声・ビデオ伝送時に，九つのアプリケーションレベル QoS パラメータ値の測定も行った．これらのパラメータ間の相関係数を表 8 に示す．表 8 より，多くのアプリケーションレベル QoS パラメータ間で高い相関があることが分かる．

九つのアプリケーションレベル QoS パラメータを変数として主成分分析を行ったところ，第一主成分の寄与率が 82.0%，第二主成分までの累積寄与率が 97.9% となった．したがって，第二主成分までを用いれば，九つのアプリケーションレベル QoS パラメータの 97.9% の情報を表現できることが分かる．第三

表 9 各アプリケーションレベル QoS パラメータの主成分負荷量

Table 9 Principal component loading of each application-level QoS parameter.

	第一主成分	第二主成分
R_v	-0.999	-0.036
L_v	0.999	0.034
E_v	-0.352	0.911
E_{int}	0.888	0.453
C_v	0.964	0.186
R_a	-1.000	0.003
L_a	0.999	-0.021
E_a	-0.752	0.584
C_a	0.989	0.134

主成分以降は、主成分数の増加により累積寄与率は大きく増加しなかったため、第二主成分までを扱うものとする。第二主成分までの、各アプリケーションレベル QoS パラメータの主成分負荷量を表 9 に示す。

表 9 より、アプリケーションレベル QoS パラメータを二つのカテゴリーに分類することができる。

- a) E_v 以外
- b) E_v

多重共線性を考慮して、重回帰分析における独立変数として、先に分類した二つのカテゴリーからアプリケーションレベル QoS パラメータの一つずつを選択する。したがって、考えられる独立変数の組み合わせは 8 種類となる。このすべての独立変数の組み合わせに対し、従属変数をユーザレベル QoS パラメータの各主成分として重回帰分析を行った。各重回帰式の自由度調整済み寄与率を表 10、表 11 に示す。

ユーザレベル QoS パラメータの第一主成分は、アプリケーションレベル QoS パラメータから高い精度で推定できるが、第三主成分を推定することはできない。これは、第三主成分が、コンテンツの内容に依存する成分であり、ネットワーク負荷による品質の劣化に影響されないためと考えられる。

表 10 の結果をもとに、アプリケーションレベル QoS からユーザレベル QoS パラメータの第一主成分を推定する重回帰式を選ぶ。表 10 を見ると、独立変数を E_v と C_v としたときに、最も寄与率が高くなっているが、独立変数の意味を考慮し、音声とビデオに関するパラメータの一つずつ独立変数として採用するものとする。 E_v は既に選ばれているので、残りの音声に関するパラメータの中で、寄与率を最も高くする C_a を独立変数として選ぶ。得られた重回帰式は次のようになった。

表 10 独立変数の組合せに対する自由度調整済み寄与率 (ユーザレベル QoS パラメータの第一主成分)

Table 10 Contribution rate adjusted for degree of freedom for each combination of independent variables (first principal component of user-level QoS parameters).

	R_v	L_v	E_{int}	C_v	R_a	L_a	E_a	C_a
E_v	0.885	0.884	0.877	0.926	0.862	0.851	0.416	0.896

表 11 独立変数の組合せに対する自由度調整済み寄与率 (ユーザレベル QoS パラメータの第三主成分)

Table 11 Contribution rate adjusted for degree of freedom for each combination of independent variables (third principal component of user-level QoS parameters).

	R_v	L_v	E_{int}	C_v	R_a	L_a	E_a	C_a
E_v	0.137	0.137	0.101	0.152	0.134	0.136	0.274	0.139

$$\hat{U}_1 = 3.163 - 1.595 \times 10 C_a + 2.499 \times 10^{-4} E_v \quad (4)$$

ここで、 \hat{U}_1 は第一主成分の推定値である。表 10 に示したように、この重回帰式の自由度調整済み寄与率は 0.896 であり、アプリケーションレベル QoS から高い精度で第一主成分値を推定できることが分かる。

ユーザレベル QoS パラメータの第三主成分がコンテンツに含まれる内容と関連のある尺度であることを確認するため、図 9 における各コンテンツの第三主成分値の大きさに基づき、以下に定義したダミー変数 C を独立変数とし、第三主成分を従属変数とした単回帰分析を行った。

$$C = \begin{cases} 0 & (\text{コンテンツがニュース 2 のとき}) \\ 1 & (\text{コンテンツがテニス 1 のとき}) \\ 2 & (\text{コンテンツがニュース 1 のとき}) \\ 3 & (\text{コンテンツがアニメ 2 のとき}) \\ 4 & (\text{コンテンツがテニス 2 のとき}) \\ 5 & (\text{コンテンツがアニメ 1 のとき}) \end{cases} \quad (5)$$

第三主成分の推定値を \hat{U}_3 で表すと、得られた回帰式は次のようになる。

$$\hat{U}_3 = -1.229 + 0.492 C \quad (6)$$

自由度調整済み寄与率は 0.855 であり、おおよその推定ができている。したがって、第三主成分がコンテンツ自身の内容に関連する尺度であることが確認できる。

4.4 の結果より、音声・ビデオ伝送における総合的

な主観品質は、先に求めたユーザレベル QoS パラメータの第一主成分と第三主成分で表現でき、特に、第一主成分のみで、総合的な主観品質の大部分を表すことができた。また、第一主成分は、ビデオや音声の滑らかさに関連の深い尺度であり、二つのアプリケーションレベル QoS パラメータ C_a , E_v により、推定が可能であった。したがって、 C_a , E_v の値が分かれば、音声・ビデオ伝送における総合的な主観品質を概ね推定できる。第三主成分は、コンテンツの内容に依存する尺度であり、音声の静かさに関するものであった。コンテンツの内容が既知である場合、その内容から、第三主成分を推定することができれば、第一主成分の推定値と、第三主成分のものをを用いることで、より高い精度で総合的な主観品質を推定可能である。しかし、コンテンツの内容から第三主成分値を定量化するためには、より多くのコンテンツを用いた評価が必要である。第三主成分の推定方法は今後の研究課題である。

5. む す び

本論文では、SD 法により、音声・ビデオ伝送におけるユーザレベル QoS の多次元評価を行った。また、系列カテゴリ法により総合的な主観品質を求め、各主成分との関係を調査した。その結果、今回の実験環境においては、総合的な主観品質は、二つの主成分と関連があり、一つはネットワークの品質に影響を受ける成分、もう一つはコンテンツの内容に依存する成分であった。特に、前者によって、総合的な主観品質の大部分を表すことができたことが分かった。また、各主成分とアプリケーションレベル QoS との QoS マッピングを行った結果、第一主成分は、メディア同期に関するアプリケーションレベル QoS パラメータの二つから推定でき、第三主成分は、コンテンツの内容から推定できることが分かった。

本研究では、研究の第一段階として、簡単な実験ネットワークを用いたが、他の音声・ビデオの符号化方式やネットワーク環境を用いた評価も必要である。しかし、本提案手法自身は、このような実験環境の違いにかかわらず適用できるものと考えられる。

その他の今後の課題としては以下のことが挙げられる。ストリーミング型配信においては、受信側のバッファリング制御による遅延揺らぎの吸収が行われる場合が多い。筆者らは、バッファリング制御がライブ伝送のユーザレベル QoS に及ぼす影響を調査している [10]。そこで、このようなバッファリング制御を行

う環境でのユーザレベル QoS の多次元評価も行う予定である。また今回用いたコンテンツ以外のものを用いて、同様の評価を行い、コンテンツの内容がユーザレベル QoS に及ぼす影響を更に詳細に調査する。最後に、今回得られた結果をもとに、音声・ビデオ伝送におけるユーザレベル QoS を高く保つための QoS 制御方式を検討する。

謝辞 データ取得に協力して頂いた山本健司氏に感謝する。本研究は、平成 15 年度電気通信普及財団研究調査助成金及び (財) 大川情報通信基金 2004 年度研究助成によって行われた。

文 献

- [1] S. Tasaka and Y. Ishibashi, "Mutually compensatory property of multimedia QoS," Conf. Rec. IEEE ICC2002, pp.1105–1111, New York, USA, April/May 2002.
- [2] 田坂修二, 石橋豊, "分散マルチメディアアプリケーションにおける QoS と QoS マッピング," 信学技報, CQ2001-40, July 2001.
- [3] K. Fukuda, N. Wakamiya, M. Murata, and H. Miyahara, "QoS mapping between user's preference and bandwidth control for video transport," Proc. IEEE/IFIP 5th International Workshop on Quality of Service (IWQoS'97), pp.291–301, New York, USA, May 1997.
- [4] Y. Ishibashi, S. Tasaka, and H. Ogawa, "A comparison of media synchronization quality among reactive control," Proc. IEEE INFOCOM2001, pp.77–84, Anchorage, USA, April 2001.
- [5] S. Mohamed, F. Cervantes-Pérez, and H. Afifi, "Integrating networks measurements and speech quality subjective scores for control purposes," Proc. IEEE INFOCOM2001, vol.2, pp.641–649, April 2001.
- [6] A. Watson and A. Sasse, "Measuring perceived quality of speech and video in multimedia conferencing applications," Proc. ACM Multimedia'98, pp.55–60, Bristol, UK, Sept. 1998.
- [7] 伊藤嘉浩, 田坂修二, "音声・ビデオ伝送におけるメディア同期を対象としたユーザレベル QoS の定量的評価及びマッピング," 信学論 (B), vol.J86-B, no.3, pp.485–498, March 2003.
- [8] 田中良久, 心理学的測定法 第 2 版, 東京大学出版会, 東京, 1977.
- [9] S. Tasaka and Y. Ito, "Psychometric analysis of the mutually compensatory property of multimedia QoS," Conf. Rec. IEEE ICC2003, pp.1880–1886, Anchorage, USA, May 2003.
- [10] Y. Ito, S. Tasaka, and Y. Fukuta, "Psychometric analysis of the effect of end-to-end delay on user-level QoS in live audio-video transmission," Conf. Rec. IEEE ICC2004, pp.2214–2220, Paris, France, June 2004.

- [11] A. Bouch, M. Gillian, and M.A. Sasse, "A 3-dimensional approach to assessing end-user quality of service," Proc. London Communications Symposium, pp.47-50, Sept. 2001.
- [12] C.E. Osgood, "The nature and measurement of meaning," Psychological Bulletin, vol.49, no.3, pp.197-237, May 1952.
- [13] 曾根敏夫, 城戸健一, 二村忠元, "音の評価に使われることばの分析," 音響誌, vol.18, no.6, pp.320-326, 1962.
- [14] S. Namba, S. Kuwano, K. Kinoshita, and K. Kurakata, "Loudness and timbre of broad-band noise mixed with frequency modulated sounds," J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol.13, no.1, pp.49-58, 1992.
- [15] S. Namba, S. Kuwano, and M. Koyasu, "The measurement of temporal stream of hearing by continuous judgments—In the case of the evaluation of helicopter noise," J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol.14, no.5, pp.341-352, 1993.
- [16] 舘 剛司, 井合 知, 北脇信彦, "高精細映像信号の品質評価試験用画像の選定法," 信学論 (B), vol.J75-A, no.10, pp.1569-1579, Oct. 1992.
- [17] 成田長人, 金澤 勝, "2D/3D HDTV 画像の心理因子分析と総合評価法に関する考察," 映情学誌, vol.57, no.4, pp.501-506, April 2003.
- [18] 鈴木淳也, 佐川雄二, 杉江 昇, "音と映像の組合せによる主観的印象の変化," 映情学誌, vol.55, no.7, pp.1053-1057, July 2001.
- [19] 山本健司, 伊藤嘉浩, 田坂修二, "コンテンツがユーザレベル QoS に及ぼす影響の多次元評価," 信学技報, CQ2003-12, April 2003.
- [20] 山岸和久, 林 孝典, "双方向マルチモーダルサービス品質に関する心理要因分析," 信学技報, CQ2004-38, April 2004.
- [21] 圓川隆夫, 多変量のデータ解析, 朝倉書店, 東京, 1988.
- [22] 難波精一郎, 桑野園子, 音の評価のための心理学的測定法, コロナ社, 東京, 1988.
- [23] B.L. Jones and P.R. McManus, "Graphic scaling of qualitative terms," SMPTE J., vol.95, pp.1166-1171, Nov. 1986.
- [24] URL <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [25] F. Mosteller, "Remarks on the method of paired comparisons: III a test of significance for paired comparisons when equal standard deviations and equal correlations are assumed," Psychometrika, vol.16, no.2, pp.207-218, June 1951.
- [26] 久米 均, 飯塚悦功, 回帰分析, 岩波書店, 東京, 1987.
(平成 16 年 7 月 8 日受付, 10 月 8 日再受付)



伊藤 嘉浩 (正員)

平 3 名工大・工・電気情報卒。平 5 同大学院博士前期課程了。同年国際電信電話(株)入社。KDDI 研究所主査を経て, 平 13 より名工大・電気情報助手。現在, 同大学院・講師。工博。インターネットにおけるサービス品質制御・評価の研究に従事。平 10 本会学術奨励賞, 平 11 本会コミュニケーションクオリティ研究会奨励賞。IEEE, 情報処理学会各会員。



田坂 修二 (正員:フェロー)

昭 46 名工大・工・電気卒。昭 51 東大学院博士課程了。工博。同年名工大・情報勤務。現在, 同大学院・教授。昭 59~60 UCLA 客員研究員。マルチメディア通信, 無線ネットワーク, QoS の研究に従事。IEEE, ACM, 情報処理学会, 画像電子学会各会員。