

音声・ビデオ IP 伝送における QoE 監視技術の研究（継続）

田坂 修二 名古屋工業大学大学院工学研究科教授

1 はじめに

電話に代表されるようなインタラクティブ通信サービスは、従来、回線交換網や専用線などの帯域保証された通信ネットワークで提供されてきた。現在では、インターネットのようなベストエフォートネットワークでの利用もあるが、今後は、QoS (Quality of Service) 保証が可能な IP ベースのネットワークである NGN (Next Generation Network) [1]での利用が主流になると予想される。

インタラクティブサービスの品質は、ネットワークだけでなく、端末やユーザ間の掛け合い（作業内容 (task)）までもの影響を受ける。結果として、ネットワークレベルの QoS のみならず、トランスポートレベル、アプリケーションレベル、更にはユーザレベルの QoS まで考慮する必要がある。ユーザレベルの QoS は、ITU において、QoE (Quality of Experience) [2]と呼ばれる。日本語では、ユーザ体感品質と訳されている。

ネットワークサービスにおける究極の品質目標は QoE の保証もしくは向上である。しかし、NGN に関する勧告では、QoE に関するものは規定外となっている。

NGN では、ネットワーク QoS と称して、ネットワークレベル QoS に相当するものが定められている。その QoS パラメータとして、IP パケットの遅延 (IPTD)、遅延変動 (IPDV)、欠落率 (IPLR)、誤り率 (IPER)、スループット (IPPT) 等が、ITU-T 勧告 Y. 1540 [3]で定義されている。更に、勧告 Y. 1541 [4]は、アプリケーションのリアルタイム性、インタラクティブ性、対象メディアなどにより、8 種類の QoS クラス (クラス 0 ~ 7) を導入している。各クラスに対して、満足すべき QoS パラメータ値が定められている。しかし、Y. 1541 で規定されているネットワーク QoS パラメータの客観値は、ユーザが要求する QoE を満足するための保証はない。実現される QoE が低すぎるかもしれないし、過度の要求となってネットワーク資源の非効率的な使用となっている可能性もある。従って、サービス時には、期待する QoE が実現できているかを監視できることが求められる。

実際のサービスにおいて、そのサービス提供中に QoE を監視することは困難である。QoE はユーザが感じる品質であるため、直接的にリアルタイムで測定することは難しい。そのため、サービス時の品質を監視して、制御につなげるためには、自動的に測定可能なパラメータを用いた QoE 推定が重要な役割を果たす。

この方法論による申込者の研究は、当財団の平成 19 年度研究調査助成に提案・採択され、ノンインタラクティブ・アプリケーション(ストリーミングサービスなど)を対象とした研究が行われた。今年度(平成 20 年度)は、この成果を踏まえ、同じ方法論をインタラクティブ・アプリケーション(TV 会議など)へ拡張する。

本研究は、(1)典型的作業内容の分類、(2)QoE 測定・評価、(3)リアルタイム推定・監視の 3 ステップで実施される。このうち、ステップ(1)の検討結果は、ステップ(2)及び(3)の成果内容に含めて議論できる。また、ステップ(2)は、ステップ(3)の研究の前提となるので、ステップ(3)と一緒に検討するのが妥当である。以上の理由により、本報告書の記述は、ステップ(3)を中心に行うことにする。

本研究では、参考文献[5],[6],[7] (この研究成果報告書末尾記載の発表資料)の成果が得られている。

文献[5]では、帯域保証 IP ネットワークにおけるインタラクティブ音声・ビデオ通信で QoE に影響を及ぼす要因が定量的に明らかにされている。そこでは、ユーザに対し一定の帯域幅が与えられるという条件の下で QoE 評価実験を行い、作業内容 (タスク) 種別に応じて、ビデオの符号化ビットレート及び受信側でのブレイアウトバッファリング時間の適切な設定が QoE 最大化のために重要であることが指摘されている。これは、ステップ(1)の研究成果の一つである。

文献[6]では、ステップ(2)と(3)に対応するものである。帯域保証 IP ネットワーク上のインタラクティブ音声・ビデオ通信サービスについて、線形重回帰分析を用いて QoE 推定を行っている。しかし、QoE 監視のために十分な推定精度が得られているとは言いがたい。

一方、文献[7]は、文献[6]の QoE 推定問題を、非線形重回帰分析により解いたものである。この非線形重回帰分析手法は、平成 19 年度の研究成果である文献[8]の方法論を拡張適用した。なお、文献[8]では、ベストエフォート IP ネットワークにおけるストリーミングサービスを想定し、3 次多項式による非線形重回帰分析によって比較的高い精度の QoE 推定が行われている。

また、中間報告書にも記載したように、音声・ビデオ IP 伝送における QoE 測定・評価及び推定について、その方法論を検討の結果、帯域保証の有無にかかわらず、同じ方法によって遂行できることが判明した。そのため、今後の帯域保証 IP ネットワークの重要性に鑑み、本研究では帯域保証がある場合のみを検討対象にすることとした。

以上の検討結果と得られた成果の状況を考慮し、本報告書では、文献[7]の内容を中心に成果をまとめる。すなわち、帯域保証 IP ネットワーク上のインタラクティブ音声・ビデオ通信におけるリアルタイム QoE 推定の問題を、非線形重回帰分析手法により扱う。独立変数としては、事前に設定することのできるシステムパラメータの他に、受信側でリアルタイムに測定できるアプリケーションレベル QoS パラメータを用いる。

以下では、第 2 章で、インタラクティブ音声・ビデオ通信における QoE に影響を及ぼす要因を説明する。第 3 章では、本報告書で対象とする帯域保証 IP ネットワークを概説する。第 4 章にて QoE 推定方法を説明する。第 5 章で QoE 評価実験の方法と結果を示す。更に、第 6 章において QoE 推定の結果を示し、最後に第 7 章で本報告のむすびを述べる。

2 インタラクティブ音声・ビデオ IP 通信における QoE

本章では、インタラクティブ音声・ビデオ IP 通信の QoE に影響を及ぼす要因を取り上げる[5]。ここでは、システムを設計する上で制御可能な要因に限定して議論する。これは、本報告では、QoE を考慮した設計・管理による QoE 最大化を目的としているからである。

そのような観点から、本報告では、研究の第一段階として、以下のような要因を取り上げる：

- (1) 端末間での保証帯域幅
- (2) ビデオ符号化ビットレート
- (3) 受信（プレイアウト）バッファリング時間
- (4) 作業内容（タスク）

ここで、(1) はネットワークに関する要因、(2) は送信端末のアプリケーションに関する要因、(3) は受信端末のアプリケーションに関する要因、(4) はユーザの行動に関する要因である。

帯域保証 IP ネットワークにおいて、端末間の保証帯域幅は、エンドツーエンド遅延やスループットに多大な影響を及ぼし、結果として QoE に大きく影響する。実際の NGN サービスにおいては、ユーザは、ある帯域幅を保証する、予め用意されたいくつかのサービスクラスの中から一つのクラスを選択することになると考えられる。本報告でもそのような状況を想定する。

保証帯域幅が与えられている状況において、ビデオの符号化ビットレートをどのように設定するかは重要な課題である。ビデオのビットレートは変動するため、保証帯域幅一杯に設定された符号化ビットレートは必ずしも適切とは限らない。最大のビットレートが保証帯域を上回らないように設定されることが望ましいと考えられる。ただし、インタラクティブサービスにおいて、ビデオはリアルタイムに符号化されるため、その最大ビットレートを予め知ることは困難である。

インタラクティブ音声・ビデオ IP 通信において、受信バッファリング時間は重要な役割を果たす。バッファリング時間は遅延と出力の滑らかさとのトレードオフの関係を作り出す[9]。大きな遅延揺らぎを吸収するためにバッファリング時間を増やすと、出力の滑らかさは改善されるが、遅延が増加する。一方、遅延を小さくするためにバッファリング時間を小さくすると、遅延揺らぎが吸収しきれず、出力の滑らかさが低下してしまう。

更に、作業内容もまた QoE に大きな影響を及ぼす要因である。ITU-T 勧告 P.920[12]には、インタラクティブ音声・ビデオ通信の試験方法が規定されている。そこでは、会話でのインタラクティブ性の度合いやビデオの重要度に応じた 5 種類の作業内容例が示されている。

3 帯域保証 IP ネットワーク

本報告では、帯域保証 IP ネットワークの一つとして、Transport Functions と RACF (Resource and Admission Control Functions) を含む簡易な NGN を想定する[5]。RACF は、Transport Functions に対して、QoS 保証のためリソース予約を指示する。

Transport Functions の帯域制御機能を実現するために、本報告では帯域制御可能なルータから構成されるネットワークを考える。RACF はルータに対して要求帯域の保証を指示する。要求帯域の保証はパケットスケジューラにより実現される。帯域保証のための典型的なスケジューリングアルゴリズムとして、WFQ

(Weighted Fair Queueing) や CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queueing) などがある。

本報告ではデータ転送フェーズのみを考察する。帯域予約のためのセッション確立・切断フェーズは、本報告では議論の対象としない。また、議論を簡単にするために、一組のユーザ間のインタラクティブ音声・ビデオ通信に着目する。

4 QoE 推定方法

本報告では、QoS マッピングにより QoE パラメータ値である心理的尺度値[10]を推定する。QoS マッピングでは、心理的尺度値を従属変数とした重回帰分析を用いて行う。独立変数として、事前に設定することのできるシステムパラメータの他に、受信側でリアルタイムに測定できるアプリケーションレベル QoS パラメータを用いる。

表 1 に、本報告の重回帰分析で独立変数として使用するシステムパラメータを示す。これらのパラメータ値は、受信側では、セッション開始時の SIP メッセージなどによって知ることができる。

表 1: 事前に設定可能なシステムパラメータ

表記	パラメータ名
B_v	ビデオの予約帯域幅 [Mb/s]
m_v	ビデオの符号化ビットレート設定値 [Mb/s]
T_b	受信(プレイアウト)バッファリング時間 [ms]
m_v/B_v	ビデオの符号化ビットレート設定値と予約帯域幅との比

また、アプリケーションレベル QoS パラメータを表 2 に示す。ここで、MU (Media Unit) とは、音声とビデオのアプリケーション層における転送単位であり、音声 MU は一定個数のサンプル、ビデオ MU は 1 ピクチャフレームに相当する。MU 欠落率は、メディア受信端末で出力されなかった MU 数が、メディア送信端末で発生した MU の総数に占める割合を示している。平均 MU 出力遅延は、MU の発生から出力までに要した時間を平均したものである。MU 出力間隔の変動係数は、その標準偏差を平均値を割ったものであり、この値が小さいほどメディア内同期品質が高いといえる。更に、メディア間同期平均二乗誤差は、ビデオ MU の出力時刻と、これに対応する音声 MU の出力時刻との差から、それぞれのタイムスタンプの差を引いた値の二乗を平均したものである。

表 2: アプリケーションレベル QoS パラメータ

表記	パラメータ名
L_a	音声平均 MU 欠落率 [%]
L_v	ビデオ平均 MU 欠落率 [%]
D_a	音声平均 MU 出力遅延 [ms]
D_v	ビデオ平均 MU 出力遅延 [ms]
C_a	音声 MU 出力間隔の変動係数
C_v	ビデオ MU 出力間隔の変動係数
E_{int}	メディア間同期平均二乗誤差 [ms ²]

本報告では、QoE 推定式の導出方法として、作業内容毎の導出 (方式 1) 及び作業内容とビデオ符号化ビットレート設定値との組み合わせ毎の導出 (方式 2) の 2 種類を考える。これら二つの方法で得られた推定式を用いて QoE 推定を行い、それらの推定精度を比較する。

5 QoE 評価実験

5.1 実験システム

図 1 に示す実験システムを用いて、QoE 評価実験を行った [5]。端末 1 と端末 2 は、ビデオカメラを接続した DSP Research 社製の H.264 リアルタイム符号化ボードを実装している。LS1 と LS2 は負荷送信端末、LR1 及び LR2 は負荷受信端末を表す。ルータ 2 とルータ 3 との間の回線は 10Mb/s の全二重 Ethernet であり、それ以外の回線は 100Mb/s の全二重 Ethernet である。

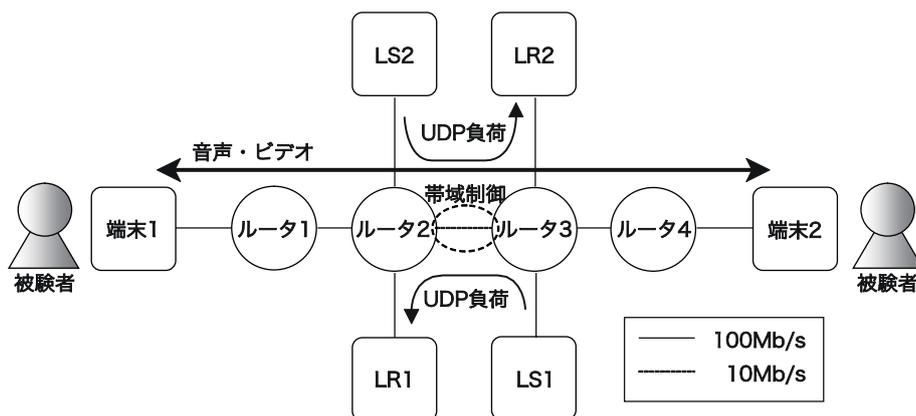


図 1：実験システム

このシステムでは、ルータ 2 とルータ 3 との間がボトルネックリンクとなる。ルータ 2 とルータ 3 には、帯域制御可能なルータとして Cisco Systems 社製の Cisco7301 を用いる。また、ルータ 1 とルータ 4 には通常のルータ (Riverstone 社製 RS3000) を用いる。ルータ 2 及びルータ 3 では、帯域制御方式として LLQ (Low Latency Queueing) [11] を用いる。

被験者二人は、端末 1 と端末 2 に配置され、音声・ビデオのインタラクティブ通信を行う。表 3 に音声とビデオの仕様を示す。ビデオは H. 264 (I ピクチャのみ) で符号化され、その符号化ビットレートは、“予約帯域幅 - 300kb/s” から “予約帯域幅” まで、100kb/s 刻みで設定される。トランスポート層プロトコルとして UDP を用い、音声とビデオを別々の UDP ストリームとして送信する。音声を LLQ の最優先クラス、ビデオ及び負荷トラフィックはそれぞれ優先クラスとして帯域を予約する。音声の予約帯域幅は 90kb/s で一定とする。ビデオの予約帯域幅は、1Mb/s, 2Mb/s, 3Mb/s, 4Mb/s の 4 通りとする。そして、残りの帯域幅を負荷トラフィックに割り当てる。

また、ビデオの予約帯域幅ごとに、受信側での MU バッファリング時間 (プレイアウトバッファリング時間) を変化させる。用いるプレイアウトバッファリング時間は、40ms, 80ms, 120ms, 160ms, 200ms, 300ms, 400ms, 500ms, 1000ms の計 9 通りとした。端末 1 と端末 2 で同一のバッファリング時間を設定する。

表 3：音声とビデオの仕様

	音声	ビデオ	
圧縮符号化方式	ITU-T G. 711 μ -law	H. 264/AVC GOP1	
符号化ビットレート	64[kb/s]	予約帯域幅 1Mb/s 時	0.7, 0.8, 0.9, 1.0 [Mb/s]
		予約帯域幅 2Mb/s 時	1.7, 1.8, 1.9, 2.0 [Mb/s]
		予約帯域幅 3Mb/s 時	2.7, 2.8, 2.9, 3.0 [Mb/s]
		予約帯域幅 4Mb/s 時	3.7, 3.8, 3.9, 4.0 [Mb/s]
MU レート	25[MU/s]		
再生時間	30[s]		

本報告では、受信側でのビデオ出力方式として、1 ビデオ MU (ビデオフレーム) を構成するパッケージが一つでも欠落した場合、その MU の出力をスキップするフレームスキップ方式を用いた。これは、文献[8]において、GOP が I ピクチャのみで構成される場合には、フレームスキップ方式を用いることが QoE 最大化に有効であることが示されているためである。

LS1 と LS2 から、それぞれ、LR1 と LR2 へ向けて負荷トラフィックを伝送する。負荷トラフィックとしては、1472 バイトの UDP データグラムを指数分布に従う間隔で発生させ、これを送信する。負荷トラフィックの平均送信レートは、負荷トラフィックに対する予約帯域幅と同一の値とした。

5.2 評価方法

被験者は、次の2種類の掛け合い作業により QoE 評価を行う。被験者が行う作業として、ITU-T 勧告 P. 920 を参考にし、各被験者への負担と実験時間内に被験者が同程度の会話を行えることを考慮した2種類の作業を策定した。以下に被験者に指示した作業内容を示す。

作業 1 一方の被験者は 1 から 5 までのランダムな数字を一つ選び、1 からその数まで昇順に数字を読み上げる。他方の被験者は、同じ動作を反復する。作業の開始は、二人の被験者が交互に行う。

作業 2 作業 1 の内容に加えて、数字を読み上げながら同時に手を叩く。

被験者は、各作業において、主観評価を行う。評価方法には、系列カテゴリー法[10]を用いる。評価尺度として、“非常に良い”、“良い”、“普通”、“悪い”、“非常に悪い”の5段階品質尺度 (Absolute Category Rating: ACR) [13]を用いる。被験者は20代の学生24人である。評価対象の総数は288であり、一回の評価時間を30秒としたところ、総評価時間は一名につき、休憩時間を含めて約360分であった。

5.3 評価結果

主観評価実験により得られた結果に対してカテゴリー判断の法則を適用し、距離尺度化を行った[5]。カテゴリー判断の法則はいくつかの仮定から成り立っているため、Mosteller の適合度検定[14]により、得られた距離尺度値の妥当性を検証した。その結果、有意水準 0.05 において、これらが測定結果に適合するという仮説が棄却された。そこで、誤差の大きいものから順に 38 個取り除いたところ、仮説が棄却されなくなった。こうして得られた距離尺度を、QoE パラメータである心理的尺度値として扱う。得られた心理的尺度値の最小値を原点としたところ、各カテゴリーの下限値は、それぞれ、カテゴリー5 (非常に良い) が 3.628, カテゴリー4 (良い) が 2.705, カテゴリー3 (普通) が 1.896, カテゴリー2 (悪い) が 0.986 となった。

6 QoE 推定結果

6.1 独立変数の選定

本報告では、非線形重回帰分析により QoE の推定を行う。そのため、まず、それぞれの作業内容について、各システムパラメータ及びアプリケーションレベル QoS パラメータと QoE 実測値との間にどのような関係があるか調査した。各パラメータ値と QoE 実測値との間に一次関数、二次関数、三次関数、もしくは対数関数を当てはめ、どれが最も当てはまりがよいかを調べた。表 4 に、その結果得られた QoE 実測値と各パラメータとの関係を示す。表中で、“なし”と示されているパラメータは、QoE 実測値との間に、当てはまりのよい関数が存在しなかった。

表 4: システムパラメータ及びアプリケーションレベル QoS パラメータと QoE の関係

	作業 1	作業 2
B_v	一次関数	一次関数
m_v	対数関数	対数関数
T_b	三次関数	三次関数
m_v/B_v	一次関数	一次関数
L_a	なし	なし
L_v	二次関数	二次関数
D_a	三次関数	三次関数
D_v	三次関数	三次関数
C_a	なし	なし
C_v	なし	なし
E_{int}	なし	なし

本報告で独立変数として用いたパラメータのうち、ビデオ予約帯域幅 B_v とビデオ符号化ビットレート m_v とは相関が高いといえる。そこで、試しにいくつかの場合で QoE 推定式を求めたところ、 m_v を用いたものの方が、 B_v を用いたものに比べて自由度調整済み重相関係数が若干高くなった。そこで、本報告では、多重共線性の問題を避けるため、これらの二つのパラメータのうち、 m_v を推定に用いる。

同様に、音声平均 MU 出力遅延 D_a とビデオ平均 MU 出力遅延 D_v は、受信バッファリング時間 T_b との相関が高いと考えられる。 T_b は、インタラクティブサービスの QoE に影響を及ぼす重要なパラメータであるため、本報告ではこれを推定に用いる。

以上のことから、作業内容ごとに推定式を導出する方式1では、 m_v の対数式、 T_b の三次式、 m_v/B_v の一次式、及び L_v の二次式を含む多項式の形式でQoE推定式を導出する。

一方、作業内容とビデオ符号化ビットレートの組み合わせごとに回帰式を導出する方式2においても同様に、これらの組み合わせごとに、各システムパラメータ及びアプリケーションレベルQoSパラメータとQoE実測値との間の関係を調べた。その結果から、方式2では、 T_b の三次関数と L_v の二次関数を用いることでQoEを精度良く推定できると考えられる。そこで、 T_b の三次式と L_v の二次式を含む多項式の形式でQoE推定式を導出する。

6.2 QoE 推定式の導出

非線形重回帰分析の結果、方式1で得られた回帰式を、自由度調整済み重相関係数とともに式(1)、式(2)に示す。各回帰式において左辺の \hat{i} はQoEパラメータの推定値を表し、 \hat{i} の下添え字は作業内容を示す。例えば、task1であれば作業内容が作業1であることを表す。

$$\begin{aligned} \hat{I}_{task1} = & 1.618 - 1.221 \times 10^{-8} T_b^3 - 1.924 \times 10^{-5} T_b^2 + 5.887 \times 10^{-3} T_b - 1.453 \times 10^{-5} L_v^2 \\ & + 5.850 \times 10^{-4} L_v + 1.424 \ln m_v - 2.233 \times 10^{-1} \frac{m_v}{B_v} \end{aligned} \quad (1)$$

自由度調整済み重相関係数 :0.974

$$\begin{aligned} \hat{I}_{task2} = & 0.408 + 1.080 \times 10^{-8} T_b^3 - 1.935 \times 10^{-5} T_b^2 + 9.332 \times 10^{-3} T_b + 5.389 \times 10^{-5} L_v^2 \\ & - 1.643 \times 10^{-2} L_v + 1.093 \ln m_v + 3.068 \times 10^{-1} \frac{m_v}{B_v} \end{aligned} \quad (2)$$

自由度調整済み重相関係数 :0.861

同様に、方式2で得られた回帰式を、式(3)から式(10)に示す。ここでは、紙面の都合により、ビデオ予約帯域幅が3Mb/sの場合の回帰式を示す。各回帰式において左辺の \hat{i} はQoEパラメータの推定値を表し、 \hat{i} の下添え字は作業内容を表す。更に、 \hat{i} の上添え字はビデオの符号化ビットレートの設定値を示している。例えば $\hat{I}_{task2}^{2.7}$ であれば、作業2におけるビデオ符号化ビットレート設定値が2.7Mb/sのときのQoEパラメータ推定値を表す。

$$\begin{aligned} \hat{I}_{task1}^{2.7} = & 4.271 - 8.210 \times 10^{-9} T_b^3 + 1.217 \times 10^{-5} T_b^2 - 6.642 \times 10^{-3} T_b + 1.906 \times 10^{-2} L_v^2 \\ & - 1.546 \times 10^{-2} L_v \end{aligned} \quad (3)$$

自由度調整済み重相関係数 :0.987

$$\begin{aligned} \hat{I}_{task1}^{2.8} = & 3.064 + 8.161 \times 10^{-9} T_b^3 - 1.331 \times 10^{-5} T_b^2 + 3.766 \times 10^{-3} T_b - 4.820 \times 10^{-4} L_v^2 \\ & + 4.346 \times 10^{-2} L_v \end{aligned} \quad (4)$$

自由度調整済み重相関係数 :0.959

$$\begin{aligned} \hat{I}_{task1}^{2.9} = & 2.736 + 1.279 \times 10^{-8} T_b^3 - 2.104 \times 10^{-5} T_b^2 + 7.281 \times 10^{-3} T_b + 2.730 \times 10^{-5} L_v^2 \\ & - 4.876 \times 10^{-3} L_v \end{aligned} \quad (5)$$

自由度調整済み重相関係数 :0.983

$$\begin{aligned} \hat{I}_{task1}^{3.0} = & -2.945 + 5.654 \times 10^{-8} T_b^3 - 9.743 \times 10^{-5} T_b^2 + 4.577 \times 10^{-2} T_b + 6.233 \times 10^{-4} L_v^2 \\ & - 1.398 \times 10^{-2} L_v \end{aligned} \quad (6)$$

自由度調整済み重相関係数 :0.982

$$\begin{aligned} \hat{I}_{task2}^{2.7} = & 5.143 - 2.481 \times 10^{-8} T_b^3 + 3.963 \times 10^{-5} T_b^2 - 1.754 \times 10^{-2} T_b + 3.168 \times 10^{-2} L_v^2 \\ & - 2.576 L_v \end{aligned} \quad (7)$$

自由度調整済み重相関係数 :1.000

$$\hat{I}_{task2}^{2.8} = 4.904 - 1.711 \times 10^{-8} T_b^3 + 2.899 \times 10^{-5} T_b^2 - 1.421 \times 10^{-2} T_b + 4.281 \times 10^{-2} L_v^2 - 3.853 L_v \quad (8)$$

自由度調整済み重相関係数 :0.990

$$\hat{I}_{task2}^{2.9} = 0.431 + 2.549 \times 10^{-8} T_b^3 - 4.356 \times 10^{-5} T_b^2 + 2.008 \times 10^{-2} T_b + 4.357 \times 10^{-4} L_v^2 - 4.585 \times 10^{-2} L_v \quad (9)$$

自由度調整済み重相関係数 :0.973

$$\hat{I}_{task2}^{3.0} = -9.650 + 2.467 \times 10^{-7} T_b^3 - 2.930 \times 10^{-4} T_b^2 + 1.132 \times 10^{-1} T_b + 2.080 \times 10^{-3} L_v^2 - 1.304 \times 10^{-1} L_v \quad (10)$$

自由度調整済み重相関係数 :0.975

6.3 QoE 推定精度の比較

推定式により得られた QoE 推定結果の例を, QoE 実測値とともに図 2 から図 9 に示す. 図 2 から図 5 までは, ビデオ予約帯域幅が 3Mb/s のときのものである. 図 2, 図 3 は, 作業 1 においてビデオ符号化ビットレートがそれぞれ 2.7Mb/s, 2.9Mb/s のときの受信バッファリング時間に対する心理的尺度値を示している. また, 図 4, 図 5 は, 作業 2 における結果を図 2, 図 3 と同様に示している. 更に, 図 6 から図 9 までは, ビデオ予約帯域幅が 4Mb/s のときのものである. 図 6, 図 7 は, 作業 1 においてビデオ符号化ビットレートがそれぞれ 3.8Mb/s, 4.0Mb/s のときの受信バッファリング時間に対する心理的尺度値を示している. また, 図 8, 図 9 は, 作業 2 における結果である. 各図中において, 実測値が示されていない箇所は, Mosteller の適合度検定によって取り除かれた刺激に対応している. 図中の横軸に平行な点線はカテゴリー間の境界を示している.

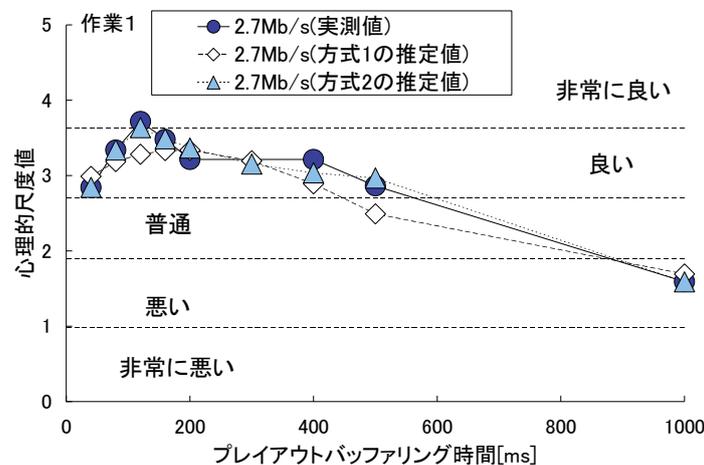


図 2 : ビデオ符号化ビットレート 2.7Mb/s, ビデオ予約帯域幅 3Mb/s (作業 1)

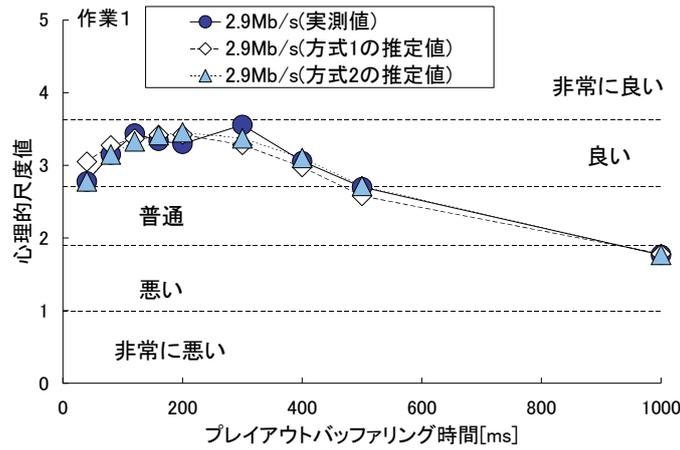


図 3 : ビデオ符号化ビットレート 2.9Mb/s, ビデオ予約帯域幅 3Mb/s (作業 1)

図 2 から図 9 より, 方式 2 によって得られた QoE 推定値が, 方式 1 で得られるそれよりも実測値に近くなっていることが分かる. これは, 方式 2 では, 符号化ビットレートごとに推定式を導出しているため, QoE パラメータと独立変数として用いたパラメータとの間きめ細かいマッピングができていているからである. しかし, Mosteller の適合度検定により取り除かれた刺激が多く存在する. そのため, QoE 推定式を導出する際のデータ数が少なくなる場合には, 適切に推定式を導出できない場合があることに注意が必要である.

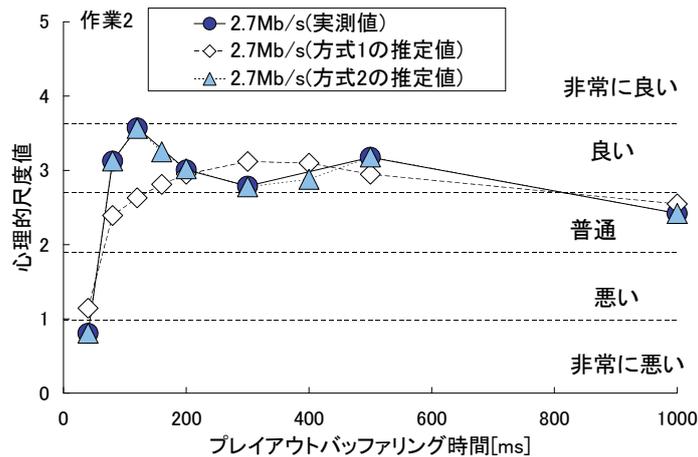


図 4 : ビデオ符号化ビットレート 2.7Mb/s, ビデオ予約帯域幅 3Mb/s (作業 2)

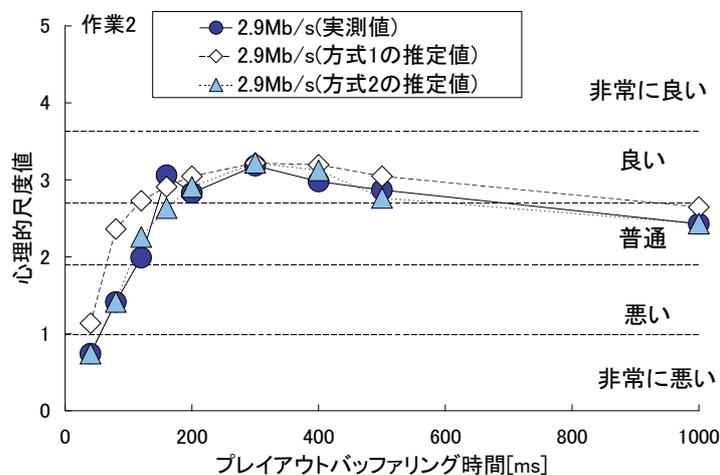


図 5 : ビデオ符号化ビットレート 2.9Mb/s, ビデオ予約帯域幅 3Mb/s (作業 2)

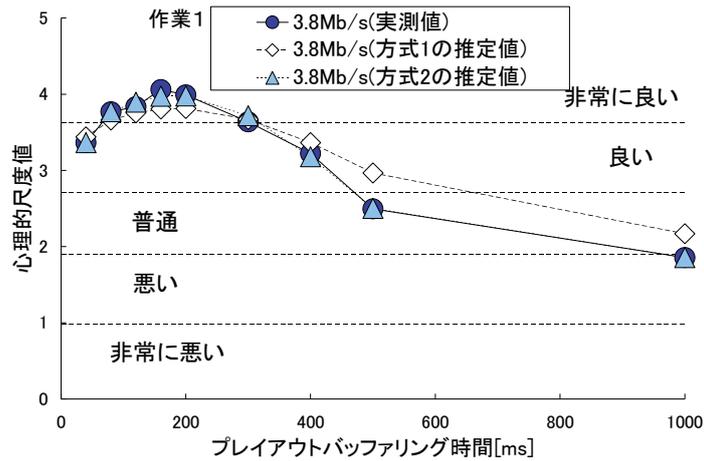


図 6 : ビデオ符号化ビットレート 3.8Mb/s, ビデオ予約帯域幅 4Mb/s (作業 1)

また、作業 1 に関する図 2, 図 3, 及び図 6 を見ると、方式 2 による推定値ほどではないが、方式 1 によって得られた QoE 推定値は、実測値と近い値を示している。このことから、特に作業 1 においては、方式 1 による推定も有効であるといえる。

作業 2 における推定結果である図 4, 図 8 では、方式 1 において、QoE 実測値の最大値付近での推定が上手くできていないことが分かる。これは、方式 1 では、作業内容ごとにデータをまとめて QoE 推定式を導出しているため、個々の符号化ビットレートごとの条件が QoE 推定に十分に反映できないためである。

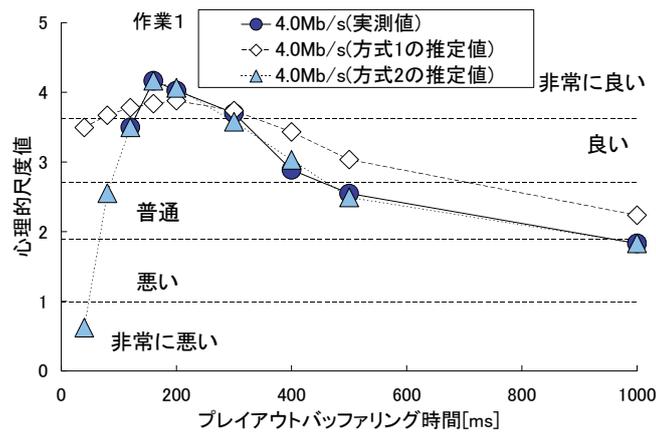


図 7 : ビデオ符号化ビットレート 4.0Mb/s, ビデオ予約帯域幅 4Mb/s (作業 1)

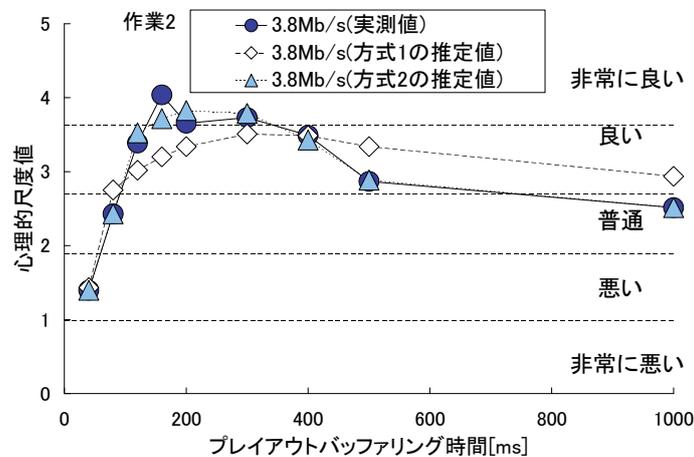


図 8 : ビデオ符号化ビットレート 3.8Mb/s, ビデオ予約帯域幅 4Mb/s (作業 2)

更に、図 8 と図 9 を比べると、QoE 実測値ならびに方式 2 での推定値では、符号化ビットレートの増加に伴い QoE が最大となるプレイアウトバッファリング時間が増加している。しかし、方式 1 の推定値では、その性質を十分に表現できておらず、いずれのビデオ符号化ビットレートにおいても、ほぼ同程度のプレイアウトバッファリング時間で QoE 推定値が最大となっている。このため、方式 1 では、作業 2 のような音声・ビデオ双方が QoE に影響する作業において、インタラクティブ通信の性質を考慮した QoE 推定を適切に行うことができていないといえる。

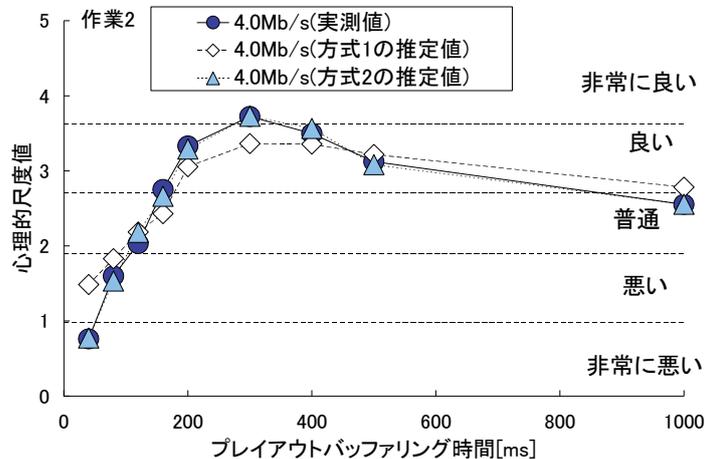


図 9：ビデオ符号化ビットレート 4.0Mb/s，ビデオ予約帯域幅 4Mb/s（作業 2）

7 むすび

本報告では、帯域保証 IP ネットワーク上でのインタラクティブ音声・ビデオ通信における QoE の推定のために、非線形重回帰分析により推定式を導出した。その際の独立変数として、事前に設定可能なシステムパラメータの他に、受信側で測定できるアプリケーションレベル QoS パラメータを用いた。作業内容毎に推定式を導出する方式 1 と作業内容とビデオ符号化ビットレートの組合せ毎に推定式を導出する方式 2 の 2 方式の精度を調査した。推定結果から、特に方式 2 を用いた場合に、QoE を高精度に推定できることが分かった。しかし、文献[6]で報告されている線形重回帰分析の結果と同様、方式 2 では、一つの推定式を導出するのに用いることができるデータが少ない場合、適切な推定結果が得られないことがある。

今後の課題としては、今回の実験とは異なる作業内容では QoE 推定精度がどのようになるか調べることが挙げられる。また、ある作業内容で得られた QoE 推定式を同種の別の作業内容に適用した場合、その推定精度がどのようになるか調べる必要もある。

【参考文献】

- [1] C. -S. Lee and D. Knight, "Realization of the next-generation network," IEEE Commun. Mag., vol. 43, no. 10, pp. 34-41, Oct. 2005.
- [2] ITU-T Rec. G.100/P.10 Amendment 1, "Amendment 1: new appendix I definition of Quality of Experience (QoE)," Jan. 2007.
- [3] ITU-T Rec. Y.1540, "Internet protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters," Dec. 2002.
- [4] ITU-T Rec. Y.1541, "Network performance objectives for IP-based services," Feb. 2006.
- [5] S. Tasaka and N. Misaki, "Maximizing QoE of interactive services with audio-video transmission over bandwidth guaranteed IP networks," in Conf. Rec. IEEE GLOBECOM 2009, Dec. 2009.
- [6] 大澤 勇太, 田坂 修二, "インタラクティブ音声・ビデオ IP 通信における QoEリアルタイム推定", 電子情報通信学会ソサエティ大会講演論文集 B-11-10, Sept. 2009.

- [7] 布目敏郎, 田坂 修二, 大澤 勇太, “インタラクティブ音声・ビデオ IP 通信における非線形重回帰分析による QoE 推定”, 電子情報通信学会技術研究報告 CQ2009-36, Sept. 2009.
- [8] S. Tasaka, H. Yoshimi, A. Hirashima and T. Nunome, “The effectiveness of a QoE-based video output scheme for audio-video IP transmission,” in Proc. ACM Multimedia 2008, pp. 259-268, Oct. 2008.
- [9] Y. Ito and S. Tasaka, “Tradeoff relationship between fidelity and latency in interactive audio-video applications over IP networks,” IEICE Trans. Commun., vol. E90-B, no. 5, pp. 1112-1121, May 2007.
- [10] S. Tasaka and Y. Ito, “Psychometric analysis of the mutually compensatory property of multimedia QoS,” in Conf. Rec. IEEE ICC 2003, May 2003.
- [11] S. Vegesna, “IP Quality of Service, ” Cisco Press, 2001.
- [12] ITU-T Rec. P.920, “Interactive test methods for audio-visual communications,” May 2000.
- [13] ITU-T Rec. P.911, “Subjective audiovisual quality assessment methods for multimedia applications,” Dec. 1998.
- [14] 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.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Maximizing QoE of interactive services with audio-video transmission over bandwidth guaranteed IP networks	Conf. Rec. IEEE GLOBECOM 2009	2009 年 12 月
インタラクティブ音声・ビデオ IP 通信における QoE リアルタイム推定	電子情報通信学会ソサエティ大会講演論文集 B-11-10	2009 年 9 月
インタラクティブ音声・ビデオ IP 通信における非線形重回帰分析による QoE 推定	電子情報通信学会技術研究報告 CQ2009-36	2009 年 9 月