

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科

# 博士論文審査報告書

## 論 文 題 目

映像通信の品質推定法に関する研究  
Quality Estimation Methodology for Video  
Communication

申 請 者

山岸	和久
Kazuhisa	YAMAGISHI

2013 年 7 月

ネットワークの広帯域化や映像コーデックの高圧縮化が進み、IP 網を介した映像通信サービスが普及してきた。映像通信の品質は符号化方式、コーデック実装、網状態、受信端末によるエラーコンシールメントやディスプレイ表示技術に依存する。このため、ユーザに高品質の映像通信サービスを提供するためには、これらの要因を加味しサービス品質を適切に設計することが重要である。具体的には、アプリケーション品質パラメータおよびネットワーク品質パラメータと主観品質の関係を定式化した品質設計技術を確立し、その設計技術に基づきサービス品質を推定することが基本である。次に、上記の品質設計がされたサービスを提供した後、サービス提供中の品質をリアルタイムに監視し、一定以上の品質を確保できていることをサービス提供者が確認できる仕組みを構築することが重要である。このインサービス品質監視は、サービス提供側の品質を監視するヘッドエンド品質監視、ネットワーク内の品質を監視するネットワーク品質監視、エンドユーザの体感品質を監視するエンドユーザ品質監視に大別される。これら3つの品質監視を実施し、サービスの安定運用を実現し、品質低下時に劣化原因の究明を早期に実施することが重要である。符号化直後の品質低下はサービスを享受するユーザすべてに影響を与えるため、インパクトも甚大である。ヘッドエンドにはしばしば無圧縮の原映像が存在するため、Full reference のモデルに基づき画素レベルで劣化を検知し、符号化直後の品質を監視することが適している。これに対しネットワーク品質監視では、ネットワークに多数の映像ストリームが流れるため、一つ一つのストリームを詳細に監視することはコストの観点で困難である。そのため、ネットワーク品質パラメータを監視し、網の正常性を監視することが適している。エンドユーザ品質監視においては、最終的なユーザの体感品質を監視する点で非常に重要である。しかし、ユーザの体感品質を監視するためには、ユーザ端末に品質監視技術を組み込む必要があり、コストの面から困難である。そのため、メディア信号や符号化情報が含まれるビットストリーム情報を使用せず、エンドユーザ端末が受信するパケットのヘッダ情報のみを用いて品質推定することが適している。そこで本論文では、テレビ電話サービスを例にした品質設計技術、3D 映像サービスを例にしたヘッドエンド品質監視技術、IPTV を例にしたエンドユーザ品質監視技術について検討を行っている。以下に各章の概要と成果を述べる。

第1章「はじめに」は序論である。

第2章「テレビ電話サービスに対する品質設計法」では、1対1のテレビ電話サービスの映像品質設計を目的に、映像ビットレート、フレームレート、パケット損失率が映像品質に与える影響を主観品質評価特性に基づいてモデル化した映像品質推定技術について検討している。まず、映像品質はビットレートに対して最適なフレームレートを持つことを主観品質評価特性より解

明し、符号化に対する映像品質を推定する技術を確立した。次に、パケット損失発生時の映像品質は、損失の増加に伴い低下するだけでなく、ビットレートやフレームレートにも依存することを解明した。そして、提案方式により推定された映像品質と主観品質評価値の関係から品質推定誤差が主観品質評価値の統計的信頼幅と同等なレベルになることを示し、テレビ電話の映像品質を適切に設計できることを示した。この映像品質設計技術の有効性はITU-Tにも認められ、ITU-T 勧告 G.1070 として標準化されている。

第3章「3D映像サービスに対するヘッドエンド品質監視法」では、3D映像サービスのヘッドエンド品質監視を目的に、3D映像を構成する左右眼の2D映像品質から3D映像品質を推定する技術について検討している。3D映像サービスは、左右眼の2D映像を水平方向に半分に圧縮し、1枚の2D映像として符号化・伝送し、デコーダが水平方向に拡大・表示する方式(方式A)、左右眼の2D映像を独立したエンコーダで符号化・伝送し、デコーダが同期復元して表示する方式(方式B)、左右眼の2D映像を左右眼映像間の冗長性を考慮して符号化・伝送し、デコードして表示する方式(方式C)に大別される。方式Aでは、左右眼の2D映像を水平方向に半分に圧縮するため水平方向の精細度が失われるが、左右眼の2D映像品質はほぼ同等である特徴がある。これに対し、方式BとCでは、水平方向の精細度の劣化はないが、実装の異なるエンコーダや異なるビットレートで符号化するため、左右眼の2D映像品質に差が生じる。2D映像の品質推定技術に関しては従来多数検討されていることに加え、標準化技術も存在するため、上記方式の違いによる3D映像品質の主観評価特性を導出し、3D映像品質を左右眼の2D映像品質から推定する技術を構築した。具体的には、左右眼の2D映像のうち高い映像品質と、左右眼の2D映像品質の差分値に3D映像品質は影響を受けることを解明し、品質評価特性をモデル化した。左右眼の2D映像品質の平均値を用いて3D映像品質を推定する従来技術においては、左右眼の2D映像品質差が大きくなると品質推定精度が低下するが、提案技術は左右眼の2D映像品質差の大小にかかわらず、良好な精度で3D映像品質を推定できることを示した。これより、既に技術開発が進んでいる2D映像品質推定技術と組み合わせることで、3D映像品質を監視可能になる。

第4章「パケット損失パターンを考慮したIPTVエンドユーザ品質監視法」では、IPTVサービスのエンドユーザ品質監視を目的に、パケットのヘッダ情報から映像品質を推定する技術について検討している。パケットのヘッダ情報はサービス提供者により異なるため、本章ではパケットのヘッダ内に映像フレームの区切りを示すマーカが存在しない場合に適用可能なエンドユーザ品質監視法を検討し、符号化に対する映像品質をビットレートに基づき推定した。パケット損失に対する映像品質推定の多くはパケット損失率に基づく推定が一般的だが、パケット損失率のみでは、一つのパケットが複数回損

失したか、一度に複数個の packets が損失したかを加味できない。そこで、packets の連続損失を示すバースト packets 損失長と packets 損失回数が映像品質に与える影響を解明し、バースト packets 長が映像フレームを構成する packets 数よりも十分に少ない場合、バースト packets 長によらず packets 損失回数のみで映像品質が影響されることを解明した。この品質評価特性に基づき、映像品質をビットレートと packets 損失回数に基づき推定する映像品質監視技術を構築し、主観品質評価値を実用上十分な精度で推定できることを示した。なお、本映像品質監視技術は、ITU-T 勧告 P.1201.1 の一部の技術として標準化されている。

第 5 章「映像フレームを用いた IPTV エンドユーザ品質監視法」では、IPTV サービスのエンドユーザ品質監視を目的に、映像フレームの区切りを示すマーカーがある packets を対象とした映像品質監視技術について検討した。従来、符号化に対する映像品質の推定はビットレートに基づくものが多く、packets 損失時の映像品質の推定は映像フレーム種別を加味し劣化が時間方向へ伝搬した映像フレーム数を加味した映像品質推定で実現されていた。しかし、ビットレートのみを用いた映像品質推定では映像品質へのコンテンツ依存性を加味できないため、I フレームのビット量に着目した映像品質推定を実施した。また、packets 損失発生時の映像品質推定において、映像内の物体の動き量によって品質劣化の見え方が異なるため、これも I フレームのビット量を考慮し映像品質の推定を実施した。これにより、ビットレートと劣化映像フレーム数のみに着目した従来法と比較して、提案法は品質推定精度を大幅に改善することができ、エンドユーザ品質監視に十分適用可能なことを示した。

第 6 章「まとめ」では、本論文の結論を述べている。

以上を要するに、本論文では、テレビ電話、3D 映像、IPTV を対象として取り上げ、観測可能なパラメータを用いて映像品質を推定するモデル式の導出とその有効性実証を行っている。その成果の一部は ITU-T 勧告に採用されると共に、映像品質推定技術の基盤の確立と応用の拡大に貢献するものであり、今後の映像通信システムの発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は、博士（工学）早稲田大学の学位論文として価値あるものと認める。

2013 年 7 月

審査員

主査	早稲田大学教授	博士（工学）（東京大学）	甲藤 二郎
	早稲田大学教授	工学博士（東京大学）	後藤 滋樹
	早稲田大学教授	工学博士（北海道大学）	渡辺 裕