

氏 名	タテ マツ アヤ ノ 立 松 綾 乃
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博第889号
学位授与の日付	平成25年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学 位 論 文 題 目	視覚・力覚・聴覚メディア伝送におけるユーザ体感品質 評価に関する研究 (Study on QoE Assessment in Visual, Haptic and Auditory Media Transmission)
論文審査委員	主 査 教 授 石 橋 豊 教 授 岩 田 彰 教 授 高 橋 直 久

## 論文内容の要旨

近年における計算機の高性能化，ブロードバンド通信の普及および触覚インタフェース装置の登場により，医療分野，ロボット制御分野，芸術・教育分野等の様々な分野において，力覚メディアとともに視覚，聴覚メディアを複数の端末間で伝送するアプリケーションが用いられるようになってきている．また，視覚メディアについては，通常のビデオの他に，立体ビデオや自由視点ビデオといった次世代のビデオに注目が集まっており，活発に研究が行われている．

本研究では，視覚・力覚・聴覚メディアを扱い，これらのメディアを一つ，二つ，あるいは三つ組み合わせて伝送する場合についてユーザ体感品質(QoE: Quality of Experience)の評価を行う．また，QoE とサービス品質(QoS: Quality of Service)との対応関係を明らかにする QoS マッピングを行う．まず，視覚メディアの伝送として，自由視点ビデオ伝送を扱い，次に，視覚・力覚メディアの伝送として，三次元仮想空間での協調作業と競合作業，実空間での立体ビデオ・力覚メディア伝送を扱う．そして，視覚・力覚・聴覚メディアの伝送として，ビデオ・力覚メディア・サウンド伝送を扱い，ネットワーク遅延が QoE に及ぼす影響を明らかにする．

本論文は以下の各章から構成される。

第1章では、本研究に至った背景を示し、本論文における議論の前提となる要素技術を説明する。そして、本論文の目的を示す。

第2章では、自由視点ビデオ伝送において、ネットワーク遅延が合成画像伝送方式と画像・奥行き画像伝送方式という二つの伝送方式の QoE に及ぼす影響を主観評価により明らかにする。また、自由視点ビデオの仮想カメラのカメラワークやビデオコンテンツの特性による影響も調べる。その結果、自由視点ビデオ伝送における QoE は、カメラワークやビデオコンテンツの特性により、方式間の優劣が異なるため、目的(ユニキャスト、マルチキャスト等)や状況(画像品質とインタラクティブ性のどちらを重視するのか)に応じて、二つの方式を使い分ける必要があることを示す。

第3章では、異種触覚インタフェース装置間の仕様の違いの吸収方法を検討している。仕様の異なる四つの触覚インタフェース装置(PHANTOM Omni, PHANTOM Desktop, SPIDAR-G AHS および Falcon)を用いて、CG (Computer Graphics)で構築された三次元仮想空間における協調作業と競合作業を扱い、各装置の作業空間を仮想空間へマッピングすることによって、装置間の作業空間の大きさの違いを吸収する。そして、マッピング方法が QoE の客観的な評価尺度である作業効果・作業効率に及ぼす影響を調査し、比較を行う。結果として、3 軸方向に一律にマッピングを行う方が、軸毎に必要なだけマッピングを行うよりも作業効果・作業効率ともに高くなることを示す。

第4章では、力覚メディア・立体ビデオを用いた遠隔制御システムを対象とし、ネットワーク遅延が QoE に及ぼす影響を主観評価により調査する。QoE として、触覚インタフェース装置の操作性、立体ビデオの出力品質、インタラクティブ性、および総合品質を評価する。また、アプリケーションレベル QoS の評価も行い、QoS マッピングにより、この QoS パラメータから QoE パラメータを全般に高精度に推定可能であることを示す。

第5章では、力覚メディア・ビデオ・サウンド伝送において、メディア間のネットワーク遅延の差と遅延揺らぎが QoE に及ぼす影響を主観評価により調べている。QoE として、触覚インタフェース装置の操作性、ビデオの出力品質、サウンドの出力品質、メディア間同期品質、および総合品質を評価する。また、第4章と同様にアプリケーションレベル QoS の評価を行い、アプリケーションレベル QoS と QoE との QoS マッピングにより、ほとんどの場合においてアプリケーションレベル QoS パラメータから QoE パラメータを高精度に推定できることを示す。

第6章では、本論文で得られた結論および今後の課題・展望を述べる。

## 論文審査結果の要旨

近年、教育・芸術分野、医療分野、ロボット制御分野等の様々な分野において、力覚メディアとともに視覚、聴覚メディアを複数の端末間で伝送する分散マルチメディアアプリケーションの研究開発が活発に行われている。また、視覚メディアについては、通常のビデオの他に、立体ビデオや自由視点ビデオといった次世代のビデオに注目が集まっている。

本論文は、視覚・力覚・聴覚メディア伝送を扱い、これらのメディアを一つ、二つ、あるいは三つ組み合わせる場合について、主観的および客観的なユーザ体感品質(QoE: Quality of Experience)を評価している。また、QoEとサービス品質(QoS: Quality of Service)との対応関係を明らかにするQoSマッピングを行っている。

第1章では、研究の背景と議論の前提となる要素技術を説明し、本論文の目的を示している。

第2章では、視聴者が自由に視点を変更できる自由視点ビデオ伝送システムを用いて、ネットワーク遅延が二つの伝送方式(合成画像伝送方式と画像・奥行き画像伝送方式)に対するQoEに及ぼす影響を主観評価している。また、QoEに影響を及ぼす要因として、仮想カメラのカメラワークとビデオコンテンツの特性の違いを採り上げている。結果として、二つの伝送方式におけるQoEは、前述の要因によって優劣が異なるため、目的(ユニキャスト、マルチキャスト等)や状況(画像品質とインタラクティブ性のどちらを重視するのか)に応じて、伝送方式を使い分ける必要があることを示している。

第3章では、現在様々な触覚インタフェース装置が開発されている中で、異なる装置を相互接続する方法を検討している。具体的には、三次元仮想空間における協調作業と競合作業において、装置間の作業空間の大きさの違いを吸収するためのマッピング方法を複数提案し、客観的なQoE評価尺度である作業効果・作業効率を比較している。その結果、3軸方向に一律にマッピングを行う方法は、軸毎に必要なだけマッピングを行う方法に比べて、作業効果・作業効率ともに高くなることを示している。

第4章では、力覚メディア・立体ビデオを用いた遠隔制御システムを構築し、ネットワーク遅延が主観的なQoEに及ぼす影響を調査している。QoEの評価項目として、触覚インタフェース装置の操作性、立体ビデオの出力品質、インタラクティブ性、および総合品質を扱っており、ネットワーク遅延に対するそれぞれの品質を定量的に示している。また、QoSマッピングを行い、アプリケーションレベルQoSパラメータの計測値からQoEを全般に高精度に推定可能であることを示している。

第5章では、力覚メディア・ビデオ・サウンド伝送システムを用いて、ネットワーク遅延がQoEに及ぼす影響を主観評価している。評価では、メディア間のネットワーク遅延の差と遅延揺らぎを変化させることにより、触覚インタフェース装置の操作性、ビデオの出力品質、サウンドの出力品質、メディア間同期品質、および総合品質を定量的に示している。また、第4章と同様にQoSマッピングを行い、ほとんどの場合においてアプリケーションレベルQoSパラメータからQoEパラメータを高精度に推定可能な推定式を導出している。

第6章では、本論文で得られた結論および今後の課題・展望を述べている。

上記の成果は、著書1編、解説記事1編、国内和文論文誌(査読あり)3編、および国際会議(査読あり)3編の論文として発表されている。本論文は、IPネットワークにおける力覚・視覚・聴覚メディア伝送において、QoEを向上させるためのメディア同期制御に代表されるQoS制御の設計指針を提供するものであり、この分野の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は本学博士(工学)の論文として十分その価値を有するものと判断する。