

氏名	コウ ヘイ コク 黄 平 国 HUANG PINGGUO
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博第892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	力覚及び嗅覚を利用した分散仮想環境におけるサービス品質制御とユーザ体感品質評価に関する研究 (QoS Control and QoE Assessment in Networked Virtual Environments Using Haptic Sense and Olfaction)
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

ネットワークの普及及び高速化, コンピュータの高性能化, 及び触覚インタフェース装置や嗅覚ディスプレイの研究開発により, 力覚及び嗅覚を用いた分散仮想環境の研究が活発になりつつある。力覚と嗅覚を従来から使われている視覚や聴覚と一緒に用いることにより, 臨場感の高いコミュニケーションが可能となる。そのため, 積み木遊び, 遠隔描画教示, 生け花, 果物狩りなどの様々な三次元仮想空間内の作業において, それらの感覚が用いられている。

本論文では, 力覚を利用した作業に対して, ネットワーク遅延などの影響をユーザ体感品質(QoE: Quality of Experience)の評価によって調査し, サービスの品質(QoS: Quality of Service)制御を検討している。また, 嗅覚及び力覚を利用した作業を対象に, 香りの出力タイミングが QoE に及ぼす影響を調査し, 香り出力の QoS 制御を検討している。

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, 二人の利用者が四種類の触覚インタフェース装置(PHANToM Desktop, PHANToM Omni, SPIDAR-G AHS, Falcon)の中の二つを用いて, 仮想空間内の一つのオ

プロジェクトと一緒に協力して持ち上げて動かす協調作業を行う。そして、ネットワーク遅延が触覚インタフェース装置の操作のしやすさに及ぼす影響を調査し、ネットワーク遅延が増加するにつれ、操作がしにくくなることと、操作がしやすい装置を使っている利用者は、操作がしにくい装置を使っている利用者の作業を助けることを示す。

第3章では、触覚インタフェース装置 (PHANToM Omni) を用いた積み木遊びを対象に、ネットワーク遅延とその揺らぎ、及びパケット欠落が協調作業のしやすさに及ぼす影響を調査している。協調作業として、三つの作業方法(一緒に持って作業をする場合、別々に持って交互に作業をする場合、手渡して作業をする場合)を扱い、ネットワーク遅延とその揺らぎ、またはパケット欠落率が増加するにつれ、協調作業が難しくなることに加え、二人の利用者が一緒に持って作業をする場合の平均オピニオン評点(MOS: Mean Opinion Score)が最も高いことを示す。また、手渡して作業をする場合、積み木を探す利用者の MOS は、二人で別々に持って交互に作業をする場合の MOS より高く、積み木を積み上げる利用者の MOS は最も低いことを示す。

第4章では、複数の端末間でメディアの出力タイミングを揃える端末間同期制御が必要となる、力覚を利用した二つの作業(遠隔描画教示と第3章の積み木遊び)を対象として、インタラクティブ性(遠隔の利用者間と利用者・システム間の即時対話性を指す)を高く保持するために、予測を用いた端末間同期制御を提案している。この制御では、相手端末から受信した位置の将来位置を予測して出力し、自端末の位置の出力も相手端末の位置の出力に合わせて早めて出力する。そして、QoE の主観評価と客観評価結果によって制御の有効性を示している。さらに、主観評価結果と客観評価結果の関係も調べ、客観評価結果から主観評価結果が高精度に推定可能であることを示す。

第5章では、嗅覚と力覚を扱い、地理的に離れた先生が生徒に生け花を教えることができる遠隔生け花を扱う。そして、香り空間(球状の領域であり、利用者の視点がこの香り空間に入ると、花の香りを感じることができる)の大きさを変化させることによって香りの出力タイミングが QoE に及ぼす影響を評価している。そして、香り空間の大きさには最適値が存在し、その最適値は、視点到花を近付ける場合と遠ざける場合とで異なり、花の平均移動速度に依存することを示す。

第6章では、第5章の評価結果に基づいて、香りの動的出力タイミング制御を提案している。この制御では、香りの発生源のオブジェクトを移動させる速度と方向に応じて、そのオブジェクトの香り空間の大きさを動的に変更するによって、香りの出力タイミングを動的に変更する。そして、QoE 評価の結果、制御を用いる場合の MOS は、平均移動速度や方向に大きく依存せず高くなることを示す。

第7章では、本論文で得られた結論及び今後の課題・展望を述べる。

論文審査結果の要旨

近年、力覚や嗅覚などを含む五感情報通信技術の研究開発が盛んに行われている。これら力覚、嗅覚などを従来から使われている視覚、聴覚と一緒に使うことによって、高品質な分散仮想環境を実現することが可能となる。しかし、ネットワーク遅延などによってメディアの出力品質が劣化するだけでなく、嗅覚の利用においては、どのタイミングで香りを出力すれば良いかが明らかにされていないという問題などもあり、ユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience) が大きく低下する可能性がある。これを解決し、できるだけ高く QoE を維持するためにサービス品質 (QoS: Quality of Service) 制御が必要である。

本論文は、力覚及び嗅覚を利用した分散仮想環境におけるいくつかの作業を対象に、ネットワーク遅延などが QoE に及ぼす影響を調査している。また、それらの作業に対して QoS 制御を提案し、QoE 評価によって、その効果を明らかにしている。

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について説明している。具体的には、分散仮想環境における力覚及び嗅覚を用いたアプリケーションを紹介し、力覚、嗅覚の特徴と入出力装置について説明している。そして、本論文と関係が深い QoS 制御であるメディア同期制御と予測制御の他に、それらの効果を検証するための QoE 評価手法について述べている。また、本論文の目的と各章の関係について示している。

第2章では、異なる四種類の触覚インタフェース装置を扱い、二つの装置を組み合わせる用いて、一つのオブジェクトを二人で協力して持ち上げる協調作業に対して、ネットワーク遅延が装置の操作のしやすさに及ぼす影響を QoE 評価により調べている。その結果、ネットワーク遅延が増加すると、各装置の操作がしにくくなることと、操作がしやすい装置を使っている利用者は、操作がしにくい装置を使っている利用者の作業を助けることを示している。

第3章では、力覚を用いて複数のオブジェクトを扱う協調作業である積み木遊びを対象に、ネットワーク遅延とその揺らぎ、パケット欠落が作業のしやすさに及ぼす影響を調査している。その結果、これらが増加するにつれ、協調作業が難しくなることに加え、三つの協調作業の方法 (二人で一緒に持って作業をする場合、別々に持って交互に作業する場合、手渡して作業をする場合) を比較し、二人の利用者が一緒に持って作業をする場合が最も作業がしやすいことを明らかにしている。

第4章では、複数の端末間で出力タイミングを揃える端末間同期制御によって、力覚のインタラクティブ性 (遠隔の利用者間と利用者・システム間の即時対話性を指す) が劣化する問題を改善するため、予測を用いた端末間同期制御を提案している。そして、システムの構成、力の計算方法などが異なる二つの作業 (力覚を用いた積み木遊びと遠隔描画教示) に対して、提案制御の効果を検証している。その結果、予測時間を適切に選択すれば、提案制御は有効であり、この制御は、端末間同期制御が必要となる作業、特に複数人が協調して行うような作業に適用可能であると述べている。

第5章では、嗅覚・力覚を利用した遠隔生け花を対象に、どのようなタイミングで香りを出力すれば良いかを明らかにするために、香り空間 (球状の領域であり、利用者の視点がこの香り空間に入ると、花の香りを感じることができる) の大きさが QoE に及ぼす影響を調査している。その結果、香り空間の大きさには最適値が存在し、香り発生源である花の平均移動速度と方向に依存することを示している。

第6章では、第5章の結果に基づいて、QoS 制御として香りの動的出力タイミング制御を提案している。この制御は、香りの発生源であるオブジェクトの移動速度と方向に応じて、そのオブジェクトの香り空間の大きさを動的に変更することによって、香りの出力タイミングを動的に変更する。そして、第5章の遠隔生け花に対して、その効果を QoE 評価により調査した結果、香りの動的出力タイミング制御は有効であり、平均移動速度や方向に大きく依存せず、常に高くなっていることを明確にしている。

第7章では、本論文で得られた結論及び今後の課題・展望を述べている。

上記の成果は、映像情報メディア学会誌をはじめとするジャーナル論文2編、審査有国際会議論文6編として発表されている。本論文は、今後の分散仮想環境における嗅覚、力覚を利用したアプリケーションだけでなく、実環境における分散マルチメディアアプリケーションの開発者やサービス提供者が、利用者の QoE を向上させるための方法を提供するものであり、多くの有意義な結論を導き出していると高く評価でき、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。