

氏名	田辺 健		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第9012号		
学位授与年月日	平成31年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	牽引力錯覚を利用したハプティックインタフェースに関する研究		
主査	筑波大学 教授	博士（工学）	矢野 博明
副査	筑波大学 教授	工学博士	岩田 洋夫
副査	筑波大学 准教授	博士(情報科学)	望山 洋
副査	筑波大学 教授(連携大学院)	博士（工学）	井野 秀一 (産業技術総合研究所)
副査	筑波大学 教授(人間総合科学研究科)	博士(心理学)	綾部 早穂

論文の要旨

審査対象論文は、牽引力錯覚を利用したハプティックインタフェースの設計要件を明らかにすることを目的として、インタフェースの構成方法、刺激提示手法およびインタフェースを用いた時の人間の知覚特性を明らかにしたものである。

第1章では、研究背景の説明とともに、本論文での用語の定義を行い、解決すべき研究課題と研究目的を述べている。第2章では関連研究として、従来のハプティックインタフェースを概観し、錯覚を利用した力覚提示、特に牽引力錯覚の研究動向および課題を述べている。第3章では、振動子に入力する信号のパラメータに対応した牽引力錯覚の知覚特性への影響を明らかにするとともに、錯覚される牽引力を制御する基本的な方法を示している。また、非対称振動の提示方法や刺激時間に対する知覚特性計測実験を行い、牽引力錯覚が生起する基本的な条件を示している。第4章では、非対称振動が人間の体に提示される際の加速度の時系列変化を制御できるデバイスを開発し、出力信号の制御の観点から非対称振動による牽引力錯覚を生起させるための非対称振動波形の違いによる影響評価を行い、デバイス設計における必要要件を示している。第5章は、複数の振動スピーカを用いた並進力・回転力提示装置および、錯覚される並進力と回転力の方向と強度を任意に制御するアルゴリズムを提案し、技能伝達のための動作教示実験により提案手法の有用性を検証している。最終章では得られた知見をもとに牽引力錯覚を利用したハプティックインタフェースを構成するための必要要件を体系的に述べている。

審査の要旨

【批評】

本論文は、非対称振動刺激による牽引力錯覚現象を利用した力覚提示装置の構成方法を人間の知覚特性に基づいて論じたものである。牽引力錯覚による力覚提示装置は田辺氏が開発した装置を含め、いくつかのシステムが提案されている。しかしながら開発システムによる牽引力錯覚が認められたという報告がほとんどで、その普遍的な構成方法は明らかにされていなかった。

田辺氏は自身が開発した装置を用いて、ユーザが装置を把持して利用する際の把持の仕方や装置の地面に対する姿勢、装置と指の接触面積などの違いによる機械特性や、ユーザの牽引力の最短知覚時間や感度劣化特性を牽引力錯覚の入力パターンを制御して心理物理学実験を行うことで明らかにした。さらに、特定の装置に依らない普遍的な提示手法を明らかにするために、ユーザの人体に加わる加速度の時系列パターンに着目して、牽引力錯覚が生起される非対称振動パターンが基本波とその2次高調波の組み合わせによって表現できることを明らかにした。さらに、振動スピーカを並列に並べることで並進力だけでなく回転力を提示する手法を提案し、デバイス構成に必要な基本的な要件を明らかにした。

振動装置はスマートフォンなどの持ち運び可能な装置に組み込まれている一般的な機械要素である。人体内での牽引力錯覚の生起の機序は未だ明らかになっていないものの、本研究で明らかにされた要件に基づいて装置および制御ソフトウェア設計を行うことで、牽引力錯覚を利用した経路誘導など実生活にも適用可能かつ有用な情報提示手段を提供可能にしている点で、本研究はヒューマンインタフェースの研究分野に対して多大な貢献がある研究成果と言える。

【最終試験の結果】

平成 31 年 2 月 4 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。