

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	森光 英貴
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学准教授 博士（工学） 桂 誠一郎			
副査 慶應義塾大学教授 工学博士 大西 公平			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 田口 良広			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 斎藤 英雄			
(論文審査の要旨)			
学士(工学), 修士(工学) 森光英貴君提出の学位請求論文は「Control of Generalized Physical Systems for Real-World Haptics」(実世界ハプティクスのための一般化物理システムの制御) と題し, 7 章から構成されている. 実世界ハプティクスは力触覚の双方向伝送を取り扱う新しい学術分野であり, 人間支援において不可欠な接触動作をロボットにより実現する上で重要な基盤技術となっている. これまでに, 作用反作用と軌道追従を同時に達成するために, 双対性を有する速度と力を加速度に基づいて制御する設計手法が確立されている. 力触覚伝送のさらなる高品質化や, 臨場感の高い遠隔地との相互作用のためには, 温熱覚のような感覚とのマルチモーダルな統合が必要であり, 本論文では温熱覚における双対性の制御ならびに力触覚と温熱覚の交換制御を実現するためのパワー授受の一般化制御を示している. 第 1 章では, 研究の背景と目的を述べ, 従来の研究を概説している. 第 2 章では, 熱系の支配方程式である拡散方程式を無限乗積展開し, 最低次項のみを抽出することで, 温熱覚の再現が熱流の総和制御と温度の同期制御により実現されることを示している. このことは, 熱デバイスが保存系であることを仮定した上で, 物理システムの横断変数と通過変数の制御問題として一般化できることを示しており, さらに横断変数変化率をロバストに制御するための外乱オブザーバの構成法を提案している. 第 3 章では, 温熱覚を双方向に伝送するためのバイラテラル制御の構成法や, 制御構造による性能の違いを理論的に示している. 一般化介在インピーダンスやボンドグラフ, 極配置に基づく解析により, パワーの高効率な双方向伝送に必要な制御構造を確認し, 力触覚および温熱覚伝送実験により解析の妥当性を検証している. 第 4 章では, バイラテラル制御を実環境で使用する際に問題となる通信遅延に対し, 制御系の性能劣化を回復させるための補償方法を提案している. 透明性解析により通過変数制御に対して補償フィルタを構成することで, 通信環境に応じた補償が可能であることを明らかにしている. 第 5 章では, 力触覚を再現する電磁アクチュエータ, 温熱覚を再現するペルチェ素子のように時定数の異なるデバイス間でバイラテラル制御を実装する際の同時性の向上手法について提案している. 第 6 章では, 特に温熱覚の応答性を向上させる際に重要な熱流センサレス化について, 分布定数系をノミナルモデルとした外乱オブザーバの構成法を示している. 熱流センサを物理的に除去することで熱容量の低減につながり, 制御系全体の応答性が向上することを明らかにしている. さらに, これまでの章で得られた要素を統合し, 力触覚と温熱覚という異種感覚交換によるバイラテラル制御実験により, パワー授受の一般化制御の有効性を確認している. 第 7 章では, 各章で得られた成果を纏め, 本論文全体の結論を述べている. 以上要するに, 本論文では力触覚と温熱覚の双方向伝送においてパワー授受による統一的な解析と設計が可能であることを明らかにし, 理論と実験の双方からその有効性を実証しており, 実世界ハプティクス分野において, 工学上, 工業上寄与するところが少なくない. よって, 本論文の著者は博士 (工学) の学位を受ける資格があるものと認める.			
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第 2 (システム統合工学専修) 科目担当で試問を行い, 当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した. また, 語学 (英語) についても十分な学力を有することを確認した.		