

自己評価報告書

平成23年 3月31日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2008～2011

課題番号：20686019

研究課題名（和文） 実世界ハプティックエネルギー変換に基づく人間支援空間基盤の構築

研究課題名（英文） Development of Fundamentals for Human Support Space
Based on Real-World Haptic Energy Conversion

研究代表者

桂 誠一郎 (KATSURA SEIICHIRO)

慶應義塾大学・理工学部・講師

研究者番号：00401779

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：人間支援システム，人間支援空間，実世界ハプティクス，
システムエネルギー変換，電気機器工学，電機統合システム，
モーションコントロール，産業電子

1. 研究計画の概要

人間にとって安全で豊かな生活を支援し、生活に伴うエネルギー消費削減を実現するために、人間も含む分散システムの間感覚情報を統合したリアルタイムネットワークを巡らすことで実際に空間的移動を伴わなくてもシステムが授受すべきサービスを遅延なく実現する人間支援空間基盤を構築することを目的とする。本研究では4年間の研究期間の中で、実世界ハプティックエネルギー変換技術と感覚フィードバック制御を統合した身体装着型ハプティックデバイスをネットワークに分散配置させることで、リアルタイムに人間の高度な作業支援を行う次世代の人間支援空間基盤を構築するための基本的手法の確立を目指す。

2. 研究の進捗状況

(1) ハプティックエネルギー変換プラットフォームの開発

ハプティックエネルギー変換を高効率に実現するため、広帯域な電流制御を実現するインバータを設計した。さらにアクチュエータ部、インバータ部、モーションコントロール部を総合したハプティックエネルギー変換の広帯域化、高効率化を実現するための基本手法について開発を行った。

また、ハプティックエネルギー変換器に基づき、人間および環境からのハプティックエネルギーを抽出・再現するための広帯域アクチュエーション技術の基本設計を行った。この広帯域アクチュエーション技術を導入したハプティックエネルギー変換プラットフォームは、モーションコピー理論に基づき、

人間の動作を効率よく抽出し・デジタル保存・再生することが可能であることを明らかにした。

(2) 身体装着型ハプティックデバイスの開発

ハプティックエネルギー変換プラットフォーム要素技術を身体装着型ハプティックデバイスに導入し、エネルギー変換部の性能評価を行った。さらにさまざまな機構の間で感覚フィードバックを行うためのリアルタイムネットワークの構築を目指し、ネットワーク上で人間・環境に対して双方向かつ有用なインタラクションをリアルタイムに提供可能な人間支援システムの検討を行った。具体的には、異構造ハプティックデバイス間での双方向力覚フィードバックに成功した。

(3) 移動型ハプティックデバイスの開発

身体装着型ハプティックデバイスと双方向でハプティックエネルギー変換を行い、遠隔地で作業を行うための移動型ハプティックデバイスの基本設計を行った。具体的には、ペダル型マスタシステムと6自由度二足歩行型スレーブシステム間でバイラテラル制御を構成し、歩行動作の遠隔再現と床反力フィードバックを得ることに成功した。

(4) 実世界ハプティクスに基づく人間支援空間の基本設計

ハプティックデバイスをネットワーク環境内に分散配置して人間を適切なタイミングで支援するための人間支援空間の基本設計を行った。まずハプティック通信に適した

伝送プロトコルの評価を行い、順序制御の有効性を確認するとともに、再送制御は不安定化の原因となることを明らかにした。また、ハプティックデバイスを使用して得られた人間の動作データについても解析を行い、デバイスを用いた支援をするために必要な動作データベースの構築についても検討を行った。

3. 現在までの達成度

① 当初の計画以上に進展している。

(理由)

実世界ハプティックエネルギー変換を双方向で行うシステムが人間の生活環境に埋め込まれ、人間を適切なタイミングで支援するという新しい人間支援空間の構築手法に関する発表論文が国際会議での Best Paper Award を受賞するなど、その成果は国際的に高く評価されている。この高いレベルでの実世界ハプティックエネルギー変換の実現により、構築される人間支援空間そのものも高性能化が見込まれ、当初の計画以上の成果が得られることが期待されるため。

4. 今後の研究の推進方策

これまでの研究により構築した人間支援空間基盤において、人間の動作の認識・再現・身体性拡張・支援というそれぞれのフェーズにおける機能を試験し評価を行う。動作認識に関しては、確率モデルや線形分類などに基づいた新しい動作データベース作成・認識手法の開発を行う。再現・身体性拡張に関してはマスタ・スレーブ間の距離を陽に考慮した新しいバイラテラル制御手法の開発を行う。最終的に、これらの一連のフェーズを統合した動作支援について、いくつかのモデル動作において試験・評価を行う。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 32 件)

- (1) 森光 英貴, 桂 誠一郎: “熱外乱オブザーバによるペルチェ素子の 2 自由度ロバスト温度制御”, 電気学会産業応用部門誌, Vol. 131-D, No. 7, July, 2011. (採択済・査読有)
- (2) S. Katsura, Y. Matsumoto, K. Ohnishi: “Shadow Robot for Teaching Motion,” Robotics and Autonomous Systems Journal, Vol. 58, No. 7, pp. 840-846, 2010. (査読有)
- (3) C. Mitsantisuk, S. Katsura, K. Ohishi: “Force Control of Human-Robot Interaction Using Twin Direct-Drive Motor System Based on Modal Space

Design,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 4, pp. 1383-1392, April, 2010. (査読有)

- (4) 永瀬 一貴, 桂 誠一郎: “力帰還型マルチラテラル制御に基づく歩行力覚フィードバック制御”, 電気学会産業応用部門誌, Vol. 130-D, No. 3, pp. 351-359, March, 2010. (査読有)
- (5) C. Mitsantisuk, S. Katsura, K. Ohishi: “Kalman Filter-Based Sensor Integration of Variable Power Assist Control Based on Human Stiffness Estimation,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 10, pp. 3897-3905, October, 2009. (査読有)

[学会発表] (計 33 件)

- (1) K. Nagase, S. Katsura: “Bilateral Control of Walking Haptic System,” 2011 Joint IEEE International Conference on Industrial Electronics & Southeastern Symposium on System Theory, ICIT-SSST11-AUBURN, March 14-17, 2011.
- (2) K. Nagase, S. Katsura: “Force Feedback Control for Haptic Walking System,” The 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON '10-PHOENIX, pp. 1528-1533, November 7-10, 2010.
- (3) T. Ishii, S. Katsura: “Articulated Multilateral Control for Haptic Broadcasting System,” The 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON '10-PHOENIX, pp. 1866-1871, November 7-10, 2010.
- (4) H. Morimitsu, S. Katsura: “Heat Inflow Control of Peltier Device Based on Heat Inflow Observer,” SICE 2010 Annual Conference, SICE 2010-TAIPEI, pp. 996-1001, August 18-21, 2010.

[その他]

- (1) 受賞 (計 8 件)
 - ① The Best Paper Award of the 13th EPE-PEMC08
 - ② 矢崎学術賞 奨励賞
 - ③ 電気学会 優秀論文発表賞 2 件
 - ④ SICE Annual Conference Finalists of International Award 2 件
 - ⑤ 三井住友海上福祉財団賞
- (2) ホームページ
<http://www.katsura.sd.keio.ac.jp/>