

Realization of Human Manipulation Based on Haptics

February 2014

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Doctor of Philosophy in Engineering



Keio University

Graduate School of Science and Technology
School of Integrated Design Engineering

Takahiro Nozaki

主 論 文 要 旨

報告番号	甲	第	号	氏 名	野崎 貴裕
主論文題目： Realization of Human Manipulation Based on Haptics (触覚学に基づく人間の操作の実現)					
(内容の要旨) ロボットは産業界を中心に飛躍的發展を遂げ、大量生産による生活水準の向上や物質的な豊かさを我々にもたらしてきた。一方で、少子高齢化や労働力不足を背景に、生活の質的豊かさの充足が希求されており、今後ロボットは生産工程のみならず人間の動作そのものを支援することが期待されている。したがって、人間の動作を分解・解析し理解することは今後の人間支援において極めて重要であり、また、これにより得られる知見は、ロボットが人間同様の動作を実現するための鍵技術となりうる。 本研究の目的は、触覚情報を取り扱う学問分野である触覚学（ハプティクス）の考えに基づき、人間の手の動作を人工的に実現することである。 第1章では、本研究の背景および目的を述べるとともに、先行研究について概説している。 第2章では、運動制御の基礎技術について述べている。 第3章では、本論文の基礎となる実世界ハプティクス技術の進展について概説し、位置および力の双対性に言及している。その後、モード空間外乱オブザーバによる位置制御系と力制御系との非干渉化手法を提案し、その性能および安定性について論じている。また、多自由度マニピュレータを用いた実験により本手法の有用性を検証している。 第4章では、腱駆動11自由度マスタ・スレーブ型ロボットハンドを開発するとともに、腱駆動機構を考慮したバイラテラル制御系を提案し、本システムにより触覚情報の抽出が可能であることを実験により確認している。さらに、腱伸張に起因する関節角度誤差の補償法を提案し、実験により有効性を検証している。また、より直感的な操作実現のため、主成分分析によって抽出される人間動作の特徴量を、道具上に設けられた座標系に写像する異構造バイラテラル制御手法を提案し、装着型ロボットハンドと鉗子型ロボットを用いた実験により有用性を確認している。 第5章では、動的計画法を用いた動作認識手法を提案し、5自由度マスタ・スレーブ型ロボットハンドを用いた実験により提案手法の有効性を検証している。さらに、本認識手法をモード空間へと拡張し、実時間における把持動作支援システムを実現している。 第6章では、触覚情報のスケールリングを伴うバイラテラル制御技術を応用した剛性推定手法を提案し、触覚伝達機能付き鉗子型ロボットを用いた擬似生体の摘出実験により提案手法の有効性を検証している。また、運動制御の原理に基づく人間動作の要素分解手法を提案し、シミュレーションおよび実験により提案手法の有効性を検証している。 第7章では、時間スケールリング技術を用い、接触対象物の位置の差異への適応を目的とした動作の再構成法を提案し、実験によりその有用性を確認している。また、力制御に基づく動作の再構成法を提案し、ナットの締緩動作を対象とした実験をおこなっている。実験ではナットの形状や大きさに関わらず締緩動作が達成されることを示し、提案手法の有用性を確認している。 第8章では、本研究の成果を要約するとともに、提案手法の今後の発展について言及している。 以上					

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	First name Surname Takahiro Nozaki
Title Realization of Human Manipulation Based on Haptics		
<p>Abstract</p> <p>Although robotics has shown rapid progress around the industrial field, robots are expected to improve our quality of life by supporting human motions in the future. Therefore, it is quite important to analyze and understand human motions. Furthermore, the obtained knowledge can be a key technology to make robots acquire human-like ability.</p> <p>The objective of this research is to realize human manipulation on the basis of haptics, which is a research field to deal with haptic information.</p> <p>Chapter 1 presents the background and the objective of this dissertation. This chapter also presents previous studies on realization of human motions.</p> <p>Chapter 2 describes fundamental technologies of motion control.</p> <p>Chapter 3 explains the research field of real-world haptics; it reviews the progress of research on real-world haptics. The following chapters are on the basis of the real-world haptics. In addition, chapter 3 shows a decoupling strategy for position and force control on the basis of modal space disturbance observers. This chapter also shows analytical results of the performance and the stability. The utility of the proposed method is experimentally verified by using a multi- degrees-of-freedom (DOF) manipulator.</p> <p>Chapter 4 describes a developed 11-DOF master-slave robot hands using tendon-driven mechanisms. Furthermore, a bilateral control system for tendon-driven robots is proposed. The transmission performance of the proposed system is experimentally verified. Chapter 4 also explains compensation of joint angle error caused by tendon elongation. This proposal is applied to a bilateral control system, and the validity is confirmed by experiments. In addition, Chapter 4 shows a bilateral control technique facilitating intuitive operation. The technique is based on motion features of an operator expressed by principal component analysis.</p> <p>Chapter 5 presents a recognition method of human motions using dynamic programming pattern-matching algorithm. The validity of this recognition method is experimentally verified by using a 5-DOF master-slave robot hands. This chapter also describes an application of above-mentioned recognition method to modal space. In the experiments, the proposed method is applied to grasping motions. It is confirmed that the proposed method can trigger scaled bilateral control and assists grasping force of the operator in real-time.</p> <p>Chapter 6 explains a proposed stiffness estimation system using scaled bilateral control. The utility of the proposed method is experimentally verified by using a haptic forceps robot. This chapter also shows a method to clarify the features of human motions by elementally separating haptic information on the basis of the principle of motion control.</p> <p>Chapter 7 presents a time-scaling technology to adapt to different location of target objects. This proposal shows usefulness especially in duration of the contact and amplitude of force. Furthermore, chapter 7 describes reproduction method of human actions. The utility of the proposed method is experimentally verified by applying to a removal operation of a nut. It is confirmed that the realized motion can remove the nut regardless of the size and shape.</p> <p>Chapter 8 summarizes and concludes this dissertation.</p>		