

# **Motion Control for Haptics and Its Application to Delayed Communication Systems**

September 2015

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

Shoyo Hyodo

## 主 論 文 要 旨

報告番号	甲	第	号	氏 名	兵頭 翔洋
主論文題目： <b>Motion Control for Haptics and Its Application to Delayed Communication Systems</b> (ハプティクスのためのモーションコントロールと むだ時間を伴う通信システムへの応用)					
(内容の要旨) 人間は、日常生活において触覚を用いて様々な動作や認識を行っているが、現在触覚に関する技術は視覚や聴覚に比べ遅れている。この原因は、聴覚や視覚と触覚の違いにあると考えられる。聴覚や視覚は「聞く」、「見る」という一方的な動作により認識できるが、触覚は人間が「触る」という動作を行い、対象物から反作用力を「受ける」という双方向的なやり取りにより認識できる感覚である。触覚を研究対象として扱う分野として、ハプティクスという分野がある。 本研究はハプティクスのためのモーションコントロールに関する基礎技術を構築することを目的としている。 第1章では、触覚を研究対象として扱うハプティクスという分野について概説し、本研究の位置づけを説明している。 第2章では、ロボットに所望の運動を実現させるために重要な技術となるモーションコントロールに関して概説する。 第3章では、ロボットハンドの多自由度化のために開発したフレキシブルアクチュエータについて概説し、ハプティクスで扱うのに十分な性能があるか実証している。 第4章では、周波数特性に基づいた環境の硬さの抽出および再現法に関して提案し、実験によってその有効性を示している。 第5章では、人及び環境の動作モードを定義している。また、各動作モードを抽出する方法とそれらに基づいて動作の方向性を提示するシステムを提案し、実験によってその有効性を示している。 第6章では、変動通信遅延やパケットロスといった非線形性が強いむだ時間を伴うフィードバック制御系に対応した通信外乱オブザーバの構成法を提案し、実験によってその有効性を示している。 第7章では、不安定なネットワークに対応したバイラテラル遠隔操作システムを構築するため、制御対象モデル及びむだ時間モデルを必要としないむだ時間補償器を提案している。また、再現性及び操作性についてむだ時間が無い場合と同等になる制御系を提案し、実験によってその有効性を示している。 第8章では、本研究の成果を要約し、今後の展望について言及している。					

## SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	First name Surname Shoyo Hyodo
<p>Title</p> <p style="text-align: center;"><b>Motion Control for Haptics and Its Application to Delayed Communication Systems</b></p>		
<p>Abstract</p> <p>Human beings use tactile sense to sense and recognize various motions in daily life. There will be little time which tactile sense is not utilized. However, technologies about tactile sense are less developed compared to technologies about acoustic sense and visual sense. This is caused from characteristics of tactile sense. Bilateral motion is needed to receive tactile sense. One is adding the action force by touching the object. The other is receiving the reaction force from the object. Thus, touching motions should be considered to handle tactile sense. "Haptics" is defined as the research field applying tactile sensation and control to interaction with computer applications.</p> <p>The objective of this research is to establish fundamental technology of motion control for haptics.</p> <p>Chapter 1 presents the background and the objective of this dissertation. This chapter explains tactile sense and introduces research of haptics.</p> <p>Chapter 2 describes fundamental technologies of motion control.</p> <p>Chapter 3 verifies the position and the force transfer characteristics of the thrust wire. From the verification results, the flexible actuator was considered to be valuable for robot hand mechanism for haptics. Moreover, as one of the application of the flexible actuator, the experimental results of the bilateral teleoperation system with the flexible actuator are shown.</p> <p>Chapter 4 proposes a method for abstraction of environment based on frequency characteristics. The force response and the position response of environment were transformed from time domain to frequency domain. Then, frequency characteristics of environment are abstracted. A method for reproduction of environment using Finite Impulse Response (FIR) filter is also proposed. Desired frequency characteristics are approximated by using FIR filter. This method is valuable for abstraction and reproduction of real environment based on frequency characteristics.</p> <p>Chapter 5 defines human action mode and environmental action mode. A measured haptic motion is divided to each human action and environmental action by human action mode and environmental action mode. Furthermore, two types of haptic motion display system are designed. One is based on human action mode. The other is based on human action mode and environmental action mode.</p> <p>Chapter 6 modifies a structure of time delayed control system with communication disturbance observer (CDOB) considering unstable time delay. As the nonlinear effect like communication packet dropouts or jitter can deteriorate the total control system with integrators, a case study has been accomplished considering allocations of the system model in CDOB. Then, the more robust CDOB structure against packet dropouts and jitter is designed.</p> <p>Chapter 7 proposes model-free time delay compensator. The proposed control system does not utilize the time delay model and the plant model, but the position control and the force control of the bilateral control system are stabilized. A bilateral control system to synchronize haptic and visual sense is also proposed. Moreover, allocations of high pass filter (HPF) are studied to attain the almost same performance with systems which do not include time delay. By allocating HPF correctly, the performance is improved with keeping the stability.</p> <p>Chapter 8 summarizes and concludes this dissertation.</p>		