

A Thesis for the Degree of Ph.D. in Engineering

**Modeling and Control of
Heat Conduction System
Based on Spatial Information**

February 2019

Graduate School of Science and Technology
Keio University

OSAWA, Yukiko

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	大 澤 友 紀 子
主 論 文 題 名 : Modeling and Control of Heat Conduction System Based on Spatial Information (空間情報に基づく熱伝導システムのモデリングと制御)					
(内容の要旨) 離れた人と人をつなぐ超臨場感コミュニケーションの実現に向けて多くの研究が行われてきた。中でも触覚情報を扱う研究は多くなされ、力触覚に関しては人工再現技術が確立された。力触覚に続く感覚情報として、近年温熱感覚が注目を集めており、熱電変換素子を用いた制御手法が数多く提案されてきている。しかしながら、従来のヒューマンインタフェースに関する研究の多くは、熱の拡散現象まで考慮した設計は行われていないため、熱源近傍での呈示にとどまり、性能向上にあたり限界があった。すなわち、制御設計面においても集中定数系に基づく手法が一般的であり、時間と空間を考慮した熱拡散の再現までは行われていなかった。そこで本論文では、空間情報を考慮した熱伝導システムのモデリングおよび制御手法の提案を行った。具体的には、空間上で制御する温度や熱流の割合を空間的制御熱コンダクタンスとして新たに定義し、温熱感覚呈示の機能性を向上させるための制御系設計手法を示した。 第1章では、本研究の背景および目的について関連研究を交えて説明した。 第2章では、空間的制御熱コンダクタンスという新しい制御指標を定義し、外部から流入する熱流に対する温度の感度と空間情報の関係性を示した。 第3章では、1つの熱源を用いた熱伝導システムのモデリングならびに制御手法を提案した。まず、集中定数系に基づき制御対象を有限個の熱容量を持つ系としてモデル化し、外部からの接触点に追従して温度制御を行う手法を提案した。さらに、この手法を空間上の任意の点で制御熱コンダクタンスを変化させる制御系設計手法として拡張を行った。次に、これらの制御系設計手法を分布定数系に適用するとともに、制御対象を減衰要素と遅延要素を用いてモデル化を行う手法についても新たに提案を行った。 第4章では、2つの熱源を用いた熱伝導システムの制御手法について示した。第3章での理論を拡張し、集中定数系に基づくモデルに対しては、2点の接触点に追従して熱コンダクタンスの値を変化させる手法について検証を行った。さらに、分布定数系に基づくモデルに対しては、空間上の任意の2点の温度制御について設計法を示した。 第5章では、多数の熱源を用いた熱伝導システムの制御手法を提案した。熱源間に仮想の熱伝導現象を作り出し、有限個の熱源で空間的に連続な温熱感覚を呈示する手法を提案した。また装着型の温熱感覚呈示グローブを開発し、指先間での双方向熱伝導制御について示した。さらに指先の温熱感覚呈示においては、熱源を4個用いた際の熱伝導制御手法を提案した。ここでは、第3章で提案した一次元の熱拡散方程式に基づく制御手法を応用し、二次元平面モデルへの理論の拡張を行った。さらに各提案手法において、空間的制御熱コンダクタンスの指標に基づき、実験により比較検討を行った。 第6章では、本研究の成果を要約し、結論とともに展望を述べた。					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	☒ “KOU” ☐ “OTSU” No. _____ *Office use only	Name	OSAWA, Yukiko
Thesis Title Modeling and Control of Heat Conduction System Based on Spatial Information			
Thesis Summary Communication technologies that connect human and human remotely with high realistic sensation have been well researched. Especially, haptics has been researched, and artificial realization of force sensation has been established. Following force sensation, thermal sensation has attracted attention in recent years, and there are a lot of control techniques using thermoelectric conversion devices. However, conventional researches did not consider thermal distribution. Thus there are limitation for improving the rendering performance since the control point is limited to a heat source. In other words, these methods are based on a lumped parameter system, and did not reproduce the temporal and spatial thermal distribution. Therefore, this thesis proposes a modeling and control of heat conduction system considering spatial information. In particular, a novel index of spatially controlled thermal conductance is defined, and control design methodologies for improving functionality based on the index is shown. Chapter 1 describes the purpose and background of this research. Chapter 2 shows the definition of spatially controlled thermal conductance, and explains about the relationship between spatial information and influence of heat-flow disturbance entered by touching with a human finger. In Chapter 3, the modeling and control method of one-dimension heat conduction is proposed. As for a lumped parameter system, heat conduction system is treated as a finite-capacitance system, and the method for detecting a contact point is proposed. Moreover, thermal conductance control at any contact points on the device is proposed. The method makes it possible to change the thermal responses at the contact points by setting parameters of the thermal conductance. As for a distributed parameter system, a modeling and control method using a thermal diffusion equation is proposed. In the method, a heat conduction system can be modeled as a damping element and a delay element by using a thermal diffusion equation, and it is easy to implement it in the control system. Chapter 4 shows a modeling and control method of two-dimension heat conduction. The methods of temperature and thermal conductance control with detection of two contact points are proposed. The control system using two one-dimension thermal diffusion equations is also explained. Chapter 5 describes a modeling and control method of a multi-dimension heat conduction system. The method for spatial rendering by generating a virtual heat conduction among heat sources is introduced. In addition, the wearable thermal interface is developed, and heat conduction between fingers is controlled. The fingers are covered by four Peltier devices, and temperature control is conducted using the damping and delay elements. Here, the control method mentioned in Chapter 3 is extended, and applied for a two-dimension surface model. In addition, these methods are compared based on the spatially controlled thermal conductance. Chapter 6 summarizes the results of this thesis and presents conclusions with future works.			