

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

**System Abstraction and  
Interactive Control Design  
Based on Element Description Method**

August 2018

Graduate School of Science and Technology  
Keio University

TAKEUCHI, Issei

## 主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	竹 内 一 生
主 論 文 題 名 : System Abstraction and Interactive Control Design Based on Element Description Method (要素記述法に基づくシステムの抽象化と対話型制御設計)					
<p>(内容の要旨)</p> <p>近年、労働人口の減少により、生産現場では一層の省人化が求められている。特に、工場の自動化を実現する自働機械は、これまで熟練技術者の技能やノウハウに基づいた調整がなされてきた。したがって、更なる省人化のためには、機械を知能化し、調整を機械自身に行わせる必要がある。機械の知能化を実現する手法の1つとしてビッグデータを活用した機械学習の技術が注目され、Industry 4.0をはじめとする様々なビジョンが提唱されている。現在、機械学習の技術として主流となっているニューラルネットワークに基づいた手法は、入出力データから最適モデルをフィッティングできるため、人間のノウハウを代替できる可能性がある。しかしながら、計算過程がブラックボックス化されてしまうという問題点があり、機械の思考に人間がついていけなくなるリスクがある。一方、モデルに基づく制御設計手法は計算過程が明瞭であるが、モデルを決定した段階でそのモデルに制約を受けてしまい、モデルの選択によっては精度が悪化してしまう。そこで本論文では、事前にモデルの選択が不要かつ、得られた結果の計算過程の理解が可能な新たな機械学習手法として、「要素記述法」を提案した。</p> <p>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。</p> <p>第2章では、要素記述法の基本原理を説明した。要素記述法は、ニューラルネットワークのような豊富な表現力と、モデルベース手法のような結果の可読性を両立できる。また階層的に学習を行うことで、そのシステムにおける支配的なモデルを順々に抽象化することができる。十分なモデルを得られた時点で学習を終了することで、実装上の複雑さも低減可能である。例として、摩擦システムの抽象化と補償器設計を行った。</p> <p>第3章では、要素記述法を用いた対話型制御設計法を提案した。要素記述法によって抽象化された結果をもとに、設計者が新たな条件を与え、次段階の学習を行う手法を示した。その結果、人間のノウハウに基づいて機械が新たな提案を行い、その結果から人間が機械に新たな提案を行う対話型の機械学習が可能になる。この例として、多慣性共振系・むだ時間系を対象とした制御設計を行い、効果があることを確認した。</p> <p>第4章では、要素記述法を制御の指令値生成に応用した。システムの目的と制約条件を与えることで、それに基づいて指令値が生成されることを確認した。また自働機械の滑らかな指令値生成の手法として、クロソイド曲線を用いた時空間スプラインの生成手法を説明した。</p> <p>第5章では、人間の動作を抽出するために有効な手法であるモーションコピーシステムの拡張手法について述べた。モーションコピーシステムは保存時と再現時の環境位置に変動がある場合に完全な動作の再現が困難になる。そこで、時間適応制御を提案し、再現環境に適応した再現動作が可能になることを示した。</p> <p>第6章では、実際の自働機械を用いて、人間の調整ノウハウを機械で代替する実験を行い、提案手法の効果を検証した。本研究では、特にモデル化が難しいとされてきた粉体を対象として、粉体充填制御の精度等を確認し、評価を行った。</p> <p>第7章では、本研究の成果を要約し、展望とともに結論を述べた。</p>					

# Thesis Abstract

No. \_\_\_\_\_

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> “KOU” <input type="checkbox"/> “OTSU” No. _____ *Office use only	Name	TAKEUCHI, Issei
Thesis Title System Abstraction and Interactive Control Design Based on Element Description Method			
Thesis Summary <p>In recent years, due to the decrease in the working population, further labor saving is required in the manufacturing site. Especially, adjustments based on skills and knowledge of experienced workers have been made for the automatic machinery that achieves factory automation. Therefore, for further labor saving, it is necessary to attain machinery intelligent and adjustments themselves. As a method to achieve machine intelligence, machine learning technologies utilizing big data have attracted attention, and various visions including Industry 4.0 are being proposed. Currently, a neural-network-based method, which is mainstream as the machine learning technology, can generate a desired calculator from the input/output data, so there is a possibility that human knowledge can be substituted. However, there is a problem that the calculation process is black boxed, and there is a risk that human beings cannot follow the thinking of the machine. On the contrary, a model-based optimization method has a clear calculation process, but the model is restricted at the stage when the model is decided by a human. Hence, if the human chooses a model incorrectly, accuracy deteriorates. Therefore, in this thesis, an “element description method (EDM)” which requires no model selection beforehand, is proposed. Thus it is possible to understand the calculation process of the result obtained in advance.</p> <p>Chapter 1 describes the purpose and background of this research.</p> <p>Chapter 2 explains the basic principle of the EDM. The EDM can achieve both abundant expressiveness like a neural network and readability of results like a model-based method. By learning hierarchically, it is possible to extract from the dominant models in that system in order. Therefore, system abstraction can be achieved by ending learning when a sufficient model is derived. As an example, a friction-system abstraction and compensator design are conducted.</p> <p>Chapter 3 proposes an interactive controller design using the EDM. Based on the abstracted result by the EDM, the designer gives new conditions and obtains the next learning by the EDM. As a result, the machine proposes a new model from human knowledge, and human give new suggestions to the machine from the result, interactive machine learning becomes possible. As examples, controller design for a multi-mass resonant system and time-delay system are performed using the EDM.</p> <p>In Chapter 4, the EDM is applied to a command-value generation for control. By giving the purpose and constraint condition of the system, it is confirmed that the command value is generated based on it. In addition, a method for generating spatiotemporal spline using clothoid curves as a method to generate smooth command values for automatic machinery is proposed.</p> <p>Chapter 5 describes a motion-copying system which is one of the effective methods for extracting human motions. It is difficult to perfectly reproduce the motion if there is a variation in the environmental position between the storage and reproduction. Therefore, time adaptation control is proposed, and it is shown that it can reproduce more correctly.</p> <p>In Chapter 6, experiments are conducted to replace human adjustment expertise with machines by using an actual machinery. In this research, high-precision powder-filling control is proposed, especially for powders which are known to be difficult to model.</p> <p>Chapter 7 summarizes the results of this thesis and presents conclusions with future works.</p>			