

氏名	湊原哲也
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	生工博甲第88号
学位授与の日付	平成20年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	自己組織化する適応制御器の開発
論文審査委員	主査 教授 森江 隆 " 山 川 烈 " 石 川 眞 澄 " 永 松 正 博 " 林 初 男

学位論文内容の要旨

本論文は人間のような高い適応性と汎化性を持つ制御器の実現への足がかりとして自己組織化する適応制御器 (Self-Organizing Adaptive Controller : SOAC) を提案するものである。ここで高い適応性と汎化性を持つ制御器とは具体的には以下の2点を実現する制御器である。(1)制御対象の特性の突然の変化に対応し得る制御器、(2)できるだけ少ない標本数からの汎化的な制御能力を有する制御器。(1)に関して、環境の変化は連続的に変化するものだけでなく突然変化することがあるために、このような制御器の構築は不可欠である。例えば、ロボットアーム等を用いて物体を操作することを考える。見た目も重さも全く異なる物体 A と物体 B があつたとする。制御対象が A から B へ変われば制御対象に関する物理特性は一瞬のうちにしかも大幅に変化する。しかし対象を思い通りに操作するためには対象の物理特性に適した制御器を選ばなければならないが、一瞬のうちにゲインを調整することは非常に困難である。(2)に関して、一般に獲得したい環境や制御対象の数が増えるほど必要な学習量は増加する。したがって、少ない標本から汎化的な制御能力を獲得できることは学習時間を削減できるという意味で有効である。

提案手法 (SOAC) は予測器と制御器を対とするモジュールが2次元格子状に配置された構造を持つ。予測器は制御対象の次時刻における状態を予測し、制御器は予測器が表現するシステムに対して最適な制御器を構成する。また各モジュールはそれぞれ異なる制御対象に特化している。ある制御対象が与えられたとき、制御対象の状態を最も高い精度で予測を行ったモジュールが最適モジュール (Best Matching Module : BMM) として選ばれ、BMM に含まれる制御器を用いて対象が制御される。制御対象が突然変化した場合には BMM が自動的に切り替わるために様々な制御対象に適応できる。これは先の(1)を実現できることを意味する。また提案手法はモジュラーネットワーク自己組織化マップ (modular network Self-Organizing Map : mnSOM) と呼ばれる手法を元にしており、mnSOM が持つ内挿機能により学習では用いていない“中間的なシステム”を多数獲得できる。そのため学習では用いていない未知の制御対象に対しても有効に働く。従来方法では必要な環境や制御対象の数だけモジュールを用意しておきそれらについてのみしか学習・制御ができないため、提案手法の方がより汎化性の高いシステム記述ができる。すなわち提案手法により(2)も実現できる。

以上の目的に対し本研究では以下の事を行った。(1) SOAC の提案。(2) SOAC の有効性の検証 (3) SOAC の応用。(1)に関して、mnSOM の枠組みに沿う形で SOAC のアーキテクチャをデザインし、学習アルゴリズムを考案した。(2)に関して、SOAC の有効性を従来手法との制御性能の比較によって示した。(3)に関して、SOAC を倒立振り子系に適用し、安定した応答結果が得られただけでなく、SOAC によってパラメータの可視化やパラメータ推定などのシステム解析が行えることを示した。

以上をまとめた論文の構成は以下の通りである。第1章は序論である。第2章は基礎知識であり、提案手法の基本となる自己組織化マップ (Self-Organizing Map : SOM)、モジュラーネットワーク、モジュラーネットワーク SOM、フィードバック誤差学習と多重順逆対モデル (Multiple Paired

Forward and Inverse Models : MPFIM) について解説した。第3章で SOAC の提案を行った。本章では SOAC のアイデアと特徴を過去の研究と比較しながら紹介し、その後で SOAC のアーキテクチャと学習アルゴリズムについて書き記した。第4章では SOAC の実行例を物理特性の異なる操作物のアームトラッキングを用いたシミュレーションを用いて示し、また SOAC の有効性を類似手法である MPFIM との性能比較によって示した。第5章では SOAC の応用として、倒立振子を用いて見えた目誤差に基づくモジュール選択法とシステム解析への応用としてパラメータ推定を行った。第6章は討論であり SOAC の他の手法との比較、現在の課題と改良案、今後の発展などについて述べた。そして第7章にてまとめを行った。

学位論文審査の結果の要旨

本論文で提案された方法は、ロボット等に高い適応性と汎化性を与えるものである。また極めて応用性に富む手法であるため、今後の発展性についても期待できる。着想が優れていることに留まらず、提案手法の有効性と特性をさまざまな切り口から検証しており、非常に信頼性の高い客観的評価を積み重ねている。特に従来手法と比べてはるかに高い安定性を持つことを客観的に示したことは、本手法の有用性を主張する上で重要な実験であった。

また、本論分に関し、論文調査員及び公聴会出席者から、種々質問が行われたが、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論分が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。