

氏名	なかにしひろあき 中 西 弘 明
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3625 号
学位授与の日付	平成 14 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	ニューラルネットワークの学習によるフィードバック制御系の構築に関する研究

論文調査委員 (主 査)
教授 井上 紘一 教授 土屋 和雄 教授 吉川 恒夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、非線形な制御対象に対してフィードバック制御系の構築をニューラルネットワークの学習により行う方法に関する研究と、その工学的な実用性の検討を行ったものであり、以下の五章からなっている。

第一章は序論であり、ニューラルネットワークの学習アルゴリズム及びその制御工学への応用の問題点について既存文献から考察し、フィードバック制御系の学習アルゴリズムならびに学習方法の必要性に関して述べている。また、制御対象に含まれる不確かさに対するロバスト性の重要性についても言及しているとともに、本論文の構成を示している。

第二章では、最適フィードバック制御系を学習により構築する方法について考察している。まず、従来法の拡張である勾配法に基づく学習アルゴリズムを導出しているが、このアルゴリズムをさまざまな問題に適用した結果より、任意の Bang-Bang 解が学習の局所解となるなどの多くの問題点を持つことを指摘し、フィードバック制御系の学習アルゴリズムとして不適であることを示している。この問題点を解決するために、Powell の共役方向法に基づく学習アルゴリズムを提案し、各種の最適制御問題へ適用することによりその有効性を検証し、提案の学習アルゴリズムが従来法に比べて優位な点を示している。さらに、従来から知られている逆システムの学習による制御系の構築の問題点について言及し、非線形性を動的に打ち消す制御系の学習方法の有効性に関して検討し、その学習法を提案している。

第三章では、ニューラルネットワークをはじめとする従来のインテリジェント制御システムでは、制御対象に不確かさが含まれる場合に、その制御結果が著しく劣化することがあることを指摘し、学習において不確かさに対するロバスト性への考慮が重要であることを示唆し、ニューラルネットワークの汎化能力の定量的な指標としてロバスト性を用いることを提案している。また、ニューラルネットワークの学習によるロバスト制御系の構築法を提案し、その有効性について検証している。提案方法によると、学習後の制御系に、非線形な不確かさに対して定量的なロバスト性を持たせることが可能となるだけでなく、任意の制御系のロバスト性を定量的に評価する方法として有効であることを示している。また、不確かさの先験的な情報を十分に活用することが可能なロバスト制御系の学習法も提案しており、これによりロバスト性の向上に伴う制御性能の低下を軽減することが可能となることを示している。さらに、複数の不確かさが同時に存在する場合についても言及しており、実用性に優れかつロバスト制御性能の高い制御系の学習方法を提案し、その有効性を検証している。

第四章は、産業用無人ヘリコプタの自律飛行制御系の構築に対して、ニューラルネットワークの学習を適用することにより、工学的な実用性に関する検討を行っている。無人機の動特性に関する情報を一切用いずに、そのフライトシミュレータに学習アルゴリズムを組み込むことにより、自動的に飛行制御系を構築する方法を提案しており、その方法によると従来の煩雑な制御系開発手順が、分散化され容易となることを示している。また、飛行制御における代表的な外乱である風に対するロバスト性について考察し、確率的な不確かさに対するロバスト制御系の学習法を提案している。このために必要となる高速な数値計算方法についても考察し、PC クラスタシステムを提案しかつ試作することによりその有効性を示している。さらに、提案の方法は無人機の飛行制御系だけでなく一般に適用可能であり、制御系設計、特にロバスト制御系の設計を非常に容易とすることができることを示している。

第五章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ニューラルネットワークの学習によりフィードバック制御系を構築する方法に関する研究の成果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. フィードバック制御系を学習するためのオフライン学習アルゴリズムとして、勾配法に基づく学習アルゴリズムの問題点を指摘し、それに代わるアルゴリズムとして Powell の共役方向法に基づく学習アルゴリズムを提案した。提案のアルゴリズムを各種の最適フィードバック制御問題に適用し、その有効性を検証した。
2. 制御対象に不確かさが存在するとき、従来のインテリジェント制御システムでは制御性能が著しく劣化することがあることを示し、制御系の学習において不確かさに対するロバスト性への考慮が重要となることを指摘した。また、ニューラルネットワークの汎化能力を定量化する指標としてこのロバスト性を用いることを提案し、不確かさに対するロバスト性が定量的に保証されたロバスト制御系の学習法および任意の制御系のロバスト性を定量的に評価する方法を提案した。ついで、ロバスト制御系の保守性についても検討し、制御性能の劣化を軽減することが可能なロバスト制御系の学習方法を提案した。これらの方法をさまざまな制御対象に適用することにより、その有効性を検証した。
3. 実際的な例として、提案された学習法を産業用無人ヘリコプターの自律飛行のためのフィードバック制御系の構築に適用し、従来法との比較検討を行うことでその工学的な実用性を検証した。特に、風に代表される確率的な不確かさに対して、ロバスト制御系の構築を試み、フライトシミュレータを用いて数値的にその有効性を確認した。

以上要するに、本論文は、非線形な制御対象に対してフィードバック制御系の構築をニューラルネットワークの学習により行う方法の提案とその工学的な実用性についての検討を行ったものであり、その成果は学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成13年11月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。