

論文概要

ロボットや数値制御工作機械などのサーボシステムにおいて、ニューラルネットワーク制御は高精度な位置決め制御に注目されている。本研究では、サーボシステムのニューラルネットワーク制御に関する手法として、以下の3つの方法を提案した。

1つ目に、サーボシステムの位置決め制御に対して、負荷変動と外乱の対応および実時間制御の実現を達成するため、今までのオフライン学習法の応答性が良い利点とオンライン学習法のロバスト性が優れている利点を融合させたニューラルネットワーク制御のオンライン・オフライン融合型学習法を提案した。具体的には、まず、十分なオンライン学習で獲得したニューラルネットワークの重みを基準重みとしてロードし、ニューラルネットワーク制御はオフライン学習法で実施される。次に、フィードバック誤差が閾値を超えなければ、オフライン学習法が行われて、フィードバック誤差が閾値を超えれば、サンプリングタイム内で少ない繰り返しループのオンライン学習法が行われる。さらに、フィードバック誤差学習に基づくニューラルネットワーク制御の構成を利用して、サーボモータの位置決め制御における負荷イナーシャ変更前後のシミュレーションを行った。そして、そのシミュレーションの結果から提案手法の有効性を明らかにした。

2つ目に、1つ目で提案したニューラルネットワーク制御のオンライン・オフライン融合型学習法において、その学習率、サンプリングタイム内での繰り返しループ回数の閾値（回数閾値）とサーボシステムの応答性、ロバスト性との関係がまだ明らかになされていない。その関係をシミュレーションと解析のデータから明らかにして、定式化を行い、セルフチューニングが行えるような学習率と回数閾値の更新則を提案した。具体的には、学習率、回数閾値とサーボシステムの応答性、ロバスト性との関係をシミュレーションと解析のデータから明らかにする。加えて、最小二乗法を用いて、学習率や回数閾値やフィードバック誤差や整定時間との関係の定式化を行い、セルフチューニングが行えるような学習率と回数閾値の更新則を提案する。さらに、フィードバック誤差と整定時間の指標値を設けて、提案した更新則に基づき、学習率と回数閾値を求めて、負荷イナーシャ変更前後のシミュレーションと解析結果から提案手法の有効性を示した。

3つ目に、サーボシステムの位置決め制御に対して、負荷変動と外乱の対応および実時間制御の実現を達成するため、1つ目のオンライン・オフライン融合型学習法によるニューラルネットワーク制御にもう1つのニューラルネットワーク制御を新たに加えたカスケードニューラルネットワーク制御を提案した。具体的には、下段のオンライン・オフライン融合型学習法によるニューラルネットワーク制御の出力にオンライン学習法によるニューラルネットワーク制御の新たな出力を追加することによって、フィードバック制御器の更なる補償を行う。そして、サーボモータの位置決め制御のシミュレーションを行い、そのシミュレーションの結果から提案手法の有効性を明らかにした。

目次

第1章 序論

- 1.1 研究の背景
- 1.2 研究の目的
- 1.3 論文の構成

第2章 サーボシステムの基礎知識

- 2.1 はしがき
- 2.2 永久磁石同期電動機
 - 2.2.1 表面磁石型同期電動機の構造
 - 2.2.2 埋込磁石型同期電動機の構造
- 2.3 サーボモータの制御
 - 2.3.1 表面磁石型同期電動機の制御
 - 2.3.2 埋込磁石型同期電動機の制御
- 2.4 サーボシステムの構成
 - 2.4.1 PID 制御を用いたフィードバック制御
 - 2.4.2 極配置法を用いた PID ゲインの設計
 - 2.4.3 現代制御理論によるサーボシステムの表現
- 2.5 あとがき

第3章 ニューラルネットワーク制御の基礎知識

- 3.1 はしがき
- 3.2 ニューラルネットワークの仕組み
 - 3.2.1 ニューラルネットワークの構造
 - 3.2.2 誤差逆伝播を用いた最急降下法
- 3.3 ニューラルネットワーク制御の仕組み
 - 3.3.1 ニューロコントロールと適応制御
 - 3.3.2 フィードバック誤差学習による閉ループシステムの学習制御
- 3.4 あとがき

第4章 動的モデルを用いた開発環境

- 4.1 はしがき
- 4.2 サーボシステムの動的モデルと構成
- 4.3 シミュレーションのモデル
- 4.4 あとがき

第5章 オンライン・オフライン融合型学習法

- 5.1 はしがき
- 5.2 学習法のアルゴリズム
 - 5.2.1 オンライン学習法のアルゴリズム
 - 5.2.2 オフライン学習法のアルゴリズム
 - 5.2.3 オンライン・オフライン融合型学習法のアルゴリズム
- 5.3 学習法のまとめ
- 5.4 シミュレーションの結果と考察
 - 5.4.1 オンライン学習法を用いた学習済重みの獲得
 - 5.4.2 負荷イナーシャ変更前後の応答性とロバスト性
 - 5.4.3 目標軌道の周波数変更前後の応答性とロバスト性
 - 5.4.4 応答性とロバスト性に関する考察
- 5.5 あとがき

第6章 学習率と回数閾値の更新則

- 6.1 はしがき
- 6.2 学習率と回数閾値の新しい更新則の提案
- 6.3 学習率の増減に関わるサーボシステムの特性
 - 6.3.1 学習率の増減に関わる定常特性
 - 6.3.2 学習率の増減に関わる過渡特性
- 6.4 最小二乗法に基づく学習率、回数閾値の定式化および更新則の導出
 - 6.4.1 学習率、回数閾値と誤差最大値との定式化
 - 6.4.2 学習率、回数閾値と整定時間との定式化
 - 6.4.3 学習率と回数閾値の更新則の導出

6.5 学習率、回数閾値の更新則に基づくサーボシステムの解析結果

6.5.1 サーボシステムの定常特性に関する考察

6.5.2 サーボシステムの過渡特性に関する考察

6.6 あとがき

第7章 カスケードニューラルネットワーク制御

7.1 はしがき

7.2 オンライン・オフライン融合型学習法と併用する新しい制御法の提案

7.3 カスケードニューラルネットワーク制御の理論

7.3.1 カスケードニューラルネットワーク制御の構成

7.3.2 カスケードニューラルネットワーク制御のモデル

7.4 結果と考察

7.4.1 負荷イナーシャ変更前後の応答性とロバスト性

7.4.2 電機子巻線抵抗の変更前後の応答性とロバスト性

7.4.3 周期外乱印加後の応答性とロバスト性

7.4.4 応答性とロバスト性に関する考察

7.5 あとがき

第8章 結論

謝辞

第1章 序論

本章では、まず、サーボモータの位置決め制御に対して、負荷の変動と外乱の対応および実時間制御が可能であるニューラルネットワーク制御の新しい学習法を提案したその背景と目的を述べる。次に、その提案方法を実行する際に浮上した課題点とその解決法について述べる。さらに、最初に提案した学習法を活用した別の提案方法について、その背景と目的を述べる。最後に、本論文の構成を述べる。

第2章 サーボシステムの基礎知識

本章では、制御対象とニューラルネットワークとの間にはどのような関係があるか明らかにする前段階として、2種類の永久磁石同期電動機を例とするサーボモータの構造とそれらの制御法を説明する。また、フィードバック制御器を用いた全体のサーボシステムの構成についても説明する。

第3章 ニューラルネットワーク制御の基礎知識

本章では、ニューラルネットワークはどのような構造になっているか、また、ニューラルネットワークにはどのような学習のアルゴリズムがあるかについて説明する。そして、ニューラルネットワーク制御にはどのような種類があるか、先行研究の内容を説明する。これらの説明によって、制御対象とニューラルネットワークとの間の関係が明らかになる。

第4章 動的モデルを用いた解析環境

本章では、制御対象であるサーボモータの位置決め制御の構成を説明して、その制御系の動的モデルを示す。加えて、サーボモータの位置決め制御のシミュレーションを行うため、MATLAB/Simulink で作成した制御系の解析モデルを示し、その解析モデルを用いたシミュレーションの具体的な解析方法について説明する。

第5章 オンライン・オフライン融合型学習法

本章では、従来のオンライン学習法およびオフライン学習法のアルゴリズムとそれらの学習法の利点と欠点を説明する。加えて、それらの学習法の利点を融合させたオンライン・オフライン融合型学習法のアルゴリズムと利点を説明する。そして、PID 制御とオンライン学習法をそれぞれ用いた場合のシミュレーションの結果、オンライン学習法、オフライン学習法、提案したオンライン・オフライン融合型学習法をそれぞれ用いた場合のシミュレーションの結果と得られた考察を述べる。

第6章 学習率と回数閾値の更新則

本章では、第5章で提案したオンライン・オフライン融合型学習法での課題点を述べて、その課題点を解決するための方法を提案する。その方法とは、セルフチューニングが行えるような学習率と回数閾値の更新則を導出することである。そして、その学習率と回数閾値の更新則に基づいて求められた学習率と回数閾値をオンライン・オフライン融合型学習法に代入して、サーボモータの位置決め制御のシミュレーションを行う。さらに、そのシミュレーションの結果から提案した学習率と回数閾値の更新則について、その有効性を述べる。

第7章 カスケードニューラルネットワーク制御

本章では、第5章で提案したニューラルネットワーク制御のオンライン・オフライン融合型学習法にもう1つのニューラルネットワーク制御を追加した新たな制御法を提案する。その制御法をカスケードニューラルネットワーク制御と定義して、その構成と理論を説明する。また、第4章で説明したサーボモータの位置決め制御のシミュレーションに提案したカスケードニューラルネットワーク制御を適用して、単体のニューラルネットワーク制御を用いた場合と提案したカスケードニューラルネットワーク制御を用いた場合で学習効果の比較を行う。そして、その比較から得られたことをまとめる。

第8章 結論

本研究では、サーボシステムのニューラルネットワーク制御に関する手法として、3つの方法を提案した。1つ目に、サーボシステムの位置決め制御に対して、負荷変動と外乱の対応および実時間制御の実現を達成するため、オンライン学習法のロバスト性が優れている利点と今までのオフライン学習法の応答性が良い利点を融合させたニューラルネットワーク制御のオンライン・オフライン融合型学習法を提案した。そして、サーボモータの位置決め制御のシミュレーションを行い、その結果から提案手法の有効性を明らかにした。2つ目に、1つ目のオンライン・オフライン融合型学習法での学習率、サンプリングタイム内での繰り返しループ回数の閾値（回数閾値）とサーボシステムの応答性、ロバスト性との関係を明らかにして、学習率、回数閾値、フィードバック誤差、整定時間との関係を定式化した。さらに、それらの関係からセルフチューニングが行えるような学習率と回数閾値の更新則を提案して、サーボモータの位置決め制御のシミュレーションを行い、その結果から提案手法の有効性を明らかにした。3つ目に、サーボシステムの位置決め制御に対して、負荷変動と外乱の対応および実時間制御の実現を達成するため、1つ目のオンライン・オフライン融合型学習法によるニューラルネットワーク制御にもう1つのニューラルネットワーク制御を追加したカスケードニューラルネットワーク制御を提案して、サーボモータの位置決め制御のシミュレーションを行い、その結果から提案手法の有効性を明らかにした。