



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	位置決め制御系における Adaptive Feedforward Cancellation の理論的検証と系統的設計法に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	藪井, 将太
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11504号
Issue Date	2014-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/56703
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Shota_Yabui_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 藪井 将太

審査担当者 主 査 教 授 梶原 逸朗
 副 査 教 授 成田 吉弘
 副 査 教 授 俣野 茂
 副 査 教 授 小林 幸徳

学位論文題名

位置決め制御系における Adaptive Feedforward Cancellation の理論的検証と系統的設計法に関する
研究

(A Study of Adaptive Feedforward Cancellation in a Positioning System for Theoretical Analysis and
Systematic Design)

産業応用分野で位置決め制御系の果たす役割は大きい。それらの位置決め制御系において、高精度な位置決めへの阻害要因となる外乱を補償する制御手法は非常に重要である。その代表的な外乱補償手法として挙げられるのが adaptive feed-forward cancellation (以下,AFC) である。AFC は適応アルゴリズムに基づいた外乱補償手法であり、補償する外乱をリアルタイムで推定し、その推定結果に基づいて外乱を補償する制御手法である。AFC については様々な産業製品に適用した研究が報告されており、特に周期外乱の補償に有効であることが確認されている。しかしながら,AFC による外乱補償においては、特に以下の点を課題として残していた。まず、非周期外乱の補償に AFC は適用されていないが挙げられる。位置決め制御系においては、非周期外乱が位置決めへの阻害要因になることも多いため、非周期外乱の補償が要求される。もう 1 つは,AFC の系統的な設計法は確立されていないことである。従来までの AFC の設計は解析的設計法に近く、試行錯誤を伴う設計が行われてきた。つまり,AFC は周期外乱という限定的な外乱に対してのみ有効性が確認され、系統的な設計法は確立されていない手法である。以上のことから,AFC は未だ外乱補償手法として体系化されていない制御理論といえる。そこで、本研究では産業製品の位置決め制御系の位置決め精度向上に貢献することを目的とし,AFC の更なる発展を目指し、その体系化を行った。

AFC の体系化を行うために、理論的検証と、系統的なパラメータ設計法の確立を行った。まず,AFC についての内部モデル原理に基づく理論的検証の解析を行った。解析の結果、外乱を推定する適応アルゴリズムの拡張することで、非周期外乱の補償可能であることが分かった。つまり,AFC は周期外乱だけでなく非周期外乱も補償可能な手法に拡張できる。また、内部モデルに基づく理論的検証結果から、フィードバック制御の一つである共振フィルタの特性と一致することが明らかになった。次に、その知見を活かし、共振フィルタで用いられるベクトル軌跡を用いた設計法を AFC に適用した。この設計法は AFC の特性を周波数応答上で評価することができ、最適なパラメータを周波数応答上で一意に求められるため、系統的な設計法である。以上の結果から,AFC による非周期外乱の補償が可能であり、周波数応答上で AFC パラメータを系統的に設計できることが明らかになった。

提案法により AFC を系統的に設計できるようになったが、本研究では実装を考慮した 2 つの設

計法を併せて提案した。一つは、位置決め制御系のロバスト性を考慮した AFC の設計法である。実際の位置決め制御系において、制御系の安定性は非常に重要であり、制御対象の特性に変動が生じて制御系が発振することはあってはならない。そこで、ベクトル軌跡を用いた設計法をベースとして、制御対象の変動を考慮した AFC の設計法を提案した。本手法によりロバストな AFC の設計を行うことができる。もう一つは、AFC の学習パラメータの収束性を改善する可変ゲイン付きの AFC の設計法である。AFC は適応アルゴリズムに基づいて外乱の補償を行うが、学習パラメータが収束するまでに時間を要する。補償する外乱が変化するとき、学習パラメータが収束するまでの過渡応答が悪化する可能性がある。そこで、本研究では可変ゲイン付き AFC の設計法を提案した。可変ゲインを用いることにより AFC の収束性を改善し、過渡応答を改善することができる。

さらに、外乱補償手法としての AFC の位置付けを明確にするため、代表的な 2 種類の外乱補償手法である、共振フィルタと、繰り返し制御との比較を行った。その結果、AFC の特徴として、共振フィルタと同等の外乱補償性能でありながら、繰り返し制御よりも精度良く外乱の推定ができることが挙げられる。実際の位置決め制御系においては、外乱の補償だけでなく、補償する外乱の情報が必要になることもあるため、AFC は非常に有用な制御法である。ただし、適応アルゴリズムの演算に正弦波のテーブルが必要なため、メモリサイズには注意しなければならない。

これを要するに、本研究は、提案する AFC により非周期外乱も補償可能であることを理論的に検証し、周波数応答上での AFC の系統的な設計法を提示すると同時に、AFC の安定性と過渡応答を改善する 2 種類の設計法も併せて確立し、さらに代表的な外乱補償手法との比較を行い、外乱補償手法としての AFC の位置付けを明らかにしたことから、AFC の体系化および AFC の性能向上による産業分野の発展に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。