

論文の内容の要旨

時系列データを用いた高精度サーボ制御系設計法に関する研究

坂東 信尚

メカニカルシステムの高速度・高精度制御を実現するためにはフィードバック制御器の高性能化が重要視されてきたが、最近では更なる性能向上のため、フィードフォワード的なアプローチがみられるようになってきた。本論文では、このような研究背景に対して、時系列データを用いた高精度サーボ制御系設計法について提案し、時系列データにより設計されたフィードフォワード入力が入力フィードバック制御では実現不可能であった性能まで制御性能を向上できることを報告する。

第I部（第1章～第7章）では、高性能な外乱抑圧を実現するために外乱推定値の時系列を利用し、外乱の種類に応じて、

1. センサからの伝達特性に基づいた外乱抑圧制御器の設計
2. 再構成アトラクタを用いた非線形外乱の予測と抑圧

のそれぞれの手法を提案する。従来、サーボ制御系の外乱応答と目標値応答はフィードバック制御器とフィードフォワード制御器により、それぞれ独立に設計できることが述べられてきたが、フィードフォワード入力により外乱を抑圧する手法はロバスト安定性を犠牲にすることなく、外乱抑圧が可能になることから、最近ではその研究例も幾つかみられるようになってきた。第2章ではこれらの研究背景と本論文の提案手法の位置付けを行った。

第3章では、センサからの伝達特性に基づいた外乱抑圧制御器の設計方法について、加速度センサを用いて加振源の情報を測定し、外乱までの伝達特性を精密に同定して、その推定およびフィードフォワード入力による外乱抑圧手法を提案した。

第4章では、センサにより外乱の元情報が得られない場合に、カオス解析で用いられる再構成アトラクタを用いることによって、外乱時系列を幾何学的な軌跡に変換し、その軌跡の延長点から外乱の未来値を予測する非線形予測器を提案した。この手法により、外乱時系列が一見予測不可能に見えるものであっても未来値を予測し、時間遅れのない外乱抑圧が可能になることを示した。

第5章では、第3章で提案したセンサからの伝達特性に基づいた外乱抑圧制御器を実際に磁気ディスク装置のヘッド位置決め制御系に適用し、提案手法により外部振動が存在したとしても、フィードフォワード入力により外部外乱を抑圧できること、また従来のフィードバック制御器では抑圧できない周波数帯の外乱であってもフィードフォワード入力により抑圧できることが実験により示された。これらの結果よりモバイル機器や携帯電話、

車載用といった振動下であっても性能劣化が起こらない磁気ディスク装置が実現することが可能であることを示した。

第6章では、第4章で提案した再構成アトラクタを用いた非線形外乱の予想と抑圧をカオス的な挙動を示す二重振り子に適用し、通常の方法では予測不可能な外乱であっても、本手法を用いることによって、精密に予測することができ、精度よく外乱を抑圧することができることを示した。

一方、第2部（第8章～第12章）では、今まで実現が不可能とされてきた **Self Servo Track Writer**（磁気ディスク装置の製造装置）に対して誤差時系列を用いたフィードフォワード入力を用いることによって、安定してサーボトラックが描けることを示した。

磁気ディスク装置の製造過程には、磁気ディスク装置を開封して外部からディスクのサーボトラックを描き込む工程が存在するが、この工程はクリーンルーム内で行われるために、近年のディスク容量の増大に伴い、サーボトラック書き込みの時間が増大し、コスト増大の問題が生じている。このような問題に対して、磁気ディスク装置が持つ位置決め機構と書き込み機構を利用することによって、磁気ディスク装置を開封することなく、磁気ディスク装置自身がサーボトラックを書き込む **Self Servo Track Writer**(以後、**SSTW**)の研究が行われるようになってきたが、**SSTW** は幾周もサーボトラックを書き込む工程を経ることによってサーボトラックが乱れてしまい、その実現が不可能ではないかと考えられてきた。第9章では、現在使用されている **Servo Track Writer** の現状と問題点、また **SSTW** の原理と実現を妨げている幾つかの問題点を挙げ、問題の定式化を図った。

第10章では、**SSTW** が抱える問題点に対して、フィードフォワード入力を加えることによって、その問題が解決できることを示し、さらにヘッド位置推定アルゴリズムを提案した。これにより従来では不可能であった真円指令値への位置決め制御系が実現し、サーボトラックが発散してしまう問題を解決することが可能になった。また、ヘッド位置が推定できることから、従来の前周指令値に対する追従制御系であってもフィードフォワード制御器の設計が可能になり、さらに安定してサーボトラックを書き込むことができる手法を適用することに成功した。

第11章では、この提案手法を実験により検証を行い、**SSTW** でサーボトラックを幾周も描いたとしてもサーボトラックが発散しないことを実証した。また実機での適用にあたり、サーボトラック書き込みまでの遅れに対する検討を行い、提案手法の拡張を行った。

以上のように本論文では、高精度サーボ制御系設計のために検討してきた手法を2部にわたって述べた。第1部では、外乱推定値の時系列を用いることによって、フィードフォワード入力を設計し、センサからの伝達特性に基づく外乱抑圧制御器の設計、再構成アトラクタを用いた非線形外乱の予測と抑圧をそれぞれ提案し、提案手法による性能改善の効果を明らかにした。また、第2部では、今まで実現が不可能であると言われてきた **SSTW** について、誤差時系列を用いることによって、ヘッド位置を推定し、安定してサーボトラックを描く手法を提案した。