

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 非線形要素を含む工作機械用サーボ系のパラメータ推定に関する研究

論文提出者 豊澤 雪雄
(Yukio Toyozawa)

主論文要旨

近年、自動車用エンジン開発の最大の目標となっている燃費向上は、エンジン部品に複雑なプロフィールや高い精度を要求する。従って、主要部品であるピストンやカム、歯車などを加工する専用の工作機械は、精密な加工を高速で行う必要がある。このような工作機械におけるサーボモータの制御技術として、周期性を持つ加工指令や外乱に対し、高速高精度に追従する繰返し制御が知られており、専用の工作機械において既に多くの適用例がある。工作機械のサーボ制御として、繰返し制御を適用する場合、その構成要素である帯域制限フィルタや動特性補償要素の最適な設計には、機械システムのイナーシャや摩擦などのパラメータを同定することは不可欠である。

一方、実際の機械システムは、クーロン摩擦に代表される非線形摩擦やバックラッシュなどの非線形系であり、この影響で加工時に不規則な外乱が発生する。従って、この外乱の影響を低減することも、加工精度を向上させるためには必要となる。この不規則な外乱の抑制には、外乱オブザーバなどを利用してサーボ剛性を向上させる制御方法が用いられる。この外乱オブザーバの設計を行う際にも、非線形系を含む機械システムのパラメータを同定することは非常に重要となる。本研究の目的は、このような従来サーボ系のハイゲイン化のために必要な機械パラメータを短時間で同定することである。その結果、現場の技術者が制御方法を適用する前に行わなければならないサーボ調整を極めて簡単にすることができる。

本研究では、非線形系を含む機械システムのパラメータ同定法として、3通りの方法を検討し提案した。

ひとつは、M系列相関法により求めたボルテラ核とハーモニックプロービング法を組み合わせる手法である。この手法は、少ないパラメータにより非線形系の特性を表現することができ、制御器への実装を容易にすることができる。また、提案する手法は、観測雑音が存在する場合でも非線形パラメータを精度良く同定できる。本研究では、数値シミュレーションと実験により、提案する手法の有効性を確認した。

もうひとつは、このような専用の工作機械における最近の傾向である減速器を用いないダイレクトドライブ機構において、イナーシャと非線形摩擦をオンラインで同定する方法

を新たに提案した。機械システムが1慣性系とした場合、このクーロン摩擦に代表される非線形摩擦とイナーシャを低次の逆モデルとして制御器に組み込み、サーボモータへの電流指令と速度フィードバックから、逆モデルのパラメータを逐次同定していく実用的な方法を提案した。同定に用いる入力信号として、機械を一方向にオフセットさせていくことなく高速に同定を行うことができるM系列信号をカスケードにローパスフィルタを通した信号が、実用上優れた入力信号の一つであることを示した。また、同定アルゴリズムに不感帯を導入することにより、簡略化された非線形摩擦モデルでも精度良く同定できる極めて効果的な方法であることを数値シミュレーションと実験で示した。

さらに本研究では、大型の機械ではまだ依然として主流である、テーブルをボールネジで駆動するような2慣性系の機械システムにおいて、提案の手法をこの2慣性系にも使えるように拡張した。2慣性系でモデル化される機械では、機構やコストなどの制約からモータ側のセンサ情報のみが使用される場合が多く、テーブルの非線形摩擦をオンライン同定するために必要なテーブル側の速度情報は観測することができない。提案する方法はそのような場合でも、2慣性系の逆モデルに非線形摩擦を直接組み込み、更に同定アルゴリズム中で同時にテーブル速度を推定するように工夫することで、十分な精度のオンライン同定が可能なことを数値シミュレーションと実験で示した。実験装置では、シミュレーションと異なり検出器のノイズがあるために、同定精度が悪化することが明らかとなった。その場合でもサンプリングの遅れの補償を行い、電流や速度検出器のノイズをフィルタで除去することにより高い精度で同定できることが示された。