

論文内容の要旨

博士論文題目 独立成分分析の制御工学への応用に関する研究

氏名 新田 益大

(論文内容の要旨)

本論文では、統計的独立性という評価指標を制御工学に導入することにより、新しいシステム同定と外乱除去制御系設計の手法を提案している。多変量解析の一手法である独立成分分析を、信号分離という側面だけでなく、統計的学習による逆システムの構築という側面に照らして応用することにより、多入力多出力システムを出力信号のみから同定する。入力が未知であるため、これはブラインド同定問題と呼ばれている。さらに、同定されたシステムパラメータに基づき、外乱除去のための制御器を設計する。

もし、観測された信号が独立な源信号の定係数線形和であるなら、独立成分分析は源信号や混合に関する定量的情報を用いることなく源信号の復元を達成する。一方、源信号が動的システムに入力される場合は、出力は畳み込み混合と呼ばれ、その分離は独立成分分析の分野でも盛んに研究されている重要な問題である。さらに、制御器の設計を目的とした同定はパラメトリックモデルの推定となるため、これに特化した解法が望まれる。

そこで本論文では、まず、もっとも簡単な動的システムとして多変量自己回帰モデルに対して、近似によることなくパラメータを推定するアルゴリズムを導出している。これは拡大状態空間表現により畳み込み混合を瞬時混合に帰着させ、その混合行列が有している特殊な構造を制約条件と見なすことで達成される。この手法の有効性を数値例で確認している。

つぎに、外乱抑制は制御における主要な問題であるが、外乱はセンサ等により特定できないため、ヒューリスティックな制御器の設計法によることが多かった。しかし、外乱と制御入力とは独立であるとの仮定に基づいて上記のブラインド同定を適用することにより、外乱推定とその出力への伝達特性が同定できる。そこで、従来、制御器の導出の際に試行錯誤で設計していた重み関数の代わりに同定結果を用いることを本論文では提案している。提案法では外乱モデルを制御器に内包できるので抑制効果が高く、ブラインド同定の重要な応用事例を明らかにしている。

本論文では最後にブラインド同定で扱えるクラスを拡大することにより手法の完成を行っている。一般的に移動平均項も含む多変量自己回帰移動平均モデルを拡大状態空間表現で定式化すると、出力信号ベクトルに未知な入力成分が含まれるため、推定途中の独立成分をフィードバックして再利用する学習則を提案した。数値例によって広いクラスのシステムモデルを正しく同定できることを示している。

(論文審査結果の要旨)

制御のためのシステム同定では通常、入力信号と出力信号からシステムのパラメータを推定しているが、外乱抑制などを目的とする場合は入力信号が未知であることが多く、そのような場合の同定手法は知られていなかった。本論文では独立性という従来の制御工学に見られなかった概念を導入することにより、未知入力でのシステム同定という新たな方法論を提供している。具体的には、次のような成果を得ている。

1. 多入力多出力システムの伝達行列を多項式行列の右分解によって表現することにより推定すべきパラメータを多項式係数の形で与え、分子多項式行列が単項式であるとの仮定の下で拡大状態空間表現に変換し、独立成分分析の基本的な設定に帰着させた。ただし、零行列と単位行列からなる固定ブロック要素が混合行列に含まれているので、これが学習により変形することを防ぎつつパラメータ推定するアルゴリズムを開発している。
2. 得られた未知入力システム同定の手法を外乱抑制制御器の設計に応用し、その有効性を検証している。従来は試行錯誤によらざるを得なかった設計手法に系統的な指針を与えたという意味で、制御工学へのインパクトは大きいものと評価できる。
3. 上記の同定手法では分子多項式行列に強い仮定を置いているが、これを一般化し、任意の正方な有理伝達行列に適用可能な同定手法を導いている。この一般化は推定途中の信号を再利用するという斬新な発想により達成されたもので、独立成分分析の手法としても興味深いものと考えられる。

平成 18 年 12 月 25 日に開催した公聴会の結果も参考にして、本博士論文の審査を行い、本論文は博士論文（工学）として十分な価値があるものと判断した。