

(論文内容の要旨)

本論文は、システム同定のための適応フィルタアルゴリズムを独立成分分析の観点から新たに導出し、その収束条件や推定精度および従来のアルゴリズムに対する優位性について究明したものであり、全体で6章から構成されている。

第1章では、適応フィルタアルゴリズムの歴史的背景について述べるとともに、独立成分分析 (Independent Component Analysis, ICA) のアイデアを組み込んだシステム同定に関するこれまでの研究の問題点を指摘している。そして、論文全体の構成を簡単に紹介している。

第2章では、まず、有限インパルス応答 (Finite Impulse Response, FIR) システムの同定に対して、観測雑音の推定値の平均二乗誤差を最小にするLMS (Least Mean Square) アルゴリズムやRLS (Recursive Least Squares) アルゴリズムの収束特性に関する基本的結果を説明し、最近の成果として、入力信号と所望信号が正弦波の和である場合に対する厳密な収束解析について述べている。そして、分布の裾が長い非ガウス性の観測雑音に対して性能が劣化するのを防ぐ従来のロバスト推定法とその問題点について述べている。さらに、ICAの基本事項についても簡単な解説をしている。

第3章では、FIRシステム同定問題に対し、入力信号と観測雑音の推定値の独立性を最大にする適応フィルタアルゴリズムを新たに提案している。そのための尺度として相互情報量を用い、これを最小にする適応アルゴリズムを、相対(自然)勾配を用いるICAの手法を援用して導出している。そして、望ましい停留点近傍での局所的収束条件や推定精度について平均化法を用いた解析が行われている。さらに、観測雑音の真の確率密度関数と想定したものが同一の場合はこの収束条件が満足されることが示されている。また、これら二つの確率密度関数にミスマッチがある場合には、このアルゴリズムで誤差信号に導入されたスケールパラメータがカルバック-ライブラーダイバージェンスを最小にする点に収束し、ミスマッチの影響をできるだけ補正する働きがあることも示している。最後に、特定の例で実際にこの補正効果によりFIRシステムのインパルス応答の推定誤差分散がこのスケールパラメータを1とした場合に比べ減少することを示している。

第4章では、観測雑音の特性が時間的に緩やかに変化する非定常環境などにおいて固定した確率密度関数を想定するのではなく、データサンプルからそれを推定して用いる方法について議論している。ノンパラメトリックな確率密度関数の推定法としてはパルゼンによる窓関数法を用い、独立性の尺度から派生する誤差信号のエントロピーを最小にするよう勾配法を用いて適応アルゴリズムを導出している。そして、ステレオエコーキャンセラなどに適用し、ダブルトークを検出することなくその影響が緩和できることを示している。さらに、計算量はタップ数が多い場合は従来の適応アルゴリズムに比べ同程度であることが示されている。

第5章では、観測雑音が白色ではなく有色である場合はこれをモデル化することにより推定精度が向上するため、第3章でのICAに基づく手法をいかにしてこの場合に拡張するかが論じられている。ここでは自己回帰 (Autoregressive, AR) 過程とモ

デル化することにより，このARモデルの分母伝達関数およびこれとFIRシステムの伝達関数との積を同時に推定するICAに基づく適応アルゴリズムが状態空間表現を用いて導出されている．そして，望ましい停留点近傍での局所的収束条件が平均化法を用いて導出されている．最後に，シミュレーションによりFIRシステムのパラメータの推定精度が第3章での手法に比べ向上することを示している．

第6章では，本論文での成果の総括と今後の展望を述べている．

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、システム同定のための適応フィルタアルゴリズムを独立成分分析の観点から新たに導出し、その収束条件や推定精度および従来のアルゴリズムに対する優位性について究明することを目的としており、その成果は以下のように要約される。

1. FIRシステム同定問題に対し、入力信号と観測雑音の推定値の独立性を最大にする適応フィルタアルゴリズムを新たに提案した。そのための尺度として相互情報量を用い、これを最小にする適応アルゴリズムを、相対(自然)勾配を用いるICAの手法を援用して導出した。そして、望ましい停留点近傍での局所的収束条件や推定精度について平均化法を用いた解析を行った。また、観測雑音の真の確率密度関数と想定したものとにミスマッチがある場合には、このアルゴリズムで誤差信号に導入されたスケールパラメータがカルバック-ライブラーダイバージェンスを最小にする点に収束し、ミスマッチの影響をできるだけ補正する働きがあることを示した。最後に、特定の例で実際にこの補正効果によりFIRシステムのインパルス応答の推定誤差分散がこのスケールパラメータを1とした場合に比べ減少することを示した。

2. 観測雑音の特性が時間的に緩やかに変化する非定常環境などにおいて固定した確率密度関数を想定するのではなく、データサンプルからそれを推定して用いる方法について議論した。ノンパラメトリックな確率密度関数の推定法としてはパルゼンによる窓関数法を用い、独立性の尺度から派生する誤差信号のエントロピーを最小にするよう勾配法を用いて適応アルゴリズムを導出した。そして、ステレオエコーキャンセラなどに適用し、ダブルトークを検出することなくその影響が緩和できることを示した。さらに、計算量はタップ数が多い場合は従来の適応アルゴリズムに比べ同程度であることを示した。

3. 観測雑音が白色ではなく有色である場合はこれをモデル化することにより推定精度が向上するため、1. でのICAに基づく手法をこの場合に拡張することを論じた。ここでは自己回帰(Autoregressive, AR)過程とモデル化することにより、このARモデルの分母伝達関数およびこれとFIRシステムの伝達関数との積を同時に推定するICAに基づく適応アルゴリズムを、状態空間表現を用いて導出した。そして、望ましい停留点近傍での局所的収束条件を平均化法を用いて導出した。最後に、シミュレーションによりFIRシステムのパラメータの推定精度がモデル化をしない1. での手法に比べ向上することを示した。

以上要するに本論文は、ICAのアイデアをシステム同定のための適応アルゴリズムの分野に導入した新しいロバスト推定法と位置付けることができ、また実データに対しても良好な結果を与えているなど今後の発展に大きく寄与する内容で、その意義は極めて大きい。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成20年8月19日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。