

氏名	杉本 侑哉		
学位の種類	博士 (工学)		
学位記番号	博甲第 7932 号		
学位授与年月日	平成 28 年 9 月 23 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	A study on underdetermined DOA estimation techniques based on higher-order correlation analysis utilizing non-linear mapping (非線形写像を用いた高次相関分析に基づく劣決定方向推定手法の研究)		
主査	筑波大学 教授	博士 (工学)	牧野 昭二
副査	筑波大学 教授	博士 (工学)	福井 和広
副査	筑波大学 教授	博士 (工学)	亀山 啓輔
副査	東京大学 教授	博士 (工学)	猿渡 洋
副査	筑波大学 准教授	博士 (工学)	山田 武志

論文の要旨

信号源の到来方向(DOA: Direction Of Arrival) 推定技術は、音響信号を対象にしたマイクロホンアレイ信号処理において、雑音抑圧や音源分離といった応用技術を高精度に運用するための前処理として欠かすことができない。

DOA 推定技術として、アレイ入力信号の相関行列の固有値展開に基づく MU-SIC (Multiple Signal Classification) は、超分解能とも呼ばれる優れた推定性能を有しており、幅広く利用されている。しかし MUSIC は、推定に目的信号の成分を含まない部分空間を必要とし、信号数よりも十分多い素子数を用いなくてはならず、多数の信号源が存在する環境で正確に方向を推定するためにはアレイの大規模化が避けられないといった問題があった。

これまで、高次統計量を用いて MUSIC を拡張するいくつかの手法が提案されており、90 年代に提案された 4 次キウムラントに基づいた MUSIC-like algorithm, さらにこれを高次の偶数次モーメント分析へと一般化した 2q-MUSIC などが知られている。これらの手法は、相関行列の次元拡張により、音源数が素子数よりも多い劣決定条件の下でも方向推定が可能であり、推定の分解能についても MUSIC より向上している。しかし、キウムラント計算の複雑さに由来する variance と計算時間の大きさから短時間の分析に問題を残している。

他方、非線形アレイ信号処理に基づいた音声強調手法として、素子数よりも多くの死角を形成する相補型ビームフォーマが提案され、方向推定にも応用されている。また相補型ビームフォーマを、カーネル法を用いて観測信号の高次元写像として表現する手法が提案されている。これらの手法に用い

られる、非線形な高次元写像によって観測信号ベクトルの次元数を増大させるアプローチは、相関行列の次元数に拘束を受ける MUSIC にとって極めて有効であり、分析の性向を写像の設計によって容易に変化させられる点でも優れている。

本論文では、実用上特に重要となる短時間分析での高精度な推定性能を目標に、信号の高次元写像に基づいた MUSIC 拡張手法の開発に取り組んでいる。まず、本論文の中核をなす写像 MUSIC を提案している。信号を高次元空間に写像し、写像した空間で MUSIC と類似の相関分析を行う写像 MUSIC のアルゴリズムについて述べ、信号ベクトルの次元拡張による雑音部分空間の表現能力向上が、劣決定条件下での方向推定を達成し、同時に推定の分解能を MUSIC よりも向上させることを示している。また、写像 MUSIC による分析に適した写像として、信号の偶数次モーメント分析のための写像を提案し、これを用いた写像 MUSIC と高次キュムラント分析に基づく $2q$ -MUSIC の推定の性向について、分析の時間長に係る bias-variance トレードオフを中心にした議論を行なっている。次に、複数写像の併用による写像 MUSIC の拡張を行なっている。複数の写像を同時に用いることで、単一の写像を利用した写像 MUSIC よりも大きく信号ベクトルの次元数を増大させ、さらに高い推定精度が得られることを示している。

審 査 の 要 旨

【批評】

本論文では DOA 推定技術の性能向上を目標に、信号の非線形高次元写像を用いた高次相関分析に基づく写像 MUSIC を提案している。さらに本手法の分析に適した写像として、相関情報が信号の高次モーメントに相当する写像を提案している。従来の代表的な DOA 推定手法である MUSIC、信号の高次キュムラント分析に基づいた MUSIC 拡張手法 $2q$ -MUSIC との比較から、写像 MUSIC が高い分解能と劣決定条件下での推定を達成し、短時間の分析で特に有効であることを示している。また、写像 MUSIC の推定性能をさらに高めるため、写像 MUSIC を複数写像の利用によって拡張した手法を提案している。次数の異なる写像を併用した写像 MUSIC が複数次数の高次モーメント同時分析に相当することを示し、本手法の分析が単一次数の高次モーメント分析より高い推定性能を達成することを示している。

研究の着眼点、新規性、有効性、実用性において優れた研究であり、博士（工学）の学位を受けるにふさわしい優れた論文と評価する。

【最終試験の結果】

平成 28 年 8 月 1 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。