

## 論文内容の要旨

博士論文題目 High-Fidelity Blind Source Separation Using Single-Input-Multiple-Output-Model-Based Independent Component Analysis

(Single-Input-Multiple-Output モデルに基づく独立成分分析を用いた高品質ブラインド音源分離)

氏名 高谷 智哉

(論文内容の要旨)

ユーザに優しいヒューマンマシンインタフェースとして、ハンズフリー音声認識やハンズフリー通話システムの実現が期待されている。しかし、実環境下では、種々の背景雑音や干渉音などが存在するため、通常の接話型マイクロホンを用いた場合に比べユーザの音声を高い信号対雑音比で収録できなくなる。これを解決するため、近年、目的音の到来方位や適応処理のための非発話区間情報といった事前情報が不要であるという利点を有するブラインド音源分離 (BSS) が盛んに研究されている。BSS とはマイクロホンアレーで受信された観測信号のみから目的音を分離する技術であり、音源信号同士の独立性を用いた独立成分分析 (ICA) に基づく手法が主流となっている。しかし、従来 ICA の多くは、音源信号を各チャンネルで観測された混合信号からモノラル信号として抽出する手法であり、任意の周波数帯を有してしまう。また、各音源の方位情報や残響感などの空間的な情報を維持することができないという重大な欠点より、バイノーラル信号処理や高忠実度が要求される各種音響信号処理への応用が非常に困難であった。そこで本論文では、前記の問題を根本的に解決する新しい ICA アルゴリズムの提案およびその拡張、音響拡張現実感などの新しいアプリケーションの創出を行っている。

まず初めに、最小二乗型 Single-Input-Multiple-Output (SIMO) モデルに基づく ICA (SIMO-ICA) (SIMO-ICA-LS) と呼ばれる新しい ICA アルゴリズムを提案している。ここで「SIMO」とは、入力信号が単一でかつ出力信号が複数受音点で観測される系のことを指す。本アルゴリズムは、観測された混合信号を、各マイクロホンで観測されたであろう各音源からの SIMO モデル信号に分解することができる。本論文では、まず、本アルゴリズムにおける解の一意性を数学的に証明し、実環境を模擬した混合信号を用いて実験的検証を行っ

た。その結果、SIMO-ICA-LS は従来 ICA よりも音質面にて優れていることが示された。

次に、本論文では、SIMO-ICA-LS の改良として、情報幾何学習型 SIMO-ICA (SIMO-ICA-IG) の提案を行っている。SIMO-ICA-LS は、分離を行う ICA 部と音質を維持する Fidelity controller 部との間で内部パラメータ (バランス係数) を必要としたが、その決定・最適化をブラインドに行うことは困難であった。SIMO-ICA-IG では、全てのアルゴリズム部分において情報幾何学習則が導入され、前記の問題を解決している。残響環境下における実験の結果、本提案アルゴリズムの分離品質は SIMO-ICA-LS よりも優れており、かつバランス係数の決定も不要であることが示された。

最後に、SIMO-ICA アルゴリズムを混合バイノーラル信号分離問題に適用し、音響拡張現実感システムの構築を行った。ここでは、人間の両耳に設置されたイヤホン・マイクを使用してバイノーラル音を観測するが、高精度な分離を実現するため頭部伝達関数のプロトタイプを事前情報として利用する初期値生成手法を提案している。本手法を導入することにより、残響環境下においても SIMO-ICA の性能を飛躍的に向上させることが可能となった。また、主観評価により、提案するバイノーラル信号分離に基づく音響拡張現実感システムは、空間的性質を損なうことなく強調したい特定原音をユーザに提示できることが分かった。

以上の理論提案およびその実験的検証により、残響環境下におけるより高精度な BSS の実現およびその応用例が示された。

(論文審査結果の要旨)

ユーザに優しい柔軟なマンマシンインタフェースとして、ハンズフリー音声処理システムが望まれている。しかし実環境下では、種々の雑音等が混入してしまう等の問題があった。これを解決するため、音源信号同士の独立性を用いて音源を分離する独立成分分析(ICA)に基づくブラインド音源分離(BSS)が近年精力的に研究されている。しかし従来のICAは、複数の混合信号をモノラル音として分離出力するものであり、各音源の空間的性質は失われてしまうという本質的欠点があった。つまり、音の方向感などを重要視するバイノーラル信号処理や高忠実音響信号処理には不向きであった。そこで本論文では、以下で述べる幾つかの新規理論提案を行い、その有効性を実環境データによって検証している。

- (1) 最小二乗型 Single-Input-Multiple-Output (SIMO) モデルに基づく ICA (SIMO-ICA) (SIMO-ICA-LS) と呼ばれる新しい ICA アルゴリズムを提案し、観測された混合信号を、各マイクロホンで観測されたであろう各音源からの SIMO モデル信号に分解できることを数学的に示した。本論文では、また、実環境を模擬した混合信号を用いて実験的検証を行い、SIMO-ICA-LS は従来 ICA よりも音質面にて優れていることが示された。
- (2) SIMO-ICA-LS の改良として、情報幾何学習型 SIMO-ICA (SIMO-ICA-IG) の提案を行った。SIMO-ICA-LS は、分離を行う ICA 部と音質を維持する Fidelity controller 部との間でバランス係数を必要としたが、SIMO-ICA-IG ではアルゴリズム全体を情報幾何学習則で統一することによりこの係数決定問題を解決している。実環境実験の結果、従来 ICA および SIMO-ICA-LS に対する SIMO-ICA-IG の優位性が示された。
- (3) SIMO-ICA を混合バイノーラル信号分離問題に適用し、音響拡張現実感システムの構築を行った。ここでは、より高精度な分離を実現するため頭部伝達関数を利用する初期値生成手法を提案し、残響環境下における SIMO-ICA の性能を飛躍的に向上させた。

これらの手法は、従来あまり高品質ではなかった音響信号 BSS 問題の解決に関して、有用かつ画期的なものであったと高く評価できる。本研究成果は、2 編の英文原著論文や 13 件の国際会議・14 件の国内会議にて発表され、SIMO-ICA を核とした実時間 BSS 装置の試作へと発展した。つまり、本論文の音響・音声信号処理分野への貢献は極めて大きいといえる。以上より、平成 18 年 1 月 16 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)の学位論文として十分な価値があるものと判断した。