

プログラム名：タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名：田所 諭

プロジェクト名： ロボットインテリジェンス

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 8 年 度

研究開発課題名：

柔軟ロボット音響センシングにおけるシミュレータ構築及び音源分離処理

の高精度化

研究開発機関名：

国立大学法人筑波大学

研究開発責任者

牧野 昭二

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

(1) 研究開発課題の名称

柔軟ロボット音響センシングにおけるシミュレータ構築及び音源分離処理の高精度化

(2) 研究開発の目的および内容

本研究開発では、変形ロボット上における極限環境下音声抽出システムの開発、およびその高次統計量追跡によるシステム最適化技術の確立を目的とする。ここで、高次統計量追跡とは、信号処理における高次統計量の変形を追跡することにより、対象音の統計モデル推定や解析を可能とするものである。これにより、人間が感覚で調整していた音質の自動制御が可能となる。本研究ではこれを災害用変形ロボットへ応用し、自律的な極限音響コミュニケーションシステムを実現する。

(3) 当該年度の研究実施内容

1. ブラインド音源分離ブロックの開発

・ICA, IVA, NMFの実装・高速化：提案開発システムの初段ブロック（位置不定マイク上でのブラインド音源分離ブロック）技術を確立するため、NMF等の基礎アルゴリズムを索状ロボット音センシングシステムへ実装し評価を行う。猿渡が統括を行う。牧野は主にNMFの高速化・高精度化に従事し、平成28年度前半までに実装を完了する。ここでは特に、NMFの実装に関し、半教師有り（エゴノイズに関する事前情報を利用する）の音源分離アルゴリズムも開発する。また、IVAと入力オズキャンセラを組み合わせた音源分離アルゴリズムも開発する。

2. 統計的音声強調ブロックの開発

統計的音声強調ブロックの評価を28年度中までに完了する。牧野は、同期間において、IVA及びNMFによる雑音推定部の性能向上を図り、猿渡担当部分と融合する。ここでは、奥に設置された模擬的な被災者発話スピーカから音声を生成し、また同様に複数の外乱音生成用スピーカから雑音を加える。ロボット本体のエゴノイズも含め、トータルのSN比（音声対外乱）は0dB付近もしくはそれ以下を想定する。

(4) 当該年度の達成目標

初年度にあたり、まず、研究開発における基礎技術の確立を目指した以下の目標を設定する。

1. ブラインド音源分離ブロックの開発

・ICA, IVA, NMFの実装：ICA, IVA, NMFを索状ロボット上のマイクアレーに実装し、その音源分離精度を評価する。ただし本年度段階では、後段のポストフィルタまで実装が完了していないので、正確な客観評価値による数値目標は設けないが、5~10dB程度を分離の目安にする。なお、NMFに関しては、エゴノイズに関する半教師有りの音源分離アルゴリズムも開発目標に含めるため、それによる追加的な収束性・音源分離精度の向上がどの程度であるか評価を行う（少なくとも収束性または分離精度のどちらかが、教師無しの場合を上回ることを立証する）。

2. 統計的音声強調ブロックの開発

統計的音声強調ブロックの評価を 28 年度中までに完了する。牧野は、同期間において、IVA 及び NMF による雑音推定部の性能向上を図り、猿渡担当部分と融合する。ここでは、奥に設置された模擬的な被災者発話スピーカから音声を生じ、また同様に複数の外乱音生成用スピーカから雑音を加える。客観評価値として SN 比向上率を用い、15 dB の改善を目標とする。また、主観評価指標として了解性及び preference score を用い、従来法と比較して 80% 程度の score を目標とする。また、アレーが部分的に故障した場合等を想定し、ロバスト性に関して比較対照実験を実施し、従来法との相補性の確認も行う。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

1. ブラインド音源分離ブロックの開発・ICA, IVA, NMF の実装

IVA, ILRMA (IVA + NMF) を索状ロボット上のマイクアレーに実装し、その音源分離精度を評価した。本年度で、既に、後段のポストフィルタとしてノイズキャンセラまで実装が完了し、正確な SDR 客観評価値による評価を行い、10 dB 以上の分離性能改善を確認した。なお、NMF に関して、エゴノイズに関する半教師有りの音源分離アルゴリズムも開発中であり、それによる追加的な収束性・音源分離精度の向上がどの程度であるか評価検討中である。

2. 統計的音声強調ブロックの開発

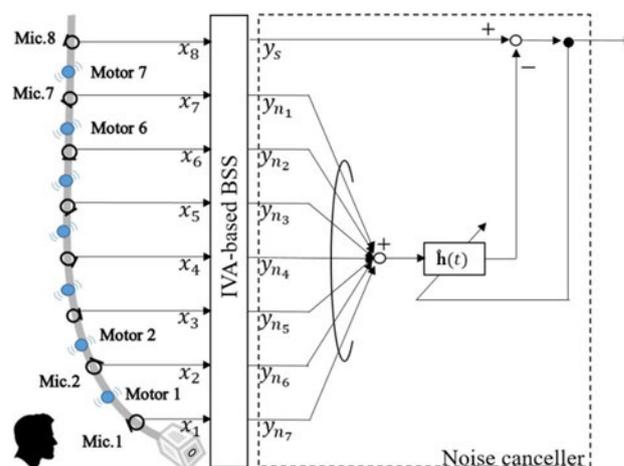
統計的音声強調ブロックの評価を 28 年度中までに完了した。牧野は、同期間において、IVA 及び ILRMA (IVA + NMF) による雑音推定部の性能向上を図り、猿渡担当部分と融合した。ここでは、奥に設置された模擬的な被災者発話スピーカから音声を生じ、客観評価値として SDR 向上値を用い、15 dB 以上の改善を確認した。また、2 対比較聴取による明瞭性主観評価実験を行った結果、被験者の評価スコアが向上する傾向を読み取ることができた。

以上の成果について、特許 1 件を出願すると共に、研究成果 6 件を、査読付き国際会議 4 件、査読無し国内会議 2 件で発表した。

2-2 成果

1) 独立ベクトル分析とノイズキャンセラを用いた雑音抑圧の柔軟索状ロボットへの適用

柔軟索状ロボットによる音声収録においては、ロボット自体の駆動音(エゴノイズ)の混入というロボット特有の問題が存在する。エゴノイズがロボットによる収録音に混入することで、その収録音から被災者の音声を検出したり、聞き分けたりすることが困難になる。そのため、従来からロボットによる収録音声のための雑音抑圧・音声強調技術はビームフォーマに基づく手法、非負値行列因子分解に基づく手法、またオンラインロバストPCA (Principle Component Analysis) に基づく手法等、種々検討されている。しかし、これらの

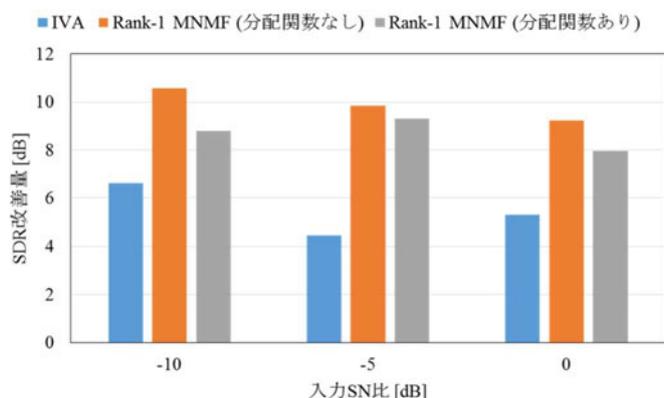


手法を用いて柔軟索状ロボットによる収録音の雑音抑圧を行うことを考えるとき、マイク位置が変化するという柔軟索状ロボット特有の性質により適用が困難である、または適用は可能であるが非線形処理により音声に歪みが生じるといった問題がある。ここでは、マイク位置が不明でも適用可能かつ線形フィルタによる音源分離手法である統計的独立性に基づく音源分離手法、特に独立ベクトル分析 (IVA: Independent Vector Analysis) に基づくブラインド音源分離手法に着目し、ポスト処理としてノイズキャンセラを利用することで雑音抑圧性能を向上させる手法を提案した。さらにシミュレーション実験により提案法が柔軟索状ロボットにおける雑音抑圧に効果があることを検証した。柔軟索状ロボットの観測音を再現したシミュレーション実験を行い、SDR において、独立ベクトル分析に基づく音源分離により約 7 dB の改善、さらにノイズキャンセラを用いた後処理により 1-4 dB 程度の改善が得られた。

2) 独立低ランク行列分析を用いた柔軟索状ロボットにおける雑音抑圧

柔軟索状ロボットに取り付けられたマイクrohンをを用いて、災害現場で救助を求める人の声をとらえるための柔軟索状ロボットの音声収録機能の開発を行った。ここでは音声の収録で特に大きな課題となるロボットの内部雑音(エゴノイズ)の除去を目的とし、独立低ランク行列分析 (independent low-rank matrix analysis: ILRMA) による雑音抑圧を柔軟索状ロボットのエゴノイズ除去に適用することを検討した。

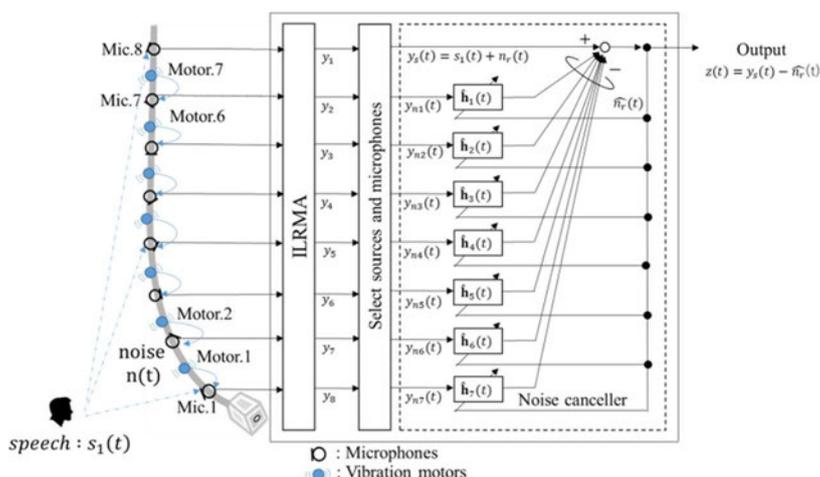
その有効性を確認するためシミュレーションデータを用いた評価実験を行った。実験では、まず ILRMA でのエゴノイズ除去に適切と考えられる分析フレーム長および基底数を調べた。さらに、その



パラメータで ILRMA と IVA の結果を比較したところ、いずれの入力 SN 比の場合も ILRMA の方が分離精度が高く、エゴノイズ除去への ILRMA の適用の有効性を確認した。

3) 独立低ランク行列分析とマルチチャンネルノイズキャンセラを用いた雑音抑圧の柔軟索状ロボットへの適用

音源分離アルゴリズムとして独立ベクトル分析による空間フィルタに非負値行列因子分解(NMF)による音源の周波数特性を取り入れた独立低ランク行列分析(independent low-rank matrix analysis: ILRMA)を用いた。さらにポストフィルタとしてマルチチャンネルノイズキャンセラを用いる方法を提案した。災害現場を模擬した実験フィールドで実測したインパルス応答を用いたシミュレーション実験を行い、独立ベクトル分析とシングルチャンネルノイズキャンセラに比べて約 2dB の SDR 改善を確認した。



2-3 新たな課題など

統合機にはマイク 24 個、振動センサ 25 個が付いており、劣決定条件（マイク数 < 音源数）となり、これまでの優決定条件（マイク数 > 音源数）とは異なる。そのためこれまでの技術の延長では対処できない。さらに、マイク数も音源数も極めて多く、数値計算における誤差や計算時間が大幅に増加する。発想の転換が必要である。

3. アウトリーチ活動報告

該当なし。