

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280069

研究課題名(和文)非同期録音機器を利用可能にするマイクロフォンアレイ信号処理の研究

研究課題名(英文)Microphone Array Signal Processing with Asynchronous Recording Devices

研究代表者

小野 順貴 (ONO, Nobutaka)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・准教授

研究者番号：80334259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：マイクロフォンアレイ信号処理は、複数のマイクで録音した信号を処理し、音の到来方向を推定したり、雑音の中から目的音を強調したりすることを可能にする重要な技術です。マイクロフォンアレイ信号処理では、チャンネル間の微小な時間差が重要な情報となっているため、従来は複数のマイクロフォンが同期して録音される必要がありました。これに対し本研究では、スマートフォン、ノートPC、ICレコーダーなど、同期していない複数の録音機器をアレイ信号処理に用いるために、録音信号を事前情報なしに同期させたり、録音信号からマイクロフォンの位置を推定したりする技術を開発しました。

研究成果の概要(英文)：Microphone array signal processing is an important technique to estimate the direction of arrival of sound or to enhance a target sound in noisy environment by processing multi-channel signals. In the microphone array signal processing, a tiny time difference between channels is important information. Therefore, multi-channel signals have to be recorded in a synchronized way in conventional framework. While in this study, we have developed a technique to synchronize recording signals or to estimate microphone positions without any a priori knowledge in order to use asynchronous individual recording devices such as smartphones, laptop PC, and IC recorder.

研究分野：音響信号処理

キーワード：マイクロフォンアレイ信号処理 非同期 分散 音源分離 音源定位

1. 研究開始当初の背景

音響信号から音源位置を推定したり、雑音の中から目的音源のみを分離、強調したりする技術は、音声認識、高品質通話、雑音源探査、音響信号加工、ロボット聴覚などの幅広い分野で必要とされている技術であり、マイクロフォンアレイを用いた音源定位・音源分離は音響信号処理の中でも最も活発に研究が行われている分野の一つである。2000年頃から独立成分分析をはじめとするブラインド信号処理が発展し、2008年からは国際的な信号分離コンテスト SiSEC (Signal Separation Evaluation Campaign) が1年半おきに開催され、2011年には Pascal CHiME Challenge という、音源分離技術を活用した実雑音環境下での音声認識コンテストが開催され、大好評を博した他、各論文誌で特集号が組まれていることから多くの研究者の関心を集めていることがわかる。海外でも、関連する様々なプロジェクトが行われている。例えば、効率的な遠隔会議システムの構築を目的とする CHIL (Computers In the Human Interaction Loop) や AMI (Augmented Multi-party Interaction)、インタラクティブテレビの音声制御を目的とする DICIT (Distant-talking interfaces for Control of Interactive TV)、自律的な異常イベント検出を目的とする DIRAC (Detection and Identification of Rare Audio-visual Cues) などのプロジェクトでは、マイクロフォンアレイによる音源定位や音源分離が主要技術の一つとなっており、広範囲における発話の収録や雑音残響環境下での音声強調のために、多素子(10個以上)のマイクロフォンアレイや、マイクロフォンの分散配置などが試みられている。しかしながら、こうした応用システム構築において、マイクロフォンアレイシステムには厳密な同期録音が必要不可欠であることが大きな制約条件となっている。これは、マイクロフォンアレイ信号処理では、各マイクロフォンで録音される信号間の微小な時間差(例えば、経路長3.4cmに対して100 μ s)が音源の空間情報の主要な手がかりとなっているためである。半導体技術の発展によりシリコンマイクロフォンなどが実用化され、ラップトップ PC、タブレット型モバイル機器、携帯電話、ICレコーダなど、様々な電子機器で録音機能が安価に、かつ標準的に使用できるようになっているにも関わらず、同期録音のためには結局、各マイクロフォンを、厳密に同期がとれた多チャンネル A/D 変換器に接続するしかない。これがマイクロフォンアレイの多素子化や分散配置などに対して大きなコストを生じる主要因の一つであり、商用化されているアレイシステムの多くは、小規模(マイクロフォン数2~4)で集中配置されたものに限定されていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、マイクロフォンアレイ信号処理において非同期録音機器を利用可能にするために、1)位置が不明で時間同期のとれていない非同期録音信号を時空間的に同じ座標系に揃える時空間同期化(ブラインドアラインメント)のための基礎技術を確立すること、2)非同期録音機器に基づく音源定位・音源分離ならびに、これらを用いた音響信号処理応用を発展させることである。

3. 研究の方法

本研究では大きく、1)非同期録音信号のブラインドアラインメント技術、2)非同期録音機器に基づく音源定位・音源分離システムの構築の2項目について取り組む。

ブラインドアラインメントとは、非同期録音信号のみを用いて(ブラインド)録音開始時刻、サンプリング周波数の不一致の補償、録音機器の位置推定を行い、これらを時空間的に共通の座標軸に揃える(アラインメント)操作であり、申請者が初めて提唱した概念である。別々の機器で録音された信号間に時間差があったとしても、1信号対だけでは録音開始時刻の違い(非同期性)と音源からの経路差の違いを区別できないため、これは一見不可能問題に思われるが、申請者は音源数、マイクロフォン数がある条件を満たす場合には、解が求まり得ることを予備検討において示した。研究期間内にこれを拡充し、ブラインドアラインメントが可能となるための条件の明確化、高精度なアラインメントアルゴリズムの構築を行い、非同期録音信号を扱うマイクロフォンアレイ信号処理の基礎技術を確立する。

また1)により、非同期録音機器をマイクロフォンアレイ構築に利用可能とすることによって、マイクロフォンアレイの多素子化、分散配置が格段に容易になる。これを積極的に利用し、実環境でも精度の高い音源定位・音源分離システムの構築を行う。

4. 研究成果

主な研究成果を列挙する。

1)サンプリング周波数ミスマッチのブラインド補償アルゴリズムを構築した。音源が移動せず定常であることを仮定し、時不変2チャンネル空間相関行列に対する尤度が最大となるように、サンプリング周波数ミスマッチを推定する。これはリサンプリング処理を含むが、周波数比が1に近いリサンプリングを効率的に行うため、短時間周波数領域でこれを近似的に行う手法を確立した。

2)音源到来時間、音源到来時間差に基づく音源位置・マイク位置同時推定の代数解法を創出した。この問題は非線形な推定問題であり、従来は反復法などが試みられてきたが、局所解の問題が大きかった。本研究では1対のマイク間距離を中間パラメータとしてとり、方程式を整理することにより、問題を4

次代数方程式に帰着させ、閉形式の解を得ることに成功した。

3) 音の発信を利用した自己位置推定とチャンネル同期法を考案した。スマートフォンなどを録音機器として利用する場合には、機器自身が音を発信することができる。これを利用し、簡単な手法で、録音機器間の距離とサンプリング周波数ミスマッチを同時に推定できることを示した。

4) 時間チャンネル領域に非負値行列分解を適用する音源強調法を非同期アレイに適用した。短時間フーリエ変換領域の振幅情報しか用いないため、同期ずれに頑健な特長がある。

5) 位相欠損信号の相関係数推定アルゴリズムを導出した。サンプリング周波数のミスマッチなどで位相情報が信頼できない状況下でも、信号の検索などを目的に、振幅情報のみから信号間の相関を調べたい場合がある。本手法では複素ガウスモデルに基づくEMアルゴリズムを導出し、位相が欠損している場合でも相関係数が求まることを示した。

6) 非同期アレイの応用として、交通量モニタリングに取り組んだ。具体的には、路上の両側にマイクロホンを設置し、観測される音響信号のみから、両車線を通る車両数を推定する手法を検討し、条件にも依存するが90%程度のF値で推定できることを示した。

7) スマートフォンとファイル共有システムを用いた分散録音システムを実現した。非同期分散マイクロフォンアレイにおいては、別々の機器で録音した信号をどうやってやり取りし、処理するかも大きな問題である。ここではiPhoneとDropboxを用い、録音信号が自動的にDropboxで共有される仕組みを実現することでこれを解決した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計29件)

以下は全て査読有

[1] Trung-Kien Le and Nobutaka Ono, "Closed-form and Near closed-form Solutions for TOA-based Joint Source and Sensor Localization," IEEE Trans. Signal Processing, 2016. (DOI: 10.1109/TSP.2016.2569465)

[2] Trung-Kien Le, Nobutaka Ono, Thibault Nowakowski, Laurent Daudet and Julien De Rosny, "Experimental Validation of TOA-based Methods for Microphones Array,"

Proc. ICASSP, pp. 3216-3220, Mar. 2016. (DOI: 10.1109/ICASSP.2016.7472271)

[3] Keisuke Imoto and Nobutaka Ono, "Spatial-Feature-Based Acoustic Scene Analysis Using Distributed Microphone Array," Proc. EUSIPCO, Sept. 2015. (DOI: 10.1109/EUSIPCO.2015.7362480)

[4] Nobutaka Ono, Zafar Rafii, Daichi Kitamura, Nobutaka Ito and Antoine Liutkus, "The 2015 Signal Separation Evaluation Campaign," Proc. LVA/ICA, Aug. 2015. (DOI: 10.1007/978-3-319-22482-4_45)

[5] Shigeki Miyabe, Nobutaka Ono and Shoji Makino, "Estimating Correlation Coefficient Between Two Complex Signals Without Phase Observation," Proc. LVA/ICA, Aug. 2015. (DOI: 10.1007/978-3-319-22482-4_49)

[6] Trung-Kien Le and Nobutaka Ono, "Reference-Distance Estimation Approach for TDOA-based Source and Sensor Localization," Proc. ICASSP, pp. 2549-2553, Apr. 2015. (DOI: 10.1109/ICASSP.2015.7178431)

[7] Shigeki Miyabe, Nobutaka Ono and Shoji Makino, "Blind Compensation of Interchannel Sampling Frequency Mismatch for Ad hoc Microphone Array Based on Maximum Likelihood Estimation," Elsevier Signal Processing vol. 107, pp. 185-196, Feb. 2015. (DOI: 10.1016/j.sigpro.2014.09.015)

[8] Sonia Badar, Nobutaka Ono and Laurent Daudet, "Microphone Multiplexing with Diffuse Noise Model-based Principal Component Analysis," Proc. WASPAA, Oct. 2013. (DOI: 10.1109/WASPAA.2013.6701877)

[9] Shigeki Miyabe, Nobutaka Ono and Shoji Makino, "Optimizing Frame Analysis with Non-Integer Shift for Sampling Mismatch Compensation of Long Recording" Proc. WASPAA, Oct. 2013. (DOI: 10.1109/WASPAA.2013.6701833)

[10] Nobutaka Ono, Zbynek Koldovsky, Shigeki Miyabe and Nobutaka Ito, "The 2013 Signal Separation Evaluation Campaign," Proc. MLSP, Sep. 2013. (DOI: 10.1109/MLSP.2013.6661988)

[11] Shigeki Miyabe, Nobutaka Ono and Shoji Makino, "Blind Compensation of Inter-channel Sampling Frequency Mismatch

with Maximum Likelihood Estimation in STFT Domain," Proc. ICASSP, pp. 674-678, May 2013. (10.1109/ICASSP.2013.6637733)

〔学会発表〕(計 24 件)

[1] 村瀬 慶和, 千葉 大将, 小野 順貴, 宮部 滋樹, 山田 武志, 牧野 昭二, "伝達関数ゲイン基底 NMF におけるマイク数・マイク配置と目的音強調性能の関係," 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp. 523-526, 9 月, 2014 年. (北海学園大学豊平キャンパス, 北海道札幌市) [日本音響学会学生優秀発表賞受賞]

[2] 千葉 大将, 小野 順貴, 宮部 滋樹, 山田 武志, 牧野 昭二, 高橋 祐, "教師なし伝達関数ゲイン基底 NMF による目的音強調における罰則項の特性評価," 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp. 527-530, 9 月, 2014 年. (北海学園大学豊平キャンパス, 北海道札幌市) [日本音響学会学生優秀発表賞受賞]

[3] 小野 順貴, "補助関数型独立ベクトル分析による高速ブラインド音源分離," 信学技報, vol. 113, no. 29, SP2013-5, pp. 25-30, 5 月, 2013 年. (岡山大学, 岡山県岡山市) [招待講演]

[4] 小野 順貴, "非同期録音機器を用いたマイクロフォンアレイ信号処理," 音学シンポジウム 2013, 5 月, 2013 年. (お茶の水女子大学, 東京都文京区) [招待講演]

〔図書〕(計 1 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 音声信号処理装置及び方法
発明者: 小野 順貴、宮部 滋樹、牧野 昭二
権利者: 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構、国立大学法人 筑波大学
種類: 特許
番号: 特願 2013-048084、特開 2014-174393
出願年月日: 2013 年 03 月 11 日
国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 順貴 (ONO, Nobutaka)
国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・准教授
研究者番号: 80334259

(2) 研究分担者

牧野 昭二 (MAKINO, Shoji)
筑波大学・システム情報工学系研究科(系)・教授
研究者番号: 60396190

宮部 滋樹 (MIYABE, Shigeki)

筑波大学・システム情報工学系研究科(系)・助教
研究者番号: 50598745

(3) 連携研究者

篠田 浩一 (SHINODA, Koichi)
東京工業大学・情報理工学(系)研究科・准教授
研究者番号: 10343097