

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月24日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560432

研究課題名（和文） ブラインド信号分離の高速化と高機能化に関する研究

研究課題名（英文） Studies on high-performance and high-speed blind source separation

研究代表者

五反田 博 (GOTANDA HIROMU)

近畿大学・産業理工学部・教授

研究者番号：10153751

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、雑音や残響を取り除いて目的音声を高品質に復元するブラインド信号分離システム（BSS）を構築するとともに、そのために必要な信号処理手法を確立することである。そこで、音声のスパース性の観点から、独立成分分析法に基づく現行のBSSシステムで隘路となっていた問題を解消あるいは緩和して、目的音のみを即時リアルタイムに抽出する新しいアプローチへの基礎を築いた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to develop a blind source separation (BSS) system restoring a target speech sound with high quality by removing noise and reverberation, and to establish the required signal processing technique. From a viewpoint of sparseness of speech sounds, several approaches have been proposed to solve the problems inherent to the current BSS system based on independent component analysis. These approaches are expected to be bases for extracting the target speech immediately in a real-time manner.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：信号処理、ブラインド信号分離

1. 研究開始当初の背景

現行の音声認識システムは、静かな環境で話者が接話マイクを介して協調的に話した音声であれば、高い精度で認識できる。しかし、マイクから離れて発話した場合、話者の音声に回りの人の声や空調機などの雑音が混合されることや、話者音声や雑音等の音源から出た個々の音波が壁や床で何回も跳ね返って残響として影響することが問題となって、認識性能は急激に劣化する。そのため、個々

の音源そのものの性質や発生位置、室内の音響特性（伝達関数）に関する事前情報が無くても、人間のように雑音や残響の影響を取り除いて、目的の音声のみを抽出する方法の実現が望まれる。また、そのような方法の実現は、音声信号（音波）だけでなく、超音波や電波、脳波等を信号とする世界においても望まれており、ブラインド信号分離として広く研究が進められている。しかし、ブラインド信号分離システムとして汎用的に提供でき

るまでには至っていない。

音声信号については、ICA(独立成分分析)を基本原理とする雑音除去システムが既に開発されており、残響の少ない固定した音環境のもとで、ほぼリアルタイムに話者音声も明瞭に抽出することに成功している。ただし、リアルタイムと云っても、予め2~3秒間収録した学習データをICAアルゴリズムで分離し成分置換とスケールの補正処理を行う学習過程(1~2秒)を経た後、雑音除去処理(分離過程)が開始され、80ms程度の処理遅れで話者音声を出力することになる。そのため、通信回線で100ms程度の遅延を想定した音声認識等の各種サービスに応用するのは難しい。

2. 研究の目的

ICA原理に基づくBSSの場合、大量のデータを溜め込んで統計的に処理することを計算原理としているため計算負荷が大きいと云う問題を含めて、解決すべき課題をまとめると次のようになる。

課題1 数秒間の学習データが必要

課題2 ICAアルゴリズムは収束するまで繰返されるため、計算負荷(消費電力)が大きい

課題3 音源数がマイク数を越える場合、適用できない

課題4 音源の移動や音源数の増減により音環境が変動する場合、適用できない

課題5 話者背後からの雑音は除去できない

課題6 高残響下では良好に機能しない

そこで、本研究ではこれらの課題を解消乃至は緩和することを目的に検討を行った。

3. 研究の方法

1) 課題3は信号のスパース性を分離原理とする時間周波数マスク(TFM)法を適用することで解消される。そこで、2つの音源が、2つマイクの中心から等距離(r)、左右対称方向(θ)にあるとして、シミュレーションを行って、TFM法の分離能力を調べてみた。また、TFM法はクラスタリングを前提とした手法であることから、クラスタリングに係る計算負荷を軽減することを試みた。

2) 目的音の到来方向(DOA)が予め推定できれば、その方向に指向性を向けたソフトマスクを適用することで、目的音のみを抽出することができる。この観点から、DOAをリアルタイムに推定することを検討した。

3) ICA原理やスパース原理に基づくBSSの場合、課題5の話者背後からの雑音を除去するのは困難である。そこで、音圧比をもとに話者音声と背後音を識別する方法について検討した。

4. 研究成果

1) 時間周波数マスク(TFM)法に関する検討

結果:

① 残響や暗騒音の影響が軽微であれば良好な分離音を得られる。しかし、これらの影響が強いと分離音の品質は劣化する。

② TFM法の場合、位相差と音圧比(ゲイン比)の2つの特徴をもとにクラスタリングを行って分離するのが一般的である。しかし、残響や暗騒音の影響を軽微にした状況では、どちらか1つの特徴のみをクラスタリングした場合でも、2つの特徴をもとにした場合と概ね同等品質の分離音を得られ、しかもクラスタリングが収束するまでの計算量は大幅に軽減されることが確認された。

③ 位相差のみを特徴とする場合(Case1)、分離音の品質は r の大きさに関わらず音源間隔が広く(θ が大きくなる)程良くなる傾向にあった。一方、音圧比のみを特徴とした場合(Case2)、 θ を一定としたときの分離音の品質は r の値によって異なり、 r が小さいほど良好になる傾向にあった。

④ 位相差を特徴とするCase1の場合、同時に音のDOAが推定できる。そこで、クラスタリングの代わりにDOA推定値をもとにソフトマスク処理して得られる音の品質を調べてみた。その結果、推定誤差が小さければ、Case1と同等品質の抽出音がより少ない計算量で得られることが分かった。

2) 目的音のDOA推定に関する検討結果:

⑤ DOAの頻度分布をもとに目的音のDOAを推定することを試みた。その結果、20~30msのフレーム毎にDOAの頻度分布を(Hoyerの)スパース尺度で評価することにより、アクティブな音源数(無音源、1音源、複数音源)の検出と目的音DOAの推定がフレーム単位に行えることが明らかになった。このことは、学習のための収録データは20~30ms程度で済み、DOA推定値に基づいてソフトマスク処理を行えば、課題1は解消されること意味している。

⑥ 上述の④⑤の結果は、音環境が変化しても目的音をさらに少ない計算量で抽出できる可能性、つまり、課題2及び4の軽減化が図れる可能性を示唆している。

3) 音圧比に対する検討結果:

上述③のCase2の結果を精査するため、音圧比によるクラスタリングの役割を考察した。その結果、話者が通常のように2つのマイクの正面方向からでなく、その延長方向から発話すれば、音圧比により捕捉する音の距離を制御できることから、話者背後からの雑音を除去できる可能性が見えて来た。言い換えると、音源がスパースなら、2つのマイクの音圧比をもとに捕捉する音の範囲が絞り込めて、課題5が解消されると同時に課題6の残響問題を緩和できる可能性があることが分かった。

以上により、本研究では、ICA原理に基づ

くブラインド雑音除去で問題となっていた課題1～6を解消あるいは緩和し、目的音と異なる方向からの雑音だけでなく同じ方向からの雑音も除去して、目的音のみを即時リアルタイムに抽出する新しいアプローチへの基礎を築いた。

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7件)

- ① T. Ishibashi, Y. Fujimori, K. Inoue, H. Gotanda, Blind Source Separation Based on Estimation for the Number of Source Signals using Hough Transform, The 44th ISICIE Intn'l Symp. on Stochastic System Theory and Its Application, pp. 97-96, 2012, 査読有
- ② T. Ishibashi, Y. Fujimori, K. Inoue, H. Gotanda, Target Speech Extraction Based on Orthogonalization of Joint Distribution of Observed Signals, The 44th ISICIE Intn'l Symp. on Stochastic System Theory and Its Application, pp. 97-98, 2012, 査読有
- ③ 五反田博, 石橋孝昭, 岩崎宣生, 井上勝裕, 独立成分分析の基礎と応用, 京都大学数理解析研究所講究録, No.1743, pp. 6-20, 2011, 査読有
- ④ 五反田博, 独立成分分析に基づく音源分離, H23年度数学・数理学と諸科学・産業との連携ワークショップ「ウェーブレット理論と工学の応用」プロシーディングス, pp.5-19, 2011, 査読無
- ⑤ T. Koya, N. Iwasaki, T. Ishibashi, G. Hirano, H. Shiratsuchi, H. Gotanda, SN ratio estimation and speech segment detection of extracted signals through Independent Component Analysis, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.14, No. 4, pp. 364-374, 2010 査読有
- ⑥ 石橋孝昭, 井上勝裕, 五反田博, ブラインド信号分離の基本的手法とその応用, システム制御情報学会誌, 第54巻 第8号, pp. 302-307, 2010 解説論文
- ⑦ H. Shiratsuchi, N. Iwasaki, H. Tanaka, T. Ishibashi, N. Haratani, Y. Nakano and H. Gotanda, Blind Carrier Frequency Offset and Channel Estimation Using ICA in QAM-OFDM Systems, Proc. 2010 IEEE Region 10 Conference, CD-ROM, pp. 1330-1335, 2010 査読有

[学会発表] (計23件)

- ① 西村俊哉, 岩崎宣生, 五反田博, スパース性に基づく音源方向のリアルタイム推定, 第31回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 2012年12月8日, 熊本大学(熊本市)
- ② 十川勇人, 岩崎宣生, 白土浩, 五反田博, OFDM 伝送路のセミブラインド推定, 第31回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 2012年12月8日, 熊本大学(熊本市)
- ③ 西村俊哉, 岩崎宣生, 五反田博, 音源のスパース性に基づく DOA 推定, 第20回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 2012年9月26日, 長崎大学(長崎)
- ④ 十川勇人, 岩崎宣生, 白土浩, 五反田博, OFDM システムのセミブラインドチャンネル推定, 第20回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 2012年9月26日, 長崎大学(長崎)
- ⑤ 岩崎宣生, 井上勝裕, 五反田博, 音源方向推定とクラメール・ラオの限界について, 第56回システム制御情報学会研究発表講演会, 2012年5月21日, 京都テルサ(京都市)
- ⑥ 岩崎宣生, 松崎隆哲, 平野剛, 井上勝裕, 五反田博, ステレオマイクによる音源方向のリアルタイム推定, 2011年度日本応用数理学会研究部会連合発表会, 2012年3月9日, 九州大学(福岡市)
- ⑦ 田中宏典, 岩崎宣生, 白土浩, 五反田博, 周波数オフセット下での OFDM 伝送路推定, 第30回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 2011年12月4日, 大分大学(大分市)
- ⑧ 岩崎宣生, 井上勝裕, 五反田博, フレーム単位での音源方向推定に関する検討, 第30回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 2011年12月3日, 大分大学(大分市)
- ⑨ 田中宏典, 岩崎宣生, 白土浩, 五反田博, OFDM システムのブラインド伝送路推定, 第19回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 2011年9月28日, 佐賀大学(佐賀市)
- ⑩ 小柳大輔, 岩崎宣生, 五反田博, 短時間フーリエ変換による音源のスパース性への影響, 第19回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 2011年9月28日, 佐賀大学(佐賀市)
- ⑪ 五反田博, 独立成分分析に基づく音源分離について, H23年度数学・数理学と諸科学・産業との連携ワークショップ, 2011年9月12日, 大阪教育大学(大阪市)
- ⑫ 岩崎宣生, 井上勝裕, 五反田博, 音源方

向のリアルタイム推定に関する考察, 平成 23 年電気学会産業応用部門大会, 2011 年 9 月 8 日, 琉球大学 (沖縄県中頭郡西原町)

- ⑬ 田中宏典, 岩崎宣生, 白土浩, 五反田博, QAM-OFDM における伝送路のブラインド推定, 電子情報通信学会 2011 年ソサイエティ大会, 2011 年 9 月 15 日, 北海道大学 (札幌市)
- ⑭ 岩崎宣生, 井上勝裕, 五反田博, フレーム毎の音源方向推定について, 電子情報通信学会 2011 年ソサイエティ大会, 2011 年 9 月 14 日, 北海道大学 (札幌市)
- ⑮ 石橋孝昭, 五反田博, Hough 変換を利用した観測音声の音源数推定, 第 55 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2011 年 5 月 18 日, 大阪大学コンベンションセンター (吹田市)
- ⑯ 岩崎宣生, 井上勝裕, 松崎隆哲, 平野剛, 五反田博, 信号源の到来方向に基づくソフトマスク処理による信号分離, 2010 年度日本応用数理学会研究部会連合発表会, 2011 年 3 月 8 日, 電気通信大学 (調布市)
- ⑰ 岩崎宣生, 古屋武志, 井上勝裕, 五反田博, 高残響下での信号到来方向の推定に関する検討, 第 29 回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 2010 年 12 月 4 日, 宮崎大 (宮崎市)
- ⑱ 鶴原佑起, 岩崎宣生, 五反田博, 白土浩, スパース尺度に基づく音環境のモニタリング, 第 29 回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 2010 年 12 月 4 日, 宮崎大 (宮崎市)
- ⑲ 五反田博, ブラインド信号分離の基礎と応用, 京大 RIMS 共同研究, 2010 年 10 月 21 日, 京都大学数理解析研究所 (京都市)
- ⑳ 石橋孝昭, 五反田博, 音響信号のリアルタイムブラインド信号分離に対する試み, 第 54 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2010 年 5 月 21 日, 京都リサーチパーク (京都市)

その他 3 件

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 3 件)

名称: 定常雑音下における音声区間検出に基づく目的音声の復元方法

発明者: 五反田博, 古屋武志, 金田圭市

権利者: (財)北九州産業学術推進機構

種類:

番号: 第 4496378 号

取得年月日: 2010 年 4 月 23 日

国内外の別: 国内

名称: 分割スペクトル系列の振幅頻度分布形状に基づく目的音声の復元方法

発明者: 五反田博, 金田圭市, 古屋武志

権利者: (財)北九州産業学術推進機構

種類:

番号: 第 4496379 号

取得年月日: 2010 年 4 月 23 日

国内外の別: 国内

名称: 耐高残響ブラインド信号分離装置及び方法

発明者: 五反田博, 古屋武志, 金田圭市

権利者: (財)北九州産業学術推進機構

種類:

番号: 第 4714892 号

取得年月日: 2011 年 4 月 8 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

近畿大学研究業績データベース

<http://rais.itp.kindai.ac.jp/researchdb/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

五反田 博 (GOTANDA HIROMU)

近畿大学・産業理工学部・教授

研究者番号: 10153751

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし