

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22700186

研究課題名(和文) 認識機構を指標として用いたロボット聴覚のための実時間雑音抑制技術の開発

研究課題名(英文) Development of real-time noise reduction method for robot auditory utilizing speech recognition system

研究代表者

松本 友実(阿部友実)(MATSUMOTO, Tomomi)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号：10570905

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、特に音声認識機構を搭載したロボットにおける外部雑音の抑制に焦点を当て、認識機構を用いた雑音抑制システム最適化技術の開発を行った。雑音抑制機構と認識機構を独立に動作させるのではなく、雑音抑制機構と認識機構を統合することで、従来無相関性や独立性などの客観的な仮定が難しかったような状況でのパラメータ設定が可能になり、ロボットへの応用のみでなく車載ナビゲーションシステムや生体認証などへの応用も可能な総合的な雑音抑制機構の構築が可能となった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focus on noise reduction from external environment in robot auditory system, and developed noise reduction and parameter tuning method utilizing speech recognition system. The feature of this study is not to tune speech recognition system and noise reduction system independently, but to tune them in a comprehensive way. By integrating noise reduction system and noise reduction system totally, the applicable range of parameter tuning became wide. It is considered that the developed system will be applicable not only to robot auditory but also to car navigation system and biometric identification.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：雑音抑制 音声認識 最適化

1. 研究開始当初の背景

雑音抑制システムは単一マイクロホンを用いる手法と2つ以上のマイクロホンを用いる手法に大別できる。このうち、単一マイクロホンを用いた手法は小型化が容易であることから、小型ロボットへの搭載など応用範囲が広い。単一のマイクロホンでの雑音抑制手法としては、スペクトルサブトラクション(SS)法やカルマンフィルタなどが広く知られているが、それぞれ非定常性をもつ雑音への適用が不可能である。統計量を用いているため計算量が莫大となる、といった問題を有している(図1)。これを踏まえ、申請者は音声信号の時間領域での雑音抑制手法として知られている  $\omega$ -フィルタを時間 周波数領域に適用した時間 周波数  $\omega$ -フィルタを提案し、その有効性を確かめた。この技術により、カルマンフィルタなどと比較して簡単な処理で従来の  $\omega$ -フィルタでは原理上不可能であった大振幅・非定常性をもつ雑音を抑制することが可能となったが、その有効性は実験的に示されたのみであり、フィルタの統計的性質についてはいまだ解明されていない。

1. SS 法  
 入力信号の初期部分から雑音を推定、  
 減算することによる雑音を抑制  
 非定常雑音には不向き

2. カルマンフィルタ  
 統計量を用いて雑音を推定し抑制  
 計算量が大きく、実時間処理に不向き

3. 時間 周波数  $\omega$ -フィルタ  
 時間 周波数領域でフィルタリング

図1. 関連研究の分類

また、申請者は時間 周波数領域で音声信号の明瞭性を維持しながら雑音を抑制し、かつ処理速度の向上を実現する cross TF  $\omega$ -フィルタを考案し、その有効性を実験的に確認しているが、これについても統計的性質は未解明である。さらに、これらの手法はいくつかのパラメータを人的に設定する必要があるため、音声認識などへの搭載が困難であるという問題を有していた。そこで、信号と雑音の無相関性の仮定のもとでフィルタの入出力信号から推定した信号成分と雑音成分の相関係数を用いることによってパラメータの最適値を推定する手法を考案し、その有効性を実験的に確認した。しかし、フィルタの入出力信号から推定した信号成分と雑音成分の無相関化と雑音抑制性能の最適化との因果関係について理論的に示されておらず、考察の必要がある。また、無相関性が仮定できない状況での適用は困難である。

上記手法に加え、申請者はさらに勾配法を用いてパラメータを自動的に最適な値に設定するアルゴリズムの開発を行い、より簡易な従来手法である  $\omega$ -フィルタにおいてその実用性を確認している。しかし、これらは目的信号との差や信号対雑音比における効果の確認にとどまっており、実際の認識システムにおいて最適である保証はない。

また、申請者は時間 周波数領域での処理によって発生するミュージカルノイズの除去を目的として、疑似直交変換として知られる M 変換を時間 周波数領域に用いることにより、ミュージカルノイズを除去する手法を考案した。しかし、これはミュージカルノイズを時間 周波数領域でのインパルスノイズとみなして処理を行っているに過ぎず、ミュージカルノイズに関するさらなる考察と手法の改善の余地を残している。

2. 研究の目的

従来の雑音抑制システムは、信号対雑音比や目的信号との誤差などの指標を用いることで評価されることが多い。しかし、ロボット等に搭載された音声認識機構の前処理として雑音抑制システムを用いる場合、従来用いられてきた数値的な指標よりも認識率の向上がより重要となる。また、これまでの手法では無相関性や信号の独立性などといった客観的な仮定をおくことができないとき、最適なパラメータを得ることは困難である。そこで、本研究では音声認識機構そのものを雑音抑制システムのパラメータ決定の指標とするシステムの構築を行う。音声認識システムを用いたパラメータ設定は、無相関性や独立性などを用いた手法と異なり、出力の値だけを見ることで評価が可能であるという利点があるだけでなく、ロボット自身が出す既知の声を利用することで環境が未知な状況にも適用可能であるという特長がある。従来の研究では評価に認識率を用いることはあってもパラメータ決定の指標として用いることは行われておらず、独創的であるといえる。

また、さらに効果的に雑音を抑制するため、時間 周波数  $\omega$ -フィルタやミュージカルノイズの統計的性質について考察し、時間 周波数  $\omega$ -フィルタ、cross TF  $\omega$ -フィルタ、時間 周波数領域での M 変換の有効性に対し、理論的な裏づけを与える。また、信号・雑音にガウス分布やポアソン分布などといった複数の確率分布を設定し、各々の確率過程における無相関基準の最適性について解析する。最終的に雑音抑制システムと認識機構を統合し、PIONEER 3-DX へと実装し、システムを評価する。本研究の成果は、ロボットの聴覚機構としてだけでなく、自動車における車載ナビゲーションシステムや、生体認証など多岐にわたる応用が可能であり、医療、福祉、産業分野を支援する総合的な雑音抑制システムが構築可能になるものと期待される。

る(図2)。

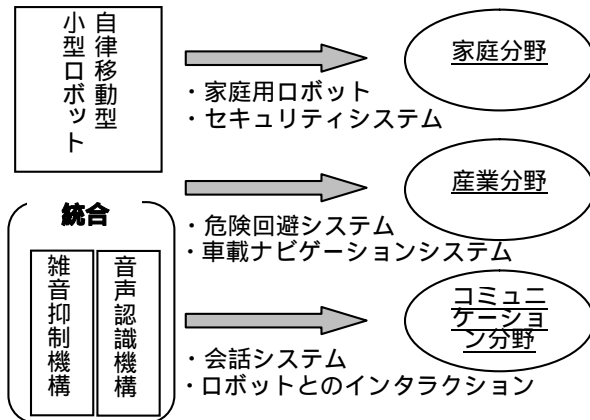


図2. 本研究の波及効果

### 3. 研究の方法

本研究は、雑音抑制システムの性能向上、認識機構を用いた最適化と統合の2点を大きな軸として進行していく。研究の流れを図3に示す。初年度にあたる平成22年度は従来までに開発した雑音抑制システムについて統計的解析を行い、拡張をするとともに、認識機構を指標とした雑音抑制手法のパラメータ最適化を提案し、その有効性の評価を行う。2年目にあたる平成23年度には22年度に拡張した雑音抑制システムに対して、認識機構を用いたパラメータ最適化手法を適用し、認識機構と雑音抑制システムの統合を行う。また、処理の高速化を行い、実時間処理を可能とする。最終年度である平成24年度にはPioneer 3-DXを用いた自律移動型小型ロボットを開発し、ロボット自身の声を利用した雑音抑制システムの自動パラメータ設定に関する評価実験を行う。また、小型ロボットへの実装時の音環境の解析を行い、システムの最適化を行う。

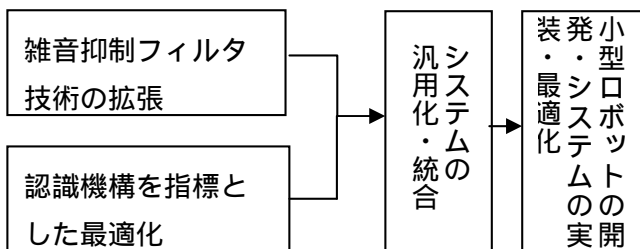


図3. 研究の流れ

### 4. 研究成果

平成22年度においては研究計画に基づき、認識機構を用いた雑音抑制システムの最適化技術の開発に先駆けて、音声認識機構を指標とした雑音抑制システムの最適化の基礎的な検討を行い、その可能性を見出した。これについて、1件の国際会議で成果発表を行い、国内外の研究者と議論を交わした。

平成23年度には研究計画である雑音抑制



図4. 自律移動型ロボット

PIONEER 3-DX

システムの汎用化の一環として、音声認識システムにおいて致命的な障害となりうる突発性をもつ雑音に対する本開発システムの性能評価を行った。具体的には本研究で用いている雑音抑制システムのひとつであるcross-TF-フィルタを用いた際の抑制性能を時間-周波数-フィルタの抑制性能と比較し、突発性を持つ雑音に対する開発システムの有効性について確認した。これについて、1件の国際会議で成果発表を行い、国外の研究者と議論を交わした。また、平成23年度の研究計画のもうひとつの軸である音声認識機構と雑音抑制システムの統合に関連して、雑音抑制システムである時間-周波数-フィルタのパラメータ自動設定に関する手法の考案および検討を行い、その成果を国際会議で発表した。

最終年度においては、雑音抑制機構処理と音声認識の統合や小型ロボット搭載のためのソフトウェア開発に加え、雑音抑制機構の実環境での利用を目指し、パラメータの自動最適化手法について検討した。提案手法ではパラメータの自動決定の際に焼きなまし法を用いることで認識率が局所的に向上しているようなパラメータへの収束を防ぎ、大域的に良好な認識率となるパラメータを自動的に決定することが可能となる。本年度は音声認識率と同様にパラメータが局所最適値に決定されてしまう場合のある相関係数を用いたパラメータ決定の手法に対して提案手法を適用し、その有効性を確認した。また、その研究成果を海外で開催された国際会議において発表した。

### 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0件)

〔学会発表〕(計7件)

(1) 梅松旭美, エンリケズギエルモ, 松本友実, 松本光春, 橋本周司, "分周波数スペクトルのピーク変動および強度変化比の

類似性を用いたモノラル音源分離と分離性能向上の検討," 日本音響学会 2013 年春季研究発表会, pp.721-724, 東京, 2013 年 3 月 13 日-15 日.

- (2) Terumi Umematsu, Guillermo Enriquez, Tomomi Matsumoto, Mitsuharu Matsumoto and Shuji Hashimoto, "Monaural Blind Source Separation based on Frequency Spectrum Peak Shift and Power Fluctuation," International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'13) , pp.528-531, Hawaii, USA, March 4 - March 8, 2013.
- (3) Tomomi Matsumoto, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Simulated annealing based parameter optimization of time-frequency  $\epsilon$ -filter utilizing correlation coefficient," International conference on signal processing and multimedia applications (SIGMAP2012) , pp.237-241, Rome, Italy, July 24 - July 27, 2012.
- (4) 梅松旭美, 阿部友実, 松本光春, 橋本周司, "分離音間の相関係数を用いたモノラル音源分離の性能評価," 日本音響学会平成 24(2012)年春季研究発表会講演論文集, pp.717-720, 神奈川, 2012 年 3 月 13 日-15 日.
- (5) 梅松旭美, 阿部友実, 松本光春, 橋本周司, "周波数スペクトルのピーク追従によるモノラル音源分離の性能評価," 日本音響学会平成 23(2011)年秋季研究発表会講演論文集, pp. 665-668, 島根, 2011 年 9 月 20 日-22 日.
- (6) Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Application of cross TF  $\epsilon$ -filter to impulse noise reduction," IASTED International Conference on Signal and Image Processing and Applications (SIPA2011) , pp.173-178, Crete, Greece, June 22 - June 24, 2011.
- (7) Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Parameter setting of noise reduction filter using speech recognition system," International Conference on Neural Computation (ICNC2010), pp.387-391, Valencia, Spain, Oct. 24 - Oct. 26, 2010.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :

種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 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

松本(阿部)友実( MATSUMOTO (ABE) Tomomi )  
早稲田大学理工学術院先進理工学部  
助教  
研究者番号 : 10570905

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :