

機関番号：12612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008年度～2010年度

課題番号：20700168

研究課題名（和文）

piezo素子とマイクロホンを利用したロボット聴覚のための内部雑音処理技術の開発

研究課題名（英文）

Inside noise reduction for robot audition combining microphones piezoelectric devices

研究代表者

松本 光春 (MATSUMOTO MITSU HARU)

電気通信大学・先端領域教育研究センター・特任助教

研究者番号：70434305

研究成果の概要（和文）：

本研究では、特にロボットなどのシステム内部からの内部雑音除去を目的とした雑音除去システムの開発を目指し、piezo素子とマイクロホンを組み合わせた内部雑音除去システムやレーザー振動検出器を用いた非接触での内部雑音除去を提案した。また、モノラル雑音除去のためクロス時間周波数 ϵ -フィルタや音声の周波数構造に着目したモノラル音源分離法を提案し、その有効性を確かめた。さらに無相関基準や認識機構を用いたパラメータ最適化について検討を加え、その有効性を確かめた。

研究成果の概要（英文）：

This study aimed to reduce noise from the system inside combining microphones and piezoelectric devices, and contactless noise reduction system by replacing piezoelectric devices to laser listening devices. This study also aimed single channel noise reduction using cross TF ϵ -filter and a blind separation of monaural sound based on peak tracking of frequency spectra. Parameter settings based on signal-noise de-correlation and recognition system were also proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：内部雑音除去，piezo素子，マイクロホン，パラメータ最適化，非線形フィルタ， ϵ -フィルタ，音響アレイ

1. 研究開始当初の背景

ロボットにおける雑音処理系を考えると、音声などの外部音だけでなく、モータ、ギアなどロボット自身から発生する内部雑音が存在する。このような内部雑音をどのように処理するかは、実用上重要な課題であるが、方向に対する拘束をかけるような従来の

マイクロホンアレイの技術で内部雑音を取り除くことは難しい。また、内部雑音では、必ずしも定常性、独立性、スパース性などが仮定できないため、音声などで有用な独立成分分析やスパース性を利用した音源分離などを利用することも困難であるという問題があった。

2. 研究の目的

本研究は、特にロボットなどのシステム内部からの内部雑音除去を目的とし、上記の課題を解決した自律移動型小型ロボットへの実装に焦点を合わせたロボットの聴覚機構の開発を目標とする。

3. 研究の方法

(1) ピエゾ素子とマイクロホンを組み合わせた内部雑音除去

本研究ではロボットにおける雑音源を環境から来る外部雑音と、ロボット内部から発生するモータ、ギアなどの内部雑音に分け、それぞれの特徴に注目した雑音の処理系を提案する。外部雑音はロボットの動きがあるため、マイクロホンとの位置関係は常に変化する。一方、内部雑音は必ずしも定常ではなく、また、信号源との独立性・スパース性も仮定できないが、マイクロホンと信号源の相対的な位置関係は変わらない。筆者はこの2つの雑音の特徴に注目し、内部雑音の除去にピエゾ素子を用いることで内部雑音の除去を狙った。提案する音響アレイで用いるピエゾ素子は接触により物体の振動を検知するため、精密機械や硬度の低い物質など貼付が困難な物体への適用が困難である。そこで、レーザー光の反射により、物体の振動を検知するレーザー振動検出器をピエゾ素子の代わりに用いることで、非接触での内部雑音除去を狙った。さらに、マイクロホンからの出力とピエゾ素子からの出力の利得比を取ることで、ブラインド状態での内部雑音除去について検討を行った。

(2) 非線形フィルタを用いたモノラル雑音除去

筆者らの提案する時間周波数 ϵ -フィルタやスペクトルサブトラクションなどの周波数軸上での処理で問題となるミュージカルノイズの除去を目指し、擬似直交変換であるM変換を用いたミュージカルノイズ除去法を提案した。またモノラル雑音除去のための非線形フィルタとして筆者らが提案している時間周波数 ϵ -フィルタを発展させ、時間周波数空間で時間軸・周波数軸双方に ϵ -フィルタをかけるクロス時間周波数 ϵ -フィルタを提案し、その有効性を確かめた。さらにモノラル雑音除去への別アプローチとして、音声の周波数構造に着目したモノラル音源分離法を提案し、その有効性を確かめた。

(3) 非線形フィルタのパラメータ設定

モノラル雑音除去のための非線形フィルタである ϵ -フィルタや筆者らの提案する

時間周波数 ϵ -フィルタのパラメータ最適化のための手法として無相関基準によるパラメータ最適化法を提案した。また、認識システムを利用したパラメータ設定について検討を行った。

4. 研究成果

(1) ピエゾ素子とマイクロホンを組み合わせた内部雑音除去

従来のマイクロホンアレイでは一般に以下の条件が満たされる。

条件1 全てのマイクロホンは異なる位置に置かれる

条件2 マイクロホンアレイを構成するマイクロホンには無指向性マイクロホンが用いられる

これらの条件のため、従来のマイクロホンアレイでは雑音源を含む特定の方向にゼロ点が形成され、雑音源のある地点にだけゼロ点を作ることは難しい。これに対し、ピエゾ素子を音響アレイ素子として利用する場合、内部雑音源の振動を直接取得するため、内部雑音源にピエゾ素子を貼付する。このため、ピエゾ素子を用いたときには以下の条件が満たされる。

条件1 雑音源の振動が直接検知される

条件2 他の雑音源に影響を受けない

これらの特徴のため、提案する音響アレイでは雑音源にのみゼロ点が形成され、雑音源以外の場所に対する利得には影響を及ぼさない。実験に用いた実験装置を図1に示す。図1に示すようにマイクロホンとピエゾ素子をモバイルPCに設置し、モバイルPC内部から発生する内部雑音の除去実験を行った。実際に指向特性を調べた様子を図2に示す。図2に示すようにピエゾ素子を貼付した内部雑音源にのみ、ゼロ点を形成できることが確認された。これは従来のマイクロホンアレイとは大きく異なる提案音響アレイ特有の性質であるといえる。また、モバイルロボットを用いて、内部雑音除去性能を検証した。

ところで、提案する音響アレイで用いるピエゾ素子は接触により物体の振動を検知するため、精密機械や硬度の低い物質など添付が困難な物体への適用が困難である。そこで、レーザー光の反射により、物体の振動を検知するレーザー振動検出器をピエゾ素子の代わりに用いることで、非接触での内部雑音除去が可能となった。また、マイクロホンからの出力とピエゾ素子からの出力の利得比を取ることで、ブラインド状態で内部雑音除去を行うことが可能であることを示した。



図1 実験装置の配置.

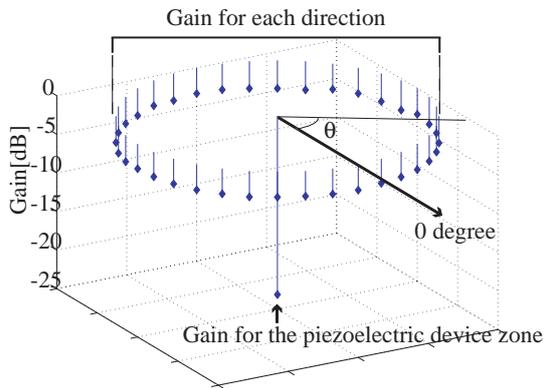


図2 指向特性.

(2) 非線形フィルタを用いたモノラル雑音除去

時間周波数 M 変換によるミュージカルノイズ除去では、時間周波数領域におけるミュージカルノイズと時間領域におけるインパルス状雑音の類似性に注目し、擬似直交変換である M 変換を時間周波数領域に適用することでミュージカルノイズの除去を狙う。図3にスペクトルサブトラクション法(SS法)処理後のスペクトログラムを示す。図3において、黒い点はパワーの強い点、白い点はパワーの弱い点をそれぞれ表す。図3から分かるように、ミュージカルノイズは時間周波数領域で孤立点として現れる。これは、時間領域でのインパルス雑音と類似している。このことより、 M 変換と ϵ -フィルタを時間周波数領域におけるパワースペクトルに適用することによってミュージカルノイズを抑制可能であると考えられる。

定常雑音に対する実験として、音声信号に白色雑音を加えたものを入力信号とした雑音処理実験を行った。なお、信号対雑音比(SNR)は10[dB]とした。図4に実験結果を示す。

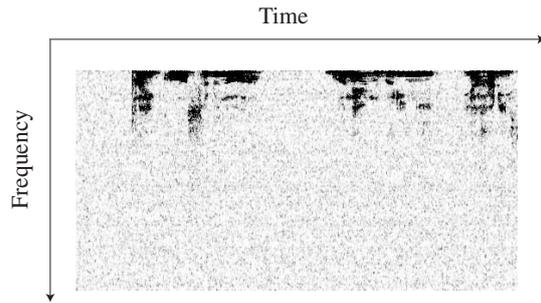


図3 スペクトルサブトラクションにより処理された信号のスペクトログラム.

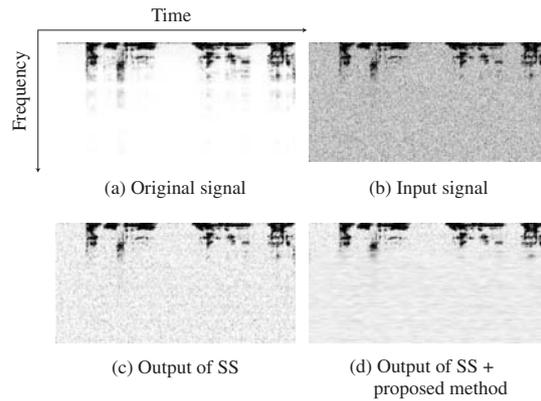


図4 実験結果 (定常雑音) .

図4(a)は原信号のスペクトログラム、4(b)は入力信号のスペクトログラムである。図4(c)はSS法処理を行った場合、図4(d)はSS法後に提案手法による処理を行った場合のそれぞれのスペクトログラムである。図4より、SS法処理後にはミュージカルノイズであると思われる多数の孤立点がみられるが提案手法処理後にはそれらの孤立点が除去されていることが分かる。

一方、申請者はこれまでに時間周波数 ϵ -フィルタの精度をさらに向上させる時間軸上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クロス時間周波数 ϵ -フィルタを考案した。図5はクロス時間周波数 ϵ -フィルタの処理の概念図である。図5に示すようにクロス時間周波数 ϵ -フィルタでは時間周波数 ϵ -フィルタで時間軸上のみかけていた ϵ -フィルタを周波数方向にもかけることで周波数分布が平坦であるような雑音のさらなる雑音抑制を狙っている。図6は定常雑音にクロス時間周波数 ϵ -フィルタを適用したときの事例である。図6に示すようにクロス時間周波数 ϵ -フィルタを用いることでスペクトルサブトラクションや時間周波数 ϵ -フィルタに比べ、より優れた雑音除去が可能であることが確認された。

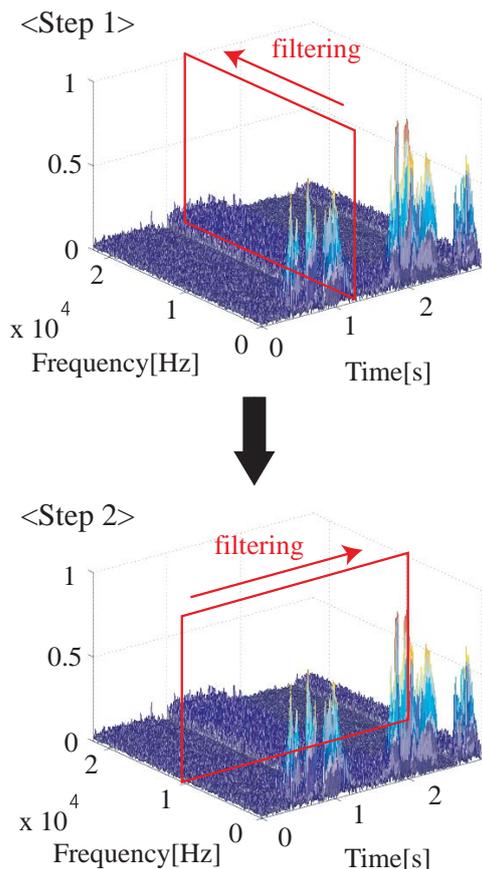


図5 クロス時間周波数 ϵ -フィルタの概念図.

(3) 非線形フィルタのパラメータ設定

提案手法では、信号と雑音の無相関性を仮定し、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相関係数を用いることによってパラメータの最適値の推定を行った。また、上記の枠組みを利用して、勾配法を用いたパラメータ自動決定に関する実験を行い、得られた音声・画像から自動的にパラメータが決定可能であることを確認した。 ϵ -フィルタでは、パラメータの1つである ϵ の値を適切に設定することにより、効果的に雑音を抑制することが可能となる。従来 ϵ の値は実験的に設定していたが、設定したパラメータが最適であることを確認することは困難である。また、実際にシステムを実用化するには、自動でパラメータを決定できる機構が必要となる。この問題を解決するために、本手法では以下のような仮定をおく。

仮定1. 音声信号と雑音信号は無相関である。

音声信号を $s(t)$ 、雑音信号を $n(t)$ とおく。仮定1が成り立っているとき、 $s(t)$ と $n(t)$ の相関係数 $R(s(t), n(t))$ について

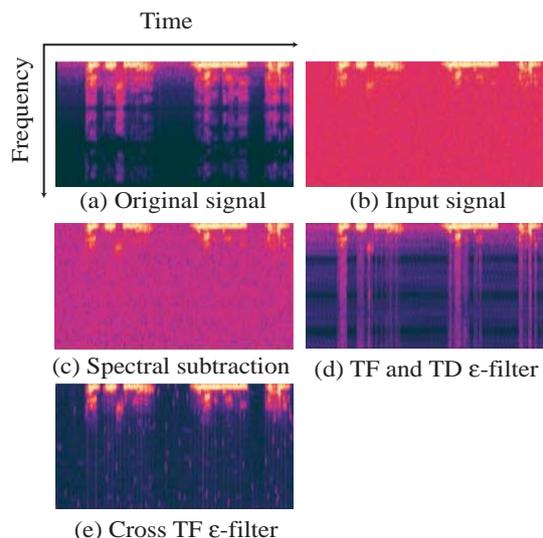


図6 定常雑音を利用したときの実験結果.

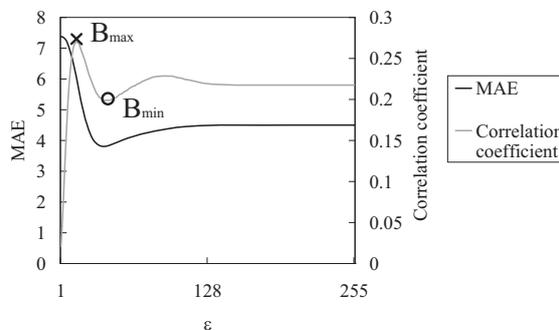


図7 ϵ の値の変化に対する平均二乗誤差と相関係数の関係.

$$R(s(t), n(t)) = 0, \quad (1)$$

が満たされる。実際にシステムを適用するには、音声信号 $s(t)$ 、雑音信号 $n(t)$ はともに不明である。そこで、入力信号とフィルタ出力を用いて音声信号 $s(t)$ 、雑音信号 $n(t)$ を表す方法を考える。今、入力信号を $x(t)$ 、出力信号を $y(t)$ とおく。雑音を完全に抑制し、音声信号を全く減衰させない理想的なフィルタを考えた場合、 $y(t) = s(t)$ となる。このとき、入力信号とフィルタ出力の差 $x(t) - y(t)$ が雑音信号となるから、

$$R(s(t), n(t)) = R(y(t), x(t) - y(t)), \quad (2)$$

となる。実際にはフィルタは理想的なものではないが、パラメータが適切に設定されているとき、 $R(y(t), x(t) - y(t))$ はパラメータとして他の値を用いた場合よりも小さくなる。そのため ϵ の最適値 ϵ_{opt} は次の式より得られる。

$$\varepsilon_{opt} = \arg \min_{\varepsilon} R(y(t), x(t) - y(t)). \quad (3)$$

提案手法の妥当性を明らかにするために、雑音を重畳させた音声を用いて実験を行った。実験では原信号 $s(t)$ とフィルタ出力 $y(t)$ の絶対平均誤差(MAE)と相関係数を計算した。サンプリング周波数 44.1kHz, ビットレート 8bit, SNR=6.5[dB]の信号を用いた。図7に実験結果を示す。図7に示すように、MAEが最小値を示すときの ε の値と相関係数が極小値を示すときの ε の値がほぼ等しくなっており、提案手法が妥当であることが分かる。

また、上記の枠組みを利用して、勾配法を用いたパラメータ自動決定に関する実験を行い、得られた音声から自動的にパラメータが決定可能であることを確認した。さらにインパルス雑音除去フィルタや過去に提案した時間周波数 ε -フィルタにおいても類似した枠組みでのパラメータ最適化が可能であることを確認した。

ところで従来のパラメータ設定法では、先の事例にもあるように無相関性や信号の独立性などといった一般によく成り立つ統計的な仮定を置き、評価関数を最大化、または、最小化することでパラメータの最適化を行う。このようなパラメータ最適化は非常に高い汎用性があり、画像処理・音声処理など様々な分野で用いられているが、出力が元の画像や音声そのものではないような場合、その仮定をおくことが難しい。

しかし、無相関性や信号の独立性などといった客観的な仮定が適用できない場合でも、主観的なパターンが入力に含まれていることを知っているような場合がよくある。例えば、雑音を含んだ音声から雑音を取り除きたいような場合、その出力はもっとも音声らしくなることが望ましい。そこで、音声認識システム Julius を用いた非線形フィルタのパラメータ設定について検討し、音声認識システムのパラメータ設定への適用可能性について確認した。

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5件)

- ① Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Automatic parameter optimization in ε -filter for acoustical signal utilizing correlation coefficient," Journal of the Acoustical Society of America, pp. 896-901, Vol.127, No.2, 2010. 査読有
- ② Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Noise reduction utilizing

cross time-frequency ε -filter," Journal of the Acoustical Society of America, pp.3079-3087, Vol.125, No.5, 2009. 査読有

- ③ Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Internal noise reduction from dependent signal mixtures using microphones and a piezoelectric device under blind condition," Journal of the Acoustical Society of America, pp.1518-1528, Vol.125, No.3, 2009. 査読有

- ④ Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Noise reduction combining time-frequency ε -filter and M-transform," Journal of the Acoustical Society of America, pp.994-1005, Vol.124, No.2, 2008. 査読有

- ⑤ Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "An acoustical array combining microphones and piezoelectric devices," Journal of the Acoustical Society of America, pp.2117-2125, Vol.123, No.4, 2008. 査読有

[学会発表] (計14件)

- ① 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. 査読有

- ② 阿部友実, 松本光春, 橋本周司, "時間-周波数 ε -フィルタの統計的解析," 日本音響学会平成22(2010)年春季研究発表会講演論文集, pp.777-780, 東京, 2010年3月8日-10日. 査読無

- ③ Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Automatic parameter optimization of ε -filter for acoustical signal based on cross correlation," 6th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA 2009), pp.47-52, Salzburg, Austria, Sep. 16 - Sep. 18, 2009. 査読有

- ④ Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Parameter optimization in time-frequency ε -filter based on correlation coefficient," International conference on signal processing and multimedia applications (SIGMAP2009), pp.107-111, Milan, Italy, July 7 - July 10, 2009. 査読有

- ⑤ Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Dependent noise reduction from an acoustical array combining microphones and a piezoelectric device under blind condition," 2009 IEEE international symposium on Circuits and Systems - ISCAS2009, pp.2141-2144, Taipei, Taiwan, May 24 - May 27, 2009. 査読有
- ⑥ Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Parameter optimization in ϵ -filter for acoustical signal based on correlation coefficient," 2009 IEEE international symposium on Circuits and Systems - ISCAS2009, pp.1417-1420, Taipei, Taiwan, May 24 - May 27, 2009. 査読有
- ⑦ Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Bilateral sound denoising," 2009 International Conference on Information management and engineering (ICIME 2009), pp.119-123, Kuala Lumpur, Malaysia, April 3 - April 5, 2009. 査読有
- ⑧ Shoko Yamahata, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "A blind separation of monaural sound based on peak tracking of frequency spectra," 2009 International Conference on Information management and engineering (ICIME 2009), pp.305-311, Kuala Lumpur, Malaysia, April 3 - April 5, 2009. 査読有
- ⑨ 山嶋祥子, 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音声のモノラル音源分離," 日本音響学会平成21(2009)年春季研究発表会講演論文集, pp.677-680, 千葉, 2009年3月17日-19日. 査読無
- ⑩ 阿部友実, 松本光春, 橋本周司, "相関係数に基づく音響信号に対する ϵ -フィルタのパラメータ最適化," 日本音響学会平成21(2009)年春季研究発表会講演論文集, pp.619-622, 千葉, 2009年3月17日-19日. 査読無
- ⑪ Mitsuharu Matsumoto, Tomomi Abe, Shuji Hashimoto, "Internal noise reduction combining microphones and a piezoelectric device under blind condition," IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI2008), pp.498-502, Seoul, Korea, Aug 20- Aug 22, 2008. 査読有
- ⑫ Mitsuharu Matsumoto, Tomomi Abe, Shuji Hashimoto, "Performance evaluation of acoustical array by combining

microphones and piezoelectric devices," 2008 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA2008), CD-ROM, Takamatsu, Japan, Aug 5- Aug 8, 2008. 査読有

- ⑬ Mitsuharu Matsumoto, Tomomi Abe, Shuji Hashimoto, "Noise reduction combining microphones and laser listening devices," 2008 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA2008), CD-ROM, Takamatsu, Japan, Aug 5- Aug 8, 2008. 査読有

- ⑭ Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Noise reduction based on cross TF ϵ -filter," International conference on signal processing and multimedia applications (SIGMAP2008), pp.105-112, Porto, Portugal, July 26 - July 29, 2008. 査読有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 光春 (MATSUMOTO MITSU HARU)

電気通信大学・先端領域教育研究センター・特任助教

研究者番号 : 70434305