

人との共存を目指したロボットの聴覚機構の開発

Development of robot ear for human-robot coexistence.

1081026

研究者代表 電気通信大学先端領域教育研究センター 特任助教 松 本 光 春

[研究の目的]

本研究は、人間とロボットの共存のための聴覚機構の実環境での応用に焦点を当て、自律移動型小型ロボットのための内部雑音処理機構の開発を目指す。内部雑音はロボットだけでなく、自動車、機械等多くの産業分野で発生する問題である。最終的にこれらのシステムを統合することでロボットだけでなく、車載ナビゲーションシステム等の産業応用、家庭用セキュリティシステム等にも可能な総合的な雑音除去システムが構築可能になると期待される。

[研究の内容、成果]

1. 研究の概要

ロボットの聴覚において一般的に用いられるマイクロホンアレイを実際のロボットに処理系を適用するときには、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える。

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。ピエゾ素子をアクチュエータとして用いることで振動物体の制振を行う研究は多いが、ピエゾ素子をマイクロホンアレイの一部として用い、内部雑音の除去を狙う。

また、筆者らはこれまでにモノラル雑音除去フィルタとして知られる ε -フィルタを改良し、非定常で大振幅の雑音除去に関して有効な時間周波数 ε -フィルタを提案した。提案するフィルタはカルマンフィルタなど統計量を用いるフィルタに比べ簡易な処理での雑音除去が可能であり、また、事前モデルを利用しないため、ロボットとの親和性も高いと考えられる。しかし、適切な雑音除去を行うためには実験的にパラメータを設定する必要があるため、応用上の問題となっている。本研究では信号源と雑音の無相関性を仮定し、フィルタからの出力と入力の差分とフィルタからの出力の相関が最小



図1 実験装置

Figure 1 Experimental setup

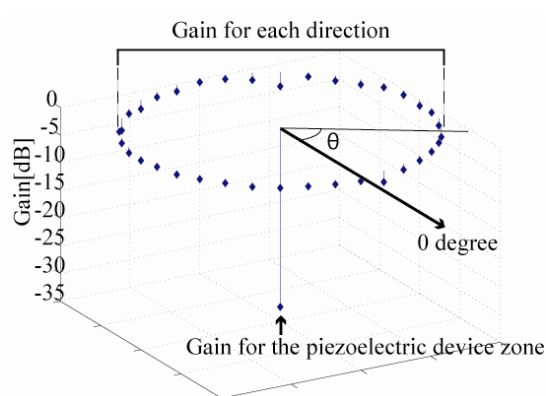


図2 指向特性図

Figure 2 Directional pattern

化されるようにフィルタ条件を拘束することで ϵ -フィルタのパラメータ最適化を行う。

2. マイクロホンとピエゾ素子を組み合わせた音響アレイ

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



図3 モバイルロボット UBIRO

Figure 3 Autonomous mobile robot UBIRO



図4 レーザー振動検知器

Figure 4 Laser listening device

ゼロ点を作ることは難しい。

提案アレイでは通常のマイクロホンだけでなく、ピエゾ素子を同時に利用する。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、ピエゾ素子を内部雑音源に貼付する。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

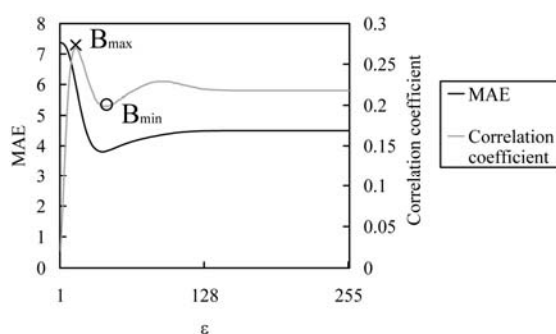


図5 絶対平均誤差と相関係数の関係

Figure 5 Relation between MAE and correlation coefficient

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(SONY 製 ECM-TS125)とピエゾ素子(Fishman 製 SBT-C)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添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[9]。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マイクロホンアレイ特有の性質であるといえる。なお、その内部雑音性能は図3に示すようなモバイルロボットでも検証を行った[3]。

また、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、精密機械や高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 laser listening device (図4)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[10]。

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[1][4][8]。

3. ϵ -フィルタのパラメータ最適化

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。従来は 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 $R(s(t), n(t))=0$ となる。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。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、 $R(s(t), n(t)) = R(y(t), x(t)-y(t))$ 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 ϵ 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 の最適値 ϵ_{opt} は次の式より得られる。

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

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5に実験結果を示す。図5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。

[今後の研究の方向・課題]

今後は、①ピエゾ素子による制振技術との組み合わせによる更なる雑音除去②ブラインド音源分離技術の残響モデルへの拡張③ ε -フィルタのパラメータ最適化の画像処理技術への拡張，などを行い，人間と機械の共生を支援する基盤技術となるよう開発を進めていきたい。

[成果の発表，論文等]

◇学術誌論文

- 1) M. Matsumoto, S. Hashimoto, "Internal noise reduction from dependent signal mixtures using microphones and a piezoelectric device under blind condition," J. of the Acoust. Soc. of Am., pp.1518-1528, Vol.125, No.3, 2009.
- 2) T. Abe, M. Matsumoto, S. Hashimoto, "Noise reduction combining time-frequency ε -filter and M-transform," J. of the Acoust. Society of Am., pp.994-1005, Vol.124, No.2, 2008.
- 3) M. Matsumoto, S. Hashimoto, "An acoustical array combining microphones and piezoelectric devices," J. of the Acoust. Soc. of Am., pp.2117-2125, Vol.123, No.4, 2008.

◇国際会議論文

- 4) M. Matsumoto, S. Hashimoto, "Dependent noise reduction from an acoustical array combining microphones and a piezoelectric device under blind condition," ISCAS2009, 2009. (In press)
- 5) T. Abe, M. Matsumoto, S. Hashimoto, "Parameter optimization in ε -filter for acoustical signal based on correlation coefficient," ISCAS2009, 2009. (In press)
- 6) M. Matsumoto, S. Hashimoto, "Bilateral sound denoising," ICIME 2009, 2009. (In press).
- 7) S. Yamahata, M. Matsumoto, S. Hashimoto, "A blind separation of monaural sound based on peak tracking of frequency spectra," ICIME 2009, 2009. (In press)
- 8) M. Matsumoto, T. Abe, S. Hashimoto, "Internal noise reduction combining microphones and a piezoelectric device under blind condition," MFI2008, pp.498-502, 2008.
- 9) M. Matsumoto, T. Abe, S. Hashimoto, "Performance evaluation of acoustical array by combining microphones and piezoelectric devices," 2008 ICMA2008, CD-ROM, 2008.
- 10) M. Matsumoto, T. Abe, S. Hashimoto, "Noise reduction combining microphones and laser listening devices," ICMA2008, CD-ROM, 2008.

◇学術講演会予稿

- 11) 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, 2009 年.