

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(1/1)

研究題目	複数送受信素子を用いた位相干渉に基づく音響イメージングによるロボットセンサの開発	報告書作成者	中山 雅人
研究従事者	中山 雅人		
研究目的	<p>阪神大震災, 東日本大震災の教訓から, 被災地で人が入ることができないところで活躍できる災害地運用型ロボットの開発はQOLの見地からも急務である. ロボットセンサとしてカメラを利用することが多いが, 高湿度・高線量の場所ではその利用が難しいことが明らかとなっている. 我々は, これまで音を利用したレーダの開発に取り組んできた. 本研究では, この音響レーダ技術をロボットのセンサとして応用し, さらに周囲の環境を音によりイメージングすることで, 高湿度・高線量でも利用可能なロボットセンサの開発を目指す.</p> <p>本研究は音を利用した室内空間のイメージング技術の研究である. これからの社会では, 人の身近で作業を行うロボットが実用化されることにより利便性の高い社会となることが予想される. そのロボットが, 人の身近で作業を行う際に, 人との接触などを防ぐため, 近距離における障害物までの距離やロボットの現在位置の情報を得るために本研究は非常に重要な役割を果たすと考えられる. また, 本研究は従来のカメラを利用することが多いセキュリティにおける分野においても応用可能な技術となっている. このように, 本研究は特に安心・安全な社会の実現に貢献できる技術であるため, 産業界への貢献のみならず QOL の一助となると予想される.</p> <p>近年, 障害物までの距離を探知する技術を実用化した例として, ミリ波レーダを搭載した自動車などがある. 室外において, 特定の方位のみ, かつある程度遠方の障害物までの距離を探知するためには, ミリ波レーダは非常に有効である. しかし, 様々な方位に存在する障害物の位置や室内の構造を得るためには, 非常に多数のミリ波レーダを搭載する必要がある. また, 室内のような近距離においては, 従来のレーダ技術では送信波の回り込みなどにより探知自体が困難となる問題もある. 国内外において, 近距離においても計測可能な位相干渉に基づく音響レーダについて研究を行っているのは我々の研究グループのみである.</p>		

研究内容	<p>我々は現在、音を利用した室内で利用可能なレーダ技術の研究に取り組んでいる。我々の音響レーダは、ミリ波レーダなどに比べて広角の探知が可能である特徴があり、利用する送信波の周波数帯域によって、探知範囲を任意に変更できる強みがある。これまでの検討では、ミリ波レーダと同じく障害物までの距離のみを探知する手法を検討していたが、ロボットセンサでは、距離の情報だけではなく、室内における周辺環境を死角なく理解する必要がある。そこで、本研究では、従来のダイナミックスピーカと超音波を利用するパラメトリックスピーカより可聴音波と超音波の両方を放射して、複数マイクロホン素子と複数超音波素子により受音して感度の特性を作り変えることで音響イメージングによる可視化を行う。可聴音波と超音波を併用するのは、放射特性の異なる広帯域の送信波を利用することで、音響イメージングのために必要となる周辺障害物からの反射波とその方位に関する情報量をできる限り増やすためである。我々の音響レーダは定在波に基づく手法であるため、特に近距離にある障害物や室内構造を探知できる利点がある。</p> <p>本研究の完成のため、まずダイナミックスピーカによる音響イメージング手法の確立を本研究では目指した。具体的には、「複数送受音素子を用いた位相干渉に基づく音響イメージングによるロボットセンサの開発」を行うために購入したロボット掃除機に7ch等間隔直線型マイクロホンアレーとスピーカを搭載したユニットを設置したロボットセンサシステムを試作した。次に、試作したシステムにて動作する音響イメージング手法を提案し、その有用性を検証した。具体的な提案手法のアルゴリズムは寄稿した「中山 雅人, “複数送受音素子を用いた位相干渉に基づく音響イメージングによるロボットセンサの開発,” サウンド第28号, pp.16-19, Jan. 2013.」に記載している。</p>
------	--

<p>研究のポイント</p>	<p>本研究により開発したシステムの処理は、以下の処理の流れで行っている。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ロボットに搭載されたスピーカより音波を放射</li> <li>2. その音波をマイクロホンアレーで受音</li> <li>3. 室内の物体までの距離を表す距離スペクトルを各観測信号より算出</li> <li>4. 距離スペクトルをビームフォーミングして音響イメージング結果を取得</li> <li>5. ロボットの動きを利用して、過去の音響イメージング結果と現在の音響イメージング結果より画像を鮮明化</li> </ol> <p>Step.5に関しては現在も試作機の改良を継続中である。本研究では、Step.4の距離スペクトルをビームフォーミングする技術の確立に重点を置いて研究を行った。また、実際にロボットに搭載したセンサシステムによる評価実験も実施した。</p>
<p>研究結果</p>	<p>本研究では、7ch 等間隔直線型マイクロホンとスピーカを1つずつ設置したロボットセンサを試作して、実際に提案手法による音響イメージングを行い、その有用性を確認した。その実験結果より、従来の音響イメージングでは、対象物以外のダミーとなるピーク(サイドローブ)が発生してしまい、十分な精度で対象物の位置をイメージングできないことが確認できた。一方、提案手法では、対象物以外のサイドローブを十分に抑圧することができたため、提案手法は高精度に音響イメージングできることが確認できた。このことから、ロボットセンサとしても提案手法は有用であることが確認できた。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>本研究により、ロボットセンサの試作を行うことで、位相干渉法に基づく音響イメージングがロボットセンサとして有用であることが明らかとなった。しかしながら、試作したシステムは、PC と音響機材を接続した試作機であるため、ロボット単独で駆動することは難しい。また、連続的に計測を行うことで、360度すべての方位に対する音響イメージングを行う手法は検討したものの、移動による空間情報の有効利用にまでは至っていない。加えて、本研究では、超音波を利用したパラメトリックスピーカとの組み合わせについても十分に検討できなかった。そこで、今後の課題として、ロボットセンサの FPGA などに対する実装を検討していきたい。また、連続計測を行うことで、空間情報を有効活用するための手法について検討していきたい。最後に、通常のダイナミックスピーカだけではなく、指向性が非常に鋭いパラメトリックスピーカによる空間の走査による物体や環境の形状の推定を行っていきたい。</p>

Fig.1 に提案手法によるロボットセンサのイメージ図を示す。提案手法は、Fig.1 のようにロボットの全身に設置したスピーカとパラメトリックスピーカ(超音波スピーカ)により全方位に音波を放射する。パラメトリックスピーカのみを利用しないのは、パラメトリックスピーカの放射特性が Fig.2 のように非常に高いことに起因する。これは、超音波のように高い周波数の音波は情報量が多く、高精細な距離計測が可能な反面、走査範囲が非常に狭く、室内全体の音響イメージングを行うことが非常に難しいためである。提案手法では、Fig.3 に示すような放射特性が広い従来のスピーカによる音響センシングを組み合わせることで、高精細かつ広範囲の音響イメージングを実現する。ただし、音響イメージングを実現するには、スピーカ、パラメトリックスピーカのみならず、それを受音するマイクロホン、超音波マイクロホンが必要となる。また、空間上のどの位置に障害物が存在するかを走査するために、複数の受音素子(マイクロホンアレー)を利用した指向性の形成(ビームフォーミング)を行う必要がある。提案手法では、Fig.1 のようにロボットの各部に設置したスピーカ、パラメトリックスピーカと対になる形でマイクロホン、超音波マイクロホンを設置する。特に、ロボットの腕部や頭部に設置したセンサ機材は、ロボットの姿勢の情報を使って、ロボットの動きを考慮した信号処理を行う

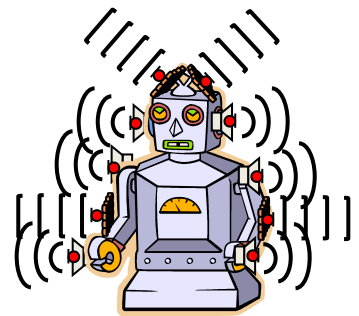


Fig. 1: Proposed robot sensor.

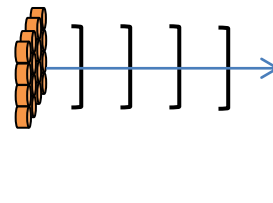


Fig. 2: Parametric loudspeaker.

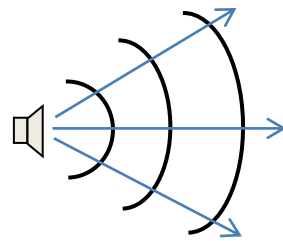
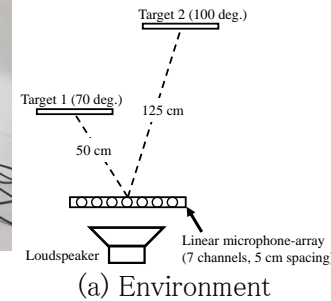


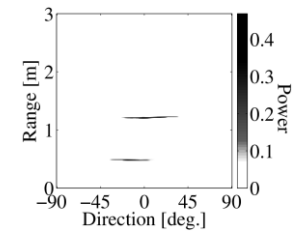
Fig. 3: Electric dynamic loudspeaker.



Fig. 4: Prototype of robot sensor.



(a) Environment



(b) Imaging result

Fig. 5: Evaluation Experiment.

ことにより、従来の静止した条件と比べて多くの空間的な情報が得られる。

本研究の特色は室内のような閉空間で音響センシングを行う点にある。これは、我々の従来手法である音響距離計測手法が室内の定在波(位相干渉)を手掛かりに障害物までの距離を計測する技術のためである。近距離の情報を得る方法としてカメラを利用する場合には、高湿度・高線量の環境、狭すぎてカメラの視野を確保できない場合など様々な制約条件が課せられる場合があるが、提案手法は原理的に空気の振動である音を放射・検出するのみであるため、劣悪な環境においてもセンサとして運用可能である。

Fig.4 に試作したロボットセンサを示す。Fig.4 のロボットには 7ch 等間隔直線型マイクロホンとスピーカを1つずつ設置している。また、Fig.5 に試作したロボットセンサを用いて実際に音響イメージングの基礎的検討のため行った評価実験を示す。評価実験では、障害物(ベニヤ板)を 50 cm と 125 cm に2つ設置した。本実験において、音響イメージング結果は、提案手法による多チャンネルの距離スペクトルに対するビームフォーミングを適用することで得られた距離スペクトログラムである。Fig.5 の実験結果より、障害物の位置を推定可能であることがわかる。これにより、我々の音響測距法が音響イメージングに応用可能であることが確認できた。