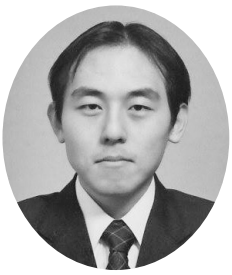

平成24年度研究助成 【サウンド技術振興部門】より

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

立命館大学　情報理工学部　メディア情報学科
助手　博士（工学）　中山　雅人

1．はじめに

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。本研究では、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。

2．音響センシング技術と音響レーダ技術

音を利用して周辺の環境を理解することは我々が常日頃のように耳を使って行っている行為である。特に、人間の耳と同じようにどこかにある音源を探す技術（音響センシング技術）には複数のマイクロホン素子を利用して空間の情報を取得するマイクロホンアレーがよく用いられている[1)]。また、コウモリやイルカのように音を出して周辺環境を理解する動物も存在する。本研究はこの音を出して周辺環境を理解する技術（音響レーダ技術）という位置づけとなる[2)]。この技術は、コウモリやイルカだけではなく、人間も無意識に行っていると言われている。一般に気配を感じるという知覚は、この音響レーダ技術に近い原理に基づくと考えられている。

3．ロボット搭載型音響レーダの試作

Fig. 1に試作したロボット搭載型音響レーダを示す。試作したロボットセンサは、iRobot社製のロボット掃除機であるRoombaに7ch直線型マイクロホンアレーとスピーカを搭載している。このシステムの処理は、以下の流れで行われる。

1．ロボットに搭載されたスピーカより音波を放射
2．その音波をマイクロホンアレーで受音
3．室内の物体までの距離を表す距離スペクトル[2)]を各観測信号より算出

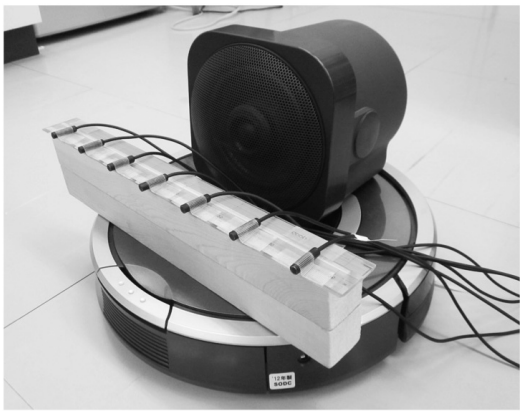

Fig. 1　Prototype of robot sensor.

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
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

Step. 5に関しては現在も試作機の改良を継続中である。本稿では、Step. 4の音響イメージングの原理について紹介する。

4．音響イメージングの原理[3)]

提案している音響イメージング手法の概略図をFig. 2に示す。提案手法ではFig. 2のように、M個のマイクロホン（ただし、Mは奇数とする）をもつ等間隔直線型マイクロホンアレー（マイクロホン間隔：L［m］）で距離スペクトルを求める条件を考える。このとき、i番目のマイクロホンの観測信号v_i（t）より得られた距離スペクトルをP_i（t）とする。ここでx［m］は距離である。このP_i（t）において、対象物がθ_Tに存在する場合、反射波が平面波であれば、隣り合うマイクロホンの距離差は$\theta = L\cos\theta_T$で表すことができる。このことより、次式のようにマイクロホンアレーで収録された距離スペクトルに対してすべての方位に関してそれぞれ同相化を行い、加算処理を行うことで、対象物の方位を推定することができることがわかる。

$$|\hat{P}_i(x,\theta)| = \left|P_i\left(x\left(i-\frac{\mathrm{M}-1}{2}\right)L\cos\theta\right)\right|, \tag{1}$$

$$|P_{\mathrm{ds}}(x,\theta)| = \sum_{i=1}^{M} |\hat{P}_i(x,\theta)|, \tag{2}$$

ここで、$|P_{\mathrm{ds}}(x,\theta)|$は距離スペクトルにおける遅延和アレー処理に相当する操作により得られたイメージング結果である。この遅延和アレー処理では、対象物の方位は取得可能であるが、マイクロホン数が少ない場合において、距離スペクトルのサイドローブが角度方向に広がってしまう問題点がある。そこで、提案手法では、総乗と総和の演算を組み合わせたFig. 2のアルゴリズムにより、サイドローブの影響を除去することを考える。また、距離スペクトルは、距離減衰の影響を受けてマイクロホンから遠いほど距離スペクトルのピークが小さくなる傾向がある。さらに、各マイクロホンで算出した距

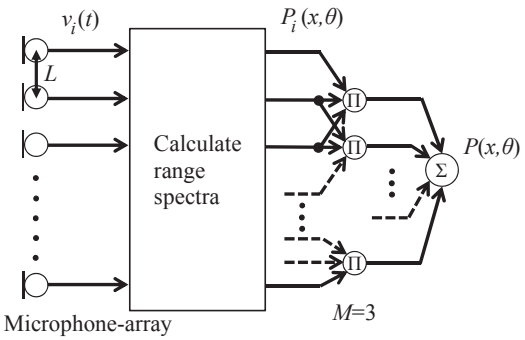

Fig. 2　Overview of the proposed method.

離スペクトルのピークは、マイクロホンの指向特性と対象物の方位に依存してピークの大きさにばらつきが生じる傾向がある。そこで、距離スペクトルに対して次式の校正と遠方強調処理を行う。

$$A_\theta = \underset{x}{\operatorname{argmax}}\left(\sqrt{x}\cdot\left|\hat{P}_i(x,\theta)\right|\right), \tag{3}$$

$$\left|P_i(x,\theta)\right| = \frac{\sqrt{x}}{A_\theta}\left|\hat{P}_i(x,\theta)\right|, \tag{4}$$

ここで、A_θは$\sqrt{x}\cdot\left|\hat{P}_i(x,\theta)\right|$の最大値、$\left|P_i(x,\theta)\right|$は校正と遠方強調処理後の距離スペクトルである。提案手法では、この処理後の距離スペクトルに対して次式のように総乗と総和を組み合わせた処理を行うことで、遅延和アレー処理で発生していたサイドローブの影響を除去する。

$$P(x,\theta) = \sum_{k=1}^{M-N+1}\left\{\prod_{i=k}^{N+k-1}\left|P_i(x,\theta)\right|\right\}, \tag{5}$$

ここで、N（$N<M$）は総乗演算を行うチャネル数であり、Fig. 2では$M=3$の場合を表している。このMを大きくすることでサイドローブを大きく抑圧することが可能であるが、Mが大きすぎると実際の物体の大きさが非常に小さく表示される傾向がある。

5．評価実験

提案手法の有効性を確認するため、実環境において提案手法の評価実験を行った。

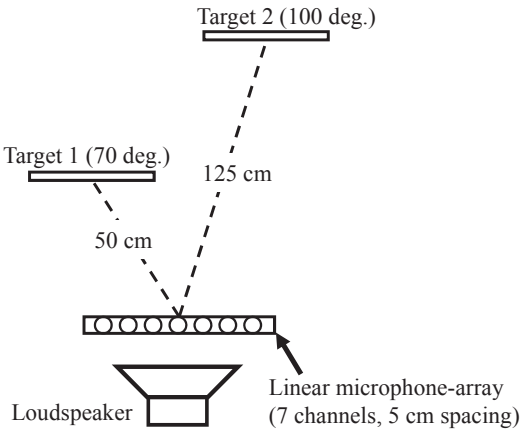

Fig. 3　Experimental environment.

5．1　実験条件

Fig. 3に対象物、スピーカとマイクロホンの関係を示す。マイクロホンはスピーカの前に設置（スピーカ・マイクロホンアレー中央間距離：0.25m）し、対象物はアクリル板とした。本実験では、送信波としてインパルス信号を利用した。室内の残響時間は$T_{[60]}=0.1$sであり、背景騒音レベルは$L_A=19$dBであった。サンプリング周波数は96kHz、計測データ長は4,096点、音速は340m/sとした。測距に利用した周波数帯域は十分に反射波の発生する帯域である5kHzから15kHzまでの帯域幅10kHzとした。この帯域幅における距離解像度は約0.02mとなる。

5．2　実験結果

Fig. 4に実験結果（音響イメージング結果）を示す。実験結果において$N=1$の場合が遅延和アレー処理を行う条件と一致する。Fig. 4より、遅延和アレー処理である$N=1$の条件では、サイドローブが大きく広がっていることがわかる。一方、提案手法におけるNの次数を大きくすることによりサイドローブが抑圧されていくことがわかる。また、2m付近に見えているピークは部屋の壁による反射と考えられ

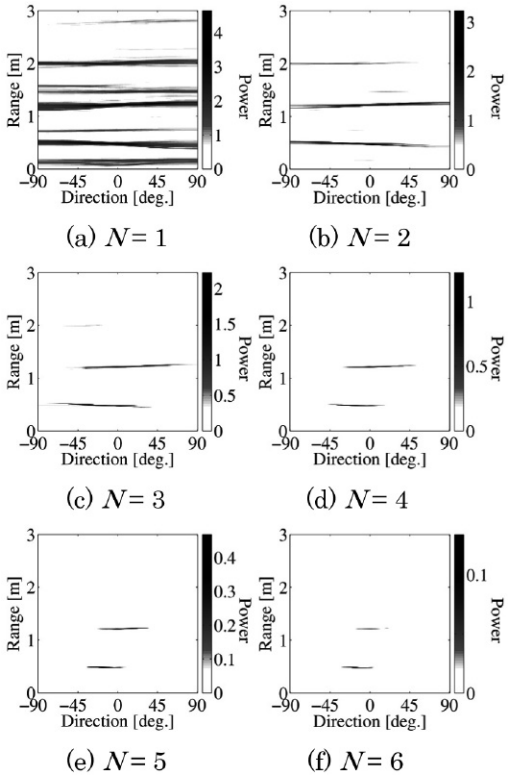

Fig. 4　Experimental results for the proposed method.

る。以上の結果より、提案手法の有効性が確認できた。

6．まとめ

本稿では、送信波と反射波の干渉を利用した対象物の方位と大きさを推定できる音響イメージング手法によるロボットセンサを試作した。実環境において評価実験を行った結果、提案手法の有効性が確認できた。今後は、提案手法による対象物の大きさの推定を行うために、指向性の鋭い超音波スピーカを利用することに加えてロボットの動きの制御と連動させることで音響イメージングの先鋭化を検討したい。

謝　　辞

本研究の一部は科研費と一般財団法人カワイサウンド技術・音楽振興財団による助成を受けた。

参考文献

1）大賀寿郎, 山崎芳男, 金田豊, “音響システムとディジタル処理”, コロナ社, 東京, 1995.

2）M. Nakayama, S. Hanabusa, T. Uebo and N. Nakasako, “Acoustic distance measurement method based on phase interference using calibration and whitening processing in real environments”, IEICE Trans. A, Vol.E94-A, No.8, pp.1638－1646, Aug. 2011.

3）中山雅人, 三宅亮太, 西浦敬信, “距離スペクトルのビームフォーミングに基づく音響イメージングの検討”, 平成24年電気関係学会関西連合大会, 8 amH-12, Dec. 2012.