

超音波センサアレイによる検知システムに関する研究

評価技術課 佐々木克浩、塚本吉俊、機械電子研究所 金森直希

1. 緒言

超音波を用いた位置検知システムは、車輻、移動ロボットや視覚障がい者のための障害物検知などへの応用が試みられている。しかし、遠距離の測定などにおいてSN比が課題となる場合がある。また、物体の方向を検知する分解能も課題の一つである。これらの一対策として、超音波センサをアレイ化する方法¹⁻⁵⁾があげられ、本研究ではアレイ化の一方法に関して検討した。

2. 方法

図1にアレイ方法の説明図を示す。複数の送波センサの駆動信号に時間差を持たせると、単一センサに比べて出力が増大したメインローブ（以下ML）を角度 θ_{TM} の方向に形成できる。しかし、汎用の超音波センサ（40kHz）の直径に起因してアレイ間隔 d_T を半波長（4mm）以下にできないことから、グレーティングローブ（以下GL）が発生してしまう。この対策として、送波センサとは異なる間隔 d_R でアレイ化した受波センサを用いる方法が報告されている¹⁾。受波側では、角度 $\theta_{RM}=\theta_{TM}$ にMLを形成するように遅延加算した後、最大値検出する。送波指向性Tと受波指向性Rの積で求められるシステムの指向性TRは、不要なGLが抑制されMLのみ有する。通常、測定角度ごとに θ_{TM} （ $=\theta_{RM}$ ）を設定するが、その都度、超音波の送受波のために数十ms以上の間隔が必要（数mの測定時）である。移動ロボットなどへの応用では、測定時間の短縮のため、 θ_{TM} の設定回数の低減が望まれる。

そこで本研究では、図2に示すように、TのGLも活用^{2,3)}し、TのMLまたはGLの角度付近で θ_{RM} を複数設定する方法を新たに検討した。これにより、1回の θ_{TM} の設定に対してTRでは複数方向のMLを形成できると考えられた。検知領域を-60degから60degとするための条件をアレイファクタ¹⁾の計算に基づいて検討した結果、アレイ間隔 $d_T=8.6\text{mm}$ （4素子）として、 $\theta_{TM}=0, 10, 20, 30, 40, 55\text{deg}$ の6回の設定でよいと考えられた。また、TのGLまたはMLの抑制のために、 $d_R=13\text{mm}$ （6素子）とした。

3. 試作アレイシステムの指向性評価

上記の方法に基づいたアレイシステム（送波センサ：日本セラミック社製 T4008A1、受波センサ：Knowles 社製 SPM0404UD5）を試作し、システムから3mの位置に受波センサを設置してTを測定した。その結果を図3に示す。同図より、角度 θ_{TM} に対応した θ 付近にMLが、

$\theta=-50, -38, -28, -18, -8\text{deg}$ 付近にGLが形成された。観測角度 θ が-60degから60degの範囲において単一センサに比べて10dB（3倍）前後大きい出力が得られた。

次に、角度 $\theta_{TM}=20\text{deg}$ の場合を例に、送波指向性Tと受波指向性Rの測定結果に加え、TとRを乗算した結果を図4(a)に示す。Rの測定では、距離3mに送波センサを設置して、 $\theta_{RM}=20\text{deg}$ とするような遅延加算と最大値検出を行った。同図より、TRにおいて不要なGLが抑制され、 $\theta=20\text{deg}$ にMLが形成された。一方、 $\theta_{RM}=40\text{deg}$

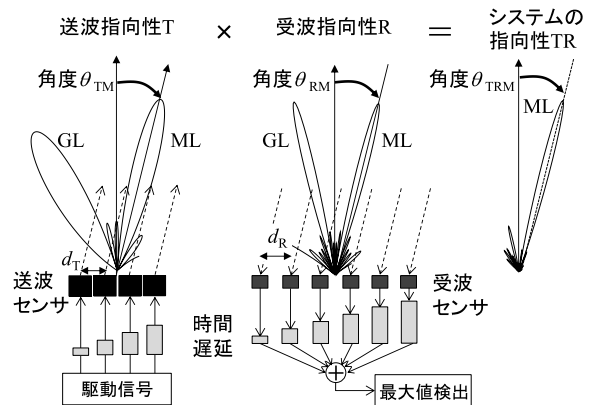


図1 送波と受波の指向性を組み合わせる方法

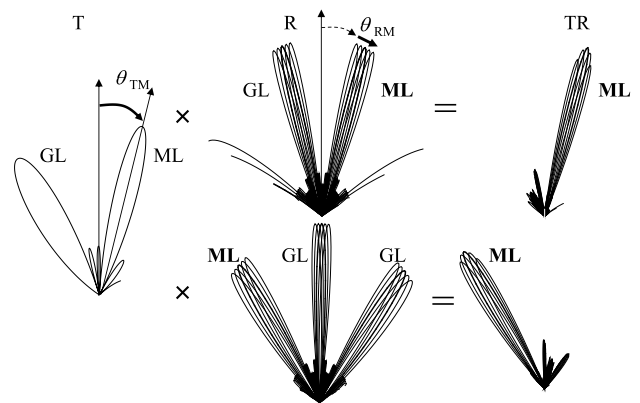


図2 本研究で検討する θ_{TM} と θ_{RM} の設定方法

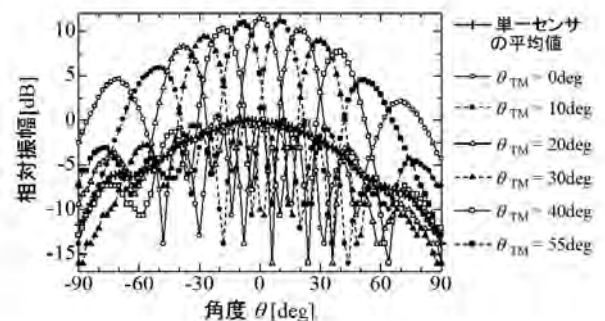


図3 θ_{TM} を変えた場合の送波指向性Tの測定結果

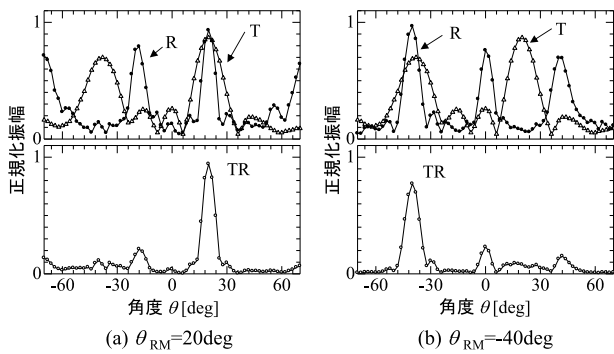


図4 送波と受波の指向性の積 TR の測定結果例
($\theta_{TM}=20\text{deg}$ の場合)

表1 角度設定

θ_{TM} [deg]	θ_{RM} [deg]
0	-4 - 4
10	6 - 14
	-48 - -60
20	16 - 24
	-36 - -46
30	26 - 34
	-26 - -34
40	36 - 46
	-16 - -24
55	48 - 60
	-6 - -14

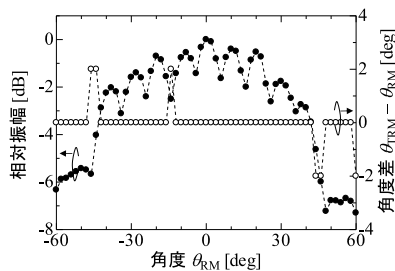


図5 θ_{RM} に対する TR の振幅およびピーク角度特性

とした場合の結果は図4(b)であり、 $\theta=-40\text{deg}$ にMLが形成された。同様に、他の θ_{TM} に対して、表1に記載した範囲において2deg間隔で θ_{RM} を設定し、 $\theta=\theta_{RM}$ におけるTRの振幅値を求めた。また、TRのMLの角度 $\theta=\theta_{TRM}$ と θ_{RM} の差も求めた。これらの結果を図5に示す。同図より、 -40deg から 40deg の範囲では、振幅差が4dB以内であった。それ以外の範囲においては、振幅の低下が大きいため、用途に応じて検知領域を決定する必要があると考えられる。 θ_{TRM} と θ_{RM} の差は $\pm 2\text{deg}$ 以内であり、システム全体として概ね意図した方向にMLを形成できた。本システムの角度分解能は、 $\theta_{TM}=\theta_{RM}=0\text{deg}$ におけるTRの半値幅から $\pm 4\text{deg}$ 程度と推定した。角度分解能は、アレイ両端の幅に依存する⁴⁾ため、受波センサ数を増加させてその幅を拡大することで、更なる向上が期待できる。

キーワード：アレイ、指向性、メインローブ、グレーティングローブ、物体検知

Detection System Using Ultrasonic Sensor Array

Katsuhiro SASAKI, Yoshitoshi TSUKAMOTO and Naoki KANAMORI

A prototype air-coupled ultrasonic sensor array system was constructed. The spacing of the transmitter array was determined so as to utilize unwanted grating lobe. The spacing of the receiver array was different to suppress undesirable lobes, and the main lobe in directivity of the receiver array was steered around the angle for intended lobes in directivity of the transmitter array. As a result, the strong main beam for the intended angle was obtained with transmitter beam steering six times. Using this system, azimuthal directions of double cylinder objects at a distance of 3 m was detected.

4. 物体検知実験例

外径 48mm の塩化ビニール製パイプを対象物として、センサから距離 3m の位置に設置した。3mに対応する超音波の伝搬時間近辺 (1ms 内) に着目し、前章と同様に θ_{TM} と θ_{RM} を設定して最大値検出を行った。単一および複数の対象物を設置した実験結果をそれぞれ図 6(a)と(b)に示す。各結果ともに対象物が存在する角度付近でピークが現れており、2 物体の方位を識別できている。なお本実験において、床面からの反射波が現れていたため、センサの実装方法を含めた対策の検討が今後必要であると考えている。

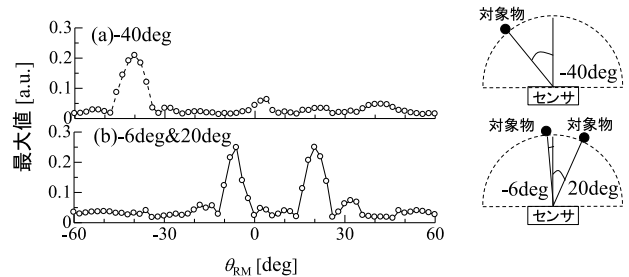


図6 物体検知実験の結果例

5. 結言

送波指向性 T における着目したローブ付近で受波指向性 R の ML を複数操作する方法を検討した。その結果、T の ML の操作回数を 6 回としつつ、 -60deg から 60deg の範囲でシステム全体として概ね意図した一方向に指向性を持たせることができた。また、距離 3m における単一および 2 本の円柱の方位検知例を示した。今後は、リアルタイム動作が可能なシステムの構築とともに、用途開発を含めた 2 次元位置計測事例の提示が課題である。

参考文献

- 1) S. Harput *et al.*, *IEEE SENSORS JOURNAL*, **8** (11) (2008) 1755.
- 2) 田畑 他, 計測自動制御学会論文集, **48** (1) (2012) 11
- 3) H. Hatano *et al.*, *IEICE TRANS. FUNDAMENTALS*, **E95-A** (1) (2012) 286.
- 4) 伊藤 他, 信学論, **J92-A** (8) (2009) 559
- 5) 佐々木 他, 富山県工業技術センター研究報告, 28 (2014) 28