

音響アレイによる屋内測位システム

河村 尚典[†] 田村 安孝[†] 柳田 裕隆[†][†]山形大学大学院 理工学研究科 情報科学専攻

1. はじめに

現在、屋内での測位技術を活用しようという動きが活発になってきた^[1]。屋内測位技術の中でも、音波を用いる手法は、スマートフォンの多くが使える、コストの点などで有利と考えられる。また、高い分解能をもつ到来波角度の推定アルゴリズムである MUSIC 法など^{[2],[3]}を用いることで、伝搬時間を用いる測位に比べ、狭い信号周波数帯域と小さな寸法のアレイで、高い精度が期待できる。

本研究では、音響アレイとMUSIC法による屋内測位手法の可能性を検証する。具体的には、屋内での測位に必要なアレイ構成、推定精度、推定可能範囲を検討する。

今回、3次元空間内の対象の位置を、2つの1次元スピーカアレイによって測位するシミュレーションを行ったので報告する。

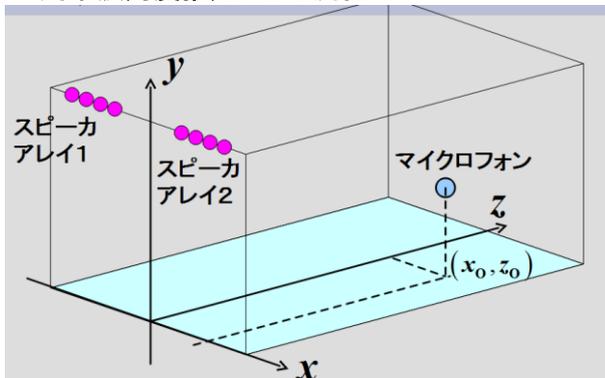
2. 到来波角度推定による測位^[4]

図1 スピーカアレイを用いる屋内測位の概念図

図1に、本稿で検討した屋内測位システムの概念図を示す。測位を行う部屋の天井に2つの1次元スピーカアレイを配置する。測位対象の位置にあるマイクロフォンによりスピーカアレイから送信される音響波を受信する。

受信した信号から、2つのスピーカアレイからマイクロフォンへの到来波角度を推定する。今回は、相関行列の固有値・固有ベクトルを用

いる到来方向推定アルゴリズムである MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を採用した。 N 個のスピーカで構成されたスピーカアレイを考える。受信信号を処理して、 n 番目のスピーカから送信された信号の周波数 f における複素振幅 r_n を検出する。 r_n を要素とする N 次元ベクトル $\mathbf{x} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_N]^T$ を受信信号ベクトルとし、これを K 回繰り返して得られた受信信号 $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_K$ に対して以下の相関行列を計算する。（“*”は共役転置）

$$R_{xx} = E[\mathbf{X} \mathbf{X}^*] \quad (1)$$

$$\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1 \ \mathbf{x}_2 \ \dots \ \mathbf{x}_K] \quad (2)$$

MUSIC 法では相関行列の固有値、固有ベクトルを求め、その固有値から到来波の個数 L を推定する。次に、相関行列の固有ベクトル $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_N$ と角度 θ の位置に対して計算される受信信号ベクトル $\mathbf{a}(\theta)$ を使って、到来方向を与える MUSIC スペクトラム、

$$P_{\text{MU}}(\theta) = \frac{|\mathbf{a}(\theta)|^2}{\sum_{i=L+1}^N |\mathbf{e}_i^* \mathbf{a}(\theta)|^2} \quad (3)$$

を計算し、このスペクトラムのピークを与える θ を到来方向と推定する。

スピーカアレイを構成する複数のスピーカは、単一周波数の正弦波で駆動される。今回は、スピーカの個数 N を2のべき乗とし、Walsh-Hadamard 行列の列ベクトルで極性を変えた正弦波で同時に駆動することを想定した。1つのアレイの駆動が終わってから、もう一つのアレイの駆動に移行する。

3. シミュレーション

図1に示すように3次元空間内に設置されたマイクロホンの2次元位置 (x_0, z_0) を2つのスピーカアレイによって測位するシミュレーションを MATLAB を用いて行った。

スピーカアレイの個数が2つであるため、3次元の測位情報は得られない。そこで、床面からの高さ y を平均的な値（例えば 1.5m）に想定して測位を行う。

The indoor positioning system with acoustic array

Hisanori Kawamura[†], Yasutaka Tamura[†], and Hirota Yanagida[†]

[†] Department of Informatics, Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

シミュレーションを行う上での条件は以下の通りである。

- ・音響周波数 10kHz
- ・音速 340[m/s]
- ・スナップショット数 K 32
- ・アレイの素子数 N 4
- ・素子間隔 0.0170[m]
- ・アレイの床面からの高さ 3.0[m]
- ・アレイの中心間距離 3.0[m]

ノイズを加えず、マイクロフォンの y, z 座標を $y = 1.4, z = 3.0$ に固定し、 x 方向に変化させて位置推定を行った。結果は以下の通りとなった。

表 1: ノイズがない場合の実行結果

設定座標 (x)[m]	設定座標 (z)[m]	推定座標 (x)[m]	推定座標 (z)[m]
-1.5	3.0	-1.50	2.99
-1.0	3.0	-1.02	3.01
-0.5	3.0	-0.50	3.08
0.0	3.0	0.00	3.06
0.5	3.0	0.50	3.08
1.0	3.0	1.02	3.01
1.5	3.0	1.50	2.99

このときの角度推定の誤差は $x = \pm 1.5$ のとき最大となり、約 0.57[deg] となった。

次にノイズを加え、マイクロホンの位置を $x = 0.5, y = 1.4, z = 3.0$ に固定し、ノイズの大きさを変化させて位置推定を行った。結果は表 2 のようになった。SN 比の低下により位置推定誤差が大きくなることが確認された。

表 2: ノイズを加えた際の実行結果

SN 比	設定座標 (x)[m]	設定座標 (z)[m]	推定座標 (x)[m]
-2	0.5	3.0	1.1113
-1	0.5	3.0	0.5719
0	0.5	3.0	0.5045
1	0.5	3.0	0.5045
2	0.5	3.0	0.5045

最後に推定可能範囲について検討した。ノイズを加えず、マイクロフォンの y, z 座標を $y = 1.4, z = 3.0$ に固定し、 x 座標を 1.0[m] ずつ増

加させた場合に位置推定の誤差が 1.0 以上になる x の上限値を探した。

その結果、 $x=12.0$ までは推定誤差が 1.0m 未満であったが $x=13.0$ を超えると x 方向の推定誤差が約 8.7m と大きくなった。

同様に、マイクロフォンの x, y 座標を $x = 0.5, y = 1.4$ に固定し z 座標を 1.0[m] ずつ増加させた場合に位置推定の誤差が 1.0 以上になる z の値を探した。

その結果 $z=10.0$ までは推定誤差が 1.0 未満であったが $z=11.0$ を超えると z 方向の推定誤差が約 1.2 となった。

以上より、シミュレーションの設定では、測位可能な範囲は $x=-12\sim 12$ m、奥行き $z=11.0$ m までとなる。

4. まとめ

スピーカアレイを用いてマイクロフォンの位置測位をするシステムを提案し、MATLAB を用いてシミュレーションを行った。

シミュレーションでは、床面からの高さ 3m の位置に約 5cm 幅の 4 素子スピーカアレイ 2 つを 3m 離して設置し、10kHz の音響波を使うことを想定した。この条件で、幅 24m、奥行き 11m の範囲で最大 1m の誤差での測位ができることを確認した。

今後の課題としては、データ収集時間、残響、雑音の影響の評価、屋内の音環境への影響の少ない駆動信号などについての検討が挙げられる。

参考文献

- [1] “歩みだす屋内測位”，日経エレクトロニクス 2013 年 5 月 17 日号，27-41，2013
- [2] 菊間信良，”アレーアンテナによる適応信号処理” 科学技術出版，1998
- [3] 浅野太，”音のアレイ信号処理”，コロナ社，2011
- [4] 福田州平，少ない信号チャンネルによる広帯域音源の位置推定方式，日本音響学会研究発表会講演論文集 2004(1)，781-782，2009