

多次元尺度法による マイクロホンアレイ/スピーカアレイの配置推定法の提案*

松岡佳世, 前川洋志, 伊勢史郎 (京大・工/JST・CREST)

1 はじめに

多数のスピーカやマイクロホンを用いる計測システムや再生システムが実用化されつつある。音響入出力デバイスのチャンネル数が増えれば、それらをチェックする方法は煩雑になり、またミスも生じやすくなる。スピーカやマイクロホンが正しい位置に設置されているかどうかは、これまで視覚的に確認されてきたが、それらの音響情報から位置情報を把握することができるはずである。そこで本研究では多次元尺度構成法 [1] を応用することにより、マイクロホンやスピーカの位置をそれらの音響情報から推定する手法を提案し、現在我々が開発中の音場再現システムへの適用を試みる。

2 提案手法

2.1 多次元尺度構成法

多次元尺度構成法とは、分析対象の要素間の距離をデータとして、多次元空間における要素の布置を描く手法である。n 個のデータの位置を示す座標行列 X は、要素間の距離の行列 $D = (d_{jk})$ を用いて、以下の式で求められる。

$$X = Z\sqrt{\Lambda} \quad (1)$$

ただし、 Z と Λ は $-\frac{1}{2}HD^2H$ の固有ベクトルと固有値からなる行列であり、

$H = (h_{jk}), h_{jk} = \delta_{jk} - \frac{1}{n}$, δ : クロネッカーデルタである。

2.2 位置推定への応用

多次元尺度法では、式 (1) において、固有値 > 0 となる固有ベクトル、固有値を全て用いて表した多次元空間における座標を求めるが、本研究では 3 次元空間におけるマイクロホン及びスピーカ位置を知る必要があるため、固有値の大きい順に 3 つを採用することとした。また、式 (1) で求められる座標軸は、実際の配置に対して、回転、拡大・縮小がかかるため、補正する必要がある。

要素間の距離はインパルス応答のピークの到来時間から求めた。n 個のスピーカと m 個のマイクロホンからなるシステムでインパルス応答を測定したとき、 $n \times m$ 個の応答が得られ、それぞれピークの到

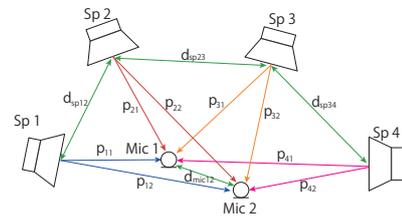


Fig. 1 Distance between elements.

来時間を $p_{11} \sim p_{nm}$ とする。Fig.1 はスピーカ 4 個、マイクロホン 2 個の場合を表す。

マイクロホン位置を推定する場合、各マイクロホンごとに p をまとめ、ベクトル $X_{mic.i} = (p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{ni})$ とする。 X_j, X_k 間のノルムをマイクロホン j とマイクロホン k 間の距離 ($d_{mic,jk}$) とする。スピーカ位置推定の場合は、ベクトルを各スピーカごとにまとめ、同様の操作によって $d_{sp,jk}$ を求める。

また、スピーカ位置測定の際には推定精度をあげるために、式 (2) によって求めた補正值 A_i は補正值を $X_{sp.i}$ に加えた後に要素間距離を導出した。この補正值は各アレイの設置条件から決定され、マイクロホンアレイの大きさを擬似的にスピーカアレイより大きくするものである。 C_{mic}^* はマイクロホンアレイを 5 倍の大きさに拡大した座標、 C_{mic}, C_{sp} はそれぞれ、実際のアレイの座標を表す。

$$A_i = (C_{mic}^* - C_{sp,i}) - (C_{mic} - C_{sp,i}) \quad (2)$$

3 シミュレーション及び実験による検討

3.1 条件

境界音場制御の原理 [2] に基づいた 3 次元音場再現システム (以下、BoSC システム) に適用することを想定したシミュレーションと測定により、提案手法の有効性を確認した。

組み立て式防音室 (1.5 帖) 内上部に、Fig. 2 の 62 ch スピーカアレイを設置し、Fig. 5 の 80 ch マイクロホンアレイを、アレイの中心がスピーカアレイの上から 3 段目のユニットと高さが等しくなるように設置した。実験では、全てのスピーカ、マイクロホンの組み合わせでインパルス応答を測定し、ピークの到来時間 [point] を検出した。シミュレーションでは到来時間を上記の設置条件から導出した。また、樽型の再現ルーム [3] に設置したスピーカ 96 ch を用いたシミュレーション、測定も行っている。

* Method for estimating the arrangement of microphone/speaker arrays by using multidimensional scaling. by MATSUOKA, Kayo and MAEKAWA, Hiroshi and ISE, shiro (Kyoto University/JST・CREST)

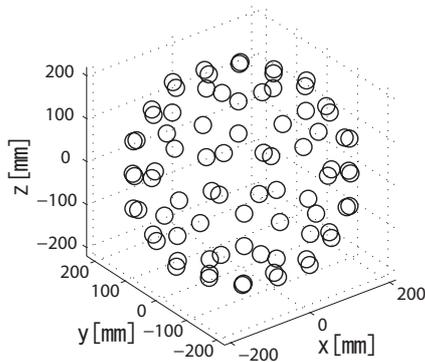


Fig. 2 Microphone array.

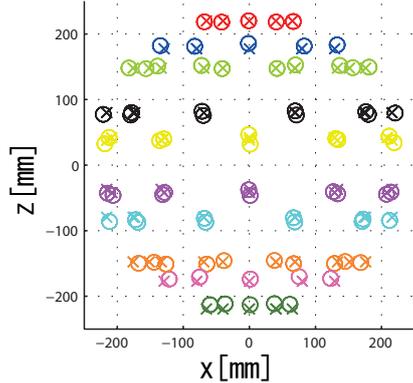


Fig. 3 Results of simulation. (microphone)

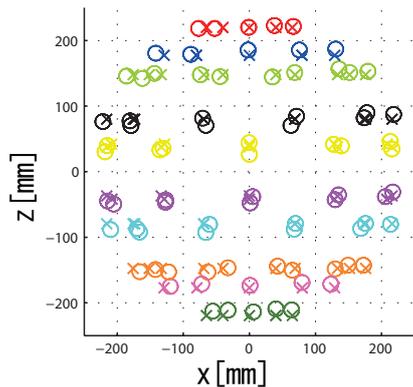


Fig. 4 Results of experiment. (microphone)

3.2 結果

シミュレーションと実験による、マイクロホン位置推定の結果を Fig. 3, 4 に、スピーカ位置推定の結果を Fig. 6, 7 に示す。それぞれ、真正面から見た状態の図である。×が正解の座標、○が推定した座標を表し、アレイ内において同じ高さに配置される要素ごとに色分けしている。それぞれの要素における誤差の平均 $\text{err}[\text{mm}]$ を Table. 1 に示す。

いずれの推定結果を見ても、正解の配置と対応のとれた推定ができていると言える。err の値はスピーカ位置推定で大きくなっているが、元のアレイの大きさに依るものと考えられ、隣接するスピーカと対応が逆転するような結果にはならないため、相対的な位置関係を求めるのに十分な精度であると言える。

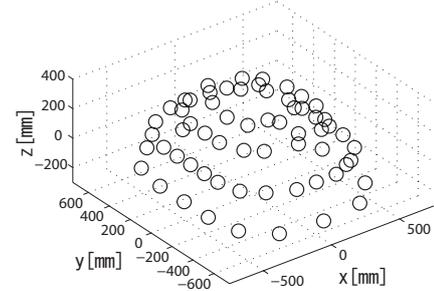


Fig. 5 Speaker array.

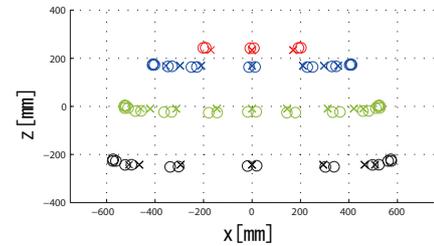


Fig. 6 Results of simulation. (speaker)

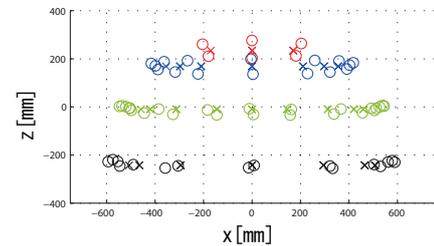


Fig. 7 Results of experiment. (speaker)

Table 1 Results for other conditions.

target	err[mm]	
	simulaoion	experiment
Mic.	6.5444	8.9688
Sp.	63.5148	67.8681

4 まとめ

本報告では、多次元尺度構成法を用いて相対的な位置を推定する手法を提案した。この手法ではインパルス応答を測定し、ピークの到達時間のずれを利用することで要素ごとの非類似度を求め、座標を導出する。提案手法を BoSC システムに適用し、アレイにおける配置と対応のとれた推定ができることを確認した。

謝辞 本研究は科学技術振興機構 戦略的創造研究推進機構 (CREST) の研究助成を受けた。

参考文献

- [1] 齋藤堯幸, 宿久洋, “関連性データの解析法 多次元尺度構成法とクラスター分析法,” 共立出版, 2006.
- [2] 伊勢史郎, “キルヒホッフ-ヘルムホルツ積分方程式と逆システム理論に基づく音場制御の原理,” 音響誌, Vol.53, pp.706-713, 1997.
- [3] 伊勢史郎, “聴空間共有を実現する音響樽の構想,” 音講論 (秋), 3-5-13, 2011.