

## 多次元尺度法とプロクラステス分析による音源位置推定法とその応用 －マルチチャンネルオーディオにおける接続確認の自動化の検討－\*

○杉山皓祐, 渡邊祐子, 伊勢史郎 (東京電機大)

### 1 はじめに

立体音響の分野では高い臨場感を得るために収音・再生システムのチャンネル数が増大する傾向にある。システムの接続確認を効率的に行う手法として、我々は多次元尺度構成法 (MDS) [1] と直交 Procrustes 法 (OPA) [2] を利用して音響情報から収音・再生システムのマイクロホン, スピーカの位置較正の自動化を検討している [3]。本研究では BoSC システム [4] を構成する 80ch の BoSC マイクロホンと 96ch の再生システムである音響樽を実験対象とし, マルチチャンネルオーディオにおける接続確認チェックの自動化を想定した実験的検討を行う。

### 2 位置較正手法

本手法はスピーカアレイあるいはマイクロホンアレイにおいて, 2つの音響情報の非類似度を距離尺度として多次元尺度法に適用することでスピーカやマイクロホンの配置を推定し, 所望の配置と比較することによりシステムの接続確認を行うものである。非類似度はインパルス応答のピーク位置から  $n$  個のスピーカと  $m$  個のマイクロホンの相対的な距離を用いて以下のように定義する。

$$\mathbf{X}_{sp,i} = (p_{i1}, \dots, p_{im}) \quad (1)$$

$$\mathbf{X}_{mic,j} = (p_{1j}, \dots, p_{nj}) \quad (2)$$

ただし  $p_{ij} (i = 1 \dots n, j = 1 \dots m)$  は  $i$  番目のスピーカと  $j$  番目のマイクロホン間のインパルス応答のピーク位置から算出した相対距離である。式 (1) において 2つのスピーカを選ぶ  $k, l = 1 \sim n$  のとき,  $\mathbf{X}_{sp,k}$  と  $\mathbf{X}_{sp,l}$  間のユークリッドノルム  $s_{sp,kl}$  はスピーカ間距離  $d_{kl}$  と線形関係を満たすと仮定し, MDS を利用してスピーカの推定座標を計算することが可能となる。また式 (2) のマイクロホンについても同様に推定座標を計算できる (Fig. 1)。ただしここで得られた推定座標は所望の座標に対して拡大縮小, 直交回転, 平行移動を加わえたものである。そこで形状を維持したまま推定座標を所望の座標に近づける OPA を行う (Fig. 2)。最後に所望の座標と推定座標のユークリッド距離の差をシステムの誤差と定義し, この値が閾値より小さければシステムが正しく接続されていると判定され, 大きければ誤接続の可能性があるとみなされる。

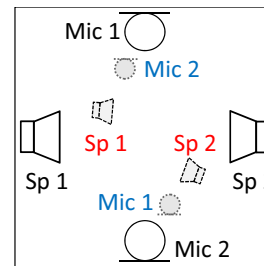


Fig. 1 MDS

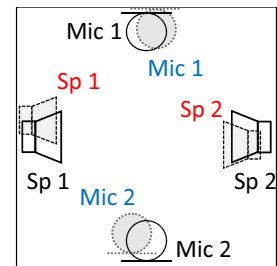


Fig. 2 OPA

### 3 音響樽における接続確認の検討

#### 3.1 数値シミュレーションによる検証

自由音場において BoSC マイクロホンおよび音響樽と同じ配置のマイクロホンアレイとスピーカアレイを想定した数値シミュレーションを行った。ある 2つのマイクロホンのインパルス応答を入れ替えることにより誤接続を作り, 上記アルゴリズムの妥当性を検証する。最も近接した 2つのマイクロホン (距離 79.57 mm) のインパルス応答を入れ替えると推定誤差は 80.02 mm と算出され, 最も遠い 2つのマイクロホン (距離 458.50 mm) のインパルス応答を入れ替えると推定誤差は 460.70 mm となる。入れ替えたマイクロホンの距離とほぼ等しい推定誤差を算出していることから, アルゴリズムの妥当性を確認した。

#### 3.2 BoSC システムへの適用実験

音響樽内に中心の高さ 1,200 mm として BoSC マイクロホンを設置し, TSP 法 (長さ 131,072 ポイント, 標本周波数は 48 kHz) によりインパルス応答を計測した。Fig. 3 に所望のスピーカ位置 (○), 推定したスピーカ位置 (×), マイクロホンの位置 (□) をそれぞれ示す。ほぼ正しい位置にスピーカが推定されているが, 天井付近で大きく外れていることが見受けられる。

##### 3.2.1 結果

Fig. 4 にスピーカ毎の所望の座標と推定座標の誤差を示す。天井の中心に位置する 96 番目のスピーカの推定誤差 (430 mm) がスピーカ間の最小間隔 (290 mm) を超えた値を示している。これは対象のスピーカに対しマイクロホンが対照的に配置されていること, マイクロホンアレイがスピーカアレイより小さいためスピーカ間の非類似性が算出されにくいことに起因すると考えられる。

\*Sound source localization method by multidimensional-scaling and Procrustes-analysis and its application.  
-Study on automatic check of cable connection for multi-channel audio system- by SUGIYAMA, Kōsuke,  
WATANABE, Yūko, ISE, Shirō (Tokyo Denki University)

### 3.3 壁面設置マイクロホンへの適用実験

上記の問題を解決するためスピーカアレイ壁面にマイクロホンを設置する方法を試みる。あらかじめ自由音場における数値シミュレーションにより8つのマイクロホンを音響樽壁面に設置する場合の最適な配置を求めた。8つのマイクロホンを数値シミュレーションで求めたマイクロホン位置に取り付けてインパルス応答を測定した。Fig. 5 に所望のスピーカ位置(○), 推定したスピーカ位置(×), マイクロホンの位置(□)をそれぞれ示す。BoSC マイクロホンによる位置推定の誤差が改善されていることがわかる。

#### 3.3.1 結果

スピーカ毎の所望の座標と推定座標の誤差を Fig. 6 に示す。スピーカ位置の推定誤差は最大 98 mm でありスピーカ間の最小間隔よりも小さくなっているため、このマイクロホン配置であれば音響樽の接続確認が可能と考えられる。また実験におけるスピーカ位置の推定誤差の平均値 38.44 mm とは BoSC マイクロホン利用時の 30.46 mm よりも誤差が大きい。こ

れはマイクロホンのチャンネル数が減ったためであるが、スピーカ間の最小距離よりも小さいため接続確認に影響はないといえる。

### 4 おわりに

本研究ではマルチチャンネルオーディオにおける接続確認の自動化を目的として音響樽における 96ch スピーカシステムの接続確認チェックの自動化を想定した実験的検討を行った。その結果マルチチャンネルシステムの接続確認において、システムの配置の関係とアルゴリズムの有効性が確認できた。音響樽以外にも多チャンネル化するオーディオシステムのチェックの自動化に有用であると考えられる。

### 参考文献

- [1] Warren S. Torgerson, Psychometrika, Vol. 17 No. 4, pp. 401-419, 1952.
- [2] Peter H. Schnemann, Robert M. Carroll, Psychometrika, Vol. 35 No. 2, pp. 245-255, 1970.
- [3] 梅本文範, 京都大学工学研究科修士論文
- [4] 伊勢史郎, 音講論, pp.1205-1208, 2011.

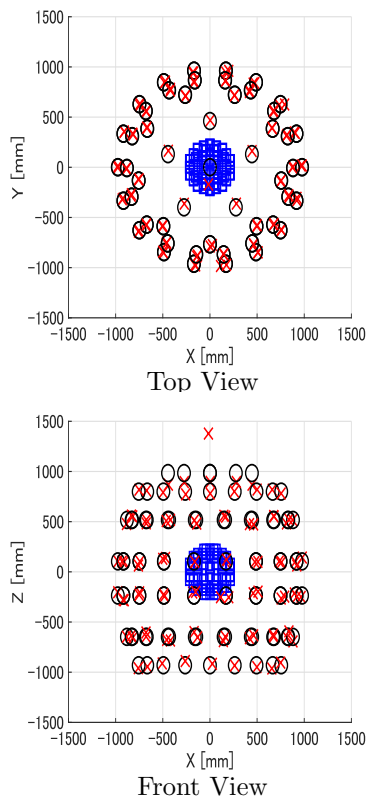


Fig. 3 Arrangement using BoSC microphone

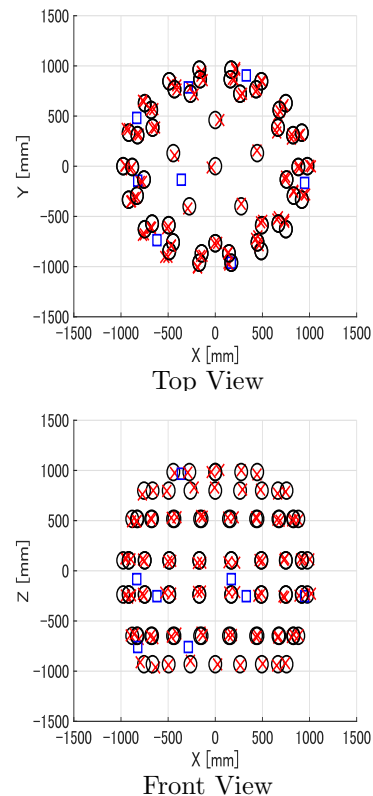


Fig. 4 Arrangement using wall microphone

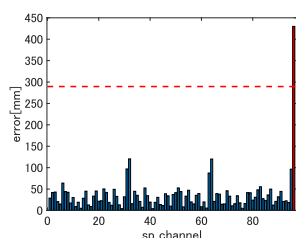


Fig. 5 Position estimation using BoSC microphone

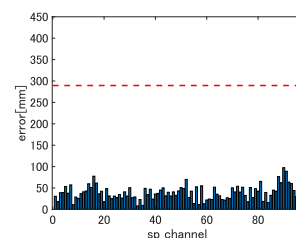


Fig. 6 Position estimation using wall microphone