

BoSCマイクロホンによる仮想音源推定のための 近接4点法の拡張アルゴリズムの提案*

○西村昌浩, 池田雄介, 伊勢史郎 (京大・工 / JST・CREST)

1 はじめに

三次元音場を忠実に再現可能な再生方式が実用に近づきつつある[1,2]。三次元音場を再生する場合に空間情報を加工することができれば、豊富なコンテンツ制作が可能となる。そのためにはコンサートホール等の音響空間における反射音の時間的・空間的構造を把握することが必要となる。その一つの手法として仮想音源分布を求める近接4点法が知られている[3]。そこで本研究では近接4点法を拡張したBoSCマイクロホン(C₈₀フラレーン構造の節点に80個のマイクロホンを取り付けたマイクロホンアレイ[4])を用いる仮想音源分布導出のアルゴリズムを提案し、その有効性を示す。

2 多チャンネルマイクロホンを用いた仮想音源分布の導出

2.1 仮想音源位置推定

仮想音源を球面波とすると、 N 個のマイクロホンの座標 $m_i = (u_i, v_i, w_i)$ と仮想音源の座標 $s = (s_x, s_y, s_z)$ には以下のような関係が成り立つ。

$$\begin{cases} (s_x - u_i)^2 + (s_y - v_i)^2 + (s_z - w_i)^2 = r_i^2 & (1) \\ i = 1, 2, \dots, N \end{cases}$$

r_i はマイクロホンから仮想音源までの距離を表す。次に、式(1)の連立方程式を変形すると、以下の式が得られる。

$$As = \beta \quad (2)$$

ただし、

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_N]^T, \quad a_j = (m_i - m_j)$$

$$\beta = [b_1, b_2, \dots, b_N]^T,$$

$$b_j = \frac{1}{2}(r_i^2 + u_i^2 - u_j^2 + v_i^2 - v_j^2 + w_i^2 - w_j^2 - r_j^2) \\ (i, j = 1, 2, \dots, N, \quad i \neq j)$$

とする。式(2)に最小二乗法を適用すると、仮想音源の座標 s は以下のように表せる。

$$s = (A^T A^{-1}) A^T \beta \quad (3)$$

したがって、マイクロホンの座標 m_i と、各マイクロホンと仮想音源の距離 r_i を測定することで、仮想音源の座標 s が求まる。

マイクロホンと仮想音源の距離 r_i は、 i 番目のマイクロホンにおける仮想音源の到達時刻を t_i 、 i 番目と j 番目のマイクロホンにおける仮想音源の到達時間差を τ_{ij} 、音速を c とすると以下のように表せる。

$$\begin{cases} r_j = c(t_i + \tau_{ij}) & (4) \\ i, j = 1, 2, \dots, N, \quad (i \neq j) \end{cases}$$

ここで、仮想音源の到達時刻を分析区間内でエネルギーが最大になる時間とする。また、マイクロホン間の仮想音源の到達時間差は、相互相関関数から求める。

2.2 仮想音源分布導出アルゴリズム

以下の手順で仮想音源分布の導出を行う。

- 手順 1: 基準となる1つのマイクロホンと他のマイクロホンのインパルス応答の相互相関関数の最大値が0.8以上となる最大の長さを求め、分析区間長 L とする。
- 手順 2: 分析区間長 L について基準となるマイクロホンとその他のマイクロホンの相互相関関数を求め、その最大値を取る時間差を仮想音源の到達時間差の第一候補とし、その他のピーク値となる時間差も候補として保持する。
- 手順 3: 仮想音源の到達時間差の第一候補と式(3)から仮想音源の位置を推定する。
- 手順 4: 手順 3 で求めた仮想音源の位置からすべてのマイクロホンの組み合わせについて仮想音源の到達時間差を推定する。手順 2 で求めた到達時間差の候補の中で推定値に近い到達時間差を用いて、再度手順 3 を行う。これを候補の変更が行われなくなるまで繰り返す。
- 手順 5: 求めた仮想音源の到達時間差を用いてインパルス応答の加算平均を行い、仮想音源の信号を求める。
- 手順 6: 手順 5 で求めた仮想音源の信号を各

*Extended algorithm based on closely located four-point microphone method for the detection of virtual acoustic sources by using BoSC microphones, by NISHIMURA, Masahiro and IKEDA, Yusuke and ISE, Shiro (Kyoto University / JST, CREST)

マイクロホンのインパルス応答から引き、分析区間の最後を次の分析区間の開始位置として手順1へ戻る。

以上をインパルス応答の残差のエネルギーが十分に小さくなるまで繰り返す。

3 実験

九州大学大橋キャンパス多次元実験棟（室容積 3800 m³，残響時間 1.2 秒）において，Fig.1 に示すフラーレン型 80ch マイクロホンアレイを用いて音場を収録した。



Fig1.フラーレン型マイクロホンアレイ

マイクロホンアレイの節点には無指向性マイクロホン (DPA 4060-BM) が 80 個備え付けられている。近接するマイクロホンの間隔は 8 mm，中心からそれぞれのマイクロホンまでの距離は約 20 mm である。測定用音源として，2-way スピーカ (GENELEC 8050a) を室の中心に向けて設置した。さらに，測定用信号は 5 秒間の TSP 信号とし，サンプリング周波数 48 kHz，量子化ビット数 16 bit で収録した。また，解析に用いたインパルス応答は初期の 0.5 秒とし，手順 1 から 6 を 2 周したところで解析を終えた。残差のエネルギーは元の信号に対して 6.3 dB 低下した。

以上の測定条件より導出した仮想音源分布を Fig2, Fig.3 に示す。マイクロホンアレイの中心を座標の原点とする。図において，仮想音源を表す円の面積は，エネルギーの大きさに比例する。室形状は直線で表記する。

図から直接音が y 軸方向に位置するのが確認できる。また，床からの一次反射が非常に大きく，スピーカの指向性の影響により，マイクロホンの背面方向及び，側面方向に仮想音源がより多く分布していることが確認できる。

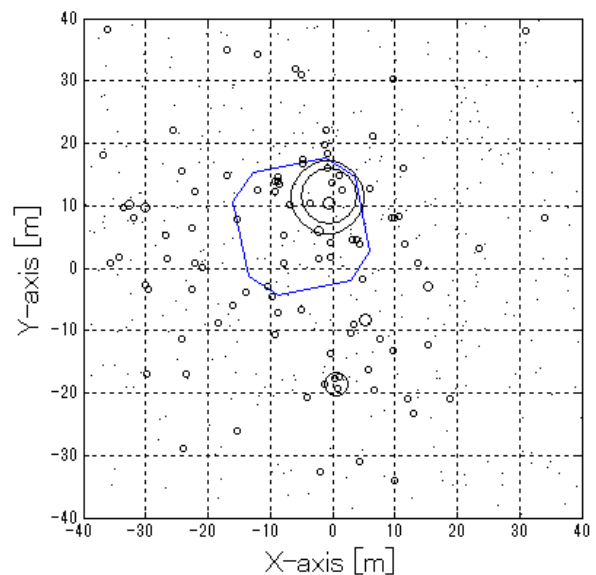


Fig2. X-Y 平面の仮想音源分布

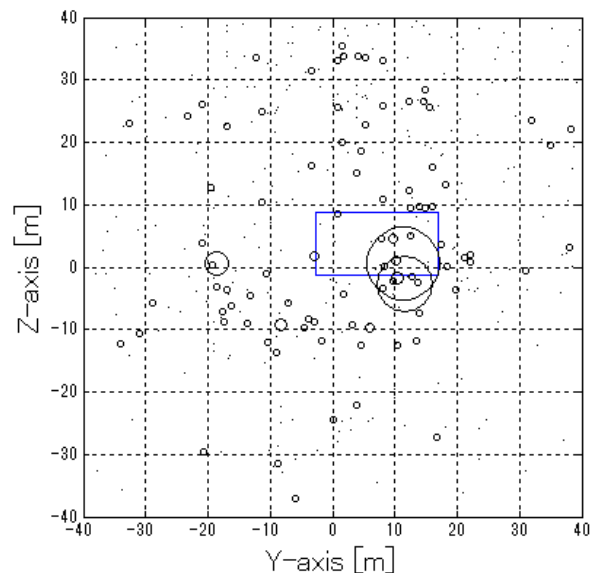


Fig3. Y-Z 平面の仮想音源分布

4 むすび

多チャンネルのマイクロホンを用いた仮想音源分布の導出アルゴリズムを提案した。測定実験により音源の到来方向やその大きさが十分に判別でき，室の形状や測定条件に則した仮想音源分布を導出できていることが確認された。

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] 伊勢史郎他，音響誌 53(9), 706-713, 1997
- [2] Seigo Enomoto, et al. , ICAD 2008
- [3] Yoshio Yamasaki, et al. J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 10, 2, 1989
- [4] Shiro Ise, et al. ISUC, 274-277, 2007