

近接4点法データを用いた音場評価

Sound Field Evaluation by using Closely Located Four-point Microphone Method Data

5117E030-4 寺岡 航 指導教員 及川 靖広 教授

TERAOKA Wataru

Prof. OIKAWA Yasuhiro

概要：音源位置推定や音場空間情報を知る手段として、近接4点法がある。また最近では、Microsoft が HoloLens を発表し、Mixed Reality(MR) 技術を実現している。本研究では、近接4点法で得られた室内の仮想音源分布、指向性パターンを、MR 技術を用いて実空間に重ね、任意の視点、大きさで表示可能なシステムを構築した。音場情報の提示に有効であることを示す。まず本研究に至る背景を述べる。次に、近接4点法について説明を加え、作成した音場情報提示システムについて紹介する。また、作成したシステムを用いた実験について記し、その有効性及今後の展望を述べる。

キーワード：近接4点法、仮想音源分布、指向性パターン、Mixed Reality、Microsoft HoloLens

Keywords: closely located four-point microphone method, image source distribution, directivity patterns, Mixed Reality, Microsoft HoloLens

1. ま え が き

音源位置推定や音場空間情報を知る手段として、様々な方法が研究されている。その中の一つに近接4点法が山崎らにより提案されている。近接4点法とは、同一平面上にない4点のマイクロホンでインパルス応答を測定し、短時間相関やインテンシティの手法により空間情報を得ようというものである [1, 2]。

一方最近では、Microsoft が HoloLens を発表し、MR 技術を実現している。MR 技術とは、現実空間と仮想空間を混合し影響しあう技術であり、その応用に注目が集まっている。それを使用した三次元音響インテンシティマップの可視化も行われている [3-6]。

本研究では、近接4点法で得られた仮想音源分布や指向性パターンを、MR 技術を用いて実空間に重畳して表示し、音場の空間情報を直感的に伝えることを可能とするシステムを構築する。また、そのシステムを用いて多数の測定点での仮想音源分布を求め、それら情報を用いた空間全体の評価を行う。

2. 近接4点法

近接4点法とは、同一平面上にない近接した4点のマイクロホンでインパルス応答を測定し、短時間相互相関やインテンシティの手法により空間情報を得ようというものである [1, 2]。

i 番目のマイクロホンと n 番目の仮想音源の距離を $r_{i,n}$ ($i = 1, 2, 3, 4$) とする。音速 c 、各マイクロホンまでの音波の到達時間を $t_{i,n}$ ($i = 1, 2, 3, 4$) とすると、

$$r_{i,n} = ct_{i,n} \quad (1)$$

の関係が成り立つ。4つのマイクロホンが、1つのマイクロホンを中心とする3つの直行する軸上に配置される場

合、 n 番目の仮想音源位置 (X_n, Y_n, Z_n) は

$$\begin{aligned} X_n &= \frac{d^2 + r_{1,n}^2 - r_{2,n}^2}{2d} \\ Y_n &= \frac{d^2 + r_{1,n}^2 - r_{3,n}^2}{2d} \\ Z_n &= \frac{d^2 + r_{1,n}^2 - r_{4,n}^2}{2d} \end{aligned} \quad (2)$$

である。ここで d は中心となるマイクロホン ($i = 1$) と他の3つのマイクロホン ($i = 2, 3, 4$) との距離である。

3. MR 表示システム

本システムでは、Microsoft 社の HoloLens を使って表示する。HoloLens は自己完結型ホログラフィックコンピュータであり、単体で複合現実を実現することができる。HoloLens では、SLAM (simultaneous localization and mapping) 技術により、空間認識センサによって物体の形状を取得し、遮蔽物の後ろのオブジェクトは非表示とされる。また、空間の形状は任意の時間で更新し続けられ、仮想カメラによって観測者の移動や回転に追従し、オブジェクトを視覚情報に重ねられる。

MR 表示システムは以下の手順に基づく。

- 1) Time Stretched Pulse (TSP) 信号を再生し、近接4点マイクロホンで收音。一方で、AR マーカを用いてマイク位置を HoloLens 上に保存。
- 2) 收音された4つの TSP 応答信号と測定用 TSP 音源を時間反転した逆 TSP を畳み込み、各インパルス応答を計算。
- 3) 4つのインパルス応答を近接4点法計算し、仮想音源座標を導出。
- 4) 各仮想音源座標を PC から HoloLens へ User Datagram Protocol (UDP) で送信。
- 5) 球オブジェクトを配置、配色。

6) 測定終了後、空間基準マーカを用いてデータを表示。

仮想音源分布では、座標の原点を受音点とし、球の中心座標が仮想音源の座標、直径がそのエネルギー、またはその対数に比例するように表示する。また、音源位置からの到達時間を色分けして示す。

仮想音源分布は、観測点から見た空間情報となるので、観測点ごとに異なる分布を示す。そこで、多点測定結果を用いて測定点間の補間を行なった。測定点間の仮想音源分布の補間は以下の手順に基づく。

- 1) 補間を行う仮想音源分布 2 点を選択。以下、2 つの仮想音源分布を仮想音源分布 1, 仮想音源分布 2 とする。
- 2) 仮想音源分布 1 のある仮想音源に対して、仮想音源分布 2 の中から同じ色 (到達時間) の仮想音源を探索。
- 3) 2) で選択された仮想音源の中から、さらに、球の大きさ (パワー) の近い仮想音源に絞り込み。
- 4) 3) で絞り込んだ仮想音源の中で、仮想音源分布 1 のある仮想音源に最も近い座標の仮想音源を選択。
- 5) 仮想音源分布 1 のある仮想音源と 4) で選択された仮想音源との座標、直径の平均を算出。
- 6) 5) に基づき、補間した仮想音源を球として配置、配色。
- 7) 2)-6) を仮想音源分布 1 の全仮想音源に対して繰返。

4. 実験

部屋全体の音空間情報を把握することを目的に、部屋の複数の点でインパルス応答測定を行い、受音位置での測定データを重畳表示する実験を行った。実験は早稲田大学西早稲田キャンパスプロジェクト学習室 (59-04-15) で行なった。スピーカは床から 1.5m, 前方の壁から 2.0m に配置した。4 点マイクロホンも床から 1.2m に配置し、24 箇所測定した。インパルス応答測定には TSP 信号を用いた。

図-1 に多点測定結果の MR 表示を示す。各測定位置は、縦 5 列横 5 行の格子状に 1m ごとに配置した。前から 1 列目左から 3 行目にスピーカを配置した。図-1 の各測定点の図は部屋の前方の白板を見た図である。各仮想音源分布は対数スケール表示である。

ユーザが測定点に近づくと、その測定点での仮想音源分布が HoloLens 上に表示される。それによって、ユーザ位置でどのような音空間情報が得られるか理解することができる。

また、測定結果を用いて、測定点間の補間を行なった。図-2 に測定データ、2 点間補間データ、4 点間補間データ全てのデータの俯瞰表示を示す。各測定点の図の中心の灰色のオブジェクトは部屋の 3DCG である。測定点間の補間により、ある測定点とその隣の測定点との仮想音源分布への変化が観察できる。例えば、スピーカのある列の M23, M33, M43, M53 では、直接音と考えられる最も大きい赤い球が、スピーカから離れるごとに徐々に小さくなっていることが分かる。

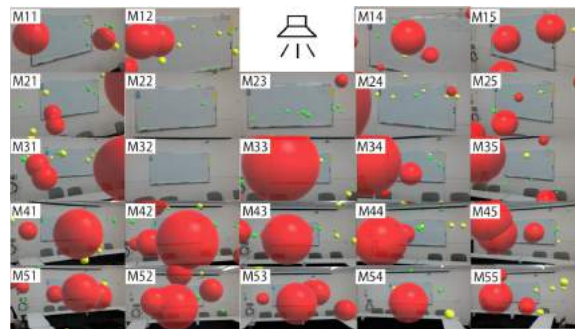


図-1 多点測定の MR 表示結果

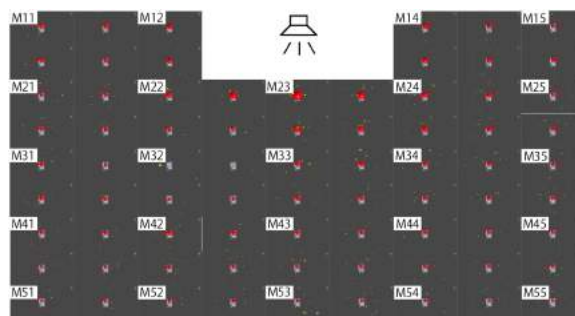


図-2 多点測定結果と補間データの俯瞰表示

5. むすび

多点測定をすることによって、ユーザ位置での仮想音源分布の表示を可能とし、広い位置での音空間情報の変化を観察することが可能となった。また、測定していない点では、測定を行なった地点間での補間を行い、より詳細な位置での音空間情報の変化を観察することが可能となった。

今後は、部屋の全ての位置での仮想音源分布を表示し、モーフィングのように仮想音源分布の変化の様子を観察することを可能にするを目指す。また光学透過型ヘッドマウントディスプレイ (OSTHMD) 以外のデバイスでの表示にもそれを適用する。さらに、補間データから補間位置でのインパルス応答の復元をすることにより、部屋のどの位置でどのように聞こえるかを再現する。

参考文献

- [1] Yoshio Yamasaki, Takeshi Itow, "Measurement of spatial information in sound fields by closely located four point microphone method," J. Acoust. Soc. Jpn.(E), vol.10, no.3, pp.101-110, Dec, 1988.
- [2] 山崎芳男, "近接 4 点法による音場の空間情報の可視化," テレビジョン学会誌, vol.44, no.3, pp.253-256, Mar, 1990.
- [3] 井上敦登, 池田雄介, 矢田部浩平, 及川靖広, "シースルー型ヘッドマウントディスプレイを用いた三次元音場情報表示システム," 日本音響学会アコースティックイメージング研究会資料, vol.AI2016-3-03, Oct, 2016.
- [4] A. Inoue, Y. Ikeda, K. Yatabe and Y. Oikawa, "Three-dimensional sound-field visualization system using head mounted display and stereo camera," Proc. Mtgs. Acoust., vol.29, no.1, pp.25001, Dec, 2016.
- [5] A. Inoue, K. Yatabe, Y. Oikawa and Y. Ikeda, "Visualization of 3D Sound Field using See-Through Head Mounted Display," SIGGRAPH '17 Posters, Jul, 2017.
- [6] Y. Kataoka, W. Teraoka, Y. Oikawa, Y. Ikeda, "Real-time Measurement and Display System of 3D Sound Intensity Map using Optical See-Through Head Mounted Display," SIGGRAPH Asia, Posters, 2018.