

サラウンド音響における
MUSIC 法を用いた仮想音源位置の方向推定に関する検討
Study on Direction Estimation of Virtual Sound Source
Using MUSIC Method in Surround Sound

山本 華帆[†] 荻原 昭夫[‡] 村田 晴美[§]
Kaho Yamamoto Akio Ogihara Harumi Murata

1. まえがき

サラウンド音響は映画館などでは古くから導入されているが、近年ではテレビ放送や DVD などのデジタルコンテンツもサラウンド音響に対応しつつあり、家庭でも楽しめるようになってきている。ステレオやサラウンドでは各スピーカーからの信号に振幅差を与えることによって、音の聞こえる方向を制御して仮想音源を作り出すことができる。しかし、「サラウンド音響システムの使用者が所望する音響空間を構築することの困難さ」や「部屋の形などによる音像バランスの乱れ」などの問題が発生する。本研究では、サラウンド音響を可視化することで音源定位の調整を一般の使用者が行なうことができるシステムについての検討を行なう。本稿では、本システムの基礎となるサラウンド音響の可視化のための仮想音源の方向推定について検討した結果について報告する。

2. MUSIC 法を用いた方向推定手法

サラウンド音源は使用者の特質（聴覚特性、感性等）や使用する環境によって異なる定位感や反響が生じる。使用者が所望する音響空間を構築するために音の定位を調整するにあたって、仮想音源の位置が必要であるが、信号を作成する際の空間と実際の音響空間が異なるため仮想音源位置を推定する必要がある。本研究では、無線通信の分野で使われている技術である到来方向推定法[1]に着目する。近年では音源方向や音源位置の推定にも用いられており[2,3]、本研究では MUSIC 法を使用する。MUSIC 法を適用した音源方向の推定手順を図 1 に示す。

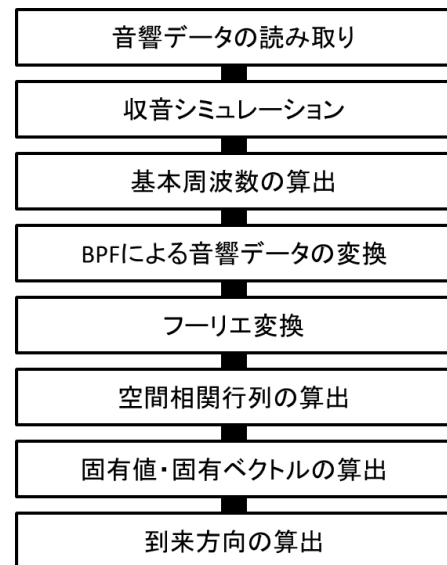


図 1 MUSIC 法を適用した音源方向の推定手順

3. 実音源方向に対するシミュレーション 1

3.1 シミュレーション条件

実音源方向推定のシミュレーション条件を図 2 に示す。シミュレーション 1 は実音源位置を L, R 、および定位 -15 度とする P_1 、定位 0 度とする P_2 、定位 15 度とする P_3 とした時の方向推定（減衰なし）である。收音マイクロフォン M_2 は L/R スピーカから 250cm の位置に配置し、 M_1-M_2 および M_2-M_3 の間隔 d はそれぞれ 20cm とする。なお、シミュレーションに使用する音源は sine wave, guitar, piano（基本周波数： $110\text{Hz}, 220\text{Hz}, 440\text{Hz}, 880\text{Hz}$ ）の 3×4 種類である。

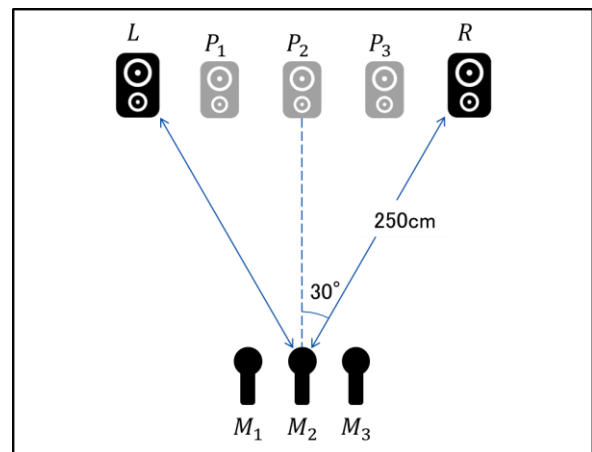


図 2 音源方向の推定に用いるシミュレーション条件

3.2 シミュレーション 1 の結果

sine wave によるシミュレーションの結果を表 1 に示す。なお、定位が L および P_1 の時の推定方向は R 、 P_3 の推定方向をそれぞれ符号反転した値に等しい。

定位 P_3 の推定方向は 0.5 度のずれが生じているが、 P_2 および R の推定方向は正しく推定できていると言える。音源 guitar および piano でも同様の結果が得られた。

[†] 近畿大学大学院システム工学研究科 Graduate School of Systems Engineering, Kindai University

[‡] 近畿大学工学部 Faculty of Engineering, Kindai University

[§] 中京大学工学部 School of Engineering, Chukyo University

4. 仮想音源方向に対するシミュレーション 2

4.1 シミュレーション条件

シミュレーション 2 は仮想音源位置を L, R , および P_1, P_2, P_3 とする音源を L / R スピーカで流した時 (減衰なし) の方向推定である. 仮想音源方向の推定シミュレーション条件はシミュレーション 1 と同様である. なお, 各スピーカの音量レベルは, 左右の信号の振幅の二乗和にほぼ比例することから, 定位方向 θ_1 (rad) および式 (1) に示す θ_2 に対して L スピーカの比率 A_L を式 (2), R スピーカの比率 A_R を式 (3) とする[4].

$$\theta_2 = (\pi/2) - \theta_1 \quad (1)$$

$$A_L = \theta_2 / \sqrt{\theta_2 * \theta_2 + \theta_1 * \theta_1} \quad (2)$$

$$A_R = \theta_1 / \sqrt{\theta_2 * \theta_2 + \theta_1 * \theta_1} \quad (3)$$

4.2 シミュレーション 2 の結果

sine wave によるシミュレーションの結果を表 2 に示す. 440Hz 以下の sine wave では 2 度未満, 880Hz では定位 P_3 時の推定方向に 13.5 度の差が生じている. この原因としてはマイクロフォンへの收音シミュレーションが (2), (3) を用いて計算された信号を合成しているものであり, 各マイクロフォンへの入力信号の相関を誤ってとっていることが考えられる. したがって, マイクロフォンの間隔を小さくして, 各マイクロフォンに入力される信号の時間差を小さくすることで正しく相関をとることができると考えられる. よって次に, マイクロフォンの間隔 $d = 10\text{cm}$, および 5cm として同様にシミュレーションを行なった. 結果を表 3 および表 4 に示す.

$d = 10\text{cm}$ とした時には 4 つの周波数すべてにおいて推定値が改善されたが, 定位方向と 2 度以上のずれが生じている部分もある. $d = 5\text{cm}$ とすると, 定位 P_3 および R である時に, 定位方向よりも中心寄りの方向が算出された. $d = 20\text{cm}$ で 880Hz の推定方向が定位方向と大きくずれがあったように, $d = 10\text{cm}$ でも高い周波数の場合には推定方向と定位方向にずれが生じることが考えられる. そこで, これとは別に 1760Hz の sine wave を音源とするシミュレーションを実施したところ, 定位 P_3 の時の推定方向が $d = 10\text{cm}$ では 31.5 度, $d = 5\text{cm}$ では 15.5 度となった. しかしながら,

表 1 sine wave による実音源方向推定のシミュレーション 1 の結果 ($d = 20\text{cm}$)

基本周波数 (Hz)	通過帯域 (Hz)	定位 P_2 の時の推定方向 (度)	定位 P_3 の時の推定方向 (度)	定位 R の時の推定方向 (度)
110.0	90 - 130	0	15.5	30.0
220.0	200 - 240	0	15.5	30.0
440.0	420 - 460	0	15.5	30.0
880.0	860 - 900	0	15.5	30.0

表 2 sine wave による実音源方向推定のシミュレーション 2 の結果 ($d = 20\text{cm}$)

基本周波数 (Hz)	通過帯域 (Hz)	定位 P_2 の時の推定方向 (度)	定位 P_3 の時の推定方向 (度)	定位 R の時の推定方向 (度)
110.0	90 - 130	0	14.0	29.0
220.0	200 - 240	0	14.5	29.0
440.0	420 - 460	0	16.5	29.0
880.0	860 - 900	0	28.5	29.0

表 3 sine wave による実音源方向推定のシミュレーション 2 の結果 ($d = 10\text{cm}$)

基本周波数 (Hz)	通過帯域 (Hz)	定位 P_2 の時の推定方向 (度)	定位 P_3 の時の推定方向 (度)	定位 R の時の推定方向 (度)
110.0	90 - 130	0	14.5	30.0
220.0	200 - 240	0	14.5	30.0
440.0	420 - 460	0	15.0	30.0
880.0	860 - 900	0	17.5	30.0

表 4 sine wave による実音源方向推定のシミュレーション 2 の結果 ($d = 5\text{cm}$)

基本周波数 (Hz)	通過帯域 (Hz)	定位 P_2 の時の推定方向 (度)	定位 P_3 の時の推定方向 (度)	定位 R の時の推定方向 (度)
110.0	90 - 130	0	13.5	27.5
220.0	200 - 240	0	13.5	27.5
440.0	420 - 460	0	13.5	27.5
880.0	860 - 900	0	14	27.5

表 4 のように周波数が低い場合には改善するとは限らないため, 推定方法を再検討する必要がある.

以上より, 周波数が高くなると定位方向と推定方向の差が大きくなると考えられるが, マイクロフォンの間隔を短くすることによって推定方向は改善されるが, 一方で周波数の低い音源は定位方向と推定方向の差が大きくなる. したがって, 基本周波数の違いによる定位方向と推定方向の差を小さくする手法について今後検討する必要がある.

5. むすび

本稿では, サラウンド空間の仮想音源方向を推定することを目的として, MUSIC 法を用いた 2 種類のシミュレーションを実施した結果について述べた. シミュレーション 1 では, 定位方向と推定方向がほぼ等しいという結果が得られた. また, シミュレーション 2 ではマイクロフォンの間隔を小さくすることで周波数が高い場合でも推定方向と定位方向の差を小さくした. しかし, 実際の音楽では 110Hz より低い音や 880Hz より高い音が存在する. したがって, 4.2 節で述べた現象が特に 880Hz 以上で発生し, $d = 10\text{cm}$ でも推定方向にずれが生じる. 今後は基本周波数に左右されない音源方向の推定と実環境における推定を行なう.

参考文献

- [1] 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.
- [2] 畠田道雄, 石川憲一, “音源位置同定法としての音響ホログラフィ法と MUSIC 法の基本性能比較に関する研究,” 精密工学会誌, vol.71, no.4, pp.517-522, 2005.
- [3] 森和義, 横山智樹, 長谷川秋雄, “周囲雑音を用いた無音物体探知における高分解能アレイ信号処理手法の比較,” 海洋音響学会誌, vol.32, no.2, pp.89-97, 2005.
- [4] 正岡涼, 八木淳史, “振幅と位相制御における音像定位の研究,” 東京電機大学工学部情報通信工学科卒業論文, 2002.