

MUSIC 音源方向推定法における PH 処理の固有空間改善効果の検討*

☆湯浅 一輝, 金田 豊 (東京電機大)

1 はじめに

筆者らは MUSIC 音源方向推定法[1]にピークホールド (PH) 処理を付加した方法 (PH-MUSIC 法)を提案し、反射音に対する耐性を確認した[2]。しかしこの方法は低周波領域で性能が劣化し、その要因は明確ではなかったため、今回、検討を加えた結果を報告する。

2 MUSIC 法による音源方向推定

2.1 空間相関行列

M 個のマイクロホンで受音したとき、第 i 番目のマイクロホンの周波数帯域 ω の成分を $X_i(\omega)$ と表す。この時、空間相関行列 $\mathbf{R}(\omega)$ は次式で定義される。

$$\mathbf{R}(\omega) = \begin{bmatrix} \Phi_{11}(\omega) & \Phi_{12}(\omega) & \dots & \Phi_{1M}(\omega) \\ \Phi_{21}(\omega) & \Phi_{22}(\omega) & \dots & \Phi_{2M}(\omega) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Phi_{M1}(\omega) & \Phi_{M2}(\omega) & \dots & \Phi_{MM}(\omega) \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、 $\Phi_{ij}(\omega) = E[X_i(\omega)X_j^*(\omega)]$ 、 $E[\cdot]$ は期待値で、 $*$ は複素共役である。

2.2 音源方向スペクトル

MUSIC 法では、 $\mathbf{R}(\omega)$ における雑音部分空間の相関行列 $\mathbf{R}_n(\omega)$ と方向制御ベクトル $\mathbf{d}(\omega, \theta)$ [1]を用いて、次式によって方向スペクトル $P_{MUSIC}(\omega, \theta)$ (周波数 ω における θ 方向から到来する音の強さの推定値)を求める。

$$P_{MUSIC}(\omega, \theta) = \frac{1}{\mathbf{d}^H(\omega, \theta) \mathbf{R}_n(\omega) \mathbf{d}(\omega, \theta)} \quad (2)$$

3 PH-MUSIC 法

PH-MUSIC 法は MUSIC 法に、ピークホールド (PH) 処理を適用したものである。PH 処理は直接音成分を利用して後続の反射音をマスクし、差分を取ることで直接音の立ち上がりを取得する処理である (図 1)。この処理結果をサブバンド (SB) 信号に乗算することで SB 信号の直接音成分のみを通し、反射音の影響を軽減した MUSIC 法の計算を行うことができる (図 2)。

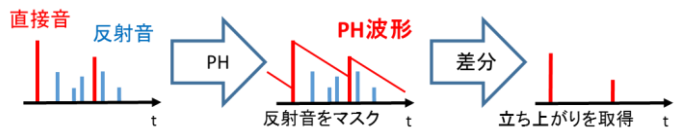


図 1 PH 処理のモデル図

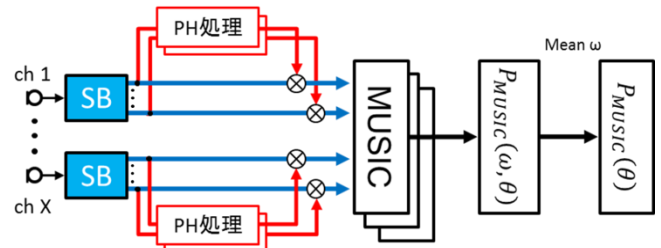
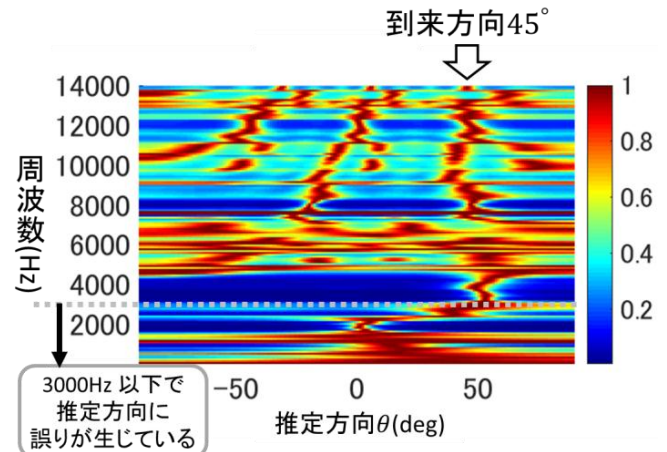


図 2 PH-MUSIC 法のブロック図

図 3 PH-MUSIC 法による $P_{MUSIC}(\omega, \theta)$ の例

4 低周波領域の性能劣化

図 3 に PH-MUSIC 法による、方向スペクトルの一例を示す。測定条件は、反射音のある一般室で、人間が 45° 方向から発声した単語音声を、4cm 間隔で直線配列した 4 個のマイクロホン (アレー長 0.12m) で録音した。図の縦軸は周波数、横軸は推定方向を表し、赤い色が推定された音の強さが大きいことを表す。

図より約 3000Hz 以上ではほぼ正解方向 (45°) を推定している。 45° 以外にも複数の空間折り返しによる推定が見られるが、最終的な推定結果は、周波数平均を行うので、これらの影響は小さくなる。

* A study of eigenspace improvement for peek-hold-MUSIC DOA estimation by YUASA Kazuki, and KANEDA Yutaka (Tokyo Denki University).

一方、3000Hz以下の低周波領域では、推定方向に誤りが生じている。この原因は室内騒音の影響の可能性があったので、そのスペクトルを調べ図4に示した。図より、騒音は低域のみでエネルギーが大きいため1000Hz以上で方向推定に与える影響は小さいと予想される。

このことから、低周波領域の性能劣化の原因は騒音ではなく、MUSIC法の算出過程から起こる現象と考えた。そこで、MUSIC法において中心的な役割をなす空間相関行列の固有空間を調べた。

5 MUSIC法の固有空間

MUSIC法では、帯域分割した各受信信号の空間相関行列 $R(\omega)$ を固有値分解して固有値と固有ベクトルを算出する。このとき、帯域分割した各受信信号を正規化することで固有値の総和をマイクロホン数に正規化することができる。図5に正規化した帯域別の固有値を示す

図5より、低周波数領域では一つの固有値のみが大きな値を持つことがわかる。音場には、音源からの直接音の他に、多数の反射音や室内騒音が存在する。これらが空間的に分離して認識されれば、高周波領域のように、4つの固有値がそれぞれ相応の大きさを有する。しかし、図の低周波数領域のように、一つの固有値のみが大きな値を持つということは、これら多数の方向から到来する音が、一つの固有ベクトルに集約されていることを意味する。言い換えれば、低周波数では波長が長いので、複数のマイクロホンで観測される音が一つの音の塊と判断されている。

この仮定が成立するならば、固有値と周波数の関連は、マイクロホン配列の大きさに反比例する。このことを確認するために、マイクロホンアレー長を2倍(0.24m)とした場合の固有値を図6に示す。図より、最大固有値が増加する周波数は約1500Hzとなり、配列の大きさに反比例することがわかる。

6 固有値を使った重みづけ

PH-MUSIC法において方向スペクトルを周波数平均する際に、誤推定の原因となる低周波領域の比重を軽減することが効果的と考えられる。一例として、正規化固有値の和は一定値なので、その値から最大値の値を減算し

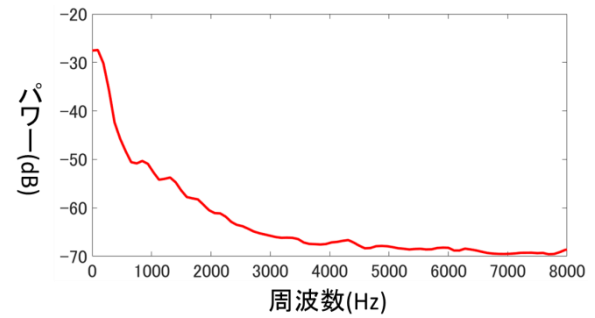


図4 室内騒音のスペクトル

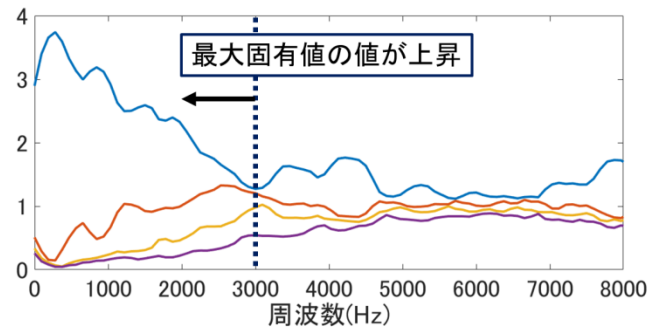


図5 正規化した固有値(アレー長 0.12m)

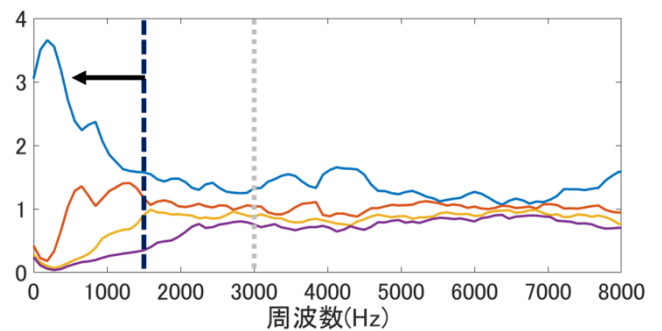


図6 正規化した固有値(アレー長 0.24m)

た値により重みづけを行った。

結果、重みづけを行わなかった場合の誤差が17/560であったのに対して、行った場合は9/560となり、有効性が確認できた。

7 むすび

本稿では、低周波領域におけるPH-MUSICの性能劣化要因を検討した。その結果、反射音などの不要音の空間相関が目的音の相関に類似したことが原因であることが分かった。このことは正規化した最大固有値の増加につながるため、方向スペクトルの周波数平均をする際に、最大固有値の大きさを利用した重みづけを行うと有効であることがわかった。

参考文献

- [1] 浅野、“音のアレイ信号処理”，日本音響学会、107-124, 2011.
- [2] 加藤、金田、音講論(秋), 731-732, 2012.