

参照信号の到来方向を考慮したマイクロホンアレーの校正

Microphone array calibration using directions of arrival of reference signals

A-5

青木 創一朗[†] 村上 隆啓[†]Soichiro AOKI[†] Takahiro MURAKAMI[†][†] 明治大学理工学部電気電子生命学科[†] Department of Electronics and Bioinformatics, Meiji University

1. はじめに

マイクロホンアレーを用いて音源定位[1]などを行うとき、マイクロホンの配置が想定するモデルと比較して少しでも変化すると、推定の精度が劣化する。アレーアンテナ技術の分野ではこの問題を解決するために到来方向が既知である参照信号を用意し、校正に必要なパラメータを求める校正法が提案されている[2]。しかし、文献[2]の手法は本来ならば参照信号の到来方向に依存するパラメータを定数として扱うため、校正に使用した到来方向以外については十分な校正が行えない。本稿では、校正に必要なパラメータを到来方向の関数でモデル化して校正を行う方法を提案する。

2. 提案法

M ch 直線状マイクロホンアレー ($M > 1$) について、マイクロホンの配置が想定するモデルからずれている場合を考える。ただし、マイクロホンと音源は同一平面上に配置されているものとする。到来方向が θ [deg] である音源信号がこのマイクロホンアレーで観測されたとき、その STFT (短時間フーリエ変換) $\mathbf{x}(\omega, i) = [x_1(\omega, i) \cdots x_M(\omega, i)]^T$ は次式となる。

$$\mathbf{x}(\omega, i) = \mathbf{\Gamma}(\omega, \theta) \mathbf{a}(\omega, \theta) s(\omega, i) + \mathbf{n}(\omega, i) \quad (1)$$

$$\mathbf{\Gamma}(\omega, \theta) = \text{diag}\{\gamma_1(\omega, \theta), \dots, \gamma_M(\omega, \theta)\} \quad (2)$$

ここで、 $\omega = 2\pi f$ は角周波数、 f は周波数、 i は STFT におけるフレーム番号、 $s(\omega, i)$ は音源信号の STFT、 $\mathbf{a}(\omega, \theta)$ はマイクロホンの理想的な配置から得られるアレーマニフォールドベクトル、 $\mathbf{n}(\omega, i)$ は観測雑音ベクトルの STFT、 $\gamma_m(\omega, \theta)$ は m 番目のマイクロホンの配置誤差による位相誤差パラメータを表す。従来法[2]では、式 (1) の相関行列から得られる雑音部分空間と $\mathbf{\Gamma}(\omega, \theta) \mathbf{a}(\omega, \theta)$ との直交性を利用して $\gamma_m(\omega, \theta)$ を推定する。しかし、この方法は $\gamma_m(\omega, \theta)$ を θ によらない定数として扱うため、到来方向が θ [deg] 以外については十分な校正が行えない。そこで提案法では、 $\gamma_m(\omega, \theta)$ を次式のような θ の関数でモデル化する。

$$\gamma_m(\omega, \theta) = \exp\left(j \frac{\omega}{c} (\Delta h_m \sin \theta + \Delta v_m \cos \theta)\right) \quad (3)$$

ここで、 c は音速、 Δh_m 及び Δv_m はそれぞれ m 番目のマイクロホンの理想的な配置からの横軸及び縦軸のずれを表す。式 (3) より、従来法によって得られる $\gamma_m(\omega, \theta)$ の位相を用いれば、到来方向が異なる参照信号を2個以上使用することで Δh_m 及び Δv_m を推定できることが分かる。提案法では、 $\gamma_m(\omega, \theta)$ の位相を用いて、最小二乗法により Δh_m 及び Δv_m を推定する。

3. シミュレーション

MUSIC 法[1]による単一音源の到来方向推定におい

て従来法及び提案法をそれぞれ適用し、MUSIC スペクトル及びそのピークから得られる到来方向の RMSE (二乗平均誤差の平方根) を比較する。音源信号には男性が発話した音声を用いる。雑音には SN 比が 10[dB] である白色雑音を使用する。サンプリング周波数は 8000[Hz]、音速は 340[m/s]、使用する帯域の周波数は 1000[Hz]とする。マイクロホンアレーは、センサ間距離が 0.15[m] の 3ch 等間隔アレーとする。マイクロホンの配置のずれは $(\Delta h_2, \Delta v_2) = (-0.01[\text{m}], -0.01[\text{m}])$ 及び $(\Delta h_3, \Delta v_3) = (0.01[\text{m}], 0.01[\text{m}])$ とする。参照信号の到来方向には、 -30° , 0° , 30° の3個を使用する。

図1に音源信号の到来方向が 40° のときの MUSIC スペクトルの比較、図2に音源信号の真の到来方向と推定した到来方向との RMSE (試行回数 100 回) の比較を示す。図1より、提案法の方が従来法に比べて 40° 付近に鋭いピークを形成していることが分かる。また図2より、従来法に比べて提案法の方が RMSE が小さいことが分かる。特に $\theta < -10^\circ$ のときに、推定精度が大幅に改善されている。これらの結果より、提案法の性能が従来法より優れていることが確認できた。

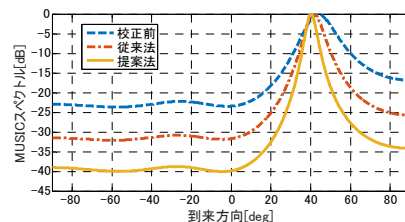
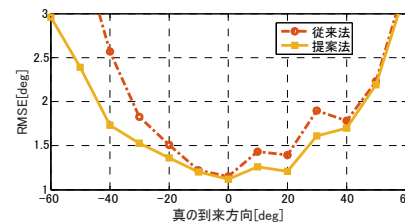
図1 MUSIC スペクトルの例 (到来方向が 40° のとき)

図2 推定した到来方向の RMSE

4. 今後の課題

提案法では各マイクロホンの受信感度が一定であると仮定しているが、実際は各マイクロホンの受信感度にもばらつきが発生する。今後は、各マイクロホンの受信感度に差がある場合に提案法を拡張する。

参考文献

- [1] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameters estimation", IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. AP-34, No. 3, pp. 276-280, 1986.
- [2] 新井隆宏, 原六蔵, 山田寛喜, 山口芳雄, "既知の波源を用いたスーパーレゾリューションアレー校正法について", 信学論 (B) Vol. J86-B, No. 3, pp. 527-535, 2003.