

2.4GHz 帯 9 素子アレーレーダによる最大比合成を用いた位相校正を要しない非接触呼吸計測

Noncontact calibration-free measurement of respiration
using 2.4-GHz nine-element array radar and maximal ratio combining method

香田 隆斗¹
Takato Koda

阪本 卓也^{1,2}
Takuya Sakamoto

京都大学 大学院 工学研究科¹
Graduate School of Engineering, Kyoto University

科学技術振興機構, さきがけ²
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

1 はじめに

新型コロナウイルス感染症の流行に伴い、レーダによる呼吸の非接触計測に注目が集まっている。著者らは、これまでに呼吸イメージングを可能とする 9 素子十字型アレーレーダシステムを開発してきた [1, 2]。このシステムは、呼吸運動に整合したバンドパスフィルタとビームフォーマ法を併用して呼吸部位を特定し、呼吸による体表面変位を高精度に計測できる。しかし、人体の測定前にアレー素子の固有位相を校正する必要がある、実用上の課題であった [3]。そこで本稿では、最大比合成法を導入し、位相校正を要しない呼吸計測技術を開発する。

2 最大比合成を用いた位相校正

著者らの従来研究 [1] では、 N 素子アレーで受信される複素信号ベクトル $\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$ に対して、位相校正行列 $C = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_N)$ を乗じ、複素信号 $\mathbf{s}(t) = C\mathbf{x}(t)$ を得る。 $\mathbf{s}(t)$ の相関行列 $R_{ss} = E[\mathbf{s}(t)\mathbf{s}^H(t)]$ は、 $\mathbf{x}(t)$ の相関行列 $R_{xx} = E[\mathbf{x}(t)\mathbf{x}^H(t)]$ を用いてエルミート行列 $R_{ss} = CR_{xx}C^*$ と表される。 $N \times N$ ユニタリ行列 P で R_{ss} を対角化すると

$$P^H R_{ss} P = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N) \\ \Leftrightarrow (C^* P)^H R_{xx} C^* P = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N) \quad (1)$$

となり、ユニタリ行列 $C^* P$ による R_{xx} の対角化に一致する。 R_{ss} の最大固有値 $\lambda_{\max}$ に対応する固有ベクトルを $\mathbf{v}_{\max}$ とすると、 R_{xx} の最大固有値に対応する固有ベクトルは $\mathbf{v}'_{\max} = C^* \mathbf{v}_{\max}$ である。対象者が静止している状況では、胸部からの反射波が支配的であるため、所望信号の電力は最大の固有値に対応する。位相校正を行っていない受信信号 $\mathbf{x}(t)$ に対して固有ベクトル $\mathbf{v}'_{\max}$ を重みベクトルとすることで、予備実験を行わず位相校正が実現できる。

3 呼吸数推定の実験検証

前節で述べた提案法と従来のビームフォーマ法による呼吸数推定の比較を行った。図 1 のように被験者をベッドに横たわらせ、アレーをベッドの上面から 1.25 m の高さに固定して 60 秒間の測定を行った。被験者は 2 名、計 5 ケース行った。呼吸の精度検証には接触型の呼吸計を用いた。図 2 はビームフォーマ法による呼吸の変位（左図）と最大比合成による呼吸の変位（右図）を表す（青破線は接触型呼吸バンドによる測定）。両者はよく一致

しており、呼吸間隔（呼吸数の逆数）の RMS 誤差（5 ケース平均）は従来法が 37 ms、提案法が 35 ms と、位相校正を用いずに位相校正を行った場合と同等の精度が得られた。以上より、著者らの 9 素子十字型アレーレーダと最大比合成により、位相校正計測を行わずに高精度に呼吸計測が実現できることが示された。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科研費 19H02155, JST さきがけ JPMJPR1873, JST COI JPMJCE1307 の助成により実施された。

参考文献

- [1] T. Sakamoto and T. Koda, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, doi: 10.1109/LMWC.2020.2992541.
- [2] 香田隆斗, 阪本卓也, 信学総大, B-1-151, Mar. 2020.
- [3] 香田隆斗, 阪本卓也, 信学技報 MW, Jul. 2020.

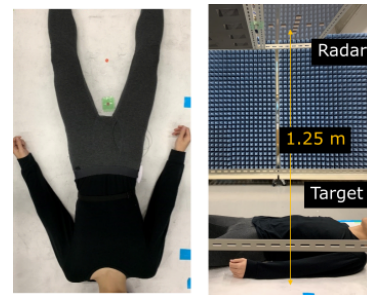


図 1 呼吸数推定の実験検証の様子

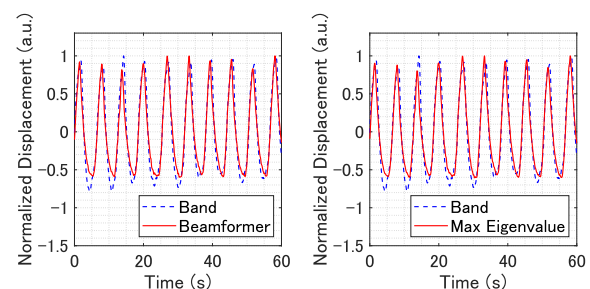


図 2 ビームフォーマ法（左図）と最大比合成（右図）による呼吸の変位