

ミリ波 SIMO レーダを用いた心拍非接触測定における受信ブランチ選択ダイバーシティの一検討 - 観測ウィンドウ長及び最頻推定心拍周波数の考慮 -

A Receive Antenna Branch Selection Diversity for Remote Heart Rate Measurement with mm-Wave SIMO Radar - Considering Length of Observation Window and Mode of Estimated Heart Rate Frequencies -

○大津孝介¹, 胡堯坤², 戸田健³Kosuke Otsu¹, *Yaokun hu², Takeshi Toda³

Abstract: We had research for heart rate sensing with a millimeter-wave frequency modulated continuous wave (FMCW) radar module, where 3Tx - 4Rx multi-input multi-output (MIMO) configuration was employed and a 1Tx - 1Rx branch was used. However, we have figured out a significant signal-to-noise ratio (SNR) the receive branches. In this paper, we present receive antenna selection diversity methods based on a SNR criterion and these effect on the heart rate estimation accuracy.

1. 背景

我々はミリ波帯 frequency modulated continuous wave (FMCW) レーダを用いて非接触での心拍数の測定を行ってきた [1-4]. ここでは、レーダーモジュールはアンテナブランチの構成が 3Tx - 4Rx の multi-input multi-output (MIMO) となっており、そのうち 1Tx - 1Rx ブランチを使用してきた。しかしながら、過去の研究を通して、受信ブランチ間に無視できない程度の信号対雑音比 signal-to-noise ratio (SNR) の差があることがわかってきた。受信ブランチごとの心拍数推定精度を比較した結果、被験者ごとに大きな差があることがわかった[3]。また、ある SNR 基準を用いてブランチ選択ダイバーシティ効果について検討した結果、SNR の時間変動に対する root-mean-square error (RMSE) の劣化に対してロバストであることがわかった [4]。

本研究では観測ウィンドウ長及び、統計的アプローチから、推定心拍の最頻値を考慮する方法について検討したので報告する。

2. 方法

各ブランチにおいて、送受信信号をミキシングし、得られた IF 信号を AD 変換後、DC オフセットの補正と位相アンラッピングを行い、その後 Improved Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise (ICEEMDAN) を用いて時間領域での周波数解析を行い、心拍周波数を推定する。具体的には、一定時間幅のウィンドウを単位時間ステップでスライドさせ、各タイムウィンドウごとに心拍周波数を推定し、最頻値により外れ値を置き換え、60 秒間の推定心拍周波数を得る。SNR は、 $SNR = 10 \log P_S/P_N$ で定義され、心拍周波数スペクトル内において、 P_S はピーク値とその前後 1 サンプルの合計 3 点、 P_N は前記 P_S を除

くすべてのサンプルのパワーとした。またブランチの選択方法は、以下の 2 つの方法を試みた。

Method I) ブランチ毎に総タイムウィンドウの平均 SNR を算出しベスト SNR を持つブランチを選択する。
Method II) タイムウィンドウ毎に、各ブランチの SNR を計算しベスト SNR を持つブランチを選択する。

3. 実験

実験では、被験者が着座した状態で、距離 1m の位置にレーダーモジュールを正対設置した。また、推定精度を評価するために、胸部に ECG デバイスを取り付け、参照心拍データも収集した。データ解析では、60 秒間の測定から得られたストリーミングデータに対して、観測ウィンドウ長を 20 ~ 40 秒で変化させ、観測ウィンドウを 1 秒単位でスライドさせたとき、20 ~ 40 個の心拍周波数と SNR を推定した。さらに推定周波数の外れ値を最頻値に置き換えた場合の RMSE の改善について検討した。

参考文献

- [1] Y. Hu, et.al., "Remote heart-rate estimation based on phase accumulation-linear interpolation method for mm-wave FMCW radar," IEICE Commun. Express, vol. 10, no. 2, pp.56-61, Feb. 2021.
- [2] Y. Hu, et.al., "The effect of multi-directional on remote heart rate measurement using PA-LI joint ICEEMDAN method with mm-wave FMCW radar," IEICE Trans. on Commun., vol. E105-B, No. 2, Feb. 2022.
- [3] R. Shigihara, et. al., "An Result of SNR Difference in Received Antennas in mm-Wave SIMO Radar for A Remote Heart Rate Measurement," ICETC2022, S1-5, Nov. 2022.
- [4] 大津孝介, 他, "ミリ波帯 SIMO レーダを用いた心拍非接触推定において受信ブランチの選択ダイバーシティに関する一検討," 2023 年 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-19-13, 2023 年 9 月 12 日.