

超広帯域レーダによる複素平面上の信号点軌跡からの静止干渉波除去を用いた心拍高精度推定

渡辺 恭¹

阪本卓也^{2,3}

兵庫県立大学 工学部 電子情報電気工学科¹

兵庫県立大学 大学院工学研究科²

京都大学 大学院情報学研究所³

1 はじめに

心拍の測定には皮膚に電極を接触させ電位差の測定を行う心電計 (ECG) が広く用いられている。しかし、接触型の測定では不快感や皮膚のかぶれの可能性などの問題があり、長時間の連続測定には適さない。そこで、我々は超広帯域レーダによる遠隔での心拍測定技術を開発してきたが [?], これまでは被験者が静止したほぼ理想的な条件でのみ測定が行われてきた [?]. 本研究では、レーダと ECG の同時測定を夜間睡眠中に実施した。受信信号には心拍に関する情報を含むエコー以外に多数の静止クラッターが重畳するため、エコーのレンジを推定することは容易ではない。本稿では超広帯域レーダによる複素平面上の信号点軌跡からの静止干渉波除去を用いて心拍の高精度推定を試みる。

2 複素平面上の信号点軌跡からの静止干渉波除去

被験者の夜間睡眠中に超広帯域レーダと心電計による 10 時間の同時測定を実施した。使用するレーダは 2 送信 4 受信の MIMO アレイ構成であり、中心周波数 60.5GHz、帯域幅 1.25GHz、測定周期 1.285ms、素子間隔は 4.5mm である。ベッド側面から 60cm の位置にアンテナを設置した。受信信号は直交検波され、各レンジの信号は複素平面上で軌跡を描く。目標が心拍や呼吸により周期的に変位している場合、エコー強度はほとんど変化せずに位相のみが変化するために軌跡は近似的に円を描く。円の中心位置は一般に原点とは異なり、呼吸や心拍の情報を含まない静止クラッター成分に相当する。一般的な人体の呼吸周期が 5 秒程度であることを考慮し、6 秒毎に次式の通り円フィッティングを行い、その中心位置が原点になるように補正する。

$$\min_{x_0, y_0, r_0} \sum_{i=1}^N \{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 - r_0^2\}^2 \quad (1)$$

上記の処理により、呼吸・心拍の情報を含むエコーのみが選択的に残り、強度の最も大きいレンジを選択することで心拍を正確に推定できる。その上で、送信および受信 MIMO アレイ計 8ch の信号を最適 M 合成し、S/N を改善する。この合成信号の位相時系列にトポロジー法 [?] を適用し、隣接心拍の間隔 (IBI: Inter-beat Interval) を求める。

図 1 および図 2 に静止干渉波除去法を適用しない場合および適用する場合の IBI の推定値を ECG から得た値と比較して示す。従来法および提案法の IBI 推定誤差は各々 200.0 ms および 30.0 ms であり、提案法により推定精度が約 6.9 倍改善された。

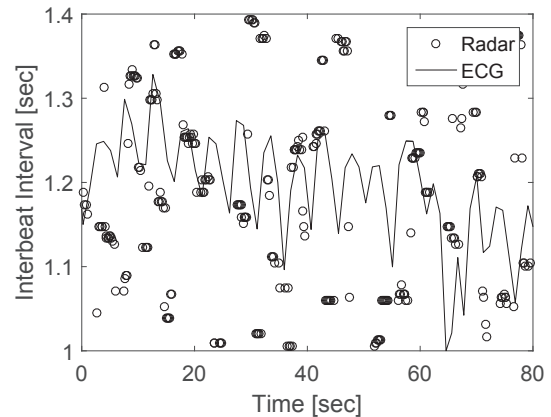


図 1 従来手法 (RMS 誤差 0.20s)

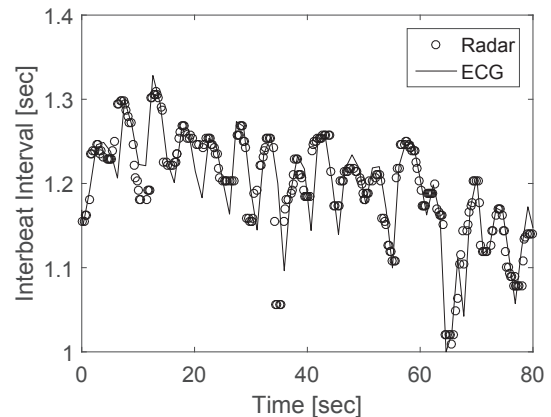


図 2 提案手法 (RMS 誤差 0.03s)

謝辞

本研究の一部は兵庫県立大学特別研究助成金、京都大学 SPIRITS プログラム、COI プログラム、科学研究費補助金 基盤研究 (A)25249057・若手研究 (B)15K18077 および総務省受託研究 電波資源拡大のための研究開発の助成により実施された。本研究を実施するにあたりご助言賜りました京都大学大学院情報学研究所およびパナソニック株式会社先端研究本部の関係各位に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Sakamoto et al., IEEE Trans. Bio-med. Eng., 2015.
- [2] Sakamoto et al., IEICE Electron. Express., 2015.