

ミリ波レーダを用いた非接触心拍測定のための精度推定法

A method of estimating accuracy in noncontact measurement of heart rate using millimeter-wave radar

阪本 卓也^{1,2,3}
Takuya Sakamoto

山口 玲偉⁴
Rei Yamaguchi

兵庫県立大学 大学院工学研究科¹
Graduate School of Engineering, University of Hyogo
京都大学 大学院情報学研究科³
Graduate School of Informatics, Kyoto University

国立研究開発法人科学技術振興機構, さきがけ²
Japan Science and Technology Agency, PRESTO
兵庫県立大学 工学部⁴
School of Engineering, University of Hyogo

1 はじめに

現在, 心拍測定には脈波計や心電計などの接触型デバイスが用いられているが, 不快感や皮膚アレルギー等の問題が指摘されている. 一方, レーダを用いた非接触心拍測定が注目を集めているが, 姿勢や体動による精度低下が報告されており [1], 測定された心拍数の精度を推定する手法が不可欠である. 本研究では, 受信信号の特徴を用いた心拍測定精度の推定法を提案し, その性能を評価する.

2 ミリ波レーダによる非接触心拍計測

超広帯域ミリ波レーダと心電計により睡眠中の被験者を測定した. 中心周波数 60.5GHz, 帯域幅 1.25GHz, 測定周期 0.457 ms であり, 被験者とアンテナの距離は約 1m であった. 人体の反射点が単一である場合, 直交検波により受信される複素信号 $s(t)$ は次式で表される.

$$s(t) = V(t)\exp[j\{-4\pi\{x_0 + x(t)\}/\lambda\}] \quad (1)$$

ここで, $V(t)$ は振幅, x_0 はアンテナから皮膚表面までの平均距離, $x(t)$ は皮膚変位量である. 受信信号の振幅成分 $V(t)$ と位相成分は両方とも $x(t)$ により準周期的に変動すると期待できる.

3 提案する心拍測定精度の推定法

これらの準周期的な変動を高感度に検出するため, 提案法では複素信号の加速度を用いて生体信号に対応する変動を計算し, 心拍測定精度を推定する. 複素加速度の大きさは $a(t) = |d^2/dt^2 s(t)|$ で表され, この値の極大値 $a_M(t)$ および極小値 $a_m(t)$

$$a_M(t) = \max_{t-\Delta t \leq \tau \leq t+\Delta t} a(\tau) \quad (2)$$

$$a_m(t) = \min_{t-\Delta t \leq \tau \leq t+\Delta t} a(\tau) \quad (3)$$

を計算し, $a_M(t) - a_m(t) < L$ を満たす時間 t における推定心拍数は低精度と判定する. ただし, 安静時における呼吸周期に合わせ, $\Delta t = 3$ s とする. 閾値は経験的に $L = 80.0s^{-2}$ と定める.

4 提案法の性能評価

図 1 に, 心電計およびレーダによって測定された隣接心拍間の時間差 (IBI) をそれぞれ赤線, 青丸で示す. 図 1 から 184 s $< t \leq 250$ s ではレーダによる測定精度が低いことがわかる. 図 2 は複素加速度の大きさ $a(t)$ を

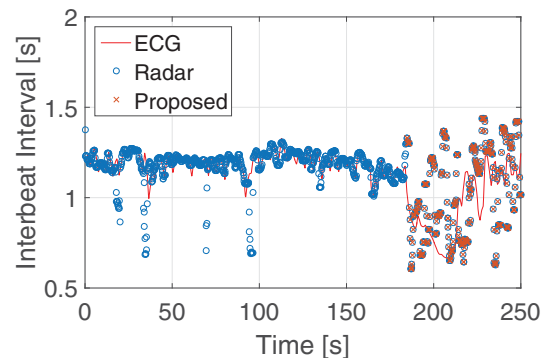


図 1 従来法および提案法による隣接心拍間隔推定結果

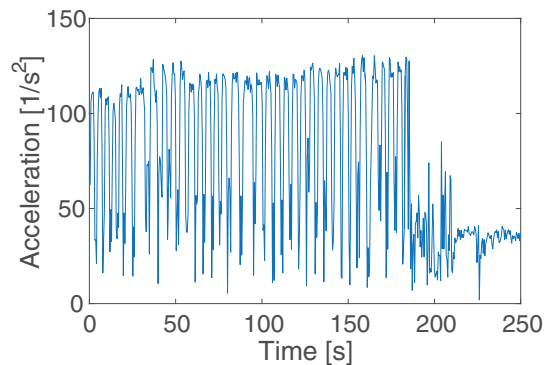


図 2 複素加速度 $a(t)$ の時間変化

示す. 図 2 から 0 s $< t \leq 184$ s では呼吸による約 5 秒周期の変動を確認できる. これらの結果より, 加速度の変動が小さいときは精度が低下することが確認できる.

提案法により低精度と推定された IBI を図 1 に赤×で示す. 184 s $< t \leq 250$ s の IBI が低精度と推定された. 従来の RMS 誤差は 158.8 ms であり, 提案法で高精度と推定された時間のみを抽出すると RMS 誤差は 79.4 ms となった. 提案法により低精度の心拍推定値を除去することで, 測定精度は約 2.0 倍に改善され, 複素加速度を用いた提案手法の有効性が実験的に確認できた.

謝辞

本研究の一部は科研費 15K18077・15KK0243 および JST さきがけ JPMJPR1873 の助成により実施されました. また, ご協力を賜りましたパナソニック・京都大学・兵庫県立大学の関係者各位に感謝申し上げます.

参考文献

[1] 山下 他, 信学総大, BS-6-4, 2017.