

ミリ波帯 MIMO アレーレーダによる人体複数部位の脈波計測

Measurement of heart pulse wave at multiple human body parts using a millimeter-wave MIMO array radar

小山田 祐志¹
Yuji Oyamada

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

脈波は動脈に沿って伝搬する弾性波であり, その伝搬速度は動脈硬化や高血圧などの疾患と関係するため, 長期連続的なモニタリングが望ましい. 著者らは, ミリ波帯の 12 チャンネル MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) アレーレーダを用いて人体の複数部位を同時に計測するシステムを提案してきた [1]. 本稿ではレーダで計測された脈波による皮膚変位をレーザ変位計のデータと比較することで精度を定量評価する. 特に, レーダのビーム幅の影響を考慮して両者の波形の違いについて議論する.

2 アレーレーダによる複数部位の計測

本稿では, 79GHz 帯の FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式のレーダを用いる. 距離分解能は 44 mm, 同レーダは送信 3 素子, 受信 4 素子, 計 12 個の半波長間隔の線形アレーを仮想アレーとする MIMO レーダである. 受信信号ベクトルを $\mathbf{s}(t)$ とし, ビームフォーマ法の重みベクトルを $\mathbf{a}(\theta)$ とし, $P_{BF}(\theta) = \int |\mathbf{a}^H(\theta)\mathbf{s}(t)|^2 dt$ のピークより複数部位からの反射波の DOA (Direction Of Arrival) を求める. 第 i 波の到来角 θ_i に対し, 推定信号 $y_i(t)$ は $y_i(t) = \mathbf{a}^H(\theta_i)\mathbf{s}(t)$ と求まる. 皮膚変位は変位 $d_i(t) = \lambda/4\pi L y_i(t)$ より得られる. ただし λ は波長である. 脈波による体表面変位の精度評価のため, レーザ変位計による計測を行う. レーザ変位計はスポット径 120 μm の波長 655 nm レーザであり, 0.2 μm の分解能を有す. レーザ変位計 2 台を後背部及び腓腹部の 2 箇所に設置して変位を計測した.

3 レーダとレーザ変位計により計測された体表面変位の比較

前章の方法により得られた後背部及び腓腹部の波形を図 1 および 2 に示す. 黒線がレーダによる推定変位 $d_i(t)$, 赤破線がレーザ変位計による計測波形 $d'_i(t)$ である. 図 1 に示す後背部の変位では, 両者の波形は類似しており, 相関係数は 0.93 と高い. 一方, 図 2 に示す腓腹部の変位では, 両者の波形が大きく異なる. 両者の相関係数は 0.52 と後背部と比べて低い.

腓腹部の変位について, レーダとレーザ変位計の波形が一致しない点について考察する. 使用したレーダのベースライン長は 20.9 mm であるため, 波長 3.8 mm を考慮すると 3 dB ビーム幅は 9.2 度となる. レーダから測定対象者までの距離が約 1.2 m であるため, レーダビームのスポット径は 19.2 cm となる. これは上記のレーザ変位計のスポット径 120 μm と大きく異なる. レーダ計

測では, ビーム幅に含まれる皮膚表面の変位で位相変調された反射波が干渉し, 変位が平均化されている. 脈波は腓腹部を伝搬しているため, レーザ変位計で計測された変位をレーダビーム幅と脈波速度に相当する時間幅で平滑化すればレーダとレーザ変位計のスポット径の違いを吸収できる. そこで, レーザ変位計で計測された変位を 0.2 s 移動平均した波形を図 2 に青一点鎖線で示す. 脈波伝搬を考慮した平滑化により, レーザ変位計とレーダによる計測変位が類似し, 両者の相関係数が 0.80 と増加した. 今後, 異なるセンサによる脈波変位計測の精度評価の方法を確立する予定である.

謝辞

本研究の一部は JST さきがけ JPMJPR1873, JST COI JPMJCE1307, JSPS 科研費 19H02155 の助成を受けた.

参考文献

[1] 小山田祐志, 阪本卓也, 信学技報 EMT, Jul. 2020.

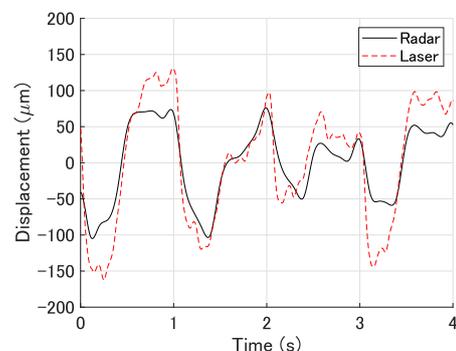


図 1 後背部のレーダ及びレーザ変位計による計測波形

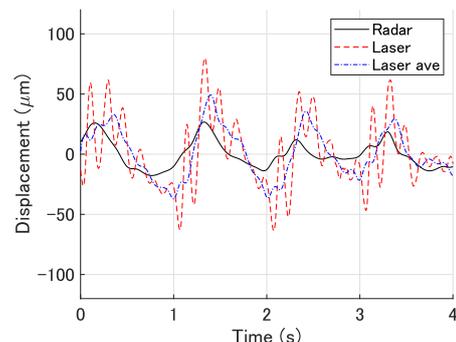


図 2 腓腹部のレーダ及びレーザ変位計による計測波形