

L-2

77GHz 帯 FMCW レーダによる離散ウェーブレット変換及びバンドパスフィルタを用いた心拍推定
—適応フィルタの可能性に関する一検討—Heart rate estimation using discrete wavelet transform and bandpass filter with 77 GHz FMCW radars
-A Study on the Possibility of Adaptive Filters-○佐藤駿佑¹, 胡堯坤¹, 戸田健²* Shunsuke Sato¹, Yaokun Hu¹, Takeshi Toda²

Abstract: When detecting a subject's biological signals with FMCW radar, some interference can be removed by the distance between each reflective object and the radar. Discrete Wavelet Transform (DWT) was used to extract the frequency components of the heartbeat signal by frequency decomposition, and Band Pass Filter (BPF) was applied to the waveform containing a desired frequency. However, it is necessary to consider an adaptive filter because the second harmonic of the frequency component of the respiration affects the frequency component of the heartbeat.

1. 背景

心拍の非接触モニタリングは、心臓や呼吸器系の慢性疾患を持つ患者に対する在宅ヘルスケアに有効である。そのため医療分野では患者に直接接触することなく心拍のモニタリングを行う需要が高まっている。このようなことから近年、マイクロ波やミリ波レーダを用いた心拍測定に関する研究が進んでいる。レーダには様々な方式があるが、近年は周波数変調連続波 (Frequency Modulated Continuous Wave: FMCW)方式レーダが多く分野に利用が期待されています^{[1][2]}。

離散ウェーブレット変換(Discrete Wavelet Transform: DWT)はレーダ解析に用いられる手法の一つである。時間-周波数面における成分の分解を行うことができるため、ノイズに埋もれてしまう微小な変異の周波数を抽出することができる^[3]。

一方、バンドパスフィルタ(Band Pass Filter: BPF)は、呼吸の周波数が 0.1 Hz~0.6 Hz、心拍の周波数が 0.8 Hz~2.0 Hz と分かれているため心拍の周波数のみを抽出するために用いる^[4]。

本稿では 77 GHz 帯 FMCW レーダモジュールを用いて非接触での心拍検出を行ったが、結果の波形より適応的なフィルタを生成を検討する必要があることを示す。

2. 方法

図 1 に本研究での信号処理フローを示す。ミリ波 FMCW レーダモジュールからの Raw data に対し DC オフセットの補償を行った後に、位相アンラッピング、Range FFT により位相の変化による胸部変位信号を抽出する。このデータに対し DFT 及び BPF を施す。抽

出された信号 S に対して DWT は次のように与えられる^[3]。

$$x_{low}(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)g(2n-1) \quad (1)$$

$$x_{high}(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(2n-1) \quad (2)$$

ここで、g と h はそれぞれローパスフィルタとハイパスフィルタの係数であり、n はデータの長さである。変換の結果、信号は低周波成分と高周波成分を含む 2 つの係数になる。これを繰り返し、所望の周波数成分が含まれる係数を選択し、波形を再構成する。一般的な心拍の周波数を低域遮断周波数 0.8 Hz、高域遮断周波数 2.0 Hz の BPF を用いて抽出をする。だが、通過帯域内には呼吸の周波数の高調波が含まれる可能性がある。そのため適応フィルタは所望の心拍の周波数とされるピークを中心に低域と高域の遮断周波数を定めて SNR を改善させ、正確に比較を行うために用いる。

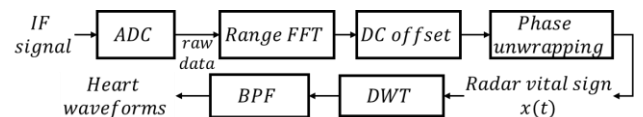


Fig.1 signal processing flow

3. 実験方法

実験では被験者に対し 77 GHz 帯 FMCW レーダモジュールを正面に設置し、レーダ生体信号を取得した。また、被験者には Electrocardiogram (ECG) を用いて参考心拍を同時に取得をした。測定は 60 秒間行い、20 秒

間の観測ウィンドウで分析をし周波数領域にて比較を行った。

4. 結果及び考察

図 2(a), (b)及び(c)に, ECG データの周波数スペクトラム, DWT-BPF 処理後の周波数スペクトラム及び BPF 通過帯域適応後の周波数スペクトラムを示す。DWT-BPF の結果(図 2(b)参照), 心拍の周波数自体の検出はできたが, 1 Hz 付近に大きなピークが存在している。これは体表面の動きから心拍周波数を検出しているため, 呼吸の動きの周波数もデータには含まれる。そこから発生する呼吸の 2 次高調波が BPF の通過帯域に含まれるため, 測定結果の SNR が劣化した。一方, BPF 通過帯域適応後の周波数スペクトラム(図 2(c)参照)では, 通過帯域を心拍とされる周波数ピークから $\pm 0.38\text{Hz}$ の値で狭めることで, 高調波は波形の中には含まれておらず, SNR が改善されていることが分かる。

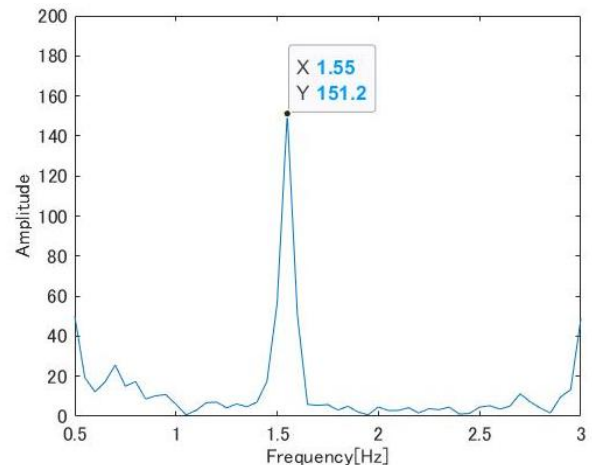
5. まとめと今後

本研究では 77GHz 帯 FMCW レーダによる DWT 及び BPF を用いた心拍推定を行った。結果より呼吸信号の高調波が心拍の周波数の帯域に含まれるため通過帯域の調整を行った。個人によって呼吸の周波数及び心拍の周波数は 0.1 Hz~0.6 Hz 及び 0.8 Hz~2.0 Hz と異なることから, BPF の仕様を心拍データに対し適応的に可変するアルゴリズムの検討する予定である。

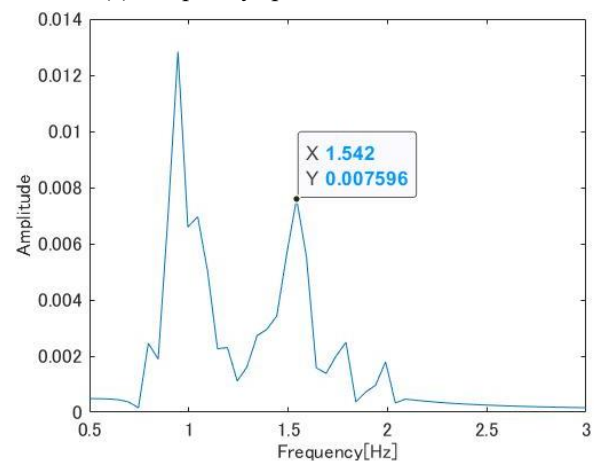
6. 参考文献

- [1] 佐藤 駿佑, 胡 堯坤, 戸田 健: 「ミリ波センサによる離散ウェーブレット変換及びバンドパスフィルタを用いた多方向からの心拍推定の一検討」, 2020年 IEICE ヘルスケア・医療情報通信技術研究会 (MICT) 第3回, 4 November 2020.
- [2] 胡 堯坤, 佐藤 駿佑, 戸田 健: 「ミリ波レーダによる ICEEMDAN を用いた多方向からの心拍推定の一検討」, 2020 年 IEICE ヘルスケア・医療情報通信技術研究会 (MICT) 第 3 回, 4 November 2020.
- [3] C. Bhagavatula, S Venugopalan, R Blue, R Friedman, M. O. Griofa, Marios Savvides and B.V.K.Vijaya Kumar., "Biometric Identification of Cardiosyn-chronous Waveforms Utilizing Person Specific Continuous and Discrete Wavelet Transform Features," 2012 Annual Int'l Conf. of the IEEE Eng. in Med. and Bio. Soc., San Diego, CA, USA ,pp. 4311 - 4314 ,12 Nov. 2012
- [4] M. Alizadeh, G. Shaker, J. Carlos Martins De Alimeida, P. Pelegrini Morita and S Safavi-Naeini.: 「Remote Monitoring of

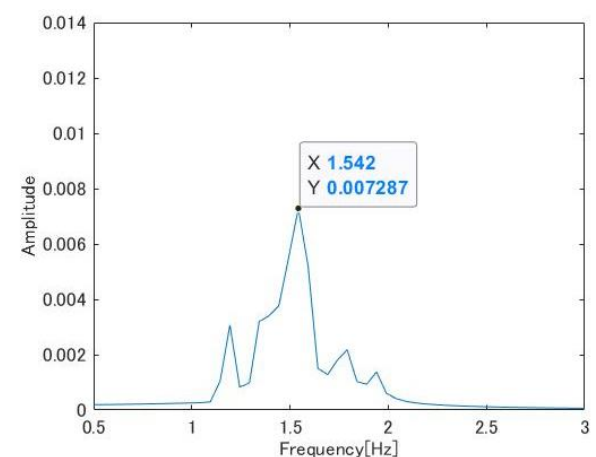
Human Vital Signs Using mm-Wave FMCW Radar」 IEEE Access, Vol.7 pp. 54958-54968, Apr 2019.



(a) Frequency spectrum of ECG data



(b) Frequency spectrum after DWT-BPF processing



(c) Frequency spectrum after BPF passband adaptation