

睡眠時における顔領域の赤外線動画に基づく心拍変動リズム推定 Estimation of Rhythms Related to Heart Rate Variability Using Infrared Videos in Face Regions during Sleep

前田 誠[†]
Makoto Maeda

1. はじめに

日々の睡眠を管理するには、睡眠中の心拍や呼吸などの生体情報を手軽に蓄積することが求められる。そのため、睡眠中の被験者から非接触・無拘束で生体情報を抽出する手法の開発が盛んに取り組まれている[1]。

本研究は睡眠中の被験者を赤外線カメラで撮影し、その画像から非接触・無拘束で心拍変動リズムを推定することを目的とする。心拍変動リズムの推定には心拍情報の抽出精度が重要であり、本稿ではその心拍情報抽出において、いくつかの精度改善法を提案する。

評価実験として 2 名の被験者に約 60 分間ベッドで昼寝をしてもらい、上部から赤外線カメラで撮影する睡眠実験を行った。同時に心電図も計測し、カメラから抽出される心拍情報の精度について評価した。提案手法では心拍に関連すると考えられる信号成分を特定し、そのピーク間隔時系列を取得する。本改善法では、その時系列データのリサンプリング処理を通して解析することを提案しており、心拍変動リズムの推定精度への影響について考察する。

2. 心拍情報抽出法

2.1 ICA に基づく心拍情報抽出

本研究では ICA に基づく心拍情報抽出法[3]を開発している。最初に顔領域から時系列信号を得る。各フレームの赤外線画像に対して、肌露出が多い顔領域を検出し、その小領域中に含まれる画素値の空間平均を求める。これをフレームごとに繰り返すことで時系列信号を得る。

ここで顔領域を 9 つの小領域に分け、各小領域から時系列信号 X_1, \dots, X_9 を得たとする。これらは、呼吸、心拍、体動、雑音等が起因して生じたとされる任意の数の原信号が重畳し観測された信号であると考えられる。そのため、ICA 処理により独立した 9 つの成分 Y_1, \dots, Y_9 に分離した場合、そのいずれかのチャンネルに心拍情報が含まれていると考えられる。そこで時間周波数解析を通して 0.5~1.2Hz 帯域に成分を持つ信号を心拍由来の成分として特定する。なお、ここでは 9 領域として説明を進めたが、その数や小領域の場所については検討する余地がある。

2.2 心拍成分のピーク間隔時系列解析

前述で特定したチャンネルから心拍成分を抽出するために、前処理として 0.5-1.2Hz のバンドパスフィルタを適用し、ピーク検出を行う。その時間間隔は心拍間隔と関連する情報であると考えられるため、その時間間隔を算出する。

一般にそのピーク間隔時系列は不等間隔時系列データであり、従来は等間隔データと見なして周波数解析処理を行っていた[3]。本稿では、3 次スプライン補間によりその時

系列データのリサンプリング処理を行うことで等間隔時系列データに変換する。これにより正確な周波数解析が実施できると考えられる。そのため、心拍変動リズムの指標として知られる、副交感神経が優位か、交感神経が優位かのバランスを示す LF/HF[2]を算出することが可能となる。

3. 実験

3.1 実験方法

本実験では約 60 分間の昼寝実験を通して心拍変動リズム解析に必要なとされる心拍情報抽出実験を試みた。2 名の成人男性にベッドに仰向けの状態で寝てもらい、そのベッド上部から撮影した。暗い室内でも撮影できるように赤外線カメラを使用した。

一方、撮影と同時に、胸部に電極を装着し心電図も計測した。このとき、R 波の時間間隔である RR 間隔も算出することで、この RR 間隔時系列データを真の心拍間隔情報として、本手法で得られる情報との比較を行った。

3.2 実験結果

本実験では、被験者の顔領域から、頬、眉間などの 9 つの小領域を設定し、その各領域から時系列信号を得た。また、ICA の解析には、これら全チャンネルを利用する方法と比較的安定して肌領域を取得しやすい 5 領域を選択して実施する方法に基づいて解析した。今回実験した中では、5 領域を選択して解析した方が、分離される独立成分に心拍成分が明確に表れる傾向にあることを確認した。そのため、以降では 5 領域に対する結果を示していくことにする。

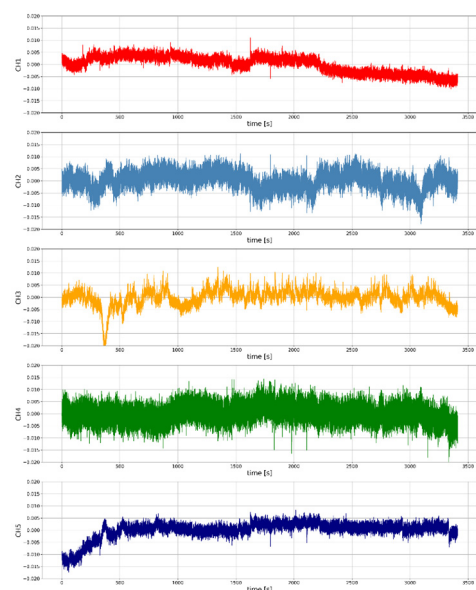


図 1 ICA 処理後の 5 チャンネルの時系列信号

[†]九州産業大学 理工学部 Kyushu Sangyo University

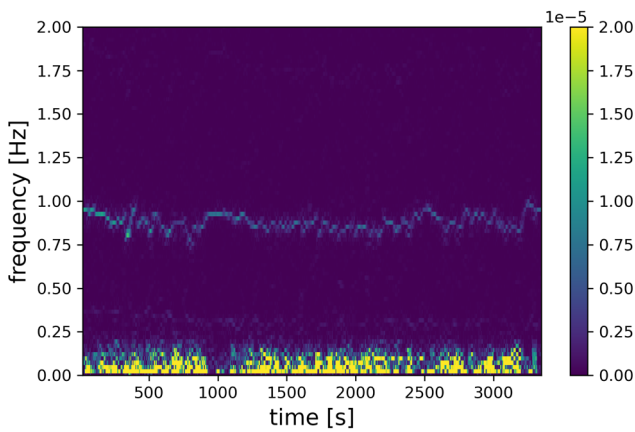


図 2 CH3 の時間周波数解析結果

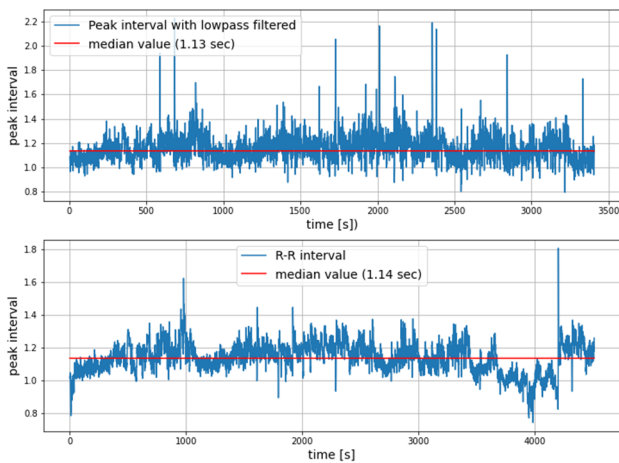


図 3 ピーク間隔時系列 (上段) と RR 間隔時系列 (下段)

まず、ICA 処理後の 5 チャンネルの独立成分を図 1 に示す。これらの時系列信号に対して時間周波数解析を行ったところ、図 2 に示すように CH3 において 0.75-1.00Hz 帯域に鮮明な心拍成分が出現することを確認した。そこで、以降ではこの成分を心拍関連信号として参照することにする。

続いてピーク間隔時系列解析を行った。心拍関連信号に 0.5-1.2Hz のバンドパスフィルタを適用し、ピーク検出を行った。そのピーク間隔時系列を図 3 上段に示す。また、同図下段には心電図から算出された RR 間隔時系列を示す。なお、両者ともリサンプリング処理を行うことで等間隔時系列データに変換している。正しく心拍情報が抽出できているならば、両者の心拍情報は一致する傾向になるはずである。したがって、これより算出される LF/HF リズムも同一の傾向を示すはずである。そのため、ここでは RR 間隔に対応するピーク間隔時系列を抽出できるかが本質的な課題となる。

両時間間隔データのヒストグラムをとると、心拍関連信号から算出したピーク間隔の方が分散が大きい傾向にあった。しかし、最頻度はほぼ一致しており、その中央値を図 3 中に赤線で示す。両者の誤差は 0.01sec であり平均心拍間隔については高い精度で推定できていると言える。

次に両時系列データの相互相関について比較する。ばらつきがあるため、遮断周波数 0.4Hz のローパスフィルタを

適用し、すなわち 2.5sec 間隔の変動について解析してみると最大で 0.31 の相関があった。さらに、5sec, 10sec, 20sec 間隔の変動について解析すると、各々最大で 0.43, 0.54, 0.62 と相関が上昇する傾向にあった。最も相関が高かった 20sec 間隔の時間変動について両者を重ねて描画したものが図 4 である。この図よりほぼ一致する心拍間隔の時間的推移を推定できていることが確認された。つまり、このことは、カメラから抽出した心拍情報に基づいて心拍変動リズムの推定を可能にするものであることを示唆している。

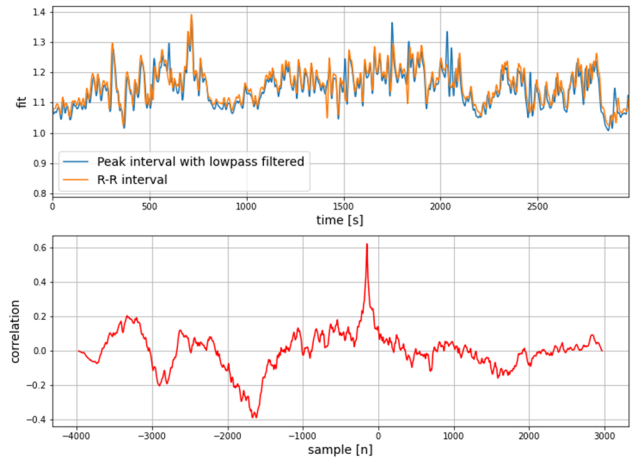


図 4 ピーク間隔時系列(青)と RR 間隔時系列(橙) (上段) と両者の相互相関関数 (下段)

4. おわりに

睡眠中の被験者を赤外線カメラで撮影し、その画像から非接触・無拘束で心拍変動リズムを推定するために、本稿では開発中の心拍情報抽出法において、いくつかの精度改善法を提案した。被験者に約 60 分間ベッドで寝てもらい、胸部から心電図を計測しながら、上部から赤外線カメラで撮影する睡眠実験を行い、精度評価を行った。

提案法において ICA で心拍に関連する信号成分に分離する際、比較的安定して肌領域を取得しやすい 5 領域を選択して実施した場合、心拍成分が明確に表れる傾向にあることを確認した。さらにピーク間隔時系列を取得する際、その時系列のリサンプリング処理により等間隔時系列データに変換した上で解析することで、心拍間隔の時間変動の推定精度が大幅に向上することを確認した。このことは心拍変動リズムの推定精度を向上するものであると言える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 20K12773 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] S. Tulyakov et al., "Self-Adaptive Matrix Completion for Heart Rate Estimation from Face Videos under Realistic Conditions", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.2396-2404 (2016).
- [2] Shaffer Fred, Ginsberg J. P., "An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms", Frontiers in Public Health, Vol.5, pp.1-17 (2017).
- [3] 高木 駿, 前田 誠, "睡眠時における顔領域の赤外線画像に基づく心拍関連情報の抽出", FIT2019, pp.257-258 (2019).