

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

Extraction of Some Information Related to Heart Rate from Infrared Images in Face Regions during Sleep

高木 駿[†]
Shun Takaki前田 誠[†]
Makoto Maeda

1. はじめに

睡眠は、脳と体に休息を与え、ホルモンバランスを調整し免疫力を高める効果などがある。そのため、日々の睡眠において、その質を確保することが重要である。しかし、その質を評価するためには、日々の睡眠を管理する必要があり、ヘルスケアの重要課題の一つとされる[1]。

特に心拍情報を蓄積することは、日々の睡眠リズムに関連する情報を得ることができることから高精度な心拍情報が求められるため、様々な研究が行われている[2]。近年は、腕時計型のデバイスを身に付けて心拍数などを計測し、睡眠状態を推し測る装置も開発されつつある。しかし、その拘束感により睡眠時に寝苦しさを与えるといった問題がある。

そこで、本研究では睡眠中の被験者を赤外線カメラで撮影し、非接触・無拘束で心拍関連情報を抽出する手法を開発している。本稿では、顔領域の複数の小領域から抽出される信号に対して独立成分分析(以降、ICA と書く)を行い、心拍関連情報を抽出する処理手法を提案し、その有効性について検証する。

2. ICA に基づく心拍関連情報抽出

まずは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、肌が露出している顔領域を検出し、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。

例えば、顔の 4 つの小領域から時系列信号 X_1, \dots, X_4 を得たとすると、これらには図 1 の模式図が示すように、 S_1, \dots, S_4 を原信号とする呼吸、心拍、体動、ノイズ等が相互に影響し重畳しながら観測されると考えられる。そのため、ICA 処理を施すことで、独立した 4 つの成分 Y_1, \dots, Y_4 に分離した場合、そのいずれかに心拍由来の成分が含まれると考えられる。

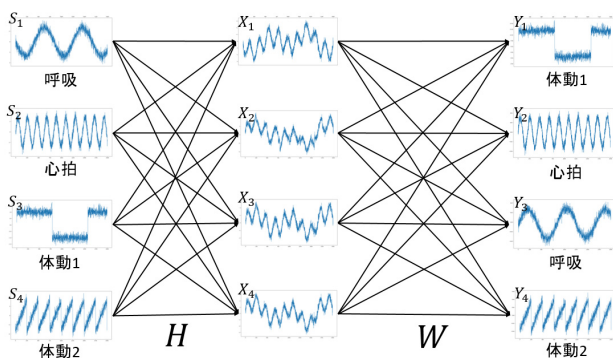


図 1 心拍関連情報抽出の模式図

しかし、ICA にはスケール不定性と成分置換の問題が存在するため、このままではどれが心拍由来の成分であるか判定できない。そのため本手法では時間周波数解析により心拍由来の成分を特定し、それを心拍信号とみなす。

3. 実験

3.1 実験方法

本実験では 10 分間の昼寝実験を通して心拍抽出を試みた。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、デジタル脳波計を用いて心電図を計測し、その R 波の時間間隔である RR 間隔も算出した。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比較した。

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 7 つの小領域を設定し、その各領域から時系列信号を得た。この 7 チャンネルの時系列信号に対して、前述した ICA 処理を通して 7 つの独立した成分に分離した。

図 2 に ICA 処理後の 7 チャンネルの時系列信号 Y_1, \dots, Y_7 を示す。この図よりスケール不定性問題により振幅だけで心拍由来の成分を特定できないことがわかる。

次に、これら 7 チャンネルの信号に対して時間周波数解析を行った結果、各信号に含まれる周波数成分に違いがあることが確認された。その中で心拍情報と考えられる、0.8 ~ 1.2 Hz 帯域に揺らぎが確認された一つの信号を特定した。その信号の時間周波数解析結果を図 3 に示す。横軸は時間 [sec]、縦軸は周波数 [Hz] を示している。この信号は心拍由来の成分と仮定し、以降、心拍関連信号と呼ぶことにする。

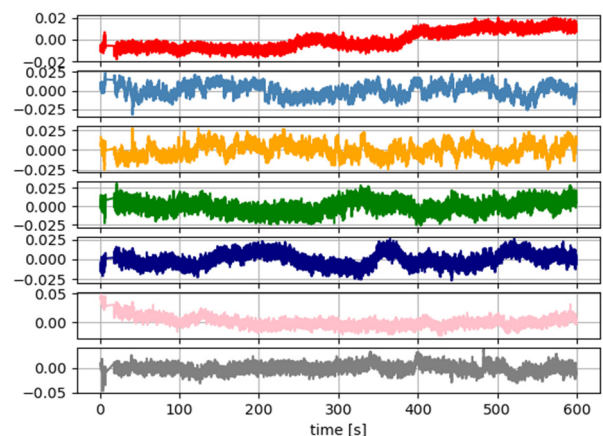


図 2 ICA 処理後の 7 チャンネルの時系列信号

†九州産業大学 情報科学部 Kyushu Sangyo University

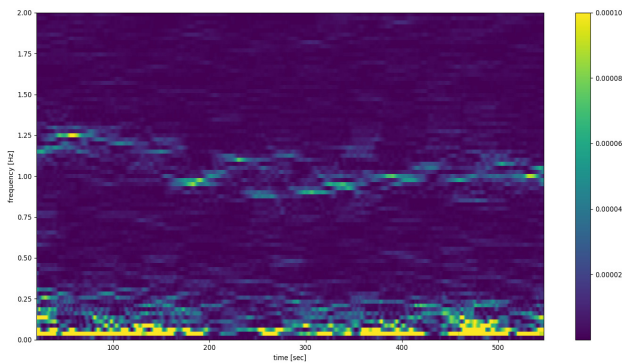


図3 心拍関連信号の時間周波数解析結果

最後に、この心拍関連信号からピーク検出を行い、その時間間隔を算出した。ただし、心拍関連信号には心拍以外の周波数成分も含まれていることから、前処理として0.5-1.2Hzのバンドパスフィルタを適用した。正しく心拍関連情報が抽出できているならば、真の心拍関連情報と一致する傾向になるはずである。

図3に、その比較結果を示す。横軸は時間[sec]、縦軸はピーク間隔(RR間隔)[sec]を示している。上段が心拍関連信号から算出されたピーク間隔時系列データ、下段が真のRR間隔時系列データを示している。これらのピーク間隔データのヒストグラムをとったところ、図5のような結果となった。心拍関連信号から算出されたピーク間隔時系列データの方がばらつきがあるが、最頻度はほぼ一致していることが確認できる。また、このヒストグラムより中央値を計算し、それを図4に赤線で示した。両者の誤差は0.02secであった。すなわち平均心拍間隔については高い精度で推定できていることがわかる。

一方、両者の時系列の相互相関をとると0.53という結果であった。10分の中で比較的相関が高いと考えられる時間帯150~200secの時系列を重ねて描画したものが図6である。この図より完全に一致した結果とまではいかないものの、大まかに一致した時間的推移が確認できる。

以上のことから、ICAにより信号抽出した信号には心拍関連情報が含まれている可能性が高いことがわかる。これにより、赤外線カメラで撮影し、非接触・無拘束で心拍関連情報抽出は可能であると考えられる。

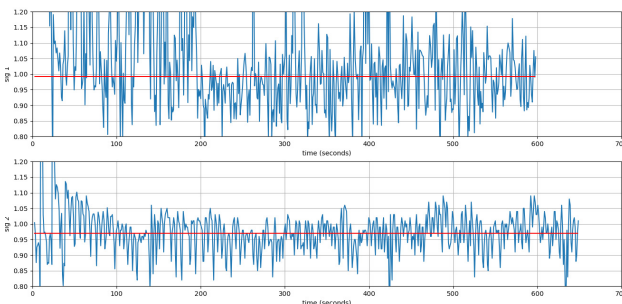


図4 ピーク間隔時系列データ(上段)とRR間隔時系列データ(下段)

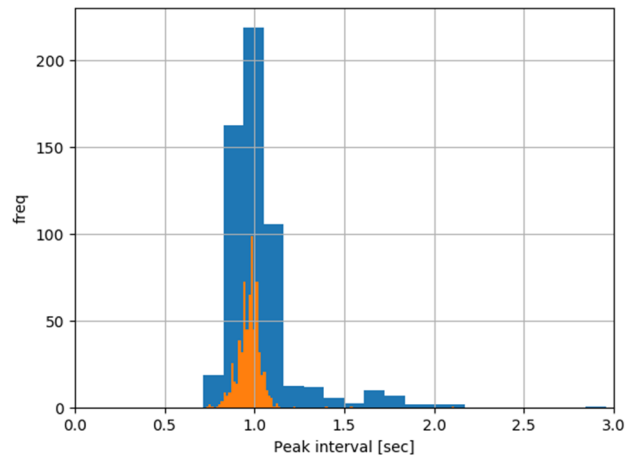


図5 ピーク間隔データのヒストグラム(ピーク間隔時系列データ(青)とRR間隔時系列データ(橙))

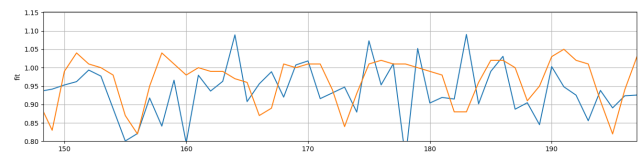


図6 時間帯150~200secにおけるピーク間隔時系列データ(青)とRR間隔時系列データ(橙)

4. おわりに

本研究では、心拍関連情報抽出のための一つの信号処理手法を提案した。提案手法では、顔領域中の7つの小領域から時系列信号を取得し、これらにICA処理を施すことで7つの独立した成分に分離した。現在自動判別するまでには至っていないが、時間周波数解析を行うことで心拍に関連すると考えられる一つの信号を抽出した。同時にその他のチャンネルについては異なる周波数を含む信号も検出できた。これらのことは心拍以外にも呼吸などの情報を抽出できる可能性を秘めていると考える。

一方、特定した一つの信号について解析を進めたところ、そのピーク間隔時系列と心電図から算出されるRR間隔時系列とは比較的高い相関値を持つことが確認できた。さらに、平均心拍間隔についても高精度で推定できており、本手法の有効性が確認できた。

今後は、被験者の数を増やして検証を追加したり、睡眠実験の時間を長くすることで長期的な心拍間隔の推移を調査したりしていくことが望まれる。

謝辞

本研究は、本学卒業生である大木将也氏が実装したプログラムを発展させ解析を進めたものである。彼の多大なる貢献に感謝の意を申し上げる。

参考文献

- [1] 西野 精治, “スタンフォード式最高の睡眠”, サンマーク出版 (2017).
- [2] 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).