

皮膚の輝度変化を用いたカメラ映像による心拍数推定

坂巻 燎† 藤田 悟‡

法政大学大学院 情報科学研究科† 法政大学 情報科学部‡

1. 初めに

近年、カメラの高性能化に伴い、手軽に高品質な動画が撮影可能となった。これによって、皮膚の輝度変化といった僅かな変化を動画から捉えることができるようになった。本研究では、自然光の下で撮影したカメラ映像から心拍数を推定する方法について述べる。

2. 関連研究

関連研究の推定方法は、まず撮影した皮膚の動画の一部を取り出す。次にその領域内の各色における平均輝度を求め、独立成分分析を用いて信号分離を行う。そして、分離した信号の中で最も周期性がある信号に対しフーリエ変換を行い、振幅スペクトルの1.0Hz帯にあるピークを検出する。最後に、検出したピークのうち最も高いピークを選び、その周波数を心拍数に変換した値を推定結果としている[1]。また、ヘモグロビンの吸光特性を用いて、独立成分分析の代わりに動画の緑色成分に対して処理を行う方法もある[2]。

しかし、ノイズが多い状況下では1つの領域で推定する方法やフーリエ変換後のピーク検出で最大のピークのみを選ぶ方法は誤った結果を出す可能性がある。

3. 推定方法

3.1 心拍数の推定

本研究での推定方法には動画の緑色成分を用いる。 x, y, w, h を画像の x 座標, y 座標, 取り出す領域の横幅, 縦幅とし, $V(t, x, y)$ を時刻 t , 座標 x, y における動画の輝度とすると, 時刻 t における領域内の平均輝度 $M(t, x, y, w, h)$ は式(1)で表される。

$$M(t, x, y, w, h) = \frac{1}{wh} \sum_{x'=x}^w \sum_{y'=y}^h V(t, x', y') \quad (1)$$

式(1)を用いると時間区間 $[t_0, t_1]$ での平均輝度列 S は式(2)で表される。

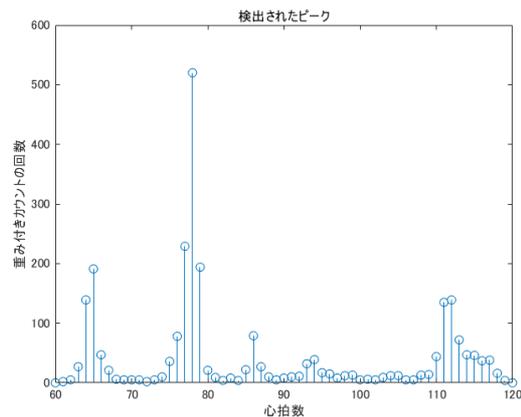


図 1 検出されたピーク

$$S = [M(t_0), M(t_0 + 1), \dots, M(t_1)] \quad (2)$$

次に、式(2)で得られた S に対して傾き除去すなわち、 S から S との2乗誤差が最小となる近似曲線を引く。これを行うことで直流成分が時間的に変化している場合でも直流成分を0にすることができる。そして、離散フーリエ変換を行い、対数振幅スペクトルのピークを求めることで心拍数を推定する。しかし、関連研究のように単一のピークや単一の皮膚の領域のみで心拍数を推定すると誤る可能性がある。

そこで、まず調べる領域を n 分割し、各領域に対して平均輝度列を求め、離散フーリエ変換を行い、ピークを検出する。次に、検出したピークの周波数についてピークの高い順にソートする。ここで、 i 番目の領域における周波数 f_j のソート後のインデックス番号を得る関数を g_i とする。この関数は f_j がソート後のリストに含まれていればインデックスを返し、それ以外は $+\infty$ を返す。そして、関数 g_i を用いて重み付きのカウントアップをする。式(3)は f_j のカウントの値を得る式である。

Heart Beat Rate Estimation from Skin Brightness

† Ryo Sakamaki, Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

‡ Satoru Fujita, Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University

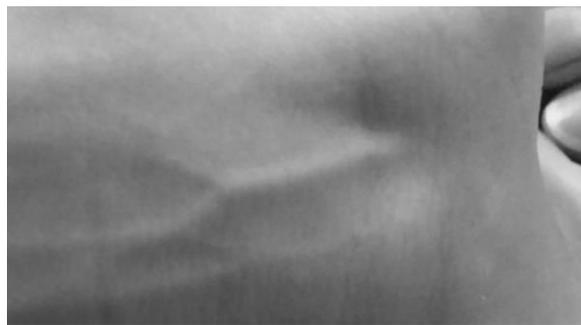


図 2 撮影した皮膚の領域

$$C(f_j) = \sum_{i=1}^n \alpha^{g_i(f_j)} \quad (3)$$

ただし、 α は $\alpha \in (0,1]$ を満たす定数を表している。最後に、式(3)で得られた $C(f_j)$ が最大になる周波数に 60 を掛け心拍数に直した値を推定された心拍数とする。図 1 は検出されたピークの一覧を表し、横軸が心拍数、縦軸がカウンター値を表している。図 1 の場合、78bpm での値が最も大きいため、推定された心拍数は 78bpm となる。

3.2 手振れの検出

心拍数を推定する際、大きな手振れを起こす可能性があり、そのような時間区間は取り除く必要がある。手振れの検出には平均輝度列 S の最大値から最小値を引いた値 v_1 と標準偏差 v_2 が閾値以内であれば大きな手振れを起こしていないと判定する。また、閾値の決定としてサポートベクターマシンを用いる。そして、推定値と測定値の誤差が 3bpm 以内かどうかで境界面を決め、その境界の値を閾値とする。

3.3 システム全体の処理

撮影した動画像から推定される最終的な結果は次のようにして決定する。まず、区間 $[t_0, t_1]$ における切り出す領域と周辺領域の平均輝度列を用いて 3.2 章の方法で手振れの検出を行う。次に、閾値以下であれば 3.1 章の方法で心拍数の推定を行う。その区間で推定した後あるいは手振れの検出で閾値以上だった場合は、時刻 dt だけシフトした区間 $[t_0 + dt, t_1 + dt]$ に対して推定を行う。この処理を N 回繰り返し、その平均を最終的な推定結果とする。

4. 実験内容

実験に用いたカメラは iPhone8、動画解像度は 1080p、フレームレートは 240fps で撮影した。心拍数測定には checkme lite を用いた。推定する心拍数の幅は 60bpm から 120bpm とし、式(3)の α の値は 0.1 とした。手振れを検出するための閾値

表 1 推定の比較

	測定値	今回の推定方法	関連研究の推定方法
1	78	77	70
2	76	79	86
3	70	69	69
4	73	73	73
5	77	74	78
6	74	75	75
7	77	80	73
8	79	80	77

として、 v_1 の閾値は 3.62、 v_2 の閾値は 1.0 とした。また、心拍数推定に用いる区間の長さは 10 秒、時刻のシフト量 dt は 0.5 秒、推定を繰り返す回数 N は 10 とした。そして、撮影する皮膚の領域として左手首の血管付近を取り出した。図 2 は撮影した皮膚の領域を表している。

5. 実験結果

表 1 は推定実験の結果を表している。表の値は動画番号を除き全て bpm である。表 1 の 1 列目は撮影した動画の番号、2 列目は checkme lite で測定した心拍数、3 列目は 3 章の方法を用いて推定した心拍数、4 列目は関連研究と同じように 1 領域のみで推定した結果を表している。表 1 より、今回の方法での測定値との誤差は 3bpm 以内であった。また、表 1 の 3 行目を見ると、測定値が 76bpm であったことに対し今回の推定方法での結果は 79bpm、1 領域のみで推定する方法は 86bpm であった。このことより、1 領域のみでは大きく推定が外れてしまう場合でも、複数の領域を用いれば測定値に近い値を推定できることが分かった。

6. まとめ

本研究では、自然光の下で撮影したカメラ映像から心拍数を推定する方法について述べた。推定実験の結果、測定値との誤差は 3bpm 以内であった。また、推定に用いる皮膚の領域を 1 つにするよりも複数の領域にする方が測定値に近い値を推定できることが分かった。

参考文献

- [1] Wiede, Christian et al, “Remote Heart Rate Determination in RGB Data - An Investigation using Independent Component Analysis and Adaptive Filtering”, ICPRAM (2016).
- [2] 渡辺陵椰ほか, “可視光カメラを用いた脈拍測定における関心領域の考察”, 第 32 回信号処理シンポジウム講演論文集 (2017).