

4K 顔映像を活用した非接触心拍推定法の精度評価

安丸昌輝^{†1} 横山怜汰^{†1} 程正雪^{†1} 金井謙治^{†1} 甲藤二郎^{†1}

概要: 近年, IoT (Internet of Things) の普及に伴い, カメラやセンサを用いた不審行動の検出に映像監視システムが広く用いられている. このような映像監視システムにおいて, 非接触心拍数測定は, 異常行動や不審人物を予測するために必要な技術である. 本論文は以下の3項目から成り立っている. まず, 6つの心拍波形取得法と2つの心拍計測法の精度を比較する. 次に, 前項で最も良い精度を示す心拍波形取得法を基に, 新たな心拍波形取得法を提案し, 精度の比較を行う. 最後に, RGB カメラの画像解像度が計測精度に及ぼす影響について調査を行い, 実際のシナリオにおける監視カメラの必要条件について検討する.

キーワード: 心拍計測, RGB カメラ, 独立成分分析(ICA)

Accuracy Evaluations of Non-contact Heart Estimation Methods using 4K Facial Images

MASAKI YASUMARU^{†1} RYOTA YOKOYAMA^{†1} ZHENGXUE CHENG^{†1}
KENJI KANAI^{†1} JIRO KATTO^{†1}

Abstract: Recently, with the spread of Internet of Things (IoT), a video surveillance system is widely used to detect abnormal activity using cameras and sensors. In such video surveillance system, non-contact heart rate measurement is a highly required technology to predict the occurrence of abnormal activities and suspicious humans. In this paper, our main contributions can be summarized into two aspects. First, we compare the accuracy performance of heart rate measurement using six heart beat waveform acquisition methods and two heart rate calculation methods. Next, based on the heart beat waveform acquisition method showing the best accuracy in the previous section, we propose a new heart beat waveform acquisition method and compare its accuracy. Finally, we discuss the influence of image resolutions of RGB cameras on accuracy performance, to validate the requirement for surveillance cameras in realistic scenarios.

Keywords: Heart beat measurement, RGB camera, Independent Component Analysis

1. はじめに

近年, Internet of Things (IoT) の普及に伴い, カメラやセンサを用いた異常動作を検出する映像監視システムの開発が進んでいる. 特に, 2020年東京オリンピックの緊急システムと防犯意識の向上に伴い, より高い信頼性で不審物や要注意行動を検知する高精細な映像監視システムの需要が高まっている. 本稿では, 高精細映像から心拍数や交感神経の状態から不審人物の活動を特定することを目的に, 計12種類 (=6×2) の異なる非接触心拍数測定法 (心拍波形を抽出する6つの手法および心拍数計算の2つの手法) を紹介する. また, それらの中でも最も正確な手法に焦点を当て, 480x270 から 4K までの入力解像度を変化させ精度比較することで, 高精細画像の有効性を検証する.

2. 関連研究

ヒトの皮膚は表皮と真皮に大別され, 皮膚の色はこれらの2つによって表される. 具体的には, 表皮に含まれるメラニンと真皮に含まれる血液中のヘモグロビンが肌の色を構成している. これに基づいて Okada ら[1]は, 独立成分分

析(ICA)を用いて顔画像からヘモグロビン色素成分を分離し, その時間変化から脈波を取得している. その波形の時間領域解析, 周波数領域解析, 非線形解析, 血流から得られる27個の特徴量に基づき, 感情推定を行う.

3. 心拍波形抽出法

本稿では, 6つの非接触心拍波形取得法と2つの心拍数計算法を使用し, 4K画像を用いて精度比較評価を行う. 心拍波形取得の前処理として, まず, 顔画像のROI (Region of Interest) 領域を目下から鼻までの範囲に設定する. この領域内のRGBの平均輝度値を計算し, 映像フレームごとに計算を行うことにより, 各チャンネルの平均輝度値の時系列データを得る. その後, 6種類の心拍推定手法を適用して心拍波形を抽出する. 以下に各手法をまとめる.

3.1 JadeICA

Karim ら[2]はJadeICAを用いた心拍波形抽出法を提案している.

- 1) まず, RGB時系列データを $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$ と定義し, [3]のアプローチを基に, 傾きを除去する. その後, 式(1)を用いて信号を正規化する.

^{†1} 早稲田大学基幹理工学研究科情報理工・情報通信専攻
Dept. of Computer Science and Communication Engineering, Waseda

University

$$y'_i(t) = \frac{y_i(t) - \mu_i}{\theta_i} \quad (1)$$

ここで μ_i と θ_i は信号 y の平均値と標準偏差を示し、 i は RGB カラーチャンネルを示す。

- 2) $y'_{1\sim 3}$ を入力とし、JadeICA を用いて 3 つの独立信号を生成する。
- 3) 3 つの独立信号に高速フーリエ変換 (FFT) を適用し、45~180 bpm (0.75~3 Hz) の範囲内で最高ピークを表す信号を抽出する。
- 4) 最後に、5 点の移動平均フィルタで平滑化し、カットオフ周波数 0.75~3 Hz としたバンドパスフィルタを適用し、心拍波形を抽出する。

3.2 G チャンネル

血液中のヘモグロビンは光の緑色成分を吸収する特性を有する。これを基に [4] では、G チャンネル信号の時系列のみから心拍波形を取得する。

- 1) G の時系列データの傾きを [3] の手法を用いて削除した後、式 (1) を用いて信号を正規化する。
- 2) カットオフ周波数を 0.75~4 Hz のバンドパスフィルタを適用し、得られた信号を心拍波形とする。

3.3 G チャンネルの積算値

[4] と同様に、[5] は単純な G チャンネルではなく、G チャンネルの輝度差の積算値を使用している。

- 1) G の時系列データの傾きを [3] の手法を用いて除去し、式 (1) を用いて信号を正規化する。
- 2) 次に、N 番目のフレームの G の輝度値を取得後、N 番目と N-1 番目のフレームの輝度差を算出する。そして、輝度値の差分を各フレームに積算する。この計算をフレームごとに繰り返すことによって時系列データを取得する。
- 3) 得られた時系列データにカットオフ周波数を 0.75~4 Hz のバンドパスフィルタを適用し、得られた信号を心拍波形とする。

3.4 R と G チャンネル

[4] を拡張して、光吸収特性の低い G 成分 (波長約 525 nm) と R 成分 (波長約 700 nm) を用いて心拍波形を取得する。0.5~4 Hz 以外の成分 (カメラセンサによって生じるノイズ) を補正するため、G 成分から R 成分を減算することでノイズ成分を除去し、脈波成分のみを抽出する。

- 1) R と G の時系列データの傾きを [3] の手法を用いて除去し、式 (1) を用いて信号を正規化する。
- 2) また、G, R 成分 (G_s, R_s) は、以下の式で表すことができる。

$$G_a = G_s + G_n \quad (2)$$

$$R_a = R_s + R_n \quad (3)$$

ここでの G_s と R_s は G, R チャンネルの脈波成分、 G_n と R_n は G チャンネル, R チャンネルのノイズ成分を表す。G 成分から R 成分を減算することにより、式 (4) で定

義される感度差 k を算出し、脈波成分 S を式 (5) のように定式化することができる。

$$k = \frac{G_n}{R_n} \quad (4)$$

$$S = G_a + kR_a \quad (5)$$

式 (5) を式 (2), (3), (4) を用いて変形すると以下のようになる。

$$S = G_a + \frac{G_n}{R_n} R_a \quad (6)$$

ここで、G 信号と R 信号は、ヘモグロビンの吸収特性が異なり、 $G_s > (G_n / R_n) * R_s$ の条件を満たす。したがって、脈波成分 S は、式 (6) を用いて算出することができる。

- 3) 脈波成分 S にカットオフ周波数を 0.75~4 Hz のバンドパスフィルタを適用し、心拍波形を取得する。

3.5 FastICA 及び IVA

[2] を拡張し、JadeICA を FastICA と IVA (Independent Vector Analysis) に置き換えて、3.1 節のステップ 2 で 3 つの独立した信号に分離する。他のステップ (ステップ 1, 3, 4) は 3.1 節と同様である。

4. 心拍数の計算

これらの手法を用いて心拍波形を取得した後、以下に説明する zero-crossing と FFT の 2 つの方法を適用して心拍数 (HR) を計算する。

・Zero-crossing

この手法では、まず、抽出された心拍波形データを微分し、その結果からゼロ交差点を見つける。その後、ゼロ交差点を R 波と仮定し、隣接する R 波間の間隔 (RRI : RR-Interval) の平均値を計算する。最後に、心拍数を 1 分間に正規化し、式 (7) によって定式化する。

$$HR = \frac{60}{RRI} \quad (7)$$

・FFT

ここでは、抽出された心拍波形データに FFT を適用し、その結果から最高のピークを見つける。その後、ピークの値を Hz から bpm に変換し、心拍数を得る。

5. 心拍波形抽出法の精度評価

前述の 12 手法 (心拍波形抽出法と心拍数計算法の組み合わせ (6×2)) の精度を評価する。評価には、被験者が安静な状態にあるものが 4 つ、激しい運動をした後の状態が 4 つの計 8 つの異なる状況のテストシーケンスを使用する。パナソニック製 AW-UE70W [6] 4K ネットワークカメラを使用して、被験者は座り、カメラから約 30cm 離れた状態で撮影を行った。ビデオ解像度は 4K、長さは 30 秒、フレームレートは 30fps である。心拍数の真値を得るために、撮影と同時にパルスオキシメータ [7] を用いて心拍数を測定す

る。シーケンスをキャプチャした後、3,4節で説明した12種類の非接触心拍数測定法を適用する。各シーケンスにお

ける zero-crossing および FFT による心拍数評価の結果を表 1,2 に示す。

表 1 6つの手法に zero-crossing を用いた心拍数推定結果
Table 1 Heart rate estimation results using zero-crossing for six methods

シーケンス	pulse oximeter	JadeICA	Gチャンネル	G積算	R, Gチャンネル	FastICA	IVA
安静(1)	87	91.1	64.7	64.7	82.4	74.9	84.5
安静(2)	109	109.2	107.1	107.0	109.2	88.5	85.8
安静(3)	93	96.1	88.4	88.2	95.8	85.2	93.0
安静(4)	95	92.6	93.0	93.9	92.8	72.7	76.2
運動(1)	142	98.0	77.4	75.1	114.0	83.7	92.3
運動(2)	117	116.4	93.1	90.8	114.2	75.5	91.4
運動(3)	138	110.7	93.7	93.0	121.7	86.0	122.5
運動(4)	121	117.3	101.8	101.7	110.6	89	87.0

表 2 6つの手法に FFT を用いた心拍数推定結果
Table 2 Heart rate estimation results using FFT for six methods

シーケンス	pulse oximeter	JadeICA	Gチャンネル	G積算	R, Gチャンネル	FastICA	IVA
安静(1)	87	90	90	78	36	90	36
安静(2)	109	110	56	62	110	110	110
安静(3)	93	96	96	92	38	96	38
安静(4)	95	92	48	70	92	92	92
運動(1)	142	102	140	50	40	40	40
運動(2)	117	112	62	56	38	112	38
運動(3)	138	142	136	48	32	114	32
運動(4)	121	122	52	89	40	122	40

表 2 から、zero-crossing の場合、JadeICA 法と RG チャンネル法との差が全てのシーケンスにおいて高い精度を示すことが確認できた。表 2 から、FFT の場合、JadeICA はすべてのシーケンスにおいて最高精度を示している。以上の評価から、今回のシーケンスにおいては、JadeICA は許容可能な精度で心拍数の推定ができると言える。

6. 提案手法

本節では、前節で最も精度の良かった JadeICA 心拍波形抽出を用いて、新たな心拍計測法を提案し、その精度を評価する。以下にその手法をまとめる。

- 1) 3.1 節の手法を用いて心拍波形を抽出する。
- 2) 3 秒間の心拍波形に FFT を適応し、最大周波数を求める window を作成する。これを 1) で得た波形を基に、終始 0.5 秒ずつずらしていき、波形全体の minHR(最小

周波数)と maxHR(最大周波数)を求める。

- 3) カットオフ周波数 minHR - maxHR を持つバンドパスフィルタを作成し、1) で得られた波形に適用することで、心拍成分を更に絞り込む。
- 4) 絞り込んだ波形に対して、前述の zero-crossing を用いることで、心拍波形から心拍数を計測する。

表 3 提案手法を用いた心拍計測結果

Table 3 Heart rate measurement result using proposed method

シーケンス	pulse oximeter	JadeICA	提案手法
安静(1)	87	91.1	105.6
安静(2)	109	109.2	109.7
安静(3)	93	96.1	95.7
安静(4)	95	92.6	91.8
運動(1)	142	98.0	103.9
運動(2)	117	116.4	116.6
運動(3)	138	110.7	115.3
運動(4)	121	117.3	119.4

表 5 各解像度に FFT を用いた心拍計測結果

Table 5 Heart rate measurement result using zero-crossing for each resolution

シーケンス	pulse oximeter	4K	2K	960x540	480x270
安静(1)	87	90	100	90	152
安静(2)	109	110	118	110	126
安静(3)	93	96	96	98	96
安静(4)	95	92	92	92	94
運動(1)	142	102	140	102	140
運動(2)	117	112	112	112	156
運動(3)	138	142	136	114	144
運動(4)	121	122	118	124	134

7. 提案手法の精度評価

6章で紹介した提案手法の精度を評価する。評価実験に使用したシーケンスは5章と同じものを使用した。[2]に zero-crossing を適応したものと比較した結果を表3に示す。表3から、提案手法は JadeICA 法との差がほとんどのシーケンスにおいて高い精度を示すことが確認できる。この結果から、提案手法は、より正確な心拍波形を抽出することができると言える。

8. 4K 解像度の精度評価

4K 解像度を使用したときの推定精度を検証する。本節の評価では、前述の提案手法を心拍波形抽出に使用した。シーケンスは5章と同じものを使用し、ビデオ解像度を 2K, 960x540, 480x270(pixel)にダウンサンプリングする。その他の条件は、前節と全く同じである。4つの解像度における、zero-crossing および FFT を適用したときの心拍数推定結果を表4,5に示す。

表 4 各解像度に zero-crossing を用いた心拍計測結果

Table 4 Heart rate measurement result using zero-crossing for each resolution

シーケンス	pulse oximeter	4K	2K	960x540	480x270
安静(1)	87	105.6	90.9	90.9	97
安静(2)	109	109.7	105.6	108.8	95.3
安静(3)	93	95.7	108.8	97.1	98.9
安静(4)	95	91.8	102.6	95.2	101.9
運動(1)	142	103.9	113.7	104.3	101.6
運動(2)	117	116.6	112.4	106.2	104.9
運動(3)	138	115.3	101.8	106.4	112.6
運動(4)	121	119.4	106.1	103.8	100.1

表4および表5の結果を比較すると、FFTの場合、4K解像度を使用することの優位性はほとんどないことが確認できる。一方、zero-crossingの場合では、特に安静(1)-(4)のシーケンスでは、4K解像度の使用の優位性が大きい傾向にあることがわかる。

9. まとめ

本論文では、心拍数を抽出する方法と、心拍数を計算する方法の2種類を紹介し、4K監視カメラを用いた全12(6×2)方式の推定精度を比較した。さらに、FFTとJadeICAを組み合わせた提案手法と4K解像度の精度検証を行った。本稿の評価から、4K画像を用いることにより、心拍数は許容可能な精度で推定することができる。今後は、機械学習技術を用いて精度を高め、心拍数推定からストレス感を含む感情を推定する予定である。さらに、不審行動の検出を可能にするスマートな監視システムを提案していく予定である。

謝辞 本研究成果は戦略的情報通信研究開発推進事業(国際標準獲得型)「スマートシティアプリケーションに拡張性と相互運用性をもたらす仮想IoT-クラウド連携基盤の研究開発(Fed4IoT)」によるものである。

参考文献

- [1] Okada, Genki, et al. "Monitoring emotion by remote measurement of physiological signals using an RGB camera," ITE Transactions on Media Technology and Applications 6.1 (2018): 131-137.
- [2] Alghoul, Karim, et al. "Heart rate variability extraction from videos signals: iCA vs. EVM comparison." IEEE Access 5 (2017): 4711-4719.
- [3] M. P. Tarvainen, P. O. Ranta-aho, and P. A. Karjalainen, "An advanced detrending method with application to HRV analysis," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 49, no. 2, pp. 172-175, Feb. 2002.
- [4] Panasonic Intellectual Property Management Co., Ltd., "Pulse estimation device, pulse estimation system and pulse estimation

method” [online]:

<https://patents.google.com/patent/WO2016203697A1/en>

- [5] Fujitsu, “Pulse wave detection method, pulse wave detection program, and pulse wave detection device” [online]:

<https://patents.google.com/patent/WO2016006027A1/en>

- [6] 4K integrated camera AW-UE70W (in Japanese) [online]:

<https://panasonic.biz/cns/sav/products/aw-ue70/index.html/>

- [7] iheart [online]: <http://iheartalive.jp/>