

熱画像を用いた生体情報計測手法とその応用に関する研究

石田 敦也 指導教員：村上 和人

1 はじめに

生体センシングは、非接触で非侵襲的であることが求められる。非接触かつ非侵襲的な生体センシングの例として、可視光カメラを用いた脈拍計測が報告されている [1]。しかし、この手法には暗闇や照明環境の悪い場所では計測が困難であるという弱点がある。一方、サーモビジョンカメラは、輝度や照明環境に依存しない計測が可能である。これに加えて、体温計測、脈拍計測、呼吸計測などの生体情報の計測にも応用可能である。しかし、熱画像の中から計測すべき領域の自動検出が難しいという課題がある。本稿では、熱画像を用いた生体情報計測のために計測部位の抽出手法を提案し、生体情報計測手法について述べる。

2 熱画像を用いた生体センシング

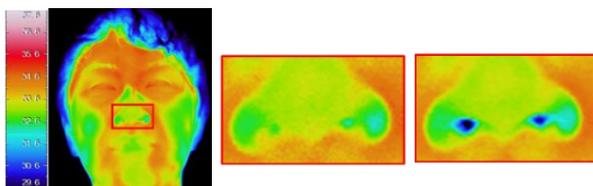
2.1. 脈拍計測

サーモビジョンカメラを用いた、心拍数の計測を可能にする技術が提案されている [2]。この手法は、主要な表在血管である橈骨動脈、総頸動脈から発生した熱信号に含まれる情報を用い、脈拍を測定する方法である。しかしながら、計測部位の位置の検出ができないことから人の手による入力が必要となり、自動計測が難しいという課題が残されている。筆者はこの課題に対し、計測部位の一つである橈骨動脈の位置を検出する手法を提案し、脈拍計測のための橈骨動脈特徴の抽出方法を検討した [3][4]。

2.2. 呼吸数計測

鼻孔領域の温度は、呼気と吸気の影響により変化する。呼吸にともなう鼻孔領域の温度変化を図 1 に示す。鼻孔領域の温度は、空気を吸い込む際に温度が下がり、空気を吐き出す際に温度が上がることが分かる。この人物の場合、その温度差は約 0.3°C である。鼻孔領域の温度は、呼吸を繰り返すと、周期的に変化する特性となる。また、鼻孔領域では、吸気時には顔の他の部位より温度が低くなる特徴がある。そのため、熱画像内において低温の領域を抽出し、抽出した領域の温度変化の特性を利用することにより、呼吸を計測可能である。

また、小鼻と小鼻周辺の温度差が大きいという空間的特徴を利用し、熱画像中の付近との温度差の大きい領域を抽出することにより、鼻孔領域に近い小鼻周辺の領域を抽出することができる。これにより、鼻孔領域の位置が移動した場合においても、鼻孔領域を抽出することが可能になる。50 人の顔熱画像に対し、SIFT 特徴を求め、小鼻に特徴が見つかった例を図 2 に示す。



(a). 熱画像 (b). 呼気状態 (c). 吸気状態

図 1. 呼吸に伴う鼻孔領域の温度の変化

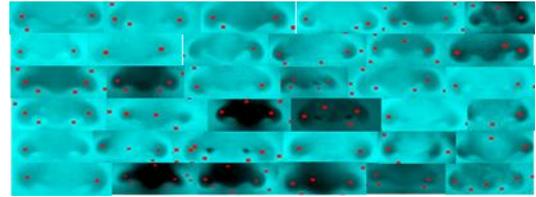


図 2. 小鼻周辺の SIFT 特徴

3 提案手法

以下に、呼吸計測手法の処理フローと、各々のステップにおける処理結果を図 3 にまとめて示す。

Step0. 前処理

カメラに対して正面を向いた状態で撮影した顔温度データから熱画像 T を作成する。 W を横幅、 H を縦幅とし、画像の左上を原点とする。

Step1. 顔領域の抽出

背景と人物領域を分離するために、熱画像をしきい値 t_1 で 2 値化し、2 値画像 I_1 を作成する。その後、首は頭部より一般的に細いという性質を利用し、画像 I_1 内の行 j における和 $n(j)$ を

$$n(j) = \sum_{i=1}^H I_1(i, j) \quad (1)$$

のように求める。そして、 $n(j)$ が最小となるときの j を首の位置 j_{neck} とする。

その後、 $I(i, j) = 1$ の連結成分のうち、行 j における i が最小となる座標を $i_1(j)$ 、 i が最大となる座標を $i_2(j)$ とする。顔の中心領域 R を

$$R = \{(i, j) | i_1(j) + \frac{i_2(j) - i_1(j)}{3} \leq i \leq i_2(j) - \frac{i_2(j) - i_1(j)}{3}, \\ j_1 + \frac{j_{neck} - j_1}{3} \leq j \leq j_{neck}\} \quad (2)$$

のように定義する。

Step2. 小鼻周辺領域取得

小鼻周辺の位置を特定するために、Tophat 変換を用いて取得した領域 R 内のコントラストを強調する。判別分析法により求めたしきい値 t_2 で小鼻周辺領域を 2 値化し、その後、ラベリング処理を施し、連結成分の面積が大きいものから上位 2 個の連結成分を残す。その結果に膨張処理を加えた連結成分を I_2 とし、小鼻周辺領域とする。 I_2 を熱画像 T にマスクし、マスク画像 T_2 を作成する。

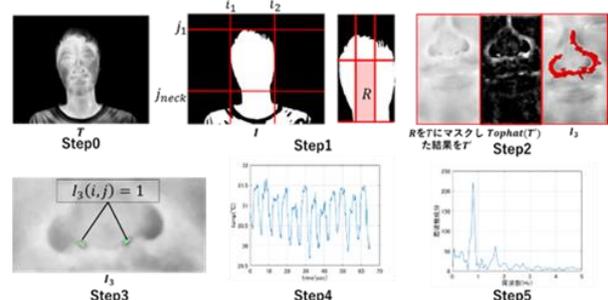


図 3. 各 Step における処理結果

Step3. 低温領域抽出

T_2 の温度ヒストグラムを求め、下位 $p\%$ となる温度をしきい値 t_3 として T_2 を2値化し、2値画像 I_3 を作成する。得られた結果を鼻孔領域とする。

Step4. 平均温度変化取得

I_3 を熱画像 T にマスクし、各フレームにおける $T(i, j) > 0 (i = 1, \dots, H, j = 1, \dots, W)$ となる領域の平均温度 $c(n)$ ($n = 1, \dots, \text{フレーム数}$) を求める。

Step5. 周波数解析

各フレームにおける鼻孔領域の平均温度変化 $c(n)$ に対してフーリエ変換を行い、 0.100Hz 以上のうち、最も周波数成分の多い周波数を呼吸の周波数として出力する。

4 鼻孔領域抽出実験

4.1. 実験方法

被験者がカメラに対して正面を向いて呼吸をしている状態をサーモビジョンカメラにより撮影した。今回の実験では、計測する呼吸の周期を2周期とした。撮影したデータを入力画像として、提案手法により鼻孔領域を抽出した。提案手法の Step3 で用いる小鼻周辺の低温領域の割合 p の値は、今回の実験では被験者3人を用いた予備実験から求めた1%とした。抽出した結果を手動により求めた鼻孔領域と比較した。男性8名女性2名を被験者とし、手動入力した鼻孔領域と提案手法により抽出した鼻孔領域との適合率を評価に用いた。

4.1. 実験方法

被験者10人を用いた実験の結果、被験者の適合率は78.83%となり、適合率の最小値は45.45%、最大値は100%であった。適合率60%以上の被験者は10人中9人だった。提案手法による鼻孔領域の抽出結果の一例を図4に示す。



(a). 拡大図 (b). 抽出領域
図4. 提案手法による鼻孔領域の抽出結果

5 呼吸数計測実験

5.1. 実験方法

被験者に、メトロノームの周期と同期して呼吸をするよう指示し、その状態の被験者の呼吸の様子をサーモビジョンカメラにより計測する。そして、メトロノームの周波数と提案手法による周波数の差を算出する。

5.2. 実験結果

3人の被験者におけるメトロノームの周波数と提案手法から求めた周波数を表1に示す。このとき、メトロノームの周波数と提案手法により求めた周波数の差の平均は 0.01Hz 未満であった。被験者1から抽出した鼻孔領域の温度変化を図5に、周波数解析の結果を図6に示す。図6

の円で示した周波数がピークとして抽出された呼吸の周波数である。

表1. メトロノームの周波数と提案手法により求めた周波数の比較結果

メトロノーム(Hz)	0.250	0.333	0.416
被験者1(Hz)	0.250	0.333	0.416
被験者2(Hz)	0.250	0.333	0.416
被験者3(Hz)	0.260	0.333	0.420

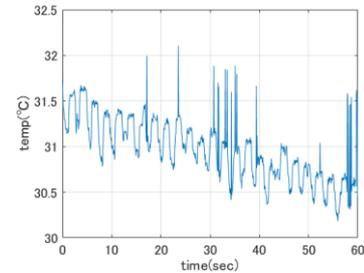


図5. 抽出した鼻孔領域の温度変化

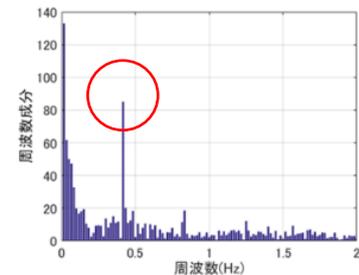


図6. 提案手法により求めた周波数

6. まとめ

ロボットによる脈拍計測及び呼吸数計測を想定し、自動で計測部位を取得し、生体情報を計測する手法を提案した。呼吸数計測では、メトロノームの周期に合わせて呼吸する被験者による実験の結果、呼吸の周期をほぼ正しく取得することができることを確認した。今後は、安定した周期的な呼吸だけでなく、呼吸のリズムや乱れなどの影響を考慮した手法を検討する予定である。

参考文献

- [1] M. Z. Poh, D. J. McDuff, and R. W. Picard, "Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation," *Optics Express*, Vol.18, pp.10762-10774, 2010.
- [2] M. Garbey, N. Sun, A. Merla, and I. Pavlidis, "Contact-free measurement of cardiac pulse based on the analysis of thermal imagery," *IEEE Trans. on BME*, vol.54, no.8, pp.1418-1426, 2007.
- [3] 石田 敦也, 神谷 直希, 村上 和人, "前腕表面の温度分布特徴を利用した橈骨 動脈検出手法の提案" (一社)映像情報メディア学会技術報告, 40(31), pp. 33-36, 2016-09.
- [4] 石田敦也, 村上 和人, "熱画像を用いた心拍数計測のための動脈温度特徴抽出方法の検討," (一社)映像情報メディア学会技術報告, 41(14), pp. 13-16, 2017-05.