

〈一般研究課題〉 遠赤外線画像を用いた呼吸動作計測の
非接触化に関する検討
助成研究者 名古屋市立大学 塙 大



遠赤外線画像を用いた呼吸動作計測の 非接触化に関する検討

塙 大
(名古屋市立大学)

Study on non-contact measuring method for human respiratory monitoring by using far infrared imaging

Dai Hanawa
(Nagoya City University)

Abstract :

In this research, we study a method for non-contact measurement of human respiration. First, we propose a method for estimation of the state of nasal airflow strength based on the change in temperature of nasal cavity. Next, we propose a method for nasal cavity detection on facial thermal images. Moreover, we study applying our proposed methods into monitoring oral breathing. Finally, we conducted simulation experiments to evaluate our proposed methods. Experimental results showed that proposed methods can mostly estimate the state of airflow velocity in respiration. Moreover, proposed method can detect nasal cavity and oral cavity on far infrared images with fixed accuracy.

1. はじめに

近年、社会全体で健康に対する意識が高まっている。総務省統計局のデータによれば、平成27年4月の時点で、65歳以上の人口が国民総人口に占める割合は約25%に達しており、高齢化社会が着々と進みつつあることが伺える[1]。生活環境の情報化が進む中、高齢化が進む社会を支えるために、情報通信技術を活用したユーザや環境にとってより負担の少ないユーザインタフェース開発の重要性は、今後益々高まるであろうことが容易に想像される。このような背景の中、各種センサを用いて脈拍、心拍、呼吸、脳波などの人の生体情報を取得し、日常生活における健康管理、行動支

援、娯楽、医療を目的としたシステムへ応用する研究が国内外でさかんに行われている。このようなシステムの開発において、呼吸動作に関する計測技術は、例えば香り提示システム、ユーザの感情推定システムなどの娯楽分野や、乳幼児の睡眠時無呼吸症候群等の早期発見などの医療分野への応用にも繋がることから、これらの実現のための重要な基礎技術の1つと言えよう。

従来の呼吸計測の代表的な方法としては例えば、サーミスタピックアップ、ベルト型センサ、呼吸気流計など、測定機器の定常的な装着を必要とする方法が挙げられる[2]。一方、日常生活への応用を想定する場合、呼吸を含む生体情報の計測においては、定常的な計測、身体的・精神的な負担、計測機器脱着の危険性の観点から、非拘束、非侵襲、かつ非接触による方法が望ましい。そこで、呼吸計測の非拘束化、非侵襲化を目的とした研究がこれまでに幾つか試みられている。例えば、衣服、ベッド等の生活用品へのセンサ内蔵による非侵襲化に関する研究が幾つか行われている[3][4]。しかしながら、これらの手法はいずれも、身体の一部へセンサの常時接触を必要とするため、非接触化を実現しているとは言い難い。一方、非接触化を目的とした取り組みとしては、例えば、画像処理、音声・音響信号処理、超広帯域無線、距離画像などによる呼吸計測が試みられている[5]-[8]。しかしながらこれらのアプローチはそれぞれ、一定以上の照明環境、就寝者、専用機器の利用、静音環境などを前提としており、計測環境やユーザが比較的強い制約条件を満足する必要がある。

申請者らはこれまでに、遠赤外線画像を用いた非接触型呼吸計測の実現に向けた基礎検討を行ってきた。具体的には、遠赤外線画像を用いて取得した顔面の熱分布から、呼吸部位を自動検出する手法、検出された呼吸部位から呼気・吸気のタイミングを計測する手法についての基礎検討を進めてきた[9][10]。しかしながら申請者の従来方式では、鼻呼吸における呼気・吸気のタイミングのみしか計測できず、呼吸の強弱の推定は未検討であった。さらに、遠赤外線画像の計測においては、頭部の姿勢が真正面であることを前提としていた。遠赤外線画像を用いた呼吸計測法の先行研究としては例えば、ベッド上の就寝者向けの呼吸計測法などが検討されている[11]-[13]。しかしながらこれらの研究においても、計測中の人の姿勢変化が不変であること、あるいは裸眼の顔面の撮影が前提となっている。このため、実応用に向けては、ロバスト性の点でまだ多くの課題が残されていると考えられる。そこで本研究では、鼻呼吸における流速の推定法、計測中の頭部の姿勢に対する頑健性を向上させる方法、ならびにこれらの口呼吸計測への応用について検討することを目的とする。

2. 鼻呼吸の非接触計測法の検討

はじめに、鼻腔の温度変化のみから鼻呼吸の流速の強弱を推定する方法について検討する。次に、鼻腔の温度変化を非接触かつ自動で計測するために必要な、遠赤外線画像上の鼻腔検出法について検討する。

2.1 鼻呼吸における流速の推定

人が鼻呼吸を行う場合、その呼吸の強さによって、吸気または呼気の流速が変化する。その際、流速の変化に伴って鼻腔の温度変化速度が変化することが予想される。本研究では、ユーザの鼻呼吸には①通常吸気、②強吸気、③通常呼気、④強呼気、の4種類の状態があると仮定し、流速と温

度変化の関連性に着目した鼻呼吸の流速の状態を推定する方法を提案する(図1)。

具体的にはまず、遠赤外線カメラを用いて、時刻 t_i ($i=1, 2, \dots, n$)におけるユーザの顔面熱画像を取得する。ここで t_i はフレーム画像の取得時刻を表す。次に、鼻腔領域を抽出し、その領域内の平均温度 $A(t_i)$ を算出する。その後、 $A(t_i)$ の $i \sim i-n+1$ フレームの移動平均

$$A'(t_i) = (A(t_i) + A(t_{i-1}) + \dots + A(t_{i-n+1})) / n \quad (1)$$

を求め、平滑化を行う。この $A'(t_i)$ から、時刻 t_i における平均温度の変化速度

$$V(t_i) = (A'(t_i) - A'(t_{i-1})) / (t_i - t_{i-1}) \quad (2)$$

を算出する。こうして算出した $A'(t_i)$ 及び $V(t_i)$ を用いて、流速の状態の推定を行う。

はじめに、 $A'(t_i)$ が一定時間内にほとんど変化しなかった場合、対象が①無呼吸状態であると判断する。次に①以外と判断された場合、 $V(t_i) > 0$ であれば吸気、 $V(t_i) < 0$ であれば呼気と判断する。その後、吸気(または呼気)の開始時刻 t_s から終了時刻 t_e までの $A'(t)$ の平均速度 $Ev(t_s, t_e)$ を算出する。 $Ev(t_s, t_e)$ の値、及び2種類の閾値 th_a, th_b ($th_a > 0 > th_b$)から、①~④の状態のいずれに該当するか以下の条件により判断する。

- $th_a < Ev(t_s, t_e) < 0$ の場合
→①通常吸気
- $Ev(t_s, t_e) \leq th_a$ の場合
→②強吸気
- $0 < Ev(t_s, t_e) < th_b$ の場合
→③通常呼気
- $Ev(t_s, t_e) \geq th_b$ の場合
→④強呼気

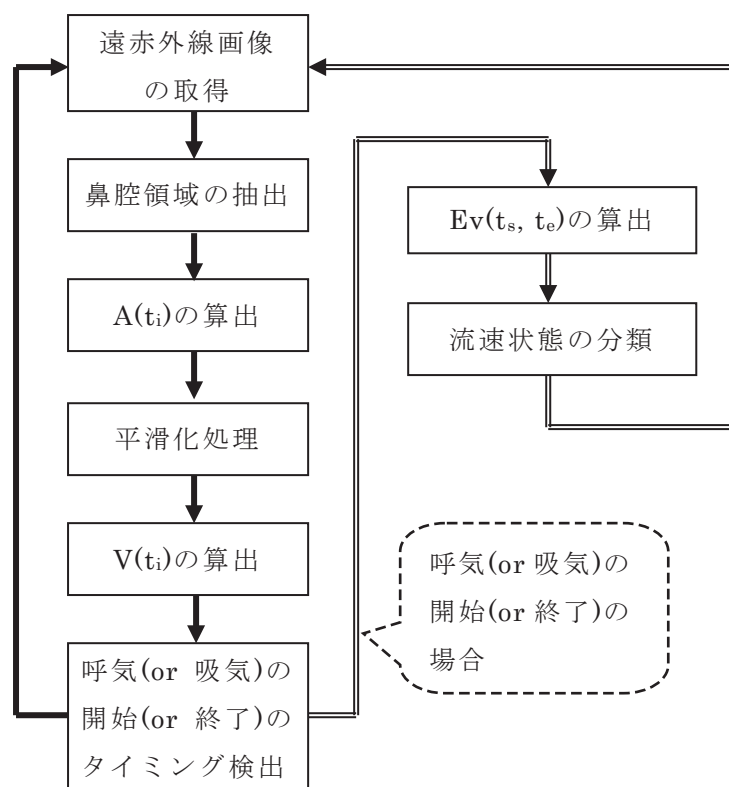


図1 流速の状態の推定手順

2.2 評価実験

提案手法による流速の状態の推定精度を評価するためのシミュレーション実験を行った。

2.2.1 実験方法

はじめに、遠赤外線カメラを用いて、被験者の顔面熱画像の撮影を行った。ここで室温は21℃とし、遠赤外線カメラを被験者の鼻部先端との距離0.8mの位置に設置した(図2)。その上で、以下

の設定に基く遠赤外線カメラを用いて、安静座位状態の成人男女4名に対し、2.1で述べた①～④の状態の顔面熱画像の撮影を90秒間ずつ行った。なお、カメラを設置する高さは、真正面の顔面熱画像をカメラのほぼ中心でとらえられるよう、被験者の座高に合わせて調節した。

- 使用機材：NEC/Avio,TH7102MX
- 画像解像度：320×240pixel(8bit, Gray Scale)
- フレームレート：30fps
- 中心温度：36℃
- 測定温度レンジ：中心温度±4[℃]

次に、撮影した動画の各フレームより、鼻腔領域を手動で抽出し、提案手法による流速状態の推定を行った。なお、平滑化に用いるフレーム数 n は15とした。また、流速の強さを推定するための閾値はそれぞれ、 $th_a = -1.8\text{℃/s}$ 、 $th_b = 1.5\text{℃/s}$ に設定した。これらのパラメータ設定は、予備実験の結果に基づいて経験的に定めた。

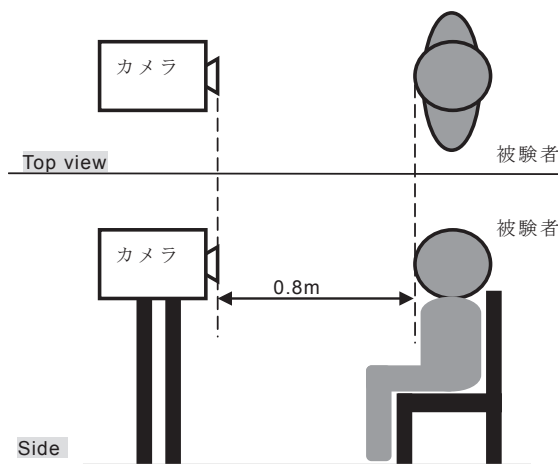


図2 顔面熱画像の撮影環境

2.2.2 実験結果

提案手法による鼻呼吸の流速状態の推定精度を表1に示す。

表1 鼻呼吸に対する流速の状態の推定精度

| | | 提案手法による推定結果 | | | |
|----|-------|-------------|--------|-------|-------|
| | | ①通常吸気 | ②強吸気 | ③通常呼気 | ④強呼気 |
| 正解 | ①通常吸気 | 85.7% | 14.3% | 0.0% | 0.0% |
| | ②強吸気 | 0.0% | 100.0% | 0.0% | 0.0% |
| | ③通常呼気 | 0.0% | 0.0% | 83.3% | 16.7% |
| | ④強呼気 | 0.0% | 0.0% | 33.3% | 66.7% |

表1より、比較的単純な手法を用いたにも関わらず、概ね良好な精度で流速の状態を推定が可能であることがわかる。とりわけ、呼気(①もしくは②)か吸気(③もしくは④)かの判別については、いずれも推定結果に誤りがみられなかった。したがって、呼気・吸気の判別に、鼻腔領域の平均温度の変化速度を用いることの有用性が確認できたといえる。次に、呼気または吸気の強さの推定については、強い呼気の推定を除いて概ね良好な精度であった。呼気や吸気における流速や鼻腔の温度変化には個人差があるため、さらなる精度の向上には、キャリブレーションや他の特徴量の導入などの検討が必要であると考えられる。

2.3 遠赤外線画像上の鼻腔の検出

2.1で述べた手法を自動で行うためには、顔面熱画像上の鼻腔の領域を正確に抽出する必要がある。

る。また、可能な限り頭部の姿勢に頑健であることが望ましい。そこで本研究では、鼻腔内壁の温度が、鼻呼吸中に時間と共に滑らかに変化することに着目した鼻腔の検出法を提案する。

はじめに、時刻 t_i から t_{i-n+1} までの間の連続する最新 n フレームの遠赤外線画像から、ピクセルごとに一定の時間間隔における温度のばらつき、すなわち分散 $v_n(x, y, t_i)$ を算出する。

$$v_n(x, y, t_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=i-n+1}^i (f(x, y, t_k) - e_n(x, y, t_i))^2 \quad (3)$$

$$e_n(x, y, t_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=i-n+1}^i f(x, y, t_k) \quad (4)$$

ここで、 $f(x, y, t_i)$ 、 $e_n(x, y, t_i)$ はそれぞれ、時刻 t_i における (x, y) ピクセルの温度、時刻 t_i から最新 n フレーム分の (x, y) ピクセルの温度の平均である。鼻腔部分のピクセルの温度は、時間の経過と共に他の領域と比べて大きく変化することから、ばらつきは他のピクセルよりも大きくなると思われる。そこで、一定値以上の分散となったピクセルを1、それ以外を0とする二値画像を生成する。次に、この二値画像に対してラベリング処理を施し、各領域に対して面積、円形度、並びに領域内の平均温度の算出を行う。その後、これらの値から候補領域の選定を行い、鼻腔以外と判断された領域を候補から除外する。候補領域が3つ以上残っていた場合、平均温度が高い順に2つの領域を選出し鼻腔領域であると決定する。以上の処理手順を図3に示す。

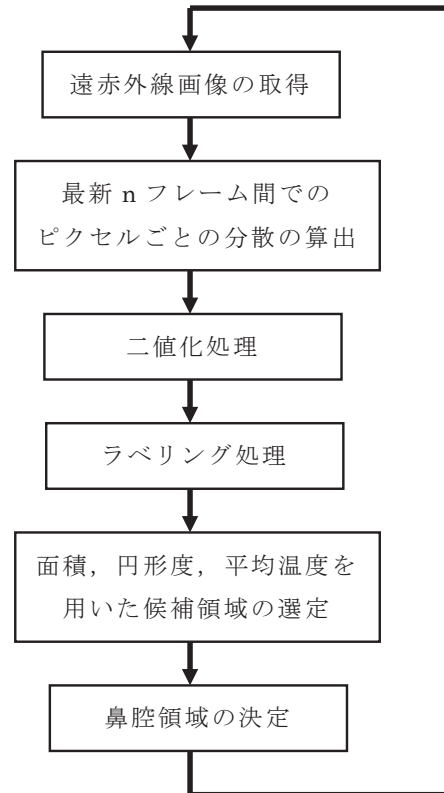


図3 鼻腔領域の検出手順

2.4 評価実験

提案手法による鼻腔領域の検出精度を評価するためのシミュレーション実験を行った。

2.4.1 実験方法

はじめに、遠赤外線カメラを用いて、被験者の顔面熱画像の撮影を行った。カメラの設定および室温は2.2.1で述べた実験と同様である。その上で、安静座位状態の成人男女5名を被験者として、各被験者に対し、カメラ位置3パターン、カメラ角度3パターン(図4)、並びに呼吸の仕方3パターン(通常呼吸、吸気のみ強め、呼気のみ強め)、計27パターンの顔面熱画像の撮影を行った。次に、撮影した動画を用いて、提案手法による鼻腔領域の検出を行った。なお、鼻腔の候補領域を選定するための条件は、一般的な日本人成人の鼻幅寸法と体温、カメラと被検者間の距離などに基づいて以下通り定めた。

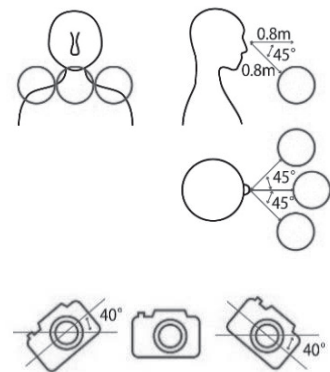


図4 撮影時のカメラの位置・画角

- 面積：12pixel² ～ 104pixel²
- 円形度：1/1.9 ～ 1
- 候補領域の平均温度：32.9℃以上

また、二値化に用いる閾値 $th_n(t_i)$ は、以下の式により算出したものを用いた。

$$th_n(t_i) = \frac{1}{30} \max_{0 \leq x \leq 320, 0 \leq y \leq 240} v_n(x, y, t_i) \quad (5)$$

さらに、 $v_n(x, y, t_i)$ を算出するためのフレーム数は、240(8秒間に相当)とした。

2.4.2 実験結果

提案手法による検出率、誤検出率、未検出率を表2に示す。また、入力画像と検出結果の一例を図5に示す。

表2 鼻腔領域の検出精度

| | 検出率[%] (鼻腔を正しく 検出した) | 未検出率[%] (何も検出しな かった) | 誤検出率[%] (鼻腔以外を検 出した) |
|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 全体 | 78 | 7 | 15 |
| 通常呼吸 | 82 | 7 | 11 |
| 呼気のみ強い場合 | 73 | 9 | 18 |
| 吸気のみ強い場合 | 78 | 6 | 16 |
| 画角 0℃ | 78 | 9 | 13 |
| 画角+40℃ | 76 | 9 | 15 |
| 画角-40℃ | 80 | 4 | 16 |

表2および図5より、提案手法は概ね良好な精度で鼻腔の検出が可能であることがわかる。全体的に、呼吸の仕方や画角、位置の違いによる正検出率の著しい低下はみられなかった。したがって、提案手法は頭部の回旋や側屈に対して一定の頑健性を有すると考えられる。一方、呼吸に伴う身体動作が比較的大きい被験者について、誤検出や未検出が多く発生する傾向がみられた。提案手法は、呼吸中に頭部が大きく動かないことを前提としている。そこで精度や頑健性のさらなる向上のためには、オプティカルフローや、他のセンサの組み合わせによる頭部の厳密な追跡が必要であると考えられる。



図5 入力画像(左)と検出結果(右)

3. 口呼吸の非接触計測への応用

本課題で提案した、鼻呼吸における流速の状態の推定法、および鼻腔の検出法を、口呼吸の計測に応用し、提案手法の適用可能性について検討する。

3.1 口呼吸における流速の推定への応用

人が口で呼吸を行う場合、鼻呼吸と同様にその呼吸の強さによって、吸気または呼気の流速が変

化する。その際、流速の変化に伴って口腔の温度変化速度が変化することが予想される。そこで、2.1で提案した手法を用いて、口呼吸における流速の強弱を推定するシミュレーション実験を行った結果について述べる。

はじめに、安静座位状態の成人男女3名に対し、室温26℃の環境下で、2.1で述べた①～④の状態で行った際の顔面熱画像の撮影を90秒間ずつ行った。遠赤外線カメラは、被験者の口部先端との距離0.8mの位置に設置して撮影を行った。撮影におけるカメラの設定を以下に示す。

- 使用機材：NEC/Avio, R500Pro
- 画像解像度：640×480pixel (8bit, Gray Scale)
- フレームレート：15fps
- 中心温度：30℃
- 測定温度レンジ：中心温度±5[℃]

次に、撮影した動画の各フレームより、口腔領域を手動で抽出し、提案手法による流速状態の推定を行った。なお、呼吸時の口の形状と抽出する領域の条件として、以下の2パターンを採用して評価を行った。

(A) 口の形状：通常(半開き)、抽出する領域：口全体

(B) 口の形状：全開、抽出する領域：舌

なお、平滑化に用いるフレーム数 n は5とした。また、流速の強さを推定するための閾値はそれぞれ、 $th_1 = -2.0^\circ\text{C}/\text{s}$ 、 $th_2 = 1.2^\circ\text{C}/\text{s}$ に設定した。これらのパラメータ設定は、口呼吸計測に関する予備実験の結果に基づいて経験的に定めた。

提案手法による鼻呼吸の流速状態の推定精度を表3に示す。

表3 口呼吸に対する流速の状態の推定精度

(A) 口の形状：通常(半開き)、抽出する領域：口全体

| | | 提案手法による推定結果 | | | |
|----|-------|-------------|-------|-------|-------|
| | | ①通常吸気 | ②強吸気 | ③通常呼気 | ④強呼気 |
| 正解 | ①通常吸気 | 82.2% | 17.7% | 0.0% | 0.0% |
| | ②強吸気 | 44.4% | 55.5% | 0.0% | 0.0% |
| | ③通常呼気 | 0.0% | 0.0% | 88.9% | 11.1% |
| | ④強呼気 | 0.0% | 0.0% | 66.7% | 33.3% |

(B) 口の形状：全開、抽出する領域：舌

| | | 提案手法による推定結果 | | | |
|----|-------|-------------|-------|---------|-------|
| | | ①通常吸気 | ②強吸気 | ③通常呼気 | ④強呼気 |
| 正解 | ①通常吸気 | 94.4% | 5.6% | 0.0% | 0.0% |
| | ②強吸気 | 40.0% | 60.0% | 0.0% | 0.0% |
| | ③通常呼気 | 0.0% | 0.0% | 78.9.3% | 21.1% |
| | ④強呼気 | 0.0% | 0.0% | 54.4% | 45.6% |

表3より、2.1で提案した手法は、口呼吸の計測に対して有用な部分とそうでない部分があることが判明した。具体的にはまず、呼気(①もしくは②)か吸気(③もしくは④)かの判別については、い

ずれも推定結果に誤りがみられなかった。したがって、呼気・吸気の判別については、鼻呼吸の場合と同様、平均温度の変化速度を用いることの有用性が確認できたといえる。次に、呼気または吸気の強さの推定については、呼気もしくは吸気が強い場合に、推定精度の低下がみられた。この原因としては、温度の変化が平均的に鼻腔よりも小さいこと、口腔内で口呼吸に伴って温度が変化する部分が、遠赤外線カメラで撮影しにくいこと、などが考えられる。抽出領域については、表3(A)と表3(B)を比較すると、舌を抽出することで推定精度に若干の向上がみられた。舌は口腔内の他の部分よりも温度の変化が顕著であったため、精度が向上したと考えられる。これらの結果より、口呼吸における流速の状態をより厳密に推定するためには、他の特徴量の導入、口の形状および抽出する領域と精度の関連性の分析など、さらなる検討が必要であるといえる。

3.2 遠赤外線画像上の口腔の検出

2.1で述べた手法を口呼吸へ応用し、かつ自動化を実現するためには、顔面熱画像上の口腔の領域を正確に抽出する必要がある。一般的に、口呼吸中の口腔は、鼻呼吸の鼻腔と同様に、時間と共に滑らかに温度が変化すると考えられる。そこで、2.3で述べた鼻腔検出法を用いて、口腔検出のシミュレーション実験を行った結果について述べる。

はじめに、遠赤外線カメラを用いて、被験者の顔面熱画像の撮影を行った。カメラの設定および室温は3.1で述べた実験と同様である。その上で、安静座位状態の成人男女3名を被験者として、各被験者に対し、カメラ位置3パターン(図6)、口の形状2パターン(通常、全開)、並びに呼吸の仕方3パターン(通常呼吸、吸気のみ強め、呼気のみ強め)、計18パターンの顔面熱画像の撮影を行った。次に、撮影した動画を用いて、提案手法による口腔領域の検出を行った。なお、口腔の候補領域を選定するための条件は、口呼吸であることを考慮して、一般的な日本人成人の口幅寸法と体温、カメラと被検者間の距離などに基づいて以下通り定めた。

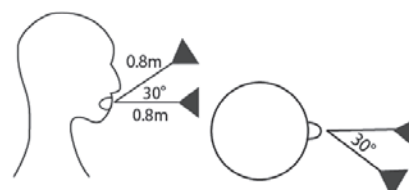


図6 撮影時のカメラの位置

- 候補領域の面積：413pixel² ~ 4775pixel²
- 候補領域を囲む最小の矩形：矩形の長辺 / 矩形の短辺 ≤ 7
- 上記矩形領域の面積：矩形領域の面積 / 候補領域の面積 ≤ 3
- 候補領域の平均温度：29.3℃以上

以上の条件をすべて満たすものを候補領域とする。ただし、候補領域が複数残っている場合は以下の条件により候補領域を選定する。

- 3つ以上の候補領域が残っている場合、各候補領域に対して他の候補領域間の距離の平均を算出し、120pixel以下となるものを除外する。
- さらに候補領域が複数残っている場合は、面積が最大の領域を最終候補領域とする。

なお、二値化に用いる閾値 $th_n(t_i)$ は、 $2.93\text{℃}^2/\text{frame}$ で固定値とした。さらに、 $v_n(x, y, t_i)$ を算出するためのフレーム数は、120(8秒間に相当)とした。

提案手法による検出率、誤検出率、未検出率を表4に示す。また、入力画像と検出結果の一例を図7に示す。

表4 口腔領域の検出精度

(A) 口形状：通常

| | 検出率[%] (口腔を正しく 検出した) | 未検出率[%] (何も検出しな かった) | 誤検出率[%] (口腔以外を検 出した) |
|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 全体 | 61.9 | 17.6 | 20.5 |
| 正面 | 89.1 | 6.5 | 4.4 |
| 左 30° | 54.1 | 28.1 | 17.7 |
| 上 30° | 44.7 | 22.6 | 32.7 |

(B) 口形状：全開

| | 検出率[%] (口腔を正しく 検出した) | 未検出率[%] (何も検出しな かった) | 誤検出率[%] (口腔以外を検 出した) |
|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 全体 | 62.4 | 19.2 | 18.4 |
| 正面 | 82.0 | 10.2 | 7.7 |
| 左 30° | 51.8 | 26.4 | 21.8 |
| 上 30° | 62.4 | 19.2 | 18.4 |

表4および図7より、カメラの位置が正面の場合、概ね良好な精度で口部領域の検出ができたことがわかる。一方、カメラの位置が横、もしくは上の場合、検出率の低下がみられた。検出率が低下した原因としては、温度の変化が顕著な部分を



図7 入力画像(左)と検出結果(右)

撮影できなかったことにより、候補領域の選定条件を満たせなかったことが影響していると考えられる。したがって、頑健性のさらなる向上のためには、他のセンサや顔パーツ検出などを用いた別のアプローチが必要であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、遠赤外線画像を用いた呼吸動作計測の非接触化の実現に向けた検討を行った。具体的には、鼻呼吸における流速の状態の推定法、および、遠赤外線画像上の鼻腔の検出法の考案を行った。これらの提案手法はいずれも、呼吸中の鼻腔の温度が他の部分よりも顕著に変化することに着目したものである。評価実験の結果、提案手法はいずれも、比較的単純な手法であるにも関わらず、一定の有用性と頑健性を持つことを確認した。次にこれら提案手法の口呼吸計測への応用可能性について検討し、現時点での適用範囲と課題を明らかにした。今後の課題としては、精度と頑健性のさらなる向上に向けて、RGB画像や近赤外線画像などを含む他のセンサとの組み合わせ、他の特徴量や機械学習の検討などが挙げられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、小口喜美夫教授(成蹊大学)、村上亜希子氏、大口朋美氏(以上、名古屋市立大学)に多大な協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] Statistics Bureau, <http://www.stat.go.jp/english/data/jinsui/tsuki/index.htm>, (最終アクセス日：2016年5月1日)
- [2] 牧川方昭, 吉田正樹, 南部雅幸, 塩澤成弘, 岡田志麻, “ヒト心身状態の計測技術 一人に優しい製品開発のため日常計一”, コロナ社, 2010.
- [3] 西田佳史, 武田正資, 森武俊, 溝口博, 佐藤知正, “圧力センサによる睡眠中の呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測”, 日本ロボット学会論文誌, vol. 16, no. 5, pp.705-711, 1998.
- [4] 小田俊輔, 坂上友介, 荒木隆宏, 牧川方昭, “スマートシャツを用いた心電図と呼吸の計測”, 第48回日本生体医工学論文集, 25pmP7-3-5, 2009.
- [5] 中井宏章, 渡邊睦, 三宅哲夫, 高田敬輔, 山下馨, 新盛英世, 石原謙, “動画像処理による呼吸モニタリングシステム タリングシステム タリングシステム”, 信学論(D-II), Vol. J83-D-II, No. 1, pp. 280-288, 2000.
- [6] 西田佳史, 堀俊夫, 末廣尚士, 平井成興, “ドーム天井型マイクロフォンを用いた呼吸音の検出,” 信学技報, MBE2000-47, pp.61-66, 2000.
- [7] 東桂木謙治, 中畑洋一郎, 松波勲, 梶原昭博, “超高帯域無線を用いた呼吸監視特性について”, 電学論(C), vol.129, no.6, pp.1056-1062, 2009.
- [8] 青木広宙, 宮崎雅樹, 仲村秀俊, 古川亮, 佐川立昌, 川崎洋, “アクティブ3次元センサを用いた簡易型非接触呼吸計測”, 信学技報, MBE2011-126, pp. 101-106, 2012.
- [9] 塙大, 小出泰介, 小口喜美夫, “ホームヘルスケアシステムにおける遠赤外線画像を用いた鼻呼吸検出法の提案”, 信学論(D), Vol. J94-D, No. 1, pp.260-263, 2011.
- [10] D. Hanawa, T. Morimoto, S. Shimazaki, K. Oguchi, “Nasal Cavity Detection in Facial Thermal Images for Non-contact Measurement of Breathing” , Int. J. of Advances in Telecommun., Electrotech., Signals and Syst., vol. 2, no. 1, pp.34-39, 2013.
- [11] K. Abbas, K. Heiman, T. Orlikowsky, S. Leonhardt. “Non-contact respiratory monitoring based on real-time IR-thermography,” in IFMBE Proc. of WC2009, 25/IV, pp.1306-1309, 2009.
- [12] B. Kaur, J. K. Nelson, T. Williams, B. O' Kane, “Adaptive region of interest (ROI) detection and tracking for respiration measurement in thermal video” , Proc. SPIE, Vol. 8401, pp.840117-1-84117-9, 2012.
- [13] C.B Pereira, X. Yu, V. Blazek, S. Leonhard, “Robust remote monitoring of breathing function by using infrared thermography” , IEEE, Proc. of EMBC 2015, pp.4250-4253, 2015.

本研究に関する業績

1. D. Hanawa, T. Ohguchi, K. Oguchi, “Basic Study on Non-contact Measurement of Human Oral Breathing by using Far Infra-Red Imaging” , Proc. of TSP 2016, pp.681-684, 2016.
2. 大口朋美, 埜大, 小口喜美夫, “遠赤外線画像を用いた口呼吸の非接触計測手法の検討”, 信学技報, MVE2015-99, pp.245-256, 2016.
3. D. Hanawa, A. Murakami, K. Oguchi, “Non-contact estimation of nasal airflow velocity using far infrared imaging” , IEEE Proc. of EMBC 2015, Paper FrFPoT6.14, 2015.
4. D. Hanawa, A. Murakami, K. Oguchi, “Nasal cavity detection for non-contact nasal airflow estimation using far infrared imaging” , IEEE Proc. of EMBC 2015, Paper FrFPoT 6. 20, 2015.