

赤外線画像による男女識別の可能性の検討

西野 聡 松田 淳

あらまし 男女識別は大型商業施設やアミューズメント施設等の来客統計をとるために必要である。従来の男女識別方は、服装や歩き方、足圧、髪型および声など人物の外見を利用した方法である。しかしこれらの特徴は人間の意思により恣意的に変えることのできる特徴である。本手法は男女の特徴の相違を赤外線画像の顔または手の熱分布により行う生体的特徴を用いた新しい概念に基づく男女識別方である。したがって、本手法は従来手法にない強固な男女識別を実現可能な法である。

キーワード 赤外線画像, 性区別, 男女識別, 基礎代謝量, 体脂肪率, ホルモン

Possibility of Gender Determining Method using Thermography

Satoshi NISHINO, Atsushi MATSUDA

Abstract—Man and woman distinction is necessary to make security stronger and when various statistics on the visitor are taken in commercial facilities and so on. The conventional method of man and woman distinction is currently determined by using the person's appearance, the person's dress and in such cases, the way of walking, the foot pressure, the hair type. But, these characteristics can be intentionally changed by human intervention or design. The proposed method gets a difference in the man's and woman's characteristics by taking images of the heat distribution of the person's face by thermography. This is a man and woman distinction based on the new concept idea which this is used for. Consequently, this can be used to distinguish a man from a woman even if a man turns himself into the woman intentionally (and vice versa), because this method involves biometrics authentication.

Key words—Thermography, gender, Man and woman distinction, fat rate, hormone, foundation metabolic change

1. まえがき

男女識別はデパート、スーパーマーケットや娯楽施設などの来客統計を取るために必要である。さらに最近ホテルなどに設定されている女性専用フロアや、女性更衣室、女性トイレのセキュリティなどへの適用が考えられる。また、女性専用車両乗車時の男性乗車への警告などの応用もある。従来の識別方法は服装、髪型、歩き方、足圧[1]、[2]、声[3]などを用いたものである。しかしこれらは人間の意志によって恣意的に変えられる特徴である。これに対して本論文の方法は人間の意思で変えることのできないバイオメトリックスな男女識別法である。具体的には人の顔や手の熱温度画像を赤外線カメラで撮影し、温度に現れる男女の相違を用いる。以前赤外線画像をグレースケールで用いた研究を行っていた際に図1に示すように、多くの女性の頬部分が男性に比べて特に黒く(温度値が低い)映った事実をきっかけに研究を始めた。その後数十の男女の赤外線顔画像を検討した結果、男女識別の可能性があるとの見通しを得たので研究を開始した。さらに医学的根拠を模索した結果、一番目に女性は女性ホルモンの一種のエストロゲンが分泌され、結果として一般に女性の体脂肪率は男性よりも高いことがあげられる。図2にこの事実



図1 男女の赤外線画像

を示す[5]。同様に女性の顔面の皮下脂肪は男性よりもないし3倍も厚い[8]。

熱伝導率は水が $0.01429[\text{cal cm/cm}^2 \text{sec}^\circ\text{C}]$ 、筋肉が $0.00067\sim 0.00092$ 、脂肪は 0.00035 である[5]。したがって体表面に脂肪が多いと体温放射が遮断されて体表面の温度が低くなる。二番目として人間の基礎代謝量は男性が大きく、女性は小さいことがあげられる。実際の値[4]を図3に示す。図3から男性は女性よりも各年齢で基礎代謝量が大きいたことが見て取れる。その結果、男性の体温は女性よりも高い傾向がある。この2つの事実が本手法の医学的根拠である。体温を非接触で赤外線画像として採取するには、衣服に覆われず露出している顔が最適である。さらに顔のどの部分が最適かを試行錯誤した結果、目の下の頬部分に特徴が著しく現れることを見出した。実際にこの部分に脂肪が集中していることがCT画像により確認されている[16]。

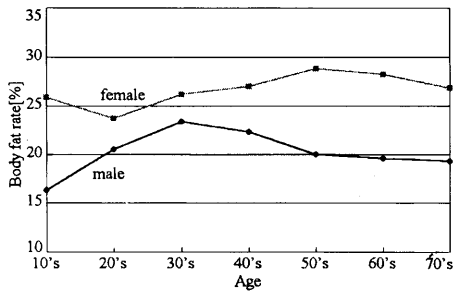


図2 男女の脂肪率の相違[%]

Fig.2 Body fat rate[%].

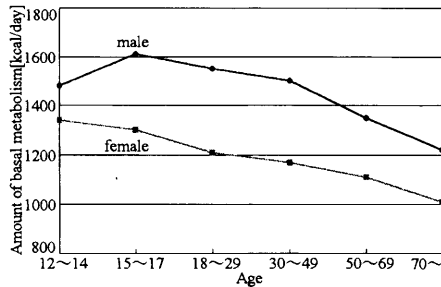


図3 男女の基礎代謝量の相違[kcal/day]

Fig.3 Amount of basal metabolism[kcal/day].

2. 温度抽出用テンプレートの検討

本識別方法は統計処理を温度抽出用テンプレート内の温度値に対して行い,その結果で男女識別を行う.本手法で使用する統計的特徴量を定義する.扱う数値(温度=階調値)はグレースケールの階調値0~255(温度範囲: 22.42~40.34℃)を対象とする.ここで255は温度が高く白で,0は温度が低く黒で表される.この論文では平均と分散を使う.平均及び分散は次の式で定義される.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

$\bar{X}$: 平均 V : 分散

n : 温度抽出用テンプレート内の画素数

X_i : 各画素の階調値(0~255)

2.1 U型温度抽出用テンプレートと周囲温度の影響

頬とあご部分に男女の温度差が現れることから,最初に頬からあご部分を形取ったU型温度抽出用テンプレートを作成してこのテンプレート内部の温度を測定した.この温度抽出用テンプレートを図4に示す.最適な

温度設定範囲を試行錯誤的に検討した結果,22.42~40.34℃に設定するのが一番適切であることが分かった.端数があるのは赤外線カメラの設定値に依存するためである.図4のU型温度抽出用テンプレートでデータ採取した結果を図2に示す.採取したテンプレート内の平均温度値をソートして交点以上の温度を男性,以下を女性として識別率を出した結果,識別率は約60%であった.

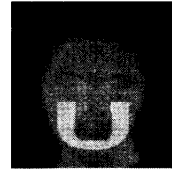


図4 U型温度抽出用テンプレート

Fig.4 U type mask

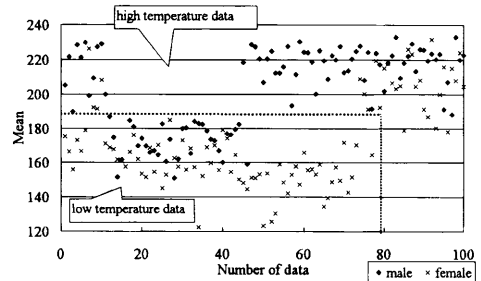


図5 U型温度抽出用テンプレートを用いた結果

Fig.5 The mean data of the U type mask.

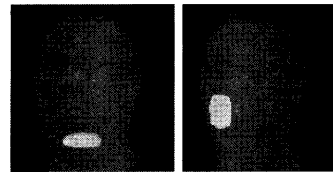


図6 あご型温度抽出用テンプレートと頬型温度抽出用テンプレート

Fig.6 Jaw type mask and cheek type mask.

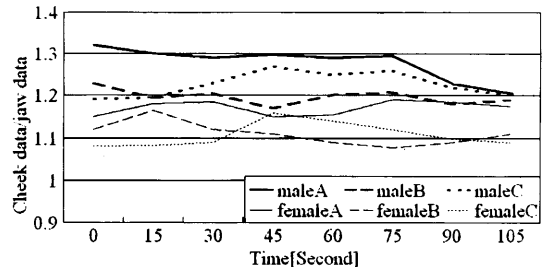


図7 頬平均値/あご平均値

Fig.7 [Cheek/data].

図5の破線内は周囲温度が低く場合、破線外が高い場合である。このことを踏まえて採取されたデータを見ると、周囲温度の影響を受けることが分かる。その結果周囲の温度が高いと得られたデータも高くなり、単なる温度比較のみでは良い結果が得られないことが分かった。したがって、周囲温度を一定にして顔の温度を測定した。具体的には、撮影前に居た環境との温度差の影響をなくすために、男女各10名を室温27℃、湿度60%の部屋で10分待機させてからデータを取った。

前述したのと同様な方法で識別率を算出した結果80%の識別率を得た。しかし、この方法では周囲温度を一定にする必要があり実用的ではないので、周囲温度の影響を受けない特徴量を検討することとした。

2.2 類型とあご型温度抽出用テンプレート

顔の大きさには個人差があるので、Uタイプ温度抽出用テンプレートでは顔からはみ出す部分が生じたり、目標部分以外がテンプレート内に入る場合も生じてしまうことがある。これを解決するために温度抽出用テンプレートを頬とあごに分割し小さくした。この様子を図6に示す。U型テンプレートを適用した10人にあご型テンプレートを適用し、テンプレート内の平均温度値使用で前述の方法で識別率を算出した結果50%であった。このことから、あごの温度は男女差がないことが分かった。

同様にこれら温度抽出用テンプレートの各特徴量を用いて試行錯誤的に男女識別を試みた。最も良い結果となったのは類型温度抽出用テンプレート平均値/あご型温度抽出用テンプレート平均値（以下[頬/あご]）であった。この結果の理由を考察し、次の章で述べる。

3. 周囲温度の影響と除去

本手法は温度を使用しているため、温度データをそのまま扱ったのでは周囲温度により顔の温度は影響を受ける。したがって、周囲温度の影響を検討するために、同年齢の男女各3名を、温度を一定にした部屋でカイロと冷却材を用いて識別箇所となる頬とあごに温度変化を与えてデータを採取した。

カイロを頬とあごに当てて、最初は5秒後に、続いて15秒毎に105秒までデータを採取した。冷却材の場合も同様にしてデータを採取した。その結果、頬温度もあご温度も同じ割合で周囲温度の影響を受けることが分かった。また、あごの温度は男女差がないことから、頬温度をあご温度で割ることで正規化できる。実際には頬

テンプレート内の平均温度値をあごテンプレート内の平均温度値で割る(以下ではこれを[頬/あご]と記す)[頬/あご]で正規化できるかを確認するために前述した男女3人の[頬/あご]の時間経過すなわち周囲温度変化に対する変化を図7に示す。この値が時間変化(この場合は周囲温度変化に相当する)に対して一定であれば[頬/あご]によって周囲温度変化の影響を除去できることになる(しかし、値そのものは個人差がある)。

図7から[頬/あご]について次の2つのことが分かる。

1. 男女ともに時間が経過してもほとんど一定値である。
 2. 男性は値が大きく、女性は値が小さい傾向がある。
- したがって、[頬/あご]は周囲温度の影響を受けない男女識別の特徴量であると言える。

4. 強調分散値の導入

さらに新しい温度抽出用テンプレートを作成するため男女の赤外線画像の相違について再検討した。赤外線画像を詳細に観察した結果、頬周辺の温度は男性がほぼ一定の温度分布であるのに対して、女性は頬の下部分が温度が高く、目元付近の温度が低いことが予測できた。このことを確認するために図8に示す頬の部分の長方形の温度抽出用テンプレート内の温度分布を採取した。このテンプレート内の温度分布例を図9,10に示す。この図から男女では温度分布に差があることが確認できる。図9から頬から目元にかけて男性は女性より全体が高温でほぼ一定温度で分布していることが分かる。これから前述の頬周辺の温度は男性がほぼ一定の温度分布であるという予測が事実であることが確認できた。一方図10の女性の温度分布は目元(横軸の右側)に近づくにつれて温度が低下するので脂肪が厚く、頬の下部分に行くにつれて脂肪が薄くなっていることが確認できた。これは1.の図2に示した体脂肪率が男性よりも女性が高いことに起因する。体脂肪率が男性より高い女性は顔も目元に多く脂肪が付き、頬にかけても男性より脂肪が多い。その結果体温放射が筋肉の二分の一の熱伝導率である脂肪によりさえぎられることで男性よりも頬テンプレート内全体の温度が低く、かつ目元に近くなるにしたがって温度が低下する。したがって図8の温度抽出用テンプレートが男女差を抽出できる可能性を持つと考えられるので、このテンプレート内の温度分布について検討した。

このテンプレート内の男女の頬の温度分布をヒストグラムに表したものの例を図8に示す。この図8から温

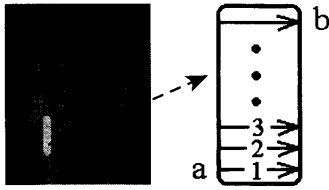


図8 強調分散値の温度抽出用テンプレート

Fig.8 Cheek mask of the Emphasized variance value.

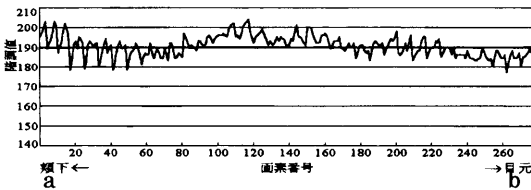


図9 男性の温度分布

Fig.9 Temperature distribution of male.

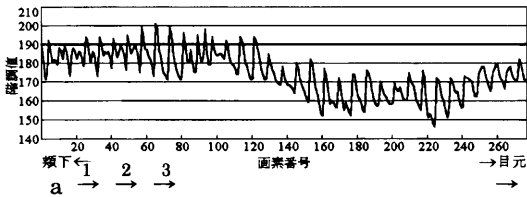


図10 女性の温度分布

Fig.10 Temperature distribution of female.

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \quad (3)$$

E:強調分散値

n:温度抽出用テンプレート内の画素数

Xi:各画素の階調値(0~255)

度(階調値)分布に関しては、男性は分布範囲が狭く同時に平均値が高く、女性は温度分布が広く平均値が低いことが分かる。これは図9,10から当然の結果である。したがって、図8のテンプレート内における男女の頬温度分布は、前述した以下2点の男女の生体的特徴を反映している。

1. 女性の基礎代謝量は男性より小さい→温度分布の平均値が男性よりも低い
2. 体脂肪率は男性よりも女性の方が大きく、かつ脂肪が広く分布している→温度分布の分散が女性の方が大きい

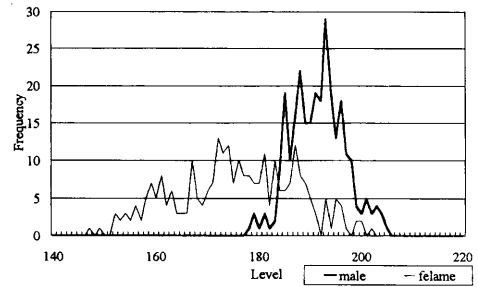


図11 男女のヒストグラムの相違

Fig.11 Difference of the man and woman histogram.

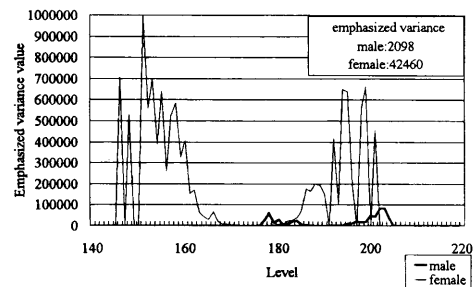


図12 男女の強調分散の相違

Fig.12 Difference of the man and woman Emphasized variance.

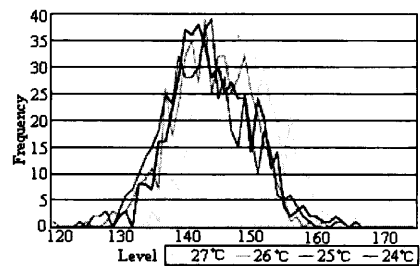


図13 周囲温度を変化させた場合の男性の温度分布

Fig.13 Temperature distribution of the man when an ambient temperature was made to change.

1は周囲温度の影響を受けることが予測されるので、2の結果から分散を比較することを試みた。しかし、式(2)の分散値の結果を比較しても男女間に大きな違いはなかった。そのため、男女間の相違を広げるために分散値をより強調することにした。一般に定義される分散式(2)の2乗部分をさらに強調する目的で、式(3)のように4乗とした。この式(3)を強調分散値と呼ぶことにする。4乗とすることで温度分布を強調でき、男女間の距離は

単なる図11のヒストグラムの分散より広がり,図12に示すようになった.この図12は X_i に対応した X_i の項を4乗にしたものである.図12から強調分散値によって男女間の距離が広がって男女識別が容易になっていることが読み取れる.次に,強調分散値に対する周囲温度の影響を検討した.そのために男女各2名を室温24℃の部屋で10分間待機させ,空調を1℃ずつ27度まで上げてデータを採取した.こうして得た男性1名のデータを図13に示す.この図13より周囲温度が上がっても,ヒストグラムの形状と面積(=分散=強調分散値)はほとんど変わらないことが分かった.しかしヒストグラム全体は階調値(温度)が高いほうにわずかに移動した.他の男性のデータも同じであり,女性のデータは男性より階調値の低い所で同じ傾向を示した.したがって,分散すなわち強調分散値は周囲温度の影響を受けない男女識別に有効な特徴量であることが分かる.強調分散値による男女識別率は男性77%,女性75%となった.図14に強調分散値-[頬/あご]の識別図を示す.

5. 一日の体温変動と年齢の影響

5.1 一日の体温変動の影響

本手法は,男女の基礎代謝量の相違と,ホルモン分泌による男女間の体脂肪率の相違を基にしたバイオメトリックスな方法である.しかし,人の体温は1日の間に図15[5]に示す様に変化する.この図より通常の体温を100とすると,午前8時から午後11時の間で体温変化は±5であることが分かる.100を36℃とすると,5は1.8℃に相当する.また,女性の場合は月経に伴う温度変化があり,その値は0.6℃である.したがって女性の場合の最大温度変化は2.4℃なる.本手法で男女識別に使われる温度差は図16のように[頬/あご]をマハラノビス判別で分けられた部分の重心を取ると図16の下部の□内に示したことから約3.5℃となり,前述した変化値よりも大きい値を使用する本手法は識別可能である.本手法で使用した赤外線カメラの精度は0.07℃である.さらに本手法では温度とは異なる特徴量として強調分散値を併用している.したがって,人間の一日の体温変動や女性特有の体温変動があっても本手法はこれらの影響を受けずに識別可能である.

表1 各方法での識別率

Table 1 Distinction result by three methods.

	No glasses		With glasses	
	male	female	male	female
1.Emphasized variance value	77[%]	75[%]		61[%]
2.[Cheek/jaw]	68[%]	62[%]	68[%]	62[%]
3.Emphasized variance value -[cheek/jaw]	71[%]	71[%]	62[%]	75[%]

表2 3つの組み合わせによる識別結果

Table 2 Distinction result by thermography

(a)male				(b)female			
Emphasize d variance value	[Cheek/jaw]	Emphasized variance value -[cheek/jaw]		Emphasize d variance value	[Cheek/jaw]	Emphasized variance value -[cheek/jaw]	
		○	×			○	×
○	○	80	8	○	○	67	17
○	×	0	22	○	×	2	24
×	○	12	1	×	○	20	1
×	×	5	14	×	×	2	14
○○○+○○		100/142		○○○+○○		106/147	
Distinction rate		70%		Distinction rate		72%	

表3 各方法での識別率
Table 3 Result of a distinction

	No glasses		With glasses	
	(a)male	(b)female	male	female
1.Emphasized variance value	77%	75%	63%	61%
3.Emphasized variance value -[cheek/jaw]	71%	71%	62%	75%
3.Gradation value [cheek data -jaw data]	71%	73%	71%	73%

表4 3つの組み合わせによる識別結果
Table 4 Distinction result by thermography

(a)male				(b)female			
Gradation value [cheek data-jaw data]	Emphasized variance value	Emphasized variance value-[cheek/jaw]		Gradation value [cheek data-jaw data]	Emphasized variance value	Emphasized variance value-[cheek/jaw]	
		○	×			○	×
○	○	73	6	○	○	62	17
○	×	12	10	○	×	16	13
×	○	15	16	×	○	22	9
×	×	1	9	×	×	5	3
○○○+○○		106/142		○○○+○○		117/147	
Distinction rate		75%		Distinction rate		80%	

5.2 年齢の影響

本手法の基本概念である性特徴が十分に現れていない低年齢層や、ホルモン分泌が低下している高年齢層に適用可能か否かが大きな問題である。このことを検討するために、少数ではあるが15歳未満と40歳以上の男女のデータを取り検討した。15歳未満の男性7人(図17中の△)、40歳以上の男性6人、女性8人の強調分散値を図17に示す。この結果より次の2点が言える。

1.40歳以上の男女は15歳から30歳と同じ傾向である。
2.15歳未満の男性は強調分散値が高いものから低いものまで大きくばらつきしたがって男性としての傾向がない。

この2から本方法は15歳未満には適用できないことが分かった。これは前述したように低年齢ではホルモン分泌がまだ完全でなく性特徴が著しく現れていないことに起因する。したがって、本手法は15から60歳を対象に適用できる。

6. ロバスト性の強化と識別結果

頬部分に温度抽出用テンプレートに掛けた強調分散値で77%、75%という識別率を得た。しかし頬の強調分散のみでは誤認識する可能性がある。そのため識別のロバスト性を強化するためにマハラノビス判別を用いた方法(3)を追加し、次の3つの方法を用いて識別する。

1.頬の強調分散値, 2.[頬/あご], 3.頬の強調分散値-[頬/あご]。これら3種の識別率の結果を表1に示す。これら3種の方法において信頼性を増すために2種以上(1-2-3, 1-2, 1-3, 2-3の組み合わせ)で認識させた識別率は表2に示すように(a)男性70% ($100=[80+0+12+8]/142$), (b)女性72% ($106=[67+2+20+17]/147$), となった。

また、強調分散値用温度抽出用テンプレートは眼鏡を掛けている状態では上部を削る必要があり、この場合の個々の結果は表1の右側に示す。表3の3.頬-あごのマハラノビス距離での識別は周囲温度の影響を受けるので、表3と4は周囲温度を一定にした場合の識別率である。したがって、周囲温度が変化する環境ではあらかじめ求めてある変換値を使用して採取した頬とあごの温度を補正する必要がある。

【手のひらの利用】

顔と同様な傾向が手のひらの脂肪にもあり図18のマスクを使用して強調分散値を適用した結果を表5の上段に示す。また、手と顔を併用した場合の識別率を表5の下2段に示す。

7. データ分布を目視で検討したしきい値の適用

さらに識別率を向上させるために男女データの分布を目視して、各々男女データを多く含むように男女の境界を決定した結果を図19, 20. 示す。図19はマハラノ

赤外線画像による男女識別の可能性の検討

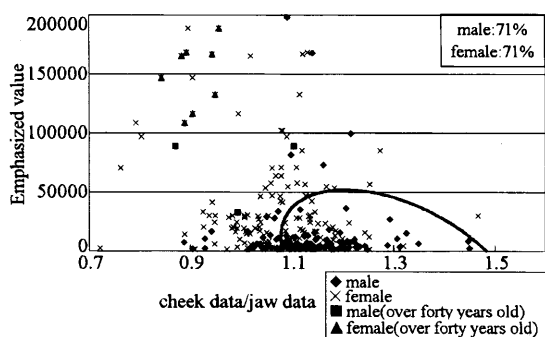


図14 強調分散値と[頬/あご]による識別

Fig.14 Distinction by Emphasized variance value and [cheek/jaw].

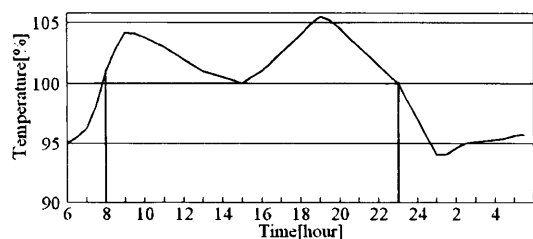
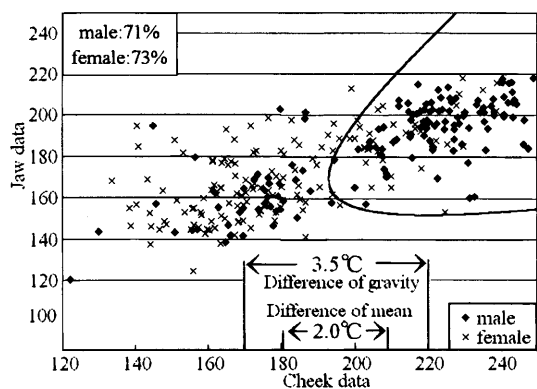


図15 人間の1日の体温変化

Fig.15 Temperature change of a human in a day



Temperature range: 22.42 ~ 40.34°C Level: 0 ~ 255
 1Level: $\frac{(40.34 - 22.42)^\circ\text{C}}{255} \approx 0.07^\circ\text{C}$
 $3.5^\circ\text{C} : 0.07^\circ\text{C} \times 50\text{level}$ $2.0^\circ\text{C} : 0.07^\circ\text{C} \times 28\text{level}$

図16 頬の平均値の差

Fig.16 Cheek gradation mean.

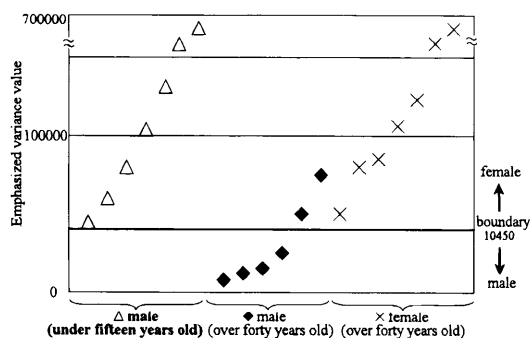


図17 15歳未満と40歳以上の強調分散値

Fig.17 The Emphasized variance value of under 15 years old and over 40 years old.

表5 手を用いた識別率
Table 5 Result of a distinction with a hand.

Method	male	female
Emphasized variance value of hand	62[%]	57[%]
Emphasized hand	60[%]	76[%]
Emphasized cheek	60[%]	76[%]
Emphasized hand-[cheek/jaw]	83[%]	70[%]
組み合わせ	62[%]	76[%]



図18 手のマスキング画像

Fig.18 Palm type mask.

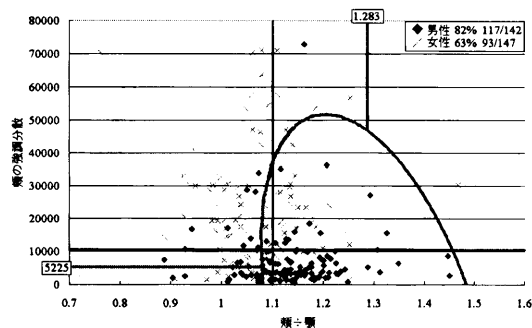


図19 マハラノビス距離境界外に設定

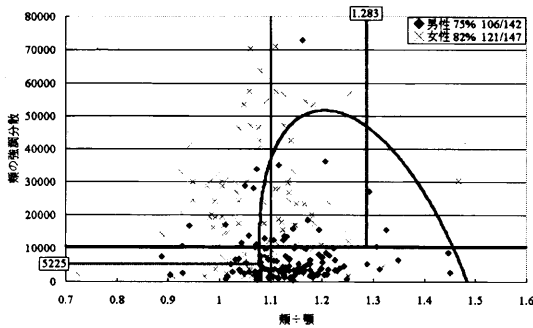


図20 マハラノビス距離境界外に設定

ビス距離の境界の下方向を二分割するように縦の線ヲマハラノビス距離境界に立てる。横は強調分散値の半分の5225を引いた。図20は図19で低かった女性の識別率を上げるために、マハラノビス距離境界内の強調分散値境界まで引いた場合である。

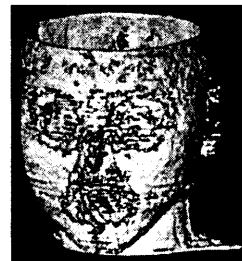
8. むすび

本手法は男女の性特徴が反映した人体の温度を利用したバイオメトリックスな手法である。強調分散値という新しい概念を導入した結果、男女間の相違はこの値によって拡大され、男77%女性75%の識別率を得た。さらに、3通りの識別方法を使用してロバスト性のある識別法を確立して男性70%女性72%の識別率を得た。手のみの温度を用いた識別方法では男性62%女性57%、手と顔を組み合わせた方法では男性83%女性70%の識別率を得た。今後はカラー画像によるヒゲ検出を併用して識別率を向上させる予定である。

参考文献

- [1] 数藤恭子,大和淳司,伴野明 “モルフォロジーによるパターンスペクトラムを特徴量に用いた男女識別法” 信学論(D-II),vol.J80-D-II, no.5, pp.1037-1045, May 1997.
- [2] 数藤恭子,大和淳司,伴野明,石井健一郎 “入店客計数のためのシルエット・足音・足圧による男女識別法” 信学論(D-II), vol.J83-D-I, no.8, pp.882-890, August 2000.
- [3] D.F Marston, "Gender Adapted Speech Coding," IEEE Proc. ICASSP, vol.1, pp.357-360,1998.
- [4] http://www.tanita.co.jp/bwl/bm-q_a.html
- [5] <http://www.cwsc.inage.chiba.jp>
- [6] 荻原俊男,垂井溝一郎 編,「現代医学の基礎」, “4. 生体の調節システム” ,岩波書店,1999.5.

- [6] 山内俊雄,「性の境界」,岩波書店,2000.
- [7] 高橋長雄,「からだの地図帳」講談社,1989.
- [8] 窪田金次郎,G.-H.シューマッハー,「図説体表解剖学」 p56,朝倉書店,1992.
- [9] 中野昭一,重田定義,「図説からだの事典」朝倉書店,1992.
- [10] 入来正入射,「体温生理学テキスト-分かりやすい体温のおはなし-」 p.8,文光堂2003.
- [11] 中野昭一,「図説・からだの仕組みと働き 第2版」医歯薬出版,1994.
- [12] 佐藤達夫,「人体の不思議 第4巻」丸善,2005.
- [13] S. Nishino, S. Igarashi, A. Matuda, "MAN AND WOMAN DISTINCTION USING THERMOGRAPHY", ICINCO 2004, First International Conference on Informatics in Control Automation and Robotics- Proceedings, Vol.2 pp455-463, Setubal, Portugal, August, 2004.
- [14] S. Nishino, S. Igarashi, A. Matuda "Face Extraction and Gender Determining Method using Thermography", (VIIP2004) Proceeding of the Fourth IASTED international Conference VISUALIZATION, IMAGE, AND IMAGEPROCESSING, pp60-65(452-073), Marbella, Spain, September. 2004.
- [15] S. Nishino, S. Igarashi, A. Matuda "Gender Determining Method using Thermography", IEEE-ICIP2004, Singapore, October.2004
- [16] 坂本雄児,大塚晃央,坂田吉勝,青木由直 “濃度-こう配2次元ヒストグラムを用いた3次元画像の画素分類法” 信学論(D-II), Vol.J77-D-II, no.4, pp.682-689, April 1994.
- [17] 西野聰,特許広報,国際公開番号: WO 2005/070301 A1.
- [18] 保志宏,「人の成長と老化・第3版」てらべいあ,1997, p.155, p.158.



付録 顔の脂肪分布CT画像[16]

「受理年月日 2005年9月30日」