

## テンプレートマッチング法による目検出のための適切な周辺チェック領域の検討 Suitable Checkpoints of Features Surrounding the Eye for Eye Tracking Using Template Matching

宮崎 翔太<sup>†</sup>  
Shota Miyazaki

高野 博史<sup>†</sup>  
Hironobu Takano

中村 清実<sup>†</sup>  
Kiyomi Nakamura

### 1. はじめに

マウスやキーボードといった手を使った入力装置が一般的に普及しているが、手の不自由な障害者や負傷などにより手を使えない人はこのような入力装置を使用できない。このため、手を使わない入力装置のひとつとして、目検出を用いた入力装置の開発がさかんに行われている[1][2]。その中でも、テンプレートマッチング法を使った目検出システムは、カメラとパソコンのみで動作し非接触型入力装置であるため、使用者に対する負担が少ない。テンプレートマッチング法を用いた目検出システムにおいて、黒目の特徴だけでなく眉毛や眉毛と目の間の肌といった目周辺の特徴を利用することは有効である。それらの特徴をとらえるための領域や判定基準が適切に設定されることで、誤検出や検出見逃しが発生しにくくなると考えられる。しかし、目周辺特徴のチェック領域が適切に設定されていなければ、眉毛のような他の顔の部位を誤って検出してしまふ可能性がある。本研究では、顔特徴の実測データをもとに、リアルタイム目追跡システム[3]に用いる目周辺特徴チェックの妥当性を仮説検定することで評価し、最適な目周辺領域チェックの設定を行った。

### 2. 目検出システム

片目部分テンプレートおよび目周辺特徴チェックを用いた目検出システムは、CCDカメラとパソコンから構成される。まず、カメラから入力された256階調の濃淡画像(解像度640×480ピクセル)に対して2値化処理を行う。次に、2値化された画像に対して片目部分テンプレートおよび目周辺特徴チェックによる走査を画像左下から右上方向に行い、それらの各判定基準を全て満たす点を目として検出する。目検出システムを非接触入力装置へ応用する場合、検出した目の位置をディスプレイ上のマウスカーソル位置と一対一対応させる。処理速度は、CPUクロック周波数2.4GHz、RAM2GBのパソコンにおいて約15フレーム毎秒である。

#### 2.1 片目部分テンプレートと目周辺特徴チェック

非接触入力装置ではカメラ入力画像をディスプレイ上に表示して使用する。カメラ入力画像中の目(虹彩)の移動範囲は、ディスプレイ上の全範囲をカバーするように設定する必要がある。本研究では、使用者の入力操作を容易にするため、カメラ入力画像中の虹彩サイズを実際の虹彩サイズと一致させる。生理学的知見では、成人の角膜の直径は約11mmであり、虹彩サイズは角膜サイズとほぼ一致する[4]。従って、虹彩サイズをディスプレイ上で11mm(46ピクセル)に設定する。ここで、ディスプレイの解像度は106.7dpiである。虹彩の上下はまぶたによって隠蔽される。隠蔽されない部分の縦幅は一番見えにくい人を基準にして6mm(25ピクセル)とした。従って、片目部分テンプレ

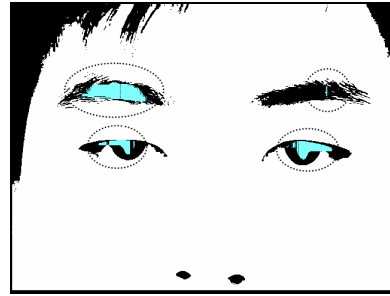


図1 目の検出候補点の分布

トを横46ピクセル、縦25ピクセル、線幅1ピクセルのクロス型の直線で構成した。片目部分テンプレートをクロス型の直線で構成することにより、角膜反射光の影響を軽減し、目全体の画像をテンプレートとするよりも計算量を削減している。

片目部分テンプレートのみで目検出を行うと、画像中の目らしい場所を誤検出してしまふため、目周辺の顔特徴のチェックを行う。目周辺特徴チェックは眉毛、眉毛と目の間、上まぶた、黒目中、目の下の領域の中から13箇所をチェックする。眉毛と目の間、目の下のチェックでは白画素数を、その他のチェックでは黒画素数をチェックする。各チェック領域でカウントされた白画素数または黒画素数が、領域毎に設定された判定基準値(画素数の下限値)を上回るとき、目の条件適合性を満たすと判定する。

#### 2.2 目の検出候補点

本システムにおける目の検出点とは、走査領域の中で最初に片目部分テンプレートおよび目周辺特徴チェックの各基準値を満たす点のことであるが、各チェックの基準値を満たす点は検出点を含めて画像中に無数に存在する。これらを目の検出候補点と呼ぶ。本システムでは、図1に示すように眉毛にも目の検出候補点が分布する。瞬きなどの影響により目の検出候補点が目位置に存在しなくなると、眉毛を目と誤って検出してしまふ。このことから、このシステムでは眉毛を誤検出する可能性があると判断できる。

### 3 チェック領域の仮説検定

眉毛が誤検出される可能性は、目周辺特徴チェックの設定が不適切であることに起因するものとして、目周辺特徴のチェック位置とチェック幅を顔特徴の実測値を用いて仮説検定(Hotellingの $T^2$ 検定)することで評価した。Hotellingの $T^2$ 統計量を用いることで、複数の項目を同時検定することができる。顔標本画像として2値化を施した際に眉毛がはっきりと見える8人の正面向き、開眼状態の顔画像をそれぞれ4枚ずつ取得し、それらの特徴領域の上下端点座標から各特徴領域(2値化した際に上下端点がわかる眉毛、眉毛と目の間、上まぶた、黒目の4箇所)の中心座標と幅を求め、これらを実測値として用いた。また、各特徴領域の中心座標および上下幅の実測値に対して目周辺特徴チェ

<sup>†</sup>富山県立大学 大学院工学研究科

ク領域の中心座標と判定基準を設定値とし、実測値と設定値が等しいかどうかを仮説検定した。仮説検定の結果、各目周辺特徴チェックの設定値と顔特徴の実測値の間には統計的に有意な差がみられた( $P<0.001$ )。これは、従来のチェック領域が経験的に設定されていることによると考えられる。このことから、現在の目周辺特徴チェックでは正しく特徴をとらえることが困難であると考えられる。

#### 4 チェック領域の設定

仮説検定に用いた標本顔画像から得られた顔特徴の平均および標準偏差を用いて、目周辺特徴のチェック位置およびチェック幅を設定した。更に、従来のマッチングのための基準値では下限のみを設定していたのに対して、ここでは上限と下限を設定した。この設定を上下基準設定と呼ぶこととする。従来の設定と上下基準設定を比較するため、各設定を用いた目検出システムの目検出性能を調べた。目検出には13人の正面向き、開眼状態の顔標本画像をそれぞれ1枚ずつ用いた。これらの画像を眉毛の濃さと前髪の状態により、以下の3つのグループに分けた。

- A. 眉毛が濃く前髪が眉毛の上に写っていないグループ
- B. 眉毛が濃く前髪が眉毛の上に写っているグループ
- C. 眉毛が薄く前髪が眉毛の上に写っていないグループ

ここで、各グループに含まれる画像数はAが3枚、Bが7枚、Cが3枚である。各グループの画像に対して、目を検出する割合を正検出率、目以外の領域を検出する割合を誤検出率、何も検出されない割合を検出見逃し率、目の検出候補点が目以外の領域に分布する画像の割合を誤検出可能性として、各設定による目検出結果を表1に示す。正検出率、誤検出率、検出見逃し率は各グループの画像に含まれる目の数(画像の枚数×2)を全数として、該当する検出状態の数を全数で割ったものとした。また、誤検出可能性は各グループの画像の枚数を全数として、目の検出候補点が目以外の領域に分布した画像の数を全数で割ったものとした。

どちらの設定を用いた目検出も全てのグループにおいて誤検出は見られなかった。グループBにおいて、誤検出可能性があるにもかかわらず誤検出が見られなかったのは、目以外の領域に目の検出候補点が分布する状況でも正しい目の位置が走査領域中で最初に目の条件適合性を満たしていたためと考えられる。グループAではどちらの設定による目検出も正検出率が100%となった。グループBでは、上下基準設定を用いた目検出の正検出率が従来のものに比べてわずかに低くなっている。しかし、上下基準設定を用いた目検出の誤検出可能性は、従来の設定を用いた目検出の誤検出可能性が100%であるのに対して、14%と大幅に低くなっている。また、図2にグループBに含まれる画像における目の検出候補点の分布を示す。この図では眉毛に目の検出候補点が分布していないことがわかる。この結果から、眉毛の誤検出は前髪が眉毛の直上に存在することにより発生していたと考えられ、上下基準設定を用いた目検出では前髪の影響による誤検出可能性に大幅な改善が見られる。グループCでは、上下基準設定による目検出の正検出率が0%となっている。これは、上下基準設定に用いた顔標本が全て眉毛のはっきり見えるものだけであったためである。

以上のことから、目周辺特徴チェックの上下基準設定は誤検出に対して有効であると考えられる。また、判定基準

表1 目検出実験結果

グループ	目検出性能	チェック領域	
		従来	上下基準
A	正検出率	100%	100%
	誤検出率	0%	0%
	検出見逃し率	0%	0%
	誤検出可能性	0%	0%
B	正検出率	100%	93%
	誤検出率	0%	0%
	検出見逃し率	0%	7%
	誤検出可能性	100%	14%
C	正検出率	67%	0%
	誤検出率	0%	0%
	検出見逃し率	33%	100%
	誤検出可能性	0%	0%

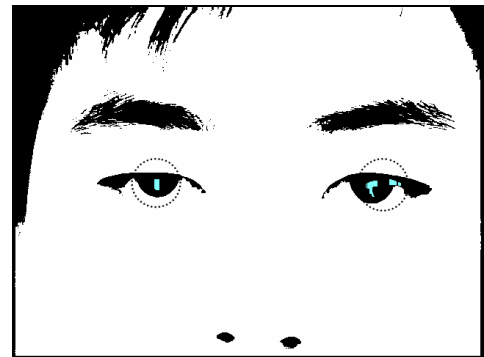


図2 上下基準設定による目の検出候補点の分布

として上限値を設定することも、髪の毛などの影響を軽減するのに有効であると考えられる。しかし、眉毛の濃さに影響を受けやすいという問題がある。

#### 5 まとめ

本研究では、実測データを用いて仮説検定を行うことで目周辺特徴チェックを評価し、従来のチェック項目の設定値が不適切であったことを示した。また、目周辺特徴を正しくとらえるために目周辺特徴の実測データからチェック項目の設定値を見直し、基準値の上限および下限を設けたことにより、誤検出可能性を減少することができた。今後の課題として、入力装置への実装を行うために、チェックの設定に用いる標本数を増やし、前髪や瞬き、顔の向きに対応した設定を検討する必要がある。また、リアルタイムで目検出を行った場合の目検出性能について調査する必要がある。

#### 参考文献

- [1] T. Ohno, "Eyeprint: Support of document browsing with eye gaze trace," Proceedings of the 6th International Conference on Multimodal Interfaces, pp.16-23, 2004.
- [2] 比嘉広樹, 国吉真史, 堂上高司, 西原賢, "眼球運動を用いたヒューマンインタフェースの検討," 信学技報, MBE2006-67, pp.5-8, 2006.
- [3] 柘植夕起子, 高野博史, 黒川正博, 中村清実, "リアルタイム目追跡の非接触型入力装置への応用," 信学技報, NC2004-162, pp.149-154, 2005.
- [4] 大村裕, 大山浩, 富田忠雄, 小野武年, 久場健司, 赤池紀生, 概説生理学 動物的機能編, 南江堂, p.95, 1998.