

人物内部状態推定のための瞬目度自動認識の研究

水戸 大輔 福添 孝明 伊藤 雅人 渡邊 睦

鹿児島大学 大学院 理工学研究科
〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 Tel:099-285-8453
E-mail: {sc100067,sc098053,sc100005,mutty}@ics.kagoshima-u.ac.jp

あらまし 例えば運転中のドライバーの疲労度認識など、安全確保のために人物の内部状態を自動認識する必要性は非常に高い。これを非拘束に行うために、画像認識技術を用いて人物の動作、顔の表情などを解析することが有効であると考えられる。筆者らは目の状態に注目し、瞬目の回数変化検出及び半閉目状態の出現検知により、人物の集中度・疲労度の状態の認識を行う手法の研究を行っている。本稿では、自動検出した目領域に含まれる瞳部分の面積・まぶたの形状変化を連続計測することにより求めた瞬目回数の変化と半閉目状態との推移を、目視検出結果と生理的指標である脳波解析結果と比較した結果を中心に報告する。

キーワード 目検出, 瞬目検出, 二次元ハフ変換, 脳波解析

The Research of Automatic Blinking Degree Recognition for Estimating Human's Internal Status

Daisuke MITO Takaaki FUKUZOE Masato ITO Mutsumi WATANABE

Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University
1-21-40 Korimoto Kagoshima, 890-0065, Japan

E-mail: {sc100067,sc098053,sc100005,mutty}@ics.kagoshima-u.ac.jp

Abstract From the viewpoint of safety insurance, automatic recognition of person's internal state, for example, tiredness of a driving person, is regard as highly necessary. Vision-based analysis of human motion and face expression in unconstrained conditions is considered as effective to realize the automatic recognition system. The authors have started the research of estimating the state of person's concentrated/tired level through eye conditions, such as, the blink frequency and the open degree of eyes.

This paper mainly reports the comparison of vision-based frequency measurement results of blink and "vacant eye", with human-based measurement results and analysis of brain wave.

Keyword Eye Detection, Blink Detection, 2D Hough Transformation, Brain Wave Analysis

1. はじめに

カメラが捉えた画像を解析し映っている人物を認識、個人の特定、そして個人の状態の認識と。人間の顔画像から顔・虹彩・表情等の生理的情報を自動的に認識する技術の研究が様々な分野で進められている。筆者らは人物に長時間のタスクを与え続けた際の目の状態の変化に注目し、瞬目の回数変化検出及び半閉目状態の出現検知により人物の集中度・疲労度などの内

面状態の推定を行う方式の研究を行っている。

テンプレートマッチング手法を用いた瞳検出や眼の輪郭線抽出の研究[1][2]や色情報を用いた瞳領域の切り出しと二次元ハフ変換を用いた瞳検出[3]など多数行われている。特に内面状態の推定に結びつくものとしてニューラルネット手法を用いた瞬き計測によるドライバの運転意識低下レベルの推定[4][5][6][7]が提

案されている。またテンプレートマッチング手法にて抽出した顔を構成する目や鼻・口・眉などのパーツの位置関係や形状を認識することで表情を推察する方式[8]などが挙げられる

人物の瞬目の開閉時間の変化と意識低下の相関は高いが、疲労状態・覚醒低下状態の推定には人物の全瞬目だけでは不十分で、半閉目状態の推移的な情報の認識も必要である。また人間の主観的な解析結果だけであり、生理的指標との対照実験が十分に行われていない。

本稿では二次元ハフ変換を用いて自動検出した目領域に含まれる瞳部分の面積・まぶたの形状変化を連続計測することにより求めた瞬目回数の変化と半閉目状態との推移を、目視検出結果と生理的指標である脳波解析結果と比較した結果を中心に報告する。

2. 目の状態認識による内部状態の推定

心理的な動揺や怒り、疲労など人物の内部状態が外面に顕れる仕草・部位として、顔の局所的変形・表情変化、目線の動き、瞬目回数の変化、頭・手など身体一部の動き、貧乏揺すりなど身体全体の動き・姿勢変化、等が挙げられる。特に表1に示すように、視線、目の状態、瞬目など、目に関する仕草は、非常に多くの情報量を有している。

今回我々は、人物内部状態推定の一環として、画像計測により求めた瞬目の回数・間隔に基づいて疲労度の推定を行う研究を開始した。完全に目を閉じた状態となる通常の瞬目（以下、「全瞬目」）に加え、眠気を生じ目がとろんとした状態（以下、「うつろ目」）も同時に測定するための画像処理手法を新たに開発した。

表1 目の状態と内部状態との定性的関係[9]

仕草・部位	外部への顕れ	内部状態
視線	意識的に相手に向ける	目で主張
	無意識的に相手に向ける	好意を持つ
	笑いながら相手からそらす	否定的気持
	無意識的に相手からそらす	好きでない、緊張
	視線を全くそらさない	緊張、自意識過剰、放心状態
	ゆらゆら・ぼんやりする	興味・関心が無い
	横目・斜め下に向ける	嫌悪、軽蔑
目の状態	きょろきょろ落ち着かない	周囲が気になる、自意識過剰
	目がうつろ	何かに心を奪わ

		れ虚脱状態
瞬目	目が潤む	感動、悔しさ、悲しみ
	目配せ	親しいコミュニケーション
	回数が多い	強く感情が動き、落ち着こうとしている状態
	回数が少ない	落ち着いていて、じっくり聞いたり、真剣に思考中
	目を強くつむる	下向き： 我慢中 上向き： 想起中
	目を軽くつむる	疲れた 一呼吸おく

3. 全瞬目・うつろ目自動検出処理

3.1 全体の流れ

目の状態認識のための手順を説明する。

まず撮影された顔画像に対して目の領域を検出する。次に円の二次元ハフ変換により瞳部分の検出を行う。最後に抽出した瞳領域の面積から目の状態認識を行う。処理の流れを図1に示す。

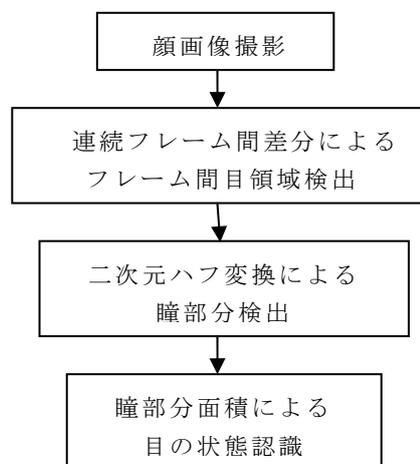


図1 処理の流れ図

3.2 目領域検出

顔面のグレイスケール画像の連続フレーム間差分により、顔面内部において瞬目等による明度変化が大きくなる点を累積し、最も変化量が大きくかつ画素が黒領域である点を瞳の一部分とし、隣接しあう画素の黒画素を探索し目領域を抽出していく。目領域の検出処理の流れ図を図2に示す。

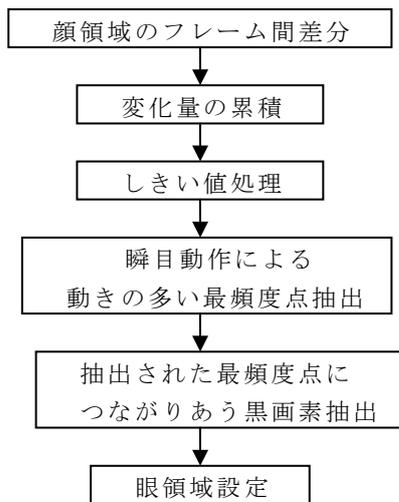


図2 目領域設定処理の流れ図

3.3 瞳部分検出方法

目領域から瞳位置を検出する。瞳は個人差によらずほぼ円形である事に注目し、二次元ハフ変換による手法を用いた。先に抽出されている眼領域にエッジ処理を加え、二次元ハフ変換を行う事によって瞳の円を検出する。同時に瞳の半径 r 、及び瞳の中心座標 $(Xcenter, Ycenter)$ の情報を得ることができる。

二次元ハフ変換を用いた理由は、円の一部に隠れが生じた場合でも画像情報を大局的にとらえることにより検出でき、開眼状態に加え半閉目状態といった瞳がまぶたに隠れている状態においても瞳の検出が可能であると考えられる点である。また計算時間・メモリ容量を削減するために、目領域をあらかじめ設定し探索範囲を絞り込む事に加え、抽出された目領域の画素値を二値化する事で余分なエッジ点群を排除した。

図3に二次元ハフ変換により瞳の円検出を行う処理手順を示す。

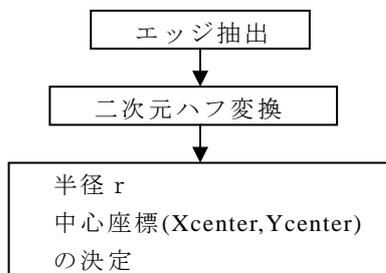


図3 瞳部分検出の流れ

3.4 閉目・半閉目の判断

検出された瞳より、開眼状態・半閉目状態・閉眼状態の目状態認識を行う。二次元ハフ変換により円の中心座標 $(Xcenter, Ycenter)$ 、円の半径 r が既知であるために、二次元ハフ変換によって求められた円の直径及び $Xcenter$ 座標上における黒画素数をカウントする事で求めた瞳縦幅 d との比率により瞳の3状態(開眼・半閉目・閉眼)の判断を行った。

検出すべき円と黒領域の関係を図4に示す。

開眼度 $Open_{eye}$ は

$$Open_{eye} = \frac{d}{r * 2} * 100 \quad (1)$$

とし、瞳の3状態のしきい値を以下のように設定した。

$Open_{eye} > 50$. . . 開眼(図4-1)

$20 \leq Open_{eye} \leq 50$. . . 半閉目(図4-2)

$Open_{eye} < 20$. . . 閉眼(図4-3)

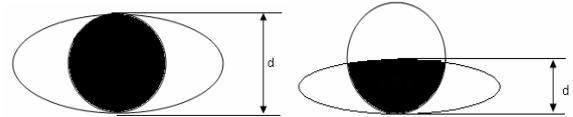


図4-1 開眼状態

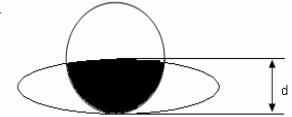


図4-2 半閉目状態

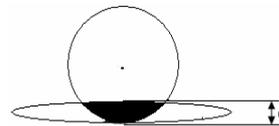


図4-3 閉眼状態

3.5 全瞬目・うつろ目の判断

半閉目状態の判断については通常の瞬目による瞬時的な半閉目状態と眠気が生じていると推定される連続的な半閉目状態(うつろ目)との区別をつけるために、0.5秒以上(5フレーム以上)半閉目状態が続いた際にうつろ目とした。

4. 評価実験

4.1 実験条件

4.1.1 脳波計測実験機器

生理的指標を得るために脳波の検出を行う。脳波には EOG 等のノイズが重畳するが生理的指標として利用できると考えられるため採用した。脳波変化脳波計測システムとして AD 変換装置(CEDmicro1401)日本光電社製脳波計(EEG-4418) PC(PowerMacintosh8100AV)を用いる。被験者にエレクトロキャップを取り付け右

耳,左耳,A1,A2,Cz,O1,O2,P3,P4,Pz(図 5)の電極を用いて,電位変化の測定を行う。

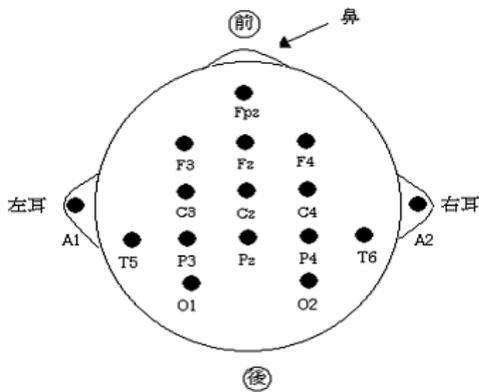


図 5 エレクトロキャップ電極位置

4.1.2 CV 実験機器

提案手法を Visual C++ 6 にてソフトウェア化し評価実験を行った。PC(CPU Intel Xeon 3.6GHz メモリ 2G)にキャプチャボード Matrox 社製 Meteor2 を取り付け、実験を行った。カメラは Sony DV カメラ(DCR-HC88)を利用した

4.2 脳波計測実験結果

心的操作に伴って発生する電位変化である事象関連電位の計測実験を行った。被験者に対するタスクとしてオドボール課題(1秒毎に発生する音を低音と高音かに聞き分け,出現頻度の低い高音の出現回数を記憶する課題)を30分の事前練習の後,15分を3セット・13分を1セット課した。各セットの間隔は約10秒である。

各セットの高音時(以下,「target」)及び低音時(以下,「non-target」)の反応に対する脳波を比較することで,生理的指標として用いる。結果をタスクの最初の15分間の結果を図5-1表4に,最後の13分間の結果を図5-2に示す。

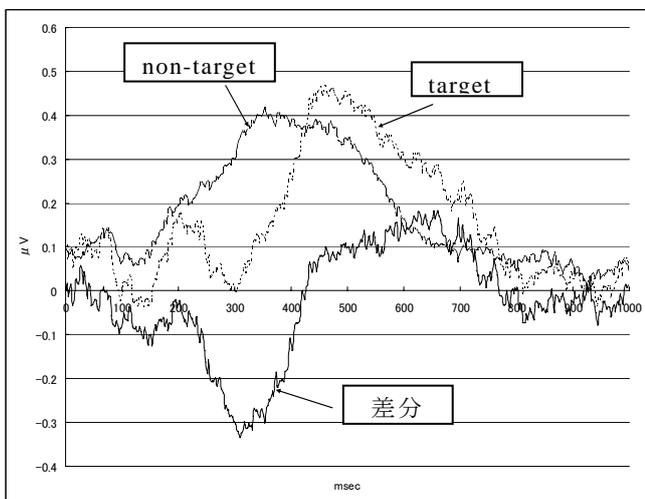


図 5-1 タスク最初 15 分間における脳波解析結果

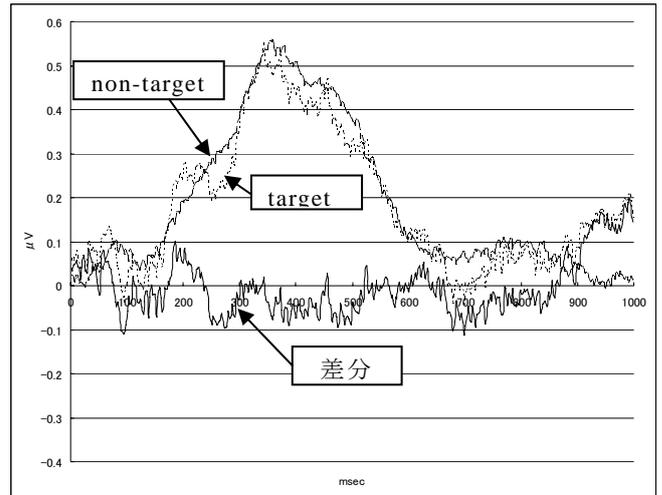


図 5-2 タスク最後 13 分間における脳波解析結果

4.3 CV 実験結果

予備実験により被験者の瞳の半径は10~11ピクセルであったため,二次元ハフ変換のパラメータ空間である半径の値を8~13ピクセルとし評価実験を行った。時間ごとの状態変化との関連性を関連付けるために脳波データを取る実験と並行して行った。

最初の1セット目(15分)と最後の4セット目(13分)の実験結果に対してビデオの映像を目視で,開眼状態・半閉目状態・閉眼状態の3状態に分類し,実験後システムが判断した3状態と照らし合わせることで評価を行った。結果は4.2.1,4.2.2に示す。また各実験の処理速度は10FPS(Frame Per Second)であった。

4.3.1 全瞬目認識評価

閉眼に対する性能の評価を行った。タスクの最初の15分間の結果を表2に,最後の13分間の結果を表3に示す。

ここで表のx1は目視による瞬目のイベント数,y1はCVおよび目視両方で瞬目と判断されたイベント数,z1は目視で閉眼だったがCVでは認識されなかったイベント数,r1は目視では瞬目・半閉目状態だったが,CVにおいて誤認識で瞬目とされたイベント数を示す。

表 2 タスク最初 15 分間における結果

Frame	x1	y1	z1	r1
0-3000	250	235	15	118
3001-6000	244	232	12	98
6001-end	255	235	20	108
Sum	749	702	47	324

表 3 タスク最後 13 分間における結果

Frame	x1	y1	z1	r1
0-3000	287	174	113	43
3001-6000	243	115	128	44
6001-end	108	52	56	22
sum	638	341	297	109

認識率(y1/x1)は最初 15 分間が 93.72%, 最後 13 分が 53.44%となった。またそれぞれの FRR, FAR は最初 15 分間が 6.27%, 43.25%, 最後 13 分が 46.55%, 17.08% となった。

4.3.2 うつろ目認識評価

瞬目と同様にうつろ目に対する認識評価を行った。タスクの最初の 15 分間の結果を表 4 に、最後 13 分間の結果を表 5 に示す。

ここで表の x2 は目視によるうつろ目のイベント数, y2 は CV および目視両方でうつろ目と判断されたイベント数, z2 は目視でうつろ目だったが CV では認識されなかったイベント数, r2 は目視で開眼・半閉目状態だったが CV において誤認識でうつろ目とされたイベント数を示す。

Frame	x2	y2	z2	r2
0-3000	9	1	8	4
3001-6000	14	3	11	13
6001-end	7	1	6	5
sum	30	5	25	22

表 4 タスク最初 15 分間における結果

Frame	x2	y2	z2	r2
0-3000	9	5	4	13
3001-6000	30	25	12	15
6001-end	30	15	15	2
sum	69	45	31	30

表 5 タスク最後 13 分間における結果

認識率(y2/x2)は最初 15 分間が 16.66%、最後 13 分が 65.22%となった。またそれぞれの FRR, FAR は最初 15 分間が 83.33%, 73.33%, 最後 13 分が 44.92%, 43.47%となった。

5. 考察

5.1 脳波との比較

図 5-1 の脳波解析結果より、タスク最初 15 分間音が鳴ったと認識する波形の変化が音の発生後 100msec～

200msec の区間に見られる。その後、target と non-target の判断を行い、target と判断すると脳内に回数をカウントするタスクが発生するための特徴的な波形が音の発生後 300msec 付近に検出されるため、target と non-target の差分が大きくなる(P300)。これより、被験者は音の聞き分けができていないと推測される。

図 5-2 の脳波解析結果では、target, non-target の波形とも音の発生後 100msec～200msec の区間に見られる音の認識動作に対する波形は顕著に現れているが、その後ほぼ同じ推移をたどっており、target と non-target の波形の差分に特徴的な部分が現れていない。これより、被験者はタスクを行えない疲労状態・意識の虚脱状態であると推測される。

全瞬目自動検出結果(表 2, 表 3)・うつろ目認識評価結果(表 4, 表 5)より、瞬目イベント数(x1)からタスク最初の 15 分間では 749 回、タスク最後 13 分間では 638 回確認されている。うつろ目イベント数(x2)からタスクの最初の 15 分間では 30 回、最後の 13 分間では 69 回確認されている。タスク最後の 13 分における 6001 フレーム以降を $\frac{5}{3}$ 倍し、15 分に換算すると瞬目は 710 回のペース・うつろ目は 89 回であったと推測される。

瞬目のイベント数に変化は見られないが、最後 13 分ではうつろ目状態が増加している事から、目がとろんとしているうつろ目の状態からの瞬目において、数回にわたる連続的なしばたきが多く含まれていると推測される。よって今回提案した瞬目・うつろ目の認識手法に、瞬目の周期を加えた状態の認識を考えていく必要があると考えられる。

5.2 CV 性能について

閉眼認識評価結果(表 2, 表 3)より、全閉の場合、検出率は始めは非常に高いが、最後は半分程度に低下している。始めは FAR は多いが、最後は減っている。始めは FRR は少ないが、最後は増えている。以上の 3 点が挙げられる。うつろ目認識評価結果(表 4, 表 5)では、半閉の場合、検出率は始めは低い、最後は回復している。FAR・FRR 共に、始めは高いが、最後は改善されている。以上の 3 点が挙げられる。

開眼に対する検出成功例と失敗例を図 6-1・図 6-2 に示す。誤認識の代表的な原因として、大きく見開いた眼に対し、まぶたが小さくなってきた際に円周がまぶたのエッジに影響されてしまい、瞳部分が誤検出され判定結果に影響が出てしまっている。図 6-2 は開眼時に瞬目と判定された例である。



図 6-1 開眼時(左:顔画像,右上:目領域,右下:円描画)

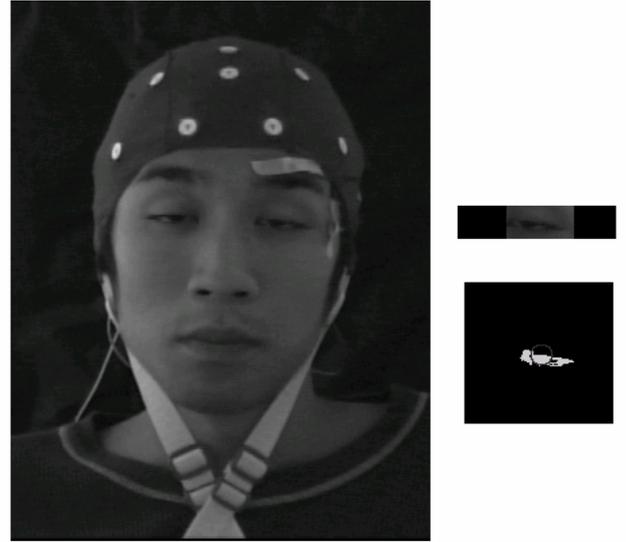


図 7-1 半閉目時(左:顔画像,右上:目領域,右下:円描画)



図 6-2 誤認識 1(左:顔画像,右上:目領域,右下:円描画)

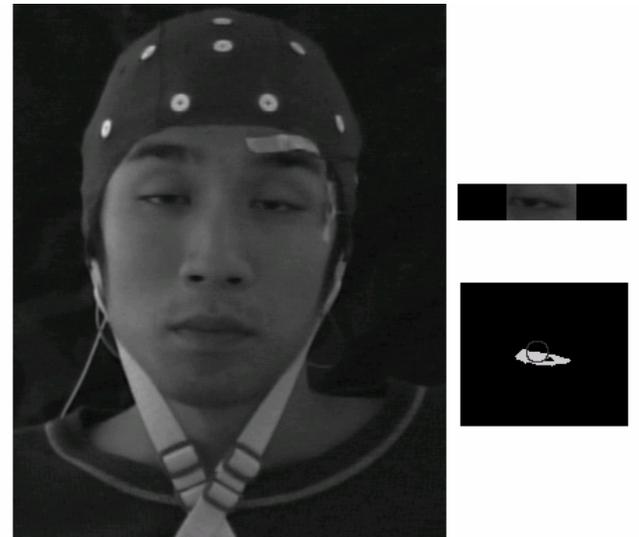


図 7-2 誤認識 2(左:顔画像,右上:目領域,右下:円描画)

半閉目に対する検出成功例と失敗例を図 7-1・図 7-2 に示す。誤認識の代表的な原因として、図 7-2 に示すように目視において半閉目と判定した場合において CV では閾値に達しておらず開眼と判断された例が挙げられる。目視においての半閉目のしきい値による正確な判定が難しいためである。

しかし、表 4・表 5 における目視によるうつろ目のイベント数(X2)・CV によるうつろ目と判定されたイベント数(Y2)は、最初の 15 分と最後の 13 分では、共に大きく増加しており、疲労状態・意識の虚脱状態であると推測された脳波解析結果と一致するため、瞬目の検出に半閉目の検出を加えることで人物の、疲労状態・覚醒低下状態の推定の有効であると考察される。

瞬目に対する検出成功例と失敗例を図 8-1・図 8-2・図 8-3 に示す。誤認識の代表的な原因として、瞬目時は瞳がほとんど隠れているためにまぶたの影の影響され、円が誤検出されてしまう場合があったためである(図 8-2)。また図 8-3 は瞬目時の影の影響で黒領域の面積が大きくなり、開眼度 $Open_{eye}$ のしきい値により半閉目と判断されてしまった例である。

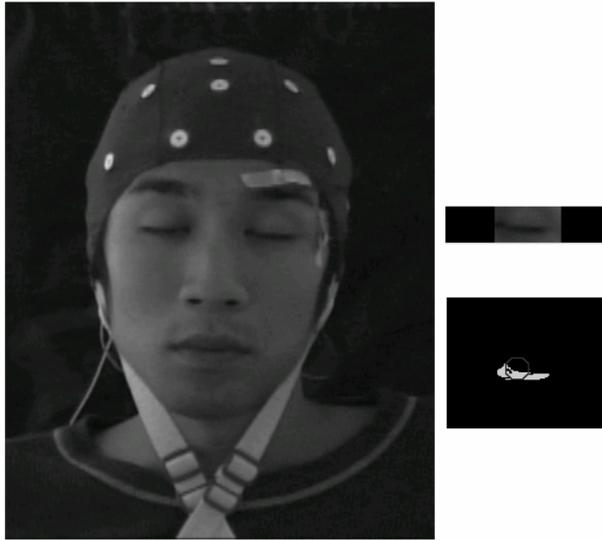


図 8-1 瞬目時(左:顔画像,右上:目領域,右下:円描画)



図 8-2 誤認識 3(左:顔画像,右上:目領域,右下:円描画)



図 8-3 誤認識 4(左:顔画像,右上:目領域,右下:円描画)

これらの開眼・半閉目・瞬目に対する誤認識の事例の対応策として、円の誤検出により一時的に円の中心座標に変化があった場合、誤検出の可能性があるととして前フレームの円の中心座標を考慮して次の円の候補を検索し誤検出を防ぎ、さらに候補が見当たらなければ処理をはずす対処が考えられる。また二次元ハフ変換による加え、テンプレートマッチング手法を用いることによりまぶたの形状からの開眼・瞬目・半閉目の3状態の推定を加える事で誤検出を防ぐ対処が考えられる。目視による半閉目の状態認識の難易点の対応策については、うつろ目状態の判断として目視による判断だけではなくさらに α 波などの別の生理的指標を用いた判断を行う事が考えられる。

6.終わりに

疲労状態・覚醒低下状態の推定のために、目の状態に注目し、自動検出した目領域に含まれる瞳部分の面積・まぶたの形状変化を連続計測することにより求めた瞬目の検出に半閉目状態の推移的な情報の認識を加え、瞬目回数の変化と半閉目状態との推移を目視検出結果と生理的指標である脳波解析結果との比較を行う事で、疲労状態・覚醒低下状態の推定に半閉目・生理的指標の導入の有効性を確認した。

謝辞

本研究は、日本学術振興会の科学・基礎研究(C)(2)のプロジェクト「分散視覚認識エージェントの統合に基づく神話的情報空間の展開」(平成15年～17年度、課題番号:15500115)の援助を受けた。

また本研究を進めるに当たり、脳波データの提供を頂きました鹿児島大学工学部情報工学科の内山研究室の皆様へ深謝します。

参考文献

- [1] 池上, 塩山: “画像中における目の検出”, P R M U 2003-198~214, pp49-54, 2004
- [2] 小田, 船曳, 東野: “Deformable Template マッチング法による眼の輪郭線抽出に関する研究”, P R M U 2003-140-150, pp,1-6, 2003
- [3] 加島, 本郷, 加藤, 山本: “顔の向きの変化に強い瞳検出方法の研究”, 2001- C V I M -127, pp.139-144, 2001
- [4] 山田, 乗松, 小塚, 中野, 山本: “ドライバの運転状態の検地 1—インナーミラー内蔵カメラによる視線検出—”画像の認識・理解シンポジウム(M I R U 2004), pp I -63-68, 2004
- [5] 足立, 井東, 小林, 中野, 山本: “ドライバの運転状態の検地 2—インナーミラー内蔵カメラによる視線検出—”画像の認識・理解シンポジウム(M I R U 2004), pp I -69-74, 2004

- [6] 白井, 井東, 乗松, 足立, 中野, 山本: “ドライバ
運転状態検知のための視線方向の検出”, P R M
U 2003-151-170, pp67-72, 2003
- [7] 井東, 稲垣, 山本, 森: “ドライバ状態モニタ”,
2005-C V I M-150, pp47-54, 2005
- [8] 片岡, 岩口, 佐治: “目と口の追跡による笑顔の分
類”, 2001-C V I M-129, pp109-116, 2001
- [9] 関輝夫, ”しぐさでわかる相手の心理”, 新星出版
社, 2000.