

## テクニカルノート

## 人物内部状態推定のための目状態自動認識における脳波との関連性解析

水戸大輔<sup>†</sup>、伊藤雅人<sup>†</sup>、  
福添孝明<sup>†</sup>、渡邊睦<sup>†</sup>

運転中のドライバの疲労度認識など、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。我々はまず目の状態に注目し、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虹彩部分の面積変化を連続計測することにより求めた全瞬目回数の変化と虚ろ目状態の推移を、生理的指標である脳波処理結果と比較解析した結果を中心に報告する。

## Analysis of Relation between Brain Wave and Automatic Eye Status Recognition for Estimating Human's Internal Status

DAISUKE MITO,<sup>†</sup> MASATO ITO,<sup>†</sup> TAKAAKI FUKUZOE<sup>†</sup>  
and MUTSUMI WATANABE<sup>†</sup>

From the viewpoint of safety insurance, automatic recognition of person's internal status, 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 or tired level through eye conditions, such as, the blink frequency and the open degree of eyes. This paper mainly reports the analysis to examine the relation between vision-based recognition results of full-blinking and "vacant eye" with human-based measurement results using brain wave.

## 1. はじめに

カメラがとらえた画像を解析することによる個人の特定・状態の認識を主な目的として、顔パターン、目領域、口領域、表情などを自動的に認識する技術の研究が進められている。

目領域の自動認識に関する研究として、テンプレートマッチング手法を用いた虹彩検出<sup>1)</sup>、眼の輪郭線抽出<sup>2)</sup>、色情報を用いた虹彩領域の切出しと二次元ハフ変換を用いた虹彩検出<sup>3)</sup>などが行われている。特にドライバの内面状態の推定に関する研究としては、ニューラルネット手法を用いた瞬き計測による運転意識低下

レベルの推定<sup>4)-7)</sup>が実施されている。

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、従来の研究においては、疲労状態にあるかどうかは人間の主観的な判断のみに拠っており、生理的指標との対照実験が十分に行われていないという問題があった。また、疲労状態・覚醒低下状態の推定には、完全に目を閉じた状態となる通常の瞬目（以下「全瞬目」）回数の推移だけでなく、いわゆる「目がとろんとした状態（以下「虚ろ目」）である半閉目状態の推移認識も必要であると考えられるが、これまでこの虚ろ目状態に着目した研究は行われていなかった。

我々は人物に長時間の負荷タスクを与え続けた際の目の状態の変化に注目し、全瞬目の回数変化検出およ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<sup>8)</sup>。本稿では自動検出した目領域に含まれる虹彩部分の面積変化を連続計測することにより求めた全瞬目

<sup>†</sup> 鹿児島大学工学部

Faculty of Engineering, Kagoshima University

現在、株式会社東芝

Presently with Toshiba Corporation

現在、株式会社安川電機

Presently with Yaskawa Electric Corporation

回数の変化と虚ろ目状態の推移を、生理的指標である脳波解析結果と比較照合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

### 2.1 概要

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、全瞬目回数の変化、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、などがあげられる<sup>9)</sup>。特に視線、目の状態、瞬目など目に関する仕草は、多くの情報量を有している。

我々は、人物内部状態推定の一環として、目の状態認識に基づいて集中度・疲労度の推定を行う研究を開始している。まず、完全に目を閉じた状態となる全瞬目に加え、眠気を生じ目がとろんとした状態である「虚ろ目」も同時に測定するための画像処理手法を開発した。今回はまず、音の聞き取り（オドボール）課題<sup>10)</sup>を実施中の比較的頭部の動きの少ない被験者を対象として、生理的指標である脳波処理結果との比較解析を行った。

### 2.2 全瞬目・虚ろ目自動検出処理の流れ

全瞬目・虚ろ目自動検出処理の流れを図1に示す。まず、顔を含むよう撮影したカメラ画像に対して連続時系列差分を行うことにより、明度の時間的変化が大きい領域を求め、目の候補領域として設定する。次に各画像ごとにエッジ抽出を行い、この候補領域に含まれるエッジに対して二次元ハフ変換を用いて円を検出することにより、目を見開いた状態における虹彩部分の検出を行う。各画像における虹彩領域は、この見開いた状態における虹彩部分（円）に含まれる黒画素部分として抽出し、円の直径  $R$  と虹彩領域の縦幅  $d$  との比率を『開眼度』として求め、基準閾値と比較することにより、図2に示すように「開目」「半閉目」「閉目」の3状態に分類する。

このように目の候補領域、目を見開いた状態における虹彩部分の大きさの設定を適応的に行うことで、目の大小などの個人性に左右されない状態認識の実現をめざした。まぶたの影響により虹彩が正しく抽出されない事態に対処するため、虹彩検出を行う領域を適応的に制限するとともに、エッジ周辺の明度を評価することによる選別を行い、虹彩エッジ以外のエッジを抑制するよう対策を行った。

最後にこの状態の継続性を用いて「全瞬目」「虚ろ目」状態の検出を行う。「全瞬目」は開眼度が基準閾値以下の「閉目」状態に相当する状態として認識し、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

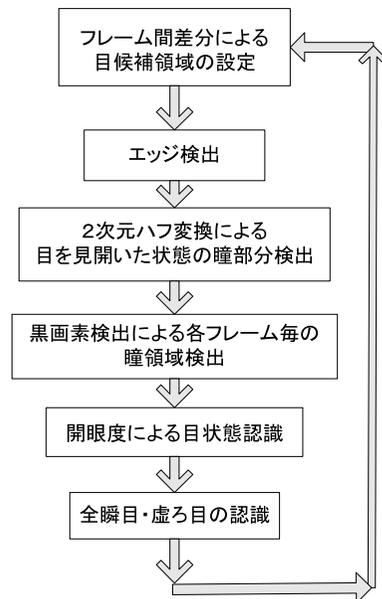


図1 全瞬目・虚ろ目自動検出処理の流れ

Fig. 1 Flowchart of automatically detecting “full-blinking” and “vacant eye”.

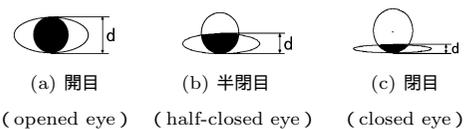


図2 開眼度に基づく目の状態分類

Fig. 2 Classification of eye status based on “open degree of eyes”.

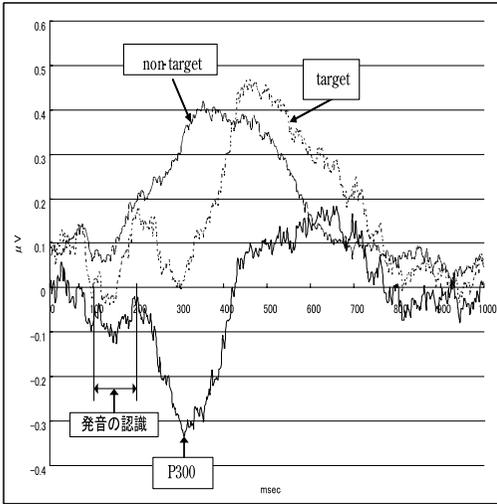
ると推定される連続的な半閉目状態（虚ろ目）とを区別するために、一定時間以上半閉目状態が継続した際に、虚ろ目状態として認識するよう設定した。

## 3. 評価実験

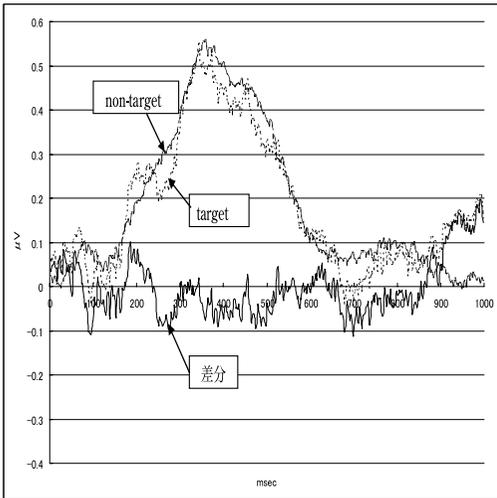
### 3.1 概要

顔の表情を観測することにより疲労・集中の度合いを推定することは主観性が入るため正しい基準とはなりえない。今回は疲労・集中度の規範となる生理的指標として脳波を用いた。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）から構成されるシステムを用いた。第1著者である被験者1名にエレクトロキャップを取り付け、電位変化の測定を行った。

予備実験により、開目と半閉目を識別するための基準閾値は50%、半閉目と閉目を識別するための基準閾値は20%に設定した。「全瞬目」と判定する開眼度の



(a) 0 ~ 15 分



(b) 45 ~ 58 分

図 3 脳波解析結果

Fig. 3 Result of analysing brain wave.

基準閾値は 5% に設定した。また半閉目状態が連続 5 画像 (0.5 秒に相当) 以上継続した場合に、虚ろ目状態として認識することとした。

3.2 脳波解析実験結果

心的操作ともな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。被験者に対する負荷タスクとして、比較的短時間で疲労状態を誘発しやすい「オドボール課題」(1 秒ごとに発生する音を低音と高音に聞き分け、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。各セット間の間隔は約 10 秒とした。各セットの高音時 (以下、“target”) お

表 1 最初の 15 分における全瞬目・虚ろ目認識結果  
Table 1 Result of “full-blinking” and “vacant eye” detection within first 15 minutes.

画像数	全瞬目 (目視)	全瞬目 (自動)	虚ろ目 (目視)	虚ろ目 (自動)
0 - 3,000	201	199	9	1
3,001 - 6,000	240	236	14	3
6,001 - 9,000	224	199	7	1
合計	665	634	30	5

表 2 最後の 13 分における全瞬目・虚ろ目認識結果  
Table 2 Result of “full-blinking” and “vacant eye” detection within last 13 minutes.

画像数	全瞬目 (目視)	全瞬目 (自動)	虚ろ目 (目視)	虚ろ目 (自動)
0 - 3,000	270	237	9	5
3,001 - 6,000	217	156	30	25
6,001 - 7,800	84	76	30	15
合計	571	469	69	45
15 分に補正	627		89	

よび低音時 (以下、“non-target”) の反応に対する脳波を比較することで、疲労状態が推定できる。タスクの最初の 15 分間の脳波解析結果を図 3 (a) に、最後の 13 分間の結果を図 3 (b) に示す。図 3 (b) に示した事象関連電位波形は、1,000 msec ごとにタスクを繰り返し実施した結果を平均加算することにより、求めたものである。

3.3 全瞬目・虚ろ目認識実験結果

全瞬目・虚ろ目の画像認識に対する性能評価を行った。タスクの最初の 15 分間の結果を表 1 に、最後の 13 分間の結果を表 2 に、各々示す。実際の発生数の計測は、実験中の映像を記録しておき、我々を含む 7 名が目視により数えた数を平均することにより行った。目視処理の客観性を保つため、計測開始前に実際の顔画像の推移を全員で確認し、閉目、半閉目の判定基準を統一してから計測作業に入るように対処した。

半閉目状態の処理例を図 4 に示す。各実験における画像処理速度は 10FPS (Frame Per Second) であった。

4. 考 察

図 3 (a) の脳波解析結果に示すように、タスク最初の 15 分間において音が鳴ったと認識する波形の変化が音の発生後 100 ~ 200 msec の区間にみられる。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 (P300) が音の発生後 300 msec 付近に検出されるため、target と non-target の差分が大きくなる。これより、被験者は音の聞き分けがで

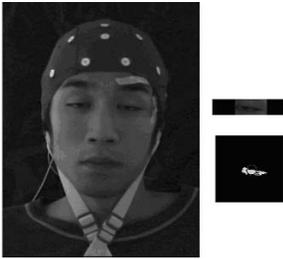


図 4 目状態自動認識処理例 (左: 顔画像, 右上: 目領域検出結果, 右下: 虹彩エッジ+円検出結果)

Fig. 4 Example of eye status recognition (Left: face image. Top right: Eye region detection result. Bottom right: Iris edge + circle detection result).

きていと推測される。図 3 (b) の脳波解析結果では, target, non-target の波形とも音の発生後 100 msec ~ 200 msec の区間にみ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。

表 1, 表 2 に示すように, 目視評価によるイベント数においては, タスク最初の 15 分間では, 全瞬目が 665 回, 虚ろ目状態は 30 回であった。これに対してタスク最後の 13 分間では, 全瞬目が 571 回, 虚ろ目状態は 69 回を確認した。目視で虚ろ目と判定された場合のうち, 画像認識において虚ろ目でないと誤認識された結果は 0 であった。これは, 画像認識の性能が不十分であり『一定時間 (0.5 秒) 半閉目状態が継続する』という判定基準を満足するものが少なかったためと考えられる。タスク最後の 13 分における 6,001-7,800 枚が継続したと仮定して 15 分に換算すると, 全瞬目は 627 回, 虚ろ目は 89 回となる。

この結果より, 通常状態と見なせるタスク最初の 15 分間と疲労状態・意識の虚脱状態であると推測される最後の 13 分間において, 全瞬目の回数は 665 回 ⇒ 627 回と大きな変化はないが, 虚ろ目状態の回数は 30 回 ⇒ 89 回と大幅な増加がみられた。全瞬目の発生数の変化が少なかった理由として, 意識が低下した虚ろ目の状態から音が聞こえて意識が復帰する際, 眠気覚ましのための連続的な目の瞬きが随時行われたためと推測される。したがって, 被験者は 1 名と少ないものの, 疲労度・集中度の自動認識に虚ろ目状態の認識を利用することの基本的な有効性が確認できたと考える。

一方, 自動認識性能に関しては, 全瞬目の認識率が最初の 15 分で 95.3%, 最後の 13 分で 82.1% と比較的良好であるものの, 虚ろ目状態に関しては, 最初の 15 分で 16.7%, 最後の 13 分で 65.2% であり, いまだ

実用に足るレベルには達していない。この原因として, 全瞬目に対応する「閉目」状態に対して「開目」「閉目」間の過渡状態である「半閉目」の認識が不安定であるため, 虚ろ目状態として認識する条件である連続 5 画像以上の継続性が確保できず途切れてしまうことがあげられる。具体的には, まぶたが垂れてきた際に虹彩部分のエッジとまぶたのエッジが混在し虹彩部分が誤検出されること, 瞬目時は虹彩がほとんど隠れているためにまぶたの影による黒画素部分を虹彩領域として誤検出し, 半閉目と状態認識することなどが主な原因である。この課題に対する対策として, 状態遷移モデルの導入により, 各画像独立に行っている「開目」「半閉目」「閉目」の 3 状態分類の精度を向上させることが考えられる。また, 全瞬目の回数に関しては通常時と疲労時とで変化が乏しかったが, 疲労時においては目の瞬きが随時発生するために全瞬目の周期に乱れが生じると予想されるため, この情報も加味することで状態認識性能を向上させることができると考える。

## 5. おわりに

疲労状態・覚醒低下状態の自動推定のために, 目の状態推移に注目し, 自動検出した目領域に含まれる虹彩部分の面積変化を連続計測することにより求めた開眼度に基づき「開目」「半閉目」「閉目」の 3 状態に分類し, 閉目状態の開眼度と半閉目状態の継続性を用いて全瞬目・虚ろ目状態を自動認識する手法を考案した。全瞬目回数の変化と虚ろ目状態の推移を, 生理的指標である脳波処理結果と比較解析することで, 疲労状態・覚醒低下状態の自動認識における虚ろ目状態認識導入の基本的な有効性を確認した。

謝辞 本研究は, 平成 15~17 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (2) 「分散視覚認識エージェントの統合に基づく親和的情報空間の展開」の援助を受けた。また, 脳波の測定・データ解析に関して様々な支援・助言をいただいた, 鹿児島大学工学部情報工学科内山研究室の皆様へ深謝する。

## 参考文献

- 1) 池上祥一郎, 塩山忠義: 画像中における目の検出, 電子情報通信学会技術報告, パターン認識とメディア理解 (PRMU), Vol.103, No.585, pp.49-54 (2004).
- 2) 小田政志, 船曳信生, 東野輝夫: Deformable Template マatching 法による眼の輪郭線抽出に関する研究, 電子情報通信学会技術報告, パターン認識とメディア理解 (PRMU), Vol.103, No.452, pp.1-6 (2003).

- 3) 加島英樹, 本郷仁志, 加藤邦人, 山本和彦: 顔の向きの変化に強い瞳検出方法の研究, 情報処理学会研究資料, コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol.2001, No.36, pp.139-144 (2001).
- 4) 山田浩史, 乗松 有, 小塚一宏, 中野倫明, 山本 新: ドライバの運転状態の検知—インナーミラー内蔵カメラによる視線検出, 第8回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004) 予稿集, Vol.1, pp.63-68 (2004).
- 5) 足立和正, 井東道昌, 小林史和, 中野倫明, 山本 新: ドライバの運転状態の検知 2—まばたき計測による意識低下レベルの推定, 第8回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004) 予稿集, Vol.1, pp.69-74 (2004).
- 6) 白井 了, 井東道昌, 乗松 有, 足立和正, 中野倫明, 山本 新: ドライバの運転状態検知のための視線方向の検出, 電子情報通信学会技術報告, パターン認識とメディア理解 (PRMU), Vol.103, No.453, pp.67-72 (2003).
- 7) 井東道昌, 稲垣文治, 山本 新, 森 恵: ドライバ状態モニタ, 情報処理学会研究資料, コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol.2005, No.88, pp.47-54 (2005).
- 8) 水戸大輔, 福添孝明, 伊藤雅人, 渡邊 睦: 人物内部状態推定のための瞬目度自動認識の研究, 情報処理学会研究資料, コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol.2005, No.112, pp.83-90 (2005).
- 9) 関 輝夫: しぐさでわかる相手の心理, 新星出版社 (2000).
- 10) 加我君孝, 古賀良彦, 大澤美貴雄, 平松謙一 (編): 事象関連電位 (ERP) マニュアル—P300 を中心に, 篠原出版 (1995).

(平成 18 年 4 月 18 日受付)

(平成 18 年 11 月 10 日採録)

(担当編集委員 佐藤 俊雄)



水戸 大輔

平成 18 年 3 月鹿児島大学大学院理工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。同年 4 月 (株) 東芝入社。在学中は人物状況認識の研究に従事。



伊藤 雅人 (学生会員)

平成 18 年 3 月鹿児島大学大学院理工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。同年 4 月 (株) 安川電機入社。在学中は移動物体自動追跡の研究に従事。



福添 孝明

平成 16 年 3 月鹿児島大学大学院理工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。現在同研究科システム情報工学専攻博士後期課程に在学中。画像認識を用いた人物同定の研究に従事。



渡邊 睦 (正会員)

昭和 56 年東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻修士課程修了。同年 (株) 東芝総合研究所情報システム研究所入所。平成 3 年 10 月より, 同社関西研究所勤務。平成 12 年 2 月鹿児島大学工学部助教授。現在, 情報工学科教授。大阪大学工学博士。3 次元画像認識, 動画像処理の研究に従事。平成 11 年 9 月第 1 回自動認識システム大賞特別賞受賞。電子情報通信学会, 電気学会, 日本ロボット学会, 映像情報メディア学会, システム制御情報学会, AVIRG 各会員。