

瞬き波形を検出するための画像処理による VDT 作業時における瞬き回数の計測

阿部 恒介^{*1}, 董 建^{*1}, 早川 吉彦^{*1}

要旨

テクノストレス眼症いわゆる VDT 症候群を引き起こす要因として、作業中における瞬き回数の減少がある。そこで、VDT 作業中において、30fps の web カメラで撮った画像から、顔検出・認識と追跡、眼の位置検出、瞬きの検出および瞬き波形の描画を行うシステムを開発した。顔検出・認識には Open CV ライブラリを利用し、追跡には眉間パターンでテンプレートマッチングを行い、トラッキングした顔画像から眼の位置は 2 値化差分画像で得た。瞬きの検出には、フレーム間差分、眼の開閉度の検出、虹彩の検出の 3 通りで行った。これらの方法で、瞬きの瞬間、連続する瞬き、眼を瞑っている状態を画像の変化から測定した波形として得た。各方法でこれらの観測が一致するロバストな瞬き計測システムを作ることができた。

キーワード：瞬き、VDT 作業、VDT 症候群、テンプレートマッチング、顔認識

1. はじめに

インターネットに接続されたパソコンは家庭や職場において必要不可欠な情報機器である。実生活に欠かせないために長時間使用され、テクノストレス眼症いわゆる「VDT (Visual Display Terminal) 症候群」を引き起こす作業も増えていると考えられる。厚生労働省においても「VDT 作業における労働衛生環境管理のためのガイドライン」が定められている[1]。VDT 症候群の主な症状のひとつとしてドライアイがあり、画面を凝視することで瞬きの回数が減少して引き起こされる。瞬きの回数は通常 1 分間に 22 回程度で、VDT 作業中ではそれが約 3 分の 1 になり、その結果涙の供給量が減り眼の乾燥を招く[2, 3]。

瞬きの検出は、これまでも顔画像認識の研究において、コンピュータビジョン、運転

支援システム、あるいは重度障害者のための入力インターフェイス等の観点から検討されている[4, 5]。瞬き検出方法には、眼球の運動時に発生するわずかな電位差を測定し瞬きを検出する眼球電位法 (EOG, electrooculogram) と、ビデオ撮影によって眼の開閉を計測し瞬きを検出する画像処理法がある。EOG は眼近傍に電極を貼らなければならないため利用者の負担が大きい。画像処理法は、利用者に対して非接触であり、動作に影響を与えないと考えられる。一方で、処理速度が瞬きという一瞬の動作に対応できるかという問題がある。坪田らの研究[2]においても、ビデオを撮影し、ひとつひとつカウントするという方法がとられている。なお日常的に行う瞬きは、周期性、反射性、随意的の 3 種類である。瞬きは高速な動作であり、1 回の時間は 150~200 ミリ秒である。

一方、顔認識研究は 21 世紀に大きく進展した。画像から人物の顔を認識する研究は、ただ単に画像上に顔が 1 つまたは複数存在するかの検出だけではなく、セキュリティ対策と

^{*1} 北見工業大学情報システム工学科
〒090-8507 北海道北見市 165 番地
e-mail: mcs10002@std.kitami-it.ac.jp
投稿受付：2011 年 9 月 2 日

しての個人認証・識別やマン・マシン・インターフェイス等の応用がある[5, 6].

画像の中の顔を検出する方法は、Intel 社が開発・公開したオープンソースの画像処理用ライブラリ OpenCV (<http://opencv.jp/>) にある。コンピュータビジョンに必要な各機能がパッケージされている[7]。ここには Viola & Johns の研究[8]をもとに Lienhart & Maydt[9]により改良された顔検出技術、すなわち Haar-like 特徴量による方法が実装されている。今回、画像上の顔検出にはこのライブラリを利用した。最近では joint Haar-like 特徴という特徴相互の共起性の導入等が行われている[10].

本研究の目的は、VDT 作業時における瞬きの自動計測である。21 世紀の顔検出・認識技術、それがオープンライブラリ化されたアプリケーションをまず出発点として利用することにした。web カメラで入力した画像に対して OpenCV ライブラリの利用により顔検出と顔特徴点の抽出を行い、画像処理法を用いてリアルタイムで瞬きを計測するシステムを目指した。これによって、作業者が違和感なく VDT 作業を行いながら瞬きの計測を行えて、瞬き回数が減少した場合にはすぐに何らかの注意を喚起できると考えた。また、瞬き回数・間隔を正確に計測して、VDT 作業時における回数の計測だけでなく、眠気・居眠り検出、入力インターフェイスとしての利用、視線方向の解析等に応用できるロバストな瞬き計測システムを目指した。

2. 方 法

2.1 システム構成

パソコンのディスプレイ上縁部に web カメラを取り付けて撮影した。カメラは Webcam Pro 9000 (Logicool) で、センサーの画素数は 200 万、フレームレートは最大 30fps である。今回、画像の入力サイズは 320×240pixel (約 8 万画素) とし、使用した PC の CPU は Intel[®] Core[™] i7 2.80GHz, RAM は 8.00GB を実装した。システム開発言語は Visual C++ で、OpenCV ライブラリ[7-9]を使用した。

2.2 画像処理の流れ

本システムにおける画像処理の流れを(1)~(3)に示す。

- (1) 顔検出・追跡
- (2) 眼位置検出
- (3) 瞬き検出と波形描画

(1) 顔検出・追跡

まず顔検出を行い、顔領域を取得した。画像中に複数の顔が撮られていても作業者を特定するために、検出された中で最大領域のものを指定した。顔検出は OpenCV に実装されているオブジェクト検出を利用した。これは、画像特徴量として Haar-like、学習アルゴリズムとして Adaboost を使用しており、高速にオブジェクト検出を行える[8,9,11].

次にテンプレートマッチングを用いて顔をトラッキングした。ここでは顔を追跡する際に眉間パターンをテンプレート画像とした。眉間の位置を追跡し移動量を得ることで結果的に顔領域を追跡する。眉間パターンは瞬きや笑うなど表情が変化した場合でも比較的变化が少なく、また額から鼻筋にかけて明るい正中部があり両側に眼や眉が暗い部分として入る。パターンマッチングで位置決め精度が出やすい濃淡パターンと思われる。

顔検出は最初のフレームで実行し、追跡は次のフレームから行い顔領域をトラッキングした。最初のフレームで顔領域を検出した際、同時に眼と眉間パターンの領域を自動的に指定した。顔における眼の位置は万人共通にほぼ決まっている。顔領域のサイズ(幅と高さ)を $W \times H$ としたとき、左上座標: $(W/8, H/4)$, 幅: $W \times 3/4$, 高さ: $H/4$ の矩形範囲を眼推定領域として指定した。また、眼と推定する領域のサイズ(幅と高さ)を $EW \times EH$ としたとき、その領域の中心座標: $(EW/2, EH/2)$ を中心とする矩形領域(サイズ 30×20pixel)を眉間パターンとし、テンプレート画像として登録した。以上の処理を行った画像を Fig. 1 に示す。



Fig. 1 Left: Face detection (red square) and the extraction of eye and glabella (green & yellow rectangles). Right: Template for matching.

(2) 眼位置検出

眼の位置は、瞬きの動きを利用しフレーム間差分を用いて検出した。フレーム間差分は連続画像中の動領域を検出しその動き量を計測する。そのため、瞬きをすると眼を動領域として検出する。また瞬きは左右同時に起き、ほぼ同調した動きをするという特徴がある。それを利用し、フレーム間差分で検出された動領域に眼か否かの判定を行って眼位置を検出した。

すなわち以下のような処理を行った。前述の眼推定領域内において、現フレームと前フレームの差分画像を作成し、2 値化を施し、Opening と平滑化処理をかけてノイズ除去を施した画像から眼の動きを検出した。なお、2 値化の際の閾値は 5 に固定した。次に、作成した 2 値化差分画像に対して輪郭検出を用いて、フレーム間差分で検出された動領域の範囲を特定した。そして以下の条件で判定を行い、眼かどうかを判別した。

- (1) 検出された動領域が 2 つ
 - (2) 面積（幅×高さ）が一定の範囲内
 - (3) 2 つの領域の幅・高さの差が閾値以内
 - (4) 2 つの位置関係が対称的
- (2)面積（幅×高さ）はピクセル数で、 $3 \times 3\text{pixel}$ から $15 \times 10\text{pixel}$ の範囲内とした。(3)幅・高さの差はピクセル数で、 5pixel 以内とした。(4)位置関係は眼指定領域の中心からの距離により対称性を得た。

以上の 4 条件を満たした 2 つの領域を眼領域とし、輪郭検出で検出された領域の中心の矩形領域（サイズ $20 \times 15\text{pixel}$ ）を眼領域とした。以上の処理を行った画像を Fig. 2 に示す。

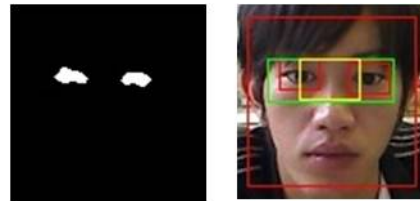


Fig. 2 Left: Binary image of differences between neighboring frames. Right: Eye areas detected by blinking (two small red squares).

(3) 瞬き検出

眼位置が検出されると次に瞬き検出処理が行われる。すなわち、カメラから画像を取得し始めて、まず眼位置を、その後最初の瞬きを検出した。最初の瞬きを検出すると、眼位置検出ではなく、トラッキングによって眼領域を追跡した。眼推定領域により特定した眉間領域をテンプレート画像として眼を追跡した。

瞬き検出には、次の 3 つの処理をそれぞれ別々に応用した。これによってフレーム毎に瞬きの動きを認識する。

- (1) フレーム間差分により瞬きの動きを検出し、その動領域の面積を求める。
- (2) 眼画像に対して 2 値化処理を行い、眼の開閉度を求める。
- (3) テンプレートマッチングにより虹彩の有無を検出する。

これらの処理におけるフレーム毎の出力値を求め、瞬き波形として描画した。

(3.1) フレーム間差分による瞬き検出

「(2) 眼位置検出」と同様に、フレーム間差分により作成した 2 値化差分画像（以下、画像 D）を用いて瞬きを検出した。フレーム毎に画像 D の眼領域内を走査していき、画素値が 1 すなわち白画素の面積を求めた。眼を開けたまま場合、画素値が変化する動領域は検出されず面積は 0 となる。瞬きをした場合、Fig. 3 に示すように、眼を閉じる時と開ける時に面積は増加して減少する曲線を描き、完全に眼を閉じた状態の時に瞬間的に動きが止まり面積は 0 になる。

また、画像 D は動領域を検出するため、眼を閉じたままでも面積は 0 となり、瞬きのように高速な動作ではなく眼を瞑る動作の場合は Fig. 4 に示すような波形となる。

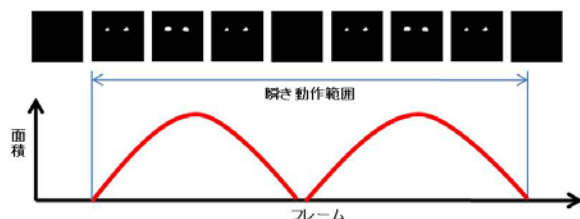


Fig. 3 White-area changes in binary images (Image D) during a single blinking. Areas are differences between neighboring frames.

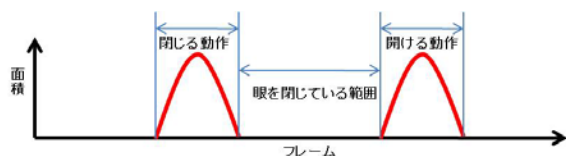


Fig. 4 White-area changes in binary images (Image D) during single slow closing/opening motion.

(3.2) 眼の開閉度による瞬き検出

ここでは検出した眼領域画像の 2 倍拡大像（以下、画像 E）を使用した。（3.3）で記述する虹彩パターンマッチングにおいて、 15×15 pixel のテンプレート画像を用いる。テンプレート画像を小さくすると、検出精度が低下するため 2 倍拡大像を使用した。これは、虹彩の特徴である円形状が判別できないためである。画像 E に平滑化と 2 値化処理を施した画像（以下、画像 B）から眼の開閉度を測定した。なお、2 値化の際の閾値は 40 に固定した。画像 B は黒眼部分と眼の輪郭部分は黒、それ以外は白となる。そこで、黒画素の縦幅の最大値を開閉度として使用した。開閉度は Fig. 5 に示す方向で画像 B を走査して測定した。眼を開けた状態が最大値、眼を閉じた状態が最小値になり、Fig. 6 に示すような波形が得られる。



Fig. 5 Left: Binarization, two examples of image E and image B combinations. Right: Scan direction to judge the opening/closing status, indexed by a longest part of red lines traversing black areas.

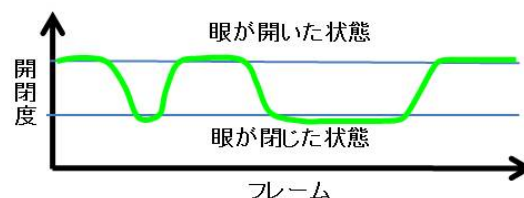


Fig. 6 Changes in the opening/closing status during blinking and slow closing/opening

(3.3) 虹彩検出による瞬き検出

画像 E に平滑化と適応的 2 値化処理[12]を施した画像（以下、画像 A）を使用した。テンプレート画像として、虹彩をイメージして簡略化したサイズ 15×15 pixel の画像（以下、画像 I）を用いた。画像 A 内でテンプレートマッチングを行い、眼領域内の虹彩の位置を検出した。画像 A と画像 I を Fig. 7 に示す。

虹彩パターンマッチングで虹彩の有無を判別し瞬きを検出した。眼が開いている場合は虹彩位置を特定でき、眼が閉じている場合虹彩は検出されない。Fig. 8 に虹彩検出画像を示す。虹彩の非検出時に出力値が高くなるようにすると Fig. 9 に示すような波形となる。

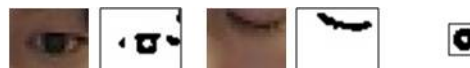


Fig. 7 Left: Binarization for the extraction of iris, two examples of Image E and Image A combinations. Right: Template for matching (Image I).

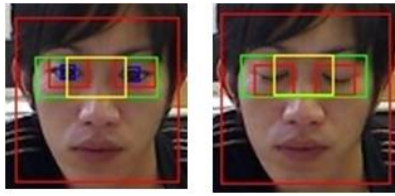


Fig. 8 Left: Iris areas detected by matching (two dark-blue squares), Right: No detection of iris.

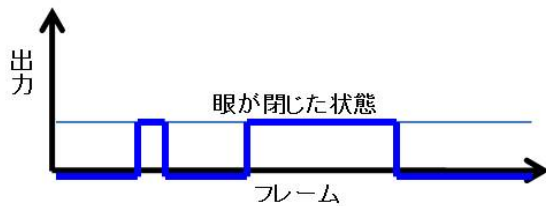


Fig. 9 Changes in the iris detection status during blinking and slow closing/opening.

3. 結果

3つの処理で瞬き検出を行い、フレーム毎に各処理における値をテキストファイルで出力し、その値で作成した瞬き波形を Fig. 10 に示す。今回示す結果は、①瞬き動作、②連続での瞬き動作、③意図的に眼を瞑る動作を行ったときの瞬き波形である。加えて、3つの動作それぞれの近傍のフレーム分のみを抽出した瞬き波形を Figs. 11-13 に示す。

キャプチャサイズは 240×320pixel で、10 秒間撮影したときフレーム数は 300 であり、フレームレート 30fps で動作したことになる。瞬きは高速な動作で 1 回の継続時間は 150~200ms であることから、1 回の瞬きを捉えるフレーム数は 5~7 となる。

Fig.11 は、Fig.10 における①瞬き動作部分で、1 回の瞬きを捉えたもので、眼を開ける動作と閉じる動作を捉えている。Fig.12 は、Fig.10 における②連続での瞬き動作で、2 回連続での瞬きを捉えている。Fig.13 は、Fig.10 における③意図的に眼を瞑る動作を行ったときである。それぞれ 3つの処理で変化するピクセル量を表している。

Fig.14 から Fig.18 には、5 件の実測例を示す。自然な状態で 20 秒間の瞬きを計測した。被検

者は、日本人男性 (Fig.14)、同中国人男性 (眼鏡あり Fig.15)、同ドイツ人男性 (Fig.16)、ふたりのドイツ人女性 (Fig.17, Fig.18) である。ひとりの女性 (Fig.17) が 30 歳代で、他の 4 名は 20 歳代である。瞳の色は、順に、黒、黒、茶、青、灰であった。

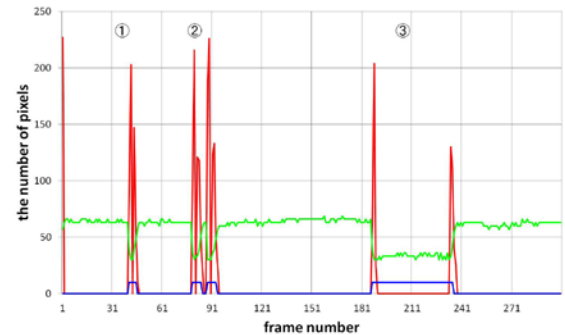


Fig. 10 Detected blinking by three methods. ① a single blink, ② plural blinking, ③ slow close/open motion. Red, green and blue lines are corresponding to same-colored lines in Figs. 3, 4, 6 and 9. Horizontal axis: frame number, Vertical axis: the number of pixels

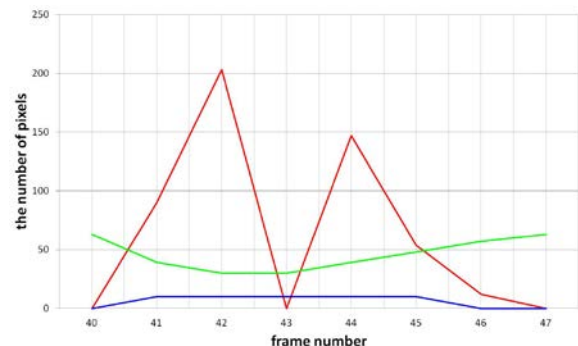


Fig. 11 Detected blinking by three methods. ① a single blink. Horizontal axis: frame number, Vertical axis: the number of pixels

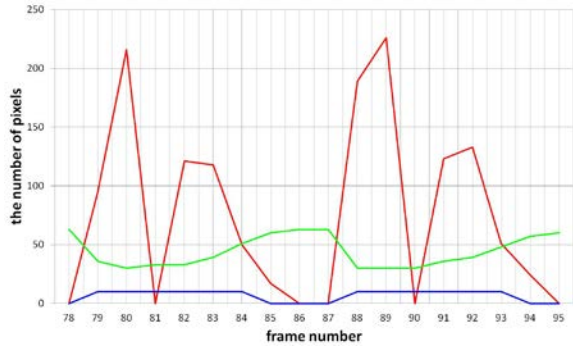


Fig. 12 Detected blinking by three methods.

② plural blinking. Horizontal axis: frame number, Vertical axis: the number of pixels

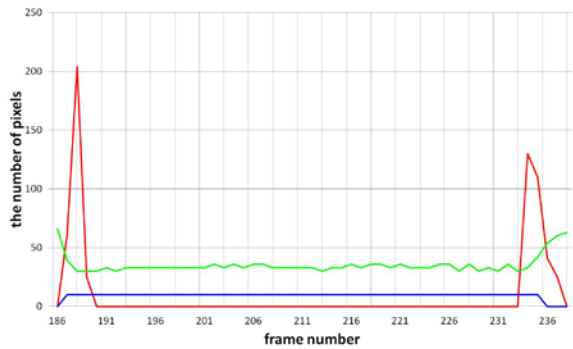


Fig. 13 Detected blinking by three methods.

③ slow close/open motion. Horizontal axis: frame number, Vertical axis: the number of pixels

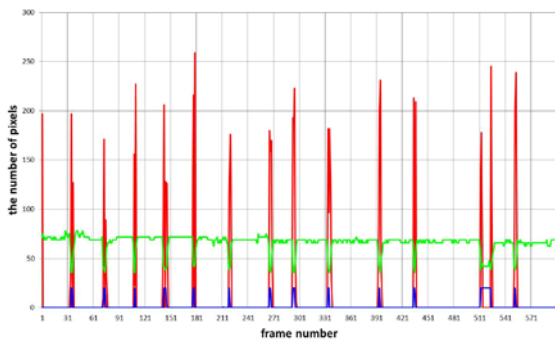


Fig. 14 Detected blinking by three methods.

Colored lines are the same ones in Fig.10.

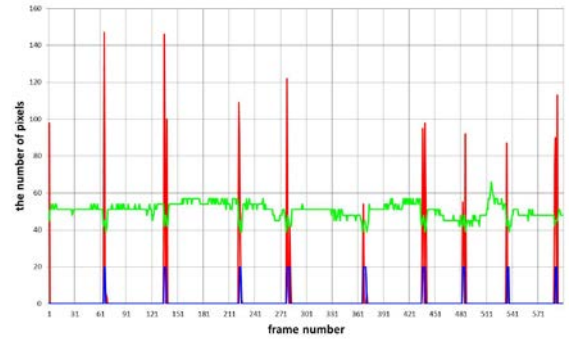


Fig. 15 Detected blinking by three methods.

Colored lines are the same ones in Fig.10.

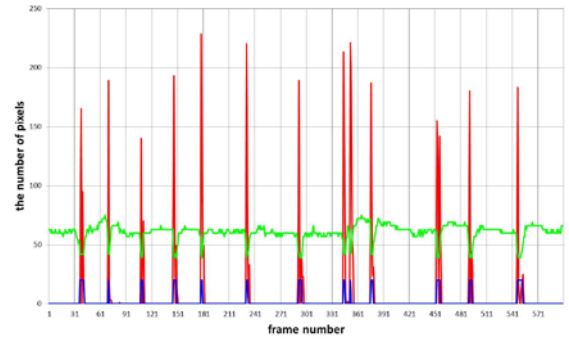


Fig. 16 Detected blinking by three methods.

Colored lines are the same ones in Fig.10.

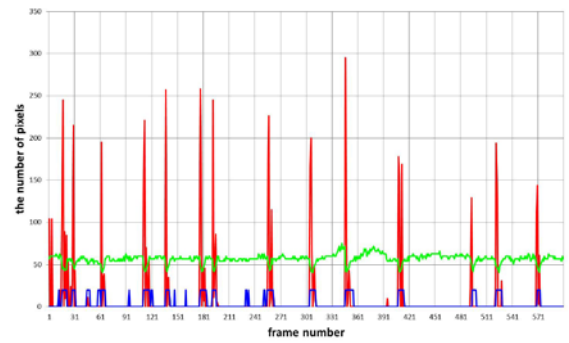


Fig. 17 Detected blinking by three methods.

Colored lines are the same ones in Fig.10.

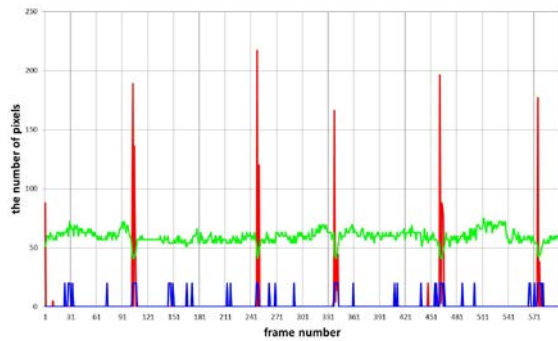


Fig. 18 Detected blinking by three methods.
Colored lines are the same ones in Fig.10.

4. 考 察

本研究の目的であるリアルタイムで観察できる瞬き計測システムを実現した。結果で示したように、1回の瞬きに要したフレーム数は5程度であり、1回の瞬き時間は約150msであった。本システムでは30fpsの速度を実現できたが、瞬きを計測するに当たって必要なフレームレートは15fps程度だと思われる。

また、瞬き検出処理に3つの方法を採用し、同じように瞬き波形を出力することができた。Fig.10~Fig.13に示したように、フレーム間差分が1番大きな信号（変化を示したピクセル量）の変化を見せた。しかし、瞬き回数を測定するという目的であるとしたら、いずれも同等に可能といえるだろう。眼鏡装着、顔の動き等、何らかの影響で欠測が生じたとしても3つの方法で補完することもできるであろう。3通りの方法で瞬き波形を得ることで、個人差や撮影環境・条件に依存しないロバストな瞬き計測システムになると期待できる。

Fig.14からFig.18には、5件の実測例を示した。Fig.14とFig.16は3通りの方法で正確な波形が記録されていた。Fig.15では、眼の開閉度の波形において眼鏡の存在による影響があると思われるが瞬きそのものの検出はできていた。Fig.17とFig.18は女性の被験者であるが、虹彩検出による波形に誤りが見られた。これに関しては、ほりの深い二重まぶた、瞳の色の薄さ、アイラインやまつ毛に施された化粧の影響と考察している。

Fig.10からFig.13に示したように、明らかなピクセル値の変化が出ているため技術的な報告を今回は行っているが、何らかの臨床的、社会的応用は行っていない。また、今回は2値化処理において任意の閾値で固定したが、Fig.14からFig.18に示した実例では、複数の被験者に対応できた。適応的2値化[12]など様々な2値化処理を利用すれば、閾値を自動決定できると考えている。Fig.17とFig.18のような例で虹彩検出による波形を改良するためには、適応的2値化[12]などで最適化するか、あるいは虹彩検出のためのテンプレート画像を検討すればよいかと考えている。

なお、今回の結果は次のような応用の可能性を示唆すると思われる。Figs. 11, 12および13で示したように、1回、複数回、あるいはゆっくりしたインターバルのある瞬き動作を区別できることで、マン・マシン・インターフェイスにおける入力スイッチ機能に応用できるだろう。また、Fig.12のように、連続した瞬きを異なる波形としてカウントできることで眠気の早期検出、Fig. 13のように、眼を閉じている状態の継続時間が計測できることで、居眠り検出に応用できるだろう。総説でも示されているように、ドライブ中における眠気は、頻度の高い瞬きや持続時間の長めの瞬き（閉眼）として観察されるからである[5][6]。

さらに、このシステムの動作速度は30fpsであり、ここで実現した瞬き計測としてはまだ余裕がある。そこで、虹彩位置を検出することから、視線方向の推定や、上を向いているか下を向いているかというような顔姿勢などの顔動作認識を行う機能、また、よりロバストな瞬き計測を行うための処理を追加することができるのではないかと考えている。

5. 結 論

VDT作業中において、30fpsのwebカメラで撮った画像から、顔検出・認識と追跡、眼の位置検出、瞬きの検出および瞬き波形の描画を行うシステムを開発した。瞬きの検出に

は、フレーム間差分、眼の開閉度の検出、虹彩の検出の3通りで行った。これらの方法で、瞬きの瞬間、連続する瞬き、眼を瞑っている状態を画像の変化から測定した波形として得た。各方法でこれらの観測が一致するロバストな瞬き計測システムを作ることができた。

文 献

- [1] 厚生労働省労働基準局, 新しい「VDT作業における労働衛生環境管理のためのガイドライン」の策定について. 2002
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/04/h0405-4.html>
- [2] Tsubota K, Nakamori K: Dry eyes and video display terminals. *New Engl J Med* **328**: 584, 1993
- [3] 坪田一男: 10 秒間まばたきせずにいられますかードライアイの最新治療とアンチエイジングアプローチ. 日本評論社, 東京, 2008
- [4] 田邊喜一, 安井淳美: 加算作業による瞬目波形の変化について: 高速度ビデオカメラを用いた波形データの取得とその予備的分析. *人間工学* **46**: 180-183, 2010
- [5] SH Lao, 山口修: 実利用が進む顔画像処理とその応用事例. 後編 顔画像処理の応用事例. *情報処理* **50**: 436-443, 2009
- [6] SH Lao, 山口修: 実利用が進む顔画像処理とその応用事例. 前編 顔画像処理技術の動向. *情報処理* **50**: 319-326, 2009
- [7] 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック製作チーム: *OpenCV プログラミングブッケーOpenCV 1.1 対応 (第2版)*. 毎日コミュニケーションズ, 東京, 2009
- [8] Viola P, Jones M: Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* 2001, 2001 http://research.microsoft.com/en-us/um/people/viola/Pubs/Detect/violaJones_CVPR2001.pdf
- [9] Lienhart R, Maydt J: An extended set of Haar-like features for rapid object detection. *IEEE International Conference on Image Processing* 2002, **1**: 900-903, 2002
- [10] 三田雄志, 金子敏充, 堀 修: 顔検出に適した共起に基づく Joint Haar-like 特徴. *電子情報通信学会論文誌*, **J89-D**: 1791-1801, 2006
- [11] 三田雄志: AdaBoost の基本原理と顔検出への応用. *CVIM 研究会チュートリアルシリーズ*. 情報処理学会研究報告, **CVIM-159**: 265-272, 2007
- [12] Su C, Amer A: A real-time adaptive thresholding for video change detection. *IEEE International Conference on Image Processing* 2006, 157-160, 2006

Blinks Counter for VDT workers Using Image Processing Techniques

Applied to Face Recognition and Eye Detection

Kosuke ABE^{*1}, Jian DONG^{*1}, Yoshihiko HAYAKAWA^{*1}

^{*1} Dept. of Computer Science, Kitami Institute of Technology

VDT (visual display terminal) syndrome causes the dry eye and the related symptoms, and VDT workers reduce the number of eye blinkings. Then we developed a system of real-time eye blink counter in the study. The system utilized the face pattern recognition, eye-area detection and tracking using a template-matching method, and the eye blink detection. Changes between neighboring frames in a movie captured by a web-camera (30 fps, 320x240 pixels) were recorded. We applied three different methods in image processing techniques for the eye blink detection, such as the subtraction in frames in neighbor, eye open/close status detection by the image scanning, and the iris detection by the template matching. Results from the three methods shown similar performance. The system worked well for the real-time blink counter and also showed the possibility to be useful for the sleepiness and catnap detector, man-machine interface, and visual axis analysis.

Key words: eye blink, VDT worker, VDT syndrome, template matching (maximum 5 words)



阿部恒介(あべ こうすけ)

2010 年，北見工業大学工学部
情報システム工学科卒業。同
年，北見工業大学大学院博士
前期課程情報システム工学専
攻入学、現在に至る。顔画像
認識の応用と医用画像処理の

研究に従事。電子情報通信学会会員。



董建(どん じえん)

2009 年，中国・東北林業大学
機電工程工学部卒業。2011 年，
北見工業大学大学院博士前期
課程情報システム工学専攻修
了。同年，同大学院博士後期

課程医療工学専攻入学。医用画像処理とゲーム用デバイス
で操作するグラフィックスビューワの研究に従事。昨
年末 RSNA2011 で学術発表。日本医用画像工学会、電
子情報通信学会各会員。



早川吉彦(はやかわ よしひこ)

1983 年，立教大学大学院理・
博士前期課程修了。東京歯科
大学助手・講師，ルイビル大
学客員教授。2007 年，北見工
業大学准教授。博士（歯学）。

医用画像工学分野の研究に従事。2011 年医用画像情報
学会内田論文賞受賞。日本歯科放射線学会代議員・医療
情報委員。DICOM WG22 メンバー。IADMFR，日本医
学物理学会，電子情報通信学会，日本機械学会各会員。