

瞬目種類識別のための形状特徴量に関する一検討 Shape Feature Parameters to Classify Blink Types

松野 省吾[†] 大山 実[‡] 阿部 清彦^{††} 大井 尚一[‡] 板倉 直明[†]

Shogo Matsuno Minoru Ohyama Kiyohiko Abe Shoichi Ohi Naoaki Itakura

1. はじめに

情報機器の高性能化によりウェアラブル端末をはじめとする小型で携帯可能な端末が普及している。こうした端末は小型である故に入力方法が限定される。そこで、タッチパネル式のように入力に画面領域を必要とせず、かつ直感的な操作が期待できる瞬目(まばたき)による入力が研究されている[1][2][3]。

従来、瞬目による入力は筋萎縮性側索硬化症(ALS)患者のような、運動機能が著しく低下している人を補助するコミュニケーション支援システムとして注目されてきた[4][5]。筆者らは、こうした知見を元に小型の情報端末に応用することで、健常者の使用を想定した効率的な入力インタフェースとして活用を目指している。

瞬目は一般に、意識的に行う随意性瞬目、音刺激や光刺激などの外的要因により引き起こされる反射性瞬目、それ以外の無自覚的に生起する自発性瞬目の3種類に分類される[6][7]。コンピュータの操作に瞬目を用いる場合には、使用者の意図したタイミングでの入力動作が必要となる。すなわち、瞬目種類を自動的に識別し、随意性瞬目のみを入力スイッチとして認識する必要がある。しかしながら、瞬目は高速な動作であり、個人差も大きいために自動識別は困難であった。

これまで筆者らは画像解析を用いて瞬目の時間的な進行過程を示す波形(瞬目波形)の自動抽出を行ってきた。加えて、瞬目種類の自動識別に用いる特徴量として、瞬目の持続時間および振幅値が有効と考え、検討を行っている[8][9][10][11]。これらの実験では瞬目の種類間で差が認められる特徴量が被験者ごとに異なることを示した。とくに、瞬目持続時間が短い被験者では、十分な時間分解能がない場合には、高速な動作である瞬目の挙動を十分なサンプル数で捉えきれず、正確な振幅値を計測できないことを確認した。更に、両特徴量で有意傾向が認められるものの、有意な差が認められない被験者も存在した。これらの結果は、一般的なビデオカメラの時間分解能(30~60fps)では、従来の瞬目種類の識別に検討されてきた特徴量である、瞬目持続時間、もしくは瞬目時振幅値のいずれか一方のみを単独で用いて、全ての被験者の瞬目種類を自動識別することは困難であることを示している。そこで、瞬目持続時間と瞬目時振幅値の双方の特徴を統合する特徴量として、瞬目波形の面積に注目した。本稿では、実験により複数の被験者から随意性瞬目と自発性瞬目の計測を行い、瞬目波形の面積を比較することで随意性瞬目と自発性瞬目の識別が可能であるか否か検討したので、その結果を報告する。

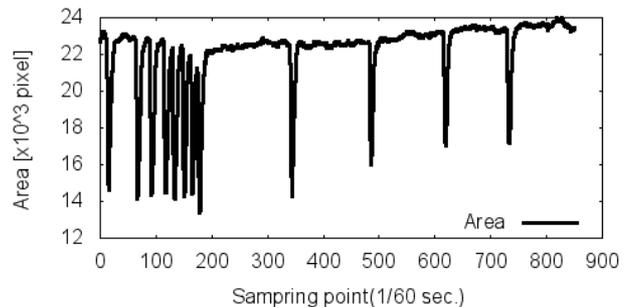


図1 眼球開口部面積の変化

2. 画像解析による瞬目計測法

生理指標として瞬目を計測する際に主として用いられてきた方法が EOG(Electrooculography:眼球電図)法である。EOG法は眼球近傍に電極を貼り付け、角膜網膜電位の変化を記録することで瞬目を検出する。この方法は高精度の計測が可能であり、心理学実験や重度 ALS 患者の補助機器などに使用されてきた。しかし、電極を直接装着する必要があるため、使用者の動きが制限されるなど、普段とは異なる環境での使用が求められる。そこで、本研究ではフレーム分割法を用いた画像解析による計測法[12]を用いる。画像解析による瞬目計測法はビデオカメラを用いて眼球近傍の動画を撮影し、これを画像解析によって瞬目の時間的な進行を計測する手法である。従来、瞬目は高速な動作であるため、高速度撮影が可能なビデオカメラが必要とされていた[13]。しかし、筆者らは既にインタレース画像をフィールドに分割することで2倍の時間分解能(60fps)を確保するフレーム分割法を用い、一般的に使用される NTSC ビデオカメラで撮影した動画においても瞬目の特徴量である瞬目持続時間や瞬目時振幅値が取得できることを文献[14]で示している。

瞬目波形は眼球近傍を拡大して撮影した動画に肌色を閾値とした二値化処理を施し、眼球開口部面積の変化として記録する。ここで、肌色の色情報は得られた画像を RGB 色空間から YCrCb 色空間に変換し、Cr および Cb 間の色差から決定する方法を用いる。図1に眼球開口部面積の変化を示す。画像解析によって眼球開口部面積を求める場合、照明条件や被験者の動きなどの要因から、静止時であっても波形に変化が生じる上、眼球開口部面積の変化は個人差による影響も大きい。また、撮影領域に眉毛、髪の毛、睫毛のように肌色で無い部分が存在するため、閉眼した状態でも面積は0にはならない。そこで、以下に示す眼球開口部面積の差分値を用いる瞬目波形検出アルゴリズムにより、この一連の記録に含まれる複数回の瞬目波形を検出する。

まず、計測した眼球開口部面積を平滑化差分し、その極大値、および極小値を求める。平滑化差分値は微小な変化を含むので、これらの変化も極大値または極小値として検

[†] 電気通信大学 The University of Electro-Communications

[‡] 東京電機大学 Tokyo Denki University

^{††} 関東学院大学 Kanto Gakuin University

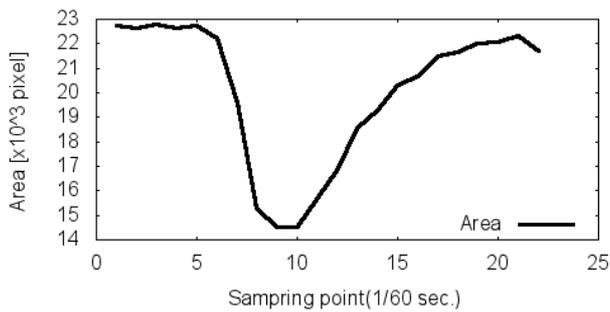


図2 瞬目波形の一例

出される。これらのノイズを取り除くために k-means 法によるクラスタリング処理を施し、極大値、極小値、微小変化の極値からなる 3 クラスに分類する。ここから微小変化のクラスを取り除くことで、ノイズを除去できる。得られた極大値、極小値クラスに含まれる極値は基本的に 1 回の瞬目につき、1 対 1 で存在し、それぞれ瞬目波形の開眼過程および閉眼過程に存在する。これを 1 回の瞬目波形を検出する基準にする。ただし、短い間隔で 2 点以上の極値が検出される場合があるので、その際は最初に発生した極値を用いる。ここでは、5 sample (約 83ms) 以内に検出した極値を取り除いている。瞬目開始フィールドは極大値フィールドから時間軸逆方向に遡り、条件 Th_1 が初めて正となるフィールドとする。逆に瞬目終了フィールドは極小値フィールドから時間軸順方向に進み、 Th_1 が初めて負となるフィールドとする。ここで、検出に用いる閾値 Th_1 は次式により決定される。

$$Th_1 = f(n) - f(n+1) \quad (1)$$

(1)式において、 n は注目フィールドを、 $f(n)$ は n フィールドにおける眼球開口部面積を表す。検出した瞬目波形の一例を図 2 に示す。

3. 瞬目の特徴量

図 3 に瞬目波形のモデルを示す。これまで、瞬目種類を識別する特徴量として文献[15]を参考に瞬目持続時間と瞬目時振幅値を検討してきた。瞬目持続時間 Dur は閉眼過程開始時点 Ps から開眼過程終了時点 Pe までの長さとして定義する。また、開眼時振幅 Acl は Ps から、閉眼過程終了点 Psb と閉眼過程開始時点 Peb 間で最小となる点 $Pmin$ までの高さとして定義する。同様に、開眼時振幅 Aop は $Pmin$ から Pe までの高さとして定義する。このとき、実際の計測では撮影環境や被験者固有の挙動といった理由で瞬目波形の中で底が 2 カ所以上計測されるなど、 $Pmin$ の値は一意に定まらない場合がある。そこで、1 回の瞬目波形のうち、眼球開口部面積が(2)式の閾値 Th_2 を下回る値をとったサンプル値平均を $Pmin$ と定義する。ここで用いた閾値 Th_2 は次式により決定される。

$$Th_2 = \frac{Amax - Amin}{10} + Amin \quad (2)$$

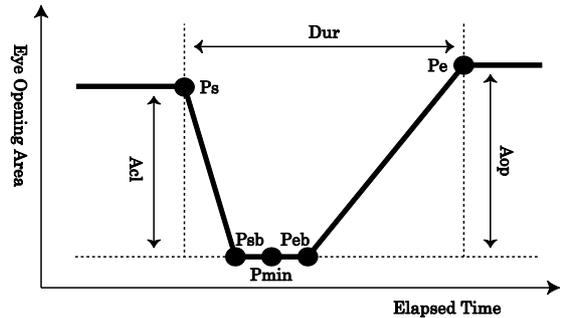


図3 瞬目波形の形状特徴モデル

(2)式において、 $Amax$ は検出した瞬目波形のうち、眼球開口部面積の最大値を、 $Amin$ は最小値を表す。ここで、閉眼時振幅と開眼時振幅の平均を瞬目時振幅値とする。

しかし、文献[16]で行った実験から、持続時間、および振幅値のいずれか一方のみを単独で用いて瞬目の種類を識別することは困難であることが示された。そこで、筆者らは瞬目波形の面積に注目した。瞬目時面積 $Area$ は Ps から Pe 間に存在するフィールドの振幅値の合計と定義する。すなわち以下の式から決定される。

$$Area = \sum_{k=1}^{Dur} \left(\frac{Ps + Pe}{2} - Pk \right) \quad (3)$$

(3)式において、 Dur は瞬目持続時間(フィールド数)、 Ps は瞬目開始時点における眼球開口部面積、 Pe は瞬目終了時点における眼球開口部面積、 Pk は k フィールドにおける眼球開口部面積を表す。これにより持続時間および振幅値の特徴を継承する特徴量として瞬目時面積を用いることができる。

4. 実験

2 章で述べた瞬目波形の検出法を用いて 3 章で述べた瞬目種類識別のための特徴量(瞬目持続時間、瞬目時振幅値、瞬目時面積)を計測し、3 つの特徴量ではそれぞれの程度識別が可能であるか比較検討する。被験者は 20 代の大学生 10 名を対象として行い、被験者 F, G は女性、他の被験者は男性である。本実験の実施に際して被験者には実験の手法や目的について十分な説明を行い、実験への協力、および被験者を特定できない状態での実験データの公開について同意を得た上で実験を行っている。

4.1 システム概要

実験システムのハードウェアは眼球近傍画像を取得する NTSC 方式の家庭用デジタルビデオカメラ(SONY 製:HDR-HC7)1 台、画像処理と瞬目波形計測、および解析を行うパソコン(Windows7, Intel Xeon E31245 3.30GHz, NVIDIA Quadro600)を使用する。実験は室内で行い、一般的な蛍光灯照明に加えて間接照明として LED 照明を 2 台使用する。

撮影にあたり、被験者は椅子に座った状態で正面約 40cm の距離に設置したビデオカメラに注目してもらった。加えて、LED 照明 2 台を被験者の視界には直接入らないようにビデオカメラの両側にそれぞれ設置した。この状態で

表 1 瞬目持続時間の比較

| 被験者 (10 人) | 随意性瞬目 | | 自発性瞬目 | |
|---------------|-------|--------------|-------|--------------|
| | 回数 | 持続時間 [ms] | 回数 | 持続時間 [ms] |
| A | 15 | 718.8 * | 26 | 437.8 |
| B | 15 | 715.5 * | 14 | 320.2 |
| C | 15 | 534.4 | 46 | 455.7 |
| D | 15 | 544.4 * | 8 | 358.3 |
| E | 14 | 459.5 | 6 | 400.0 |
| F | 11 | 600.0 * | 43 | 324.8 |
| G | 15 | 546.6 * | 66 | 353.5 |
| H | 14 | 690.4 * | 3 | 261.1 |
| I | 12 | 436.1 * | 79 | 265.4 |
| J | 15 | 780.0 * | 48 | 487.5 |

*: p < 0.01

表 2 瞬目時振幅値の比較

| 被験者 (10 人) | 随意性瞬目 | | 自発性瞬目 | |
|---------------|-------|-----------------|-------|-----------------|
| | 回数 | 振幅値 [pixels] | 回数 | 振幅値 [pixels] |
| A | 15 | 5689 * | 26 | 3763 |
| B | 15 | 10155 * | 14 | 6882 |
| C | 15 | 11715 | 46 | 11139 |
| D | 15 | 11189 | 8 | 10025 |
| E | 14 | 14535 * | 6 | 8572 |
| F | 11 | 8240 * | 43 | 6856 |
| G | 15 | 12757 * | 66 | 9866 |
| H | 14 | 12217 * | 3 | 8007 |
| I | 12 | 7200 | 79 | 6813 |
| J | 15 | 8674 | 48 | 8034 |

*: p < 0.01

表 3 瞬目時面積の比較

| 被験者 (10 人) | 随意性瞬目 | | 自発性瞬目 | |
|---------------|-------|----------------|-------|----------------|
| | 回数 | 面積 [pixels] | 回数 | 面積 [pixels] |
| A | 15 | 126631 * | 26 | 28450 |
| B | 15 | 197729 * | 14 | 41320 |
| C | 15 | 171187 * | 46 | 122395 |
| D | 15 | 157675 * | 8 | 67862 |
| E | 14 | 118319 * | 6 | 44781 |
| F | 11 | 124716 * | 43 | 43843 |
| G | 15 | 132036 * | 66 | 72464 |
| H | 14 | 240933 * | 3 | 41574 |
| I | 12 | 75327 * | 79 | 37954 |
| J | 15 | 183373 * | 48 | 95056 |

*: p < 0.01

被験者の片目の眼球近傍を拡大して撮影を行った。この際、普段眼鏡を着用している被験者には外してもらい、裸眼の状態での撮影を行っている。撮影画像は水平 720×垂直 480 画素の SD 画像であり、フレームレートは 30fps で記録される。動画は i.Link ケーブルを経由してパソコンのハードディスクにリアルタイムで記録を行い、その後オフラインで画像処理を行い、瞬目波形、およびその特徴量を取得している。

動画の解析はフレーム分割法を用いフィールドに分割されるため、取得される瞬目波形、およびその特徴量は、水平 720×垂直 240 画素の画像から、時間分解能が 60fps として取得される。

4.2 計測手順

計測の際、被験者には設置したビデオカメラの画面から大きく視線をそらさずに画面をみつめるように指示した。加えて、随意性瞬目を取得するため、パソコンから指示音が発生したときに「しっかりとまばたきを行う」ことを指示している。指示音は 4~8 秒程度のランダムな間隔で発生するようにタイマーを設定している。加えて、指示音の無い場合もまばたきを我慢する必要が無いことを伝えた。こうすることで自発性瞬目を同時に撮影することができる。

表 4 過去の実験結果との比較

| 被験者 (10 人) | 随意性瞬目 | | 自発性瞬目 | |
|---------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| | 持続時間 [ms] | 振幅値 [pixel] | 持続時間 [ms] | 振幅値 [pixel] |
| 本実験 | 602.2 | 10237 | 366.1 | 7995 |
| 文献[9] | 623.7 | 13545 | 414.3 | 11278 |
| 文献[10] | 596.2 | 14105 | 378.4 | 9170 |

そして、後に目視で動画像を観察することで、随意性瞬目と自発性瞬目の区別を行っている。この条件の下、被験者は 30 秒程度の安静時間の後に 90 秒程度の撮影を行う。この動画像から 2 章で述べた手法を用いて瞬目波形を検出し、3 章で述べた特徴量を取得する。

4.3 実験結果

本実験で取得した随意性瞬目と自発性瞬目の特徴量の集計結果を表 1~3 に示す。表 1 は瞬目持続時間、表 2 は瞬目時振幅値、表 3 は瞬目時面積を示す。いずれの表においても左側からそれぞれ被験者、随意性瞬目の回数、および平均特徴量、自発性瞬目の回数、および平均特徴量を示す。加えて、被験者ごとに随意性瞬目と自発性瞬目の持続時間、振幅値、面積にそれぞれ 1% 水準での t 検定を用いて比較した結果をまとめている。なお、表 1~3 に示した特徴量は自動検出に成功した瞬目波形のみを用いて算出したものであり、回数は自動検出に成功した瞬目の回数である。

5. 考察

指示音が発生したタイミングで自発性瞬目を行っていた場合、その後に随意性瞬目を行っていない場合が数回存在していることが実験後の聞き取り調査で判明している。実験では、指示音の発生した直後の瞬目を随意性瞬目として記録している。そのため、実際には自発性瞬目であるものを随意性瞬目として検出し、逆に随意性瞬目が自発性瞬目として織り込まれている可能性は高い。ここで、表 4 に本実験の被験者全体の平均と、文献[9][10]で行った過去の実験結果との比較を示す。振幅値に関しては、撮影距離やピ

デオカメラの拡大レンズの有無から各実験の数値に若干の違いがあるものの、両瞬目の差に大きな違いはみられない。また持続時間に関してもほぼ同じ値を記録している。このことから、全体としては本実験においても随意性瞬目を概ね計測できたものと考えられる。

実験結果について、表 1 から明らかなように、被験者 10 名中 8 名において随意性瞬目の瞬目持続時間は自発性瞬目と比較して有意に延長していることが確認された。また、表 2 から明らかなように、6 名の被験者において随意性瞬目の瞬目時振幅値は自発性瞬目と比較して有意に大きいことが確認された。これらの結果は文献[9][10][16]で確認した結果と同様の傾向を示しており、瞬目持続時間、および瞬目時振幅値の両特徴量は、随意性、および自発性の両瞬目間において差異がみられることは多いものの、被験者全てに共通して差異が存在するわけではないことを示している。一方で、表 3 から明らかなように、随意性瞬目の瞬目時面積は 10 名の被験者すべてにおいて自発性瞬目と比較して有意に大きいことが確認された。

被験者個人ごとに注目すると、被験者 A,B,F,G,H は全ての特徴量で有意差がみられた。被験者 D,I,J は持続時間と面積に有意差がみられ、被験者 E は振幅値と面積に有意差がみられた。そして被験者 C は面積にのみ有意差がみられた。このことから、瞬目時面積は全ての特徴量に有意差が見られる場合のみでなく、持続時間か振幅値のいずれか一方に有意差が見られた場合、またその双方に有意差が見られない場合においても識別に有効な特徴量であることが示された。これにより、瞬目種類の識別閾値に用いる特徴量として、瞬目時面積を用いることにより、識別精度の向上に加え、単独の形状特徴量による自動識別の可能性が示された。

6. まとめ

本稿では、一般的な NTSC ビデオカメラを用いたストレスの少ない瞬目入力インタフェースの開発を目的とし、随意性瞬目と自発性瞬目の自動識別のための特徴量として、瞬目時面積を用いる有効性について検討した。

被験者 10 名に対する実験を行い検討したところ、従来検討されてきた特徴量に関して、随意性、および自発性の両瞬目間の差異が有意であった被験者は瞬目持続時間で 8 名、瞬目時振幅値で 6 名であった。これに対し、瞬目時面積では 10 名すべての被験者に有意差がみられた。とくに、被験者のうち 1 名は瞬目持続時間、および瞬目時振幅値の双方に有意差がみられないにも関わらず、瞬目時面積では有意差がみられたことから、随意性瞬目と自発性瞬目の自動識別において、形状特徴量として瞬目時面積を用いることで単独の特徴量による自動識別の可能性を示した。

今後は時間経過と共に変化していく特徴量の傾向に対応可能な識別アルゴリズムの開発を行い、リアルタイムでの瞬目種類自動識別システムの構築を目指す。

謝辞

本研究に関し貴重な議論の機会をいただいた、関東学院大学工学部の佐藤寛修助手に感謝の意を表す。なお、本研究は JSPS 科研費 24700598 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K.Grauman, M.Betke, J.Gips, and G.R.Bradschi, "Communication via eye blinks – detection and duration analysis in real time," Proc. IEEE CS Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2001), vol.1, (2001)
- [2] A.Krolak and P.Strumillo, "Vision-based eye blink monitoring system for human-computer interfacing," Proc.Conf. Human System Interactions, (2008)
- [3] D.O.Gorodnichy, "Second order change detection, and its application to blink-controlled perceptual Interfaces," Proc. IASTED Conf. Visualization, Imaging, and Image Processing, (2003)
- [4] J.Hori, K.Sakano, and Y.Saitoh, "Development of an input operation of the communication supporting device controlled by eye movements and voluntary eye blink," Proc. IEEE Conf. Eng. Med. Biol. Soc., vol.6, (2004)
- [5] O.Tetuya, K.Hironori, and K.Masashi, "Development of an input operation of the communication tool using voluntary eye blink," Papers of Technical Meeting on Medical and Biological Engineering, IEE Japan, vol.6, (2006)
- [6] J.A.Stern, L.C. Walrath, and R.Goldstein, "The endogenous eyeblink," Psychophysiology, Vol.21, no.1, Jan. (1984)
- [7] B.Matteo, A.Rocco, B.Gregori, D.Belvisi, D.Ottaviani, et al., "Voluntary, spontaneous and reflex blinking in patients with clinically probable progressive supranuclear palsy." Brain, vol.132, no.2, (2009)
- [8] K.Abe, S.Ohi, and M.Ohyama, "Automatic Method for Measuring Eye Blinks Using Split-Interlaced Images," Human-Computer Interaction (HCI2009), Part I, (2009)
- [9] 松野省吾, 阿部清彦, 佐藤寛修, 大井尚一, 大山実 "随意性瞬目と自発性瞬目の識別に関する検討" FIT2012 講演論文集, no.3, (2012).
- [10] S.Matsuno, M.Ohyama, K.Abe, H.Sato and S.Ohi, "Automatic Discrimination of Voluntary and Spontaneous Eyeblinks. Use of the blink as a switch interface," Conf. Advanced in Computer-Human Interactions (ACHI2013), (2013)
- [11] K.Abe, H.Sato, S.Matsuno, S.Ohi and M.Ohyama, "Automatic Classification of Eye Blink Types Using a Frame-Splitting Method" Human-Computer Interaction(HCI2013), PartII, (2013)
- [12] 阿部清彦, 大井尚一, 大山実, "フィールドを分割したインタレース画像を用いた瞬目自動計測法", FIT 情報科学技術レターズ, no.6, (2007)
- [13] K.Ohzeki and B.Ryo, "Video analysis for detecting eye blinking using a high-speed camera," 40th Asilomar Conf. Signals, System and computers (ACSSC'06), (2006)
- [14] 松野省吾, 大山実, 阿部清彦, 佐藤寛修, 大井尚一 "フレーム分割法を用いた瞬目計測の有効性に関する一検討", FIT2013 講演論文集, no.3, (2013).
- [15] 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" 人間工学, Vol.46, No.2,(2010).
- [16] 松野省吾, 大山実, 阿部清彦, 佐藤寛修, 大井尚一 "意図的な瞬目に現れる個人的特徴に関する一検討" 第 76 回情報処理学会全国大会, 2F-5.(2014).