

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 The Effectiveness of Method to Measure Eye Blinks Using Split-Interlaced Images.

松野 省吾[†] 大山 実[†] 阿部 清彦[‡] 佐藤 寛修[‡] 大井 尚一[†]
Shogo Matsuno Minoru Ohyama Kiyohiko Abe Hironobu Sato Shoichi Ohi

1. はじめに

瞬目の発生は疲労や意識の低下といった状態と関連し、生理的指標として利用できることが知られている[1][2]. また、瞬目でコンピュータなどを操作する入力インタフェースの研究が多く行われている[3][4][5][6][7]. 瞬目は数 100 ミリ秒のオーダーで一連の動作を完了する高速な運動であるため、こうした瞬目研究では、多くの場合で専用の計測機器が必要となる. 生理的指標としての瞬目を計測する場合に主に用いられる方法のひとつが EOG(Electrooculography: 眼球電図)法である. EOG 法は眼球近傍に電極を張り付け、角膜網膜電位の変化を記録することで瞬目を検出する. EOG 法を用いる場合、高精度の計測が可能であるが、電極を直接、皮膚へと装着する必要があるため、装着者の動作が制限される他、普段の環境とは乖離した状態での使用を求められる. 一方、被験者の身体に機器の装着を必要としない計測方法として画像処理による方法がある. これは被験者の瞬目をビデオ撮影し、これを画像解析することにより瞬目を検出する. ビデオ撮影では被験者は機器の装着を必要としないため、EOG 法と比較して動作の制限が少なく、普段と近い環境での使用が可能となる. しかし、一般的な NTSC ビデオカメラは秒間 30 フレームであるため、高速な動作である瞬目の有無を検出することはできるが、時間的な変化を計測するのは難しい. そのため、精密な挙動を計測する場合には高速度撮影が可能でビデオカメラを使用する必要がある[8].

このように、瞬目の精密な測定には専用の機器が必要とされている. そこで、筆者らは入力インタフェースへの実装を念頭に置き、一般的なビデオカメラを用いて瞬目の計測を行う方法を開発している. 操作機器の入力スイッチとして瞬目を利用するためには、利用者の意図に応じて発生した瞬目をスイッチ入力の動作として使用することになる. すなわち、意識的に行う瞬目(随意性瞬目)とその他の無意識に生じる瞬目(自発性瞬目)を明確に識別しなければならぬ. 随意性瞬目と自発性瞬目の識別に用いるためパラメータは既に検討されているが、通常は十分な精度を持ったパラメータの取得が難しい. また、瞬目検出にフレーム分割法を用いて 2 倍の時間分解能を確保できることは報告されている[9]. しかしながら、一般的なビデオカメラを用いて瞬目の識別に使用するパラメータを取得する際の有効性は示されていない.

本稿では瞬目の入力インタフェースへの導入を目標とし、複数人の被験者の随意性瞬目及び自発性瞬目を計測し、瞬目の形状特徴パラメータ取得にフレーム分割法を用いることに対する有効性について検証したので報告する.

2. 瞬目波形の自動取得

瞬目の計測は動画像から画像解析によって眼球開口部の面積を求め、その変化の過程を計測することで可能である. こうして取得した波形は瞬目波形とよばれる. 瞬目は一般に、命令下あるいは意識的に行われるものを随意性瞬目、光刺激や音刺激といった外部刺激により生起するものを反射性瞬目、それ以外の無意識的に生起するものを自発性瞬目と分類される. 本研究では最終的にこれらの瞬目を自動的に分類することを目指す、そのためには文献[10]で定義されたようなパラメータを取得する必要がある. しかし、瞬目は高速な運動であるため、これらのパラメータを計測するためには時間分解能の不足から一般的なビデオカメラでは難しく、高速度カメラが必要とされている. とところで、筆者らは既にフレーム分割法による一般的な NTSC ビデオカメラを用いた瞬目の自動抽出アルゴリズムを提案している. そこでフレーム分割法を用いることで一般的な NTSC ビデオカメラで撮影した動画像においてもこれらのパラメータの取得が可能であるかを検証する.

2.1 眼球開口部面積の計測

瞬目波形を抽出するためにまず、NTSC 方式のビデオカメラで撮影した眼球近傍の動画像に画像解析を施し、眼球開口部面積の変化を記録する. 図 1 に取得した眼球開口部面積の変化を示す. この一連の記録には複数回の瞬目波形が含まれているため、これを個々に抽出する必要がある.

まず、得られた眼球開口部面積に平滑化フィルタ処理を施し、その後差分値の絶対値(以後、差分波形とよぶ)を求める. 加えてその極大座標を求める. 瞬目時は眼球開口部面積が大きく変化するため、この極大値フレームから一度の瞬目過程の谷の部分を検出できる. 次に、瞬目開始・終了フレームを検出する. 差分波形から検出した極大値のフレームに相当する眼球開口部面積のフレームから開始フレーム方向に遡り、条件 Th_1 が初めて正となるフレームを瞬目開始フレームとする. また、同様に極大値フレームから終了フレーム方向に進み、条件 Th_2 が初めて負となるフレームを瞬目終了フレームとする. 検出に用いるしきい値 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 は注目フレームを、 $f(n)$ は n フレームにおける眼球開口部面積を示している.

この手法により注目フレームから瞬目の開始および終了点を求めることができる.

[†] 東京電機大学 Tokyo Denki University

[‡] 関東学院大学 Kanto Gakuin University

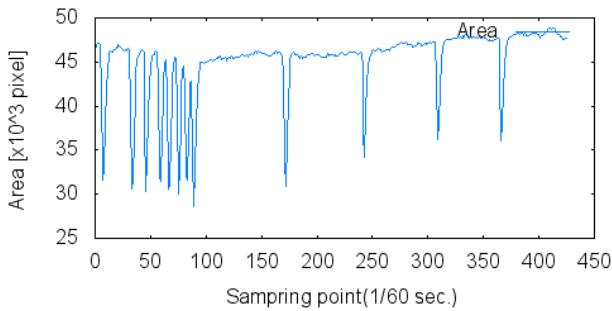


図1 眼球開口部面積

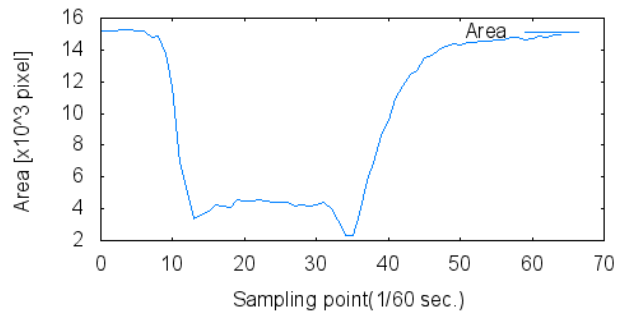


図3 Pminの決定が困難な波形の一例

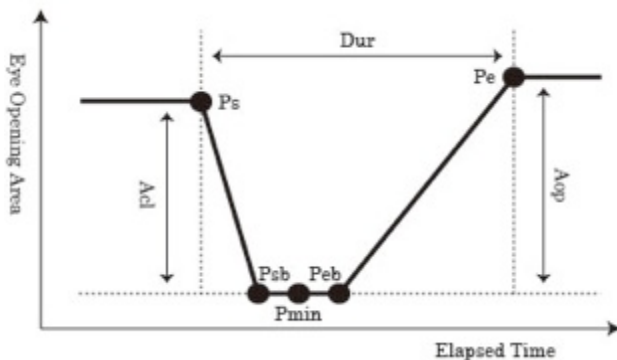


図2 瞬目波形モデル

点 P_s から開眼過程終了時点 P_e までのサンプル数でとしている。また、閉眼時振幅 A_{cl} は P_s から、眼球開口部面積の最小点 P_{min} までの高さであり、同様に開眼時振幅 A_{op} は P_{min} から P_e までの高さである。最小点 P_{min} はモデル上では一意に決定される。しかし、図3に示すような、瞬目波形の底が2カ所ある波形など、実際の計測では、照明条件や撮影環境、また被験者ごとの個人差などの要因により一意に決定されない場合がある。そこで本稿では1回の瞬目波形のうち、眼球開口部面積がしきい値 Th_2 を下回る値となるサンプル値の平均を P_{min} とする。 P_{min} 決定に用いるしきい値 Th_2 は次式により決定される。

$$Th_2 = \frac{A_{max} - A_{min}}{10} + A_{min} \quad (2)$$

(2)式において、 A_{max} は検出した瞬目波形のうち、眼球開口部面積の最大値を、 A_{min} は最小値を示している。これにより図3に示したような場合においても P_{min} を求めることができる。

2.2 フレーム分割法

個々の瞬目波形の取得方法について2.1項で述べた。しかし一般にNTSCビデオカメラでは瞬目の検出は可能であるが、時間的変化の詳細な計測は難しいと報告されている。そこで、詳細な計測に必要となる時間分解能の確保にフレーム分割法を用いる。

一般的なNTSCビデオカメラは連続で撮影された2枚の画像を偶数フィールドと奇数フィールドに積み込み、1枚のインタレース画像として出力する。このように、インタレース画像は2枚の連続したフィールド画像を合成したものであるため、逆に偶数の走査線と奇数の走査線に分割することで30フレーム/秒で記録されたインタレース方式の動画像であれば、60フィールド/秒のサンプリング間隔で処理をすることが可能となる。

3. 随意性瞬目の形状特徴パラメータ

筆者らは瞬目をコンピュータ等への入力インタフェースとして使用することを想定している。その実現には、スイッチ入力を使用することになる随意性瞬目とスイッチ入力には使用しない自発性瞬目を識別しなければならない。そこで、瞬目の特徴パラメータを取得する必要がある。図2にモデル化した瞬目波形を示す。現在、2章で述べた手法を用いて取得した瞬目波形から随意性瞬目を識別するパラメータとして瞬目持続時間と閉眼時・開眼時振幅を検討している[11]。ここで、瞬目持続時間 Dur は閉眼過程開始時

4. 検証実験

2章では瞬目波形の検出方法とフレーム分割法による計測方法について述べた。ここで、3章で述べた瞬目の形状特徴パラメータを取得するにあたり、フレーム分割法を用いた瞬目波形計測がどの程度有効であるかの検証実験を計画した。被験者は20代の大学生5名であり、被験者A~Dは男性、被験者Eは女性である。

自発性瞬目を取得するため、被験者には設置したビデオカメラのレンズ周辺をぼんやりと眺めてもらうよう指示した。加えて、随意性瞬目を取得するため、ビデオカメラが接続されたパソコンからビープ音を発生させ、これを合図として「しっかりとまばたきする」よう指示した。

この条件で撮影した動画像を基にフレーム分割法の有効性を検証した。

4.1 実験システム概要

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、撮影された動画像を解析し瞬目波形を取得するためのパソコン1台を使用した。実験は室内で行い、一般的な蛍光灯照明に加え、間接照明としてLED照明2台を使用した。

撮影時、被験者は椅子に座った状態で左眼正面方向に約 40[cm]離して設置されたビデオカメラを眺めてもらった。加えて、直接に被験者の視界に入らないように LED 照明をビデオカメラの左右に 1 台ずつ設置した。この状態で被験者の左眼の眼球近傍を拡大して撮影を行った。この際、普段眼鏡を使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している。

撮影された動画はインタレース画像であり、解像度は水平 720×垂直 480 画素で、フレームレートは 30 フレーム/秒で記録されている。撮影された動画は 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した。その後、記録した動画像に対してオフラインで瞬目検出処理を行う。

4.2 撮影手順

撮影は約 60 秒間行い、その間に 9 回ビープ音をならした。ビープ音はタイマーを使用し、4~10 秒程度の間隔でランダムにビープ音になるように設定した。この条件の下、撮影前に約 30 秒の安静時間をとり、その後に撮影を行った。なお、この際に撮影時、まばたきを我慢する必要はないことを伝えた。

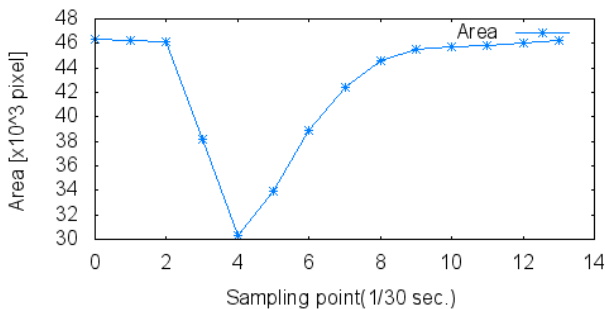


図 4 瞬目波形(分割なし)

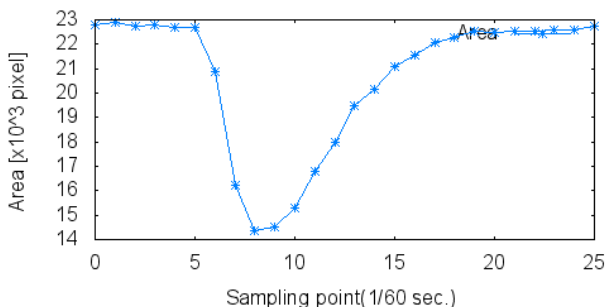


図 5 瞬目波形(分割あり)

4.3 瞬目波形の計測結果

撮影した瞬目の動画から 2.1 項で述べた手法を用い、眼球開口部面積の変化から瞬目波形を抽出した。このとき、通常のインタレース画像のまま画像解析を行った場合とフレーム分割法を用いてフィールドに分割して画像解析を行った場合のそれぞれの瞬目波形を記録した。フレーム分割なしで得られた瞬目波形の一例を図 4、フレーム分割ありで得られた瞬目波形を図 5 に示す。図 4 および図 5 において、横軸は時間(図 4 では 1 目盛り 30 分の 1 秒、図 5 では 1 目盛り 60 分の 1 秒)、縦軸は眼球開口部面積を示す。ここで示した瞬目波形は同じ被験者の同じタイミングで生じた瞬目を瞬目波形として取得したものである。

また、5 名の被験者から検出した瞬目波形を目視により随意性瞬目と自発性瞬目に分類し、その計測結果の平均値をそれぞれ表 1、表 2 に示す。表 1 および表 2 では、左から順に被験者、検出した瞬目数、1 回の瞬目波形を形成するサンプル点の平均個数、閉眼過程のサンプル点の平均個数、しきい値 Th_2 を下回るサンプル点の平均個数(閉眼状態)、開眼過程のサンプル点の平均個数を示している。また、各被験者の上段はフレーム分割なしでの計測結果、下段はフレーム分割ありの計測結果を示している。

5. 考察

表 1 および表 2 から明らかなように、フレーム分割なしの閉眼状態では、随意性瞬目の場合は被験者 A、自発性瞬目であれば全被験者においてサンプル点平均数が 2 を下回っている。つまり、個々の瞬目波形では図 5 に示した波形のように、 P_{min} を決定するための情報が 1 サンプル点しか存在しない場合が多いことが判る。そうした場合、撮影されるタイミングによっては実際に発生している変化の軌跡と観察された結果に大きな誤差が生じる可能性がある。一方でフレーム分割ありの場合、閉眼状態でのサンプル点の数が最も低かった被験者 D であっても 3.0 であり、ほとんどの場合 P_{min} を決定する際に複数のサンプル点の情報から求めることが可能となる。よって、フレーム分割なしでは十分な精度で求められなかった瞬目波形の底辺などもフレーム分割ありでは求めることが可能である。たとえば、生じた瞬目が図 3 のような波形であるとき、フレーム分割なしではこうした挙動は記録されない。しかし、フレーム分割ありであれば大まかな変化を取得できるはずである。被験者全員に共通する傾向として、自発性瞬目に比較して随意性瞬目のサンプル点総数が大きいことがいえる。すなわち、1 回の瞬目を完了する時間は随意性瞬目の方が長い。そして、フレーム分割ありの場合、時間分解能が単純に 2 倍であるといえるので、自発性瞬目と随意性瞬目では 1 回の動作で記録されるサンプル点の差がフレーム分割なしの場合と比較して大きくなると言える。その結果、自発性瞬目と随意性瞬目の識別が容易になると考えられる。

一方、縦方向(眼球開口部面積)への影響を考える。図 6 は一例として被験者 A のある随意性瞬目を開眼時の眼球開口部面積を 1 として正規化を行ったものである。同様に他の被験者の瞬目を対象として正規化を行ったところ、類似した結果が得られた。フレーム分割法を用いた場合、縦方向の情報量が半減するというデメリットが存在する。しか

表1 随意性瞬目の計測結果

被験者	フレーム 分割	瞬目 検出数	サンプル点総数			
			(平均値)	閉瞼過程	閉眼状態	開瞼過程
A	無	9	14.0	6.4	1.8	7.6
	有	9	21.2	9.0	4.4	12.2
B	無	9	26.4	17.1	13.4	9.3
	有	9	47.2	32.4	27.3	14.8
C	無	9	22.6	7.8	5.6	14.8
	有	9	39.2	15.1	10.3	24.1
D	無	9	14.4	5.1	2.4	9.3
	有	9	22.9	8.7	5.9	14.2
E	無	9	32.0	13.1	14.2	18.9
	有	9	48.4	25.3	29.0	23.1

し、図6からも明らかなように、フレーム分割法による縦方向の情報量減少による影響は、時間分解能の増加が与える影響と比較して、小さいといえる。

6. まとめ

画像解析による随意性瞬目の自動検出を念頭におき、瞬目の形状特徴パラメータを取得する際にフレーム分割法を用いる場合の有効性について検証した。その結果、高速な動作である瞬目の特徴を捉えるにあたり、通常の2倍の時間分解能を確保可能なフレーム分割法を用いて瞬目波形を取得することは、単純に時間軸方向の精度が2倍になるという点だけではなく、従来の30分の1秒の時間分解能では取得が困難であった瞬目波形モデルの底辺を計算により求めることが可能となることを示した。また、瞬目の閉瞼過程および開瞼過程の挙動についてもパラメータを決定するために十分な精度での測定が期待できる。一方で、フレーム分割法では縦方向(眼球開口部面積)の情報量が半分になるといったデメリットが存在したが、時間軸方向と比較してパラメータ決定に必要な精度は低く、とくに開眼時と閉眼時の面積の比に注目することで、デメリットによる影響は問題無い範囲であると思われる。

これらのことから、入力インタフェースへの応用を前提とし、画像解析による随意性瞬目の識別に用いる形状特徴パラメータ抽出は、フレーム分割法を用いた60サンプル/秒の時間分解能であれば十分に決定が可能であることが確認できた。今後は、リアルタイムでの瞬目の検出精度を向上させることを目指すと共に、瞬目による情報端末の操作が可能となるシステムを構築していきたい。

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] J.A.Stern, L.C. Walrath, and R.Goldstein, "The endogenous eyeblink," *Psychophysiology*, Vol.21, no.1, Jan. (1984)
- [2] K.Tanabe, "Eyeblink activity during identification of Katakana characters viewed through a restricted visual field," *IEICE Trans. Fundam. Electron. Commun. Comput. Sci.*, vol.E87-A, no.8, (2004)

表2 自発性瞬目の計測結果

被験者	フレーム 分割	瞬目 検出数	サンプル点総数			
			(平均値)	閉瞼過程	閉眼状態	開瞼過程
A	無	16	13.2	4.9	1.2	8.3
	有	16	20.8	7.8	3.4	13.0
B	無	10	14.5	4.5	1.8	10.0
	有	10	22.2	7.4	3.7	14.8
C	無	13	19.4	4.2	1.8	15.2
	有	13	25.3	7.1	3.5	18.2
D	無	13	13.5	4.6	1.7	8.8
	有	13	22.3	8.7	3.0	13.6
E	無	19	20.3	5.6	1.6	14.6
	有	19	23.1	7.0	3.3	16.1

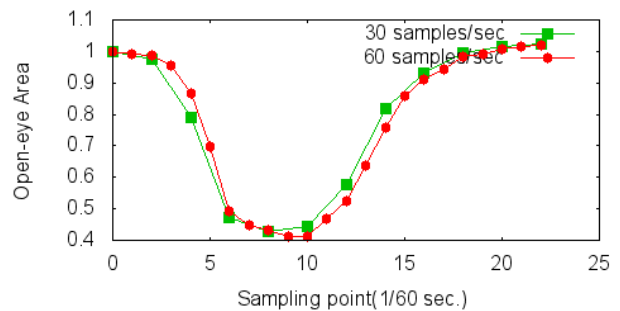


図6 随意性瞬目の瞬目波形

- [3] 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)
- [4] A.Krolak and P.Strumillo, "Vision-based eye blink monitoring system for human-computer interfacing," *Proc.Conf. Human System Interactions*, (2008)
- [5] D.O.Gorodnichy, "Second order change detection, and its application to blink-controlled perceptual Interfaces," *Proc. IASTED Conf. Visualization, Imaging, and Image Processing*, (2003)
- [6] 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)
- [7] 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)
- [8] 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)
- [9] K.Abe, S.Ohi, and M.Ohyama, "Automatic Method for Measuring Eye Blinks Using Split-Interlaced Images," *Human-Computer Interaction (HCI2009)*, Part I, (2009)
- [10] 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)
- [11] S.Matsuno, M.Ohyama, K.Abe, H.Sato, 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)