

瞬き検出のための黒目面積を用いた自動閾値設定法の評価

Evaluation of Automatic Threshold Setting Method Using the Area of Iris for Blink Detection

加藤 秀太[†] 高野 博史[†] 中村 清実[†]
 Shuta Kato Hironobu Takano Kiyomi Nakamura

1. はじめに

瞬きは眼球を乾燥や異物から保護するだけでなく、認知過程や疲労、覚せい度の低下と関連があることが知られている。そのため瞬きを計測することにより、これらの関係を明らかにする研究がなされている。また、覚せい水準が低下すると、1 回あたりの閉眼時間が長くなるなどの特徴より、自動車ドライバの覚醒状態を自動検出する研究が行われている[1][2]。従来の画像処理による瞬き検出方法では、カメラにより顔を撮像し、その画像から瞬きを検出する手法がある。例えば、眼球開口部の面積を計測しその面積の変化から瞬きを検出する方法がある。この方法では、開眼時における眼球開口部の差分値から事前に閾値を設定し瞬きを検出する。また、本研究室ではカメラで撮像して得た目付近の画像を用いて黒目の面積を計測し、黒目面積が閾値以下になった時を瞬きと判定する瞬き検出法が開発されている[2]。この瞬き検出法では、面積閾値が一定であるため、システム動作中に開眼状態の黒目面積が変動した場合、瞬きの誤検出が発生するという問題があった。そこで本研究では、この問題に対応するために、数秒間の開眼画像より黒目面積を計測し、その平均と標準偏差を用いて面積閾値を自動調節する方法を開発した。

2. 瞬き検出法

本研究では、カメラから顔画像を撮影し、片目部分テンプレートによるテンプレートマッチングを行って目を検出する。ここで、片目部分テンプレートとはクロス型の直線で構成されたテンプレートのことである。次に、目の位置情報を元に黒目の面積を計測し、その黒目面積の変化から瞬きを検出する方法を用いた。黒目面積は、瞬きが発生することで小さくなる。そこで、黒目面積の値に閾値を設けることで、開眼状態と閉眼状態を区別する。黒目面積が面積閾値より大きい場合を開眼状態、面積閾値以下の場合を閉眼状態とした。開眼状態から閉眼状態になり、再度開眼状態に戻ったとき、瞬きが発生したと判断する。また、黒目の面積が閾値以下になっている間を閉眼時間とした。次に、黒目の面積測定方法について説明する。テンプレートの中心位置から左右にピクセル濃度値が黒目の範囲外になるまで移動し、その移動距離を黒目の横幅とする。この作業をテンプレートの上端から下端まで繰り返し横幅の合計を黒目の面積とする。

3. 面積閾値自動設定法

従来の瞬き検出法では、顔画像より黒目の面積を計測していたため、システム動作中に開眼状態の黒目面積が変動した場合、面積閾値が一定であるため瞬きを正しく検出で

きない場合があった。そこで、開眼時における黒目面積より面積閾値を自動算出する方法を考案した。本手法では、まず、仮の面積閾値を設定し開眼画像を取得する。これより黒目面積を計測し、開眼時の過去 N フレームの黒目面積から、その平均 $\bar{S}_t$ と標準偏差 σ_t を式(1)より求める。ここで、黒目の面積計測は 30fps で行われる。また、 S_t は時刻 t における黒目面積であり、 N は面積閾値を求めるためのデータ数である。 $\bar{S}_t$ と σ_t を用いて 2 種類の面積閾値 T_1 、 T_2 を式(2)、(3)より求める。そして、面積閾値 T_1 、 T_2 のいずれか小さい方を時刻 t における面積閾値とする。

$$\bar{S}_t = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \bar{S}_{t-i}}{N}, \quad \sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (\bar{S}_t - S_{t-i})^2}{N}} \quad (1)$$

$$T_1 = \bar{S}_t - 2\sigma_t \quad (2)$$

$$T_2 = \bar{S}_t \times \alpha \quad (3)$$

4. 面積閾値自動設定法のパラメータ評価実験

面積閾値自動設定法に用いるパラメータ N と α を検討するために、被験者 6 人分の顔を撮影した 30 分間のデータを用いて実験を行った。ここで、 N は黒目面積の平均と標準偏差を算出するために用いるデータ数、 α は面積閾値を算出するために用いるパラメータである。実験に用いたデータは、先行研究で瞬目群発と単独瞬目の閉眼時間による居眠り検出に用いたものである[2]。

4.1 実験方法

ここで、閉眼フレーム数とは、閉眼と判断してから、再度、開眼と判断するまでのフレーム数である。各パラメータ $N=2, 5, 10, 30, 60, 90, 100, 150$ に対して、 α を 0.7 ~ 0.9 の範囲で 0.5 刻みに変化させた。閉眼フレーム数に対する瞬きの頻度について、面積閾値自動設定法により得られた瞬きデータ（以後、自動閾値と呼ぶ）と先行研究により手動で面積閾値を変更して補正を行った瞬きデータ（以後、手動閾値と呼ぶ）を用いて調査した。実験方法として、各パラメータを変化させて自動閾値と手動閾値の不一致率を求めた。また、求める範囲は 1 秒（30frame）以下と 1 秒（30frame）より長い瞬きに分けた。

まず、閉眼時間が 1 秒以下の瞬きの場合の不一致率の求め方について述べる。被験者 6 人分の自動閾値と手動閾値の不一致率 D を式(4)より求めた。 $H_a(i)$ は自動閾値での各閉眼フレーム数の瞬き発生頻度、 $H_m(i)$ は手動閾値での各閉眼フレーム数の瞬き発生頻度である。不一致率は自動閾値と手動閾値が完全に一致した場合は 0 となり、違いが多くなるにつれ大きくなる。

次に、1 秒より長い瞬きの場合の不一致率の求め方について述べる。被験者 2 人は、1 秒より長い瞬きがほとんどないため解析から除き、被験者 4 人分の自動閾値と手動閾値の不一致率 D を式(5)、(6)より求めた。閉眼時間が 1 秒以下の瞬きについては、式(6)に示すように、瞬きの閉眼フレ

[†] 富山県立大学大学院 工学研究科

[‡] Graduate School of Engineering, Toyama Prefectural University

ーム数に 1 割の許容をもたせて自動閾値と手動閾値の差を求めると、

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{30} |H_m(i) - H_a(i)|}{\sum_{i=1}^{30} H_a(i) + \sum_{i=1}^{30} H_m(i)} \quad (4)$$

$$D = \frac{\sum_{x=1}^6 d_x}{\sum_{i=31}^{104} H_a(i) + \sum_{i=31}^{104} H_m(i)} \quad (5)$$

$$d_x = \begin{cases} \left| \sum_{i=31}^{37} H_m(i) - \sum_{i=31}^{37} H_a(i) \right| \\ \left| \sum_{i=38}^{46} H_m(i) - \sum_{i=38}^{46} H_a(i) \right| \\ \left| \sum_{i=47}^{57} H_m(i) - \sum_{i=47}^{57} H_a(i) \right| \\ \left| \sum_{i=58}^{70} H_m(i) - \sum_{i=58}^{70} H_a(i) \right| \\ \left| \sum_{i=71}^{85} H_m(i) - \sum_{i=71}^{85} H_a(i) \right| \\ \left| \sum_{i=86}^{104} H_m(i) - \sum_{i=86}^{104} H_a(i) \right| \end{cases} \quad (6)$$

4.2 実験結果

1 秒以下の瞬きの不一致率の結果を図 1 に示す。横軸は α の値、縦軸は被験者 6 人の不一致率の平均を N の値ごとに表している。図 1 から、 α の値が 0.8 の時に N の値に関係なく不一致率が低いことがわかる。よって、 α の値は 0.8 が適切と考えられる。1 秒より長い瞬きの不一致率の結果を図 2 に示す。横軸は α の値、縦軸は被験者 4 人の不一致率の平均を N の値ごとに表している。図 2 より、長い閉眼でも α の値が 0.8 の時に N が 100, 150 で不一致率が低いことがわかった。以上の結果より、面積閾値自動算出設定法に用いるパラメータ α の値は 0.8 が適切だと考えられる。また、 N の値については 100 以上必要であると考えられる。

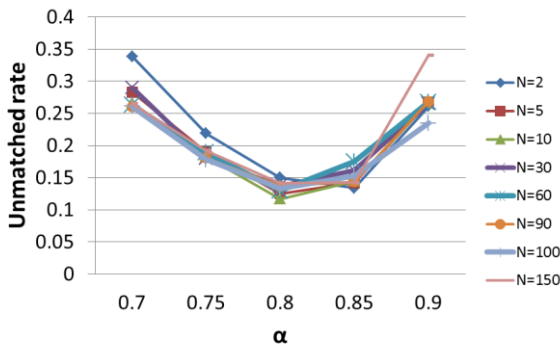
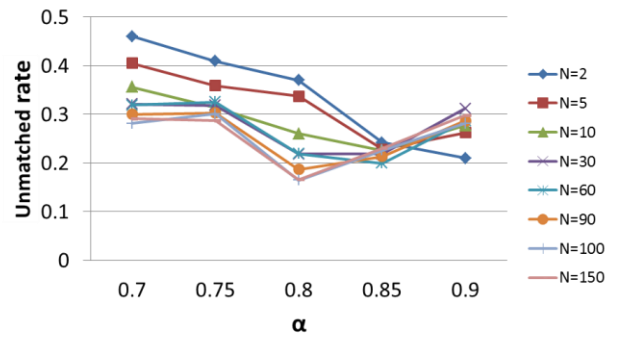


図 1 1 秒以下の瞬きに対する不一致率

5. 黒目面積の変動が原因で生じる面積閾値算出の問題点

N の値が 2, 5, 10 の場合、面積閾値を正しく算出できない事例があった。このような面積閾値を正しく算出できない原因として、閉眼動作時の黒目面積がゆるやかに変動す

図 2 1 秒より長い瞬きに対する不一致率



るためであると考えられる。このような場合、面積閾値が正しく算出できず、閉眼の面積変動を開眼と誤って判断する。しかし、 N の値が 30 以上であれば黒目面積の変動がゆるやかな場合であっても対応できる。これは、 N の値が小さいと、黒目面積がゆるやかに変動することにより、開眼時の過去 N フレームの黒目面積平均 $\bar{S}_k$ が下がるためだと考えられる。

次に、長時間閉眼中に面積閾値を正しく算出できない場合があった。このような面積閾値を正しく算出できない原因として、閉眼状態から一瞬の開眼状態になり、また閉眼状態になるような面積変動が連続で起こることが原因である。これにより、開眼時の黒目面積の標準偏差が大きくなってしまったため、面積閾値 T_1 の値が急激に下がり閉眼を開眼と誤って判断してしまう。この問題は過去 N フレームの開眼状態の黒目面積を用いて平均と標準偏差を求めているので、 N の値に関係なく生じることが考えられる。

6. まとめ

本研究では、瞬きを検出する際に用いる面積閾値を自動で算出し設定する手法を開発した。この面積閾値自動設定法では、開眼状態の黒目面積を計測し、開眼時の過去 N フレームの黒目面積から求められる平均値と標準偏差を用いた。面積閾値算出用のパラメータ N と α の値を検討するために、手動で面積閾値を設定して得られた瞬きデータと本研究における面積閾値自動設定法により得られた瞬きデータの不一致率を持続時間 1 秒以下と 1 秒より長い瞬きに分けて求めた。その結果、瞬きの持続時間によらず、 α の値が 0.8 のとき不一致率が最も低くなった。また、1 秒以下の瞬きでは N の値を変えても不一致率にほとんど変化はなかったが、1 秒以上の場合 N の値が 100, 150 で不一致率が低かった。また、面積変動がゆるやかな場合、 N の値が 2, 5, 10 の時に面積閾値を正しく算出できない場合があった。このため、 N の値は 100 程度が適していると考えられる。しかし、閉眼状態から一瞬の開眼状態になり、また閉眼状態になるような面積変動が連続で生じることにより面積閾値の算出が正しくできない場合があるので、今後、このような問題にも対応できるアルゴリズムを開発する必要がある。

参考文献

- [1] 今井章博, 小栗宏次, “覚醒低下の段階変化を考慮したドライバの眠気レベル推定”, 電気情報通信学会, 信学技法, vol.110, no.469, pp.47-52, 2011.
- [2] 内藤 千裕, 石岡 敬浩, 高野 博史, 中村 清実, “瞬目群発と単独瞬目の閉眼時間を用いた居眠り検出”, 電気学会電子・情報・システム部門大会, pp.1563-1564, 2011.