

眼電図と目の開閉に基づく瞬き特性 Blink characteristics based on electro-oculogram and eye opening and closing

佐々木 雄大[†]
Takehiro Sasaki

プリマ オキ ディッキ アルディアンシャー[†]
Oky Dicky Ardiansyah Prima

1. はじめに

これまで顔画像からの目の開閉度により瞬きを自動的に検知する手法が開発されている。しかしながら、これらの手法による検知結果には、目のランドマークの抽出精度と目の開閉の許容度に依存するという問題がある。本研究では、眼電図 (Electro-Oculogram; EOG) と目の開閉度との関係を精査し、瞬き検知のためのランドマーク抽出法と目の開閉を決定するための閾値について分析する。具体的には、瞬きが発生した時刻において、Dlib と MediaPipe ライブラリから抽出された目のランドマークにおける相対位置の変化と EOG 信号の変化を比較し、それぞれのライブラリの適否と瞬き検知のための閾値の決定方法に繋がる知見を得ることを目指す。本研究の成果は、顔画像からより正確な瞬き特性の評価につながり、さらには医療や心理学分野での応用にも期待される。

2. 関連研究

Dewi ら(2022)は、顔のランドマーク位置を用いてまぶた間の垂直距離と水平距離から Eye Aspect Ratio(EAR)を算出し、EAR 値をもとに瞬きを検出する方法を提案した[1]。しかしながら、EAR 値は視線方向や顔向きに大きく左右されるため、安定した瞬き検知を行うことが難しい。図 1 では、異なる顔向きにおける瞬き動作時の EAR 値の高低差の違いを示している。カメラに対して顔が正面を向いている場合、開眼時の EAR 値は 0.5~0.7 の範囲にあり、瞬き発生時に EAR 値が約 0.2 まで低下する。顔が下に向いている場合、開眼時の EAR 値は 0.2~0.3 の範囲にあるが、瞬き発生時に EAR 値は逆に上昇する。一方で、眼電図では、顔向きによる影響がみられないことが分かる。瞬き時の目の開閉時間は 334 ± 67 ms であることから[2]、この開閉時間と EAR 値を総合的に判断することで、より適切な瞬き検知を行うことができると考えられる。

3. 提案手法

3.1 瞬き検知

本研究では、EOG を利用して正確に瞬きを検出し、その瞬き発生時の EAR を詳細に分析する。なお、EOG を計測するための装置として、EOG 信号を出力できる JINS MEME 開発版を採用した[3]。なお、撮影時の眼鏡レンズによる反射の影響を除外するため、当該レンズを外して使用した。以下の Step により EAR から瞬き検知を行い、精度を検証する。

Step 1: EOG と顔の映像を同期させ記録する。

Step 2: 映像から目のランドマークを検出し、EAR 値を算

[†] 岩手県立大学ソフトウェア情報学研究所
Iwate prefecture University Graduate School of Software and Information Science

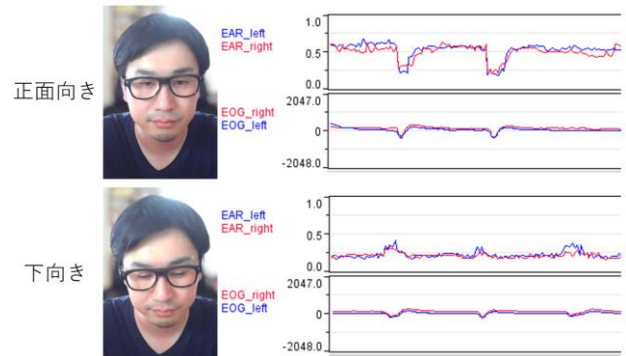
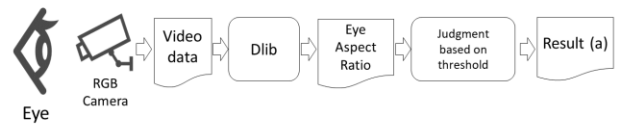


図 1 顔向きと目の開閉における EAR 値との関係

従来のEARによる判定:



本研究の判定:

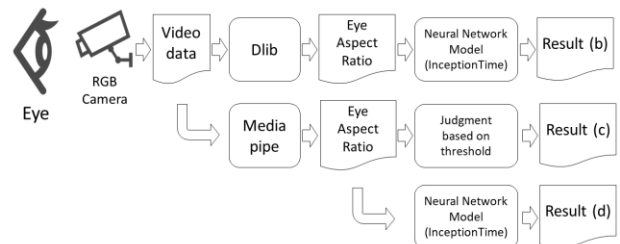


図 2 EAR 値からの瞬き判定の検証

出する。ここで目のランドマークの抽出には、Dlib と MediaPipe ライブラリを利用する。

Step 3: 時系列の EAR 値をニューラルネットワークで学習し、瞬きを推論するモデルを構築する。ここで、ニューラルネットワークのアーキテクチャとして InceptionTime を利用する[4]。

Step 4: 学習したモデルから瞬きを推論する。片目ずつの EAR 値を独立した入力として瞬きを判定する。

Step 5: 閾値処理による EAR 値からの瞬きの判定結果とニューラルネットワークの推論による瞬きの推論結果を比較し、それぞれの精度を検証する。ここで、閾値を 0.25 とした[1]。

3.2 データセットの構築

瞬き検知の入力データは、顔の映像データと瞬きのラベルデータの 2 種類から構成される。映像は解像度 640×480 px, 40fps で撮影されている。先行研究の手法と比較するため、正面向きの顔を撮影する。映像には、無意識に行う瞬き(自発性瞬き)、意図的に瞼を閉じる随意性瞬き、そしてハンドブLOWERによる空気を目に当てた反射性瞬きの

表 1 各手法による瞬き検知の精度

(a) Facial Landmark detection: Dlib Blink detection: by Threshold				
	Precision	Recall	F1-score	Support
None	0.89	1	0.94	29992
Blink	0.66	0.06	0.11	4084
Accuracy			0.88	34076

(b) Facial Landmark detection: Dlib Blink detection: by Neural Network				
	Precision	Recall	F1-score	Support
None	0.97	0.97	0.97	30786
Blink	0.71	0.73	0.72	3170
Accuracy			0.95	33956

(c) Facial Landmark detection: MediaPipe Blink detection: by Threshold				
	Precision	Recall	F1-score	Support
None	0.93	0.98	0.95	29992
Blink	0.75	0.46	0.57	4084
Accuracy			0.92	34076

(d) Facial Landmark detection: MediaPipe Blink detection: by Neural Network				
	Precision	Recall	F1-score	Support
None	0.97	0.97	0.97	30786
Blink	0.73	0.71	0.72	3170
Accuracy			0.95	33956

3 種類の瞬きが含まれる。ニューラルネットワークによるモデル構築時はホールドアウト法を採用し、訓練データと検証データをランダムに抽出し、その割合を 8:2 とする。左右の目の EAR 値をそれぞれ独立したデータとして扱う。なお、一つのサンプルデータ当たりのシーケンス長は 30steps とする。

4. 結果

図 2 に、従来の EAR による瞬き検知と本研究での瞬き検知の処理の流れを示す。構築したデータセットに対してこれらの手法を適用した結果を表 1 に示す。表 1 より、次のことがいえる。

- 瞬きの判定にニューラルネットワークを導入することにより、瞬き検知の精度を向上させることができた。表 1(a)-(b)と表 1(c)-(d)において、EAR 値を求めるための顔ランドマークの違いがあるにも関わらず、ニューラルネットワークによる瞬き判定の精度 (F-Score) が高いことが分かる。

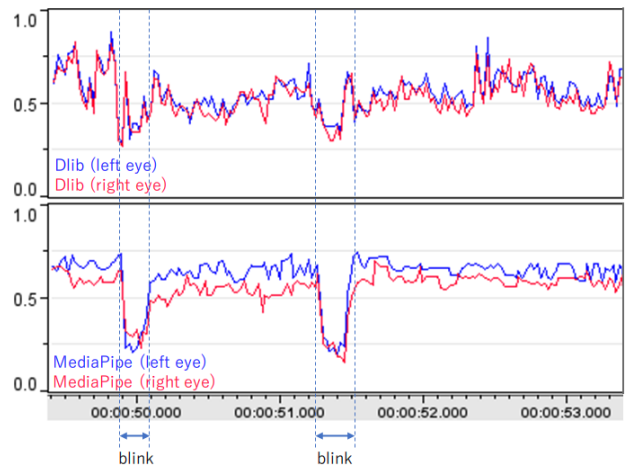


図 3 Dlib と MediaPipe からの時系列 EAR 値

- EAR 値の算出において、Dlib よりも MediaPipe の方が適している。ただし、瞬きの判定にニューラルネットワークを導入することにより、両者による瞬き検知の精度に差が見られない。図 3 に、Dlib と MediaPipe から算出した EAR 値を示す。瞬き発生時 (blink) において、MediaPipe による EAR 値の方が顕著な変化を示していることが分かる。なお、本検証において、Intel Core-i9-64GB の PC による 1 回当たり平均推論速度を測定した結果、Dlib が 104 ms に対し、MediaPipe が 3 ms であったため、処理のリアルタイム性の観点から、EAR 値算出用に、MediaPipe が適切であることが分かった。

5. おわりに

本研究では、時系列の EAR 値からニューラルネットワークによる瞬き検知方法を提案した。検証実験では、ニューラルネットワークの導入によって、瞬き検知の精度を向上させることができた。また、MediaPipe が EAR 値を算出するための顔ランドマークとして優れていることも分かった。今後の取り組みとして、今回採用した InceptionTime 以外のネットワークを利用してさらなる精度検証を進めるほか、自発性瞬きや反射性瞬き、随意性瞬きの自動分類に取り組む予定である。

参考文献

- [1] C. Dewi, R-C. Chen, X. Jiang, and H. Yu, "Adjusting Eye Aspect Ratio for Strong Eye Blink Detection Based on Facial Landmarks," *PeerJ Computer Science*, 8:e943, (2022).
- [2] F. VanderWerf, P. Brassinga, D. Reits, M. Aramideh, and B. Ongerboer de Visser, "Eyelid Movements: Behavioral Studies of Blinking in Humans Under Different Stimulus Conditions," *Journal of Neurophysiology*, 89:5, pp. 2784-2796 (2003).
- [3] S. Kanoh, S. Ichi-Nohe, S. Shioya, and K. Inoue, "Development of an Eyewear to Measure Eye and Body Movements," *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 2267-2270 (2015).
- [4] H. I. Fawaz et al., "InceptionTime: Finding AlexNet for time series classification," *Data Mining and Knowledge Discovery*, 34:6, pp. 1936-1962 (2020).