

赤外線を用いた非接触瞳孔径測定手法

小池 実輝[†] 藤田 悟[†]

法政大学大学院 情報科学研究科[†]

1. はじめに

交感神経や副交感神経により、自分の意思とは関係なく瞳孔径が変化することが明らかになっている。本研究は、感情など人間の内部的な情報を可視化するための非接触的瞳孔径測定方法を提案した。

2. 瞳孔径測定

測定機器は、覗き込み型、眼鏡型、置きカメラ型に分けることができる。覗き込み型は、機器を覗き込む必要があるため、他作業と併用できないことが欠点である。眼鏡型は、眼鏡が皮膚と接触しなければならないことと、眼鏡に装着されたカメラが正面に位置していないため正確な瞳孔を測定できないことが欠点である。置きカメラ型は、アイトラッキングカメラが代表例に挙げられるが、それらは非常に高価であり、気軽に利用できないことが欠点である。本研究は、他作業と併用できること、非接触であること、安価で気軽に利用できることを条件に、置きカメラ型の機器を提案した。

アルゴリズムは、画像差分法[1]、画素の勾配情報を利用する手法[2]、エッジベースの手法[3][4][5][6]がある。画像差分法は、異なる波長の光源で撮影した明瞳孔画像と暗瞳孔画像の差分を取ることで瞳孔を抽出する方法である。これは、前後2枚のフレームが必要であり、フレームレートが半分になってしまうことや、身体の動きに対応できないことが欠点である。画素の勾配情報を利用する手法は、勾配情報から瞳孔の輪郭特徴点を決定し、瞳孔の外形を推定する手法である。これは、まつ毛やまぶたが原因で特徴点の誤検知をしてしまうことが欠点である。エッジベースの手法は、エッジを抽出し、瞳孔外形を推定する手法である。多くの研究では、Canny edge を適用することが多いが、そのパラメータは環境によって変動してしまうことがある。本研究は、まつ毛やまぶたの誤検知を防ぎ、画素の勾配情報から直接瞳孔径を算出するアルゴリズムを提案した。

3. 非接触瞳孔径測定方法

本章では、測定機器とアルゴリズムについて説明する。測定機器は、瞳孔と虹彩における近赤外光の吸光率が異なる特性を利用し、暗瞳孔画像を撮影できる赤外線カメラを独自に作成した。アルゴリズムは、暗瞳孔画像を入力してから、瞳孔径算出までの流れを説明する。

3.1 測定機器

ELECOM の超高精細 FullHd 対応 800 万画素 Web カメラ (UCAM-C980FBBK) を用意した。近赤外光を受光できるようにするため、元々装着されている赤外線カットフィルターを除去し、代わりに、FUJIFILM 光呼吸・赤外線透過フィルター (IR フィルター) IR82 を装着させ、赤外線カメラ (以下、改造赤外線カメラ) を作成した。また、波長 850nm の近赤外線 LED を別に用意した。

3.2 アルゴリズム

アルゴリズムは、虹彩領域の検出、角膜反射領域の除去と瞳孔径の算出、最終的な瞳孔径決定の3ステップで構成される。

1 ステップは、MediaPipe[7]を利用して虹彩領域を検出し、その領域を虹彩画像とする。

2 ステップは、虹彩画像を $[-20^\circ, 20^\circ]$ の範囲で 4° ずつ回転させ、各回転画像で瞳孔径を算出する。まず、虹彩画像に対して、画像内の小さなノイズ除去を目的に、ガウシアンフィルターを適用する。次に、2枚の勾配画像を作成する。1枚目は、ガウシアンフィルター、x軸方向の勾配フィルター、角膜反射領域の除外を順に適用する。2枚目は、角膜反射領域の除外、ガウシアンフィルター、x軸方向の勾配フィルターを順に適用する。これらの勾配画像は、瞳孔領域は同じ値を示すが、角膜反射領域は異なる値を示す。そのため、これらの論理和をとることで、瞳孔領域の勾配のみ含む勾配画像を生成した。その勾配画像のy軸方向の合計値を算出し、ピーク間のピクセル数を瞳孔径とした。

3 ステップ目は、全11個の瞳孔径において、最大値を最終的な瞳孔径とした。

瞳孔径の時間的変化を測定する際は、顔の前後のスケール感を調整するため、虹彩の直径 (di) と瞳孔径 (dp) の比率を測定した。

$$ratio = \frac{dp}{di} \quad (1)$$

Non-contact Measurement of Pupil Diameter using Infrared Light

[†] Mikiya Koike, Satoru Fujita, Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

表 1 実験結果

	Starburst[2]	Swirski[3]	ExCuSe[4]	ElSe[5]	PuRe[6]	提案手法
MAE (px)	18.0	40.0	16.2	16.7	6.6	4.0
MAPE (%)	107.3	217.9	91.1	92.6	35.8	25.5

4. 評価実験

本研究で提案した非接触瞳孔径測定方法の精度評価を行う。被験者 43 名の瞳孔画像を利用し、他アルゴリズムと比較した。

4.1 実験環境

改造赤外線カメラで撮影された動画内のフレーム(解像度:2048×1536)を用いる。43 名の瞳孔が写った動画を撮影し、被験者の視線はノートパソコンのディスプレイの中央付近を見てもらった。改造赤外線カメラと被験者の目の距離は、被験者が普段ノートパソコンを扱う距離を保ってもらった。

比較アルゴリズムは、Starburst[2], Swirskiらが提案したアルゴリズム[3], ExCuSe[4], ElSe[5], PuRe[6]とする。これらアルゴリズムの多くが眼鏡型の機器を利用しているため、目の検出などのアルゴリズムが含まれていない。そこで、本研究でも利用した MediaPipe[7]で虹彩検出を行い、その領域内で各アルゴリズムを適用することとした。

4.2 実験結果

瞳孔径の正解値は、被験者以外の 4 名に瞳孔径を算出してもらい、その平均値とした。

表 1 に各実験環境における MAE (Mean Absolute Error) と MAPE (Mean Absolute Percent Error) を示した。本研究で提案手法が最も高い精度を示した。

5. PC ゲーム中の瞳孔径変化

PC ゲーム中における被験者 4 名の瞳孔径変化を図 1 に示した。また、極小値の近似直線も図に示した。Subject2, Subject4, Subject5 の被験者は、ゲーム後半に向かい瞳孔径が拡大していることが分かる。これは、ゲーム前半に比べ、脳に負荷が加わり、交感神経が活性化していることが考えられる。

6. まとめ

他作業と併用でき、非接触で利用でき、安価な赤外線カメラを作成することができた。

また、画素の勾配情報から直接瞳孔径を算出するアルゴリズムは、他アルゴリズムと比較し、最も高い推定精度を示した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K11777 の助成を受けたものです。

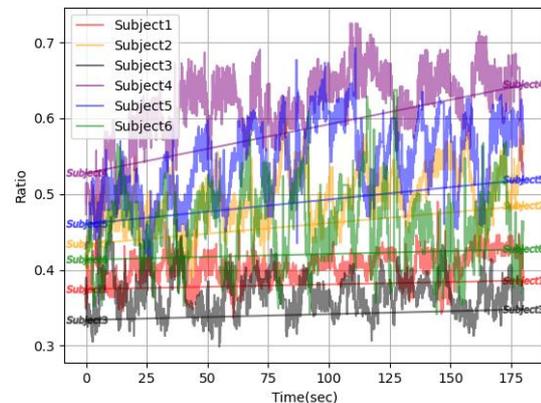


図 1 PC ゲーム中の瞳孔径変化

参考文献

- [1] 村手広仁 and 海老澤嘉伸, “高照度下における瞳孔と角膜反射検出法の提案,” 映像情報メディア学会誌, vol. 64, no. 12, pp. 1903-1911, 2010.
- [2] D. Li, D. Winfield, and D. Parkhurst, “Starburst: A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches,” in 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR’05) – Workshops, 2005, pp. 79-79.
- [3] L. Swirski, A. Bulling, and N. Dodgson, “Robust real-time pupil tracking in highly off-axis images,” in Proceedings of the symposium on eye tracking research and applications, 2012, pp. 173-176.
- [4] W. Fuhl, T. K\"ubler, K. Sippel, W. Rosenstiel, and E. Kasneci, “Excuse: Robust pupil detection in real-world scenarios,” in International conference on computer analysis of images and patterns. Springer, 2015, pp. 39-51.
- [5] W. Fuhl, T. C. Santini, T. K\"ubler, and E. Kasneci, “Else: Ellipse selection for robust pupil detection in realworld environments,” in Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications, 2016, pp. 123-130.
- [6] T. Santini, W. Fuhl, and E. Kasneci, “Pure: Robust pupil detection for real-time pervasive eye tracking,” Computer Vision and Image Understanding, vol. 170, pp. 40-50, 2018.
- [7] Google, “Mediapipe.” [Online]. Available: <https://google.github.io/mediapipe/>