

偏光カメラを用いた角膜反射像の除去に基づく瞳孔検出

Pupil Detection Based on Reducing Corneal Reflection with Polarization Camera

立命館大学 ○南 聖弥, 池田 聖, 木村 朝子, 柴田 史久
Seiya.Minami, Sei.Ikeda, Asako.Kimura and Fumihisa.Shibata
Ritsumeikan University

Abstract When you perceive gaze direction with conventional system, detection accuracy may decrease due to the corneal reflection image on the captured image. We use a polarizing camera to remove corneal reflection patterns to improve detection accuracy. Polarization camera can acquire polarization information at the time of shooting with the installed polarizing filters. You can remove polarization components with the information acquired from polarization camera. In this study, we compared detection results that do not remove corneal reflection patterns and remove it. As the result, Detection accuracy was improved by removing corneal reflection patterns.

1 はじめに

視線検出は、ユーザビリティ評価やデバイスへの入力、心理学など様々な分野への応用が期待されている。この技術の現在の主流の方式は、カメラ画像上での瞳孔の輪郭検出に基づく。瞳孔輪郭検出は三次元的な視線や瞳孔径などの算出に用いられ、眼球周辺の動きを検出する際に重要な技術である。しかし、利用者周辺の環境光が眼球表面に映り込み、これが外乱となり検出が不安定化することがある。

本稿では、眼球の撮影に偏光カメラを用いることで環境からの反射光を除去し、瞳孔の輪郭検出の安定性向上を図る手法を提案する。偏光カメラでは各画素で異なる偏光方向の光の輝度を観測することができる。本研究では、最小輝度となる偏光方向を各画素で算出し、鏡面反射光を除去することで瞳孔検出の安定化を図る。

実験では、偏光カメラを用いた鏡面反射成分の除去の有無を比較し、瞳孔検出結果の安定性が向上することを示す。

2 偏光カメラを用いた瞳孔検出

提案手法では、偏光カメラから取得した画像から光沢を除去した画像を算出し、その画像上で従来の瞳孔を検出手法を適用する。

2.1 偏光情報を用いた光沢除去

ここでは、偏光カメラで撮影した画像から光沢を除去する手法について述べる。

まず、偏光カメラにより取得できる画像の性質について説明する。偏光カメラにはRGBのベイヤ配列のように各画素に異なる4つの方向 $x_i = 45 \cdot i$ ($i =$

0, 1, 2, 3) の直線偏光フィルタが配置されている。今回の実験で使用した偏光カメラでは、更にRGBのフィルタもベイヤ配列で配置されているため、チャンネルごとにこの4つの画素を一組として偏光情報を算出する [1]。今回は視線検出で頻繁に使用される近赤外線帯域に近いRチャンネルのみを用いる。

次に、偏光情報を算出するための偏光角度と画素値の関係式について説明する。偏光方向 x_i の画素の画素値を y_i とする。同一の光線上で異なる方向の偏光フィルタを通して得られた画素値がこの4つの画素値 y_i であるとする。画素値 y と偏光方向 x_i との間には次の関係が成り立つことが知られている。

$$y_i = a \cos(x_i + b) + c \quad (1)$$

ここで a は振幅、 b は位相角、 c は平均輝度に相当する。4つの画素値から上式の3つのパラメータを線形最小二乗法により算出することで求める。

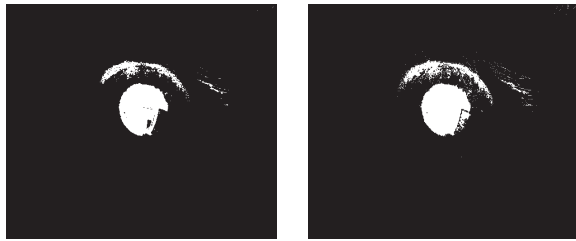
最後に、光沢除去画像の生成法について述べる。光沢除去画像は、上式の最小値 I_m として算出できる。また、一般のカメラで取得される画像は、上式の平均輝度 I_a である。具体的には次の式を各画素の組に対して算出することで最小値画像 I_m と平均値画像 I_a を取得する。

$$I_m = c - a \quad (2)$$

$$I_a = c \quad (3)$$

2.2 瞳孔検出

瞳孔の輪郭検出は既存の伊藤らが開発した公開ソフトウェアを用いる [2]。ここでは、後述する実験の結果の考察のため、瞳孔検出のアルゴリズムを概説しておく。伊藤らの手法ではグレースケール画像か



平均輝度

最小輝度

図 1: 二値化結果の比較

ら瞳孔を検出するため、2つの閾値が用いられている。一つの閾値は強膜部分と虹彩部分、もう一つの閾値は虹彩部分と瞳孔部分を分離するために用いられる。複数の閾値により得られた2つの2値画像に対してCanny法 [3]によりエッジが検出される。エッジ画素に対して楕円フィッティングにより楕円が当てはめられる。図1は、虹彩部分と瞳孔部分を分離する閾値により二値化した画像である。

3 実験

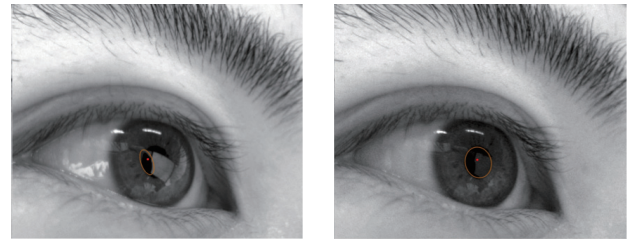
本実験は、上述した光沢除去の効果を瞳孔検出により示す。具体的には、被験者に9箇所（左上，上中央，右上，左中央，中央，右中央，左下，下中央，右下）の異なる方向を注視してもらい、その際の画像を用いて光沢除去ありの場合となしの場合で定性的に比較した。

使用した偏光カメラはViewPlus VP-PHX050S-Qである。被験者1名（20代男性，裸眼視力0.5以上）が顎台に顔面を固定し，前面450mmに配置されたディスプレイ上のマーカを注視しながら撮影した画像を用いた。偏光カメラと被験者の眼球の距離をおおよそ35mmで固定した。実験は，眼球表面上に光沢が生じやすいように，十分に明るい室内で行った。

4 結果と考察

図1は，右中央のマーカを注視した際の取得画像の二値化結果を示している。図のとおり平均輝度の方では，虹彩の右下に何らかの環境のパターンが映り込み，二値化された虹彩の楕円形領域に欠損が生じている。一方，最小輝度の方では，同じ箇所に僅かな欠損は生じているものの，楕円形の輪郭は保持されていることが分かる。

図2に，中央のマーカを注視した際の瞳孔検出結果を示している。赤い曲線が検出した楕円の輪郭であり，点は中心点である。図1と同用意瞳孔付近に輝度の高い環境光が写り込んでいるのが分かる。平均輝度の方では，瞳孔付近に写り込んだパターンが原因



平均輝度

最小輝度

図 2: 瞳孔検出結果の比較

で，検出された楕円が明らかに瞳孔の位置からずれて描画されている。一方で同一画像から光沢除去した最小輝度の画像では，このパターンの輝度は相対的に低く，あまり楕円検出に影響を与えていない。

以上のように光沢を除去することにより瞳孔検出が安定化する場合があることが確認できた。その他の4つマーカを注視した場合においても同様の傾向が見られた。一方で，眼球の姿勢によっては環境光の映り込み位置が瞳孔に重ならない場合や瞼やまつげが瞳孔に重なっている場合など，大きな差が見られない場合もあった。以上より，偏光カメラを用いた光沢除去により瞳孔検出が安定化できる場合があることが示された。

5 終わりに

本稿では，眼球の撮影に偏光カメラを用いることで環境からの反射光を除去し，瞳孔の輪郭検出の安定化する手法を提案した。実験により，環境光の映り込みにより通常の画像では瞳孔検出が失敗する場合においても，偏光カメラによる光沢除去により瞳孔検出が成功する場合があることを確認した。今後は，環境光の影響が強い屋外における効果を確認する予定である。

参考文献

- [1] L. B. Wolff: Polarization camera for computer vision with a beam splitter; J. Opt. Soc. Am. A 11, pp.2935-2945 (1994)
- [2] Github.Y. Itoh: <https://github.com/YutaItoh/3D-Eye-Tracker>
- [3] J. Canny: A computational approach to edge detection; IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-8, pp.679-698 (1986)