

広範囲な視線計測が可能な非接触型の視線計測機器の開発

宮原 崇志[†] 今渕 貴志[†] Prima Oky Dicky Ardiansyah[†] 伊藤 久祥[†]

概要: 現在、種々の非接触型の視線計測機器が開発されているが、これらの機器による視線計測可能な範囲が狭いため、複数人に対する同時計測が困難である。本研究では、広範囲な視線計測を実現するために、眼球撮影用のカメラセンサーを複数台利用し、注視対象の画面の中心位置から左右 50cm 以内の注視者らの視線を同時に計測できる非接触型の視線計測機器を提案する。提案システムでは、注視画面の四隅に赤外線光源を配置し、キャリブレーション不要な視線計測も実現できる。

キーワード: キャリブレーションレス視線計測, プルキンエ像, 瞳孔検出

Calibration-free Remote Eye Tracker for Multi-subjects Gaze Tracking

TAKASHI MIYAHARA[†] TAKASHI IMABUCHI[†]
PRIMA OKY DICKY ARDIANSYAH[†] HISAYOSHI ITO[†]

Abstract: Nowadays there are many kinds of Noncontact Eye Tracking System developed. But the narrow range that the system can track makes the task hard to track several person's eyes at the same time. We propose to develop a Noncontact Eye Tracking System that eyes in 50cm from the object observed can all be tracked at the same time. To tracking eyes in a wider range, we use a couple of camera sensors that can take the photograph of eyeball. In our system, there are four infrared light source in four corners around the object observed. With our system, we can also calibrate the eyesight which don't need to be tracked.

Keywords: Calibration Less Eye Tracking, Purkinje Image, Pupil Detection.

1. はじめに

視線計測システムは、社会心理学やマーケティングの分野において注視者の視線情報の分布を分析するために広く活用されている。当該システムの開発は積極的に行われており、大別して非接触型、接触型の2種に分類される。非接触型においては、可視光線型、赤外線型に別れる。視線計測装置は一般にキャリブレーションを通じて、注視点の位置とスクリーンまたはシーン映像との位置合わせが必要である。しかしながら、近年キャリブレーションを省略するための手法が開発されてきている^[1]。当該手法は、注視対象のスクリーンの四隅に赤外線光源を配置することで実現されているが、注視者の目領域内にそれらの赤外線光源による反射光（以下、プルキンエ像^[2]）が鮮明に現れなければ、視線方向を推定することはできない。本研究では、まず2台の赤外線カメラセンサーを利用して注視者らを一度に撮影できるようにする。次に、カメラセンサーから捉えられた注視者らの目領域に対して歪みの補正を行い、プルキンエ像を高精度に抽出する。最後に、抽出可能なプルキンエ像の個数に対応したキャリブレーション不要な視線の推定アルゴリズムを考案し、複数人の視線を同時に推定で

きるように実装する。

2. キャリブレーション不要な非接触型視線計測システム

図1は、注視対象のスクリーンに配置された赤外線光源から成る3つのプルキンエ像を示す。それらのプルキンエ像と瞳孔の中心との相対的位置によって、スクリーン上の注視点を推定することができる。ここで、推定した注視点における位置精度は、瞳孔の中心を推定する手法とプルキンエ像を検出する手法によって左右される。EMR ACTUS^[3]（株式会社ナックイメージテクノロジー）では大量の赤外線LEDをスクリーンに配置し、キャリブレーション不要な視線計測を実現している。ただし、環境光の影響によってプルキンエ像が不鮮明になることや、複数人の視線を推定することができないことなどの課題がある。

3. 提案の視線計測システム

3.1.2 台の赤外線カメラセンサー

ここで、注視者の瞳孔および目領域内のプルキンエ像を正確に抽出するために、視野角約 50°の望遠レンズ付き赤外線カメラセンサーを2台に並べて、それらのカメラセンサーから一つの映像を生成する。図2は、実際に撮影した注視者の顔画像とそれぞれの目領域を示す。このように、2台のカメラセンサーを利用することで、高解像度に瞳孔お

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

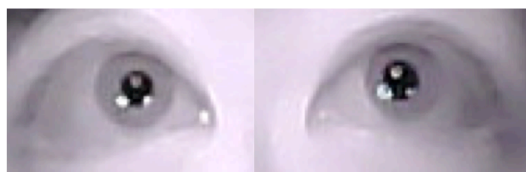


図 1. 既存機器で計測したプルキンエ像の様子



図 2. 二台のカメラにおける注視者の顔画像と目領域よびプルキンエ像を撮影できるようになり、同様な計測を複数の注視者に対しても十分に行えるようになる。

3.2. 目領域の幾何学的歪みの補正

カメラセンサー軸に対して注視者の頭部姿勢が変化する場合、抽出された目領域に歪みが生じるようになる。本研究では、注視者の頭部形状を3次元で推定し、目領域の幾何学的歪みを3次元で補正することで、より正確な目領域を得ることができると考えられる。正確な目領域を抽出することで、より正確なプルキンエ像も抽出できるようになる。

3.3. プルキンエ像の個数に対応したキャリブレーション不要な視線の推定アルゴリズム

(1) プルキンエ像が4点の場合の視線推定

注視者がディスプレイ正面を見ている場合、プルキンエ像は4点捉えることが可能である。この場合、各プルキンエ像はディスプレイ上の各赤外線光源に対応する。ここで、それぞれの光源に合わせた射影変換行列を算出する。この射影変換行列に瞳孔中心座標を乗算することで、ディスプレイの座標点を算出できる。しかしながら、contour 検出で取得できるプルキンエ像の中心座標は、プルキンエ像の大きさによって毎フレーム計測されるため一様に整列しない。そこで、各プルキンエ像の中心座標から伸びる線分Aを設け、線分Aに対する角度を算出した。この角度順にソートを行うことで各赤外線光源の位置とプルキンエ像の座標を対応づけることができる。

(2) プルキンエ像が3点の場合の視線推定

注視者がディスプレイのコーナーを見る際や、頭部を水平方向に動かす際に、その移動方向に反対のプルキンエ像が隠れてしまう。この場合においても、それぞれのプルキンエ像と各赤外線光源の座標を対応付ける必要がある。この時、(1)と同様にそれぞれのプルキンエ像の座標毎に角度を算出し、各赤外線光源の座標と対応付ける。そこで、検出できていない1点を算出するために平面方程式で推定し、取得した3つのプルキンエ像を合わせた4点を得る。この

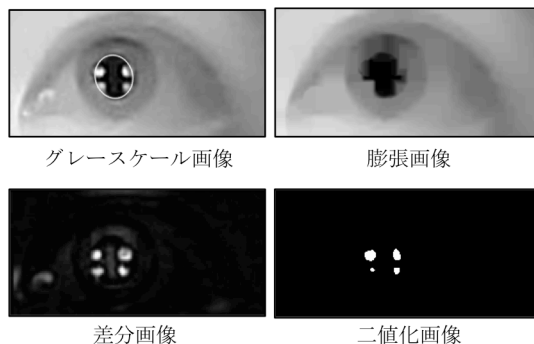


図 3. 瞳孔検出とプルキンエ像の抽出の様子
グレースケール画像 膨張画像
差分画像 二値化画像

図 3. 瞳孔検出とプルキンエ像の抽出の様子
4点を(1)と同様に処理を行い、視線座標を推定する。

(3) プルキンエ像が2点の場合の視線推定

注視者がディスプレイ上下端を見る場合や、頭部を垂直方向に動かす場合、その反対方向となるプルキンエ像が角膜前面に反射しないため計測できない。顔特徴点を用いてプルキンエ像の水平・垂直方向を推定する。このために、両眼の目尻・目頭の特徴点から水平方向の近似直線を算出する。合わせて、鼻部の特徴点を用いて垂直方向の近似直線を算出する。次に、プルキンエ像が4点ある時の平均アスペクト比から想定されるプルキンエ像の矩形領域を算出する。

(4) プルキンエ像が1及び0点の場合の視線推定

複数人で利用する場合、注視者が正面を見ている場合でもプルキンエ像が瞳孔内に合わられない場合がある。この場合、堀田ら^[3]が用いる1点キャリブレーションを利用して視線座標を推定する。このために、システムとして予めキャリブレーションを行ったデータセットを保持しておき、これを計測時に利用する。

4. システムの実装

提案する視線計測システムは、赤外線光源と赤外線カメラを用いた赤外線型として実装した。使用したカメラはELP製の2.0メガピクセルUSB赤外線カメラである。赤外線光源として840nmの赤外線LEDを用いた。カメラには赤外線LEDの光を十分に通過させ、それ以上の波長帯の光の通過を阻止するために、800nmの赤外線カットフィルタをレンズ内部に装着した。視線計測の安定性を維持するため、カメラの解像度はWXGA(1280×800)とした。利用した赤外線LEDの照射角度は60度であり、広範囲に照射することができる。光源として用いる赤外線LEDを4つ並列接続し電圧1.8V、電流50mAで発光させる。各光源はディスプレイの四方に設置した。制作した装置にて撮影した目領域の画像から瞳孔を検出する様子と、プルキンエ像を抽出する様子を図3に示す。

5. おわりに

本研究では、従来手法よりも高精度なキャリブレーション

ンレス視線計測手法の提案をするとともに、複数人が同時に計測可能な視線計測装置の開発を行った。今後、デジタルサイネージや街頭広告における複数人の視線方向を推定すると行った利用場面を想定し、更に多くの人数で視線計測が行えるとともに、計測精度の安定性を向上させていきたいと考える。

参考文献

- [1] Takashi Nagamatsu, Yukina Iwamoto, Junzo Kamahara, Naoki Tanaka, Michiya Yamamoto. Gaze Estimation Method Based on an Aspherical Model of the Cornea Surface of Revolution about the Optical Axis of the Eye. Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications, 2010, p. 255-258.
- [2] 奥山文雄. 角膜反射による眼球運動の測定. VISION, 1991, vol3. p. 81-88.
- [3] “キャリブレーションフリー視線計測装置 EMR ACTUS”. http://www.eyemark.jp/product/emr_actus/, (参照 2016-05-02).
- [4] 堀田健二, Prima Oky Dicky A, 伊藤久祥. アクティビティ視野検査のための VR HMD 型視線計測装置の開発. 平成 27 年度 岩手県立大学ソフトウェア情報学部卒業論文集, 2016, p. 174-175.