

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560105

研究課題名(和文)ビデオベース視線検出アルゴリズムの開発・実装と教育工学への応用

研究課題名(英文)Gaze estimation by image matching with eye-ball model CG

研究代表者

西原 明法(Nishihara, Akinori)

東京工業大学・社会理工学研究科・教授

研究者番号：90114884

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：通常のカメラで撮影した人物顔画像から視線方向を推定するシステムを提案、開発した。画像中の人物顔特徴点を抽出し、特徴点の位置関係を利用して顔姿勢の推定及び眼球位置の推定を行い得られた眼球周辺画像と、眼球の回転と瞼の開閉度をパラメータとして持つモデルにより生成したCG画像とのマッチングを行い、マッチングが最大となるときの眼球回転角を採用することで視線方向の推定を行う。被験者頭部を固定した場合と固定しない場合の推定誤差評価実験を行い、瞼モデルの導入の有効性を示した。頭部を固定しない状態では精度が大幅に悪化した。顔姿勢や眼球位置の個人差や撮影画像中の影やまつげ等の影響が大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We proposed and developed an eye-gaze estimation system from a human face image shot by a normal camera. Gaze direction is estimated by adopting parameters that minimize error between an eye image and a CG image. The eye region is trimmed by using human face feature points. The CG image has angles of eye-ball rotation and openness of eyelids as the parameters. The best parameters are searched so that the zero-mean normalized cross-correlation between the shot image and the CG is minimized. In the experiment, subject's head were fixed first. Average estimation errors are not very different when subjects gaze upward, but when gazing horizontal direction and downward, the errors are made small by using the eyelid model. Next, we conducted experiment that allow subjects to freely move their heads. Gaze direction must be calculated using all the parts of the proposed system. In this case average estimation error became large. Individual differences seem to reduce the accuracy.

研究分野：信号処理、教育工学

キーワード：視線推定 画像処理 眼球モデル

1. 研究開始当初の背景

人物の視線情報と、その人物の認知や興味は深く関連があることが知られており、視線情報は心理学や教育工学の研究、文字や図形の認知を解析するために利用されてきた。さらに、近年ではパーソナルコンピュータを操作する際のポインティングやスクロール方向指示等のコンピュータヒューマンインターフェースへ視線推定システムが利用されている。

視線解析の手法として現在広く用いられているのは角膜反射法で、赤外光源を用いて、角膜に映ったプルキニエ像の位置を画像処理によって解析し、視線方向を推定するものである。被験者の頭部に装置を取り付ける必要がないことから広く実用化、販売されているが、著しく高価である。

近年の画像処理技術や計算機の発展により光学的手法の中でも、特殊な光源を用いず、可視光のみを観察する通常のカメラを用いて視線を推定する手法が盛んに研究されている。その中で、特徴量でなく、見え(アピランス)に基づく手法は、解像度が低くともある程度の精度の視線推定が可能と思われる。

2. 研究の目的

本研究は、自然な状態での顔画像から視線方向を推定することを目的とする。そのために、眼球の回転モデルに加えて瞼の開閉モデルを追加し、眼球周辺部についての見えにあたるコンピュータグラフィック(CG)画像を生成し、撮影された画像とのマッチングを最大化することで視線を推定する方法を提案する。瞼を考慮することによって、虹彩の瞼による隠れが大きい人物や、上下方向を見る場合のような隠れが大きい方向についての視線推定精度の向上を見込む。またこの時に、頭部を固定せず、自然な状態で視線を推定するために、頭部の向きを推定する手法も組み込む。

3. 研究の方法

撮影画像中の人物画像から顔の特徴点座標を抽出し、特徴点群から顔姿勢と眼球の三次元座標を推定する。次に、眼球の三次元座標を利用し、撮影画像から適切なサイズの眼球周辺領域画像を切り取り、グレースケールに変換する。そして切り取った眼球周辺領域画像と、眼球モデルをもとに作成された眼球周辺のCG画像を、パラメータを変化させながらマッチングを計算し、最もマッチングが高いときの視線方向パラメータを推定結果とする。全体の流れを図1に示す。

(1) 顔特徴点座標から撮影画像中の眼球位置を推定し、眼球周辺領域を切り出すために、まず、顔特徴点の目尻、目頭の距離を d とする。そして目尻、目頭の中点より $d/10$ 移動した点を中心点とし、縦横 $4d/3$ となるよう

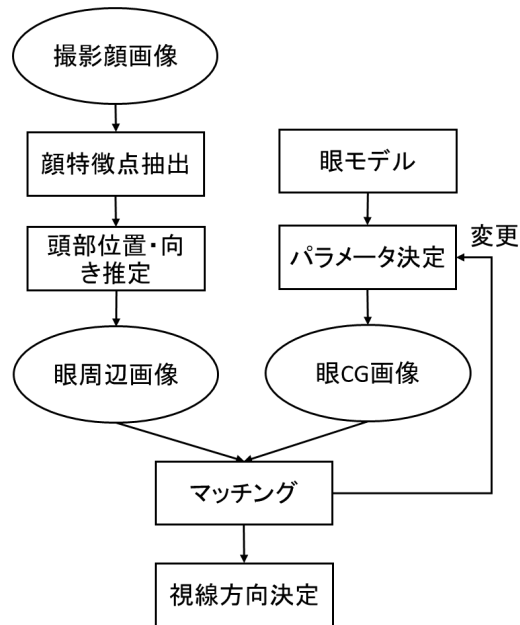


図1 提案手法の流れ

に撮影画像から切り取り、これをCGとの比較用の眼球周辺領域画像とする。目尻、目頭は顔表情による位置の変化が少ないため、眼球領域の切り出しに採用した。また、ここにあげた各種定数は予備実験により決定した。撮影して切り取った眼周辺画像の例を図2に示す。



図2 眼周辺画像

(2) 本研究で提案する手法で用いる目領域周辺のモデルは、瞼を含んだものであるため、撮影画像において瞼がカメラに対してどのように傾いているかを考慮することで精度の向上が見込める。そこで人物の顔の左右の目尻を結ぶ直線と、目頭を結ぶ直線を空間座標中での平行線とみなし、平面画像中での消失点のふるまいから顔姿勢を推定する手法を用いて瞼の傾きを推定した。消失点(vanish point)とは、三次元空間中で平行な二つの直線が、画像などの平行でない二次元平面へ投影されたときに交わる点である。左右の目尻を結ぶと目頭を結ぶ直線の消失点へ向かう単位ベクトルは、顔平面がカメラ平面に対し平行で、二直線がカメラ座標の y 軸と平行であるとき、 $(0, \pm 1, 0)$ となる。このベクトルと、撮影画像から得られた消失点への単位ベクトルの傾きから、顔及び瞼の回転を推定する。

(3) 眼球モデルは、眼球と瞼で構成する。眼球は白地に黒い円が張り付いた球体とした。また、瞼は上瞼と下瞼という二つの弧とした。

パラメータとして眼球は水平の回転であるヨー(yaw) 角度、垂直(上下) 方向の回転であるピッチ(ピッチ) 回転角をもつ。瞼は上下独立である3段階の開閉度と、傾きがパラメータである。提案手法ではこのモデルを元に、グラフィックライブラリである OpenGL を用いて眼球周辺の CG 画像を作成した。

眼球周辺 CG の輝度値は、虹彩部は 0、強膜(白目)部は 255、瞼部は 64 とした。また、解像度は 64×64 [pixel] としており、これはマッチングする撮影画像も同様である。眼の CG 画像の例を図 3 に示す。

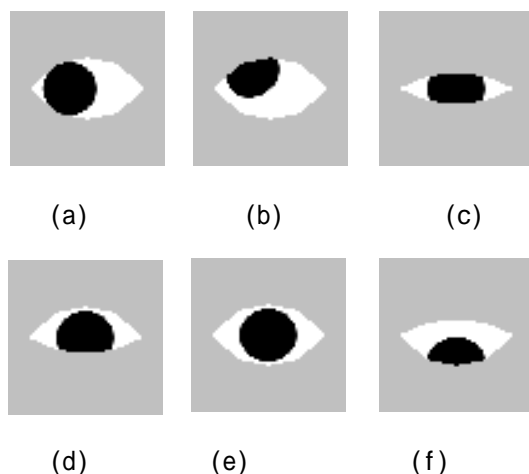


図 3 眼の CG 画像の例

提案手法において、瞼の回転は顔回転推定の際の結果が利用され、以後変化しない。眼球の回転と瞼の開閉度はマッチングを行う度に更新される。眼球の回転角度は、最終的な出力である視線方向角度に利用される。

(4)眼周辺画像と眼 CG 画像とのマッチング指標にはゼロ平均正規化相互相関 (ZNCC: Zero-mean Normalized Cross-Correlation) を用いた。ZNCC は $[-1, 1]$ の値をとり、値が 1 に近ければ画像の各ピクセル間の相関が高く、画像が類似していると言える。また、各ピクセルでの輝度平均値との差を用いるため、画像全体の明暗の変化に対しての影響が少ない。

4. 研究成果

提案手法を PC 上に実装し、頭部を固定した場合と自由にした場合について、被験者実験を行った。注視対象は、縦横 30cm 離れた 9 点の格子点が描かれた図 4 に示すもので、顔から 1m 先に置き、それぞれ 3 名の被験者に指定した点を注視してもらい、推定した視線方向との誤差を評価した。

(1)まずは顎を乗せる台(チンレスト)と額をあてる箇所を持つ頭部固定台を使用して実験した。瞼モデルを含まない状態での 9 点のそれぞれの推定誤差平均を角度で表すと表 1 のような結果が得られた。

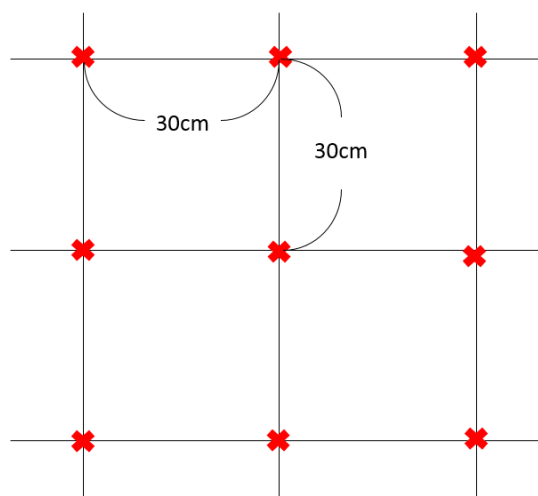


図 4 注視目標

表 1 頭部固定、瞼を含まない場合の誤差(°)

3.28	4.61	5.88
11.7	5.94	9.06
5.30	10.9	10.8

次に瞼モデルを加えることにより、表 2 の結果が得られた。

表 2 頭部固定、瞼を含む場合の誤差(°)

5.21	5.42	3.60
6.82	2.20	4.20
4.17	7.96	5.46

これより、瞼モデル導入による精度向上が確認できた。しかし、そのふるまいは、注視点のある段によって異なる。上段を注視したときの誤差は瞼モデルの導入によってほとんど変化しないが、中段と下段を注視したときの誤差はおおむね 3° 以上低減された。これは、上段を注視するときは上瞼が大きく開き、瞼による虹彩の隠れがほとんどない状態となり、瞼モデルの効果がほとんどなくなったことが原因と考えられる。

(2)次に頭部を拘束せず、頭部位置の推定も含む提案手法で視線方向を推定したときの誤差を表 3 に示す。

表 3 頭部自由の場合の平均誤差(°)

15.5	14.8	14.9
16.4	8.38	3.39
24.1	15.3	10.9

頭部位置を固定しない場合は、推定誤差が大幅に悪化している。これは、眼球位置の推定の段階での誤差が大きいためと思われるが、原因としては提案手法において、目頭や目尻の位置の個人差を考慮せずに、予備実験から求めた数値を根拠に推定を行ったことなどが考えられる。また、誤差を列ごとに見ると、右列が最も精度がよい。これは今回推定に用

いたのが右目であることに依存すると考えられるが、更なる検証を必要とする。

それほど高くない解像度の眼球周辺画像を用い、被験者をカメラ近傍に拘束しない、また、個人に特化しないモデルで推定を行うことでキャリブレーション作業を必要としない視線推定のため、瞼モデルを含む眼のCG画像とのマッチングによる視線推定を提案したが、残念ながら既存手法に比べて大きな推定誤差となった。

精度を向上させるために、眼球位置推定のさらなる高精度化や、眼球-瞼モデルを詳細に作る必要があると考えられる。また、現在のシステムでは最適なマッチングの探索の際にパラメータの総当りを行っているため、計算に長い時間がかかる。よって時間の削減のために最適化アルゴリズムの導入が有効であると考えられる。

<引用文献>

[1] 芋阪良二, 古賀一男, 中溝幸夫, “眼球運動の実験心理学”, 名古屋大学出版会, 1993

[2] Andrew T. Duchowski, “A breadth-first survey of eye-tracking applications”, Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, vol.34, issue.4, pp.455-470, 2002

[3] 山添大丈, 内海章, 米澤朋子, 安部伸治, “単眼カメラを用いた視線推定のための三次元眼球モデルの自動キャリブレーション”, 電子情報通信学会論文誌, vol.94, no.6, pp.998-1006, 2011

[4] 佐竹純二, 小林亮博, 平山高嗣, 川嶋宏彰, 松山隆司, “高解像度撮影における実時間視線推定の高精度化”, 電子情報通信学会技術報告, PRMU2007-238, vol.107, no.491, pp.137-142, 2008

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

西原 明法 (NISHIHARA Akinori)
東京工業大学・大学院社会理工学研究科・
教授

研究者番号：90114884

(2)研究分担者

(3)連携研究者

(4)研究協力者

高橋 松太 (TAKAHASHI Shota)

蓮実 梢 (HASUMI Kozue)