

工学的応用を目的とした画像処理による瞳孔径計測に関する検討

篠田 貴之 加藤 誠巳
(上智大学理工学部)

1. まえがき

「目は心の窓」、「目は口ほどにものを言う」という言葉があるように、目の変化を読み取ることで人の心理状況を推測することが可能である。このことは心理学の実験により裏づけられている¹⁾。さらに近年、瞬きによる居眠り検出や、視線方向をマーケティングに活かしたシステムの開発など、コンピュータで目の動きを読み取る研究が盛んになってきている。しかし、瞳孔径を利用したシステムはほとんど見当たらない。そこで本稿では瞳孔径に着目した。瞳孔径に人の心理状況が反映するというのも心理学の実験によって裏付けられている²⁾。例えば、興味のあるものを見たとき、おいしいものを食べたとき、考え事をしているときなどには大きくなり、逆に嫌いなものを見たときや疲労があるときなどには小さくなるという実験結果がある。そこで、瞳孔径の変化を測定するために、画像処理を用いた瞳孔径計測の手法に関する検討を行った。

2. システムの概要

瞳孔径計測には近赤外線投射器付 CCD 白黒カメラ (MK-0323E)を用いて、動画像(320×240pixels)を取得している。本稿では撮影機器による瞳孔径への影響を最小限に抑えるためのデバイスを作製した。照明などの眼球への映り込みによる瞳孔画像の欠損にも対応でき、かつリアルタイムで処理が行えるアルゴリズムにより瞳孔径を求めた³⁾。

3. システムの構成

3.1 近赤外線照明の照射

カラー画像を用いた撮影では図1左のように瞳孔と虹彩の色が近いため区別がつきにくい。近赤外光を照射し、その波長領域の撮影をすることで瞳孔と虹彩の近赤外光への吸光率の違いから図1右のように区別が容易になる。このため、本稿では近赤外光を用いた。

Measuring a Pupil Diameter by Means of Image Processing for Purposes of Engineering Applications

Takayuki SHINODA, Masami KATO
Sophia University

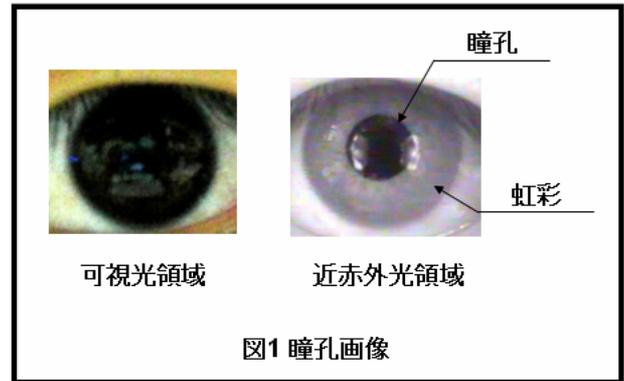


図1 瞳孔画像

3.2 瞳孔撮影のためのデバイス

小さな瞳孔径の変化を測定するには、できるだけ目の近くかつ正面から撮影することが望ましい。しかし、そのような撮影方法では“近くに位置するカメラを見たときに瞳孔径が変化してしまう”という問題や“視界が遮られてしまう”という問題が生じる。そこで、ホットミラーを用いて、図2のような測定装置を製作した。ホットミラーは可視光を透過させ、赤外光のみを反射させるという性質を持つ。そのため、目の前にホットミラーがあっても視界を遮ることはない。また、カメラのすぐ隣から照射された近赤外光はホットミラーで反射し眼球へ届き、眼球から帰ってきた近赤外光は再びホットミラーで反射しカメラに届くので、まるでカメラが眼球の前にあるかのように撮影することが可能となる。

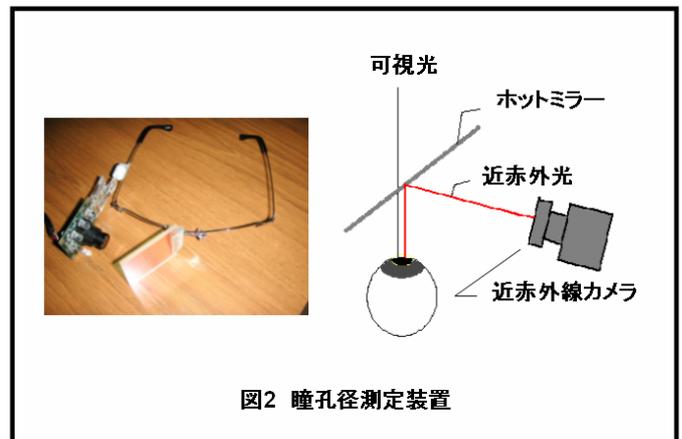


図2 瞳孔径測定装置

3.3 動画像処理による瞳孔径計測

瞳孔はカメラとの角度によって円ではなく楕円として映るため、楕円を検出する必要がある。楕円検出の方法としてはハフ変換などが挙げられるが処理速度の面で問題がある。また、眼球には蛍光灯、太陽光や近赤外線照明などが映り込んでしまうため、瞳孔の一部の画像が欠損してしまい、検出が困難となる。

本稿では一部が欠損している楕円においても高速に求めることができるアルゴリズムを用いて瞳孔径の測定を行った⁴⁾。

一部が欠損した楕円の大きさを求める手順として、まず図3のように楕円に内接する可能性のある平行四辺形を複数求める。同じ楕円に内接する平行四辺形同士であれば重心は一致するので、これを利用して、重心がずれている平行四辺形は除外しながら、それぞれの平行四辺形が楕円に内接しているものであるかを判定した。楕円上に位置すると判定された複数の楕円の頂点は楕円輪郭上に位置する点であるから、その座標を元に楕円の長径を推定した。

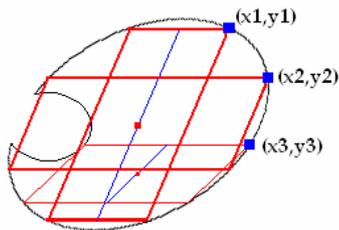


図3 一部が欠損した楕円検出

4. 実行結果

図4のように複数人の瞳孔長径の画像処理による計算値と実測値との誤差は平均すると0.6%前後と高い精度で測定できた。その計測において、瞳孔への映り込みによる画像の欠け方により認識の精度は変化するが、輪郭の内側であればいくら欠けていても問題ない。ただし、輪郭部分に関しては3割から4割以上の欠損があると誤検出が生じてしまう。また、近赤外線による吸光率の差を利用しているため、虹彩の色の影響は受けずに計測が可能である。

処理速度に関しては楕円の中心検出から、長径の推定まで約1.6 msecで処理できる。これは従来のハフ変換などの方法に比べると、処理速度は極めて速く、リアルタイム処理にも十分な速度である。

瞳孔径は約0.12 mmの精度で計測できる。なお、人の瞳孔径は縮瞳時に2~3 mm、散瞳時に5~7 mmとなる。入力とする動画像の画素数を高めれば、処理速度は落ちるが、さらに細かい計測が可能となる。

	計算値[pixels]	実測値[pixels]	誤差[%]
瞳孔1	93.24	93	0.26
瞳孔2	82.37	83	0.76
瞳孔3	69.73	70	0.39
瞳孔4	100.65	101	0.35
瞳孔5	62.85	63	0.24
瞳孔6	83.06	83	0.07
瞳孔7	94.02	95	1.03
瞳孔8	56.23	57	1.35
瞳孔9	92.69	93	0.33
瞳孔10	81.21	82	0.96

図4 長径計測の結果

5. むすび

本稿で述べたデバイスと画像処理により、撮影機器による瞳孔への影響を最小限に抑えながら、瞳孔画像の欠損にも対応した高精度かつ高速な瞳孔径計測を可能とした。このシステムによって得られた瞳孔径に関するデータを用いることで、人の心理状況を考慮に入れたシステムの構築が考えられる。例えば、現代ではパソコンやテレビゲームの普及により、目の疲労が問題になっているが、人が感じている疲労と実際の疲労とは一致しないことが多いという。自らの疲労を正確に認知できていない状態で作業を続けてしまうと、視力の低下にもつながり兼ねない。そこで、実際の疲労は瞳孔径に反映されるので、将来的に瞳孔径を特別なデバイスを用いることなく容易に測定できるようになれば、本人に実際の疲労の程度を認識させることができ、ディスプレイで作業をする人や、テレビゲームをする子供達の目を守る可能性がある。また、外光の変化を考慮に入れた瞳孔径の測定が行えるならば、ドライバの心理的負荷や疲労を測定でき、不注意、居眠りなどによる交通事故防止につながるという可能性も考えられる⁴⁾。これらのことから、瞳孔径計測に関する技術を開発することの重要性は大きいと言えよう。

最後に、有益な御討論を頂いた本学 e-LAB/マルチメディア・ラボの諸氏に謝意を表す。

参考文献

- [1] 福井: “まなざしの心理学,” 創元社(1984).
- [2] 松永: “瞳孔運動の心理学,” ナカニシヤ出版(1990).
- [3] Yusuke Sakashita, Hironobu Fujiyoshi: “Accurate and Fast Ellipse Detection for Pupil Extraction,” 平成17年度電気関係学会東海支部連合大会, O-250(2005).
- [4] 森田他: “瞳孔径変化測定による心理的負荷測定の可能性,” 自動車技術会学術講演前刷集, No.11-05(2005.5).