

(研究題目)

重度身体障害者介助システムに用いる注視点非接触検出法

Study of Noncontact Eye-gaze Detection Method Used on Support System for the Severely Disabled

(研究者)

海老澤嘉伸 Yoshinobu Ebisawa

静岡大学工学部 Faculty of Engineering, Shizuoka University

助教授 Associate Professor

A new pupil detection technique, based on two light sources and the image difference method, was developed for eye-slaved support systems for the severely disabled. The technique made it possible to stably extract the pupil image by lower irradiation of the infrared light sources, under normal room light conditions. Furthermore, the hardware system implementing the technique could execute real-time detection of the two feature points (corneal reflection light and pupil) for estimating the eye-gaze position.

1. はじめに

筋萎縮性側索硬化症患者のような重度身体障害者も眼球運動機能だけは残存していることが多いため、視線制御による介助システムが要望されている。これの実現には、患者がメニュー画面のどのあたりを見ているかを安定に検出できる注視点検出装置が必要である。現在、最も介助システムに適していると思われる注視点検出法は、眼に対して赤外線を照射し、ビデオカメラで撮影した眼の映像中の2個の特徴点(角膜反射像(glint)と瞳孔像)の相対位置関係から注視点を検出する方法である¹⁾。この方法では、使用者の頭部にセンサー部を装着する必要がなく、また頭の多少の動きを許容できるなどの点から優れている。しかし、在宅医療などを念頭におき、介助システムがごく普通の環境下でも安定に動作するためには、特に瞳孔検出に関して改善の必要がある。

本報告では、まず瞳孔抽出に関する改善法を提案し、その有効性を示し、次に、それを実現するためのハードウェアについて述べ、最後にそれを用いた注視点推定に必要な特徴点の実時間検出結果までを示す。

2. 提案法とその有効性

2.1 2光源と画像差分法による瞳孔抽出法

カメラ前面の光軸上に近赤外線LEDを配置し眼に赤外線を照射し、同時にカメラで眼を撮影すると角膜での反射光は小さな高輝度の光点として映る。この角膜反射光はglintと呼ばれる。一方で、瞳孔を通り抜けた光は網膜で反射し瞳孔を通過して、指向性をもって光源の方に戻って来る。このとき、瞳孔部が周囲に対して明るく映る現象であるbright eyeを生じる。また、カメラの光軸からずれたところより赤外線を照射すると、瞳孔部が周囲より暗く映る現象であるdark eyeを生ずる。カメラの光軸方向に対して視線方向が変化すると、映像内の瞳孔位置は大きく変化するが、glintの位

置はあまり変わらないため、bright eye法でもdark eye法でも、glint中心と瞳孔中心の相対位置関係から視線方向が推定できる。

提案する2光源と画像差分法による瞳孔抽出法では、カメラの光軸上とそれから少しずれたところにもう1個の光源を配置し、前者の光源をビデオ信号のodd field時に、後者をeven field時に点灯させる。そして、時間的に隣合わせのodd画像からeven画像を実時間で引き算することによって、1/60s毎に差分画像を得る。この差分画像に適切な閾値を設定し瞳孔部を抽出する。

2.2 実験方法

近赤外に感度を持つ小型CCDカメラにズームレンズ、赤外通過フィルタ等を装着した。最も前面には保護フィルタを装着し、その中心と中心から23mmの2箇所に穴を開け、それぞれに近赤外線LED(880nm)を固定した。それら2個のLEDを画像入力ボードから得たeven/odd信号に同期させ交互に点灯させた。カメラは被験者の眼から約50cmの場所に置かれた。連続するodd画像とeven画像を画像入力ボードによって入力し、パソコンによって座像の差分操作がなされた。実験は、昼間と夜に室内で行われた。昼間の実験で、眼の位置からLEDの方にセンサを向けたときの赤外光照射強度は $88\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であったのに対して、窓に向けたときのそれは約 $1600\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であった(直射日光ではない)。このことから、眼に照射した赤外線は太陽光線に比較すれば十分小さいことがわかる。

2.3 結果

図1は、昼間(1300lx)で得られた画像で、左列の上段から、odd画像、even画像、差分画像である。中央列の図は、左列の各々の画像においてほぼ瞳孔中心を通る水平線上の輝度分布を示している。右列の画像は、左列の画像を中央列の図中に示された閾値で2値化したときの画像である。odd画像とeven画像では、瞳孔と瞳孔周辺の輝度があまりかわらないため、瞳孔検出が困難であることがわかる。しかし、差分画像では、閾値を低く設定しさえすれば瞳孔検出が十分可能であることがわかる。なお、夜の実験で得られた結果では、差分画像の瞳孔輝度が昼間に比べて高く、さらに検出が容易であった。以上のように、提案した瞳孔抽出法は昼夜を問わず有効であることがわかる。

3. 実時間特徴点検出

本節では、提案法を実現し、注視点を推定するために必要なglintと瞳孔の実時間検出を行うためのハードウェア構成について述べる(図2)。光学系は2.2と同じとした。部屋の明るさは700lxであった。カメラからのビデオ信号の一方は、画像差分装置に入力され、2値化後、瞳孔像補正器を経て、瞳孔検出器に入力された。製作した画像差分装置は、FIFOメモリを用いており、差分すべき2フィールドが入力され終わった直後に差分画像を出力しはじめる(1/60sの遅延)。また、瞳孔補正器は、膨張、収縮操作によるものである(1/30sの遅延)。瞳孔検出器は、瞳孔像の左右端のx座標と上下端のy座標を検出し計算機に出力する。計算機では瞳孔中心座標が計算された(1/60s毎)。

カメラからのビデオ信号のもう一方はglint検出に用いた。glintはodd画像を単に2値化し抽出し、瞳孔と同様の中心座標算出を行った(1/30s毎)。

暗い室内では一般に瞳孔輝度が上昇する。LEDの光照射強度を昼間用に高くしてあると、odd画像の瞳孔部のビデオ信号は飽和し、glintが検出できなくなる。故に瞳孔輝度を低く抑さえる必要がある。差分画像の瞳孔の輝度は、瞳孔面積と比例関係があることも我々は明らかにした。その関係を用いて、瞳孔輝度をある一定値に制御するためにLEDの電流量を制御した。具体的には、瞳孔ピクセ

ルカウンタによって瞳孔面積を計測し、それに対応したLED電流値をLEDコントローラを介して実時間で制御した(1/60s毎).

検出結果を図3に示す. ここでは, 被験者に緑色LEDを注視させながら頭を左右上下に動かしてもらった. さらに, 瞳孔面積を意図的に変化させるために緑色LEDを点滅させた. (a)と(b)には実時間で検出されたglint中心座標と瞳孔中心座標, (c)と(d)にはビデオテープレコーダに録画しておいて後で画像入力ボードを用いて算出した瞳孔ピクセル数と瞳孔輝度である. (a)(b)より, glintと瞳孔の中心座標が安定して検出できていることがわかる. また, 本来, 瞳孔面積が(c)のように変化すると, それに従って瞳孔輝度も変化するはずであるが, (d)のように, ほぼ一定に瞳孔輝度が保たれている. このことは, 眼の安全のための照射赤外線量の最小化, LEDの延命にも役立つ.

4. おわりに

本研究では, 重度身障者介助システムに用いるための非接触注視点検出法の研究に伴い, 従来難しかったごく普通の環境下での瞳孔抽出法を改善するために, 2光源と画像差分法による瞳孔抽出法を考案し, その有効性を示した. また, 試作したハードウェアによって, 注視点推定に必要な特徴点であるglintと瞳孔の中心座標が安定して検出できることを示した.

文献

1)Hutchinson T.E. et al.: "Human-Computer Interaction Using Eye-Gaze Input", IEEE Trans. Syst. Man and Cybern., 19, pp.1527-1533 (1989)

発表論文リスト

1)佐藤慎一, 佐々木琢哉, 海老澤嘉伸: "二光源と画像差分法による瞳孔抽出法の有効性", 1993年電子情報通信学会秋季大会, D-121, 6-123(1993)

2)海老澤嘉伸: "ビデオ式非接触注視点検出法-眼鏡反射光の除去-", 第33回日本ME学会大会論文集, pp.430(1994)

3)天野勝之, 磯田潤, 海老澤嘉伸: "2光源と画像差分法による実時間瞳孔検出", 第33回計測自動制御学会学術講演会論文集, pp.587-589(1994)

4)Yoshinobu EBISAWA: "Improved video-based eye-gaze detection method", Conf. Proc. 1994 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC/94), Vol.2, pp.963-966 (1994)

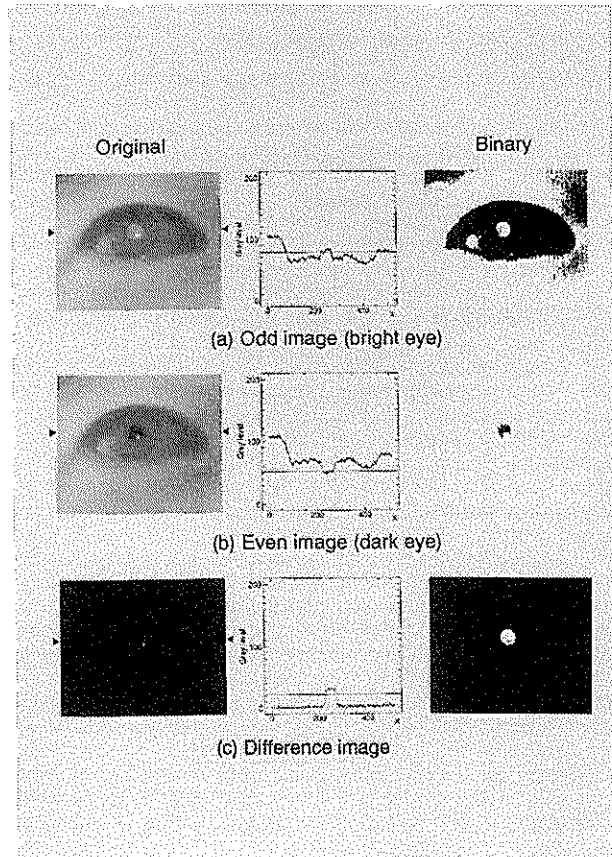


図1 2光源と画像差分法による瞳孔抽出法の有効性

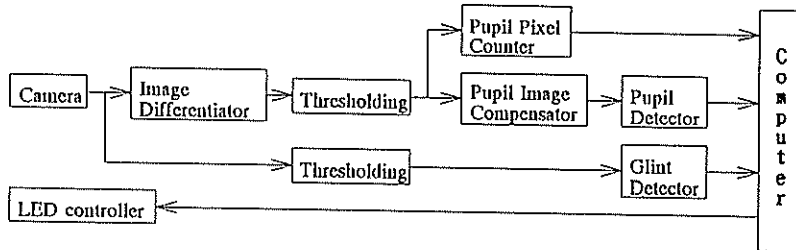


図2 注視点検出のためのハードウェア構成

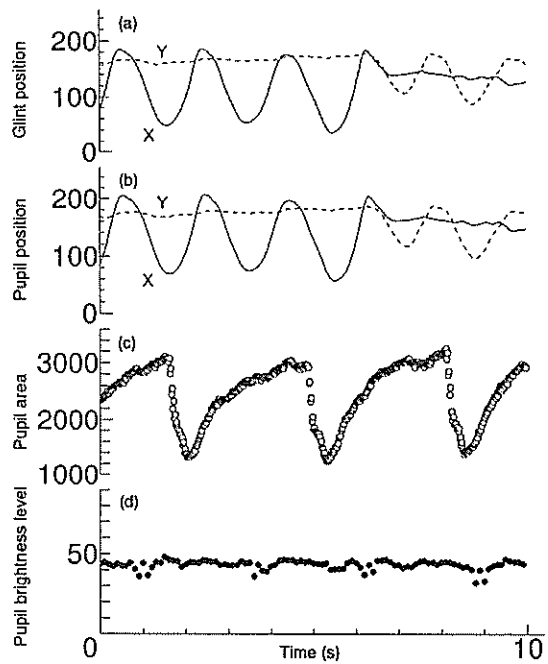


図3 glintと瞳孔座標の実時間検出