

## 瞼形状の曲率を利用した視線方向認識システム

### Recognition system for gazing directions based on curvature of eyelid shape

○ 瀬川 辰之佑 (群馬大院)      中沢 信明 (群馬大院)  
 小澤 奈穂 (群馬大院)      春山 裕樹 (群馬大院)  
 久保 勝 (群馬大院)      松井 利一 (群馬大院)

Shinnosuke SEGAWA, Gunma University  
 Nobuaki NAKAZAWA, Gunma University  
 Nao OZAWA, Gunma University  
 Yuki HARUYAMA, Gunma University  
 Masaru KUBO, Gunma University  
 Toshikazu MATSUI, Gunma University

**Abstract:** This paper describe a man-machine interface based on gazing direction without user's body restrictions. In our system, gazing horizontal directions were calculated by the relative position of a cornea with respect to the inner and outer corner of an eye. Also, gazing vertical directions were estimated by the curvature of Bezier curve that was used four points, namely, inner and outer corner of the eye, and two control points. With reference to binarization procedure, variable threshold was used according to the environment brightness. In the test trial, it was found that the gazing directions was roughly estimated using the developed system.

**Key Words:** Gaze, Image processing, Human interface, Eyelid

#### 1. 緒言

##### 1-1 背景

視線は人の意思や意図を表すことができ、有効なインタフェースとして考えられている。そのため、これまでも視線を利用したインタフェースの開発が行われてきた。注視点の検出には眼球運動における眼電図を利用したもの<sup>(1)</sup>、カラーコンタクトレンズ位置に基づくもの<sup>(2)</sup>、角膜反射を利用したもの<sup>(3)</sup>、強膜反射を利用したもの<sup>(4)</sup>、虹彩輪郭を利用したもの<sup>(5)</sup>が提案されている。しかしながら、装置は大がかりなものとなり、ハード面で問題がある。

##### 1-2 目的

本研究では、USBカメラを用いた簡便性の高い装置でヒトの虹彩位置を自動検出し、瞼の形状をベジエ曲線で曲線近似することにより、視線方向の認識について検討を行った。ここでは二値化を行う際、可変閾値を採用し、明るさに対するロバスト性を配慮した。

#### 2. 視線方向認識システムの概要

##### 2-1 目尻・目頭・瞳孔の検出

本システムでは、顔の変化の様子をUSBカメラで捉えることで視線方向の認識を行う。画像処理の様子をFig.1に示す。USBカメラからの映像は、Microsoft社のDirectShowを利用することで、サンプリング間隔毎にBitmap画像に変換され、視線方向の認識を行う。眼球周辺の画像処理範囲を切り出し、式(1)により数値化する。

$$g[i,j] = \begin{cases} 1 & (R[i,j] < \varepsilon) \\ 0 & (\text{Otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

但し、 $R[i,j]$ は座標 $(i,j)$ でのR信号の輝度、 $\varepsilon$ は閾値を表している。閾値を調整することにより、虹彩を判別した画像と瞼(目尻、目頭)を判別した画像が得られる。虹彩を判別した画像から式(2)を利用して左右の虹彩の中心座標 $P_{gl/gr}=(x_{gl/gr}, y_{gl/gr})$ を求める。

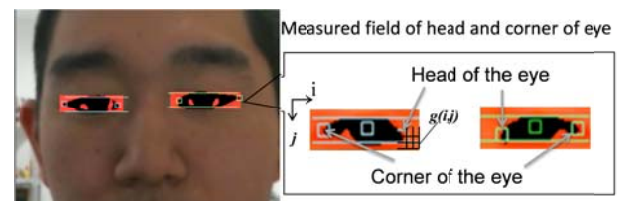


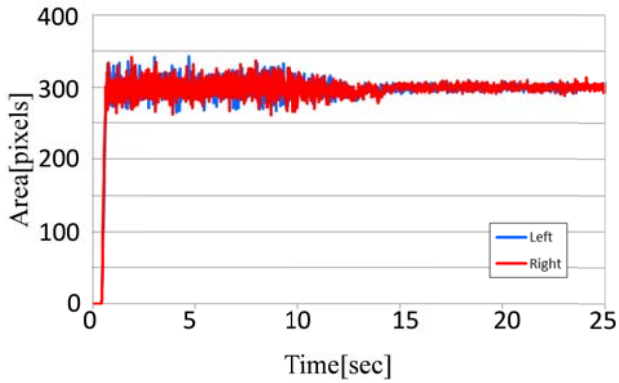
Fig.1 Facial image

$$x_{gl/gr} = \frac{\sum_i (i \times g(i,j))}{\sum_i \sum_j g(i,j)}, y_{gl/gr} = \frac{\sum_j (j \times g(i,j))}{\sum_i \sum_j g(i,j)} \quad (2)$$

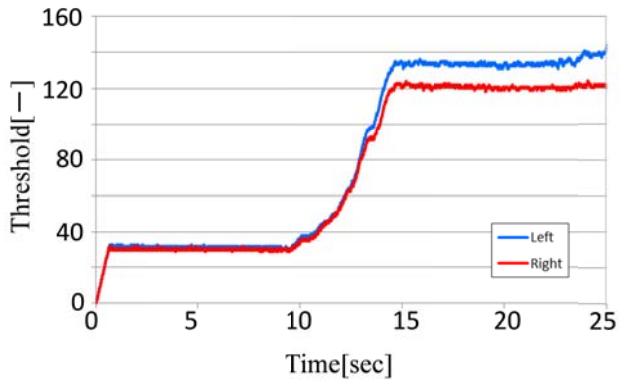
また、虹彩、瞼両方を検出した画像より、 $g[i,j]=1$ となる両端の座標求め、左右の目尻位置、および目頭位置を求めた。ここでは、可変閾値を利用することで、外部環境の明るさの変化に対応した適切な設定を行った。その様子をFig.2に示す。図中は、時刻10秒付近までを117ルクスとし、それ以降を1861ルクスにしたときの結果である。ここでは、図(a)に示されるように黒目の面積の目標値を300ピクセルとなるように閾値を変化させた。図(b)に示されるように、暗い状態(117ルクス)から明るい状態(1861ルクス)に変化した場合、閾値は約36から急激に増大し、右が約120、左が約132に変化している様子が確認できる。このように、本システムでは明るさに対するロバスト性を考慮に入れた。

##### 2-2 視線方向の認識

左右視線方向の認識については、両目の画像情報を利用する。次式とFig.3で示されるように、目尻と虹彩のx方向の相対位置より算出する。



(a) Area of both irises



(b) Threshold

Fig.2 Variable threshold

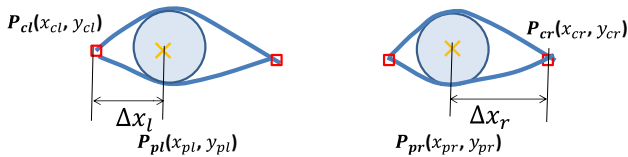


Fig.3 Evaluation value R

$$R = \frac{\Delta x_r}{\Delta x_l} \quad (3)$$

ここでは、適正な閾値を決定することで、凝視位置の認識を行う。一方、上下方向の認識は、ベジエ曲線の近似式を用いる。

$n$  次のベジエ曲線は、 $(n+1)$ 個の制御点  $P_i=(x_i, y_i)$  で定義され、軌跡  $P(u)$  は以下のように表される。

$$P(u) = \sum_{i=0}^n B_i^n(u) P_i \quad (4)$$

ここで  $B_i^n(u)$  はバーンスタイン関数であり、

$$B_i^n(u) = \frac{n!}{i!(n-i)!} u^i (1-u)^{n-i} \quad (5)$$

で与えられる。なお、パラメータ  $u$  の定義域は  $[0,1]$  となる。ベジエ曲線は、制御点の両端  $P_0=(x_0, y_0)$  および  $P_n=(x_n, y_n)$  を必ず通る。ここでは、3 次のベジエ曲線を用いて瞼の形状近似を行う。

本システムでは、目の虹彩両端  $P_{pl/pr}=(x_{pl/pr}, y_{pl/pr})$ 、目尻  $P_{cl/cr}=(x_{cl/cr}, y_{cl/cr})$ 、目頭  $P_{hl/hr}=(x_{hl/hr}, y_{hl/hr})$  の座標を取得する。R 信号の輝度を用いて二値化を行った後、Fig.4 に示すように、4 つの制御点を目尻、目頭を端点とし、虹彩両端の  $x$  軸上に定めることで、ベジエ曲線として、瞼の形状近似を行う。

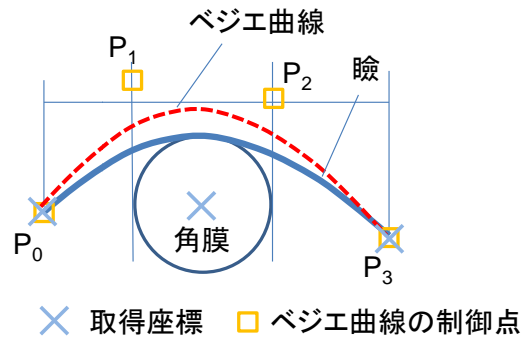
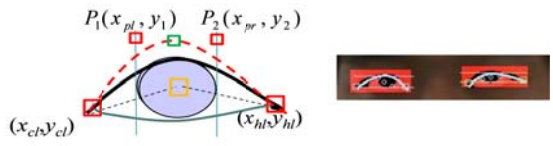
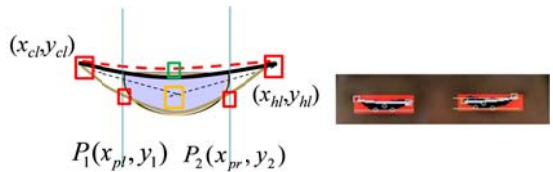


Fig.4 Eyelid shape



(a) Upper Gazing



(b) Lower gazing

Fig.5 Changes in eyelid shape

Fig.5 は、カメラに対して上方向と下方向を凝視している状態を表している。図(a)では瞼の形状が上に凸となっているのに対して、図(b)では下に凸となっていることが確認できる。式(6)より、目尻-目頭間の中点における曲率  $K$  を求めることで、顔の上下判定を行った。

$$K = \frac{B'_x(u)B''_y(u) - B''_x(u)B'_y(u)}{\left[ \{B'_x(u)\}^2 + \{B'_y(u)\}^2 \right]^{3/2}} \quad (6)$$

ただし、

$$B'_x(u) = (3x_{cl} - 9x_{pl} + 9x_{pr} - 3x_{hl})u^2 + (6x_{pl} - 12x_{pr} + 6x_{hl})u + 3x_{pr} - 3x_{hl} \quad (7)$$

$$B'_y(u) = (3y_{cl} - 9y_{pl} + 9y_{pr} - 3y_{hl})u^2 + (6y_{pl} - 12y_{pr} + 6y_{hl})u + 3y_{pr} - 3y_{hl} \quad (8)$$

$$B''_x(u) = (6x_{cl} - 18x_{pl} + 18x_{pr} - 6x_{hl})u + 6x_{pl} - 12x_{pr} + 6x_{hl} \quad (9)$$

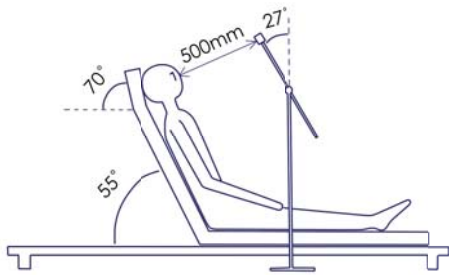
$$B''_y(u) = (6y_{cl} - 18y_{pl} + 18y_{pr} - 6y_{hl})u + 6y_{pl} - 12y_{pr} + 6y_{hl} \quad (10)$$

### 3. 検証実験

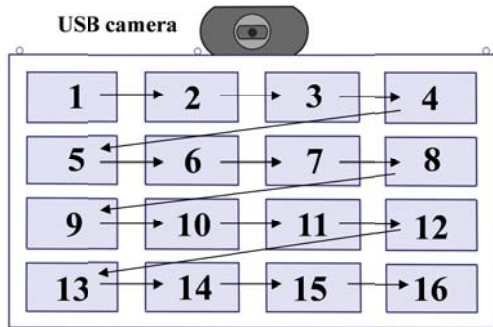
#### 3-1 実験方法

視線の検出を従来からの方式である虹彩の重心にのみ依存することは、検出の精度に問題がある。ここでは、新たな視線認識の可能性を模索する実験を行った。

Fig.6 に示されるように、被験者はリクライニングした椅子に仰向け状態となり、斜め上を向くような姿勢で実施した。実験では、4列4段に並べられた16個の画像を10秒間注視するように指示が出され、その時の瞼の曲率等の情報から、視線方向の認識を行った。



(a)Lower gazing



(b)Target

Fig.6 Experimental system

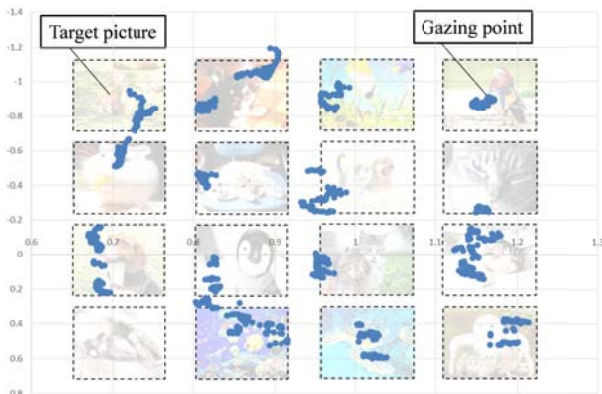


Fig.7 Estimated gazing points

### 3.2 実験結果

視線方向の推定結果を Fig.7 に示す. 図中のポイントは, 各画像を 10 秒間注視したときに推定された視点である. 図の結果より, 概ね視線方向が推定できていることが確認できる. しかしながら, 左下の画像については認識しづらかった. これは, 視線が下向きの場合には, 顔の形状に違いが見られなかったことによるものだと考えられる.

### 4. 結言

本報告では, 顔の形状をベジエ曲線で近似し, 視線方向を認識する手法の提案を行った. ここでは, 近似したベジエ曲線の曲率を利用した. その結果, 曲率と左右比を組み合わせることにより, 概ね視線方向が推定可能であることが示された. 今後の予定として, 虹彩の真円度の情報と組み合わせることで, 認識率を高める試みを行いたい.

### 参考文献

- (1) 板倉・太田・坂本: 視線入力インタフェースのための交流増幅眼電図による視線移動量算出方法の検討, 電子情報通信学会, D Vol.J90-D, No.10, pp.2903-2913,2007
- (2) 西内・高田・栗原: カラーコンタクトレンズを利用した非接触視線検出法の研究, 日本機械学会論文誌(C 編), Vol.65,No.636, pp.3314-3320,1999
- (3) 海老澤・中島: 角膜反射を利用した瞳孔位置検出の高精度化, 映像情報メディア学会誌,Vol.62, No.7, pp.1122-1126, 2008
- (4) 阿部・大内・大井・大山: 画像解析による強膜反射法を用いた視線入力システム, 映像情報メディア学会誌, Vol.57,No.10,pp.1354-1360,2003
- (5) 西内・高田・栗原: 虹彩輪郭の楕円近似を用いた非接触視線検出法の研究, 日本機械学会論文集(C 編), Vol.69, No.682, pp.1611-1617,2003