研 究

強膜結像を併用した視線検出

斎 藤 宣 俊* 大 木 真* 橋 口 住 久*

Detection of the gazing direction from the images by the corneal
and the scleral reflections

Nobutoshi SAITO*, Makoto OHKI* and Sumihisa HASHIGUCHI*

*Department of Electrical Engineering and Computer Science Faculty of Engineering,
Yamanashi University.

A method of detection of the gazing direction is proposed. It is shown that the gazing direction can be determined from the distance between the images by the corneal and the scleral reflections. This method can be applied to an off-body eye tracker.

The deflection angle of the gazing direction within 30 degrees from the front direction is detectable with an error less than 10%.

Key Words

corneal reflection, scleral reflection, gazing direction, eye tracker

1. はじめに

視線検出方法には、第1プルキンエ像を利用する方法¹⁾や、黒目と白目の反射率の差を利用する方法²⁾などがある。

これらの方法では、検出装置を被験者の頭に固定することが必要である。オフボディ視線検出装置を実現するために、第1プルキンエ像と強膜反射による結像との距離から視線方向を検出する方法について検討した。

2. 視線検出

図1は、眼球の水平断面図である。眼球は C_w を中心とする強膜と C_c を中心とする角膜からなり、回転中心 C_R のまわりを回転する。なお、

C_w から C_c に向かう方向が視線方向である。

眼球の正面遠方にある光源 S_f の虚像は S_f と C_c を結ぶ直線上 I_f に生じ、眼球の動きと同じ方向に動く。また、左遠方にある光源 S_s の像は S_s と C_w を結ぶ直線上 I_s に生じ、眼球の動きと逆方向に動く。

眼球を正面から見たみかけの I_s と I_f の間の距離 $L(\theta)$ は、

$$L(\theta) = x_f - x_s \\ = (d_w + d_c) \sin \theta + \frac{r_w}{2} \quad (1)$$

である。眼球が正面を向いているとき $x_f = 0$, $x_s = -\frac{r_w}{2}$ であるから

$$2L(0) = r_w \quad (2)$$

である。ある基準方向 θ_0 を見たときの

*正会員 山梨大学工学部
〒400 山梨県甲府市武田4-3-11

- I_f : 第1プルキンエ像
 I_s : 強膜結像
 S_f, S_s : 基準光源
 C_c : 角膜の曲率中心
 C_w : 強膜の曲率中心
 C_r : 眼球の回転中心
 r_c : 角膜の曲率半径
 r_w : 強膜の曲率半径
 d_c : 眼球の回転中心から
 角膜の曲率中心までの距離
 d_w : 眼球の回転中心から
 強膜の曲率中心までの距離

図1 眼球の表面反射による虚像

$L(\theta_0)$ を既知すると

$$d_w + d_c = \frac{L(\theta_0) - L(0)}{\sin \theta_0} \quad (3)$$

であるから、視線方向 θ は、

$$\theta = \arcsin \left\{ \frac{L(\theta) - L(0)}{L(\theta_0) - L(0)} \sin \theta_0 \right\} \quad (4)$$

のように決定される。

3. 視線方向分解能

目頭から目尻までの眼の左右幅は約24mmである。これを2/3インチ形撮像素子(受光面8.8×6.6mm)上いっばいに結像させるとすると、像倍率は約1/3である。42万画素の撮像素子の水平方向の画素数は約750であるので、画素の

間隔は0.01mmであり、眼球上0.03mmの距離が分解できることになる。視線方向の分解能 $d\theta$ は

$$d\theta = \frac{1}{\cos \theta} \frac{dL(\theta)}{d_c + d_w} \quad (5)$$

である。眼球パラメータを $d_c = 6$ mm, $d_w = 6.5$ mm³⁾⁴⁾, $dL(\theta) = 0.03$ mm とすると、方向分解能は正面方向($\theta = 0$)で $d\theta_{\min} = 0.14$ 度となる。この分解能は、従来の第1プルキンエ像を用いる方法の分解能

$$d\theta|_P = \frac{1}{\cos \theta} \frac{dL(\theta)}{d_c} \quad (6)$$

の約1/2である。第1プルキンエ像を用いた視線検出装置の分解能は2度¹⁾と報告されているので、本方法の実際の方向分解能も1度程度できると予想される。なお、眼球が非球面であることによる誤差は、基準方向 θ_0 を見たときの像間距離 $L(\theta_0)$ の測定値から求めた眼球パラメータの値に取り込まれるので、分解能への影響は致命的ではない。なお、眼球が非球面であることの影響は補正することができる。

本方法は、基準方向を見たときの強膜結像と第1プルキンエ像の像間距離から眼球パラメータ $d_c + d_w$ の値が求められるので、眼球の寸法の個人差の影響を排除することができるという特徴がある。

4. 実験方法

模型と実物を用いて、視線方向を検出した。眼球の正面から目頭側へ30度の範囲で5度ずつ視線方向を変えて、撮影した画像をパーソナルコンピュータに取り込み、ディスプレイ(640×400pixels)上で、強膜結像と第1プルキンエ像の間の距離を求め、視線方向を算出する。

5. 結果と検討

図2は、模型を用いた場合、図3は、実眼を用いた場合の結果である。+は目頭方向、-は目尻方向である。

模型では10～30度の範囲で、検出誤差は10%以下であり、精度の良い結果が得られた。

実眼場合では、誤差10%以下となるのは、基準方向 $\theta_0 = 15$ 度のとき、10～15度の範囲、基準

図2 模型における視線検出特性

図3 実眼における視線検出特性

方向 $\alpha=30$ 度のとき、20～30度の範囲である。

実眼では、基準方向 θ_0 の方向から視線がはなれると誤差が10%を越える。これは、強膜の曲率が一樣ではないことが主な原因であると考えられる。この誤差を小さくするために、基準方向を2つにして曲率変化の影響が出にくくできる。

視線方向が0～15度の範囲では基準方向 $\theta_0=10$ 度を用い、20～30度の範囲では基準方向 $\theta_0=25$ 度を用いると図4のようになる。最大検出誤差が15%，平均検出誤差が12.4%と小さくなっている。基準方向 θ_0 の数をさらに増やせ

図4 基準方向が2つの場合の検出特性

ば、強膜表面の非球面性による誤差を小さくすることができ全体としての精度を向上させることができる。

6. おわりに

第1プルキンエ像と、強膜結像の像間距離から視線検出が可能であることを示した。これは、オフボディでの視線検出を可能にする方法である。

基準方向を複数設定して校正することによって、角膜と強膜の非球面性の影響排除でき、30度以内の視線方向を誤差10%以下で検出できることがわかった。

参考文献

- 1) 瀬谷正雄, 波岡 武: “光と生体”, 共立出版, pp.117-137, 1972.10.20.
- 2) L. R. Young and D. Sheena: “Methods & Designs, Survey of eye movement recording methods”, Behav. Res. Meth. Instrum. Vol. 7, pp.397-429, 1975.5.
- 3) 石原 忍, 鹿野信一: “小眼科学”, 改訂18版, p.215, 金原出版, 1979.1.30.
- 4) 田中直彦, 所 敬: “現代の眼科学”, 第2版, pp.168-171, 金原出版, 1985.4.10.