

異機種実装を考慮した視線位置計測システムの開発 MULTI PLATFORM MEASUREMENT SYSTEM OF THE EYE POSITIONS.

松田圭司、永見武司
Keiji Matsuda, Takeshi Nagami
電子技術総合研究所
Electrotechnical laboratory

Abstract: We have developed a new system that is able to measure the eye positions noninvasively. This system consists of an infrared LED, a CCD camera, a video capture board, and a personal computer. We apply infrared ray to an eye of a subject whose head movement is restricted, and take a picture of a pupil as a black oval by the CCD camera. The image of the pupil is transferred to the personal computer and the absolute direction of the eye in the camera coordinates is calculated from the expression of the oval. This time, we consider about problems which caused by transplantation to another platform. We have developed a new method to solve the problem, and examined the method.

1. はじめに

我々は、今までにサル、人間を対象にした汎用視線位置計測システムを開発してきた^[1-6]。本システムは、人間の視覚に関する心理学的研究や医療検査、マンマシンインターフェースへの応用を目的としている。これらの目的のためには、ある程度の精度を維持した上で、特別な技術を必要としない操作性、コンパクトな装置環境、コストの低減などが要求される。従来より、赤外線照明とCCDカメラを備えたシステムが開発されている^[1-9]。我々が開発したシステムにおいても、赤外光で照明した目をカメラで撮影し、画像処理によって視線位置を計測する方法を採用している。現在のシステムは、計算用コンピュータにNEC PC9821、画像入力ボードとしてカノープスSuperCVI98、CCDカメラとしてSONY XC-75を用い、MS-DOSの上で動作させている。最近では、PC98やMS-DOSが入手し難くなってきている。また、画像入力ボードやCCDカメラは非常に高価なものである。単一のハードウェア、OSの上でのシステム開発は、その機能を十分にいかせるという利点がある反面、汎用性に乏しくなり、ことにコンピュータのように進歩の早いものだと、ハードウェアの入手ができなくなり、システムが構築できなくなってしまうという危険性がある。従来のシステムは、速度追求のために、ハードウェアの特性を利用したプログラミングを行っていたが、今回は、ハードウェア依存部分を明確に分離し、異なる環境に対応できるプログラムを構築した。異なる環境で使用する際に問題となる事柄について検討を行ない、解決するための新たな方法を開発した。これらを、従来のシステムに適用し、同様の性能で動作することを確認した。また、異なるプラットフォーム (UNIX) 上での動作についても検証を行なったので、それを報告する。

2. 視線検出の原理

システムは、赤外線LED、CCDカメラ(45mm MacroLens)、ビデオ入出力ボード (320x240pixels)、視線位置計測用パーソナルコンピュータ、視覚刺激提示用コンピュータよりなる(Fig.1)。

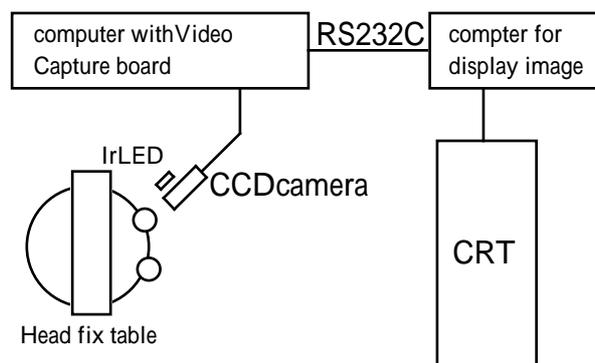


Fig.1 System outline.

CCDカメラの側方から赤外線LEDで眼球を照射し、瞳孔を黒く撮影できるようにする。撮影された瞳孔を楕円で近似し、瞳孔の中心座標 (x_i, y_i) を、Eq.1に代入し、CCDカメラに対する視線ベクトル (v_x, v_y, v_z) を求める。

$$(v_x, v_y, v_z) = \left(\frac{x_i - x_0}{r}, \frac{y_i - y_0}{r}, \frac{\sqrt{r^2 - (x_i - x_0)^2 - (y_i - y_0)^2}}{r} \right) \text{ Eq.1}$$

CCDカメラに対する視線ベクトル (v_x, v_y, v_z) をEq2に代入し、CRTに対する視線のベクトル (c_x, c_y, c_z) に変換する。このベクトルと目からCRTまでの距離LをEq3に代入し、CRT上の視線位置 (x, y) を求めることができる。

$$(c_x, c_y, c_z) = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} \quad \text{Eq.2}$$

$$(x, y) = \left(\frac{c_x}{c_z} L, \frac{c_y}{c_z} L \right) \quad \text{Eq.3}$$

あらかじめ校正によって、求めておかなければならない値は、Eq.1における、コンピュータに入力される画像における眼球回転中心 (x_0, y_0) 、回転半径 r 、Eq.2における変換行列、Eq.3の距離 L である。瞳孔が楕円で近似されたとき、眼球の回転中心座標 (x_0, y_0) は、楕円の短軸 (a_i) の傾きを持ち、楕円の中心 (x_i, y_i) を通る直線 $(y = a_i x + b_i, \text{但し } b_i = y_i - a_i x_i)$ 上にある。2枚以上の画像より最小二乗法によって眼球の回転中心座標 (x_0, y_0) を求めることができる(Fig.2)。

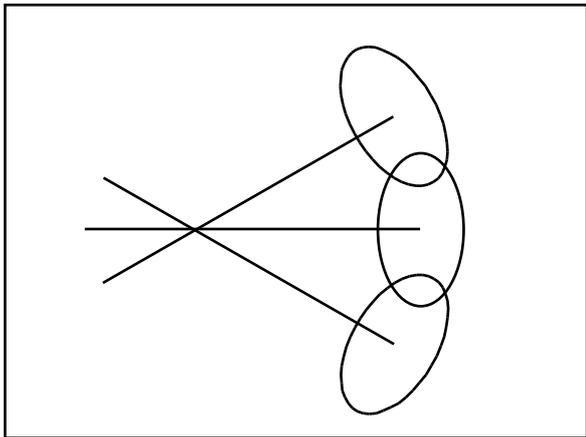


Fig.2 How to find eyeball rotation center.

回転中心座標 (x_0, y_0) および楕円中心座標 (x_i, y_i) 、楕円の長軸 l と短軸 s の比からEq.4によって眼球の回転半径 r を求めることができる。

$$r = \frac{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \sqrt{l^2 - s^2}}{l} \quad \text{Eq.4}$$

距離 L は、実測によって求める。座標変換のための行列は、次のような方法で求める。被験者の前に置かれたCRTにFig.3のような注視点を順に表示する。被験者にそれらを注視させることによって得るCCDカメラに対する視線ベクトルと、実測によって得られるその時のCRTに対する視線ベクトルを用い、最小二乗法により対象物座標系への変換行列を求める。

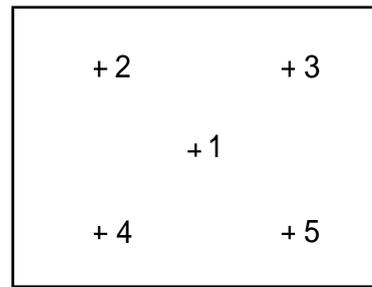


Fig.3 Target points on the screen.

3. 異なる装置による問題点

これらの式は、入力される画像の縦横比が1:1であることを前提に計算されている。縦横比が、9:10または、11:10になったときに、どのように回転中心がずれてしまうかを次に示す。

訓練を行なったサルに、5つの指標を見せ、その際の眼球画像を撮影する。得られた画像の瞳孔を楕円で近似し、楕円の中心と短軸の傾きを求める。楕円の中心から短軸を延長すると、眼球の回転中心で1点に交わる(Fig.4)。

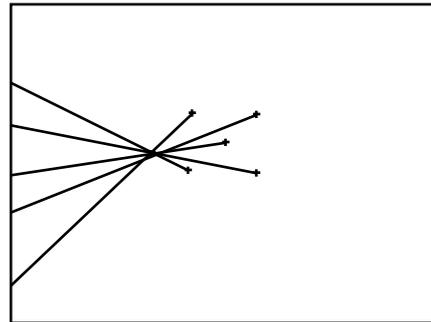


Fig.4 Calculate eyeball center (x:y=1:1)

Fig.5, Fig.6は、その際に求められた値の縦横比を変更して、計算したものである。

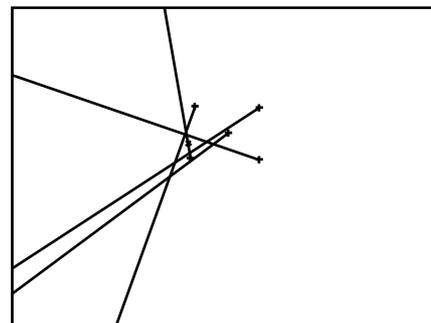


Fig.5 Calculate eyeball center (x:y=9:10)

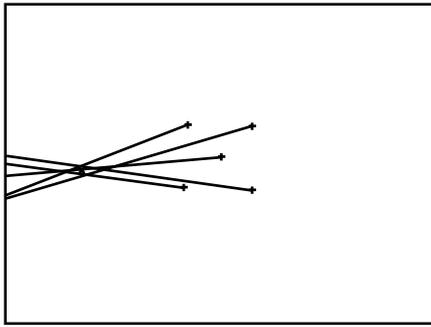


Fig.6 Calculate eyeball center (x:y =11:10)

CCDカメラ、レンズ、画像の取込みを行なうボードなどによって、縦横比が変化するため、従来は、実験を行なう前に、ベアリングなど、真球であると考えられるものを撮影し、得られた画像の縦横比から撮影される物体の比率を計算し、その値をもちいて計算を行っていた。

4.画面の縦横比計算法

縦横比が1:1の場合は、楕円の短軸の延長線が1点で交わるということを利用し、最適の縦横比を計算する。

サルに対し、目の前に置かれたスクリーンに、Fig.3に示される順番に指標を呈示する。それぞれの指標を見ているときの瞳孔画像を楕円で近似する。楕円の短軸の傾き、中心座標を求め、最小自乗法により眼球回転中心を求める。短軸の延長線と眼球回転中心との距離の平均値を誤差とする。縦横比を変化させ誤差をプロットする(Fig.7)。誤差が最小となる縦横比を補正值とする。

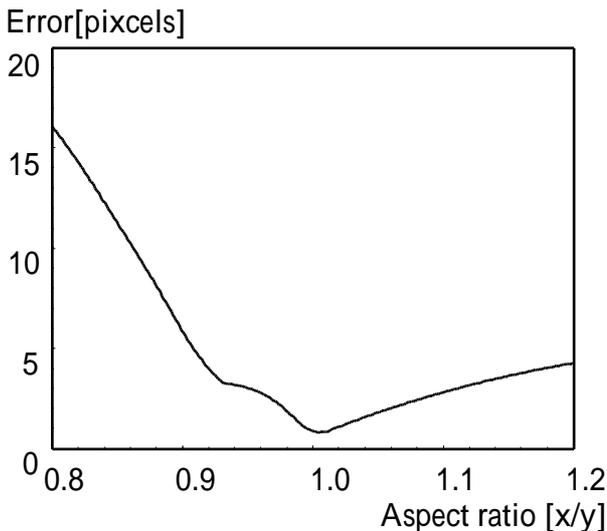


Fig.7 Relation between aspect ratio and error.

この方法により、校正と同時に縦横比の補正も可能となり、CCDカメラ、画像入力ボードによる縦横比の違いに関わらず、正確な測定ができることになる。

5.従来方途の比較

従来の方法により算出された縦横比の補正值を用いて、眼球回転中心位置、眼球回転半径、変換行列を求める。Fig.3の指標を見ているときの眼球中心座標をEq.1 Eq.2に代入し、視線方向を求め、それぞれの指標方向との誤差の平均を求める。次に、4の方法を用いて計算された、縦横比の補正值を用いて同様の計算を行なう。結果をtable.1にまとめる。

	compensate value	Error[deg]
old	1.038	0.193
new	1.004	0.205

table.1 Compare an old method and a new one.

従来の方法と遜色のない精度で測定できることが確認できた。

6.ハードウェアインターフェース

瞳孔画像から、瞳孔を楕円として近似する部分が最もハードウェアに依存する部分になる。それ以降は、単純な計算のみになるため、移植は非常に容易である。

画像処理は、以下の手順で行なわれる。

- 1)画像を取り込みを開始する。
- 2)画像取込みが終了したことを確認する。
- 3)縦横8pixelsおきに画素を取り込み、40x30 pixelsの縮小画像を得る。
- 4)40x30 pixelsの画像の明るさのヒストグラムを作成する。
- 5)ヒストグラムから閾値を決定する。
- 6)閾値をもとにラベリングを行ない、最も大きな固まりを見つける。
- 7)大きな固まりの凸部分を通る楕円を最小自乗法により決定する。
- 8)決定された楕円の近傍の差分をとり、瞳孔の縁の部分を検出する。
- 9)検出された縁から、楕円を求める。
- 10)瞳孔の中心座標から視線位置を計算する。
- 11)1)に戻る。

画像入力ボードに対し、最低限必要な機能は、次のような単純なものになる。

- 1)画像を取り込み開始命令
- 2)画像入力が終了確認をする命令

3)x,y座標よりpixelの輝度を得る命令

1)-3)を外部関数として、システム構築に必要な関数をすべてC言語で書き、OSに依存する部分もできる限り排除したライブラリを構築した。この画像処理方法においては、全画素を画像入力装置から読み出す必要がないので、サンプリング周波数が30Hzにおいて、データの転送速度は、1Mbit/sec以上あれば良い。

7.システムの再構築

上記のライブラリを使用し、従来のハードウェア上で、視線位置計測システムを再構築した。同じ環境において、従来のシステムに比較し、20%ほど処理速度が、減少してした。これは、画像入力ボードアクセスに対するオーバーヘッドの上昇のためと思われる。しかし、従来同様30Hzでのサンプリングが可能であった。

8.異なる環境における動作

Sun Ultra2(Solaris 2.5.1)上にて上記ライブラリの動作確認を行なった。このマシンには、画像入力装置がついていないため、瞳孔を映した画像ファイルを用意し、外部関数として次のようなものを対応させた。

- 1)画像ファイルを配列に読み込む。
- 2)不要。
- 3)座標値より、配列を読み出す。

MS-DOS上でのシステムと同じ結果を得ることができ、異なるシステムでの動作を確認できた。

9.まとめ

従来のシステムプログラムを再構築し、汎用性のあるものにした。異なる装置を用いる際の問題点を解決し、従来用いている装置以外でも、視線位置計測システムが構築できることを示した。

視線位置計測システムを構築するために必要な条件は次のようになる。

- 1)赤外線を受光できるCCDカメラ
- 2)CCDカメラからの映像を320x240pixels (8bit/pixel)でデジタル化できる画像入力装置
- 3)30Hzで取り込むためには、1Mbit/sec以上の速度で画像入力装置からデータ転送できるデータ転送経路
- 4)30Hzで計測するためには、Pentium 100MHz以上の計算速度のあるコンピュータ
- 5)6で示したような画像入力装置に対するデバイスドライバ

最近入手可能なコンピュータは、ほとんどがこの条件を満たすことができる。画像入力装置に対するデバ

イスドライバを作成できれば、手軽に視線位置計測が可能となる。また、off-line計測においては、市販されている、ハードウェア、ソフトウェアを用いて、眼球運動画像を連続する画像ファイルに置き換えることにより、Unix上において、視線位置計測を行なうことができることを示した。

参考文献

- [1]松田圭司、山根茂：「慢性実験サルの視線位置を計測する簡便なシステム」、第8回生体・生理工学シンポジウム論文集、p5-p10、1993
- [2]松田圭司、山根茂：「高速楕円近似による視線位置計測システム」、第9回生体・生理工学シンポジウム論文集、p127-p130、1994
- [3]松田圭司、永見武司、山根茂：「高速楕円近似による汎用視線位置計測システム」、第10回生体・生理工学シンポジウム論文集、p401-404
- [4]松田圭司、永見武司：「閾値自動検出方式を用いた視線位置計測システム」、第11回生体・生理工学シンポジウム論文集、p161-164
- [5]松田圭司、永見武司：「汎用視線位置計測システム」、第12回生体・生理工学シンポジウム論文集、p173-p176
- [6]松島純一、熊谷雅彦、伊福部達、原田千洋：「固体撮像素子(CCD)イメージセンサを用いた眼球運動記録(CCD-EOG)について」、Equilibrium Res. Vol.47 (2);169-173 1988
- [7]伴野明：「視線検出のための瞳孔撮影光学系の設計法」、電子情報通信学会論文誌 Vol..J74-D-II No.6 736-747 1991
- [8]伴野明、岸野文郎：「顔と瞳孔の3次元位置計測に基づく注視点検出アルゴリズム」、電子情報通信学会論文誌 Vol..J75-D-II No.5 861-872 1992
- [9]伴野明、岸野文郎、小林幸雄：「瞳孔抽出と頭部の動きを許容する視線検出装置の試作」、電子情報通信学会論文誌 Vol..J76-D-II No.3 636-646 1993