

閾値自動検出方式を用いた視線位置計測システム  
MEASUREMENT SYSTEM OF THE EYE POSITIONS WITH AUTO THRESHOLD DE-  
TECTION METHOD .

\* 電子技術総合研究所 情報科学部 脳機能研究室  
\*\* 電子技術総合研究所 知能情報部 自然言語研究室  
松田圭司\*、永見武司\*\*

\*Neuroscience Section, \*\*Natural Language Section, Electrotechnical laboratory  
Keiji Matsuda\*, Takeshi Nagami\*\*

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. Furthermore, auto threshold detect function is now added to the system. As a result, the system has acquired much improved robustness and convenience.

### 1.はじめに

我々は、今までにサルでの慢性実験における視線検出システム開発を行ってきた<sup>[1][2][3]</sup>。現在この技術を応用し、人間を対象とするシステムを開発している。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<sup>[1][2][3][4][5][6]</sup><sup>[7]</sup>。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。今回報告するシステムでは、取り込まれた画像ごとに最適閾値を動的に決定し、画像処理を行う機構を組み入れた。従来の計測システムにおいては、画像を二値化するための閾値をあらかじめ設定しておく必要があり、実験の途中で明るさが変わっても、それに追従することが出来な

かった。この機能を組み込むことにより、安定して計測ができるようになり、かつ、校正の簡素化が実現できた。

### 2.システムの構成

システムは、赤外線LED、CCDカメラ、ビデオ入出力ボード、視線位置計測用パーソナルコンピュータよりなる(Fig.1)。被験者は固定バーを咬めることにより頭部を固定する。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している。

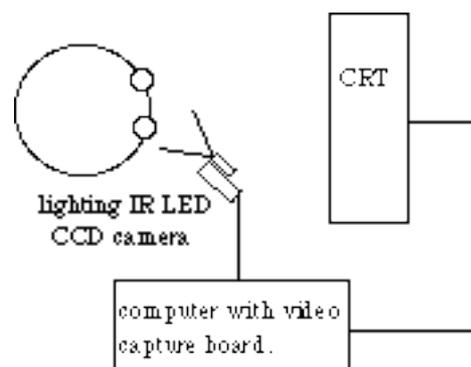


Fig.1 System outline.

### 3.視線位置計測の方法

#### 3-1.閾値の自動検出

被験者の目を撮影した映像 (Fig.2) の明るさの分布は Fig.3A のようになる。瞳孔は最も暗い部分になるので、ヒストグラムで示される最初のピークの値に対応する画素の集まりを瞳孔部分と見做すことができる。したがって閾値として最初のピークの終末部を採用することにした。リアルタイムで処理するために、すべての画素の明るさの値を用いず、縦横 8 pixels おきの値を用いて閾値を決定する。Fig.3B は、Fig.2 で示される画像を縦横 8 pixels おきに画素をサンプルしたときの明るさの分布である。Fig.3A、Fig.3B におけ

る閾値はそれぞれ 24、25 であり、3-2 で記述されるような楕円輪郭の検出法を用いる場合、8 pixels おきのデータからの閾値を用いても結果への影響は少ない。

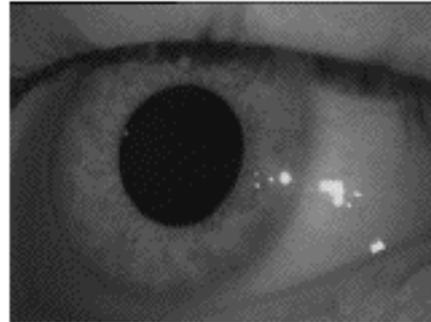


Fig.2 A captured image.

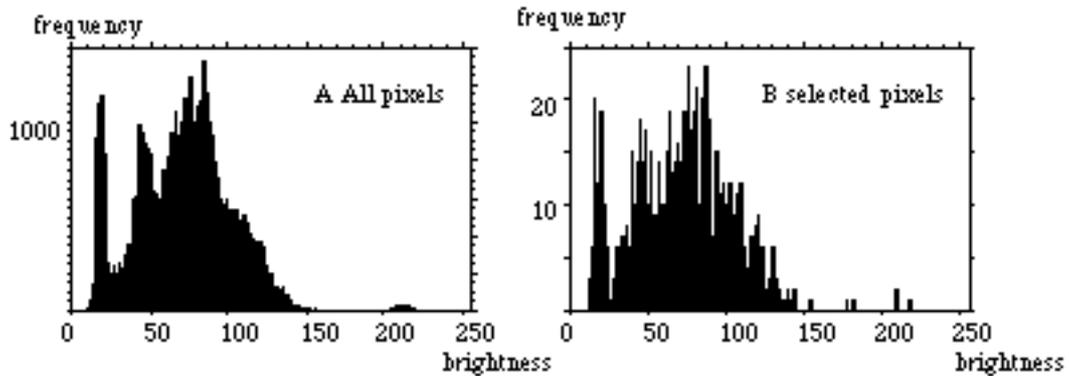


Fig.3 Brightness histograms of a image.

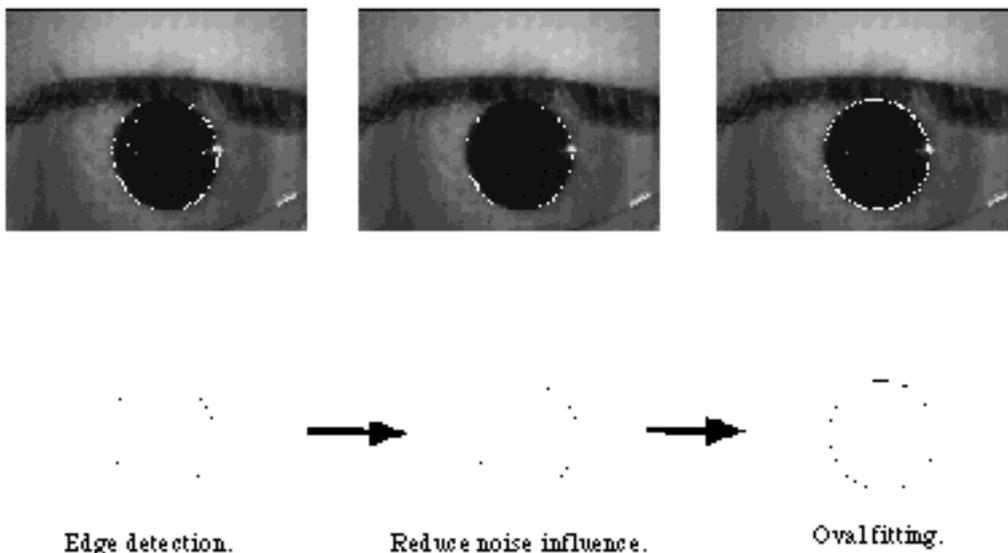


Fig.4 Image processing.

### 3-2.瞳孔の輪郭検出と楕円近似

従来は、事前に設定された閾値によって瞳孔画像の輪郭を検出していた。しかし、実際の画像においては提示された画像や照明の映り込み、瞳孔の向きが原因となっており、必ずしもその閾値が瞳孔の輪郭を検出するのに適していない場合があった。そこで、閾値の近傍での差分を求め、差分が最大となる点を瞳孔の輪郭として検出する方法に改めた。その後、検出された輪郭の位置から、楕円の幾何学的性質を利用してノイズによる影響を除き、瞳孔を楕円によって近似する(Fig.4)。

### 3-3.瞳孔近似楕円からの視線方向算出

瞳孔が楕円に近似されると、下記の方法により、視線方向ベクトルを求めることができる。まず、眼球の回転中心座標と眼球の回転半径を求める。瞳孔が楕円に近似されたとき、眼球の回転中心座標  $(x_0, y_0)$  は、楕円の短径  $(a_i)$  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を求めることができる。回転中心座標および楕円の長軸と短軸の比から眼球の回転半径  $(r)$  を求める。回転中心座標  $(x_0, y_0)$  と回転半径  $(r)$ 、楕円の中心座標  $(x_i, y_i)$  を以下の式に代入することにより、カメラに対する視線方向ベクトルを求められる。

$$\left( \frac{x_i - x_0}{r}, \frac{y_i - y_0}{r}, \frac{\sqrt{r^2 - (x_i - x_0)^2 - (y_i - y_0)^2}}{r} \right)$$

### 3-4.対象物座標系への変換

3-3で得られたカメラに対する視線方向ベクトルを、対象物座標系における視線方向ベクトルに変換する。被験者の前に置かれたディスプレイに Fig.5 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られたデータより、対象物座標系への変換行列を求める。

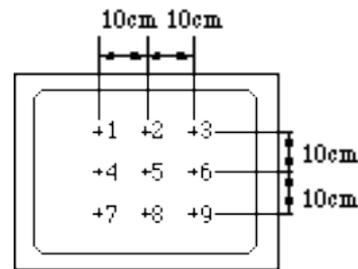


Fig.5 Stimulues on display.

## 4.実験

被験者 (1名、裸眼) に、Fig. 5 で示される注視点を数字の順に注視する実験を行った。注視点の間隔は縦横 10cm、ディスプレイまでの距離は 34.5cm であった。これは、中心から上下左右に 16.2 度に相当する。カメラを、被験者の左前方に設置し、被験者の左目を撮影した。各点について注視を行い、回転中心、回転半径、変換行列を求めた。前記で求めた値を適用し被験者の目の動きを計測した。これを、Fig.6 に表す。各注視点において求めた視線方向ベクトルと目から注視点へのベクトルの角度の差を Table.1 に示す。閾値を動的に決定することにより従来よりも安定して計測することができるようになった。

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.45°	0.14°	0.43°	0.31°	0.19°	0.35°	0.59°	0.43°	0.08°

Table.1 Errors of each stimulus.

## 5.シュミレーションによるノイズの影響の検証

実際の実験では、まぶたなどで瞳孔が隠れてしまう場合がある。瞳孔画像に欠損がある場合、本方法による検出結果にどのくらい影響を及ぼすかをシュミレーションによって検証した。4の実験と同じ状況になるように、9個の注視点におけ

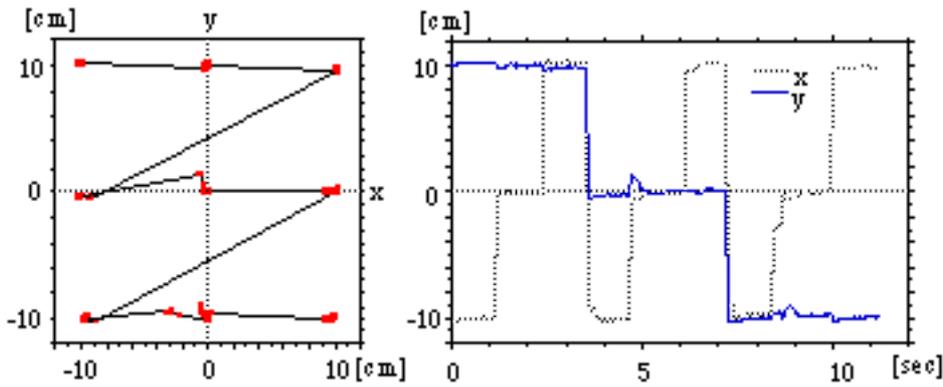


Fig.6 Eye movements.

る瞳孔画像（画像の大きさは320x240 pixels、瞳孔の長軸が120 pixels）を作成し、3の方法により回転半径、回転中心、変換行列を計算する。次に、各画像を上部から5%ずつ隠していった画像を作成し、各注視点に対する視線方向ベクトルと目から注視点へのベクトルの差の角度を計算した。注視点それぞれの誤差の平均値とその標準偏差をFig.7にまとめた。瞳孔がまぶたに隠れるような場合でも欠損が30%以下の場合、0.1度以下の精度で視線位置が計測でき、それ以上ではグラフの勾配が大きくなっていることがわかる。

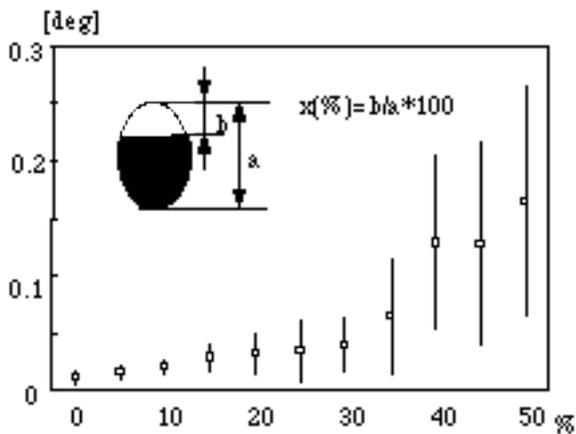


Fig.7 Errors of partly hided oval images.

## 6.まとめ

閾値検出の自動化により、校正がより迅速に行え、実際の使用における簡便さが向上した。また、閾値検出の自動化と楕円の輪郭の検出方法の変更により、従来より安定して計測ができるようになり、実験環境条件をより柔軟に設定できるよ

うになった。シミュレーションにより、瞳孔がまぶたに隠れるような場合でも欠損が30%以下であれば、320x240pixelsの解像度でも0.1度以下の精度で視線位置が検出できることが確認できた。実際の計測結果としシミュレーションの結果を比較すると誤差が大きいがこれは様々な測定誤差が入っていると考えられる。今後は、測定における誤差の原因について調査し、理論値に近づくようにシステムを改良して行きたい。

## 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
- [5]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
- [6]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
- [7]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