

# 遠隔操作に対応した視線位置計測システムの開発

## A REMOTE CONTROLLABLE SYSTEM FOR MEASURING EYE POSITION

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

Abstract: We have developed a new system to measure eye positions noninvasively. This system consists of an infrared LED, a CCD camera, a video capture board, and a personal computer. We applied infrared ray to an eye of a subject whose head movement was restricted, and took a picture of a pupil as a black oval by the CCD camera. The image of the pupil was transferred to the personal computer and the absolute direction of the eye in the camera coordinates was calculated from the expression of the oval. In the present study, we have expanded the system to be run on the Linux. By Using Xlib and X tool kit, this system has acquired network transparency.

### 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<sup>[1-6]</sup>。本システムは、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>[1-10]</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。画像処理により、視線位置計測を行うため、無侵襲、簡便、安価、高精度という特徴がある。

昨年、広く汎用性を確保するため、プラットフォームに依存しないシステムを開発した<sup>[6]</sup>。今回その方法を利用し、遠隔操作を可能とする新しいシステムを開発した。従来のシステムは、ハードウェアにNECのPC-98を用い、OSとしてMS-DOSを採用していた。そのため、PC-98の製造中止に伴い、新たなシステムの構築が不可能になってしまった。また、MS-DOSも、Windowsへと移行してしまい、シングルタスクの制御用OSとして今後の発展が望めない状況である。

そこで、プラットフォームとして最も普及しているIBM-PC互換機を用い、OSにはネットワーク機能に実績があり、制御用としても使用可能なLinuxを選択した。画像表示には、同OS付属のX window systemを使用した。これにより、計測装置と制御装置を分離することが可能なネットワーク透過性のあるシステムを構築することができた。

### 2.システムの構成

システムは以下のものから構成される。ハードウ

エアとして、照明用赤外線LED、CCDカメラ（Sony XC-75）、ビデオ入力ボード（株式会社アルゴグラフィ）、データ処理用のCPU（IBM-PC互換機、Pentium-II 400MHz）、刺激提示用コンピュータ、ネットワークを介して表示する場合には、ネットワークインターフェース及びX Window Systemの動作するコンピュータが必要である。ソフトウェアは、OSとしてPC上のUNIX互換OSとして普及しているLinux(plamo-1.4.1)を用いた。画像入力用デバイスドライバは、ビデオ入力ボード付属のものを用いた。

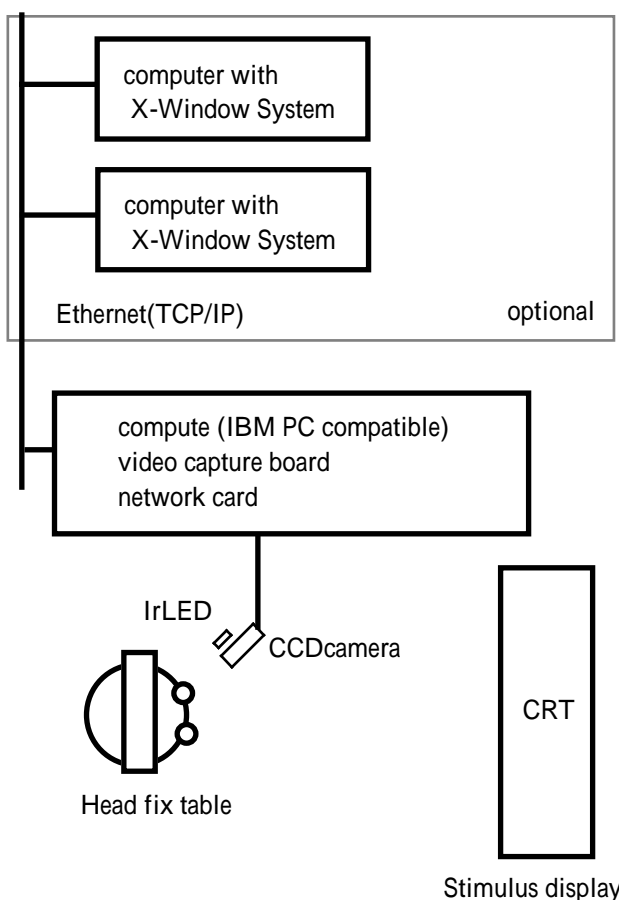


Fig.1 System outline.

画像を表示するためのグラフィックライブラリーには、汎用かつ入手の容易なXlibおよびX tool kitを用いた (Fig.1)。

### 3. 視線位置検出の原理

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。

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

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

Eq.1における、 $x_0, y_0$ は、コンピュータ画面上における眼球回転中心、 $r$ は、回転半径である。Eq.2における $3 \times 3$ の行列は、CCDカメラ座標系から、刺激提示CRT座標系への変換行列である。これらの値は、Fig.2のように、等間隔に描画されている視標を順次、被験者に提示することにより取得することができる。取得方法について参考文献<sup>[1-6]</sup>に記載してある。校正終了後は、これらの式により、瞳孔の中心座標から、被験者の視線位置を検出することができる。

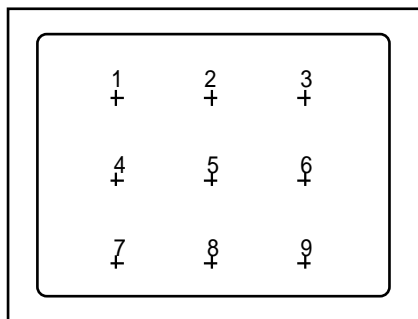


Fig.2 Stimulus for calibration.

### 4. 従来のシステムとの比較

新しいシステムと従来のシステムの性能を比較する実験を行った。計測速度として、ビデオのフレー

ムレートである30fps (frame per second)で計測できることを確認した。3で示した原理より、測定精度は、瞳孔中心位置の検出精度に依存するため、新旧システムによって計測した瞳孔中心座標値の比較を行った。

#### 1)実験方法

同じ条件で計測結果を比較するために、次の実験を行った。頭部を固定した被験者にFig.2に示される十字の視標を1から9まで順番に提示する。CCDカメラで眼球の動きを撮影し、8ミリビデオに記録し、計測対象とした。記録した画像を従来のシステム(コンピュータとして、PC9821Xa10/C12 Pentium-100MHz、ビデオキャプチャボードとしてカノープスSuperCVI98を使用。詳細は、参考文献参照<sup>[1-6]</sup>)に入力し、瞳孔中心座標値を記録する。同様の画像を、新しいシステムに入力し、瞳孔中心座標値を記録する。新しいシステムにおいては、ネットワークによる計測の遅れを排除するため、表示も計測に用いているコンピュータを用いた。

#### 2)実験結果

Fig.3に従来のシステムで、Fig4.に新しいシステムで測定した瞳孔中心の動きを示す。両者共に30fpsで

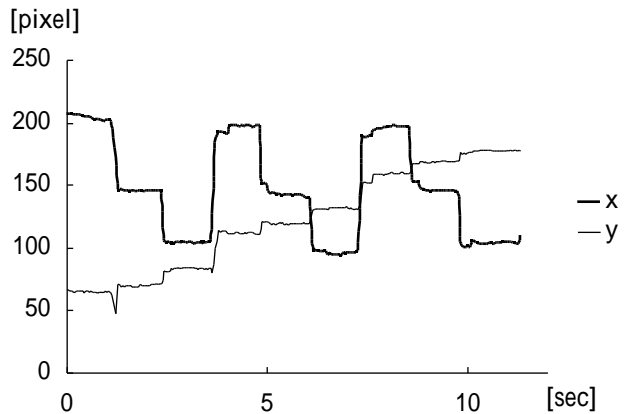


Fig.3 Eye movements measured by the previous system.

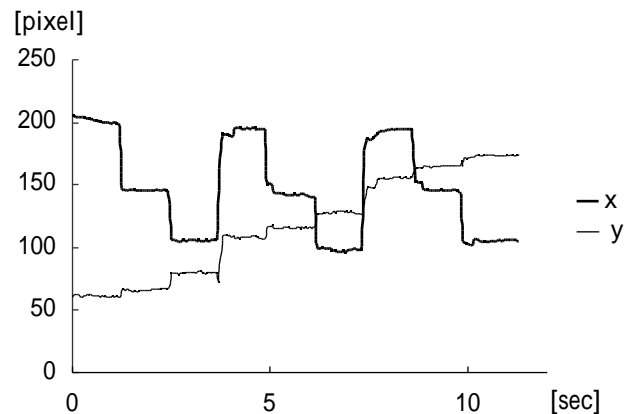


Fig.4 Eye movements measured by the new system.

計測することができた。

次に、両システムで計測した瞳孔中心位置の比較を行った。Fig.5に、x軸に従来のシステム、y軸に新

しいシステムによって、同時刻に検出された瞳孔中心のx座標をプロットし、その回帰直線と相関計数の自乗値を表示した。Fig.6は、同じく瞳孔中心のy座標についての回帰直線と相関計数の自乗値を表示している。

視標から視標へ視線が移動する際に撮影される瞳孔画像は、カメラのシャッター速度の関係でぶれた像が撮影されてしまう。この際に、ビデオキャプチャボードの特性の差により不定な楕円を検出してしまふ。このため、視線の移動量の多いx座標に多くの計測のばらつきが生じている。固視時の視線位置検出には支障はないと考えられる。

グラフの軸の切片が、0でなく、傾きが1でない原因は、ビデオキャプチャボードの特性の差である。

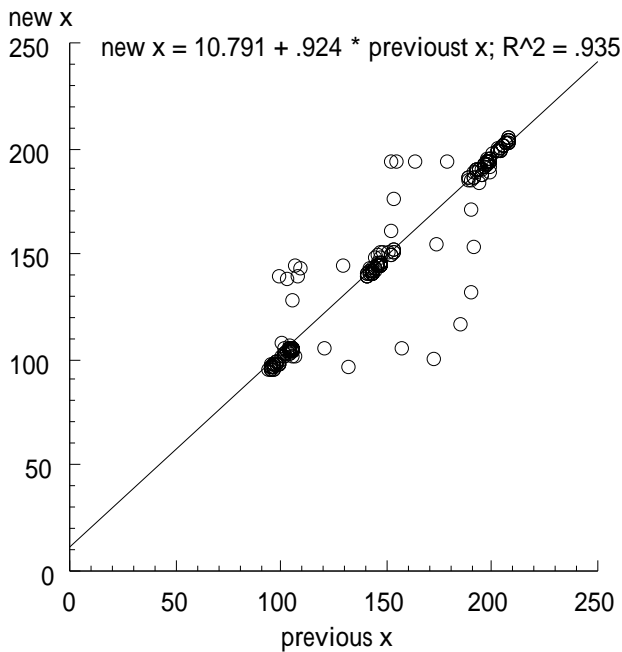


Fig.5 Correlation graph between the previous and the new system of x direction eye movements.

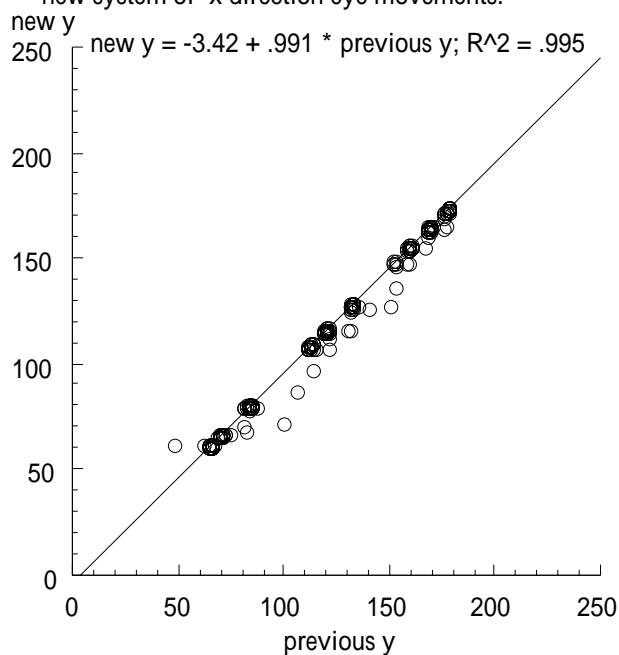


Fig.6 Correlation graph between the previous and the new system of y direction eye movements.

り、実際の使用において、これらはプログラム中の補正項によって補正可能である。

新しいシステムにおいても、従来と同等の計測精度があることが確認できた。

## 5. ネットワークを介した表示

新しいシステムではFig.7の様に、瞳孔画像に楕円近似した瞳孔の輪郭と中心を重ね描きしたものと瞳孔中心位置の軌跡を表示することができる。また、Fig.8の様に瞳孔画像を省略し、転送データを軽減することができる。それぞれの状態を転送するのに必要な最低限のデータ量をTable.1に示す。実際にネットワーク上で転送するためには、様々な付加情報が必要なため、これらの数値以上の能力が要求される。

計測するコンピュータと表示するコンピュータが

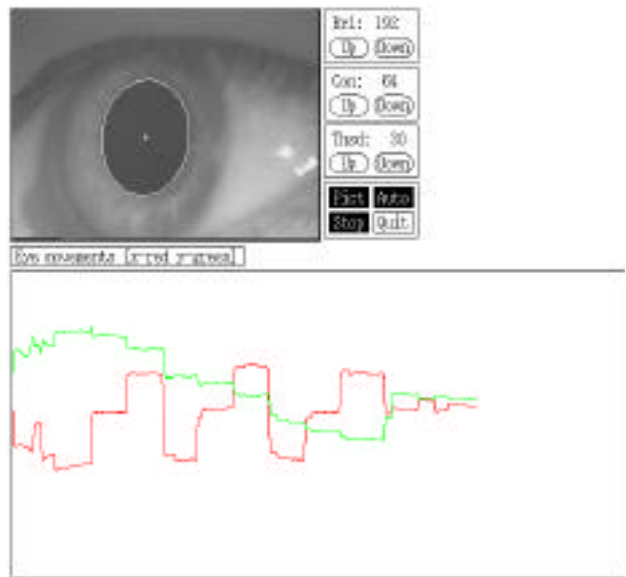


Fig.7 New system display imag.

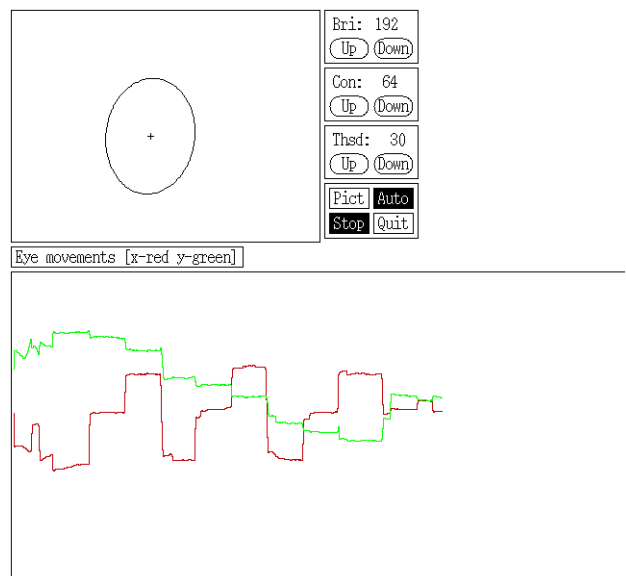


Fig.8 New system display image without pupil picture.

	displaypixel depth 8 bits	displaypixel depth 24 bits
pupil pictures	17.6Mbits/sec	70.3Mbits/sec
Ellipses and center crosses	0.7Mbits/sec	0.7Mbits/sec
Eye movements traces	7.5kbits/sec	7.5kbits/sec

Table.1 Data transmission rates.

同一の場合は、画像の転送は内部のバススピードに依存する。現在のIBM-PC互換機の画像転送速度は十分に早く、Fig.7の表示でも30fpsで行うことができる。

ネットワークを介して表示する場合について調べた。いくつかの組み合わせについて、その表示能力を計測した。結果をTable.2にまとめた。

8bits/pixel,100BaseTの環境であれば、30fpsで表示が可能であるが、10BaseTの環境においては、瞳孔画像を省略しないと30fpsでの表示は不可能であった。

A: Sun Ultra2 UltraSparc 200MHz Solaris2.5.1  
B: Dec HinoteUltra2 Pentium 150MHz FreeBSD2.1.5

	With pupil pictures.	Without pupil pictures.
A: 24bits/ pixel 100BaseT	20fps	30fps
A:8bis/pixel 100BaseT	30fps	30fps
B:8 bits /pixel 10BaseT	11fps	30fps

Table.2 Display performances in various environments.

## 6. まとめ

従来のシステムと比較した結果、精度、計測速度共に同等であることが確認できた。従来のシステムのボトルネックは、ビデオキャプチャーボードとCPUのデータ転送間にあった。視線位置検出プログラムは汎用ではあるが、ボトルネックであるビデオキャプチャーボードへのアクセスを最小にするようにデザインされている。そのため、計測の精度が押さえられる可能性があった。新しいシステムにおいては、ビデオキャプチャーボードとCPU間のデータ転送速度が十分に早くなり、もはやこの部分はボトルネックとはならない。また、CPUの計算速度もは

るかに向上しているため、今後の視線位置検出プログラムの改良により、さらなる精度の向上が期待できる。

計測装置と制御装置の分離は、柔軟な使用形態を可能にする。5の実験結果より、瞳孔画像が必要な場合は、8bits/pixelのディスプレイと100BaseTの組み合わせにより30fpsでの監視が実現可能である。瞳孔画像が必要でなく、輪郭の動きのみで良い場合は、10BaseT接続で監視が可能である。今回の実験では行わなかったが、瞳孔の中心位置情報のみの場合は、7.5kbits/secの速度で転送可能なため、ISDN (64kbits/sec)のような電話回線を経由しての転送も可能であろう。

今回開発した装置は、従来の装置よりも安価なビデオキャプチャーボードの使用が可能のため、コストが下がり、入手も容易になった。ソフトウェアの改良により、特殊な測定装置としてだけでなく、視線入力インターフェースとして、様々なアプリケーションへの波及を期待することができるであろう。

## 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、(1995)
- [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、(1996)
- [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、(1997)
- [6]松田圭司、永見武司：「異機種実装を考慮した視線位置計測システムの開発」、第13回生体・生理工学シンポジウム論文集、p253-p256、(1998)
- [7]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)
- [8]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)
- [9]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)
- [10]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)