

# 9 超小型視線検出モジュールによる目視確認サポート装置の開発（第2報）

## 車載模擬実験と小型視線検出モジュールの開発

橋本晃司, 古本浩章, 後藤孝文, 打田澄雄

Development of eyesight check support machine by ultra small size eye tracking module. (2nd Report)  
Development of vehicle simulation and the small size eyes detection module.

HASHIMOTO Koji, FURUMOTO Hiroaki, GOTOH Takafumi and UCHIDA Sumio

Visual confirmation of driving is important but eye-gaze tracking system is expensive. An experimental site for simulating automotive frame was assembled. The operational performance of “Eye Mouse” system was evaluated on a tablet computer. The developed software system calculates eye direction by using the positional relation of pupil and purkinje image. This system is enabled to use as substitute for computer mouse .

キーワード：車載模擬実験, アイマウス, 視線操作, 画像処理, FPGA

### 1 緒 言

自動車運転時における居眠りや脇見といった危険行為を、まぶたの開閉や視線移動から検出する先進安全技術が実用化されている。また情報端末では、画面から視線が外れると照明が消える省エネルギー機能が実装される等、視線での画面操作を可能とする技術が開発されつつある。しかし、これらの技術は外乱光の少ない場所での利用や、眼とカメラが近距離で正対するといった制約がある。また視線による画面操作を実現するには、高い精度での視線検出技術が求められるため、現状ではハードウェアの小型化や低コストが実現されていない。

本研究では、これまでに開発したアイマウス<sup>1)</sup>を、FPGA技術によりモジュール化し、自動車運転や家電製品の操作、医療や工場現場などで利用できる低コストで、超小型な目視確認サポート装置として開発している。

前報では、アイマウスの視線検出精度の計測と小型視線検出モジュールの開発状況について報告した<sup>2)</sup>。本報では、前半で視線検出モジュールを活用するフィールドとしての車載模擬実験場構築やアイマウスとタブレットコンピュータを使った実験について述べ、後半で視線検出モジュールのソフトウェア版の開発について報告する。

## 2 車載模擬実験

### 2.1 車載模擬実験場の構築

超小型視線検出モジュールの自動車運転での活用を想定して、視線による空調やオーディオ、情報画面等の操作について検討を進めた。

昨年度の精度検証予備実験で運転席や頭部固定具、ドライブシミュレータ用の60型テレビを配置した。この周囲にエレクターパイプによるゲージを構築し、超小型視線検出モジュールの実装を想定するBセグメント車(全長約3,75m~約4,15m以下)の空間寸法を基に、フロントガラス、ステアリング(直径340mm)を固定した(図1)。装備や内装によって制約を受ける車内空間に合わせて、カメラや操作対象となるモニタなどヒューマン・マシン・インターフェースを設計した。

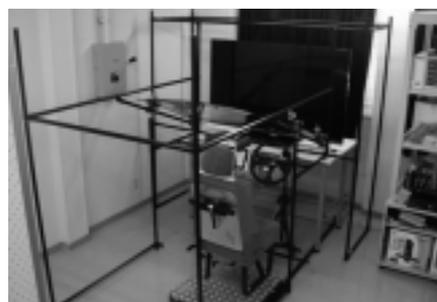


図1 車載模擬実験場

### 2.2 タブレットコンピュータの活用

アイマウスを使うにはWord等の操作対象ソフトをデスクトップ型パソコンで表示させる必要があったが、Windows搭載タブレットでも代替でき、超小型視線検出モジュールの車載使用では、タブレットコンピュータ(以下、タブレット)の活用を検討した。実車テストでも充電面やコンパクトな点で使いやすい。また自動車のインパネ操作もタッチ式にて進展している点や、視線操作のためのGUIを作成して車載インターフェースに近い状況でテスト可能な点からも、タブレットの活用には優位性

がある。タブレットはWindows7をOSとする(株)ユニット  
 コムの LESANCE NB P1011/BK (Atom Z670 (1.5GHz), メモリ  
 2GB, 10.1インチ(1024×600ドット)を使用した(図2)。



図2 車載模擬実験に使用したタブレット

### 2.3 タブレットでの精度検証

車載模擬実験場にてタブレットを操作対象とした視線  
 の検出精度検証を行った(図3)。視線検出はアイマス  
 を使用し、被験者に正対してレンズ中央が935mmの距離  
 となるように設置した。これはステアリングコラムカバ  
 ーとハンドル円周上端にある空間から眼を撮像するのが、  
 現状において視線検出の状態が最も安定したためである。  
 また近赤外線LEDはレンズ中心から140mm下とした。

タブレットで、アイマスの設定ソフトと精度検証自  
 動プログラムが動作するようにし、カメラ同様に被験者  
 と正対して画面中央が高さ1000mmの位置になるように固  
 定した。

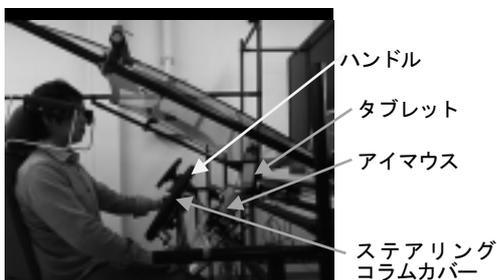


図3 車載模擬実験場のタブレットやカメラの配置

精度検証自動プログラムでは画面上の5点(中心、左  
 上、左下、右上、右下)を注視した際のXY方向へのずれ  
 で評価し、被験者の3回の平均値において22pixel以内  
 となった(図4)。画面から眼までの距離は720mmであり、  
 XY方向に22×22pixelの域にずれが収まることは、水平  
 垂直方向での操作精度は1.59°となる。

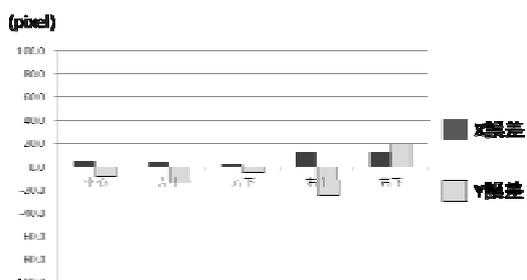


図4 タブレット上の視線精度検証の結果

### 2.4 視線操作テスト GUI の作成

次に視線によるインターフェース画面の操作性を検証  
 するため、テストGUIを、Microsoft社のVisualBasic  
 にて作成した。

タブレットの画面サイズに合わせてフォームサイズを  
 1024×600pixelとした。ボタンの数を2, 4, 9, 16とし  
 たテストGUIを作成し、Stop Watch Methodによりスター  
 トからの経過時間を計測できるようにした。また For  
 Color Methodを使い視線操作によって押すことができた  
 ボタン色が、グレーからピンクに変わるようにした(図  
 5)。



図5 視線操作性の検証画面

### 2.5 視線操作のテスト

タブレットでの視線操作について、テストGUIによる  
 検証を行った(図6)。



図6 タブレットを使った視線操作テストの様子

タブレットを精度検証時の高さを1000mmの位置にして  
 視線操作を試みたが、ボタンを的とした検証では、意図  
 した場所に動かないケースがあり、高さ1280mmにして実  
 験した。実験は2, 4, 9, 16ボタンの順に行った。ボタ  
 ンを注視して、ポインタがボタン上に移行した際にマウ  
 スでクリックしてボタンの色を変えていくこととした。  
 ボタンの番号順に視線選択していき、最後のボタンがク  
 リックされるまでの時間を計測した。

図7に示すように、操作時間の平均は2ボタンで1.57秒、4ボタンで11.25秒、9ボタンで37.43秒となった。16ボタンでは、全てのボタンをクリックすることが出来なかった。実験により2ボタンから9ボタンまではボタン領域に視線を移動させることが可能で、特にポインタがボタン上の数字の順を追っていくと、意図した方向に視線移動可能なことが分かった。しかしボタンの中心上に留めることが難しく、マウスクリックを併用しない視線によるEnter操作にはロバスト性を保証する等の処理が求められる。

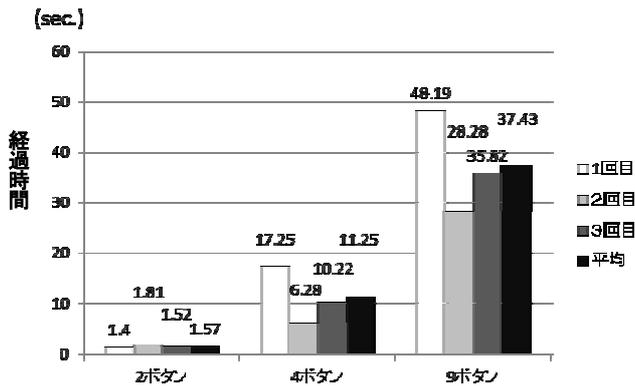


図7 ボタンごとの操作時間

### 3 視線検出システムの開発

#### 3.1 システム概要

前報では、特殊電子回路株の Spartan-6 評価ボード (TKDN-SP6-45) と Aptina Imaging 社のカメラモジュール (MT9T031C12STCH ES) および、連結基板を組み合わせたモジュール (以降、開発品とする) を使って、瞳孔とプルキニエ像を検出できることを確認した。本報では、両者の位置関係から視線方向を算出し、PCのマウスカーソル

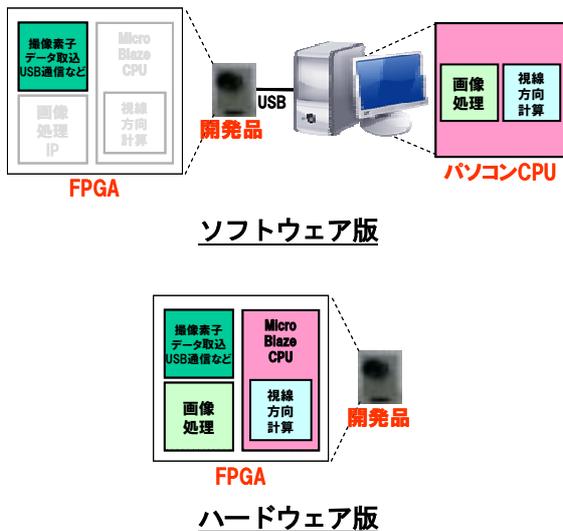


図8 ソフトウェア版とハードウェア版の違い

を視線で動かすシステムを開発したので報告する。

視線検出システムの構成は、開発品と近赤外線照明およびパソコン一式で、瞳孔とプルキニエ像の位置関係から視線方向を算出する手法を用いた。視線方向を算出するための画像処理および視線方向の計算をパソコンのCPUで行うか、または開発品のFPGAで行うかの違いにより、①ソフトウェア版と②ハードウェア版という名称とした(図8)。ソフトウェア版は、ハードウェア版よりも拡張性が優れているため、アルゴリズム検証用として開発した。一方、ハードウェア版は、ソフトウェア版で検証したアルゴリズムの高速化を目的に開発する。

#### 3.2 ソフトウェア版の開発

ソフトウェア版には、撮影した瞳の画像から瞳孔およびプルキニエ像を抽出する画像処理部分と、両者の位置関係から視線方向を計算する視線算出部分に加えて、誤差補正を行うためのキャリブレーション機能を実装した。開発はMicrosoft社のVisual C++にて行った。瞳孔とプルキニエ抽出手順および視線座標の算出については、文献3)と同じ手法を用いた。

開発したソフトウェアの画面を図9に示す。開発品で撮影したVGA画像(640×480画素)及びQXGAの1/4間引き画像(512×386画素)を表示している。VGA画像は、1/4間引き画像中の枠部分を間引きなしで切り出した画像である。頭が鉛直面内で少し揺れても、瞳孔が常に画像中央に配置されるように、パソコン側で画像の切り出し位置を計算し、開発品に送信する。

次に瞳孔およびプルキニエ像を抽出した結果を図10に示す。瞳孔輪郭は仮の瞳孔中心(VGAの1/4間引き画像で仮の瞳孔中心座標を計算)から放射状に32方向に走査し、



図9 ソフトウェア画面 (VGA画像: 上, QXGAの1/4間引き画像: 下)

ドット間の輝度値の差が一定値以上の箇所を瞳孔輪郭とした。これらの結果を用いて楕円フィッティングを行い、瞳孔中心を求めた。瞳孔中心およびプルキニエ像を正確に検出できていることが確認できる。

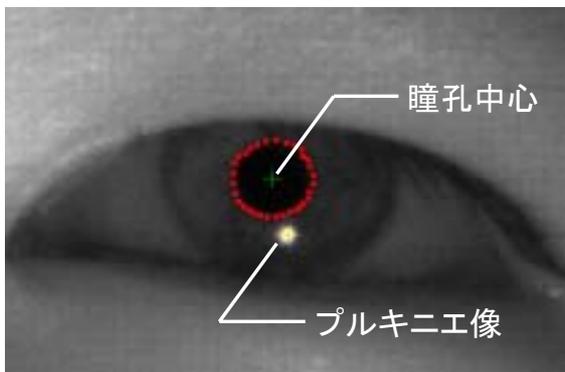


図 10 瞳孔中心およびプルキニエ像の検出

### 3.3 ソフトウェア版での視線操作テスト

視線でマウスカーソルを動かし、配置したボタンを選択できるか確認した。顔とモニタ画面（画面表示サイズ：338mm×270mm，解像度：1280×1024）の距離は約 1000mm とした。

2.5 の視線操作テストで使用したテスト GUI（それぞれ 2, 4, 9, 16 個のボタンを配置）を用いて実験を行った結果、9 ボタン（1つのボタンサイズ：縦 78mm×横 104mm）まで、ボタン領域にマウスカーソルを移動させることが可能であった。

### 3.4 ハードウェア版の開発

開発品で使用している Spartan-6 評価ボードには Xilinx 社の FPGA (XC6SLX45) が搭載されており、この FPGA で画像処理および視線方向の算出を行う。

画像処理部は、当センターが保有している画像処理 IP を使用した。今回使用した 4 つの画像処理 IP の一覧を表 1 に示す。このうち、瞳孔検出で使用するラベリング処理をテストパターンに対して行った結果を図 11 に示す。ラベリング結果は評価ボードに搭載されている DDR メモリに一旦保存し、これをパソコン側で読み出して色付けした。

視線計算部については、Xilinx 社のソフトコア CPU：MicroBlaze を利用し、開発は C 言語で行う予定である。現状、画像処理 IP の実装は完了したが、視線計算部は実装中であるため、早期の完成を目指す。

表 1 使用した IP 一覧

	fmax(MHz) ※論理合成後	Number of Occupied Slice	Number of RAMB16BWRs
3×3メディアン フィルタ	101	117	1
ラベリング	78	140	4
面積(濃淡)	137	34	1
重心(濃淡)	117	179	1



図 11 ラベリング結果

## 4 結 言

- 1) 自動車運転での活用を検討するため、車載模擬実験場を構築して実験を行った。
- 2) アイマウスとタブレットを用いた実験により、2 ボタンから 9 ボタンまではボタン領域に視線を移動させることが可能で、特にボタン上の数字の順を追っていくと意図した方向に視線移動可能なことが分かった。
- 3) ソフトウェア版において、瞳孔中心およびプルキニエ像を正確に検出できるようになった。
- 4) 視線を使ってマウスカーソル制御を行った結果、9 ボタンまでボタン領域にカーソルを移動させることが可能であった。
- 5) ハードウェア版において、4 つの画像処理 IP を実装し、動作確認を行った。

## 文 献

- 1) 武田他：広島県西部工技研究報告 48(2005), 60
- 2) 橋本他：広島県西部工技研究報告 55(2012), 13
- 3) 大野健彦, 武川直樹, 吉川 厚：2点補正による簡易キャリブレーションを実現した視線測定システム, 情報処理学会論文誌, Vo144, No. 4, pp. 1136-1149 (Apr. 2003).