

16 カメラ画像を視線検出に用いたポインタ制御装置の開発

武田幹雄, 大亀勝久*, 森合雅朗*, 佐野 誠, 石津任章, 亀田成司**, 安藤博士**, 岩田 穆**

(Development of the device which utilizes the embedded system technology)

The control device for the mouse pointer with the gaze

TAKEDA Mikio, OOGAME Katsuhisa, MORIAI Masaaki, SANO Makoto, ISHIZU Hideaki

KAMEDA Seiji, ANDO Hiroshi and IWATA Atsushi

We suggest the novel system that can detect the gaze point of moving eyes and display the gaze point on the personal computer. Our purpose is to shorten the processing time of the detection of the gaze point and to reduce the burden of the personal computer. The hardware that consists of FPGA is used to reduce the processing time for the trace of eye movements and the detection of the gaze points. We show that the system can shorten the image processing time to 0.1 seconds from 0.5 seconds.

キーワード：画像処理, 福祉機器, 視線検出, マン・マシン・インターフェース, FPGA

1 緒 言

近年のIT化により、いわゆる社会的弱者とされる障害者や高齢者も、インターネットによるメールやショッピングを楽しむ人が年々増加している。しかし、現在普及しているインターフェースデバイス（キーボード、マウスなど）は、手指による巧みな操作が要求されるものばかりである。そこで、(株)システムアートウェアでは、特に肢体不自由者向けに、眼球の動き（視線）を位置情報に変換してパソコンの操作を補助するアプリケーションを開発している。しかし、現在開発中のアプリケーションは、ソフトウェア主体で開発しており、その特性上使用できるカメラの制約や処理時間の長さが問題となっている。

そこで、これらの問題を解決するため平成16年度広島県地域研究者養成事業において、組み込みシステム技術を利用して、上記アプリケーションのハードウェア化に取り組んだ。

2 装置概要

現在までに開発している装置の構成は、画像を取り込む近赤外線カメラ、近赤外線照明とパソコン一式となっている。カメラで瞳を撮影し、その画像から視線

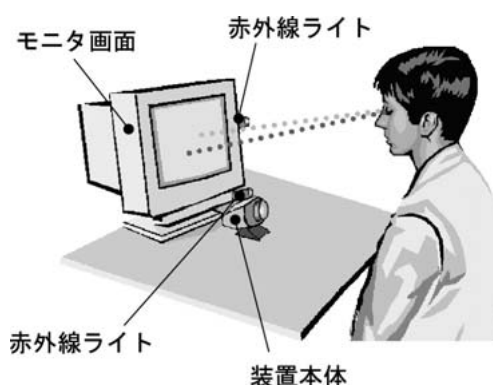


図1 開発装置のイメージ



図2 文字入力用の仮想キーボード画面

*株式会社システムアートウェア, **広島大学大学院

方向を算出し、この結果を元に画面上のマウスカーソルを制御してパソコンの操作を行う。しかし、現在の構成では、画像処理及び視線の算出にパソコンのCPUが使用され、本来の作業用アプリケーションソフトの効率を著しく低下させている。このため、今回はカメラからの画像入力回路も含め、特に画像処理から視線算出までの処理をFPGAを使った組み込みシステムによる専用ハードウェアとして開発した。図1に開発した装置の商品イメージ図を示す。また、文字入力は、開発した画面上の仮想キーボード（専用アプリケーション）（図2）によって行う。

3 視線の算出

3.1 視線算出の原理

簡単な模式図を図3に示す。操作者の目を撮影するカメラと点光源が同じ座標上にあると仮定すると、眼球の表面に映り込んだ点光源の像(プルキニエ像)は、眼球の移動、回転に関係なく常に眼球の中心と点光源を結ぶ直線軸上に現れる。これにより、眼球と点光源の距離が分かっているれば世界座標における眼球の位置を確定できる。さらにこれを元に画像中の瞳孔中心座標と、プルキニエ像の中心座標の位置関係から、世界座標系における視線方向を算出することができる。実際には眼球は真球ではなく、眼球中心と角膜曲率中心は一致していない。さらに眼球の大きさ、形には個人差があり、実用上これらの寸法計測をすることも不可能であるため、実際にはカメラやモニタの位置的誤差補正の他に、個々のユーザに合わせたキャリブレーションが必要になる。

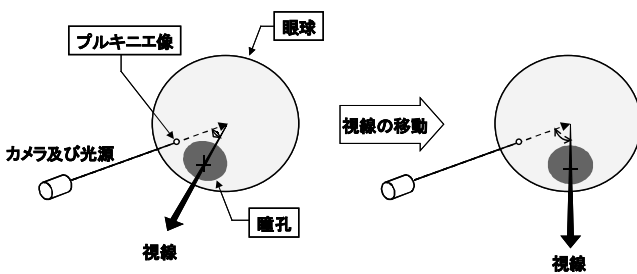


図3 視線算出の原理

3.2 瞳孔及びプルキニエの抽出手順

画像処理を行う原画像及び瞳孔抽出結果を図4に示す。画像サイズは640×480画素で、瞳孔を抽出し易くするため近赤外線カメラを使用している。

瞳孔抽出の処理は大きく2段階に分けられ、最初に原画像からおおよその瞳孔領域を切り出す処理を行い、次に切り出した瞳孔領域の画像からより正確な瞳

孔中心の座標を求める。

第一段階の処理では、おおよその瞳孔領域が分かれば良いので、処理時間短縮化とメモリなどのハードウェアの省資源化のため、原画像を1/4に縮小して処理する。次に鮮鋭化処理などを行い、多値ラベリングを実行する。近赤外画像では、瞳孔は周囲に比べ最も輝度値が低い特徴を示す。このため、ラベリングされた領域を画素値の低い順に並べ、面積、位置、周辺輝度などの補完条件から瞳孔領域を決定する。

第二段階の瞳孔中心を求める処理では、前段の瞳孔領域の座標を元に原画像から160×120画素のサイズで画像を切り出し使用する。この画像から瞳孔領域を求め、より正確な瞳孔中心の座標を求める。



図4 原画像と瞳孔抽出結果

プルキニエ像の抽出は、点光源の映り込みであるため、濃淡レベルはほぼ最大値に近く、2値化処理で比較的容易に絞り込める。また、像が小さく瞳孔付近に存在することから2値化ラベリングの後、面積、位置の補完条件により抽出できる。

3.3 視線座標の算出手順

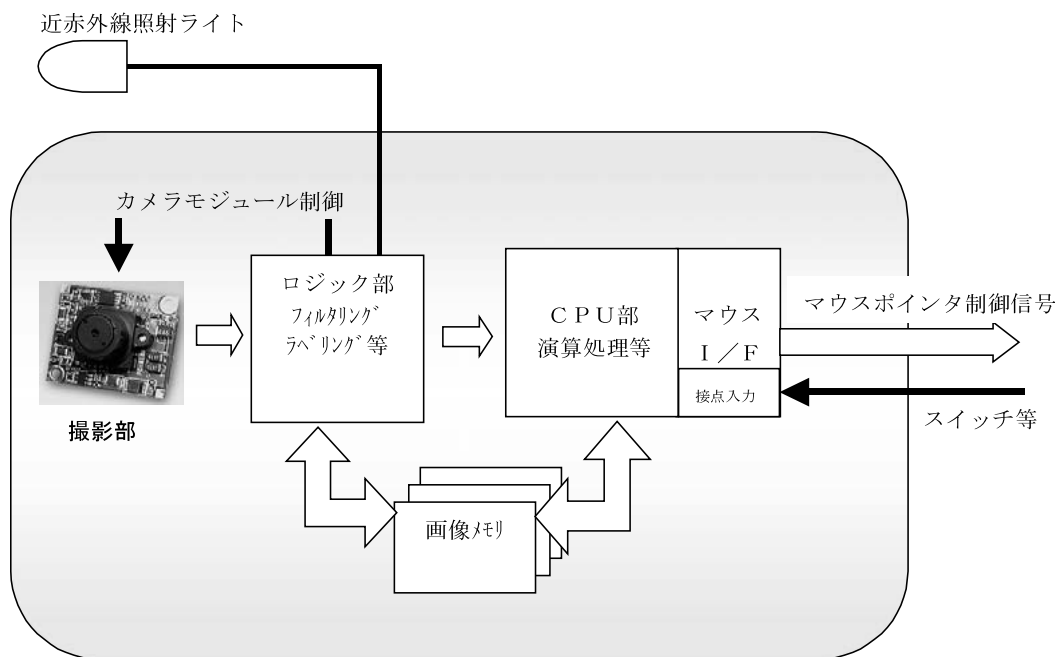
まず、プルキニエ像の位置を画像座標から世界座標に変換する。この際、カメラと光源の位置は実際にはずれているので補正を掛ける。これを基準に瞳孔中心の座標を世界座標に変換し、角膜の房水による屈折の影響などを補正しながら視線方向を算出する。算出した視線方向を世界座標の中でディスプレイ平面に射影し、ディスプレイの座標系に変換してマウスポインタを制御する。

また、より正確な制御を行うためには、身体的特徴（眼球の大小など）による誤差を補正する為、キャリブレーションを実行する必要がある。

4 システム構成

4.1 基板の製作

これまで述べてきた視線方向の算出において、システムをハードウェア化するにあたり、画像処理部にFPGAを適用することとした。装置構成のブロック図



ポインタ制御装置

図5 装置構成のブロック図

を図5に示す。カメラはNTSC信号が得られる一般的な近赤外線カメラを使用し、点光源には近赤外線LEDを使用した。

FPGAによる画像処理の後、マイコンによって演算され、最終的なマウスポインタの座標値がマウスI/Fにて出力される。FPGAに画像処理を適用する際のHDL設計は当センターが保有している画像処理IPを利用した。使用したIPの一覧を表1に示す。

に従い画像処理部を設計した。このIPを利用することにより、画像処理部に関わる設計期間を大幅に短縮することができた。また、精度向上のために高解像度のカメラが使用可能となり、それに伴う仕様変更もHDL設計で容易に対応が可能となった。

このハードウェア化により、これまでソフトウェア(Pentium 4 3GHz)で約0.5秒掛かっていた処理を約0.1秒以下とすることができた。

表1 今回使用した画像処理IP一覧

	最高動作 周波数(MHz)	ロジック セル数(個)	RAM ビット数(bit)
3×3メディアンフィルタ	41	374	16384
3×3鮮鋭化フィルタ	45	1440	16384
ラベリング	23	566	61440
面積(濃淡)	44	109	5120
重心(濃淡)	28	293	15360

4.2 画像処理部のFPGA化

当センターでは、2値及び濃淡処理IP合わせて20種類の画像処理IPを保有している。今回は5種類の画像処理IPを組み合わせて3.2、3.3で述べた処理手順

5 結 言

障害者向けに、視線に追従させてマウスポインタを動かせるマン・マシン・インターフェースを開発した。従来パソコンとソフトウェアによるシステムを開発していたが、当センターで保有する画像処理IPを利用することにより、システムのハードウェア化を実現した。これにより、画像処理による前処理部分の処理時間を大幅に短縮することができた。

なお、本研究は平成16年度広島県地域研究者養成事業および広島県ベンチャー企業事業化補助金を活用し実施したものである。