

視線インタフェースを用いた家電製品の制御に関する研究

藪木 登* 黒崎正裕* 井上浩行** 鷺見育亮*** 築谷隆雄****

A Study on the Control System of Home Appliances using the Eye-gaze Interface

Noboru YABUKI*, Masahiro KUROSAKI*, Hiroyuki INOUE**, Yasuaki SUMI***, and Takao TUKUTANI****

It is difficult that physically handicapped person operates home appliances. If a physically handicapped person can operate home appliances, it is thought that the life becomes more convenient. We describe the control system of home appliances using the eye-gaze interface. This system has four parts, detection of face region, camera control, eye-gaze detection, and remote control. We explain each of four parts in this paper. Experimental results show that the proposed control system worked.

Key words: eye-gaze, control, image processing, home appliances, consumer electronics

1. はじめに

コンピュータの発展と共に我々の生活レベルは、向上している。身近な家電製品としてTV、パソコン、エアコン、ゲーム機などは我々の生活を豊かにしてくれる。またインタフェースとなるリモコンなどは機器の操作をより簡単・便利に行うことができる。しかし、全ての人々がこれらを簡単に操作できるわけではない。ALS(Amyotrophic Lateral Sclerosis: 筋萎縮性側索硬化症)や筋ジストロフィーなどの手足の自由が利かない障害者や高齢者など、通常生活で介護が必要な人は、例えば、リモコンで家電製品を操作するのが困難な場合が多い。そこで、体が不自由な人でもリモコンを使わずに、家電製品に操作を命令する一つ的手段として、視線が有効であることに注目してみる^{1), 2)}。人は家電製品をリモコンで操作するとき、必ずといってよいほど操作対象を注視する。その視線を検出し、操作対象の家電製品を操作できるようになれば、生活は便利になるだろう。

現在、いくつかの視線入力インタフェースが製品化されており、大別すれば頭部に測定器具を装着する接触式、頭部になにも装着しない非接触式がある。接触式^{1), 3)}は頭部にヘッドマウントディスプレイのような装置をつけるため、利用者への負担が大きい。他方、非接触式においてはカメラで利用者を撮影し、

視線を計測する手法であるため、利用者への負担は少ない。しかし、非接触式には多くの制約条件があり、例えば、利用者の姿勢は一定であることが条件となっている。ただ、利用者の姿勢は度々変化するため、この条件に当てはまるよう、利用者の姿勢にとらわれないシステムが必要となってくる。

現在、市販または研究されている視線入力インタフェースの多くは、予め決められているコマンドやメニューをモニタ上で選択するものである。これではコミュニケーションインタフェースとしては制約が多くあり、使い易いシステムとは言えない。反面、視線利用の実用化に関しては、ワープロ作業やWebサイトの閲覧などへ応用されつつあり、情報端末・コミュニケーションインタフェースとしての役割が大きくなっている^{4), 5)}。また、特にモニタでの操作を選択する方法ではなく、室内のような空間において存在する装置等を視線でコントロールする研究成果は十分ではない。よって現在問題となっている制約を最大限軽減し、利用しやすい視線を用いたコミュニケーションシステムについて検討を行うことが必要である。

そこで、我々は、視線を用いたコミュニケーションシステムに関する研究を行ってきた⁶⁾⁻⁹⁾。この一つとして、本稿では、視線を用いて室内にあるテレビや照明などの家電製品に視線を送ることにより、その製品を操作するシステムを構築し、実験によりシステムの動作を確認することを目的としている。この研究により、動くことが困難な障害者や高齢者に対して、室内空間での家電製品や介護ロボット等の遠隔操作の可能性を示すことができる。

原稿受付 平成22年8月31日

* 情報工学科

** 機械工学科

*** 鳥取環境大学

**** 松江工業高等専門学校

2. 視線インタフェースを用いた家電製品の操作システムの概要

我々は視線を用いたコミュニケーションシステム（視線コミュニケーションシステム）に関する研究を行っている。この視線コミュニケーションシステムとは、人が意思を伝える手段の一つとして利用している視線を用いて、コミュニケーションや動作を助けるためのシステムである。本稿では視線コミュニケーションシステムの一つとして、視線インタフェースを用いて家電製品を操作するシステムを構築する。本システムは、主に室内（個室）で利用可能である。利用者はソファやベッド、椅子等に腰掛けた状態で、室内にある家電製品を見つめると、コンピュータがカメラ画像から視線を読み取り、利用者の代わりにその家電製品をコントロールする仕組みとなっている（図1）。システムの構成図を図2に示す。

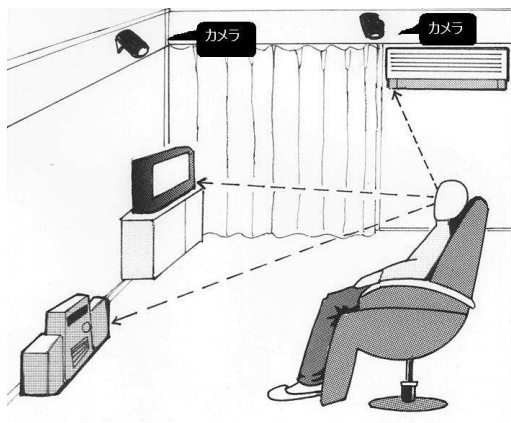


Fig.1 Diagrammatic illustration of proposed system.

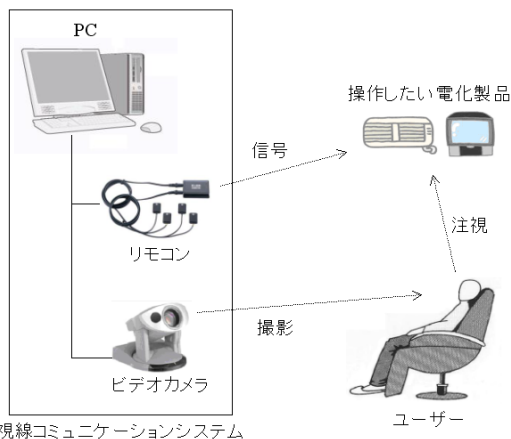


Fig.2 A figure of real constitution of proposed system.

また、システムの動作の流れを図3に示す。このシステムは、主に「顔領域の検出」、「カメラ制御」、「視線検出」、「リモコン制御」の4部分に分かれている。以下では、このシステムを構築していく上で必要となってくる検討事項をシステムの流れに沿って説明する。具体的な処理方法は、次章で述べる。

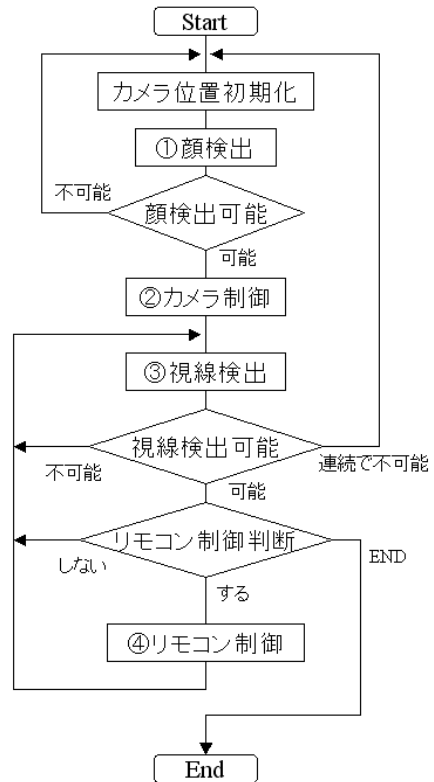


Fig.3 A flowchart of proposed system.

まず、このシステムにおいては、室内にリアルタイムで撮影が可能なカメラを設置することが前提条件となる。そのカメラの位置については、例えば主な家電製品（エアコンやテレビなど）に一台ずつ設置するようなことが考えられる。システムの利用者はソファやベッド、椅子等に腰掛けている状態とする。しかし、一定の場所で静止しているわけではないので視線を計測する以前については、利用者が動くことも考慮し、なるべく広い範囲を撮影する必要がある。主な処理を以下で説明する。

①顔領域の検出

このシステムでは、カメラの位置が利用者と離れた場所での視線検出を想定している。顔とカメラが離れていると顔領域が小さくなり、すなわち目の領域が小さくなるため視線検出をすることは困難になる。そこで利用者の顔部分だけを、肌色とその形から検出し、カメラ制御によって拡大すれば、より視線が検出しやすくなる。そのため、確実に顔の位置を求めるプログラムがここでは望まれる。

②カメラ制御

顔の位置を特定し、カメラ制御（パン、チルト、ズーム）により、顔領域を拡大することが必要となる。ここではより視線検出に適した顔画像の取得が望まれる。

③視線検出

顔領域を拡大すれば、画像中の目領域も大きくなり、より視線検出を正確に行いやすくなる。そして視線検出において虹彩(黒目)領域の検出は不可欠である。よって正確で安定した虹彩の検出が求められる。また虹彩だけでは、頭部自由状態において視線検出をすることは困難であるため、顔の動きに対応する特徴点も検出する必要がある。

④リモコン制御

視線検出結果を用いて、その視線先の家電製品のON・OFFなどの操作を行うため、リモコンの制御が必要となる。

3章で、各部分の詳細を説明する。

3. 提案システムの各部分

提案システムの「顔領域の検出」、「カメラ制御」、「視線検出」、「リモコン制御」の4つの部分に関する各方法をこの章で説明する。

3.1 顔領域の検出

顔領域の検出アルゴリズムを図4に示す⁶⁾。

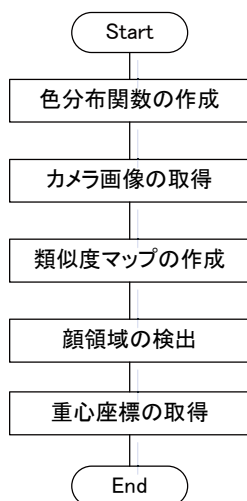


Fig.4 Flowchart of face region detection.

色分布関数とは、画像から検出した特定色の色分布をxy色度図上に表した関数のことをいう。これを用いることで、カラー画像からその特定色情報のみを検出することが可能となる。色分布関数は、任意に取り込んだ画像の色標本データから共分散行列を求めることで作成できる。また、色分布関数に汎用性を持たせるため関数自体にガウシアンフィルタを

重畳している。

(1)色分布関数の作成

本研究では、予めいくつかの顔を撮影した画像から肌色部分を抽出し、このデータをもとに肌色の色分布関数を作成する。

(2)カメラ画像の取得

カメラより、利用者の画像を入力する。

(3)類似度マップの作成

(1)で作成した肌色分布関数を(2)の入力画像に適用し、肌色特徴を表す類似度マップを作成する。

(4)顔領域の検出

類似度マップに対して、穴埋め処理等の2値画像処理により、顔の領域を抽出する。

(5)重心座標の検出

(4)で得られた顔領域の重心座標データを求め、次の「カメラ制御」処理へ送る。

3.2 カメラ制御

顔領域検出から得られた顔領域の重心座標データを用いて、特定対象への回転と拡大のためのカメラ制御を行う。その制御法とは、画像内をカバーできる画角を導出し、カメラの回転角と画像座標の関係式を求める。これにより、画像内の座標を指定するだけでその座標に向けてカメラが回転するようになっている。

ここでは、カメラから対象座標までの角度を計算によって導出する。

図5に画像中の対象の中心座標(m, n)とカメラの回転角度の関係を示す。

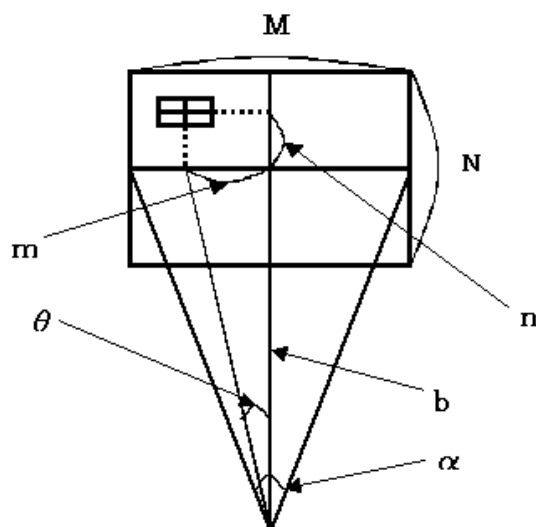


Fig.5 Relation between image and camera parameter.

なお、各パラメータは次の通りである。

M：画像の横サイズ

N：画像の縦サイズ

(m, n) : 対象物体の中心の座標
 α (β) : 画角
 θ : 動いた角度
 b : レンズの中心から撮像面までの長さ

図5より式(1), (2)が導かれる. なお, β は縦にカメラが回転する画角で, θ_1, θ_2 , はそれぞれ横, 縦の実際回転した角度で, b_1, b_2 は横, 縦のレンズの中心から画像の中心座標までの長さである. 但し, $b_1=b_2=b$ である.

・横方向にm画素だけ移動するとき

$$b_1 = \frac{M}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} \quad \tan^{-1}\left(\frac{m}{b_1}\right) = \theta_1 \quad (1)$$

・縦方向にn画素だけ移動するとき

$$b_2 = \frac{N}{2 \tan \frac{\beta}{2}} \quad \tan^{-1}\left(\frac{n}{b_2}\right) = \theta_2 \quad (2)$$

これらの式を使用し, 対象の中心座標が分かればカメラが実際に回転する角度が分かる. 本研究のように, 顔とカメラが離れていると, 視線検出をすることは困難であるため, 対象領域への移動・拡大処理を付加する.

以下, カメラの移動・拡大処理などのカメラの制御の手順のフローチャートを図6に示し, 次に説明する.

- ① カメラと通信可能であるか判断する.
- ② 通信可能な場合, カメラの初期設定を行う.

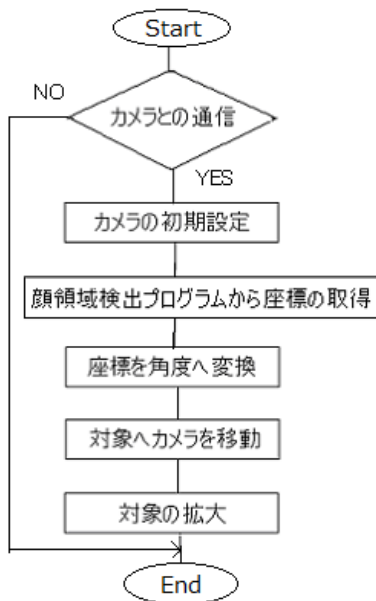


Fig. 6 Flowchart of camera control.

- ③ 顔領域検出プログラムにより, 算出された対象の座標(m, n)を受け取る.
- ④ 算出された座標(m, n), 画像の横の長さM, 画像の縦の長さN, カメラの横の画角 α , カメラの縦の画角 β を角度に変換する式(1), (2)にそれぞれ代入し, 対象の角度を算出する.
- ⑤ この角度を用いてカメラをパン・チルトし, 対象領域の中心にカメラを移動させる.
- ⑥ 移動後, 拡大を行う.
- ⑦ 対象領域を拡大した画像を「視線検出」処理へ渡す.

3.3 視線検出

3.1.1 視線検出方法

このシステムでは利用者への負担・制約を可能な限り減らすため, 頭部を固定せず視線検出を行う. そのため虹彩位置だけを検出しても, 頭部が動くため視線方向を特定する事はできない. したがって頭部の動きを検出する必要がある. 頭部の動きを検出するには顔の特徴点を検出し, その移動量で頭部の動きを検出する. また, この特徴点を用い, 特徴点から虹彩(黒目)までの位置で視線方向を特定できると考えた.

図7は顔を正面から見たときの目の領域を表している. 黒の楕円はそれぞれの目のふちを示している. その内部の黒い領域が黒目となる. 楕円を囲む大きな緑の円は, 目頭から目尻までを半径とした目の領域全体を含む円とする. その左右の円の中心座標を平均した座標を特徴点とする. 図7の(0, 0)の緑の点で示している. また左右の黒目を検出した赤い円の中心座標を平均した座標を赤の点とする. この検出した特徴点から黒目の平均座標までの位置で視線方向を特定する.

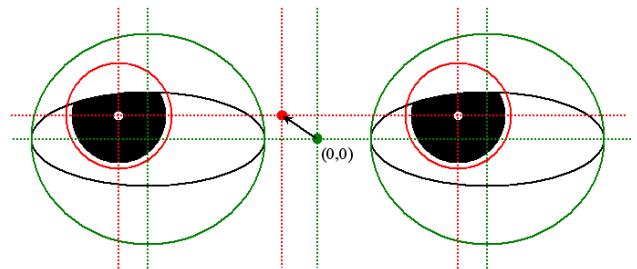


Fig. 7 A method of eye-gaze detection.

3.1.2 視線検出プログラム

このシステムでは2値化領域全体を収縮, 膨張させることで黒目を特定するプログラムを作成し利用した. また頭部の微妙な動きに対応するため, 特徴点を検出し, その特徴点からの左右の黒目の座標を平均した点までの距離で視線方向を特定する. 図8に視線検出のフローチャートを示す.

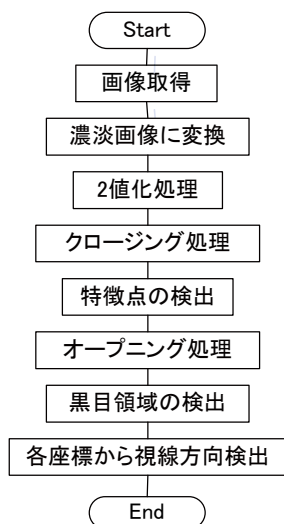


Fig. 8 A flowchart of eye-gaze detection.

入力画像 (図 9) から視線検出を行った結果が図 10 の画像である. なお, 2 つの緑色の大円の中心の特徴点を '+' (緑)印とし, また 2 つの赤色の小円の中心の特徴点を '+' (赤)印で示している. この特徴点からの黒目の平均座標までの座標を次のリモコン制御のプログラムに渡し, 家電製品を注視しているか判断する.



Fig. 9 Input image.

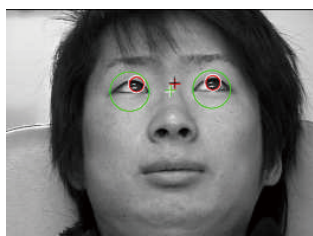


Fig. 10 Result of eye-gaze detection.

3.4 リモコン装置

本研究では, 学習可能なリモコン (学習リモコンと呼ぶ) を使用し, 家電製品に制御信号を送る. この学習リモコンは, 制御対象の家電製品に付属されている赤外線リモコンの信号を学習することができるものを使用する.

現在, 本システムは, 利用者は特定の場所にいることを前提としている. したがって, 図 11 のように予備実験で求めた家電製品に対応する注視領域の座標範囲 (点 (a, c), (a, d), (b, c), (b, d) に囲まれる長方形領域 ($a < x < b$, $c < y < d$)) を設定する. この領域中に検出した視線座標 (x, y) が一定時間あれば対応したリモコン信号を送るプログラムとなっている.

なお, 家電製品を制御するリモコン信号は予め学習し登録しておく. 図 12 に作成したリモコン制御プログラムのフローチャートを記す.

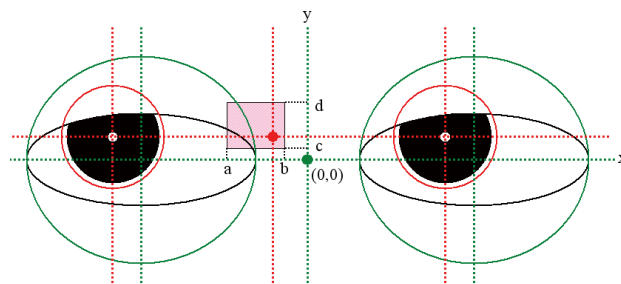


Fig. 11 A control range.

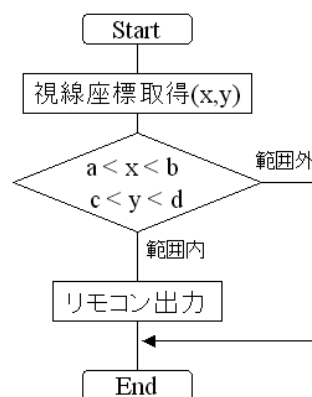


Fig. 12 A flowchart.

また, リモコン制御の条件である注視領域の数を増やすことで, 操作できるリモコン信号の数を増やすことができる.

4. 実験

4.1 実験装置

実験で使用した装置を説明する.

(1) コンピュータ

システムを統括するコンピュータは, CPU : Intel (R) Pentium (R) D 3.20GHz (2CPUs), メモリ : RAM 2GB, OS : Microsoft Windows XP Professional, の性能のものを使用した.

(2) カメラ

カメラは, コンピュータからパン・チルト・ズーム等の制御ができるコミュニケーションカメラ VC-C50i (Canon) を用いて, 対象を撮影し, 視線検出が可能なサイズで顔領域を抽出できるように制御する. カメラとコンピュータの通信は RS-232C を利用している. カメラの仕様を表 1 に, 外観を図 13 に示す¹⁰⁾.

Table 1 Specifications of VC-C50i

項目	内容
実用画素数	有効 63 万画素(実効 34 万画素)
フォーカス範囲	0. 01m \sim ∞ (W)/1. 6m \sim ∞ (T) オート/ マニュアル切替可能
水平画角	42 $^{\circ}$ (W) \sim 1. 7 $^{\circ}$ (T)
パン角度範囲	$\pm 100^{\circ}$
チルト角度範囲	-30 $^{\circ}$ \sim +90 $^{\circ}$
角速度	パン: 1 \sim 90 $^{\circ}$ /秒, チルト: 1 \sim 70 $^{\circ}$ / 秒
赤外カットフィルタ	電動出し入れ(可視光モード/赤外光 モード切替連動)
カスケード制御	9 台

(3) 画像キャプチャボード

画像のキャプチャボードを使用し、VC-C50i で撮影された画像をコンピュータに取り込むために使用する。今回使用したキャプチャボードはリンクス社の PicPort-Color¹¹⁾ である。キャプチャボードの主な特徴は以下に示す通りである。

- ・ 標準カラー (NTSC/PAL), 標準モノクロ (RS170/CCIR) 入力
- ・ 4 台までのコンポジット, または 3 台のコンポジットと S 入力
- ・ 複数カメラの高速切り替え
- ・ Linux, Windows XP/2000 対応 開発用 C ライブラリ
- ・ HALCON (Linx)¹³⁾ とのインタフェース

(4) リモコン装置

リモコン装置は、図 14 に示す学習リモコン KURO-RS (玄人志向)¹²⁾ を使用し、家電製品に制御信号を送る。この学習リモコンは、パソコンの USB インターフェースに接続し、制御対象のリモコン信号を学習することで、パソコンから対象の家電製品を制御することができる。

(5) プログラム開発

Microsoft Visual C++ でシステムのプログラム開発を行う。また顔検出と視線検出の画像処理については画像開発処理ツール HALCON (Linx)^{13), 14)} を利用する。



Fig. 13 VC-C50i.



Fig. 14 Learning Remote Controller.

4.2 実験内容

作成したプログラムを用い、被験者が特定の場所において、対象の家電製品を視線により操作する実験を行った。実際の実験環境が図 15 である。実験では被験者は画像中の椅子に座り、顔を真正面に向けている状態とする。カメラと被験者の距離は約 2. 6 m で、被験者の真正面にカメラを設置する。家電製品としては、リモコンで操作可能なテレビ (TV) を用いる。また、カメラ制御に関するパラメータとして、画像の横の長さ $M=640$ 画素、画像の縦の長さ $N=482$ 画素とし、画角は予備実験によって導出し、横の画角 $\alpha=42^{\circ}$ 、縦の画角 $\beta=30^{\circ}$ であった。

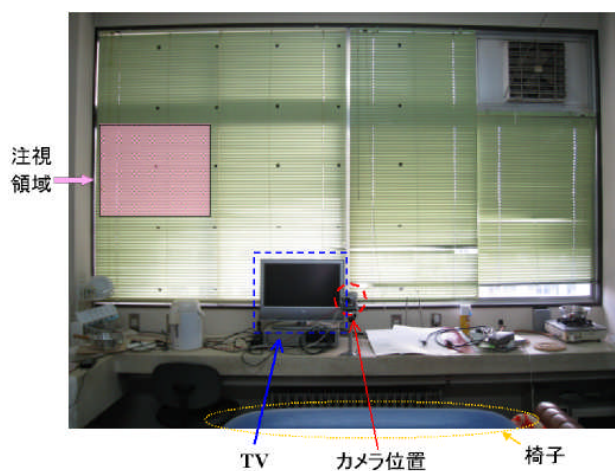


Fig. 15 Experiment environment.

この実験では被験者が椅子に座った状態で、画像中の TV の ON・OFF の操作を行う。しかし、TV は他の家電製品 (エアコンなど) と違い、利用する時にはずっと注視しているものなので、別に ON・OFF に対応する場所を決めておく。その場所は図 15 の画像中の注視領域 (黒枠で示した領域) とし、予備実験から被験者の注視領域における座標範囲を求めておく。実際に予備実験で求めた注視領域における座標範囲は $15.0 < x < 20.0$, $-13.0 < y < -10.0$ であった。この範囲内に一定時間被験者の注視座標があればリモコン制御が行われる。

4.3 実験結果

図 3 のシステム全体のフローチャートの順に処理結果を説明する。まず図 16 がカメラ位置初期化後のカメラ画像である。画像サイズは、 640×482 画素である。図 16 の顔領域検出後の画像が図 17 である。肌色の顔領域が検出されており、重心座標もほぼ顔領域中央に検出されている。その後、カメラ制御 (パン, チルト, ズーム) で拡大した後、視線検出を行った結果画像が図 18 である。画像左上に注視座標が表

示されている。

システムの処理時間は、初期設定（カメラの初期設定、ウィンドウの作成、表示）9.5 秒、顔領域検出 0.01 秒、カメラ制御約 2 秒、一回の画像入力に対する視線検出 0.06~0.08 秒（注視領域に視線検出した座標が一定時間（視線検出 50 回）存在すれば、注視していると判断する）、リモコン制御は 0.01 秒程度であった。

視線検出時のシステムの動作は以下の通りである。

- (1) 視線検出ができなかった場合（瞬きの瞬間を撮影した場合や、顔が動いたことで撮影した画像がぶれてしまう場合、外光の影響で検出できなかった場合など）でも繰り返し視線検出は行われる。
- (2) 被験者が連続で TV の ON・OFF に対応した領域を注視する（検出された注視座標が範囲内である状態が連続する）と、リモコン制御が行われ TV の電源が入る（つまり TV のリモコンの電源ボタンを押した事と同じ）。その後はまた視線検出を繰り返す。
- (3) 被験者が TV を見ている場合や、他の領域を注視している場合、視線検出がされていても、TV の ON・OFF に対応した注視範囲内ではないためリモコン制御は行われず、視線検出を繰り返す。
- (4) 連続して視線検出ができなかった場合（顔を横に向けた場合や、目をずっと閉じた場合、被験者が撮影範囲内から移動してしまった場合など）はプログラムの最初に戻り、カメラの撮影位置は初期化される。

また OFF 動作についても、通常 TV を見ている時は電源の OFF の動作はなく、電源を OFF したい時に、TV の ON・OFF に対応した領域を見ることで、電源が OFF された。これにより、このシステムが正常に動作していることが確認できた。

4.4 考察

実験結果より、被験者の位置に条件はあるものの、対象の家電製品の制御（ON・OFF）を行えることを確認できた。

また、視線検出において、外光の影響で視線検出が不可能な場合があった。これは、外光が明るすぎる場合、画像全体の輝度値が明るくなり、2 値化処理において検出されるべき虹彩や瞼の形状が変化するため、検出されなかったと思われる。また外光が暗すぎる場合、瞼の影が強膜に写り、2 値化処理において、その影が虹彩領域と一緒に検出されることにより、検出領域が大きくなり、黒目と判断されなかったと考えられる。

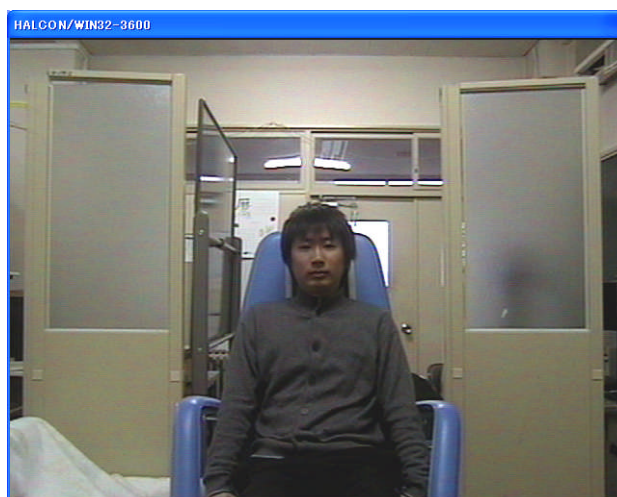


Fig.16 An input image.

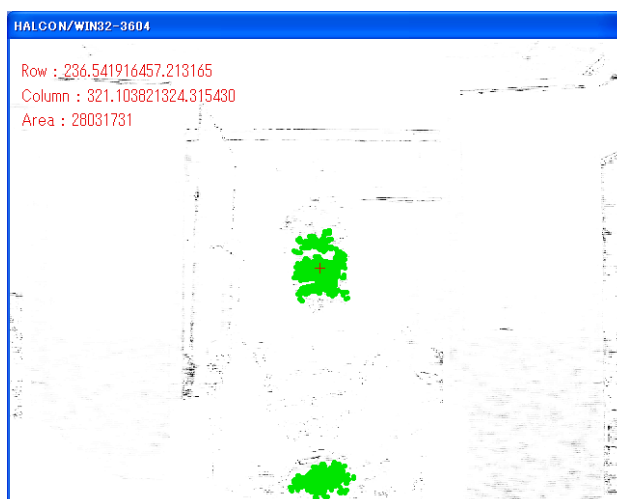


Fig.17 Result of detection of face region.

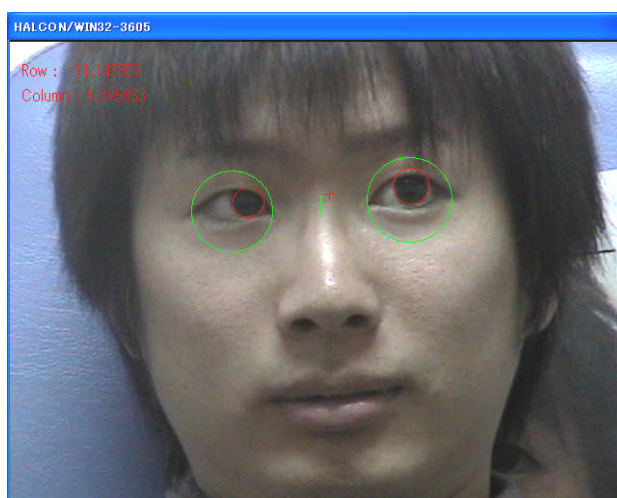


Fig.18 Result of eye-gaze detection.

5. おわりに

本稿では、「顔領域の検出」、「カメラ制御」、「視線検出」、「リモコン制御」の4部分に分けられた、視線インタフェースを用いた家電製品の制御システムについて検討を行うことを目的とした。

「顔領域の検出」においては、色分布関数、類似度マップにより肌色情報を取得し、顔領域を検出した。その結果より「カメラ制御」で、画像とカメラパラメータの関係を求め、本研究で用いているカメラの制御に合わせた、各パラメータを求めた。

「視線検出」においては、画像処理で視線を検出する場合、頭部を固定しない自由状態で視線検出を行えるよう、頭部の動きに対応する特徴点を検出した。そして、その特徴点から虹彩領域の距離で視線を検出する方法を試みた。「リモコン制御」においては制御条件について検討し、本システムを構成した。次に、家電製品としてテレビを用い、システムの動作実験を行った。実験の結果、利用者の位置に条件はあるものの、対象の家電製品の操作(電源ON・OFF)を行えることを確認した。

今後の課題として、視線検出精度の向上が上げられる。また、利用者の位置が大きく変わっても家電製品を制御できるように、カメラから利用者の位置を検出する方法の検討が必要である。

参考文献

- 1) 田中幹也, 岩佐裕治, 水上嘉樹: 四肢障害者用コミュニケーションシステム, 第46回自動制御連合講演会, (2003)1144.
- 2) 阿部清彦, 佐藤寛修, 大山実, 大井尚一: 視線による重度肢体不自由者向けコンピュータ操作支援システム, 映像情報メディア学会誌, 60, 12 (2006) 1971-1979.
- 3) 株式会社ナックイメージテクノロジー: EMR-AT VOXER, http://www.eyemark.jp/product/emr_at/index.html (2008) .
- 4) 大野健彦: 視線を用いたインタフェース, 情報処理, 44, 7 (2003).
- 5) 阿部清彦, 大山実, 大井尚一: 自然光下における画像解析を用いた多指標視線入力システム, 映像情報メディア学会誌, 58, 11 (2004) 1656-1664.
- 6) 青木星也他: 視線を用いたコミュニケーションシステムの構築—顔領域の抽出—, 平成20年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集(2008)425.
- 7) 黒崎正裕他: 視線を用いたコミュニケーションシステムの構築—非接触方式による視線検出—, 平成20年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集(2008)426.
- 8) 井上浩行他: 視線を利用した環境制御装置の開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス'07 講演論文集 (2007) .
- 9) 井上浩行他: 視線を利用した生活支援インタフェースに関する研究, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス'06 講演論文集 1P1-A16 (2006) .
- 10) Canon: 製品ラインナップ VC-C50i 製品仕様, <http://cweb.Canon.jp/webview/lineup/vcc50i/spec.html> (2010) .
- 11) 株式会社リンクス: PicPort-Color 性能, http://www.linx.jp/product/image_board/picport_color/index.html (2010) .
- 12) 玄人志向: KURO-RS, <http://www.kuroutoshikou.com/modules/display/?iid=928> (2010) .
- 13) 株式会社リンクス: 画像処理ソフトウェア HALCON マシンビジョン構築ツール, <http://www.linx.jp/product/halcon/index.html> (2008) .
- 14) 株式会社リンクス画像システム事業部: HALCON 活用法, 株式会社リンクス出版事業部 (2004) .