

# 感性入力デバイスを用いた視点追跡型遠隔教示システム

## Remote Teaching System of Viewpoint Tracking by Using Kansei Input Device

李 猛 前田 陽一郎 高橋 泰岳  
Meng Li Yoichiro Maeda Yasutake Takahashi

福井大学大学院 工学研究科  
Graduate School of Engineering, University of Fukui

**Abstract:** Since a gaze input interface does not need the movement of those other than an eyeball, even a physically handicapped person can also use it, and a various gaze input devices are proposed in these days. Moreover, the complicated equipment which combined the head mounted display (HMD) which is the graphic display device widely used in the field of VR, and a viewpoint measuring device is also developed. In this research, we try to use a smart tablet as a compact Kansei input device which realizes simultaneously the function of both man's viewpoint measuring device and an environmental display (HMD). This does not need complicated and special hardware but it builds a cheap and simple instruction system. Based on a mobile robot's visual information, the remote teaching system of the mobile robot by the viewpoint and the head angle is proposed by using this equipment.

### 1 はじめに

近年、人間共生システム研究 [1,2] において、視線のような非言語情報に基づく教示システムの研究が盛んになってきている。例えば、Li ら [3] は特徴とモデルに基づいた統合アルゴリズム (スターバースト) を適用して、赤外線ビデオカメラを用いた安価なヘッドマウント視線追跡システムを構築した。

また、バーチャルリアリティ (VR) の分野で広く用いられている映像表示装置であるヘッドマウンドディスプレイ (HMD) とモーショントラッキングを同時に利用した装置も開発されている [4]。これらの研究は、トラッキング技術が向上したことと HMD が安価でコンパクト化されたため可能になったと考えられる。

本研究では、人間の視点計測装置と環境表示装置 (HMD) の両方の機能を同時に実現する感性入力デバイスとしてスマートタブレットを利用することを試みる。これにより、複雑で特殊なハードウェアを必要とせず、安価で、デバイスソフトウェアのみによりシステムを構築することができるという特徴がある。実際に iPhone を用いて小型ロボットを遠隔操作するための基礎となる視点追跡実験を行ったので、この結果についても報告する。

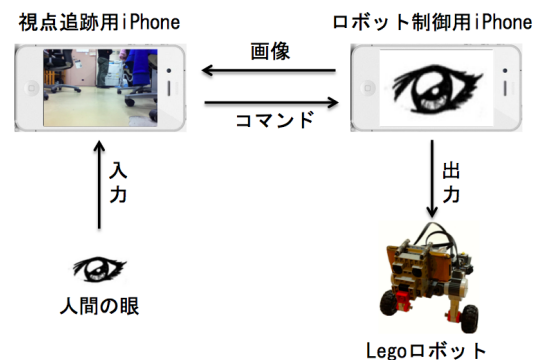


図 1: 視点追跡型遠隔教示システム構成

### 2 視点追跡型遠隔教示システム

本研究では、図 1 のようにロボット制御用 iPhone (今回は iPodTouch を用いた) を Lego ロボットに設置し、リアカメラの画像を視点追跡用 iPhone に送信する。視点追跡用 iPhone のディスプレイを HMD として利用し、ユーザーは受信した画像を見ながらフロントカメラで眼の動きを検出して、視点追跡を行う。また、ロボット制御用 iPhone は、視点追跡用 iPhone から受信した教示コマンドにより、Lego ロボットを制御する。

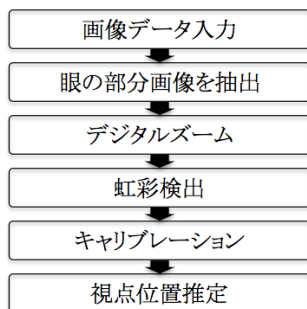


図 2: 視点追跡アルゴリズムフロー



図 3: デジタルズーム前の原画像

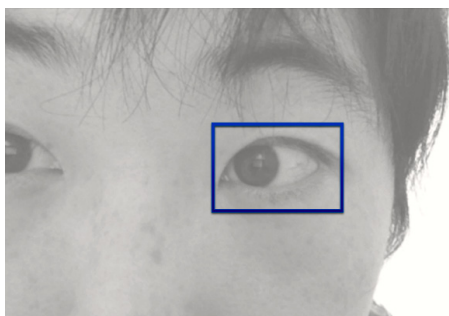


図 4: 眼の特徴量で判定した画像



図 5: 眼を抽出してデジタルズームで拡大した画像

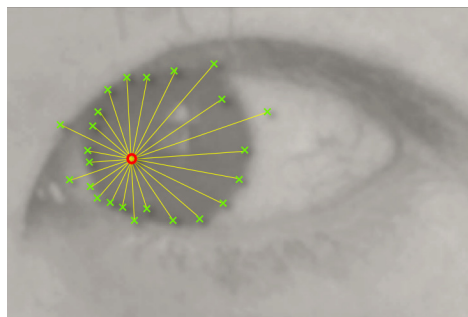


図 6: スターバーストアルゴリズムにより眼の画像

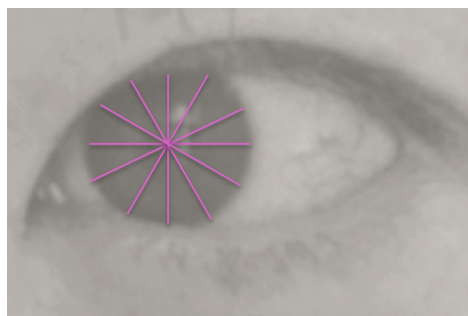


図 7: 虹彩検出 (交差点は虹彩中心位置)

### 3 視点追跡アルゴリズム

視線入力装置の研究は歴史が長く、赤外線照明を用いた視点追跡法を利用しているものが多いが、高精度かつ高信頼の計測が可能である。しかし、赤外線照明を利用すると、LED と装置の改造が必要であり、一般にシステムが複雑で高価なものになる。そこで、本研究では視点追跡手法として、Li ら [5] の可視スペクトルに基づいたスターバーストアルゴリズムによる、デジタルズームアルゴリズムを利用し、検出精度を高めることを考える。

以下では画像処理による虹彩検出により視点追跡を行う手法について説明する。図 2 に本研究の視点追跡アルゴリズムフローを示す。人間が装置のディスプレイを焦点を合わせて見るため、眼と画面の距離は 7 センチから 12 センチまでの間に設定している。しかし、この環境では画面に対する眼の大きさが小さくなり(図

3)、検出しにくくなる上、視点計測精度が低くなる。この問題を解決するために、本研究ではデジタルズームアルゴリズム [6] を用いた。

まず、虹彩を検出する前に、図 4 のように眼を特徴量で判定し、判定された眼の画像を抽出する。特徴量の判定は OpenCV で提供されるカスケード "haarcascade\_eye" [7] を用いて行っている。そして、抽出した画像をデジタルズームで拡大する(図 5)。ここでは拡大率を 5 倍に設定している。この結果、虹彩の位置座標の範囲も 5 倍になり、視点追跡の精度を保障することができる。

虹彩検出については、まず、カメラからデジタルズーム後の画像データを受け取り(図 5)、この画像をスターバーストアルゴリズムにより、画像の黒い点の集合の中から、一つの点をランダムに選んで、この点から星状拡散線を作る。この線によって、虹彩のエッジを検索できる(図 6)。

そして、線で決めた点の虹彩位置  $(x, y)$  で、式 (1)

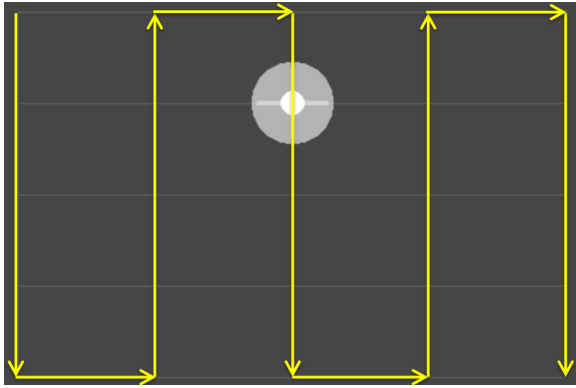


図 8: 視点位置の多点キャリブレーション  
(キャリブレーション画面。白い点は計測中の位置)

表 1: 本研究で用いた教示用デバイスのスペック

機種	iPhone4S
CPU	デュアルコア A5
ディスプレイ	3.5 インチ IPS 液晶 960 x 640
フロントカメラ	30 万画素
リアカメラ	800 万画素
通信機能	Bluetooth 4.0;Wi-Fi 802.11b/g/n

の  $a, b, c, d, e, f$  のパラメータをリアルタイムで計算することにより、楕円近似を行ない (距離が遠い点を無視する) 式 (2) を用いて、虹彩の中心座標  $(x_c, y_c)$  を算出する (図 7)。

$$ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0 \quad (1)$$

$$x_c = \frac{2cd - be}{b^2 - 4ac} \quad y_c = \frac{2ae - bd}{b^2 - 4ac} \quad (2)$$

虹彩中心座標に基づいて、ユーザーが図 8 で表示した画面で指示された縦線と横線の交差 25 視点を矢印の方向どおりに注視していくことで、視点位置の多点キャリブレーションができる。iPhoneAccelerate.framework (数学関数を提供するフレームワーク) により iPhone に対する行列計算が最適化されたため、精度を高めることができる。

ここでは式 (3)、(4) の三次方程式を用いて、パラメータ 10 個を設定し、視点を計算した。 $(x_i, y_i)$  は虹彩中心座標で、 $(X_i, Y_i)$  は指示された視点位置座標である ( $i = 1, 2, \dots, 25$ )。キャリブレーション時の 25 視点に対する  $i = 1 \sim 25$  の 25 式を作成し、 $(X_i, Y_i)$  の各パラメータ  $A, B, C, D, E, F, G, H, I, J$  を求めて、係数を式 (3)、(4) に代入する。この式 (3)、(4) を用いて、虹彩位置  $(x_i, y_i)$  の座標から、視点位置  $(X_i, Y_i)$  を推定できる。

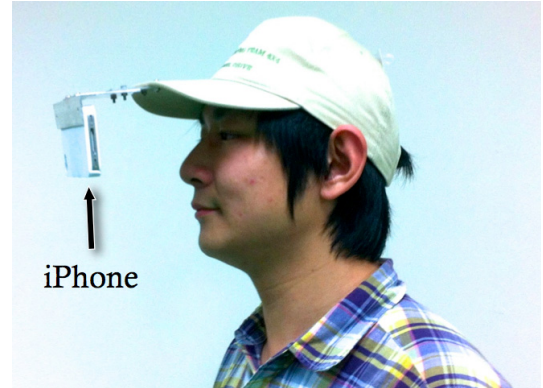


図 9: 教示用デバイスを固定したハードウェアの外観

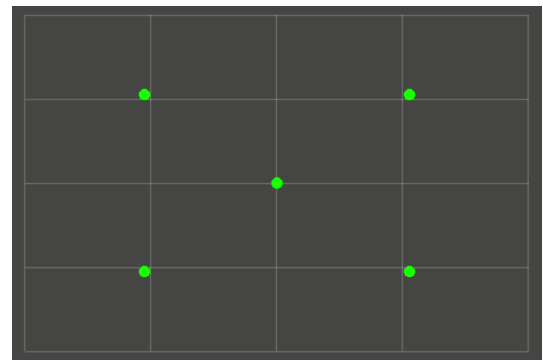


図 10: 参照点の表示  
(図中の丸が参照点)

$$A_x x_i + B_x x_i^2 + C_x x_i^3 + D_x y_i + E_x y_i^2 + F_x y_i^3 + G_x x_i^2 y_i + H_x y_i^2 x_i + I_x x_i y_i + J_x = X_i \quad (3)$$

$$A_y x_i + B_y x_i^2 + C_y x_i^3 + D_y y_i + E_y y_i^2 + F_y y_i^3 + G_y x_i^2 y_i + H_y y_i^2 x_i + I_y x_i y_i + J_y = Y_i \quad (4)$$

## 4 視点追跡実験

前章で述べた手法を用いて提案したデバイスの水平および垂直方向の視点指示性能を評価するために、被験者による視点追跡実験を行なった。ここでは視点位置を推定し、参照点座標との平均誤差により視線計測の性能を評価する。

### 4.1 実験条件

実験環境として、ソフトウェアでは XcodeOnIOS 上で OpenFrameworks を用いて視点追跡システムを開発した。ハードウェアは、表 1 の仕様のような iPhone[8] を用いて、眼からの距離を一定に保つために、デバイスを図 9 のように帽子に固定して実験した。

表 2: 実験の平均誤差と偏差の値

被験者	二乗平均誤差	偏差
1	28.98(5.02%)	11.49
2	32.54(5.64%)	15.14
3	29.89(5.18%)	16.26
4	18.57(3.22%)	11.18
5	20.35(3.53%)	18.89

また、安定な状態を維持しやすい姿勢を選び、明るい屋内で実験を行なった。被験者は20代の男性4名と女性1名に対して行なった。視点追跡実験は眼への負担が大きいため、被験者は10分間実験をしたら、10分間休憩してもらった。システムの性能を評価するため、ディスプレイ上に図10のように参照点を表示し、5つの参照点のそれぞれの点に対して、1回注視したら、座標を10回取得して、次の点を注視するという計測を5回繰り返し、1つの点につき50回計測した。実験終了後にこれらの点を見る際の実際の視点との平均誤差と偏差を計算した。

## 4.2 実験結果

被験者5名の実験での誤差と偏差を表2と図11に示す。全体のピクセル総数から算出した結果、いずれも誤差が大きくても10%以下であった。誤差が最大と最小であった被験者2と被験者4の最も注目される違いは、眼の大きさであった。つまり、眼が大きい方(被験者4)が虹彩を検出しやすかった。そして、一番誤差が低かった参照点は中心点であり、誤差が高かった点は注視時における眼がほぼ半閉の状態、検出が困難であった下部の2つの参照点であった。

## 5 結言

本研究では、視点計測装置と環境表示装置(HMD)の両方の機能を1台でもつ安価でコンパクトな感性入力デバイスを構築することを提案した。iPhoneのディスプレイとフロントカメラを用いて、虹彩を検出し、視点追跡システムを構築した。また、このシステムの性能評価のために、視点計測実験を行なった。

今回の実験により、視点検出装置としてiPhoneのフロントカメラを使用可能なことを確認できた。しかしながら、虹彩検出が安定していない、環境光線の明るさや人間の眼の大きさなどの影響を受ける、帽子に固定した装置は揺れやすい、などの問題も明らかになった。特にスターバーストアルゴリズムは赤外線照明に基づいた瞳検出に向けたアルゴリズムであり、形が変

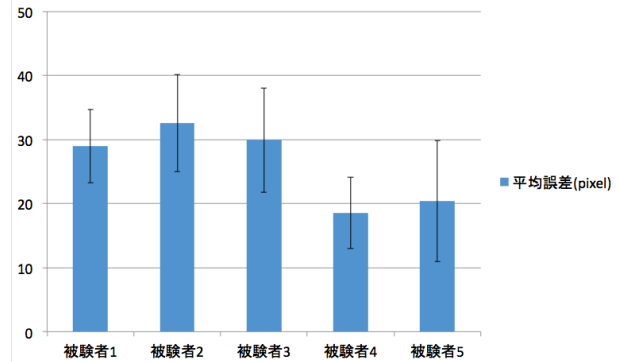


図 11: 実験の平均誤差と偏差のグラフ

化する虹彩の検出には安定性においてやや問題があることもわかった。

今後は虹彩検出アルゴリズムと装置の固定方法を改良し、HMDの機能を並用して、視線のみによる移動体の操作実験を行うことを予定している。

## 参考文献

- [1] 特集「人間共生システム」, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.21, No.5 (2009)
- [2] 特集「ヒトと関わり合う知的システム」, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.24, No.5 (2012)
- [3] D.Li, D.Winfield, D.J.Parkhurst, Starburst: A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches, *Proceedings of the IEEE Vision for Human-Computer Interaction Workshop at CVPR*, pp.1-8 (2005)
- [4] H.Miyashita, M.Hayashi, K.Okada, A Method of FOV Movement with Motions of Head and Eyes for Binocular HMD, *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan 14(2)*, pp.177-184 (2009)
- [5] D.Li, D.J.Parkhurst, Open-source software for real-time visible-spectrum eye tracking, *Proceedings of the COGAIN Conference*, pp.18-20 (2006)
- [6] J.G.Wang, E.Sung, R.Venkateswarlu, Eye gaze estimation from a single image of one eye, *Computer Vision*, Vol.1, pp.136-143 (2003)
- [7] HAARcascade for eyes, [http://www-personal.umich.edu/shameem/haarcascade\\_eye.html](http://www-personal.umich.edu/shameem/haarcascade_eye.html)
- [8] アップル iPhone4S 技術仕様, <http://www.apple.com/jp/iphone/specs.html>