

B1-3 視線追跡が可能なヘッドマウントディスプレイ による人間の教示認識

福井大学 工学部 知能システム工学科 進化ロボット研究室
嶋田 健二 (指導教員：前田 陽一郎、高橋泰岳)

1. 緒言

近年、バーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) やウェアラブルコンピュータ (Wearable Computer) に関する様々な研究がなされており、その中でもモーショントラッキングとヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) を同時に利用したものが増えている。これはトラッキング技術が向上したことで HMD が安価で軽量化されたためと考えられる。筆者らは人間の視線を計測し、指示デバイスを用いることなく、移動体の制御を行うことを研究の目的としている。複雑な環境において、より直感的な操作を行うことで、習熟をあまり必要としない操作支援システムを構築することができる。

例えば、安川電機 [1] や横小路ら [2] の研究では視線を用いてロボットの教示を行っている。これら二つの研究では、視点のみで動かすことのできるシステムを構築しているが、自分の視点のみに限定されていたり、注視点の検出を正確に行っているわけではない、などの問題がある。

そこで本研究では、安価で簡単に製作することのできる視線検出装置である EyeWriter [3] と搭載カメラを用いて、ロボットの操縦支援を行う。本実験では、EyeWriter を用いて視点追跡による教示認識を行ったので、その結果について報告する。

2. 視点追跡の計測原理

本研究の手法では、赤外線 LED を眼球に照射し、眼球周辺の光量の増加を行い、右眼で視点の検出を行う。また、もう片方の左眼では HMD を見る。本研究では赤外線 LED を利用して、HMD の可視性を向上させている。なお、HMD を用いるのは、瞳孔位置と視点位置のキャリブレーションを据え置き型のディスプレイを用いて行った場合、頭を動かすことによりディスプレイの距離が変化してしまい、瞳孔位置と視点位置のキャリブレーションがずれてしまうためである。

瞳孔位置の推定は以下のような手順で行なっている。

- Step.1 USB カメラで画像を取得する。
- Step.2 コントラストやガウスフィルタのガウス値、彩度、しきい値を変化させて二値化を行う。
- Step.3 瞳孔位置と思われる楕円を抜き出す。
- Step.4 抜き出した楕円を二次曲線方程式を用いた楕円近似の算出を行い、瞳孔位置を推定する。
- Step.5 推定された瞳孔位置と視点位置の多点キャリブレーションを行うことで、視点位置を推定する。

このシステムは、人の眼が左右同時に動くことを利用しているため、右眼で視点位置の推定を行った結果を左眼の HMD に反映させるシステムとなっている。

3. 視線計測可能な HMD の製作

今回製作したハードウェアの外観を図 1(a) に示す。また、その装置を用いて実験を行っている様子を図 1(b) に示す。本実験で瞳孔検出のために使用した USB カメラは 640×320 の画像を 60fps で獲得する。そのため、人間の眼球運動におけるサッカードにも対応している。また、本研究では視線検出は右眼で行い、左眼で単眼式 HMD の画像を見ることができるよう製作した。

今回利用した EyeWriter では C++ で記述されたオープンソースのツールキットである openFrameworks を使用している。本研究では、MAC で開発環境を整え、公開されている EyeWriter のプログラムを改良した。EyeWriter は製作当時と現在ではライブラリのバージョンが異なるため互換性の問題があるが、ライブラリの名前を変えるだけで、基本的な注視点検出用ソフトウェアとして動作させることができる。



(a) 製作した装置

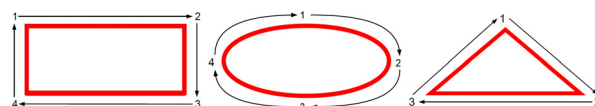


(b) 実験の様子

図 1: 製作した実験装置の外観と装着時の風景

4. 視線追跡実験

2 章で述べた楕円の中心座標と視点位置のキャリブレーションによって推定された視点位置を用いて、HMD に図 2(a),(b),(c) を表示して、被験者に時計回りに 5 周注視してもらい、その時の注視点の軌跡を記録した。また、このときに多角形の角の部分の点と楕円の数点を選り、その座標位置から注視点マーカーの距離を測ることで、誤差を算出した。視線追跡実験の視線の軌跡を図 3 に示す。また、被験者 6 人に実験してもらったときの誤差の平均と各被験者の二乗平均誤差と偏差をそれぞれ表 1 と図 4 に示す。被験者にとって HMD は使い慣れない装置ではあるが、比較的誤差が小さい結果になったと考えられる。

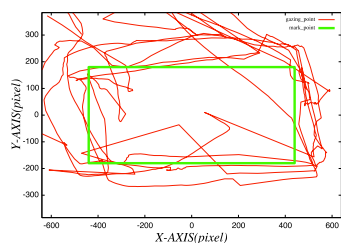


(a) 長方形

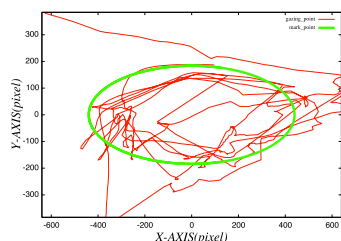
(b) 楕円

(c) 三角形

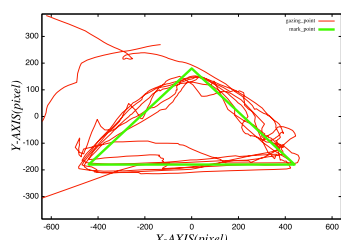
図 2: 実験用視点追跡軌道 (テスト画像)



(a) 長方形



(b) 楕円



(c) 三角形

図 3: 視点追跡結果

表 1: 視点追跡実験における平均誤差 (pixel)

	二乗平均誤差	標準偏差
四角形	± 18.82	8.42
楕円	± 20.77	9.29
三角形	± 11.78	5.27

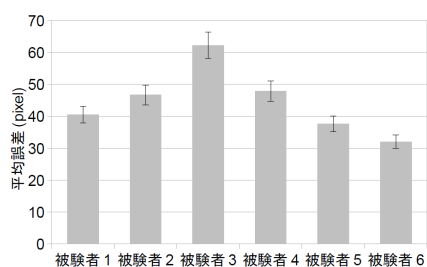


図 4: 各被験者の平均誤差と偏差

5. 教示認識実験

教示認識実験として、HMD に画像を表示してその画像の中に四角の 180×180 pixel サイズの教示用マーカーを表示して、被験者が画像中のどこを教示しようとさせているのかを調べる実験を行なった。なお、今回は被験者が画面 (図 5) の一部を注視し続けることで、その部分を教示させたいという意図があると仮定して実験を行った。そのために、現在の視点位置を 1 秒ご

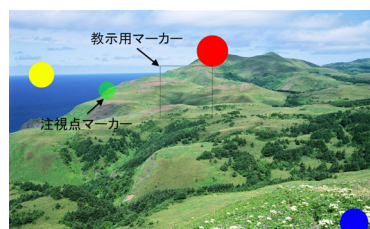


図 5: 教示認識実験に用いた表示画像



(a) 注視点 1(赤) (b) 注視点 2(青) (c) 注視点 3(黄)

図 6: 教示認識実験の成功例

とに検出し、視点位置が中心座標になるように教示用マーカーを動かした。その後、教示用マーカー (透明の四角から注視点マーカーが中にある時のみ赤四角に時間経過により変化) から注視点マーカー (緑丸) が出ないように動き、2 秒経っても教示用マーカーから注視点マーカーが出ない時のみ教示したと仮定することとした。

このときに、教示用マーカーと視点位置の中心座標、画像情報の三つを取得するようにした。しかし、画像取得を配列によるプログラムで行なっているため、処理に時間がかかることもあり、遅れ時間のため取得した画像が教示していたところから少し外れてしまう傾向が見られた。実験において教示が成功した画像情報の一例を図 6 に示す。なお、今回は注視目標として図 5 の赤丸、青丸、黄色丸の三箇所を注視してもらった。

6. 結 言

本研究では、視線計測が可能な HMD 装置を製作し、視点追跡と教示認識実験を行った。本装置は今回初めての試作であったが、視点追跡および教示認識ともに当初の目標はクリアできた。HMD を用いているため、近視の人や裸眼の人でも画面が見やすく、今後アミューズメントシステムへの移行も可能であると考えられる。

しかしながら、キャリブレーションの後に実験装置が自重によって、ずれてしまうことにより視点の推定位置が変化してしまい、被験者の意図しない動作を行うこともあった。ハードウェアの不具合については、今後適宜改良を行なっていく予定である。

参考文献

- [1] 安川電機, “透過型視線検出装置及び移動型ロボットシステム,” <http://www.ekouhou.net/dis-p-A> (2008)
- [2] 横小路 泰義, 北岡 佑輝, 吉川 恒夫, “動作者の視点からのカメラ画像によるモーションキャプチャとロボット作業教示への応用,” 情報処理学会論文誌, pp.105-115 (2002)
- [3] Graffiti Research Lab, Tempt1, “The EyeWriter,” <http://www.eyewriter.org/> (2009)