

身体的インタラクション解析のための Eye-Tracking 液晶ペンタブレットの開発

吉田 圭介† 佐藤 広志‡ 山本 倫也† 長松 隆†† 渡辺 富夫‡‡

† 関西学院大学理工学部 ‡ 関西学院大学大学院理工学研究科 †† 神戸大学大学院海事科学研究科
‡‡ 岡山県立大学情報工学部

1 はじめに

近年、ペンタブレットやタッチパネルなど、直感的に情報機器を操作できるユーザインタフェースが普及してきたが、今後はより直感的なインタフェースとして、人のインタラクション特性に基づくシステムが求められる。著者らは、タッチと視線インタラクションに着目し、1点キャリブレーションで済む眼球の光軸中心回転体モデルを用いた Eye-Tracking 液晶ペンタブレットを開発してきた [1]。本研究では、本格的な身体的インタラクション解析を行うために、新たに瞳孔検出手法を開発し、動的な視線計測の評価を行った。

2 Eye-Tracking 液晶ペンタブレット

開発中のシステムを図 1 に示す。液晶ペンタブレット (Wacom 社 DTL-520)、視線計測のために赤外線 LED と赤外線フィルタを装着したデジタルモノクロカメラ (POINT GREY 社 FFMV-03 MTM) を組み合わせた光源一体型カメラ 2 台と、処理用 PC (HP 社 xw4600 Workstation) を用いている。

本システムでは、カメラのレンズ中心から赤外線 LED を照射し、瞳孔中心と角膜表面で反射してできるブルキニエ像の位置を求め、眼球の光軸中心回転体モデルを用いて高精度に視軸を推定している。しかし、こ



図 1: Eye-Tracking 液晶ペンタブレット

Development of an Eye-Tracking Pen Display for analyzing embodied interaction

†Keisuke YOSHIDA ‡Hiroshi SATO †Michiya YAMAMOTO ††Takashi NAGAMATSU ‡‡Tomio WATANABE

†School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

‡Graduate School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

††Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

‡‡Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Okayama Prefectural University

で用いている明瞳孔法 (瞳孔が明るい状態で瞳孔検出手法, 図 2) では、画像処理による瞳孔検出が安定せず、インタラクション解析が困難な場合があった (図 3)。一方で、1 個の LED をレンズの周囲に配置した暗瞳孔法 (瞳孔が暗い状態を検出手法, 図 4) は、画像処理は安定するものの、光源の位置が異なり誤差が生じるため、新たな瞳孔検出手法が必要となる。



図 2: 明瞳孔法 図 3: 抽出失敗例 図 4: 暗瞳孔法

3 瞳孔検出手法

本研究では、レンズの周囲に複数の LED を配置した光源一体型カメラを開発し (図 1 左下部)、光源 2 個もしくは、光源 3 個の重心を用いることで、仮想的にレンズ中心からの光とした。これらの赤外線 LED は、Arduino[2] を用いて制御している。

この手法を評価するために暗瞳孔法の光源 1 個、同 2 個、同 3 個、明瞳孔法の比較実験を行った。まず、LED を点灯し、実験協力者の頭部をあご台に固定、液晶ペンタブレットに表示した十字マーカを 1 度だけ注視させ、光軸と視軸の個人キャリブレーションを行った。次にディスプレイの左下から順に表示する十字マーカを合計 14 点を注視させた。これを、LED 1 個、2 個、3 個、明瞳孔法の 4 パターン全てにおいて計測を行った。ただし、フォトトランジスタで計測することにより、全てのパターンにおいて、LED の総光量は一定とした。実験協力者は、20 代の裸眼男性 5 名であった。

比較実験の結果を図 5 に示す。この平均誤差に一元配置分散分析を行った結果、明瞳孔と LED 2 個、3 個では有意差が見られなかった (図 6)。よって、本研究では LED 2 個を用いることとした。

なお、Intel Core 2 Duo 3.0 GHz を搭載した PC でのシステムの処理速度は 9.1fps で、実際の動きからカメラに取り込まれ、視線が測定されるまでの処理遅れは 7/30 frame であった。

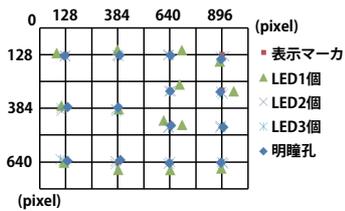


図 5: 実験結果

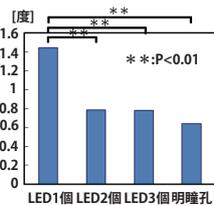


図 6: 分析結果

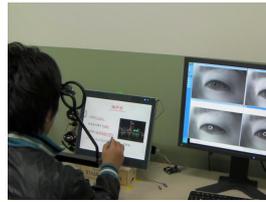


図 8: 実験風景



図 9: スライドと視線座標

4 動的な視線計測の精度評価

暗瞳孔手法の導入により計測が安定したので、移動マーカーを視線で追従する実験を行った。マーカーの速度は、人が下線を引く速度の一例の 284 pixel/s とした [3]。これはサケードが生じない速度である。また、マーカーは、5本の横線（128 pixel から 896 pixel の間）を引くように動かすパターンと Z 字型を描くように移動させるパターンの 2 種類を行った。

この結果、横線の実験における平均誤差は 42.9 pixel (12.4 mm)、Z 字型の実験の平均誤差は平均 48.1 pixel (14.3 mm) であった。図 7 はこれらの結果の一例で、移動マーカーに追従している様子が確認できる。

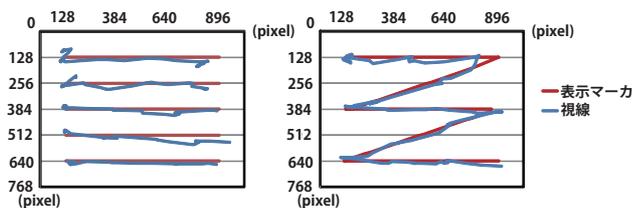


図 7: 追従実験結果

5 身体的インタラクションの解析

実際に身体的インタラクションを解析する例として、プレゼンテーションを想定した解析実験を行った (図 8)。実験では、まず液晶ペンタブレットを使用して線を引く動作の練習を約 30 分行わせ、十分に使い慣れた状態にさせた。次に、液晶ペンタブレットにスライドを表示して、スライド上の赤文字に下線を引かせ、そのときの視線座標とペン座標を記録した (図 9)。実験協力者は、20 代の裸眼男性 3 名であった。

解析例として、記録した結果から下線引きのタイミングを解析した。1 人目の実験協力者の場合、線の引き始めに対して平均 1.20 秒視線移動が先行しており、引き終わりは平均 0.64 秒先行していることがわかった (図 10 左)。また 2 人目は、引き始めで平均 0.69 秒視線が先行しており、引き終わりで平均 0.07 秒視線が遅れた (図 10 右)。3 人目も同様で、個人差はあるが、線

引き動作の際に文字の先を見て引き、引き終わりの視線とペン引きの時間が近くなるという傾向があることがわかり、解析システムとして有効性を示した。

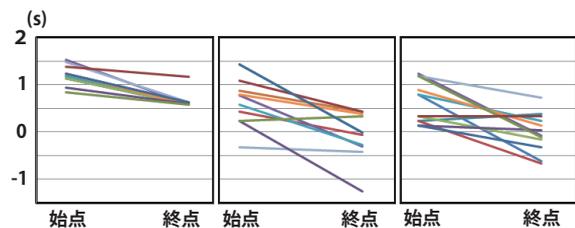


図 10: 線引きタイミングと視線移動の関係

6 おわりに

本論文では、これまで開発を進めてきた Eye-Tracking 液晶ペンタブレットの瞳孔検出手法を見直すことで、身体的インタラクションを解析できるプロトタイプを開発しシステムの有効性を示した。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金特定領域研究「情報爆発時代に向けた新しい IT 基盤技術の研究」における公募研究「一体感が実感できる身体的コミュニケーションインタフェース」の支援による。

参考文献

- [1] M. Yamamoto, T. Nagamatsu, T. Watanabe: Development of Eye-Tracking Pen Display Based on Stereo Bright Pupil Technique Proceedings of ETRA 2010: ACM Symposium on Eye-Tracking Research Applications, pp. 165-168, (2010).
- [2] Arduino: <http://www.arduino.cc/>
- [3] 岡田 知之, 渡辺 富夫, 山本 倫也: 下線引きを伴うプレゼンテーションの身体化における発話音声と書き込み動作タイミングの計測: 第 10 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 1937-1938, (2009).