

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：12612
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2013～2015
課題番号：25330189
研究課題名(和文) 携帯デバイス操作のための視線インタフェース

研究課題名(英文) Gaze Interface for Mobile Device Operation

研究代表者
高橋 裕樹 (Takahashi, Hiroki)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・准教授

研究者番号：80262286
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、タブレット型コンピュータを想定した携帯デバイスのための視線インタフェースを検討した。(1) 携帯端末に付属した単眼カメラでユーザの顔を撮影した画像から視線を計測し、水平方向は比較的正確に視線が計測できたが、鉛直方向は眉毛や瞼の影響で誤差が生じやすいという問題も明らかになった。(2) 計測精度に頑健なアイコン選択を可能にするために注視範囲の分布に基づいた選択方法を提案した。(3) 注視位置変化に基づいた視線ジェスチャによる操作について検討を行い、個人差は大きかったが、従来よりも精度を向上することができた。

研究成果の概要(英文)：This research develops a Gaze Interface for Mobile Devices Operation. (1) Eye gaze vectors are acquired with a single camera attached on a table PC. Although eye gaze vectors in the vertical direction sometimes include errors caused by an eyebrow or an eyelid, those in the horizontal direction are relatively measured correctly. (2) A gaze point is regarded to spread spatially and temporally. An icon selection method based on the distributions of gaze points in spatially and temporally is proposed. Target selections are succeeded extremely about 45% to 85%. (3) A gaze gesture classification method using HMM(Hidden Markov Model) that is capable to be used in low-end gaze tracking devices. Although the gesture classification performance strongly depends on users, it improves performance comparing with a rule-base classification method.

研究分野：総合領域

キーワード：視線計測 視線ジェスチャ サッカード 視線尤度 HMM(Hidden Markov Model)

1. 研究開始当初の背景

電話、インターネット、電子書籍など、異なるデバイスが扱っていた情報を扱うことが可能なデバイスとしてスマートフォンやタブレット型端末などの携帯デバイスが注目されている。しかし、情報端末の普及にともない利用者層が拡大することで、必ずしも誰もが十分に操作できるとは限らない。また、携帯デバイスの利用形態も多様であり、例えば、電車で立っている状態では、片方の手で吊革を掴み、もう一方の手で携帯デバイスを支えるというような場合も生じる。このような問題を解決する一つの手段として、視線を用いたインタフェースが期待されている[1]。視線操作はコマンド型インタフェースと非コマンド型インタフェースに大別される[2]。コマンド型インタフェースは、利用者が意図的に視線を使い、コマンドなどの選択を行う方式である。非コマンド型インタフェースは、視線の動きから利用者の興味や意図を推測するものである。

視線操作を行うためには、まず、利用者の眼球運動の計測が必要になる。眼球運動計測手法の検討は古く、1826年のMullerによる眼球の反対回旋運動の測定が始まりとされている[3]。眼球運動計測手法には、大別して接触型と非接触型がある[4]。接触型眼球運動計測手法は高精度の計測が可能であるが、人体への負荷が非常に大きいと言う問題がある。非接触型眼球運動計測手法には、強膜反射法、角膜反射法、虹彩の隔たりから視線を計測する画像処理を用いた方法がある。角膜反射法は近赤外光を用意する必要があるが、視野角0.5~1度程度の誤差で計測可能である。可視光を用いた画像処理による視線検出手法は、人体への負荷がなく、可視光カメラを用意するだけで良いため、様々な用途に利用可能であるが、視野角3~5度程度の誤差が生じる。

視線入力インタフェースの実現においては、ユーザがターゲットを注視する場合、選択動作であるのか単に注視しているのかの区別が困難となる。特に、視線を向けただけで意図していないターゲットが選択されてしまう“Midas Touch Problem”の問題[5]が発生する。この問題を解決するためには、ユーザが対象を注視する動作を、情報の認知段階、選択段階、操作段階に識別し、ユーザの意図に応じた操作を行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、タブレット型コンピュータを想定した携帯デバイスを視線で操作する手法を検討する。携帯デバイスの操作には、マウスのクリックに相当するタップ、ドラッグ、画面を弾くフリック、二本の指を広げて画像を拡大するピンチアウトや指を掴む動作で画像を縮小するピンチインなどの操作が存在するが、本研究では、タップとして画面上のアイコンを選択する操作、および、アプリケーションのページ切り替えを行うフリッ

クを行う視線操作手法を検討する。また、携帯デバイスに付属する単眼カメラで撮影されたユーザの画像から視線を計測する手法を検討するとともに、その計測データを用いたデバイス操作の実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、タブレット型コンピュータを想定した携帯デバイスのための視線インタフェースの実現に向けて(1)携帯端末に付属した単眼カメラを用いて撮影したユーザの顔画像からの視線計測手法、(2)タップ操作に相当する携帯端末上のアイコン選択を行う手法、(3)フリック操作に相当するアプリケーションのページ切り替え操作を行う手法の検討を行う。

(1) 図1に示すような椅子に座って端末を操作する状況を想定し、携帯端末に付属した単眼カメラを用いて視線計測を行う。まず、カメラでユーザの顔を撮影した画像に対しHarr-like特徴を用いた顔の検出を行う。次に検出した顔に対して顔の向きや表情が変化しても頑健な特徴点追跡が可能なAAM(Active Appearance Model)[6]を用いて眼球周囲の特徴点を検出し眼球中心の座標を得る。その後、眼球の特徴点から眼球画像を抽出し、ガウシアンフィルタによる平滑化、Pタイル法による2値化、穴の除去を施した後の最大領域に対して虹彩の楕円近似を行うことで虹彩中心を求める。得られた眼球中心と虹彩中心の差から眼球の3次元モデルに基づき、視線ベクトルを得る。



図1 視線計測の様子

(2) アイコン選択手法としてサッカー検出による選択操作の実現手法と注視尤度に基づく選択操作手法の検討を行った。まず、Midas Touch Problemを解決するために、ユーザが意識して選択操作を行うことを明確化するために図2に示すように選択したい対象を注視した後、サッカーで決定領域に視線を移動させることによって選択操作を行う手法を検討した。この手法では、視線の移動速度からサッカーの検出を行うとともに

計測した注視位置を可視化することによって視線検出誤差の動的なキャリブレーションも同時に行うことで精度の向上を目指した。

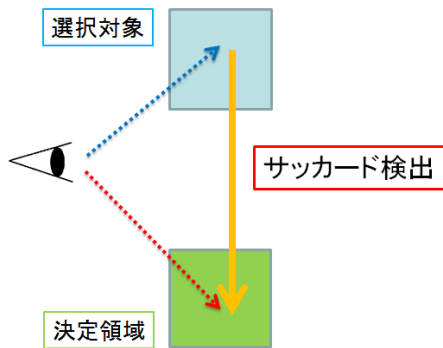


図2 サッカードによる対象選択操作

次に、安定した対象選択を行うために、注視点を空間的な拡がりをもった注視尤度として表現するとともに、過去の注視位置も考慮して、対象領域の総注視尤度が最も高いアイコンを選択する手法を検討した。図3に注視対象を注視した時の注視点の動きを示す。固視微動は、対象を注視する際に発生する眼球の微小な運動である。不随意に発生し、意識的に固視微動を止めることはできないため、視線計測装置の誤差とともに、図3のように注視点を一定に保つことが困難である。

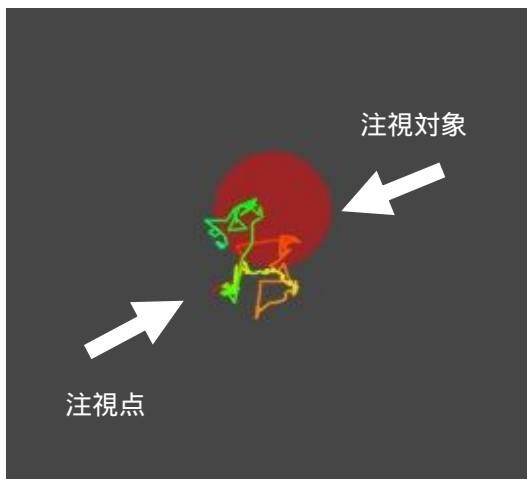


図3 注視点の動き

そこで、注視点をディスプレイ上の単なる1点を指し示しているとするのではなく、空間的な拡がりを持たせ、注視点の確率的な分布を表すものとする。図4に注視尤度の概念図を示す。図中の青い円は注視点の尤度を表し、視線計測装置の計測点を中心とするガウス分布で与えられる。また、経過時間に反比例する重みで重み付けられた過去の尤度の総和を求め、その最大値を現時刻の注視点とすることで、図3に示した注視点のゆらぎの影響を抑える。

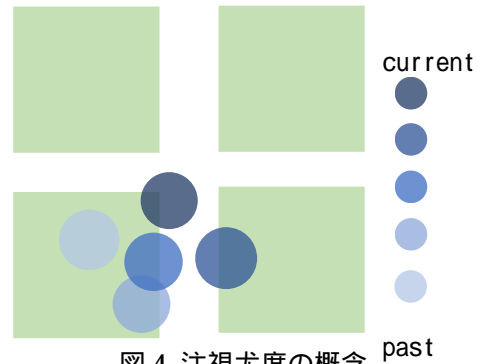


図4 注視尤度の概念

(3) フリック操作に相当するアプリケーションのページ切り替え操作を行う手法では、機械学習の一つであるHMM(Hidden Markov Model)を用いて個人毎に学習と識別を行うことで視線動作の癖を学習するとともに、視線検出精度の誤差による影響を軽減する方法を検討した。視線角度を特徴量として与えて画面四隅と中央を注視している五つの注視状態のHMMモデルを作成し、ジェスチャ時の視線角度で最高尤度を出力するモデルの遷移を観測することでジェスチャ識別を行う。

4. 研究成果

(1) 携帯端末を用いた視線計測実験は、7人の被験者に対して行った。携帯端末とユーザ頭部の位置関係は、ユーザや利用状況によって変化する。評価実験において頭部の動きを許容した場合、真の視線ベクトル角度は携帯端末とユーザの距離に依存して変化するため、真の視線ベクトル角度を得ることが困難である。そこで、本研究では、被験者の顔をあご台で固定した状態で計測精度評価を行った。ユーザと携帯端末の距離は、全被験者が端末を通常利用した時の頭部との距離を事前に計測し、平均した値533mmを用いた。そして注視点の誤差を実時間で計測した。撮影した顔画像のサイズは800×600画素である。被験者は、端末を3×3に分割した領域の中央に表示した点を注視する。その計測誤差を表1に示す。鉛直方向が水平方向に比べて誤差が大きいが、眼球の縦幅が小さいため水平方向の虹彩位置変化に比べ鉛直方向の虹彩位置変化が正確に計測できていないことが原因として挙げられる。また、この視線計測誤差は視野角にして水平方向が2.21度、鉛直方向が2.77度であり顔と携帯端末の位置関係を固定している状態ではあるが、従来の画像処理を用いた手法よりも精度を向上することができた。ただし、頭部と携帯端末のダイナミックな位置関係変化に対する定量的な評価手法を検討する必要がある。

表 1 注視点の平均誤差と標準偏差(mm)

| | 水平方向 | 鉛直方向 |
|------|------|------|
| 平均誤差 | 20.4 | 25.7 |
| 標準偏差 | 5.6 | 8.7 |

(2) まず、サッカー検出による選択操作の実験結果について述べる。視線計測装置には、赤外線 LED(Light Emitting Diode)で照射した瞳孔を赤外線カメラで撮影する EyeWriter[7]を用いた。ディスプレイ上に 261.1mm × 195.8mm、解像度 1024 × 768 画素のウインドウを表示し、あご台で頭部を固定した被験者との距離は 450mm に設定した。被験者 7 名に対する EyeWriter の計測誤差は、平均 9.4mm、標準偏差 5.8mm であった。また、事前実験から 20pixels/frame、15.3cm/sec 以上で注視点が変化した場合をサッカーと判定した。これらの事前実験の結果を元に、視線計測装置の誤差に影響されにくい 240 × 240 画素の大きさのアイコンを 2 × 4 個ウインドウに配置した配置 A と現在一般的に利用されている携帯端末と同様な条件になる 64 × 64 画素のアイコンを 12 × 5 個配置した配置 B の 2 種類について対象選択実験を行った。視線検出誤差の動的なキャリブレーションも同時に行った場合の対象選択のエラー率を表 2 に示す。

表 2 対象選択時間とエラー率(%)

| 配置 | 選択時間(sec) | 選択操作検出失敗率 | 無意識選択率 | 番号誤選択率 |
|----|-----------|-----------|--------|--------|
| A | 4.23 | 5.0 | 0.8 | 0.8 |
| B | 5.55 | 4.2 | 0.0 | 5.0 |

動的キャリブレーションの追加による選択時間の増加は、配置 A で 2.87 秒、配置 B で 1.44 秒、キャリブレーションをしない場合に比べて計算が増加した。一方、配置 B において選択操作が検出できなかった割合は 8.3% から 4.2%、番号の誤選択は 21.7% から 5.0% と大きく減少することができた。

注視尤度を用いた選択操作では、前の実験と同様に視線計測装置として EyeWriter を用いた。241.1mm × 241.1mm の大きさのウインドウに 55 × 55 画素のアイコンを縦横 55 画素の間隔を空けて 8 × 5 個配置した。あご台で頭部を固定したユーザとディスプレイの距離は 450mm とした。携帯デバイスは個人で使用することが多いことと、視線の動きの特徴は個人差が激しいことから、ユーザ個人の固視微動の傾向を事前に計測し、注視点の水平、鉛直方向の偏りを考慮した注視尤度を設定した。表 3 に 4 名の被験者に対して行

った実験の対象選択精度を示す。注視点を直接使うよりも注視尤度を利用した方が、対象選択精度の平均が 39.8% 向上した。

表 3 対象選択精度(%)

| 被験者 | A | B | C | D |
|------|------|------|------|------|
| 注視点 | 40.7 | 46.5 | 53.8 | 22.8 |
| 注視尤度 | 83.8 | 88.6 | 95.0 | 75.6 |

(3) ページ切り替え操作実験では、197.1mm × 147.8mm の大きさのディスプレイに対してユーザは 533mm 離れて左目が画面左上に対応するように正対する。両眼の幅は 56.4mm とする。視線計測方法は(1)で提案した携帯端末に付属するカメラで撮影した画像から視線を計測し、両目の水平、鉛直方向の視線角度を HMM への入力とする。図 5 に示すディスプレイの四隅と中央を注視する HMM を学習し、最も尤度の高いモデルを注視位置とする状態遷移に基づいて視線ジェスチャを識別する。ここでは、図 5 の 1 から 2、4 への遷移をページ送り、4 から 3、1 への遷移をページ戻しジェスチャと定義する。



図 5 注視モデル

表 4 に被験者 4 名に対して行った注視状態識別結果を示す。個人差が多少あるが、画面の右下にある注視位置 3 の識別結果が他に比べると低かった。これは、左目がディスプレイの左上を直視するように配置したため、眉毛や顔の影響で大きな視線角度を適切に計測できなかったことが一因として挙げられる。

表 4 注視状態識別結果(%)

| Model \ 被験者 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|------|------|------|------|------|
| A | 99.5 | 98.1 | 62.9 | 100 | 99.5 |
| B | 99.5 | 98.6 | 100 | 99.5 | 100 |
| C | 100 | 96.2 | 61.0 | 96.6 | 100 |
| D | 100 | 91.4 | 87.1 | 99.0 | 100 |

表 5 に視線ジェスチャ識別結果を示す。視

線ジェスチャの識別結果は、個人によって非常に大きな差が生じてしまった。比較的高精度で視線ジェスチャ識別が行える被験者がいる一方、注視モデルの識別結果の影響以外に視線移動速度の影響などでジェスチャ識別率が非常に悪くなるケースが存在した。原因をさらに究明するとともに、多くのユーザが快適に利用可能な視線ジェスチャ識別手法を検討する必要がある。

表 5 視線ジェスチャ識別結果(%)

| 被験者 \ Gesture | ページ送り | ページ戻し |
|---------------|-------|-------|
| | A | 85.7 |
| B | 85.7 | 100.0 |
| C | 42.8 | 0 |
| D | 100 | 57.1 |

参考文献

[1] 大野 健彦: “視線を用いたインタフェース”, 情処学誌, Vol.44, No.7, pp.726-732, (2003).

[2] J. Nielsen: “Noncommand User Interfaces”, Communications of the ACM, Vol.36, No.4, pp.83-99, (1993).

[3] 阪田 眞己子: “目は口ほどにモノを言う: 眼球運動計測の研究事例”, 表現文化研究, Vol.6, No.1, pp.103-116, (2006).

[4] 坂下 祐輔, 藤吉 弘亘, 平田 豊: “画像処理による 3 次元眼球運動計測”, 実験力学, Vol.6, No.3, pp.236-243, (2006).

[5] Robert J. K. Jacob: “Eye Movement-Based Human-Computer Interaction Techniques: Toward Non-Command Interfaces”, in H. R. Hartson and D.Hix(eds.), Advances in Human Computer Interaction, vol.4, Ablex Publishing Co., Norwood, N.J., p.151-190, (1993).

[6] I.Matthews and S.Baker: “Active Appearance Models Revisited”, International Journal of Computer vision, Vol.60, No.2, pp.135-164, 2004.

[7] Tempt1, Evan Roth, Chris Sugrue, Zach Lieberman, Theo Watson, James Powderly: “EyeWriter”, <http://www.eyewriter.org/>

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 10 件)

1. Fumihiko Kobayashi and Hiroki Takahashi: “Target Selection Based on Gaze Likelihood in Gaze Input Device”, 8th International Conference

on Knowledge and Smart Technology, 2016.2.3-6, Chiang Mai(Thailand).

2. Seiya Nii and Hiroki Takahashi: “Gaze Gesture Classification for Paging Operation in Mobile Device”, IWAIT(International Workshop on Advanced Image Technology)2016, 2016.1.6-8, Busan(Korea).
3. 深谷 昂弘, 高山 夏樹, 高橋 裕樹: “サッカーカードを用いた選択操作インタフェースの精度評価”, 画像電子学会 年次大会, 2015.6.29, 早稲田大学(東京都).
4. 小林 文宏, 高橋 裕樹: “視線入力インタフェースにおける注視尤度に基づいた対象選択”, 画像電子学会 第 272 回研究会, 2015.2.27-28, 和歌山大学(和歌山県和歌山市).
5. 新居 聖也, 宮鍋 克麻, 高山 夏樹, 高橋 裕樹: “携帯デバイスにおけるページ操作のための視線ジェスチャ識別”, 映像情報メディア学会 研究会, 2015.2.23, 北海道大学(北海道札幌市).
6. 深谷 昂弘, 高橋 裕樹: “サッカーカードを用いた選択操作インタフェース”, 画像電子学会 第 269 回研究会, 2014.2.27-28, 広島市立大学(広島県広島市).
7. 竹内 尚也, 高橋 裕樹: “視線角度変化による視線ジェスチャの識別”, 電子情報通信学会 PRMU 研究会, 2014.2.13-14, 福岡大学(福岡県福岡市).
8. Naoya Takeuchi and Hiroki Takahashi: “Paging Operation by Gaze Gesture for Mobile Devices”, IWAIT(International Workshop on Advanced Image Technology)2014, 2014.1.6-7, Bangkok(Thailand).
9. 竹内 尚也, 高橋 裕樹: “視線ジェスチャによる携帯デバイスのページ操作支援”, NICOGRAPH2013, 2013.11.8-9, 勝沼ぶどうの丘(山梨県甲州市).
10. 深谷 昂弘, 高橋 裕樹: “視線による選択操作インタフェース”, NICOGRAPH2013, 2013.11.8-9, 勝沼ぶどうの丘(山梨県甲州市).

6. 研究組織

(1)研究代表者

高橋 裕樹(Hiroki Takahashi)

電気通信大学・大学院 情報理工学研究所
科・准教授

研究者番号: 80262286