

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：15301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25590208

研究課題名(和文) 眼球組織の移動と変形の計測による高精度視線推定の研究

研究課題名(英文) Study on Precise Gaze Estimation by Measuring Motion and Deformation of Eye Organs

研究代表者

早見 武人 (HAYAMI, TAKEHITO)

岡山大学・自然科学研究科・講師

研究者番号：60364113

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：視線方向を高精度で検出する技術を獲得するために、視線の移動に伴って眼球が動く様子を特殊な照明を用いてハイスピードカメラで撮影した。録画に対して画像処理を施すことにより眼球の回転角を計測した。実験の結果、眼球が静止状態から視線方向を変えようとして加速する際は加速が急に始まるのに対し、目的の姿勢に近づき減速する際の回転は比較的滑らかであることが確認された。

研究成果の概要(英文)：To obtain the technique to detect one's gaze precisely, high-speed camera with specific lighting was applied to acquire the motion of the eyeball to move one's gaze. The angle of rotation of eyeballs was measured by image analysis of recorded videos. The experimental result showed that an eyeball makes sudden acceleration when it begins to change one's gaze, whereas its deceleration before stopping was smoother.

研究分野：心理学機器

キーワード：眼球運動

1. 研究開始当初の背景

視線入力にはマウスやタッチパネルを使わずに目の動きでコンピュータを操作する技術である。手を使用しないため、従来は手の動作が不自由な場合の代替と考えられてきたが、技術が進めば両手が塞がっているあらゆる場合に適用できる可能性がある。

視線入力装置は、操作画面と目の動きを捕捉するセンサー、そしてセンサーから数値を読み取り視線位置を計算してカーソル等を動かす制御装置で構成される。現在では人間の視覚に比べて視線位置の計算精度が大変低いいため、目の動きから制御装置が弾き出した視線位置を操作者が見ているところに完全に一致させることは困難である。このため多くの視線入力装置ではボタン等を大きくした専用の操作画面を用意することで精度の問題をカバーしている。しかし専用の操作画面に入る情報量は通常私たちが目にする情報コンテンツに比べて遥かに少ないため、操作者は退屈な画面を前にして操作することを強いられるという問題がある。

研究代表者はこれまでに視線計測の研究を行ってきた過程で、視線計測の精度が一般にセンサーとして用いられるカメラの解像度に比べて低い原因の解明に注力してきた。瞳孔中心の位置から視線位置を計算するために眼球の水平回転と垂直回転を比較したところ、カメラアングルの影響を考慮しても同じ角度の視線移動に対する画像中の瞳孔の移動量が水平回転と垂直回転で異なっていた。また、眼球が一点を中心として回転すると仮定して画像への投影歪みを考慮して視線計測の較正を行うと予想に反して計測精度が低下し、計測精度の向上を実現できなかった。このことから、視線計測において眼球の回転運動に伴って生じる平行運動の影響は視線を計測する上で見過ごすことができず、視線計測の高精度化を目指す上で留意すべきであると考えた。しかし眼球やそれを取り囲む生体組織は柔らかく粘弾性を伴っていると考えられるため、その影響の定量化は容易でないとも考えられた。

2. 研究の目的

多くの視線計測装置ではセンサーとしてカメラを使用している。この場合の視線計測の過程は以下ようになる。

- (1) カメラで目を撮影して画像を得る。
- (2) 画像の特徴から視線位置を推定する。
さらに(2)は以下のように細分化される。
- (2-1) 画像の特徴から眼球の向きを推定する。
- (2-2) 眼球の向きから視線位置を推定する。
カメラの画像は一方向から見た投影図なので、そこから得られる眼球の3次元的な姿勢は推定値となる。この推定の手続きは「眼球はどのように回転するか」という前提に基づ

いて行われ、通常は1点を中心とした回転運動が暗黙のうちに仮定されている。しかし眼球の解剖学的構造が一点の周りの回転を実現していないことは明らかであり、このような現実に一致しない計測上の暗黙の仮定が視線計測の精度を低下させている原因になっているのではないかと予想した。一点の周りを回転しない一般的な眼球の回転の仕方は、「球とソケットの振る舞い」と表現される未解明の問題である。本研究では視線入力の操作画面を見るときに眼球の回転を詳しく調べることでその性質を明らかにし、視線計測の精度向上に役立てることを目的とした。

顔に赤外線を当てながらビデオカメラで目の動きを撮影することは最も一般的に採用されている視線計測の方法である。角膜にコイルを内蔵したコンタクトレンズを動かさないように吸着される方法が最も精度が良いと言われているが実験協力者の負担が大変大きい方法である。ビデオカメラによる方法はそれに次ぐ空間精度を持つと考えられており実験協力者の負担も低減できる。通常の視線計測では一般的なビデオカメラが使用されるが、この場合時間精度が最大17ミリ秒(60Hz)となり、新幹線を追えるほど高速に回転する眼球の細かな動きを捉えるには精度不足である。そこで本研究では高速度カメラで眼球の動きを計測できるシステムを構築することにした。

3. 研究の方法

(1) 視線入力精度の評価

研究用に販売されている、眼球撮影カメラの顔面追従機能を備えた視線計測装置(EMR-AT VOXER, ナックイメージテクノロジー)は目の画像を撮影し、その中から瞳孔と角膜反射像の位置の差を検出することにより、顔面の微小な横揺れによるノイズを除去して視線検出を行う装置である。画像処理過程を可視化するためこの装置が持つ機能のうち画像処理機能を使用せず、代わりにカメラの映像を出力させて独自に画像処理を行い視線位置を推定した。画像処理ソフトウェアは計測モジュール言語(LabVIEW, National Instrument)を用いて作成した。円検出と同心検出により瞳孔と角膜反射像の中心をそれぞれ求め、画像平面における角膜反射像を基準とした瞳孔中心の相対位置(相対ベクトル)を算出した。画面上の9箇所を注視しているときの相対ベクトルの長さや方向の組み合わせを予め記録しておき画面上で注視した9箇所に対応させる較正を行った。較正時に注視しなかった位置については周囲4箇所での相対ベクトルの長さや方向を補間することによって注視位置を算出した。こうして得られた視線位置は操作画面のカーソル位置に反映された。

この実験装置を用いて5名の実験協力者によ

り実験を行った。操作画面には 13 個の正方形のボタンが等間隔で配置され、実験協力者には視線でカーソルを移動させて左から右、上から下の順番で全てのボタンをできるだけ速く押すことが求められた。ボタンの押し下げは、カーソルがボタン上にある状態で実験協力者がマウスの左ボタンを押すことによって実行された。ボタンの大きさを視角 2 度、1.4 度、1 度と変えて実験を行い、作業時間とエラー回数を評価した。

(2) 回転時の眼球の振る舞いのモデル化

視線入力でカーソルを動かしてボタンを押す作業では、視線はあるところから押したいボタンの上に移動した後しばらくその付近で停留する。そうしている間にボタンが押し下げられ、停留の役目が終わると次の目的のためによそへ移動していく。停留時でも推定される視線位置が完全に静止することはなく、内外眼筋の運動、眼球表面の水分の蒸発による光の反射の変化、カメラの内部ノイズ等の影響を受けて狭い範囲で揺れ動く。ボタン押しのエラーはこのような停留時の視線位置の移動によりカーソルがボタンの範囲から外れることによって発生する。したがって、視線入力の精度を高めるためには視線位置の算出過程で揺れの原因となる要素それぞれの振動をできる限り抑える。揺れの中心が実際の視線位置にできるだけ近くなるように操作画面上の位置と目の画像の間の較正を十分行う。

の双方の観点で計測システムの改善を行っていく必要がある。これまでの研究で時間軸に沿った移動平均法により の対策を試みてその効果を確認したが、時間軸での処理は出力に遅延を生じるため、視線位置の推定に適用すると操作者の実際の視線移動に対する推定値の出力に遅れを生じ操作がしにくくなる面もある。平均処理を適用する窓の幅を大きく取るほど平均値は安定するが遅延も大きくなるため、この方法には限界がある。そこで本研究では視線が移動する際の眼球の振る舞いを明らかにすることで の対策に役立つ眼球運動の特徴を抽出することを目的として実験を行った。

実験装置は汎用のハイスピードカメラ (HAS-L1, DETECT)、カメラ制御用計算機、リング型近赤外線照明、視覚刺激呈示用計算機、介護用ベッド、押しボタンで構成された。カメラは内部に赤外線フィルタを持たない状態でさらにレンズの外側に可視光線吸収フィルタを取り付けることにより、赤外線領域のみを撮影できるようにした。リング型近赤外線照明はカメラレンズの外周に取り付け、映像を撮影するための照明と角膜反射像を形成するための照明を兼用した。(1)のときと同様に角膜反射像と瞳孔中心の相対ベクトルをから眼球の回転量を算出した。この方法で高い計測精度を得るためには瞳孔と角膜反射像をできるだけ画像中に大きく収め

る必要があるが、そのように撮影すると頭部の僅かな動きによって瞳孔が画像からはみ出やすくなる。このような計測の妨げとなる頭部の揺れを防ぐ方法として歴史的には固定された歯型を噛む方法が用いられてきたが、この方法は実験協力者の負担が大きい。そこで今回は介護用ベッドを大きな背もたれのある椅子として用い、実験協力者の後頭部を背もたれに付けた状態で実験を行うことにより頭部の揺れを抑制することにした。12 名の実験協力者は介護用ベッドに座り優位眼だけで前方の画面を注視した。他方の視界はゴーグルにより遮蔽した。優位眼の矯正近点視力は 0.7 相当以上であった。前方の画面の 2 箇所には視角 1 度の小円が描かれ、円の内部にはランダムに選ばれた一桁の数字が 1 秒ごとに交互に表示された。実験協力者はいずれか一方の円に 0 が表示されたらできるだけ早くボタンを押すように求められた。1 回の試行は 80 秒間で、円の配置を変えて繰り返し行った。

試行遂行中の優位眼の動きは前面下方から 300fps で録画した。実験後に画像処理ソフトウェア (Vision Builder AI, National Instrument) を用いて録画を再生しながら円検出により瞳孔と角膜反射像の中心を求め、相対ベクトルを算出した。

4. 研究成果

(1) 視線入力に関する研究成果

視角 2 度のボタンを押すのに要した時間は平均 2 秒程度であったのに対し、視角 1 度のボタンでは平均 4 秒程度となった。思うようにボタンを押せないエラーの回数も 2 倍になった。視角 1 度のボタンは視角 2 度のボタンに比べて幅が 1/2、面積が 1/4 であるので、ボタン押し作業の難しさは通常 2 倍から 4 倍の間であると考えられる。実験結果はこの範囲に収まっていることから、この大きさのボタン押しに用いる視線入力において前述 3. (2) の要素が与える影響は限定的であると考えられた。

(2) 眼球運動に関する研究成果

相対ベクトルの水平成分は眼球の水平回転量、相対ベクトルの垂直成分は眼球の垂直回転量にそれぞれ比例することが知られている。左右に並んでいる 2 個の円の中の数字を交互に見た試行で得られた相対ベクトルの水平成分の時系列波形について、眼球がおよそ静止している状態から回転速度が最大に達するまでの 30 ミリ秒間の加速期と、最大速度以後再度およそ静止するまでの 30 ミリ秒間の減速期に分けて比較した。各実験協力者について録画の画像処理によって得られた波形を複数の停留区間、加速区間、減速区間に分割し、その中からまばたきによって瞳孔が隠れたり、一時的であっても画像が不鮮明でうまく瞳孔や角膜反射像を抽出できな

かったりした画像が含まれた区間は除外して、比較的きれいに記録された加速区間と減速区間のみが 10 ないし 20 回分集められた。それぞれの区間について、最大速度時点を基準として加算平均し、各被験者の平均波形とした。2 個の円が上下に並んでいた場合についても相対ベクトルの垂直成分の時系列波形について同様に処理を行った。こうして得られた平均波形に対して二次関数の近似式を求めた。近似式の二次の項の係数は眼球の角加速度に比例する。

加速期と減速期の平均波形から平均角加速度を得て比較したところ、眼球の回転が水平、垂直いずれの方向に回転した場合でも、加速期よりも減速期の方が大きな角加速度が得られ、加速よりも減速の方が急激であるという結果になった。一方減速期の波形は二次関数によく適合するのに対し、加速期の波形では加速の開始時刻が遅れ、加速度が徐々に上昇するのではなく突然高い加速度が現れる場合が目立った。このように加速期と減速期で角加速度が異なる現象が観察されたことは、加速期と減速期の運動メカニズムが異なることを示唆している。一つの解釈として、例えば眼球と外眼筋やまぶた等の周辺組織の間にある摩擦の影響により加速の実行が遅れやすい、といったことが考えられる。このように、眼球を取り巻く周辺組織は視線位置に影響を与える可能性がある。したがって前述 3 . (2) の観点で視線計測の精度を高めるためにはこの影響を考慮する必要があると考えられた。

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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Murata A., Hayami T., Ochi K., Proposal of Estimation Method of Stable Fixation Points for Eye-gaze Input Interface, Proceedings of the 15th international conference on Human-Computer Interaction: interaction modalities and techniques, Vol. IV, pp. 330-339, 2013. 査読有

DOI: 10.1007/978-3-642-39330-3_35

〔学会発表〕(計 1 件)

早見武人・松尾太加志・福田恭介・志堂寺和則, 固視反復作業におけるサッカーボール加減速の非対称性, 日本心理学会 81 回大会, 平成 29 年 9 月 21 日, 福岡県久留米市.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

早見 武人 (HAYAMI Takehito)

岡山大学・大学院自然科学研究科・講師

研究者番号 : 60364113

(2)研究分担者

村田 厚生 (MURATA Atsuo)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号 : 10200289

松尾 太加志 (MATSUO Takashi)

北九州市立大学・文学部・教授

研究者番号 : 70229425