

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 12 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23530955

研究課題名(和文) 眼球運動軌跡の個人差を比較する方法の開発および検証

研究課題名(英文) Development and validation of a software for comparing eye movement trajectories

研究代表者

十河 宏行 (Sogo, Hiroyuki)

愛媛大学・法文学部・准教授

研究者番号：90359795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円、(間接経費) 450,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人間が視覚的な認知課題を遂行中に生じる眼球運動であるサッカードの軌跡を比較するためのオープンソースアプリケーションの開発と、その検証実験に取り組んだ。研究成果は、サッカード軌跡の比較に限定されず、眼球運動計測実験支援および眼球運動軌跡分析アプリケーションであるGazeParser/SimpleGazeTrackerとして公開された。これらのアプリケーションの性能を評価した結果、心理学実験に必要な時間的、空間的精度を持っていることが示された。

研究成果の概要(英文)：This research aimed to make an open-source library for analysing similarity of saccade scanpaths that are recorded during performing visual cognitive tasks. The result of this research was released as general-purpose eye movement recording/analysis application named GazeParser/SimpleGazeTracker. The results of evaluation test showed that temporal and spatial accuracy of the application is enough high for psychological experiments.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：眼球運動 サッカード オープンソース

1. 研究開始当初の背景

レントゲン写真を用いた診断といった高度な技術を要する課題において、熟練者が用いている方略は初心者とどのように異なっているのだろうか。熟練者の方略、特に熟練者自身が言語化することが困難な方略を検討するための手段として、眼球運動が分析されることがある。多くの場面において人間の眼球運動は数百ミリ秒にわたってほぼ一点に視線を向け続ける「固視」と、注視位置を数十ミリ秒程度で急速に変化させる「サッカード」と呼ばれる運動を交互に繰り返しており、「どこを固視したか(固視位置)」、「どのくらいの時間固視したか(固視時間)」に基づいて分析が行われる。以下、この固視とサッカードのパターンのことを眼球運動軌跡と呼ぶ。

眼球運動軌跡を比較する上で最も困難な点は、その有効性や適用範囲が十分に明らかにされた比較方法が存在しないことである。そのため、眼球運動軌跡の比較を行う際には計測したデータにいくつもの比較方法を適用して、比較方法の比較をおこなう必要すらある。眼球運動軌跡の比較を行うアプリケーションソフトウェアまたはプログラム言語用ライブラリが共有されれば、さまざまな比較方法を試みることが容易になり、比較方法の研究もより促進されると思われる。

2. 研究の目的

本研究では、眼球運動軌跡を比較する手法のひとつである ScanMatch アルゴリズム (Cristino, Mathot, Theeuwes & Gilchrist, 2010) を拡張した分析方法を実行するソフトウェアを作成する。ScanMatch アルゴリズムとは、実験参加者が課題を遂行中に観察しているディスプレイを複数の領域に分割して記号を割り振り、固視位置が各領域に入った順番を記号列として表現し、記号列間の類似性を DNA 配列の類似度の比較に用いられる Needleman-Wunsch アルゴリズムを用いて評価する方法である。計測データに含まれる固視回数の違いや課題遂行時間の違いに柔軟に対応できる性質を備えており、その有効性が期待されるが、眼球運動軌跡を記号列として表現する処理を行うソフトウェアが存在しないため、研究者が各自で処理を行う必要がある。本研究では、一般的な画像編集ソフトウェアを用いることによって領域を定義し、この画像を読み込んで眼球運動軌跡を記号列に変換するソフトウェアの開発を目的とした。領域定義に画像編集ソフトウェアを用いることによって、研究者がそれぞれ習熟したソフトウェアを用いて柔軟に領域定義を行うことが出来る。もう一つの目的として、ScanMatch アルゴリズムの有効性および適用範囲を評価するために、視覚探索課題および自動車運転場面の危険予測課題の眼球運動軌跡を計測して ScanMatch アルゴリズ

ムを用いて比較することを目的とした。

3. 研究の方法

ScanMatch アルゴリズムを実行するソフトウェアは、独立したソフトウェアとしてではなく、プログラミング言語 Python のパッケージとして開発する。パッケージという形をとることによって、既存のデータ分析用スクリプトに組み込んだり、新たに開発する分析ソフトウェアにその機能を組み込んだりすることが容易となる。この Python モジュールでは、指定された画像ファイルから ScanMatch 用の領域を定義する機能と、眼球運動計測データを読み込み定義された領域を用いて ScanMatch アルゴリズムを実行する機能を実現する。

ScanMatch アルゴリズムの評価実験として、まずコンピュータスクリーン上に描かれた複数の図形刺激の中に、指定された図形が含まれているか否かを判断する視覚探索課題を実施し、課題遂行中の眼球運動軌跡を計測する。それに加えて、視覚探索課題で使用した刺激を全て円で置き換えた A4 用紙に印刷した回答用紙を用意し、すべての円の位置に探している刺激が存在しているか否かを確認するとしたら自分はどのように視線を動かすと思うかを一筆書きの要領で記入させる。眼球運動軌跡間の類似性、一筆書き軌跡間の類似性、そして眼球運動軌跡と一筆書き軌跡の間の類似性を比較する。

自動車運転場面の危険予測課題では、刺激として走行中の自動車の運転席に固定したビデオカメラで撮影した 30 秒間の運転場面の動画を 30 種類用意する。これらの動画を実験参加者に観察させて、動画に登場する歩行者や自転車、他の自動車などのうち、自分が運転者であれば注意する必要があると思われるものをマウスカーソルで指し示してボタンをクリックする課題を行わせる。課題遂行中の眼球運動軌跡を記録し、実験参加者間で眼球運動軌跡を比較する。

4. 研究成果

ソフトウェアの開発では、当初の研究目的の ScanMatch アルゴリズムによる分析実行用 Python 用パッケージの開発に留まらず、(1) PsychoPy や VisionEgg といった Python 用心理学実験用パッケージと連携した眼球運動計測用パッケージ、(2) 眼球運動計測のためのカメラユニットからの視線方向計測アプリケーション、(3) サッカード及び固視の検出および分析用パッケージから成る総合的なソフトウェアの開発まで達成した。これらのソフトウェアを GazeParser という名称でオープンソースのフリーウェアとして 2012 年 5 月に公開した (<http://gazeparser.sourceforge.net/>)。その後も GazeParser のバージョンアップに取り組み、2014 年 3 月現在では (2) のカメラユニットからの視線方向計測アプリケーションは SimpleGazeTracker

という名称で GazeParser から分離されて Matlab/Octave 上における著名な実験用ツールボックスである PsychToolbox から利用することも出来るようになってきている。PsychToolbox から SimpleGazeTracker を利用するためのコード群は SimpleGazeTracker Toolbox として 2013 年 6 月に公開した (<http://sgttoolbox.sourceforge.net/>)。

GazeParser および SimpleGazeTracker を心理学実験に利用するにあたって、どの程度の測定精度が達成されているかを確認することが不可欠である。そこで、発表論文(Sogo, 2013)では、実際の心理学実験を模した課題を用いて測定の時間的、空間的精度の評価実験を行った。3 種類の実験が実施され、実験 1 では実験参加者がコンピュータースクリーン上をランダムジャンプする視標を追ってサッカーと固視を繰り返す課題を遂行中の眼球運動が計測された。GazeParser と SimpleGazeTracker はそれぞれ別のコンピュータで実行され、TCP/IP 通信によって両者の同期がとられた。この実験では、TCP/IP 通信に要する時間によるコンピュータ間での時刻のズレ、視線位置のサンプリング周期の安定性、および計測された固視位置とスクリーン上の視標位置の差が分析された。その結果、SimpleGazeTracker を実行するコンピュータが intel Core i7 クラスの CPU を搭載していれば、TCP/IP 通信の遅延は約 0.5 ミリ秒(中央値)程度であることが明らかになった。また、サンプリング周期に関しても平均値と理論値の誤差は約 0.01 ミリ秒、標準偏差 0.06 ミリ秒を達成しており、実用に堪える精度を持っていると言える。計測された視線位置とスクリーン上の視標位置の差に関しては実験参加者によって差が見られ、差が小さい参加者では平均値で 0.7deg、大きい参加者では平均 1.2deg の差が見られた。種々の眼球運動測定装置の精度を比較したレビュー(Hansen & Ji, 2010)によると、カメラユニットを用いた眼球運動測定装置の誤差は 0.5deg から 4.0deg 程度であり、SimpleGazeTracker の結果は比較的良好だと言える。

実験 2 では、実験 1 と同一の課題を遂行中の実験参加者の眼球運動を、サンプリング周波数を変更可能なカメラユニットを用いて測定し、実用可能なサンプリング周波数の上限を確認した。その結果、SimpleGazeTracker を実行するコンピュータが intel Core i7 クラスの CPU を搭載していれば、400Hz でのサンプリングも可能であることが示された。ただし、SimpleGazeTracker はマルチタスク OS 上の通常のアプリケーションとして動作するため、400Hz のサンプリング時には不規則に欠損が生じる場合があることや、高サンプリング周期化に伴うカメラユニットのシャッター速度上昇によりカメラ画像のノイズが増加して、S/N 比が悪化するという問題も示された。S/N 比の悪化は計測後のオフライン処理におけるサッカー検出精度を低

下させるが、ローパスフィルタを適用することによって検出精度の低下を緩和出来る事が示された。

実験 3 では、サッカー潜時におけるギャップ効果・オーバーラップ効果(Fichser & Weber, 1993)の実験パラダイムを用いて、市販の眼球運動測定装置による測定結果と GazeParser + SimpleGazeTracker による測定結果の比較を行った。その結果、サッカー潜時および視標へのサッカー振幅の平均値に統計的に有意な差は見られなかった。以上の結果から、GazeParser と SimpleGazeTracker は心理学実験の用途に堪える精度を持つ眼球運動計測・分析ソフトウェアであると言える。

本研究で開発を目指していた ScanMatch アルゴリズム分析用パッケージは、GazeParser のサブパッケージとして組み込まれ、公開されている。このサブパッケージを使用して、視覚探索課題遂行中の眼球運動軌跡の分析を試みた結果を発表したのが、日本視覚学会 2012 年冬季大会の発表である。この発表で報告した実験は 2 種類の課題から成っている。第一の課題では、実験参加者は、コンピュータースクリーン上に配置された 16 個の刺激の中に、指定された図形(ターゲット刺激)が存在するか否かを判断してキーボードを用いて報告した。参加者ひとりあたりの試行数は 240 試行で、そのうち 120 試行でターゲットが出現した。刺激の配置パターンが 240 種類用意され、実験参加者はそれぞれの配置について 1 試行ずつ課題を行った。刺激が呈示されてからキーが押されるまでの間の眼球運動が記録された。第二の課題では、第一の課題で用いられた 240 種類の刺激配置を印刷した用紙を用意し、すべての刺激を 1 回ずつ通る最も効率がよいと思われる軌跡をペンで記入させた。

第 1 の課題においてターゲット刺激が存在しない刺激配置における眼球運動軌跡と、それらの刺激配置の第 2 の課題におけるペンの軌跡を GazeParser の ScanMatch サブパッケージを用いて比較した結果、課題 1 の課題 2 の軌跡からそれぞれ得られた記号列の ScanMatch 類似性得点が高い刺激配置ほど、課題 1 の反応時間が短いことが明らかになった。これは注目すべき結果だが、データを詳細に分析すると、課題 1 から得られた軌跡の記号列の方が一般的に課題 2 から得られた軌跡の記号列より短いこと、記号列の長さが近いほど類似性得点は高くなること、課題 1 において記号列が長い試行ほど反応時間が長いことが明らかになった。従って、本研究の結果は単に課題 1 から得られた記号列が長いほど、類似性得点と反応時間の相関が高いということを示しているだけかも知れない。この可能性を検討するために、課題 2 の軌跡の記号列を、その長さを保ったままランダムに並び替えて課題 1 の軌跡の記号列との類似性スコアを計算した。この類似性スコアと反応

時間の相関係数を計算した結果、並び替え前と同等の高い相関係数が得られた。従って、類似性スコアと反応時間の高相関は、反応時間が長い試行では眼球運動の回数が多く、結果として軌跡を変換して得られる記号列が長くなるために生じる現象であると結論出来る。

軌跡の長さの効果を緩和するため、課題1で得られた軌跡の記録時間を1.0に正規化し、正規化された軌跡を32ブロックに分割してブロックごとの軌跡データを平均してブロックの固視位置とした。一方、課題2の軌跡は必ず16の長さを持つので、軌跡を2重化して長さ32の軌跡を得た。この操作により、課題1、課題2ともに軌跡の長さが32に変換された。変換後の軌跡で類似性スコアを計算して反応時間との相関係数を求めた結果、変換前より相関は低下したがそれでも0.67という値が得られており、類似性スコアと反応時間の高相関には軌跡の長さだけでは説明できない要因がある可能性が示唆される。課題2の軌跡と、それぞれの刺激配置においてすべての刺激位置を1回ずつ巡回する最短経路の長さを比較した結果、両者の間には高い相関が見られたことから、課題2の軌跡はすべての刺激位置を巡回する上で効率がよい軌跡であると考えられる。課題2の軌跡と類似性スコアが高い軌跡で眼球運動を行った試行の反応時間が短いという今回の実験結果は、視覚探索課題における眼球運動軌跡の決定過程を考えるうえで興味深い結果である。

以上の結果に加えて、研究計画段階で目標としていた自動車運転場面の危険予測課題の眼球運動軌跡の比較実験を行うべく、参加者を募集して普通自動車運転免許の有無および日常生活における自動車、自転車使用頻度でグループ分けし、眼球運動軌跡の比較をおこなった。その結果、運転場面の受動的な観察ではスクリーン中央を固視してほとんど眼球運動が生じず、ScanMatchアルゴリズムによる比較が適していないことが明らかとなった。眼球運動が頻繁に生じるように場面や課題を工夫するか、眼球運動の発生頻度が低い軌跡でも有効にScanMatchアルゴリズムを適用できるようにするための何らかの前処理が必要であると思われる。いずれにせよ、本研究の目的のひとつであるScanMatchアルゴリズムの有用性という観点から考えると、今回の実験結果は少なくとも現状ではScanMatchアルゴリズムはこのような課題の分析に適していないと結論せざるを得ない。今後さらなる眼球運動軌跡の比較方法の研究が必要である。

参考文献

Cristino, F., Mathot, S., Theeuwes, J., & Gilchrist, I. D. (2010). ScanMatch: a novel method for comparing fixation sequences. *Behav Res Methods*, 42(3),

692-700.

Fischer, B., & Weber, W. (1993). Express Saccades and Visual Attention. *Behavioral and Brain Sciences*, 16, 553-610.

Hansen, D. W. & Ji, Q. (2010). In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 32, 478-500.

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)

Sogo, H. GazeParser: an open-source and multiplatform library for low-cost eye tracking and analysis. *Behavior Research Methods* 査読有 45, 2013, 684-695.

[学会発表](計 5件)

十河宏行 TCP/IPを用いたPsychToolboxと外部機器の連携: SimpleGazeTracker を例として 第12回注意と認知研究会合宿研究会 2014年3月4日 ホテルサンルートプラザ名古屋

十河宏行 PCとUSB接続カメラを用いた眼球運動計測 反応時間計測による性能評価 日本心理学会第76回大会 2012年9月12日 専修大学

パーソナルコンピュータを用いた眼球運動計測 第10回注意と認知研究会 2012年3月20日 ホテルサンルートプラザ名古屋

十河宏行 ScanMatch アルゴリズムを用いた視覚探索中の眼球運動軌跡の比較 日本視覚学会 2012年冬季大会 2012年1月20日 工学院大学

視覚探索における眼球運動軌跡と全ての探索アイテムを結ぶ一筆書きの軌跡の比較 日本心理学会第75回大会 2011年9月15日 日本大学

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]

GazeParser, SimpleGazeTracker 配布ページ
<http://gazeparser.sourceforge.net/>

SimpleGazeTracker Toolbox 配布ページ
<http://sgttoolbox.sourceforge.net/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

十河 宏行(SOGO, Hiroyuki)

愛媛大学・法文学部・准教授
研究者番号：20113136

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし