

令和元年6月25日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12462

研究課題名(和文)高周波計測と機械学習による瞳孔径変化からの内部状態推定

研究課題名(英文)Detection of human internal state using pupillary response

研究代表者

中澤 篤志(Nakazawa, Atsushi)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：20362593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では人の瞳孔径を用いて人のタスク集中度を推定する手法を開発した。人の瞳孔径は入射する光の強さにより変化することは良く知られているが、人の内部状態の変化の影響も受ける。本研究では、課題として可変経路幅/経路長制約を持つTarget Pointingタスク(以下TPタスク)を設計し、課題の難易度を可変にできるようにした。ここから、様々な課題難易度を変化させた時に、人の瞳孔系がどのように変化するかを観察する研究が可能になった。ここから我々は、TPタスクの難易度変化と瞳孔径の変化に関するモデルを求めることができ、瞳孔径変化とTPタスクのモデルを導き出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

瞳孔径変化を人の内部状態推定に用いることはすでに提案されていたが、タスクの難易度と瞳孔径変化の関係を定量的に示した過去の研究は実用化に乏しかった。これに対し、我々はTPタスク自体に問題があると考えて、新たに可変経路幅/経路長制約を持つTPタスクを提案した。これにより、従来のTPタスクでは繰り返しによる実験でしか変化が見いだせなかったものを、1回の試行で再現可能にした。これを用いて、瞳孔径の変化から内部状態(特に集中)と瞳孔径変化の関係を明らかにしタスク難易度/瞳孔径関連モデルを導出した。これにより、ゲームの評価や車運転時の危機管理等への応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a method to estimate human task concentration using pupil size (diameter). Although it is well known that the pupil diameter changes depending on the intensity of incident light, it is also affected by changes in the internal state of the person. In other words, although it is theoretically possible to obtain the internal state of a person from pupil diameter change, it is not used as a sensing device in a real environment. Through this research, we designed Target Pointing task (hereinafter referred to as "TP task") with variable path width / path length constraint, and made it possible to change the degree of difficulty of the task. Moreover, this task enables to study how the pupil system of a person changes when the task difficulty level is changed variously. From here, we could obtain a model for the change in pupil diameter and the TP task.

研究分野：画像計測

キーワード：瞳孔計測 画像計測 内部状態計測

研究成果の概要 (英文):

1. 研究開始当初の背景

人の内部状態の計測には様々な技術が提案されている。典型的に使われるのは皮膚電位であり、人の緊張状態や意外感に関して強く反応することが知られている。一方で皮膚電位の計測には体にセンサを取り付けなければならないが、日常的に使えるセンサとしては利用が難しい。もしも非侵襲・非装着で内部状態が計測できれば、ストレス計測や人間・ロボットインタフェースなど様々な利用用途がある。

瞳孔径変化と内部状態変化との関係は古くから報告されている。人の瞳孔の拡張は環境輝度のみならず、興味や記憶、認知的負荷といった人の内部状態にも影響を受けることが知られている。アイカメラで取得した瞳孔画像から内部状態を計測することができれば、従来の電極取り付けによる皮膚電位計測や心拍計測に比べ、ユーザビリティが向上し、ユーザーインターフェースとしてより日常的な利用が期待できる。Goldinger らの研究では人の記憶探索と相関があることが言われており [1], Hess らは注視対象物の興味度合いと関連があることを明らかにしている [2]。

すなわち、瞳孔径の変化を解析することで、内部状態 (特に集中) と瞳孔径変化の関係を明らかにする。本研究では内部状態のうち、操作タスクの難易度に着目し、瞳孔画像から計測可能にすることを旨とする。これが実現できれば、ゲームの評価や車運転時の危機管理等への応用が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では人の瞳孔径を用いて人のタスク集中度を推定する手法を開発する。人の瞳孔径は入射する光の強さにより変化することは良く知られているが、人の内部状態の変化の影響も受ける。つまり人の内部状態を瞳孔径変化から得ることは理論上可能だが、実環境でのセンシングデバイスとして使われてはいない。これは、瞳孔径変化に対して入射光の影響を排除できなかったことが原因である。本研究ではこの問題に対して、瞳孔径変化の高周波情報および外光の強さを考慮し、機械学習により識別することでノイズに強い集中度の推定を行う。本研究により、非接触センサ (カメラ) から人の内部状態を計測する事が可能になる。

3. 研究の方法

本研究では、難易度調整が可能な認知刺激タスクとして、新たに可変経路幅/経路長制約を持つ Target Pointing タスク (以下 TP タスク) を設計し、実験に使用した。これは、図 1 左に示すように、平行に引かれた 2 本の線に当たらずにスタートターゲットからゴールターゲットまでカーソルをマウスで移動させるタスクである。TP タスクの難易度は、スタートからゴールまでの経路長と、平行線の間隔 (経路幅) に影響を受ける。ユーザーの瞳孔径については、我々が設計した角膜イメージングカメラ (目を近接距離 (10 cm 程度) から計測できる) を赤外化したデバイスを用いた (図 1 右)。このカメラとモニターのタスク提示を同期させてデータ取得し、ユーザーの行動と瞳孔径変化を同時計測した。瞳孔径の検出手順を図 2 に示す。

まず予備実験として、TP タスク遂行中の瞳孔径変化の特性を把握するため、少数の被験者に対して複数の条件下で TP タスクにおける瞳孔計測を行った。その結果、経路長一定の条件下での TP タスクについて、難易度は経路幅の狭さで定義され、その難易度が高くなる

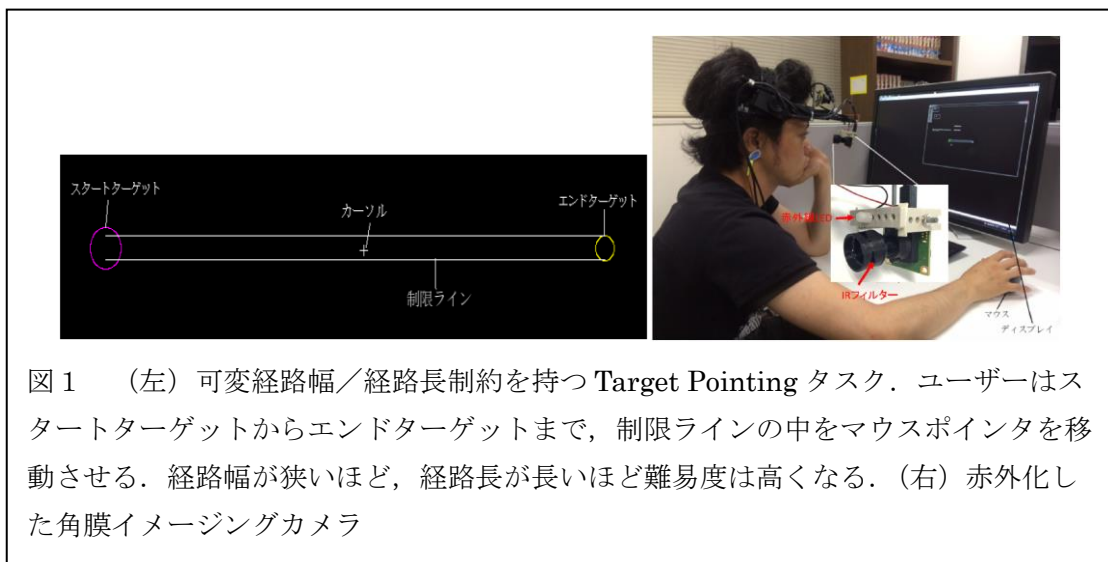


図1 (左) 可変経路幅/経路長制約を持つ Target Pointing タスク。ユーザーはスタートターゲットからエンドターゲットまで、制限ラインの中をマウスポインタを移動させる。経路幅が狭いほど、経路長が長いほど難易度は高くなる。(右) 赤外化した角膜イメージングカメラ

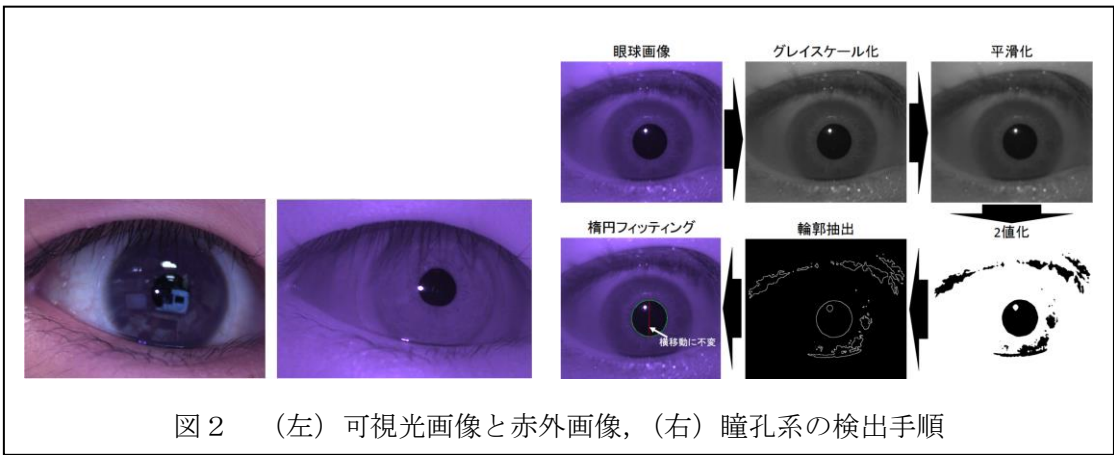


図2 (左) 可視光画像と赤外画像, (右) 瞳孔系の検出手順

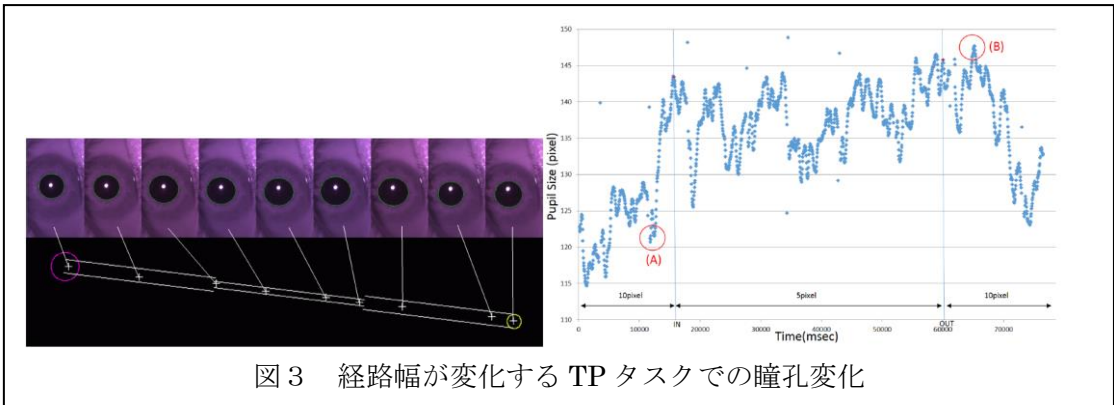


図3 経路幅が変化する TP タスクでの瞳孔変化

ほど瞳孔径の変化量が大きくなるという仮説が立てられた。

次にこれを検証するため多数の被験者に対して実験を行い、経路長一定の TP タスクにおいて瞳孔径および遂行時間の計測も行った。その結果、TP タスクにおいて、経路幅と遂行時間に関係があることが分かり、仮説が任意の被験者について統計的に確かめられた。ここから、経路幅・遂行時間・瞳孔径変化率のそれぞれ 2 変数間の定量モデルを立てた。

#### 4. 研究成果

図3に、予備実験において、経路幅が変化する TP タスクを行ったときの瞳孔径変化の様子を表す。本図からわかるように、経路幅が狭くなると瞳孔径は約 8%程度（瞳孔径約 120pixel → 140 pixel）拡大すること確認できる。また、タイミングとしては細い経路に進入する少し前から瞳孔の拡大が起り、経路幅が広くなってもしばらく瞳孔の拡大が続き、その後元の瞳孔径程度に縮小していくのが確認できる。

このように、予備実験で今回設計したタスクにより瞳孔径変化を生じさせることが可能であることがわかったため、10名（男性7名、女性3名）の被験者にて実験を行った。実験設定は以下の通りである。

眼球位置照度 約140 ルクス

ディスプレイサイズ H, V = (641.28mm (2560pixel), 400.8mm (1600pixel))

ディスプレイとの距離約 50cm

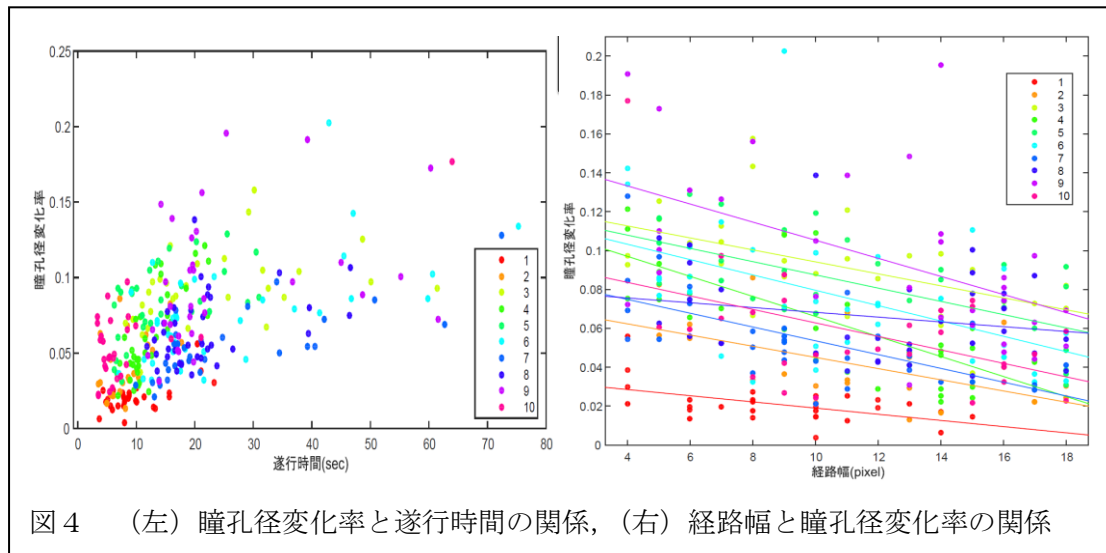
マウス移動量 67.37 ピクセル/1mm

経路長 500 ピクセル(250mm)

角度 地面に水平方向, 0

経路幅 15 段階からランダム, (4pixel, (2mm) - 18 pixel (9mm))

10 名の被験者に対する、経路幅と瞳孔径変化率、遂行時間と瞳孔径変化率の関係、およびその回帰分析結果を図4に示す



ここから、最終的に得られる瞳孔径変化率と難易度の間に、以下のようなモデルが得られる。

$$P_i = -\frac{a_i}{ID} + b_i$$

ただし、 $P_i$ は被験者  $i$  の瞳孔径変化率、 $ID$  はタスク難易度、 $a_i, b_i$ は個人パラメータである。

また、ここから得られたデータを用いて、「難易感度 (Sensitivity of Difficulty: SD)」という指標が得られる。これは、本論文で定義する「人による難しさの感じ方」を表したものである。例えば、幅であっても、手先の器用な人は比較的易しく感じるのに対し、手先の不器用な人は難しく感じるはずであり、この感度を表したものである。このモデルは、経路幅および個人パラメータ  $c_i, d_i$ を用いて以下のように表すことができる。

$$SD = c_i \log_2 \left( 1 + \frac{1}{w} \right) + d_i$$

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 4 件)

Asami Matsumoto, Yuta Tange, Atsushi Nakazawa, Toyooki Nishida, Estimation of task difficulty and habituation effect while visual manipulation using pupillary response, Lecture Notes in Computer Science, DOI: 10.1007/978-3-319-56687-0\_3, 2016.

Kazunari Kitazumi and Atsushi Nakazawa, Robust Pupil Segmentation and Center Detection from Visible Light Images Using Convolutional Neural Network, 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), DOI: 10.1109/SMC.2018.00154, 2018.

Yu Mitsuzumi Atsushi Nakazawa, Eye Contact Detection Algorithms Using Deep Learning and Generative Adversarial Networks, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), DOI: 10.1109/SMC.2018.00666, 2018

Taishi OGAWA, Atsushi NAKAZAWA, Toyooki NISHIDA, Point of Gaze Estimation Using Corneal Surface Reflection and Omnidirectional Camera Image, IEICE Transactions on Information and Systems, 2018, E101.D, 5, p.1278-1287, Online ISSN 1745-1361, Print ISSN 0916-8532, <https://doi.org/10.1587/transinf.2017MVP0020>, 2018.

〔学会発表〕 (計 1 件)

角 一哲, 中澤篤志, 深層学習を用いた可視光画像からの瞳孔検出と注視点推定への応用, IEICE technical report : 信学技報 117(391), 93-99, 2018-01-18, 2018.

〔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〕

## 6. 研究組織

特になし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。