

特定視覚刺激に対する注意推定のための瞳孔径変動解析 Analysis of Pupil Diameter Variation for the Attentional Estimation to a Specified Visual Stimulus

森田 悠生[†] 高野 博史[†] 中村 清実[†]
Yuki Morita Hironobu Takano Kiyomi Nakamura

1. はじめに

ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis) により全身麻痺や失語症になった重度障害者は、自由に肢体を動かしたり、言葉を発したりすることができないため、意思伝達が困難である。そこで、重度障害者の意思を汲み取るために様々な意思伝達装置が開発されている。そのような装置の 1 つに眼球運動を利用した装置がある[1]。この装置では、マウスの代わりに目を用いてパソコンのカーソルを移動させる。そして、カーソルを一定時間停留させることによってクリックを行う。このようにしてカーソルを移動させたり、クリックをしたりすることで、文字入力などができ、意思伝達が行える。しかし、カーソルは、ユーザがパソコンの画面を漫然と見ている場合でも、どこかに停留することが起こり得る。この場合、眼球運動を用いた意思伝達装置ではミスクリックが発生する。そこで、本研究では、注意によって変動するとされる瞳孔径[2]に着目した。瞳孔径変動を用いることで、ユーザが何に注意を向けているかを判定できる。また、瞳孔径は眼球運動と同時に計測できる。これらのことから、本研究では、眼球運動を用いた意思伝達装置の改良に向けて、瞳孔径変動による注意推定法を確立するために、特定の画像に注意を向けている時の瞳孔径変動の特徴を調査した。

2. 瞳孔径の計測方法

瞳孔径は、近赤外カメラで被験者の目周辺を撮影して得られる画像に対し、画像処理を施すことで計測する。

2.1 瞳孔検出

瞳孔径の計測のためには、カメラから取得した画像から瞳孔を検出する必要がある。本計測法では、取得した画像に 2 値化処理を施した後、黒画素の連結部分をラベリングする。その後、各ラベルの面積 S [pixel²]、周囲長 L [pixel]、を算出し、それらを用いて円形度 e を算出する。 S 及び e が事前に設定した条件を満たす場合、そのラベルを瞳孔と判断する。

2.2 瞳孔径の計測

瞳孔検出後、式(1)により瞳孔径 d_p [pixel] を算出する。睫毛や瞼、瞬きなどのノイズによって瞳孔径が計測できなかったフレームに対しては、スプライン補間によって瞳孔径の値を得る。

$$d_p = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (1)$$

[†] 富山県立大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Toyama Prefectural University

3. 計測システムの構成

図 1 に本研究で用いた瞳孔径計測システムの構成を示す。実験中、被験者前方のディスプレイには、刺激呈示用 PC により視覚刺激が呈示される。その間の目周辺の様子をカメラ (XC-EI30, SONY) で記録する。撮影された映像は DVD レコーダ (MS-DS400, HITACHI) のイメージチャンネルへ出力される。また、刺激呈示用 PC は視覚刺激の切り替えと同時に信号を出力する。この信号は D/A 変換器を経由し、DVD レコーダに音声として出力される。これにより、瞳孔径変動と視覚刺激のタイミングを同期させることができる。

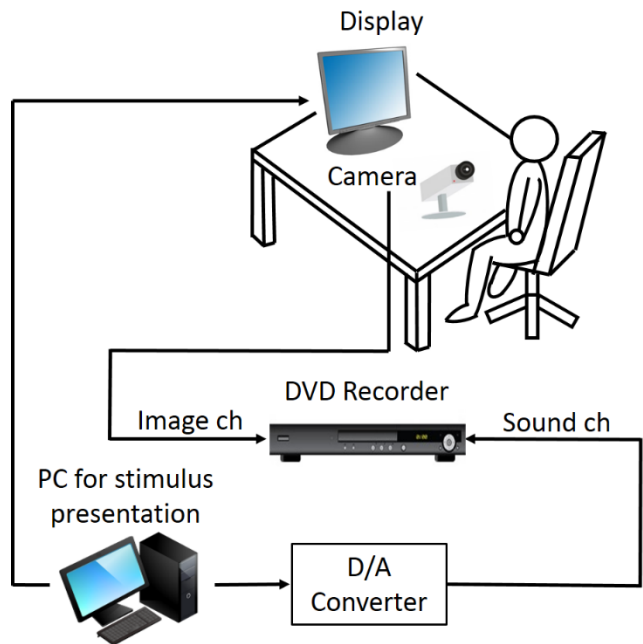


図 1 計測システムの構成

4. 実験方法

本実験では、ディスプレイ中央に視覚刺激として呈示される画像を被験者に見てもらった。被験者は 20 代の健常な大学生 (男性: 8 名, 女性: 1 名) であった。

実験方法としては、まず、実験者が用意した 4 枚の刺激画像を同時にディスプレイに呈示し、その中から被験者に画像を 1 枚選択してもらった。この時に選択された画像を Target 画像、それ以外の画像を Non-target 画像と定義とする。刺激画像は IAPS (International Affective Picture System) [3] の中立画像を用いた。被験者が画像を選択した後、実験課題を開始した。図 2 に実験課題の 1 セッションにおける流れを示す。実験課題では、Target 画像選択の際に呈示した刺激画像が、間にホワイトノイズ画像を挿みながらランダムに呈示される。被験者には、Target 画像呈示時にサイ

レントカウンティングを行うように、Non-target 画像呈示時には、画像を漫然と見るように教示した。実験課題は刺激画像とホワイトノイズ画像の1枚ずつの呈示を1トライアルとし、1セッションにつき40トライアル行った。実験全体のセッション数は10とした。各セッション終了後、被験者の疲労と眠気を調べるため、自覚症しらべ[4]を行った。

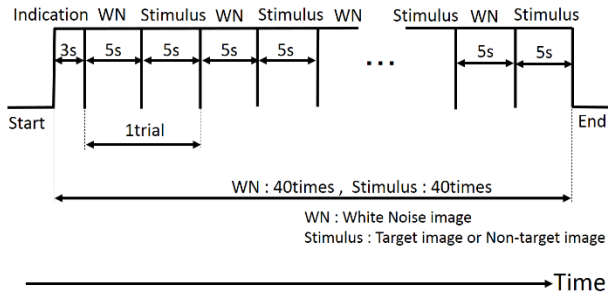


図2 実験課題の流れ

5. 解析方法及び結果

5.1 解析方法

解析では、まず、刺激画像呈示中の5[s]間における瞳孔径時系列データを抽出した。次に、抽出した各データに対し、5点移動平均処理を施した後、刺激画像呈示から0.2[s]後の瞳孔径が1になるように正規化を行った。その後、正規化を行ったデータをTarget画像とNon-target画像に分けて、加算平均処理を行った。この処理により、注意による瞳孔径変動の特徴を鮮明にできる。加算平均処理後、刺激画像呈示時間の5[s]間を0.5[s]ごとに区切り、各区間における加算平均前のTarget画像及びNon-target画像の波形の平均値に対して、対応なしのt検定を行った。

5.2 解析結果

解析の結果、全90セッション中、Target画像呈示時に瞳孔径が1区間でも有意に散大したセッション数は47、Non-target画像呈示時に瞳孔径が1区間でも有意に散大したセッション数は10、瞳孔径に1区間も有意差が見られなかったセッション数は33であった。図3にTarget画像呈示時の瞳孔径に有意差が見られた例を示す。図3において、横軸は時間[s]、縦軸は正規化瞳孔径である。図3より、Target画像呈示時の瞳孔径がNon-target画像呈示時に比べて有意に大きいことがわかる。

図4に、刺激画像呈示時の5[s]間において、有意差が見られたセッション数を区間ごとにカウントしたものを示す。図4において、横軸は区間[s]、縦軸は有意差が見られたセッション数である。また、図4の赤い棒グラフはTarget画像呈示時、青い棒グラフはNon-target画像呈示時を表す。図4より、Target画像呈示時については、区間1.0[s]~1.5[s]において有意差があったセッションが最も多く、次いで、区間1.5[s]~2.0[s]で多いことがわかる。これらの区間において、Non-target画像呈示時には、区間1.5[s]~2.0[s]において、有意差があったセッションが最も少なく、次いで、区間1.0[s]~1.5[s]において少ないことがわかる。これらのことから、Target画像の特定には、刺激画像呈示後1.0[s]~2.0[s]の瞳孔径を用いることが有効であると考えられる。

Target画像呈示時に瞳孔径が有意に散大する例が最も多く見られたが、一方で、Non-target画像呈示時に瞳孔径が

有意に散大する例も見られた。Non-target画像呈示時に瞳孔径が散大する傾向が特に見られた被験者3人の実験課題中の目周辺映像を確認したところ、Target画像呈示時に目を見開く傾向が見られた。目を見開くことで目に入る光量は増加する。この時、瞳孔は目に入る光量を調節するために縮瞳する。このことが、Non-target画像呈示時の瞳孔径が散大した原因の1つとして考えられる。

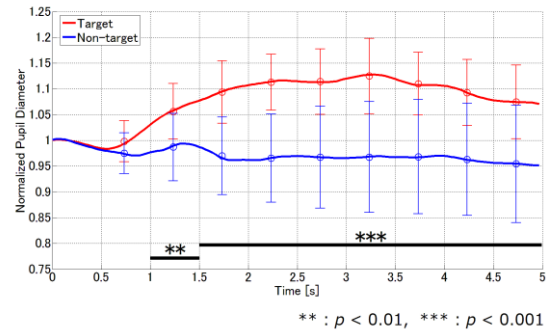


図3 Target画像呈示時の瞳孔径に有意差が見られた例

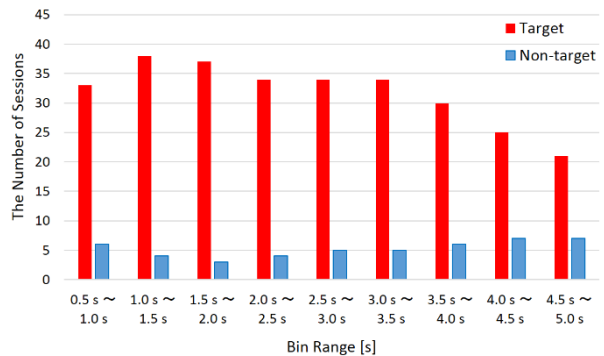


図4 各区間における有意差があったセッション数

6. まとめ

本研究では、視線を用いた意思伝達装置の改良のために、瞳孔径変動を用いた注意推定の実験を行い、注意による瞳孔径変動の特徴を調査した。その結果、視覚刺激の呈示後、1.0[s]~2.0[s]において、Target画像呈示時の瞳孔径が、Non-target画像呈示時のそれに比べて有意に大きくなる傾向が見られた。

今後の課題としては、今回得られた瞳孔径変動の特徴を用いて、呈示した4枚の画像の中からTarget画像を特定することが挙げられる。また、Target画像呈示時の瞳孔径に有意差が見られなかった例もあるため、各セッション終了後に行った自覚症しらべなどからその原因を明らかにする必要がある。

参考文献

- [1] Y. Oyabu, H. Takano, and K. Nakamura, "Development of the eye input device using eye movement obtained by measuring the center position of the pupil," Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.2942-2946, 2012.
- [2] 松永勝也, 瞳孔運動の心理学, ナカニシヤ出版, p.14, 1990.
- [3] P. J. Lang, M. M. Bradley, and B. N. Cuthbert, "International Affective Picture System (IAPS): Affective ratings of picture and instruction manual," Technical Report A-8, University of Florida, 2008.
- [4] 日本産業衛生学会産業疲労研究会, 自覚症しらべ, <http://square.umin.ac.jp/of/index.html>