

視覚刺激時の瞳孔径変動を用いた注意推定 Estimation of Attention by Using Pupil Diameter Variation with the Visual Stimulus

河合 修平[†]
Shuhei Kawai

高野 博史[†]
Hironobu Takano

中村 清実[†]
Kiyomi Nakamura

1. はじめに

筋萎縮性側索硬化症 (ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis) や脳血管障害により全身麻痺や失語症となった重度障害者は、自由に肢体を動かすことや言葉を発することができない。このような障害をもつ方は、健常者と同様に「ご飯を食べたい」、「テレビを見たい」といった意思が存在するが、他者に伝えることが困難である。そこで、重度障害者の意思をくみ取るために、多くの介護支援に向けた意思伝達装置が開発されている。しかし、これまでに開発されている意思伝達装置は接触型の装置が多く、身体と装置の接触による煩わしさがある[1]。また、非接触型の意思伝達装置であっても使用する前にキャリブレーションが必要である[2]。このことから、注意や興味、快や不快といった情動を反映するとされている瞳孔径変動[3]を意思決定のための入力として用いることにより、簡易的に使用ができ、電極などの装着が不要な意思伝達が可能となる。本研究では、重度障害者に煩わしさを感じさせず、簡易的かつ非接触の意思伝達装置を開発するために、視覚刺激時の瞳孔径変動を用いた注意推定法の確立を目的とする。本稿では、瞳孔の情報を得るために、カメラより取得した目周辺画像に画像処理を施すことで瞳孔径を計測し、注意と瞳孔径の時間変化の関係を調査するための実験・解析法の検討を行った。

2. 瞳孔径計測法

本節では、瞳孔検出および瞳孔径計測法について述べる。また、本瞳孔径計測法では、被験者の前後移動に対応した相対瞳孔径を求めることができる。

2.1 瞳孔検出法

瞳孔径を計測するために、近赤外カメラで撮影して得られた入力画像に対し 2 値化処理を行い、2 値化された画像における黒画素の連結成分に対しラベリング処理を行う。ラベリングされた連結成分に対し、面積 $S[\text{pixel}^2]$ 、周囲長 $l[\text{pixel}]$ 、円形度 e を算出し、瞳孔検出のための条件を満たしていた場合、そのラベルづけられた連結成分を瞳孔として検出する。

2.2 瞳孔径計測法

瞳孔が検出された後に、式(1)を用いて瞳孔径 $r_p[\text{pixel}]$ を算出する。瞳孔径を算出後、相対瞳孔径 $r_{ap}[\text{mm}]$ を求めるために、大きさに変動のない虹彩径 $r_i[\text{pixel}]$ を計測する。虹彩径を計測するために、虹彩と強膜の境界を強調するために Prewitt フィルタを用いる。人の虹彩径は約 11 mm であるため、式(2)を用いて虹彩径を 11 mm に規格化し、相対瞳孔径を算出する。

$$r_p = \sqrt{S/\pi} \quad (1)$$

$$r_{ap} = r_p \times (11/r_i) \quad (2)$$

3. 計測システムの構成と実験方法

ここでは、注意と瞳孔径の時間変化の関係を調査するために開発した計測システム及び実験に使用する画像、実験方法について述べる。

3.1 計測システムの構成

図 1 に本研究で開発した計測システムの構成を示す。計測システムでは、目周辺の映像と脳波を記録する。ここで、脳波は注意を表す指標として計測する。カメラより入力された目周辺の映像は DVD レコーダへと出力され、脳波は波形記録用 PC へ Polymate II (株式会社デジテックス研究所) を介し入力される。また、画像が切り替わる度に刺激呈示用 PC から DVD レコーダと Polymate II へ画像呈示信号を出力する。画像呈示信号を DVD レコーダや Polymate II へ出力することで、目周辺の映像、脳波および画像呈示信号の同期が可能となっている。

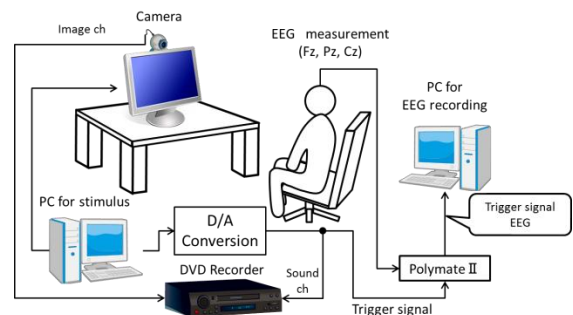


図 1 計測システムの構成

3.2 呈示視覚刺激

本実験システムでの視覚刺激は、IAPS (International Affective Picture System) [4]画像の中から、被験者の嗜好が反映されないように中立画像 (mean Valence/Arousal = 5.0, 2.9) を選んだ。また、呈示する画像間において輝度が異なっていた場合、画像呈示時に瞳孔反応が起こる可能性がある。そこで、実験で使用する画像に対し、式(3)、(4)を用いて輝度の規格化を行った。式(3)、(4)において、 $N'_{R(i,j)}$ 、 $N'_{G(i,j)}$ 、 $N'_{B(i,j)}$ は輝度規格化前の座標 (i,j) における R、G、B 成分の画素値である。この画素値を用いて、 (i,j) における規格化前の RGB 成分 $N'_{RGB(i,j)}$ に対し、輝度の規格化を行うことで輝度規格化後の画素値 $N_{RGB(i,j)}$ を求める。また、 T_p は画素数、 S_l は基準となる画素値であり、中間の 128 とした。

$$T_b = \{\sum_i \sum_j (N'_{R(i,j)} + N'_{G(i,j)} + N'_{B(i,j)})\} / (3 \times T_p) \quad (3)$$

$$N_{RGB(i,j)} = N'_{RGB(i,j)} \times S_l / T_b \quad (4)$$

[†] 富山県立大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Toyama Prefectural University

3.3 実験課題

注意と瞳孔径の時間変化の関係を調査するための実験の流れ (1 セッション) を図 2 に示す。1 セッションにおいて, Target 画像は 1 枚, Non-target 画像は 3 枚使用し, ホワイトノイズ画像, 刺激画像 (Target 画像もしくは Non-target 画像) の順に呈示し, 1 トライアルとした。1 セッションにおけるトライアル数は 40 とし, Target 画像及び 3 枚の Non-target 画像はランダムに各 10 枚ずつ呈示される。実験全体でのセッション数は 10 とする。被験者には Target 画像が呈示されると, サイレントカウティングを行うように教示する。また, Target 及び Non-target 画像呈示時には, 瞳孔径時系列データの欠損, 瞬目による脳波のアーチファクトを除くために, 瞬きを行わないように被験者に指示を行う。実験終了後には, 被験者の疲労と眠気の主観評価を行うために自覚症しらべを行った。

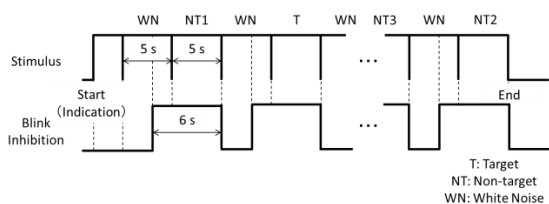


図 2 実験の流れ

4. 注意推定のための解析方法

本節では, 取得した瞳孔径時系列データの解析法について述べる。

4.1 解析方法

実験より得られた画像呈示信号, 瞳孔径時系列データを用いて, 画像呈示時における瞳孔径変動の特徴を解析した。まず, 5 点移動平均法を用いて瞳孔径時系列データを平滑化し, 瞳孔の反応潜時を考慮し, 画像呈示後 0.2 s において瞳孔径を 1 に正規化した。その後, 同種類の刺激呈示における瞳孔径時系列データに対し, 加算平均処理を行った。

4.2 解析結果例

本研究では健康男子大学生 1 名に対し, 実験・解析を行った。1 セッションにおける解析結果例を図 3, 4 に示す。図 3, 4 において横軸は時間であり, 時間軸における 0 s は画像呈示時を示す。縦軸は, 刺激画像呈示後 0.2 s の瞳孔径を基準に正規化された瞳孔径である。図 3, 4 より, Target 画像呈示時の瞳孔径が Non-target 画像呈示時の瞳孔径よりも大きくなるのがわかる。このような傾向は, 実験を行った 10 セッションのうち 7 セッションで見られた。この特徴を用いて注意推定ができる可能性がある。しかし, Target 画像呈示時の瞳孔径が Non-target 画像呈示時の瞳孔径よりも小さくなる場合も見られた。この要因としては, 被験者が疲労や眠気を感じたことによって Non-target 画像呈示時においても瞳孔径が散大したことが挙げられる。また, Target 画像呈示中に被験者が画像に注意を向けていなかったことも原因と考えられる。これらのことから, 自覚症調べを用いて被験者の疲労や眠気を調査する必要がある。また, 脳波の情報から Target 画像呈示時に被験者が注意を向けていたか調査を行う必要がある。

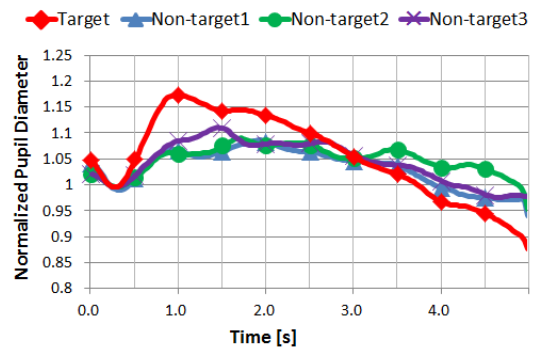


図 3 セッション A における瞳孔径変動

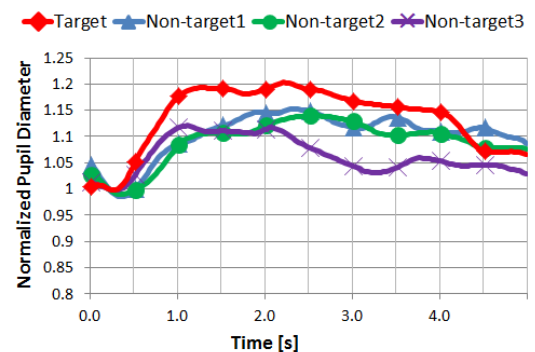


図 4 セッション B における瞳孔径変動

5. まとめ

本研究では, 瞳孔径の散大や収縮といった時系列的変化を入力とした, 簡易かつ非接触な意思伝達装置を開発するために, 瞳孔径変動を用いた注意推定の実験・解析法の検討を行った。被験者 1 名に対し, 実験を行ったところ, 10 セッション中 7 セッションにおいて Target 画像呈示時の瞳孔径は Non-target 画像呈示時の瞳孔径よりも大きくなる傾向が見られた。

今後の課題としては, 今回の解析結果の信頼性を高めるために, 被験者数を増やし, 同様の実験・解析を行う必要がある。また, Target 画像呈示時の瞳孔径が Non-target 画像呈示時の瞳孔径よりも小さくなった要因を自覚症調べや脳波を用いて明らかにする必要がある。また, 今回の解析方法では, Target 画像呈示と Non-target 画像呈示の瞳孔径を完全に区別できていないため, 他の解析方法も行う予定である。

参考文献

- [1] 長谷川良平, “ニューロコミュニケーター～脳波による意思伝達装置の開発～,” 映像情報メディア学会, vol.35, no.16, pp.21-22(2011).
- [2] 今野秀威, 後藤敏行, 竹上健, “両目の位置検出を利用した多次元操作インタフェースの検討,” 映像情報メディア学会誌, vol.61, no.4, pp.518-525(2007).
- [3] 松永勝也, 瞳孔運動の心理学, ナカニシヤ出版, pp. 7-30 (1990).
- [4] 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).