

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 11 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00276

研究課題名(和文) Generating artificial eye movements on a document for an objective readability measurement

研究課題名(英文) Generating artificial eye movements on a document for an objective readability measurement

研究代表者

デンゲル アンドレアス (Dengel, Andreas)

大阪府立大学・研究推進機構・客員教授

研究者番号：00773574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：文書の可読性を客観的に評価することを目標とし、文書の特徴量と大量の視線情報で訓練されたモデルに基づいて文書上の擬似的な眼球運動を生成する研究である。初年度は可読性の基礎研究として、読書中の認知負荷と眼球運動や電気皮膚活動などの生体情報との関係を調査した。次年度は、アイトラッカを用いて文書を読んでもらうことなく文書の各単語の注視時間を推定する方法を提案した。最終年度には、実験デザインの見直しによって擬似的な眼球運動生成の性能を向上させ、可読性測定への応用を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的観点では、生成された眼球運動は深層学習のための人工的なデータセットとして利用することができる。深層学習においてはデータ量の多寡が問題となるため、データセットの拡張は活動認識の研究を加速させるものである。社会的インパクトとしては、出版、広告、教育への貢献が期待される。教科書は最も重要な知識源である。本プロジェクトの成果により、適切なレイアウトやコンテンツを提供することで学生の認知負荷を軽減することができる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aim to evaluate the readability of a document on the basis of eye movements. Since it is not realistic to ask participants to read documents with eye tracking devices every time, we develop a system that synthesizes artificial eye movements on the document and utilizes them for the readability measurement. In the first year, as basic research for the readability measurement, we investigated the relationship between cognitive load while reading and sensor signals including eye movements and electrodermal activities. In the next year, we proposed a method to estimate fixation durations of each word of a document without asking people to read the document with an eye tracker. In the final year, we improved the performance of gaze synthesis by conducting a well-controlled experiment and applied it to the readability measurement.

研究分野：Human-Document Interaction

キーワード：アイトラッキング 可視性 可読性 皮膚電気活動 読書行動解析 文書解析 データ拡張 人工知能

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。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

知識を獲得するための最も重要な活動の一つは読書である。多くの人が文書を効果的かつ効率的に読みたいと考えており、心理学や認知科学分野の多くの研究者は1世紀以上にわたり文書の可視性と可読性を定量化して改善することに取り組んでいる [a]。それらの多くが主観的な評価や知見に基づいているのに対して、我々の研究グループは文書上の視線を計測することで、注視持続時間、読書速度、読み返しの頻度、リーディング対スキミング比などから可視性・加速性の客観的な定量化を試みてきた [b]。

### 2. 研究の目的

視線計測は客観的な定量化を可能にする反面、実利用上での不便な点も考慮しなければならない。例えば、文書1つ1つの可読性測定のためにアイトラッカと呼ばれる装置を使用し誰かに文字読みを依頼することは現実的ではない。このボトルネックを解決するために、我々は文書の特徴から機械学習で擬似的な視線情報を生成することを考える。画像上の人間の視覚的注意を推定することは、画像処理研究で注目を浴びているトピックの一つである。我々は、この分野の豊富な知見を読書活動の認識・分析に応用することを目指す。具体的には、(1) 文書の特徴量と大量の視線情報で訓練されたモデルに基づいて、文書上の擬似的な眼球運動を生成する (2) 擬似的視線情報をもとに可読性の問題点を発見する、という2つの問題に取り組む。

### 3. 研究の方法

大阪府立大学とドイツ人工知能研究センター (DFKI) による国際的な研究チームを組織し、以下の課題に関する実験を実施する。(1) 学習教材上で大量の眼球運動を記録する、(2) fixation, saccade を持つ擬似的視線を生成する、(3) 可読性に関連する視線特徴を検討する、(4) 可読性測定・改善システムの実装と教育分野へ応用する。

### 4. 研究成果

#### (1) 認知負荷と視線特徴の調査

認知的作業負荷は、文書の読みやすさを定量化する上で最も重要な要素の一つである。読むことに対して負荷がかかっている状態の視線や生体情報を各種センサで計測した。認知負荷の大きさに対して、アイトラッカからは注視持続時間と瞳孔径が正の相関、赤外線サーモグラフィカメラからは鼻部皮膚温度が負の相関が見られることが明らかとなった。図1はその可視化例である。



図1 読書中の心的状態の可視化

#### (2) 読書媒体の違いによる認知負荷の差の計測

文書の内容やレイアウトに加えて媒体の違いによる可読性を検証するために、図2に示すように実験参加者にアイトラッカと皮膚電気活動 (Electrodermal activity, EDA) リストバンド型センサを装着した状態で異なる媒体 (紙とディスプレイ) で文書を読んでもらい、認知負荷を測定した。その結果、媒体の種類が認知作業量や内容の理解度に大きく影響することが分かった。具体的には、図3の通り瞳孔径、注視持続時間、皮膚電気活動 tonic 成分いずれも実験参加者ごとに大きい値を示した。

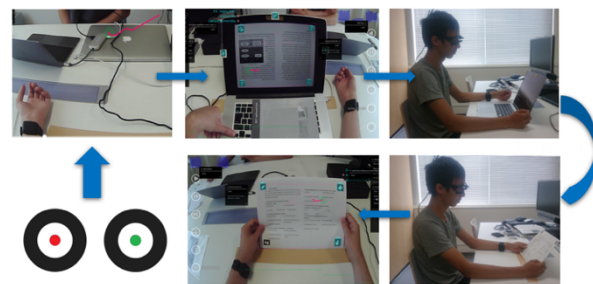


図2 認知負荷計測の実験フロー

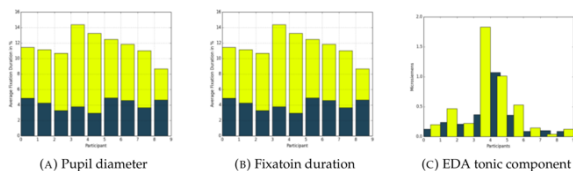


図3 各実験参加者の視線・皮膚電気活動特徴 (黄色: ディスプレイ, 紺色: 紙上での読書)

#### (3) 擬似的眼球運動の生成

文書を読んでもらうことなく文書の各単語の注視持続時間を推定する方法を提案した。データサンプルは、アイトラッカを用いて15の文書を読んでいる9人の実験参加者から収集した。語彙の特徴と構文の特徴を計算しランダムフォレスト回帰を用いることで、全文書について文書費依存の学習において平均回帰スコア (R<sup>2</sup>) 0.757 で推定することができた。図4は3文書に対する出力結果の例である。

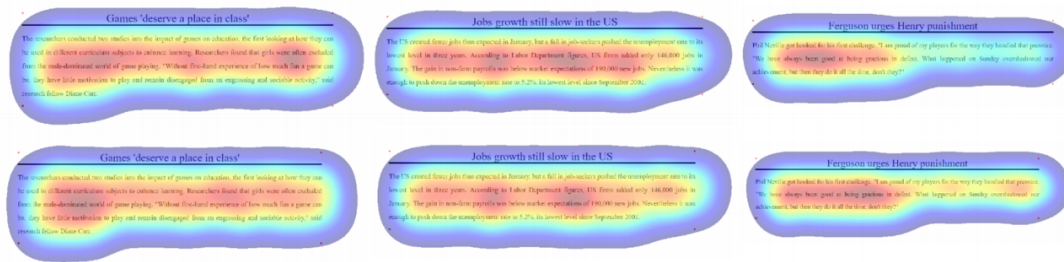


図 4 擬似的眼球運動の注視時間ヒートマップ（上：正解情報，下：出力結果）

#### (4) 視線情報からの可読性推定

前述の特徴量とデータセットを用いて可読性を推定した．9 人の実験参加者に各文書の可読性を 4 段階評価してもらい，可読性推定に有効な特徴量と識別器を調査した．Support Vector Machine を用いて 4 クラスを 51%の精度で識別することができた．

#### <引用文献>

- a. D. A. Tarasov, A. P. Sergeev, V. V. Filimonov. “Legibility of Textbooks: A Literature Review”. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 174, pp. 1300-1308, 2015.
- b. R. Biedert, M. El Hosseiny, A. Dengel, and G. Buscher, Towards Robust Gaze-Based Objective Quality Measures for Text, In *Proceedings of the 2012 Symposium on Eye-Tracking Research and Applications*, pp. 201-204, 2012.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件(うち招待講演 0件/うち国際学会 4件)

1 . 発表者名 Jayasankar Santhosh, Shoya Ishimaru and Andreas Dengel
2 . 発表標題 Estimating Fixation Durations for Each Word in Documents towards Readability Measurement
3 . 学会等名 International Interdisciplinary Symposium on Reading Experience and Analysis of Documents (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Iuliia Brishtel, Shoya Ishimaru, Olivier Augereau, Koichi Kise, and Andreas Dengel
2 . 発表標題 Assessing Cognitive Workload on Printed and Electronic Media using Eye-Tracker and EDA Wristband
3 . 学会等名 2018 International Conference on Intelligent User Interfaces Companion (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Shoya Ishimaru, Soumy Jacob, Apurba Roy, Syed Saqib Bukhari, Carina Heisel, Nicolas Grossmann, Michael Thees, Jochen Kuhn and Andreas Dengel
2 . 発表標題 Cognitive State Measurement on Learning Materials by Utilizing Eye Tracker and Thermal Camera
3 . 学会等名 2017 International Workshop on Human-Document Interaction (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Jayasankar Santhosh, Shoya Ishimaru and Andreas Dengel
2 . 発表標題 Generating Heatmap for Unknown Documents Towards Readability Measurement
3 . 学会等名 2020 International Conference on Intelligent User Interfaces Companion (国際学会)
4 . 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Shoya Ishimaru, Syed Saqib Bukhari, Carina Heisel, Nicolas Grossmann, Pascal Klein, Jochen Kuhn and Andreas Dengel	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer VS, Wiesbaden	5. 総ページ数 12
3. 書名 Augmented Learning on Anticipating Textbooks with Eye Tracking	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	石丸 翔也  (Ishimaru Shoya)  (10788730)	大阪府立大学・研究推進機構・客員研究員   (24403)	
研究 分担者	黄瀬 浩一  (Kise Koichi)  (80224939)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授   (24403)	