



マンガ教材読書時のリアルタイム難易度推定に向けた 視線ヒートマップの分解能の検討

坂本賢哉¹⁾, 白井詩沙香²⁾, 武村紀子³⁾, Orlosky Jason^{2),4)}, 長瀧寛之⁵⁾, 上田真由美^{2),6)}, 浦西友樹²⁾,
竹村治雄²⁾

- 1) 大阪大学 情報科学研究科 (〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1, sakamoto.kenya@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp)
- 2) 大阪大学 サイバーメディアセンター (〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-32, {shirai, uranishi, takemura}@ime.cmc.osaka-u.ac.jp)
- 3) 九州工業大学 大学院情報工学研究院 (〒 820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4, takemura@ai.kyutech.ac.jp)
- 4) Augusta University, School of Computer and Cyber Science (830 Spellman Street, Augusta, GA 30912, jorlosky@augusta.edu)
- 5) 大阪電気通信大学 メディアコミュニケーションセンター (〒 572-8530 大阪府寝屋川市初町 18-8, nagataki@osakac.ac.jp)
- 6) 流通科学大学 経済学部 (〒 651-2188 兵庫県神戸市西区学園西町 3-1, Mayumi.Ueda@red.umds.ac.jp)

概要: 本研究では VR 空間でのマンガ教材読書時の学習支援を目的に, 主観的難易度のリアルタイム推定に必要な視線ヒートマップの分解能について検討した. これまでに視線情報に基づく主観的難易度推定モデルを提案し, 従来手法より高い精度が得られた. しかし, ヒートマップ作成時に行うカーネル密度推定に時間を要し, 実時間での推定が困難であった. そこで, 本論文では精度と実行時間の観点から分解能について検討した結果を報告する.

キーワード: 教育・訓練, 行動・認知, 計測・認識, 視線追跡, マンガ教材

1. はじめに

メタバースの普及に伴い, 買い物や会議など実空間での活動を Virtual Reality (以下, VR) 空間でも体験できるシステムの実現が期待されている. 読書においても VR 空間で電子書籍やマンガを読むサービスが登場している. 従来の VR 技術を活用した学習支援システムはシミュレーション教材が中心であったが, 教科書等を利用した学習も普及すると予想され, そのためにも VR 空間において 2 次元的に作られた教材を用いた学習方法や, その効果的な学習支援方法に関する研究が必要である.

一方, 教育全体としてもコロナ禍の影響により教育のデジタル化が加速する中, 学習者の様々なデータを収集・分析することにより個別最適化された学習を実現することに期待が高まっている. 多様な学習者に個別最適化された学びを提供するためには, 難しいと思った際に補足情報を提示できるよう, 学習者の「主観的な難易度」を推定する必要があるが, これまでの学習支援システムの学習ログデータを用いた分析 [1] では, 細やかな学習者の行動や主観的難易度といった状態をリアルタイムで把握することは難しい. 特に学習ログデータによる学習支援が難しい学習として「マンガ教材を用いた学習」があげられる. マンガ教材は, 長期記憶の保持に効果がある可能性 [2] や学習者のモチベーション向上に有効であること [3] が報告されており, マンガ教材読書時の学習者の状態をリアルタイムに推定し, 状態に応

じた学習支援を行うことができれば, さらなる学習効果が期待できる. 一方で, マンガ教材はコマごとに異なる学習内容について記載されるため, クリックやページの移動などのログデータのみでは主観的な難易度や学習意欲等の学習者の細やかな状態を把握するのは難しい.

これまでに, 著者らは VR 空間でのマンガ教材読書時の主観的な難易度推定モデルの構築に取り組み [4], Fixation 中の注視点を基にカーネル密度推定によって視線ヒートマップを作成し特徴量として抽出することで, 従来の視線特徴量のみを用いた主観的難易度よりも高い精度を得ることができた. しかしながら, 長時間の学習中の視線データを用いるため計算コストが高くなり, マンガ教材と同じ分解能の視線ヒートマップではリアルタイムなフィードバックを行うことができなかった. そこで, 本論文ではヒートマップの分解能を変化させ, 速度の改良と変化前と同程度の精度が得られる分解能を検証し, 視線ヒートマップを用いたりリアルタイムな学習支援システムに必要な十分なピクセルサイズを検討する.

2. ヒートマップの作成と主観的難易度推定

ヒートマップ作成のためのデータセットは, これまでの研究 [4] で作成した User Interface (以下, UI) を用いて収集した, ページごとの「簡単」「難しい」の 2 値ラベルの主観的難易度と視線情報のデータを用いた. UI ではコマごと

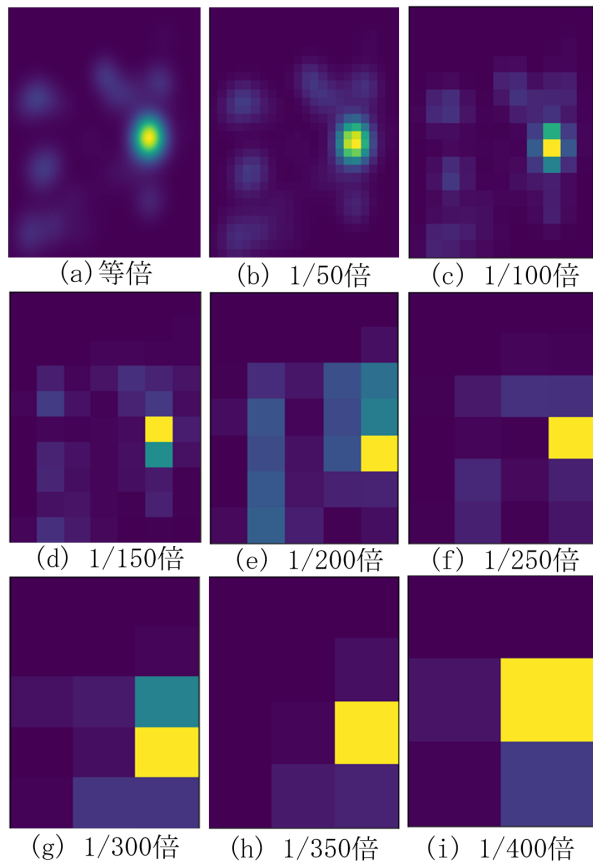


図 1: 分解能を変化させたヒートマップの例

に主観的難易度を収集しており、本論文では被験者が「難しい」と評価したコマが含まれるページを難しいラベルのページとした。なお今回の実験では、オーム社の「マンガでわかる免疫学」[5]の1章～3章までの内容から、扉絵やフォローアップなどのマンガ形式ではないページを除いた56ページ分を対象に収集したものである。被験者は経済学、社会学、文学、商学、人間科学、工学を専攻する24名の大学生で、マンガ教材が対象としている免疫学について専門的に学んでいないことを確認した。このうちデータ欠損があった3名と「難しい」ラベルのデータが10%未満であった9名は無効データとし、有効被験者数は12名（男性9名、女性3名、21歳～23歳）である。被験者実験では、VRの提示と視線情報収集が可能なヘッドマウントディスプレイであるVive Pro Eyeを使用し、VR空間でのUI実装にはUnity (2019.2.3f1)を用いた。Vive Pro Eyeは90Hzのサンプリングレートで視線情報を収集した。収集した視線情報はスパイクノイズを除去するために、3フレームごとに移動中央値を計算することでフィルタリングをした。

対象のページにおける主観的難易度の2値分類推定をSVM (Support Vector Machine)で行う。データ量が最も多くなるのは次のページに移動する直前であるため、読み終わった瞬間までのFixation中のデータのみを用いてカーネル密度推定で視線ヒートマップを生成する。Fixationの分類アルゴリズムはOrloskyら[6]とOlsen[7]の手法を基に

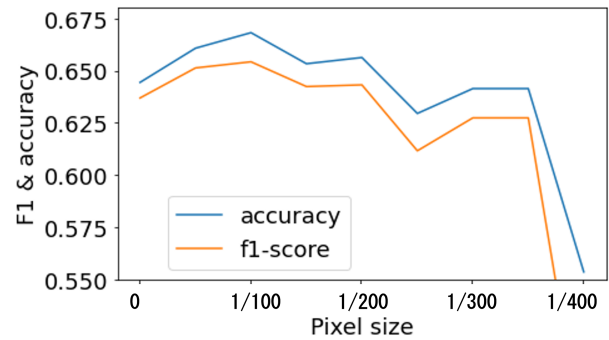


図 2: 分解能を変化させた場合の精度と F 値の変化

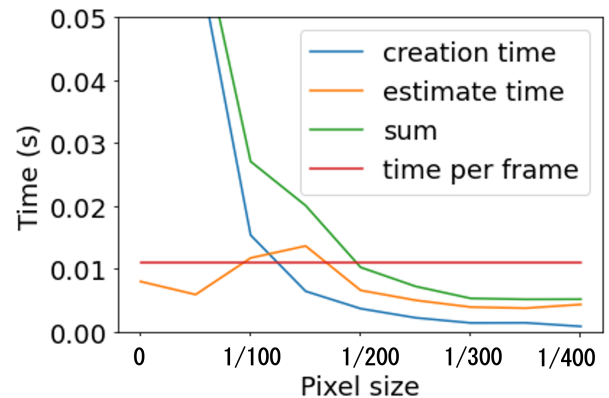


図 3: ヒートマップ作成から推定までにかかる時間の平均値とVive Pro Eyeのサンプリングレートの比較

作成した。推定までの速度の改良と十分な推定精度を得られる分解能を検証するために、図1のようにヒートマップの分解能を変化させた。図1(a)は実験に使用したマンガ教材の解像度と同じ分解能(1155×1500)であり、(b)から(i)はそれぞれ分解能を1/50倍(23×30)、1/100倍(11×15) ... と1/50倍刻みに作成した例である。Fixation中の注視点の位置のヒートマップの値をフレームごとに取り出し、最大・最小・平均を入力とする。データはLOO (Leave One Out)で訓練データとテストデータに分割し、3分割交差検証とグリッドサーチを行いユーザー非依存モデルを作成した。グリッドサーチではRBFカーネルを用いて、Cは0.01から1000まで、 γ は0.1e-05から0.01まで10倍刻みで探索した。

3. 結果と考察

推定した精度とF値は図2に示すように分解能が1/100倍の時に最も高い値(精度:0.67, F値:0.66)を示した。また、1/50倍から1/200倍までの分解能において精度、F値ともにマンガ教材と同サイズのヒートマップよりも高い値を得た。これらの結果は分解能が大きくなったことでノイズに対して頑健になったからであると考えられる。1/100倍の分解能をピークに精度・F値ともに徐々に低くなり、1/400倍の分解能で大きく値が下がっている。分解能の低下に伴ってデータのバリエーションが減り、うまく推定ができなかつ

たとえられる。

図3はヒートマップの作成時間の平均値、推定時間の平均値、これらの合計値、Vive Pro Eyeのサンプリングレートを分解能ごとに示したものである。合計値がサンプリングレートを下回っているのは1/200倍以下の分解能であるため、1/200倍以下であればVive Pro Eyeのリフレッシュレートの時間内にヒートマップ作成から推定まで行うことができる。また、最も高い精度・F値を得られた1/100倍の分解能でも、提示方法を工夫することでリアルタイムに感じる支援情報の提示が可能となる可能性がある。

4. 結論

本研究ではVR空間でのマンガ教材読書時のリアルタイムな学習支援を目的に、主観的難易度推定に用いる視線ヒートマップの分解能について検討した。マンガ教材と同サイズの視線ヒートマップから1/400倍まで1/50刻みの分解能の視線ヒートマップを作成し、注視点の位置と対応する視線ヒートマップ値の最大・最小・平均を入力としてSVMで推定を行った。精度・F値・実行時間の観点で比較した結果、毎フレーム推定には1/200倍以下の分解能で十分であり、精度・F値を落とさない推定には1/200倍以上の分解能が必要であることが分かった。今後の研究では本論文の結果を用いてリアルタイムな学習支援システムの構築と評価を行う。

謝辞 実験にあたりマンガ教材を提供していただいた、京都大学 医生物学研究所 河本 宏教授と株式会社オーム社に感謝する。本研究はJSPS 科研費19K21763 およびJST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2138 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Brinton, Christopher G. and Buccapatnam, Swapna and Chiang, Mung and Poor, H. Vincent : Mining MOOC Clickstreams: Video-Watching Behavior vs. In-Video Quiz Performance, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 64, No. 14, pp. 3677–3692, 2016.
- [2] 向後智子, 向後千春: マンガによる表現が学習内容の理解と保持に及ぼす効果, 日本教育工学雑誌, Vol. 22, No. 2, pp. 87–94, 1998.
- [3] 白井詩沙香, 竹中一平, 長瀧寛之, 兼宗進: データベース導入学習のためのマンガ教材の開発と評価, 日本教育工学会論文誌, Vol. 42, No. Suppl, pp. 109-112, 2018.
- [4] 坂本賢哉, 白井詩沙香, 武村紀子, Orlosky Jason, 長瀧寛之, 上田真由美, 浦西友樹, 竹村治雄: 視線情報に基づくVR空間でのマンガ教材読書時の主観的難易度推定, 研究報告エンタテインメントコンピューティング, Vol. 2021-EC-61, No. 10, pp. 1–6, 2021.
- [5] 河本宏: マンガでわかる免疫学, オーム社, 2014.
- [6] J. Orlosky, B. Huynh, and T. Hollerer : Using Eye Tracked Virtual Reality to Classify Understanding of Vocabulary in Recall Tasks, 2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR), pp. 66–73, 2019.
- [7] A. Olsen: The Tobii I-VT Fixation Filter: Algorithm description, Tobii Technology, pp. 1–21, 2012.