

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17864

研究課題名（和文）学習者とのインタラクション機能を活用した学習ログ分析収集機構の開発

研究課題名（英文）Interactive learning log collection and analysis

研究代表者

峰松 翼（Minematsu, Tsubasa）

九州大学・データ駆動イノベーション推進本部・准教授

研究者番号：00838914

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000 円

研究成果の概要（和文）：電子教科書の活動促進を目指したダッシュボードの開発、学習者の行動分析を活用したカンニング検出の開発、表現能力の高い閲覧ログの特徴表現学習手法の開発、異常検知を対象にしたアンサンブル学習手法の開発、LLMによる解答解説生成の検討を行った。では、電子教科書から情報提示をする機能開発に取り組み、ダッシュボードを介して教員と学習者のインタラクションの発生を確認した。について、学習行動の特徴表現の基礎研究からカンニング検出の応用研究、学習分析への適用を見据えた異常検知手法まで幅広く取り組んだ。では、推薦文生成を見据えて、LLMへの適用を検討し、ダッシュボード改善につながる知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学習ログの収集および分析の研究は、ラーニングアナリティクス分野で国内外問わず行われているが、学習ツールを学習者が利用して学習ログを残すことが前提となっている。実運用では、学習ツール利用を含む講義計画を綿密に計画し、その利用促進を適宜行う必要があるが、その点に関して言及した研究はほとんどない。また、学習者とシステムの相互関係を利用した研究として、チュータリングシステムや学習ログの分析結果の提示により学習者により行動変容を促す研究などがあるが、学習分析の可用性を高める目的の研究ではない。本研究の成果では、学習分析を効率化する学習ログ収集および効率的な学習ログ分析手法の提案を行った点で意義がある。

研究成果の概要（英文）：

We developed (1) a dashboard to promote e-textbook activities, (2) cheating detection using learner behavior analysis, (3) a feature representation learning method for highly expressive browsing logs, (4) an ensemble learning method for anomaly detection, and (5) the generation of answer explanations using LLMs. For (1), we developed a function to present information from e-textbooks and confirmed that interaction between teachers and learners occurred via the dashboard. In (2), (3) and (4), we worked on a wide range of topics, from the feature expression of learning behavior, cheating detection and anomaly detection methods with a view to application to learning analysis. For (5), we investigated LLM's potential for recommendation generation, and obtained findings for dashboard improvements.

研究分野：学習支援システム

キーワード：ラーニングアナリティクス 学習分析 機械学習 深層学習

1. 研究開始当初の背景

対面講義やオンライン講義など多様化する講義形態に対して質の高い講義を提供するには、学習者の状況を把握し、適切な学習支援を提供することが有効である。しかし、百人規模の対面講義では、教員の主観や筆記試験による部分的な観測での状況把握に依存し、オンライン講義では、学習者の受講状態の把握でさえ困難である。そこで、PC やタブレットを用いたデジタル学習環境上での、学習者の学習行動履歴(学習ログ)を大量に収集し、エビデンスに基づく学習状況の詳細な把握が試みられている。

学習ログはデジタル学習環境上のツール利用時に収集され、デジタル学習環境にアクセスしていれば自動的に収集される講義への出席や電子教科書のページ閲覧履歴の他に、自発的な学習行動として電子教科書へのメモ・マーカ など多岐にわたる。これらのデジタル学習環境の利用度合いは、学習者によって様々である。特に、講義には参加しているが積極的に学習行動を残さない学習者(パッシブラーナー)から収集される学習ログは質的量的に不足し、パッシブラーナーが教育的な支援が必要な状況であっても察知できない。メモやマーカなどをすべて詳細に残すように学習者に強制することは講義の進行や予習復習の管理の観点から現実的に不可能である。

2. 研究の目的

(1) 大多数の学習者は積極的に行動せず、有益な学習行動履歴が記録されにくい、
(2) 学習行動を促す効果的な指示が必要だが、人手で常時行うことは不可能、といった問題点があるため、従来システムでは、学習者の性質に依存して、詳細な分析が困難な学習ログしか収集できない可能性が高い。そこで、本研究では、従来デジタル学習システムに組み込み可能で、効率的な学習ログ収集を可能とする技術を開発することを目的とする。また、収集された学習ログから学習者の成績予測等の分析技術開発を目的とする。

3. 研究の方法

従来の電子教科書システムは学習者に情報提示等の介入は行わない。このため、使い方がわからないといった初歩的な利用ハードルからシステムの機能(マーカ・メモ)の有用性がわからないという継続的利用のハードルの解消はシステム管理者・教員の自助努力となっている。本研究では、他の学習者が残したマーカを提示し「重要と思ったか?」や「このページを理解できたか?」など質問ベースできっかけを与えるなどの介入をシステムから自動的に行うことで、学習ログを効率的に収集するダッシュボードを開発する。

また、単一・複数のシステムから収集された学習ログの分析手法の開発および課題解決型の応用手法を開発することで、収集された学習ログの有用性を検討する。

4. 研究成果

研究期間全体を通して、(1) 電子教科書の活動促進を目指したダッシュボードの開発、(2) 学習者の行動分析を活用したカンニング検出の開発、(3) 電子教科書閲覧システムを対象に、Contrastive learning による表現能力の高い閲覧ログの特徴表現学習手法の開発、(4) 異常検知を対象に深層学習モデルのアンサンブル学習手法の開発、(5) LLM による解答解説生成の適用の検討を行った。

(1) 電子教科書の活動促進を目指したダッシュボードの開発

電子教科書システムにおける各機能の利用状況をリアルタイムに分析し、全学生の利用状況の可視化および利用促進のための通知機能を開発した。電子教科書システムには、各ページにわからないことを通知するためのボタン(わからないボタン)やわからない箇所や重要と感じた箇所を記録するためのマーカを残す機能がある。図1は、それらの情報を集約し、講義参加者の全

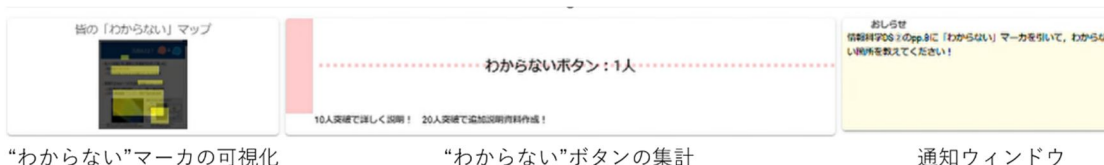


図1 開発したダッシュボード

員が残したわからない箇所に関するマーカのマップ・わからないボタンを押した人数・通知（行動推薦）を表示するダッシュボードである。ノートPCを想定し、電子教科書を見ながら、利用できる構成とするために、電子教科書画面上部に表示した。

開発したダッシュボードを実際の講義に導入し、学習者の利用状況を評価した。その結果、ダッシュボードの導入前後で、ダッシュボードで集計可視化した機能であるわからないボタンについて、機能の利用回数が増加傾向にあることを確認した。また、講義中に教員が説明中にマーカが書き換わる（追加や削除）・わからないボタンを押した学習者の増加を確認し、ダッシュボードを介して教員と学習者のインタラクションが発生した場面を確認した。

今後の展望として、大規模言語モデルによる理解状況の掘り下げをインタラクティブに行うための機能を開発することで、電子教科書を介した大規模言語モデルとのインタラクションの単純化が考えられる。

(2) 学習者の行動分析を活用したカンニング検出の開発

オンライン講義における試験を対象に、電子教科書の学習ログと自由記述形式の試験問題の解答文を組み合わせた不正検出に関する手法を開発した。オンライン環境下では、デジタル学習環境へのアクセスログのみが手掛かりとなる。本手法では、これまでの学習ログと学習者の解答文の関係に着目した。カンニング候補の基準として、他の学習者と解答文が似ている・問題の解答に関連するページの閲覧時間が短いことから計算される指標を開発した。

実際のオンライン講義での試験の学生の解答文を対象に分析した結果、誤字および文構造が極めて類似した解答文を書いた2名の学生において、関連ページの閲覧時間が少ない学習者1名を検知することができた。カンニング検出の性質上、真にカンニングであったかの判断は慎重を期するため正解データでの評価はできなかったが、学習ログと組み合わせることで、偶然解答文が似てしまった可能性への反論（教科書を読んでいない・講義に参加していないのに問題には解答できる上、解答文が似ていることに対する反論）への根拠として有用である。当該研究成果はLAK22【1】で報告した。

(3) 電子教科書閲覧システムを対象に、Contrastive learning による表現能力の高い閲覧ログの特徴表現学習手法の開発

学生が学習管理システムや電子書籍システムなどのeラーニングシステムを利用する際、その操作ログを蓄積・分析し、学生の学習行動を把握することが行われている。ダッシュボードシステムやAt-risk学生検出などのアプリケーションを実装するために、操作ログは主に研究者によって設計された特徴量に変換される。例えば、操作を何回行ったのかといった操作回数の集計である。このような手作りの特徴は、容易に解釈可能である。しかし、最近の大規模な

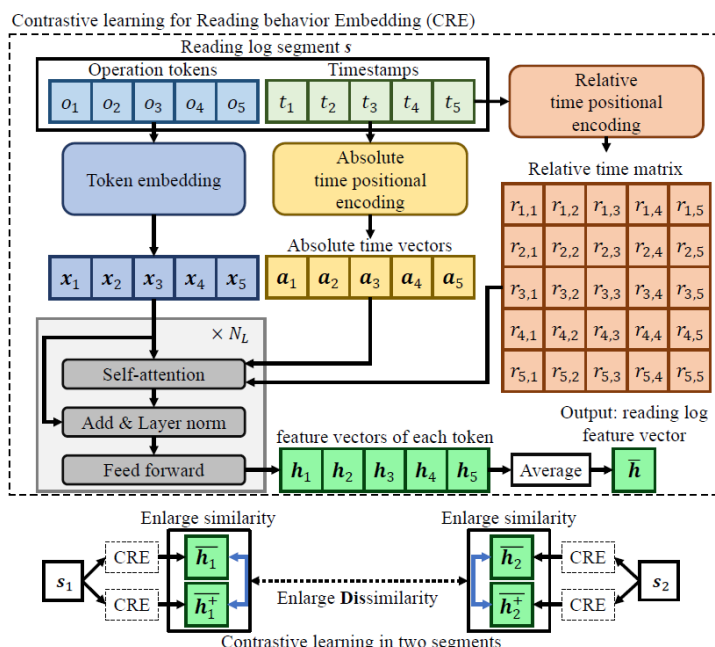


図2 対照学習による閲覧活動特徴埋め込み手法

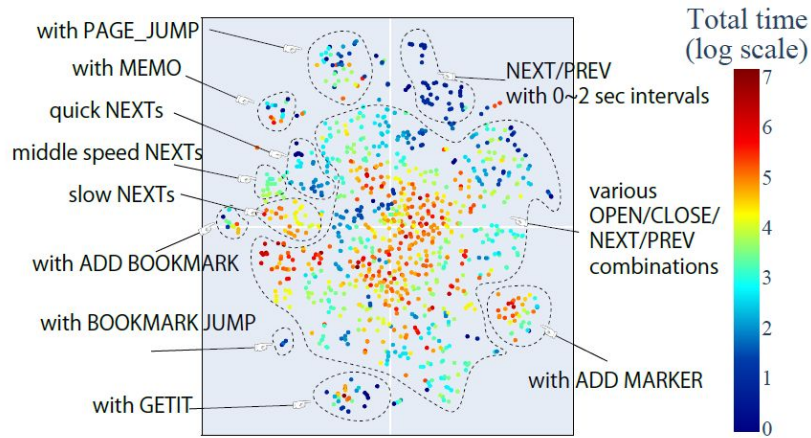


図 3 獲得された特徴空間 (t-SNE 可視化)

教育データセットにおいて、手作りの特徴量の表現能力の限界について議論されているものは少ない。機械学習研究においては、データ駆動型特徴量がそのような手作りの特徴量よりも優れた表現であることが報告されている。

本研究では、電子教科書システムの学習ログを収集し、図 2 に示す対照学習に基づく学習ログの表現学習法を提案した。提案手法では、時系列の学習ログを、データドリブンに行動特徴ベクトルに変換する。実験では、A t - r i s k 学生検出タスクにおいて、従来のカウントベースの特徴量表現よりも、提案手法による特徴量表現の方が優れていることを示した。さらに、提案手法によって学習される特徴空間の特徴が操作系列の操作時間間隔の情報を表現していることを示した。図 3 は提案手法により自動的に学習された特徴空間である。特徴埋め込みを学習する際に、操作系列に加えて時間情報を組み込むことで、時間をかけてページを移動する（ページを読んで移動する）・1 秒程度でページをめくる（ページを読まず移動しただけの行動）といった区別可能な特徴表現を自動的に獲得できたことを確認した。本成果は、AIED2023【2】にて報告した。

(4) 異常検知を対象に深層学習モデルのアンサンブル学習手法の開発

学習ログは学習者の性質や教員の指導方法に影響を受けるため、講義間で得られる学習ログの特徴は異なる。このため、あるコース A で学習した成績予測器がコース B で精度よく予測できないという現象が生じる。本研究成果では、講義コース間の学習した予測器を効果的に転用するための初期検討として、画像中から変化を検出するタスクを対象に、異なるシーンで学習されたニューラルネットワークのアンサンブル学習法の開発を行った。

図 4 に開発手法の全容を示す。まず、異なるシーンで独立にニューラルネットワークを学習する。その後、対象とする新規シーンに対して、複数のニューラルネットワークを結合し、新規シーンを学習する。さらに、新規シーンに適用するにあたって有用であったネットワークのみを利用する枝刈りを行い、枝刈りされたネットワークで最終調整を行った。

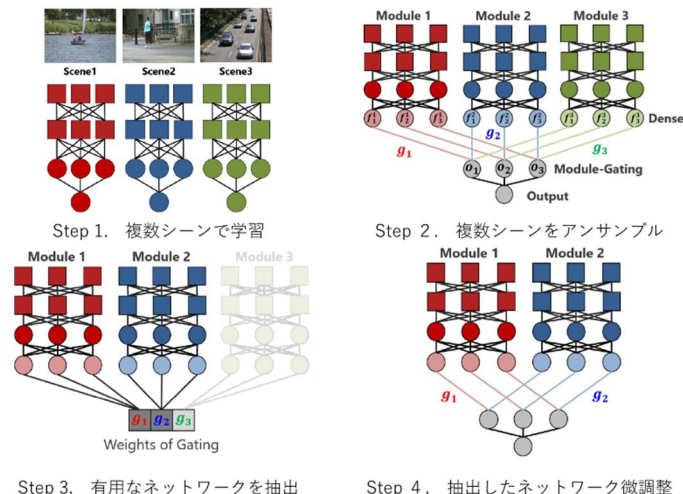


図 4 異常検知ニューラルネットワークの統合過程

新規シーンの学習に用いられる画像枚数が少ない実験設定において、独立して学習されたネットワークを転用する際の有用性を評価した。平均的な性能において、5個のネットワークを組み合わせることで、枝刈りをしない(Step2までの)ネットワークと同程度の性能を達成することが可能であることを示した。この結果は、独立して学習したネットワークの一部だけでも新規シーンの学習に有用であることとわずかな学習画像だけで新規シーンに転用可能であることを示唆した。今後の展望として、学習シーンを講義に置き換えて、各講義で得られる学習ログに対して、本手法を適用し、講義間での学習結果の流用を検討する。本研究成果は AVSS2022【3】で報告した。

(5) LLM による解答解説生成

電子教科書の活動促進を目指したダッシュボードへの大規模言語モデル(LLM)の適用を検討した。(1)では、学習者の閲覧時間や学習活動(わからないボタンを押したかどうか?や教員が説明しているページとは異なるページを閲覧しているか?)に基づいて、通知文を生成した。LLMにより、電子教科書の各ページの内容理解の精度が高くなったことを鑑み、ページ内容に基づいて通知文を生成することが期待できる。そこで本成果では、多肢選択問題に関連するスライド形式の電子教科書から解答解説生成に関する手法を開発した。

単に LLM に多肢選択問題と講義資料を入力し、解答解説を生成させることが可能であることを確認した。しかし、講義資料にない用語を用いた解説を生成する状況を確認した。そこで、講義で用いた電子教科書の内容に沿った内容となるように、電子教科書内の用語に着目したプロンプトを設計した。開発手法により、電子教科書を逸脱した解説・用語の利用が低減できることを実験的に確認した。

<出典>

【1】Tsubasa Minematsu and Atsushi Shimada, “Can Learning Logs Be Useful Evidence in Cheating Analysis in Essay-type Questions?”, The 12th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK22)

【2】Tsubasa Minematsu, Yuta Taniguchi and Atsushi Shimada, “Contrastive Learning for Reading Behavior Embedding in E-book System”, Artificial Intelligence in Education. AIED 2023

【3】Taiki Hamada, Tsubasa Minematsu, Atsushi Shimada, Fumiya Okubo and Yuta Taniguchi, “Background Subtraction Network Module Ensemble for Background Scene Adaptation”, International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS2022)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Tsubasa Minematsu, Yuta Taniguchi, Atsushi Shimada
2. 発表標題 Contrastive Learning for Reading Behavior Embedding in E-book System
3. 学会等名 Artificial Intelligence in Education. AIED 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taiki Hamada, Tsubasa Minematsu, Atsushi Shimada, Fumiya Okubo, Yuta Taniguchi
2. 発表標題 Background Subtraction Network Module Ensemble for Background Scene Adaptation
3. 学会等名 International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsubasa Minematsu, Atsushi Shimada
2. 発表標題 Can Learning Logs Be Useful Evidence in Cheating Analysis in Essay-type Questions?
3. 学会等名 The 12th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------