

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00485

研究課題名(和文) 手書き筆記に基づく学習時の思考プロセス理解支援技術の開発と検証

研究課題名(英文) Development and Evaluation of Learning Process Analysis Technologies based on Handwritten Notes

研究代表者

三浦 元喜 (Miura, Motoki)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：00334053

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：デジタルペンを用いると、学習者の紙への筆記を容易に電子化し、時系列筆記として取得できる。それらの時系列筆記には、学習者の思考プロセスが含まれている。本研究では、学習者の思考プロセスを教員や学習者自身が容易に振り返り、理解を促進するための支援技術として、教師が多人数学習者の筆記を机間指導中に短時間で視認するためのインタフェースや、学習者筆記に含まれる削除筆記や潜在的な弱点といった情報を自動検出する手法を開発し、実際の筆記データを利用して有効性の検証を行った。また、デジタルペン筆記のリアルタイム共有を促進させるための、Web共有基盤を開発した。

研究成果の概要(英文)：By using digital pens, handwritten notes on papers are immediately digitized as time-series writing. The time series writing includes learners' thinking process. In this research, we have considered teaching and learning assistance techniques for extracting the learner's thinking process. We developed a viewer interface that is suitable for teachers to check student notes during the lecture. Also, we developed methods to automatically detect erase strokes and learners' weak points, and verified effectiveness by real time-series writing. We also developed an infrastructure for real-time handwritten note sharing based on standard and open Web technologies.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション、教育工学

キーワード：オンライン筆記 デジタルペン 教授学習支援 多人数学習者筆記 筆記閲覧インタフェース Web共有 学習状況の把握

## 1. 研究開始当初の背景

アノト方式のデジタルペンや、筆記圧を利用する電子クリップボードなど、時系列(オンライン)筆記を取得可能な装置が普及しつつある。これらの装置を用いると、学習者に追加の負担をかけることなく、学習者の思考プロセスを詳細に取得できる可能性がある。しかし時系列筆記にふくまれる情報について、これまでの研究・実践では時間的な制約のため、授業時間内に最大限に活用できているとは言い難い状況であった。

## 2. 研究の目的

本研究では、学習者の思考プロセスを教員や学習者本人が容易に振り返り、理解を促進するための支援技術の開発と検証を行う。まず、教室などの共同学習環境において、各学習者の筆記活動の状況を、教員や他の学習者が短時間の視認で確認できるインタフェースを開発した。また、教員が学習者の状況を理解したり、時系列筆記データの意味付けを行ったりするうえで参考となる情報を付与するため、削除筆記の認識とタグづけを行う方法や、学習者が自分で意識できない潜在的な「弱点」を、時系列筆記データから抽出するための方法を開発した。

加えて、時系列筆記の利便性と有効性を高めるため、紙へのオンライン手書き筆記を、リアルタイムに Web 上で共有するシステムの開発を行った。

## 3. 研究の方法

最初に、時系列筆記の分析の円滑化をはかるため、申請者が開発してきた筆記閲覧・再生システム SimpleATN(AirTransNote)を改良し、個別の筆記に対して複数のタグ付けを行えるようにした。

また、時系列筆記に対して多様な特徴量を計算・検討しやすいうように改良し、SVM による分類を簡単に実行できるようにした。

## 4. 研究成果

### (1) 学習者の筆記活動を短時間で視認するインタフェースの開発と実験

教師が多人数学習者の演習における筆記を教室内で机間指導しながら、同時にプロジェクタで投影して、個別の状況を確認できるインタフェースとして、図1に示すような画面分割手法がある。しかし、画面を分割してしまうと、個々の学習者の筆記を詳細に表示するための表示解像度が得られない。そのため、個々の画面を適切に拡大したり、表示位置を調整したりする必要がある。当然ながら、教師はおもに机間指導に注力すべきであるため、これらの表示の調整は自動的に行われる

べきである。

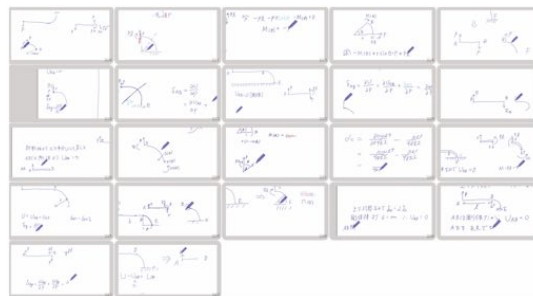


図1：画面分割手法

我々は、このような状況における、筆記再生・閲覧の視認性を高めるための表示方法として、表示倍率を固定した ConstantZoom と、筆記内容や筆記の大きさによってズーム率を変化させる VariableZoom の2種類を実装し、比較評価実験を行った。我々は、VariableZoom のほうが、文章と図を含むようなノート筆記において、それぞれの視認性を高めることを期待していた。しかし、実験の結果、被験者は ConstantZoom の視認性のほうを高く評価した。この原因としては、ズーム率が頻繁に変更されることで、文字の視認性を低下させてしまうことが考えられた。また、表示する筆記の内容(コンテンツ)に応じた表示を行う必要性がある。

そこで我々は、手書きによる式や文字の「一行」のまとまりを検出する方法を検討し、その「まとまり」を画面内に収める表示方法を実装した。文字の大きさと、動きの激しさに関する主観評価実験を行い、アンケート結果をU検定で検定したが、有意な差は得られなかった。しかし、行のまとまりを検出して表示する手法を適用した場合、式の読みやすさを高めた状態で提示できるため、数式などの理解性が高まることを確認した。

### (2) SVM による削除筆記の自動分類

アノト方式のデジタルペンは、ペン先がボールペンとなっていることが多いため、学習者は誤りを削除する場合、横二重線やバツ印、塗りつぶすような筆記(削除筆記)を行うことが多い。これらの削除筆記を含めて、教室内における画面共有をすることは、学習者の状況を生々しく伝える点においては有益である。しかし、学習者にとっては、自分の記入ミスや計算ミスを他者に開示したくない場合も考えられる。

我々は、削除筆記を含む学習者筆記を画面共有によって開示する際の、学習者の心理的負担を軽減するため、削除筆記の自動検出とタグづけを行う方法を検討した。横二重線やバツ印、塗りつぶすような筆記と、通常の筆記を SVM で分類するための特徴量として、距離、サイズ、ストロークの複雑さ、交差の数、直

前と直後の筆記との類似度を選択した。実験の結果、最大で8割の削除操作筆記を正しく検出でき、84%の削除筆記を正しく検出できることがわかった。

### (3) 筆記時間差を用いた潜在的弱点の検出

制限時間が設定された試験への対策として、正解していても回答に時間がかかっている問題や回答部分を、学習者が認識できるようにすることが望ましい。我々はこうした「回答に時間がかかっている部分」を「学習者の弱点」と定義し、これを発見する手法として、筆記の時間差を利用する方法を検討した。

9名の被験者に、大学入試センター試験の数学の問題を1つ解いてもらい、そのときの筆記データを収集しつつ、回答中の動画を記録した。回答のあと、学習者には、自分自身が弱点だと思った場所を抽出してもらった。また、記録した動画および回答を、別の実験協力者3名に閲覧してもらい、学習者の弱点になりうると思われる場所を抽出してもらった。提案手法と観測者による判定結果とを比較したところ、5~6割の精度で弱点を検出できた。

さらに認識精度を高めるための検討と改良を行った。具体的には、既存の時間閾値に対して、筆記の時間差の標準偏差で正規化したうえで、期待する節約時間を乗じた、新しい時間閾値を定義した。これにより、各学習者における極端な時間閾値が自動設定されることを防ぐことができるため、結果として弱点の認識率を高めることが可能になった。

### (4) 標準Web技術を用いたデジタルペン筆記の共有基盤の開発

デジタルペンは紙への筆記を自然に収集する点で、タブレットよりも優れている。しかし、学習者へのフィードバックや、他の学習者の筆記を閲覧するといった場面では、タブレットやスマートフォンなどの画面付きデバイスが必要不可欠となる。そのため、デジタルペンとタブレットを併用して、学習者筆記を閲覧する教育実践が報告されている。

現在行われている教育実践では、タブレットに専用ソフトをインストールしておく必要がある。そのため、複数の機種を混在して利用しにくい。また、ソフトウェアのアップデートの手間が生じる。

我々は、タブレットに専用ソフトのインストールを必要とせず、一般的なWebブラウザのみでリアルタイム性の高い筆記共有を実現するための基盤を開発した(図2)。WebSocket技術を利用することで、サーバ上

の筆記データが更新されると、自動的にクライアント(タブレット)の筆記が更新される。ストリーミング対応のデジタルペンを用いることで、筆記の終了を待たずに、サーバ上の筆記情報を随時更新することができるため、リアルタイム性が高い。筆記を即座にWeb上に反映できるため、遠隔地間での筆記共有に基づくコラボレーションの自由度が高まった。

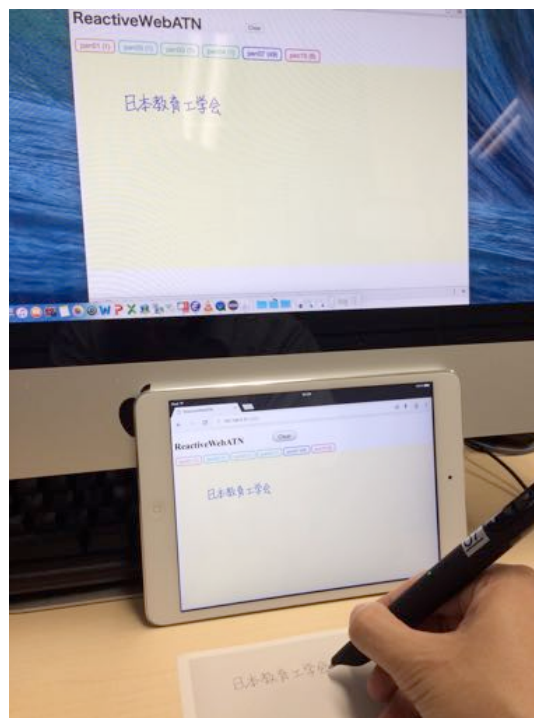


図2：ストリーミング対応デジタルペンを利用したリアルタイムWeb筆記共有

### (5) 研究のまとめと今後の展望

本研究では、デジタルペンのように学習者の思考プロセスを含む学習活動を容易に取得できるデバイスが教育現場に普及した際に、それによってもたらされる時系列筆記情報を活用し、学習者の状況や理解度を抽出したり、それを教員や学習者にフィードバックしたりするための手法や技術を開発した。また、筆記情報のリアルタイム共有を促進するためのWeb共有基盤の開発を行った。デジタルペンは、学習者に余分な負担を強いることなく学習プロセスを詳細に、かつリアルタイムに取得できる点で優れている。今後も筆記データの分析技術や提示技術を向上させることによって、学習者の学習を最適化する環境を追求していきたい。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

1. Kazuya Kishi, Motoki Miura: Detecting Learners' Weak Points Utilizing Time Intervals of Pen Strokes, *International Journal of Learning Technologies and Learning Environments*, (to appear) 2018, 査読あり.

2. 坂東 宏和, 加藤 直樹, 三浦 元喜: 授業映像・写真・筆記コメントを同期表示できる授業評価記録・閲覧システムの提案と開発, *情報処理学会論文誌 教育とコンピュータ*, Vol. 3, No. 1, pp. 17-25, 2017年2月, 査読あり.

3. 三浦 元喜, 最所 賢至, 清弘 祥太: タブレット端末における日本語形態素解析を利用した文書範囲選択手法, *情報処理学会論文誌*, Vol. 57, No. 4, pp. 1172-1180, 2016年4月, 査読あり.

[学会発表] (計 25 件)

1. 三浦 元喜: Block Sweetie: ブロック型エディタを用いた Web アプリ開発システム, *情報処理学会インタラクシオン 2018 予稿集*, 東京, pp. 599-602, 2018年3月.

2. Motoki Miura: Sweetie Framework: Simple but Practical Web Application Development Environment, 12th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support System, Nagoya, pp. 149-154, November 2017.

3. 前田 祐樹, 三浦 元喜: 多人数学習者の筆記を同時に閲覧するための横書き筆記における一行自動分割, *電子情報通信学会教育工学研究会*, Vol. 117, No. 256, 北九州, pp. 55-58, 2017年10月.

4. Manabu Ito, Motoki Miura: Handiness of device-free response analyzer systems in classroom, *Proceedings of 21th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2017)*, Marceille, France, pp. 1829-1834, September 2017.

5. Motoki Miura: ReactiveWebATN: Web-based Handwriting Note Sharing System for Distance Learning, *Proceedings of 21th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2017)*, Marceille, France, pp.

1326-1333, September 2017.

6. 三浦 元喜: Processing Web IDE における無限ループの検出と分析, *情報処理学会情報教育シンポジウム (SSS2017)*, 佐倉, 千葉, pp. 16-22, 2017年8月.

7. Kazuya Kishi, Motoki Miura: Detecting Learners' Weak Points Utilizing a Digital Pen, 6th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments, Hamamatsu, pp. 762-767, July 2017.

8. Syuuya Tanaka, Motoki Miura: Collaborative Group Label Work System based on Web Technology, 5th International Conference on Smart Computing and Artificial Intelligence, Hamamatsu, pp. 913-916, July 2017.

9. 前田 祐樹, 三浦 元喜: 学習者筆記の自動ブロック分割, *情報処理学会インタラクシオン 2017*, 東京, pp. 526-528, 2017年3月.

10. 伊藤 学歩, 三浦 元喜: 卓上立体方式レスポンスアナライザの評価実験, *情報処理学会インタラクシオン 2017*, 東京, pp. 405-408, 2017年3月.

11. 三浦 元喜: お手軽 Web アプリ開発環境 Sweetie Framework, *情報処理学会インタラクシオン 2017*, 東京, pp. 149-153, 2017年3月.

12. Yuki Maeda, Motoki Miura: Browsing Methods for Multiple Online Handwritten Note Animations, *The Eighth International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech2016)*, Kanazawa, Ishikawa, pp. 212-219, September 2016.

13. Motoki Miura: Sweetie: Lightweight Web Authoring Environment, *Proceedings of 20th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2016)*, Vol. 96, York, UK, pp. 887-895, September 2016.

14. Manabu Ito, Motoki Miura: Evaluation of Stationary Colour AR Markers for Camera-based Student Response Analyser, *Proceedings of 20th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2016)*, Vol. 96, York, UK, pp. 904-911, September 2016.

15. 三浦 元喜: Web 技術に基づく柔軟性の高

いデジタルペン筆記共有基盤, 日本教育工学会全国大会, 大阪, pp. 835-836, 2016年9月.

16. 三浦 元喜: リアクティブな学習者を対象とした学習支援システムのデザイン, 情報処理学会ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, Vol. 2016-HCI-169, No. 3, 下関, pp. 1-6, 2016年8月.

17. 三浦 元喜: Web 技術を活用したインタラクティブな情報教育環境の構築と実践, 電子情報通信学会 信学技報 IEICE-ET2016-11, Vol. IEICE-116, No. 85, 名古屋工業大学, pp. 19-24, 2016年6月.

18. 三浦 元喜: お手軽 Web 開発環境 Sweetie, 情報処理学会インタラクション 2016, 東京, pp. 281-284, 2016年3月.

19. 伊藤 学歩, 三浦 元喜: ランダムドットマーカを用いた置き型レスポンスアナライザの提案, 情報処理学会インタラクション 2016, 東京, pp. 371-373, 2016年3月.

20. 三浦 元喜: Web 技術を活用した柔軟でオープンなデジタルペン筆記共有基盤, 第23回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, 日本ソフトウェア科学会 WISS 2015, 日出, 大分, pp. 147-148, 2015年12月.

21. Manabu Ito, Motoki Miura: Portable Vision-based Response Analyzer with Sheet Bending Recognition, Proceedings of GCCE 2015, Osaka, Japan, pp. 143-144, October 2015.

22. Motoki Miura, Yusaku Kobayashi: Detecting Erase Strokes from Online Handwritten Notes using Support Vector Classification, Proceedings of 19th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2015), Singapore, 952-959, September 2015.

23. 三浦 元喜: Sweetie: 学生計算機上で動作する協働作業に適した軽量 Web エディタ環境, 情報処理学会情報教育シンポジウム (SSS2015), 境港, 鳥取, pp. 117-123, 2015年8月.

24. 前田 祐樹, 三浦 元喜: デジタルペン筆記における学習状況把握のための削除・被削除ストロークの検出, 情報処理学会情報教育シンポジウム (SSS2015), 境港, 鳥取, pp. 109-116, 2015年8月.

25. Motoki Miura, Tei Sui: A Simple Sheet Bending Recognition for Augmenting a Two-dimensional Marker-based Response Analyzer, Proceedings of 4th Int. Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV15), Kitakyushu, Fukuoka, (4pages), June 2015.

[その他]

ホームページ等

<https://ist.mns.kyutech.ac.jp/miura/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三浦 元喜 (MIURA, Motoki)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号: 00334053