

ペンタブレットを用いた集団学習環境での 筆記遅れ学習者リアルタイム検知システムの試作

岩恵裕夢^{1,a)} 永井孝幸^{2,b)}

概要: 個別指導方式は教師にとって生徒に合わせた細かな指導を可能にするといった利点があるが、学校教育の現場において一人の教師が多くの生徒に対して個別指導形式で対応するのは負担が大きく、一斉指導形式が一般的である。一方で、教育現場においてペンタブレット端末の導入が進んでおり、生徒の学習状況をリアルタイムに把握することが可能になりつつある。

本研究ではペンタブレット画面への書き込み操作からリアルタイムに授業中の生徒の学習状況を検出し、個別指導の対象となる生徒を教師に通知するシステムの開発を行っている。本報告では筆記タイミングの遅れを用いた「筆記遅れ学習者」のリアルタイム検知システム試作結果について述べる。試作システムは手書きインクデータのオープン規格 WILL(Wacom Ink Layer Language) を用いたウェブアプリケーションとして実装されており、Windows Surface や iPad 等複数のデバイス上で動作する。

キーワード: 手書き, 学習状況分析, 集団指導, ペンタブレット

Real time detection of late responding learners in group learning environment using pen tablets

HIROMU IWAE^{1,a)} TAKAYUKI NAGAI^{2,b)}

Abstract: Individual teaching method has the advantage of enabling teachers to provide detailed guidance in accordance with their students. However, group teaching method is widely used in schools because it requires much burden for a single teacher to deal with many students simultaneously in individual teaching method. Meanwhile, schools are introducing pen tablet terminals to students; that gives us an opportunity to grasp students' behaviour in real time. In this research, we are developing a system that timely notifies teacher which student needs individual guidance in group teaching environment by analysing pen stroke data from pen tablets of students. In this report, we describe our prototype system that detects "late responding learners" based on delay in writing timings. The system is implemented as a web application with digital ink technology "Wacom Ink Layer Language", and runs on multiple devices such as Windows Surface, Android, and iPad.

Keywords: handwriting, learning analytics, group teaching, pen tablet

1. 研究背景

近年、教育分野における ICT の活用が盛んになってきている。文部科学省は、平成 28 年度に教育の情報化加速

プラン [1] を提案し、ICT を活用した「次世代の学校・地域」の創生を図るようになった。このような社会情勢において、ICT 機器を用いたより効率的な教育システムの需要は高くなってきており、学校教育における ICT 機器の導入例として、ペンタブレットの導入 [2] が挙げられる。そして、導入した ICT 機器を利用した効率的な教育システムを組み立てていく取り組みの 1 つとして、生徒の手書き入力

¹ 京都工芸繊維大学, 大学院工芸科学研究科情報工学専攻

² 京都工芸繊維大学, 情報工学・人間科学系, 准教授

a) h-iwae18@dsml.cis.kit.ac.jp

b) nagai@kit.ac.jp

データの解析を行うことにより、効率的な教育を実現しようとする研究が進められている [3][4]。これまでの研究においては、授業中に得られる書き込み全体のデータから学習者の学習状態を求めたり [5]、筆記データそのものの分類 [6] を図ろうとしてきた。それらの事例では、筆記データを正確に取り扱えるようにしているが、学校教育の現場で実際に教壇にいる教師が、授業の最中に適時扱っていきやすいリアルタイム性がないという欠点がある。現在の学校教育の仕組みは、1回の授業においては、1人の教師が複数人の生徒を指導するという仕組みになっている。この仕組みは1人の教師と1人の生徒が向き合って学習を行う仕組みと比較して、1人の教師が各生徒に対して向けることができる注意や時間は少ない。授業中に学習状況が芳しくない生徒を適時教師が知ることができれば、教師はどの生徒に時間や注意を向けるべきなのかが分かり、より効果的な学校教育になると考えられる。そのため本研究では、複数人の学習者がペンタブレットを利用する環境で、そのペンタブレットから得られるデータを分析し、学習の進捗が遅れている生徒を検知することを目標とする。

2. 関連事例

手書きデータ解析による学習者の状態分析という観点、および集団指導形式を想定した学習ログの分析基盤という観点において、本研究で開発したシステムは既存のシステムと類似している。本節では既存のシステムとの相違点を述べる

2.1 オンライン手書きデータを用いた学習者のつまづき検出

早稲田大学の浅井らの研究 [3] では、筆圧、筆記速度、書き込み時間、無操作時間、書き込み消去時間を特徴量として分析を行い、オンラインの手書きデータから学習者のつまづきが検出できることを示している。特徴量のうち、書き込み時間、無操作時間、書き込み消去時間を用いて、決定木による解析を行って、数学の問題演習時において一定の成果を示した。課題として、精度と再現率のバランスについて実システムに有効なパラメータ設定についての検討、他の科目など様々な教育場面における有用性に関する調査、集団教育を想定したリアルタイムなつまづき検出手法の検討や顔画像データとの併用による詳細な学習者の心理状態の検出が挙げられている。ペンタブレットからの筆記時間を利用して、学習者の状態を測定する点で類似しているが、集団教育を想定したリアルタイムな学習検知を行う点で異なっている。

2.2 手書きプロセスデータ流通基盤の構築と大学教育における利活用アプリケーション

京都大学の喜多らの研究 [7] では、「手書きプロセスデー

タ」およびそれが生成された状況についての「手書きプロセスコンテキスト」の策定を行うことで、システムや大学の枠を超えて、コンテキスト手書きプロセスデータをビッグデータ化する。それにより、既存の教育学習に関する既存のデータと紐づけた教育学習支援を可能にする教育イノベーションプラットフォームを構築している。本研究とは、手書きデータの解析により教育学習支援を行うという研究目的の面で一致しているが、本研究は1つの教室での1回の授業の中での教育学習支援を目的としており、適応場面でマクロとミクロの違いがある。

2.3 中学校でのタブレット活用の実践と学習ログの分析

京都 ICT 教育モデルプロジェクトとして、京都外国語大学の村上らがタブレットの活用と学習ログの取得を行っている [8]。このプロジェクトでは、京都市立西京高校附属中学校において、生徒 120 人に一人一台ずつタブレット端末を用意し、授業中の学習および家庭学習において、学習を行っている時間帯の測定、および解答タイミングの遅れに注目し授業中の解答停止個所の検出をおこなっている。本研究とは、集団指導の中でタブレットを用いた学習をおこなない、解答タイミングの遅れに注目している点で類似しているが、本研究ではリアルタイムに解答タイミングが遅れている生徒を教師に伝え、教師を補助するシステムであるという点で異なっている。

3. 集団学習環境における教師に対する支援

本節では、集団学習における教師の支援を行うために要求される事項と、それに対する解決策を述べる。

3.1 データ解析の即時性における要求と解決策

授業時間全体分のペンタブレット筆記データの解析を行えば、その授業全体の生徒の進捗状況を把握することが出来る。しかし、授業中に適時教師が注意の必要な生徒を確認するためには、生徒の最新のペンタブレットの筆記情報から判断を行うことが求められる。すなわち、筆記が遅れているかどうかの分析を行う時点までに入手できたデータだけで分析を行うことが求められる。よって本研究では、ツールがデータの解析を行うにあたって、その解析時点までの最新のデータから解析を行う。また、1人分のデータを扱うのではなく、複数人分のデータを比較する手法を用いることで、授業全体分のデータと比較して少なくなるデータ量を補い、解析の精度を高める。

3.2 生徒用ペンタブレットの必要要件

集団授業で生徒が一人一台を使用して授業を行う条件下では、特殊なデバイスや高価なデバイスを全員分用意するのは難しい。また、生徒によって用いるデバイスが異なる場面を想定し、異なるデバイスでも同一の規格で利用でき

表 1 取得データリスト

取得データ内容	詳細
操作時刻	ペンタブレットの操作を行った時刻
筆跡	ペンストロークが描く筆跡の X,Y 座標の値
筆圧	0 以上 1 以下の筆圧の値
削除操作	削除操作時刻
ページ操作	ページ送り, ページ戻しのイベント操作名と操作時の時刻

表 2 ブラウザの筆圧および PointerEvent 対応状況表

端末	ペン	ブラウザ	状況
Surface Pro 3	Microsoft	Firefox	筆圧は取得できない
		Google Chrome	浮いたペンの動きを認識
		Microsoft Edge	浮いたペンの動きを認識
	指	Safari	浮いたペンの動きを認識
		Firefox	筆圧は取得できない
		Google Chrome	筆圧は取得できない
iPad 第六世代	pencil	Microsoft Edge	筆圧は取得できない
		Safari	筆圧は取得できない
	指	Google Chrome	筆圧は取得できない
		Safari	筆圧は取得できない

るシステムを考慮する。よって本研究では、生徒のペンタブレット用のアプリケーションを、Web ブラウザがあれば使用できる Web アプリケーションとして作成した。

4. ペンタブレット操作データ収集分析システムの試作

本研究において試作したペンタブレット操作データ収集分析システムについて述べる。

4.1 試作システムの概要

試作システムは、複数のペンタブレット端末の筆記画面に対するユーザのペンタブレット操作データを取得し、その操作データログをサーバ上で集計、解析することで、問題のある学習者を教師の端末に通知するシステムである。本報告では、筆記タイミングの遅れに注目し、筆記タイミングがほかの学習者と比べて遅れている学習者を問題のある学習者として通知する。

4.2 試作システムが取得するデータ

試作システムが解析のために操作ログから取得するデータを表 1 に示す。

また、本試作システムは Web アプリケーション形式で作成しており、ブラウザおよび端末によって一部動作が異なる。これは、ブラウザによって JavaScript の Pointer イベントの扱いが異なることと、筆圧取得イベントのサポート状況が異なるためである (表 2)。

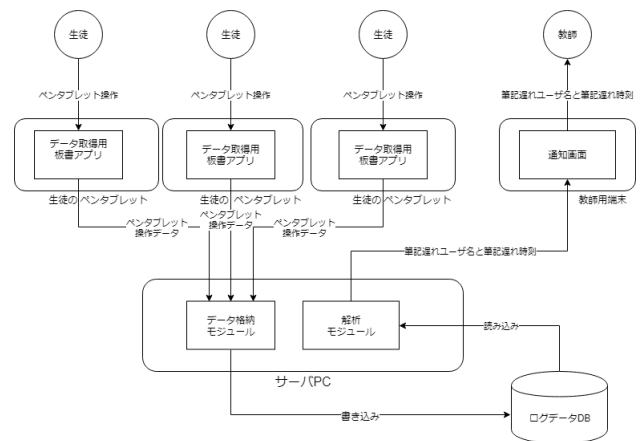


図 1 試作システムの全体構成

4.3 試作システムの全体構成

試作したシステムは、生徒のタブレット上に表示するデータ取得画面と教師の端末上に表示する通知画面と、学校が保持するサーバ上に存在するデータ格納モジュールと解析モジュール、それらのモジュールが操作するデータベースで構成される。試作したシステムの全体構成図を図 1 に記す。各モジュールの詳細を以下に述べる。

4.3.1 データ取得用板書アプリケーション

データ取得用板書アプリケーションは、複数人の生徒が、それぞれ自身のもつペンタブレット上からアクセスする。Web アプリケーションとして作成しており、生徒の入退出用のページと、板書用ページからなり、生徒は入退出ページでユーザ名を入力することでログイン操作を行う。板書用ページを図 2 に記す。板書用ページは株式会社 Wacom のデジタルインクデータ規格である WILL(Wacom Ink Layer Language)[9] を用いて作成している。板書用ページが保持しているユーザデータ構造を図 3 に記す。

板書用ページはデータ格納モジュールと websocket でリアルタイムに通信を行う。板書用ページにおいて行える操作は以下の 6 つの操作である。

- ペンストローク書き込み操作
- ペンストローク削除操作
- ページ遷移操作
- データ保存操作
- データ読み込み操作
- ログアウト操作

それぞれの操作の詳細は以下の通りである。

ペンストローク書き込み操作

画面へのペンあるいは指での操作を受けて、キャンバスに書き込みが行われる。ペンの画面に対する接地操作を筆記開始とし、ペンを画面から離す操作を筆記終了とする。筆記開始時にユーザ名、現在のページ番号、筆記開始時刻を書き込み開始データとしてサーバに送信する。WILL の機能により、筆記開始から筆記終了までの間にペンが描いた軌跡を点の集合として離散的

京都工芸繊維大学
情報工学専攻



図 2 板書用ページ

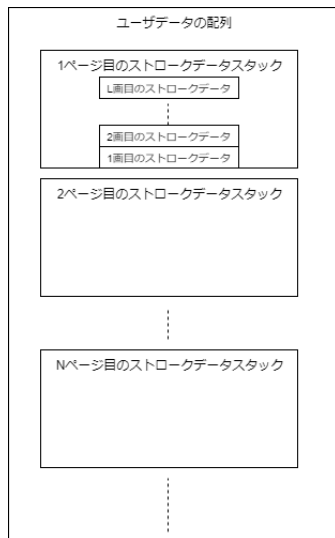


図 3 ユーザーデータ構造

にとらえ、各点の座標の値を配列として保持する。筆記終了時にユーザ名、現在のページ番号、筆記終了時刻、座標の配列を書き込み終了データとしてサーバに送信する。

ペンストローク削除操作

Undo ボタンを押すことでストローク単位の Undo 操作、Clear ボタンを押すことでページ内ストロークの全削除操作を行うことができる。WILL の機能により、ペンのストロークデータはスタックとしてメモリ上に保持されており、これを POP、または空にし、再描画を行うことで削除操作を行う。削除操作ボタンを押した際の時刻を取得し、ユーザ名、現在のページ番号、削除操作時刻を一筆削除データまたは全削除データとしてサーバに送る。

ページ遷移操作

Next ボタンを押すことで次ページ遷移操作、Prev ボタンを押すことで前ページ遷移操作を行うことができる。最初のページの場合は前ページ遷移操作を行うことは出来ない。次ページ遷移操作は現在のページが最終ページの場合は新しいページを作成し、作成するページに上限はない。ページ操作ボタンを押した際の時刻を取得し、ユーザ名、ページ操作名、ページ操作

時刻をページ送りデータまたはページ戻しデータとしてサーバに送る。

データ保存操作

Save ボタンを押すことで、書き込んでいる内容を各ページごとにファイルとしてユーザのローカルストレージに保存する。WILL の機能により、各ページの筆記データをエンコードし、ページごとにファイルとして保存する。

データ読み込み操作

Load ボタンを押すことで、データ保存操作で保存した data 形式ファイルを選択し、現在のページに筆記データを出力する。WILL の機能により、データ保存機能において保存した筆記データのファイルをデコードし、ページの筆記データを取得、再描画する。

ログアウト機能

ログアウトボタンを押す、もしくはページを閉じることでログアウト画面に遷移する。

4.3.2 データ格納モジュール

データ格納モジュールは学内サーバで動作することを想定して設計した。試作環境では、オープンソースの MySQL データベースと JavaScript 環境 Node.js を用いた。Node.js 用のフレームワーク Express とソケット通信パッケージ websocket.io および MySQL 操作パッケージがインストールされている。

全ユーザのペンタブレット操作データを保存するテーブルにはペンストローク単位の状況を保存するメインテーブル (図 4)、筆記座標を保存する座標テーブル (図 5)、画面操作状況を保存するイベントテーブル (図 6) がある。

本モジュールは、ウェブソケットでデータ取得画面からの送信を待ち受け、受信データの種別に合わせて処理を行う。受信データの種別は以下の 6 つである。

- 書き込み開始データ
- 書き込み終了データ
- 一筆削除データ
- 全削除データ
- ページ送りデータ
- ページ戻しデータ

それぞれの受信データの内容とそれに対する操作についての詳細は以下の通りである。

書き込み開始データ

データ内容はユーザ名、ページ番号、筆記開始時間である。このデータを受信した際、メインテーブルにデータ内容を書き込む。

書き込み終了データ

データ内容はユーザ名、ページ番号、筆記開始時間、筆記終了時間、筆跡座標データである。このデータを受信した際、座標テーブルにユーザ名と座標データを書き込む。メインテーブル中のユーザ名、現在のペー

userID	begintime	endtime	beginhdwrt	endhdwrt	beginprs	endprs	pagenum	deletetime
hhh	2018-11-08 14:39:30.575	2018-11-08 14:39:31.992	2	17	1	NULL	0	NULL
hhh	2018-11-08 14:39:33.550	2018-11-08 14:39:35.340	18	48	1	NULL	0	NULL
hhh	2018-11-08 14:39:35.950	2018-11-08 14:39:36.705	49	74	1	NULL	0	NULL
hhh	2018-11-08 14:39:36.367	2018-11-08 14:39:37.975	75	102	1	NULL	0	NULL
george	2018-11-08 14:52:08.125	2018-11-08 14:52:09.793	103	117	1	NULL	0	NULL
george	2018-11-08 14:52:11.924	2018-11-08 14:52:13.535	118	142	1	NULL	0	NULL
george	2018-11-08 14:52:34.452	2018-11-08 14:52:36.170	143	169	1	NULL	0	NULL
george	2018-11-08 14:52:42.660	2018-11-08 14:52:44.348	170	194	1	NULL	0	NULL
koko	2018-11-08 14:55:13.371	2018-11-08 14:55:15.970	195	220	1	NULL	0	NULL
koko	2018-11-08 14:55:14.467	2018-11-08 14:55:16.113	221	247	1	NULL	0	NULL
koko	2018-11-08 14:55:37.755	2018-11-08 14:55:39.394	248	273	1	NULL	1	NULL
ppap	2018-11-08 14:57:22.123	2018-11-08 14:57:24.690	274	296	1	NULL	0	NULL
ppap	2018-11-08 14:57:23.619	2018-11-08 14:57:25.442	297	327	1	NULL	0	NULL
ppap	2018-11-08 14:58:32.781	2018-11-08 14:58:34.690	328	359	1	NULL	0	NULL
ppap	2018-11-08 14:58:36.258	2018-11-08 14:58:37.642	360	375	1	NULL	1	NULL
ppap	2018-11-08 14:58:39.891	2018-11-08 14:58:41.623	376	395	1	NULL	1	NULL
ppap	2018-11-08 14:58:40.955	2018-11-08 14:58:42.319	396	409	1	NULL	1	NULL
ppap	2018-11-08 14:58:41.866	2018-11-08 14:58:43.336	410	430	1	NULL	1	NULL
ppap	2018-11-08 14:58:49.787	2018-11-08 14:58:51.791	431	466	1	NULL	2	NULL
ppap	2018-11-08 14:58:51.650	2018-11-08 14:58:53.719	467	504	1	NULL	2	NULL
sac	2018-11-08 15:19:52.887	2018-11-08 15:19:54.750	505	522	1	NULL	0	NULL
plat	2018-11-08 15:22:13.790	2018-11-08 15:22:14.833	523	543	1	NULL	0	NULL
spec	2018-11-08 15:24:50.190	2018-11-08 15:24:52.177	544	565	1	NULL	0	NULL
sasa	2018-11-08 15:27:23.846	2018-11-08 15:27:26.910	566	599	1	NULL	0	NULL
dsm	2018-11-08 15:50:40.667	2018-11-08 15:50:42.460	600	613	1	NULL	0	2018-11-08 15:50:43.250
dsm	2018-11-08 15:50:50.425	2018-11-08 15:50:52.672	614	656	1	NULL	1	2018-11-08 15:51:00.258
dsm	2018-11-08 15:50:54.514	2018-11-08 15:50:55.870	657	671	1	NULL	1	2018-11-08 15:51:00.258
dsm	2018-11-08 15:50:56.378	2018-11-08 15:50:58.343	672	706	1	NULL	2	2018-11-08 15:51:05.690
sadako	2018-11-08 15:57:51.289	2018-11-08 15:57:53.280	707	729	1	NULL	0	NULL
sadako	2018-11-08 15:57:52.899	2018-11-08 15:57:54.773	730	754	1	NULL	0	NULL
sadako	2018-11-08 15:57:54.161	2018-11-08 15:57:55.723	755	776	1	NULL	0	NULL
sarada	2018-11-08 16:00:24.575	2018-11-08 16:00:26.376	777	800	1	NULL	0	NULL
io	2018-11-08 16:04:05.120	2018-11-08 16:04:06.466	801	817	1	NULL	0	NULL

図 4 メインテーブル

num	userID	hdwrtX	hdwrtY	hdwrtWidth
2	hhh	151	81	26.5433
3	hhh	151	81	26.5433
4	hhh	151.23	81	26.5433
5	hhh	156.02	87.3213	23.8374
6	hhh	179.303	116.243	17.5087
7	hhh	235.9	175.636	9.33748
8	hhh	323.383	250.074	3.3412
9	hhh	415.626	310.457	1.0687
10	hhh	482.515	339.592	2.98989
11	hhh	512.628	341.213	6.00941
12	hhh	516.299	330.213	7.59469
13	hhh	510.138	320.075	6.54555
14	hhh	506.626	314.597	6.54555
15	hhh	505.457	311.824	6.54555
16	hhh	505	309	6.54555
17	hhh	505	309	6.54555

図 5 ペンストロークの座標テーブル

userID	time	eventname
lll	2018-11-22 15:19:13.640	NEXT
lll	2018-11-22 15:19:15.145	PREV
qqr	2018-11-29 15:48:32.629	NEXT
qqr	2018-11-29 15:48:47.638	NEXT
asada	2018-11-29 17:22:26.566	NEXT
asada	2018-11-29 17:22:34.581	NEXT

図 6 イベントテーブル

ジ番号、筆記開始時間が一致するエントリに対して、筆記終了時間と、座標テーブルに書き込んだレコードの最初の行番号と最後の行番号を書き込む。

一筆削除データ

データ内容はユーザ名、ページ番号、削除操作時刻である。このデータを受信した際、ユーザ名とページ番

号の一致する中で最新のエントリに削除操作時刻を追加で書き込む。

全削除データ

データ内容はユーザ名、ページ番号、削除操作時刻である。このデータを受信した際、ユーザ名とページ番号の一致するエントリ全てに削除操作時刻を書き込む。

ページ送りデータ

データ内容はユーザ名、ページ操作時刻である。このデータを受信した際、イベントテーブルにユーザ名、ページ操作時刻、イベント名'NEXT'を書き込む。

ページ戻しデータ

データ内容はユーザ名、ページ操作時刻である。このデータを受信した際、イベントテーブルにユーザ名、ページ操作時刻、イベント名'PREV'を書き込む。

4.3.3 解析モジュール

解析モジュールは学内サーバ上で動作することを想定して設計した。試作環境においてはデータ格納モジュールと同じサーバ上で動作するようにしている。本モジュールにおいては、データ格納モジュールで書き込みを行ったユーザデータが格納されているテーブルであるメインテーブル、座標テーブル、イベントテーブルに加えて、生徒の進捗状況を管理する生徒進捗テーブル(図7)を扱う。生徒進捗テーブルは現在ログインしているユーザを示すユーザ名のカラム、ユーザの書き込み状態を表す書き込み状態フラグのカラム、ユーザの筆記遅れ度合を表すユーザ筆記遅れ値を持つ。

UserID	wrtflg	judge
hhh	1	0
George	0	3
koko	0	3

図 7 生徒進捗テーブル

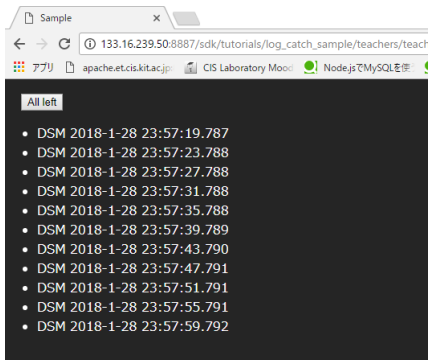


図 8 筆記遅れ生徒通知用ページ

本モジュールは、一定時間間隔 T で生徒進捗テーブル上のユーザ全員について、解析実行時の時刻に各ユーザの筆記状態をメインテーブルの状態から判定する。この時間間隔 T はサーバの性能に合わせて、解析の処理が遅れない程度に小さくする必要があり、試作環境上では $3000[\text{ms}]$ としている。解析モジュールは、生徒進捗テーブル上の書き込み状態にあるユーザの書き込み状態フラグを 1 にし、書き込み状態にないユーザの書き込み状態フラグを 0 にする。

書き込み状態フラグの和がユーザの数の一定割合 P 以上の場合、書き込み状態フラグが 0 であるユーザの筆記遅れ値を 1 増やし、書き込み状態フラグが 1 であるユーザの筆記遅れ値を 1 減らす。この一定割合 P は 5 節で述べる筆記必要場面の判定パラメータであり、試作環境では 0.5 としている。

ユーザの書き込み状態パラメータが一定値 X に達した場合に通知ツールにそのユーザ名と解析時刻を送信する。この一定値 X は、注意すべき生徒を見分けるためのしきい値となり、試作環境では 2 としている。ユーザ筆記遅れ値は 0 以上 X 以下の範囲で変動する。

また、通知画面よりユーザ全ログアウトメッセージを受信した際、生徒進捗テーブルを空のテーブルにする。

4.3.4 通知画面

通知画面は、教師用の端末からアクセスすることを想定している。結果通知用ページの `teachers.html` とそのスクリプト部を制御する `teachers.js` を持つ。 `teachers.html` の表示画面を、図 8 に示す。

`teachers.html` はユーザの全ログアウトボタンを持ち、全ログアウトボタンが押された際、解析モジュールにユーザ全ログアウトメッセージを送信する。

解析モジュールからデータを受信した際、そのユーザ ID と解析時時間をリスト上に表示をしていく。

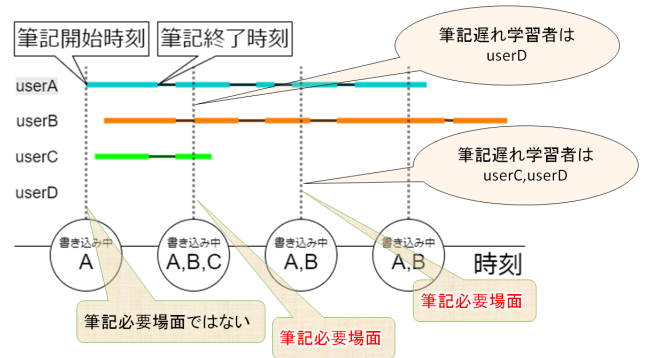


図 9 筆記遅れ学習者の判定図

5. 筆記遅れ学習者のリアルタイム検知

本節では、筆記遅れ学習者を検知するにあたっての課題と解決策を示す。

5.1 筆記必要場面の判別

本研究では筆記タイミングから筆記遅れ学習者の判別を行う。しかし、学習者は授業中の全ての時間に筆記を行っているわけではなく、教師の話の聞かなければならない場面など、場合によっては筆記を行うべきではない場面も存在する。そのため、筆記を行う必要がある場面をより分ける必要があり、それを筆記必要場面とする。ユーザ全体の人数に対して筆記状態にあるユーザの数が、一定割合を超えた場面を、筆記必要場面とみなす。

5.2 一回の筆記時間の判定

筆記に際して、ペン先は細かく上下するため、特定のタイミングで筆記中のユーザを特定するにあたって、文字を書いている最中にたまたまペンが離れた瞬間に筆記中ではないユーザとされてしまう恐れがある。そのため、本研究では一文字を書く際にかかる時間を考慮して、 0.3 秒の間に再び書き込みが行われている場合を一繋ぎの書き込みとする。

5.3 筆記遅れ学習者の検知方法

筆記必要場面に筆記状態にないユーザの、筆記遅れの判定に用いる筆記遅れ値を増加させ、筆記遅れ値がしきい値に達したユーザを筆記遅れ状態のユーザとして教師に通知する方式をとっている。学習者を 4 人、筆記必要場面の判定割合を 0.5 とした際の筆記遅れ学習者判定例を図 9 に示す。

6. 動作実験

本節では、筆記遅れ学習者検出の確認のために行った動作実験について述べる。

表 3 実験用 Windows10 PC の性能表

PC 名	性能	
Surface Pro 2 userID:"A"	ペン	Microsoft 5PT00010
	ウェブブラウザ	Microsoft Edge
	ウザ	40.15063.674.02
Surface Pro 3 userID:"B"	ペン	Microsoft 3UY00007
	ウェブブラウザ	Firefox 57.0.4
	ウザ	
VAIO Duo 13 userID:"C"	ペン	ソニー VGP-STD2
	ウェブブラウザ	Internet Explorer
	ウザ	11.192.16299.0
Dynabook Tab userID:"D"	ペン	東芝 PADPN004
	ウェブブラウザ	Microsoft Edge
	ウザ	25.10586.672.0
HP Z400 Workstation	ウェブブラウザ	Google Chrome ver63.0.3239.132

6.1 実験概要

今回、実験にあたって、4 台の生徒用タブレット PC と 1 台のサーバ兼用教師 PC を用いた。使用した Windows10 PC のスペックを表 3 に記す。本学の学生 4 人に、タブレット PC 上で試作システムを用いて、教師役が出題する 20 問の漢字の書き取りテストを行ってもらった。その際の各学生の筆記時間の記録と教師用通知画面の表示を確認した。

6.2 実験結果

書き込み時間ログテーブルに集計されたタブレット PC の筆記タイミングのグラフを図 10 に記す。20 問の漢字テストにおける各ユーザの解答状況について、正答時を○、誤答時を×、未解答時を-として、表 4 に記す。

5 節の筆記遅れ学習者の検知方法を解答状況に対して適用する。未解答ユーザが筆記状態にならなかったユーザである。各ユーザの解答状況より想定される筆記遅れユーザと、実際の通知画面に表示された筆記遅れユーザを表 5 に記す。

筆記遅れユーザの検出漏れは 20 問中 1 問で 5 % となった。誤って筆記遅れユーザと検出してしまうのが 20 問中 16 問で 80 % となった。

6.3 検証結果の考察

動作実験では生徒役を 4 人としたが、それにより、判定に用いるデータ量が少なく、誤判定を起こしてしまっていることが考えられる。そして、誤答ユーザは、解答し始めたものの途中でわからなくなり、筆記状態でなくなることがある。それにより、最後まで解答を行った正答ユーザと比較して筆記状態でない時間が長くなり、筆記遅れ学習者として誤って検出されていることが考えられる。

また、問題番号 3 や問題番号 8 において、筆記遅れユーザが存在しない筈のタイミングで筆記遅れユーザを検出し

表 4 実験におけるユーザの解答状況

問	漢字	userA	userB	userC	userD
1	体質	○	○	○	○
2	排除	○	○	○	-
3	辛酸	○	○	○	○
4	燃料	○	×	-	○
5	師匠	○	-	-	-
6	忠告	×	○	○	○
7	冷凍	○	○	○	○
8	鮮度	○	○	○	○
9	一滴	○	×	-	○
10	過失	-	○	○	○
11	野菊	○	○	-	○
12	額	○	○	○	×
13	墓参り	×	○	×	×
14	脅し	-	-	○	-
15	花婿	×	×	×	×
16	蚕	×	×	○	×
17	乾かす	×	○	○	×
18	震えた	○	×	○	○
19	寝袋	○	×	○	-
20	堺	○	○	○	○

表 5 想定される筆記遅れユーザ

問	筆記遅れユーザ	通知画面上の筆記遅れユーザ
1	なし	userC, userD
2	userD	userC, userD
3	なし	userA, userB, userC, userD
4	userC	userC, userD
5	なし	なし
6	なし	userD
7	なし	userD
8	なし	userA, userB, userC, userD
9	userC	userC, userD
10	userA	userA, userD
11	userC	userB, userD
12	なし	userD
13	なし	userB, userC, userD
14	なし	なし
15	なし	userB, userC, userD
16	なし	なし
17	なし	userA, userD
18	なし	userD
19	userD	userC, userD
20	なし	なし

ているのは、ユーザの筆記タイミングのズレが原因だと考えられる。改善策として、生徒数が 4 人のため、1 人 2 人の筆記タイミングがずれた際に影響が出てしまっており、生徒数が多くなれば、少数のユーザの筆記タイミングのズレの影響を減らすことが出来ると考えられる。

今回の実験においては漢字の書き取りテストを想定した状況設定であったが、計算やノートの書き写しなどの、状

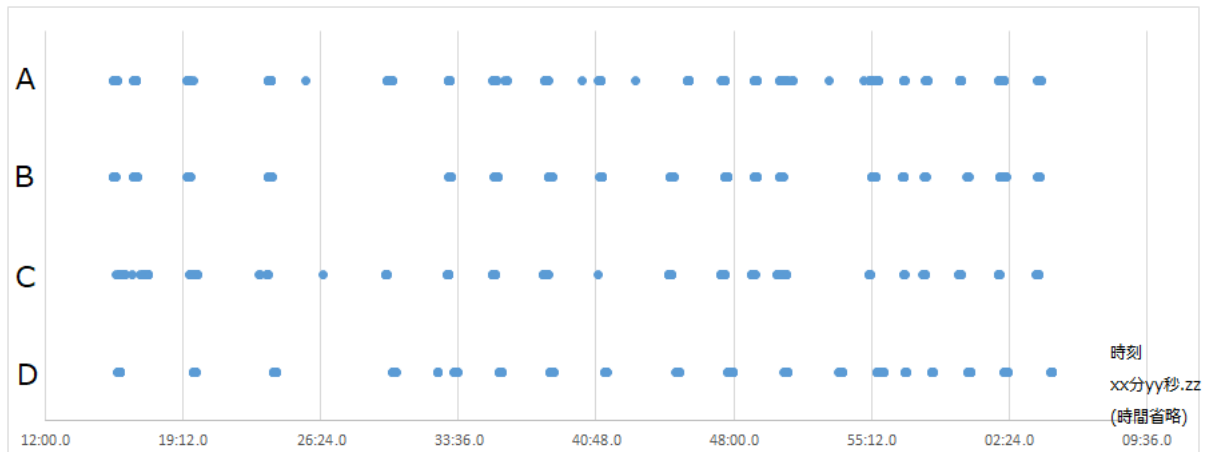


図 10 筆記タイミングのグラフ

況に合わせたデータの解析時間間隔と、筆記必要場面とみなすための割合を求めることで誤検出を改善できると考えられる。

7. まとめと今後の課題

本研究では、集団指導場面におけるペンタブレットの筆記操作を行える Web アプリケーションを作成し、Web アプリケーションの操作ログから、筆記遅れ学習者をリアルタイムに検出するシステムを構築した。そして筆記遅れユーザの検出実験を行い、筆記遅れユーザの検出漏れが 5%、筆記遅れユーザの誤検出が 65% となった。授業中の教師の補助という観点からは、誤った筆記遅れユーザを検出してしまった場合、教師が確認することで対策ができる。一方で筆記遅れユーザの検出漏れがあった場合には、教師が見逃してしまう可能性があるため、検出漏れを避けることが重要である。しかし、誤り検出件数が大きくなりすぎた場合、教師がその対応に手いっぱいになってしまう恐れがある。ゆえに、検出漏れに対する精度を下げないまま、誤り検出に対する精度を高めていく必要がある。

本報告書では、問題のある学習者として筆記遅れ学習者の検出を行ったが、この筆記遅れ学習者が教師にとって必要なデータであるかを調べる必要がある。そして、取得した筆記データから、筆記遅れ学習者以外の問題のある学習者のリアルタイム検知を行っていくことが今後の課題である。また、教師側の端末で生徒の学習状況を適切に見れるように通知画面を改善していくことも今後の課題である。

参考文献

- [1] : 次世代の教育情報化推進事業「情報教育の推進等に関する調査研究」, 文部科学省 (オンライン), 入手先 (http://www.mext.go.jp/a/_menu/shotou/zyouhou/detail/1400796.htm) (参照 2019-2-10).
- [2] : IT 教育に懸ける小さな公立小学校の挑戦, 東洋経済 (オンライン), 入手先 (<http://toyokeizai.net/articles/>

- /101956) (参照 2018-1-29).
- [3] 浅井洋樹, 野澤明里, 苑田翔吾, 山名早人: オンライン手書きデータを用いた学習者のつまずき検出, 第 10 回日本データベース学会年次大会 (DEIM Forum 2012), No. A8-4 (2012).
- [4] Yu, K., Epps, J. and Chen, F.: Cognitive Load Evaluation of Handwriting Using Stroke-level Features, *Proceedings of the 16th International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '11*, New York, NY, USA, ACM, pp. 423–426 (online), DOI: 10.1145/1943403.1943481 (2011).
- [5] 浅井洋樹, 山名早人: オンライン手書き情報を用いた未定着記憶推定システム, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-CE-127, No. 1, pp. 1–6 (2014).
- [6] 高橋梓帆美, 井本和範, 山口修: オンライン筆記データを用いた書き写し行為の推定, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-CE-129, No. 17, pp. 1–8 (2015).
- [7] 梶田将司: 手書きプロセスデータの国際標準規格の策定に向けて, 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-CLE-26, No. 2, pp. 1–5 (2018).
- [8] 村上正行, 飯山将昇, 美濃導彦: ペタ語義: 中学校でのタブレット活用の実践と学習ログの分析-京都 ICT 教育モデル構築プロジェクト-, 情報処理学会誌, Vol. 60, No. 1, pp. 66–69 (2018).
- [9] : WILL - インク機能とインク層におけるユニバーサルタイプのフレームワーク— Wacom, 株式会社ワコム (オンライン), 入手先 (<https://www.wacom.com/ja-jp/enterprise/will>) (参照 2019-2-18).