

平成28年度 卒業論文

ペンストロークの時間差を用いた学習者の弱点検出

平成29年2月21日

13108040

岸 兼也

指導教員 三浦 元喜 准教授

九州工業大学 工学部 電気電子工学科 電子工学コース

概要

学習者が問題解答後に復習するとき、多くの場合、間違えた問題に対してのみ焦点をあてると考えられる。しかし、正解した問題であっても時間のかかっている問題は復習すべきである。そのため、従来の紙とペンでは発見することができない解答過程の時間がかかった場所についてデジタルペンを用いて着目する。デジタルペンで得られた筆記データのペンストロークの時間差を用いることによって、我々は学習者の弱点を発見できると考えた。本論文ではその手法をシステムに実装し、評価を行ったところ、約5割から6割の正確さで弱点を検出することができた。

目次

第1章 序論	3
1.1 背景	3
1.2 本研究の目的	4
第2章 関連研究	5
2.1 筆記モードの占有率に基づくつまずき検出	5
2.2 ペンストロークの時間間隔を用いた解答停滞箇所の検出	5
2.3 解答時間を用いた復習問題の抽出	5
第3章 提案手法	6
3.1 学習者の弱点検出	6
3.2 しきい値の設定方法	6
3.3 ペンストロークの時間差を用いる利点	6
第4章 システム実装	8
4.1 弱点の可視化	8
4.2 しきい値の設定	8
4.3 スライダーの操作によるしきい値の設定	8
第5章 実験	10
5.1 筆記データの収集	10
5.2 比較データ	10
5.2.1 システムが抽出した弱点	10
5.2.2 学習者が抽出した弱点	11
5.2.3 第三者が抽出した弱点	11
5.3 比較	11

5.4	結果	20
5.4.1	システムが抽出した弱点と第三者が抽出した弱点の比較	20
5.4.2	学習者が抽出した弱点との比較	20
5.5	考察	25
5.5.1	しきい値の設定について	25
5.5.2	システムの有用性について	25
第6章	結論	27
6.1	まとめ	27
6.2	今後の課題	27
	謝辞	28
	参考文献	29

第1章 序論

本論文では、デジタルペンで収集した筆記に対して、ペンストロークの時間差を用いることによって学習者の弱点を検出する方法とその評価について論ずる。本章では、教育と情報技術の関係と、学習者の復習方法、そして、本研究の目的について説明する。

1.1 背景

近年、情報技術の発展により、教育のなかで様々なデジタル機器が用いられている。文部科学省は「教育の情報化ビジョン」[1]として、2020年までにデジタル機器の1人1台体制を実現させ、ICT (Information and Communication Technology = 情報通信技術)教育の本格化を目指しており、すでに、いくつかの学校では電子黒板やタブレットを用いた授業が行われている。また、ビジネスマンから学生まで幅広いサービスが存在するオンライン学習であるeラーニングを使用する人も多い。このように情報技術が教育の中で用いられている一方で、「2020年代に向けた教育の情報化に関する懇談会」最終まとめ[2]では、デジタル機器や無線LAN等のネットワーク、システムなどの構築にコストがかかることや、専門知識が必要となることで教員や子供が使いやすい状況になっていないなどの課題が挙げられた。

そこで、学習者にかかる負荷が少なく、より直感的に使用できるものとしてデジタルペンがある[3][4]。アノト方式のデジタルペンでは、特殊なドットパターンが埋め込まれた紙を使用し、ペン先にあるカメラでそれを読み取って筆記を電子化するので、通常の授業で用いられているように紙とペンによってデータを収集できる。そのデータを用いることによって学習者の問題解答後の復習を支援できると考える。

多くの学習者が問題解答後の復習時において、重要視するのは間違えた問題についてだと考えられる。しかし、センター試験やSPIなどの試験では時間をかければ解ける問題が多いが、一つ一つにかけられる時間は短い。つまり、正解している問題に対しても

時間のかかっている問題に関しては、理解を深めるために復習する必要があると考える。通常の紙に解答したものであると、どの問題に時間をかけたかを判断するのは難しく、一つの問題全体で時間がかかっていることがわかっていても、その解答過程でどの部分に時間がかかっているかを確かめるのは難しい。そこで我々はデジタルペンを用いる。デジタルペンによって筆記データを収集することで、解答過程のどの部分にどれくらいの時間がかかっているかについて着目することができる。

1.2 本研究の目的

通常行う学習において、解答の正誤の判定を行うのは容易であり、間違った問題を弱点として復習することはできる。しかし、正解しても時間のかかった問題というのを見つけることは難しく、さらにその解答過程のどこに時間を多くかけたのかを知ることは容易ではない。そこで、デジタルペンを用いて筆記データを取得することで解答過程の時間がかかっている場所に着目し、学習者の弱点を発見することができ、より効果的な学習ができるようになると思う。本論文では、ペンストロークの時間差を用いることで学習者の弱点を検出できるかの評価を行う。

第2章 関連研究

本章では関連研究として筆記データ、解答時間を用いた研究について紹介する。

2.1 筆記モードの占有率に基づくつまずき検出

浅井らは、オンライン手書きデータに対して、任意の時間で区切る (区切る区間をウィンドウと定義する) ことで、そのウィンドウにおける各筆記モード (Air Stroke, Writing Stroke, Erasing Stroke) の占有率を特徴量として学習者のつまずき状態の推定を行った [5]。その結果、適切にウィンドウの長さを設定することにより、80%を超える精度、再現率でつまずきを検出可能であることがわかった。我々の研究では検出する手法としてペンストロークの時間差を用いる点が異なる。

2.2 ペンストロークの時間間隔を用いた解答停滞箇所の検出

中塚らはペンストロークの時間間隔を用いて停滞箇所を検出する手法を提案した [6]。そのために必要な基準を得るために、DP マッチングを用いて複数の他者と比較を行った。我々の研究では他者との比較ではなく、個人内でのペンストロークの時間差を用いることによって検出する。

2.3 解答時間を用いた復習問題の抽出

出口らは復習支援システムの復習問題抽出方法において、解答時間を用いることが重要かどうかを検討した [7]。SPI の問題に関して、実験を行った結果、解答確信度が低い問題及び問題難易度の高い問題は解答時間が長くなることがわかったため、復習問題抽出に解答時間を用いることが可能であると考えられた。我々は問全体ではなく過程に着目しているが、解答時間が長い箇所を弱点とできるのではないかと考えた。

第3章 提案手法

本章では、弱点を検出する手法について提案を行う。また、その手法の利点を挙げる。

3.1 学習者の弱点検出

学習者の弱点を検出するために、我々はペンストロークの時間差を用いる。ここでのペンストロークの時間差というのは、ペンが紙に接触している状態をペンダウン、紙から離れている状態をペンアップとしたとき、前のストロークのペンダウンの開始時刻からそのストロークのペンダウンの開始時刻までの差をそのペンストロークの時間差とする。今回、その時間差がシステム上で設定するしきい値よりも大きいストロークを弱点とする。

3.2 しきい値の設定方法

我々は、一つの基準として、学習者の解答時間、目標の解答時間、各ペンストロークの時間差から決まるしきい値を設定した。まず、全てのペンストロークの時間差の合計値は解答時間と一致する。そこで、時間差が大きいところ、つまりペンが止まっている時間が長いところから順番に時間差の値を小さくしていく。ある時間差を小さくしていき、他の時間差と一致したとき、次はそれらを同時に小さくしていく。そのように時間差を小さくしていくと、時間差の合計値は目標の解答時間に一致する。そのときの一番大きい時間差の値をしきい値とする。

3.3 ペンストロークの時間差を用いる利点

我々がペンストロークの時間差を用いる利点として、解答過程の細かい部分に注目できるという点が挙げられる。問の解答時間全体からは、その問全体が弱点ということは

わかるが、その中でどこに時間がかかっているのかを知ることは難しい。また、時間の概念は学習者にとってわかりやすく、システムとして実装したときに学習者に受け入れられやすいと考えた。

第4章 システム実装

本章では、提案手法を検証するために用いたシステムについて記述する。

4.1 弱点の可視化

弱点を可視化するために筆記データを着色した(図4.1)。弱点として検出されたストロークを青色に着色し、また、そのストロークの後に同じ行に書かれるストロークを赤色に着色した。ここでの同じ行に書かれるストロークというのは、青色のストロークと同程度の高さ(紙の下方向をy軸の正としたとき、青色のストロークのy座標の最大値に20を足した値と、最大値から40を引いた値の間の範囲)にある連続で書かれたストロークのことであり、青色のストロークのあとに1度でも高さの離れたところにストロークを書くと、その次にもとの青色のストロークと同程度の高さのところに書いても赤くはならない。今回、20と40の値は事前に試験的に収集した筆記データを参考にして決定した。

さらに、着色されたストロークの太さを2倍にした。

4.2 しきい値の設定

3章で述べた方法により、システムの基準としてしきい値を設定する。この値は、学習者自身が目標の解答時間で解くために直すべき弱点を知るための指標になると考えられる。

4.3 スライダーの操作によるしきい値の設定

スライダー(図4.1)を操作することによってしきい値を変更できるようにした。基準となるしきい値だけで弱点を見るのではなく、自分の見やすいように値を変更できる。ま

た、スライダーを少しずつ小さくしていくことで、最も時間のかかった場所から順番に確認できる。スライダーの値は 1000ms 単位で変更できるようにした。

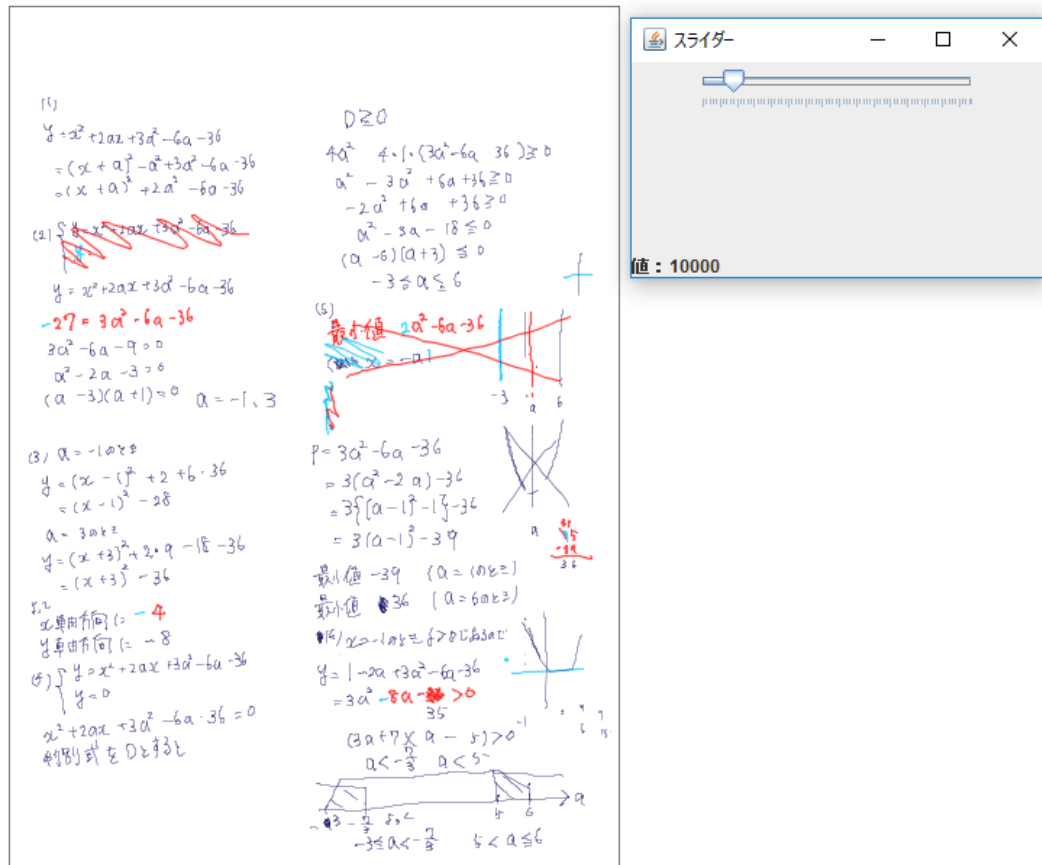


図 4.1: 弱点の着色とスライダー (青:弱点として検出されたストローク, 赤:弱点として検出されたストロークを含む行)

第5章 実験

本章では、収集した筆記データに対してペンストロークの時間差を用いることで弱点を発見するシステムの評価を行う。今回の実験では、システムが抽出した弱点、学習者が抽出した弱点、第三者が抽出した弱点の3つを比較する。

5.1 筆記データの収集

我々は九州工業大学の学生9人に対してセンター試験の数学の大問を1つ解いてもらい、その時の筆記データを収集した。被験者をそれぞれ1番から9番とする。筆記データの例を図5.1に示す。今回は、目標の解答時間を15分、解答の制限時間を25分とした。得られた筆記データから、各ペンストロークが書かれた時間の情報を用いる。また、あるストロークの時間差と他のストロークの時間差を視覚的に比較できるように、得られた時間差のデータをグラフにした。

5.2 比較データ

今回の実験で比較するシステムが抽出した弱点、学習者が抽出した弱点、第三者が抽出した弱点のデータについて説明を行う。

5.2.1 システムが抽出した弱点

それぞれの筆記データに対してしきい値を設定し、その値よりも大きい時間差のストロークを弱点とする。今回、目標の解答時間を15分としたが、それよりも早く解いた被験者の1番と6番に関してはしきい値の設定ができないので、比較対象から除いた。また、大問は6つの小問から成り立っているが、5問目を解いた時点で解答の制限時間とな

り、6問目を解いていない4番と7番に関しては、目標の解答時間を12分としてしきい値を設定した(図5.2)。

5.2.2 学習者が抽出した弱点

学習者が問題を解いた後に、学習者自身が弱点だと思った場所を抽出してもらった(図5.3)。また、実際にシステムを使ってもらい、アンケートを行った(図5.7)。

5.2.3 第三者が抽出した弱点

筆記データを収集するときに、2つのカメラを用いて解答の様子を撮影した(図5.5, 図5.6)。その映像を学習者とは別の九州工業大学の学生3人に見てもらい、学習者の弱点だと思われるところを抽出してもらった。第三者となる人物は一度その問題を解いてもらい、解答を熟知している。弱点を抽出する方法は、映像を見て、そこが学習者の弱点だと思ったときの時刻を記入し、また、弱点となる箇所を抜けたと思ったときの時刻を記入してもらい、その間にある箇所を弱点とした。今回は、この3人が抽出した弱点のうち、2人以上が弱点としたところを正しい弱点とする(図5.4)。

5.3 比較

我々の研究では、システムがどれだけの性能で弱点を発見できるかを評価するため、システムが抽出した弱点と第三者が抽出した弱点の比較に焦点を当てる。よって、今回の実験では学習者が抽出した弱点との比較については簡略化する。

システムが抽出した弱点と第三者が抽出した弱点を比較することでシステムの評価を行う。7つの筆記データそれぞれに対して、精度と再現率を算出し、F値を求める。それぞれの値を求める式は以下のようなになる。

$$\text{精度} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP})$$

$$\text{再現率} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN})$$

$$\text{F 値} = 2 * \text{精度} * \text{再現率} / (\text{精度} + \text{再現率})$$

それぞれ、TP は両方の抽出した弱点が一致した箇所の数、FP は第三者は抽出しなかったがシステムは抽出した弱点の箇所の数、FN は第三者は抽出したが、システムは抽出しなかった箇所の数である。ここでいう箇所は基本的には1行ずつで分割していく。1行内にシステムが青色に着色したストロークが2箇所以上見つかった場合、そのストロークの出現箇所を筆記を分割する。また、グラフや小さく書かれた計算などの細かい部分に関しては、学習者の動画を見て判断した。

(1)

$$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$$

$$= (x+a)^2 - a^2 + 3a^2 - 6a - 36$$

$$= (x+a)^2 + 2a^2 - 6a - 36$$

(2) ~~$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$~~

$$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$$

$$-27 = 3a^2 - 6a - 36$$

$$3a^2 - 6a - 9 = 0$$

$$a^2 - 2a - 3 = 0$$

$$(a-3)(a+1) = 0 \quad a = -1, 3$$

(3) $a = -1$ のとき

$$y = (x-1)^2 + 2 + 6 - 36$$

$$= (x-1)^2 - 28$$

$a = 3$ のとき

$$y = (x+3)^2 + 2 \cdot 9 - 18 - 36$$

$$= (x+3)^2 - 36$$

5.2

直線の傾き $= -4$
 直線の傾き $= -8$

(4) $y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36 = 0$
 $y = 0$
 $x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36 = 0$
 判別式を D とする

$D \geq 0$

$$4a^2 - 4 \cdot (3a^2 - 6a - 36) \geq 0$$

$$a^2 - 3a^2 + 6a + 36 \geq 0$$

$$-2a^2 + 6a + 36 \geq 0$$

$$a^2 - 3a - 18 \leq 0$$

$$(a-6)(a+3) \leq 0$$

$$-3 \leq a \leq 6$$

(5)

$$p = 3a^2 - 6a - 36$$

$$= 3(a^2 - 2a) - 36$$

$$= 3\left\{ (a-1)^2 - 1 \right\} - 36$$

$$= 3(a-1)^2 - 39$$

最小値 -39 ($a = 1$ のとき)
 最大値 36 ($a = 6$ のとき)

(6) $x = -1$ のとき $y > 0$ かつ $3a^2 > 0$

$$y = (-2a + 3a^2 - 6a - 36)$$

$$= 3a^2 - 8a - 36 > 0$$

$$(3a+7)(a-5) > 0$$

$$a < -\frac{7}{3} \quad a < 5$$

$-3 \leq a < -\frac{7}{3}$ $5 < a \leq 6$

図 5.1: 筆記データ

(1)

$$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$$

$$= (x+a)^2 - a^2 + 3a^2 - 6a - 36$$

$$= (x+a)^2 + 2a^2 - 6a - 36$$

(a) ~~$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$~~

$$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$$

$$-27 = 3a^2 - 6a - 36$$

$$3a^2 - 6a - 9 = 0$$

$$a^2 - 2a - 3 = 0$$

$$(a-3)(a+1) = 0 \quad a = -1, 3$$

(3) $a = -1$ のとき

$$y = (x-1)^2 + 2 + 6 - 36$$

$$= (x-1)^2 - 28$$

$$a = 3$$

$$y = (x+3)^2 + 2 \cdot 9 - 18 - 36$$

$$= (x+3)^2 - 36$$

(4) x 軸方向 $l = -4$

y 軸方向 $l = -8$

(5) $y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$

$$y = 0$$

$$x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36 = 0$$

判別式を D とすると

$D \geq 0$

$$4a^2 - 4 \cdot 1 \cdot (3a^2 - 6a - 36) \geq 0$$

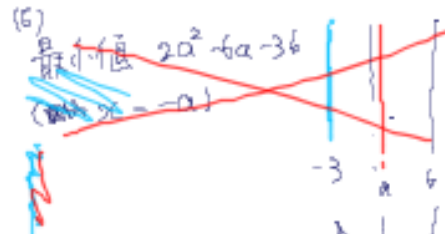
$$a^2 - 3a^2 + 6a + 36 \geq 0$$

$$-2a^2 + 6a + 36 \geq 0$$

$$a^2 - 3a - 18 \leq 0$$

$$(a-6)(a+3) \leq 0$$

$$-3 \leq a \leq 6$$



$$P = 3a^2 - 6a - 36$$

$$= 3(a^2 - 2a) - 36$$

$$= 3(a-1)^2 - 39$$



最小値 -39 ($a = 1$ のとき)

最大値 36 ($a = 6$ のとき)

(6) $a = -1$ のとき $f > 0$ かつ $3a^2$

$$y = (-2a + 3a^2 - 6a - 36)$$

$$= 3a^2 - 8a - 36 > 0$$

$$(3a+7)(a-5) > 0$$

$$a < -\frac{7}{3} \quad a < 5$$



図 5.2: システムが抽出した弱点

(1)

$$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$$

$$= (x+a)^2 - a^2 + 3a^2 - 6a - 36$$

$$= (x+a)^2 + 2a^2 - 6a - 36$$

(2) ~~$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$~~

$$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$$

$$-27 = 3a^2 - 6a - 36$$

$$3a^2 - 6a - 9 = 0$$

$$a^2 - 2a - 3 = 0$$

$$(a-3)(a+1) = 0 \quad a = -1, 3$$

(3) $a = -1$ or 3

$$y = (x-1)^2 + 2 + 6 - 36$$

$$= (x-1)^2 - 28$$

$$a = 3$$

$$y = (x+3)^2 + 2 \cdot 9 - 18 - 36$$

$$= (x+3)^2 - 36$$

∴
 x 軸方向: -4
 y 軸方向: -8

(4) $y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$
 $y = 0$
 $x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36 = 0$
 判別式 $D \geq 0$ と

$D \geq 0$

$$4a^2 - 4 \cdot 1 \cdot (3a^2 - 6a - 36) \geq 0$$

$$a^2 - 3a^2 + 6a + 36 \geq 0$$

$$-2a^2 + 6a + 36 \geq 0$$

$$a^2 - 3a - 18 \leq 0$$

$$(a-6)(a+3) \leq 0$$

$$-3 \leq a \leq 6$$

(5) ~~$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$~~

$$P = 3a^2 - 6a - 36$$

$$= 3(a^2 - 2a) - 36$$

$$= 3\left\{ (a-1)^2 - 1 \right\} - 36$$

$$= 3(a-1)^2 - 39$$

最小値 -39 ($a = 1$ のとき)
 最大値 36 ($a = 6$ のとき)

(6) $x = -1$ or 3 のとき $y > 0$ となる a の範囲

$$y = |-2a + 3a^2 - 6a - 36| > 0$$

$$= 3a^2 - 8a - 36 > 0$$

$$(3a+7)(a-5) > 0$$

$$a < -\frac{7}{3} \quad a > 5$$

$-3 \leq a \leq -\frac{7}{3}$ $6 < a \leq 6$

図 5.3: 学習者が抽出した弱点

(1)

$$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$$

$$= (x+a)^2 - a^2 + 3a^2 - 6a - 36$$

$$= (x+a)^2 + 2a^2 - 6a - 36$$

(2) ~~$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$~~

$$y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$$

$$-27 = 3a^2 - 6a - 36$$

$$3a^2 - 6a - 9 = 0$$

$$a^2 - 2a - 3 = 0$$

$$(a-3)(a+1) = 0 \quad a = -1, 3$$

(3) $a = -1$ or $a = 3$

$$y = (x-1)^2 + 2 + 6 - 36$$

$$= (x-1)^2 - 28$$

$$a = 3$$

$$y = (x+3)^2 + 2 \cdot 9 - 18 - 36$$

$$= (x+3)^2 - 36$$

④ x 自由方向 $(= -4)$
 y 自由方向 $(= -8)$

(4) $y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$
 $y = 0$

$$x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36 = 0$$

判別式を $D \geq 0$ とする

$D \geq 0$

$$4a^2 - 4 \cdot 1 \cdot (3a^2 - 6a - 36) \geq 0$$

$$a^2 - 3a^2 + 6a + 36 \geq 0$$

$$-2a^2 + 6a + 36 \geq 0$$

$$a^2 - 3a - 18 \leq 0$$

$$(a-6)(a+3) \leq 0$$

$$-3 \leq a \leq 6$$

(5)

$$P = 3a^2 - 6a - 36$$

$$= 3(a^2 - 2a) - 36$$

$$= 3\{(a-1)^2 - 1\} - 36$$

$$= 3(a-1)^2 - 39$$

最小値 -39 ($a = 1$ のとき)
 最大値 36 ($a = 6$ のとき)

(6) $x = -1$ or $x = 3$

$$y = |-2a + 3a^2 - 6a - 36|$$

$$= 3a^2 - 8a - 36 > 0$$

$$(3a+7)(a-5) > 0$$

$$a < -\frac{7}{3} \quad a < 5$$

$-3 \leq a < -\frac{7}{3}$ $5 < a \leq 6$

図 5.4: 第三者が抽出した弱点

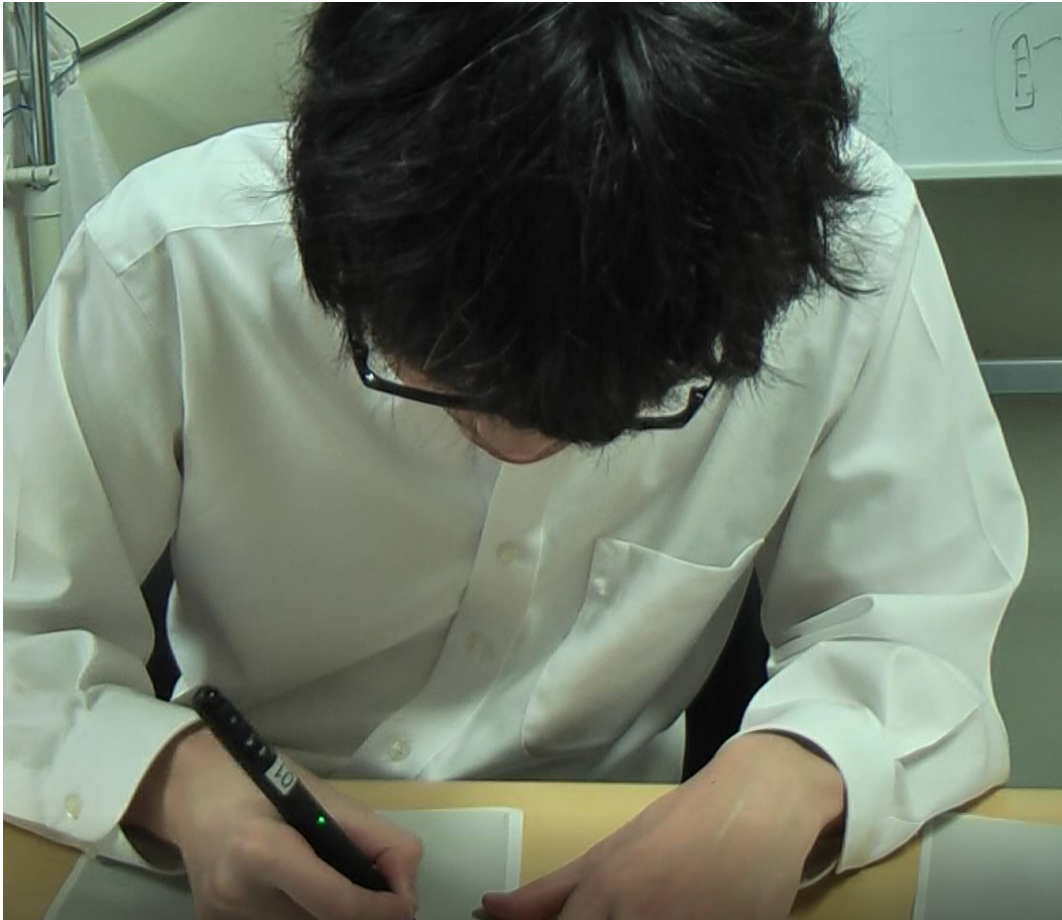


図 5.5: 学習者の様子

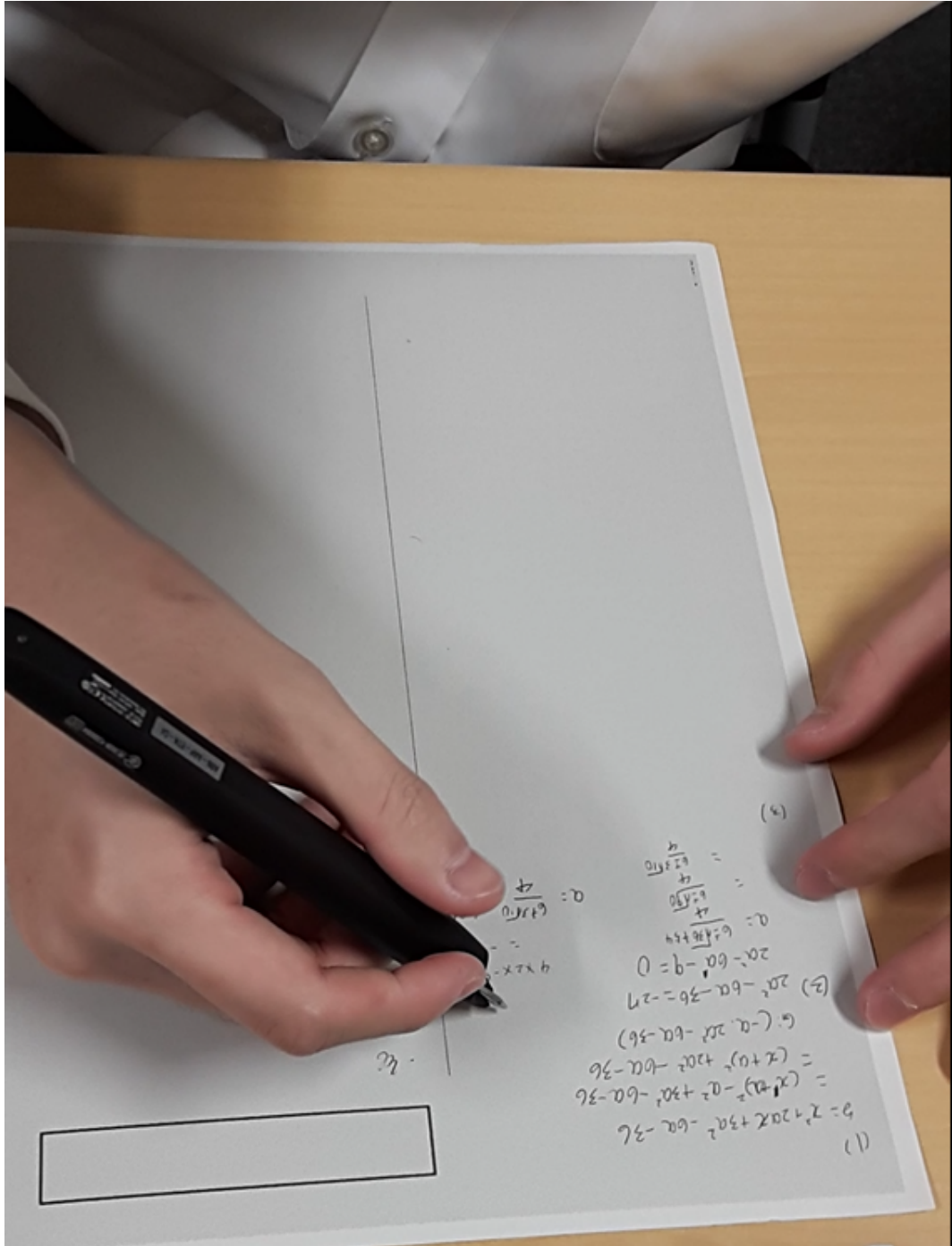


図 5.6: 学習者の手元

アンケート (5段階評価は5がとても良い、1がとても悪い、とする。)

①解いた感想を教えてください。(自由記述)

②デジタルペンの使い心地はどうでしたか。(1~5)

③システムで弱点が発見できましたか。(1~5)

④一番弱点が見やすい(復習する気になる)しきい値を教えてください。

⑤システムを実際に使いたいと思いますか。(1~5)

⑥システムの感想を教えてください。(自由記述)

図 5.7: アンケートの内容

5.4 結果

収集した筆記データのペンストロークの時間差のグラフを図 5.8 に示す。また、各データの比較結果は以下ようになった。

5.4.1 システムが抽出した弱点と第三者が抽出した弱点の比較

比較した結果を表 5.1 に示す。また、精度と再現率、F 値について図 5.9, 図 5.10 に示す。精度と再現率の関係はトレードオフの関係であるので、評価に F 値を用いる。表 5.1 より、システムは約 5 割から 6 割の正確さで弱点を検出できることがわかった。

表 5.1: システムが抽出した弱点と第三者が抽出した弱点の比較

学習者の番号	2	3	4	5	7	8	9
TP	6	24	15	29	22	3	15
FP	2	18	9	61	16	0	15
FN	11	10	19	5	8	5	5
精度	0.750	0.571	0.625	0.322	0.579	1.000	0.500
再現率	0.353	0.706	0.441	0.853	0.733	0.375	0.750
F 値	0.480	0.632	0.517	0.468	0.647	0.545	0.600
しきい値	16000	6000	6000	3000	6000	62000	9000

5.4.2 学習者が抽出した弱点との比較

学習者が抽出した弱点の一部を図 5.11, 図 5.12 に示す。問番号が弱点としてあるのは、その問全体を弱点とする。また、アンケートの結果を表 5.2 に示す。

多くの学生が問全体を弱点として見るのがわかった。また、解答の途中でミスに気づき訂正した部分については、それを弱点と認識することが多い。システムが抽出した弱点、第三者が抽出した弱点と比較すると、学習者が抽出した弱点は他の 2 つの方法が抽出した弱点の数よりも少ないことがわかる。

表 5.2: 学習者の解答後アンケート

学習者の番号	2	3	4	5	7	8	9
ペンの使い心地	4	3	4	5	4	3	3
弱点の発見	4	5	4	5	5	4	3
しきい値 (ms)	20000	20000	25000	12000	24000	30000	6000
システムの評価	3	5	4	5	4	4	4

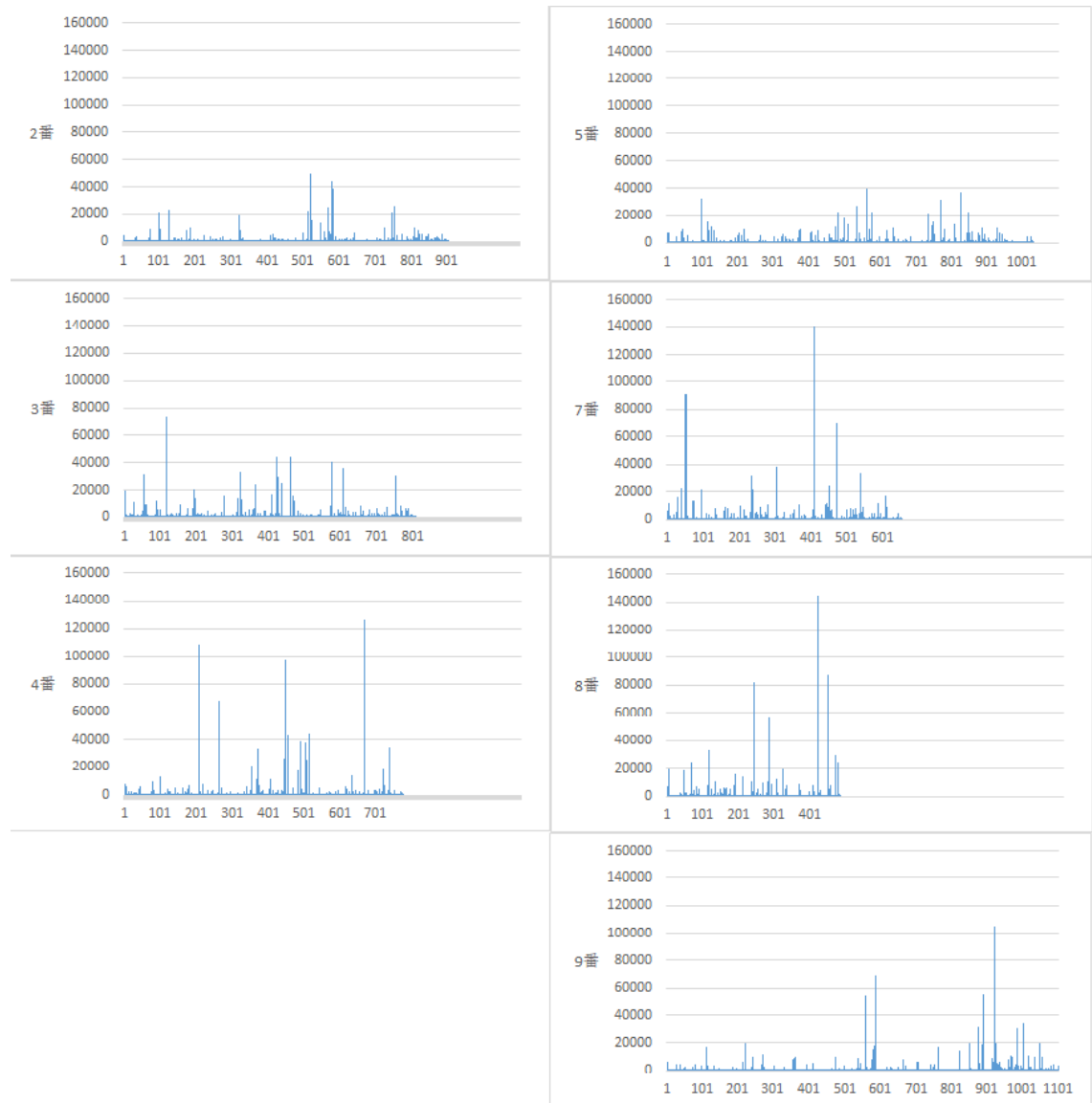


図 5.8: ペンストロークの時間差のグラフ (縦軸がペンストロークの時間差 (ms)、横軸がペンストロークの番号を示す)

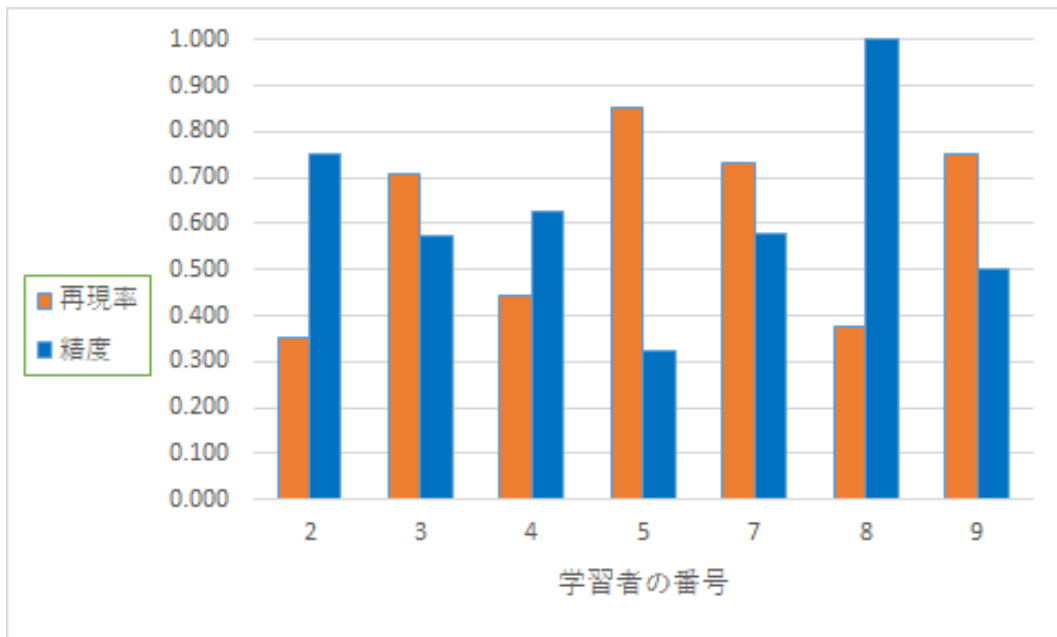


図 5.9: システムの精度と再現率

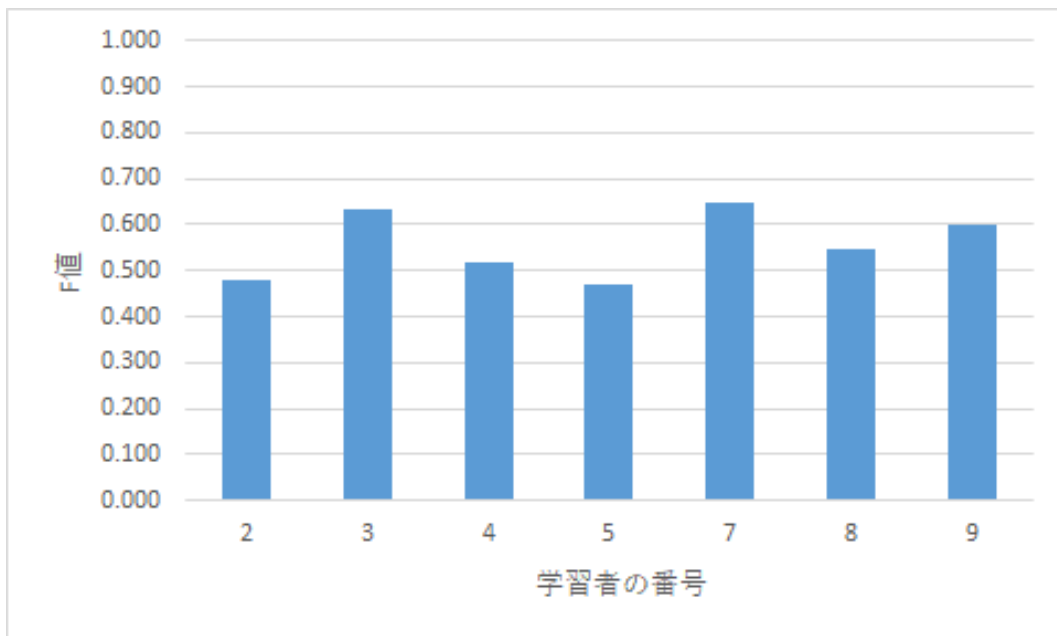


図 5.10: システムの F 値

(1) $y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$
 $= x^2 + 2ax + \frac{a^2}{2} + 2x^2 - 6a - 36$
 $= (x+a)^2 + 2(a^2 - 3a - 18)$
 $= (x+a)^2 + 2(a - 3)(a + 6)$
 頂 $(-a, 2(a^2 - 3a - 18))$

(2)
 $-27 = 3a^2 - 6a - 36$
 $3a^2 - 6a - 9 = 0$
 $3(a^2 - 2a - 3) = 0$
 $3(a-3)(a+1) = 0$
 $a = -1, 3$

(3) $a = 3 \dots A$
 $a = -1 \dots B$

A) $y = x^2 + 6x + 27 - 18 - 36$
 $= x^2 + 6x - 18 = (x+3)^2 - 36$
 $(-3, -36)$

B) $y = x^2 - 2x + 3 + 6 - 36$
 $= x^2 - 2x - 27 = (x-1)^2 - 28$
 $(1, -28)$

x 軸の値 $+4$
 y 軸の値 $+8$

(4) $G: y = (x+a)^2 + 2(a^2 - 3a - 18)$
 $2(a^2 - 3a - 18) \leq 0$
 $a^2 - 3a - 18 \leq 0$
 $a^2 - 3a - 18 = 0$
 $a = \frac{3 \pm \sqrt{9 + 72}}{2} = \frac{3 \pm \sqrt{81}}{2} = \frac{3 \pm 9}{2}$
 $a = \frac{3+9}{2} = 6$ or $a = \frac{3-9}{2} = -3$

(5) $y' = 2x + 2a = 0$
 $x = -a$
 $-\frac{3}{2} = -\frac{1}{2}$
 $a = \frac{3\sqrt{19}}{2}$ or $-\frac{3\sqrt{19}}{2}$
 $y = (x + \frac{3\sqrt{19}}{2})^2 + 2(0)$
 $x = 0, x = 0$ or $x = -\frac{3\sqrt{19}}{2}$
 $y = -36$
 最大値 $-\frac{3\sqrt{19}}{2}$ (at $x = \frac{3\sqrt{19}}{2}$)
 最小値 -36 (at $x = 0$)

(6)
 $G: y = (x+a)^2 + 2(a^2 - 3a - 18)$
 $2(a^2 - 3a - 18) > -1$
 $a^2 - 3a - 18 > -\frac{1}{2}$
 $D = (x+a)^2 + 1$
 $a^2 - 2a + 1 + 2a^2 - 6a - 36$

図 5.11: 学習者が抽出した弱点 (5 番)

(1) $y = x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36$
 $= (x+a)^2 + 2a^2 - 6a - 36$
 $G(-a, 2a^2 - 6a - 36)$

(2) $x=0$ 時
 $y = 3a^2 - 6a - 36$
 $-27 = 2a^2 - 6a - 36$
 $3a^2 - 6a - 36 = 0$
 $a^2 - 2a - 12 = 0$
 $(a-6)(a+2) = 0$
 $a = -2, 6$

(3) A:
 $y = (x+3)^2 + 18 - 18 - 36$
 $= (x+3)^2 - 36 \quad (-3, -36)$
 B:
 $y = (x-1)^2 + 2 + 6 - 36$
 $= (x-1)^2 - 32 \quad (1, -32)$
 $x \geq -4, y \geq -32$

(4) $x^2 + 2ax + 3a^2 - 6a - 36 = 0$
 $4a^2 - 4(2a^2 - 6a - 36) \geq 0$
 $4a^2 - 8a^2 + 24a + 144 \geq 0$
 $-4a^2 + 24a + 144 \geq 0$
 $a^2 - 3a - 18 \leq 0$
 $(a-6)(a+3) \leq 0$
 $-3 \leq a \leq 6$

(5) $y = x^2 + 2ax + 1a^2 - 6a - 36$
 $x^2 = 2x + 2a$
 $\frac{1}{2}$
 $x = 3a^2 - 6a - 36$
 $y = 6a - 6 - 36$

a	-3	10	6
y	-27	-6	30

 $\frac{1}{2} = 27 + 18 - 36 =$
 $y = 2a - 36 - 36$
 $y = 2a - 72$
 最大値 252 (a=6)
 最小値 -36 (a=0)

(6)

図 5.12: 学習者が抽出した弱点 (7 番)

5.5 考察

5.5.1 しきい値の設定について

表 5.1 の結果を見ると、5 番のしきい値が極端に低くなっている。ここで、ペンストロークの時間差の分散と、解答時間と目標の解答時間の差のグラフを図 5.13 に示す。解答時間と目標の解答時間の差は、それぞれのしきい値以上の切り捨てられた時間と同じであり、ここでは「切り捨て時間」とする。2 番と 5 番を比較すると、分散はほぼ同じであるが、切り捨て時間が 5 番の方が長い。つまり、5 番の方が解答に時間をかけている。また、5 番と 7 番を比較すると、切り捨て時間はほぼ同じであるが、5 番の方が分散が小さい。つまり、5 番の方が筆記の時間差にばらつきがない。以上のことから、分散が小さく、切り捨て時間が長いとき、しきい値が小さくなることがわかる。つまり、解答における筆記の時間差にばらつきがなく、全体的に解答が遅い場合、弱点として抽出される筆記の数が多く、本来の弱点が見えなくなるため、今回の提案手法によるしきい値の設定は適切でないと考えられる。

次にしきい値が極端に高い 8 番について考える。8 番と 2 番を比較すると、切り捨て時間はどちらも短いですが、8 番の方が分散が大きい。よって、分散が大きく、切り捨て時間が短いとき、しきい値が大きくなることがわかる。つまり、筆記の時間差のばらつきが大きいが、解答が速い場合、弱点として抽出される筆記の数が少なく、本来の弱点が見えないため、今回の提案手法によるしきい値の設定は適切でないと考えられる。

5.5.2 システムの有用性について

アンケートの結果を見ると、システムを使用して弱点を発見できている学生が多く、システムを使用したいという意見が強かった。また、学習者が設定したしきい値は、システムの基準として出したしきい値と比較すると大きいものが多く、学習者が抽出した弱点 (図 5.3) とシステムが抽出した弱点 (図 5.2) を比較すると、システムの方が弱点を多く抽出しているので、システムによって自分の弱点がより多くわかると考えられる。さらに、問全体を弱点としている人に関しては、その問の中で時間がかかっているところがわかるので、より細かく弱点を見ることができると考えられる。アンケートの自由記述に関しては、「弱点に色がつくのが良い」、「体感と違って正確な時間でわかるのが良い」、

「しきい値の設定が弱点を見つける指標として良い」などの意見がある一方で、「文章を読む時間を含むのはよくない」、「高速で間違いを書くとダメ」、「解答の正解不正解を表示してほしい」、「書いたら弱点ではないけど暗算なら弱点となるのはおかしい」「パソコンが必要なのは大変」、「スライダーを動かすのが面倒」などの意見もあり、より改善する必要があると考えられる。

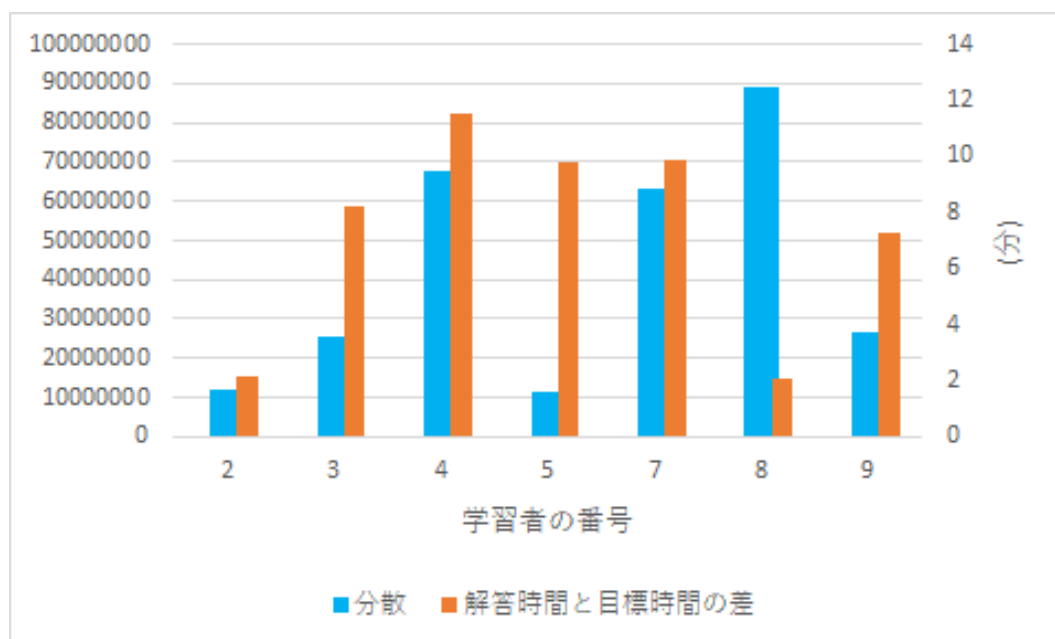


図 5.13: ペンストロークの時間差の分散と解答時間と目標の解答時間の差の関係

第6章 結論

本章では、これまでの結果をまとめ、今後の課題を述べる。

6.1 まとめ

本論文では、ペンストロークの時間差を用いて弱点を検出する手法をシステムに実装し、その評価を行った。収集した筆記データに対して、第三者が抽出した弱点を正解データとし、システムが抽出した弱点と比較することで精度と再現率、F値を求めた。その結果、約5割から6割の正確さで弱点を検出することが可能であることがわかった。また、実際にシステムを使用してもらったところ、システムによって弱点を発見できている学生が多く、システムを使用したいという意見が強かった。また、学習者が抽出した弱点とシステムが抽出した弱点を比較すると、システムが抽出した弱点の方が多く、学習者自身がわかっていない弱点をシステムによって検出できると考えられる。

6.2 今後の課題

今回の実験結果において、5割、6割という数字は決して高いものではないと思われる。より検出性能を高めるために、まずしきい値の設定方法の変更が考えられる。例えば、今回のように解答時間全体からしきい値を設定するのではなく、問題ごとにしきい値を設定するとより性能が向上する可能性がある。また、弱点の検出という点で考えると、ペンストロークの時間差だけを用いるのではなく、文章の意味や、二重線などで消されたストロークの関係のような筆記データから得られるもの、また、学習者の身体的、心理的状況などを検出の要因として加えることでより高性能な検出ができるのかもしれない。

謝辞

本論文を完成するにあたり、ご指導ご教授くださりました三浦准教授に御礼申し上げます。また、サーベイ輪講や中間発表においてご指導ご教授くださりました情報セクションの先生方、学生の皆様に御礼申し上げます。加えて、本論文のデータ収集や評価実験において、被験者としてご参加頂きました九州工業大学の学生の皆様、研究のみならず様々なことでアドバイスをしてくださった三浦研究室の皆様感謝いたします。最後に、大学生活を送るにあたって経済面や生活面において、ご支援をして頂いた家族に心から感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 文部科学省. 教育の情報化ビジョン～21 世紀にふさわしい学びと学校の創造を目指して～. http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/_icsFiles/afieldfile/2011/04/28/1305484_01_1.pdf, 2011.
- [2] 2020 年代に向けた教育の情報化に関する懇談会. 「2020 年代に向けた教育の情報化に関する懇談会」最終まとめ. http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/28/07/_icsFiles/afieldfile/2016/07/29/1375100_01_1_1.pdf, 2016.
- [3] 三浦元喜, 杉原太郎, 國藤進. 一般教室での日常的利用を考慮したデジタルペン授業システムの改良. 日本教育工学会論文誌 34(3), pp. 279–287, 2010.
- [4] 内田誠一, Marcus Liwicki, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一. デジタルペン. 映像情報メディア学会誌 Vol.64, No.3, pp. 293–298, 2010.
- [5] 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. In *DEIM Forum A8-4*, 2012.
- [6] 中塚智尋, 森村吉貴, 橋本敦史. ペンストロークの時間間隔を用いた答案の解答停滞箇所の検出. 教育システム情報学会研究報告, pp. 71–74, March 2016.
- [7] 出口寛之, 大西祐哉, 大矢哲也, 小山裕徳, 川澄正史. 解答時間を復習問題抽出に用いた復習支援システムの検討. FIT2010 (第 9 回情報科学技術フォーラム), 2010.