

# 手書き数式認識を利用したタブレットPC上での数学eラーニングシステムの試作

千葉智史<sup>†1</sup> 中川正樹<sup>†2</sup>

本稿は、タブレットPC上での手書き数学eラーニングシステムの試作について報告する。学習者は、表示された問題に対して、手書きで途中計算を行い、解答欄に解答を手書きする。システムは、途中計算を認識対象にしないが、記入された解答を手書き数式システムによって認識し、その認識結果を正答と比較する。本システムにより、選択形式やキー入力でない数学問題が設定できる。また、システム上で途中計算を自由な形式で書くことができる。そして、解答欄の自動認識により答合せが即座にできる。途中計算が高い精度で認識できれば、どこで間違ったかを指摘することもできるが、現状では複数行にわたる自由形式の数式認識はまだ研究段階にある。本システムにより、いつでもどこでも数式を解く学習が可能になり、これまでのテキストとノートを用いる形態に近いため、インタフェースに制約されない学習が可能になると期待できる。

## Prototyping of a math e-learning system on a tablet PC with handwritten mathematical formula recognition

SATOSHI CHIBA<sup>†1</sup> MASAKI NAKAGAWA<sup>†2</sup>

In this paper, we report prototyping of a math e-learning system on a tablet PC with handwritten mathematical formula recognition. For each question displayed on a tablet PC, a learner writes intermediate steps in free space and its answer into an answer box. This system recognizes the filled answer by a handwritten mathematical formula recognition system, and compares the recognition result with the true answer. Although it leaves intermediate steps unrecognized. It provides the merits: (1) questions requiring math formula rather than selection or keyboard input can be asked; (2) an examinee can write intermediate steps freely on the system and (3) an examinee can check the correctness of his/her answers immediately. Recognition of immediate steps is not employed since it is under research although it can detect where he/she has made mistakes. Nevertheless, this system enables a learner to answer math questions anywhere and anytime, and to learn without restricted by the user interface since it is similar to the conventional method using a textbook and a notebook.

### 1. 背景

数学を習得するにはある程度の数の問題を解くことが必要となる。学校や塾での学習や課題で問題を解く場合は問題が複数書いてあるテキストとそれを解くためのノートを用いる。そして、途中の計算や解答を手書きで行うことが一般的である。

一方、一般的な数学eラーニングシステムでは、問題がPCに表示され、途中計算を紙に手書きし、解答をPCへ入力する。解答を入力する時の入力インタフェースはテキストボックス、ラジオボタンやドロップダウンリスト等である。図1[1]は一般的なeラーニングシステムであるMoodle[2]の小テストの画面であり、数学ではないがそれらを用いたインタフェースとなっていることが分かる。このようなシステムには次のような欠点がある。

第一に、設問は選択形式か、キー入力可能な答えを導く問題に限られる。第二に、学習がシステム内で完結せず紙を用いることにより、学習者に対し入力対象の切り替えを

強制する。PCを使用する場合はキーボードとマウスを用い、紙を使用する場合は筆記用具を用いる。第三に、学習者の途中計算の記録がシステムに保存されない。したがって、どこで間違ったか分からない。

さらに、入力インタフェースは学習者が普段慣れているかによって操作時間は変わってくる。この入力インタフェースはノートに手書きする場合とは異なる解答方法である。PCの利用が不慣れた学習者は、テキストボックス、ラジオボタンやドロップダウンリストへの入力経験が少ないため、慣れている学習者に比べ入力に時間がかかる。

これらの理由から現在の数学eラーニングシステムは改善の余地が大きい。

近年iPadやNexus7など様々なタブレットPCが普及してきた。タブレットPCは持ち運べる大きさと重さであり、利用する場所を問わない。タブレットPCでの入力はタッチパネルで行うため、キーボードやマウスに比べ直感的な操作性を持つ。

このようなタッチパネルを搭載したデバイスが普及してきたことにより手書き文字認識が注目を集めている。手書きは小学生から行っているため慣れており、デバイスでの手書き利用の学習コストは低い。当研究室では手書き日本語文字認識エンジンだけでなく、手書き数式認識エンジン

<sup>†1</sup> 東京農工大学大学院工学府情報工学専攻  
Department of Computer and Information Sciences, Graduate School of  
Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

<sup>†2</sup> 東京農工大学  
Tokyo University of Agriculture and Technology

も開発されている。当研究室の手書き数式認識エンジンの認識率は上がっており、現在商用の提供が始まっている。



図1 Moodleにおける小テストの例

## 2. 目的

本研究の目的はタブレット端末と本研究室で開発された手書き数式認識エンジンを用いた数学eラーニングシステムを試作し、現在の数学eラーニングシステムの問題を解決することである。

背景で述べた通り、現在の問題の字自習におけるeラーニングを用いた学習では次の問題がある。

- 現在の数学eラーニングシステムで出題される問題はテキストボックス、ラジオボタンやドロップダウンリスト等選択式やキー入力可能な解答を導く問題に限られている。
- 計算は紙と筆記用具で行い、システムへの入力はキーボードとマウスを使う。計算と入力の切り替えが煩わしく、無駄な時間を発生させる。
- 途中計算の記録が残らないので、どこで間違えたかわからない。
- 学習者は紙などに手書きすることに慣れている。しかし、キーボードやマウスを用いて入力することには慣れていない。新たに慣れる必要がある。

これらの問題を解決するために全ての操作がタブレット端末だけで行えるシステムを提案する。システムへの解答の入力は手書き数式認識を用いることにより、これによりUIの慣れに対する問題を解決できる。また、計算時のUIに計算欄を取り入れる。これにより、計算と入力の切り替えの問題と紙を用意しなければならない問題を解決できる。

## 3. 本システムの設計

本章では本システムの設計について述べる。本システムはタブレットPCで動作することを想定している。タブレットPC上で手書き数式認識を用いることにより、紙と筆記用具を用いた学習により近い環境を提供できる。図2～図5は学習時のUIであり、本システムではそれらを遷移する。図2～図5の前に解く問題を決める。その問題の数だけ図2～図5を繰り返し、最後に結果を繰り返す。

我々が手書き解答にこだわるのは、それにより学習者の深い理解を問うことができるからである。選択問題では、答えを“当てる”ことが可能である。そのために正しく理解しているかどうか分からない。

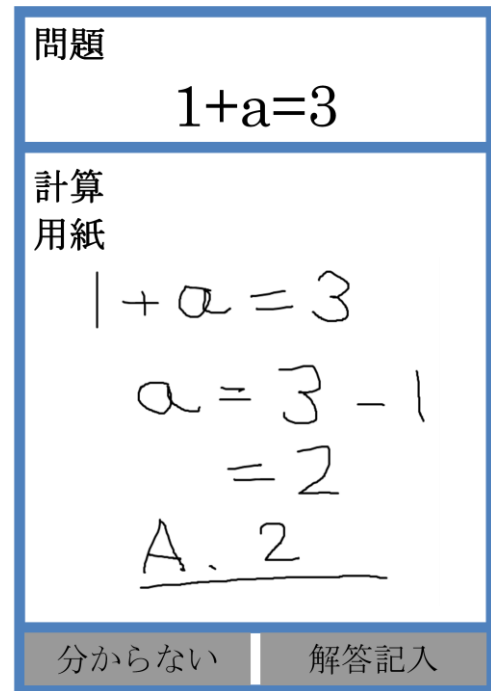


図2 問題表示画面

図2は問題を表示する画面である。この画面では問題を表示する部分と手書きで計算できる部分から構成する。紙と筆記用具を用いた学習に近いよう、問題を表示する場所を上部に、手書きで計算できる部分はその下に配置する。この画面では、学習者は問題を見ながら手書きで計算を行うことができる。この計算する部分で解答が出るまで計算を行い、解答記入ボタンを押して現れるダイアログに解答を手書きする。分からない場合は分からないボタンを押すことでこの問題を飛ばすことができ、その場合は次の問題が表示された図2へと遷移する。図2にはないが、書き間違いへの対応として、全ての筆画を削除するクリアボタンと1画戻るアンドゥボタンも設置する。

本システムでは途中計算として手書きされた数式を認識しない。森重らの研究[3]では行ごとの欄を設けて、それぞ

れを認識する。これは、現在の手書き数式認識技術では行分割の精度が低いからである。途中計算を認識することにより、どこで間違ったかが分かるが、行ごとに記入欄に書かないといけなく、学習者にとって制約となる。本研究では自由に筆記できるようにし、途中計算に対し手書き数式認識を行わないことにした。それでも、学習者は別の紙で計算する必要はなく、解答欄に書いた解答を即座に正誤判定してもらえ。また、我々にとっては、これにより自然な途中計算のパターンを収集することができ、今後の研究に生かすことができる。

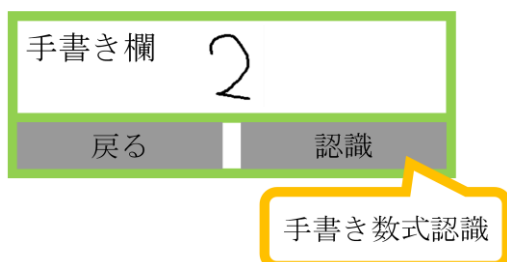


図3 解答を手書きするための手書きダイアログ



図4 手書きの解答に対する認識結果の確認画面

図3と図4は本システムで解答するための入力インタフェースである。図3は解答を手書きで記入するためのダイアログであり、図4は図3で記入した解答を手書き数式認識し、認識結果を確認する画面である。

図3のダイアログは図2の解答記入ボタンを押すことで出現する。このダイアログには手書きできる場所と認識ボタンが存在する。解答を手書き欄に記入し、認識ボタンを押すと、手書きされた解答に手書き数式認識を行い、その結果を図4のダイアログに表示する。

手書き数式認識は認識率が100%ではないため、学習者は、それが正しいか確認する必要がある。その確認を行うのが、図4のダイアログである。学習者は図3のダイアログに手書きした解答が正しく認識されたかを図4のダイアログで確認し、正しいなら決定ボタンを押して解答を確定させる。間違っていた場合は戻るボタンを押して書き直すことができる。

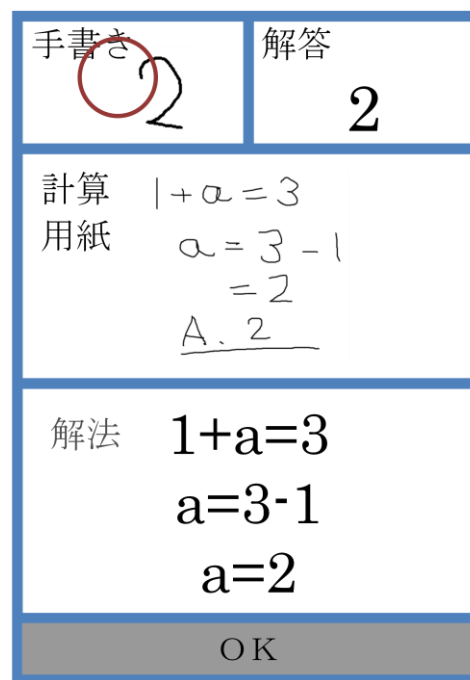


図5 解答の正誤と解法の確認画面

図5は学習者の解答の正誤と解法を確認する画面である。図4の決定ボタンを押すとこの画面に遷移する。図5の左上の「手書き」の部分は図3で手書きした解答をそのまま表示し、その正誤をその上に「○」「×」で表示する。ここでは図2の手書きした途中計算と正答の計算手順を比較できる。図5の「計算用紙」には図2の手書きした計算過程がそのまま表示し、図5の「解法」に正答の計算手順を表示する。数式を解く途中計算では数式以外も記入するからであり、通常解法は図等数式以外も使うからである。OKボタンを押すと次の問題に進み、次の問題が表示された図2の画面へと遷移する。

このように図2～図5を問題数分繰り返す。

#### 4. システムの実装

本システムはアンドロイドタブレットや iPad といったタブレット PC で実装する。今回はアンドロイドタブレットである Xperia tablet S spgt1211 を用いてシステムの実装を行った。数式認識には Anh らのシステム[4]を利用した。

図6は問題を表示する実装画面である。図2に対応し、問題を見ながら手書きで途中計算を行うことができる。問題を表示するためには、MathML や LaTeX 等で記述された数式をウェブブラウザ上で表示する JavaScript ライブラリの MathJax[5]を用いている。図2にはなかったが、前述したとおり全てを消す「Clear」ボタンと1画戻す「Undo」ボタンを配置した。

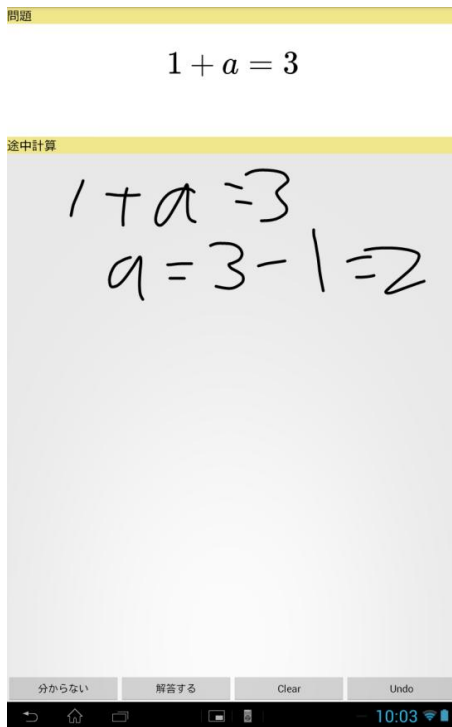


図6 問題表示画面

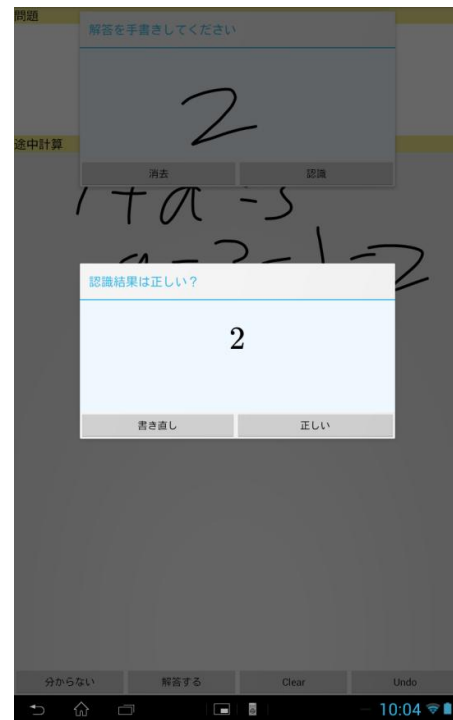


図8 手書きの解答に対する認識結果の確認場面

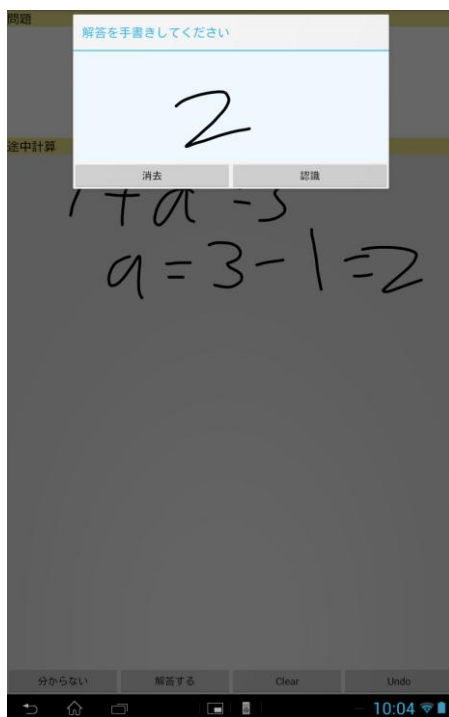


図7 解答を手書きする場面

図7は解答を手書きで記入する実装ダイアログである。図3に対応し、図6の解答するボタンが押されると表示する。途中計算の部分を隠さないように問題表示部分に重ねて表示している。

図8は図7の手書き解答を手書き数式認識した結果を表示する実装ダイアログである。図7のダイアログの認識ボタンが押されることで表示する。手書き解答を正しく認識したかどうかを学習者が確認できるように、図7のダイアログに重ならないよう中央に表示する。学習者が、「正しい」ボタンを押すと、解答の正誤を確認する画面に遷移し、「書き直し」ボタンを押すと図7のダイアログに戻る。

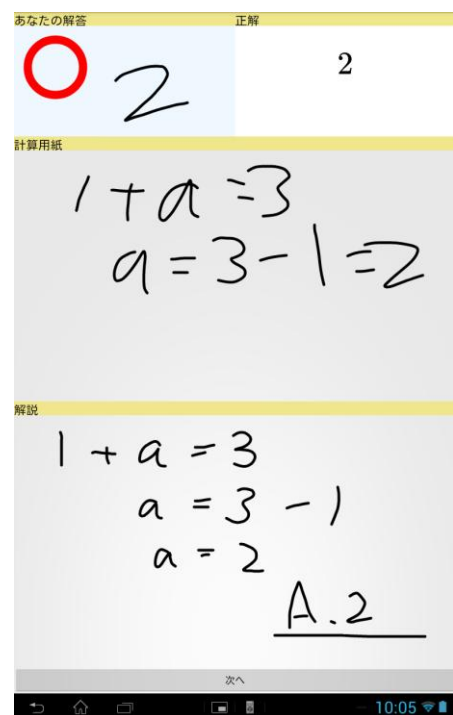


図9 解答の正誤と解法の確認画面

図9は手書きした解答の正誤と解法を解説する画面である。第3節では、文字フォントによる解説を示したが、現時点では、出題者が解説を手書きし、それをそのまま表示する実装にしている。学習者は、正誤と解法を確認し終え、次ボタンを押すと、次の問題に進むことができる。

## 5. おわりに

本稿ではタブレット PC 上での手書き数学 e ラーニングシステムの試作について報告した。当研究室で開発中の手書き数式認識エンジンは、研究開発途上ではあるが、それをどう利用できるかの研究が必要であるとの立場から本研究に着手した。手書き文字認識で 100% の認識は難しくても、手書き認識が効果的なアプリケーションと適切なユーザインタフェースとの組合せで実用化の段階に入ったように、数式認識もそうした段階を迎えようとしている。

本システムは手書き入力によって従来の選択式やキー入力可能な解答形式である数学 e ラーニングシステムよりも紙と筆記用具を用いた学習に近い。手書きするという行為は小学生から続けている。そのため、本システムは学習コストが少ないと考えられる。

紙と筆記用具を用いた学習は場所が限定されてしまうが、本システムの場合手書きでの学習が場所を問わず行える。

本システムでは通常の数学 e ラーニングシステムでは記録することがない途中計算を保存することができる。これは学習者や出題者が後から確認するのに役立つ。また、途中計算には図や数式や文章が混在するため、直接認識することができない。しかし、当研究室では文字と図形の分離研究[6]が行われており、認識できるようになる可能性がある。森重らの研究[4]は数式を 1 行毎に手書きしなければならないが、将来その必要がなくなる可能性がある。

本システムはシステムの有効性を確かめるために評価実験を行う予定である。

**謝辞** Anh Le Duc らの数式認識研究班に深謝する。

## 参考文献

- [1] 「第 1 回 Moodle (ムードル) とは : e ラーニングシステム Moodle の活用とカスタマイズ | gihyo.jp ... 技術評論社」, <http://gihyo.jp/dev/serial/01/moodle/0001>, アクセス日時: 2014 年 11 月 12 日 13:50
- [2] 「Moodle - Open-source learning platform | Moodle.org」, <https://moodle.org/>, アクセス日時: 2014 年 11 月 12 日 13:50
- [3] 森重湧太, 中川正樹: 手書き数式認識を用いた計算過程の正誤フィードバック, *情報処理学会研究報告*, Vol. 2014-CE-126, No. 3, pp.1-6 (2014.10).
- [4] Le, A., Van Phan, T., and Nakagawa, M.: A System for Recognizing Online Handwritten Mathematical Expressions and Improvement of Structure Analysis, *Proc. 11th DAS*, Tours, France, pp.51-55 (2014.4).
- [5] 「MathJax」, <http://www.mathjax.org/>, アクセス日時: 2014 年 11 月 12 日 13:50
- [6] Truyen Van Phan, and Masaki Nakagawa. Text/Non-Text Classification in Online Handwritten Documents with Recurrent Neural Networks, *Proc. 14th ICFHR*, Crete, Greece, pp.23-28 (2014.9).