

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 7 月 31 日現在

機関番号：34517

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330413

研究課題名(和文) 数式入力 of インテリジェント化と数学eラーニングに関する研究

研究課題名(英文) Improving the mathematical input efficiency for mathematical e-assessment systems using an intelligent predictive algorithm

研究代表者

福井 哲夫 (Fukui, Tetsuo)

武庫川女子大学・生活環境学部・教授

研究者番号：70218890

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、数式入力 of インテリジェント化と数学eラーニングに関する研究に取り組み、パーセプトロンの機械学習による予測アルゴリズムを使ったインテリジェント数式入力UI (MathTOUCH) の開発に成功した。高校数学で使われている一般数式4000個に対する予測精度評価実験によって、候補の10位以内に正解が含まれる正解率が85%に達した。さらに、MathTOUCHを数学eラーニングSTACKに実装して、被験者生徒・学生によるパフォーマンス実験およびドリル学習実験により、従来技術より1.2～1.6倍効率性が上がり、高い満足度が得られることを検証できた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to address shortcomings for improving the mathematical input efficiency for mathematical e-assessment systems. We have proposed a predictive algorithm in terms of a perceptron machine learning and developed an intelligent mathematical input user interface (UI), named MathTOUCH, by implementing such the algorithm. We examined the prediction accuracy using a dataset of general 4,000 mathematical formulae from five volumes of a mathematics textbook. The results showed that the accuracy of top ten ranking with our proposed algorithms achieved 85.2%. Finally, we conducted two experiments, i.e. a performance survey and an eight-week learning experiment, to evaluate the efficacy of MathTOUCH implementing STACK e-assessment system. As a result, we have shown that MathTOUCH enabled participants to enter mathematical expressions approximately 1.2 to 1.6 times faster than the standard interfaces and had a high level of user satisfaction in regards to mathematics input usability.

研究分野：情報工学

キーワード：数式入力インタフェース 知的学習支援システム 数学eラーニング 機械学習 理数系IT活用教育 知的インタフェース

1. 研究開始当初の背景

(1) 文部科学省が2011年に提言した「教育の情報化ビジョン」の中で、2020年度までにデジタル教科書への全面導入が計画されている。しかし、学習者用デジタル教科書では、デジタルを活かして学習者が、デジタルノート、デジタル問題集などの個別学習を行える機能が必要とされ、課題も多く残されている。特に理数系科目においては、2次元的な表記である数式のデジタルデバイスによる入力が必要とされるため、困難さを抱えている。

(2) 一方、数学eラーニングにおいて数式を直接回答できるシステムは非常に少なく、特に数式入力手順の煩わしさが学習者の妨げになっている。例えば2次方程式の解を答えさせる問題の場合、当時の数学eラーニングで利用できる回答形式4タイプを図1に示す。穴埋め式の場合は、数値の誘導をしまうことになり、選択式は非論理的である。数式を直接回答できるシステムであっても、コマンド式の場合は文法が複雑で、GUIテンプレートを使った数式エディタの場合は、作図的煩わしさがある。

(3) このため我々は数式を読むような曖昧な文字列から最適な数式候補を提示してくれるような、日本語の仮名漢字変換に似た、数式曖昧文字列変換方式を2012年に提案し、それを実装した数式入力インタフェースシステム MathTOUCH を開発してきた。被験者実験によって、MathTOUCH は従来のGUIテンプレート方式よりも手早く入力することが可能で、満足度が高いことを示したが、左の要素から一つずつ変換するため、中学・高等学校生にとっては、まだまだ、煩わしい点があり、課題が示された。

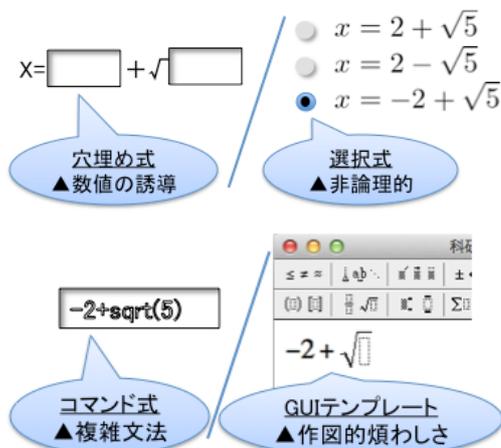


図1 回答形式4タイプ

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、数式のデジタル入力 MathTOUCH をインテリジェント化し、数学のデジタルメモや途中計算記録が気軽に行え、数式を負担なく直接回答できる数学eラーニングを実現することにある。

(2) インテリジェントな数式入力とは、図2のように、 x^2 を入力するのに“x^2”ではなく、“x2”と数式を読む行動と同じ文字だけを打鍵し、変換によって x^2 を候補として出力する。ただし、 x_2 も候補として存在するが、数式辞書の機械学習が進めばユーザがよく使う候補が優先され、入力効率が向上するので満足度は高くなるはずである。

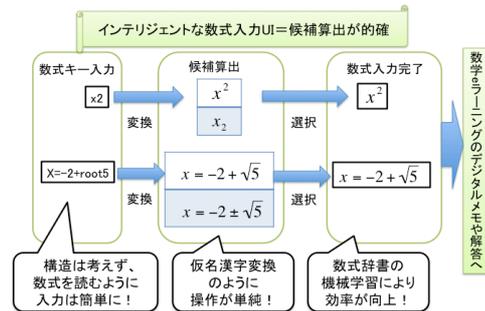


図2 インテリジェントな数式UI

3. 研究の方法

(1) 数学eラーニングシステムにおける数式入力の負担を軽減するために、3年間で次の課題に取り組んだ。

【課題1】数式曖昧文字列変換方式の MathTOUCH を既存の数学eラーニングシステムに実装し、数学eラーニングの数式入力の負担を改善すること

【課題2】数式曖昧文字列変換方式に機械学習アルゴリズムを導入して、MathTOUCH のインテリジェント化を図り、変換効率を改善すること

【課題3】上記の成果を被験者テストや教育実践に導入して評価し、その有効性を示すとともに、それらの成果システムを広く試用できるように、Webで公開すること

(2) 【課題1】のために、実装対象の数学eラーニングとして、知名度が高く無償で公開されている STACK を採用する。【課題1】を解決する方法は、次の方法①～⑤である。

方法① Javaで作られている MathTOUCH をオンライン Web サービスとして動作するように、JavaScript に移植する。

方法② STACK の数式内部表現が数式処理システム Maxima の文法に従っているため、MathTOUCH の数式出力フィルターに Maxima 形式を追加する。

方法③ 線形代数など大学の数学学習に必要な行列の入力方法を改善する。

方法④ MathTOUCH を実装した STACK を使って、被験者によるパフォーマンス実験を行う。

方法⑤ MathTOUCH を実装した STACK を使って、数学ドリル学習実験を行う。

(3) 【課題 2】の解決方法として、自然言語処理で使われているパーセプトロン機械学習を数式の場合に拡張して、インテリジェント化を図り、次の方法⑥～⑨を実施する。

方法⑥ 数式変換に対応した機械学習アルゴリズムを MathTOUCH に実装する。

方法⑦ 2 次方程式分野の学習データを作成し、精度評価を行う。

方法⑧ アルゴリズムの問題点を精査し、安定化を図る。

方法⑨ さらに、一般の数式でも数式変換予測が高精度となるようにアルゴリズムを改善・確立する。

(4) 【課題 3】への取組として、方法⑩～⑫を実施する。

方法⑩ インテリジェント化された MathTOUCH に対して被験者実験による評価を行う。

方法⑪ 公開用 Web サーバを構築し、JavaScript 版 MathTOUCH の試用システムを公開する。

方法⑫ 上記の成果を国際会議等で発表する。

4. 研究成果

(1) 我々は、数式入力のインテリジェント化と数学 e ラーニングに関する研究に取り組み、パーセプトロンの機械学習による予測アルゴリズムを使ったインテリジェント数式入力 UI (MathTOUCH) の開発に成功した。高校数学で使われている一般数式 4000 個に対する予測精度評価実験によって、候補の 10 位以内に正解が含まれる正解率が 85% に達した。さらに、MathTOUCH を数学 e ラーニング STACK に実装して、被験者生徒・学生によるパフォーマンス実験およびドリル学習実験により、従来技術より 1.2~1.6 倍効率性が上がり、高い満足度が得られることを検証できた。

(2) まず、平成 26 年度当初、目的課題に取り組むために、MathTOUCH を使った PC 画面上の数学学習が、初学者 (中学生) に受け入れられるかをプロトタイプシステムによって本学附属中学校の生徒約 20 人に実践し (図 3)、紙によるドリル学習より十分やる気が出ることを検証した (論文⑫、発表⑭)。

(3) 【課題 1】に取り組んだ結果、次の①～⑤の成果を得た。

成果① JavaScript 版 MathTOUCH を完成し、オンライン Web サービスに組み込んで動作するようになった (発表⑫)。



図 3 MathTOUCH 実践授業

成果② MathTOUCH の数式出力フィルターに数式処理システム Maxima, Mathematica, Maple 形式を追加した。これにより STACK をはじめ、多種ある数式自動採点システム (数学 e ラーニングシステム) への実装が可能となった (論文③、発表④)。

成果③ MathTOUCH の行列の入力方法を改善し、被験者テストによって従来の方法より有意に速く行列が入力できることを確認した (論文⑧、⑪、発表⑬)。これにより線形代数など大学の数学学習に役立つものと期待される。

成果④ MathTOUCH を実装した STACK を使って (図 4)、高校から大学生約 120 人の被験者によるパフォーマンス実験を行った結果、数式の平均入力時間は従来方式に比べて 1.2~1.6 倍速く、操作性に関する主観満足度においても有意に高い評価を得た (論文⑦、発表⑥)。

成果⑤ MathTOUCH を実装した STACK を使って、大学 2 年生を対象に 8 週間に渡る数学ドリル学習実験を実施した結果、従来方式と変わらない習熟率で学習が進み、記憶のしやすさの主観満足度が有意に高いことを示した (論文②、⑩、発表③)。これにより MathTOUCH は数学 e ラーニングの数式入力手段として有効であることを示すことができた (図 5)。

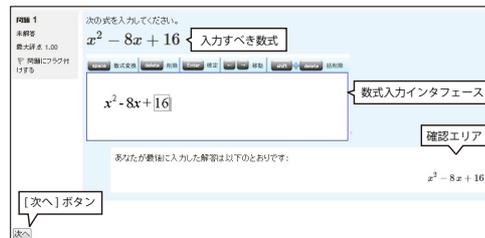


図 4 MathTOUCH を実装した STACK

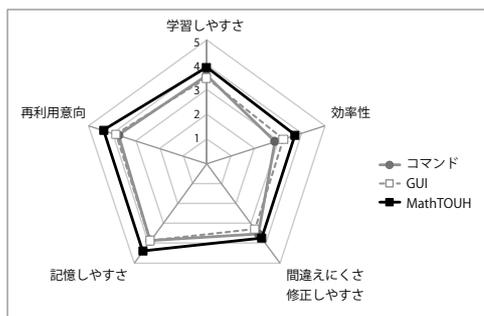


図5 MathTOUCHの満足度評価

(4) 【課題2】に取り組んだ結果、数式入力インテリジェント化に成功し(論文⑨、発表⑪)、次の⑥～⑨の成果を得た。

成果⑥ 構造化パーセプトロン機械学習アルゴリズムを実装した MathTOUCH を開発した(論文⑤、発表⑨)。

成果⑦ その機械学習版 MathTOUCH に対して、2次方程式分野の学習データ800個を使い、精度評価を行った結果、ベスト10までの正解率は95.0%に達し、数式変換入力にも機械学習が有効であることを示すことができた(論文⑥、発表⑩)。

成果⑧ その後さらに、アルゴリズムの問題点を精査し、パラメタの増大に対する安定化を図ることによってさらに精度が向上し、96.2%にまで達した(論文④、発表⑧)。

成果⑨ しかし、分野が限定的であったため、高等学校の数学Iから数学IIIに使われている一般の数式でも数式変換予測が高精度となるようにアルゴリズムを改善し、4000個の学習データに広げて精度評価を実施したところ、10位以内の正解率が85%と、実用レベルに近づいた(図6)。

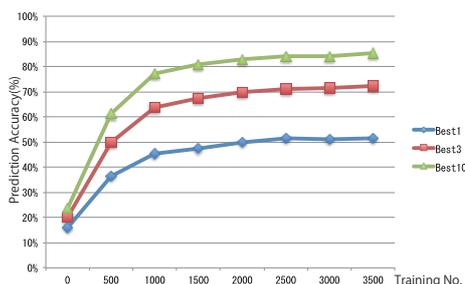


図6 一般数式4000の機械学習精度

(5) 【課題3】の結果、次の成果を得た。

成果⑩ インテリジェント化された MathTOUCH に対して被験者実験によるパフォーマンス評価を行った結果、以前の MathTOUCH に比べて、数式入力操作にかかる時間が約1.4倍向上した(論文①、発表②)。

成果⑪ 以上の成果をふまえ、公開用Webサーバを構築し、JavaScript版 MathTOUCH の試用システムを公開した(発表⑤)。

成果⑫ 上記の成果を国内学会・研究会や国際会議等で発表してきたおかげで、2件の招待講演(発表①、⑦)を行うことができた。

(6) 以上のように、本研究の学術的意義は、一つには、本来、予測入力・候補選択入力とは无缘であった数式のデジタル入力に、機械学習や自然言語処理技術の適用可能性を示すことができた点にあり、二つには、MathTOUCH を使えば、数学eラーニングによる教育支援の分野で、数学問題の解答数式を学習者に直接答えさせるさまざまな教授法の研究が可能になったことである。

(7) しかし、新たな課題も見えてきた。(A)途中計算のような長い数式では、候補を算出する計算時間がかかり過ぎること。(B)数式の予測がユーザの所望する式から外れた場合の対処法が不十分であること。(C)現状のデジタル教科書と数学eラーニングシステムとの間が連携しておらず、数式の互換性や再利用性がないこと。これを解決できなければデジタルの良さを活かせず、学習者の満足度を高めることはできない。

最後に、今後の展望として、MathTOUCH をインタフェースに途中計算を考え、記録しながら編集できる数学文書エディタの開発に取り組んでいきたい。さらには、途中計算を評価し、つまづいた学習者を支援するような仕組みを実現したいと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計12件)

① 白井詩沙香、仲村裕子、福井哲夫、数式予測アルゴリズムを実装した数式入力インタフェース MathTOUCH の試作と評価、情報処理学会研究会報告集、査読有、Vol. 2017-CE-139, No. 7, 2017、1-6

② Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui、MathTOUCH: Mathematical Input Interface for E-Assessment Systems、MSOR Connections EAMS special issue、査読有、Vol. 15, No. 2, 2017、70-75

③ 白井詩沙香、福井哲夫、多種ある数式自動採点システムの統一的解答入力の提案、2016 PC Conference CIEC 研究大会論文集、査読有、2016、11-12

- ④ Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui、Evaluation of a Predictive Algorithm for Converting Linear Strings to Mathematical Formulae for an Input Method、Mathematical Aspects of Computer and Information Sciences (MACIS 2015, Springer)、査読有、LNCS 9582、2016、421-425
DOI:10.1007/978-3-319-32859-1
- ⑤ 白井詩沙香、福井哲夫、機械学習による数式予測アルゴリズムを実装した MathTOUCH の試作、京都大学数理解析研究所講究録「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」、査読無、Vol. 1978、2015、212-214
- ⑥ Tetsuo Fukui、Shizuka Shirai、Predictive Algorithm from Linear String to Mathematical Formulae for Math Input Method、Booklet of Abstracts of the 21st conference on Applications of Computer Algebra、査読有、ACA2015、2015、17-22
- ⑦ 白井詩沙香、仲村裕子、福井哲夫、数式自動採点システムにおける数式入力インタフェースの提案と評価、情報処理学会論文誌「教育とコンピュータ」、査読有、Vol. 1、3号、2015、11-21
- ⑧ 白井詩沙香、福井哲夫、数式自動採点システム STACK の行列問題における解答入力方法改善の取り組み、情報処理学会論文誌「教育とコンピュータ」、査読有、Vol. 1、3号、2015、22-29
- ⑨ 福井哲夫、数式曖昧表記変換型数式入力の機械学習による数式予測と精度、ARG Web インテリジェンスとインタラクシオン研究会第6回研究会予稿集、査読無、Vol. 6、2015、67-74
- ⑩ 白井詩沙香、福井哲夫、数式自動採点システム STACK における数式入力方法の改善、コンピュータ&エデュケーション、査読有、Vol. 37、2014、85-90
- ⑪ 白井詩沙香、福井哲夫、数式自動採点システム STACK の行列問題における解答入力方法改善の取り組み、情報教育シンポジウム論文集、査読有、Vol. 2014、2号、2014、207-212
- ⑫ Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui、Development and Evaluation of a Web-Based Drill System to Master Basic Math Formulae Using a New Interactive Math Input Method、International Congress on Mathematical Software 2014、Lecture Notes in Computer Science、査読有、Vol. 8592、2014、621-628
- [学会発表] (計 14 件)
- ① 福井哲夫、数学を活かす計算機と計算機を活かす数学 (招待講演)、農工大数学セミナー2017、2017年3月23日、東京農工大学 (東京都・小金井市)
- ② 白井詩沙香、仲村裕子、福井哲夫、数式予測アルゴリズムを実装した数式入力インタフェース MathTOUCH の試作と評価、情報処理学会 コンピュータと教育研究会 139回研究発表会、2017年3月12日、津田塾大学 (東京都・小平市)
- ③ Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui、MathTOUCH: Mathematical Input Interface for E-Assessment Systems、The International Conference on E-Assessment in Mathematical Sciences 2016 (EAMS 2016)、2016年9月13日、Newcastle upon Tyne (United Kingdom)
- ④ 白井詩沙香、福井哲夫、多種ある数式自動採点システムの統一的解答入力の提案、2016 PC Conference、2016年8月11日、大阪大学 (大阪府・吹田市)
- ⑤ Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui、MATHTOUCH WEB: ONLINE MATH INPUT EDITOR FOR INTERACTIVELY CONVERTING LINEAR STRINGS、13TH International Congress on Mathematical Education、2016年7月26日、Hamburg (Germany)
- ⑥ Yasuyuki Nakamura, Tetsuya Taniguchi, Kentaro Yoshitomi, Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui and Takahiro Nakahara、STACK PROJECT IN JAPAN; ITEM BANK SYSTEM, MATH INPUT INTERFACE AND QUESTION SPECIFICATION、13TH International Congress on Mathematical Education、2016年7月24日、Hamburg (Germany)
- ⑦ 白井詩沙香、福井哲夫、MathTOUCH プロジェクト: 数学 e ラーニングにおける数式入力改善の取り組み、日本数式処理学会合同分科会 (招待講演)、2016年1月23日、名古屋大学 (愛知県・名古屋市)
- ⑧ Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui、Evaluation of a Predictive Algorithm for Converting Linear Strings to Mathematical Formulae for an Input Method、Sixth International Conference on Mathematical Aspects of Computer and Information Sciences (MACIS2015)、2015年11月13日、Berlin (Germany)

- ⑨ 白井詩沙香、福井哲夫、MathTOUCH with Predictive Algorithm from Linear String to Math Formulae、京都大学数理解析研究所研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」、2015年9月1日、京都大学数理解析研究所（京都府・京都市）
- ⑩ Tetsuo Fukui, Shizuka Shirai、Predictive Algorithm from Linear String to Mathematical Formulae for Math Input Method、21st Conference on Applications of Computer Algebra (ACA2015)、2015年7月20日、Kalamata (Greece)
- ⑪ 福井哲夫、数式曖昧表記変換型数式入力の機械学習による数式予測と精度、第6回 ARG Web インテリジェンスとインタラクション研究会 (ARG SIG-WI2)、2015年6月13日、大阪大学（大阪府・豊中市）
- ⑫ 白井詩沙香、福井哲夫、JavaScript 版数式入力インタフェース MathTOUCH の試作、京都大学数理解析研究所研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」、2014年9月1日、京都大学数理解析研究所（京都府京都市）
- ⑬ 白井詩沙香、福井哲夫、数式自動採点システム STACK の行列問題における解答入力方法改善の取り組み、情報処理学会情報教育シンポジウム SSS2014、2014年8月25日、ホテルオリビアン小豆島（香川県）
- ⑭ Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui、Development and Evaluation of a Web-Based Drill System to Master Basic Math Formulae Using a New Interactive Math Input Method、International Congress on Mathematical Software 2014、2014年8月9日、ソウル（大韓民国）

〔産業財産権〕

○取得状況（計1件）

名称：数式出力コンピュータ、数式出力方法、数式出力プログラム、および数式出力プログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体

発明者：福井哲夫

権利者：学校法人武庫川学院

種類：特許

番号：5761687号

取得年月日：2015年6月19日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

数式入力インタフェース MathTOUCH

<http://math.mukogawa-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福井 哲夫 (FUKUI, Tetsuo)

武庫川女子大学・生活環境学部・教授

研究者番号： 70218890

(2) 連携研究者

中村 勝則 (NAKAMURA, Katsunori)

武庫川女子大学・生活環境学部・講師

研究者番号： 10413329

小野 賢太郎 (ONO, Kentarou)

武庫川女子大学短期大学部・幼児教育学科・教授

研究者番号： 50268538

(3) 研究協力者

白井 詩沙香 (SHIRAI, Shizuka)

古川 明 (FURUKAWA, Akira)

杉野 隆三郎 (SUGINO, Ryuuzaburou)