

令和元年6月7日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16178

研究課題名（和文）スマートデバイスによる数学eラーニングのための数式音声入力インタフェースの構築

研究課題名（英文）Creation of a voice user interface for entering equations on smart devices

研究代表者

白井 詩沙香（Shizuka, Shirai）

大阪大学・サイバーメディアセンター・講師

研究者番号：30757430

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、スマートデバイスにおける数学オンラインテストシステムの数式入力環境を改善するために、数式曖昧表記変換方式による数式音声入力インタフェースを提案した。提案手法は、曖昧性をもつ読み上げられた数式から予測される数式候補を提示し、学習者に所望の数式を選択してもらうことで、数式が入力できる。研究成果として、スマートデバイス向けに数式曖昧入力変換方式を用いたユーザインタフェースを開発し、パフォーマンス実験によりその有効性を確認した。さらに、音声認識エンジンと認識した文字列を数式曖昧文字列へ変換するフィルタによる音声入力機能を開発し、スマートデバイス向け数式音声入力インタフェースを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スマートデバイスにおける数式入力方法の改善のために、学習者の経験値を活かした自然な入力方法として音声入力に着目し、その実現可能性を示したことである。提案インタフェースはディスプレイサイズに影響されず数式入力が可能のため、従来は学習環境になり得なかった環境においても数学学習の機会を提供できるようになり、数学eラーニングの促進に繋がると考える。また、提案インタフェースを教育者・研究者へ提供することで、新たな学習モデルや教授法の開発研究にも寄与できると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we propose a voice input interface for entering equations into mathematics e-learning systems. Current input interfaces of mathematics e-learning systems are cumbersome, especially for novice learners. In addition, most existing equation editors have not been developed for use in smart devices. To improve this issue, we have developed an intelligent mathematical input interface for smart devices based on a math input method that allows users to input mathematical expressions by using colloquial-style linear strings. The results of the evaluation of usability show that the proposed input interface allows for a mean of approximately 1.3 times faster than the standard interfaces. Moreover, we also have developed a voice input feature and implemented it.

研究分野：教育工学，ヒューマンコンピュータインタラクション，情報科学教育

キーワード：eラーニング オンラインテスト 音声入力 数式入力

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

情報通信技術の進展により、多くの教育機関において学習管理システム (Learning Management System, 以下, LMS) が導入されている。LMS には、教材の配信・管理機能をはじめとする学習支援のための様々な機能があり、なかでも、オンラインテスト機能は繰り返し学習による知識定着や学習者の理解度を確認するための有効な機能のひとつと言われている。

オンラインテストで扱える問題は、多肢選択問題や空所補充問題などが一般的であったが、近年、理数系科目の演習に必要な「数式」で解答するタイプの問題を扱うことができる“数学オンラインテストシステム”が登場し、注目を集めている。一方で、国内外で導入が進められるに伴い、いくつかの課題も明らかとなり、その一つに解答の数式入力時の負担が挙げられる。

現在、数学オンラインテストシステムで利用されている数式入力方式は数式の正誤判定に利用している数式処理システム (Computer Algebra System, 以下, CAS) の文法に従って入力する“テキストベース入力方式”と GUI を用いた“構造ベース入力方式”の2種類がある。いずれの入力方式も直感的ではなく、とりわけ初学者にとって入力時の負担が大きいことが指摘されている (Pollanen et al, 2007)。例えば、 $2\sqrt{3}$  と入力したい場合、テキストベース入力方式では、“2\*sqrt(3)”のように CAS の文法に従って入力しなければならない。また、構造ベース入力方式も数式構造を把握し、適切なテンプレートを順番に選択する必要があり、こちらも自然な入力方式とは言えず、入力時の負担が大きい。

さらに、学習環境の多様化に伴い、従来の PC 環境だけでなく、通学中にスマートフォンをはじめとするスマートデバイスで e ラーニングを行う学習者も増えていることから、スマートデバイスでの入力も検討する必要がある。前述のとおり、数式は数字と記号が混在するため、スマートフォンで入力をする際は、キーボード画面の切り替えが多発し、入力時の負担はさらに大きくなると考えられる (Nakamura and Nakahara, 2016)。

2. 研究の目的

本研究の目的は、学習者の“数式を読む”という日常の経験値を活かした直感的な数式入力インタフェースを開発し、スマートデバイスにおける数学 e ラーニングの数式入力環境を改善することである。これまでに、我々は PC 環境での数式入力時の負担改善を目的に、数式を普段読むような曖昧な文字列 (以下, 数式曖昧文字列) で入力し、2次元表記の数式に変換することで、所望の数式を完成させる“数式曖昧入力変換方式”を実装した数式入力インタフェースを提案し、操作性と満足度の観点から有用性を実証してきた (白井ほか, 2015)。本研究では、この数式曖昧入力変換方式を応用し、スマートデバイス向けの数式音声入力インタフェースを開発する。具体的な目標は以下のとおりである。(1) 数式候補算出のための数式予測アルゴリズムを改善し、予測精度の向上を図る。(2) スマートフォン向けの数式入力インタフェースを開発し、パフォーマンス実験により有効性の評価を行う。(3) 数式曖昧入力変換方式による音声入力機能を開発・実装し、音声による数式入力手法の可能性を示す。

3. 研究の方法

(1) 数式候補算出のための数式予測アルゴリズムを改善

数式曖昧入力変換方式とは、表 1 に示すように、テキストベース入力方式に求められるような表示されない積分記号やオペランドを示す括弧等は入力せず、実際に読み上げるキーのみを入力し、入力された文字列 (数式曖昧文字列) から算出された変換候補から所望の数式を選択することで数式入力ができる方式である (図 1)。

表 1 数式曖昧文字列の例

数式例	数式曖昧文字列	CAS (maxima) の例
$2\sqrt{3}$	2root3	2*sqrt(3)
$\frac{x+1}{x+5}$	x+1/x+5	(x+1)/(x+5)
$\sin^2 x$	sin2x	sin(x)^2



図 1 数式曖昧入力変換方式による数式入力手順

変換候補の算出には、構造化パーセプトロンによる機械学習技術を応用し、数式の各要素の出現頻度に応じたスコアを元に数式候補を提示している（福井，2015）。しかし、数式が2次方程式分野に限られていることや訓練回数の上昇に比例してパラメータが増大する課題があった。

そこで本研究では、アルゴリズムを調整し、パラメータの安定化を図るとともに、高等学校の数学Iから数学IIIの教科書に出現する4000個の数式サンプルを用意し、一般的な数式に対応できるようにアルゴリズムの改善を図る。

### (2) スマートデバイス向け数式入力インターフェースの開発

スマートフォンやタブレットなどのスマートデバイスで数学オンラインテストシステムを利用する場合、PC環境における課題に加え、画面サイズが限られていることから起因する課題がある。特に、画面サイズの小さなスマートフォンで数式を入力する場合は、アルファベット、数字、特殊記号によって、ソフトウェアキーボードが異なるため、一つの数式を入力するだけで、ソフトウェアキーボードの切り替えが多発し、入力時の負担となる。

本研究では、これらの課題を解決するために、数式曖昧入力変換方式を実装したスマートフォン向けの数式入力インターフェースを開発する。本方式では、テキストベース入力方式のように、数式構造を指定するための特殊記号を入力する必要がないため、入力回数を抑えることができ、負担軽減につながると期待できる。さらに、3章(1)で改善した数式予測アルゴリズムを応用し、数式曖昧文字列を入力する度にリアルタイムで二次元形式の数式候補を提示するインターフェースを開発した（図2）。これにより、数式入力時の認知負担を軽減できると考える。



図2 スマートデバイス向け数式入力インターフェース

### (3) 数式曖昧入力変換方式による音声入力機能の開発

日常の経験値を活かしたスマートデバイス向けの数式入力方式として、代表的なものに手書き入力が挙げられる。近年、初等中等教育においてタブレット端末の導入が進むなか、タブレットを用いた数学eラーニングにおいて、有効な数式入力手段であると言える。一方、スマートフォンなど入力エリアが限られたデバイスの場合、入力は困難である。

本研究では、近年、スマートデバイス向けの新たな入力方式として注目されている音声入力に着目し、数式曖昧入力変換方式による音声入力機能を開発し、3章(2)で開発した数式曖昧入力変換方式による数式入力インターフェースに実装する。音声入力機能は、音声文字列に変換する音声認識部分と文字列を数式曖昧文字列に変換し、インターフェースに受け渡す部分から構成される（図3）。音声認識部分は、ブラウザのネイティブAPIとして扱いやすいことからW3Cが仕様策定しているWeb Speech APIのSpeech Recognition API（音声認識）を利用する。

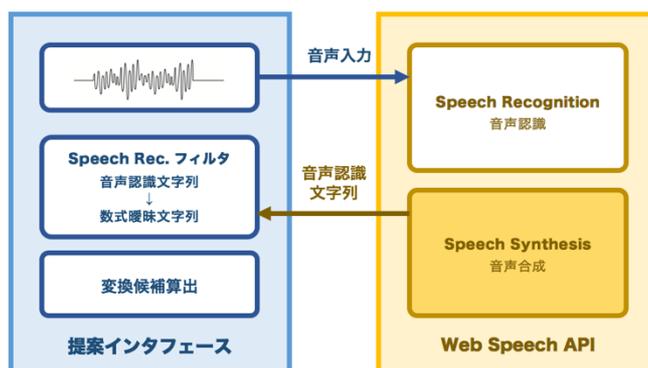


図3 音声入力機能のシステム構成図

#### 4. 研究成果

##### (1) 数式候補算出のための数式予測アルゴリズムを改善

スコアの計算方法、打ち切り時間等のアルゴリズムを調整し、さらに一般的な数式に対応できるよう高等学校の数学の教科書（数学 I から数学 III）に出現する 4000 個の数式サンプルを用意し、500 個をテストデータ、残りを訓練データとする 8 分割の交差検定を行なった結果、ベスト 10 までの正解率は 85.2% となり、実用レベルに近い精度を得ることができた。

さらに、本アルゴリズムの実用性を検証するために、数式曖昧表記変換方式を実装した PC 版の数式入力インタフェースに実装し、10 名の大学生を対象に、代表的な数学オンラインテストシステムである STACK 上でパフォーマンス実験を行なった結果、数式予測アルゴリズム実装前のインタフェースと比べ、平均入力時間が約 1.4 倍速い傾向が示された。

##### (2) スマートデバイス向け数式入力インタフェースの開発

近年、新たな学習環境として利用されているスマートフォンにおける数式入力負担の改善を目的に、数式曖昧入力変換方式を実装した数式入力インタフェースを開発した。提案インタフェースの有効性を検証するために、16 名の大学生を対象に 3 種類 6 つ数式入力タスクから構成されるパフォーマンス実験を行なった。実験の結果、STACK に標準搭載されているテキストベース入力方式による数式入力インタフェースに比べ、約 1.3 倍有意に速く数式を入力できることが示された（図 4）。

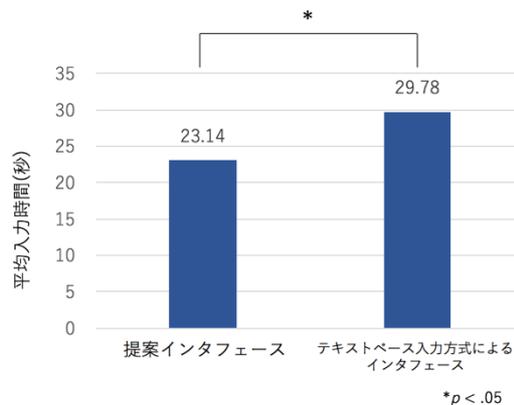


図 4 タスク達成時間の平均値の結果

##### (3) 数式曖昧入力方式による音声入力機能の開発

スマートデバイス向けに開発した数式曖昧入力変換方式による数式入力インタフェースを拡張する形で、音声入力機能を開発した。音声入力の流れを図 5 に示す。3 章(3)で述べたように、図 5 の Step 2 の音声認識部分は Web Speech API の Speech Recognition API を利用している。Web Speech API により認識された文字列は、変換フィルタにより数式曖昧文字列に整形され、音声認識が終了次第、変換候補として提示される（図 5 Step 3）。その後は、従来通りに所望の数式を候補から選択すれば数式入力が完了する。開発した音声入力機能を使い、数 I の範囲で扱われる数式の入力が可能であることを確認した。一方で、音声認識の段階で「 $\pi$  (パイ)」が正しく認識されない（「 $b$  (ビー)」として認識されてしまう）といった課題が明らかとなった。音声認識精度の向上および他分野の検証および評価が今後の課題である。



図 5 音声入力の流れ

<引用文献>

- ① Marco Pollanen, Thomas Wisniewski and Xiao Yu, “XPRESS: A Novice Interface for the Real-Time Communication of Mathematical Expressions”, In Proceedings of MathUI, pp.1-8, 2007
- ② Yasuyuki Nakamura and Takahiro Nakahara, “A New Mathematics Input Interface with Flick Operation for Mobile Devices”, MSOR Connections, Vol.15, No.2, pp.76-82, 2016
- ③ 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」, Vol. 1, No. 3, pp.11-21, 2015
- ④ 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ョン研究会 第6回研究会予稿集, pp.67-72, 2015

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Yasuyuki Nakamura, Kentaro Yoshitomi, Mitsuru Kawazoe, Tetsuo Fukui, Shizuka Shirai, Takahiro Nakahara, Katsuya Kato and Tetsuya Taniguchi, “Effective Use of Math E-Learning with Questions Specification, Distance Learning”, E-Learning and Blended Learning in Mathematics Education, ICME-13 Monographs, pp.133-148, 2018 (DOI: 10.1007/978-3-319-90790-1\_8) (査読有)
- ② Shizuka Shirai and Tetsuo Fukui, “MathTOUCH: Mathematical Input Interface for E-Assessment Systems”, MSOR Connections, Vol.15, No.2, pp.70-75, 2017 (DOI: 10.21100/msor.v15i2.415) (査読有)

[学会発表] (計 10 件)

- ① 白井 詩沙香, 福井 哲夫, “数式曖昧入力変換方式による音声入力機能の開発”, 教育学習支援情報システム(CLE)研究報告, Vol. 2019-CLE-27, pp. 1-4, Mar. 2019, 京都大学(京都) (査読無)
- ② Shizuka Shirai and Tetsuo Fukui, “Evaluation of intelligent input interface for entering equations on smartphone”, IUI’ 19 Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces: Companion, pp. 9-10, Mar. 2019, Los Angeles(USA) (査読有)
- ③ 白井 詩沙香, 福井 哲夫, “数式曖昧入力変換方式による数式入力インタフェースのスマートデバイス向けUIの試作”, 第43回教育システム情報学会 全国大会論文集, pp. 277-278, Sep. 2018, 北星学園大学(北海道) (査読無)
- ④ Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui, Kentaro Yoshitomi, Mitsuru Kawazoe, Takahiro Nakahara, Yasuyuki Nakamura, Katsuya Kato and Tetsuya Taniguchi, “Intelligent Editor for Authoring Educational Materials in Mathematics e-Learning Systems”, International Congress on Mathematical Software 2018, Lecture Notes in Computer Science, Vol.10931, pp.431-437, Jul. 2018, South Bend(USA) (査読有)
- ⑤ Tetsuo Fukui and Shizuka Shirai, “Predictive Algorithm for Converting Linear Strings to General Mathematical Formulae, Human Interface and the Management of Information”, Supporting Learning, Decision-Making and Collaboration, Lecture Notes in Computer Science, Vol.10274, Springer, pp.15-28, Jul. 2017, Vancouver(Canada) (査読有)
- ⑥ 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”, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育研究会報告, Vol.2017-CE-139, No.7, pp.1-6, Mar. 2017, 津田塾大学(東京) (査読無)
- ⑦ Shizuka Shirai and Tetsuo Fukui, “MathTOUCH: Mathematical Input Interface for E-Assessment Systems”, The international conference on E-Assessment in Mathematical Sciences 2016 (EAMS 2016), Sep. 2016, Newcastle upon Tyne (United Kingdom) (査読無)
- ⑧ 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, Proceedings of the 13th International Congress on Mathematical Education, Jul. 2016, Hamburg (Germany) (査読有)
- ⑨ Shizuka Shirai and Tetsuo Fukui: MATHTOUCH WEB: ONLINE MATH INPUT EDITOR FOR INTERACTIVELY CONVERTING LINEAR STRINGS, Proceedings of the 13th International Congress on Mathematical Education, Jul. 2016, Hamburg (Germany) (査読有)
- ⑩ 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への提案”, 2016 PC Conference 論文集, pp.11-12, 2016, 大阪大学(大阪) (査読無)

〔その他〕

講演等

- ① 白井 詩沙香, “MathTOUCH による数式入力支援プロジェクト”, 情報処理学会 大阪プログラミング・情報教育研究会, 2017, 神戸市立科学技術高等学校 (神戸)
- ② 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, 2016, 名古屋大学 (愛知)

ホームページ等

<https://shizukas.com>

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。