

オンライン手書き数式入力インタフェースを備えた インターネット上の知的教育システムの研究

代表研究者 近 藤 弘 樹 佐賀大学理工学部教授
共同研究者 岡 崎 泰 久 佐賀大学理工学部助手

1 はじめに

数学学習において計算の学習は、学校数学の教育において最も重要な基礎の一つである。生徒の数学計算能力を鍛え、強化する為に数学計算を指導する知的教育システムの開発が望まれる。

数学計算を指導する教育システムにおいては、学習者がシステムとどのように相互作用を行ないながら学習を進めるかが大切であり、ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに注意してシステム開発が行なわれなければならない。計算学習において、学習者は2つの過程でシステムと対話を行なう：(1)数式入力、そして(2)誤り修正の数式編集、である。ヒューマン・インタフェースは学習者とシステムのコミュニケーション・チャンネルになるので重要な役割を果たす。それ故、数式入力と数式編集に際して、自然なそしてインタラクティブなインタフェースが必要である。

計算学習においては、学習者は最終解答に至る過程で多くの数式変形を行なわなければならない。学習者は、多くの中間式を入力することになる。数式は、英数字の他に数学記号やギリシャ文字を含み2次元構造を持っているので、システムへの入力は通常の文章の入力より困難である。手書き入力は、この入力を自然にまた容易にするものとして期待される。

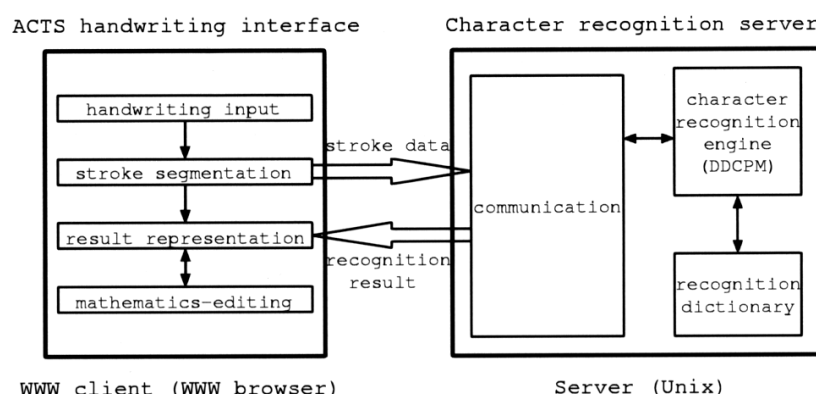


図1 ACTS architecture.

我々は、WWW を利用した数式計算を指導する知的教育システム ACTS (Algebraic Calculation Tutoring System) の開発を行なっている。この開発研究のゴールは、最終解答のみならず学習者の計算過程に沿って指導をおこなう手書きインタフェースを持つ知的教育システムの開発である。我々は ACTS の手書き入力オンラインインタフェースの開発を行なった^[1]。ACTSインタフェース上で学習者はペンを用いて数式フィールドに、直接に、自然に入力することができる。システムは学習者の入力を認識する。ACTS インタフェースの特徴は、学習者に自然でかつ容易な誤り訂正編集機能を提供していることである。編集機能は2種類からなる。文字認識訂正編集と数式編集である。文字認識訂正編集はシステムの文字認識誤り訂正を担い、数式編集は、学習者の計算誤り訂正を担う。編集機能ボタンとジェスチャーが選択、上書き、消去、挿入、貼付、移動など通常の編集機

能を担う。学習者はキーボードやマウスを用いることなく、ペンを使いジェスチャーにより編集を行なうことができる。この編集機能により学習者はインタラクティブに誤り訂正を行なうことができる。

本報告は、ACTS インタフェースの編集機能実装について述べる。本報告の以下の構成は次の通りである。次節で ACTS のアーキテクチャを紹介し、オンライン手書き文字認識について紹介する。第3節で ACTS 手書きインタフェースと手書き数式入力について述べる。ACTS インタフェースの編集機能について第4節で記述する。第5節で文字認識訂正編集について、第6節で数式編集について述べる。第7節は結語に当てる。

2 ACTS の概要

2.1 ACTS のアーキテクチャ

ACTS は高等学校数学計算を指導する知的教育システムである。図1にシステムのアーキテクチャを示す。

ACTS はクライアント・サーバシステムである。オンライン手書き数式入力インタフェースは WWW クライアント（ブラウザ）上で動作し、文字認識エンジンは WWW サーバ上で動作する。

学習者が数式を WWW 上で入力すると、インタフェースは対応するストロークデータを得、自動的に文字切り出しを行なう。切り出し結果を認識サーバに送る。文字認識エンジンは、数式認識にカスタマイズした辞書を使って DDCPM (Directional and Direction-Change Pattern Matching)^[2]法により文字認識を行なう。インタフェースが認識結果を得ると対応するストロークは消え、同じ場所に認識結果が表示される。



図2 Mathematical expression input

2.2 オンライン手書き文字認識過程

ACTS インタフェースは、学習者が、紙の上に書くように、ペン LCD タブレット上に連続的に数式記号の手書き入力することを許し、それを連続的に認識する。

数式認識の過程は以下の通りである。(1)学習者はペンで数式を入力する。(2)インタフェースは点列(ストローク)を観測し、それからストローク数、その順序、ストローク境界矩形を得る。(3)インタフェースは、同じ文字に属するストロークを集めて文字切り出しを行ない、ストロークグループとする。この文字切り出しは、ストロークの空間的位置の関係と連続するストロークの時間間隔により行なわれる。(4)切り出したストロークグループは文字認識サーバに送られる。サーバは、DDCPM 認識エンジンによりストロークグループを文字認識を行なう。認識結果はインタフェースに送られる。(5)認識結果はインタフェース上で、殆ど同じ位置にシステムフォントにより表示される。もし、システムが認識に失敗すれば手書き筆跡が消去され、空白が表示される。(6)数式構造認識により定式化された数式が表示される^[3]。(7)必要に応じて、学習者は編集機能を用いて誤り訂正を行なうことができる。学習者が入力を行なう様子を図2に示す。

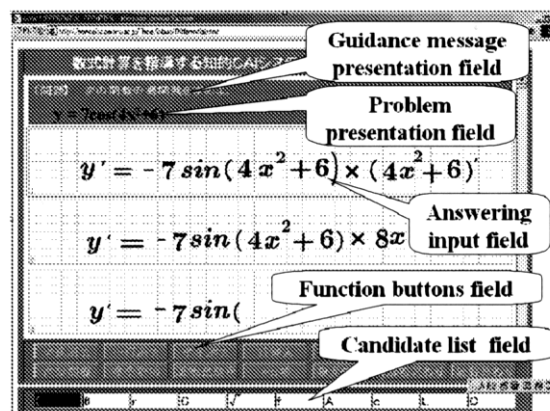


図3 ACTS on-line handwriting interface

3 手書きインタフェース

3.1 インタフェースのディスプレイ

図3にインタフェースのディスプレイを示す。ディスプレイは5つのフィールドを持つ：(1)ガイダンス・メッセージ・フィールド、(2)問題提示フィールド、(3)解答入力フィールド、(4)ファンクション・ボタン・フィールドと、(5)候補リストフィールドからなる。

ガイダンス・メッセージ・フィールドは、計算結果のついて指導するメッセージを表示する。学習者の解答が正しければその旨伝え、誤りがあれば、誤り原因を同定して指導メッセージを表示する。

問題提示フィールドは問題を提示する。学習者は提示された問題を解く。

解答入力フィールドは手書き数式入力の為のフィールドである。学習者はペンで手書き入力をする事もできるし、また入力フィールドの数式を編集して誤り訂正をすることができる。認識結果や整形された数式がこのフィールドに表示される。

学習者は解答を得る迄に、通常、数行の中間式を入力する。インタフェースは200行まで入力することが可能になっている。学習者は1行のフィールドに1行の数式を入力する。学習者は3行の数式を同時に見ることができる(図3)。学習者はペンを用いて数式を連続的に入力することができる。この様子を図2に示す。

ファンクション・ボタンは14個ある。“文字消去”、“行消去”、“全消去”、“行挿入”、“行削除”、“コマンド取消”、“メモ帳”などである。それらの内の幾つかは数式編集の為に用いられる。例えば“行挿入”ボタンにより現在の行の下に新たに1行挿入される。

候補リストフィールドは文字認識誤り訂正の為の候補を提示する。DDCPM 認識エンジンは各認識毎に10個迄候補を挙げる。認識結果が誤っていれば、学習者は候補リストの中から、例えば“ポイント・ジェスチャ”に依って正しい文字を選ぶことができる。上書きすることもできる。

4 編集機能

ACTS インタフェースでは、主な編集操作はペンにより行なうことができる。編集には、文字認識訂正編集と数式編集がある。図4に数式編集の概要を示す。編集ファンクション・ボタンとジェスチャにより、通常の編集操作ができる。選択、上書き、消去、挿入、貼り付け、移動などである。学習者はジェスチャにより、ペン操作でキーボード、マウス、ファンクション・ボタンを使うこと無しに編集操作を行なうことができる。また学習者は編集ファンクション・ボタンとジェスチャを同時に使うことができ、望む方法で編集することができる。

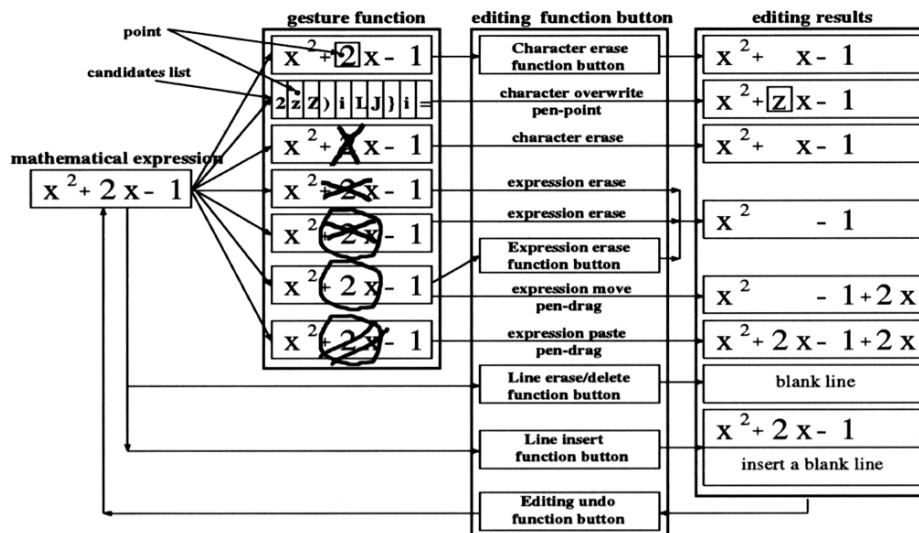


図4 Outline of mathematics-editing.

4.1 編集ファンクション・ボタン

ACTS インタフェースには、数式編集の為に多くのファンクション・ボタンがある。(1)全消去、(2)行消去、(3)文字/数式消去、(4)行挿入、(5)行削除及び(6)取消である。現在のところ“行挿入”と“取消”はファンクション・ボタンでのみ可能である。

Nc	Shape	Name	Editing function
1	.	point	character select
2	X	cross	character erase / expression erase
3	○	closed curve	editing area specification / expression move due to pen-drag
4	⊗	closed curve and cross	expression erase
5	⊖	closed curve and double lines	expression paste due to pen-drag

図5 Gesture symbols

4.2 ジェスチャ

ACTS インタフェースでは、幾つかの手書き記号がジェスチャとして定義されている。ACTS インタフェースは5つのジェスチャを持つ：(1)ポイント、(2)クロス、(3)閉円、(4)閉円クロス、(5)閉円2重線である。これらを図5に示す。この内(4)と(5)は複合記号である。ACTS インタフェースでは編集領域を指定するのに閉円を用いているので、複合記号を用いる場合には、閉円ですべて領域を指定しなければならない。

文字や記号が存在する位置にドットが書かれた時には、ACTS インタフェースはこれを“ポイント”ジェスチャと認識する。ポイントジェスチャにより、文字選択、文字消去、上書きなど、一文字編集の為に文字や記号の選択を行なうことができる。

一文字または幾つかの文字の上に交差する線が書かれた時には、手書き記号はクロス・ジェスチャとなる。クロス・ジェスチャは選択されている文字や範囲を選択されている式を消去する。クロス・ジェスチャにより誤認識されたあるいは誤記入された文字や不要な式を消去することができる。

閉円・ジェスチャは式中の範囲を指定する。このジェスチャと“式移動”とは連携している。閉円・ジェスチャにより指定されたエリアがペンでドラッグされると選択された範囲の式も新しい場所へ移動する。

閉円クロス・ジェスチャは閉円とクロスの複合記号である。このジェスチャにより“式消去”操作を行なう。

閉円2重線・ジェスチャは閉円と2重線の複合記号である。このジェスチャにより“式複写”操作を行なう。学習者がこのジェスチャを描き、そしてペンでドラッグすると指定された選択された式の領域が新しい場所に貼付られる。始めに選択された式はそのままである。このジェスチャは計算途中で、前の式の一部を用いる場合に使うことができる。

ジェスチャはペンで書くことができる。ジェスチャを使えば、学習者はキーボード、マウスを用いることなく、認識文字訂正編集や数式編集を行なうことができる。次の二つの節では、どのように認識文字訂正編集や数式編集が行なわれるかを例示する。

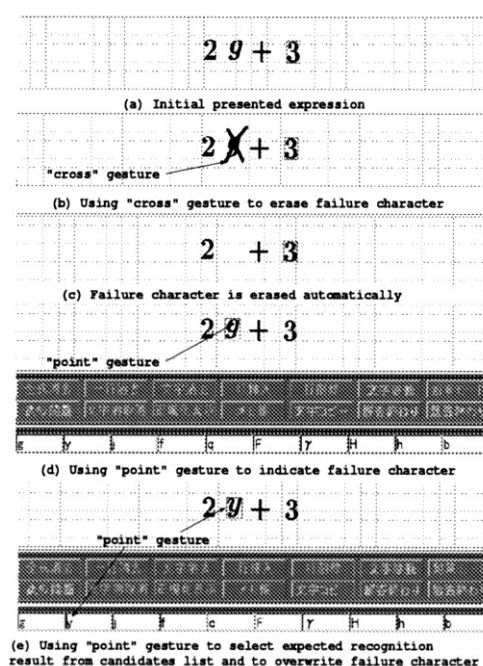


図 6 Recognition error repair sample

5 認識文字訂正

ACTS インタフェースはオンライン手書きインタフェースである。学習者は文字列を、そして数式の全体をも連続的に入力する。その入力に対して、リアルタイムに連続して手書き文字認識が行なわれる。数式は複雑であるので、全ての手書き文字が正しく認識されるとは限らない。以下の要素が働き文字認識誤りが発生すると考えられる。(1)悪筆、(2)類似した文字の存在、(3)文字切り出しの失敗、(4)学習者の誤入力、ある。ACT Sインタフェースでは学習者はペンを用いて、ジェスチャ或は編集用ファンクション・ボタンによりインタラクティブに文字認識誤りを訂正することができる。

学習者はジェスチャにより誤った文字を選択した後、誤認識訂正を行なうことができる。誤り訂正には2つの方法がある。(1)誤った文字を消去する、及び(2)誤った文字に上書きする、である。“文字消去”ボタンも誤った文字を消去するのに使用することができる。

図 6 に認識誤り訂正の例を示す。

No	Gesture	Editing function button	Expression editing
1		not need	expression erase
2		expression erase	expression erase
3		not need	expression move (pen-drag)
4		not need	expression erase (pen-drag)
5		not need	expression paste (pen-drag)

図7 Marthematical expression editing

6 計算誤り訂正

数学計算の問題に解答する為に、学習者はいくつかの中間式を入力する。学習者は解答過程の中間式で誤りも犯すであろう。途中計算での誤りは最終解答への誤りにつながる。計算過程での誤りの修正を支援する編集機能を実現することが望まれる。

解答を修正しようと思えば、学習者は誤った箇所だけでなく、正しい部分も含めて手書きで数式を写す必要がある。システムは手書き入力されたその文字を認識せねばならない。中間式の解答修正を含めた編集機能を実現することで、学習者とシステムの負担を減らし、システムの価値を高めることができる。

この編集機能には、中間式の一つの数式の全部または一部を選択した後、次のような機能が含まれることが期待される。選択された数式の、(1)消去、(1)移動、(3)貼付、である。

インタフェースはこの数式編集と誤り訂正機能を豊富な方法で提供する。ジェスチャ或はファンクション・ボタン或はその両方を用いて、学習者は計算誤りを容易に、インタラクティブに、そして自然に訂正することができる。

図7にインタフェースが提供するジェスチャとファンクション・ボタン及びその組み合わせの編集機能を示

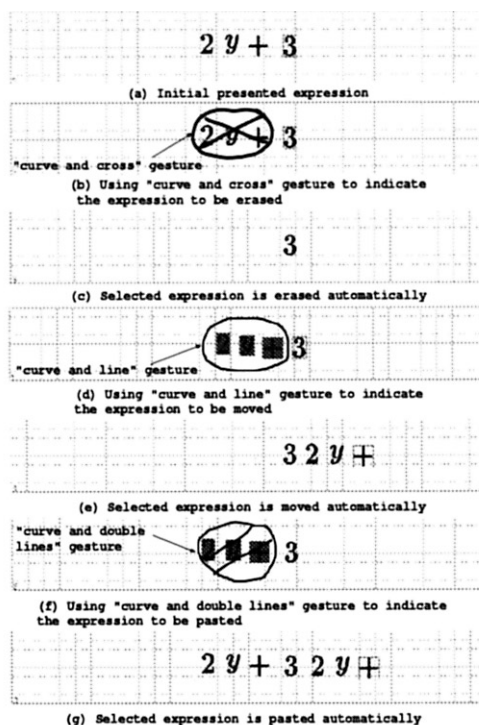


図8 Expression editing

す。

図8に数式誤り訂正編集の例を示す。図8(b)と(c)は選択された式を消去する，図8(d)と(e)は選択された式を移動する，また図8(f)と(g)は選択された式を貼りつける方法を示す。

7 おわりに

知的教育システムにとって，学習者とシステムのインタラクションをどのように実現するかは重要な課題である。数式計算を指導する知的教育システムでは，学習者の数式入力と数式訂正をどのように扱うかが問題となる。本研究で我々はペンを用いた数式の手書き入力と数式の編集機能を実現した。

ペンは学習者に自然で負担の少ない入力環境を与える。ペンを用いることで学習者は数学的内容に思考を集中させつつ，数式入力ができるようになる。一方，手書き入力はシステムに文字認識と言う新たな負荷を生じさせる。現在の手書き文字認識エンジンは，学習者の手書き文字入力を100%完全に認識することはできない。学習者の悪筆もある。また，一旦入力された数式の訂正が容易に自然にできることも，数学計算を指導する知的教育システムに取っては重要である。誤りを正しつつ正しい計算方法を修得するのが計算学習であるからである。

この為我々は，文字認識訂正編集と数式編集を実現した。我々はこの編集機能を，ペンを用いたジェスチャ及びファンクション・ボタンを用いて行なえるようにした。文字認識訂正編集は，手書き入力を現在の手書き文字認識エンジンで実現する為に払わなければならない代償である。手書き入力文字が誤認識されれば，学習者はそれを意図した文字に修正する為の操作を行わなければならない。提案する文字認識訂正編集はその負荷を少なくする為のものである。

一方数式編集機能は，中間式を含めて入力する知的教育システムの実現に伴って，可能になったものである。学習者は，数式を訂正するのに，「全部を消して書き直す」のではなく必要な部分のみ書き直し，他は編集機能を用いて修正できる。入力に際してもまた，計算途中の式変形に際して「前式と同じ部分を一字ずつ書き写す」のではなく，コピーをすることもできる。これらは学習者に，必ずしも必要ではない「書き写し」の負担を減らすことになる。逆に編集機能による編集は，式変形過程において同じ構造を持つ部分をより意識的に学習者に捉えさせることになると思われる。

本研究で実現した殆どの編集操作はペンによりジェスチャのみで行なうことができる。ペンによるジェスチャによる編集では学習者は指先に近いペン先から注意を他に向けること無く，編集操作を行なうことができる。本研究で実現したペンによるジェスチャで，学習者は，操作に煩わされることは少なく，数学計算に意識を集中できると思われる。

本研究で実現した編集機能とシステムの知的数式認識機能と組み合わせることにより，学習者が自然に，容易に，インタラクティブに手書き入力を行ないつつ，計算学習を進めることができるシステムが実現することを期待している。

謝 辞

本研究を進めるのに尽力された椎葉桂一郎氏（佐賀大学大学院工学系研究科博士前期課程知能情報システム学専攻平成13年度修了）と馮 向陽氏（佐賀大学大学院工学系研究科博士後期課程システム生産科学専攻在学）に感謝致します。

参考文献

- [1] X.Y. Feng, K. Shiiba, Y. Okazaki, M. Okamoto, H. Kondo : “ Java Based On-line Handwriting Interface for Mathematical Expression and Its Character Recognition Performance ” 教育システム情報学会第85回研究会, pp.1-8, 2001.
- [2] 岡本正義, 山本和彦 : “ 方向特徴と方向変化特徴を用いたオンライン手書き文字認識 ”, 電気学会論文誌(c), Vol.119, No.3, pp.358-366, 1999.
- [3] 椎葉桂一郎, 馮向陽, 岡崎泰久, 近藤弘樹 : “ オンライン手書き数式の二次元構造認識システムの試作 ”, 教育システム情報学会第85回研究会, pp.9-16, 2001.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲 載 誌 ・ 学 会 名 等	発 表 年 月
数式の二次元構造認識システムの試作	平成13年度電気関係学会九州支部連合大会	2001. 10
Java Based Handwriting Interface for Mathematical Expression	平成13年度電気関係学会九州支部連合大会	2001. 10
Java Based On-line Handwriting Interface for Mathematical Expression and Its Character Recognition Performance	教育システム情報学会第85回研究会	2001. 11
オンライン手書き数式の二次元構造認識システムの試作	教育システム情報学会第85回研究会	2001. 11