

## WWW 上での手書き数式入力インタフェースの実現とその文字認識評価 A WWW-Based Handwriting Interface for Mathematical Expression and Its Character Recognition Performance

岡崎 泰久<sup>†</sup> 馮 向陽<sup>†</sup> 岡本 正義<sup>‡</sup> 近藤 弘樹<sup>†</sup>  
Yasuhisa Okazaki Xiang Yang Feng Masayoshi Okamoto Hiroki Kondo

### 1. はじめに

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) [1] の研究・開発を行っている。二次元構造を持つ数式をコンピュータに入力する有力な方法として、ペンを用いた手書き入力が注目されている。本論文では、我々が開発を行った電子ペンを入力デバイスとした、WWW クライアント (ブラウザ) で動作するオンライン手書き数式入力インタフェースと、その手書き文字・記号の認識能力の評価について述べる。

### 2. 数式入力インタフェースの構成と機能

我々が開発を行った数式入力インタフェースは、Java 言語で記述され、ブラウザ上で手書きストロークの入力や表示を行うクライアント部と、C 言語で記述された、文字や記号の認識を行うサーバ部から構成されている。手書き入力には、液晶ペンタブレット WACOM PL シリーズ (PL-400, PL-550) を用いている。

#### 2.1 入力インタフェースの画面構成と機能

クライアント部の画面構成を図1に示す。解答入力フィールドにペンで手書き入力されたストロークは、逐次解析される。クライアント部は、ストロークの位置関係 (接触関係、相対位置) とペンアップ時間をもとに、文字を構成するストロークを自動的にひとまとまりに切り出して、サーバにある文字認識エンジンへ送信する。このため、ユーザは一文字ずつ認識を待つことなく、連続的に筆記することが可能である。

サーバから認識結果 (認識候補) データを受け取ると、手書きのストロークを消去し、その場所に認識結果を表示する。また、認識候補が、類似度の高い順にインタフェース下部の文字認識結果表示フィールドにボタンとして提供される。もしシステムによる認識が誤っている場合には、これらの候補の中から選択することにより、容易に置き換えることが可能である。

その他に、入力を補助する機能ボタンとして、一文字消去、一行消去、全行消去、行挿入、行削除、命令取り消し、メモ帳機能などを機能ボタンフィールドに提供している。また、電子ペンを用いたジェスチャによる直接編集機能して、文字消去やカット&ペースト、コピー、移動機能を提供しており、ペンを用いた快適な編集操作も実現している。

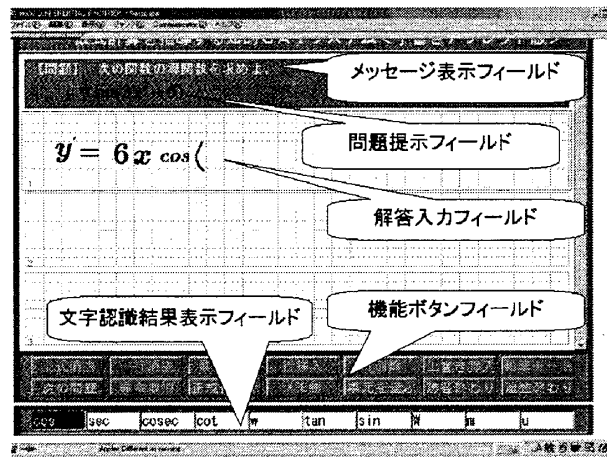


図1 入力インタフェースの画面構成

#### 2.2 文字認識サーバ

文字認識サーバは、文字認識エンジンと認識辞書から構成される。本認識エンジンの大きな特徴は、単に、ストロークの時系列座標データから抽出したオンライン特徴を用いるだけではなく、ペンの移動方向と、その方向変化を特徴量としたDDCPM (Directional and Direction-Change Pattern Matching) 法[2]を用いていることである。認識エンジンは、入力パターンと認識辞書のパターンの特徴の照合を行い、類似度を計算する。類似度の高い順に最高10位までをクライアントに返す。

#### 2.3 認識辞書の作成

認識辞書は、表1に示す91種類の文字・記号 (数字、アルファベット、ギリシャ文字、数学記号) を認識対象としている。我々はオンラインストロークデータの収集実験を行い、各文字・記号に対する40人分のデータの収集を行い、認識辞書を構成した。辞書は、91種全ての文字・記号を含んだものと、我々が現在プロトタイプで対象ドメインとしている、高等学校数学の微分計算の教科書に登場する41種に限定した2種類を作成した (表1)。

### 3. 認識評価実験

我々はすでに、ストローク収集実験で集めたストロークデータに対して、未学習サンプルに基づく認識率の評価実験を行っている [3]。今回の実験では、認識辞書を構成するデータを増やすとともに、被験者13名に、5つの数

<sup>†</sup> 佐賀大学, Saga University

<sup>‡</sup> 三洋電機株式会社, SANYO Electric Co., Ltd.

表 2 認識対象文字・記号の集合

文字・記号の種類	全 91 種	限定 41 種
数字	0,1,2,...,9	0,1,2,...,9
アルファベット (大文字)	A,B,C,...,Z	/
アルファベット (小文字)	a,b,c,...,z	
ギリシャ文字 (小文字)	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \pi, \phi, \psi,$	$\theta, \pi$
括弧	(, {, }	(, )
二項演算子	+, -, ×, ÷, ·	+, -, ·
関数記号	sin, cos, tan, cot, sec, cosec, log	sin, cos, tan, log
その他の数式記号	$\Sigma, =, \sqrt{\quad}, -$ (分数线), ',	$=, \sqrt{\quad}, -$ (分数线), '

式を 1 回ずつ電子ペンを用いて入力インタフェースに直接記入をしてもらい、実際の使用環境に近い条件での評価実験を行った。

切出し率は、数式に現れる文字・記号の総数のうち、正確に一つのシンボルとしてストロークを分離できた割合を表す。また認識率は、正しく切出しが行われたストロークのうち、正しく文字・記号の認識が行われた割合を表す。

実験の結果を表 3 に示す。切出し率は 91%、認識率は、全ての文字種 91 種を認識対象とした辞書では 80%、ドメインを考慮して、41 種類に限定した辞書では 85% であった。

ドメイン依存を考慮して文字種を限定したほうが 5% 認識率が良い理由は、文字種を限定したため、ストロークの類似した文字 (例えば 2 と混同しやすい z、形の同じアルファベットの大文字と小文字、× と x と X など) が減少したためである。教育システムでは、あらかじめ対象ドメインが設定されるので、それに応じた辞書を用意することが有用であることが実際に確かめられた。

文字の切出しは、クライアントにおける高速な切出し重視して、連続するストローク間の関係のみでストロークの分離を行っている。このため、同一文字でのストロークの離れや、連続する文字や記号間のストロークの接触の判断においていくつか誤認識が見られた。これらは、文字・記号の知識、あるいは数式に関する知識を利用することにより改善できると考えている。

一方、文字認識では、ストロークの類似した文字・記号間における誤認識が見られた (例えば、c と (、x と X)。こうした誤りは、上で述べたドメインに依存した認識対象文字のコントロールに加えて、文字や記号あるいは数式構造に関する知識を利用することにより、さらに改善できると考えられる。

また、100% の認識を期待することは現実的ではなく、簡便な誤り修正が重要である。我々は、インタフェース下部の文字認識結果フィールドに、上位 10 位の認識結果をボタンとして提供することにより、ペンを用いて簡単に誤認識を修正するメカニズムを提供している。実験の結果、誤認識を行った場合でも、ほとんど全ての場合において、正しい認識結果が上位 10 位に含まれていることが確認された。

表 3 文字切出し率と認識率

数式	切出し率 (%)	認識率 (%)	
		全 91 種	限定 41 種
(1) $y = 3x^4 - 5x + 7$	92	83	89
(2) $y = \frac{x^5}{12}(7 - x^2)$	95	76	84
(3) $f(x) = \sin(x - \frac{\pi}{4})$	90	82	82
(4) $\sqrt{b^2 - 4ac}$	95	78	84
(5) $e^{\frac{(x-t)^2}{m^2}}$	83	80	86
全て	91	80	85

#### 4. おわりに

本論文では、我々が開発を行った電子ペンを用いた簡便な数式入力環境を提供する、オンライン手書き数式入力インタフェースと文字認識エンジンについて述べ、実際に数式入力実験を行い、その文字・記号の認識能力を検証した。

今後は、オンライン手書きストロークデータの収集や評価を進め、認識率および利便性の更なる向上を図るとともに、現在別途開発を行っている、数式の二次元構造認識システム、数式の構造解析木を利用した式変形過程認識システム、および式変形指導システムと統合して、数式計算を指導する知的教育システム ACTS の開発を進める予定である。

#### 謝辞

本研究は、平成 14 年度文部科学省科学研究費補助金 (奨励研究 (A) 課題番号 13780123) の援助を受けている。

#### 参考文献

- [1] 岡崎泰久, 今福智博, 近藤弘樹: “手書き数式入力可能な知的 CAI システム『ACTS』-システム構成と手書き数式の認識-”, 電子情報通信学会技術研究報告 (信学技報) Vol. 98, No. 496, pp. 65-71 (ET98-101) (1998).
- [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] X. Y. Feng, K. Shiiba, Y. Okazaki, M. Okamoto and H. Kondo: “Stroke data collection and dictionary customization for on-line handwritten mathematical expression recognition by DDCPM method”, 教育システム情報学会第 26 回全国大会講演論文集, pp. 297-298 (2001).