

## 手書き数式認識のためのストローク間の位置関係を用いた記号分割処理の基本方式

4 K - 7

佐藤 俊, 村瀬敦史, 中川正樹  
(東京農工大学 工学部 電子情報工学科)

## 1. はじめに

現在、数式をきれいに出力するためには、TeX, roff, expressionist などを用いられることが多い。しかし、TeX, roff ではテキスト形式で数式を表現しなければならないので、ユーザ側には、数式を記述するための言語を覚えることが強要される。また、expressionist は、最初に構造を選択して、数値、記号を当てはめていくソフトで、やはりユーザは使用法を覚える必要がある。

これらに共通することは、数式を記述するまでに時間を要すること、さらに重要なことは、数式を記述するときに記述のための思考が必要である。余計な思考を必要とせず、直感で記述するには、幼児期から慣れ親しんできた手書きが最も有効である。

表示一体型タブレットは、計算機への手書き入力を可能にしたデバイスである。我々は、表示一体型タブレットを用い、ユーザが数式を記述するときに、計算機側からは数式の構造を強制させない枠なし数式認識の研究を行っている。また、この数式認識システムでは、書くときは一度に書かせて、思考が途切れたときに認識結果を表示し、ユーザの訂正支援を仰ぐ。このとき、認識処理の完全性よりも迅速性が要求される。認識の完全性を追求しても到達は難しく、むしろ、インタフェースの視点から、ある程度の認識率を確保できるなら、高速な処理、使いやすい訂正のインタフェースが重要になるだろう。

枠なし数式認識を、次の三つの処理フェーズに分けた。

- (1) 記号分割
- (2) 記号認識
- (3) 構造化処理

自由に書かれた数式は、ストローク列の情報しか持たないので、最初に、これらのストローク列から一つずつの記号に分ける処理が必要である。この一つの記号に分けることを記号分割と呼ぶ。

本稿では、数式認識の第一関門である記号分割を行うために、ストローク間の位置関係を用いた手法を提示するとともに、筆記者からの数式筆跡標本ボタンを提示手法によって分割した分割結果、分割率、処理時間について述べる。

## 2. 記号分割処理手法の提案

二つのストロークがあり、その二つが同一記号内のストロークなのかどうかの判定基準について、次の三つを提案する。

- (a) ストローク間の接触の有無
- (b) ストロークの重心間距離
- (c) ストロークの重心のX座標間距離

これらの基準は、同一記号内のストロークに対して、接触あるいは近い場所に位置することに注目したものである。手

書きの数式パターンに対し記号分割するには、分割処理として判定(a)を組み込んだときに接触していることを調べ、判定(b)か判定(c)を組み込んだときに距離があるしきい値以内であることを調べる。判定(c)は、“i” “j” “=”などの水平に位置するストロークを有する記号を抽出するときに、特に有効であると考えられる。

## 3. 記号の最終画ストローク選出アルゴリズム

記号の最大画数は4画であるので、1画目のストロークが決まっていれば、3画先のストロークまでが一つの記号を構成するストロークの候補となる。例えば、ストロークが次の順番でn本入力されたとする。

$$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$$

$S_1$  をある記号の1画目としたとき、3画先である  $S_4$  から順々に  $S_3, S_2$  と記号分割のための判定を行う。そして、例えば  $S_1$  に対して判定(a)で  $S_4$  が選ばれた場合、 $S_6$  が次の1画目とする。また、 $S_4$  以外が判定で選ばれた場合、選ばれたものと  $S_4$  とを再帰的に判定するように、なるべく  $S_4$  (4画目)に近いストロークを最終画ストロークとする(図3.1)。

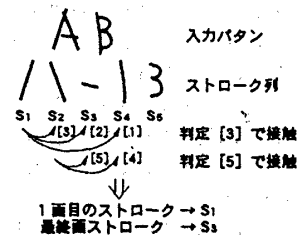


図 3.1 記号の最終画ストロークの選出

また、対象記号カテゴリ 157 種類中およそ半分は一つのストロークで構成されるので、最終画ストロークを判定で選ぶことができない場合には、1画のストロークとする。

## 4. 数式筆跡標本ボタン

表示一体型タブレット上に書かれた数式の筆跡ボタンを数式筆跡標本ボタンと呼ぶ。数式筆跡標本ボタンは、あるしきい値で記号分割する処理ではそのしきい値を求めたり、ある分割処理を組み込んで実際に分割したときの分割率を測定するために用いる。

筆記者が数式を書く状態には、参考書などから写して書く (reference writing) 場合と問題を解きながら書く (non-reference writing) 場合が考えられる。今回、reference writing 用の見本を 7 種類、non-reference writing 用の問題を 10 種類作成して、研究室の学生 12 人を対象とし、同じ筆記者が同じ見本・問題にならないように、それぞれ写

し書きと解答として筆記してもらい、各 2 セットと 1 セットずつの合計 24 パターンを収集した。reference writing 用の見本例の一部と、それに対する数式筆跡標本パターンの例を図 4.1 に示す。

$2A - \{5C - 2B + 3(B + (A - 2C))\}$ $5\sqrt{63} - 3\sqrt{28} + 6\sqrt{7}$ $\frac{1}{3} = 0.333\cdots$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$ $\frac{1+i}{3+2i}$ $ax^2 + bx + c = a(x-\alpha)(x-\beta)$ $9x^2 + 1 \leq 6x$ $\triangle ADE \cong \triangle CDG$ $AM : MD = 2 : 1$	$2A - \{5C - 2B + 3(B + (A - 2C))\}$ $5\sqrt{63} - 3\sqrt{28} + 6\sqrt{7}$ $\frac{1}{3} = 0.333$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$ $\frac{1+i}{3+2i}$ $ax^2 + bx + c = a(x-\alpha)(x-\beta)$ $9x^2 + 1 \leq 6x$ $\triangle ADE \cong \triangle CDG$ $AM : MD = 2 : 1$
--	--

見本例 数式筆跡標本パターン  
図 4.1 見本と筆跡パターンの例

5. 重心間距離と重心のX座標間距離のしきい値の測定

手書き入力された記号の大きさは筆記者によって異なるので、分割のための重心間距離と重心のX座標間距離のしきい値も変えなければならない。筆者は、手書き記号の大きさが、ストロークの長さや隣り合うストローク間の距離（重心間、重心のX座標間）に比例することに注目した。一般的に、しきい値としては、最良の分割率を実現する距離（以下すべて、しきい値を求めようとしている方の距離を指す）をストロークの平均長で割った比率と、その値を隣り合うストローク間の平均距離で割った比率の二通りで表現する。

収集した数式筆跡標本パターンから、各比率を求めるまでの手順を述べる。ある数式筆跡標本パターンにおいて、ストロークの平均長と隣り合うストローク間の平均距離を求める。この筆跡パターンでの最良の分割率を実現する距離をそれぞれの値で割ると、それぞれに対する比率が求められる。この手順を実験用に reference writing 7 パターン、non-reference writing 5 パターンの合計 12 パターン分繰り返して得た平均値を、実際のそれぞれの比率とした。測定した比率を表 5.1 に示す。

表 5.1 比率の測定結果

	R <sub>0</sub>	R <sub>1</sub>
重心間距離	0.2729	0.2748
重心のX座標間距離	0.1709	0.1996

R<sub>0</sub>: ストロークの平均長に対する比率  
R<sub>1</sub>: 平均距離に対する比率

実際の分割のための距離 L は、記入されたところまでのストロークの平均長 S、隣り合うストローク間の平均距離 J とそれぞれに対応する比率 R<sub>0</sub>、R<sub>1</sub> から次のようになる。

$$L = S \times R_0$$

$$= J \times R_1$$

6. 各分割処理における分割率の測定

評価用に数式筆跡標本パターンの残り 12 パターンを用いて、接触有無、各比率を用いた重心間距離と重心のX座標間距離の判定で分割したときの平均分割率、平均処理時間を測定した。その結果を表 6.1 に示す。

表 6.1 各分割処理における分割率と処理時間

		分割率(%)	処理時間(秒)
接触有無		85.5	4.084
重心間距離	A	85.6	0.640
	B	87.1	0.240
重心のX座標間距離	A	74.8	0.575
	B	74.9	0.154

A: ストロークの平均長に対する比率利用  
B: 隣り合うストローク間の平均距離に対する比率利用

表 6.1 から、接触有無と重心間距離の判定ともに同程度の高い分割率が確認できるが、重心間距離の判定の方が著しく高速であり、分割処理としては有効であることがわかる。

重心間距離と重心のX座標間距離の判定では、隣り合うストローク間の平均距離に対する比率を用いた方が若干分割率が良い。これは、本質的に同じ要素で比率を求めているからであると考えられる。さらに、処理速度も考慮すると、分割処理としてはこの比率を用いる方が有効である。

分割率が最も良かった重心間距離によって分割された記号を外接矩形として表したパターンの一例を図 6.1 に示す。

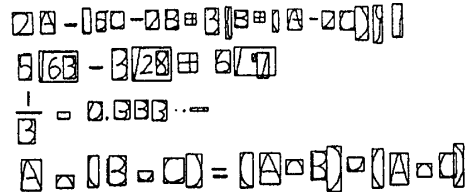


図 6.1 重心間距離の判定による分割結果

7. 分割処理手法の組合わせ一方式

まず、接触有無の判定で最終画ストロークを選び、次に隣り合うストローク間の平均距離に対する比率を用いた重心間距離か重心のX座標間距離で分割して、その最終画ストロークよりさらに 4 画目に近いストロークを選べるような、段階に分けた組合わせの処理を考えた。この組合わせ処理で分割したときの分割率を測定した。その結果を表 7.1 に示す。

表 7.1 接触有無と各距離の組合わせ判定での分割率

	分割率(%)	処理時間(秒)
重心間距離	89.8	8.020
重心のX座標間距離	80.8	8.417

表 6.1 と表 7.1 から、各距離の判定だけで分割したときよりも、それぞれおよそ 3%、6% の分割率の向上が確認できる。しかし、処理速度が 30 倍以上低下していることを考慮すると、この組合わせの判定はあまり効果的ではないだろう。

8. おわりに

本稿では、記号分割を行うためのストローク間の位置関係を用いた判定基準を三つ提示するとともに、各判定基準を用いたときの分割率と処理速度を述べた。

参考文献

[1] 村瀬他: 手書き入力による数式認識システム, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告, 36-1 (1991).