

毛筆のモデル化による毛筆文字の生成

石亀 昌明 三浦 望 保坂 暁子 福島 隆行
秋田大学鉱山学部情報工学科

連絡先 〒010 秋田市手形学園町 1-1
Tel 0188-89-2777 FAX 0188-31-0428
E-mail ishigame@ie.akita-u.ac.jp

あらまし 我々は、電子筆を用いた毛筆漢字や毛筆連綿ひらがな文字を出力できるワードプロセッサの研究を行っている。毛筆における側筆と呼ばれる筆法を表現するため、筆先の方向と筆の進む方向の差と筆の柔らかさによって筆先を回転させる筆の動的モデル（第一近似モデル）を考案した。電子筆は筆順に従って、各画の骨格データとして与えられる骨格線上にある点を進む。線の太さは筆圧値で変化する筆触パターンの直径で決定される。筆先の回転は、筆の進む方向と現在の筆先の方向と筆の柔らかさの関数として計算される。全ての毛の位置が計算できるため、濃淡表現やかすれ表現が実際のものにより近くできた。連綿表現のために骨格データの一部に連綿開始臨界点や連綿終了臨界点を設け、この間を bezier 関数等で補間連結することで和歌などの連綿ひらがな文字列の出力が容易になった。

和文キーワード 毛筆文字、骨格データ、筆圧値、筆の柔らかさ、筆先の回転、連綿、筆順

Creation of Brush-Written Characters using Electronic Writing Brush Model

Masaaki Ishigame, Nozomu Miura, Akiko Hosaka and Takayuki Fukushima
Computer Science and Engineering Department, Mining College, Akita University
1-1 Gakuen-machi, Tegata, Akita-City 010, Japan

Abstract We have been studying a kind of word-processor that is able to create Japanese characters, Kanji or Hiragana strings in the cursive style, using an electronic writing brush model. The electronic brush goes on certain points of the skeleton of the character figure which is given as skeleton data. The thickness of the line is determined by a diametric variable brush pressure. Our progressive action model (a primarily approximated model) can rotate the direction of the writing brush tip corresponding to the difference angle between the direction of brush tip and that of the brush movement, and also the softness of the writing brush to express the writing brush method called the side writing brush.

英文 key words brush-written character, skeleton data, brush pressure, softness of brush, rotation of brush tip, cursive style, stroke order

1. はじめに

我々は、毛筆を模倣した電子筆モデルを用いて漢字や連綿のひらがな文字を出力できるワードプロセッサの研究⁴⁾をしている。

毛筆による文字は漢字文化圏特有のものである。日本の最初の文字は1世紀ごろ中国から朝鮮を経て伝えられた中国文字であった。その後文字種も増え日本で独自に発達したものが漢字である。ひらがなは漢字の変体をもとに日本で平安時代に発明された文字で、毛筆で書かれた連綿ひらがな文字列は日本が世界に誇る美しさを持っていて、和歌や俳句等の記述に用いられる伝統的なものである。

毛筆漢字や毛筆ひらがなを計算機で生成するために一般にはアウトラインフォントが用いられる⁵⁾が、この方法では連綿文字を生成するのは容易ではない。本論文では、我々の提案する電子筆の動作特性の詳細について述べ、また電子筆により書かれた漢字、ひらがなの例を示す。

我々の技術により、あたかもそれが実際の毛筆で書かれたかのようにコンピュータの仮想平面に文字を書くことができる。

2. 毛筆文字

毛筆を用いて文字を書くためには、文字の骨格が最も重要であり、文字のサイズに合わせた線の太さが2番目に重要である。さらに、筆先の回転が3番目に重要である。毛筆文字は他の文字と比較して、線の太細の変化が大きく、さらに筆の進行に連れて筆先が回転することによる描画が大きな特徴となる。

毛筆では、筆先の方向は常に筆の進む方向と一致するとは限らない。例えば、側筆と呼ばれる筆法では、筆先は筆の進む方向と直角に近い角度で横滑りの状態で運ばれることがある。

柔らかい筆では、筆先は筆が進むにつれ徐々に筆の進む方向に回転して一致するようになる。硬い筆の場合は、筆先の方向は最初の方角を保ち続ける。Fig. 1に角度120°で入筆し、反時計回りに円を描いた場合の筆触パターンの変化の様子を示している。Fig.1-1は柔らかい筆の場合であり、筆が進むに従い筆先の方向が徐々に筆の進む方向に近づいてくることを示している。Fig.1-2は硬い筆の場合であり、筆が進んでも筆先の方向は筆の進む方向に一致しないことを示している。

このような筆先の回転による描画や線の太細

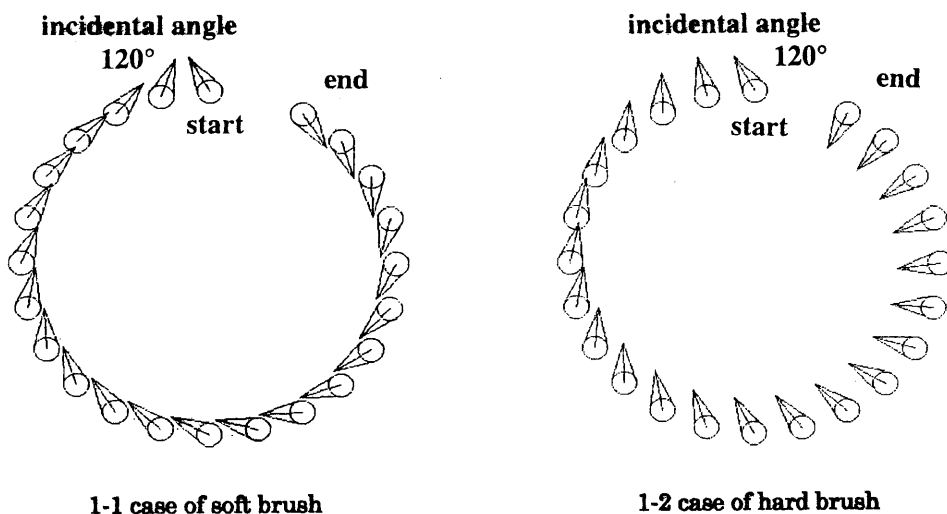


Fig.1 Softness and brush tip rotation

が毛筆文字を表現力豊かなものになっている。

3. 電子筆のモデル

我々の電子筆モデルは、筆触パターンを Fig.2 に示すように円と円錐を投影したものとして定義している。筆は骨格データとして与えられる文字の骨格に従って進む。文字の太さは筆圧値で変化する直径によって決定される。この値は筆圧データとして格納されている。電子筆モデルは骨格データに従って進みながら、筆圧値とその時点で計算される筆先の回転で筆触パターンを描画していく。

Fig.3 に漢字「大」を例として、骨格データと

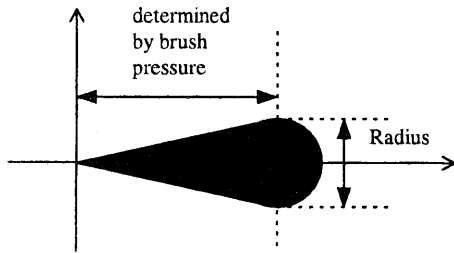


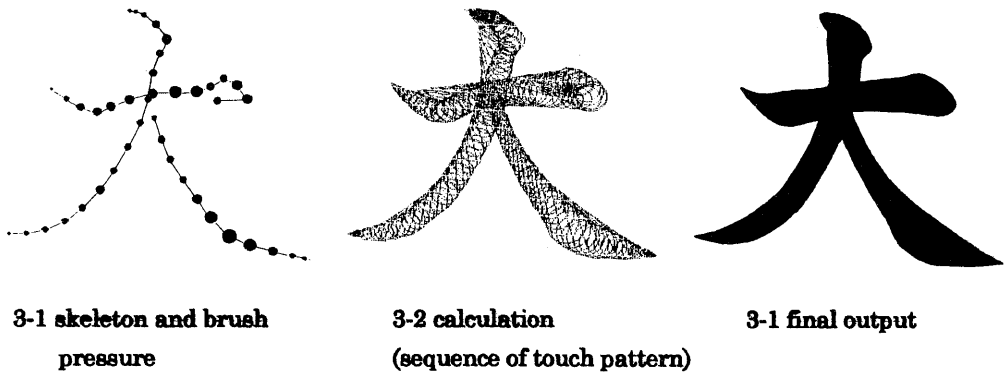
Fig.2 Touch shape pattern of an electronic writing brush

筆圧値のデータから電子筆モデルが筆先の回転を計算しながら筆触パターンを描画し、毛筆文字を出力する様子を示す。Fig.3-1は骨格データ(xy座標データ)とその点での筆圧値(●の大きさ)を示している。データは筆順に処理される。Fig.3-2は骨格データと筆圧値とそれまでの筆の軌跡から筆の回転を計算し筆触パターンを描画していることを示している。この図は筆触パターン(三角形と円)の動きを見やすくするためパターンの描画密度を粗くして示してある。Fig.3-3は最終出力結果である。

4. 筆触パターン径と筆圧値

我々の電子筆モデルでは筆圧値が増えると(つまり、筆が押し下げられると)、筆触パターンの半径が比例的に大きくなり、筆圧値が減ると(筆を持ち上げると)半径は小さくなる。このことを式(1)で表す。他のパラメータは筆の形状や文字サイズに依存した文字の太さの調整に用いられる。

$$\text{筆触パターン径} = \text{フォントサイズ} \times \frac{\text{筆の最大断面径} \times \text{筆圧値}}{\text{毛筆部の長さ}} \quad (1)$$



3-1 skeleton and brush pressure

3-2 calculation (sequence of touch pattern)

3-3 final output

Fig.3 Drawing method using an electronic writing brush

5. 筆の柔らかさの筆の回転への効果^[10]

前述したように毛筆では、筆先の方向は常に筆の進む方向と一致するとは限らない。柔らかい筆では、筆先は筆が進むにつれ徐々に筆の進む方向に回転して一致するようになる。硬い筆の場合は、筆先の方向は最初の方をを保ち続ける。毛筆ではこのような筆法を側筆と呼ぶ。

そこで、我々は筆先の方向と筆の進む方向の関係を表すために、Fig.4 に示すようなモデルを考えた。現在の筆先の方向を θ_c とする。筆先の方向の回転角($\Delta\theta$)は筆先の現在の方向(θ_c)と筆の進む方向(θ_f)の関数である。関数は筆が θ_f の方向に $\Delta\ell$ だけ移動したとき、第一近似的に $(\theta_f - \theta_c)$ に係数 S を掛けたものとして近似でき

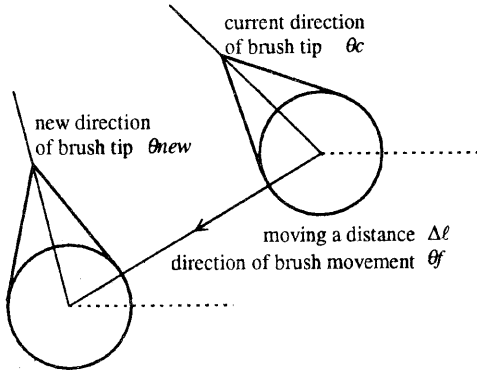


Fig.4 Direction of brush movement and direction of brush tip

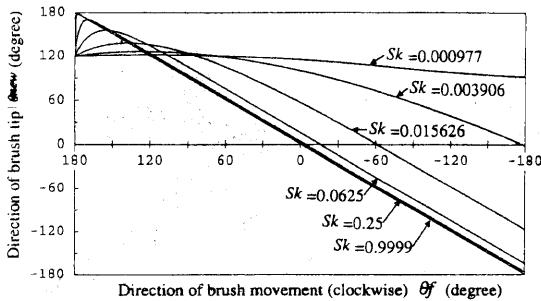


Fig.5 Effect of softness S_k of writing brush on rotation of brush tip (the case of drawing a clockwise circle with an incident angle of 120°)

る。係数 S は筆の柔らかさを示し、筆の特性を表していると考えられる。

新しい角度 (θ_{new}) は次のように決定される。

$$\begin{aligned} \Delta\theta / \Delta\ell &= (\theta_{new} - \theta_c) / \Delta\ell \\ &= f(\theta_f, \theta_c) \\ &= (\theta_f - \theta_c) \cdot S \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \theta_{new} &= \theta_c + (\theta_f - \theta_c) \cdot \Delta\ell \cdot S \\ (0 \leq \Delta\ell \cdot S \leq 1) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで

- $\Delta\theta$: 筆先の回転角
- θ_{new} : 筆先の新しい方向 (角度)
- θ_c : 筆先の現在の方向 (角度)
- θ_f : 筆の進む方向 (角度)
- $\Delta\ell$: 筆の進む距離
- S : 筆の柔らかさ

そして

- $\Delta\ell = v \cdot \Delta t$
- v : 筆の移動速度
- Δt : 筆の動く時間 (計算時間)

式(3)で S_k を $\Delta\ell \cdot S$ と置くと、筆先の回転の様子はFig.5およびFig.6に示すようになる。Fig.5は入筆角度 120° で時計回りの円を描いた場合を示している。Fig.6は反時計回りの円を書いた場

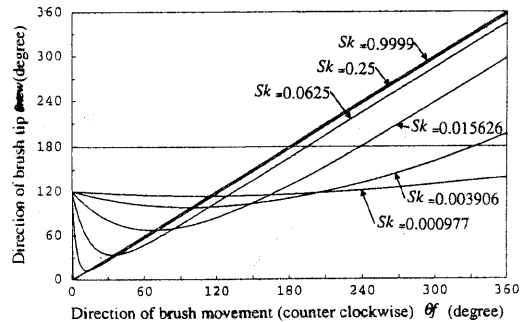


Fig.6 Effect of softness S_k of writing brush on rotation of brush tip (the case of drawing a counter clockwise circle with an incident angle of 120°)

合を示している。Fig.5 および Fig.6 から係数 Sk は筆先の回転に対し、指数的に寄与していることがわかる。

6. 筆触パターンの径変化の筆の柔らかさへの効果^[10]

我々の電子筆の技術において、筆触パターンの径は筆圧値により変化する。

筆触パターンの径は骨格データにより文字の形が決まれば、線の太さを決めるパラメータとして 2 番目に重要である。この筆の径は筆先の回転に対しても又重要な役割をする。つまり、筆先の回転の表現において、

$$\theta_{new} = \theta_c + (\theta_f - \theta_c) \cdot \Delta l \cdot S$$

もし、柔らかさ S が硬さ H の逆数であるとする

$$S = 1 / H$$

筆の硬さ H は毛筆の毛のステフネスと毛の数に比例すると考えられる。言い換えれば、硬さ H は筆触パターンの断面に比例する。筆の半径を r とすると、 H は r の 2 乗に比例し、故に S は r の 2 乗に反比例する。

$$S = 1 / H = K / r^2$$

ここで K は比例係数である。

我々は既に回転 $\Delta\theta$ への柔らかさ S の寄与の仕方は指数的であることを述べた。 r の 2 乗の効果は指数的な変化に対応することができる。つまり、1 mm から 10 mm まで変化する径で線が描かれた場合、 r の 2 乗の効果は 100 の変化範囲になる。

結果的に、筆の移動により、筆先の方法は次のように変化する。

$$\begin{aligned} \theta_{new} &= \theta_c + (\theta_f - \theta_c) \cdot \Delta l \cdot S \\ &= \theta_c + (\theta_f - \theta_c) \cdot K \cdot \Delta l / r^2 \quad (4) \\ &= \theta_c + (\theta_f - \theta_c) \cdot Sk \end{aligned}$$

ここで

$$Sk = K \cdot \Delta l / r^2$$

半径 (筆圧値) の変化による筆の柔らかさの変化は、筆法の一つである “はね” を書くときに効

果的である。

7. 毛筆文字フォントのデータ構造

上述したように、毛筆文字を書くときに最も重要なパラメータは文字の骨格線であり、2 番目に重要なパラメータは筆圧値で与えられる筆触パターンの半径である。筆先の回転は式(4)で計算される。

フォントデータは次のような構造を持つ

- a) フォントヘッダー
; FontCode, CursiveType
- b) ストロークヘッダー
; 画数 n
- c) ストロークデータ
; 各画でのデータ数 $Np(p=1 \sim n)$
; x 軸での値 (X_i), y 軸での値 (Y_i),
筆圧値 (P_i), 速度 (V_i) 又は時間

各画でのデータは筆順に並べられている。各画でのデータ X_i, Y_i, P_i, V_i は各画でのデータ数 Np 個ある。フォントヘッダーでの FontCode は文字フォントの識別番号である。CursiveType は連綿情報を示し、その文字が連綿型か非連綿型かを示している。連綿型の場合はその後で連綿を始める臨界点 Sc と連綿を終える臨界点 Ec が付け加えられる。

V_i データ又は時間データは文字を書くとき必ずしも必要ではないが、かすれ表現や濃淡滲み表現をするときに大変に有用である。また、 V_i は計算機の仮想平面上での筆の動きを動画化する時には必ず必要である。

8. 漢字とひらがなの出力例

漢字「永」は 8 つの基本的ストロークを持っていて、古くから「永字八法」^[11]と呼んで運筆の要領の勉強に用いられてきた。

Fig.7 は我々の電子筆で書いた「永」の字を示している。Fig.7-1 は濃い墨で書いた文字を示し、Fig.7-2 は薄い墨で描いた場合で筆の毛の動きが容易に分かるように筆先のいくつかの毛をより濃くしたものを示している。また Fig.7-3 は滲み

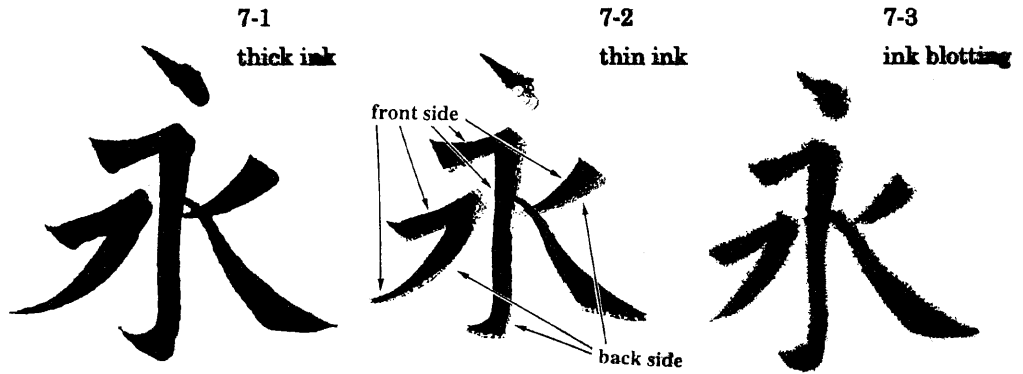


Fig.7 Out put example of Kanji character

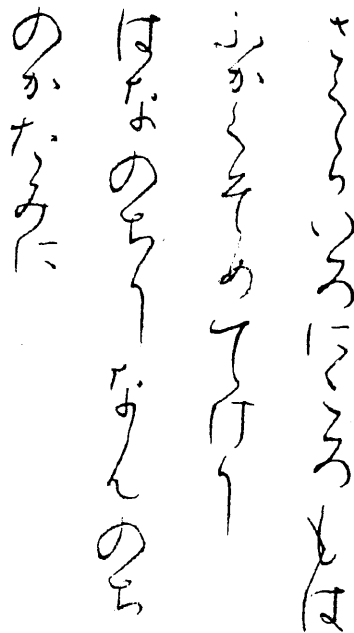


Fig.8 Example of Hiragana strings in cursive style

を表現したものである。これらの図から筆の表裏がうまく表現されていることがわかる。

Fig.8 は我々の電子筆で書いた連綿の形でのひらがな文字列の例を示している。これは和歌の出力例である。文字の連結部分は bezier 関数で計算している。文字書体は平安時代の代表的古典「関戸本 古今和歌集」四からひらがなおよび変体がな書体を抜き出して手本とした。

9. むすび

我々は実際の筆順に沿って日本文字の漢字やひらがなを書くことのできる電子筆システムを開発した。

我々のシステムの特徴は次の通りである。

1. 我々の方法は毛筆の第一次近似モデルに基づいている。
2. モデルは簡単で基本的なものである。
3. フォントデータは画数、筆順、各画でのデータから成る。
4. 各画でのデータは骨格データ (xy 座標データ) と筆圧値データから成る。
5. 文字を書くためには、骨格データ (xy 座標データ) が最も重要であり、2 番目に重要なパラメータは筆触パターンの大きさである。
6. 筆触パターンの大きさは筆圧値に比例するように設定され、いろいろな太さの線を筆圧値で容易に制御できる。
7. 3 番目に重要なパラメータは筆の進行に合わせた筆先の回転である。
8. 筆先の回転角は現在の筆先方向と筆の進む方向との差および筆の柔らかさと筆触パターンの大きさ (筆圧値) の関数である。
9. 筆の柔らかさの表現として変数 Sk を導入した。 ($0 \leq Sk \leq 1$)
10. Sk の値が大きくなるほど筆が柔らかくなり、筆先が回転しやすくなる。
11. 筆先の回転への Sk の値の効果は指数的な関係に近い。

12. S_k の値は筆圧値による半径の変化で 100 倍の範囲で変化できる。
13. S_k は次の変数の関数である。
 - a. 移動区間 Δl と筆の半径 r
 - b. 筆の移動速度 v と時間 Δt ($\Delta l = v \cdot \Delta t$)
14. 文字は実際の筆順で作成される。
15. 必要であれば、ひらがな文字列は連綿で出力される。連綿の連結部は bezier 関数で計算される。

我々の方法では、毛筆の動的モデル（第一次近似モデル）を導入した。文字は各データポイントでの骨格点と筆圧値を用いて形成される。側筆での筆の表裏が表現できる。文字のストロークでの筆先の毛の全ての位置が計算できるので、濃淡表現やかすれ表現がよりうまく表現できる。

我々の技術で、あたかもそれが実際の筆で書かれたかのように仮想コンピュータ平面に文字を書くことができる。

謝辞

書道家小松龍郷先生と石川静先生に専門的アドバイスを頂いた事を感謝致します。

参考文献

[1]石亀昌明、三浦望、松尾広、間由起子：“毛筆かな文字の筆順を考慮した部品化とデータ圧縮について”、平成6年度電気関係学会東北支部連合大会 2D11(1994)

[2]石亀昌明、三浦望、松尾広：平成6年度第3回情報処理学会東北支部研究会資料 94-3-16(1994)

[3]石亀昌明、三浦望、松尾広：“筆のモデル化による毛筆体かな文字の生成” 1995 画像電子学会年次大会予稿 28, pp.78-79(1995)

[4]三浦望、石亀昌明、松尾広：“筆のモデル化による毛筆文字生成アルゴリズムの検討” 秋田大学鉱山学部研究報告、第16号、pp.43-49, 1995

[5]Strassmann, S.: "Hairy Brushes", SIGGRAPH, Vol.20, No.4(1986), pp.225-232

[6]Chua, Y.S. : "Bezier Brushstrokes", CAD, Vol.22, No.9(1990), pp.550-555

[7]Pham, B. : "Expressive Brush Strokes", CVGIP, Vol.55, no.1(1991), pp.1-6

[8]西田友是、田北晋一、中前栄八郎：“Bezier関数を用いた墨絵の表現”、情報処理学会グラフィックスとCADシンポジウム論文集(1992.9) pp.153-160

[9]張家鈞、大野義夫：“スケルトン方式による墨跡の表現に関する研究”、グラフィックスとCAD(1993.2.26)

[10]石亀昌明、菅原恵、三浦望、松尾広：“電子筆による毛筆文字の生成(その2)”、平成7年度第3回情報処理学会東北支部研究会、資料番号 97-3-8、1995

[11]松本筑峯：“書道の基本”、日東書院(1994)

[12]伝行成：“古今和歌集関戸本写本”、平安時代