

最適平滑化スプラインによる毛筆体かな文章の生成*

2ZC-01

中田 浩暁 狩野 弘之†

東京電機大学 大学院理工学研究科‡

1 まえがき

人が文字を書くときのように筆記具を空間的かつ時間的に連続に移動させた結果として、すなわち動的 (dynamic) に生成を行う“ダイナミックフォント”という新しい文字フォントの生成方式が考えられた [1]. 著者らはこの生成方式に基づき、文字の設計を行うフォントエディタを開発し、さらにエディタによってつづけ字を可能とする毛筆体かなフォントを試作した [2].

本報告では、最適平滑化スプライン [3] の考え方を応用することによって文字列軌道を最適に設計する方法を提案する。その結果、書道で見られるような滑らかで自然な毛筆体文章の出力が得られることを示す。

2 文字の生成法

文字生成の概念図を図 1 に示す。すなわち仮想的な筆記面と筆記具を考え、筆記面は O - XY 平面、筆記具の形状は円錐で、その軸は Z 軸に平行であるとする。このとき文字は、筆記具があらかじめ設計された書字運動をしたときの筆記面との交差領域の痕跡として形成されていく。

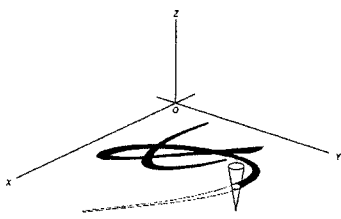


図 1: 文字生成の概念図

筆記具先端の軌道 $p(t)$ は次式によって設計される。

$$p(t) = \sum_{i=l-k+1}^{m+k-1} p_i B_k(\alpha(t-t_i)) \quad (1)$$

ここで、 $B_k(\cdot)$ は整数の節点をもつ正規化された一様な k 次 B-スプライン関数であり、これにより生成される 3 次元運動は‘単位運動’とよばれている。また α は実時間における節点 t_i の間隔を調節する定数、 p_i は 3 次元重みベクトルで、本方式ではこれを運動に対する‘制御点’と呼んでいる。 m, l は制御点の個数などに関する整数である。制御点の系列：

$$M = p_{l-k+1} \cdots p_{m+k-1} \quad (2)$$

*Generation of Japanese Cursive Sentences Using Optimal Smoothing Splines

†Hiroaki Nakata, Hiroyuki Kano

‡Graduate School of Science & Engineering, Tokyo Denki University

は‘制御多角形’を指定し、幾何学的には運動軌道の輪郭を表す。書字運動は単位運動に対する重み係数を指定することによって生成され、従って制御多角形をその運動に対する形式的な表現、フォントの設計は制御多角形の設計問題、と見なすことができる。

3 毛筆体かな文字と文字列の生成

以上により、フォントの形状を設計することは制御多角形を決定することに帰着し、そこで制御多角形の設計を対話的に行うことが可能なソフトウェア、すなわちフォントエディタを開発した。さらに、このエディタを用いてつづけ字を可能とする毛筆体かなフォントを試作した (表 1 にそのデータを示す)。

表 1: 毛筆体かなフォントのデータ

| 試作字数 | 48 |
|------------------------|-----------|
| 標準出力サイズ (pixel) | 500 × 500 |
| 1 文字あたりの平均制御点数 | 13.4 |
| 1 文字あたりの平均データ量 (bytes) | 615 |

本生成方式において、書字運動に対する様々な演算は制御多角形上の演算として実現可能である。例えば、平行移動、拡大縮小、回転、連結、の演算が容易に定義でき、さらに必要に応じて他の演算を導入することができる。つづけ字を生成するには、それらの演算を用いて、各文字に対応する制御多角形同士を接続することを考えればよい。図 2 に

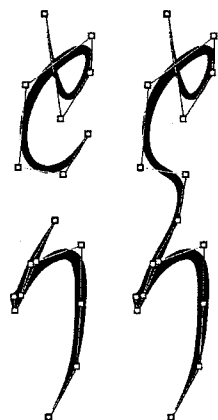


図 2: 毛筆体かなフォントの制御多角形とそれらを‘と’, ‘り’および‘とり’

連続させた例を示す ($k=3$ とした)。この場合、文字列‘とり’は上述のソフトウェアに対してソース 1 で示される、XML フォーマットで記述されたコードを与えることによって生成される。ここで $\langle \text{ref} \rangle$ は指定された文字データの参照を行うタグであり、これは制御点を表すタグの系列に置き換えられる。また $\langle \text{move} \rangle$ は制御多角形に対する平行移動を、 $\langle \text{concatenate} \rangle$ は制御多角形同士の特別な接続方法を指定する演算のタグである。

コードの中ではこの他にも、拡大・縮小<scale>や回転<rotate>、後述する平滑化<smoothing>といった種々の演算のタグを利用することができ、これらを組み合わせることによって様々な字形の文字および文字列が生成可能である。

```
<?xml version="1.0" encoding="EUC-JP"?>
<control-polygon canvas="500x1000">
  <concatenate>
    <move x="0" y="250" z="0">
      <ref file="to.ssp"/>
    </move>
    <move x="0" y="-250" z="0">
      <ref file="ri.ssp"/>
    </move>
  </concatenate>
</control-polygon>
```

ソース1: 'とり'を生成するXMLデータ

4 文字列の平滑化

書道においてしばしば見られる、かなの省略した字形を体系的な方法で求めることはフォントのデザイナーにとって有益であると考えられる。そこで、データ点のスムージングに用いられる平滑化スプライン [3] を応用し、文字列に対する平滑化の演算を提案する。

(1)で与えられる標準の書字運動に対して、次のような書字運動のファミリーを考える。

$$\mathcal{X} = \left\{ x(t) : x(t) = \sum_{i=l-k+1}^{m+k-1} \tau_i B_k(\alpha(t-t_i)) \right\} \quad (3)$$

ここで、 $\{\tau_{l-k+1}, \dots, \tau_{m+k-1}\}$ は平滑化された書字運動に対応する制御点である。なお、以下では3次元軌道の各要素に対して独立に平滑化を適用する。このとき、平滑化の演算は次式の最適化問題によって定式化される。

$$\min_{x \in \mathcal{X}} \left(\lambda \int_{t_{l+1}}^{m+k} \{x''(t)\}^2 dt + \sum_{i=l-k+1}^{m+k-1} w_i (p_i - \tau_i)^2 \right) \quad (4)$$

ここで、 λ は書字運動 $x(t)$ の滑らかさを決定する正定数スカラー、 $w_i \in [0, 1]$ は各 i 番目の制御点の信頼度を表すパラメータである。(4)に対する解は以下によって一意に与えられる。

$$\tau = (\lambda Q + W)^{-1} W p. \quad (5)$$

$\tau = [\tau_{l-k+1} \dots \tau_{m+k-1}]^T$, $p = [p_{l-k+1} \dots p_{m+k-1}]^T$, $W = \text{diag} \{w_{l-k+1}, \dots, w_{m+k-1}\}$, そして $Q = [q_{i,j}]$ は B-スプライン関数 $B_k(\cdot)$ から一意に決定される正定値のグラミアンである。

図3には3節で述べた方法によって得られたつづけ字の文章を、図4にはそれを平滑化することによって得られた文章の例を示す ($\lambda = 1.2$, $W = I$ とした)。平滑化の結果、個々の文字ばかりでなく、文字と文字のつながりもより滑らかになっていることがわかる。文章をどれだけ崩すか、すなわち文字列軌道をどれだけ滑らかにするかは平滑化パラメータ λ によって調整可能である。

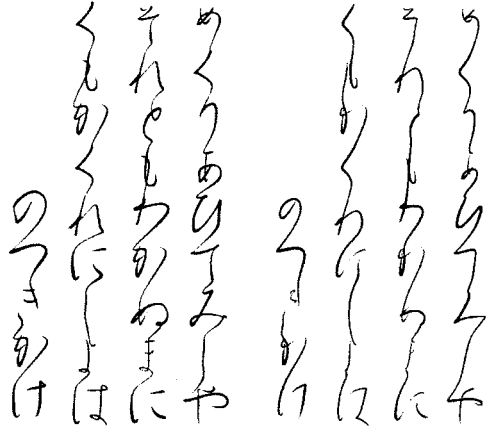


図3: 平滑化適用前

図4: 平滑化適用後

5 まとめ

ダイナミックフォントの生成方式に基づき、平滑化の演算によって毛筆書体の滑らかで自然なつづけ字の文章の出力が得られることを示した。毛筆体文章という図形としてみたとき大変複雑なパターンも、一貫性のある、かつ簡潔な理論とアルゴリズムによって、うまく生成できていることが分かる。

本形式で得られた毛筆体文章の実際の利用形態としては、SVG [4] などの画像フォーマットへ変換して表示させることが考えられる。

参考文献

- [1] K. Takayama, H. Kano et al: Dynamic Font: A New Representational Technology, *FSTJ*, Vol. 32, No. 2, pp. 192-202, Dec., 1996.
- [2] H. Nakata and H. Kano: Generation of Japanese Cursive Fonts Using B-Spline Functions, *Proc. of the Int. Conf. on Intelligent Systems and Control*, Florida, USA, pp.475-479, Nov., 2001.
- [3] H. Kano, H. Nakata and C. F. Martin: Optimal Design of Curves by B-Splines, presented at the Int. Symp. on Stochastic Systems Theory, Ashikaga, October 29-30, 2001.
- [4] W3C Scalable Vector Graphics (SVG), <http://www.w3c.org/Graphics/SVG/>