

ダイナミックフォントモデルを用いた手書き文字の整形と再設計 Fairing and Reconstructing Handwritten Characters Using Dynamic Font Model

宮田慎也[†]
Shinya Miyata

藤岡寛之[‡]
Hiroyuki Fujioka

1. はじめに

人が文字を書く運動をヒントに“ダイナミックフォント”とよばれるフォント生成法が提案されている [1]. この生成法は文字を2次元平面パターンとしてみなし設計する従来法とは全く異なり, 文字や文字列の設計や再設計が行いやすいといった利点をもつ. 例えば, 最適平滑化スプラインの理論を用いることで標準的な文字の書体を書道で見られるような草書体へと再設計できる [2].

本研究では, [2] の発展研究としてダイナミックフォントモデルを基礎に手書き文字の字形を整形およびその書体を再設計する問題を考える. まずペンタプレットにより得られる書字運動の3次元時系列データからダイナミックフォントモデルと平滑化スプラインの理論を用いて手書き文字をモデリングする. 次に, モデリングされた文字の字形をDPマッチングとアフィン変換を用いて手本文字に類似した字形へと整形する. さらに, モデリングで用いた同じ枠組みにより整形した文字を書道で見られるような草書体文字へと再設計する. 実験により本手法の有用性および有効性を検討する.

2. ダイナミックフォントと文字モデリング

2.1. ダイナミックフォント

図1にダイナミックフォントのモデルを示す. 仮想的な筆記具(円錐)と筆記面(O-XY)を考える. このとき文字は, 筆記具が3次元空間O-XYZで運動を行い筆記面との交差領域を塗りつぶすことで生成される. 筆記具先端の運動軌道 $x(t) \in \mathbf{R}^3$ は

$$x(t) = \sum_{i=-5}^{m-1} \tau_i B_k(\alpha(t - t_i)) \quad (1)$$

により与えられる. ただし, m は運動の時間を調節する定数, $\tau_i \in \mathbf{R}^3$ は‘制御点’と呼ばれる3次元の重み

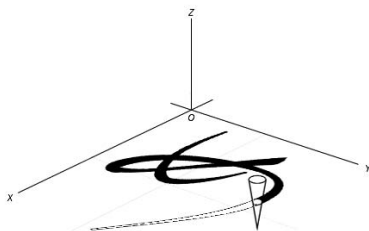


図1: ダイナミックフォントの生成モデル

ベクトルである. また, $B_5(\cdot)$ は整数の節点を持つ正規化された一様な5次のBスプライン関数, $\alpha(>0)$ は節点 t_i の間隔を調節する定数である.

(1) 式から望みの書字運動は適切な制御点 $\tau_{-5}, \tau_{-4}, \dots, \tau_{m-1}$ を選定することで設計できることがわかる. このとき, 選定される制御点の系列は‘制御多角形’と呼ばれ, 幾何学的には書字運動の輪郭を表す. したがって, 制御多角形 M :

$$M = \tau_{-5} \tau_{-4} \dots \tau_{m-1} \quad (2)$$

は書字運動の形式的な表現と見なせる. これにより文字のサイズ変更, 移動, 回転なども制御多角形に対する操作として定義することができる.

2.2. 文字モデリング

次にペンタプレットにより獲得された書字運動の3次元時系列データからダイナミックフォントモデルに基づき手書き文字をモデリングする方法について述べる. このとき時系列データから(2)式の文字の形式的表現である制御多角形 M を求めればよく, 以下のように最適平滑化スプラインの理論を用いて求められる.

今, ペンタプレットにより獲得された書字データ集合を $D = \{(s_i, d_i) \mid s_i \in [t_0, t_m], d_i \in \mathbf{R}^3, i = 1, 2, \dots, N\}$ とする. ただし, s_i はサンプリング時刻, $d_i \in \mathbf{R}^3$ は獲得される2次元位置および筆圧データ, N はデータの個数である. このとき,

$$\tau = [\tau_{-5} \tau_{-4} \dots \tau_{m-1}] \in \mathbf{R}^{3 \times M} \quad (M = m + 5) \quad (3)$$

とし, 次のような平滑化曲線の設計問題を考える.

問題 1

$$\begin{aligned} & \min_{\tau \in \mathbf{R}^M} J(\tau), \\ J(\tau) &= \int_{t_0}^{t_m} \left\| x^{(3)}(t) \right\|_{\Lambda}^2 dt + \sum_{i=1}^N \|x(s_i) - \alpha_i\|_{W_i}^2. \end{aligned} \quad (4)$$

ただし, 初期時刻 t_0 と終端時刻 t_m では書字運動は静止状態にあると考え, 制約条件 $x(t_0) = d_1, x(t_m) = d_N, \dot{x}(t_0) = \dot{x}(t_m) = 0$ を課す.

ここで, $\Lambda = \lambda I_3 \in \mathbf{R}^{3 \times 3}$ であり $\lambda(>0)$ は平滑化パラメータと呼ばれる. $W_i (0 \leq W_i \leq I_3)$ は近似誤差に対する重み係数行列である. 問題1の最適解 τ はラグランジュ未定乗数法を用いることである線型代数方程式の解として得ることができる [2].

[†]福岡工業大学大学院工学研究科

[‡]福岡工業大学情報工学部システムマネジメント学科

3. 文字の整形と再設計

まず文字の整形方法について述べる．ここでは2.2節の方法により得られた手書き文字のモデルを望みの文字(以下、手本文字と呼ぶ)の字形に近づけるための操作を「整形」と呼ぶ．手本文字はダイナミックフォントモデルに基づき設計されているものとする．したがって、手本文字の書字運動 $x_d(t)$, $t \in [t_0, t_{m'}]$ は

$$x_d(t) = \sum_{k=-5}^{m'-1} \bar{\tau}_k B_5(\alpha(t - t_k)) \quad (5)$$

により与えられる．このとき扱う整形問題は手書き文字の制御多角形 $M = \tau_{-5}, \tau_{-4}, \dots, \tau_{m-1}$ と手本文字の制御多角形 $M_d = \bar{\tau}_{-5}, \bar{\tau}_{-4}, \dots, \bar{\tau}_{m'-1}$ から文字の字形が手本文字のものに類似する新しい制御多角形 M'' を構成する問題とみなせる．したがって、ここでは $A(M, M_d) = M''$ のような整形オペレータ $A(\cdot, \cdot)$ を開発する．

図2に開発した整形オペレータ $A(\cdot, \cdot)$ の概要を示す．手書き文字と手本文字の書字時間は一般には異なり(つまり、 $t_m \neq t_{m'}$)、制御多角形 M と M_d のサイズが異なる．そこで、まず M_d のサイズに一致する新たな制御多角形 $M' = \tau'_{-5}, \tau'_{-4}, \dots, \tau'_{m-1}$ を M から生成する．生成は M に相当する書字運動 $x(t)$ をサンプリングしてデータ集合 $\{(s_i, d_i) : s_i = \frac{i-1}{\alpha}, d_i = x((i-1)\frac{t_m}{\alpha t_{m'}}), i = 1, 2, \dots, m'+1\}$ を生成した後に2.2節のモデリング手法を用いて行える．次に、DP マッチングを用いて制御多角形 M' と M_d の各々の制御点がそれぞれ O-XY 平面上で幾何学的に一致するものを対応付けし、それらの対応関係を用いて制御多角形 M' と M_d の間の最適なアフィン変換推定を行う．このとき得られるアフィン変換行列を用いて制御多角形 M' から手本文字に類似する制御多角形 M'' を得る．

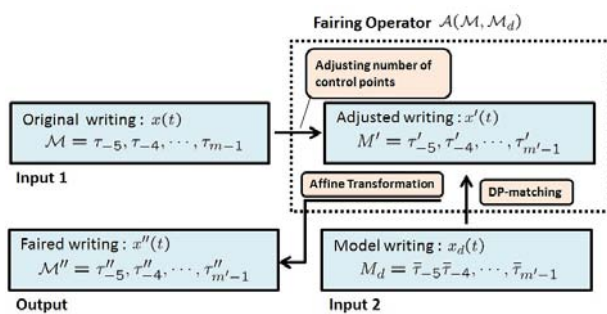


図2: 文字の整形オペレータ $A(M, M_d)$

次に、文字の再設計方法について述べる．一旦、制御多角形 M'' が得られれば2節の枠組みを使って簡単に文字を再設計できる．今、制御多角形 M'' に相当する文字の書字運動を $x''(t)$ とする．このとき、書字運動を節点 t_i ごとにサンプリングして得られるデータ集合を2.2節の枠組みに適用し、平滑化パラメータ λ を調節することで書道でみられるような草書体文字へと再設計できる．また、視覚誘導場 [3] を導入した λ の調節法 [2] を用いれば美の観点から文字を再設計することもできる．文字列の再設計を行う場合には、必要とな

る各文字の制御多角形 M'' を接続した後に上述の方法を適用してやればよい．

4. 実験

図3に実験システムの概要を示す．ディスプレイ体型のペンタブレット上に文字を書くことでペンの2次元位置と筆圧データが20[ms]ごとに取得されPCに書字データ集合 D として保存される．ここでは一例として、文字列「ゆめ」の各文字の整形と文字列の再設計の実験を行う．図4(a)は、ある被験者の書字運動からモデル化された「ゆ」「め」である．ただし、 $\lambda = 10^{-7}$, $W_i = I_3$ と設定した．また、予めダイナミックフォントモデルに基づき設計した手本文字を図4(b)に示す．この手本文字を元に図4(a)の手書き文字を整形した結果とさらに2.2節の枠組みを使って再設計した結果を図5に示す．これらの結果から、手書き文字の元の特徴を残しつつ手本文字に近い字形へと整形でき、さらに提案したモデリングの枠組みを使って平滑化パラメータ λ を大きく設定していくことで文字と文字のつながり部が滑らかになり書道でみられるような草書体文字へと再設計できていることがわかる．



図3: 実験システムの概要 図4: (a) 手書き文字モデルと (b) 手本文字



(a) 整形後 (b) $\lambda = 10^{-3}$ (c) $\lambda = 10^{-1}$ (d) $\lambda = 10$
図5: 整形および再設計した文字列「ゆめ」

参考文献

[1] K. Takayama, H. Kano et al: Dynamic Font: A New Representational Technology, *FUJITSU Scientific and Technical Journal*, vol.32, no.2, pp. 192-202, 1996.
[2] S. Miyata and H. Fujioka, Design of Cursive Handwriting Characters Using Esthetic Evaluation, *Proc. of the Int. Conf. on Control, Automation and Systems 2010*, pp.1887-1890, Gyeonggi-do, Korea, Oct. 27-30, 2010.
[3] 長石道博, 視覚の誘導場による感性評価, *認知科学*, vol.10, no.2, pp.326-333, 2003.