マルチフォントの自動関数化における 接合点の多段階抽出法

非会員 堀 内 隆 彦 (筑波大)

非会員 大 瀧 保 広 (筑波大)

正 員 寅 市 和 男 (筑波大)

On Method of Extracting Joint Points for Generating Function-Fonts of Multi-Symbols

Takahiko Horiuchi, Non-member, Yasuhiro Ohtaki, Non-member, Kazuo Toraichi, Member
(University of Tsukuba)

In the previous research, the authors proposed a method to generate high quality function-fonts for brush-written characters automatically. This method extracts sharp edges of boundary lines, so-called joint points, and approximates the boundary line between each adjacent joint points using piecewise polynomials. As the next step, we applied the previous method for printed characters and figures. We find that they have another rules of quality and that the previous method cannot be adopted to these fonts. This paper aims to make clear how joint points should be determined for many kinds of fonts and to present a multi-stage algorithm to extract them exactly. The performance of the present method is verified by some experiments.

キーワード：フォント，関数近似，接合点

1. ま え が き

高品質な文字と図表が混在したドキュメントを、パーソナルコンピュータを用いて作成するために、デスクトップパブリッシング (DTP) システムの研究が盛んに行われている。DTP システムに要求される基本要件は、ユーザインタフェースがユーザにわかりやすいこと、種々のフォント (毛筆体、活字体など) ならびに図表 (エンブレムやマークなど) が効率的に取り扱えることなどである。

著者らは、先行研究において、後者の基本要件に着目した。手紙を心のこもった毛筆体で書きたいという動機に基づいて、種々のフォントのなかから毛筆体を取り上げて、滑らかな高品質フォントを自動的に関数化する手法を提案した⁽¹⁾。その手法は、(1) フォントが自動的に関数化されること、(2) フォントの品質が高いこと、(3) フォントのデータ量が少ないことの 3

条件の下に考案され、毛筆書体に対して有効な結果を得た。

しかし、同手法を DTP の基本要件である種々のフォントや図表に適用した結果は、再生結果が必ずしも原画像の品質を再現できないことを示した。特に、円弧と直線のつなぎめなどが滑らかに近似されてしまい、図形などが本来もっているメリハリを失う結果となった。このような品質劣化の原因の一つとして、活字体や図表などは、毛筆体用の手法によって抽出される鋭角な輪郭線部分である「接合点」のほかに、輪郭線の種類が変わる「接合点」をもつためと考えられる。

本論文では、図表・活字体などのマルチフォントに対して、的確に接合点を抽出するアルゴリズムを提案する。この目標を達成するために、種々の活字体や図表のもつ接合点の特徴を分析する。その分析結果に基づいて、輪郭線の接合点を多段階抽出法によって抽出

する。

本論文で提案する多段階抽出法は、第1段階で離散曲率によって接合点を抽出し、第2段階で輪郭線の近似関数の曲率によって接合点を追加し、第3段階で不必要な接合点を除去する方法である。本手法を、毛筆書体、活字体、図形、表に適用することにより、性能の検討を行っている。

第2章では文献(1)の手法を活字体・図表などに適用した場合の問題点を分析する。第3章では分析の結果に基づいて設計された手法が提案される。第4章ではその手法を用いた実験結果を示す。

2. 要求仕様の検討

本章では、文献(1)の手法を種々の活字体や図表などに適用したときに生じる問題点を分析することによって、種々の活字体や図表などの自動圧縮手法に要求される具体的な目標を明らかにする。

文献(1)は、(1)フォントの作成労力を省くこと、(2)高品質な文字の取扱いが可能なこと、(3)フォントのデータ量が少ないことを具体的な目標として、高品質な毛筆フォントを、(1)自動的に、(2)品質を保持したまま、(3)少ないデータ量へ圧縮する手法を提案した。

図1(a)は、文献(1)の手法を毛筆体に適用した際の、原文字と再生文字を例示している。文献(1)の手法を、種々の活字体や図表に適用した結果は、(b)図と(c)図に例示されている。(b)図は文献(1)の手法を図形に適用した結果を例示しており、(c)図は活字体に適用した結果を例示している。各フォントは、毛筆体と同様に、自動的に圧縮・再生されている。

しかしながら、(b)図および(c)図において顕著に示されているように、再生結果は、原画像の品質を再現しているとはいえない。特に、円弧と直線、あるいは曲線と直線といった輪郭線の種類の変更点が滑らかに再現され、図形などが本来もっているメリハリを失う結果となっている。このような品質の劣化の原因の一つとして、文献(1)の手法によって鋭角な輪郭部分に抽出される「接合点」のほかに、活字体や図表などは輪郭線の種類が変わる場所に接合点をもつためと考えられる。実際、我々が図表を作図するときに、直線部分に対しては定規を、円弧部分に対してはコンパスを用いることから、輪郭線の種類の変更点を明確に抽出する必要があることがわかる。種々の活字体や図表用の接合点抽出手法を構築するために、画像の品質を保つ際に着目すべき特徴を、毛筆体と活字体、図表との間で比較・検討する。

図1 文献(1)の手法の適用例

Fig. 1. Examples of reconstructed font using Ref. (1).

図2 接合点('x')の表示

Fig. 2. Joint points 'x'.

毛筆体の輪郭線の接合点は、図2(a)に例示されるように、ストロークが交差する角に生じる。文字の構成を明確にするために、独立する輪郭線の接合点である角の鋭さを再現する必要がある。また、毛筆体の特徴として「はらい」と呼ばれる筆使いがあり、この際に「はらい」の先端に生じる鋭角な部分を、輪郭線の接合点として鋭角に再現する必要がある。

図表の中には、図2(b)に例示されるように、直線、円弧、自由曲線が混在しており、図表の精鋭さを

表現するためには、図表の輪郭線の交点のほかに、それぞれ直線や円弧などのつなぎめを輪郭線の接合点として再現する必要がある。

活字体の場合も毛筆体と同様に、ストロークの交差点を輪郭線の接合点として再現する必要がある。また、図表と同様に、直線、円弧、曲線の接合点も輪郭線の接合点として再現する必要がある〔図2(c)〕。

輪郭線の接合点に関する考察に基づき、文献(1)の手法では、接合点はストロークの交差点とはらいの先端に必ず抽出され、それ以外の場所では毛筆の滑らかさを失ってしまうため抽出する必要がなかった。しかし、図表・活字体に対する分析結果から、新たに直線、円弧、曲線のつなぎめに接合点が必要とされる。

本章では、本手法に要求される具体的な目標の検討を行った。

3. 接合点の多段階抽出法

本章では、前章で検討した目標を満たす接合点の抽出手法が示される。〈3・1〉節では図表などの再現すべき品質の分析に基づいて、手法の設計方針が検討される。〈3・2〉節では離散的な曲率に基づく接合点の抽出手法が示され、〈3・3〉節では輪郭線の近似関数の曲率に基づく接合点の抽出手法が示される。〈3・4〉節では、〈3・2〉節および〈3・3〉節で局所的に求められた接合点のなかから、大局的に不必要な接合点を除去する手法が示される。

〈3・1〉 設計方針 本節では設計方針が示される。

文献(1)において、入力された毛筆文字のストロークの交差点および「はらい」の先端部に生じた接合点が、離散的な曲率⁽²⁾を用いて抽出された。図表や活字を対象としたとき、輪郭線の接合点の分析に基づき、ストロークの交差点のほかに、直線、円弧および自由曲線のつなぎめ部分に接合点を正確にとることが要求される。

本手法は、3段階の多段階抽出によって、図表や活字に対する接合点を正確に求める。第1段階では、ストロークの交差点を抽出するために、離散的な曲率を用いて、直角な角点および直線のつなぎめを明らかな接合点として抽出する。

第2段階では、直線、円弧および自由曲線のつなぎめを抽出する。離散的な曲率を用いると、雑音によってつなぎめが抽出されないことがある。そこで、第1段階で抽出された隣合う二つの接合点の間にある輪郭点列に対して、適応的な関数近似を行い、近似関数の曲率を用いて、直線および円弧のつなぎめを接合点として抽出する。第2段階までに求められた接合点

図3 接合点抽出の手続き

Fig. 3. Procedure of joint point extraction.

は、輪郭点列の局所的な変化に基づいて抽出されたものである。第3段階では、第2段階までに求められた接合点から、大局的に不必要と判断される接合点を除去する。

以上、接合点抽出手法の設計方針として、文字の輪郭点列から多段階抽出によって接合点を抽出する方法が定められた。その手順は、図3にまとめられる。その具体的な手続きは、次節で示される。

〈3・2〉 離散的な曲率に基づく接合点の抽出

本節では、離散的な輪郭データに基づき、明らかな接合点を抽出する手法が示される。

入力される原画像は、二値化されて256×256ドットのビットマップの形で蓄えられている。図4(a)は、活字の原画像を例示している。原画像から、8連結規則で文字の輪郭を追跡し、幾つかの輪郭点列 $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^{n_i}$ が抽出される。ただし、輪郭点数 n_i が8画素以下のときには、その輪郭点列を取込みの際の雑音と判断して除去する。

抽出された輪郭点列から、接合点を求める方法を示す。本手法は、以下の3段階からなっている。第1段階では離散的な曲率に基づいて、直角な角点および直線のつなぎめを接合点として求める。第2段階では、得られた接合点間を区分的な関数で近似し、その曲率に基づいて接合点を追加する。第3段階では、大局的に不必要な接合点を除去する。本節では、第1段階について説明する。

第1段階では、離散的な曲率を用いて、直角な角点および直線の両端点を接合点として抽出する。初めに直角部分の抽出方法を示す。輪郭点列 $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^{n_i}$ 上の1点 $P_i(x_i, y_i)$ から輪郭点列上で K_i 個離れた点

図4 接合点の抽出過程
Fig. 4. Process of joint point extraction.

$P_{i_1+K_1}(x_{i_1+K_1}, y_{i_1+K_1})$, 点 $P_{i_1-K_1}(x_{i_1-K_1}, y_{i_1-K_1})$ を設定し, 線分 $P_{i_1}P_{i_1+K_1}$ と線分 $P_{i_1}P_{i_1-K_1}$ のなす角の余弦

$$P_{i_1K_1} = a_{i_1K_1} \cdot b_{i_1K_1} / (|a_{i_1K_1}| |b_{i_1K_1}|) \quad (i_1=1, 2, \dots, n_1) \quad (1)$$

を求める。ただし,

$$a_{i_1K_1} = (x_{i_1+K_1} - x_{i_1}, y_{i_1+K_1} - y_{i_1})$$

$$b_{i_1K_1} = (x_{i_1-K_1} - x_{i_1}, y_{i_1-K_1} - y_{i_1})$$

とする。ここで, 記号「 $\cdot$ 」はベクトルの内積を表す。このとき, $P_{i_1K_1}=0$ である点が存在すれば, その点を直角の接合点とする。定数 K_1 は, 実験結果の主観的評価に基づき $K_1=3$ とした。

次に, 直線の両端点の接合点の抽出方法を示す。 $\{P_{i_1K_1}\}_{i_1=1}^{n_1}$ の値を調べて, $P_{i_1K_1}=-1$ である点が K_2 点以上連続して存在すれば, 更に両側に K_1 点ずつ延長した輪郭点列を直線区間とみなし, その始点と終点を接合点とする。しきい値 K_2 は, 実験結果から $K_2=25$ とした。

以上の手続きを, すべての $i_1 (i_1=1, 2, \dots, n_1)$ に対して行くと, 輪郭点列 $\{(x_{i_1}, y_{i_1})\}_{i_1=1}^{n_1}$ における直角な角点および直線区間の両端点, 接合点 $\{(x_{i_2}^{(g)}, y_{i_2}^{(g)})\}_{i_2=1}^{n_2}$ としてすべて求められる。 n_2 は, 第1段階で求められた接合点の総数を表している。

図4(b)は, (a)図に以上の手続きを適用して得られた, 直角の接合点および直線区間の両端点の接合点を示す。

〈3・3〉 近似関数の曲率に基づく接合点の抽出
本節では, 輪郭線を関数近似し, その近似関数の曲率を用いて接合点を追加する手法が示される。

第2段階は, 二つの過程からなっている。初めに, 任意の接合点間の輪郭点列 $\{(x_{i_3}, y_{i_3})\}_{i_3=1}^{n_3}$ を区分的多項式⁽³⁾を用いて近似する (これを過程1と呼ぶ)。 n_3 は, 注目している接合点間の輪郭点列の数を示している。次に, 近似された輪郭の曲率に基づいて, 円弧および自由曲線の両端点を接合点として追加する (これを過程2と呼ぶ)。

〔過程1〕 過程1では, 任意の接合点間の輪郭点列 $\{(x_{i_3}, y_{i_3})\}_{i_3=1}^{n_3}$ を区分的多項式によって近似する。

二次元平面上の曲線を簡便に示す方法として, 媒介変数表現法がある。ここでもそれを採用し, x 方向の近似曲線は $s_x(t)$, y 方向の近似曲線は $s_y(t)$ で表現される。媒介変数を輪郭点列の番号と対応させて, $t_{i_3}=i_3-1$ とするとき, $s_x(t)$, $s_y(t)$ は媒介変数表現された輪郭点列 $\{(t_{i_3}, x_{i_3})\}_{i_3=1}^{n_3}$, $\{(t_{i_3}, y_{i_3})\}_{i_3=1}^{n_3}$ に対して, 二次の区分的多項式を用いた最小二乗近似によって決定された近似関数である。本論文で用いている区分的多項式は, 付録1に示される。

区分的多項式の次元 n が, $n \geq 3$ のとき, $s_x(t)$, $s_y(t)$ の係数 $\{c_{xk}\}_{k=-2}^{n-3}$, $\{c_{yk}\}_{k=-2}^{n-3}$ は, 二乗誤差 Q :

$$Q = \sum_{i_3=1}^{n_3} \{s_x(t_{i_3}) - x_{i_3}\}^2 + \sum_{i_3=1}^{n_3} \{s_y(t_{i_3}) - y_{i_3}\}^2 \quad (2)$$

が最小となるように,

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=-2}^{n-3} c_{xk} \left\{ \sum_{i_3=1}^{n_3} N_{k,3}(t_{i_3}) N_{l,3}(t_{i_3}) \right\} \\ = \sum_{i_3=1}^{n_3} x_{i_3} N_{l,3}(t_{i_3}) \\ \sum_{k=-2}^{n-3} c_{yk} \left\{ \sum_{i_3=1}^{n_3} N_{k,3}(t_{i_3}) N_{l,3}(t_{i_3}) \right\} \\ = \sum_{i_3=1}^{n_3} y_{i_3} N_{l,3}(t_{i_3}) \end{aligned} \right\} \quad (l=-2, -1, \dots, n-3) \quad (3)$$

によって決定される。

最小二乗近似の収束判定のために,

$$\epsilon = \max_{0 \leq l_3 \leq n_3-1} \sqrt{\{s_x(t_{i_3}) - x_{i_3}\}^2 + \{s_y(t_{i_3}) - y_{i_3}\}^2} \quad (4)$$

を求め, $\epsilon < 0.90$ となるまで次元数 n を増加させる。ここで, 最大値誤差を用いるのは輪郭点列の凹凸を全点にわたって高精度に近似するためである。

以上, 過程1では, 任意の切断点間の輪郭点列を, 区分的多項式を用いて近似した。

〔過程2〕 以下の過程2では, 過程1によって近似された輪郭線から得られる曲率に基づいて, 接合点が追加される。

輪郭線の表現に用いられている区分的多項式から曲率を解析的に求めるための数式を以下に示す。

(性質1)

〈前提〉 $s_x(t) = \sum_{k=-2}^{n-3} c_{xk} N_{k,3}(t)$

〈条件〉 $t \in [\xi_k, \xi_{k+1}]$ において, $s_x(t)$ は

$$s_x(t) = \alpha_x t^2 + \beta_x t + \gamma_x$$

と表せる。ただし、観測区間 $[0, T]$ の節点列を均等間隔に $\xi_k = (T/n)k$ で与える。

〈結論〉 $t_0 \in (\xi_k, \xi_{k+1})$ を用いて, $\{\alpha_x, \beta_x, \gamma_x\}$ は,

$$\left. \begin{aligned} \alpha_x &= \frac{d^2 s_x(t)}{dt^2} \Big|_{t=t_0} / 2 \\ \beta_x &= \frac{d^2 s_x(t)}{dt^2} \Big|_{t=t_0} - 2\alpha_x t_0 \\ \gamma_x &= s_x(t_0) - (\alpha_x t_0 + \beta_x) t_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

で求められる。ここで $(m-1)$ 次の区分的多項式の微分は, $\xi_{m-3} \leq t \leq \xi_{m+1}$ において,

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \left\{ \sum_{k=-2}^{n-3} c_{xk} N_{k,m}(t) \right\} \\ &= (m-1) \sum_{k=-2}^{n-3} \frac{c_{xk} - c_{xk-1}}{\xi_{k+m-1} - \xi_k} N_{k,m-1}(t) \\ & \quad (m=1, 2, 3, \dots) \end{aligned}$$

で与えられる⁽⁴⁾。

この性質を用いると、各節点区間を二次の区分的多項式で媒介変数表現することができる。これより, $t \in [\xi_k, \xi_{k+1}]$ において,

$$s_x(t) = \alpha_x t^2 + \beta_x t + \gamma_x$$

$$s_y(t) = \alpha_y t^2 + \beta_y t + \gamma_y$$

と表せるとすると、曲線 $x=s_x(t)$, $y=s_y(t)$ の曲率 κ は,

$$\begin{aligned} \kappa(t) &= \frac{s'_x(t)s''_y(t) - s''_x(t)s'_y(t)}{\{s'_x(t)^2 + s'_y(t)^2\}^{3/2}} \\ &= \frac{2(\beta_x \alpha_y - \alpha_x \beta_y)}{\{(2\alpha_x t + \beta_x)^2 + (2\alpha_y t + \beta_y)^2\}^{3/2}} \end{aligned}$$

によって表現できる。

以上の手続きで得られる曲率を用いて以下のように接合点を追加する。

まず、直線の両端の接合点を追加する。接合点抽出の第1段階では、離散的な曲率を用いて、明らかに直線である区間の両端に接合点を抽出した。このとき、直線に画像雑音があつたときには、直線区間とはみなされなかった。本手法は、輪郭線の曲率の分析に基づいて、輪郭近似の精度を緩めることによって、画像雑音を除去しながら接合点を抽出する。上記で求められた曲率 $|\kappa(t_i)|$ を $i_3=1, 2, 3, \dots$ について順次評価する。 $|\kappa(t_i)| < K_3$, かつ媒介変数上での区間で

K_4 以上連続しているときに、各区間の曲線は直線と判定される。直線と判定された区間を $[t_{s1}, t_{e1}]$ とすると、それぞれの少数点第1位を四捨五入したものを $[t_{s1}^*, t_{e1}^*]$ として、始点 $(x_{i_3}+1, y_{i_3}+1)$ および終点 $(x_{i_3}+1, y_{i_3}+1)$ が接合点として追加される。直線の変動を許容するしきい値 K_3 と直線の長さのしきい値 K_4 は、それぞれ $K_3=1/200$, $K_4=30$ とした。

次に、円弧の両端の接合点を抽出する。第1段階で求められた接合点間の曲率 $|\kappa(t_{i_3})|$ を $i_3=1, 2, 3, \dots$ について順次評価する。曲率の平均値 $\bar{\kappa}$ は、着目している区間において、既に評価された曲率の平均値として順次更新される。評価された区間の曲率のすべてが $\bar{\kappa} \pm K_5$ 以内にあるときは、円弧と判断して評価を続ける。 $\bar{\kappa} \pm K_5$ の範囲を超えた曲率が存在したとき、評価してきた区間 $[t_{s2}, t_{e2}]$ における輪郭線は円弧の候補として認識される。 $\bar{\kappa}$ の値から、円弧の母体となる円を算出し、円弧の中心角が K_6 以上であるとき、その輪郭線は円弧であると判定される。区間の両端の座標の少数点第1位を四捨五入したものをそれぞれ $[t_{s2}^*, t_{e2}^*]$ として、始点 $(x_{i_3}+1, y_{i_3}+1)$, および終点 $(x_{i_3}+1, y_{i_3}+1)$ が接合点として追加される。

変動の許容幅 K_5 は、実験結果より $K_5=3/400$ とし、円弧を決定するためのしきい値は、直線や自由曲線まで円弧とみなさないことを考慮した実験結果から $K_6=\pi/2$ とした。

以上の手続きを、すべての i_3 ($i_3=1, 2, \dots, n_3$) に対して行くと、輪郭点列 $\{(x_{i_3}, y_{i_3})\}_{i_3=1}^{n_3}$ における直線および円弧のつながりが接合点として求められる。この手続きを、第1段階の抽出で求められたすべての接合点間に対して行い、接合点 $\{(x_{i_2}^{(B)}, y_{i_2}^{(B)})\}_{i_2=n_2+1}^{n_4}$ として追加される。 n_4 は第2段階までで求められた接合点の総数を表している。

以上の手続きを、図4(a)の活字体に適用した結果が(c)図に示される。

〈3・4〉 不必要な接合点の除去 本節では、〈3・2〉節および〈3・3〉節で抽出された接合点列から、大局的に不必要と判断される接合点を除去する手法が示される。

第1段階および第2段階で求められた接合点は、輪郭点列の局所的な変化に基づいて抽出されたものである。従って、画像雑音などの影響によって生じた不要な接合点が存在する可能性がある。そこで、第3段階では、第2段階までに求められた接合点のなかから、大局的に不必要な接合点を除去する。接合点の除去は接合点の両側がともに直線区間である場合とともに円弧である場合に行われる。

図 5 不必要な接合点の除去（直線区間が連続する場合）
Fig.5. Reduction of unnecessary joint points between adjacent straight lines.

初めに、接合点の両側がともに直線である場合を処理する。その準備として、第 2 段階までに求められた接合点 $\{(x_{i_2}^{(B)}, y_{i_2}^{(B)})\}_{i_2=1}^{n_s}$ の順序を、原画像の輪郭点列 $\{(x_n, y_n)\}_{n=1}^{n_e}$ の順序に並べ換えておく。図 5 (a) に示されるように、前段階までに抽出された接合点のなかには、その両側がともに直線区間である場合がある。このとき、その接合点を除去してもデータの品質が十分保たれるときには、その接合点を大局的に不必要な接合点として除去することとする。除去の方法は、以下の手順で行う。

$(x_{i_2}^{(B)}, y_{i_2}^{(B)})$ を $i_2=1, 2, \dots$ と順次評価する。直線区間が複数連続しているとき、それらの間の接合点列を $\{(x_{i_4}^{(B)}, y_{i_4}^{(B)})\}_{i_4=n_s}^{n_e}$ で表す。まず、 $(x_{n_s}^{(B)}, y_{n_s}^{(B)})$ と $(x_{n_s+2}^{(B)}, y_{n_s+2}^{(B)})$ を直線で結び、その間の接合点 $(x_{n_s+1}^{(B)}, y_{n_s+1}^{(B)})$ からその直線に下ろした垂線の距離 L_{n_s+1} が K_7 未満のとき、接合点 $(x_{n_s+1}^{(B)}, y_{n_s+1}^{(B)})$ は、大局的に不必要な接合点として除去される〔図 5 (b)〕。

上記の手続きを、 $(x_{n_s}^{(B)}, y_{n_s}^{(B)})$ と $(x_{i_4}^{(B)}, y_{i_4}^{(B)})$ ($i_4=n_s+2, n_s+3, \dots, n_e+1$) との間に対して繰り返し行い、不必要な接合点 $(x_{i_4-1}^{(B)}, y_{i_4-1}^{(B)})$ を順次除去していく。いま、 i_4 番目の接合点に注目しているとする、除去の判定は、 $\{(x_{i_4}^{(B)}, y_{i_4}^{(B)})\}_{i_4=n_s+1}^{i_4-1}$ から直線に下ろした垂線の距離 $\{L_{i_4}\}$ の最大値 $L_{\max}$ を用いて行われる。 $L_{\max} \geq K_7$ のとき、接合点は除去されず、その区間の評価を終了する。 K_7 は、実験結果より $K_7=2$ とした。

次に、接合点の両側がともに円弧である場合について処理を行う。図 6 (a) に示されるように、複数個の円弧区間が連続していることがある。このとき、間に存在する接合点を除去してもデータの品質が保たれるときには、その接合点を除去することとする。除去の方法は、以下の手順で行う。

図 6 不必要な接合点の除去（円弧区間が連続する場合）
Fig.6. Reduction of unnecessary joint points between adjacent arcs.

$(x_{i_2}^{(B)}, y_{i_2}^{(B)})$ を $i_2=1, 2, \dots$ と順次評価する。円弧区間が複数連続した区間が存在したとき、その間の接合点列を $\{(x_{i_4}^{(B)}, y_{i_4}^{(B)})\}_{i_4=n_s}^{n_e}$ で表す。まず、 $(x_{n_s}^{(B)}, y_{n_s}^{(B)})$ から開始する円弧と、 $(x_{n_s+1}^{(B)}, y_{n_s+1}^{(B)})$ から開始する円弧に着目する。両円弧の半径をそれぞれ r_{n_s}, r_{n_s+1} 、中心座標をそれぞれ $(\hat{x}_{n_s}, \hat{y}_{n_s}), (\hat{x}_{n_s+1}, \hat{y}_{n_s+1})$ とすると、

$$|r_{n_s+1} - r_{n_s}| < K_8$$

かつ

$$\sqrt{(\hat{x}_{n_s+1} - \hat{x}_{n_s})^2 + (\hat{y}_{n_s+1} - \hat{y}_{n_s})^2} < K_9$$

のとき、両円弧は単一の円弧とみなされ、 $(x_{n_s+1}^{(B)}, y_{n_s+1}^{(B)})$ は、大局的に不必要な接合点として除去される〔図 6 (b)〕。

上記の手続きを、 $(x_{n_s}^{(B)}, y_{n_s}^{(B)})$ と $(x_{i_4}^{(B)}, y_{i_4}^{(B)})$ ($i_4=n_s+2, n_s+3, \dots, n_e+1$) との間に対して繰り返し行い、不必要な接合点 $(x_{i_4-1}^{(B)}, y_{i_4-1}^{(B)})$ を順次除去していく。しきい値 K_8 および K_9 は、実験結果から $K_8=1, K_9=2$ とした。

以上の評価を、すべての接合点に対して行うことにより、大局的に不必要な接合点が除去される。ここまでの手続きによって、すべての接合点が抽出された。

本章では、第 2 章で設計した仕様に基づいて、接合点の抽出手法が設計された。

4. 評価実験

本章では、前章で示した手法を用いて、実際にフォントから接合点を抽出し、各接合点間を近似した結果を検討することによって、第 2 章で設定した目標が達せられていることを示す。近似関数として、円弧と判断された区間は円弧で、その他の区間には文献(1)で

図 7 再生画像
Fig. 7. Reconstructed images.

用いられている区分的多項式を用いた。

評価のために用いたシステム構成の概要を述べる。フォントは、イメージスキャナを用いて、 256×256 ドットの精度で入力される。入力されたフォントから、接合点が多段階抽出され、各接合点間が文献(1)の手法によって曲線近似される。得られた曲線の係数からフォントが再生されて出力される。

実験データは、図表としてスキャナの精度で取り定める 10 種類のシンボルマークが用いられ、毛筆書体および活字体の代表例である明朝体としては、文献(1)で検証した 1 画から 29 画までの 58 文字が用いられた。

本章では、図 1 および図 4 に例示されたフォントに対する実験結果に関して詳細に触れる。

フォントの再生画像を図 7 に示す。図形および活字体に対する提案手法による再生結果は、図 1 で示した文献(1)の手法によるものに比べて、原画像の品質が保たれていることがわかる。特に、(b)図に示される図形の場合は円と直線の接合部および多角形の角部分に、(c)図に示される活字体の場合は各ストロークの始点・終点部分に、違いが顕著に現れている。これは、文献(1)の手法では抽出されなかった輪郭線の種類の変更部分が、接合点として正確に得られていることに起因していると考えられ、結果が第 2 章で設定した仕様を満たしていることを示している。

また、(a)図に示される毛筆体に対して本手法を適用した場合、文献(1)の手法に比べて接合点数が多少増えるため、毛筆体特有の滑らかさが失われる部分が生じることもあるが、文献(1)とほぼ同等の品質を保っていることがわかる。

本章では、実験結果を例示し、第 2 章で規定した目標を達していることを示した。

5. む す び

本論文では、先行論文で示した毛筆体の自動関数化手法を図表や活字体に適用した場合、原画像の品質が維持されないことがあることを述べ、その原因の一つが接合点の抽出方法にあることを述べた。問題を解決するために、接合点を多段階的に抽出する手法を新たに提案し、活字体や図表に対して実験を行うことによって検証を行った。実験の結果、輪郭線の種類の変更部分において、本手法の有効性が顕著に現れていることを確認した。更に、本手法を毛筆に対して適用し、文献(1)の手法を適用した場合と遜色ないことを示した。

今後の課題は、図表の特徴を生かせるマルチフォントの関数化のための一連のシステムを構築することである。

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金によるものである。

(平成 4 年 10 月 14 日受付, 同 5 年 6 月 7 日再受付)

文 献

- (1) 寅市和男・関田 巖・森 亮一:「高品質文字フォントの自動圧縮」, 信字論(D), J70-D, 1164 (昭 62-6)
- (2) L. Davis: "Shape matching using relaxation techniques", *IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell.*, PAMI-1, 60 (1979)
- (3) 桜井 明: スプライン関数入門 (昭 56) 電機大出版局
- (4) C. de Boor: "On calculating with B-splines", *J. Approximation Theory*, 6, 50 (1972)
- (5) 寅市和男:「文字データ入力出力装置と入力出力方法」など (国内特許 4 件, 国外特許 7 件出願中)

付 録

1. 均等節点の二次の区分的多項式

近似関数 $s(t)$ は、各隣り合う境界点間において、一次または二次のスプライン関数⁽³⁾で表され、かつ境界点間において連続な関数である。各境界点間を $[0, T]$ とおけば、そこでの $s(t)$ は n 次元の関数系

$$N_{k,3}(t) = 3(T/n)^{-2} \sum_{p=0}^3 \frac{(-1)^p (t - \xi_{k+p})_+^2}{p!(3-p)!} \quad (k = -2, -1, 0, 1, 2, \dots, n-3)$$

の線形結合

$$s(t) = \sum_{k=-2}^{n-3} c_k N_{k,3}(t)$$

で表される。ここで、

$$(t-a)_+^2 = \begin{cases} (t-a)^2 & t > a \\ 0 & t \leq a \end{cases}$$

である。

堀内 隆彦 (非会員)

平成2年度筑波大学第3学群・情報学類卒業。現在、同大学大学院博士課程工学研究科在学中。非線形最適化理論の解析と認識・思考の数学的モデル化の研究に従事。日本学術振興会特別研究員。電子情報通信学会会員。

寅市和男 (正員)

昭和41年東京電機大学工学部電子工学科卒業。46年北海道大学大学院博士課程修了。同年電子技術総合研究所飯島特別研究室入所。55年筑波大学電子・情報工学系助教授を経て、現在、同教授。智慧システムとその生体工学への応用の研究に従事。平成元年度高柳記念研究助成。工学博士。IEEE, 電子情報通信学会会員。

大瀧保広 (非会員)

平成元年度筑波大学第3学群・情報学類卒業。現在、同大学大学院博士課程工学研究科在学中。関数近似に基づくマルチメディアの情報圧縮の研究に従事。情報処理学会会員。