

絵画DBとイメージ検索

—— 浮世絵の線画表現とデータ圧縮効果 ——

Image Searching on Picture DB

—— Line Drawing and Data Compression of Ukiyoe Prints ——

濱 裕光、志賀 直人

Hiromitsu HAMA, Naoto SIGA

大阪市立大学 工学部 情報工学科、大阪市

Information and Communication Engineering,

Faculty of Engineering, Osaka City University, Osaka, 558

キーワード： 絵画データベース、浮世絵、線画、Bézier曲線、データ圧縮

Keywords: picture database, ukiyoe print, line drawing, Bézier curve, data compression.

あらまし： マルチメディアDB (データベース) におけるイメージ検索のために、従来の文字キーワードに替わるイメージ・キーワード作成アルゴリズムの開発を行う。イメージには、絵、音、味、暖かさ、痛み、雰囲気、気分など人間の五感に対応して多種類のイメージがあるが、ここでは主に絵画DBを検索するためのイメージを中心に扱う。画像圧縮ではJPEGなど多くの手法が提案され標準化されてきているが、いずれも原画を忠実に再生することを目的にしており、本研究の用途にはそのままでは適用できない。人間の視覚に直接うったえる絵画DB検索用キーワードとしての画像イメージの作成方法やイメージ相互を関係づけ、リンクを張る方法の開発を行い、人間にとって優しいUIかも示唆に富んだDBシステムの構築を目指す。本稿では、題材として浮世絵を用いて非常に少ないデータによるイメージ表現を試みる。また、その加工と部品化の可能性についても検討し、現在までに得られた結果をまとめる。

Summary: Algorithms for image searching on picture DB (data base), using image keywords instead of conventional text keywords, are developed here. There are many kinds of images corresponding to human five senses, for example, picture, sound, voice, taste, warmth, pain, atmosphere, feeling and so on. Many methods for image compression such as JPEG, MPEG and so on, have been developed and standardized, but they are aiming at the goal to reproduce the original faithfully and don't serve our purpose. In this paper, image expressions of ukiyoe prints using a few data are described. Furthermore, the good possibility and results obtained by now, for processing such as deformation and for making module using parts, are reported.

1. まえがき

絵画DB検索では多くの絵を同時に高速に検索できること、いわゆるパラパラめくりができることが必須である。このためには原画を単に縮小して表示するだけでは駄目であり、必要なデータ量と表現できるイメージ(量)

の比を考えると効率が悪く絵の品質もよくない。ここでは単に縮小でなく、原画のイメージを効率よく高速に提示できる手法を開発する。一方、画像圧縮ではJPEGなど多くの手法が提案されているが、いずれも原画を忠実に再生することを目的にしており、本研究の用途にはそのままでは適用できない。

キーワードとしての役割を果たすには、S/Nの意味では正確でなくても、目的に到達するための羅針盤の様な役割、すなわち「作者：XX、作品名：○○○○」に導いていくための道案内ができることが重要である。ここで、一つ大切なことは、ユーザが道案内をして貰う途中で目的の絵以外にいろんな他の絵のイメージがあることに気付き、知識を広めながら本当に自分が欲しい情報を獲得できる点である。そこでは、最終的には「自分が最初に考えていた絵とは違う絵が本当の要求に合った」というような発見だって十分にあり得るし、このようなことができることが知的DB検索システムに必須の機能であるともいえる。このようなことは従来型の文字キーワード検索ではけっして期待し得ないことである。

人間の感性を重視することは最近よく言われる“柔らか頭”のコンピュータを設計することであり、そこではヒューマン・インタフェース、さらには一歩進んで、ヒューマン・コミュニケーションが重要なテーマの一つとなる。人間の感性とDBを結びつける研究はまだ緒についたばかりで、現在多方面で模索中である。人間の記憶は完全ではないが、何らかの手がかりを残しており、それをいかに引き出し補完していくかが重要な課題となる。

「あれ！、あの絵！」と、頭の中では分かっているのだが、作者や作品名が浮かばないときがよくある。このようなときに、いくつかの原画を順番にそっくり提示していく方法だと、時間がかかるし、多くのメモリが必要となる。例えば、浮世絵のように線画要素の強い絵に関して言えば、自由曲線を用いたイメージ表現が有効であり、高速化と省メモリに役立つ。しかし、水彩画のように色合いやふわっとしたぼけやにじみの要素が大切な絵

には他の感性表現、例えば色、形、テキスト、筆使いなどを用いることが必要となる。また、イメージ・キーワードの上位概念である感性キーワードなども検討する必要がある。すでに、色による感性の受取方の違いなど、色彩と形状による感情効果については心理実験によりいくつかの知見を得ている^{[1]-[4]}。また、自由曲線のドット展開法についても高速かつ簡単な方法を提案している^[5]。

自由曲線による最良近似、すなわち最適制御点の自動抽出が本年度の研究のメインテーマとなる。処理手順としては、まず原画から雑音除去、エッジ抽出、細線化などの前処理を経て、線画化を行い、そこで得られた線要素を部分曲線に分割し自由曲線による近似を行う。開発されたアルゴリズムは、実際の絵画を用いた計算機実験により検証される^[6]。

基本的な考えとして、適当に設定された初期値から始まって、制御点の位置を摂動させながら、2曲線間の近似度評価関数に従って、山登り法により最適解に近づけていく。一般には始点と終点は曲線上にとるのが普通であるが、曲線の接続や表現されるイメージなどを考えた場合、必ずしもそうするのが最適であるとは言えない。ここに、従来の工学的アプローチではあまり考慮されてこなかった人間の感性に対する配慮が必要になる。

自由曲線には多くの表現方法があるがその選択も重要である。結果としては、得られた制御点だけを記憶すればよいことになる。このことは曲線をそのままビットマップ・データとして記憶するのに比べてはるかに少ないデータ量となる。しかも、その利点は、グローバルなアフィン変換（平行移動、拡大縮小、回転など）やローカルな歪など各種変形に耐え得ることであり、すなわち大きな画面でも小さな画面でも、多少変形していてもそれに応じて品質の良い線画イメージを提供（作成）できる点である。単なる縮小では拡大したときに粗さが目立つが、本方式に従えばアウトラインフォントのように融通のきくイメージ・キーワードが作成できる。

最適近似曲線が求まった後では、積極的に制御点の特徴を生かして次のようなことも考

えられる。一つは、絵の共通的な部分の部品化であり、もう一つは、変形によるデフォルメや誇張表現である。また、線画だけでなく、原画上でマッピングにより対応付けを行ない、制御点を動かすことによって生じる自由曲線を用いて、スムーズな原画の変形を行なうことができる。

2. 自由曲線とその表現方法

関数の近似をはじめ、補間、データ平滑化、曲線・曲面の設計、その他の多くの分野において広い意味でのスプライン関数の柔軟性と局所性が注目されている。その局所的な性質によって、スプライン関数は、多項式で近似するのが困難であるような複雑な形状を表現できる。そのためCGやCAD、あるいは高品質文字出力のためのアウトラインフォントなど、多方面で使われるようになってきた^{[7]-[12]}。

自由曲線を生成する場合、2つの方法がある。まず、与えられた点列を全て通過する滑らかな曲線を張る方法があり、その代表的なものにスプライン曲線がある^[8]。もう一つの方法は、与えられた点列を制御点として用いるだけで、全ての点を必ずしも通らない曲線を構成する方法があり、その代表的なものにBスプラインやBézier曲線がある^{[8], [9]}。Bézier曲線は制御点を1箇所変更すると、曲線全体に影響が及ぶ。この困難を避けるため、局所的な台を持つ基底を用いてスプライン関数を表現したものがBスプラインである。そのため、制御点の変更はその点の近くのみ局所的な影響に留まる。

このように自由曲線にはスプライン曲線、Bézier曲線、有理Bézier曲線、Bスプライン曲線、円錐曲線など色々な表現方法があり、それぞれに一長一短があるが、いずれも有理Bézier曲線に変換できる。本論文では制御性に優れた有理Bézier曲線を対象にし、輪郭線の近似に用いる。ほとんどの自由曲線を使ったシステムにおいて、その表現式が求まった後に、ドットに展開する必要がある。一般にドットの数は非常に多く、

実用化のためには高速化は不可欠である。文献[5]では、離散的な空間上でBézier曲線を代表とする自由曲線の高速生成法とその応用を提案している。

自由曲線を表現するのに3次あるいは4次曲線が用いられることが多い。それは2次曲線では表現力にやや乏しく、また5次以上の曲線になると、一般に解析解を求めるのが困難になり計算も複雑になるからである。

Bézier曲線は、 $n+1$ 個の制御点 P_0, P_1, \dots, P_n をもとにしてパラメータ t の n 次多項式によって定まる曲線 $P(t)$ ($0 \leq t \leq 1$)のことをいう。Bézier曲線の表現には、穂坂表現^[13]、パラメータ表現、陰関数表現など色々あるが、中でも一番よく使われるのは次式のパラメータ表現である。

$$P(t) = \sum_{i=0}^n {}_n C_i (1-t)^{n-i} t^i \cdot P_i \quad (1)$$

式(1)は、有利Bézier曲線の分母が1の場合である。アウトラインフォントの表現などによく使われるのは、通常 $n=3$ の場合、すなわち4個の制御点 P_0, P_1, P_2, P_3 を使った3次Bézier曲線である。はじめに平面曲線を考える。曲線の座標値 $P(t)$ は、

$$P(t) = (1-t)^3 \cdot P_0 + 3t(1-t)^2 \cdot P_1 + 3t^2(1-t) \cdot P_2 + t^3 \cdot P_3 \quad (2)$$

で求まる。平面上の曲線だけでなく、同じ式で空間中の曲線も表すことができる。ここでは、Bézier曲線によるイメージ表現を試みるが、主には、輪郭線の近似に用いる。

3. Bézier曲線による輪郭線の近似

図1に、原画の浮世絵から制御点を求め、線画によるイメージ表現を行う過程を示す。まず、前処理として、イメージスキャナーあるいはCD-ROMから読みとったデジタルデータを、ソーベルのオペレータなどによる微分処理を行った後、あるしきい値で2値化する。次に、摂動させながら、学習により最適自由曲線に近づ



図1 浮世絵原画から制御点の求め方

けていくのであるが、ここでは、輪郭線をBézier曲線で近似するのに2通りの方法を試みる。

【1】近似曲線（制御点）を高速に得る方法

まず、前処理で得られた点列から、2乗誤差最小の直線を計算する（図2(a)）。次に、両端点を始点 P_0 、終点 P_n とし、その間を $n-1$ 等分した点を P_1, \dots, P_{n-1} とする。このとき、以後の学習を簡単にするため、回転と平行移動により直線とx軸を重ねる（図2(b)）。ここで得られた初期値から出発して、摂動による学習を開始する。制御点間の中央のx座標により、点列を分割し、各制御点の分担範囲を決める（図2(c)）。移動量は、始めのうちは大きく、学習が進むにつれて小さくとると効率がよい。全制御点の摂動が終わったら、曲線全体でもう一度y軸方向の距離を計算し、その値が許容しきい値以下あるは最小になれば学習を終了する（図2(d)）。そうでなければ、学習を続ける。

以上の手法の有効性を確かめるため、次に実際の浮世絵を用いた実行例を示す。学習に際して、移動量を次のように決める。y軸方向距離が初期Bézier曲線（直線）の長さの10%以上のときは、その距離だけ移動し、10%以下のときはドット単位で移動する。移動量を変えることにより学習の効率化を図っている（図3）。終了しきい値は、初期Bézier曲線（直線）の長さの1%にしている。経験的にこれくらいの値をとっておくと肉眼で見たときに区別がつかなくなったので、採用した。原画として写楽の役者絵を用い、以上の手法を適用した結果を図4に示す。図(a)は2値化後の画像であり、図(b)は図(a)の顔の輪郭線の一部に上記の手法を適用して近似を行った結果である。白丸は接続点、黒丸は制御点の位置を示している。図(c)、図(d)は今後の部品化、変形を考える上で、制御点を意識的に変えることによるデフォルメの効果を確かめたものである。鼻のとがった人、顎の出っ張った人の表情が得られているのがわかる。部品化には、局所的な変形と同時に部品全体にわた

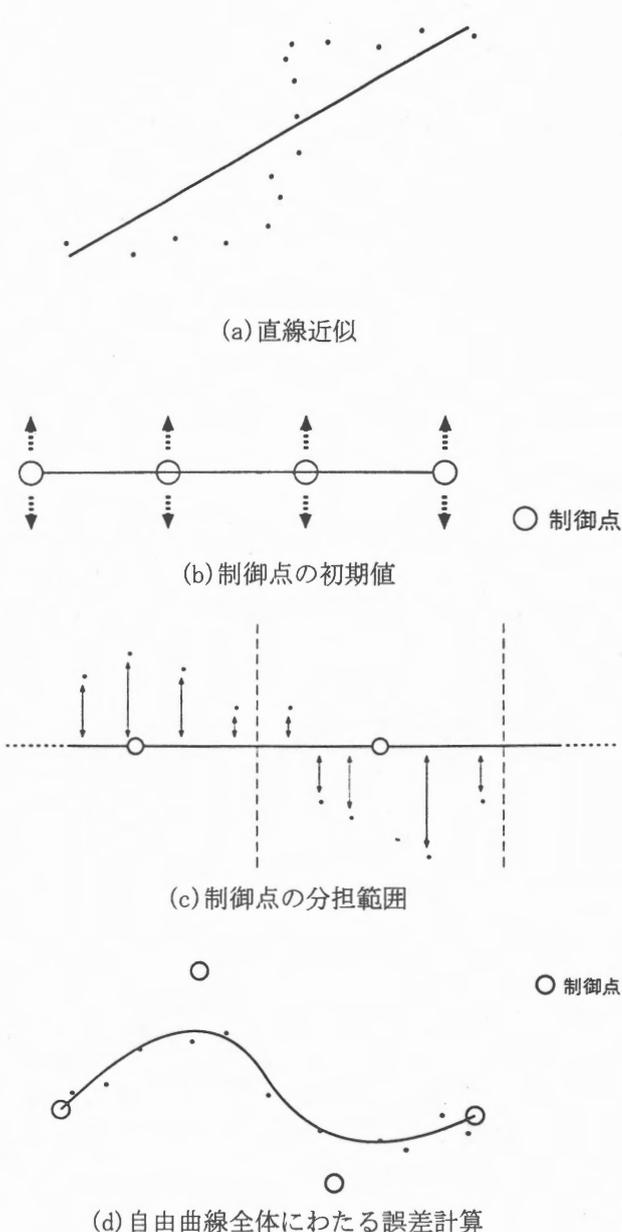
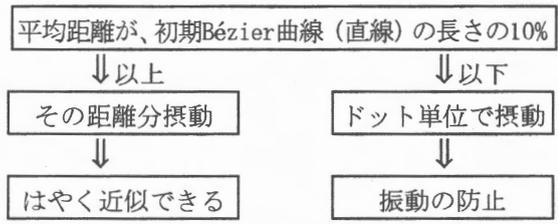


図2 Bézier曲線による近似手法1



・終了しきい値は、初期Bézier曲線（直線）の長さの1%にする

図3 学習時の移動量と終了しきい値

る大局的な変形（アフィン変換などによる）が必要である。ここでは、4次のBézier曲線、すなわち5個の制御点を用いて一つの曲線セグメントを表現している。そのため20点、接続点の重なりを考慮すると正確には17点で顔の輪郭が表現できたことになる。しかも、自由に変形可能であり、本手法の有効性が確認できた。しかし、感性のイメージ表現という初期の目的のためにはまだまだ多くの問題が残されている。

【2】接続点における滑らかなつながりを考慮に入れた近似方法

上記の方法は、簡単かつ高速に近似曲線を求める手法であるが、接続点における滑らかなつながりが考慮されていないので、画像によっては不自然なぎざぎざが発生する可能性がある。そこで、Bézier曲線の特性を利用し、曲線セグメント間の滑らかな接続のできる近似手法を考える。数学的には滑らかさとは、高次の微分までを含めて連続であることを意味するが、ここでは、「1次微分（曲線の傾き）が接続点で連続」であるとき、「2つの曲線セグメントが滑らかに接続している」ということにする。

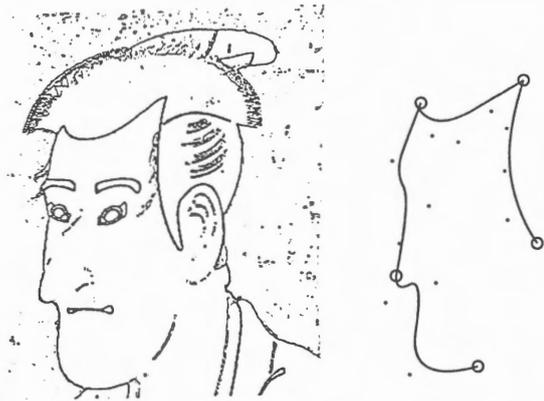
まず、曲線の傾きを計算しながら輪郭線を進んでいき、曲率（2次微分）の変化点を曲線セグメントの区切りとする。得られた曲線セグメントに対して、前述と同様両端点がx軸上にくるように正規化する。その曲線セグメントに含まれる点列の中でy座標の最大を y_H とする。ここでは、簡単のため3次Bézier曲線を考え、仮に、パラメータ $t=1/2$ のときが、Bézier曲線の値が最大値をとると仮定し、

$$y(t=1/2) = y_H \tag{3}$$

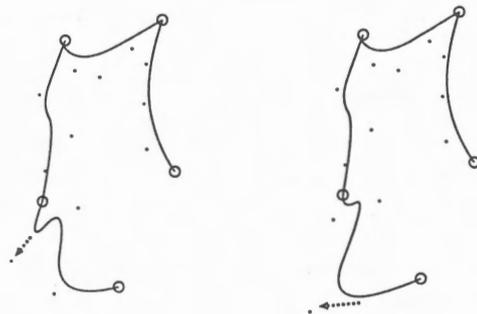
となるように、制御点の初期値を選ぶ。式(2)より、

$$P(1/2) = 1/8(P_0 + 3 \cdot P_1 + 3 \cdot P_2 + P_3) \tag{4}$$

が得られる。(3)と(4)より、 P_1 と P_2 のy座標は $4/3 \cdot y_H$ となる。 P_0 と P_3 は曲線セグメントの両端点にとるので、そのy座標は0となる。 P_0 と P_3 はこの時点で確定する。両端点における1次接続を保証するため、制御点 P_1 と P_2 は、両端点における接線を動かすことにする。両端点における接線と $y = y_H$ との交点を P_1 と P_2 の初期値



(a)原画(2値化後) (b)Bézier曲線による近似



(c)デフォルメ1 (d)デフォルメ2

図4 浮世絵を用いた本手法の適用例
○はBézier曲線の接続点を表す。

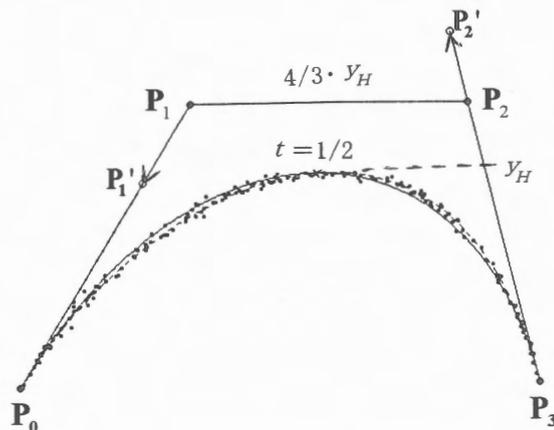


図5 滑らかな接続と制御点の学習

とする。初期値から出発して、 P_1 と P_2 は両端点における接線上を動きながら、点列との距離が最小になるように学習は進んでいく。図5において、実線は制御点の初期値 P_0, P_1, P_2, P_3 に対するBézier曲線であり、破線は摂動後の制御点 P_0, P_1', P_2', P_3 に対するBézier曲線である。また、黒点は、2値化画像の模擬点である。この図より、接続点における、滑らかさを保ちながら点列への曲線近似が行われている様子がわかる。

4. まとめ

絵画のイメージ表現に向けて第1歩として、浮世絵を用いた線画イメージの表現方法について述べてきた。自由曲線としてBézier曲線を用いた近似手法を提案し、かなりの自由度を持って浮世絵のイメージ表現ができる可能性を示した。しかし、曲率の大きい場合、各制御点の曲線全体への影響、滑らかな接続、交差・コーナーへの対応、部品化と部品加工の方法など多くの問題が残されており、これらの解決は今後の課題である。手法2では、その一部が解決されているが、実際の応用にはまだまだ不十分である。さらに、具体的なDB作りに向けて検討を続ける必要がある。

発展的形態として、絵画のイメージ表現を線画だけでなく、自由曲線部分、フラクタル部分、テクスチャ部分、プリミティブ部分（基本形状）に大別し、対象となる絵画に適したイメージ表現方法がある。そこでは構成要素抽出が大きな問題となる。例えば、「北斎の神奈川沖浪裏富士」で波頭の部分を自由曲線でいちいち近似していたら非常に効率の悪いものになる。そのためその基本構成要素を見つけてフラクタル表現し、少ないデータ量で波のイメージを表現する事を試みる。また、原画では基調カラーである水色が印象的でありキーカラーとして重要である。ここでもやはり正確さよりもイメージの表現が大切で、多少細かい所の省略や間違いがあってもよい。自由曲線以外にも、テクスチャやプリミティブによる表現を考え、色彩や形状と人の感じ方を関係づけるため心理実験を行い、色や形と「暖かい、きらびやかな、・・・」などの形容詞による修飾表現との関係、言い

替えれば、イメージとテキストの関係とその表現法を検討していきたい。

以上述べてきたように、自由曲線を用いた浮世絵イメージの線画表現のための理論的道具作りという意味では初期の目的はある程度達成できたが、まだ実用に向けて多くの問題が残されており今後の検討課題としたい。

【参考文献】

- [1]佐藤、皆川：“形状と色彩の感情効果に関する研究（第1報）—日本とヨーロッパの統文様を例にして—”、日本色彩学会誌、**18**巻、2号、pp. 137-146、1994
- [2]佐藤、皆川：“立体形状物体の表面色への光の演出効果に関する研究（第1報）—ドレープ布への心理効果について—”、繊維製品消費科学会誌、**17**巻、9号、pp. 27-36、1993
- [3]佐藤、安宅、皆川：“形状と色彩の感情効果に関する研究（第3報）—単色としての感情効果と幾何学的模様への配色の影響—”、日本色彩学会誌、**17**巻、1号、pp. 37-38、1993
- [4]佐藤、皆川：“色彩・形状シミュレーションシステムによる模様と色彩の感情効果に関する研究（第1報）—日本とヨーロッパの伝統文様の2、3を例にして—”、日本色彩学会誌、**16**巻、1号、pp. 79-80、1992
- [5]濱、奥本：“Bézier曲線の高速生成法とアンチエイリアシング”、テレビジョン学会誌、**47**巻、12号、pp. 1629-1636、1993
- [6]志賀、柳原、濱：“絵画データベースにおけるキーワード作成のためのBézier曲線による輪郭線の近似”、電気関係学会関西支部連合大会、G12-32、p. G322、1995
- [7]大野：“DPTのためのアウトライン・フォント”、PIXEL、No. 100、pp. 132-135、1991
- [8]市田、吉本：“スプライン関数とその応用”、教育出版、1986
- [9]長島：“CGのための図学(1)~(10)”、PIXEL、No. 67~No. 78、1988-1989
- [10]齊藤、穂坂：“拡張2次有理Bézier曲線による高品位文字フォントの生成とその特徴”、情報処理学会論文誌、**Vol.31**、No. 4、pp. 562-570、1990
- [11]寅市、関田、森：“高品位文字フォントの自動圧縮”、信学論、**Vol. J70-D**、No. 6、pp. 1164-1172、1987
- [12]西田、中前：“Bézier曲線で囲まれた領域の走査変換法—アウトラインフォントへの応用—”、情報処理学会グラフィックスとCAD研究会、**45**、1990
- [13]穂坂、木村：“3次元自由形状設計制御理論とその手法”、情報処理、**Vol.21**、No. 5、pp. 481-492、1980
- [14]岸田、岑、濱：“Basic Studies on Visual Information Processing Modelization by Binocular Stereopsis Vision”、3D Image Conference '94、pp. 99-104、1994
- [15]江、濱：“A quick method for extracting corners”、電気関係学会関西支部連合大会、G12-31、p. G321、1995