

# 図面化のための視覚言語を用いたラフスケッチの清書化

Thinning method of Rough Sketch using Visual Language for applying to a plan

河野正之<sup>\*1</sup>  
Masayuki Kono

原田利宣<sup>\*2</sup>  
Toshinobu Harada

<sup>\*1</sup> 和歌山大学大学院  
Graduate School of Wakayama University

<sup>\*2</sup> 和歌山大学  
Wakayama University

Till now, when designers create curves used for shape design, they input a set of points that compose curves in these sketches to a computer first. Next, the set of points is approximated using a spline curve in CAD. They correct the radius of curvature of the spline curve. However, there are few systems supporting the operations efficiently.

The aim of our study was development of a new system that made aesthetic curves from the plans sketched by designers. First, we recognized the overlapped lines of a sketch as a figure and extracted "Tone Median Line(TML)" from the figure. Second, we divided TML into curves of monotone curvature and analyzed them. On the basis of these results, we identified visual languages(VLs). Lastly, we replaced TMLs by VLs on former positions, and obtained aesthetic curves. As a result, we could generate aesthetic curves efficiently.

## 1. はじめに

自動車や家電製品などの工業製品の外形形状設計図に使用する曲線を創成する際、まずデザイナーが描いたスケッチからデジタイザを用いてスケッチの主要な曲線を構成する点列データを抽出する。次に、得られたデータをもとに3次元CADシステム上でNURBSなどのスプライン曲線に近似する。最後にその曲線に対しフェアリング[注1]を行い、図面に利用可能な美しい曲線を創成する。ここで、問題点としてフェアリングの時間効率が挙げられる。フェアリングを行うには膨大な時間が必要とされているが、現状ではフェアリングの効率化を図るシステムはほとんど提案されていない。

そこで、本研究では、デザイナーが描いたラフスケッチからオペレータによりフェアリングされた曲線と同程度の美しい曲線を効率的に創成するシステムの開発を目的とした。具体的には、まずデザイナーが描いたラフスケッチをコンピュータ上に取り込み、各画素の色を256階調のグレースケールデータに変換したのち(以降、これを原画像と呼ぶ)、デザイナーが描いた重なった曲線をひとつの図として認識させる。次に、認識させた図の中心線を抽出し、その各構成点における法線を算出したのち、それに基づいて線幅間における濃淡データの中央点である濃淡中央点を求める。さらに、濃淡中央点の点列データを多項式で近似し濃淡中央線を得る。最後に、得られた濃淡中央線を曲率単調曲線に分割し曲率対数分布図を用いて性質を分析したのち[注2~3]、最適な視覚言語に置き直す。

## 2. 濃淡中央線の抽出

通常のデザイン工程では、まずデザイナーは外形形状  
連絡先：河野正之、和歌山大学大学院 システム工学研究科、  
〒640-8510 和歌山市栄谷930, Tel.Fax: 073-457-8483,  
s075020@sys.wakayama-u.ac.jp

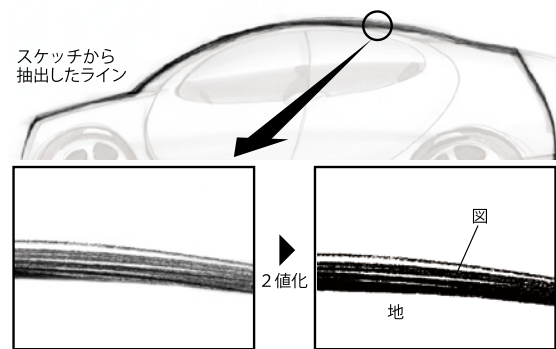


図1 2値化

を吟味するように線を重ねながらラフスケッチを描き、それをもとに1本の美しい曲線により清書を描く。次にファイナルスケッチ上をある間隔でピックアップしていき点列データの座標を取得する。得られた点列はCADシステムに入力され曲線へと近似される。それに対し、本研究ではラフスケッチレベルのスケッチをコンピュータに入力し、既存の画像処理ならびに提案手法を用いて清書の代わりを行う。ここで、デザイナーのファイナルスケッチを観察した結果、ラフスケッチを構成する線群の濃く重なった部分を清書線が通る傾向が見られた。そこで、線群の濃淡データを利用してラフスケッチから1本の曲線を抽出する。得られた曲線は濃淡中央線と呼ぶ。

### 2.1 図中心線の抽出

ラフスケッチを構成する線群を図と呼び、そのほかを地と呼ぶ。従来の手法であるHilditchの細線化法を用いて図から中心線を抽出する(以降、その中心線を図中心線と呼ぶ)。しかし画像に濃淡データが含まれると細線化を行えないため、始めに画像を2値化する(図1)。ここで、単に2値化を行った状態では図と地の境界部分にノイズが発生している場合が

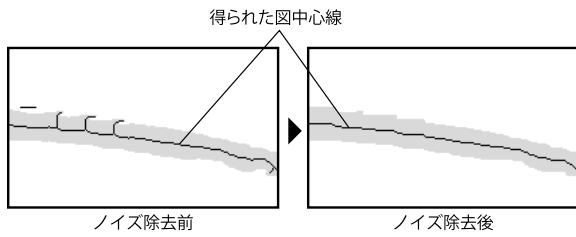


図2 膨張・収縮処理によるノイズ除去

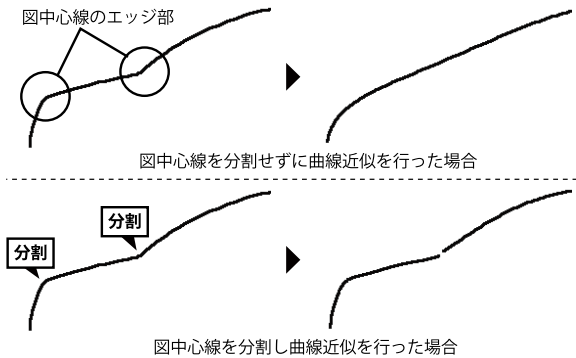


図3 図中心線の分割

あり、細線化を行ったときに図中心線が枝分かすることがある。そこで、膨張・収縮処理を用いて図と地の境界付近に発生するノイズを取り除いたのち細線化を行い図中心線を抽出する(図2)。

## 2.2 図中心線の分割

図中心線における法線を算出するために、図中心線を一度多項式で近似する。しかし、図中心線に角ができた場合、単に曲線で近似しただけでは角を近似曲線の形状に反映させることは難しい。そこで、近似を行う前にあらかじめ角で図中心線を分割し別々の多項式で近似することで、図中心線を精度よく近似でき、エッジ部も正しく反映される(図3)。

## 2.3 図中心線の多項式近似

### 2.3.1. 図中心線の座標データ抽出アルゴリズム

図中心線を多項式で近似するにあたって、画像から図中心線の座標データを抽出する。ここで、画面の左上隅を原点とし、横方向に  $x$  軸、縦方向に  $y$  軸をとる。座標の1単位は1画素とした。  $x$  座標と  $y$  座標を保存する配列  $dataX[n][m]$ ,  $dataY[n][m]$  を用意し、以下の手順で図中心線を構成する点列の座標を保存していく。  $n$  は図中心線数(図中心線の分割数+1)、  $m$  は各図中心線の構成点の数である。  $n$ ,  $m$  の初期値はともに0である。

- 1) 画像をスキャンラインし、端点(対象の画素が図であり、さらに近傍8画素のうち1つだけが図である画素)を探す。端点が見つからない場合は4)へ飛び、処理を終了する。
- 2) 現在の画素の  $xy$  座標を  $dataX[n][m]$ ,  $dataY[n][m]$  に保存し、その画素を地に変える。その後、隣接した図の画素に移動し、  $m$  を1増やす。移動できなくなるまでこの処理を繰り返す。

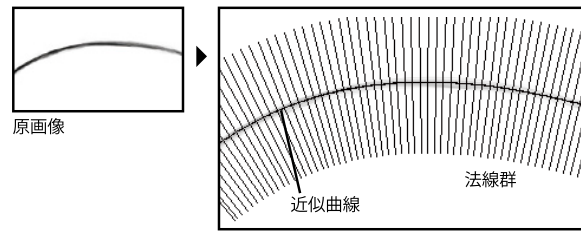


図4 図中心線における法線の算出

- 3) 現在の画素の  $xy$  座標を  $dataX[n][m]$ ,  $dataY[n][m]$  に保存し、その画素を地に変える。その後  $n$  を1増やし、  $m$  を0に戻したのち1)に移動する。
- 4) 処理を終了する。

### 2.3.2. 多項式近似

前項で得られた座標データを用いて、図中心線を一本ずつ分けて多項式近似する。ここで、多項式近似を行うには、座標データが1価関数でなければならないことに注意する必要がある。しかし、今回近似を行う図中心線の  $xy$  座標データは1価関数であるとは限らないため、あらかじめ1価関数に変換しなければならない。そこで、ある構成点とその一つ前の構成点との距離を新たなパラメータ  $t$  とし、その値を保存する配列として  $dataT[n][m]$  を用意する。  $i$  本目の図中心線を構成する  $j$  番目と  $j-1$  番目の構成点のデータ間距離を保存する場合、  $dataX[i][j]$  と  $dataX[i][j-1]$  の差の二乗ならびに  $dataY[i][j]$  と  $dataY[i][j-1]$  の差の二乗をとり、双方を足し合わせた値の平方根を  $dataT[i][j]$  に保存する。また、始点の一つ前の構成点が存在しないため、  $dataT[i][0]$  には0を入れる。このようにして算出した  $t$  と、  $x$  ならびに  $y$  の値を用いて近似を行う。

ここで、多項式近似とは、最小二乗法を用いて実際のデータと近似曲線の残差二乗和を最小にする係数を求めることである。  $i$  本目の図中心線について  $x$  と  $t$  で多項式近似を行う場合、近似関数を式(1)とすると、求める残差  $\delta$  の二乗和は式(2)で求まる。さらに、それぞれの係数に対して式(2)を偏微分すると式(3)が成り立ち、求める変数の数と得られる方程式の数が一致するので、この方程式を解けば係数を定めることができる。  $y$  と  $t$  においても同様に多項式近似を行う。ただし、近似多項式の次数は

$$x = a_n t^n + a_{n-1} t^{n-1} + \dots + a_1 t + a_0 \quad \text{式(1)}$$

ただし、  $a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0$ : 係数

$n$ : 近似多項式の次数

$$\sum_{j=0}^m \delta^2 = \sum_{j=0}^m \left\{ dataX[i][j] - \sum_{k=0}^{n+1} a_k \cdot (dataT[i][j])^k \right\}^2 \quad \text{式(2)}$$

$m$ : データ数

$$\frac{\partial}{\partial a_p} \sum_{j=0}^m \delta^2 = -2 \sum_{j=0}^m \left\{ dataX[i][j] - \sum_{k=0}^{n+1} a_k \cdot (dataT[i][j])^k \right\} \cdot (dataT[i][j])^p = 0 \quad \text{式(3)}$$

$(p = 0, 1, \dots, n)$

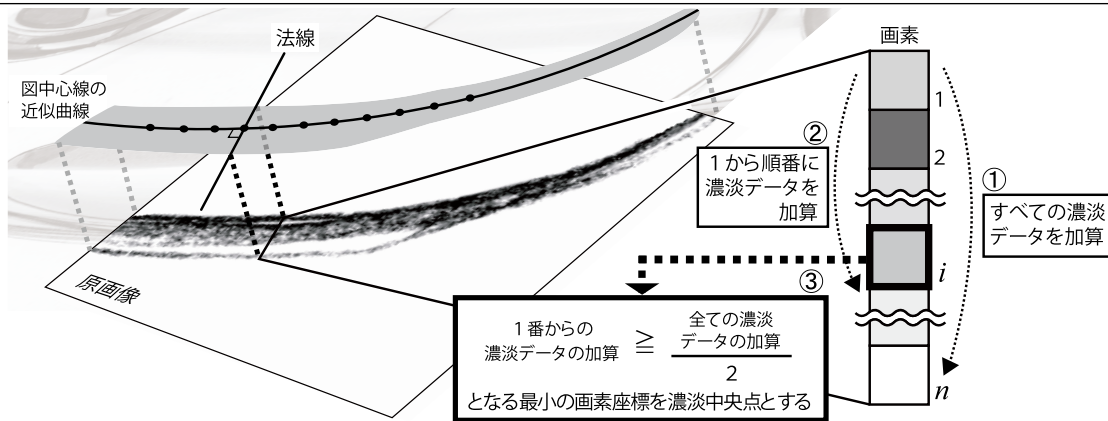


図5 濃淡中央点の取得

ベイズ情報量基準 BIC を利用し、2～10 次までで最適な次数を選出している。

## 2.4 法線の算出

図中心線を構成する点列から近似曲線上に等間隔に点を取り、それらの点における法線を求める。ある近似曲線上の点における  $t$  の値を  $l$ 、近似曲線を  $\{x=f(t), y=g(t)\}$  とした場合、求める法線は式 (4) で求まる。近似曲線上に法線を描画した結果が図 4 である。法線を算出する点の間隔、描画する法線の大きさは任意に決定できる。本研究では数十回の実行結果から経験的に法線描画点の間隔を 1 画素、表示する法線の長さを 120 画素としている。

$$y = -\frac{f'(l)}{g'(l)}(x - f(l)) + g(l) \quad \text{式 (4)}$$

## 2.5 濃淡中央点の抽出と濃淡中央線

前節で求めた法線を利用して、原画像から濃淡データ (256 階調のグレースケールのどの濃さを示す値) を抽出する。ある法線を近似曲線上に描画し、その法線によって切り取られる図の線幅上の画素数を  $n$  としたとき、切り取られた図の画素それぞれに対して順番に 1～ $n$  番まで番号をつける。その後、一度全番号の画素が持つ濃淡データを加算し保存する。次に再度 1 番から順に濃淡データを加算していき、先ほど保存した値の半分を超えた位置での画素を濃淡中央点と名付け、その画素座標を保存する (図 5)。この操作を求めた法線すべてに対して行う。こうして求めた濃淡中央点の点列を用いて 3.3.2 節と同様に多項式近似する。以上の手順により得られた曲線をこのラフスケッチにおける濃淡中央線とする。

## 3. 濃淡中央線への視覚言語の適用

現在の作業工程では、デジタイザにより入力された点列は CAD システムで曲線に近似されたのち、フェアリングが行われる。なぜなら、計測点列を一般的な CAD システムが持つ近似コマンドにより近似しただけでは、計測誤差による曲線のノイズが除けず、そのまま形状設計に用いられるレベルの品質はな

いからである。前章で創成された濃淡中央線もノイズを含む可能性があるためフェアリングを行わなければならない。しかし、人の手でフェアリングを行うことは前述のとおり効率が悪い。そこで、濃淡中央線を曲率単調曲線に分割し、曲率対数分布図を用いて性質を分析したのち、最適な視覚言語に置き直すことでフェアリングのかわりを行い、ノイズを取り払う。その結果、美しい清書曲線を創成することができた。

## 4. まとめ

本研究では以下に示す成果、課題が得られた。

- 1) ラフスケッチから、デザイナーの描いた曲線の濃淡データをもとに濃淡中央線を抽出することができた。さらに濃淡中央線の曲率単調曲線部分における視覚言語を同定、適用することで工業製品の設計にも耐えうる美しいキーラインを創成することができた。これにより現在のフェアリングの作業効率が飛躍する可能性を示すことができた。ここで、抽出までのプロセスは完全にシステム化されているため、同条件を与えれば誰でも再現することが可能である。
- 2) 今後、現在の手作業によるフェアリングと提案システムを用いた場合との作業効率の違いを検証する必要がある。

## 注および参考文献

- 1) フェアリングとは、ある曲線 (曲面) を測定しコンピュータ内に取り込んだままのデータでは、その測定誤差から S 字状のうねりを持った (曲率半径ベクトルが反対を向いている) 箇所が存在するので、その箇所を同一方向に修正していく作業のことをいう。
- 2) 原田利宣, 森典彦, 杉山和雄: 曲線の性質に関する定量化研究, デザイン学研究, 第 40 巻第 6 号, pp.9-16, 1994.
- 3) 原田利宣, 中嶋信幸, 栗原祐介, 吉本富士市: 視覚言語を用いた曲線の自動フェアリングシステム, デザイン学研究, 第 47 巻第 5 号, pp.21-28, 2001