

視覚的印象を保存する線分表現法

青山 宏, 河越正弘

電子技術総合研究所

従来提案されている線分近似法では、非常に少ない線分で近似を行なう場合には、望ましい近似が得られなかった。つまり図形を線分近似する場合、距離や曲率などの局所的な評価のみでは、人間が行うような効率的な近似は得られない。そこで、「近似図形と原図形が近い」とは、「近似図形を見て人間が原図形と同じ印象を受ける」ことと考え、近似するのではなく、構造・目だつ特徴を印象として再現し、印象を保存するように表現する手法について述べる。

Piecewise Linear Expression of Planar Curves Preserving Visual Impression

Hiroshi AOYAMA, Masahiro KAWAGOE

Interactive Interface Systems Section, Electrotechnical Laboratory,
1-1-4, Umezono, Tsukuba Science City, Ibaraki, 305 JAPAN

We present a piecewise linear expression method which preserves original impression of planar curves. Conservative methods approximate planar curves by minimizing displacement or angular deviation from original curves, but our method express planar curves by minimizing deviation of impression from original curves.

§ 1 はじめに

図形の表現法として、線分近似は一般的な手法であり、多くの研究がなされてきたが、その多くはデータ量を圧縮して、なおかつ如何に「正確に近似できるか」ということに重点が置かれてきた。

従来、この「正確に」という意味は、具体的には、原図形と近似図形間の位置ずれ・方向ずれで代用されてきた。

しかし、人間が線分近似を行なう場合を考えて見ると、「正確に」の本当の意味は、原図形を見たときの印象と、近似図形を見たときの印象が近いことである。

これは、少ない本数で図形を近似する場合に明らかになって来る。具体的には、一様な近似をしていた近似図形が、近似が粗くなるに従って、大まかなところは粗くし、意味のあるところは細かく近似するようになり[1]、さらに粗い近似では、目につく所は正確に、目につかない所は適当に近似するようになる。

つまり、実空間での距離は余り近くなくても、同じ様な印象を与えるように、近似再生しているのである。

我々は、既に、図1 a)に示すように、図形の細かさに応じて近似し、直線をそのまま直線として保存する近似法を提案しているが、本稿では更に粗い近似を行なう場合について考察する。

まず§ 2で線分近似を「人間の視覚的印象を保存する」という観点から再構成し研究の方向を明らかにし、これをもとに§ 3で、図1 b)に示すような、構造を保存する近似法を示し、更に§ 4で、図1 c)に示すような目だつ特徴を基に近似する手法を提案する。

§ 2 線分近似の再構成

線分近似法は、圧縮率が高く、表現形式も人間の直感と良く合うため、線図形データのデータ圧縮としての研究が盛んにされてきた。しかし、粗い近似でありながら、見た目の印象を保存し、人間の線分近似結果に、できるだけ似た線分近似を効率良く得ることを目標とすると、「近似する」のではなく「表現する」と考えた方がよい。

2. 1 情報表現としての線分近似

そこで、線分近似を、図形を使って情報を表現伝達す

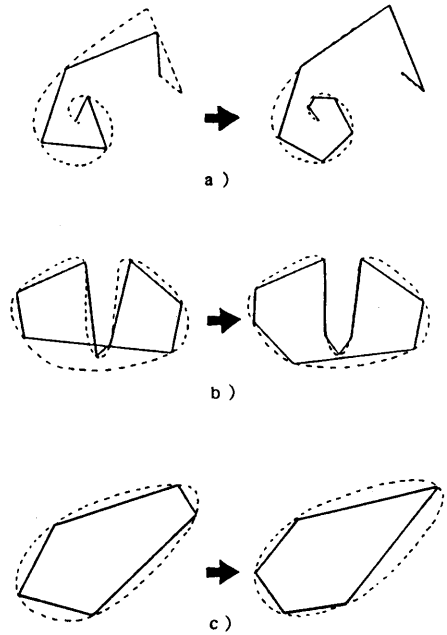


図1 近似の目標

る手段と考えると、情報が図形のどこに表現されているかを推定し[1]、それを適当な本数の線分で近似するのが、人間の近似であることが分かる。

2. 2 人間の表現

人間が図形を、効率的かつ効果的に近似できるのは、図形をパターンとして直接記憶しているからではなく、①図形の方向性などのような視覚的印象[2]を手掛かりにすることと、②図形の全体あるいは一部を、語彙(意味付けられた既知の要素・関係:例えば、直線/円、平行/対称等)に対応付けることの、2つのメカニズムによると考えられる。これを、次節以降で、機械の近似表現に順次、変換・対応付けして行く。

2. 3 機械の表現

1) ずれの種類

通常、ずれは、近似線分が原パターンから、距離や角度などの物理的尺度に関して、どのくらい離れたかで評価される。評価の仕方には、逐次的に行なう手法[3]と一括的に行なう手法[4]と、分割的に行なう手法[5]があるが、評価の基となるずれは、以下に示す、位置ずれと方向ずれの2つが使われている。

①位置ずれを評価する手法 [6,7]

ずれが誤差と対応がつき易いのでCAD等と相性がよいが、もともと直線であった部分も他の部分と併合されてしまうなどの、形状変形が生じることがある。

②方向ずれを評価する手法 [8]

形状の近似度は一定であるが、曲率の大きな所では位置ずれが大きくなりすぎることがある。

ここでの、機械の近似表現は、図2 aである。

2) 局所的意味としての「直線」

前節でのずれだけでなく、人間は特徴点として、直線や円に対しては、「真っ直ぐなもの」としての「直線」を、意味あるものとして見ており、例えば2本の線分がつくる角の頂点や、円と直線の接点のずれは歪みとして感知される。これには、①角の頂点のずれ込みによる歪みと、②接点のずれ込みによる歪みの、2種類がある。本節までの、機械の近似表現は図2 bのようになる。

3) 大局的意味の導入

前節で導入した、「意味」には、直線・円等の図形要素の局所的な意味だけでなく、離れた部分間のような大局的「意味」も、人間は利用している。例えば、①構造の変化：接触や交差している部分が分離したり、接近している部分が交差したりする変化や、②対称性の喪失：対称図形の右半分と左半分が異なった形に近似される変化は、歪みとして感知される。

本節では、機械の近似表現は図2 cのようになる。

4) 再び「ずれ」の拡張と線分近似の全貌

近似を大幅に粗くして、表現した場合を考えてみると、最初に考えた「ずれ」は、ずれの大きさが小さい場合の定式化であったことに気づく。図2 dに示すように、人間の評価基準としてのずれは、図形に対する人間の印象とずれの関数で表現される。

§ 3 位相構造を保存する線分近似法

本章では前章での線分近似に較べて大幅に粗い近似をした時に生じ易い位相変化(交差・反転)の問題を取りあげる。この位相変化は、誤差としての物理的な距離は小さくとも、心理的誤差は大きく、全く違った図形として映る。

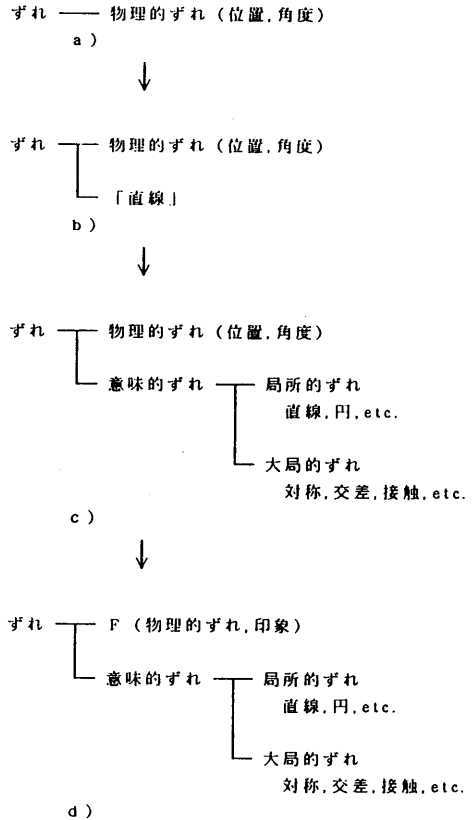


図2 人間の感ずるズレの機械における定式化

3. 1 位相変化の補正法

歪み補正の対象は、輪郭線などの交差のない閉曲線とする。大幅に粗く近似した場合には、交差を越えて反転を生ずることもある。この交差や反転の位相的歪を監視しながら、線分近似の折れ点の再配置を行なう[12]。

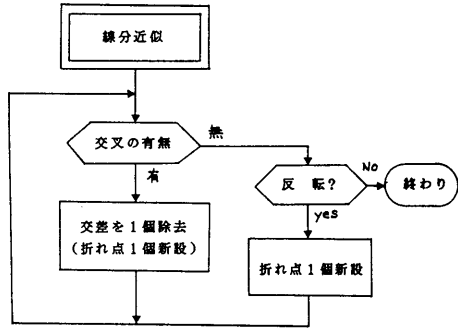
3. 2 アルゴリズム

図3に補正の概略フローチャートを示す。図4は、交差回数と外角の和から、反転の回数が判定できる事を示している。

3. 3 実験と考察

図5に本アルゴリズムによる補正過程を示す。

図5 bは、粗い近似により反転が生じた例である。この近似の粗さは、円が六角形に近似される程度の粗さであり、十分に現実的な設定である。反転の原因となつて



交差検出: 近似図形を構成する線分の、総べての任意の2本の交差関係調べる。
 交差除去: 交差関係にある近似線分に対応する原データ上に折れ点を1個設けて交差を解消する。
 反転検出: 相隣合う2本の近似線分の偏角の総和の符号を見る。
 反転修正: 反転の原因となる1本の近似線分を検出し、対応する原データ上に折れ点を1個設ける。

図3 概略フローチャート

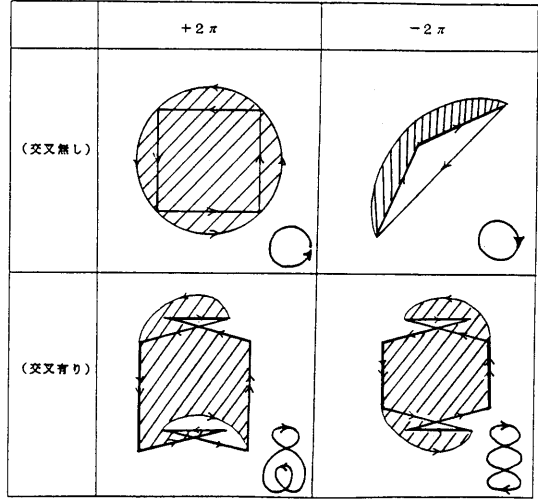


図4 交差回数と外角の和からの反転回数の検出

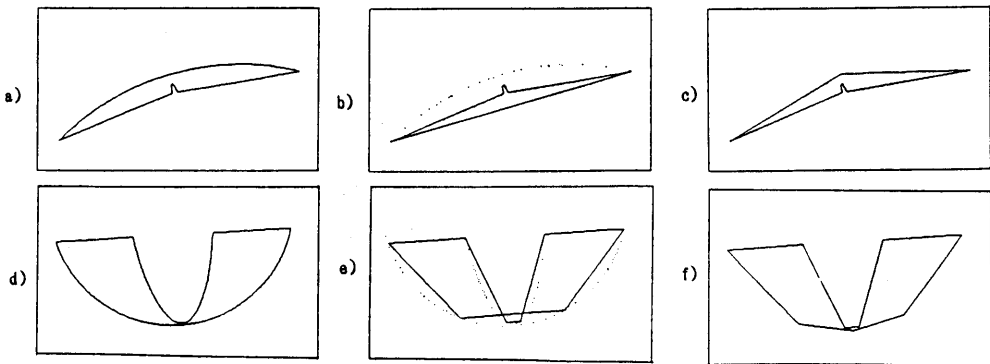


図5 位相変化の補正過程

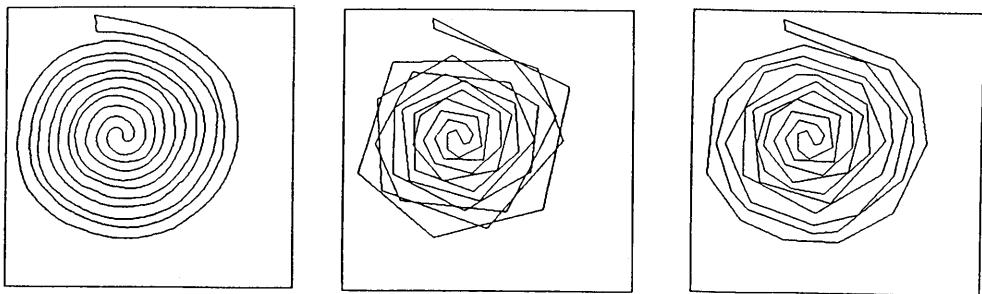


図6 実データに対する実験例

いる部分に、折れ点が追加されることによって、図5 cのように反転が解消されている。

また、図5 dの様に、大きなくびれのある場合には、図5 eに示すように、線分近似によって交差が起きる。この場合、図上で最も接近している部分が、データ列上では最も離れているので、通常の局所的な処理では予め避けることは困難であるが、本手法によれば、図5 fに示すように、交差歪が解消される。

[実データに対する適用実験]

図6は、渦巻型の線分近似例である。図6 bのように交差して構造変化を起こしている近似線分が、図6 cに示すように元の構造に戻っている。図7は北海道の線分近似であるが、根室半島の交差が、図に示すように補正されている。

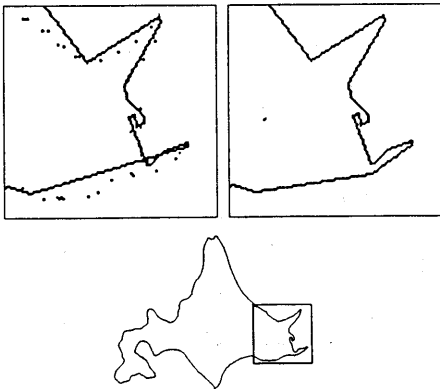


図7 地図データに対する適用例

§ 4 視覚的印象を保存する線分近似法

前章のように、大幅に粗い近似を行なう場合、図形によって近似線分のとりかたを適切に選ばないと、人間の見た場合印象が大きく変化してしまう。

そこで本章では、この問題に対して、印象に残る目だつ特徴として、

- 1) 離心率：細長い／丸い
- 2) 向き：縦横斜め
- 3) 尖り：尖っている／丸まっている
- 4) 方向性：進み方向
- 5) 凹凸：膨らみ／くびれ、及びこれらの総合として、

6) 対称：縦軸対称、

の6種の特徴を選び、これらの特徴に対して各々印象度を測定し、全印象度の大きなものから順に閾値を超えているものに注目して、その特徴を構成している部分を中心としての近似再生を行う手法について述べる[13]。

4. 1 アルゴリズム

本方式の全体の流れを表すブロック図を図8に示す。図のように、本アルゴリズムは大きく分けて、特徴検出部と近似再生部からなる。

[特徴抽出部]

前記の列挙した特徴は、全てが独立というわけではなく特徴間や自分自身の相互作用により、図9に示すように、強調されたり相殺されたりする。

例えば、方向性は、先端に尖りの特徴があると強化される。また凹凸性では、2つの凹部で挟まれた凸部は強調される。この種の補正後、特徴を選出する。

[近似再生部]

- 1) 特徴構成部分からの概略再生過程と、
- 2) 目だつ特徴がないという情報の積極的利用に基づく補正過程からなる。

具体的には、目だつ特徴部分間を、新たな目だつ特徴が生じないように、鈍角あるいは、相対的に目だたない

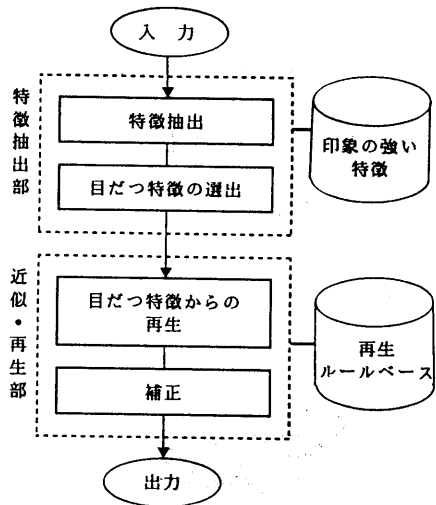


図8 印象保存近似の概要

が生じないように、鈍角あるいは、相対的に目立たない角度でつないで図形を近似再生する。

4. 2 予備実験と考察

次頁の図10～12に本手法の実験例を示す。印象度の定義及びパラメータの調整は、実際に人間が図形を近似出力する実験の結果に基づいて行った。

図10と図11は、原図形では似ているが印象に着目した近似出力図では、異なったように表現される。逆に図11と図12に対しては、原図形では余り似ていないが、印象に着目した近似出力図ではよく似た形に表現されていることがわかる。

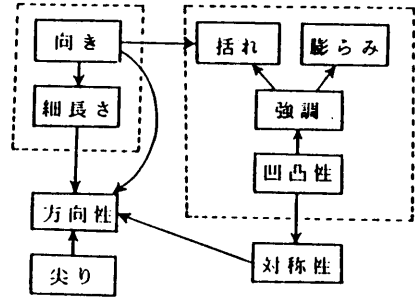


図9 特徴間の相関図

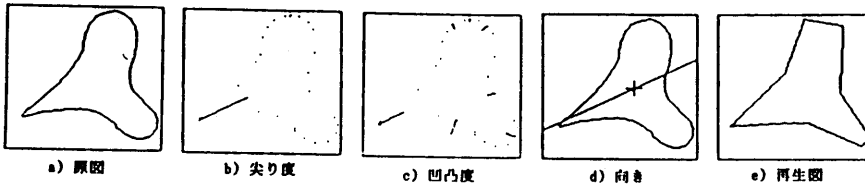


図10 実験例

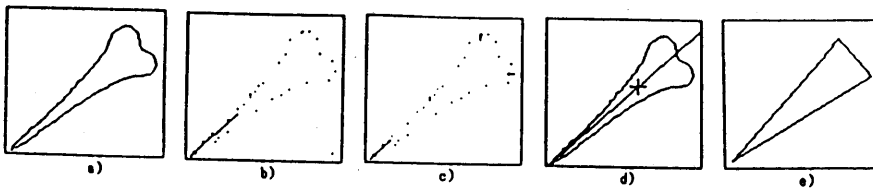


図11 実験例

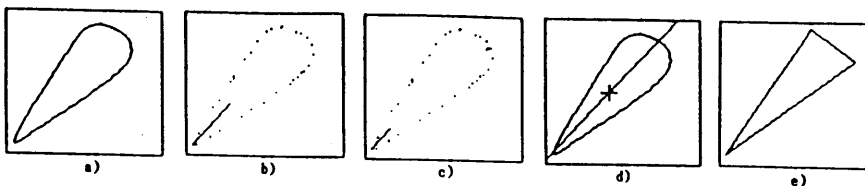


図12 実験例

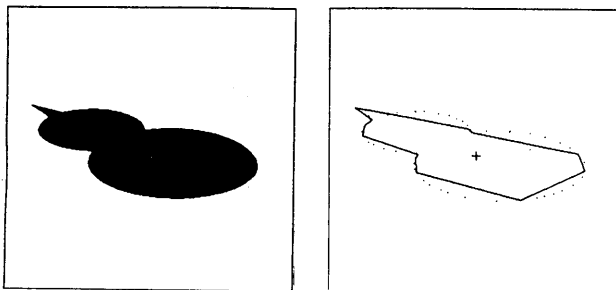


図13 従来手法による近似

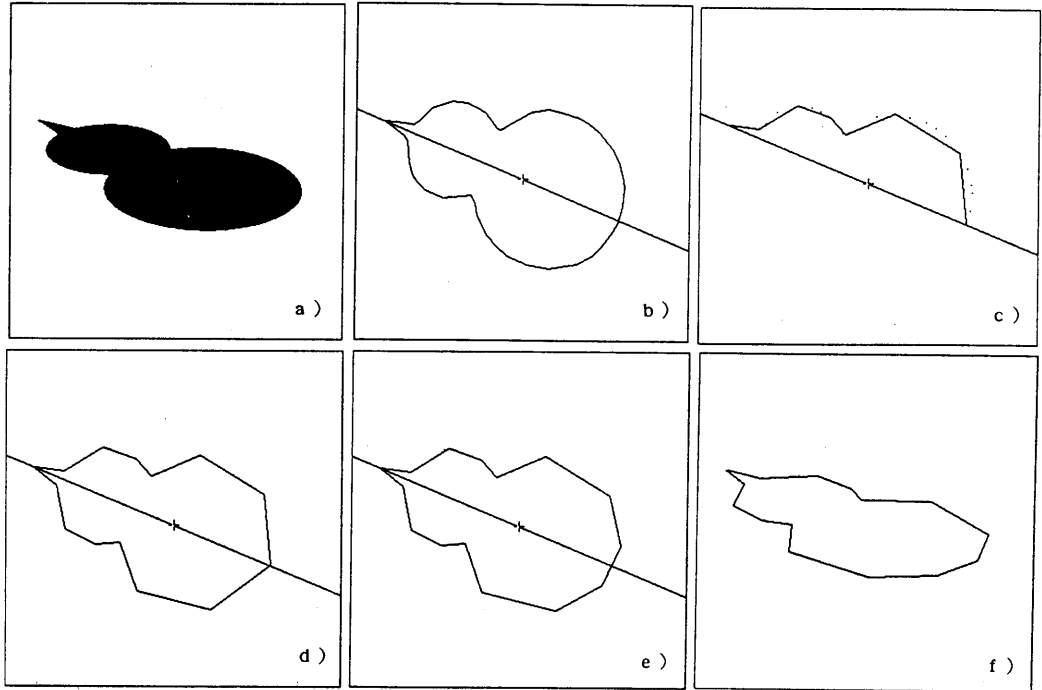


図14 対称性を考慮した近似

- | | |
|------------|--------------|
| a) 斜め対称の原図 | d) 下部複製 |
| b) 正面復元図 | e) 尖り部分処理 |
| c) 上部のみ近似 | f) 斜めに戻した近似図 |

図13と図14は、Skewed Symmetry を持った図形の近似例である。そのまま近似したのでは、図13に示すように、印象が異なってしまうのを、Skewed Symmetry の印象を保存する本手法によれば、図14に示すように表現される。

§5 おわりに

以上、視覚的印象を保存する近似手法について述べた。本研究の目標は、人間の着眼点を把握してそれを基に線分近似で表現しようとするもので、図形と情報の本質的な関係にまで遡って考察しようとするものである。

特に、§4で考察した近似法は、かなり粗い記述で表現するときに能力を発揮するものであり、今回の実験では、大変目だつ少数の特徴を組み込んだだけであるが、今後、さらに多くの特徴を導入し、それらの特徴間の強さをファジー的に評価し、人間がその図形中で支配的に見えるのと、同じ特徴を支配的な特徴として抽出できるようにすることを目指している。

[参考文献]

1. 河越正弘, 喜多伸之, 青山宏: "最大の情報を抽出するマッチング手法", 昭和63年春期電子情報通信学会全国大会 D-395 (1988)
2. Irvin Rock (船津孝行 訳): "The Perception of Disoriented", サイエンス vol.10, no.3 (1986)
3. J.Roberge: "A Data Reduction Algorithm for Planer Curves", CVGIP., vol. 29, pp.168-195(1985)
4. Y.Kurozumi and W.A.Davis: "Polygonal Approximation by the Minimax Method", CGIP., vol.19, pp.248-264 (1972)
5. T.Pavlidis and S.Horowitz: "Segmentation of Plane Curves", IEEE Trans., vol.C-23, pp.860-870 (1974)
6. C.M.Williams: "An Efficient Algorithm for Piecewise Linear Approximation of Planar Curves", CGIP., vol.8, pp.286-293 (1978)

7. K.Wall and P.E.Danielsson:
"A Fast Sequential Method for Polygonal Approximation of Digitized Curves",
CVGIP., vol. 28, pp. 220-227 (1984)
8. M.A.Fischler and R.C.Bolles:"Perceptual Organization and Curve Partitioning",
IEEE Trans., vol. PAMI-8, no. 1, pp. 100-105 (1986)
9. 青山 宏,河越正弘,佐藤孝紀:
"曲率に大きな幅を持つ線図形の直線近似",
情報処理学会 第32回全国大会 7N-8 (1986)
10. 青山 宏,河越正弘:"原図形の視覚的特徴を保存する線分近似法", 情報処理学会研究会資料
グラフィックスとCAD 26-5 (1987)
11. 青山 宏,河越正弘:"滑らかな接合点を考慮した平面図形の近似法",
情報処理学会 第34回全国大会 2D-3 (1987)
12. 青山 宏,河越正弘:"図形の構造的特徴を保存する線分近似法",
情報処理学会 第36回全国大会 4W-1 (1988)
13. 青山 宏,河越正弘:"図形の視覚的印象を保存する線分近似法",
情報処理学会 第35回全国大会 4J-3 (1987)
14. 青山 宏,河越正弘:"図形の視覚的印象を保存する線分表現", 電子情報通信学会「画像理解の高度化と高速化」シンポジウム論文集, pp. 161-168 (1989)

[付 録 : 「尖り」と「方向性」の検出法]

1) 尖りの検出法

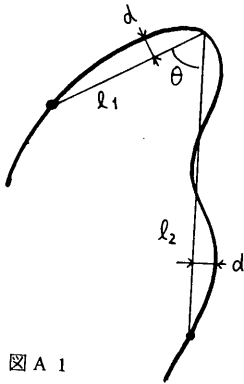


図 A 1

$Q1, Q2$: 誤差 d での近似線分長の最大値
(尖り度) $\cong \min(Q1, Q2) * \cos \theta$

2) 方向性の検出法

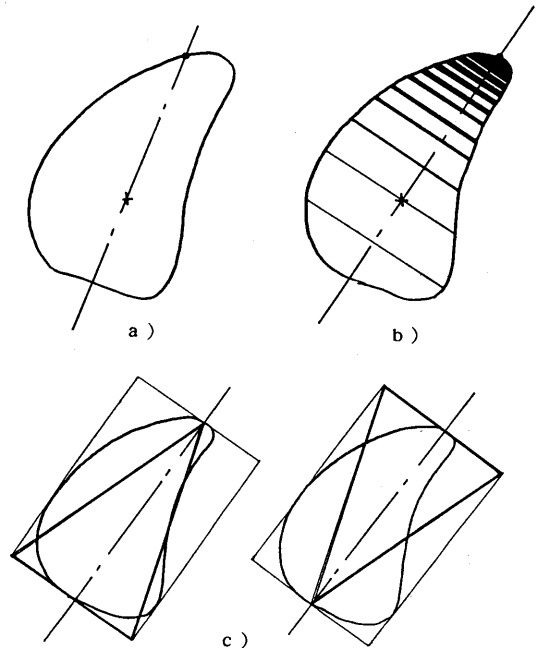


図 A 2

- a) モーメント最小軸検出
- b) 軸方向の補正
(軸方向へ重心からの距離で重み付けをし, モーメント最小な軸を求める)
- c) 軸に平行な外接長方形に図のように三角形を軸の双方向に求め, 原図形との重なり領域の面積から方向性を求める.