

Dynamic Programmingと Feedback Algorithmによる閉曲線近似法

Contour approximation method by Dynamic Programming

宮澤 敏記*1

Toshinori MIYAZAWA*1

† 早稲田大学理工学部 電子・情報通信学科
†Dept. of Elec. Info. and Comm. Eng., WASEDA Univ.

中神 央二*2

Ouji NAKAGAMI*2

渡辺 裕*2

Hiroshi WATANABE*2

‡ 早稲田大学大学院 国際情報通信研究科
‡Graduate School of GITS, WASEDA Univ.

富永 英義*1 *2

Hideyoshi TOMINAGA*1 *2

1 はじめに

正確な線近似を行うためには、有意点¹をいかに選択するかが課題となる。そのため、候補となる点を全て Dynamic Programming(以下 DP とする)を用いて選択する手法が研究されている [6][7][8][9]。本研究では、i) 有意点の候補点は曲線上の全点、ii) DP に実際に使用する近似処理を用いることの2点に従う DP 法を線近似に適応させる。さらに、抽出点数が増大する場合を許容し、曲線全体の中で最も冗長な点から順に目標点数まで削除するアルゴリズムとして、Feedback algorithm を提案する。

2 線近似における Dynamic Programming の定義

輪郭線上の全ての点は輪郭線近似のための有意点と成り得る。この全ての点の中から1点を有意点と仮に決定し、新たな有意点を追加して得られた近似曲線を近似誤差関数に入力する。全ての対象点について仮の近似曲線の誤差値を算出し、その中で最小の誤差値を与える点を最終的に有意点と決定する。この処理は条件(誤差値の閾値)を満たすまで再帰的に繰り返す。

2.1 評価式定義

輪郭線近似において取り得る事象とは輪郭線上の全ての点であり、評価関数とは輪郭線近似の際の近似誤差算出式である。近似誤差算出式として、最小距離誤差 [9] を用いた。これは、原曲線上の点から最も近い位置にある近似曲線上の点までの距離の総和を誤差とするものである。この方法によると、原曲線上の点の特徴点に基づいて重み付けが可能であり、歪みが発生する周辺の誤差を強調することで、特徴点周辺の近似がより正確となる。算出式を式 (1) に示す。

$$E = \frac{1}{l} \sum_{i=1} \omega_i |P_i - Q_j|^2 \quad (1)$$

ただし、 E は近似誤差値、 l は輪郭線のセグメントにおける点数、 ω_i は原曲線上の点 i の重み関数であり、 P_i が同点の座標を示している。また Q_j は点 i から近似曲線上の最小距離を与える点 j の座標を示している。近似誤差値はセグメントの距離 l で正規化されているため、誤差関数を用いるための誤差閾値は、あらゆる大きさの閉曲線に対し共通に用いることが可能である。

2.2 処理概要

DP 処理を開始するためには、基準となる点を複数選択する必要がある。ここでは、Feng らの手法 [9] に基づき、基準となる点は原曲線(閉曲線)上の曲率の大きい点とする。この基準点選択法を用いる理由は、曲率の大きい点はスプライン補間の際、誤差が大きくなるためである。そこで DP 処理開始に当たって、第一に、曲率の大きい点から数点を有意点として選択する。第二に、連続する有意点間をセグメント化する。なお、有意点間の距離が閾値以上である場合、セグメントを分割する処理を加える。これは、誤差関数の出力はセグメントの長さで正規化されることにより、セグメントが長い場合、細かな形状を正確に近似できなくなる現象が発生するためである。第三に、セグメント間の誤差が閾値以上であるならば、セグメント間の全ての点を有意点候補とし、各々近似曲線を得る(閾値以下であるならば、そのセグメントにおける DP 処理は終了する)。第四に、各々得た近似曲線について最小距離誤差が最小となる点を有意点として最終決定する。第三、第四の処理を誤差が閾値未満となるまで再帰的に行うことで、原曲線を忠実に再現した曲線を近似可能である。

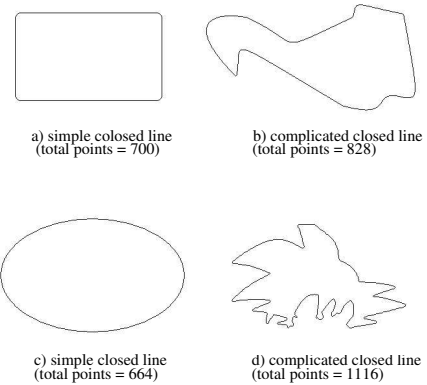


図1 サンプル閉曲線 (a) ~ (d)

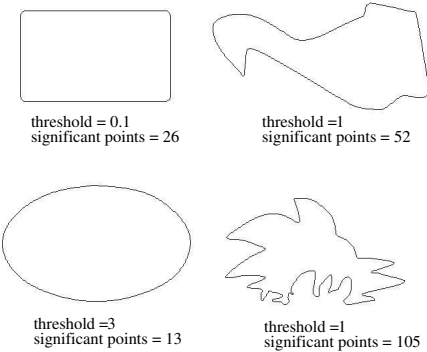


図2 近似曲線結果

3 DP による近似法の評価

3.1 実験 - 近似曲線結果 -

4種類のサンプル閉曲線(図1)に対し提案アルゴリズムを実行し、近似画像を評価する。本実験では、セグメントに対し近似処理を実行するか否かを判断する誤差閾値をパラメータとして用い、近似関数として3次スプライン補間を用いた。ほぼ忠実に原曲線を再現した近似結果を図2に示す。

図2の結果より、サンプル閉曲線(a)~(d)対し、点数削減率(有意点数を閉曲線上の全点数で割った値と定義する)が、それぞれ3.7, 6.3, 2.0, 9.4 [%]でほぼ忠実に原曲線を再現していることが分かる。

3.2 実験 - 近似誤差評価 -

次に前実験の結果を客観的に評価するために、点数削減率と誤差値の関係を求める。サンプル閉曲線として図1を用いる。式1で求まるセグメント間の誤差値の全セグメントにおける総和を閉曲線の誤差値として用いる。実験結果を図3に示す。

点数削減率と近似誤差の関係は、点数削減率が大きくなるに従い、 $E = 0$ を漸近線として誤差値は単調減少する。一方、点数削減率が小さくなるに従って、誤差値は急激に増大する。データ点数削減の観点からは、図3に示した曲線の凸点が最適点であると判断できる(以後最適値はこの凸点と定める)。この曲線の特徴として、1) データ量の急激な増大、2) 最適値、3) 誤差値の急激な増大の3つの状態を挙げることができる。これらの状態を決定するパラメータは誤差閾値であるので、表1に各状態を与える誤差閾値を記す。

図3及び表1から導かれることは以下である。第一に、最適値を与える誤差閾値はサンプル閉曲線(c)を除いて、ほぼ1

¹本稿では、近似処理に用いる点を有意点と定義する。

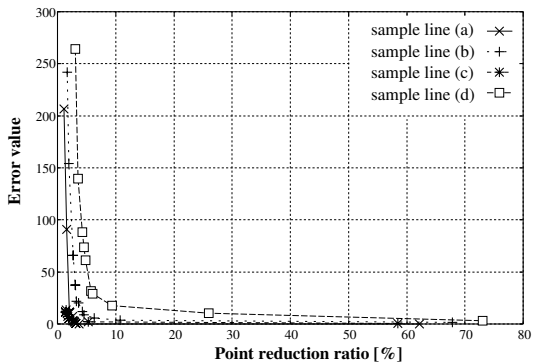


図3 点数削減率に対する近似誤差
表1 各状態を与える誤差閾値

サンプル	データ量増大	最適値	誤差値増大
(a)	0.01	1.2	50
(b)	0.2	1.0	20
(c)	0.2	3	-
(d)	0.5	1.3	20

周辺の値であると判断できる．第二に，複雑な形状の誤差値は簡単な形状の誤差値よりも大きい．二つ理由が考えられる．

- 複雑な形状では鋭角点などの特徴点が多く，輪郭線のセグメントが増える．重み関数により，輪郭線の距離で正規化しているにも関わらず誤差値が増える．
- 形状が複雑になるに従って近似曲線の歪みが増えるため，誤差の増加につながる．

4 Feedback algorithm

4.1 アルゴリズム概要

有意点抽出のために用いた DP を逆方向（抽出した有意点を削除する方向）に用いるという意味で，Feedback algorithm と定義する．本アルゴリズムでは，抽出した全有意点の中から 1 つずつ仮に削除し，各々近似誤差を順に算出していく．その中で，最も小さい誤差を与える有意点を実際に削除する．この処理は削除目標の点数削減率に達するまで繰り返し実行する．本アルゴリズムはセグメント単位で処理しているのでは無いため，輪郭線の中で最も冗長な有意点から順番に削除することが可能である．なお本アルゴリズムの繰り返し演算数は $\sum_{k=0}^{N_r-1} (N_s - k)$ と表される．ただし， N_r は削除する有意点数， N_s は本アルゴリズム実行前の有意点数である．

4.2 評価結果

サンプル閉曲線 (b) に対して実験を行う．この場合の最適誤差閾値は 1 である．そこで，誤差閾値を 0.5 に設定し，有意点が局所的に集中発生する状況から Feedback algorithm を実行する．この場合，目標点数削減率をパラメータとする．結果画像を図 4 に示す．

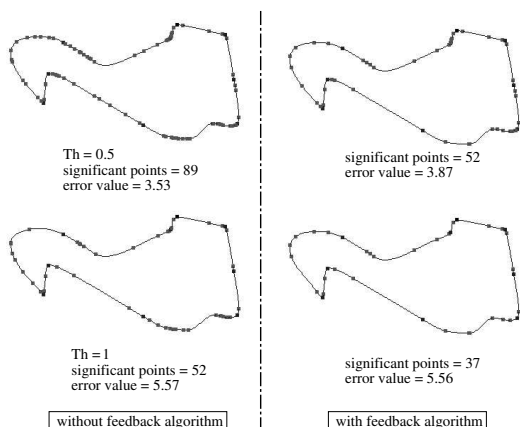


図4 Feedback algorithm 近似結果

図 4 では Feedback algorithm を用いない場合と用いた場合の比較をしている．Feedback algorithm を用いない場合，データ量が局所的に発散する時（閾値 0.5）の近似結果と最適閾値 1 の近似結果を示した．また，Feedback algorithm を

用いた場合，目標の点数削減率を実現した近似結果（有意点数 52 点）と本アルゴリズムを用いずに誤差閾値を 1 とした時の近似誤差にほぼ等しい点数削減率の結果（有意点数 37 点）を示す．実験結果より，有意点数 52 点のとき，Feedback algorithm を用いた方が近似誤差が 1.70 小さいことが分かる．また，Feedback algorithm を用いて最適誤差値まで有意点数を削除すると有意点数が従来法と比較して 15 点減少したことが分かる．Feedback algorithm の性能を評価するために，有意点数と近似誤差値の関係を図 5 に示す．

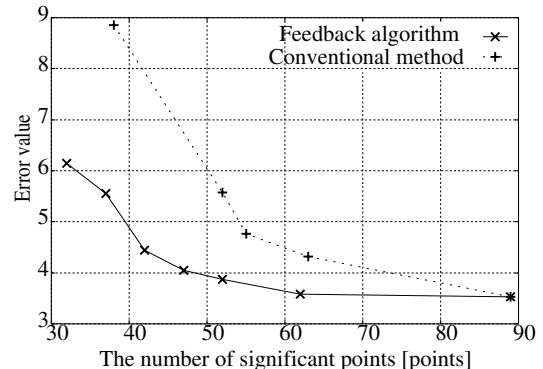


図5 Feedback algorithm による近似誤差

図 5 に示した結果より次の 2 点に分かる．1) Feedback algorithm を実行することで，従来法と比較し大幅に誤差値を削減することが可能である．さらに，2) 局所的に発散した冗長な有意点を削除可能となった．Feedback algorithm は，輪郭線全体の中で不要な抽出点から優先的に削除するので，冗長な抽出点を除去可能となる．

5 おわりに

本稿では，輪郭線の形状を符号化するために，DP により補間処理に最適な有意点を抽出するアルゴリズムを実装した．セグメント化に基づく DP による近似法では閾値に依存して，データ量が局所的に増大する問題が生じる．この問題解決のために，冗長な有意点の削除及び点数削減率制御を実現する Feedback algorithm を提案した．そして，抽出点数と誤差値に関する評価から，DP と Feedback algorithm を併用した閉曲線符号化方式が有用であることを示した．

参考文献

- [1] 大沢，坂内:多次元データ構造を用いた図面処理 - 図面のベクトル化 -, 信学論, Vol.68-D, No.4, pp.845-852 (1985).
- [2] 宮澤，中神，亀山，渡辺，富永:Dynamic Programming によるセル画アニメーション内均等色領域輪郭線符号化の検討, 情処研報, AVM36-12 (2002).
- [3] 森，山内，和田，寅市:画像輪郭の関数近似を用いた高精度文書システム, 画像電子学会誌, 第 28 巻 第 5 号, pp.627-635 (1999).
- [4] de Boor, C.: A Practical Guide to Splines, Springer-Verlag (1978).
- [5] U.E.Ramer: An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curve, CGIP, Vol.1, pp.224-256 (1972).
- [6] 石村，橋本，辻村，有本:修正動的計画法による線図形のスプライン近似, 信学論 D, Vol. J68-D, No.2, pp.169-176 (1985).
- [7] 山崎，鳥島，勝野:区分的 3 次多項式を用いた文字輪郭線の近似, 情処学論, Vol.31, No.5, pp.701-709 (1990).
- [8] Plass, M. and Stone, M.: Curve-Fitting with Piecewise Parametric Cubics, Computer Graphics, Vol.17, No.3, pp.229-239 (1983).
- [9] Feng L. and Evangelos E.M.: Optimal Spline Fitting to Planar Shape, Signal Processing, Vol.37, pp.129-140 (1994).