

ミニマックス線分近似と円弧近似†

黒 住 祥 祐††

多数の点が与えられるとき、それらを線分で近似する方法にミニマックス線分近似がある。ミニマックス線分近似は点から線分までの垂線長(ユークリッド距離)の最大値を最小にする方法である。本文では、円(弧)で近似するミニマックス円弧近似を定義する。各点から円までの垂線長の最大値を最小にするためには、各点から円の中心までの距離の最大値と最小値の差を最小にすればよい。この最大値と最小値の差を2変数の関数として定義し、その幾何学的な形状を検討する。また、この性質を使った数値解法を提案する。次に、ミニマックス円弧近似の例を示し、多数の極小値が存在すること、極小値の領域は無限であること、円弧近似よりも線分近似がよいこともあるなどの問題点について言及する。また、円弧近似と線分近似とは密接な関係があることを明らかにする。線分近似より円弧近似が適する条件を求めるために、2本の線分近似の誤差と円弧近似の誤差との関係を通る。さらに、2本の近似線分の3頂点を通る円の中心がミニマックス円弧近似のための数値解法のよい初期値を与えることを示す。最後に、実用的な円弧近似の考え方を論じ、線分と円弧近似によるミニマックス近似の有用性を述べる。

1. ま え が き

グラフィックスや画像処理の分野においては、多数の点列を線分や円弧で近似し、処理の高速化やデータ圧縮などに活用している。本文では、近似の評価基準として、各点から線分や円弧への垂線長つまりユークリッド距離に注目する。 x 軸、 y 軸方向の誤差や最小2乗誤差よりもユークリッド距離による誤差はこの分野の評価基準としてよく使われる。画像処理において、雑音が多く点のばらつきの大きい図形については、ここではエッジ検出などの前処理を行うか、Hough変換などにより、特徴点を抽出したあとの図形を対象とする。

線分近似では、各点から線分までのユークリッド距離の最大値を最小にするミニマックス近似が知られている^{1),2)}。円弧近似では、最小2乗誤差を取り扱ったものに文献3)~6)がある。文献3)は一般的解法を述べ、文献4)は2次曲線に拡張して固有値問題としている。文献5)は偏微分方程式で定式化し、反復法で解いている。文献6)は文献5)の方程式を線分の最小2乗近似と同じ考え方で解析的に解き、正確な解を求めている。

円弧近似でユークリッド距離を対象としたものに文献7)~10)がある。文献7)は近接する標本点4点について注目し、その間の垂直2等分線の交点の中点を

中心とし、2点の標本点を通る円弧で近似している。文献8)はデジタル円を考え、与えられた点がすべて隣接した格子点にあるときの円の中心を求めている。

文献9)は画素のサイズを評価誤差とし、その範囲内で最大の曲率をもつ円弧を求めている。文献10)は3個の標本点の選び方を提案し、その3点で精度のよい円を決定している。いずれも高速化を目標としているがミニマックス近似ではない。

本文では、まずミニマックス線分近似を後に使うために簡単に説明する。つぎにミニマックス円弧近似を定義する。この近似関数の幾何学的な性質を調べ、合理的な数値解法を紹介する。またミニマックス円弧近似の例とともに問題点を説明する。最後に円弧近似を2つの線分近似から始める方法を提案し、実用的な円弧近似を行う方法を述べる。

2. ミニマックス線分近似

n 個の点 $P_i(x_i, y_i)(i=1, 2, \dots, n)$ と直線 $L: ax + by + c = 0$ において、図1のように点 P_i から直線 L に下ろした垂線長を e_i とする。

$$e_i = |ax_i + by_i + c_i| / \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$

直線 L を近似直線とすると、式(1)の e_i は点 P_i からのユークリッド距離による誤差である。この誤差 e_i の最大値を最小にする (a, b, c) を求めることがミニマックス直線近似であり、 R を実数全体として次式(2)に示す。

$$E = \text{MIN}_{a, b, c \in R} \text{MAX}_{i=1, 2, \dots, n} e_i \quad (2)$$

この問題は凸包問題に帰着することが広く知られて

† Approximation of Straight Segments and Circular Arcs by the Minimax Method by YOSHISUKE KUROZUMI (Department of Information and Communication Sciences, Faculty of Engineering, Kyoto Sangyo University).

†† 京都産業大学工学部情報通信工学科

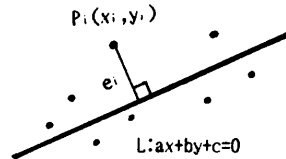


図1 点 P_i と直線 L との距離
Fig. 1 The distance between a point P_i and a line L .

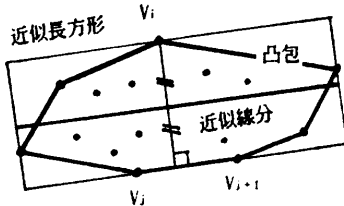


図2 凸包, 近似長方形とミニマックス近似線分
Fig. 2 A convex hull, the approximated rectangular and the minimax approximated straight segment.

いる^{1), 2), 11)}. 凸包とは n 個の点を含む最小多角形で図2に示す. 凸包の求め方は文献 11), 12) に詳しい. ここでは, n 点の凸包を求め, m 多角形の m 個の頂点を $V_i (i=1, 2, \dots, m)$ とする. 一般に, $m \ll n$ である. 図2のように, 頂点 $V_i (i=1, 2, \dots, m)$ から辺 $\overline{V_j V_{j+1}}$ に下ろしたすべての垂線長のうち最大のものを選ぶ. さらに, j を ($j=1, 2, \dots, m$) と変えることにより, 最大の垂線長のうち最小のものを選び, 垂線の中点を通り, 辺 $\overline{V_j V_{j+1}}$ に平行な直線がミニマックス近似直線である. 近似直線に平行で凸包に外接する長方形を近似長方形と呼び, 近似長方形内の中央の線分を近似線分という²⁾.

凸包を求める計算量は $n \cdot \log n$ に比例し, 垂線長のミニマックス値を求める計算量は m に比例し, 幾何学的に最適解を求めることができる. 解の数については, 凸包は唯一であるが, 凸包が正 m 角形であるときは, 近似直線も m 本あることに注意しよう.

3. ミニマックス円 (弧) 近似

n 個の点 $P_i(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, n)$ と円 $C: (x-u)^2 + (y-v)^2 = r^2$ において, 図3のように点 P_i から円 C の中心 (u, v) を結ぶ直線と円との交点を Q_i とし, $\overline{P_i Q_i}$ を e_i とする.

$$e_i = |\sqrt{(x_i - u)^2 + (y_i - v)^2} - r| \quad (3)$$

円 C を近似円とすると, 点 P_i から中心への直線が点 Q_i における円の接線に直交する意味で式(3)の e_i はユークリッド距離による誤差である. この誤差 e_i

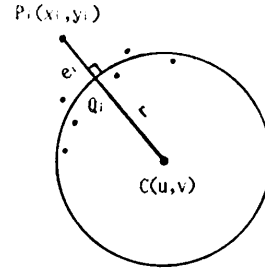


図3 点 P_i と円 C との距離
Fig. 3 The distance between a point P_i and a circle C .

の最大値を最小にする (u, v, r) を求めることがミニマックス円近似であり, 次式(4)に示す.

$$E = \text{MIN}_{u, v, r \in R} \text{MAX}_{i=1, 2, \dots, n} e_i \quad (4)$$

この問題は次式(5)と同等である. なぜならば, 誤差 e_i の最大値は中心 (u, v) と点 P_i との距離のばらつきが最大のときである.

$$\left. \begin{aligned} E &= \text{MIN}_{u, v \in R} (rm - rs) \\ rm &= \text{MAX}_{i=1, 2, \dots, n} \sqrt{(x_i - u)^2 + (y_i - v)^2} \\ rs &= \text{MIN}_{i=1, 2, \dots, n} \sqrt{(x_i - u)^2 + (y_i - v)^2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

つまり, 中心 (u, v) と n 個の点 P_i との距離の最大値 rm と最小値 rs を求め, (u, v) を変えて最大値 rm と最小値 rs との差を最小にする中心 (u, v) を求めることである. 半径 r は最大値 rm と最小値 rs との平均値である式(6)となる.

$$r = (rm + rs) / 2 \quad (6)$$

式(4)を満たす (u, v, r) の組は1個以上である. とくに n 個の点 P_i が点対称のときは多数の組が存在する. また, 直線が最適のとき, 中心と半径が無限大となることが考えられる. これら解の存在については5章で言及する.

次に, 式(5)の幾何学的な形状について検討しよう. 式(5)は変数 u, v について値をもつ次式(7)のような関数と考えられる.

$$f(u, v) = \text{MIN}_{u, v \in R} (rm - rs) \quad (7)$$

$f(u, v)$ の最小値を求めることがミニマックス円近似である. 式(5)が最大値と最小値の差であるから, $f(u, v)$ が最小値をもつことは明らかである. 変数 (u, v) について式(5)の rm, rs を求めることは点 (u, v) から最遠点 P_m , 最近点 P_s を求めることで, その距離がそれぞれ rm, rs である.

仮に P_m と P_s を固定してただ一組のみを考える と, 図4のように, $rm - rs =$ 一定の軌跡は P_m, P_s

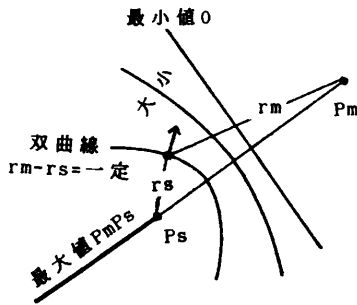


図4 ミニマックス円弧近似における曲面
Fig. 4 A curved surface in the minimax approximated circular arc.

を焦点とする双曲線となる。この双曲線を境として $rm - rs$ の大小領域が分かれる。 $rm - rs$ の変化の最大方向は双曲線の法線方向つまり楕円上である。 $rm - rs$ の最小値は0で、 Pm, Ps の垂直二等分線上にある。 $rm - rs$ の最大値は \overline{PmPs} で、 Ps から Pm の反対側に延びる半直線上にある。したがって、焦点の座標を $Pm(mx, my), Ps(sx, sy)$ とすると、この一組のみの曲面 $z = g(x, y)$ は式(8)である。

$$g(x, y) = \sqrt{(x - mx)^2 + (y - my)^2} - \sqrt{(x - sx)^2 + (y - sy)^2} \quad (8)$$

$g(x, y)$ の値の範囲は0から $\sqrt{(mx - sx)^2 + (my - sy)^2}$ で単調に増加し、この間を xy に平行な平面で切ると双曲線となる。 $g(x, y)$ の x, y の偏微分をそれぞれ $gx(x, y), gy(x, y)$ とすると、点 (u, v) における曲面 $g(x, y)$ の接平面の方程式は式(9)である。

$$z - g(x, y) = gx(u, v)(x - u) + gy(u, v)(y - v) \quad (9)$$

また、 $g(x, y)$ の最大傾斜方向の法線ベクトルは式(9)で外向き ($z=1$) として、式(10)をうる。

$$[-gx(u, v) \quad -gy(u, v) \quad 1] \quad (10)$$

ところが、点 (u, v) が変われば最遠点 Pm と最近点 Ps は変わり、図4のような曲面が多数互いに重なることになる。 $f(u, v)$ の最小値はこれら重なった曲面の最上部で最も低い値である。曲面が重なるところは交線(谷)となる。交線が交差し、いずれの交線も減少方向で交わるところがあれば極小値で最小値となりうる。曲面はすべて単調増加であるからそれらが交わったところは尖点となり極小値は広がりをもたない点となる。2つの曲面の重なり部分はそれぞれの接平面の交線を求めればよい。2平面の式を

$$\begin{aligned} Ax + By + z + D &= 0 \\ A'x + B'y + z + D &= 0 \end{aligned}$$

とすると、交線の $g(x, y)$ 下降方向のベクトル ($z = -1$) は $C = A'B - AB'$ とすると式(11)である。

$$[(B - B')/C \quad (A' - A)/C \quad -1] \quad (11)$$

以上の検討により、初期値 (u_0, v_0) から出発し、曲面上を最大傾斜線にそって下降し、他の曲面との交線近くにくると、交線にそって低い方へ移動し、極小値に到達する数値解法について提案する。この方法は連立1次方程式の数値解法において、最大傾斜法または最急降下法と呼ばれる方法と類似である。

4. ミニマックス円(弧)近似の数値解法

円の中心の初期値を (u_0, v_0) とし、その移動量を d 、許容誤差を $de (de \ll d)$ とする。

① $u = u_0, v = v_0$ とし、中心 (u, v) に対する最遠点 Pm 、最近点 Ps 、 $gp = g(u, v)$ 、接平面の法線ベクトル $[ap \quad bp \quad 1]$ を式(8)と式(10)により求める。

② $uu = u + d * ap / c, vv = v + d * bp / c (c = \sqrt{ap * ap + bp * bp})$ により曲面の最大傾斜線上 d 離れた中心 (uu, vv) を求める。 (uu, vv) に対する最遠点 Qm 、最近点 Qs 、 $gq = g(uu, vv)$ 、接平面の法線ベクトル $[aq \quad bq \quad 1]$ を求める。

Pm と Qm および Ps と Qs が同じならば、最大傾斜線を下降中で、 $u = uu, v = vv, ap = aq, bp = bq$ として②を繰り返す。

③ Pm と Qm か Ps と Qs いずれかが異なるならば、中心 (uu, vv) は2つの曲面の交線に近い。

2曲面の接平面の法線ベクトルは $[ap \quad bp \quad 1]$ と $[aq \quad bq \quad 1]$ であるから、式(11)より交線のベクトル $[al \quad bl \quad -1]$ を求める。

$uu = u + d * al / c, vv = v + d * bl / c (c = \sqrt{al * al + bl * bl})$ により接平面の交線上 d 離れた中心 (uu, vv) を求める。 (uu, vv) に対する最遠点 Lm 、最近点 Ls 、 $gl = g(uu, vv)$ 、接平面の法線ベクトル $[al \quad bl \quad 1]$ を求める。

$u = uu, v = vv, ap = al, bp = bl$ として、 $gq > gl$ ならば交線上をさらに下降できるので②を繰り返す。

④ $gq < gl$ ならば極小値に近いので、さらに微小領域を調べるために、 $d = d/2$ とし、 $d > de$ ならば②を繰り返す。

⑤ $d < de$ ならば中心 (u, v) は極小値に十分近い。中心 (u, v) を解とし $(rm + rs)/2$ を半径とす

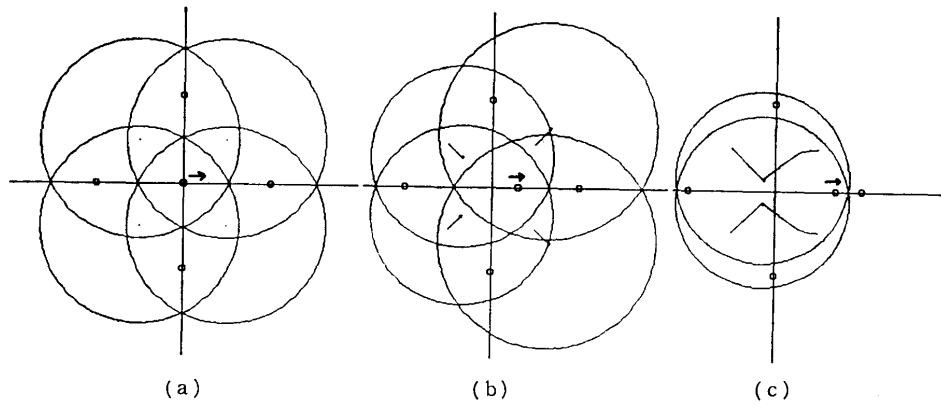


図 5 例 1: 正 n 多角形 ($n=4$) の頂点と 1 点
 Fig. 5 Example 1: n vertices of a regular polygon and a point.

る。

以上の数値解法は初期値として中心の座標を与え、極小値を求めるために、初期値近傍の極小値しか求められない。しかし、円の中心領域をあらかじめ指定する問題では効率のよい解法である。最小値を求めるためには次の問題点を考える必要がある。

5. ミニマックス円(弧)近似の問題点

ミニマックス円近似の例を取り上げ、極小値の存在範囲などを検討する。

(1) 正 n 角形の n 個の頂点と中央に 1 個の点の合計 $n+1$ 個の点の図形について近似する。図 5 では、正方形 ($n=4$) について示す。この場合、同図 (a) のように 4 個の辺の中点に中心をもつ 4 個の円が近似円となり、すべて同じ最小誤差をもつ。

次に、中央点を頂点の 1 つに近付ける。たとえば、中央点を x 軸正方向に動かして頂点に近付けると、同図 (b) のように上下は対称のまま次のようになる。左側の近似円は半径が小さくなり最小誤差をもち、右側は半径が大きくなりその中心が極小値となる。右側の近似円については、極小点から変曲部が変わるため消滅し、やがて同図 (c) のように左側の近似円だけの 2 個となる。左側の最小値をもつ近似円は中心に近付き、中央点が頂点に重なると、すべて 1 個の近似円に重なる。正 n 角形の頂点の近似円は頂点を通る円であり誤差は 0 である。

したがって、図 5 のような $n+1$ 個の点の近似では、極小値の存在する領

域は限定されるが、1 から n 個の極小値つまり近似円が存在する。

(2) 次に 6 点の点対称の図形を取り上げ図 6 に示す。ただし、点 2 と点 4 の距離を $2a$ 、点 1 と点 2 の距離を $a/4$ とする。同図 (a) のように始めは点 2 と点 3、また点 4 と点 5 は重なるものとして近似すると、中心は中央で半径約 $1.06a$ の近似円があり、誤差は最小で約 $0.06a$ である。次に点 3, 5 を中央に向かって対称的に近付けると、近似円の中心はそのまま半径が小さくなり誤差が大きくなる。点 3, 5 と中心との距離が $2/3a$ (同図 (b)) となると、近似円の半径は約 $0.89a$ で誤差は約 $0.22a$ となる。さらに、中央に近付くと極小値は上昇する。中央に重なるとその部分は鞍部となり、極小値は存在しないので、もはや円は求まらない。

一方、上の 6 点を線分近似すると、点 3, 5 の位置に関係なく誤差約 $0.22a$ となり、無限遠方に中心をもつ円が常に存在することになる。点 3, 5 が動く

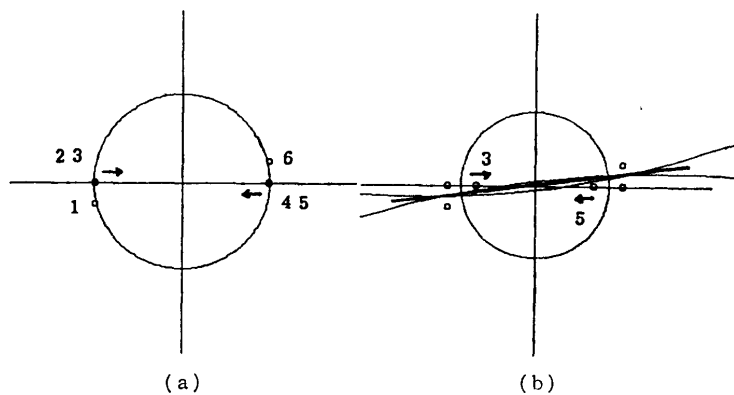


図 6 例 2: 点対称図形
 Fig. 6 Example 2: Figures in point symmetry.

き $2/3a$ を境界として、外側では中央に中心をもつ円が、内側では無限遠方に中心をもつ円が最小誤差となる。したがって、初期値を大きくすると式(5)の近似解法では発散するか、近似線分の垂直二等分線上の遠方に中心が求まり、半径の大きな円弧となる。

(3) 図7のような5点において、中央の点5を上を移動する。始めは線分近似(同図(a))が誤差0であるが、やがて円弧近似(同図(b))の誤差が最小となる。

点5が上に進むにつれて極小値は無限下方から上昇し、5点を頂点とする多角形の内部に中心をもつようになる。一方、無限上方にも極小値があるが、徐々に大きくなり5点の内部に中心が入るようになると消えてしまう。つまり、極小値の存在範囲は限定できない。

これらの例から、ミニマックス円弧近似では、

- ① 極小値が唯一でない、
- ② 極小値の存在範囲が限定できない、
- ③ 線分近似が最適解となることがある、

ことが実例により明確となる。したがって、4の解法手順そのままに最小値を求めることは実用的でない。円弧近似と線分近似とは密接な関係にあり、例(2)のように点の並び方により、半径の大きい円では線分近似が最適解となる場合がある。つまり、遠方に中心がある円弧近似を求めても無意味となる。そこで、あらかじめ中心の存在範囲を限定するか、線分近似を先に求めて誤差の大きさを限定する必要がある。

6. 2線分近似と円弧近似

多数の点が与えられたとき、図8のように左半分の点について第1の線分近似を行い、その近似長方形の長さを $2l_1$ 、幅を e_1 とする。次に長方形の右端の点 P_2 を共有して右半分について、さらに第2の線分近似を行い、その近似長方形の長さを $2l_2$ 、幅を e_2 とする。

さて、これらの点をすべて集めてひとつの線分近似を行い、その近似長方形の長さを $2l$ 、幅を e とすると、ミニマックス線分近似の誤差非減少の性質から次式をうる。

$$e_1 < e, e_2 < e$$

第1の近似長方形に注目し、図9のようにA, B, C

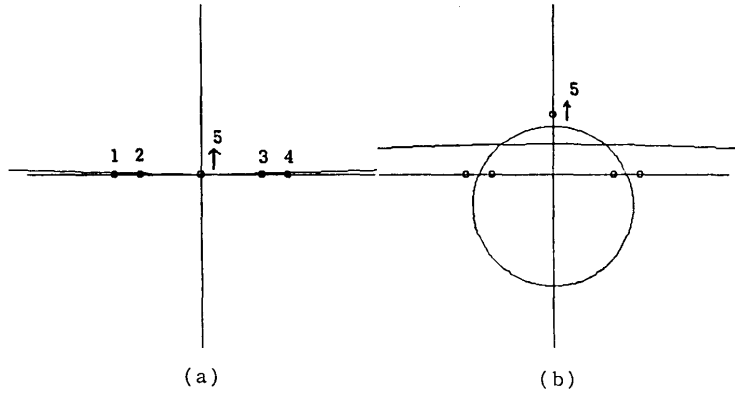


図7 例3: 線対称図形
Fig. 7 Example 3: Figures in line symmetry.

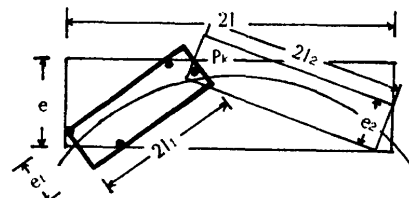


図8 2線分近似と円弧近似の関係
Fig. 8 The relation between two approximated segments and an approximated arc.

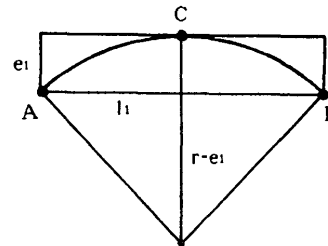


図9 近似長方形と円弧
Fig. 9 An approximated rectangular and an arc.

を通る円弧を考える。円の半径 r と l_1, e_1 との関係は

$$r^2 = l_1^2 + (r - e_1)^2 \text{ より } r = (l_1^2 + e_1^2) / (2e_1) \quad (12)$$

である。明らかに半径 r が次の条件式(13)

$$r > (l_1^2 + e_1^2) / (2e_1) \quad (13)$$

を満たすような円で、第1長方形内の点を円弧近似すると誤差 e_1 以下である。なぜならば、式(12)を満足する円弧が最大誤差 e_1 をもつことがあり、それより半径が大きい円弧は直線に近くなるので誤差は $e_1/2$ に近づく。

そこで、次式(14)のように e_1, e_2, e の関係が

$$e_1 < e/2 \text{ and } e_2 < e/2 \quad (14)$$

ならば、図8のような2線分近似の代わりに円弧近似を行うと、 $e/2$ より小さい誤差で近似できることになる。式(14)は全体の近似長方形の中に幅の狭い2個の

近似長方形が「く」の字形に入る条件である。

結局、式(13)と式(14)は線分近似よりも円弧近似がよいための粗い条件を与えている。

また、2線分近似の両端とその交点を $P_1(a_1, b_1)$, $P_3(a_3, b_3)$, $P_2(a_2, b_2)$ とすると3点を通る円の中心座標 (x, y) は

$$\begin{aligned} x &= (ab_1(b_2 - b_3) + ab_2(b_3 - b_1) + ab_3(b_1 - b_2)) / (2d) \\ y &= (ab_1(a_2 - a_3) + ab_2(a_3 - a_1) + ab_3(a_1 - a_2)) / (2d) \\ ab_1 &= a_1^2 + b_1^2, \quad ab_2 = a_2^2 + b_2^2, \quad ab_3 = a_3^2 + b_3^2 \\ d &= a_1b_2 + a_2b_3 + a_3b_1 - b_1a_2 - b_2a_3 - b_3a_1 \quad (15) \end{aligned}$$

であり、この値は円弧近似のよい初期値となる。つまり、4の解法手順において、式(15)を計算して、 $(u_0, v_0) = (x, y)$ とすればよい。

7. 実用的な円弧近似

点列を線分や円弧でつないで近似する理由は図形処理の高速化とデータ圧縮である。たとえば線分近似のみであれば折れ線近似であり、データ量は近似後の線分数に比例する。円弧であれば始点、終点と半径に右回りか左回りかの符号をつけたものがデータ量として最小で、2本の折れ線よりもデータ量は少ない。

円弧近似が可能であれば、数本の折れ線が1本の円弧で近似できるので、データ量の減少に役立つほか滑らかさが増大する。

このような分野では、中心の存在範囲を限定することが多く、領域を指定して極小値を求める。また図5のように中央付近に点がある図形を円弧近似することは少ない。実用的には、ある幅をもって散らばる点列を許容誤差内で近似し、線分か円弧でつなぐ。線分で近似できるところは線分で近似し、円弧らしいところは円弧で近似する。式(13)と式(14)の条件は特にこのような近似に適し、線分で近似しながら円弧部分を探すことができる。また、円弧近似の初期値は式(15)で与えられる。

したがって、まず、許容誤差 e で線分近似し、「く」の字形に折れるところでは式(12)の初期値で円弧近似を行う。誤差が e 以内であれば、 e を越えるまで円弧近似を延長する。円弧近似ができなくなれば、線分近似から繰り返す。なお、接続点における連続条件が問題となるが、本文では考えない。

8. あとがき

ミニマックス円弧近似を定義し、その数値解法を提案した。また、その特殊な例と問題点に言及し、ミニ

マックス円弧近似はミニマックス線分近似と密接な関係があることを示した。2線分近似を行うことにより、円弧近似が適する条件を考え、数値解法の初期値を求めた。

最近の図形表示装置は円弧の表示能力に優れているから、近似結果に円弧を含めることにより、データ量の減少、処理速度の高速化と滑らかな図形表示が期待できる。

さらに、楕円、2次曲線およびスプライン曲線などについても、数値解法を使えば、接線に直交する垂線長の最大を最小にする意味で、ミニマックス近似が可能である。しかし、パラメータが多くなること、接続点での連続条件が入ることがあり、今後の問題とする。

参 考 文 献

- 1) Kurozumi, Y. and Davis, W.: Polygonal Approximation by the Minimax Method, *CGIP*, Vol. 19, pp. 248-284 (1982).
- 2) Imai, H. and Iri, M.: Computational-Geometric Methods for Polygonal Approximation of a Curve, *CVGIP*, Vol. 36, pp. 31-41 (1986).
- 3) Pavlidis, T.: *Algorithms for Graphics and Image Processing*, pp. 293-294, Computer Science Press (1982).
- 4) Sampson, P.: Fitting Conic Sections to "Very Scattered" Data: An Iterative Refinement of the Bookstein Algorithm, *CGIP*, Vol. 18, pp. 97-108 (1982).
- 5) Landau, U.: Estimation of a Circular Arc Center and Its Radius, *CVGIP*, Vol. 38, pp. 317-326 (1987).
- 6) Thomas, S. and Chan, Y.: A Simple Approach for the Estimation of Circular Arc Center and Its Radius, *CVGIP*, Vol. 45, pp. 362-370 (1989).
- 7) 名倉: 手書き線図形の直線と円弧による近似, 信学論 (D), Vol. J65-D, No. 9, pp. 1145-1150 (1982).
- 8) Nakamura, A. and Aizawa, K.: Digital Circles, *CVGIP*, Vol. 26, pp. 242-255 (1984).
- 9) 山崎, 井村: 文字輪郭線の円弧と直線とによる近似, 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No. 4, pp. 726-732 (1985).
- 10) 森, 河田, 池上: 標準化処理による円の決定に関する検討, 情報処理学会論文誌, Vol. 30, No. 2, pp. 190-196 (1989).
- 11) 伊理ほか: 計算幾何学と地理情報処理, bit 9月号別冊, pp. 78-126, 共立出版 (1986).
- 12) Preparata, F. and Shamos, M.: *Computational Geometry*, pp. 89-178, Springer-Verlag (1985).

(昭和63年4月27日受付)

(平成元年9月12日採録)

**黒住 祥祐 (正会員)**

昭和 15 年生。昭和 38 年京都大学工学部数理工学科卒業。昭和 43 年同大学院修了。同年京都産業大学理学部講師，昭和 54 年同学部教授となり，現在京都産業大学工学部情報通信工学科教授。電子計算機の論理設計，マイクロプログラムなどの研究に従事。最近は，グラフィックス，画像処理，画像通信システムなどに興味をもっている。工学博士。著訳書：現代電子計算機ハードウェア，並列計算機，コンピュータ設計・製図など。
