

不連続な曲線画像を滑らかに補間するアルゴリズム An Algorithm for Smoothly Completion to Discontinuous Curves

池 亘平 本田郁二
Kohei IKE Ikuji HONDA

1. はじめに

二次元画像において欠損したエッジを精度良く補間することは、画像修復や超解像度処理など多くの研究に対して応用が期待される。過去このような研究では補間部分を直線で近似する考えが主であり、曲率を保持したまま滑らかに補間するような手法は少ない。そこで本稿では、実画像におけるエッジの滑らかな曲線補間を最終目標とし、その前段階として、一部欠損した二値曲線デジタル画像において、曲線をその端点から自然な形で延長し他の端点と連結させることによって滑らかな補間を行うアルゴリズムを提案する。

2. 円弧当てはめによる接線情報の計算

局部的に接線情報を計算する手法として、ハフ変換を用いた円弧当てはめによる接線情報抽出法[1]を用いる。接線情報とは接線の傾きの角度 θ ($0^\circ \leq \theta < 180^\circ$) のことである。まず接線情報の導出式を示し、次に具体的な処理手順を記述する。

2.1 接線情報の導出式

今、接線情報を計算する注目画素の中心を原点(0,0)と考えると、これを通る円の方程式は、

$$x^2 + y^2 - 2gx - 2fy = 0 \quad (1)$$

で表せる。円の中心は (g, f) である。このとき、注目画素における接線情報 θ は、式(1)を微分して

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = -\frac{g}{f} \quad (2)$$

と計算できる($x=y=0$)。従って、この円が注目画素の他に2点 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) を通るとすると、式(1)を連立させて式(2)に代入することで、

$$\theta = \arctan \frac{(x_2^2 + y_2^2)y_1 - (x_1^2 + y_1^2)y_2}{(x_2^2 + y_2^2)x_1 - (x_1^2 + y_1^2)x_2} \quad (3)$$

を得る。この式を用いると、以下に示したハフ変換的な手順によって、注目画素位置での接線情報を安定に求めることが可能となる。

2.2 処理手順

(手順1) 曲線上の注目点 $E(0,0)$ を中心とする適当なサイズの正方形窓を考える。窓内に含まれる E を除いた曲線点の集合を $\{P_i(x_i, y_i)\}$ とする。また、投票空間として、角度 θ の空間 $[0^\circ, 180^\circ)$ を適当な幅 $\Delta\theta$ で量子化した1次元配列を用意する。

(手順2) $\{P_i\}$ から2点 P_j, P_k を選び、画素 E, P_j, P_k をすべて通る円を考える。この円の E における接線方向は式(1)から求められるが、各画素は面であり広がりをもっている

ので、ここでは3点を通る可能性のある円として、図1に示したものを考えることにする。すなわち、画素 P_j, P_k の四隅の点をそれぞれ P_{jm}, P_{kn} ($m, n=1, 2, 3, 4$) とし、3点 E, P_{jm}, P_{kn} を通る円(計16通り)に対し、式(1)によって接線方向 θ_{mn} を求める。それら16個の θ_{mn} の最小値を θ_1 、最大値を θ_2 とするとき、 $\theta_1 \sim \theta_2$ の範囲に対応する配列セルすべてに値1を加える(これを投票と呼ぶ)。

(手順3) (P_j, P_k) の可能なすべての組み合わせに対して投票を行い、角度 θ の投票空間において最大投票値を持つセルに対応する角度 θ を注目点 E での接線情報とする。なお、投票空間で最大投票値が連続して並ぶ場合は、それらの中央に位置するセルを θ として選ぶものとする。

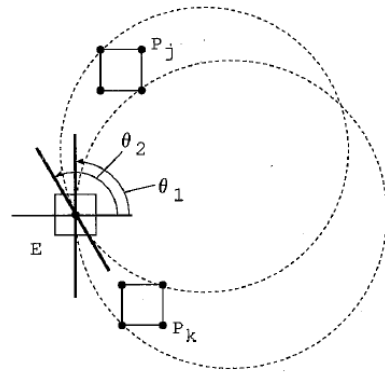


図1 画素の広がり考慮した投票

3. ポテンシャル場の構成

各画素における曲線存在確率(ポテンシャルと呼ぶ)を計算し、場として構成する。[2]の手法を元に一部改良を加える。

3.1 傾きの影響とその分布

注目画素 A の中心と元曲線上の画素 P の中心をそれぞれ通り、点 P において2.2で計算した接線情報と同一の接線を持つような円は一つに定まる。この円の点 A における接線情報を、「点 P が点 A に与える傾きの影響」と呼ぶことにする。

点 P を元曲線に沿って移動させ、徐々に傾きの影響を

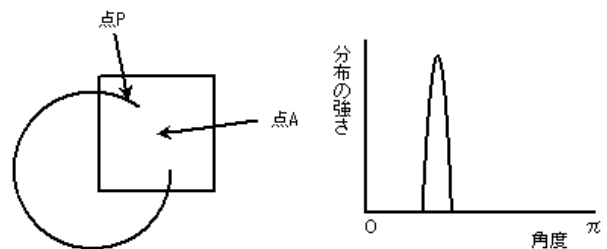


図2 傾きの影響の分布

計算して投票空間 θ ($0^\circ \leq \theta < 180^\circ$) に値 $1/r$ を投票していく。ここで r は AP 間の距離である。これによって注目点に近い部分ほど与える影響が大きくなる。最終的に得られた θ を「傾きの影響の分布」とする(図 2)。この分布が一点に集中していればいるほど、ポテンシャル値が大きいと考えられる。

3.2 ポテンシャル値の計算

傾きの分布の集中度を表す値として分散が挙げられる。また、分布の総和に対する最大値の割合もまた集中度を表すと考えられる。さらに、分布の最大値が大きければ一点に高いピークがあるとみなせる。これら 3 つを掛け合わせた値をポテンシャル値と定義する。

3.3 ポテンシャル値の重ね合わせ

対象画像に複数の元曲線が存在する場合、それらすべてを一括してポテンシャルの計算を行うと殆どの点で傾きの分布が散漫になってしまい期待した結果が得られないことがある。そこで、一旦それぞれの元曲線をラベリング処理により分割し、別個の画像として別々にポテンシャル値を計算した上で重ね合わせ最終結果とする。

4 補間曲線の抽出

[3]に記載された手法を元に一部を改良し、構成したポテンシャル場から滑らかな補間曲線を抽出する。

4.1 ポテンシャル場の追跡

まず元曲線上の任意の端点を注目点とする。周囲八近傍を探索し、ポテンシャル値が最も大きかった点に注目点を移動する。次に、移動した方向のベクトルから左右 45° の範囲に存在する三近傍についてポテンシャル値を調べ、最大の点に移動する(この際後述する重みづけを行う)。このように移動をくり返し、他の端点にたどり着いたらその軌跡を補間曲線として確定する。端点でない元曲線点やすでに通った点へ移動した場合も同様にする。すべての端点についてこの操作を行う。

4.2 端点の影響を考慮した重みづけ

出発した端点から一番近い端点を到達すべき端点と決める。場の追跡中、現在の注目点と到達端点を結ぶベクトルを考え、それと次に移動する候補の方向のベクトルとが成す角度を θ_n ($n=1, 2, 3$) とする(図 3)。そして、

$$(|\cos \theta_n| + a) / (1 + a) \quad (4)$$

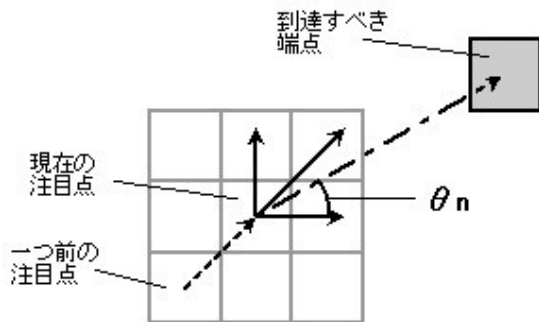


図 3 ポテンシャル場の追跡

を移動候補点のポテンシャル値に乗算した上で、それら 3 つのポテンシャル値を比べる。ここで a は重みづけの度合いを決定するパラメータであり、大きいほど重みづけ効果は弱くなる。

5 実験結果

本手法を実際の画像に適用した結果を図 4 に示す。ポテンシャル値は 0~255 に正規化し、輝度として表示した。左が 95×95 、右が 188×178 。(4)式の a は左が 100、右が 5。円弧に対しては大きな欠損部も精度良く補間することができた。また、いくつかの小さな欠損の存在する輪郭線画像に対しても自然な補間を行うことが示された。

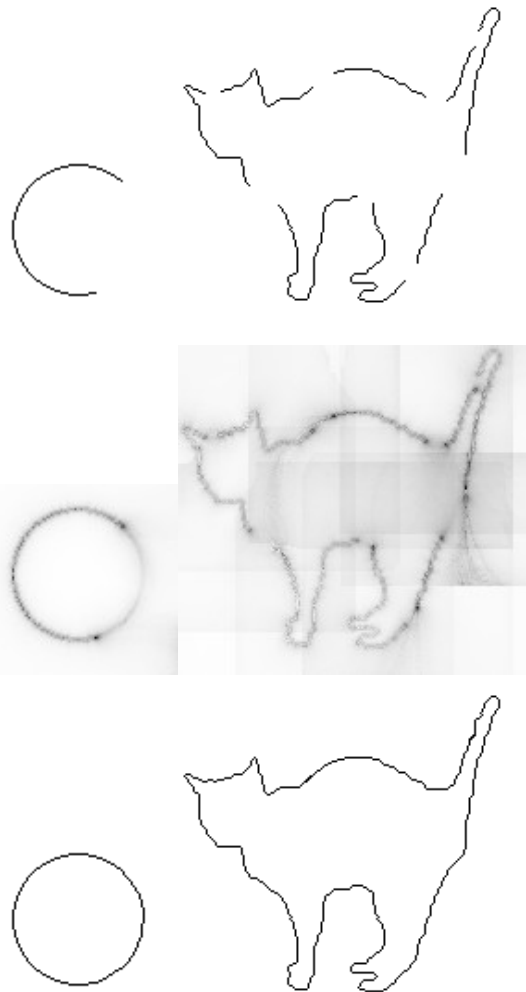


図 4 結果画像(上から入力、ポテンシャル場、結果)

参考文献

- [1] 木村 彰男, 渡辺 孝志, “アフィン変換に不変な任意図形検出方として拡張された一般的ハフ変換”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J 84-D-II, No.5 (2001).
- [2] 中村 亜希子, 斎藤 豪, 中村 正之 “セルアニメーションのための曖昧輪郭線に対する塗りつぶし領域の推定のための場の検討”, 情報処理学会全国大会, Vol.3R-7, No.265-266 (2003).
- [3] 廣瀬 修, 長尾 智晴, “誘導図形を滑らかに接続する主観的輪郭線のモデル”, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.10, pp. 1496-1503 (2007).