

# 線の延長可能性を表す場を用いた不連続な輪郭線の延長法

岡本 穂<sup>1</sup>    齋藤 豪<sup>2</sup>    高橋 裕樹<sup>2</sup>    中嶋 正之<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学 工学部

<sup>2</sup> 東京工業大学 大学院 情報理工学研究科

<sup>3</sup> 国立情報学研究所

## 1 はじめに

現在主流となっている二次元セルアニメーションでは、白黒の二値画像や、グレースケール画像等の線画に対して、連続した線で囲まれた領域を同じ色で様に塗りつぶしている。一方、近年、不連続な輪郭線で構成された線画に対して、濃淡をつけた色を付加するような新しい表現も用いられるようになっている。しかしその際、彩色を補助する連続した輪郭線が、人手によって別に用意する必要がある。したがって、不連続な輪郭線に対しての彩色は、ほとんど自動化されていないといえる。

そこで、本稿では不連続な輪郭線で構成されたグレースケール画像に対して、線が延長される可能性を表す場を構成し、曲率を維持しながら不連続部分の線を延長する手法を提案する。構成した場から不連続部分の輪郭線を抽出することにより、途切れた輪郭線を補間することを目標とする。これにより、色を塗る領域を特定することも可能になる。この結果、セルアニメーションの製作過程の一部において自動的に処理が可能部分が增加し、作業効率が改善されることが考えられる。

## 2 関連研究

本稿では、既報の塗りつぶし領域推定のための場を構成する手法 [1] を改良および拡張する。これは、任意のピクセルについて、周囲の一定範囲（フィルタサイズ）内のピクセルが持つ主成分分析により求めた接線方向の情報から投票を行い構成する、延長される可能性が高いピクセルほど大きい値をとるような場である。今回、新たに不連続な線の端点の位置情報を付与し、接続し合う端点の組み合わせを求める処理を加える。さらに、場から線を抽出する処理を追加し、輪郭線の不連続部分の補間を、[1] では場であるのに対して本稿では線として求める。

snakes[2] は輪郭抽出法の一つで、輪郭形状の滑らかさや画像中の物体のエッジ情報を基に、曲線を変形さ

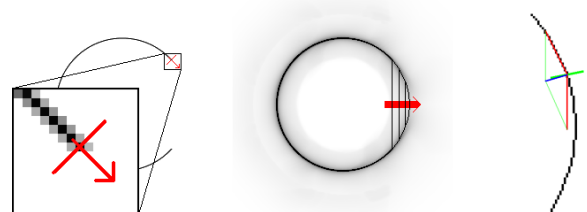
せて対象物体の輪郭を決定する手法である。曲線の一次微分や二次微分を用いて定義される輪郭形状の滑らかさを表す内部エネルギーと、一般的に画像物体のエッジ勾配を用いて定義される画像エネルギーとの平衡状態を繰り返し処理によって求める。snakesの手法に沿って本稿では、[1] の場合は根本的にエッジらしさを表す場と言えることから、画像エネルギーとして用い、延長線の滑らかさを定義し滑らかな延長線を生成する。

## 3 端点情報の導出

本稿では、線画像から線が延長される可能性を表す場を構成し、そして構成した場を用いて線を延長する。その準備段階として、線上の各ピクセルにおける接線方向を求める。さらに、線の途切れている部分に相当する端点の位置を全て指定する。これは、不連続な線が与えられたとき、線が途切れている端点部分が線の延長の開始点となることが多いためである。

線の途切れている部分に当たる全ての端点の位置は、画像中の座標として指定する。そして、端点の周囲数ピクセル内にあるピクセルの接線方向を端点自身のもも含め、輝度や端点からの距離で重み付けして平均し、端点に関する接線方向とする。さらに、同範囲内の各ピクセルが、平均して求めた接線方向のどちら側に集中しているかを調べ、ピクセルの輝度の合計が大きい方向は線があると方向とし、小さい方向は線が途切れている方向とする (図 1(a))。線の延長は、この線が途切れている方向に向かって行う。

任意の端点に関して、他端点との距離や、途切れている方向と他端点の存在する方向とのなす角から、他端点との接続の可能性を計算する。この結果、互いに最も高い可能性を持つ端点同士を接続し合う端点の組とする。ここで、接続し合う端点の組とは、線を延長したときに互いに始点と終点となる二端点のことで、線



(a) 端点の方向 (b) 場による移動 (c) 滑らかさの定義

図 1: 手法に関する図

Extension method for discontinuous profile line using a field where extension possibility is reflected

Yasuki OKAMOTO<sup>1</sup>, Suguru SAITO<sup>2</sup>,  
Hiroki TAKAHASHI<sup>2</sup>, and Masayuki NAKAJIMA<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>2</sup>Graduate School of Information Science & Engineering,  
Tokyo Institute of Technology

<sup>3</sup>National Institute of Informatics

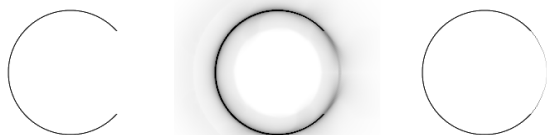
の延長の結果、二つの端点は同一の線上に存在することになる。また、最も高い可能性を持つ端点同士でも、著しく可能性の低い場合や、二端点の間をすでに線が横断しているような場合などは、接続し合う端点の組とはしない。

#### 4 延長可能性場の構成と線の延長

線の不連続部分に対する延長の可能性を表す場は、[1]と同様の手法で構成する。前述の通り、接続し合う端点の組がすでに設定されているので、今回新たに、端点ごとに延長法を考慮した場を作成するよう改良し、場の精度向上を図る。

フィルタサイズを輪郭線の不連続部分の距離とし、二つの端点それぞれの周囲でフィルタサイズ内に存在する線のうち、端点を含む線を取り出した画像を生成する。したがって、二本の線だけが存在することになり、投票は切り出した画像の線上のピクセルから行われる。このとき延長可能性を求めるのは、両端点のどちらかからの距離がフィルタサイズ以下の範囲内に存在するピクセルについてのみである。

続いて、構成した延長可能性場から輪郭線の不連続部分において、どのピクセルが延長線を構成するピクセルとなるかを求めることで、線の延長を行う。接続し合う端点の組の場合、二端点を結ぶ線を経路と呼ぶことにし、二端点を結んだ直線を初期の経路とする。まず、両端点に隣接するピクセルから順に経路の中央部に向かって、経路上の各ピクセルについて、投票により得られた接線方向に対して垂直方向にあるピクセルと延長可能性の高低を比較し、高ければそのピクセルを垂直方向へ移動する。端点に近いほど延長可能性は高くなり信頼性も高いため、両端点から移動を行い、中央付近で合流した時点で移動を終了する(図1(b))。そして、移動した経路上の各ピクセルに対して滑らかさを計算し、接線方向と垂直な方向へ経路を移動させて滑らかさが上昇する場合には移動を行う。ここで滑らかさは経路の形状により求める。経路上の任意のピクセルについて、それ以外の経路上のピクセルをどちらの端点の側かで二分し、注目ピクセルからそれぞれの各ピクセルへの方向ベクトルを距離が大きいほど影響が小さくなるように重み付けして平均する。こうして得られた二つの方向ベクトルの和は経路の二次微分に相当し、各点の滑らかさの指標とする。図1(c)のような経路があった場合、注目ピクセルの上側と下側とで二分し方向ベクトルを平均する。この滑らかさを経路上の付近の点と比較することによって移動を行う。パ



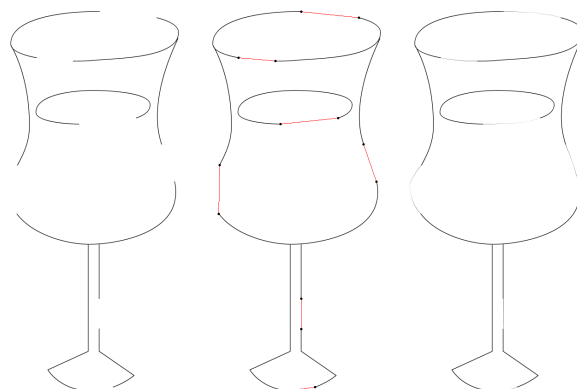
(a) 入力線画像 (b) 延長可能性場 (c) 接続結果  
図 2: 途切れた円弧に対する適用

ラメータとして、滑らかさによる移動を大きくするとより滑らかになり、小さくすると場をより反映した線が抽出される。このように、全ての端点の組について、延長可能性場の構成と二端点を接続する線を求める処理を行う。

#### 5 線の延長結果

円弧は、延長可能性場の構成の原理上、最も精度良く場の構成が行われる理想的な入力画像の一つである。図2(a)に示す半径75の円弧に対して、線と端点の情報から構成した延長可能性場が図2(b)、途切れた端点同士を接続した結果が図2(c)である。

また、より現実的な非均一曲率画像を入力画像として、サイズが438×940である図3(a)に適用する。図3(a)には全部で14の端点があり、これらは全て他の端点と組を成して接続し合う。上述の方法で組を求め、直線で結んだのが図3(b)である。図3(a)に対しての図3(b)の七つの端点の組について、それぞれ延長可能性場を構成し接続を行った結果が、図3(c)である。図3(c)を図3(b)と比較したとき、輪郭線の不連続部分が滑らかに接続されており、単に直線でつなぐのに対して明らかに違和感がない。



(a) 入力線画像 (b) 接続する端点の組 (c) 接続結果  
図 3: 実際の線画像に対する適用

#### 6 まとめ

接続し合う組を成さない端点については、延長可能性場の構成および線の延長は同様の方法で行える。しかし、この場合は延長の終点が最初から決まっていないので、延長の度合いを決定しなければならない。

また、写真等のエッジ画像に対しても適用する予定である。これにより、画像中で途切れてしまったエッジの補完が可能になると考えている。

#### 参考文献

- [1] 中村 亜希子, 齋藤 豪, 中嶋 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, 3R-7, p.265-266, 2003.
- [2] M. Kass, A. Witkin, D. Terpolous: “Snakes: Active contour models”, Int. J. Comput. Vision., vol.1, no.3, pp.321-331, 1988.