

動的輪郭モデルを用いた骨格の運動解析

守田 了 高田 博彰

山口大学工学部

宇部市常盤台 2557

morita@cs.csse.yamaguchi-u.ac.jp

伝搬速度が各所で一定な火の伝搬モデルが骨格抽出に用いられている。このモデルによる骨格抽出では骨格の分岐点が多く現われるため、運動の追跡や照合が困難である。本研究では火炎面の曲率が一定になるよう伝搬し、最終的に火の伝搬速度が一定になる伝搬のモデルを提案し、骨格抽出に利用する。閉領域では一点で鎮火するため、骨格は複雑な分岐を持たない。そのため骨格の運動の照合が容易に行える。動的輪郭モデルを用いて雑音のある画像からの物体の抽出や、画像間を補う物体の動きの抽出が可能である。実際に2枚の画像から画像間を補う骨格の運動を抽出することによって有効性を示す。

キーワード 動的輪郭モデル 骨格, 運動解析

Motion Analysis of Skeleton Using Active Contour Model

Satoru MORITA and Hiroaki TAKATA

Faculty of Engineering, Yamaguchi University

2557 Tokiwadai, Ube, 755, Japan

Abstract

The model that the propagation velocity of fire is constant is used to extract skeleton. In this method, it is difficult to match and track motion because the complex skeleton is derived. In this study, we proposed the model that the curvature of the fire surface is constant, and the velocity of fire become to be constant finally. In closed region, as fire vanished at a point, the shape description do not have the complex bifurcation. So it is easy to match the motion of skeleton. The extracting of object from noisy image using active contour which has tracking facility and the feature description based on skeleton are realized. We show efficiency of this model by computing the motion of the skeleton between two images.

keyword: Snakes, Active Contour Model, Skeleton, Motion Analysis

1 はじめに

骨格を持つ動物の認識において、動物の動きに不変な骨格の構造を抽出することと、骨格の動きから動物の動きが認識できることが重要である。そのため骨格の抽出はコンピュータビジョンの重要な課題の1つになっている。

図形の境界から内部に向かって伝搬する火のモデルに基づいて骨格は考案されている [1]。距離変換は火炎面の到達時間を距離値とする変換であり、骨格は火炎面がぶつかり鎮火する点の集合である。距離変換は図形の幅の情報の抽出、形状の抽出などに利用できる。一方距離変換された画像中で値が極大になる点の集合が骨格になり、骨格は図形の中心部分に位置する線状の集合となる。距離変換に基づく骨格を抽出するために、細線化に基づく繰り返しの手続きを用いて求める方法 [4] や、多角形近似に基づき解析的に解く方法 [5] が提案されている。骨格の連結性が保存されなかったり、多角形近似はしばしば十分でない。また距離変換により計算された位置エネルギーをもとに最小化過程を用いて骨格を抽出する手法が提案されている [7]。ここで得られる骨格は、ほぼ距離変換と同等の骨格が得られる。距離変換で得られる骨格は枝が複雑なため動きの解析が困難である。

時系列画像中の物体を追跡するために Active Tube が提案されている [8]。他方我々は動的輪郭モデルを用いて限られた柔らかい物体の画像から動きを補う中割り画像を生成する手法を提案している。このように動的輪郭モデルは時系列の解析に有効なツールである。

本研究では動的輪郭モデルを用いて、物体の動きを補いつつ、骨格の運動を測定する手法を提案する。一般に距離変換で行われている各部で一定の速度を持つ火の伝搬のモデルではなく、火炎面の曲率が一定になるよう火が伝搬し、最終的に一定の速度に収束する火の伝搬のモデルを用いた骨格抽出手法を提案する。この火の伝搬のモデルを動的輪郭モデルを用いてシミュレートする。閉領域では火炎は最終的に1点に集まるため、骨格は複雑な分岐を持たない。そのため、骨格の運動の照合が容易に行える。

骨格の運動を骨格の長さや向きと時間で表される3次元空間にプロットし、データベース上の運動と照合する。骨格抽出と同様に画像間を補う動きの生成にも、動的輪郭モデルが用いられているため設計が容易である。

2. では火炎面の曲率が一定になるよう伝搬する火の伝搬を動的輪郭モデルを用いてシミュレートする手法について述べる。3. では限られた画像から連続的に複雑な分岐点を持たない骨格を抽出する手法について述べる。

4. では得られた骨格から運動を解析する手法について述べる。実際に画像から骨格の動きを抽出し有効性を述べる。

2 動的輪郭モデルによる骨格の抽出

2.1 動きを伴う形状の記述に必要な条件

動きを伴う形状の記述に必要な条件を以下にあげる。

1. 雑音のある画像から形状の抽出が可能であること。
2. 限られた観測で形状の連続した変形が観測できること。
3. 変形する形状や動きの照合が容易であること。
4. 形状の記述に多くを要しないこと。

1. 2. の条件を満足するために、雑音のある画像中の形状抽出に適し、変形する物体の追跡に適した動的輪郭モデルを用いる。本研究では形状を追跡しつつ、形状の連続的変形を同時に記述できることを目標とする。3. 4. の条件を満足するために複雑な分岐情報を含まずに、変形情報を損なわない骨格記述を提案する。

2.2 動的輪郭モデル

動的輪郭モデルはエネルギー最小化原理に基づいた輪郭抽出のモデルであり、濃度値やエッジなどの画像の特徴を表すエネルギー関数により制御される変形可能なスプライン曲線である。弧の長さを媒介変数 s とする動的輪郭の座標は $v(s) = (x(s), y(s)) (0 < s < 1)$ と表される。動的輪郭 $v(s)$ は (1) 式で定義されるエネルギー関数を最小化することにより決定される。

$$E_{snake}(v(s)) = \int \{E_{int}(v(s)) + E_{image}(v(s)) + E_{con}(v(s))\} ds \quad (1)$$

ここで $E_{int}(v(s))$ は内部エネルギーと呼ばれ、動的輪郭モデルの形状の滑らかさを拘束するエネルギーであり、次式のスプラインエネルギーを用いる。

$$E_{int}(v(s)) = \frac{1}{2} \{ \omega_1(s) |v_s(s)|^2 + \omega_2(s) |v_{ss}(s)|^2 \} \quad (2)$$

ただし、 $v_s = \frac{dv(s)}{ds}$ 、 $v_{ss} = \frac{d^2v(s)}{ds^2}$ であり、 $\omega_1(s)$ 、 $\omega_2(s)$ は重み係数である。

$E_{image}(v(s))$ は画像エネルギーと呼ばれ、エッジの画像の特徴を表すエネルギーである。

$$E_{image}(v(s)) = \mu g z(v(s)) \quad (3)$$

(3) 式は古典的な重力ポテンシャルエネルギー方程式から得られる。 g は重力加速度、 μ は質量、 $z(v(s))$ は高さを表している。本研究では $z(v(s))$ は輪郭上の位置 $v(s)$ における画像の濃淡値を表している。(3) 式は画像の表面上にある動的輪郭が重力の影響を受けながら安定状態になるまで移動することを模倣している。 $z(v(s))$ が画像の濃淡値を表しているため、動的輪郭は画像エネルギーを最小化することでエッジに張りつくように変形する。

$E_{con}(v(s))$ は外部からの人工的な強制力であり適宜決定される。膨張・圧縮の制御はこの項によって制御される。

$$\frac{\partial E_{con}(v(s))}{\partial v} = \gamma n(s) \quad (4)$$

$n(s)$ は点 $v(s)$ における単位法線ベクトルであり、 γ の設定により収縮膨張が制御される。

実験では $g=1.0$ を一定におき、パラメータ μ, γ は経験的に対象に収束しやすい $\mu = 0.3, \gamma = 0.15$ を選んでいる。

動的輪郭モデルは本来動きのなめらかさを制約として持っているため、動的輪郭モデルの収束過程における軌跡を利用して2枚の画像間を補う物体の動きを生成する。しかし、輪郭の収束における軌跡を画像間を補間する物体の動きとして利用するためには、収束時間を制御できる必要がある。輪郭の収束時間の制御のためには一般に輪郭の柔らかさの制御ができる必要がある。(2) 式における $\omega_1(s), \omega_2(s)$ は収束過程における輪郭の柔らかさを制御するパラメータであることが知られている。(2) 式における右辺第1項の条件 $\omega_1(v)|v_s(s)|^2$ は伸ばすことに抵抗がある動的輪郭モデルを作り、右辺第2項の条件 $\omega_2(s)|v_{ss}(s)|^2$ は曲げることに抵抗があるような動的輪郭モデルを作る。それぞれ、 ω_1, ω_2 はその度合を表すので、動的輪郭モデルの張力の調整、剛度の調整を決める。そのため $\omega_1(s), \omega_2(s)$ はそれぞれ動的輪郭モデルの薄膜の性質、薄板の性質を持つ。

2.3 火炎面の曲率が一定になるよう伝搬する火の伝搬シミュレーション

骨格は図形の境界から内部に向かって火を伝搬させるモデルに基づいている。草がなくなり火炎面が衝突し鎮火した点の集合が骨格と定義される。一般に火の伝搬速度を各部で一定とすると距離変換による骨格が得られる。それに対し、本研究では火炎面の曲率が一定にな

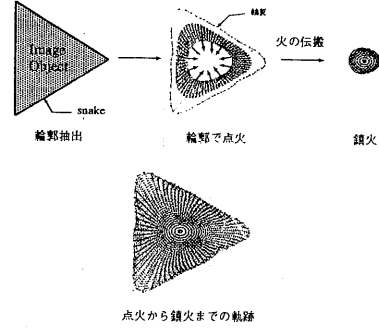


図1: 火炎面の曲率が一定になるように伝搬する火の伝搬シミュレーション

るよう火が伝搬し、最終的に速度が一定になる火の伝搬のモデルをシミュレートする。このモデルを画像エネルギーをゼロとし、外部エネルギーと内部エネルギーのみを用いた動的輪郭モデルを用いてシミュレートする。

$t = 0$ で物体をかたどっている動的輪郭モデルは E_{image} を画像の各点で0に変えることによって、形状が滑らかになりながら次第に収縮し一点に集まる。輪郭のパラメータは $\omega_1(s) = 0.3, \omega_2(s) = 0.9$ のように滑らかさの制約を強めに設定する。動的輪郭 $v(s)$ は(1)式で定義されるエネルギー関数を最小化することにより決定される。最終的に火炎面は円を描き、1点で鎮火する。図1は火炎面の曲率が一定になるよう伝搬する火の伝搬シミュレーションを表している。

3 骨格の運動の抽出

火炎面の曲率が一定なるよう伝搬する火の伝搬のモデルを用いて骨格の特徴を抽出する。特徴点の集合を物体をかたどった輪郭モデルの曲率が局所極大の点とする。輪郭の収縮過程における特徴点の軌跡が骨格になる。輪郭が収縮するのに要する時間を en とすると、骨格の長さと同じ向きは以下のように計算される。

$$distance = \frac{\sum_{i=0}^{en} \sqrt{(sx(t, i) - sx(t-1, i))^2 + (sy(t, i) - sy(t-1, i))^2}}{1} \quad (1)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{A \cdot B}{|A||B|} \right) \quad (2)$$

但し、 $A = (sx(en-1, i) - sx(en, i), sy(en-1, i) - sy(en, i))$, $B = (sx(en-1, i+1) - sx(en, i+1), sy(en-1, i+1) - sy(en, i+1))$ とする。但し動的輪郭は1点

に収束するため、以下の関係式が成り立つ。 $sx(en, i) = sx(en, i + 1)$, $sy(en, i) = sy(en, i + 1)$

2枚の画像から画像間を補う骨格の動きを抽出する手法について述べる。処理は図2に示すように、大きく3つに分けられる。処理2は[9]に従い、動的輪郭モデルの柔らかさのパラメータを抽出し、時系列間を滑らかに補間する輪郭を生成する。

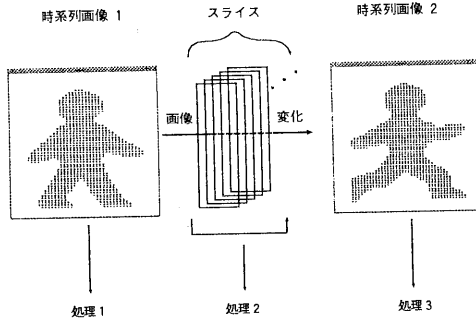


図 2: 抽出の流れ

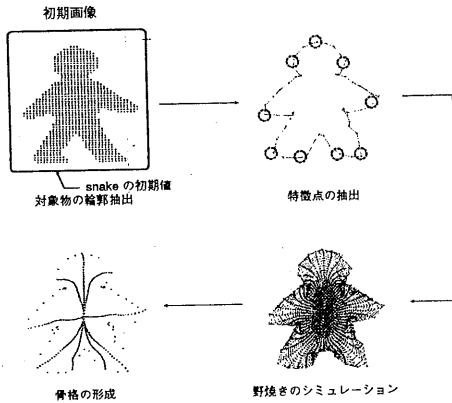


図 3: 処理 1 の流れ

- 初期画像 (図 3)
 - (a) 対象物体の輪郭抽出
 - (b) 特徴点の抽出
 - (c) 野焼きシミュレーション
 - (d) 骨格抽出
 - (e) 各骨格の長さ、骨格間の角度の測定

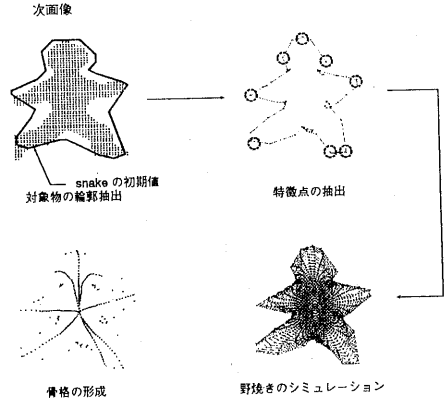


図 4: 処理 3 の流れ

- 画像間の抽出 ([9])
 - 求められた柔らかさに基づく輪郭のスライスの生成
 - (b)-(e)を行う
- 次画像 (図 4)
 - 対象物体の輪郭抽出
 - (b)-(e)を行う

4 骨格の運動解析

4.1 変形可能な骨格

三角形から四角形に変形する場合、三角形は骨格が3本で四角形は骨格が4本であるため、骨格の数は3本から4本に増える。このように形状が大きく変形する場合、骨格の数の増減がおこる。1本の骨格はしだいに2本3本ないし4本の骨格に分かれ、2本3本ないし4本の骨格は1本の骨格にまとまる。本手法では骨格は常に1点にまとまる構造を持つため、形状の変形は骨格の長さや角度と骨格の増減によって記述される。

4.2 骨格の運動の観測

通常画像上から動物の骨格が消えたり現われたりすることがあっても、空間に存在する骨格がなくなることはない。連続的に観測される画像から対応が存在する骨格を抽出することにより、連続的な骨格の運動を観測する。

t 時刻に観測される $n(i)$ 個の特徴の集合 $\Phi(t)$ は $\Phi(t) = (\theta(t, 1), l(t, 1)), (\theta(t, 2), l(t, 2)), \dots, (\theta(t, n(t)), l(t, n(t)))$

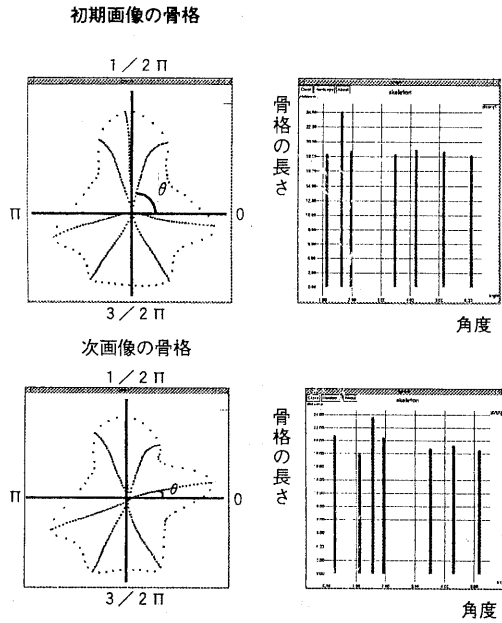


図 5: 骨格の運動解析

のように表される。各時刻に観測される特徴点の数は同じとは限らないため、 t 時刻の特徴点の数は $n(t)$ のように表される。 t 時刻の i 番目の骨格の向きと長さを $\theta(t, i), l(t, i)$ と表す。

観測された特徴点の集合を各時刻間における対応がとられた特徴点の集合に変換する。 $\Phi'(t) = (\theta'(t, 1), l'(t, 1)), (\theta'(t, 2), l'(t, 2)), \dots, (\theta'(t, m), l'(t, m))$ 各時刻における特徴数は変わらないため、特徴点数は m と記述できる。 t 時刻の対応がとられた i 番目の骨格の向きと長さを $\theta'(t, i), l'(t, i)$ と表す。但し $\Phi'(t) \subseteq \Phi(t)$ である。(3) 式で示される評価値が最小になる骨格 $\Phi'(t)$ を求める。

$$\text{Min}_{\Phi'(t)} \left[\sum_{i=1}^{n(t)} \sum_{j=1}^m \frac{(\theta'(t, i) - \theta'(t-1, j))^2 + (l'(t, i) - l'(t-1, j))^2}{\delta t} \right] \quad (3)$$

骨格運動をデータベースの骨格の運動と照合する。骨格の運動が同じであるには骨格の数が等しい必要がある。物体の回転が存在するため、1つの物体に対して骨格数分の対応を比較した上で最小のマッチングを選ぶ必要がある。骨格運動 $\Phi'_k(t)$ とデータベース中にある p 個の骨格が m 本である物体をマッチングする場合、比較の回数は $m \times p$ 回で済む。(4) 式で示される計算が最小である骨格運動 $\Phi'_k(t)$ がマッチングする運動である。

$$\text{Min}_{\Phi'_k(t)} \left(\begin{array}{l} (k=0, \dots, p) \\ \sum_{i=1}^{n(t)} \sum_{j=1}^m \frac{(\theta'_k(t, i) - \theta'_k(t, i+\alpha)\%)^2 + (l'_k(t, i) - l'_k(t, i+\alpha)\%)^2}{\delta t} \end{array} \right) \quad (4)$$

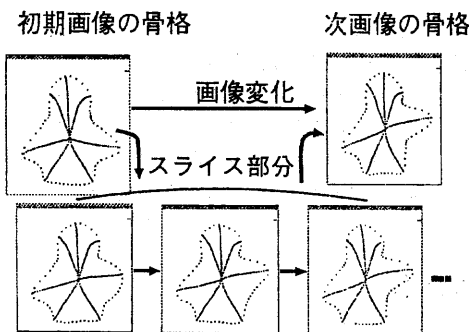


図 6: 骨格の変化による動きの観測

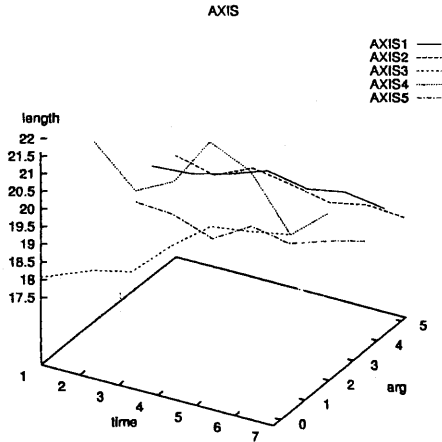


図7: 5本の骨格の動き, 3次元座標(時間, 角度, 長さ)(図6の動き), AXIS3から右手があがっている様子が明らかである。

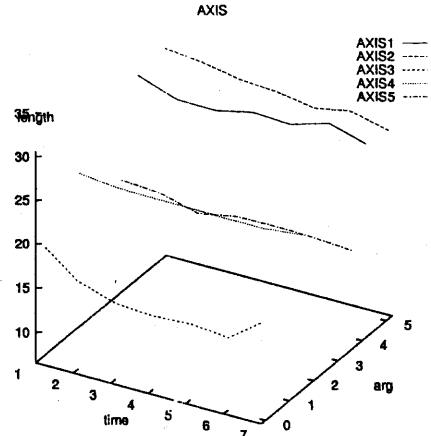


図9: 5本の骨格の動き, 3次元座標(時間, 角度, 長さ)(図8の動き)

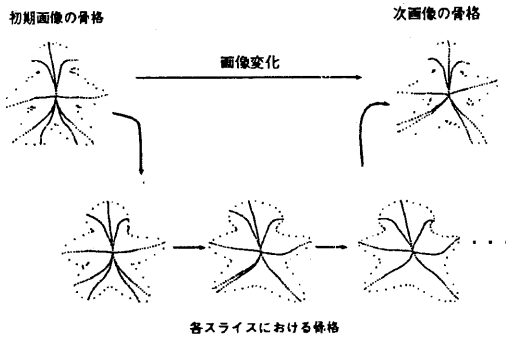


図8: 骨格の変化による動きの観測

上半身が写っている人物が手をあげる動作を行っている2枚の画像を用いて骨格の動きを抽出した。図5には処理1と処理3により得られる輪郭と抽出された骨格が示されている。図6には柔らかさのパラメータを抽出することにより画像間を補う骨格の動きが示されている。図7は(3)式を用いて対応が安定している5本の骨格について向きと長さとして時間をプロットした図である。図に示されているAXIS3から手が上がっている様子が明らかである。

また止まっている人物がかけたかそうとしている2枚

の画像を用いて、骨格の動きを抽出した。用いた画像は図2に示す2枚であり、図3図4は対応する画像に対する処理1処理3の流れを示している。図8は観測された輪郭と骨格の動きであり、図9は(3)式より対応が安定している5本の骨格を向きと長さとして時間により表される座標上にプロットした図である。足が跳ね上がり手が上がる動作が確認できる(4)式を用いることによってこれらの動きの照合が可能になっている。

5 おわりに

火炎面の曲率が一定になるよう火を伝搬し、最終的に火の伝搬速度が一定になる伝搬のモデルをシミュレートし、骨格抽出に利用する手法を提案した。複雑な分岐を持たないため、骨格の運動の照合が容易である。動的輪郭を用いて雑音のある画像からの物体の抽出や画像間の物体の動きの追跡が可能で特徴記述が実現されている。

参考文献

- [1] H. Blum, "A transformation for extracting new descriptors of shape," in Models for the Perception of Speech and Visual Form (W. Wathern-Dunn, ed.), Cambridge Mass. M. I. T. Press. pp. 362-380 (1967)

- [2] Lantuejoul, C. "Skeletonization in Quantitative Metallography, in Issues of Digital Image Processing, Sitjhoff and Noordhoff(1980)
- [3] Maragos, Petros A. and Schafer, Ronald W., "Morphological Skelton Representation and Coding of Binary Images, IEEE Trans. on ASSP, 34, 5, pp. 1228-1244 (1986)
- [4] R. T. Chin, H. -K. Wan, D. L. Stover, and R. D. Iverson, " A onepass thinning algorithm and its parallel implementation," Comput. Vision Graphics Image Processing, vol. 40, pp. 30-40 (1987)
- [5] M. Brady and H. Asada, "Smoothed local symmetry and their implementation, " int. J. Robotics Res., vol. 3, pp. 36-61 (1984)
- [6] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models," in Proc. 1st Int. Conf. Comput. Vision, pp. 259-268 (1987)
- [7] F. Leymarie and M. D. Levine, "Simulating the Grassfire Transform Using and Active Contour Model," IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intell., vol. 14, No. 1 (1992)
- [8] M. Takahata, M. Imai and S. Tsuji, "Determining motion of non-rigid objects by active tubes," Proc. of 11th ICPR, vol. 1, pp. 647-651 (1992)
- [9] 守田 了, 高田 博彰, "動的輪郭モデルの柔らかさの抽出による補間画像の生成," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No. 3, pp. 493-500 (1998)