

三次元内視鏡のための粒子フィルタによる対象領域追跡方法

青木 豊†

鈴木 寿‡

† 中央大学大学院理工学研究科

‡ 中央大学理工学部

1 はじめに

本稿では、三次元内視鏡のための、粒子フィルタを用いた可塑的空間における対象領域追跡方法を提案する。

三次元内視鏡とは、2つの内視鏡を組み合わせた装置であり、ステレオマッチングにより常時三次元データを再構成することで裸眼立体表示装置への表示が可能である。三次元内視鏡を用い、可塑的空間において時々刻々と注視している対象物体表面（対象領域と呼称）を、距離感を伴い多視点から観察する目的下では、対象領域に回り込むようにカメラを動かす際、ディスプレイ上の対象領域が上下左右のほか奥行方向にも動くことから観察者へ過剰な攪乱を与え、視野が有限なディスプレイ上で対象領域を追跡することが難しいだけでなく、VR酔いを誘発しうる。

対策として、対象領域を追跡し三次元内視鏡の出力画像上の中心に自動的に係留することが考えられる。物体追跡に多く用いられる方法として、スプライン曲線のエネルギーを最小化することにより物体の輪郭を検出・追跡する動的輪郭法 (Snakes)[1]、各画素に対して移動速度を計算するため剛体追跡に有効であるオプティカルフロー [2]、時系列 Bays フィルタを実現した粒子フィルタ [3] などがある。いずれの方法も単体では、時系列画像毎に輝度変化が激しく、カメラ自体が移動し、患部によって形状が異なる内視鏡における特定領域の追跡への適用は困難である。

そこで本稿は、動的輪郭法を用いてあらかじめ対象領域内の輪郭点を半自動的に取得し、active contours[4]によって表現した対象の輪郭モデルを、対象の遮蔽や雑音に強い粒子フィルタを用いて追跡することにより、画像の輝度変化、および対象領域の拡大縮小・回転・せん断に対して頑健な追跡方法を提案し、出力画像上の対象領域を自動的に中心に係留する実験結果を示す。

2 提案方法

本研究では、体内におけるポリープや癌など突起した患部、または染料による着色などにより周囲と色が異なる患部を対象領域として指定することを想定し、半径可変の円形の線（初期円と呼称）により囲った領域の追跡を目的とする。また、実験では突起した患部と似た形状

である口蓋垂を追跡対象とする。提案方法の流れを以下に示す。

1. 内視鏡より得た動画像から任意の瞬間に静止画像（原画像と呼称、図1）をキャプチャし、Canny エッジ検出器を用いてエッジ画像に変換する。
2. エッジ画像のエッジの画素だけを原画像に重ね合わせた画像を見ながら、追跡したい対象を囲うように対象領域の中心と半径を指定する（図2）。
3. 初期円を初期値として動的輪郭法を適用し、領域内の輪郭点の座標を求める。
4. Active contours によって表現した輪郭点を粒子フィルタを用いて追跡し、出力画像上において対象領域を中心に係留する。



図 1: 原画像



図 2: 対象領域を指定

3 動的輪郭法による輪郭モデルの作成

3.1 動的輪郭法 (Snakes)

動的輪郭法は、画像平面上のある曲線上において、曲線自体の広がりまたは曲がり具合を表わす内部エネルギー E_{int} 、およびエッジとの距離などの外部エネルギー E_{image} の線形和として表わされるエネルギー関数 E_{Snakes} (式1) が最小となるように Snakes 曲線 $v(s)$ の形状を繰り返し修正することにより、輪郭点の抽出をおこなう方法である。

$$E_{Snakes} = E_{int}(v(s)) + E_{image}(v(s)) \quad (1)$$

動的輪郭法は、 E_{int} および E_{image} にかける重みを調節することにより、抽出したい曲線の形状特徴に合わせたエネルギー関数を設定できるという特徴がある。

3.2 Active contours

Active contours は、物体の輪郭を B-スプライン曲線によって近似したものにアフィン変換を用いることにより、物体の拡大縮小・回転・せん断をパラメタを用いて表現する方法である。この方法は、ノンパラメトリックな輪郭追跡である動的輪郭法などとは異なり、対象の状態ベクトルを直接推定できるという特徴をもつ。画像上の物体をパラメトリック曲線 $r(t) = (x(t), y(t))^T$ によって表現することを考える。B-スプライン曲線を用いると、

A Target-domain Tracking Method with a Particle Filter for Three-dimensional Endoscopes

†Yutaka AOKI ‡Hisashi SUZUKI

†Graduate School of Science and Engineering, Chuo University

‡Faculty of Science and Engineering, Chuo University

$$\mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} \mathbf{B}(t)^\top & 0 \\ 0 & \mathbf{B}(t)^\top \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{Q}^x \\ \mathbf{Q}^y \end{pmatrix} \quad (2)$$

となる. ここに, $\mathbf{B}(t)$ は B スプライン基底関数 $B(t)$ を並べたベクトルである. また, $\mathbf{Q}^x, \mathbf{Q}^y$ は, N 個の制御点の x 座標, y 座標をそれぞれ並べたベクトルである. 曲線 $\mathbf{r}(t)$ は, 制御点列 $\mathbf{Q} = (\mathbf{Q}^x, \mathbf{Q}^y)^\top$ に対して一意に決定できる. また, B-スプライン曲線は制御点を通過するとは限らないという特徴をもつ. \mathbf{Q} を用いて, 形状空間モデルを定義する. 対象の曲線 \mathbf{Q} をスプラインベクトル \mathbf{Q}_0 と状態ベクトル \mathbf{x} を用いて表現したモデルであり, $\mathbf{Q} = \mathcal{H}(\mathbf{x}, \mathbf{Q}_0)$ と定義できる.

3.3 輪郭点の抽出および輪郭モデルの作成

対象領域を囲った初期円から動的輪郭法を適用して輪郭点の座標を取得し, B-スプライン曲線の逆変換により輪郭点を通過する 3 次 B-スプライン曲線を求める. これにより active contours による輪郭モデルの表現が可能となる. B-スプライン曲線の制御点は, 初期円の中心からの距離と角度をパラメタに持つ. エッジ画像に初期円を重ねた画像を図 3, 初期円を初期値として動的輪郭法を適用後の画像を図 4 に示す.

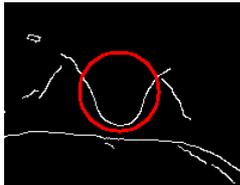


図 3: 初期円

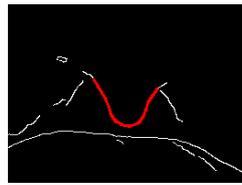


図 4: 動的輪郭法適用後

4 粒子フィルタによる輪郭追跡

4.1 粒子フィルタのアルゴリズム

粒子フィルタは, factored sampling を時系列画像 $\mathcal{Z} = \{z_1, z_2, \dots\}$ に適用することにより, 時系列 Bays フィルタを実現したアルゴリズムである. $n = 1, \dots, N$ について, 時刻 $k-1$ における粒子群 $\{s_{k-1}^{(n)}, \pi_{k-1}^{(n)}\}$ から, 時刻 k における粒子群 $\{s_k^{(n)}, \pi_k^{(n)}\}$ を計算する方法を述べる.

1. 粒子群 $\{s_{k-1}^{(n)}\}$ から, 重み $\pi_{k-1}^{(n)}$ に基づき粒子 $s_k^{\prime(n)}$ を N 個選択し, $\{s_k^{\prime(n)}\}$ を生成する. 粒子 $s_k^{\prime(n)}$ は次のように選択する.
 - (a) 粒子群 $\{s_{k-1}^{(n)}\}$ を重み $\pi_{k-1}^{(n)}$ に基づいて降順に並べる.
 - (b) 粒子の総数が N 個になるまで, 重みの大きい粒子から $\lfloor \pi_k^{(n)} N \rfloor$ 個づつ選択する.
2. 選択した粒子 $s_k^{\prime(n)}$ から, 動特性モデル $x_k = \mathcal{F}(x_{k-1}, v_{k-1})$ に基づき, 粒子 $s_k^{(n)}$ を予測する.

$$s_k^{(n)} = \mathcal{F}(s_k^{\prime(n)}, v_k^{(n)})$$

3. 時刻 k における観測ベクトル z_k から, 粒子の重みを次のように求める.

$$\pi_k^{(n)} = \frac{p(z_k | \mathbf{x}_k = s_k^{(n)})}{\sum_{i=1}^N p(z_k | \mathbf{x}_k = s_k^{(i)})}$$

- 4 粒子群 $\{s_k^{(n)}, \pi_k^{(n)}\}$ から, 追跡対象の状態

$$\varepsilon[f(\mathbf{x}_k)] = \sum_{i=1}^N \pi_k^{(n)} f(s_k^{(i)})$$

を推定する. 平均ベクトルを用いる場合, $f(x) = x$ とする.

4.2 尤度関数

本研究では, 輪郭モデルが画像上の追跡対象の輪郭とどの程度重なっているかに基づき, 粒子の重みを計算する. 粒子 p が状態として持つ輪郭モデルに沿って走査する点の数を n , その走査点上におけるエッジ画素の数を e とすると, 粒子 p の重み $L(p)$ は次のように表わせる.

$$L(p) = \frac{e}{n} \quad (3)$$

5 追跡実験

口蓋垂を撮影した動画画像を利用し追跡実験をおこなう. 対象領域の画像中心への係留には, 制御点列 \mathbf{Q} の中の 1 点の座標およびその点が初期円の中心座標となす角度を用いる. 出力動画画像をキャプチャした画像を図 5, y 座標の追跡結果を図 6 に示す.

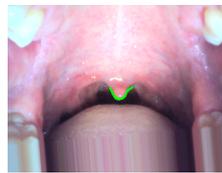


図 5: 追跡の様子

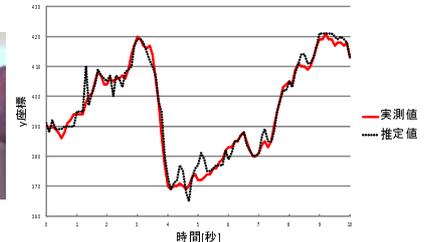


図 6: y 座標の追跡結果

6 まとめ

本稿では三次元内視鏡のための, 粒子フィルタを用いた対象領域の拡大縮小・回転・せん断に対して頑健な対象領域追跡法を提案し, 実験結果を示した. 今後の課題は, 急激に推定値が変化した場合の観察者への影響を最小限に留める機構を組み込むこと, 計算時間を考慮することなどが考えられる.

参考文献

- [1] Kass, M., Witkin, A and Terzopoulos, D., "Snekes: active contour models," *Int. J. Computer Vision*, pp. 321-331, 1988.
- [2] Horn, B. K. P. and Shunck, B. G., "Determining optical flow," *J. Artificial Intelligence*, Vol. 8, No. 6, pp. 679-698, 1986.
- [3] Isard, M. and Blake, A., "Condensation - conditional density propagation for visual tracking," *Int. J. Computer Vision*, Vol. 28, No.1, pp. 5-28, 1998.
- [4] Blake, A. and Isard, M., *Active contours*, Springer-Verlag, London, 1998.