

制御則を考慮した動的輪郭モデルによる移動体追跡

1 序論

カメラより得られる連続時系列画像内に存在する移動体を検出・追跡する技術は、様々な分野で基礎的で重要な技術である。本論文では、色相値による重み分布に基づき、複雑な背景下において動的輪郭モデルによる実時間移動体追跡手法を提案する。また、物体抽出において用いられる色相やエッジなどの情報を正確に取得するためには、対象を鮮明に撮影した画像が必要であり、そのためには対象の移動に合わせたカメラ制御が必要となる。高速運動物体を対象とした追跡処理において、その対象の運動速度とカメラの視線移動速度を一致させ、画像の中央付近で捉えることを目的としたカメラの視線制御を同時に行う。また、移動体追跡手法の応用例として、ジェスチャーや手話認識のための手指形状抽出に適用する。

2 動的輪郭モデル

動的輪郭モデルは、閉じた領域を安定して抽出でき、滑らかな閉曲線を得られることに加えて、対象の形状等の特徴をエネルギー関数として処理に埋め込むことができるという優れた特徴を持つため、物体抽出においてよく用いられている。動的輪郭モデルにはいくつかの種類があるが、その代表的な手法として Kass らによって Snakes 法が提案されている [1]。

2.1 Snakes 法

Snakes とは、制御点の集合として表される閉曲線 $\mathbf{v}(s)$ 上で、形状エネルギーと画像エネルギーの線形和として式 (1) で表されるエネルギー関数 E_{snakes} を定義し、それが最小となるように閉曲線の形状を順次修正し、対象の抽出を行うモデルである。ここで、式 (2) は形状エネルギー、式 (3) は画像エネルギーをそれぞれ表している。

$$E_{snakes} = \int_0^1 \{E_{int}(\mathbf{v}(s)) + E_{image}(\mathbf{v}(s))\} ds \quad (1)$$

$$E_{int}(\mathbf{v}(s)) = \alpha |\mathbf{v}_s(s)|^2 + \beta |\mathbf{v}_{ss}(s)|^2 \quad (2)$$

$$E_{image}(\mathbf{v}(s)) = \gamma |\nabla I(\mathbf{v}(s))|^2 \quad (3)$$

3 提案手法

従来の Snakes 法で移動体追跡を行う場合、初期閉曲線の位置や制御数によっては膨大な計算量となり、また、エネルギー関数の各制御パラメータの設定は一般に困難である。提案手法では、対象の近傍領域において局所的に探索を行うことにより実時間で対象を追跡し、画像のエッジ情報に加えて色情報を用いると共に、対象の大きさにより制御点数を変化させて抽出精度を向上させる。さらに、追跡処理では背景情報を利用しないため背景を固定する必要がなく、カメラの視線制御によって対象を画像中心に捉えながら追跡する。

3.1 色分布画像の作成

HSV 画像において、各画素が持つ色相 H のヒストグラムにおける出現頻度を輝度値とした重み分布画像

を式 (4) より作成する。

$$L_h = \begin{cases} \frac{F_h}{F_{max}} & (S > T_S \text{ and } V > T_V) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 L_h は重み分布画像における輝度値、 F_h は各色相値の出現頻度、 F_{max} はヒストグラムのピーク値、 T_S, T_V は彩度値 S および輝度値 V に対するしきい値である。図 1 に色分布画像の例を示す。

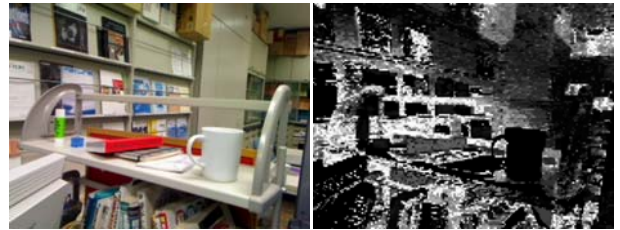


図 1: 色分布画像例。

3.2 ノイズ除去

複雑な背景部分や照明変動など様々な要因で色分布画像にノイズが発生してしまうため、追跡処理前にノイズ除去を行っておく。ノイズ除去には、エッジ情報をなるべく損なわないようにメディアンフィルタを用いる。

3.3 Mean-Shift 法

移動体追跡における Mean-Shift 法では、初期位置 \mathbf{x} を中心とした追跡対象領域内の色情報より各画素の持つ重み $w(\mathbf{x})$ を求め、領域内により多くの重みが含まれるように領域の中心を移動させる [2]。また、1 フレーム前の追跡対象領域周辺に着目した探索を行うために、ガウス分布等のカーネル関数 $K(\mathbf{x}, \sigma)$ を重み $w(\mathbf{x})$ に掛け合わせて用いる。追跡対象領域の中心を \mathbf{x}_0 、その周辺画素を \mathbf{a} とすると、追跡領域の移動ベクトル $\Delta \mathbf{x}$ はカーネルによる加重平均を用いて式 (5) のように定義される。ここで、式 (6) はガウス関数を表す。

$$\Delta \mathbf{x} = \frac{\sum_a K(\mathbf{a} - \mathbf{x}_0, \sigma_{xy}) w(\mathbf{a}) (\mathbf{a} - \mathbf{x}_0)}{\sum_a |K(\mathbf{a} - \mathbf{x}_0, \sigma_{xy}) w(\mathbf{a})|} \quad (5)$$

$$K = \exp\left(\frac{-(x^2 + y^2)}{2\sigma_{xy}^2}\right) \quad (6)$$

追跡対象領域中心の移動をしきい値よりも小さくなるまで繰り返すことにより対象の推定移動位置を求める。

3.4 制御点数の決定

追跡対象の大きさの変化から Snakes の制御点数を決定する。ここで、Snakes の形状は毎フレーム変化するため、物体の位置に変化がなくても Snakes により抽出した領域の面積にはぶれが生じる問題がある。よって、適当なしきい値 T_{scale} を用いて、領域面積の変化量がしきい値以上の時のみ制御点数を変化させ

る. 領域面積の変化量を Δs とすると, 時刻 t における制御点数 n_t を式 (7) のように決定する.

$$n_t = \begin{cases} n_{t-1} + k\Delta s & (|\Delta s| > T_{scale}) \\ n_{t-1} & (otherwise) \end{cases} \quad (7)$$

3.5 色相勾配の導入

輝度勾配のみを用いる従来の Snakes 法では, 色相の変化のみによって定義される輪郭は検知することができない. また, 移動体にぶれがある場合はエッジが不鮮明になり, 閉曲線がつぶれてしまう問題も発生する. そこで, 色相勾配を導入することで Snakes の画像エネルギー項を式 (8) のように拡張して抽出精度を確保する. また, 式 (9) は色相勾配を表している.

$$E_{image}(\mathbf{v}(s)) = \gamma|\nabla I(\mathbf{v}(s))|^2 + (1-\gamma)|\nabla H(\mathbf{v}(s))|^2 \quad (8)$$

$$|\nabla H(\mathbf{x})| = \sqrt{|\mathbf{H}_x(\mathbf{x})|^2 + |\mathbf{H}_y(\mathbf{x})|^2} \quad (9)$$

3.6 カメラの視線制御

視点固定型カメラのパン・チルト機能を利用して, 追跡対象を画像中心付近に捉えるように PID 制御則を用いてカメラの視線制御を行う. PID 制御は, 対象の角速度を P 成分, 方位を I 成分, 角加速度を D 成分に対応づけて制御する. カメラの視線制御において, PID 各制御の役割は以下ようになる.

- P 制御 (比例制御)
追跡対象の現在の角速度を追従する.
- I 制御 (積分制御)
対象の位置と画像中心とのずれを補正する.
- D 制御 (微分制御)
制御応答の速さを向上させる.

移動体追跡処理において, Snakes により抽出した領域の重心と画像中心との距離を偏差として扱い, 対象を画像中心付近で捉え続けるようにカメラの視線制御を行う. 視線制御システムのブロック線図を図 2 に示す.

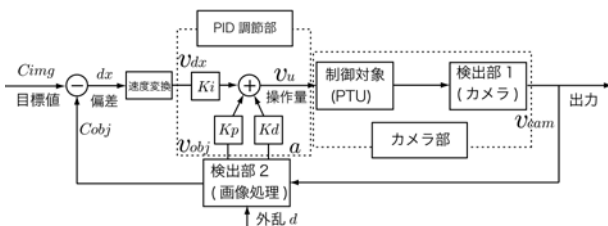


図 2: 視線制御システムのブロック線図.

4 手指形状抽出

移動体追跡手法の応用例として, カメラの視線制御でも用いた PID 成分を利用して手領域と顔領域の分離を行い, Snakes により手指形状の抽出を行う.

5 検証実験

提案手法の有効性を確認するために, 複雑背景を含む動画において移動体追跡を行い, 抽出精度と処理時間を評価した. なお, 計算機は Intel Core2 Duo 3.0GHz, 2GB RAM を使用した. 追跡結果を図 3 に示す. 対象が高速に移動した場合でも抽出精度を確保できていることが確認できる. 続いて, カメラの視線制御を伴う追跡結果を図 4 に示す. 対象の移動に追従

したカメラ制御により, 対象を画像中心付近で捉え続けながら形状抽出できており, 被写体ぶれも軽減できていることが確認できる. 最後に, 手指形状抽出結果を図 5 に示す. 手が顔付近を横切った際にも誤追跡を起こすことなく手指形状を抽出できていることが確認できる. また, 処理速度については 15~18fps で追跡できており, ほぼ実時間で追跡できていると言える.

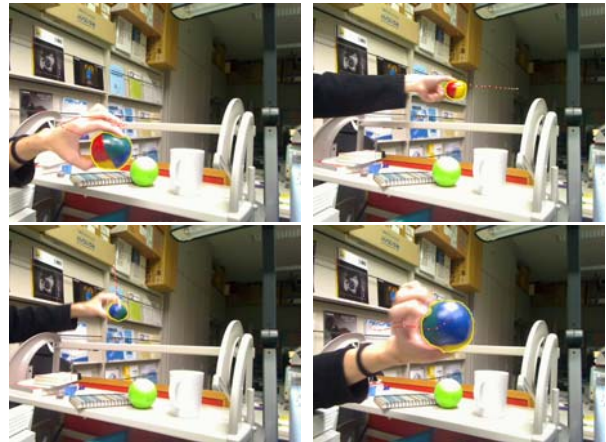


図 3: 追跡結果.



(a) 視線制御なし. (b) 視線制御あり.

図 4: カメラの視線制御結果.

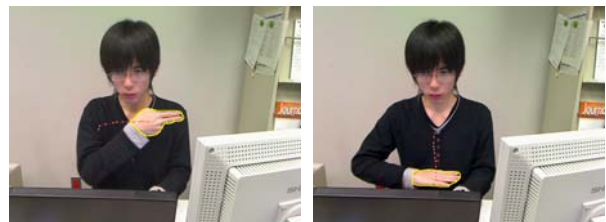


図 5: 手指形状抽出結果.

6 結論

複雑背景下において移動体追跡を行うにあたり, 追跡対象付近の領域に対して局所的に探索を行うことで追跡処理を高速化する手法を提案した. また, 制御点数を変化させると共に色情報も用いることで, 対象の形状および大きさの変化に伴う抽出精度低下を改善している. さらに, 追跡対象とカメラの運動速度および方位を一致させて対象を画像中心付近に鮮明に捉えることで, 色相やエッジ等の情報をより高い精度で求めることができ, Snakes が正しい輪郭位置で収束する確率が高まることも確認できた.

参考文献

- [1] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models," Int. J. Computer Vision, Vol. 1, No. 4, pp. 321-331, 1988.
- [2] R. Collins, "Mean-Shift Blob Tracking through Scale Space," in Proc. of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 234-240, June 2003.