

Title	動的輪郭モデルを用いた多方向に移動する複数物体の追跡に関する研究
Author(s)	金田, 丘
Citation	
Issue Date	1997-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1019
Rights	
Description	Supervisor:阿部 亨, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

**動的輪郭モデルを用いた多方向に移動する
複数物体の追跡に関する研究**

指導教官 阿部亨 助教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報システム専攻

金 田 丘

1997 年 2 月 14 日

要 旨

動画像中の移動物体を自動的に追跡するために種々の手法が提案されている．従来提案されている追跡手法は，対象が複雑な動きをする場合，対象の形状が変化する場合，対象が複数の場合，さらには対象同士が重なる場合など物体追跡が非常に困難であった．

本研究では，これらの問題に対処するために新たな移動物体追跡手法を提案する．複雑な動きをする対象・形状が変化する場合に対応するため動的輪郭法 (Active Contour Model, Snakes) を用い，対象の輪郭線を抽出し追跡を行う．また，対象が複数個あり，それらが重なる (分れる) 場合に対応するため Snakes に輪郭線の分離・融合の機能を導入する．さらに対象が分離・融合を繰り返してもそれ等の軌跡を正確に決定するために輪郭線内部の属性である閉領域内の色・周波数を用い，異なるフレーム画像間で輪郭線の対応づけを行う．

目次

1	はじめに	1
2	Snakes	4
2.1	Snakes の概念	4
2.2	種々の改良された Snakes	5
2.2.1	圧力項を導入した Snakes	5
2.2.2	面積項を導入した Snakes	6
2.2.3	Sampled Active Contour Model (S-ACM)	9
2.2.4	交差判定により分裂する Snakes (C-Snakes)	11
3	提案する移動物体追跡法	16
3.1	本手法での物体追跡法のながれ	16
3.2	入力画像に対する前処理	19
3.3	輪郭追跡処理	19
3.3.1	輪郭線の抽出	19
3.3.2	各フレーム画像に対する初期輪郭設定	25
3.3.3	輪郭線の分離機能	25
3.3.4	輪郭線の融合機能	28
3.4	軌跡決定処理	30
3.4.1	領域内の属性を利用した軌跡の決定	32
4	評価実験	34
4.1	実験内容	34
4.2	輪郭線の融合機能の効果	35

4.2.1	融合機能を持つ Snakes と 融合機能を持たない Snakes の比較 . . .	35
4.2.2	融合機能を持つ Snakes を用いた物体追跡	36
4.3	領域内の属性に基づく軌跡決定法の効果	38
4.3.1	シミュレーション画像を用いた移動物体の追跡	40
4.3.2	実画像を用いた移動物体の追跡	43
5	まとめ	48
	謝辞	51

目 次

2.1	圧力項の働き	6
2.2	面積項の計算法	8
2.3	S-ACM で輪郭線上のサンプリング点 v_i にかかる力の種類	12
3.1	本手法の処理のながれ	17
3.2	輪郭追跡処理に対する入力画像の作製法	20
3.3	追跡処理で用いる画像	21
3.4	本手法での輪郭線抽出	22
3.5	輪郭線の分離 (新しい輪郭線を形成する場合)	26
3.6	輪郭線の修整時に起こる輪郭線形状	27
3.7	輪郭線の分離 (新しい輪郭線を形成しない場合)	28
3.8	輪郭線の融合	29
3.9	融合処理により形成される新しい輪郭線	31
4.1	融合機能の有無での追跡	37
4.2	Snakes の実行過程 1	38
4.3	Snakes の実行過程 2	39
4.4	シミュレーション画像で 2 つの対象物体が十字に交差する場合	41
4.5	シミュレーション画像で対象物体が各々 U 字・逆 U 字型に移動し交差する場合	42
4.6	実画像で対象物体がお互いに直進する場合の輪郭線の抽出結果	44
4.7	実画像で対象物体がお互いに直進する場合の推定された軌跡	45
4.8	実画像で対象物体が各々 U 字・逆 U 字型に移動する場合の輪郭線の抽出結果	46
4.9	実画像で対象物体が各々 U 字・逆 U 字型に移動する場合の推定された軌跡	47

第 1 章

はじめに

動画画像処理は、情報量が膨大であるためコスト（処理時間、メモリ）がかかり過ぎてしまう。コストを低下させるためには、動画画像の情報量を削減することが必要である。動画画像の情報量の削減は、画像圧縮や動画画像全体から必要な部分のみ取り出すことで行うことができる。動画画像から必要な部分のみ取り出すには、動画画像の認識・理解が必要である。動画画像の認識・理解を行うには、対象物体の抽出・追跡が不可欠である。

従来 of 追跡手法

いままでに動画画像中の移動物体を追跡する方法として種々の手法が提案されている。従来の物体追跡手法は、特徴点に基づく追跡手法、領域に基づく追跡手法、対象の輪郭線に基づく追跡手法の 3 つに大きく分けることができる。

特徴点に基づく追跡手法

特徴点に基づく追跡手法は、対象物体上に特徴点を設定し、異なるフレーム画像間でそれらに対応づけることで対象物体の追跡を行う [1] [2]。この手法で追跡を行う場合、対象の特徴点としてフレーム画像間で変形や消えないものを設定する（例えば、対象を人とする場合にはその人の唇、車両ならばテールランプ等に特徴点を設定する）。そのため特徴点の対応づけが迅速に行える場合に有効である。

領域に基づく追跡手法

領域に基づく追跡手法は、画素の特徴量（色、Optical Flow など）を用いて画像の領域分割を行い、分割された領域を基に対象物体の追跡を行う [3] [4] [5]。分割の際に用いた特徴量を用いて領域を特徴づけ、異なるフレーム画像間で領域を対応づける。領域は同じ色、同じ柄、同じ動きをするなどの領域に分割する（例えば、対象を人にする場合にはその人が着てる服、車両ならば個々の車両等に分割する）。この追跡手法は、フレーム画像毎で分割された領域の特徴を基に追跡を行う。そのため対象が複数の場合、対象が複雑な動きをする場合でも追跡が可能となる。しかし、分割された領域がフレーム画像間で一致するとは限らないため、両者を一致させるために別の処理が必要になる場合が多い。そのため対象の追跡を行うには処理が複雑になってしまう。

対象の輪郭線に基づく追跡手法

対象の輪郭線に基づく追跡手法は、フレーム画像間で対応づけが取れている画像から抽出した輪郭線を基に対象物体の追跡を行う [6] [7] [8]。画像から抽出する輪郭線は、対象の外形、物体の一部などである（例えば、対象が人の場合にはその人の唇、その人の外形、車両ならばフロントガラス等の輪郭線である）。そのため対象が複数の場合、対象の形状が変化する場合でも追跡が可能となる。この追跡手法は、いかに安定した対象の輪郭線を抽出するかが問題となる。

従来の追跡手法の問題点

従来の追跡手法では、対象が複雑な動きをする場合、対象の形状が変化する場合、対象が複数の場合、さらには対象同士が重なる場合に追跡が困難となる。

対象が複雑な動きをする場合、対象の形状が変化する場合に対処するため、画像内の対象物体の輪郭線が一部欠けている場合でもこれらを補間し、安定した輪郭線を抽出することのできる Snakes を用いる追跡手法が提案されている。Snakes を用いる追跡手法は、Snakes により抽出できる輪郭線が閉曲線（領域）となるため領域に基づく追跡手法、対象の輪郭線に基づく追跡手法の両方の性質を持つ。しかし、Snakes を用いる追跡手法でも対象同士が重なる場合に追跡が困難となる。

このような追跡が困難となる状況は一般的なシーンでは頻繁に起こる。そのため物体追

跡をより実用性のあるものにするためには、これらの状況にも対処できる物体追跡手法が必要となる。

提案する物体追跡手法

本研究では、従来の追跡手法では困難となる複数の対象が複雑な動きをする場合、対象の形状が変化する場合、さらに対象同士が重なる場合に適用できる移動物体追跡法を提案する。

提案する追跡手法では、対象が複雑な動きをする場合、対象の形状が変化する場合に対応するため安定した輪郭線を抽出できる Snakes を用いる。対象が複数の場合に対応するために輪郭線の分離機能を持つ Snakes を用いる。この輪郭線の分離機能も持つ Snakes だけを用いて輪郭線の抽出を行うと処理時間がかかり過ぎてしまう。そこで処理時間の短い Snakes と併用することで輪郭線抽出の処理時間の高速化を図る。また対象同士が重なる場合に対応するために、Snakes に輪郭線を融合する機能を導入し、対象物体の領域内の属性を用いて追跡を行う。

本論文の構成

本論文の構成は、2 章で Snakes について説明する。3 章で本手法の追跡処理過程について説明し、4 章で本手法を用いた評価実験の結果を示す。最後に 5 章でまとめ・問題点を述べる。

第 2 章

Snakes

ここでは提案する移動物体追跡法に用いる Snakes について説明する.

2.1 Snakes の概念

Snakes は, 正則化理論の応用として Kass らによって提案された [9]. 画像平面内のある閉曲線 $\mathbf{v}(s) = (x(s), y(s))$ ($0 \leq s \leq 1$) 上で, 内部エネルギー E_{int} , 画像エネルギー E_{image} , 外部エネルギー E_{con} の線形和として式 (2.1) で表されるエネルギー関数 E_{snakes} を定義する. Snakes は, 輪郭線抽出の問題を E_{snakes} のエネルギー最小化問題として定式化したものであり, 設定された初期閉曲線から出発し, E_{snakes} のエネルギーが最小となるようにその形状が修整し, 輪郭線の抽出を行うモデルである.

$$E_{snakes} = \int_0^1 \{E_{int}(\mathbf{v}(s)) + E_{image}(\mathbf{v}(s)) + E_{con}(\mathbf{v}(s))\} ds \quad (2.1)$$

E_{int} は内部エネルギーと呼ばれ, $\mathbf{v}(s)$ の形状により定まるエネルギーである. 式 (2.2) で定義される輪郭線の滑らかさを表すエネルギーが用いられることが多い.

$$E_{int}(\mathbf{v}(s)) = \frac{1}{2} \left\{ \alpha \|\mathbf{v}_s(s)\|^2 + \beta \|\mathbf{v}_{ss}(s)\|^2 \right\} \quad (2.2)$$

ここで, α, β は E_{int} の重み係数を表す. また, $\mathbf{v}_s(s) = d\mathbf{v}(s)/ds$, $\mathbf{v}_{ss}(s) = d\mathbf{v}_s(s)/ds$ である. E_{int} を減少させることは, $\mathbf{v}(s)$ を収縮させかつ滑らかな曲線となるように変形させることである.

E_{image} は外部エネルギーと呼ばれ, $\mathbf{v}(s)$ が存在する位置の画像の状態により定まるエネルギーである. 式 (2.3) で定義される画像濃度の 1 次微分 (画像のエッジ) が用いられることが多い.

$$E_{image}(\mathbf{v}(s)) = -\frac{1}{2}w_{image}\|\nabla I(\mathbf{v}(s))\|^2 \quad (2.3)$$

ここで, w_{image} は E_{image} の重み係数を表し, $\mathbf{v}(s)$ の位置の画像濃度値を $I(\mathbf{v}(s))$ とする. E_{image} を減少させることは, $\mathbf{v}(s)$ がエッジに引き寄せられるように修整することである.

E_{con} は外部エネルギーと呼ばれ, 外部から与える制約であり, $\mathbf{v}(s)$ の形状を強制的に変形させたいときに利用する.

動画像を対象とする場合, 時刻 $t, t+1$ における画像 F_t, F_{t+1} 中の対象物体の位置はお互いに近接していると考えられる. F_t における輪郭線抽出の結果を F_{t+1} に対する初期輪郭として与えれば, 初期輪郭は目的とする位置に速やかに修整される. このように Snakes は移動物体の追跡に適した性質である Lock on 機能を持っている.

2.2 種々の改良された Snakes

Kass らによる Snakes の提案後, いままでに数々の改良された Snakes が提案されている. 提案されているいくつかの Snakes について以下で説明する.

2.2.1 圧力項を導入した Snakes

従来の Snakes では式 (2.2) から分かるように $\mathbf{v}(s)$ の形状についてはなるべく短く・滑らかという制約にしか用いられなかった. このため対象の形状が凹型の場合に輪郭線の抽出が困難であった. そこで $\mathbf{v}(s)$ の重心方向に $\mathbf{v}(s)$ を引き寄せるためのエネルギーとして圧力項を導入した手法が提案された [12]. 圧力項 E_{press} は式 (2.4) により定義される内部エネルギーの 1 つである.

$$E_{press}(\mathbf{v}(s)) = \frac{1}{2}w_{press}\{\mathbf{v}_{grv} - \mathbf{v}(s)\}^2 \quad (2.4)$$

ここで, w_{press} は圧力項の重み係数を表し, $\mathbf{v}(s)$ の重心座標を $\mathbf{v}_{grv}$ とする. E_{press} は $\mathbf{v}(s)$ の重心と $\mathbf{v}(s)$ との距離によって定義されるエネルギーである.

圧力項を導入した Snakes は, $\mathbf{v}(s)$ の重心方向に $\mathbf{v}(s)$ を縮小させることにより修整を行う (図 2.1). $\mathbf{v}(s)$ の重心方向に凹となる箇所がある対象に対しては凹型の輪郭線の抽出が

可能となる.

しかし $\mathbf{v}(s)$ が対象の凹型の場所に入り込むため $\mathbf{v}(s)$ の形状が滑らかでなくなり, 形状を滑らかにするためのエネルギー式 (2.2) が増加する. その結果, 全体のエネルギー E_{snakes} の振動が起こり抽出できる輪郭線が不安定になる. そのため各々のエネルギー項の重み係数をうまく設定し, 輪郭線の抽出を行う必要がある.

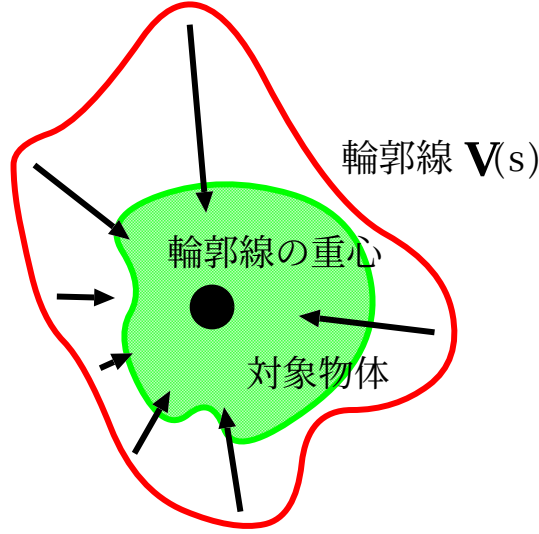


図 2.1: 圧力項の働き: 輪郭線の重心と輪郭線との距離を短くするように輪郭線の重心方向に向かって収縮する.

2.2.2 面積項を導入した Snakes

対象の形状が凹型の場合に対する他のアプローチとして, 閉領域の面積に比例するエネルギーである面積項を導入した手法が提案された [13]. 面積項 E_{area} は式 (2.5) により定義される内部エネルギーの 1 つである.

$$E_{area}(\mathbf{v}(s)) = \frac{1}{2} w_{area} \{x \mathbf{v}_y(s) - \mathbf{v}_x(s) y\} \quad (2.5)$$

ここで, w_{area} は面積項の重み係数を表す. また, 輪郭線を $\mathbf{v}(s) = (x(s), y(s))$ ($0 \leq s \leq 1$) とすると, $\mathbf{v}_x(s) = \partial \mathbf{v}(s) / \partial x$, $\mathbf{v}_y(s) = \partial \mathbf{v}(s) / \partial y$ である.

面積項を導入した Snakes は, $\mathbf{v}(s)$ 内の閉領域の面積を縮小するように $\mathbf{v}(s)$ を修整する. 対象の輪郭中の凹となる箇所に $\mathbf{v}(s)$ が入り込み, 凹型の輪郭線の抽出が可能となる.

E_{area} 式 (2.5) の意味を図 2.2 を用いて説明する. E_{area} を以下のように分けて考える.

- 第 1 要素 = $x\mathbf{v}_y(s)$
- 第 2 要素 = $\mathbf{v}_x(s)y$

いま図 2.2 のように $\mathbf{v}(s)$ が形成されているとする.

• $\mathbf{v}(s)$ 上の s_i, s_{i+1} の線分の範囲で E_{area} を計算した場合

$\mathbf{v}(s)$ 上の s_i, s_{i+1} の線分の範囲で E_{area} を計算して求まる面積は図 2.2(a) の領域となる.

• 第 1 要素だけを計算した場合

第 1 要素だけを計算して求まる面積の値は $\mathbf{v}(s)$ が $\mathbf{v}_y(s) > 0$ となる線分の範囲では正となり (図 2.2(b)), $\mathbf{v}_y(s) < 0$ となる線分の範囲では負となる (図 2.2(c)).

• 第 2 要素だけを計算した場合

第 2 要素だけを計算して求まる面積の値は $\mathbf{v}(s)$ が $\mathbf{v}_x(s) > 0$ となる線分の範囲では正となり (図 2.2(d)), $\mathbf{v}_x(s) < 0$ となる線分の範囲では負となる (図 2.2(e)).

• E_{area} を計算した場合

E_{area} を計算して求まる面積は第 1 要素と第 2 要素の総和を半分にしたものとなる (第 1, 第 2 要素で求まる面積が重なるため面積を半分にする必要がある図 2.2(f)).

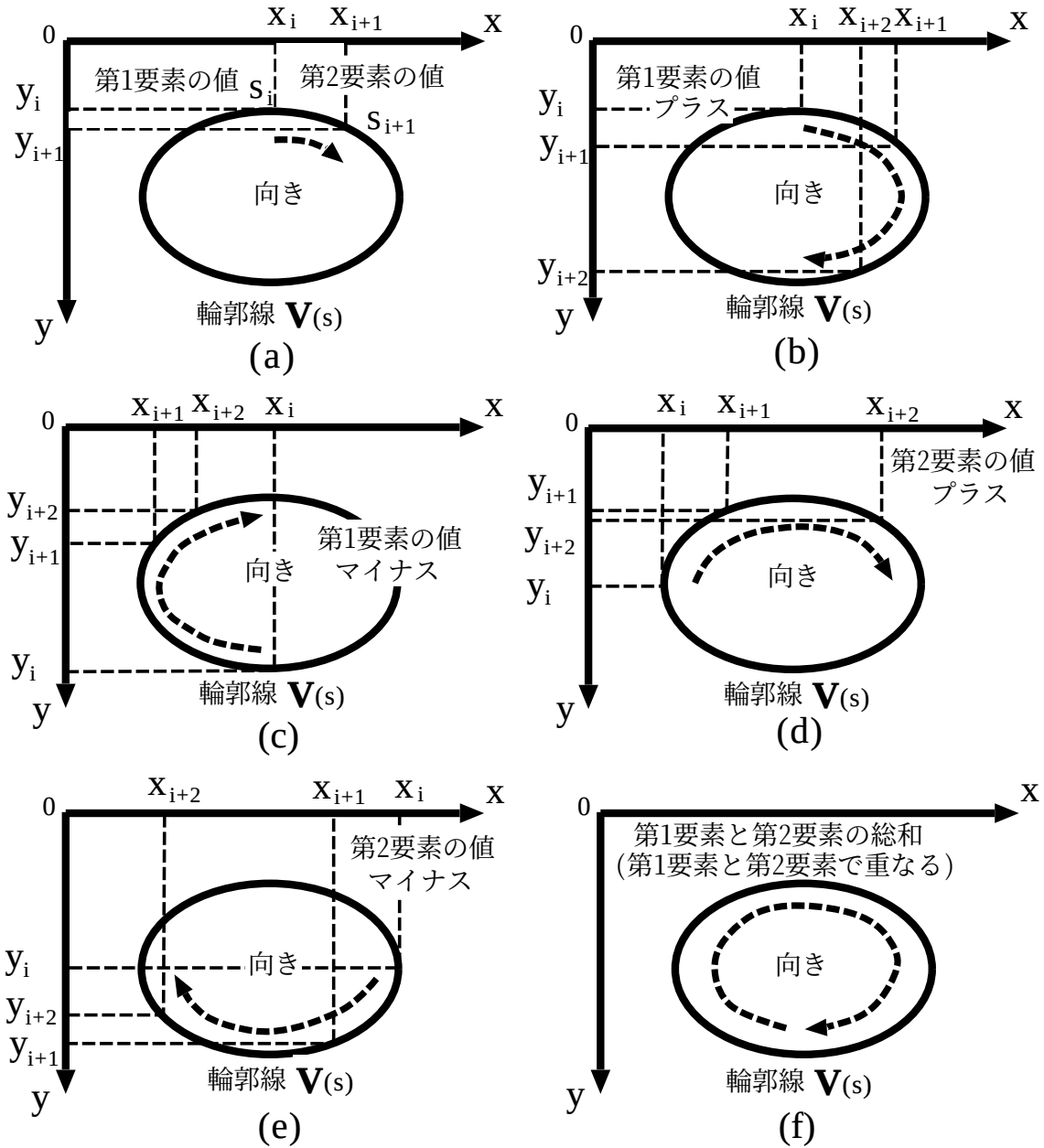


図 2.2: 面積項の計算法: (a) $v(s)$ 上の s_i, s_{i+1} の線分の範囲で E_{area} を計算して求まる面積; (b) $v(s)$ が $v_y(s) > 0$ となる線分の範囲で E_{area} の第 1 要素を計算して求まる面積; (c) $v(s)$ が $v_y(s) < 0$ となる線分の範囲で E_{area} の第 1 要素を計算して求まる面積; (d) $v(s)$ が $v_x(s) > 0$ となる線分の範囲で E_{area} の第 2 要素を計算して求まる面積; (e) $v(s)$ が $v_x(s) < 0$ となる線分の範囲で E_{area} の第 2 要素を計算して求まる面積; (f) E_{area} を計算して求まる面積.

- E_{area} より求まる $\mathbf{v}(s)$ 内の面積の値

図 2.2 の場合, $\mathbf{v}(s)$ の向きが時計廻りのため求まる面積項の値は正となる. $\mathbf{v}(s)$ の向きが反時計廻りの場合には, 図 2.2(b), (c), (d), (e) で計算する輪郭線の線分の不等式の条件が逆転する (図 2.2(b) の場合, $\mathbf{v}(s)$ が $\mathbf{v}_y(s) < 0$ の条件となる). そのため面積項の値は負となる.

2.2.3 Sampled Active Contour Model (S-ACM)

Kass らによって提案された Snakes は, ノイズに弱く, エネルギー項の重み係数の設定が複雑であり, 式 (2.1) で表されるエネルギー E_{snakes} の最小化問題を解かなければならない. エネルギーの最小化問題の解を求めるため変分法または動的計画法を用いた場合でも処理に時間がかかり過ぎてしまう. そこでエネルギーを力に置き換えることで, エネルギーの最小化問題を解く必要がなく, 処理が単純で離散的な動きが可能な Sampled Active Contour Model (S-ACM) が提案された.

S-ACM は, 独立したサンプリング点 $\mathbf{v}_i$ ($\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_{n+1}$) によって輪郭線が構成されている. 輪郭線上の $\mathbf{v}_i$ は, 式 (2.6) により定義される力によって移動し輪郭線を修整する.

$$F_{(i)} = F_{p(i)} + F_{a(i)} + F_{r(i)} \quad (2.6)$$

ここで, $F_{(i)}$ は輪郭線上の $\mathbf{v}_i$ にかかる力の総和である. $F_{p(i)}$ は輪郭線上の $\mathbf{v}_i$ にかかる周りからの圧力, $F_{a(i)}$ は輪郭線上の $\mathbf{v}_i$ に隣接する $\mathbf{v}_{i-1}$, $\mathbf{v}_{i+1}$ との間で働く引力, $F_{r(i)}$ は輪郭線上の $\mathbf{v}_i$ が画像の濃度値から決定されるエッジにぶつかったときにうける抗力である. これらの力がエッジの位置で平衡状態になり対象物体の輪郭線を抽出する. S-ACM は, $\mathbf{v}_i$ が隣接する 2 点 $\mathbf{v}_{i-1}$, $\mathbf{v}_{i+1}$ 以外に影響されないため速やかに輪郭線を修整する. また, 輪郭線の修整中にサンプリング点の生成・削除が可能である.

S-ACM は従来提案されている Snakes に比べ利点として以下のことがあげられる.

1. ノイズに強い.

輪郭線上の $\mathbf{v}_i$ がノイズで停止すると隣接する 2 点 $\mathbf{v}_{i-1}$, $\mathbf{v}_{i+1}$ の引力により引き寄せられ, ノイズを飛び越えることができる.

2. 処理時間が短い.

輪郭線上の v_i の移動は, 隣接する 2 点 v_{i-1} , v_{i+1} 以外に影響されないため最小化問題を解く必要がなく処理時間が短くて済む.

3. 並列化が可能である.

輪郭線上の v_i は輪郭線の形状とは独立して移動する (隣接する 2 点 v_{i-1} , v_{i+1} 以外とは独立である) ため力の計算を並列化することができる.

しかし, 欠点として以下のことがあげられる.

凹型の輪郭線抽出が困難である.

対象の凹型の場所へ v_i が入り込もうとすると隣接する 2 点 v_{i-1} , v_{i+1} の引力により凹型の場所から引っ張り出されてしまう.

このようなことから S-ACM は, 凸型の対象物体の輪郭線を迅速に抽出する場合, サンプルリング点の生成・削除ができるため輪郭線が大きく修整する場合などに適している. しかし, 凹型の対象物体の輪郭線を抽出する場合には適さない.

S-ACM で輪郭線上のサンプルリング点 v_i にかかる力

• 輪郭線上の v_i にかかる圧力 $F_{p(i)}$

v_i に対し周りから垂直に加える力である (図 2.3(a)). $F_{p(i)}$ より輪郭線は収縮し対象の物体に近づくように修整する. $F_{p(i)}$ の方向は, 隣接するサンプルリング点の角 (図 2.3(a) の $v_{i-1}v_{i+1}$ の角) の 2 等分線方向である. $F_{p(i)}$ の大きさは常に一定で式 (2.7) により定義する.

$$F_{p(i)} = k_p \quad (2.7)$$

ここで, k_p は圧力の重み係数を表す.

- 輪郭線上の v_i にかかる引力 $F_{a(i)}$

v_i に隣接する 2 点 v_{i-1} , v_{i+1} と引き合う力である (図 2.3(b)). $F_{a(i)}$ により輪郭線は, 隣接するサンプリング点同士が近づくように収縮し修整する. F_a の大きさは式 (2.8) により定義する.

$$F_{a(i)} = k_a d_{(i)(i+1)} \quad (2.8)$$

ここで, k_a は引力の重み係数を表す. また, $d_{(i)(i+1)}$ は v_i , v_{i+1} 間の距離である.

- 輪郭線上の v_i が対象のエッジにぶつかることにより生じる抗力 $F_{r(i)}$

画像のエッジが $F_{p(i)} \cdot F_{a(i)}$ に対して輪郭線に与える反作用力である (図 2.3(c)). F_r は v_i がエッジに接しているときに限りエッジに垂直に作用し, その大きさ $F_{r(i)}$ は $F_{p(i)} + F_{a(i)}$ のエッジに対する垂直成分と等しくなる.

2.2.4 交差判定により分裂する Snakes (C-Snakes)

Snakes では, 対象物体の輪郭線抽出を行う際に初期輪郭が対象物体の近傍になければならなかった. そのため人間の手によって, 抽出したいすべての対象物体の近傍に初期輪郭を設定する必要があった.

そこで初期輪郭設定を対象物体の近傍に設定する必要がない交差判定により分裂する Snakes (C-Snakes) が提案された. C-Snakes は, 輪郭線が自分自身と交差すること (自己交差) を判定することによって輪郭線を分裂する. C-Snakes は輪郭線内の閉領域の面積によって定義される面積項 (式 (2.5)) を積極的に利用して輪郭線の修整を行う. C-Snakes は, 面積項の働きにより面積を縮小させるように輪郭線の修整するため, 対象物体の間の隙間に輪郭線が入り込み自己交差が発生する. C-Snakes は, 自己交差の判定を行うことにより輪郭線を分裂する. 輪郭線を分裂することにより, 輪郭線は対象物体の個数だけ別々に囲むようになる.

C-Snakes は従来提案されている Snakes と比べ利点として以下のことがあげられる.

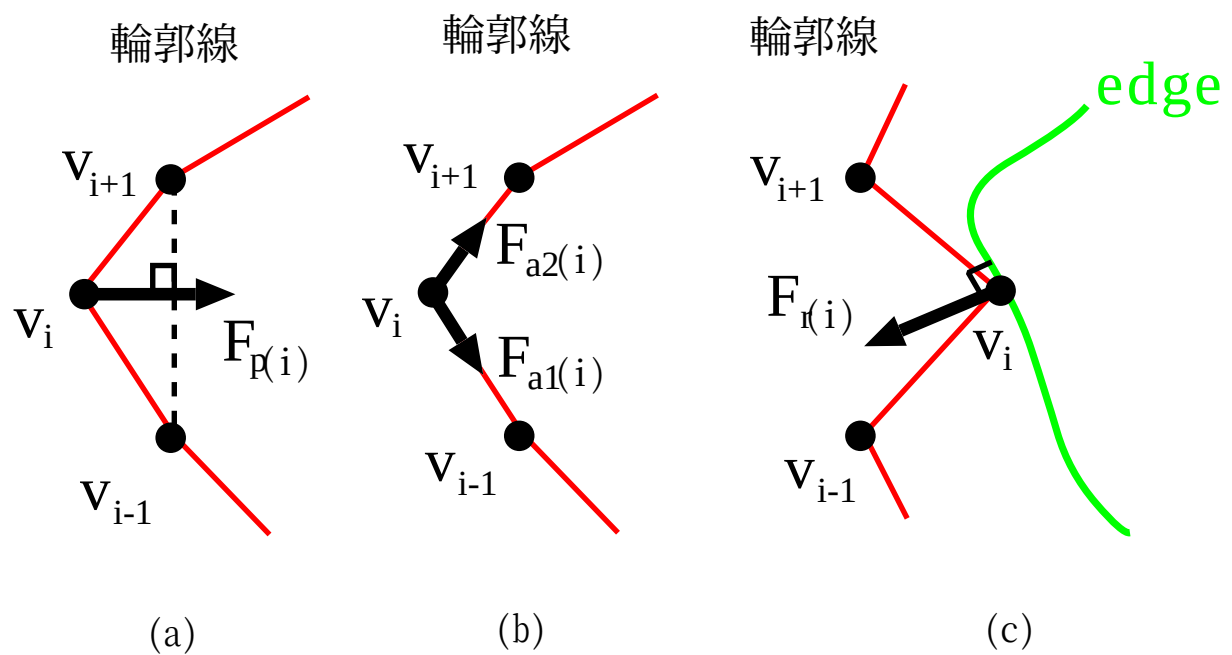


図 2.3: S-ACM で輪郭線上のサンプリング点 v_i にかかる力の種類: (a) 輪郭線上の v_i にかかる圧力 $F_p(i)$; (b) 輪郭線上の v_i にかかる引力 $F_a(i)$; (c) 輪郭線上の v_i が対象のエッジにぶつかることにより生じる抗力 $F_r(i)$.

1. 凹型の輪郭線の抽出が可能である.

輪郭線上のサンプリング点のすべてに対して毎回エネルギーの計算を行うためサンプリング点が対象物体の凹型の場所に入り込むことができる.

2. 初期輪郭設定をする必要がない.

輪郭線が分裂するため, 抽出したい対象物体の近傍に初期輪郭設定する必要がない.

しかし, 欠点として以下のことがあげられる.

処理時間がかかり過ぎる.

輪郭線が修整する毎にエネルギーの最小化問題を解くため計算量が膨大になる.

このようなことから C-Snakes は, 凹型の対象物体の輪郭を抽出する場合, 複数の対象物体の輪郭を抽出する場合などに適している. しかし, 輪郭線の修整でエネルギーの最小化問題を解くため処理時間がかかり過ぎる. そのため C-Snakes を物体追跡に用いる場合は, 処理時間を短くするように改良する必要がある.

C-Snakes で用いるエネルギー

C-Snakes はエネルギーの最小化問題を解くことによって輪郭線の修整を行う. C-Snakes の形状を決定するエネルギー E_{snakes} は式 (2.9) により定義する.

$$E_{snakes} = E_{int} + E_{image} \quad (2.9)$$

E_{snakes} は内部エネルギー E_{int} と画像エネルギー E_{image} の線形和として表される. 以下に C-Snakes で用いる E_{int} と E_{image} について説明する. 輪郭線はサンプリング点 $\mathbf{v}_i = (x_i, y_i)$ ($\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_{n+1}$) により構成されている.

E_{int} : 内部エネルギー

E_{int} は, 輪郭線の形状より定まるエネルギーで式 (2.10) により定義する.

$$E_{int} = E_{spline} + E_{area} + E_{dist} \quad (2.10)$$

- E_{spline} は輪郭線の1次及び2次微分の和であり、輪郭線の形状を滑らかにする働きを持つスプライン項である。

$$E_{spline} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \{ \alpha \|\mathbf{v}'_i\|^2 + \beta \|\mathbf{v}''_i\|^2 \} \quad (2.11)$$

- E_{area} は輪郭線内の閉領域を縮小させるための面積項である。

$$E_{area} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \{ w_{area} (x_i \mathbf{v}_y - \mathbf{v}_x y_i) \} \quad (2.12)$$

- E_{dist} は輪郭線上のサンプリング点間を平均化するための輪郭点間距離平均化項である。

$$E_{dist} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \{ w_{dist} (d_{ave} - \|\mathbf{v}'_i\|)^2 \} \quad (2.13)$$

ここで、 $\alpha, \beta, w_{area}, w_{dist}$ は各エネルギー項に対する重み係数を表す。また、 $\mathbf{v}'_i = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{i-1}$, $\mathbf{v}''_i = \mathbf{v}_{i+1} - 2\mathbf{v}_i + \mathbf{v}_{i-1}$, $\mathbf{v}_x = \partial \mathbf{v}_i / \partial x$, $\mathbf{v}_y = \partial \mathbf{v}_i / \partial y$, d_{ave} は輪郭点間隔の距離の平均値とする。

E_{image} :画像エネルギー

E_{image} は、画像の形状 (画素値, 勾配) により定まるエネルギーで、式 (2.14) により定義する。

$$E_{image} = E_{edge} + E_{intens} \quad (2.14)$$

- E_{edge} は画像濃度の1次微分である画像エッジのエッジポテンシャル項である。

$$E_{edge} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \{ w_{edge} \|\nabla I(\mathbf{v}_i)\|^2 \} \quad (2.15)$$

- E_{intens} は移動物体の内部に輪郭線を入り込ませないための画像濃度項である。

$$E_{intens} = \sum_{i=1}^n \{ w_{intens} I(\mathbf{v}_i) \} \quad (2.16)$$

ここで、 w_{edge}, w_{intens} は各エネルギー項に対する重み係数を表す。また、 $\mathbf{v}_i$ の位置の画像濃度値を $I(\mathbf{v}_i)$ とする。

輪郭線の交差判定

C-Snakes で輪郭線の交差を判定するために式 (2.17) を用いる.

$$p(\mathbf{v}_{i+1} - \mathbf{v}_i) + \mathbf{v}_i = q(\mathbf{v}_{j+1} - \mathbf{v}_j) + \mathbf{v}_j \quad (2.17)$$

$\mathbf{v}_i, \mathbf{v}_{i+1}, \mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1}$ を輪郭線上のサンプリング点とした場合, 式 (2.17) 中の p, q が $0 \leq p \leq 1, 0 \leq q \leq 1$ となる場合に輪郭線は自己交差を起こしていると思なされる. 輪郭線の交差判定は輪郭線上のすべてのサンプリング点の組合せに対して行う.

まとめ

Kass らによって画像中から輪郭線を抽出できる Snakes が提案され, それを基にして数々の改良された Snakes が提案されてきた. これらの Snakes は, 輪郭線抽出の処理時間は短い凸型の輪郭線しか抽出できない (S-ACM), 凹型の輪郭線の抽出はできるが処理時間が長い (C-Snakes), Lock on 機能の性質を持つという特徴がある. しかし, Snakes を用いた物体追跡手法では, 対象同士が重なる場合には輪郭線が混乱し追跡が不可能となる. また対象の形状が変化する場合には C-Snakes を用いる (対象の形状が凹型に変化する場合を考慮して) ため処理時間がかかり過ぎてしまう.

そこで本手法は, S-ACM と C-Snakes を併用することで処理時間の高速化を図る. はじめに S-ACM で 速やかに凸型の輪郭線 (対象の近傍の輪郭線) を抽出し, その抽出した輪郭線を C-Snakes に与え, 凹型の輪郭線を抽出する. しかし, 2つの Snakes を併用するだけでは対象同士が重なる場合に起こる輪郭線の混乱を防ぐことができない. そこで輪郭線の混乱を防ぐために輪郭線同士の融合を行う機能を導入する. その結果, 対象同士が重なる場合にも追跡が可能となる.

第 3 章

提案する移動物体追跡法

本章では, 本研究で提案する移動物体追跡法について説明する. 提案する移動物体追跡法の追跡処理は, 以下の 2 つの処理過程から構成される.

1. 輪郭追跡処理
2. 軌跡決定処理

また輪郭追跡処理を容易に行うために入力画像に対して前処理を行う. ここでは追跡処理過程の各々の処理について詳しく説明する.

3.1 本手法での物体追跡法のながれ

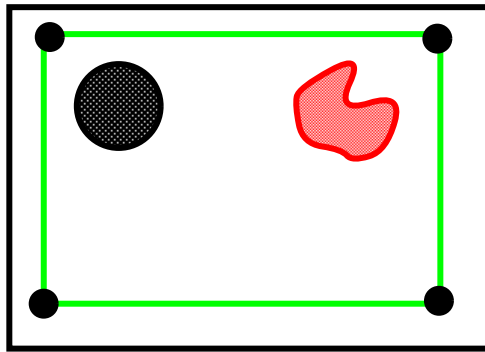
以下に本手法で提案する物体追跡法の処理のながれを図 3.1を用いて説明する. この処理のながれの処理 1 から 3 が輪郭追跡処理, 4 が軌跡決定処理となる.

1. 初期輪郭線の設定 (第 1 フレーム画像)

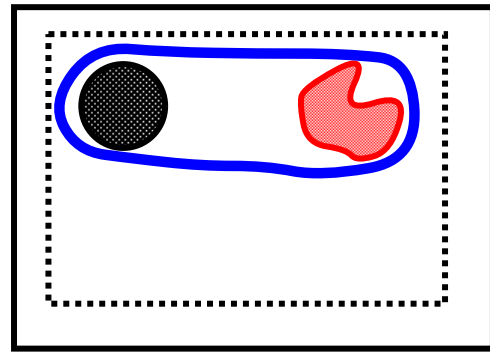
初期フレーム画像に対してすべての対象物体を囲むように初期輪郭を設定する (図 3.1(a)). 例えば, 画像フレーム枠の近傍に設定する.

2. 初期輪郭線の修整

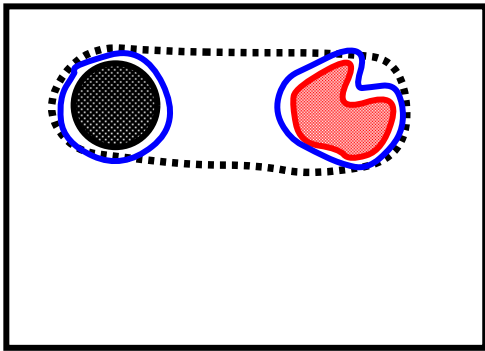
対象物体の輪郭線の抽出を高速に行うため輪郭線の修整を二段階に分けて行う.



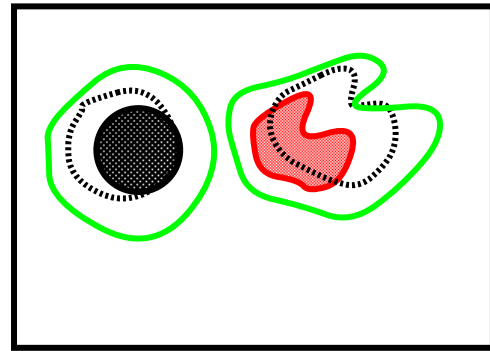
(a)



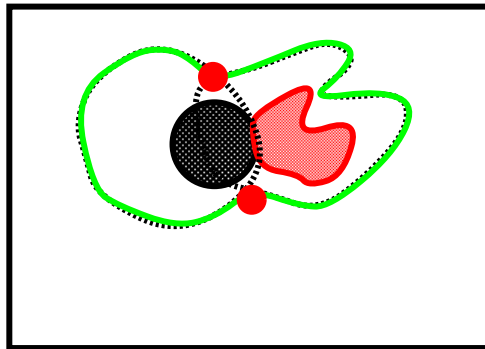
(b)



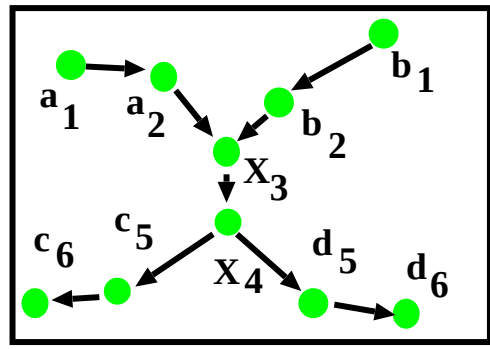
(c)



(d)



(e)



(f)

図 3.1: 本手法での処理の流れ: (a) 初期フレーム画像での輪郭設定; (b) 初期輪郭を凸型の輪郭線に修整; (c) (b) により抽出された輪郭線を分裂させ凹型の輪郭線に修整; (d) 過去の輪郭線を基にした次フレーム画像の初期輪郭設定; (e) 対象物体が重なった場合の輪郭線の融合処理; (f) 移動する物体の軌跡.

(a) 輪郭線の修整の第一段階

設定した初期輪郭線に対してすべての対象物体を内部に含むように凸型の輪郭線に修整する (図 3.1(b)).

(b) 輪郭線の修整の第二段階 (複数物体への対応)

輪郭線の修整の第一段階で抽出された輪郭線を初期輪郭とし, この輪郭線を凹型の輪郭線に修整する. また輪郭線の分離を行い複数の対象物体の輪郭線に修整する (図 3.1(c)).

3. 輪郭線の追跡 (第 2 フレーム画像以降)

(a) 初期輪郭線の設定

前フレーム画像において抽出された輪郭線 (図 3.1(c)) を対象物体の過去の移動量を基に膨張させ, これを現フレーム画像に対する初期輪郭として設定する (図 3.1(d)).

(b) 輪郭線の融合処理

抽出された輪郭線を膨張させ次フレーム画像の初期輪郭として与えるため, 輪郭同士の重なりが起こる場合がある. その場合, 重なった輪郭線に対して輪郭線同士の融合処理を行う (図 3.1(e)).

(c) 初期輪郭線の修整

(b) で得られた輪郭線に対し, 処理 2 (a), (b) と同様にして, 凸型輪郭の獲得, 次に凹型輪郭の獲得, 輪郭線の分離を行う.

(d) 繰り返し処理

対象とする動画の最終フレームまで処理 3(a), (b), (c) の処理を繰り返す.

4. 領域内属性を用いた軌跡の決定

対象物体の軌跡を決定するためには, 輪郭追跡処理 (処理 1 から 3) により得られた輪郭線を異なるフレーム画像間で対応づける必要がある.

図 3.1(f) の $a1$, $b1$ をスタート地点として移動する 2 つの物体が観測された場合, 図 3.1(f) の a から c , b から d に移動する軌跡と, a から d , b から c に移動する軌跡の 2 つの可能性が考えられる.

本手法では, 移動する物体が重なり合う前の状態 (図 3.1(f) の $a2$, $b2$) の領域の属性と物体が分離した後の状態 (図 3.1(f) の $c5$, $d5$) の領域の属性とのマッチング処理を行うことで, 軌跡の決定を行う.

3.2 入力画像に対する前処理

入力画像としてカラーの動画像を用いる. 輪郭追跡処理には, 入力画像をモノクロ画像に変換し, 背景画像・前後フレーム画像との差分をとり移動する対象物体の輪郭を強調した画像を用いる. 輪郭線強調画像の作製法を図 3.2 に示す. この処理で移動する対象物体の輪郭線だけが強調された画像になる. 実際の画像を前処理した結果を図 3.3 に示す. 図 3.3(a) が輪郭追跡処理に用いるため入力画像に対して前処理を施した画像である. 軌跡決定処理にはカラー画像をそのまま用いる (図 3.3(b)).

3.3 輪郭追跡処理

輪郭追跡処理では, 動画像中を移動する対象物体の輪郭線を抽出する. 本手法では Snakes を用いて輪郭線を抽出し, 輪郭の追跡を行う.

3.3.1 輪郭線の抽出

使用する Snakes は, 対象が複雑な動きをする場合, 及び対象の形状が変化する場合, 対象が複数の場合に対応するため C-Snakes を用いる. C-Snakes は, 輪郭線の抽出処理に時間がかかり過ぎてしまう. 輪郭線抽出の処理時間は, 処理時間が短い S-ACM とうまく併用することで短縮できる.

本手法では対象物体の輪郭線の抽出を以下の手順で行う.

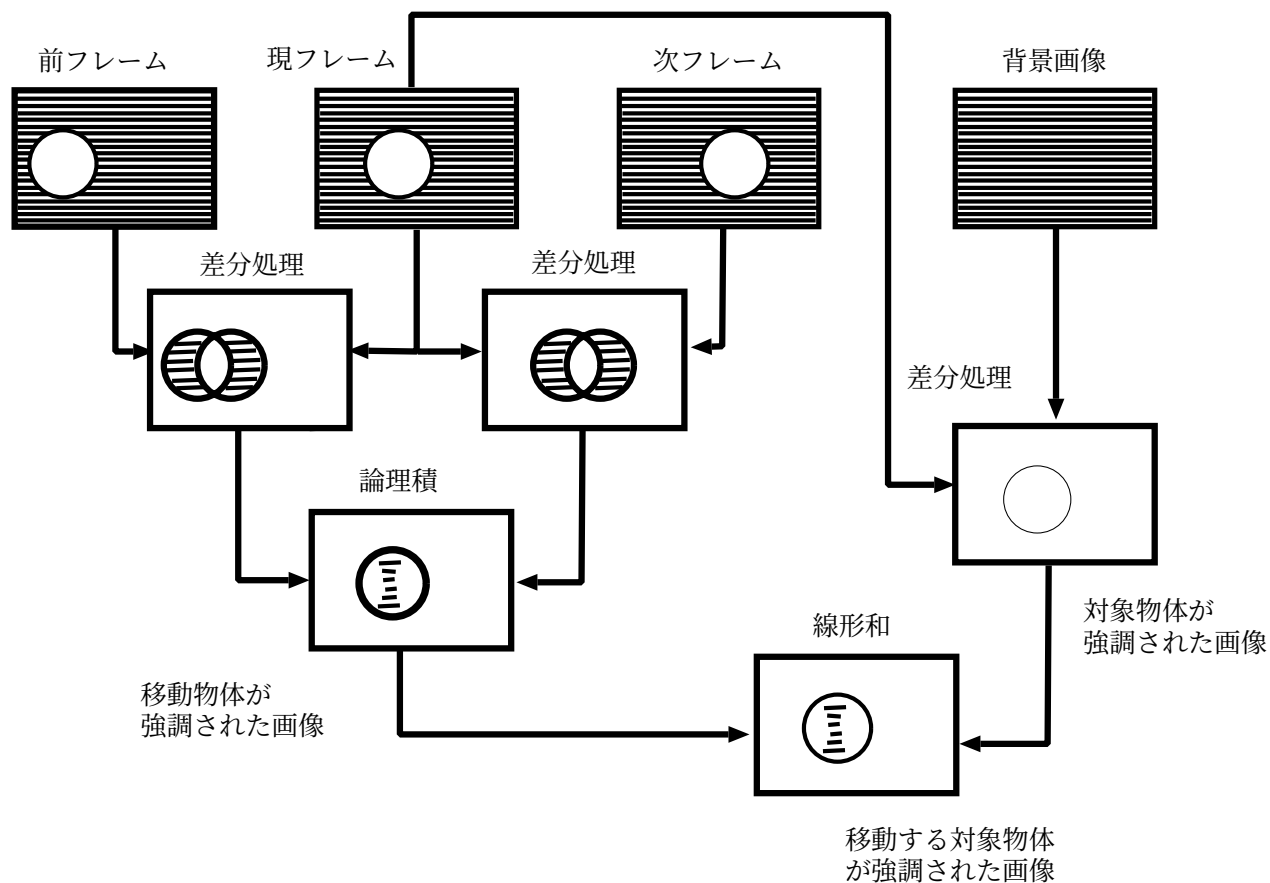


図 3.2: 輪郭追跡処理に対する入力画像の作製法: 前後フレーム画像との差分により移動する物体の輪郭を抽出し、背景画像との差分により対象物体を抽出する。2つの処理画像の線形和を用いることで、移動する対象物体の強調画像を得る。



図 3.3: 追跡処理で用いる画像: (a) 入力画像に対して前処理を施した画像 (輪郭追跡処理に用いる画像); (b) 入力画像 (軌跡決定処理に用いる画像).

- **初期フレーム画像での初期輪郭設定**

輪郭線の抽出に際し, 対象物体の全体が含まれるように (対象物体が複数個ある場合はすべての対象物体を囲むように), 初期輪郭を大きく設定する.

- **ステップ 1: S-ACM による輪郭線の修整**

与えられた初期輪郭を修整し対象の輪郭線を抽出する. その際, 計算量の少ない S-ACM を適用し, 対象を凸型に囲む輪郭線を抽出する.

- **ステップ 2: C-Snakes による輪郭線の修整**

ステップ 1 で抽出された凸型の輪郭線を C-Snakes の初期輪郭として与え, 凹型の形状を持つ対象物体, 及び複数の対象物体の輪郭線を抽出する.

C-Snakes は, 輪郭線の位置が対象物体の近傍にない場合でもエネルギーの最小化問題を解くため, 処理に多くの時間が必要である. このとき, 輪郭線が対象物体の近傍にある状態から C-Snakes を適用することで処理時間の短縮を行うことができる. 従って, はじめに S-ACM で初期輪郭を凸型輪郭に修整し, その後に C-Snakes で凹型の複数物体の輪郭を抽出をすることで, 初期輪郭から対象物体の輪郭線を抽出する処理の高速化を図る.

この手順でシミュレーション画像に対して輪郭線の抽出を行った結果を図 3.4に示す。図 3.4(a) のフレーム枠近傍の長方形の輪郭線が設定した初期輪郭である。設定した初期輪郭を S-ACM に与えることで速やかに輪郭線の形状が修整される。その結果 3 つの物体を包むように凸型の輪郭線を抽出する (図 3.4(a) の内側の輪郭線)。その後, S-ACM で抽出された輪郭線を C-Snakes の初期輪郭として与える。複数の対象物体であるため輪郭線が分離する。そして凹型の対象物体の輪郭線を抽出する (図 3.4(b))。

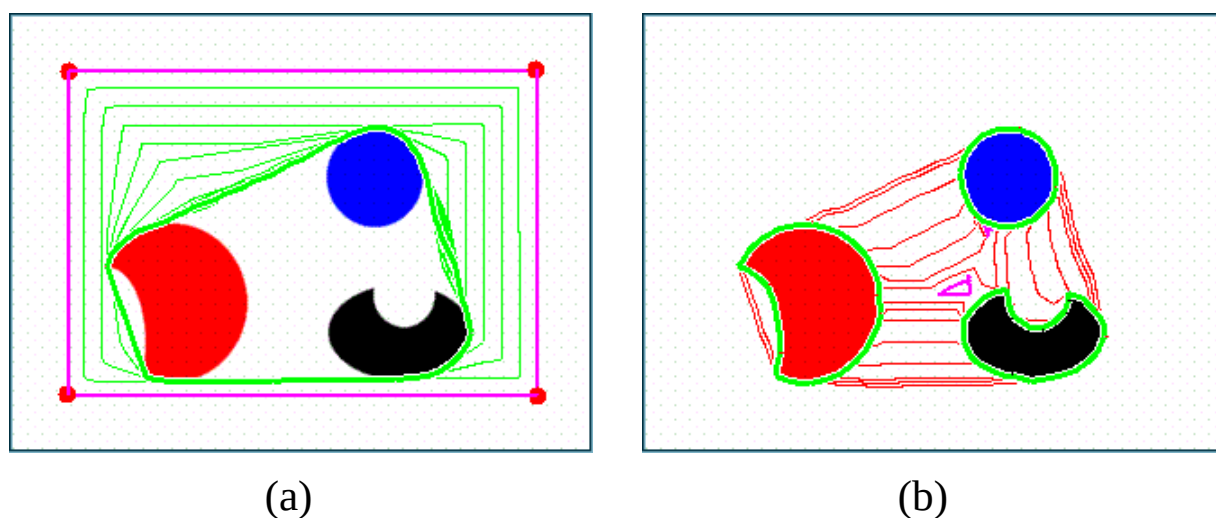


図 3.4: 本手法での輪郭線抽出: (a) S-ACM による輪郭線の抽出結果; (b) C-Snakes による輪郭線の抽出結果。

輪郭線上のサンプリング点の数と移動量

輪郭線はサンプリング点によって構成されている。Snakes により抽出される輪郭線の形状は、輪郭線上のサンプリング点の数と一回の計算で移動できる移動量に影響される。

抽出される輪郭線の形状とサンプリング点の数・移動量との関係を以下に示す。

● サンプリング点の数

- 抽出される輪郭線の形状は、サンプリング点の数を増やす (サンプリング点の間隔を狭くする) ことでより正確な対象の輪郭になる。しかし輪郭線抽出の処理時間は増加してしまう。

- 輪郭線抽出の処理時間は、サンプリング点の数を減らす (サンプリング点の間隔を広くする) ことで短縮できる。しかし抽出される対象の輪郭は雑になってしまう。

● サンプリング点の移動量

- 抽出される輪郭線の形状は、サンプリング点の移動量を狭くすることでより正確な対象の輪郭になる。しかし輪郭線抽出の処理時間は増加してしまう。
- 輪郭線抽出の処理時間は、サンプリング点の移動量を広くすることで短縮できる。しかし抽出される対象物体の輪郭は雑になってしまう。

以上のように、抽出される輪郭線の形状と処理時間にはトレードオフの関係がある。そのため輪郭線上のサンプリング点の数と移動量を物体追跡を行う状況に合わせて設定する必要がある。

本研究では、各サンプリング点の間隔が 2 から 10 画素の範囲になるようにサンプリング点を生成・削除して輪郭線上のサンプリング点の数を調節する。また各サンプリング点が一回の計算で移動できる移動量は最大 2 画素の範囲であり、移動できる方向は現位置を含む 9 近傍と設定した。

Snakes の収束判定

S-ACM で抽出される輪郭線は、力の平衡状態による収束解である。また C-Snakes で抽出される輪郭線は、エネルギー最小化問題の収束解である。そのため輪郭線の抽出処理を停止させるためには解の収束判定を行う必要がある。

本手法で用いる 2 つの Snakes では、以下のように収束解の判定を行う。

● S-ACM

輪郭線上のサンプリング点が対象画像のエッジに到達したときに反作用力が作用する。これにより各サンプリング点は、エッジの位置で力が平衡状態になり各サンプリング点は停止または振動する。振動するサンプリング点と同じ位置で振動する場合はそのサンプリング点を停止させる。その結

果すべてのサンプリング点が停止状態になった場合に輪郭線は収束したと判定する.

- C-Snakes

エネルギー最小化問題を解くことで輪郭線の修整を行う. その際, 輪郭線上のサンプリング点が移動することによってエネルギーの値が増加する場合はその位置で停止する. その結果すべてのサンプリング点が停止状態になった場合に輪郭線は収束したと判定する. また, サンプリング点が収束解の近傍で振動する場合は一定回数以上のサンプリング点の移動により強制的に収束したと判定する.

本手法の C-Snakes で用いるエネルギー項

Snakes の形状変化は, 最小化問題に用いるエネルギー E_{snakes} によって決定する. E_{snakes} は内部エネルギー E_{int} と画像エネルギー E_{image} の線形和として表される (式 (2.9)).

本手法では従来の C-Snakes に使用されているエネルギーに圧力項 E_{press} と曲率項 E_{term} を付け加える. 付け加えたエネルギーによって最小化問題の収束解に早く近づけることができる. また, 輪郭線はサンプリング点 $\mathbf{v}_i = (x_i, y_i)$ ($\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_{n+1}$) により構成されている.

E_{int} : 内部エネルギー

E_{int} は, 輪郭線の形状により定まるエネルギーで式 (3.1) により定義する.

$$E_{int} = E_{spline} + E_{area} + E_{dist} + E_{press} \quad (3.1)$$

- E_{spline} は輪郭線の 1 次及び 2 次微分の和であり, 輪郭線の形状を滑らかにする働きを持つスプライン項である (式 (2.11)).
- E_{area} は輪郭線内の閉領域を縮小させるための面積項である (式 (2.12)).
- E_{dist} は輪郭線上のサンプリング点間を平均化するための輪郭点間距離平均化項である (式 (2.13)).
- E_{press} は輪郭線を重心位置に引き寄せるための圧力項である.

$$E_{press} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left\{ w_{press} (\mathbf{v}_{grv} - \mathbf{v}_i)^2 \right\} \quad (3.2)$$

ここで, w_{press} は圧力項に対する重み係数を表す. また, $\mathbf{v}_{grv}$ は閉領域の重心の座標とする.

E_{image} :画像エネルギー

E_{image} は, 画像の形状 (画素値, 勾配) により定まるエネルギーで, 式 (3.3) により定義する.

$$E_{image} = E_{edge} + E_{intens} + E_{term} \quad (3.3)$$

- E_{edge} は画像濃度の 1 次微分である画像エッジのエッジポテンシャル項である (式 (2.15)).
- E_{intens} は移動物体の内部に輪郭線を入り込ませないための画像濃度項である (式 (2.16)).
- E_{term} は式 (3.4) に示すように対象物体の端点に対処するための濃度曲面から定義される曲率項である.

$$E_{term} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left\{ w_{term} \| I_{yy} I_x^2 - 2 I_{xy} I_x I_y + I_{xx} I_y^2 \| \right\} \quad (3.4)$$

ここで, w_{term} は曲率項に対する重み係数を表し, サンプル点 $\mathbf{v}_i$ の位置の画像濃度値を $I(\mathbf{v}_i)$ とする. また, $I_x = \partial I(\mathbf{v}_i) / \partial x$, $I_y = \partial I(\mathbf{v}_i) / \partial y$, $I_{xy} = \partial I_x(\mathbf{v}_i) / \partial y = \partial I_y(\mathbf{v}_i) / \partial x$, $I_{xx} = \partial I_x(\mathbf{v}_i) / \partial x$, $I_{yy} = \partial I_y(\mathbf{v}_i) / \partial y$ とする.

3.3.2 各フレーム画像に対する初期輪郭設定

新たなフレーム画像で輪郭線の抽出を行う場合, 初期輪郭の設定, S-ACM, C-Snakes の適用を順次繰り返す.

初期フレーム画像では対象物体がすべて内部に含まれるように初期輪郭を設定する (例えばフレーム枠に接するように設定する). 初期フレーム画像以外に対しては, 前フレーム画像で抽出された輪郭線を小量膨張させ, 過去に抽出された輪郭線を基に移動量を計算し, 現フレーム画像の初期輪郭として設定する.

3.3.3 輪郭線の分離機能

初期フレーム画像において 1 つの凸型輪郭線を複数の輪郭線に分割する場合や, 1 つの対象物体が複数の物体に分離する場合, Snakes には輪郭線を分離するための機能が必要となる.

C-Snakes における分離の機能

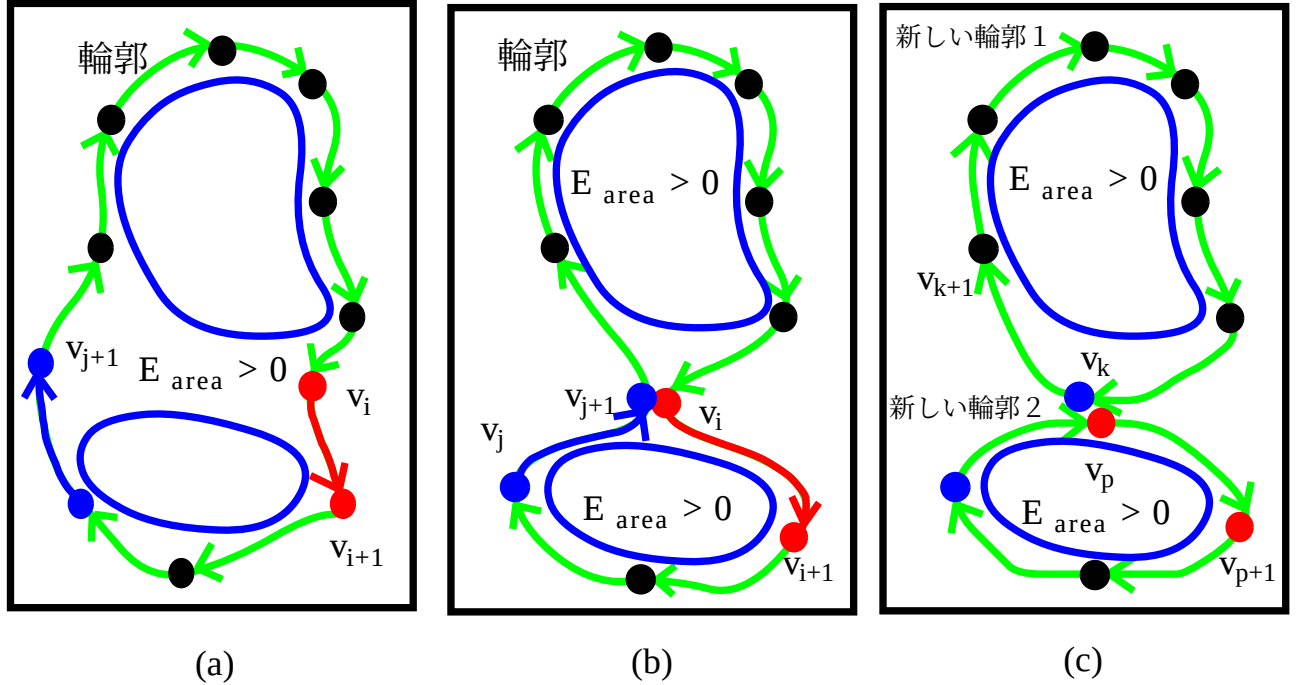


図 3.5: 輪郭線の分離 (新しい輪郭線を形成する場合) : (a) 自己交差する前の輪郭線の状態; (b) サンプル点が対象物体間の隙間に入り込み自己交差を起こした輪郭線; (c) 面積項が 2 つとも正の場合, 新しく 1 つ輪郭を形成し分離する.

C-Snakes は輪郭線内の対象物体の間に隙間があると面積項の働きにより隙間に輪郭線が入り込み輪郭線の自己交差が生じる. そのとき輪郭線の交差判定は式 (2.17) により行われる. また, 面積項の値は, 輪郭線上のサンプル点が時計廻りにリンクされている場合には正になり, 反時計廻りにリンクされている場合には負になるように定義されている (式 (2.12)).

いま, 図 3.5(a) のように輪郭線が形成されていると想定する. 輪郭線の修整により輪郭の形状が図 3.5(b) に修整されたとする. この場合 v_i と v_{i+1} が重なり合い, 輪郭線の自己交差が発生する. 交差判定式により自己交差が生じていると判断され, 交点に新たなサンプル点を設定し, そこで輪郭線を 2 つに分割する (図 3.5(c)). その結果, 1 つであった輪郭が今後 2 つの輪郭として扱われ輪郭の修整を行っていく.

輪郭線が修整する途中の輪郭線の形状

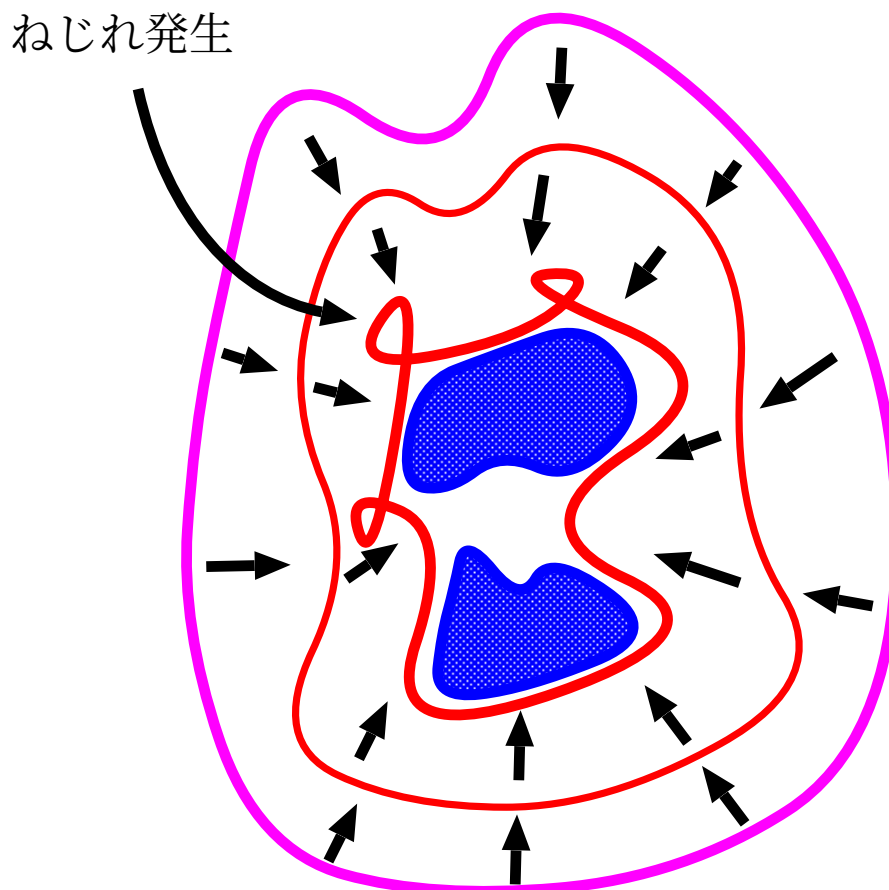


図 3.6: 輪郭線の修整時に起こる輪郭線形状: もっとも外側の輪郭線が面積項を縮小させるため矢印の方向に形状を修整していく場合, 輪郭線のねじれが発生することがある。

輪郭線の修整において面積項を縮小させる状況は, 輪郭線の縮小だけでなく面積項の値が負になる領域を作ることによって行われる場合がある。その状況を図 3.6 を用いて説明する。図 3.6 のもっとも外側の輪郭線に対して矢印の方向に形状が修整されていく場合を考える。輪郭線は面積項の値を縮小させるために, ねじれが発生させ面積項の値が負になる領域を作ることがある。従来の C-Snakes の分離処理は, このようなねじれによる輪郭線の自己交差においても新たに輪郭線を形成していた。ねじれ交差により作られる輪郭線は, 内部に対象物体を含まないので, 偽の輪郭線といえる。処理の効率化を図るためには, 真の輪郭線 (内部に対象物体を含む) と偽の輪郭線とを区別し, 偽の輪郭線の生成を防ぐ

必要がある.

C-Snakes に新たに付け加える分離の機能

本手法で用いる C-Snakes では偽の輪郭線を削除する処理を付け加えている. 偽の輪郭線では面積項を求めた場合, 真の輪郭線とは逆回りに積分を行うため, 面積項が負になる. 図 3.7(a) から図 3.7(b) のように輪郭線の修整が行われた場合, ねじれ交差した輪郭線は面積項が負になる. その場合, 面積項が負となる輪郭は削除する (図 3.7(c)).

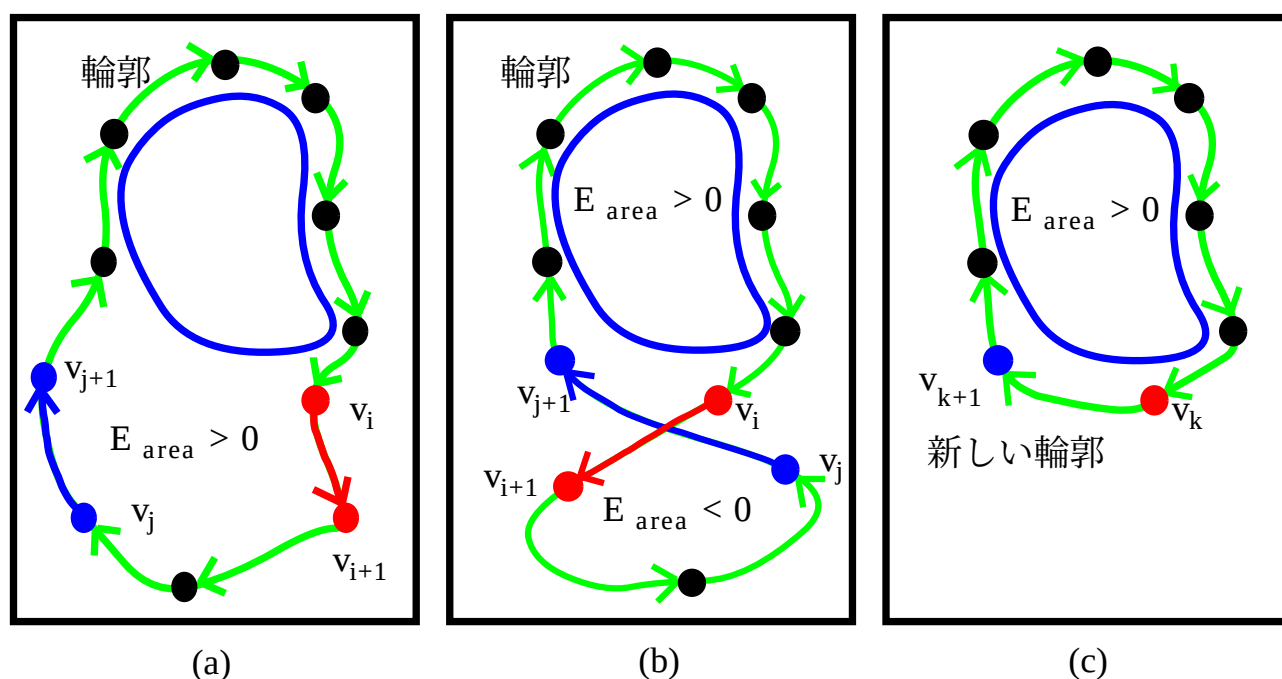


図 3.7: 輪郭線の分離 (新しい輪郭線を形成しない場合): (a) 自己交差する前の輪郭線の状態; (b) サンプル点の移動によるねじれの自己交差を起こした輪郭線; (c) 面積項が負の輪郭線を削除した状態.

3.3.4 輪郭線の融合機能

複数の対象物体を追跡する場合, 追跡途中で異なる対象物体の輪郭線同士が重なることがある. 輪郭線を重ねたままの状態では Snakes を実行すると, 対象物体の輪郭線抽出を行

うことができない. そこで対象物体の輪郭線同士が重なった場合は輪郭線を融合し, Snakes
で対象物体の輪郭線抽出を行えるようにする.

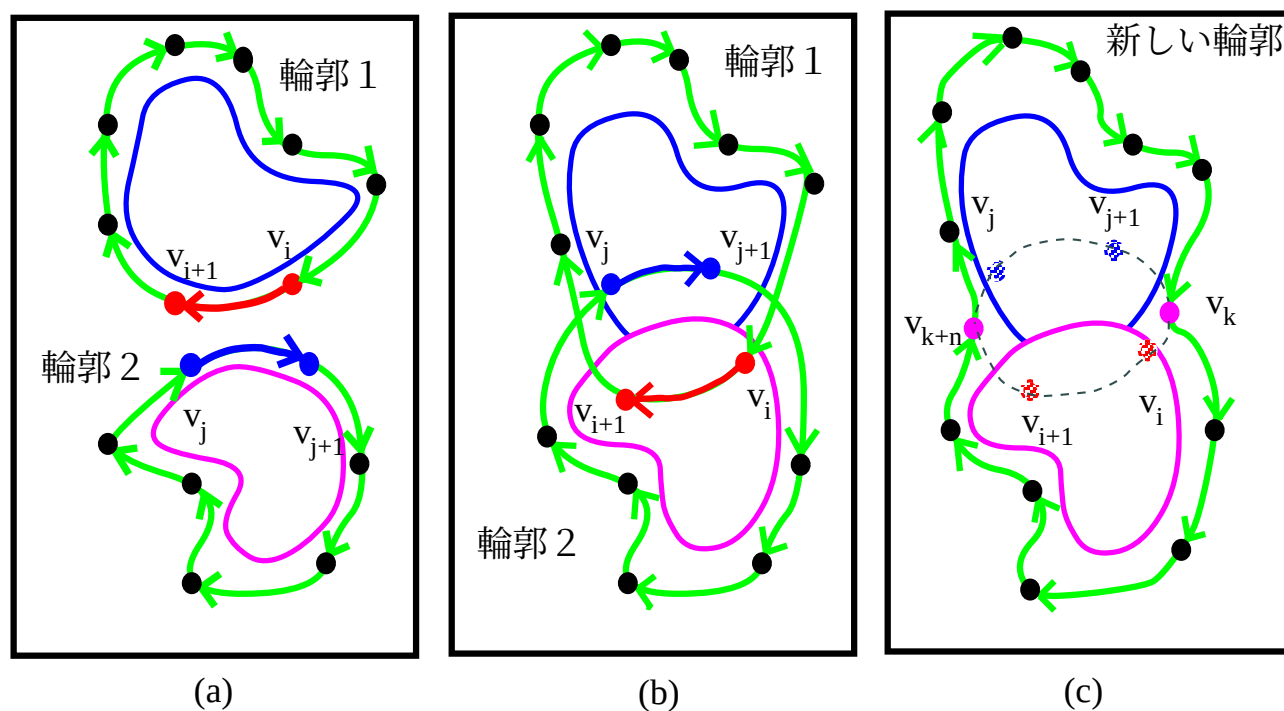


図 3.8: 輪郭線の融合: (a) 2 つの輪郭線が存在している状態; (b) 移動により輪郭が重なった状態; (c) 対象物体の 2 つの輪郭線を 1 つの輪郭線として融合した状態.

融合処理は以下の手順で行う.

• ステップ 1

異なる対象物体の輪郭線に対して交差判定を式 (2.17) により行う. 重なっていると判定された場合は輪郭線の融合を行う. 重なっていないと判定された場合は輪郭線の融合を行わない.

● ステップ 2

輪郭線を融合するために、輪郭線が重なった交点のすべてに新たなサンプリング点を生成する。

● ステップ 3

重なった輪郭線を 1 つの輪郭線に融合する。その際、新しく形成する輪郭線は、重なった輪郭線の線分を使って面積項 (式 (2.12)) の値が最大になるように形成する。

2 つの輪郭線の融合処理を図 3.8 に示す。図 3.8(a) のように 2 つの輪郭線が存在する状態から図 3.8(b) のように輪郭線が修整されたとする。2 つの輪郭線の交点に新たなサンプリング点を生成し、融合処理により 2 つ存在していた輪郭線が新しい 1 つの輪郭線として形成される (図 3.8(c))。また新しく形成された輪郭線もサンプリング点が時計廻りにリンクされており、面積項の値が正となる。

融合処理により新しい輪郭線を正しく形成する手法

融合処理は 2 つ以上の輪郭線が重なる場合、重なる輪郭線を 1 つの新しい輪郭線として形成することで行なわれる。

いま図 3.9(a) のように輪郭線が重なり輪郭線の融合処理が行われる場合を考える。ここで、輪郭線の重なる交点に新しいサンプリング点を生成し、重なる輪郭線の線分を用いて新しい輪郭線を形成する。重なる輪郭線の線分を用いて形成できる輪郭線の候補は、図 3.9(b), (c), (d), (e) の 4 つである (輪郭線上のサンプリング点を結ぶ線分の向きが時計廻りのものを使用する)。このとき、新しく形成する輪郭線は輪郭線の内部に対象物体の全体を含むようにする必要がある。従って、輪郭線内の面積が最大になるように輪郭線を形成することで対象物体の全体を内部に含む輪郭線を形成する。図 3.9 の場合は、図 3.9(e) が新しい輪郭線となる。

3.4 軌跡決定処理

軌跡決定処理は、輪郭追跡処理によって得られた輪郭線を基に動画像中で移動する対象物体の軌跡を決定する。この処理過程を行うことで、移動する対象物体が重なった場合で

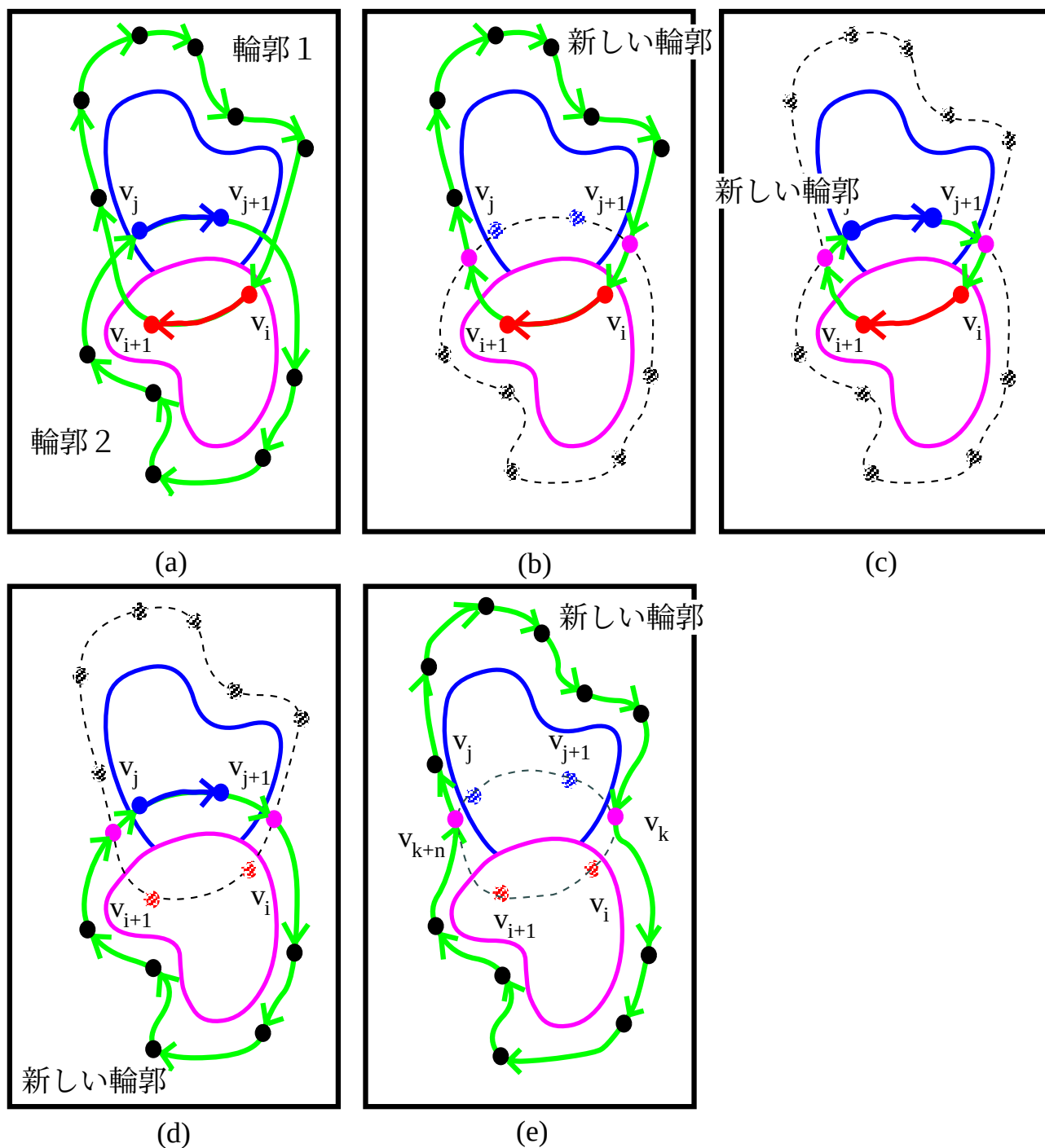


図 3.9: 融合処理により形成される新しい輪郭線: (a) 2つの輪郭線が重なった状態: (b) 新しく形成する輪郭線の候補 1: (c) 新しく形成する輪郭線の候補 2: (d) 新しく形成する輪郭線の候補 3: (e) 新しく形成する輪郭線の候補 4 (この輪郭線が新しく形成される).

も対象物体の軌跡を決定することができる。

3.4.1 領域内の属性を利用した軌跡の決定

複数の対象物体間で分離・融合が頻繁に行われる場合、異なるフレーム画像間で輪郭線の対応が取れていないため対象物体の軌跡を決定することができない。対象物体の軌跡を決定するためには、異なるフレーム画像間で輪郭線に対応づける処理が必要となる。本手法では、輪郭線内の閉領域の色情報と周波数情報を用い、式 (3.5) の単純類似度法によって輪郭線の対応づけを行う [18]。

$$S_s[\mathbf{a}, \mathbf{b}] = \frac{(\mathbf{a}, \mathbf{b})^2}{\|\mathbf{a}\|^2 \|\mathbf{b}\|^2} \quad (3.5)$$

ここで、式 (3.5) 中の特徴ベクトルを $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ として、本手法ではそれぞれ RGB 画像の輝度値のヒストグラム、画像の周波数成分のヒストグラムを用いている。

異なるフレーム画像では得られる輪郭線のサイズが違う。そのため RGB の輝度値・周波数のヒストグラムを正規化して対応づけを行う。また対応づけを行う対象物体の数は、最終フレーム画像にある移動物体の数とする。

領域内の属性を利用した軌跡の決定は以下の手順で行う。

● ステップ 1

最終フレーム画像から抽出された輪郭線の 1 つの対象に着目し、その輪郭線が融合したフレーム画像まで時間軸をさかのぼる。(融合したフレーム画像がない場合はこの対象 (輪郭線) に対しては対応づけを終了する。) 対応づけの比較対象として融合する前のフレーム画像から融合した輪郭線内の属性をそれぞれ抽出する。

● ステップ 2

融合したフレーム画像から分離するフレーム画像まで時間軸を進める。対応づけの比較元として、分離するフレーム画像に着目し、分離後の 2 つの対象における輪郭線内の属性を抽出する。

- **ステップ 3**

ステップ 1 で抽出した対応づけの比較対象の輪郭内の属性とステップ 2 で抽出した対応づけの比較元の輪郭内の属性を用いて対応づけを行う.

- **ステップ 4**

対象物体の数だけステップ 1 から 3 を繰り返す.

第 4 章

評価実験

ここでは提案する移動物体追跡法の動作を確認し, かつその有効性を示すため人工的に作成したシミュレーション画像, ビデオカメラで撮影した実画像に適用した結果を示す.

4.1 実験内容

提案する移動物体追跡法の動作と有効性を調べるため以下の 2 つの評価実験を行った.

1. 輪郭線の融合機能の効果

Snakes に輪郭線の融合機能を導入することで対象が重なる場合でも輪郭線の抽出が可能となることを示す.

2. 領域の属性に基づく軌跡決定法の効果

領域の属性に基づく軌跡決定法を用いることで対象が重なる場合でも対象の正しい軌跡を決定できることを示す.

物体追跡した動画像

使用した入力画像は, 320x240 画素のカラー画像である. 輪郭追跡処理には, 入力画像に対する前処理を施した画像を用いた. 軌跡決定処理には, 入力画像のカラー画像をそのまま用いた. また, 実画像のフレーム画像間の時間は 1/10 秒とした.

Snakes の重み係数の設定

評価実験で用いた 各々の Snakes の重み係数は表 4.1 (S-ACM), 表 4.2 (C-Snakes) の値を設定した.

表 4.1: 評価実験で用いた S-ACM の重み係数の値

使用する力	式番号	重み係数の値
F_p	式 (2.7)	$k_p = 20$
F_a	式 (2.8)	$k_a = 10$

表 4.2: 評価実験で用いた C-Snakes の重み係数の値

使用するエネルギー項	式番号	重み係数の値
E_{spline}	式 (2.11)	$\alpha = 1.0, \beta = 1.0$
E_{area}	式 (2.12)	$w_{area} = 3.0$
E_{dist}	式 (2.13)	$w_{dist} = 1.0$
E_{press}	式 (3.2)	$w_{press} = 0.1$
E_{edge}	式 (2.15)	$w_{edge} = 1.0$
E_{intens}	式 (2.16)	$w_{intens} = 1.0$
E_{term}	式 (3.4)	$w_{term} = 0.1$

4.2 輪郭線の融合機能の効果

ここでは提案する移動物体追跡法で用いる Snakes に輪郭線の融合機能を導入することで, 対象が重なった場合でも追跡が可能となることを示す.

4.2.1 融合機能を持つ Snakes と 融合機能を持たない Snakes の比較

ここでは対象が重なる場合に輪郭線の融合機能が必要となることを示す. 融合の機能を持つ Snakes と融合の機能を持たない Snakes とを同じ動画像に適用し輪郭線の抽出を

行った。その結果を図 4.1に示す。

対象物体が重なっていない場合には、どちらの Snakes で輪郭線抽出を行っても 2 つの対象物体の輪郭線をうまく抽出することができている (図 4.1(a))。次フレーム画像に初期輪郭を与える (現フレーム画像で抽出された輪郭線を過去の移動量も基に膨張させる) ことにより輪郭線の重なりが発生する (図 4.1(b), (c))。輪郭線が重なるフレーム画像では、各々の Snakes で抽出される輪郭線が異なる (図 4.1(b), (c))。

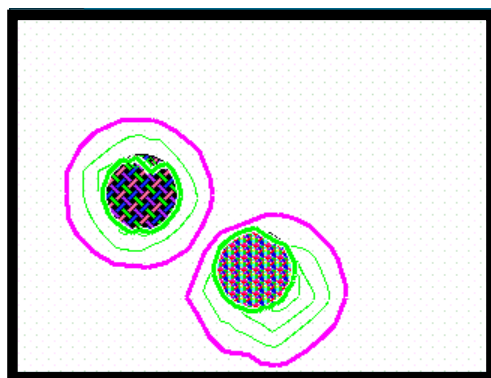
輪郭線の融合の機能を持っていない Snakes では、図 4.1(b), (d) に示すように、2 つの対象物体が接する境界に生じるエッジに輪郭線が引き付けられ、対象物体の輪郭を正確に抽出することができない。そのため対象物体の輪郭を見失い、この後のフレーム画像に対して追跡が続行不可能となる。

これに対し、輪郭線の融合の機能を持つ Snakes では、図 4.1(c), (e) に示すように、輪郭線が対象物体内部に入り込まず、対象の輪郭線を正確に抽出することができ、この後の画像に対して追跡が続行可能となる。

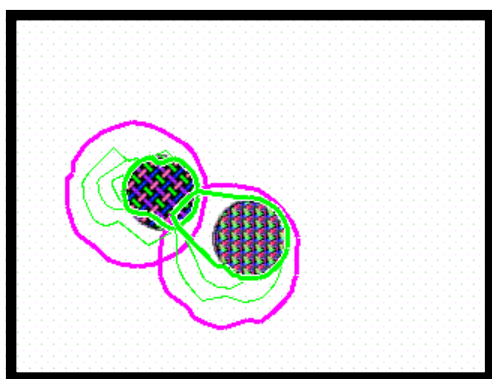
4.2.2 融合機能を持つ Snakes を用いた物体追跡

ここでは提案する移動物体追跡法が動画像に対して有効であることを示す。2 つの移動する対象物体を持つシミュレーション画像を作成し、その画像に対して輪郭線の融合機能を持つ Snakes で物体追跡を行った。追跡の実行過程を図 4.2, 図 4.3に示す。

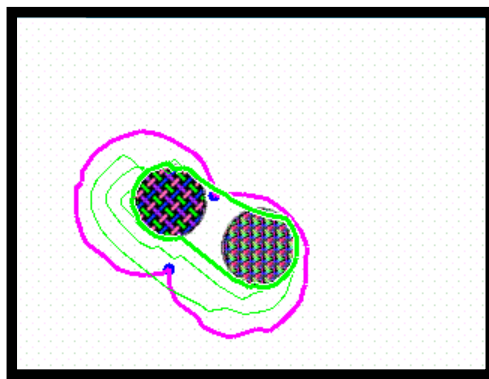
図 4.2(a) は、設定した初期輪郭に対して、S-ACM を適用し、対象を凸型に囲む大まかな輪郭線を抽出した結果を示している。図 4.2(a) の矢印は対象物体の移動方向を示している。図 4.2(a) で得られた凸型輪郭に対して C-Snakes を適用し、2 つの対象物体を各々囲む輪郭線に分離した状況を図 4.2(b) に示す。次のフレーム画像中の対象物体を追跡する様子を図 4.2(c) に示す。図 4.2(b) で得られた輪郭線を拡大したものを初期輪郭線と見なし、S-ACM, C-Snakes を順次適用し、対象が移動した位置で新たに輪郭線を抽出しているのが分かる。2 つの対象が重なると各々の輪郭線が 1 つの輪郭線に融合される (図 4.2(d))。対象が離れると C-Snakes により輪郭線の分離が行われ、2 つの輪郭線が生成される (図 4.3(a))。2 つの対象物体間の距離が短いと、各々の輪郭線を拡大し次フレーム画像での初期輪郭を設定する際、2 つの輪郭線が重なり、輪郭線の融合が行われる場合がある (図 4.3(b))。しかし、この輪郭に対し、再度 C-Snakes が適用されるため、再び輪郭線の分割が行われ、2 つの輪郭線が生成されることになる (図 4.3(c))。図 4.2, 図 4.3に示した例では、2 つの対象



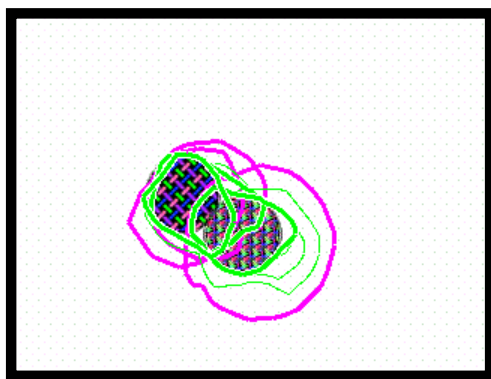
(a)



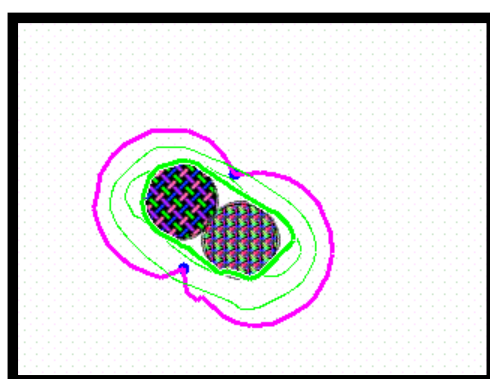
(b)



(c)



(d)



(e)

図 4.1: 融合機能の有無での追跡: (a) 輪郭線の融合が起こる前の輪郭線抽出結果; (b) 融合機能を持たない場合の輪郭線抽出結果 1; (c) 融合機能を持つ場合の輪郭線抽出結果 1; (d) 融合処理を持たない場合の輪郭線抽出結果 2; (e) 融合機能を持つ場合の輪郭線抽出結果 2.

物体の間で輪郭線の分離・融合が繰り返し発生しているのが分かる. このような場合, 何らかの方法で異なるフレーム画像間で輪郭線を対応づけてやらないと, 対象物体の軌跡を決定することはできない.

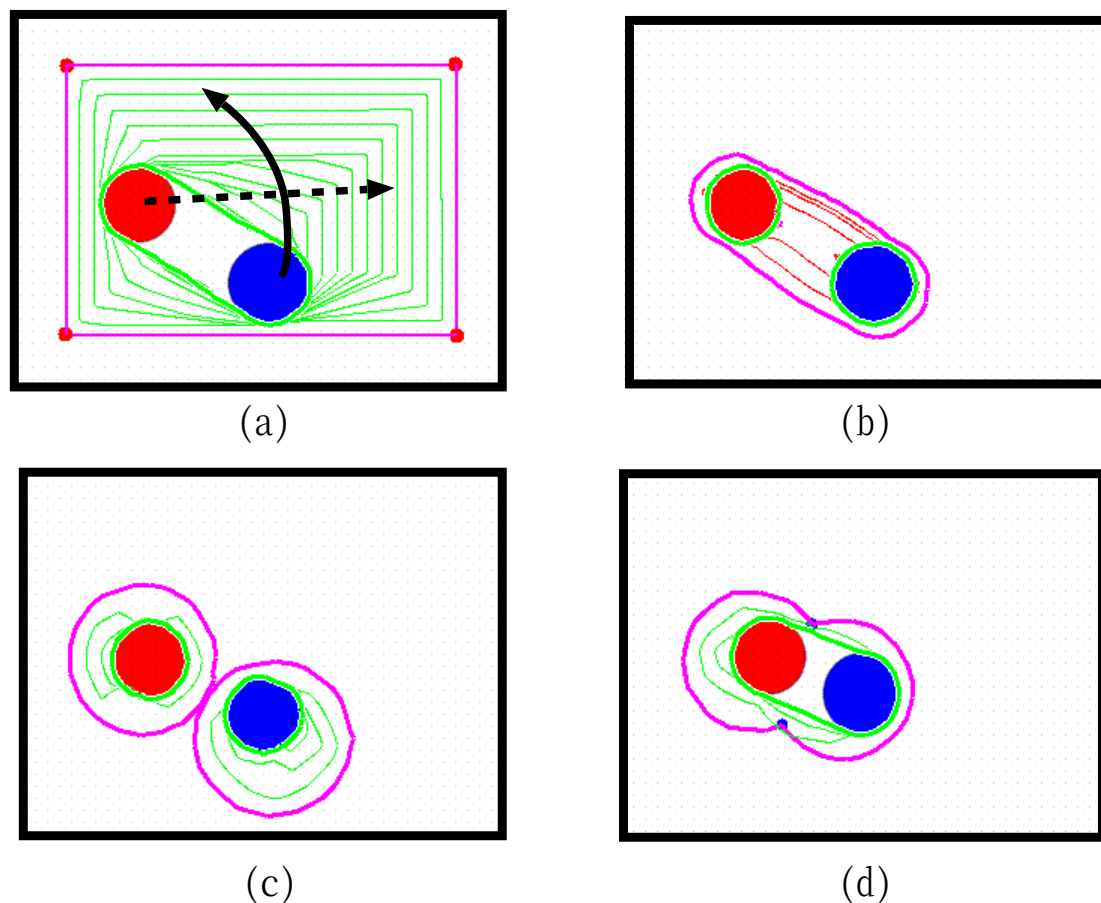


図 4.2: Snakes の実行過程 1: (a) 設定した初期輪郭に対して S-ACM を適用した結果; (b) (a) で得られた凸型輪郭に対して C-Snakes を適用した結果; (c) 移動する対象物体を追跡する様子; (d) 追跡により輪郭が融合した様子.

4.3 領域内の属性に基づく軌跡決定法の効果

ここでは提案する移動物体追跡法の領域内の属性に基づく軌跡決定法を用いることで対象が重なる場合でも対象の正しい軌跡を決定できることを示す. 人工的に作成したシミュ

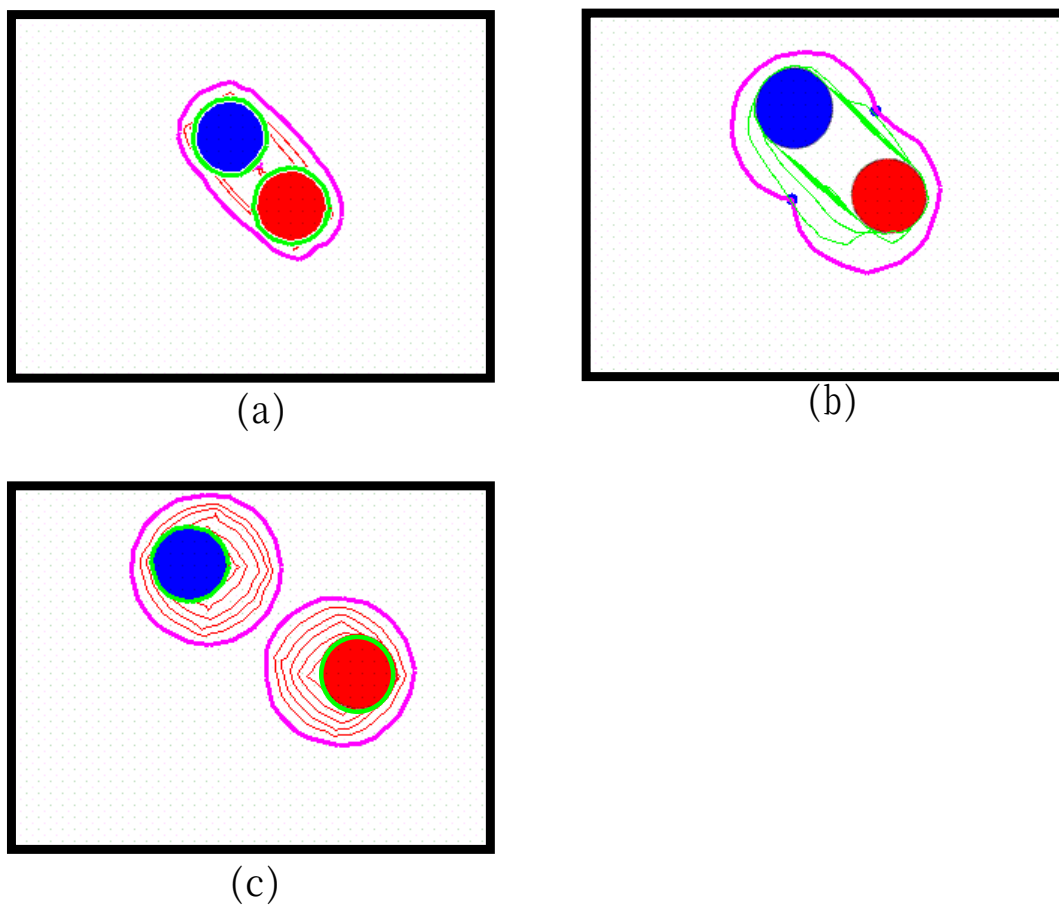


図 4.3: Snakes の実行過程 2: (a) 融合をした後の分離処理; (b) 分離した次フレーム画像で追跡により再び融合する様子; (c) 対象物体間の距離が充分広がれば追跡による輪郭線の融合は生じない.

レーション画像と実画像の2種類の動画画像に対して追跡を行った。

各々の動画画像で対象物体は以下のように移動する。

- シミュレーション画像

1. 2つの対象物体が十字に交差する
2. 2つの対象物体が各々U字・逆U字型に移動し交差する

- 実画像

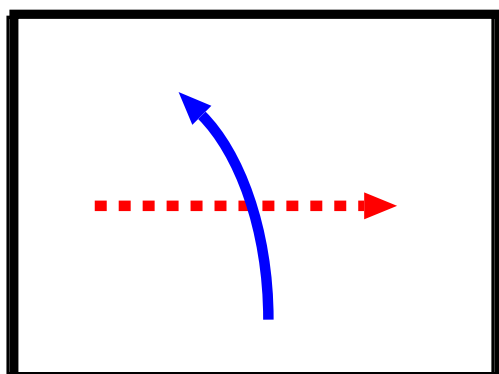
1. 2つの対象物体がお互いに直進し交差する
2. 2つの対象物体が各々U字・逆U字型に移動し交差する

4.3.1 シミュレーション画像を用いた移動物体の追跡

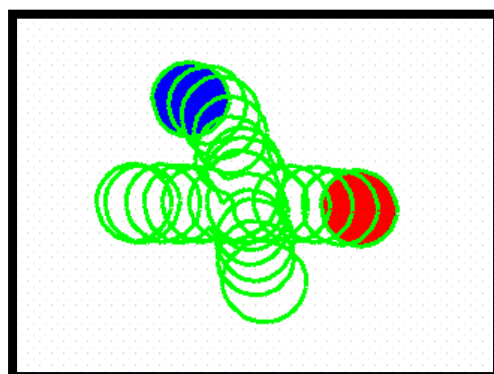
ここでは提案する移動物体追跡法が複数の対象物体が重なる場合に対しても有効であることを示すため、人工的に作成したシミュレーション画像を用いて2つの対象を追跡する実験を行った。その追跡結果を図4.4、図4.5示す。図4.4は、2つの対象物体が十字に交差する方向に、図4.5は、各々U字・逆U字の軌跡を描くように移動する。

図4.4(a)、図4.5(a)に各々の場所の対象物体の正しい軌跡を示す。図4.4(b)、図4.5(b)には各フレーム画像で抽出された輪郭線の軌跡を示している。この2つの図4.4(b)、図4.5(b)から分かるように、輪郭線の軌跡のみで対象物体がどのように移動したかを決定することはできない。そのため輪郭線の軌跡を基に領域の属性に基づく軌跡決定を行う。図4.4(c)、(d)、図4.5(c)、(d)に抽出された輪郭線内の領域の属性に基づき軌跡決定した重心軌跡の結果を示す。図4.4(c)、(d)、図4.5(c)、(d)から分かるように本手法により対象物体の移動方向に従った正しい重心の軌跡が求められているのが分かる。

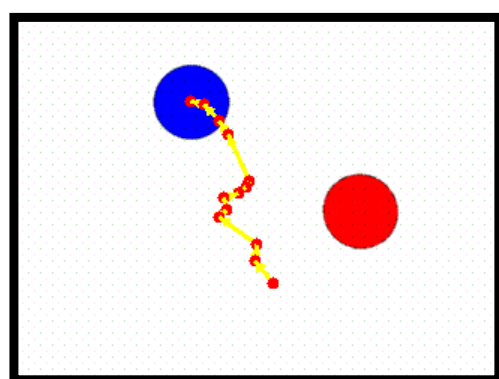
また、図4.4(e)、(f)、図4.5(e)、(f)に実際に移動した対象物体の重心軌跡と推定された重心軌跡との誤差を示す。図4.4(e)、(f)、図4.5(e)、(f)から分かるように軌跡の途中でずれが発生している。このずれは追跡途中で対象物体が重なり融合処理が行われ、輪郭線の形状が変化し重心位置が大きくずれたため発生した。それらの点を除けば本手法により対象物体の重心の軌跡が正しく求められているのが分かる。



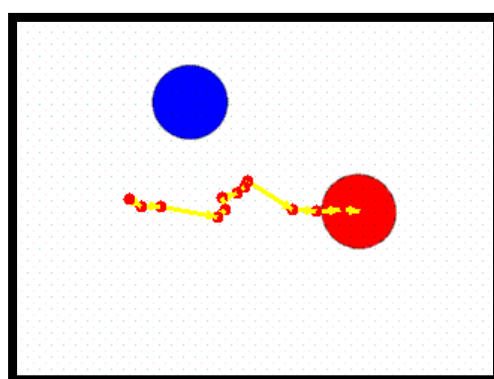
(a)



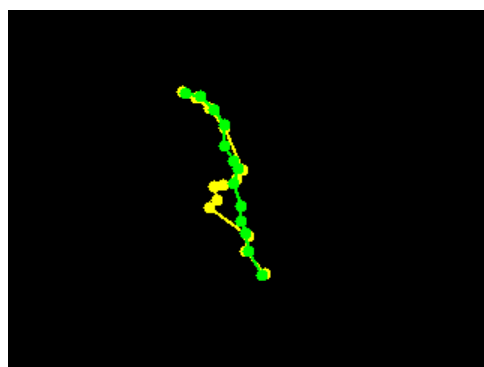
(b)



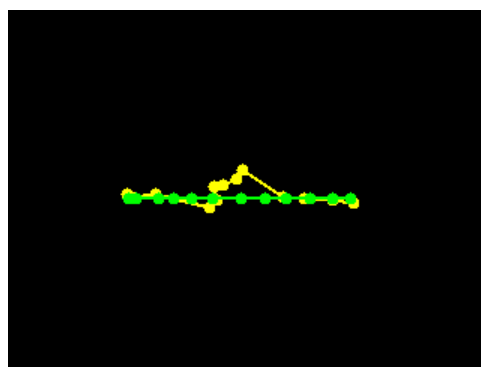
(c)



(d)

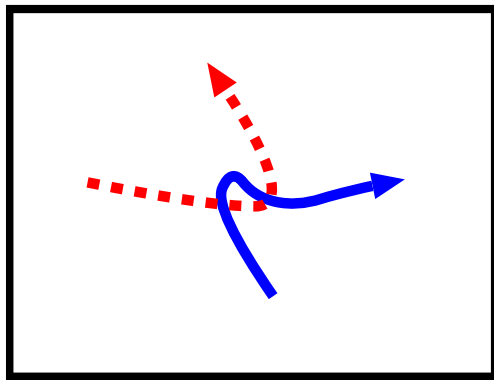


(e)

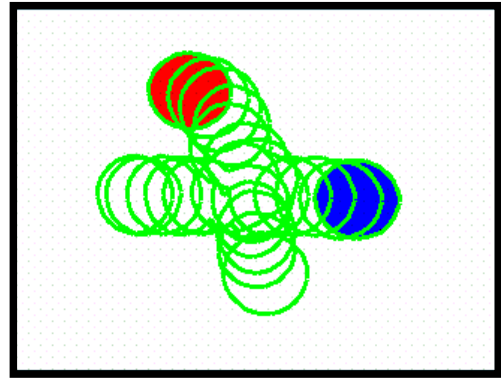


(f)

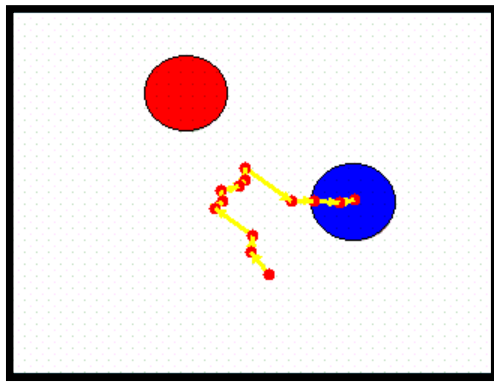
図 4.4: シミュレーション画像で2つの対象物体が十字に交差する場合: (a) 対象物体の移動方向; (b) 2つの対象物体の輪郭軌跡; (c) 推定された対象物体の重心軌跡 1; (d) 推定された対象物体の重心軌跡 2; (e) 実際に移動した対象物体の重心軌跡と推定された重心軌跡との誤差 1; (f) 実際に移動した対象物体の重心軌跡と推定された重心軌跡との誤差 2.



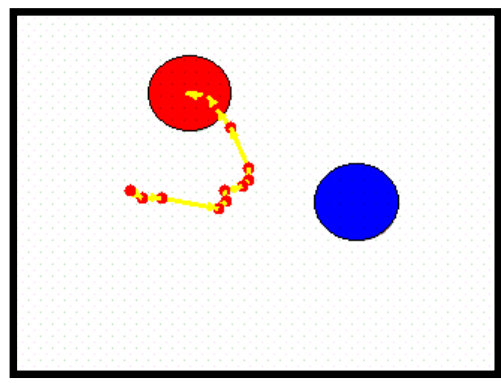
(a)



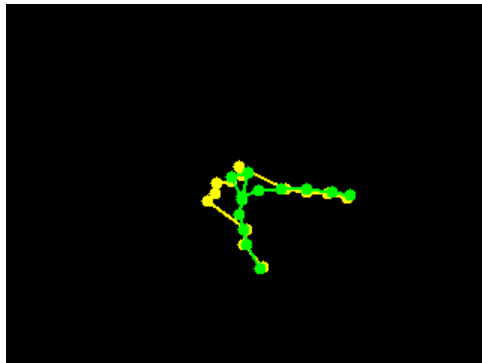
(b)



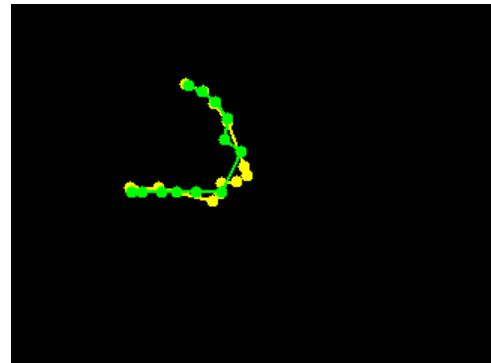
(c)



(d)



(e)



(f)

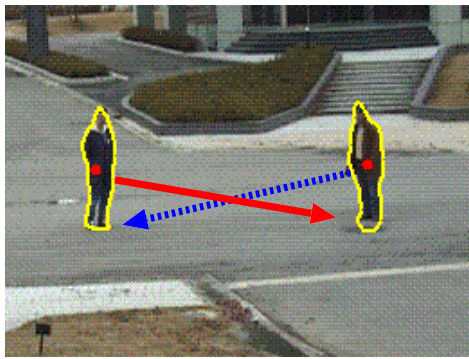
図 4.5: シミュレーション画像で対象物体が各々U字・逆U字型に移動し交差する場合:
 (a) 対象物体の移動方向; (b) 2つの対象物体の輪郭軌跡; (c) 推定された対象物体の重心軌跡 1;
 (d) 推定された対象物体の重心軌跡 2; (e) 実際に移動した対象物体の重心軌跡と推定された重心軌跡との誤差 1;
 (f) 実際に移動した対象物体の重心軌跡と推定された重心軌跡との誤差 2.

4.3.2 実画像を用いた移動物体の追跡

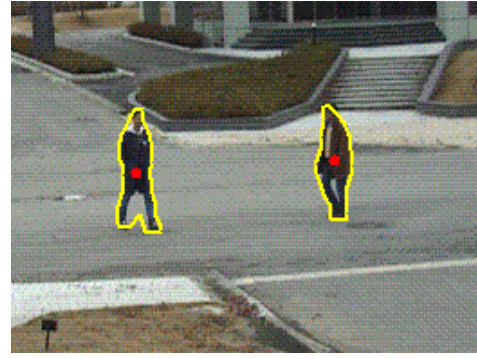
ここでは提案する移動物体追跡手法が実画像でも有効であることを示すため、道路上の2人の歩行者を追跡する実験を行った。抽出された歩行者の輪郭線・重心位置を各フレーム画像に書き加えた画像を図 4.6, 図 4.8 示す。図 4.6 は 2 つの対象物体がお互いに直進し交差し、図 4.8 は各々 U 字・逆 U 字の軌跡を描くように移動し交差する。図 4.6(a), 図 4.8(a) に書き加えてある矢印は各々の対象物体の移動方向を示している。

図 4.6(a) から 図 4.6(f), 図 4.8(a) から 図 4.8(f) のフレーム画像から分かるように、実画像に対しても対象物体の輪郭線がうまく抽出できている。すなわち、対象物体が分かれている状態 (図 4.6(a), (b), (c), 図 4.7(a), (b)) から対象物体が重なった状態 (図 4.6(d), 図 4.7(c), (d)) に対しても輪郭線の抽出が正しく行なわれている。

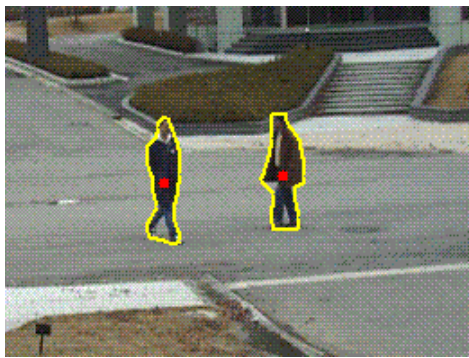
図 4.7, 図 4.9 に抽出された輪郭線内の属性に基づき軌跡の決定を行った輪郭軌跡と重心軌跡を示す。図 4.7, 図 4.9 から本手法の移動物体追跡法を対象同士が重なる状況がある実画像に対して行った場合でも正しい軌跡決定が行えることが分かる。



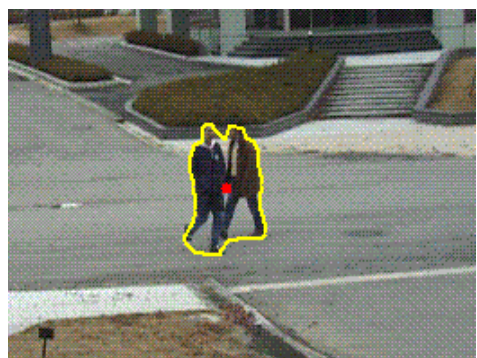
(a)



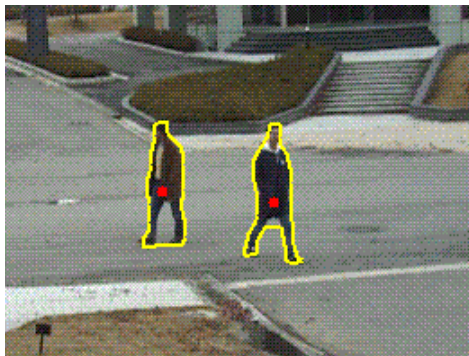
(b)



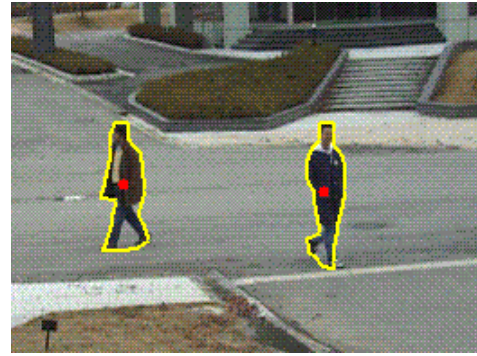
(c)



(d)

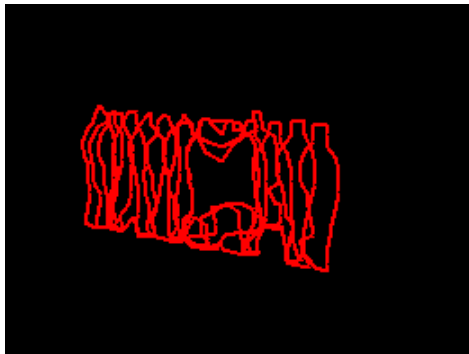


(e)

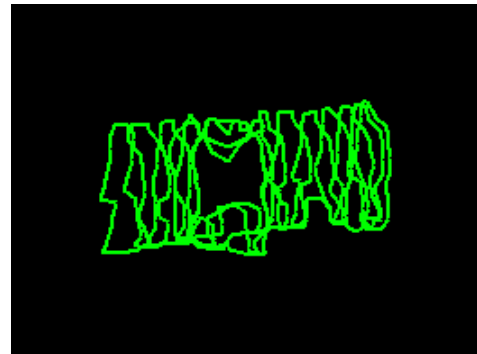


(f)

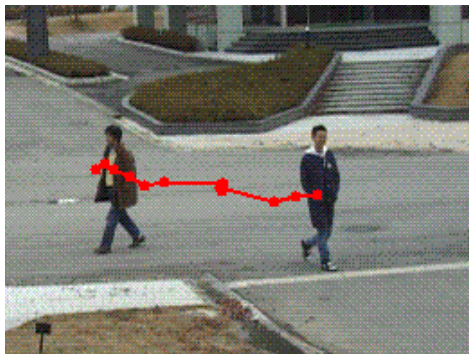
図 4.6: 実画像で 2 つの対象物体が各々に直進する場合の輪郭線の抽出結果: (a) 初期フレーム画像の輪郭線の抽出結果と対象物体の移動方向; (b) 第 5 フレーム画像の輪郭線の抽出結果; (c) 第 7 フレーム画像の輪郭線の抽出結果; (d) 第 9 フレーム画像の輪郭線の抽出結果; (e) 第 12 フレーム画像の輪郭線の抽出結果; (f) 第 14 フレーム画像の輪郭線の抽出結果.



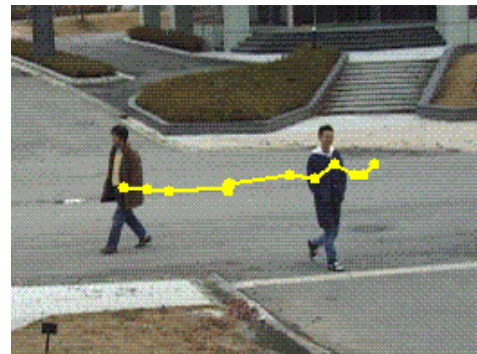
(a)



(b)

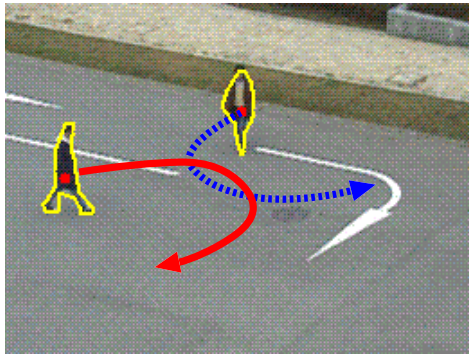


(c)

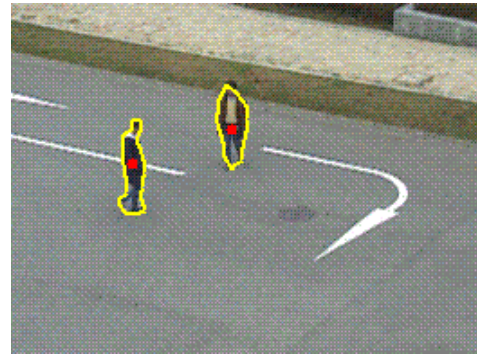


(d)

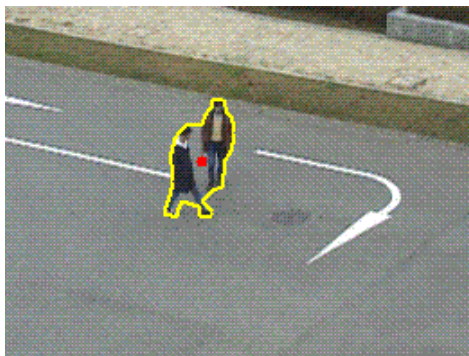
図 4.7: 実画像で対象物体がお互いに直進する場合の推定された軌跡: (a) 推定された 1 目の対象物体の輪郭線軌跡; (b) 推定された 2 目の対象物体の輪郭線軌跡; (c) 推定された 1 目の対象物体の重心軌跡; (d) 推定された 2 目の対象物体の重心軌跡.



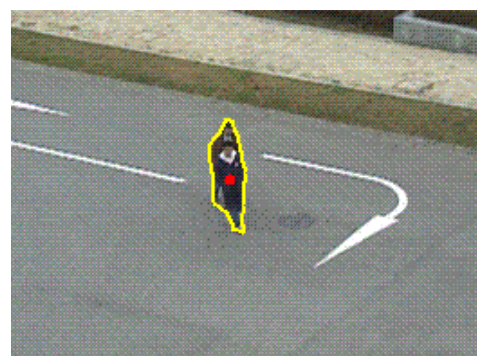
(a)



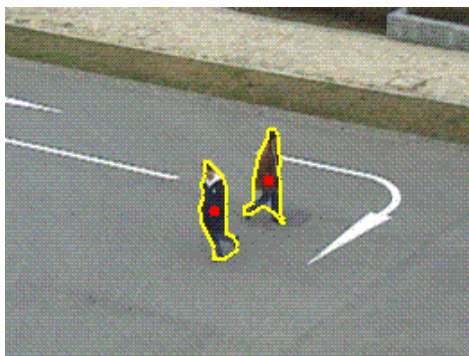
(b)



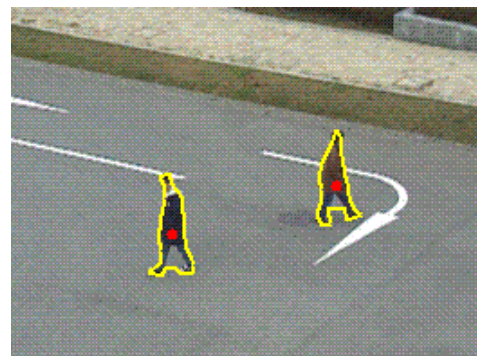
(c)



(d)

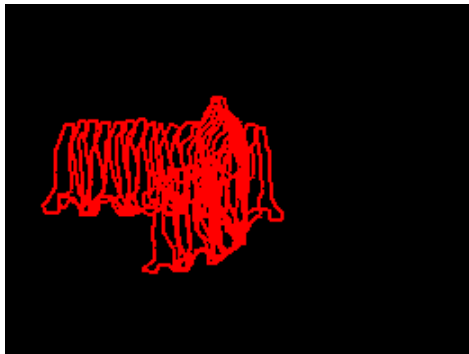


(e)



(f)

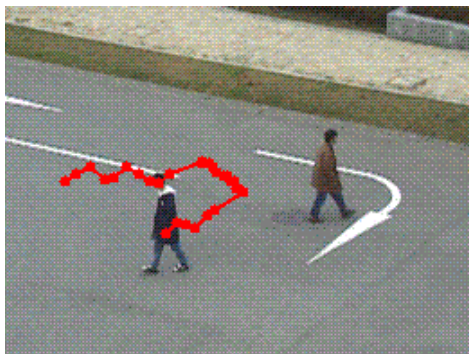
図 4.8: 実画像で対象物体が各々U字・逆U字型に移動する場合の輪郭線の抽出結果: (a) 初期フレーム画像の輪郭線の抽出結果と対象物体の移動方向; (b) 第7フレーム画像の輪郭線の抽出結果; (c) 第12フレーム画像の輪郭線の抽出結果; (d) 第17フレーム画像の輪郭線の抽出結果; (e) 第24フレーム画像の輪郭線の抽出結果; (f) 第29フレーム画像の輪郭線の抽出結果.



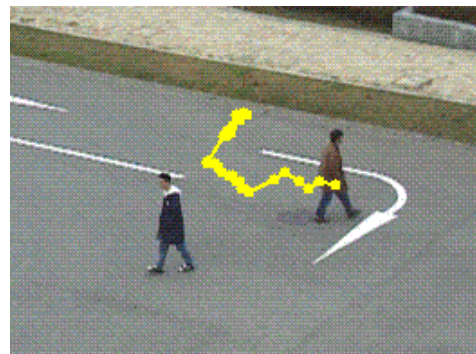
(a)



(b)



(c)



(d)

図 4.9: 実画像で対象物体が各々U 字・逆 U 字型に移動する場合の推定された軌跡: (a) 推定された 1 つ目の対象物体の輪郭線軌跡; (b) 推定された 2 つ目の対象物体の輪郭線軌跡; (c) 推定された 1 つ目の対象物体の重心軌跡; (d) 推定された 2 つ目の対象物体の重心軌跡.

第 5 章

まとめ

本論文では、移動物体の追跡において複数の対象が複雑な動きをする場合、及び対象の個数が変化する場合に、従来手法の適用が困難であるという問題に対処するために新たな移動物体追跡法を提案した。

本論文で提案した新たな移動物体追跡法を以下のようにまとめる。

- 対象物体を全て内部に含むように初期輪郭を設定すれば、S-ACM により対象物体の凸型の輪郭線を短時間で抽出できる。その後、抽出された輪郭線を初期輪郭として C-Snakes 実行することにより凹型の輪郭線をもつ対象物体へ対応させ、輪郭線の分離により複数物体の輪郭線が抽出できる。C-Snakes を単独に用いた場合よりも S-ACM と併用することで輪郭線抽出の処理時間の高速化を図った。
- 従来の C-Snakes の輪郭線の分離では自己交差した場合、交点で 2 つに分割し、これら分割したすべてを 1 つの新しい輪郭線として生成していた。そのため、分割され新しく生成された輪郭線の内部には対象物体を含まない輪郭も存在していた。本研究では内部に対象物体を含まない輪郭線 (偽の輪郭線) と内部に対象物体を含む輪郭線 (真の輪郭線) とを区別し、偽の輪郭線の生成を省くようにすることで輪郭線抽出の効率化を図った。
- 従来の物体追跡では困難であった対象の個数が変化する場合に対応するために融合機能を導入した。融合機能の導入により、対象物体が移動する際に対象同士が重なった場合でも輪郭線が対象物体の内部に入り込むことがないため追跡の続行が可能となった。

- 複数の対象同士が重なった場合に Snakes で輪郭線の分離・融合を行うため、異なるフレーム画像間で輪郭線の対応がとれていない。そのため対象物体の軌跡を決定することができない。そこで Snakes で得られた輪郭線も基に、輪郭線内の属性を用いて異なるフレーム画像間で輪郭線の対応づけを行った。その結果、複数の対象が移動の途中で交差する場合でも、それらの正しい軌跡が決定できるようになった。

しかし提案した移動物体追跡法でも対象物体の追跡・軌跡の決定が困難となる場合がある。以下に、それらの状況をまとめる。

- 対象の個数が変化する場合

対象物体が追跡途中でフレーム画像を出入りする場合、輪郭線の抽出ができないため追跡・軌跡決定を行うことができない。対象物体は追跡する動画像中で必ずフレーム内に存在していると仮定しているため、フレーム外の対象に対しては輪郭線の抽出を行うことができない。

- 対象の属性が変化する場合

対象物体の属性 (色・周波数) が変化する場合、軌跡の決定を行うことができない。軌跡の決定法が簡易なものであるため、対応づけにミスが多々発生し、推定される軌跡が実際の対象物体の軌跡と違うものになってしまう。

- 対象の重なりが多々発生する場合

違う対象と何回も重なる場合、及び同時に3つ以上の対象が重なる場合は軌跡を決定することができない。軌跡の決定法で行う対応づけの比較対象がうまく選択できず、対応づけにミスが多々発生し、推定される軌跡が実際の対象物体の軌跡と違うものになってしまう。

- 対象が隠れてしまう場合

対象物体が見えなくなり隠れてしまう場合に追跡することができない。動画像のフレーム画像から得られる情報がなくなるため、対象物体の輪郭線の抽出が行えず、追跡することができない。

これらの問題点を解決するためには、本論文で対案した移動物体追跡法をさらに改良する必要がある。対象の個数が変化する場合に対処するために、常にフレーム画像を出入りする対象に対して輪郭線の抽出が行える Snakes に改良する必要がある。対象の属性が変化する場合に対処するために、軌跡の決定法を検討し改良する必要がある。対象の重なりが多々発生する場合に対処するための 1 つの方法は、対象の軌跡情報をグラフ化し、管理することで軌跡の混乱を防ぎ軌跡の断定を行うことである。また、対象が隠れてしまう場合には、提案した移動物体追跡法を複数カメラで撮影した画像に用いることで対処できると思われる。このような問題を解決することによって一般的なシーンで使用するできるようになり、より実用性のある物体追跡法になると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、終始暖かく御指導を頂いた北陸先端科学技術大学院大学 マルチメディア統合システム講座 阿部 亨 助教授に厚く御礼申し上げます。

また、さまざまな面で御教授頂いた北陸先端科学技術大学院大学 マルチメディア統合システム講座 堀口 進 教授に深く感謝致します。北陸先端科学技術大学院大学 計算機言語学講座 酒井 正彦 助教授には、サブテーマで熱心に御指導をいただき深く感謝致します。

また、日頃よりお世話になった当研究室の皆様に心より感謝致します。

参考文献

- [1] I.K.Sethi, R.Jain, Finding Trajectories of Feature Points in a Monocular Image Sequence, Trans. on Patt. Anal. Mach. Intell., vol. PAMI-9, pp.56-72, 1987.
- [2] 田口 耕造, 清水 修介, 金端 利典, 中西 恒彦, 溝尻 動, 交差点における車両の挙動計測, 電学論 C, 115 巻 11 号, pp.1297-1303, 1995.
- [3] M.Tabb, N.Ahuja, A Multiscale Region-Based Approach to Image matching, Trans. on Patt. Anal. Mach. Intell., pp.415-419, 1994.
- [4] D.Koller, J.Weber, J.Malik, Robust Multiple Car Tracking with Occlusion reasoning, In Proc. Third European Conference on Computer Vision, pp.189-196, Stockholm Sweden, May 2-6, 1994.
- [5] D.Koller, J.Weber, J.Malik, Machine Vision Based Surveillance System for Calofornia Roads PATH project MOU-83 Final Report, Computer Science Division University of California.
- [6] B.Basclé, P.Bouthemy, R.Deriche, F.Meyer, Tracking complex primitive in an image sequence, Proceedings of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition, vol.1, pp.426-31, 1994.
- [7] P.Delagnes, J.Benois, D.Barba, Active contours approach to object tracking in image sequences with complex background, Pattern Recognition Letters 16, pp.171-178, 1995.
- [8] F.Leymarie, M.D.Levine, Tracking Deformable Objects in the plane Using an Active Contour Model, Tran. on Patt. anal.and Mach. Intell., Vol.15, No.6, pp.617-34,

1993.6.

- [9] M.Kass, A.Witkin, D.Terzopoulos, Snakes : Active Contour Model, International Journal of Computer Vision, pp.321-331, 1988.
- [10] 橋本 晶寛, 木下 宏揚, 酒井 善則, Sampled Active Contour Model による輪郭抽出法, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol j77-D-II, No.11, pp.2171-2178, 1994.11.
- [11] 小野沢 崇, 吉田 俊之, 酒井 善則, Sampled-ACM を利用した対象物の運動量推定法, 信学技報, pp.69-7, 1995-07.
- [12] 阪口 嘉之, 美濃 導彦, 池田 克夫, 圧力エネルギーを持つスネーク, 電子情報通信学会 春季全国大会, 1990.
- [13] 阪口 俊文, 大山 公一, 面積項を持つスネーク, 電子情報通信学会 春季大会講演論文集, D-555, 1991.

L.D.Cohen, NOTE On Active Contour Models and Ballons, CVGIP:IMAGE UNDERSTANDING, Vol.53, No2, pp.221-218, 1991.
- [14] 荒木 昭一, 横矢 直和, 岩佐 英彦, 竹村 治雄, 交差判定により分裂する動的輪郭モデルとその応用, 信学技報, pp.1-8, 1995.7.
- [15] C.Vieren, F.Cabestaing, J.Postaire, Catching moving objects with Snakes for motion tracking, Pattern recognition Letters 16, pp.678-685, 1995.
- [16] J.Wiklund, G.Grandlund, Tracking of Multiple Moving Objects, Time-Varying Image Processing and Moving object recognition, pp.241-251, 1987.
- [17] M.Dubuisson, A.K.Jain, Object Contour Extraction using Color and Motion, Proceedings. 1993 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.471-476, 1993.
- [18] 飯島 泰蔵, パターン認識理論, 基礎情報工学シリーズ 6, 森北出版, pp.111-129, 1989.

研究業績

- 1 動的輪郭モデルを用いた多方向移動物体抽出のための一手法
金田 丘, 阿部 亨, 堀口 進
電気関係学会北陸支部連合大会, F-41, pp356, Oct.1996.
- 2 動的輪郭モデルを用いた多方向に移動する複数物体の追跡
金田 丘, 阿部 亨, 堀口 進
電子情報通信学会技術研究報告, PRMU96-144, pp25, Jan.1997.