

マルチエージェントを用いた 複数フレーム線分画像からの同一物体の抽出

牛丸 主税[†] 長谷山 美紀[†] 北島 秀夫[†]

[†] 北海道大学 工学研究科

〒060-0813 札幌市北区北13条西8丁目

TEL (011)706-6078

E-mail chikara@media.eng.hokudai.ac.jp

あらまし 本文では複数フレームの線分画像から、回転、変形、遮蔽を伴う同一閉曲線をマルチエージェントを用いて抽出する手法を提案する。既に複数フレームの線分画像から輪郭線を抽出する手法が提案されている。中でも同一物体の輪郭線の判断が困難である線分画像に対して、輪郭線を線分に分割し、フレーム間で線分を対応づけ、同一物体と思われる線分を統合することで抽出を行なう手法が提案されている。しかし、フレーム間で線分を対応づける際にすべての組合せについて考慮しているため、画像中の線分数が増加すると対応づけに要する計算量が多くなるという問題があった。そこで本文では上記の対応の評価を効用関数とし、集団合理性に従うエージェントを導入することにより、先に述べた問題点を解決した。さらに線分が分岐している箇所での効用に注目することで、遮蔽の判断を行ない、線分が部分的に隠れている場合にも抽出を実現した。

キーワード

Process-grammar, 閉曲線抽出, マルチエージェント

Multi-Agent Based Method to Extract Closed Smooth Curve in Image Sequences

Chikara Ushimaru[†], Miki Haseyama[†], and Hideo Kitajima[†]

[†]School of Engineering, Hokkaido University

Kita-ku Kita-13 Nishi-8 Sapporo, 060-0813 Japan

TEL 81-11-706-6078

E-mail chikara@media.eng.hokudai.ac.jp

Abstract This paper presents a multi-agent based method to extract the same objects in image sequences. In the proposed method, the objects are divided into line segments which are considered to be agents. Further, the method is based on a multi-agent algorithm of which the utility function is defined with a motion continuity and a shape classification of line segments. By optimizing the utility, the proposed method searches for a suitable line segment which corresponds to the target segment in a different frame. According to the group rationality, the proposed method can correctly provide correspondence among line segments in different frames. Further, the computational cost can be reduced by utilizing the group rationality. The proposed method can also extract occluded objects by tracking utilities in multi frames.

key words

Process-grammar, closed curve extraction, multi-agent

1 まえがき

動画画像解析において、移動、変形、遮蔽を伴う同一物体の輪郭線の抽出は画像の分析や認識を行なう上で重要である。輪郭線の動きに注目し、複数フレームの線分画像から同一物体の抽出を行なう手法が既に提案されている [1]。

一般に線分画像では、同一物体であっても輪郭線が分断されてしまったり、物体が重なり合う場合には異なる物体であっても輪郭線が接続されてしまう。そのため、どの物体の輪郭線であるかを判別することが困難となる。そこで上記の場合に対して物体抽出を可能とするために、文献 [1] では画像中のすべての輪郭線を細かい線分に分割し、線分の動きの連続性と Process-grammar[2] による線分の形状の分類から、フレーム間で線分の対応づけを行ない、同一物体と判断される線分を統合する方法がとられている。統合の判断は線分の動きの類似性に着目して行なわれる。したがって輪郭線が回転、または大きく変形している場合には、同一物体であるにもかかわらず線分の動きが類似せず、線分の統合が困難となる。線分の統合が行なわれなければ、高精度な同一物体の抽出は不可能となる。

上記の問題を解決するために、我々は線分間の位置関係に注目し、閉曲線を抽出する手法を提案した [3]。この手法では、線分間の距離や変形の方法などに注目することで、同一物体の判断を行なっている。[3] では一回の変形につき一方へ同じ比率で拡大、縮小する場合に変形を限定しているが、この変形を重ね合わせることで複数の方向への変形に対処することが可能である。

しかしながら、文献 [3] の手法では線分の対応づけをおこなう際に、前フレームと現フレーム間の線分のすべての対応の組合せについて、線分の動きの連続性と形状の分類結果をもとに、対応の正しさを評価しているため、画像中の物体数の増加にともない対応づけに要する計算量が多くなるという問題点がある。

そこで、本稿では文献 [3] の手法の計算量を削減するために、マルチエージェントを導入する。提案手法はフレーム間の線分の対応の評価値を効用関数とし、集団合理性 [4] に従って行動するマルチエージェントを導入し、効率的にフレーム間の線分の対応づけを行なう。本稿では、曲率が極値を示す箇所での閉曲線を線分に分割し、分割された線分をエージェントと考える。エージェントが集団合理性に従うことで、他のエージェントの効用を著しく下げてまで自己の効用を最適化する対応づけを避けることができ、精度の良い対応づけが得られる。それぞれの

エージェントは自己の効用関数を最適化すべく、高い効用が得られる対応を優先的に選択する為、効率的に対応づけを行なう事が可能となる。

さらに本稿では、線分が分岐している箇所におけるエージェントの効用の変化に注目し、遮蔽により線分が隠される場合のフレーム間の線分の対応づけについて考察する。

2 Process-grammar

Process-grammar では閉曲線がもつ曲率の極値によりその閉曲線の特徴を記述している。曲率の極値を極大と極小、及び正と負の組合せにより 4 種類に分類している。これにより閉曲線のおおまかな形状を把握することが可能となる。

図 1 は図 2 に示す閉曲線の曲率である。この曲率に対して Process-grammar の規則を適用することで、極値が分類される。極値を示す点に記された記号は、極値の分類結果を表している。M を極大、m を極小とし、+、- により曲率の正負を表しており、これらの組合せにより $M+$ 、 $M-$ 、 $m+$ 、 $m-$ の 4 種類に極値が分類される。上記の分類により $M+$ は隆起、 $m-$ は陥没など、線分のおおまかな形状の把握が可能である。図 2 では閉曲線の曲率が極値を示す点に印を記した。印に添えられた記号は Process-grammar による分類結果である。

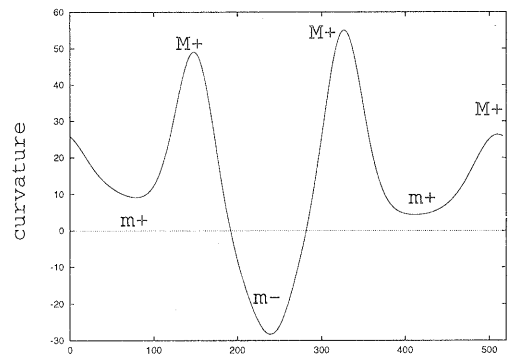


図 1: 極値の分類

3 文献 [1] 及び [3] の手法

3.1 文献 [1] の手順

参考文献 [1] における閉曲線抽出は次の 3 つの処理手順から成っている。

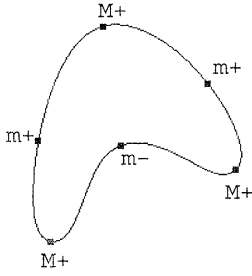


図 2: 閉曲線の分割

- 手順 1 閉曲線の分割
- 手順 2 フレーム間の線分の対応づけ
- 手順 3 線分の統合

各フレームで上記の処理を行なうことで、同一物体の線分はフレームが進むとともに統合され物体として抽出される。以下、各手順について説明する。

【手順 1：閉曲線の分割】

曲率が極値をとる点 (図 2 の■) で閉曲線を線分に分割する。分割された各線分に対して Process-grammar の規則を適用し、前章で説明したように線分に $M+$, $M-$, $m+$, $m-$ のラベル付けを行ない、隆起や陥没などのおおまかな形状を分類する。

【手順 2：フレーム間の線分の対応】

分割された現フレームの線分に対して前フレームの線分と対応づけを行なう。対応は線分の動きの連続性と Process-grammar による形状の分類結果を用いて決定される。

ここで $place(i)^t$ を時刻 t における線分 i の重心とし、時刻 t における線分 i の単位動きベクトルを $vector1(i)^t$ 、 $vector1(i)^t$ の時間変化の単位ベクトルを $vector2(i)^t$ とすると、 $vector1(i)^t$ 、 $vector2(i)^t$ はそれぞれ以下のように表される。

$$vector1(i)^t = \frac{place(i)^t - place(i)^{t-1}}{\| place(i)^t - place(i)^{t-1} \|}$$

$$vector2(i)^t = \frac{vector1(i)^t - vector1(i)^{t-1}}{\| vector1(i)^t - vector1(i)^{t-1} \|}$$

時刻 $t-1$ と t における各ベクトルを用いて算出した $vector1(i)^{t-1} \cdot vector1(i)^t$ 及び、 $vector2(i)^{t-1} \cdot vector2(i)^t$ のうち高い値を動きの連続性とする。

上の定義より $vector1(i)^t$ 、 $vector2(i)^t$ の内積は、線分の動きが連続的であるほど高い値となる。さらに Process-grammar の規則により得られた線分の形状の分類結果から、形状が一致しているかどうかを判断し、一致していれば高い評価を与える。動きの連続性と形状の一致度をもとに対応を評価する。

前フレームと現フレーム間の線分のすべての組合せについて、対応を評価し、最も高い評価を示す組合せを最適な対応として選ぶ。

【手順 3：線分の統合】

手順 1 において分割された線分が同一物体と判断される場合、両者を統合する。同一物体の判断は、線分の動きの類似性に注目して行なわれる。

各フレームについて、以上の 3 つの処理を行なうことにより、同一物体の線分はフレームが進むにつれ統合され抽出される。

3.2 文献 [3] の手法

文献 [3] では同一物体の判断を行なう際に、線分の動きの類似性だけでなく、線分間の位置関係を考慮している。これにより、文献 [1] では困難であった回転、変形をともなう閉曲線の抽出を実現している。

文献 [3] では現フレームと前フレーム間の線分の対応づけ (手順 2) を行なう際に、すべての対応の組合せについて対応の評価を求め、最も高い評価値を示す組合せを最適な対応としている。組合せの数は画像中の線分数の階乗となるため、線分数の増加にともない対応づけに要する計算量が多くなるという問題がある。

4 提案手法

前章で述べた問題を解決するために、対応の評価 (3.1 節手順 2 参照) を効用関数とし集団合理性に従うマルチエージェントを用いて、効率的にフレーム間の線分の対応づけ (4.1 節) を行なう手法を提案する。また前フレームまでに得られた統合結果を考慮して精度の良い対応づけ (4.2 節) を行なう手法を提案する。さらに、遮蔽により部分的に線分が隠される場合における、フレーム間での対応づけ (4.3 節) について考察する。

4.1 マルチエージェントを用いた対応づけ

前フレームと現フレームの間で分割された線分の対応づけを行なう際に、各線分をエージェントと考えて対応づけを行なう。エージェントの効用関数としては、3.1 節手順2で述べた対応の評価を用いる。各エージェントは自己の効用を最適化すべく、高い効用が得られる対応づけを優先的に選択する。これにより、すべての対応の組合せを評価していた従来法に比べて、計算量の削減が可能となる。

さらにエージェントは、集団合理性に従うものとして設計する。集団合理性とはすべてのエージェントの効用関数の総和を、その集団の共通の効用関数として定義し、それを最適にすること [4] である。集団合理性の導入により、他のエージェントの効用を著しく下げてまで自己の効用を最適化する対応づけは避けられ、精度の高い対応づけが可能となる。

各エージェントが自己の効用関数を最適化する時、ある一つの線分に対して複数のエージェントが対応づけられる競合の発生が考えられる。上記の競合が発生した場合には、競合が起きているエージェント間で各線分との対応の効用を戦略として提示し、集団合理性を満足する対応づけを選択し競合を解消する。

4.2 統合結果を考慮した対応づけ

文献 [3] では、フレーム間で線分の対応づけを行なう際に、単一の線分間の対応のみを考えていた。本文では前フレームまでに統合された複数の線分は、同一物体であるという仮説をたて、異なるフレーム間に存在する同一物体と仮定された物体間で対応づけを行なう。物体に含まれる線分に対して Procces-grammar を適用し (2 章)、線分の形状の分類結果を比較することで、物体間の対応づけが行なわれる。フレーム間で物体間の対応づけを行なう際に、物体に含まれる線分の形状が一致していれば、高い評価値を与える。しかしながら、異なる物体の線分であっても一時的に動きが類似している場合には、隣接するフレームの動きの類似性により同一物体の判断 (3.1 節手順3) を行なっている為に、誤って同一物体として統合される場合がある。この場合にも同一物体であるという仮説が生成され、実際には同一物体ではない複数の線分を同一物体とみなし、物体どうしてフレーム間の対応づけを行なう。上記の一次的な動きの類似性による誤った統合は、後のフレームにおいて線分の動きに類似性がみられなくなった時に、同一物体の判断 (3.1 手順3 参照) により同一物体ではないと判断される。この判断により、

仮説は誤りであるとされ、仮説が生成されたフレームまで戻り、誤って統合された線分を統合せずに処理を続ける。これにより、単一の線分どうして対応づけを行なっていた従来法に比べ、精度の良い対応づけを実現できる。

4.3 遮蔽についての考察

物体が重なり合い、線分の一部が隠れてしまう遮蔽が起きている場合について考察する。

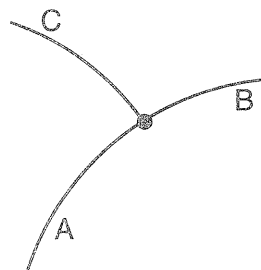


図 3: 分岐

遮蔽をともなう物体を扱うにあたり、線分の分岐について考慮する必要がある。図3に示す線分の方岐を考えた時、分岐点において曲率の変化が小さい線分 (線分 A, B) を連結し、曲率の変化の大きい線分 C を遮蔽により隠れた線分であると考え、分岐点で線分 C を分割する。ここで、分岐点で分割された線分とそれ以外の線分と区別する為に、線分の方岐の有無の評価を新たに設定する。この分岐の有無の評価を、従来の対応の評価 (3.1 手順2 参照) に新たに加える。分岐の有無の評価の例として図3を考えると、線分 C は分岐点 (●印部分) において、分岐していると評価され、線分 A, B は分岐していないと評価される。

従来の対応の評価に、ここで新たに設定した分岐の有無の評価を加えて、図4に示す画像に対して提案手法を適用した。図4に示す画像は全8フレームから構成されており、閉曲線 A, B が左右から近付き、第6フレームにおいて閉曲線 A の一部分が閉曲線 B により遮蔽されるものである。遮蔽される閉曲線 A に属するエージェントの効用の和の変化を図5に示す。図より、遮蔽が起こった第6フレーム以降の効用が低下していることがわかる。この効用の低下は遮蔽にともない新たな分岐が発生し、分岐の有無の評価が一致しない為である。また、遮蔽により

線分が部分的に隠される事により、形状の分類結果が一致せず、効用が低下している。さらに、遮蔽された線分は重心の位置が変化する為、動きの連続性を正しく評価できないことも効用低下の要因となっている。以上から、線分が分岐している箇所における効用の変化に注目することで、遮蔽の判断を行なうことができると考えられる。

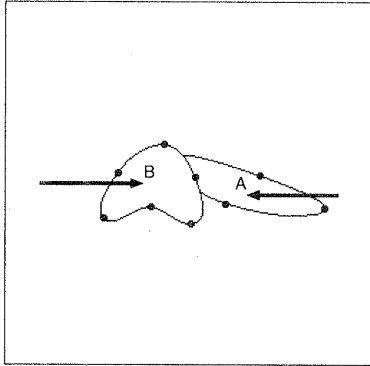


図 4: 遮蔽をともなう閉曲線

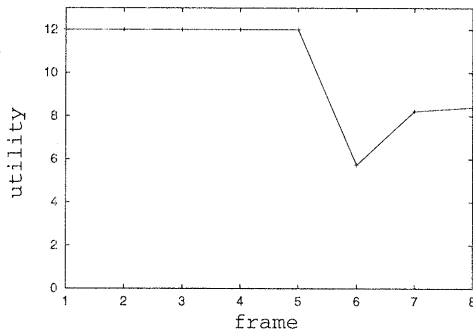
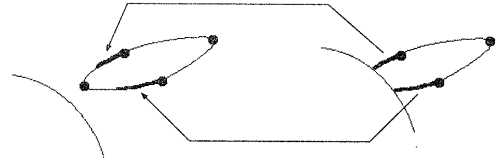


図 5: 閉曲線 A の効用

4.2 において物体どうしでフレーム間の対応づけを行なう手法を考えた。物体どうしの対応づけは物体に含まれる線分の形状の分類結果を比較して行なわれる。しかし、遮蔽が起こっている場合には物体の一部が隠されることで線分の形状の分類結果が変わってしまう。このため遮蔽が起こっている場合には、物体どうしで正しい対応づけが行なわれないという問題がある。

そこで、線分に分岐の有無の評価と効用の変化から遮蔽が起こっていると判断された場合には、遮蔽されていない部分の形状の分類結果を用いて対応づけを行なう。

図 6 に遮蔽により隠される線分を示す。図 6(b) の遮蔽された線分は重心が変化してしまい、動きの連続性を正しく評価できないという問題がある。この問題に対しては、前フレームの遮蔽されていない線分から現フレームにおいて遮蔽された部分を差し引いて、図 6 の太線部分について再度重心を求めることで解決できると考えられる。



(a) 前フレーム (遮蔽なし) (b) 現フレーム (遮蔽あり)

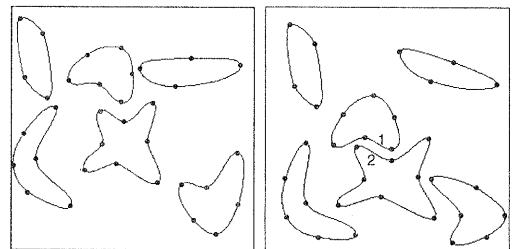
図 6: 重心の再計算

5 実験

提案手法を用いて実験を行ない、有効性を確認する。

5.1 実験 1

実験に使用した画像は 256×256 画素で全 6 フレームから構成される 2 階調の線分画像である。このうち第 1, 5 フレームを図 7 に示す。画像中の閉曲線は全 6 フレームを通して滑らかに平行移動、回転、変形している。図中の閉曲線上の印■は曲率が極値となる箇所であり、この印において閉曲線は線分に分割される。



(a) 第 1 フレーム

(b) 第 5 フレーム

図 7: 実験 1 で用いた画像

本実験画像において閉曲線は 34 本の線分へと分割され

る。文献 [3] の手法ではフレーム間で線分の対応づけを行なう際に、すべての対応の組合せ (約 10^{38} 通り) を評価しなければならない。これに対して提案手法では、平均で 1 フレームにつき約 10^5 通りについて評価することで、最適な対応づけが得られている。

また、単一の線分どうしを対応させる [3] では、図 7(b) に記した線分 1, 2 に関して誤った対応づけがなされてしまった。線分 1, 2 は Process-grammar による形状の分類結果が同じであり、動きも類似しているために誤った対応結果が最適となってしまったと考えられる。しかし、提案手法では前フレームまでに統合された線分を同一物体と考え、その物体に含まれる線分に対して Process-grammar の規則を適用し、物体の形状を考慮して対応づけを行なう。このため、正しい対応づけが得られ提案手法の有効性が示された。

5.2 実験 2

4.3 で提案した手法の有効性を確認する為、遮蔽をともなう閉曲線について実験を行なう。実験に使用した画像は 256×256 画素で全 8 フレームから構成される 2 値画像である。第 1, 8 フレームを図 8 に示す。画像中の閉曲線は全 8 フレームを通して滑らかに平行移動、回転している。

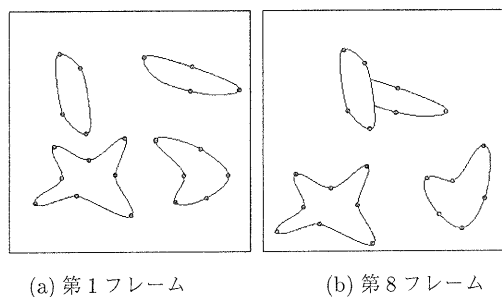


図 8: 実験 2 で用いた画像

遮蔽にともない、新たに線分の分岐が発生した箇所では、線分の分岐の有無の評価が一致せず、また線分が部分的に隠される事で形状の分類結果が一致しないために、効用の低下が見られた。これにより遮蔽が起こっていると正しく判断された。遮蔽が起こっていると判断されたことにより、隠されていない線分に対する形状の分類、隠された線分に対する重心の再計算が行なわれる。その結果、正しい対応づけが行なわれ提案手法の有効性が示された。

6 まとめ

本文では複数フレームの線分画像から、回転、変形、遮蔽をともなう閉曲線をマルチエージェントを用いて抽出する方法を提案した。提案手法では、画像中の線分を集団合理性に従うエージェントとした。各エージェントは自己の効用を最適化すべく、高い効用が得られる対応づけを優先的に選択する為、全ての対応の組合せについて対応を評価する従来法に比べ計算量の削減が可能となった。またエージェントは集団合理性に従う為、他のエージェントの効用を著しく下げてまで自己の効用を最適化する対応を避けることが可能であり、精度の高い対応づけを実現した。また遮蔽により部分的に線分が隠れる場合、形状の分類結果が変わってしまい、複数の線分の統合による物体どうしでの対応づけが正しく行なわれないという問題があるが、線分が分岐している箇所における効用の変化に注目し、遮蔽の判断を行ない、遮蔽されていない部分の形状の分類結果を用いることで、対応づけが可能となった。さらに遮蔽により線分の重心が変化し、動きの連続性を正しく評価できないという問題に対して、前フレームの遮蔽されていない線分から現フレームにおいて遮蔽された部分を差し引いて重心を求めることで解決される。

本文の最後では実際の画像データに提案手法を応用し、その有効性を確認した。特に物体が重なり合うことで、閉曲線の一部が隠されてしまう遮蔽についても実験を行ない、この場合でも提案手法が精度良く同一閉曲線を抽出する事を確認した。

参考文献

- [1] 守田 了, 田中 稔: “空間推論のための画像オブジェクトモデルの構築”, 信学論 (D-II), **J80-D-II**, no.5, pp.1065-1076(1997-5)
- [2] M.Leyton: “A Process-Grammar for shape”, *Artificial Intelligence*, vol.34, pp.213-247(1988)
- [3] 牛丸 主税, 長谷山美紀, 北島秀夫: “動画像における閉曲線抽出に関する検討-Process-Grammar を用いたアプローチ-”, 電子情報通信学会技術研究報告, EID98-178, IE98-169(1999)
- [4] 生天目 章: “マルチエージェントと複雑系”, 森北出版, 1998