

# 動画像の時間・空間情報を利用した動領域セグメンテーションとトラッキング

## Video Segmentation and Moving Objects Tracking Using Spatio-Temporal Information

池田 研二<sup>†</sup>, 今村 幸祐<sup>††</sup>, 正会員 橋本 秀雄<sup>††</sup>

Kenji Ikeda<sup>†</sup>, Kousuke Imamura<sup>††</sup> and Hideo Hashimoto<sup>††</sup>

あらまし 本速報では、動きと輝度情報を用いた動画像領域分割について検討する。視覚的に意味のあるオブジェクトに分割することで、画像の編集・加工が可能となる。今回、フレーム毎に独立に領域分割する方法と、トラッキングを用いた領域分割について述べる。

キーワード：Morphological Filter, オプティカルフロー, トラッキング, 領域分割

### 1. ま え が き

近年、インターネットやモバイルネットワークなどデジタル動画像を扱うプラットフォームが増え、それに合わせた伝送方式やアプリケーションが必要になり、より高度な動画像処理技術が求められている。その1つに連続画像中のオブジェクトを抽出する技術があり、オブジェクトあるいは領域に基づいた動画像の符号化が次世代符号化として研究中である。MPEG-4ではVOP(Video Object Plane)構造、オブジェクトを構成するブロック単位の動き補償、オブジェクト形状の符号化などが標準化されているが、オブジェクトの抽出そのものは標準化の対象外となっている。動領域を識別するための情報として画像信号の空間・時間的变化を用いる方法が主流となっており、特に動領域分割においては画像の時間的变化である動き情報が重要な要素になる。具体的な手法として、ブロック単位の動きを検出し、似通った動きをもつブロックをクラスタリングする方法<sup>1)</sup>では、ブロック単位の精度であるために正確なオブジェクトの境界は得られない。一方、画素単位の動きを推定する方法では、動領域分割とその動き推定は表裏一体の問題であることから、これらを結合した確率モデルからベイズ推定により同時最適化を行う手法<sup>2)3)</sup>がある。これは最良の

結果を与えるとき期待されるが、処理量が膨大であり、現時点では実用の域に達していない。

本論文では、画素単位の動き推定としてオプティカルフローを使い、輝度情報による領域分割法<sup>4)5)</sup>に組込んだ繰り返し処理を必要としない領域分割法を提案する。画素単位のオプティカルフローにより、ブロック単位の動きに比べてオブジェクトの形状に沿った滑らかな動き推定が行えるが、動領域の境界付近で正確な境界を決定できるほどの精度を得るのは困難である。そこで、提案する方法では、輝度情報を用いて動領域の境界だけでなく、絵柄などの画像内で濃淡変化の大きい部分を境界として抽出し、細かなセグメントに分割する。その後、オプティカルフローの動き情報を用いて類似した動きを持つセグメント同士を統合させ、動領域分割を行う<sup>6)</sup>。また、画像シーケンスのフレーム毎に、この領域分割法を適用すると、処理量が増大するほかに、前後フレームの分割結果において領域の対応関係が明らかでないので、領域をトラッキングすることにより、順次、連続フレームの領域分割を行う方法を提案する。

### 2. 領域統合型動画像領域分割アルゴリズム

アルゴリズムの入力情報として以下の前処理が施された情報を用意する。原画像にMorphological Filter処理を施した画像の輝度情報、動き情報に1画素単位の動きベクトルであるオプティカルフローを用いる。アルゴリズムは図1に示す3つのステップから成る。ステップ1の境界抽出では輝度情報から画像中の輝度変化の高い境界を抽出し、多数のセグメントに分割する。ステップ2の小領域除去では1つのオブジェクトを構成しえない小さなセグメントを隣接領域に統合させセグメント数を減らす。最後にス

2002年3月1日受付, 2002年5月1日再受付, 2002年5月16日採録

<sup>†</sup> 金沢大学 大学院 自然科学研究科

(〒920-8667 金沢市小立野2-40-20, TEL 076-234-4894)

<sup>††</sup> 金沢大学 工学部

(〒920-8667 金沢市小立野2-40-20, TEL 076-234-4894)

<sup>†</sup> Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University

(2-40-20, Kodatsuno, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-8667, Japan)

<sup>††</sup> Faculty of Engineering, Kanazawa University

(2-40-20, Kodatsuno, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-8667, Japan)

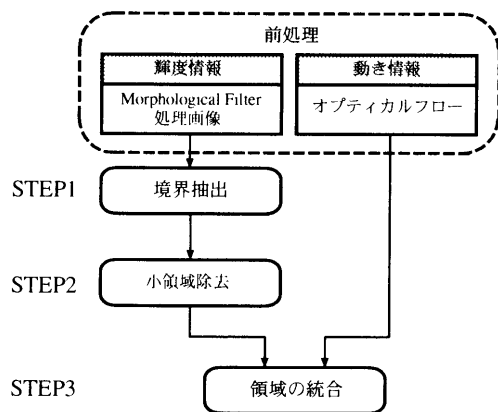


図 1 領域分割アルゴリズム  
Algorithm of moving objects segmentation

ステップ 3 の領域統合で、オプティカルフローの動き情報と Morphological Filter 処理画像の輝度情報から輝度と動きの類似度が大きい領域同士を統合させ最終的な領域分割を行う。

### 2.1 前処理

#### Morphological Filter 処理

画像の領域分割に必要な雑音成分や局所的な細かな情報を取り除く。このような処理を行う簡単なフィルタとして、メディアンフィルタや平均値フィルタがあるが、これらのフィルタを使用した場合、オブジェクトのエッジまでぼけさせるという欠点がある。領域分割ではオブジェクトの輪郭は正確に保つ必要があり、このような現象は望ましくない。そこで大きな輪郭は残し、かつ細かな絵柄を取り除く非線形フィルタとして Morphological Filter を用いる<sup>7)</sup>。

#### オプティカルフロー検出

動領域分割では、動領域に対する動き検出を正確に行うことが重要であり、精度の高い動き検出アルゴリズムが必要である。動き検出手法の 1 つであるオプティカルフローは画素単位に動きを検出するため複雑な形状のオブジェクトの動きも検出できる。オプティカルフローの導出には、画像輝度値の空間的変化と時間的変化を利用した輝度勾配法を用い、画像の輝度値は、微小時間経過しても変化しないという輝度値の保存性と画素の動きベクトルは空間的に滑らかに変化するという仮定から画素単位の動きベクトルを求める<sup>8)</sup>。

### 2.2 Watershed アルゴリズムを用いた境界決定

領域分割において領域の形状を表す境界を抽出するために計算の簡単さとエッジの正確さから Watershed アルゴリズムを用いる。図 2 は Watershed アルゴリズムの概念図である。まず、Morphological Filter 処理画像の輝度値から、輝度勾配画像を作成する。画像中の境界線は輝度変化が大きい部分であり、輝度勾配が極大点を持つ部分である。つまり、輝度勾配画像において勾配の極大点を調べる

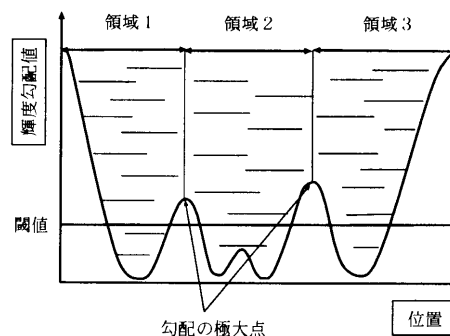


図 2 Watershed アルゴリズムの概念図  
Watershed algorithm

ことで領域の境界を抽出することができる。しかし、すべての極大点を境界として抽出したのでは、分割結果が過分割になりやすい。そこで、境界として意味のある勾配値の最小値を閾値として設けることで勾配値の小さな境界を抽出しないようにする。図 2 のように、勾配値が閾値より高い極大点にダムを作り、すべての貯水池に均一に浸水させる。水かさがいっぱいになったとき、各貯水池が分割領域になる<sup>9)</sup>。

### 2.3 小領域除去

ステップ 1 の Watershed アルゴリズムを利用した境界抽出では、閾値による制御を行ってもなお領域が過分割になりやすい。そこで、単独でオブジェクトを構成しえない小領域を隣接する領域に統合し、領域数を減らす。分割されたセグメント領域の中から面積が最小となる領域を検索しそれと隣接する領域間の平均輝度のユークリッド距離が最小となる領域に統合する。この処理を設定した最小領域面積以上となるまで繰り返す。

### 2.4 領域の統合

小領域除去を終えた段階でもセグメント数は多く、1 つのオブジェクトでも複数個の領域に分割されている場合がある。そのためにステップ 3 では隣接する 2 つの領域を統合して良さを表す指標 (評価関数) をすべての組合せで計算し、その値が最小となる領域同士を統合させる。領域数が設定した最終領域数となるまで、処理を繰り返す。領域統合を行う際の評価関数として、隣接する 2 つの領域を仮に統合したときの動き量および輝度の平均値と統合前の領域の平均 2 乗誤差を計算する。これは統合前と統合後で、領域の特徴がどれだけ変化したかを表す指標となり、統合しても画像としての特徴 (動オブジェクトや絵柄) が失われにくい領域同士から統合される。

## 3. トラッキングを用いた動画領域分割アルゴリズム

2. に示した領域分割アルゴリズムではフレーム毎に独立に処理を行うため処理量が増大し、またフレーム毎に抽出される領域の対応関係がない。そこで、あるフレームで分割した領域を時間軸に対して追跡 (トラッキング) し、画

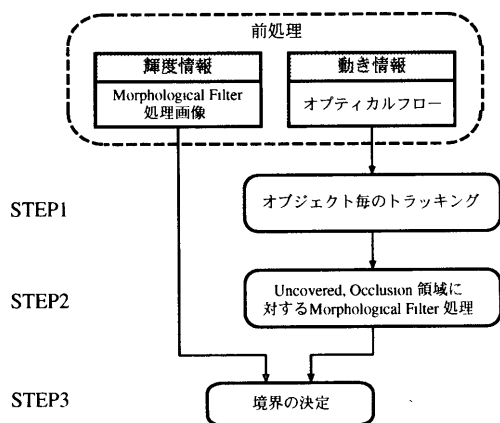


図 3 トラッキングを用いた領域分割アルゴリズム  
Moving objects segmentation by tracking

像シーケンスを領域分割する手法を検討する。これは図 3 に示す 3 つのステップから構成される。

### 3.1 オブジェクト毎のトラッキング

前フレームの各領域に含まれる画素毎の動きベクトルの平均値をその領域の動き推定量とし、この平均値ベクトルで前フレームの領域を現フレームに写像し、各々にラベルを割り付ける。この処理により、現フレームでは、前フレームからの写像がない部分 (Uncovered 領域) や複数の領域が重なり合う部分 (Occlusion 領域) が生じ、これらにはすべてラベル 0 を割り当てる。

### 3.2 トラッキング画像に対する Morphological Filter 処理

領域の変形や拡大縮小によるオブジェクト境界の変化に追従することを目的として、写像したトラッキング画像に対して、オブジェクトごとに当該オブジェクトを“1”，それ以外を“0”とする。2 値画像に Morphological Filter 処理を施し、各領域を縮小し、領域を形成する種 (seed) を決定する。

### 3.3 境界の決定

ラベル 0 が割り振られた画素を周囲のいずれかの領域に割り振る。ラベル 0 で、かつ領域に隣接している画素を調べ、画素毎に隣接領域の平均輝度値との差を計算する。この値が閾値以下であればそのラベル 0 の画素を隣接領域に統合する。この処理を繰り返し、新しく領域に統合されなくなれば閾値を上げる。これをラベル 0 の画素がなくなるまで繰り返す。

## 4. シミュレーション結果

シミュレーションにはテスト画像 Mobile and Calendar を用いた。40 フレーム目の原画像を図 4 に、輝度情報である Morphological Filter 処理画像を図 5、動き情報であるオプティカルフローを図 6 に示す。

この画像はカレンダーが下方方向、汽車がボールを押しながら左方向に動いているのをカメラが追うパニング画像である。そのため背景は画面に対して右、カレンダーは右下、



図 4 テスト画像 Mobile and Calendar40 フレーム  
Test image "Mobile and Calendar"



図 5 Morphological Filter 処理画像  
Morphological filtered image

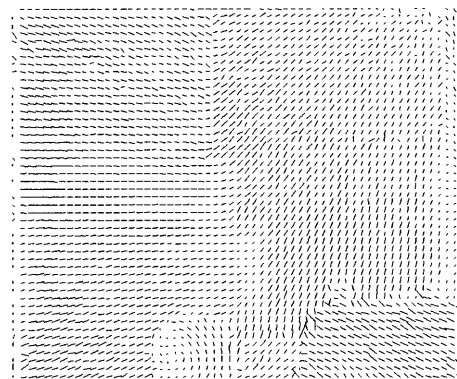


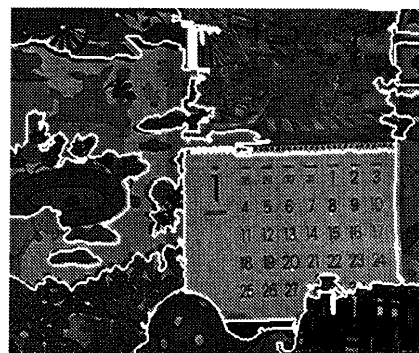
図 6 オプティカルフロー  
Optical flow for test image

ボールは回転、汽車は静止している。

10 フレームから 35 フレームまで提案法を用いて領域分割を行った結果を図 7 に示す。10 フレーム目は初期分割として、領域統合法による領域分割を用いる。次にトラッキングを用いた領域分割では、トラッキングが進むにつれて境界の誤差が蓄積されるので、20 フレーム毎に再度、初期分割を挿入する。図 7(a)(e) は初期分割、(b)(c)(d)(f) はトラッキングによる分割を示す。同図 (a)~(d) では、初期分割でかなり正確に境界が得られている各オブジェクトはトラッキングの進むにつれ、オブジェクトの対応関係は維持されているものの、ボールおよびカレンダーの両端部に



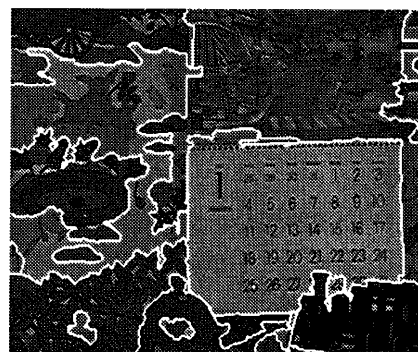
(a) 10 フレーム (初期分割)  
10frame(initial segmentation)



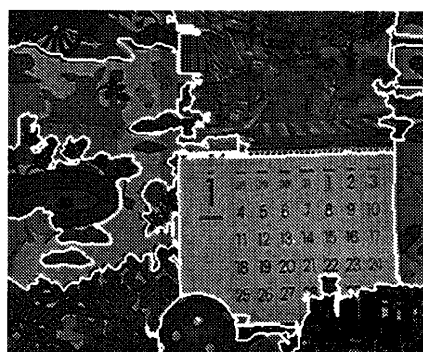
(d) 25 フレーム (トラッキング)  
25frame(segmentation by tracking)



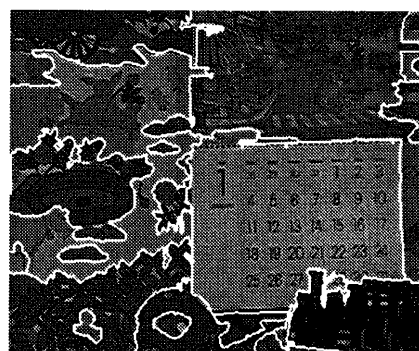
(b) 15 フレーム (トラッキング)  
15frame(segmentation by tracking)



(e) 30 フレーム (初期分割)  
30frame(initial segmentation)



(c) 20 フレーム (トラッキング)  
20frame(segmentation by tracking)



(d) 35 フレーム (トラッキング)  
35frame(segmentation by tracking)

図 7 領域分割結果

Segmentation results for test image "Mobile and Calendar"

において境界の不正確さやズレが生じている。図 5 に見られるようにこれらの部分では背景輝度との差異が小さくなっており、このために境界の決定においてラベル 0 の画素が誤った領域に統合されたものと考えられる。再度初期分割を行った同図 (e) で正確な領域境界が再現され、トラッキングによる誤差の累積が解消されている。しかし、(a) と (e) では分割結果が若干異なり、とくにボール中央部に新たな領域が検出されている。これはボールの回転運動を領域統合の評価関数に上手く組み込めていないために、回転が速くなるとボール周辺部と中央部で異なるオブジェクトと見なされたことによる。

## 5. む す び

画素単位の動きベクトルであるオプティカルフローと輝度情報を用いて任意形状の領域分割を行った。これにより動領域だけではなく見た目にも大きく意味のある領域に分割することができた。また、ある特定のフレームで分割した領域をトラッキングすることにより画像シーケンスを通して安定した領域分割を行うことができた。しかし、いずれの手法でも領域分割の正確性と安定性の向上が望まれる。また、オブジェクト数が変更したり、シーンチェンジが起きた場合、自動的に判別して再度初期領域分割を行う処理が必要である。

〔文 献〕

- 1) G D Borshukov, G Bozdagi, Y Altunbasak and A M Tekalp, "Motion Segmentation by Multistage Affine Classification", *IEEE Trans. Image Processing*, **6**, 11, pp 1591-1594, Nov 1997
- 2) L Patras, E A Hendriks, and R L Lagendijk, "Video Segmentation by MAP Labeling of Watershed Segments", *IEEE Trans. Pattern Anal Machine Intell.*, **23**, 3, pp 326-332, Mar 1997
- 3) C Stiller, "Object-Based Estimation of Dense Motion Fields", *IEEE Trans. Image Processing*, **6**, 2, pp 234-250, Feb 1997
- 4) M Kim, J G Choi, D Kim, H Lee, M H Lee, C Ahn and Y Ho, "A VOP Generation Tool Automatic Segmentation of Moving Objects in Image Sequences Based on Spatio-Temporal Information", *IEEE Trans. Circuits Syst*, **9**, 8, pp 1216-1226, Dec 1999
- 5) J G Choi and S W Lee and S D.Kim, "Spatio-Temporal Video Segmentation Using a Joint Similarity Measure", *IEEE Trans. Circuits Syst.*, **7**, 2, pp 276-285, Apr 1997
- 6) 池田 研二, "Watershed アルゴリズムとオブティカルフローを用いた動領域分割法", 信学技報, IE2001-66, pp 9-14, Sept. 2001
- 7) D Cortez et al, "Image segmentation towards new image representation methods", *Signal Processing-Image Communication*, **6**, pp 485-498, 1995
- 8) B K P Horn and B G.schiunck, "Determining Optical Flow", *Intell.*, **7**, pp 185-203, 1981
- 9) M.Sonka, V Hlavac, R Boyle, "Image Processing, Analysis, and Machine Vision", *PWS Publishing*, pp 186-190



いけだ けんじ  
池田 研二 1978 年生. 1999 年 3 月 金沢大学工学部電気・情報工学科卒業. 2002 年 3 月 同大学院自然科学研究科博士前期課程修了. 同年, キヤノン(株)入社



いまむら こうすけ  
今村 幸祐 1972 年生. 1995 年 3 月 長崎大学工学部電気情報工学科卒業. 1997 年 3 月 同大学院工学研究科修了. 2000 年 3 月 同大学院海洋生産科学研究科修了. 同年より, 金沢大学工学部情報システム工学科助手. 画像信号の高効率符号化などの研究に従事. 工博.



はしもと ひでお  
橋本 秀雄 1945 年生. 1968 年 3 月 大阪大学工学部卒業. 1970 年 3 月 同大学院修士課程修了. 1975 年 3 月 同大学院博士課程修了. 同年, 電電公社(現 NTT)電気通信研究所入所. 以来, 画像符号化方式, 画像通信方式の研究開発に従事. 現在, 金沢大学工学部情報システム工学科教授. 工博.