

パーティクルの初期配置のための背景更新の自動化

Automatic Background Update for Initialization of Particle

圓田 直樹† 藤川 拓也† 福井 真二‡ 岩堀 祐之†
Naoki Enda Takuya Fujikawa Shinji Fukui Yuji Iwahori

1 はじめに

動画中の移動物体の追跡技術として、ノイズやオクルージョンに頑健な確率的手法であるパーティクルフィルタ [1] が注目されている。しかし、パーティクルフィルタの初期設定を行うには、移動物体を抽出する必要がある。

移動物体抽出を行う手法として移動物体抽出性が高く、処理コストの少ない背景差分法がある。背景差分法は背景画像を事前に用意する必要があり、照明変化が生じた場合には精度良く移動物体を抽出することが困難になってしまうなどの問題点がある。照明変化が生じた場合に対応するには、背景画像を逐次的に最適なものへ更新する必要がある。

近年、背景画像の更新方法がいくつか提案されている [2]-[6]。しかし、更新間隔を適切に設定する必要がある [2]、事前に様々な照明条件下での背景画像が必要 [4]、室内環境で背景推定を行えない [5]、照明変化に対応できない [6] などの問題点がある。

そこで本論文では、パーティクルフィルタ、RANSAC 及びピクセル状態分析 (以下 PSA) [7] を用いることで、事前に背景画像を準備することなく、照明変動に頑健な背景推定手法を提案する。本手法では、背景更新用データとしてパーティクルフィルタと RANSAC を用いて移動物体等の例外値を除去したデータを利用する。これにより、背景推定の精度を向上させることができる。また、初期背景を推定する際に PSA を利用することによって移動物体を含まない背景画像をあらかじめ用意する必要がない。急激な照明変化を検出した場合には即座に背景を更新するため、急激な照明変動にも対応可能である。

2 RANSAC を用いた背景更新 [2]

RANSAC とは、ランダムサンプリング法により全測定データからサンプルを抽出し、それらに LMS 推定や LMedS 推定などに当てはめることを繰り返すことで最適解を求める手法である。抽出したサンプルに例外値が含まれなければより確からしい推定結果が得られ、かつ例外値の数が全測定データ数に比べ少なくなれば推定される誤差範囲内により多くの測定値が含まれる。このことから、もっとも多くの測定値が範囲内に含まれるときの推定を正しい推定とみなす。

RANSAC を用いた背景更新手法について説明する。画像中の画素 (x, y) の輝度値を $f_{x,y}$ とし、 n フレーム分の画像データが取得されているものとする。まず、 (x, y) の n 個の画素データの中から、サンプル $f_{x,y}^i$ を 1 つ選択する。ただし、 $f_{x,y}^i$ を i 回目のランダムサンプリングで選択した

輝度値とする。次に $f_{x,y}^i$ を除外したデータの中から M 個のサンプル $f_{x,y}^j$ ($j = 1, \dots, M$) をランダムに選択する。選択したサンプルを用いて、残差 $e_{x,y}^j$ を次式により求める。

$$e_{x,y}^j = f_{x,y}^i - f_{x,y}^j \quad (1)$$

次に残差の二乗 $(e_{x,y}^j)^2$ を求め、それらの中央値 $e_{\text{med}}^i(x, y) = \text{med}(e_{x,y}^j)$ を求める。

ここまでの処理を N 回繰り返し行う。反復回数 N は要求される解の信頼性から次式により決定される。

$$P = 1 - \{1 - (1 - \epsilon)^F\}^N \quad (2)$$

ここで、 P は $f_{x,y}^i$ 中に少なくとも 1 個以上例外値ではない値を含む確率、 ϵ は全測定データに含まれる例外値の割合、 F はパラメータ数を表す。

N 回の反復処理を行った後、求められた $e_{\text{med}}^i(x, y)$ ($i = 1, \dots, N$) のうち最小の値 $(e_{x,y}^{\text{min}})^2$ を求め、 $f_{x,y}^{\text{min}}$ を仮の背景画像の画素値 $f_{x,y}^{\text{bg}}$ とする。さらに、推定された値の揺らぎを標準偏差 $\sigma_{x,y}$ によって推定する。標準偏差 $\sigma_{x,y}$ は、 $(e_{x,y}^{\text{min}})^2$ を用いて次式のように求める。

$$\sigma_{x,y} = 1.4826 \left(1 + \frac{1}{n-1}\right) \sqrt{(e_{x,y}^{\text{min}})^2} \quad (3)$$

ここで、係数 1.4826 は分布を正規化するための補正係数である。

(x, y) の全データのうち、 $f_{x,y}^i \pm 2.5\sigma_{x,y}$ の範囲外のデータを例外値として除去し、それ以外のデータに LMS 推定を行うことで背景画像の画素値 $f_{x,y}^{\text{BG}}$ を推定する。

これらの処理をすべての画素に対して行い、得られた推定値をもとに背景画像を作成する。このような処理により、例外値の混入に対して強いロバスト性を持つ。

3 パーティクルフィルタ、RANSAC 及び PSA を用いた背景更新

本手法では、物体検出及びパーティクルの初期配置のための背景差分に用いる背景画像を基本的にパーティクルフィルタ及び RANSAC を用い、逐次的に更新する。以下に本手法における基本的な背景更新の流れを示す。

- Step1 動画から背景更新に使用する背景更新用データをパーティクルフィルタによって得られた移動物体推定領域を除外した上で n 枚取得
- Step2 取得した n 枚の背景更新用データの各ピクセルに RANSAC を適用し、例外値を除去
- Step3 Step2 で例外値を除去したものに LMS 基準に基づく推定を行い、各ピクセルの輝度値を算出
- Step4 Step3 で得られた値から背景画像を作成し、背景画像を更新

† 中部大学, Chubu University

‡ 愛知教育大学, Aichi University of Education

3.1 背景更新用データの取得方法

RANSAC を用いて背景更新を行うためには、 n 枚の背景更新用データが必要であり、それらを動画像から取得する必要がある。動画像から取得した背景更新用データには、背景推定時に例外値となる移動物体が含まれている。これらの背景更新用データの各ピクセルに 2 節で説明した方法を適用することで、例外値の個数が $n/2$ 個未満であれば例外値を除去することができる。

しかし、背景更新用データを動画像から取得する間隔を短くした場合、 $n/2$ 個以上の例外値が含まれることがあり、そのような場合には更新後の背景画像に例外値が混入する。そのため、背景更新用データの取得間隔を適切に設定しなければ、精度よく背景画像を更新することができない。

本手法では、例外値の除去のためにパーティクルフィルタの追跡結果及び文献 [8] で導入された検出ラインでの物体検出結果を利用することで背景更新用データの取得間隔の問題を解決する。

文献 [8] のシステムでは、移動物体が進入または退出する可能性があるところに検出ラインを設置し、検出ライン上で移動物体を検出後、パーティクルフィルタによる移動物体の追跡を行っている。そのため、移動物体の存在する領域が既知である。本手法でも検出ライン上で移動物体を検出し、パーティクルフィルタによる移動物体追跡を行う。背景更新用データを取得する際にはパーティクルフィルタによって追跡されている物体領域及び検出ラインで検出されている物体領域を除去する。これにより、移動物体を含まないデータを得ることができ、背景更新用データの取得間隔を設定する必要がなくなる。

検出ラインを用いて進入、あるいは退出する物体の検出を行う際、検出ラインの内側（移動物体を追跡する領域）のみで背景差分を用いた物体の検出を行っている。つまり、検出ライン内の背景画像のみが用意できればよい。そこで、本システムでは検出ラインの内側の背景画像のみ更新を行うことにする。

3.2 初期背景及びパーティクルの初期配置

3.1 節で説明した方法によって背景画像を取得するためにはパーティクルフィルタを用いて移動物体を追跡している必要がある。パーティクルフィルタで移動物体を追跡するための初期設定をするには、移動物体領域を検出する必要がある。

本システムでは、物体領域検出方法として背景差分法を用いているため、背景画像が必要となる。しかし、3.1 節の方法によって背景画像を獲得する前には背景画像がないため、あらかじめ移動物体を含まない背景画像を用意しておくか、別の方法によって移動物体領域を検出する必要がある。背景画像を用意することは制約が大きいため、本論文では PSA を用いることによって、事前に背景画像を用意することなくパーティクルフィルタの初期設定を行う方法を提案する。

3.2.1 PSA を用いたパーティクルの初期配置

PSA は、現フレームから k フレーム前の各ピクセルの状態を $k+1$ フレーム前までの全フレームのデータを使用して動状態、静状態、背景状態の 3 つの状態に判別することができる手法である。移動物体領域中のピクセルは、動状態または静状態に分類される。

本手法では、PSA によって動状態と判別された領域に

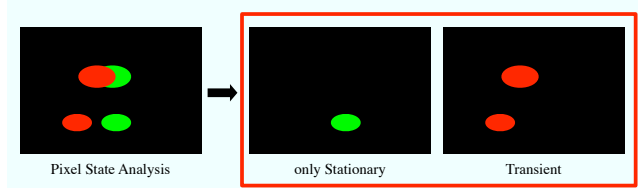


図 1 静状態および動状態の抽出

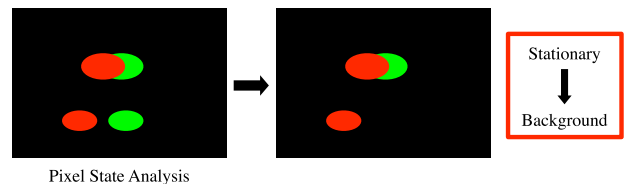


図 2 状態遷移による静状態の除去

は移動物体が存在しているとし、動状態の領域に対してパーティクルの初期配置を行う。動状態の判定には背景画像を必要としないため、背景画像を用意することなく移動物体領域を抽出することができ、精度を低下させることなくパーティクルの初期配置を行うことが可能となる。ただし、PSA で判別できるのは現時刻の状態ではなく、 k フレーム前の状態であるため、パーティクルの初期配置も k フレーム前のフレームに対して行う。

なお、 n フレーム分の画像データを取得した時点で 3.1 節で説明した方法により背景画像を取得し、パーティクルの初期配置を現フレームに対して行うようにする。また、背景画像を取得した後は、背景差分法により検出ライン上で物体を検出する。

3.2.2 静状態から背景状態への状態遷移

PSA では動状態と判別されなければ静状態が背景状態かに判別される。静状態と背景状態の判別には背景画像を用いる。文献 [7] では、あらかじめ背景画像を用意し、それを用いて静状態と背景状態を判別しているが、それでは制約が大きいため、本手法では 1 フレーム目の画像を仮の背景画像として用いることで状態を判別する。

仮の背景画像を利用した場合、初期フレームでは静止していた物体が途中から動き出した場合などでは、物体が静止していた領域は静状態と判別される。そのような領域を適切な状態に判別しないと、背景推定を行う際に例外値として背景更新用データに混入してしまう。そこで、静状態と判定された領域が本当に静状態なのかを判別し、背景状態であった場合には適切な状態に遷移させることでこの問題を解決する。

静状態の領域が出現した場合、その領域は静止していた物体が動いていった後の領域か静止した移動物体が存在する領域かのどちらかである。どちらの領域なのかを判別し、仮の背景画像に含まれていた物体が移動したことにより現れた静状態と判別されたとき、その静状態の領域を背景状態へと遷移させる。以下にその手順を示す。

Step1 動状態、あるいは静状態と判定された領域を抽出する (図 1)

Step2 抽出された領域の色ヒストグラムを領域ごとに作成する

Step3 作成した色ヒストグラムを用いて、静状態のみの領域と動状態の領域（一部静状態を含む動状態領域も含まれる）の類似度を求める

Step4 類似度の高い領域があった場合、静状態の領域に存在していた物体が類似度の高かった動状態の領域まで移動したと判断し、静状態から背景状態へと状態を遷移させる（図2）

ただし、静状態から背景状態へと状態を遷移させるためには、同じ移動物体の動状態の領域と静状態の領域が必要となるため、1フレームでは画像外へ移動物体が移動しないものとする。

静状態から背景状態へ遷移させた領域については、その領域にはそれまで物体が存在しており、取得した背景更新用データの中に物体が含まれていると考えられる。そのため、そのような領域については背景更新のために取得していたデータをすべて破棄し、状態遷移後に取得したデータのみを用いて背景更新を行う。これにより、初期フレームから物体が静止していた場合でも、精度よく背景更新を行うことが可能である。

3.2.3 PSA で用いる閾値の自動決定

PSA では、各ピクセルの状態を各ピクセルにおける輝度値の変化量 T と安定度 S から判別している。変化量 T が閾値 th_{PSA} よりも大きければ動状態と判別され、その後安定度 S が th_{PSA} よりも小さければ静状態もしくは背景状態と判別される。このように状態の判別には閾値が必要であり、適切な閾値を設定する必要がある。

本手法では、ノイズによる背景の輝度値のゆらぎの範囲を求め、差分値がその範囲を超える場合には移動物体の影響による輝度変化とするように閾値を設定する。以下に閾値の設定方法について述べる。

Step1 動画の1フレーム目と2フレーム目の画像から、RGB 各成分の差分の絶対値を求める

Step2 Step1 で求めた差分の絶対値がある閾値より小さい画素の値を用いて差分の絶対値の標準偏差 σ^c ($c = R, G, B$) を求める

Step3 各ピクセルに含まれるノイズを互いに独立、かつ平均0 標準偏差 σ^c の正規分布と仮定し、閾値 th_{PSA} を $6\sigma^c$ とする

Step2 である閾値より小さい値の画素のみを使う理由は、移動物体領域中の画素値を使わないようにするためである。これにより、背景領域中の画素値のみを用いて背景の輝度値のゆらぎの範囲を求めることができる。

3.3 照明変化への対応

照明変化が生じた場合、入力画像の画面全体の輝度値が大きく変化する。そのため、背景差分を行った場合に物体領域だけではなく、背景領域も抽出してしまう。そこで、急激な変化が生じた場合、一時的に検出ライン上での物体検出を中断し、背景の更新を行う。

検出ラインの80%以上で物体が検出された場合に急激な照明変化が生じたと判定し、以下の処理を施す。

Step1 検出ライン上での物体検出を一時的に中断する。このとき、パーティクルフィルタによる追跡は継続する

Step2 動画から背景更新用データをパーティクルが存在する領域を除外した上で連続フレームを n 枚取得



90 フレーム目



120 フレーム目



150 フレーム目



180 フレーム目

図3 シーン1の観測画像



(a) 2 回目

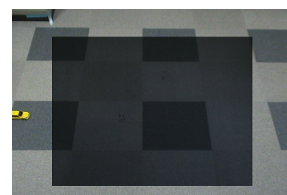


(b) 3 回目

図4 シーン1の背景更新結果



(a) 観測画像



(b) 取得された背景画像

図5 照明変化後の背景推定結果

する

Step3 取得した n 枚の背景更新用データを用いて背景の更新を行う

Step4 更新された背景画像を用いて、検出ライン上での物体検出を再開する

このようにすることで、照明変化が生じた場合においても精度良く背景更新を行うことができる。

4 実験

本手法の有効性を確認するために、実画像を用いた実験を行った。本実験には、一般的な民生用 DV カメラコードによって撮影された映像を用いた。画像サイズは 720×480 画素であった。計算に使用した計算機は CPU に Pentium4 2.4GHz を搭載し、メモリを 1GBYTE 搭載してい

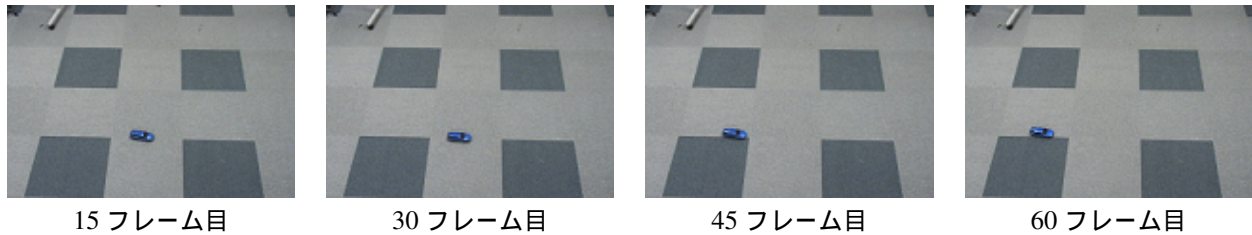


図6 シーン2の観測結果

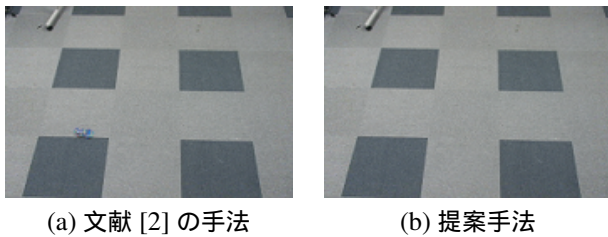


図7 1回目の背景更新結果の比較

た。また、1回あたりの背景更新には計30フレーム分の背景更新用データを用い、背景更新用データの取得間隔を2フレームとした。PSAには10フレーム分の画像データを用いた。

4.1 背景更新の精度

パーティクルフィルタ及びRANSACを使用した場合の背景更新精度の確認を行った。

実験に使用した画像の一部を図3に、本手法を適用した結果を図4に示す。図4より、移動物体の影響を受けることなく背景を更新できていることがわかる。

次に、照明変化が生じた場合の背景更新精度について確認を行った。実験結果を図5に示す。実験結果より、照明変化が生じた場合においても、移動物体の影響を受けることなく、検出ライン内において照明変化後の背景を推定できていることが分かる。

4.1.1 1回目の背景更新の精度

パーティクルフィルタ、RANSAC及びPSAを用いて、背景更新を行う。文献[2]の手法との比較実験を行った。実験に使用した画像の一部を図6に、1回目の背景更新結果を図7に示す。文献[2]の手法では、図7(a)のように更新後の背景画像に物体が混入されている。それに対して、提案手法では、図7(b)のように物体が混入することなく背景更新ができており、提案手法の有効性が確認できる。

結果より、あらかじめ物体を含まない背景画像を用意することなく、動画から背景画像を生成できていることが確認できる。

5 まとめ

本論文では、パーティクルフィルタ、RANSAC及びPSAを用いた背景更新手法を提案した。

RANSAC及びLMedS基準によって例外値を取り除くだけではすべての例外値を取り除くことができない場合があった。提案手法では、パーティクルフィルタによる追跡結果および検出ラインにおける進入退出物体の検出結

果を利用することで、背景更新用データの取得間隔を短くした場合においても精度よく背景更新を行うことが可能となった。

また、本手法は、あらかじめ移動物体が移っていない背景画像を用意しなくても適切な状態遷移を行えるようにPSAを改良して使用した。これにより、背景画像を用意しなくても移動物体を検出し、パーティクルフィルタの初期設定を行うことが可能になった。初期背景の推定精度も向上した。

今後の課題として、背景更新やPSAを行う処理の高速化などがあげられる。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(C)(#20500168)および中部大学研究費のサポートによる。ここに感謝申し上げる。

参考文献

- [1] Michael Isard and Andrew Blake, "CONDENSATION - conditional density propagation for visual tracking -", *Intl. J. of Computer Vision*, **29**(1), pp. 5-28, 1998.
- [2] 堀武司, 波通隆, 飯島俊匡, "実環境における移動体の検出・追跡技術に関する研究", 北海道立工業試験場報告, No. 305, pp. 9-15, 2006.
- [3] 竹内啓五, 金子俊一, 五十嵐悟, 佐藤雄隆, 羽根義, "ロバスト背景差分及び領域抽出に基づく歩行挙動の画像解析", 画像電子学会誌, Vol. 31, No. 2, pp. 193-201, 2002.
- [4] 土田勝, 川西隆仁, 村瀬洋, 高木茂, "背景差分法による物体検出を目的とした逐次モンテカルロ法による背景推定", 電子情報通信学会論文誌, Vol. J87-D-II, No. 5, pp. 1062-1070, 2004.
- [5] 吉村浩典, 岩井儀雄, 谷内田正彦, "屋外環境における背景成分の逐次推定", *CVIM*, Vol. 2005, No. 38, pp. 61-68, 2005.
- [6] 三井健, 波部齊, 松山隆司, "線形システムに基づく動的背景のモデル化と移動対象検出への応用", *CVIM*, Vol. 2006, No. 51, pp. 61-68, 2006.
- [7] H. Fujiyoshi and T. Kanade, "Layered Detection for Multiple Overlapping Objects", *In IEICE Trans. on Info. and Sys.*, Vol. E87-D, No. 12, pp. 2821-2827, 2004.
- [8] 藤川拓也, 岩堀祐之, 福井真二, 河中治樹, "進入退出物体のパーティクルフィルタによる追跡", 平成19年度電気関係学会東海支部連合大会, O-227, 2007.