

照明変動と影の影響を抑えた移動物体の検出

伊藤 竜之介 岩井 儀雄 谷内田 正彦
大阪大学大学院基礎工学研究科

人物追跡は個人認識システムや防犯システムなど様々な分野で、今後、応用が期待される。

我々が以前提案した手法では、UD 分解フィルタを利用した繰り返し演算により背景画像を作成し、入力画像との差分を取ることで移動領域を抽出した。ここで、UD 分解フィルタの利用を考えた場合、初期値として与えられる背景画像が必要となるが、従来の方法では良い初期値を手で与えていた。

本研究ではこの手法で不十分であった、初期値となる背景の自動作成方法を提案し、実際に屋外を歩く人物を撮影した動画像に適用した実験の結果について報告する。

Object Detection Method Insensitive to Illumination Change and Shadow

Ryuunosuke ITOH, Yoshio IWAI, and Masahiko YACHIDA
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Tracking people has received considerable attention by computer vision researchers. Interest is motivated by the broad range of potential applications such as personal identification, human-machine interaction, and automated surveillance. We previously proposed a method for extracting moving region by subtraction from background images. Background images were estimated by using U-D factorized Kalman Filter. To use a Kalman Filter, good initial parameters for estimation are needed and were manually given in the previous work. In this paper we propose an improved method for estimation of background image and for automatic parameter initialization. We also show experimental results using real images to test the performance of our proposed method.

1 緒論

屋外において移動物体の検出を安定に行うためには、明るさの変動に対しロバストであること、移動物体とその影を正確に分離すること

が重要である。明るさの変動に対してはヒストグラムの最頻値に基づき背景画像を更新する手法[1]や、注目画素とその近隣画素との相関に基づく手法[2]が提案されている。影の分離の

関しては天文学によって求められる太陽の位置情報を利用する手法[3,4]や、カラー情報を利用する手法[5]などがある。しかしながら、これらの2つの問題を1つの手法により同時に扱う試みは今までなされていなかった。

従来別々の問題として捉えられてきたこれらの問題を同時に解決できる手法として、奥村らはグレースケールで扱われてきた背景差分法をカラーに拡張する手法[6]を提案した。この手法は、グレースケールの背景差分では背景は1枚の画像であり、各ピクセルで背景を「点」として扱っていたのに対し、カラー化により、これを「明るさをパラメータとして持つ RGB 空間中の線分」へと拡張した。そして、色情報は色度表現を用いると色度と明るさに分離できる[7]ことから、明るさをパラメータ化しても十分な情報を持ち得ることは明らかであるため、明るさパラメータを使い、実際に明るさが変化したときの色の見え方を忠実に再現することができる「明るさ可変背景」を構成し、どれほど急激に明るさが変化しても明るさパラメータを調整するだけで瞬時に対応することを可能にした。

このとき人物など背景に含まれていない物体の影、例えば、人物の影のような太陽直射光が人物によって遮られ暗くなっている部分は、雲によって太陽直射光が遮られ明るさが急激に変化するのと同じことが画像中の一部の領域で起こっていると考えられることができるため、明るさの変動に対して瞬時に対応する作業を各ピクセルで独立して行えば、このような影の除去が可能となることが提案された。

奥村らの手法では UD 分解フィルタを利用した繰り返し演算によって背景成分画像を作成した。この方法では、入力画像の背景部分を使い順次処理を行うことができるので、動画画像から背景成分画像を求めるのに適しているからである。ここで UD 分解フィルタの利用を考えた場合、推定する背景画像の良い初期値が必要となる。しかし、奥村らの手法ではこの初期値

を手動で与えていた。

そこで、本研究は奥村らの手法で不十分であったこの背景画像の自動初期値作成法について提案し、実際に屋外を歩く人物を撮影した動画画像に適用した実験の結果について報告する。

2 影を考慮した背景画像のモデル化と推定方法

2.1 明るさ可変背景モデル

奥村らの手法[6]では簡単化のため光源は太陽だけとしている。

太陽直射光が雲や人物などによって完全に遮られているとき、観測される対象は全天空光(太陽光の大気による散乱光)によってのみ照らされ、反対に太陽が雲に全く覆われていない場合、観測対象は全天空光と太陽直射光によって照らされているとしている(表1)。

そこで表1を考慮して雲の影響による急激な明るさ変化が起きている際、観測される対象の色について、短期的には全天空光および太陽直射光の色度の変化は小さいことからこれを無視すると、観測される対象の色(R, G, B)は全天空光成分(R_e, G_e, B_e)および太陽直射光成分(R_d, G_d, B_d)からなる[8]と考えられる。

雲による分光吸収はごくわずかであるから、太陽直射光が雲を通過する時にだけ明るさが変化するとすれば、雲の影響により明るさが変化している時に観測される対象の色は式(1)でモデル化できる。

$$\begin{aligned} R &= R_e + kR_d \\ G &= G_e + kG_d \\ B &= B_e + kB_d \end{aligned} \quad (1)$$

表1 全天空光と太陽直射光

	全天空光	太陽直射光
晴れ		
明るさ変動時		(減衰)
曇り、影部分		×

式(1)において k は太陽直射光成分の混合率を表す。つまり $k = 0$ で全天空光成分のみとなり、雲によって太陽直射光が完全に遮断された状態が、移動物体の影になっている状態を表している。また、 $k = 1$ は太陽直射光の減衰が全くない、つまり太陽に雲がかかってない状態を表す。

このモデルに従えば、「明るさ可変背景」は背景の全天空光成分からなる画像と太陽直射光成分からなる画像を使って表現できる。そこで、これらの画像を背景の成分画像と呼ぶことにする。この背景の成分画像を使えば k を明るさパラメータとして、様々な明るさの時の背景画像を高精度に再現することができるようになる。実際に成分画像を作成するには、 k 値が異なるときの背景画像とそのときの k 値が2組あれば、ピクセルごとに連立方程式を解くことにより求められる。

そして、各ピクセルにおいて「明るさ可変背景」はRGB空間中の線分で表され観測値は点で表されることから、差分として点と線の距離を用いると、明るさパラメータを調節した「明るさ可変背景」と観測画像を比較したことになり、移動物体の影も暗い時の背景として捉えることができる。

次節では具体的な処理の流れについて述べる。

2.2 処理の流れ

カラー化した背景差分処理を使って動画から移動物体を検出する処理について述べる。

2.1節で述べたように、 k 値が異なるときの背景画像とそのときの k 値が2組あれば、連立方程式を解くことにより背景の成分画像を作成できる。しかし、2つの k 値の差が小さいと得られる成分画像は誤差が大きすぎて処理を行う上で信頼できない。そこで、UD分解フィルタを利用した繰り返し演算によって成分画像を求める。この方法は、フレームシーケンス中から最適な2枚の背景画像を選びだす必要がなく、

入力画像の背景部分を使って順次処理ができるため、動画からの背景の成分画像を求めるのに適している。また、太陽光の日内変動のような成分画像のゆっくりとした変化にも対応することが可能となる。

図1に各フレームに対して行う処理を示す。以下ではそれぞれのステップについて述べる。

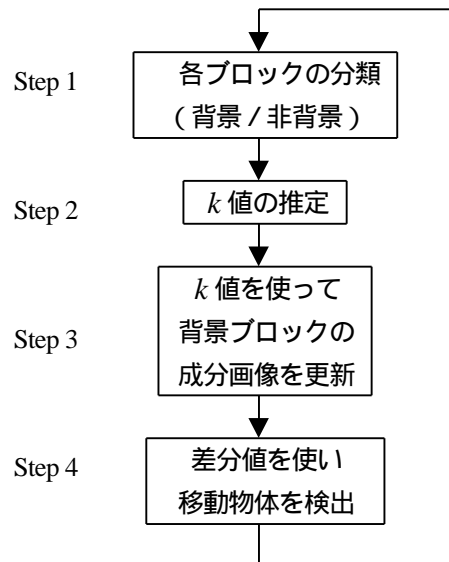


図1 処理の流れ

step 1

入力画像をいくつかのブロックに分割し、ブロック単位でフレーム間差分処理、膨張処理した後に数フレームに渡って論理和を求める。この結果に基づいて、背景ブロック(ブロック内に移動物体および移動物体の影を含まないブロック)と非背景ブロックに分類する。図2に入力画像(a)とブロックの分類結果(b)を模式的に示す。図2(b)において、白のブロックが背景、黒のブロックが非背景ブロックを表す。

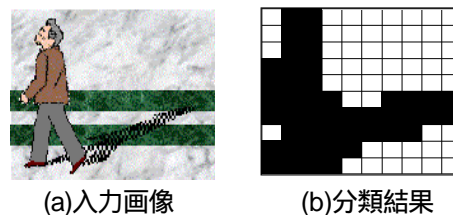


図2 ブロックの分類

step 2

背景の成分画像と入力画像を使って、式(1)から背景ブロック内の全ピクセルの k 値を算出し、その中央値を現在のフレームの k 値とする。

但し、最初は背景の成分画像が求まっていないため特定ピクセルによる k 値の推定を行う。以下にこの方法について述べる。

まず、背景のうち材質と色が同じ面（分光反射率と面の法線方向が同じ）で静止物体の影になっていないピクセル A と影になっているピクセル B があるとすると、ピクセル A の $k = 0$ の時の明るさを T_L 、 $k = 1$ の時の明るさを T_H とすれば、ピクセル A の明るさが T であるとき、 k 値は式(2)で求めることができる。

$$k = \frac{T - T_L}{T_H - T_L} \quad (2)$$

ピクセル A とピクセル B は分光反射率と面の法線方向が同じなので、ピクセル B の明るさを T とすれば、 T_L T と近似できるので、式(2)は以下のように書き換えられる。

$$k = \frac{T - T_L}{T_H - T_L} \quad (3)$$

このことから、上記の条件をみたすピクセル A および B の位置と、ピクセル A の $k = 1$ の時の明るさが既知であり、しかも、ピクセル A および B が共に背景ブロックに含まれていれば、式(3)から k 値を求めることができる。

step 3

背景ブロックの各ピクセルに対して、step 2で推定した k 値を使って、UD 分解フィルタを適用することにより、背景の成分画像を更新する。式(4)に、利用した UD 分解フィルタのパラメータを示す。ここで、 $N(\mu, \sigma^2)$ は平均 μ 、分散 σ^2 のガウス分布ノイズを、 A^T は A の転置行列を表す。初期条件は式(5)を与えた。

$$\begin{aligned} x_{t+1} &= x_t + N(0, 1^2) \\ x_t &= (R_e \quad R_d \quad G_e \quad G_d \quad B_e \quad B_d)^T \\ & \quad \begin{matrix} R_e \\ R_d \\ G_e \\ G_d \\ B_e \\ B_d \end{matrix} + N(0, 10^2) \end{aligned} \quad (4)$$

$$x_0 = 0, P_0 = 10^6 I \quad (5)$$

step 4

背景の成分画像と入力画像から、ピクセルごとに差分値を算出し、差分値が閾値を超えるピクセルは移動物体を構成するピクセルであると判定する。

2.3 奥村らの手法の問題点

前述の step 4 において背景成分画像を手作業により作成し実験を行った時はうまくいくことが示されている[6]。しかし、一連の step 1-4 の方法で背景成分画像を求める手法では、step2 における最初の背景成分画像が作成されていない場合の特定ピクセルによる k 値の推定において、式(3)で必要となる各パラメータを求めるのは難しい。なぜならば、step 2 で述べた、背景のうち材質と色が同じ面（分光反射率と面の法線方向が同じ）で静止物体の影になっていないピクセル A と影になっているピクセル B のそれぞれの場所をどのようにして見つけてくるかということが大きな問題となるからである。実際に人間が判断する上では問題はないが、計算機で自動化するためにはどこが影でどこが日向なのか区別がつかないのでこの点を解決する必要がある。

そこで本研究では、初期背景成分画像の自動作成方法について提案する。

3 初期背景成分画像の

自動作成方法

UD 分解フィルタを使って背景成分画像の推

定を行う際、特に推定を始めるための初期値が重要となってくる。この初期値によっては推定がうまく行われないことがあるためである。本研究でUD分解フィルタへ入力する初期値は、対象が全天空光のみによって照らされている場合、すなわち $k = 0$ の時の背景画像と、全天空光と直射光によって照らされている $k = 1$ の時の背景画像の2つを入力する必要がある。2.2節の step 2 の最初の背景成分画像が作成されていない場合の特定ピクセルによる k 値の推定を実行するのは難しいため、本手法では step 2 の式(3)をもとにしてその代用となる初期値決定の式を提案し、そこで得られる値に制限をかけて初期背景成分画像を作成する手法を用いた。

3.1 提案手法

初期背景成分画像の作成は各ピクセルについて行う。

まず過去数フレーム(ピクセルにより異なる)間で、RGB 成分それぞれについて中央値 (*median*)、また輝度値 T について最小値 T_{\min} 、最大値 T_{\max} を計算しておく。

実際には step 2 の背景成分が作成されていない場合の k 値の推定処理を行うのは難しいため、次のような推測方法を考える。以下 $X = R, G, B$ とする。

観測される色成分は式(6)のように表せる。

$$X = X_e + kX_d \quad (6)$$

X_e は全天空光成分の初期推定値、 X_d は太陽直射光成分の初期推定値である。

画像中で暗い部分と考えられる T_{\min} は式(6)において $k = 0$ である可能性が高い。そこで式(6)は次のように書き換えられる。

$$T_{\min} \leq X_e \quad (7)$$

実際には式(7)は RGB 成分に分離する必要があるので、RGB 成分比率を示していると思われる *median* とこれに対応する輝度 T を用いて、

$$X_e = \frac{T_{\min} \cdot \text{median}}{T} \quad (8)$$

また、式(6)から

$$X_d = \frac{X - X_e}{k} \quad (9)$$

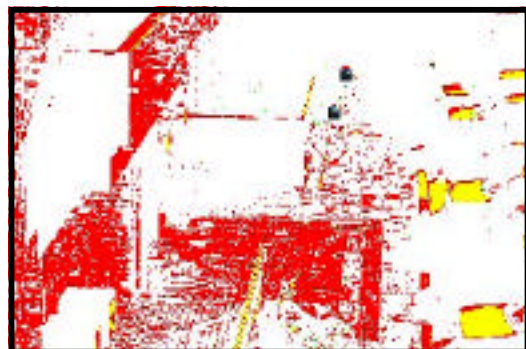
式(3)において、 T を T_{\min} と置き換えて

$$k = \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (10)$$

とおいた。ここで本手法では、式(10)において $T_{\min} = 0$ とし、

$$k = \frac{T}{T_{\max}} \quad (11)$$

とした。これは、式(10)を用いて背景を推測し差分をとった場合と式(11)を用いた場合では、図3に示すように明らかに式(11)を用いた方が背景の推測が良好で差分結果が良いためである。



(a) 式(10)を使用



(b) 式(11)を使用

図3 初期値設定方法の違いによる
差分結果の違い

従って、式(9)、(11)より

$$X_d = (X - X_e) / \frac{T}{T_{\max}} \quad (12)$$

観測される対象が全天空光のみによって照らされているとき、すなわち雲が太陽光を遮っている $k = 0$ の場合でも、カメラの感度が調節されていれば観測画像にはある程度の明るさがあり真っ暗になるとは考えにくい。また、太陽直射光が雲によって遮られていないとき、すなわち $k = 1$ の場合でも、観測画像が眩しすぎるほど明るくなるものではないと考える。これはカメラのダイナミックレンジが十分に広いことを仮定している。しかし、実際のカメラにおいては暗い部分には暗電流によるノイズによって十分な量子化精度が得られないこと、カメラのダイナミックレンジはそれほど広くなく鏡面反射等によりセンサが飽和することなどから式(8)、(12)で求められる X_e, X_d に下限と上限を定めることにする。

3.2 初期推定値の制限設定

まず、最初の20フレーム分について中央値画像を作成する。

図3は得られた中央値画像の輝度値とその各RGB成分について作成したヒストグラムである。これをもとに、中央値画像のRGB成分そ

れぞれについて制限を設定する。

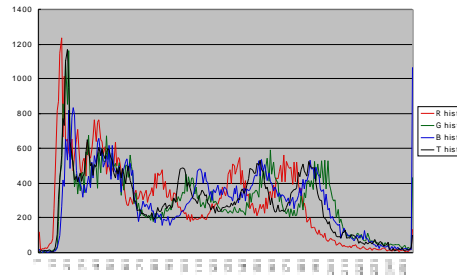


図4 0-19フレームの中央値画像の
ヒストグラム

R成分は下限を70付近、上限を180付近に、G成分は下限を80付近、上限を200付近に、B成分は下限を90付近、上限は255付近に設定した(表2)

表2 各制限一覧

	輝度値	R成分	G成分	B成分
下限	80	70	80	90
上限	240	220	230	255

4 実験結果および考察

実験画像は2000年10月24日(天候:晴れ時々曇り)の午後2時30分から午後5時まで撮影した映像(秒間30フレーム)のうち午後4時過ぎの1000フレームについて1フレームおきにオフラインで処理を行った。なお処理に用いた計算機はSGIのOnyx2である。

4.1 結果画像

処理に用いた入力画像の例を図5(a1,a2)に、入力画像と推測背景の差分処理を行った結果を図5(b1,b2)にそれぞれ示す。



図5(a 1) 入力画像(352 フレーム)



図5(a 2) 入力画像2(610フレーム)



図 5 (b 1) 結果画像(352 フレーム)



図 5 (b 2) 結果画像(610 フレーム)

図 5 (b1,b2)において、表示されている部分は移動物体であると判断した部分である。

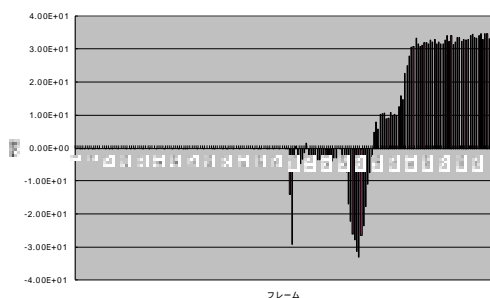
4.2 考察

図 5 (b2)の処理結果から分かるように、人が通り過ぎた後にその部分の背景の推定に失敗することがある。これは移動物体が存在する時と存在しない時でその部分の色が大きく異なる場合、背景の更新を行う際に色の成分の差をフィードバックしているため、移動物体の色と背景の色が大きく異なるとフィードバックゲインの値が大きくなり(図 6) その結果、推測値が分散し背景の推定に失敗しているためであると考えられる。これに対しては、背景推定の再初期化を行うことで対処できると考えられる。

さらに、今回取得した画像では太陽と向かい合うような形で撮影したため、移動物体の太陽のあたっていない部分(全天空光成分)のみを撮っていたことになる。本手法では、 T_{max} に直射光成分が含まれていることを仮定しているため、最初の T_{min} 、 T_{max} を算出するときに、直射光成分が入っていないと正しく初期値を設定することができない。今後、撮影する画像では太陽を背にして画像を撮影し、有効性を更に評価する必要がある。また、3.2節で述べた初期値制限の上限下限値の決定は現在のところ人間の手によりこの値を決定している。実際にはシーンによって制限値は異なるので、これを自動化する必要がある。さらに本手法では木の葉の揺れのような周期的な色の変動に対してはモデル化されていないので扱うことができない。今後、モデルを拡張するなどの対策も考えていく必要がある[9]。



(a)人が通らない場所



(b)人が通った場所

図6 残差の時間推移

6 おわりに

本報告では、奥村らの手法である背景差のカラー化による移動物体の検出において、この手法の自動化における初期背景成分推定の手法を提案した。

本研究は、奥村らの手法で不十分であった、2.2節のstep 2: 初期背景の推定において、式(3)の代わりとなる推測式を提案し、その推測された値に上限下限の制限を加えることにより初期背景の推測を行った。そして、自動化処理において移動物体の影を除去し移動物体のみを検出できることを確認し、本手法が有効であることを確認した。

今後の課題として、4.2節で述べたように

- ・人が通り過ぎた後、背景成分の推測に失敗することへの対処
- ・推測値の上限下限設定の自動化
- ・木の葉の揺れのような周期的な色の変動への対応

これらの対策を考えていく必要がある。

参考文献

- [1] 佐藤敦、土川仁、伴野明、石井健一郎：歩行者計数のための照明変動にロバストな背景画像更新法、信学春秋全大、D-408(1994)
- [2] 高橋祐介、亀井俊男、溝口正典：空間相関法による照明変動に頑健な物体検出法、第5回画像センシングシンポジウム講演論文集、pp.1-5(1999)
- [3] 川勝正晴、緒方敏博、園田頼信：監視画像における対象物とその影の分離、信学技報、IE95-157、PRMU95-244、pp.61-66(1996)
- [4] 緒方敏博、松田雅之、園田頼信：運動物体とその影の分離、信学技報、PRMU97-52、pp.33-40(1997)
- [5] 園田頼信、緒方敏博、松野洋輔：監視画像における対象物と影の分離-カラー情報の利用-、信学技報、PRMU99-19、pp.1-6(1999)
- [6] 奥村晃弘、岩井儀雄、谷内田正彦：屋外における移動物体の検出 照明変動と影への対策、MIRU2000 画像の認識・理解シンポジウム講演論文集、pp.307-312(2000)
- [7] 谷内田正彦：ロボットビジョン、昭光堂、(1990)
- [8] 関根征士：晴天空の分光分布と色度、照明学会誌、Vol.73 No.2、pp.3-9(1989)
- [9] 波部斉、和田俊和、松山隆司：照明変化に対して頑健な背景差分法、情報処理学会、CVIM115-3、pp17-24(1999)