

屋外環境における背景成分の逐次推定

Sequential estimation of background components in outdoor environments

吉村 浩典†
Hironori Yoshimura

岩井 儀雄†
Yoshio Iwai

谷内田 正彦†
Masahiko Yachida

1. はじめに

近年の不穏な社会情勢を反映して、セキュリティへの意識が急激に高まっており、カメラや画像を用いた人物監視が行われている。しかし、人物監視や移動物体認識を人が24時間行うことは時間の制約が大きく、また目視という単純作業を長時間続けることで疲労や怠惰による見落としが避けられない。この問題を解消するためにも監視作業の省力化や自動化が望まれる。

このような監視活動や自動認識において、画像中の移動物体を検出する手法の1つに背景差分法がある。背景差分法は背景が変化しない場合には、単純な処理で良好な結果が得られることから広く利用されている。しかし照明の点灯や消灯等による照明条件の変化により、背景画像に変化が起きた場合には適用できないといった問題点がある。そのため背景差分法を実画像に適用する場合には照明変化に対応することが重要である。

また背景差分法では背景画像と異なる領域を全て抽出するため、対象物とその影を1つの領域と見なして抽出する場合が多く見られる。影を移動物体として認識してしまうと、人物認識や追跡等を行う際に影響を及ぼすことがあるため、影の影響を抑制し対象物とその影を分離することも重要となってくる。

屋外環境におけるこれらの問題に対して、従来から多くの手法が提案されている。明るさ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、注目画素とその近接画素との相関に基づく手法[2]が提案されている。また影の分離に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。明るさ変動と影の分離を同時に解決できる手法として、伊藤らは明るさ可変背景モデルを用いた手法[6,7]を提案した。色情報は色度と明るさに分離できる[8]ことから、色情報の明るさをパラメータ化することによって、背景画像を表現できる「明るさ可変背景」を構成した。

伊藤らの手法ではカルマンフィルタを利用した繰り返し演算により背景の成分画像を随時更新し、移動物体の検出を行っている。この際に観測される対象の背景の色1つだけに対して、カルマンフィルタにより天空光成分と太陽直射光成分と呼ばれる2つの背景成分を同時に推定しようとしているため、短時間で背景成分の推定値が発散してしまうという問題が生じていた。この問題に対し本研究では、背景天空光成分と太陽直射光成分の逐次的推定を行うことで推定値の発散を回避する手法を提案する。

まず、2章では伊藤らが提案した「明るさ可変背景モデル」について述べ、そのモデルに基づく従来の背景成分推

定処理における問題点を挙げる。3章ではそれを解決するための手法を提案し、4章では実際に屋外環境で行った実験において、本手法を動画像に適用した処理結果から提案手法の有効性を示す。最後に5章で結論を述べる。

2. 明るさ可変背景を用いた背景成分の逐次推定

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てロバストであることと、移動物体とその影を正確に分離することが重要である。本章ではこれらの問題を動じに解決することを可能とした明るさ可変背景と明るさ可変背景モデルについて説明し、その手法における問題点を挙げる。

2.1 明るさ可変背景

太陽直射光が雲や建物、人間等により完全に遮られているとき、観測される対象は太陽光の大気による散乱光、すなわち天空光のみによって照らされていると考えられる。反対に太陽直射光が全く遮蔽されていない場合は、観測対象は天空光と太陽直射光により照らされていると仮定できる。このことから、背景画像の天空光成分と太陽直射光成分の線形和をとることで、実際に明るさが変化したときの色を忠実に再現できる。この色の見え方を明るさ可変背景と呼ぶ。

2.2 明るさ可変背景モデル

明るさ可変背景を数式的にモデル化した明るさ可変背景モデルについて説明する。モデルの構築にあたり、屋外環境においては太陽光以外の光源は無視することができると考えられる。

雲の影響による急激な明るさ変化が起きている際に観測される対象の色について考える。短期的には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、各画素においてそれぞれ観測される対象の色 $Y = (R, G, B)^T$ は天空光成分 $X_e = (R_e, G_e, B_e)^T$ と太陽直射光成分 $X_d = (R_d, G_d, B_d)^T$ からなると考えられる[9]。ここで A^T は、ベクトル A の転置を表す。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ときだけ明るさが変化すると考えれば、雲の影響により明るさが変化しているときに観測される対象の色 Y は式(2.1)でモデル化できる

$$Y = X_e + kX_d \quad (2.1)$$

式(2.1)において、 k ($0 \leq k \leq 1$) は太陽直射光成分の混合率を表す。このモデルに従えば、明るさ可変背景は背景の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。これらの画像を背景の成分画像とする。この背景の成分画像を使えば太陽直射光成分の混合率 k を明るさパラメータとして利用することで、様々な明るさの背景画像を高精度に再現が可能となり、明るさがどれほど急激に変化しても明るさパラメータ k を調整するだけで瞬時に対応することが可能である。

† 大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻
Department of Systems Innovation, Graduate School of
Engineering Science, Osaka University

この手法では、背景に含まれていない移動物体の影となつて、太陽直射光が遮られ暗くなっている部分についても、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ことと同様のことが画像中の一部の領域で起こっていると考えている。従つて、明るさの変動に対して瞬時に各ピクセルで独立して処理を行えば、移動物体の影の除去についても可能となる。

2.3 従来の背景成分推定手法とその問題点

本節では明るさ可変背景モデルを用いた背景成分の推定手法を述べ、さらにその問題点についても述べる。

従来の背景成分推定手法では、まず入力画像をブロックに分割し、ブロック単位でフレーム間差分や膨張処理を行う。その後数フレームにわたつて論理和を求め、全ブロックを背景ブロックと非背景ブロックに分類する。次に背景成分と入力画像を使って背景ブロック内の全ピクセルの明るさパラメータ k を算出し、その中央値を現在のフレームの明るさパラメータ k とする。そして背景ブロックの各ピクセルに対して、推定した明るさパラメータ k を使って、カルマンフィルタを適用することで背景の成分画像を更新する。その成分画像と入力画像からピクセル毎に差分値を算出し、閾値を超えるピクセルは移動物体を構成するピクセルと判断する。この処理を繰り返す。

従来の背景成分推定手法において、背景の成分画像を更新する際に利用しているカルマンフィルタは、観測値 Y_t を入力、推定値 X_t を出力とする線形確率システムである[10]。新しい観測値が得られるたびに、以前の推定値を修正して新しい推定値を計算する。各ピクセルに対して、現在の時刻の推定した k 値を用いて観測される色 $Y_t = (R_t, G_t, B_t)^T$ にカルマンフィルタを適用することにより、背景の成分画像 X_{e_t}, X_{d_t} を更新している。式(2.2)にカルマンフィルタの状態方程式を、式(2.3)に観測方程式を示す。ここで $X_t = (X_{e_t}, X_{d_t})^T = (R_{e_t}, G_{e_t}, B_{e_t}, R_{d_t}, G_{d_t}, B_{d_t})^T$, $Y_t = (R_t, G_t, B_t)^T$ とする。また $N(\mu, \sigma^2)$ は平均 μ , 分散 σ^2 のガウス分布ノイズを表す。

$$X_t = X_{t-1} + \varepsilon_S \quad \varepsilon_S \sim N(\mu, \sigma_S^2) \quad (2.2)$$

$$Y_t = (I \quad kI)X_t + \varepsilon_O \quad \varepsilon_O \sim N(\mu, \sigma_O^2) \quad (2.3)$$

ここで σ_S はシステムノイズの分散、 σ_O は観測ノイズの分散を表す。式(2.2)と式(2.3)を見ればわかるように、実際に観測できるものは対象の色 $Y_t = (R_t, G_t, B_t)^T$ だけに対して、推定するものは天空光成分 $X_{e_t} = (R_{e_t}, G_{e_t}, B_{e_t})^T$ と太陽直射光成分 $X_{d_t} = (R_{d_t}, G_{d_t}, B_{d_t})^T$ の2つである。このため観測行列のランクが不足してしまい、カルマンフィルタのゲイン行列(以下、ゲインと呼ぶ)のランクは6でなければならないものが実際には3しかないという状況が起こる。このことからシステムは可観測性が成り立たずに不安定となり、しばしばゲインが極端に大きな値を取り得る。ゲインは状態に関する情報の相対的な重みを表し、値が大きいと入力値に重みをおいた更新を、値が小さいと前回の状態の推定値に重みをおいた更新を行う。このためゲインが大きな値を取ってしまうと、入力値をそのまま実際の状態として更新してしまうような事態が起こり、数十秒程度で推定値が発散して背景の推定に失敗するという大きな問題が発生した。この問題に対して伊藤らは、発散が起こった場合には背景の再初期化を行うことで対応していた。しかし、再初期化を行うためには初期画像をいつまでも保持しておかねばならない。

また、従来手法では入力画像をブロック単位に分割して処理を行っているが、それを背景と非背景に分類する際に過去の数フレーム間で差分処理等を行っている。この処理についても過去数フレーム分のデータが必要となるため、保持するデータ量が増加してしまう。

そこで本研究では、推定値の発散による背景成分の推定失敗を回避するために、状態を同時に推定するのではなく観測値を天空光成分と太陽直射光成分に分割したのちに逐次的に推定する。さらにデータ量を軽減するために過去フレームのデータを保持せずに処理を行う手法について提案する。

3. 背景成分逐次推定システム

本章では、従来手法の問題点を改善する背景成分の逐次推定手法について説明する。図3.1に提案システムの構成について示す。画像が入力されると、前時刻の天空光成分と太陽直射光成分から明るさパラメータを計算する。次に求めた明るさパラメータを用いて各画素が背景成分か非背景成分か判断する。非背景と判断された場合は次時刻に進む。背景と判断された場合のみ天空光成分の状態をカルマンフィルタにより更新し、また、その時刻における太陽直射光成分が推定可能と判断した場合のみ、太陽直射光成分の状態もカルマンフィルタにより更新し、次時刻に進む。この処理を繰り返す。各パラメータ間の関係を図3.2に示す。以下では各処理について説明する。

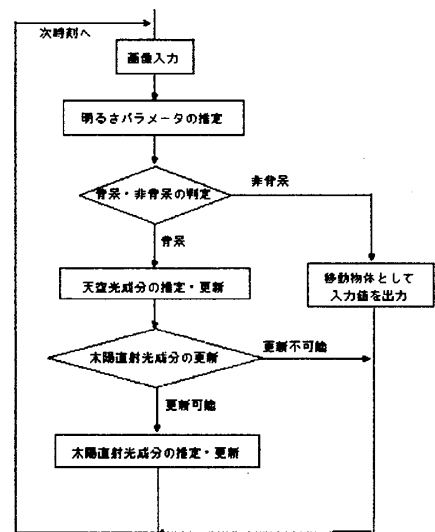


図3.1 システム構成

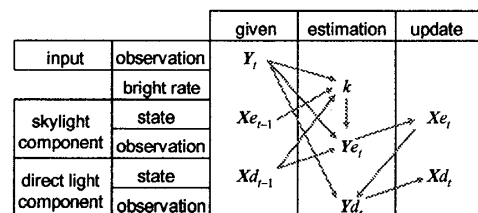


図3.2 各パラメータ間の関係

3.1 明るさパラメータの推定

画像中の全画素について明るさパラメータ k の推定を行う。短期的には天空光及び太陽直射光の色度の変化は小さいため、これを無視できると考え $X_{e,t-1} \approx X_{e,t}$, $X_{d,t-1} \approx X_{d,t}$ と仮定する。この仮定により、与えられた入力画像の値 $Y_t = (R_t, G_t, B_t)^T$ と、前時刻の天空光成分 $X_{e,t-1} = (R_{e,t-1}, G_{e,t-1}, B_{e,t-1})^T$ と太陽直射光成分 $X_{d,t-1} = (R_{d,t-1}, G_{d,t-1}, B_{d,t-1})^T$ を用いて明るさパラメータ k を推定する。これは式(3.1)を用いて入力値である対象の色 Y_t と天空光成分 $X_{e,t-1}$ との差分をとり、太陽直射光成分 $X_{d,t-1}$ を軸としたベクトルに射影し、さらにそれを正規化することで求めることができる。入力画像の初期フレームにおける天空光成分 $X_{e,0}$ と太陽直射光成分 $X_{d,0}$ の求め方については、3.3 と 3.5 でそれぞれ説明する。ここで \cdot はベクトルの内積を表す。

$$k = \frac{(Y_t - X_{e,t-1}) \cdot X_{d,t-1}}{\|X_{d,t-1}\|^2} \quad (3.1)$$

3.2 背景・非背景の判定

3.1 の処理から求めた明るさパラメータを用いて、現時刻における全ての画素について背景であるか、非背景であるかを判定する。この判定には、式(3.2)で表されるノルムを用いる。

$$\|Y_t - (X_{e,t-1} + kX_{d,t-1})\| < D_{th} \quad (3.2)$$

ここでノルムが閾値 D_{th} より小さい場合は、RGB 空間上における明るさ可変背景の線分に入力値が非常に近接していると判断できるので、背景とする。この場合は背景成分を表す値(8bit 濃淡画像であれば 255)を出力し、次の天空光成分の推定・更新の処理に進む。逆にノルムが閾値 D_{th} より大きい場合には非背景、つまり移動物体であると判断でき、現時刻の入力値 Y_t をそのまま出力し、次時刻に進む。

3.3 天空光成分の推定・更新

3.2 の処理で背景と判断した画素について現時刻の天空光成分の状態 $X_{e,t}$ を推定する。まず、入力値 Y_t と前時刻の太陽直射光成分 $X_{d,t-1}$ から現時刻の天空光成分の観測値 $Y_{e,t}$ を式(3.3)から計算する。これは入力値 Y_t と前時刻の太陽直射光成分 $X_{d,t-1}$ を k 倍した値との差分により求めている。

$$Y_{e,t} = Y_t - kX_{d,t-1} \quad (3.3)$$

カルマンフィルタに用いて、式(3.3)により求めた天空光成分の観測値 $Y_{e,t}$ とその前時刻の状態 $X_{e,t-1}$ から、現時刻の天空光成分の状態 $X_{e,t}$ を推定する。利用するカルマンフィルタの状態方程式を式(3.4)に、観測方程式を式(3.5)に示す。

$$X_{e,t} = X_{e,t-1} + \varepsilon_{Se} \quad \varepsilon_{Se} \sim N(0, \sigma_{Se}^2) \quad (3.4)$$

$$Y_{e,t} = X_{e,t} + \varepsilon_{Oe} \quad \varepsilon_{Oe} \sim N(0, \sigma_{Oe}^2) \quad (3.5)$$

また、背景推定の初期フレームでは天空光成分の状態 $X_{e,t-1}$ が求まっていないため、式(3.6)により求め初期値 $X_{e,0}$ とする。ここで、背景推定の初期フレーム以前の過去数フレーム間での RGB 成分それぞれについての中央値を X_{med} 、そのときの輝度値を T_{med} 、また輝度の最小値を T_{min} とする。

$$X_{e,0} = \frac{T_{min}}{T_{med}} \cdot X_{med} \quad (3.6)$$

3.4 太陽直射光成分の更新条件

3.1 で求めた明るさパラメータ k を用いて太陽直射光成分を更新する条件について説明する。太陽直射光が殆ど当たっていない状態、つまり明るさパラメータ k が小さな値を取る場合に現時刻の太陽直射光成分 $X_{d,t}$ を推定すると、真の $X_{d,t}$ 成分が観測地にはほとんど含まれていないので、誤差が大きくなってしまい、処理を行う上で信頼性に欠けてしまう。このような理由から太陽直射光成分は明るさパラメータ k が閾値 k_{th} 以上の場合に限り、推定及び更新を行うこととする。この条件を満たしていない場合は、信頼性に欠けると判断して推定を行わず、次の時刻に進む。

3.5 太陽直射光成分の推定・更新

3.4 の処理で更新条件を満たした画素について、太陽直射光成分 $X_{d,t}$ を推定する。入力値 Y_t と 3.3 で推定した現時刻の天空光成分 $X_{e,t}$ から現時刻の太陽直射光成分の観測値 $Y_{d,t}$ を式(3.7)から計算する。これは入力値 Y_t が現時刻の天空構成成分と太陽直射光成分と和と考え、その値から推定した現時刻の天空光成分 $X_{e,t}$ を引くことで求めている。

$$Y_{d,t} = Y_t - X_{e,t} \quad (3.7)$$

カルマンフィルタを用いて、式(3.7)により求めた太陽直射光成分の観測値 $Y_{d,t}$ とその前時刻の状態 $X_{d,t-1}$ から、現時刻の太陽直射光成分の状態 $X_{d,t}$ を推定し更新する。利用するカルマンフィルタの状態方程式を式(3.8)に、観測方程式を式(3.9)に示す。

$$X_{d,t} = X_{d,t-1} + \varepsilon_{Sd} \quad \varepsilon_{Sd} \sim N(0, \sigma_{Sd}^2) \quad (3.8)$$

$$Y_{d,t} = X_{d,t} + \varepsilon_{Od} \quad \varepsilon_{Od} \sim N(0, \sigma_{Od}^2) \quad (3.9)$$

また、背景推定の初期フレームでは太陽直射成分の状態 $X_{d,t-1}$ が求まっていないため、式(3.10)によりこれを求め初期値 $X_{d,0}$ とする。

$$X_{d,0} = \frac{T_{max}}{T_{min}} \cdot (X_{med} - X_{e,0}) \quad (3.10)$$

4. 屋外環境における背景成分逐次推定実験

本手法により移動物体の検出を行うとともに、背景成分の推定値が発散しないかを確認するため、実際に屋外環境において撮影した動画像を用いて実験を行った。

4.1 実験条件

実験にはサイズ 720×486 画素、8bit カラー、秒間 30 フレームで撮影した動画像を用いた。そのうち約 11 分間に相当する 20000 フレームについて 2 フレーム毎にオフラインで背景推定を行った。この日の天候は晴れのち曇りでシーンの明るさが大きく変動した。

実験を行うに当たって 3.2 で背景と非背景の判定の際に用いる閾値 D_{th} の値を 12 に、3.4 で太陽直射光成分の更新条件としての閾値 k_{th} の値を 0.5 と設定した。また RGB 間の各要素は独立と仮定して、システムノイズの分散 σ_{Se}^2 と σ_{Sd}^2 の値はそれぞれ 1^2 に、観測ノイズの分散 σ_{Oe}^2 と σ_{Od}^2 の値はそれぞれ 10^2 に設定した。これらの値は経験的に求めた。また、天空光成分と太陽直射光成分の状態の初期値 $X_{e,0}$, $X_{d,0}$ は、処理開始直前の 45 フレーム分から求めた。

4.2 実験結果

4.1の実験条件下で取得した動画像の処理結果を図4.1から図4.4に示す。処理結果の画像において、白色の領域は背景と判定された部分、灰色の領域は鏡面反射を起こしている部分を表す。図4.1から図4.3は実際に処理を行った1901フレーム目、4770フレーム目、9940フレーム目のそれぞれの入力画像とその処理結果である。また、そのときのそれぞれの処理結果の精度評価を表4.1に示す。

4.3 考察

図4.1, 図4.2, 図4.3からは移動物体が検出できていることが確認できる。約10分間の動画像を通じて、推定値が発散することなく逐次的に背景成分の推定を行うことができた。図4.3は図4.1から約10分が経過した画像であるが、移動物体の検出ができており、提案手法が有効に働いていることがわかる。今後は更に長時間の処理にも対応できるか検討していく必要がある。

しかし、背景成分の色と移動物体の色が非常に似通っている場合は、誤検出を起こしてしまう。例えば背景成分が黒色の場合、図4.4からもわかるように、髪の毛や、黒いコートや服を背景成分として認識してしまう。本手法では背景と非背景の判定に用いた条件は色情報のみである。従って背景の色と移動物体の色が非常に似ている場合には、この問題に対応することはできない。実際に表4.1からも確認できるように、移動物体領域に背景成分と似通った色があると、正答率が急激に落ちてしまうことがわかる。この解決策として、テンプレートや前時刻までの動きベクトルなどを用いることで、背景と非背景の判定基準に色情報だけでなく形や動き情報を追加する。この操作により、背景色と移動物体の色が非常に似ている場合においても検出が可能になると考えられる。

5. おわりに

本論文では、明るさ可変背景モデルを用いた動画像からの背景成分の逐次推定手法を提案した。本手法は1つの観測値を前時刻の背景成分の状態から2つに分割することで、天空光成分と太陽直射光成分を逐次的に推定を行うことでシステムの安定化をはかった。そして提案手法を用いて実際に屋外環境を撮影した動画像を用いて実験を行い、10分以上の連続処理においても背景成分を安定に推定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、さらに長時間の処理についての検証や、背景色と移動物体の色が似ている場合に起こる誤検出への対応といったものが挙げられ、さらに様々な状況に対応できる手法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, 信学春期全大, 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強な物体検出法, 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

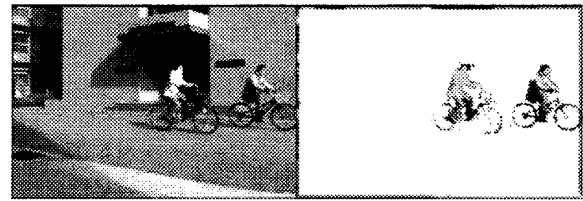


図4.1 1901フレーム目の入力画像と処理結果

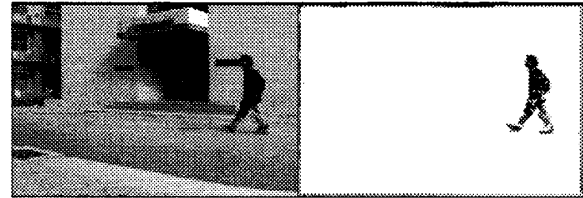


図4.2 4770フレーム目の入力画像と処理結果



図4.3 9940フレーム目の入力画像と処理結果

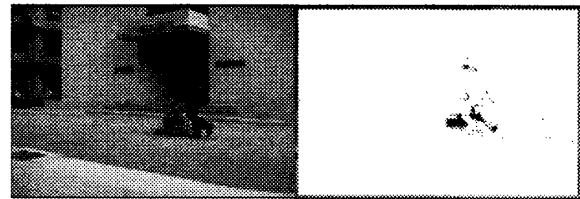


図4.4 入力画像と移動物体検出失敗例

表4.1 処理結果の精度

フレーム番号	移動物体領域 画素数	移動物体領域 検出画素数	正答率	影領域画素数	影領域 検出画素数	影除去率
1901	22041	15249	69.18	1820	31	98.30
4770	8738	7096	81.09	647	23	96.45
9940	6040	3623	59.96	532	0	100.00

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] 伊藤竜之介, 岩井儀雄, 谷内田正彦: 照明変動と影の影響を抑えた移動物体の検出, 情処研報, CVIM, No.127-17, pp.119-126 (2001)
 [7] 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, Vol. II, pp.307-312 (2000)
 [8] 谷内田正彦: ロボットビジョン, 昭光堂 (1990)
 [9] 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)
 [10] 片山徹: 新版応用カルマンフィルタ, 朝倉書店 (2000)