

# 動画像における移動物体抽出のための相関分析による影領域判定手法とその評価に関する研究

## Study on Shadow Detection using Correlation Analysis for Moving Object Extraction and its evaluation

○非 上端 純平 (東大) 非 森下 壮一郎 (東大)  
正 浅間 一 (東大)

Junpei KAMIBATA, The Univ. of Tokyo, kamibata@race.u-tokyo.ac.jp  
Soichiro MORISHITA, The Univ. of Tokyo  
Hajime ASAMA, The Univ. of Tokyo

Commonly moving objects in the footage are generally detected with computing the difference between the background image and input images. However, it has the problem that the shadow of moving objects are also considered as moving objects. This paper proposes a shadow detection method using correlation analysis of the area regarded as a moving object and its evaluation using trajectories of moving objects.

**Key Words:** Computer vision, Moving object Extraction, Shadow detection

### 1 序論

固定カメラによる動画像の認識技術は監視カメラなどのインフラ整備が進むにつれ今後ますます重要になっている。

移動物体認識に一般に用いられている手法として、背景差分による移動物体検出が挙げられる。これは事前に用意した背景画像と入力画像との差分を取ることで簡単に移動物体を抽出するものである。背景差分法による移動物体の一例を Fig.1 に示す。左側が入力画像、中央が背景画像、右側が差分画像である。移動物体として人物が抽出されているのがわかる。

しかし、この手法には照明により生じる影を移動物体として誤認識してしまうという問題があり、影領域の判別及び削除が必要となる。

影領域判定のための従来手法として、3次元空間情報を用いた手法が挙げられる [1][2][3]。影は物体が光源からの直射光を部分的もしくは完全に遮ったときに出現するという特徴を利用したものである。しかし、単一カメラからの動画像など3次元空間情報が得られない場合には対応できない。

3次元空間情報が得られない場合、カラー画像を用いた手法が多く提案されている。Cucchiaraらはカラー画像をHSV色空間で表現することによる手法を提案した [4]。影領域は、色相と彩度は背景領域とほぼ同じであるが明度は低いという特徴を有することから判定を行っている。しかし、彩度が低いときにノイズが色相に与える影響が極めて大きいので、影領域の彩度によっては対応できない。また、カラー画像を用いる手法は一般に計算コストがかかる。

これを解決する手法として、彩度に関係もなく計算コストも少ないグレースケール画像を用いた手法が提案されている。

Julioらは局所領域ごとの相関値を利用した手法を提案している [5]。局所領域ごとの相関値を見ることで影領域を含まない移動物体を抽出することができる。

しかし、局所領域内に影領域と背景領域が混在している場合、例えば影領域の境界部分では誤判定が生じてしまう。また、判定したい画素一つ一つについてその周りの局所領域の相関値を計算する必要があるため計算コストが高くなりがちである。

本稿では相関値を用いながらも境界部分の誤判定がなく計算コストも小さい影領域の判定手法を提案する。さらに提案手法を実画像に適用してその有効性を検証する。そして、それにより得られる人物の移動軌跡を用いた評価指標を用いて本手法の有用性を

確認する。



Fig. 1 Left:Input image, Center:Background image, Right: Moving object

### 2 影領域判定アルゴリズム

#### 2.1 影領域の特徴

影領域の画素値は、対応する背景領域の画素値が一定の割合で小さくなったものである。つまり、影領域と対応する背景領域とは画素値の間に強い相関がある。一方、移動物体領域と背景領域とは一般に画素値の相関が弱い。従って、対応する領域の相関値を計算することで影領域を判定できると考えられる。

#### 2.2 提案手法

以上の問題を解決するために、本稿では相関分析による影領域判定手法を提案する。

前処理として、適応的背景推定法により逐次的に背景画像を推定し更新する [6]。推定された背景画像を用いた背景差分画像に膨張・収縮処理を施した後にラベリングを行う。ラベリングによって隣接画素にラベルが付加され、ラベルごとの処理が可能となる。そして、ラベルごとに相関値演算を施し、さらに領域の明暗と合わせて影領域を判定し、削除を行う。

ラベル  $i$  が付された領域の相関値  $r_i$  は、式 (1) と計算する。

$$r_i = \frac{\mathbf{x}(s_i) \cdot \hat{\mathbf{x}}(s_i)}{|\mathbf{x}(s_i)| |\hat{\mathbf{x}}(s_i)|} \quad (1)$$

ここに、 $s = \{1, \dots, n\}$  は全画素、 $s_i \in s$  はラベル  $i$  が付された画素、 $\mathbf{x}(s_i)$  は入力画像における領域  $s_i$  の画素値を列挙したベクトル、 $\hat{\mathbf{x}}(s_i)$  は背景画像における領域  $s_i$  の画素値を列挙したベクトルである。また、 $|\cdot|$  はノルムを表す。

さらに影領域は背景よりも暗いという条件のもとに、式 (1) により影と判定された領域が、背景よりも明るい場合は移動物体領域であると修正する。

### 3 準屋外環境における実証実験

#### 3.1 実験概要

提案手法の有効性を検証するために東京大学柏キャンパス柏図書館の一階入口上部にカメラを設置して得られた映像を用いた実験を行った。柏図書館入口付近は周囲がガラス張りであるため、日照条件に影響を受けやすい準屋外環境と考えることができ、本手法の有効性の検証に適している。

2006年6月28日16:55から17:05までの動画像に、相関分析による影領域判定手法を適用した。用いた動画像は320×240画素の256階調のグレースケール画像である。動画像中を12人の人物が通過し、それぞれに影が出現する。

#### 3.2 実験結果・考察

はじめに従来手法による移動物体抽出の結果をFig.2に示す。左側が入力画像であり、右上に影が現れているのが確認できる。右側は相関値が0.995より低い画素を移動物体と判断して白色で表した画像である。影の境界部分の相関値が低くなっているために移動物体として誤判定されているのが確認できる。

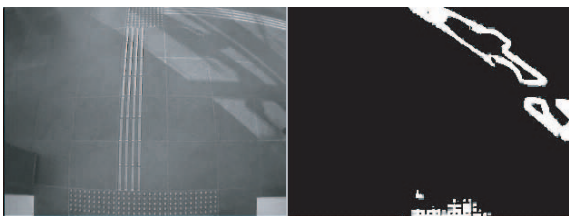


Fig. 2 Left: Input image, Right: Correlation value image

次に提案手法による影の判定結果をFig.3に示す。左側が入力画像、右側が提案手法により影判定を行った結果である。相関値の閾値は0.995とし、移動物体と認識された領域のうち影と見なされた領域を灰色で、それ以外の領域を白色で示した。Fig.3はFig.2の画像と同フレームの画像に対する処理結果である。相関値画像による結果で誤判定された領域が正しく影と判別されている。これはラベルごとに相関値演算をすることで境界部分において相関値が低くなる問題を避けることができたからであると考えられる。

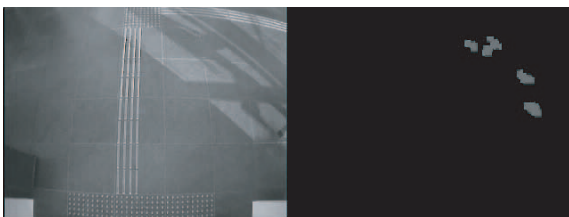


Fig. 3 Left: Input image, Right: after Shadow detection

次に12人全員の結果について示す。判別率は式(2)のように計算し、94%の高い判別率を得た。

$$\text{判別率} = \frac{\text{影が正しく判定できているフレーム数}}{\text{移動物体が抽出された全フレーム数}} \quad (2)$$

しかし、本手法もすべての場合が適切に影領域を削除できるわけではない。動画像中に移動人物が出現する全553フレーム中、33フレームに誤判定が生じた。誤判定の原因を3つに分類し、あるフレームが誤判定された原因がどれに当たるのかその内訳をTable1に示した。3つの原因は以下のものである。

- 原因1 同一ラベル内における影と移動物体の混在
- 原因2 人物領域の相関値が高く且つ背景領域よりも暗い
- 原因3 背景差分法における背景更新の失敗

Table 1 Result of Shadow detection

出現 フレーム数	誤判定 フレーム数	判別率(%)	原因 1	原因 2	原因 3
553	33	94.0	9	19	5

以上の原因それぞれについて詳しく述べる。

Fig.4に原因1によって誤判定された例を示す。実際には影である部分が移動物体として判定されている。本手法はラベルごとに相関値演算を行っているために、一つのラベル中に影と人物が両方含まれてしまうと適切な相関値を計算できない。例示した領域はその大半が影領域であるにも関わらず移動物体領域が含まれてしまったために相関値が低くなってしまい誤認識されてしまったのであると考えられる。

これに対しては、ラベリングをする際に何らかの新たな指標を用いて影と移動物体が同じラベルにならないようにする工夫が必要である。具体的には、エッジの情報を用いること、何段階かに分けてラベリングを行うことが考えられる。



Fig. 4 Left: Input image, Right: after Shadow detection

次にFig.5に原因2によって誤判定された例を示す。実際には移動物体である部分が影として判定されている。本手法では影の判定に相関値と実際の明暗を用いているが、相関値が高く且つ背景領域よりも暗い移動物体に関しては正しく判定ができない。例示した領域は対象人物の履いている黒いズボンが対応する背景領域と似ていて、さらに暗いために誤判定されてしまっている。同様の誤判定は人物の頭部領域にも発生しやすい。

これに対しては、解像度の高いカメラを用いることが挙げられる。背景領域のテクスチャを高解像度で認識することによって、相関値をより厳密に算出することができると考えられる。しかし、高解像度の動画像を用いると計算コストが上昇してしまうのでその点を考慮する必要がある。

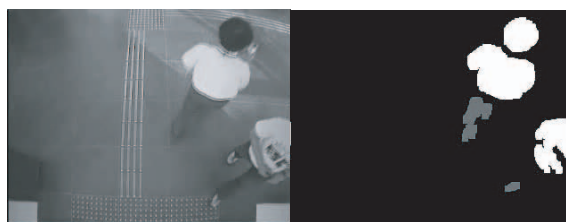


Fig. 5 Left: Input image, Right: after Shadow detection

最後にFig.6に原因3によって誤判定された例を示す。実際には影領域である部分が移動物体として判定されている。これは、背景差分を行うために必要な背景画像が適切なものでなかったことが原因として考えられる。Fig.6の中央の背景画像の右上に人物の影がぼんやりと出現している。これは、例示したフレームの70~80フレーム前から階段上で立ち話をしている人物の影が位置を変えずに画像内に映りこむことで、その人物の影が背景として更新されてしまったためである。例示領域は、実際のものとは違う背景と相関値を計算したために相関値が低くなり移動物体として誤認識されている。

これに対しては、背景更新のスピードを自動的に調整することが考えられる。移動物体が画面中で留まったときにその領域の背

景更新を遅くする又は停止することで解決できると思われる。



Fig. 6 Left: Input image, Center: Background image, Right: after Shadow detection

以上、誤判定の原因を3つに分類しそれぞれに対する解決案を考案した。これらを実装し影判定の精度を高めることが今後の課題となる。

### 3.3 人の移動軌跡を用いた提案手法の評価

本稿では人の移動軌跡を用いて提案手法の評価を行う。本研究の次の段階として、人の移動軌跡を獲得することで人の意図推定を行い、その意図に応じて犯罪防止やサービス提供につなげる研究がなされている [7][8]。従って、本研究の一つの評価方法として移動軌跡が適切に獲得できることが挙げられる。

Fig.7 が実際に移動物体領域の重心を計算して得られた移動軌跡である。左側が影処理を行わない場合、右側が影処理を行った場合である。実際にこの人物は画面中央下から画面右中央に移動したのであるが、影領域判別をしない場合、影により重心が大きく引っ張られて移動軌跡が異なるものとなっている。それに対し、本手法を用いて影領域を削除することで移動軌跡として妥当なものが得られていることが確認できる。

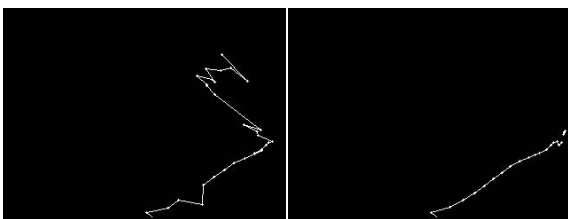


Fig. 7 Trajectory image(Left: Before Shadow detection, Right: After Shadow detection)

影処理後の方が人物の移動軌跡としてより自然であるのは明らかではあるが、本稿では、 $v \cos \theta$  の分散を用いて移動軌跡のなめらかさの定量的評価を行う。

移動軌跡を評価する指標として以下のように速度  $v_i$  と方向の変化量  $\theta$  を計算する。

$$v_i = (x_{i+1}, y_{i+1})^T - (x_i, y_i)^T \quad (3)$$

$$\theta_i = \cos^{-1} ((v_i \cdot v_{i+1}) / (|v_i| |v_{i+1}|)) \quad (4)$$

影領域が適切に削除がされていれば、移動軌跡は滑らかになると考えられる。なぜならば、動画像中の人物はほぼ一定の速度で同一方向に歩行しているので、 $v \cos \theta$  の値は大きく変動することは少ないからである。一方、影領域が削除がされていない場合、影が現れるときや影が消えるときに、重心が人物の進行方向とは無関係な方向へ大きく偏るので、 $v$  の値、 $\cos \theta$  の値は変動しやすい。したがって、 $v \cos \theta$  の値も変動しやすいと考えられる。このことから、 $v \cos \theta$  の分散が小さくなるのが定量的に示されれば、影領域の判定及び削除が有効であることが確認できる。

具体的に、Fig.7 に示した移動軌跡が得られた動画像について考察する。動画像中の移動物体と影の移り変わりを Table.2 に示した。

初めのうちは移動物体のみで影が存在しないが、途中のフレームから影が現れ、最後には影のみが残るというものである。この動画像について  $v \cos \theta$  を計算したものを Fig.8 に示す。

Table 2 Appearance of a video sequence

Frame number	Appearance
850 ~ 866	only moving objects
867 ~ 874	moving objects , cast-shadows
875 ~ 882	only cast-shadows

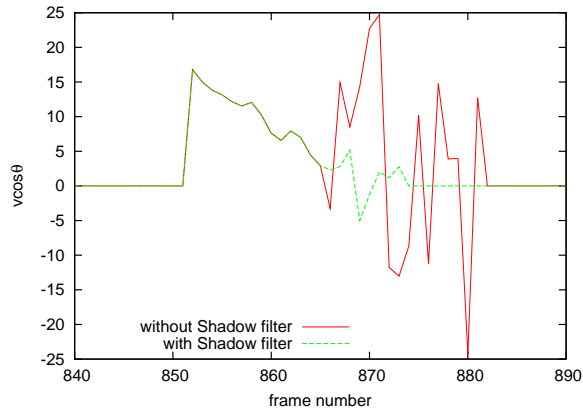


Fig. 8  $v \cos \theta$

実線が影処理前の値で、点線が影処理後の値である。影が現れると、影処理前の  $v \cos \theta$  の値が大きく変動することがわかる。このとき、影処理前と影処理後の値の分散に有意な差があるのかを確認するために  $F$  検定を行った。

Table.3 に  $F$  検定の結果を示す。5% の有意水準で片側検定を行ったところ帰無仮説が棄却され、分散に有意な差があるという結果が得られた。すなわち、影処理前と比較して影処理後の分散の方が小さく、影処理することによって軌跡がより滑らかになることが定量的に示された。

次に Fig.7 に示したシーケンスを含む 2006 年 6 月 28 日 16:55 から 17:05 までの動画像に対しても同様に評価を行った。まず Fig.9 に  $v \cos \theta$  の推移を示した。さらに、 $F$  検定を行った結果を Table.4 に示した。

5% の有意水準で片側検定を行ったところ帰無仮説が棄却され、分散に有意な差があるという結果が出た。影領域の判定及び削除の有用性が、一人の人物だけでなくより広い範囲で定量的に示された。

## 4 結論

背景差分法による移動物体抽出において、影領域を移動物体として誤認識されてしまう問題を解決するために、移動物体と見なされた領域のうち同一ラベル領域においてのみ相関値を計算することで影領域を判別する手法を提案した。さらに提案手法を実画像に適用する実験を行い、94% の判別率で影領域を適切に削除できることを確認した。誤判定に関しては、原因を3つに分類しそれぞれに対する解決策を考案した。それらの解決策を実装し影判定の精度を高めていくことが今後の課題となる。そして本稿で

Table 3 Result of  $F$  test

	影処理前軌跡	影処理後軌跡
平均	6.654	6.875
分散	123.08	32.544
観測数	30	22
自由度	29	21
観測された分散比	3.782	
$P(F \leq f)$ 片側	0.00125	
$F$ 境界値片側	2.016	

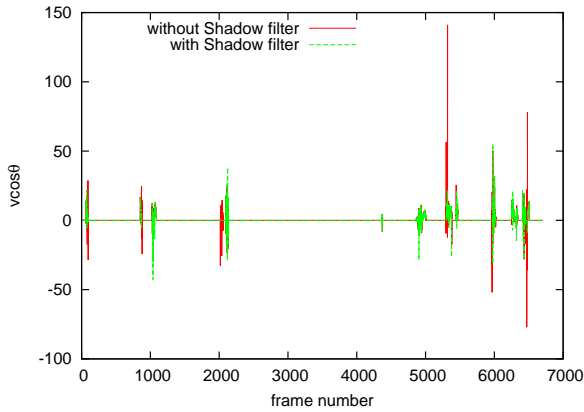


Fig. 9  $v \cos \theta$

Table 4 Result of  $F$  test

	影処理前軌跡	影処理後軌跡
平均	3.620	3.682
分散	113.04	59.29
観測数	733	618
自由度	732	617
観測された分散比	1.907	
$P(F \leq f)$ 片側	$1.16 \times 10^{-16}$	
F 境界値片側	1.136	

は人の移動軌跡が適切に獲得できることを提案手法の一つの評価方法と考え、影処理を行うことで移動軌跡がより妥当なものになることを定量的に示した。

#### 参考文献

- [1] M. Bejanin, A. Huertas, G. Mediani, and R. Nevatia. Model validation for change detection. In *Proc. 2nd Int. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 160–167, 1994.
- [2] D. Koller, K. Danilidis, and H.-H. Nagel. Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes. In *Int. J. Comput. Vis.*, Vol. 10, pp. 257–281, 1993.
- [3] R. Irvin and D. McKeown. Methods for exploiting the relationship between building and their shadows in aerial imagery. In *IEEE Trans. Sys.*, pp. 55–64, 1989.
- [4] Rita Cucchiara, Costantino Grana, Massimo Piccardi, Andrea Prati, and Stefano Sirotti. Improving shadow suppression in moving objects detection with hsv color information. In *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, pp. 334–339. IEEE, 2001.
- [5] Julio Cezar Silveira Jacques Jr, Claudio Rosito Jung, and So-raia Raupp Musse. Background subtraction and shadow detection in grayscale video sequences. In *Proceedings of the XVIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pp. 1530–1834. IEEE, 2005.
- [6] Hiroyuki Shimai, Taketoshi Mishima, Takio Kurita, and Shinji Umeyama. Adaptive background estimation from image sequence by on-line m-estimation and its application to detection of moving objects. In *Proceedings of Infotech Oulu Workshop on Real-Time Image Sequence Analysis*, 2000.
- [7] 森下壮一郎, 浅間一. 固定カメラ画像における人物領域の重心からの足元位置同定に関する研究. In *7th SICE System Integration Division Annual Conference*, pp. 1380–1381, 2006.
- [8] 西村彬宏, 森下壮一郎, 浅間一. 隠れマルコフモデルによる歩行パターンからの目的地推定. In *7th SICE System Integration Division Annual Conference*, pp. 772–773, 2006.