

カメラの方向変化を利用した 動的シーンからの視野妨害ノイズ除去

原田 知明 山下 淳 金子 透

静岡大学工学部機械工学科

〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

あらまし 屋外に監視カメラを設置する時、カメラの保護ガラスに水滴や泥等が付着し視野を妨害することが問題となる場合がある。そこで本研究では監視カメラに首振りカメラがよく用いられることに着目し、保護ガラスと一体となった 1 台のカメラの方向を変化させて付着物により妨害されたシーン部分を出現させ、付着物部分を出現したシーンに置換することにより画像中から付着物を除去する手法を提案する。このとき、監視カメラの用途は主に自動車や人物などの動物体の撮影であるため、動物体を含むシーンで付着物のみを除去可能な手法を構築する。

具体的には、カメラの方向の異なる 2 画像を取得し、投影変換により 2 画像のシーンを一致させて差分画像を作成する。そして画像間の差が大きいものを付着物の候補領域として抽出する。ただしこの候補領域には、監視カメラで捉えたシーン中を移動した物体も含まれる。そこで同一付着物が差分画像中で既知な移動量の異なる位置に付着していることを用いて候補領域を付着物と動物体に分離し、さらに付着物の領域においてどちらの画像に付着しているか判別する。そして画像中の付着物部分に他の画像を用いることで付着物を除去する。

Removal of Adherent Noises in Images Containing Moving Objects by Changing the Camera Direction

Tomoaki HARADA, Atsushi YAMASHITA, and Toru KANEKO

Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

3-5-1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka 432-8561, Japan

Abstract This paper describes a method for removing adherent noises from images of dynamic scenes that contain moving objects. The method employs a camera motion to obtain a reference image of a distant view and a second image taken by a different angle. The latter image is transformed by a projective transformation and subtracted from the reference image to extract the regions of adherent noises and moving objects. In the next step, the regions of adherent noises in the reference image are identified by examining the shapes and distances of regions existing in the subtracted image. Finally, regions of adherent noises can be eliminated by merging two images. Experimental results showed the effectiveness of the proposed method.

1. 序論

監視カメラは交通状況の確認や犯罪防止などの用途に広く用いられている。このとき人間が監視カメラでの撮影状況を常時確認するのは非常に困難であるため、移動物体の検出⁽¹⁾⁽²⁾などの自動監視システムが期待されている。しかし監視カメラの映像は、雨や雪、泥等のノイズにより視野が妨害されることがあり、自動認識に問題が生じる。特に監視カメラを屋外に設置するとき、カメラの保護ガラスにノイズが付着することが少なくないため、視野妨害となる付着物を除去する必要がある (Fig.1)。



Fig.1. 付着物による視野妨害

降雪ノイズの除去法としては時間メディアンフィルタを用いる方法⁽³⁾がある。これは、ある画素において降雪が写る時間より背景が写る時間のほうが多いため、ある時間幅において画素値の大きさ順に並べた中間値を用いて降雪を除去するものである。しかし、雪がカメラの保護ガラスに付着した場合、雪が長時間にわたり同一画素に存在するため中間値が雪の画素値となり除去できない。同様に水滴等の他の付着物でも除去できない。

物理的に保護ガラス上の付着物を除去する一般的な方法としてワイパーが用いられるが、ワイパーの通った後に筋が残るなど除去が不完全な場合があり、ワイパー自体が画像に写り込む問題もある。また、雨よけのひさしを用いて付着物を防止する方法もあるが、風が強い場合などは防止しきれない。

一方、コンピュータグラフィックスの手法を用いて付着物が写りこんだ画像から付着物を除去し、画像の鮮明化を行う方法も提案されている。1枚の画像から付着物を除去する方法としてブ

ロの絵画修復師の技術を再現した画像修復法⁽⁴⁾が提案されているが、修復箇所を手動で指定する必要があるため、無人監視カメラによる自動処理には不適當である。

上記問題点を解決する方法として、複数台のカメラで同一シーンを撮影した画像を用いて画像中の付着物を自動的に除去する方法⁽⁵⁾が提案されている。これは付着物の写り込んだ複数枚の画像を用い、付着物でない部分の画像を張り合わせることによって鮮明な1枚の画像を作成するものである。しかし、カメラ間の特性の違いを補正する必要がある。またカメラを複数台用意できる状況は限られる。

そこで本研究では、監視カメラに首振りカメラがよく用いられることに着目し、1台のカメラを方向変化させることにより画像中の付着物を除去し、画像の明瞭化を行う手法を採用する。具体的には、付着物がカメラの保護ガラスに静止して付着している状態でカメラを方向変化させる。これにより付着物に隠れたテクスチャーが出現することを利用して付着物を除去する。この手法は1台のみのカメラで行うため、複数台のカメラを用いる手法と比べ低コストであり、またカメラ間の補正を必要としない。この手法の例としては既に、静止したシーンを対象とした方法⁽⁶⁾が提案されているが、監視カメラは自動車や人物など主に動物体の存在を確認するために用いられるのでこの方法は監視カメラとしての実用性に乏しい。またこの研究例ではカメラの回転角が正確に分かっていることが前提である。

そこで本研究ではこの手法を改良し、動物体を含むシーンにおいて画像に写り込んだ付着物の除去を行う手法を提案する。またカメラの回転角が正確に分かっていない場合でも処理できるように2枚の取得画像の関係から自動的に回転角を推定する。なおカメラの回転により遠い被写体と近い被写体の位置関係が変化する問題を回避するため、撮影シーンは遠景を対象とすることとする。

2. 付着物影像除去の原理

カメラの方向を変化させると、レンズ前方に設置された保護ガラスへの付着物は画像中の同じ位置に撮影されるため、もとのカメラ方向で付着物に隠れていた被写体部分が出現する。そこでこの付着物部分の画素値を新たに出現した被写体の画素値に置換することで付着物の除去を行い、画像の鮮明化を行う。Fig.2に処理手順を示し、以下、各項目について述べる。

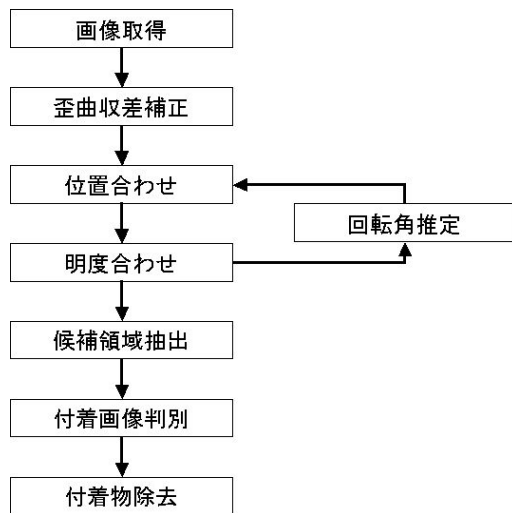


Fig.2. 処理手順

2.1 画像取得

付着物が付着したカメラを水平方向に回転させ2枚の画像を取得する (Fig.3) . 以下, 付着物の除去を行う画像を基準画像 (Fig.3(a)) , 他方を回転画像 (Fig.3(b)) と呼ぶこととする.

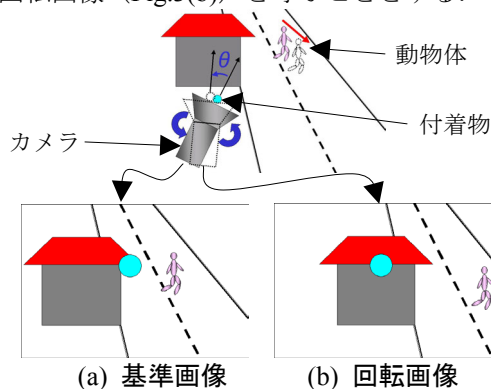


Fig.3. 画像取得

2.2 歪曲収差補正

レンズへの入射角が大きくなると結像条件が変化することにより画像上での結像位置にずれが生じる. これを歪曲収差と呼ぶ. 画像中心を(0, 0)とした時, (u, v) を補正後の座標, (u', v') を観測される座標とすると, 歪曲収差は(1),(2)式で表される⁽⁷⁾. ただし, κ は歪曲収差補正のための係数である.

$$u' = u + \kappa u(u^2 + v^2) \quad (1)$$

$$v' = v + \kappa v(u^2 + v^2) \quad (2)$$

2.3 位置合わせ

回転画像を基準画像と同じシーンの画像にするため投影変換を用いて位置合わせを行う.

カメラの回転による投影面の関係を Fig.4 に示

す. また Fig.4 を上から見た図を Fig.5 に示す. 画像中心を(0,0)として, 被写体のある点を基準画像に投影した座標を (u_1, v_1) , 回転画像に投影した座標を (u_2, v_2) とすると, (u_1, v_1) と (u_2, v_2) の関係は(3),(4)式のように表すことができる.

$$u_2 = f \frac{f \tan \theta + u_1}{f - u_1 \tan \theta} \quad (3)$$

$$v_2 = f \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}}{f - u_1 \tan \theta} v_1 \quad (4)$$

ここで, f は像距離 (レンズから結像面までの距離) である. また θ は回転画像の基準画像からのカメラ回転角であり, カメラを上方から見たときの反時計回りを正としている.

これにより回転画像を基準画像のシーンと一致させ, 作成した画像を投影変換画像と呼ぶことにする.

Fig.3(b)の位置合わせを行った画像を Fig.6 に示す.

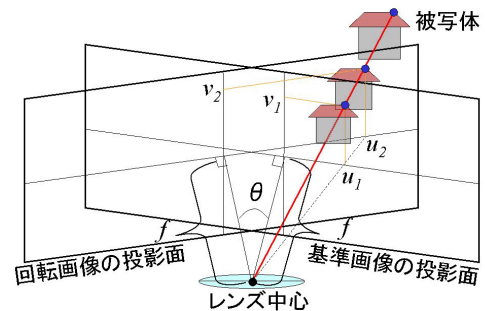


Fig.4. 投影面の関係

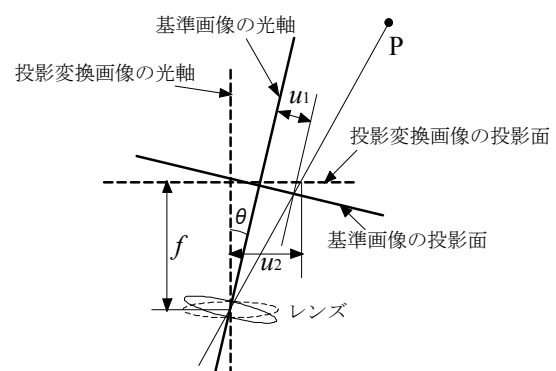


Fig.5. 投影面の関係 (上から見た図)

2.4 明度合わせ

2枚の画像間で照明条件の変化等により画像全体の明度が異なることがある. 共通視野部における, 基準画像の明度の平均値を A_1 , 投影変換画像の明度の平均値を A_2 , 投影変換画像の処理前の画素値を (R, G, B) , 処理後の画素値を (R', G', B') とすると, (5)式により画像の明度を合わせる.

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \frac{A_1}{A_2} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (5)$$

2.5 回転角推定

画像取得の際、外部から設定したカメラ回転角 θ と実際にカメラが回転した角度に誤差が生じることがある。このため、位置合わせが不完全となりシーンの不一致によるノイズが発生することが問題となる。

一方シーンが正確に一致する場合には、共通視野部における画素値の差の平均値が最小であると考えられる。画素値の差を RGB 空間の距離 $D(u,v)$ とすると、基準画像の画素値を (R_1, G_1, B_1) 、投影変換画像の画素値を (R_2, G_2, B_2) として(6)式により求められる。この $D(u,v)$ の共通視野部（面積は M 画素とする）における平均値 S ((7)式) が最小となる時、シーンが一致していると考えられる。そこで $D(u,v)$ の平均値 S を求める処理を θ を初期値の周りに変化させて繰り返し行い、 S が最小となる角度を探索的に求め、これを推定されたカメラ回転角 θ_{opt} とする ((8)式)。

$$D^2(u,v) = (R_1(u,v) - R_2(u,v))^2 + (G_1(u,v) - G_2(u,v))^2 + (B_1(u,v) - B_2(u,v))^2 \quad (6)$$

$$S = \frac{1}{M} \sum_u \sum_v D(u,v) \quad (7)$$

$$\theta_{opt} = \arg \min_{\theta} S \quad (8)$$

2.6 候補領域抽出

基準画像と投影変換画像では水滴、泥等の付着物と動物体のみ位置が異なる。このため、いずれかの画像で付着物や動物体が存在する位置で画像間の画素値の差が大きい。画素値の差は 2.5 で求めた RGB 空間の距離 $D(u,v)$ を用い、 $D(u,v)$ の大きい場所を付着物である可能性のある領域（候補領域）として抽出する。

$D(u,v)$ が閾値 T より大きい画素を $H(u,v)=1$ とし ((9)式)，これを候補領域として抽出する。Fig.3(a) と Fig.6 により抽出される候補領域を Fig.7 に示す。抽出される領域は基準画像投影変換画像それぞれの付着物、動物体、シーン間の微小な画素値の不一致によるノイズである。

$$H(u,v) = \begin{cases} 0, & D(u,v) < T \\ 1, & D(u,v) \geq T \end{cases} \quad (9)$$

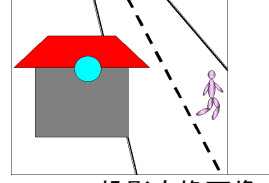


Fig.6. 投影変換画像

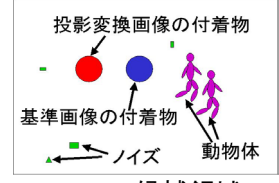


Fig.7. 候補領域

2.7 付着画像判別

付着物は基準画像と投影変換画像で付着位置が異なるため、同一付着物による候補領域は類似形状で 2 つ存在する。またその位置関係は投影変換 ((3),(4)式) に依存し既知である。すなわち判別したい候補領域（着目候補領域）が付着物によるものであるならば、着目候補領域からこの位置関係にある左右の位置のどちらか一方に類似形状の候補領域が存在する。そしてどちらに存在するかにより、基準画像と投影変換画像のいずれに付着しているかが判別できる。以後、着目候補領域に対するこのときの左、右の位置をそれぞれ左の対応位置、右の対応位置と呼ぶ。

動物体による候補領域も類似形状で 2 つ存在するが、位置関係は一般に付着物の場合と異なり、着目候補領域が動物体の領域である場合は左右の対応位置でどちらにも類似形状の候補領域は存在しない。また、シーン間の微小な画素値の不一致によるノイズに対しても同様に存在しない。

これらを用い、候補領域を基準画像の付着物、投影変換画像の付着物、動物体の 3 種類に判別する。

以後、左右の対応位置における候補領域の類似形状の度合いを数値で表し、上記の 3 種類に判別する手法を示す。ここでは着目候補領域の 1 画素ごとに投影変換により既知な左右の位置を調べる (Fig.8)。

着目候補領域が基準画像の付着物である場合、着目候補領域の画素の座標を (u_2, v_2) とした時(3), (4)式の関係にある (u_1, v_1) の画素に候補領域が存在するはずである。この位置に候補領域が有る度合いを数値化するため、 (u_1, v_1) の最も近い整数値の座標の画素を対応画素とし、対応画素の状況により Table 1 に示す得点を加える。このとき対応画素が共通視野内である場合はその画素での候補領域の有無が確認できるため 1 点又は 0 点を与えるが、共通視野外である場合は候補領域の有無が不明なため 0.5 点を与える。そして着目候補領域の全画素における得点合計を n_R とする。

また着目候補領域が投影変換画像の付着物で

ある場合、着目候補領域の画素の座標を (u_1, v_1) とした時(3), (4)式の関係にある (u_2, v_2) の画素に候補領域が存在するはずである。同様に (u_2, v_2) の最も近い整数値の座標の画素を対応画素とし、状況により Table 1 に示す得点を加え、着目候補領域の全画素における得点の合計を n_T とする。着目候補領域の画素数を N とすると、対応画素が候補領域である確率を(10)式により存在率 E_R , E_T として定義する。

$$E_T = \frac{n_R}{N}, \quad E_R = \frac{n_T}{N} \quad (10)$$

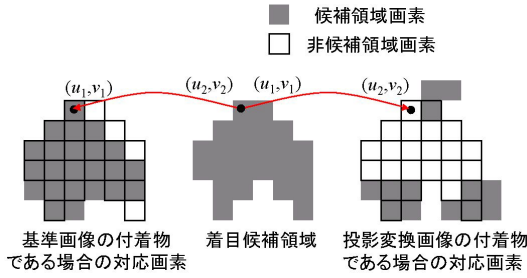


Fig.8. 対応画素

Table 1. 得点表

対応画素	得点
候補領域	1
非候補領域	0
共通視野外	0.5

存在率 E_R , E_T が共に設定した閾値 t に満たない場合はどちらの対応位置にも類似形状の候補領域が存在しないため、着目候補領域を動物体またはノイズと判別する。その他は付着物であるので、基準画像と投影変換画像のいずれが付着画像であるかの判別を行う。判別には存在率の大きいほうに類似形状の候補領域が存在すると思われることを用い、Table 2 に示す判別ルールにより付着画像を判別する。

Table 2. 判別ルール

条件	判別
$E_R < t$ かつ $E_T < t$	動物体
$E_R \geq t$ かつ $E_R > E_T$	基準画像の付着物
$E_T \geq t$ かつ $E_R \leq E_T$	投影変換画像の付着物

2.8 付着物除去

基準画像に 2.7 で基準画像の付着物と判別された候補領域の画素で投影変換画像の画素値を用いることにより、動物体をそのまま残し付着物だ

けを除去する。

3. 実験

保護ガラスに水滴が付着した場合と泥が付着した場合のそれぞれについて実験を行った。なお画像サイズは 640×480 画素である。

3.1 水滴の除去

保護ガラス面に水滴が付着した場合について、動物体を含むシーンにおいて撮影を行った。候補領域抽出時の閾値 T を 17、動物体判別時の閾値 t を 0.23 とした。

取得した基準画像及び回転画像に歪曲収差補正を施した画像を Fig.9 及び Fig.10 に示す。角度推定により $\theta_{opt} = 5.18^\circ$ と推定され、これを用いて、位置合わせ、明度合わせを行った。得られた投影変換画像を Fig.11 に示す。また候補領域として抽出された領域を黒色として Fig.12 に示す。候補領域から付着画像判別を行った結果、動物体と判別された領域を Fig.13、基準画像の付着物と判別された領域を Fig.14 に示す。基準画像の付着物と判別された領域で基準画像の画素を投影変換画像の画素に置換し、除去画像を作成した。除去結果を Fig.15 に示す。また、回転画像を基準画像とみなし、基準画像を回転画像とみなして同様な処理により除去画像を作成した結果を Fig.16 に示す。

除去結果から基準画像からも回転画像からも動物体を変化させることなく水滴のみを除去していることが分かる。なお Fig.12 で右上に大きな候補領域が抽出されたのは、明度が大きいものが明度合わせにより大きく修正され、画像間に差が生じたためであると考えられる。Fig.13 に示す動物体と判定された領域には付着物がほぼ含まれていないため、付着物と動物体を分離できたと考えられる。

3.2 泥の除去

泥が付着した場合について 3.1 と同様な処理により除去を行った。候補領域抽出時の閾値 T を 22、動物体判別時の閾値 t を 0.4 とした。

角度推定により $\theta_{opt} = 5.07^\circ$ と推定された。3.1 と同様に結果を Fig.17~Fig.24 に示す。

Fig.17, Fig.18 からの除去画像は Fig.23, Fig.24 である。これらを比較すると動物体を変化させることなく泥のみを除去していることが分かる。Fig.21 で動物体と判別された領域を示しているが、付着物による領域が入っていないため、付着物と動物体を分離できたと考えられる。



Fig.9. 基準画像



Fig.10. 回転画像



Fig.11. 投影変換画像

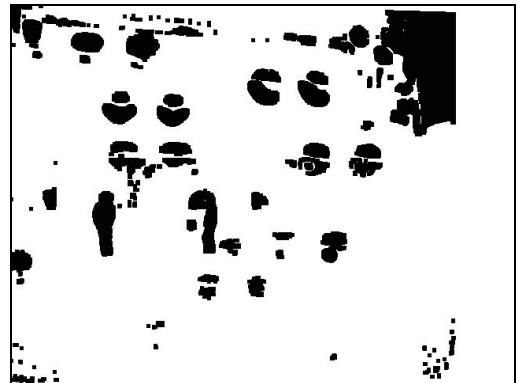


Fig.12. 候補領域

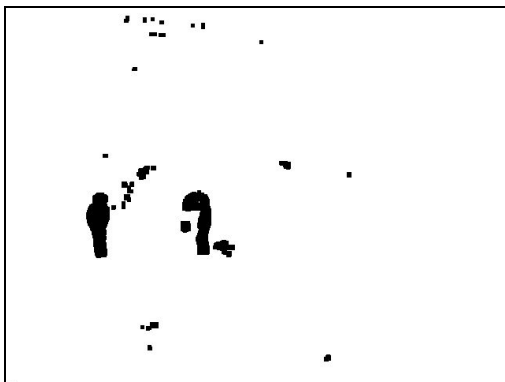


Fig.13. 動物体



Fig.14. 基準画像の付着物



Fig.15. Fig.9 からの
除去結果



Fig.16. Fig.10 からの
除去結果



Fig.17. 基準画像



Fig.18. 回転画像



Fig.19. 投影変換画像

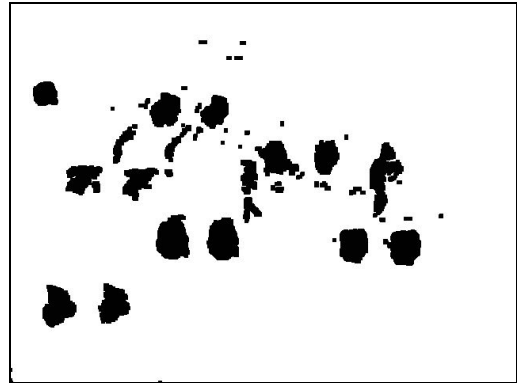


Fig.20. 候補領域

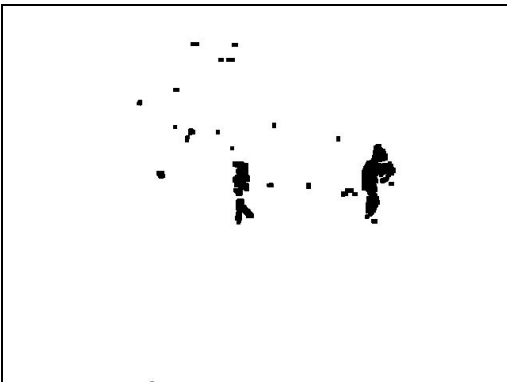


Fig.21. 動物体

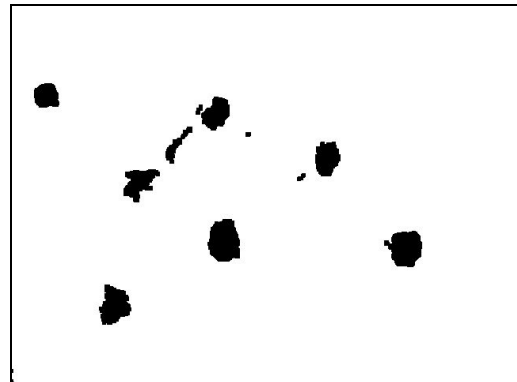


Fig.22. 基準画像の付着物



Fig.23. Fig.17 からの
除去結果



Fig.24. Fig.18 からの
除去結果

4. 結論

カメラの方向変化を用いたカメラの保護ガラスへの付着物による視野妨害の除去法について、動物体の存在下でも付着物のみを除去可能な手法を検討した。カメラの方向変化に伴う2つのシーンの差分処理による付着物部分の抽出に存在率を用いることで、除去精度を上げると同時に動物体と付着物の分離を行うことが可能となった。また、カメラの回転角を取得した2画像の関係から推定することで、画像取得時のカメラの回転角に誤差を含む場合でも正確な処理が可能となった。

今後の課題として、本手法では異なる判別を行うべき候補領域が接触している場合、双方を満足させる判別が出来ないため、抽出した候補領域が接触している場合において正確な判定を行う手法を確立することが挙げられる。また本研究ではカメラの回転を水平方向に限定していたが、鉛直方向を加えた2自由度回転へ対応させることが考えられる。さらに、2枚の画像で共に付着物によりシーンが出現せず除去が不可能な部分が生ずる可能性があるため、このような部分を3枚以上の画像を用いて除去する手法を検討する必要がある。また、本研究は自動監視システムへの応用を目的としているため、各閾値を自動で決定する手法を確立することが必要である。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト、及び日本学術振興会科学研究費若手研究(B)15700153の補助を受けた。

参考文献

- (1) 長屋 茂喜, 宮武 孝文, 藤田 武洋, 伊藤 渡, 上田 博唯: “時間相関型背景判定法による移動物体検出”, 電気情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J79-D-II, No.4, pp.568-576, 1996.
- (2) 長井 敦, 久野 義徳, 白井 良明: “複雑変動背景下における移動物体の検出”, 電気情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-II, No.5, pp.1086-1095, 1997.
- (3) 三宅 一永, 米田 政明, 長谷 博行, 酒井 充, 丸山 博: “時間メディアンフィルタによる降雪ノイズ除去”, 画像電子学会誌, Vol.30, No.3, pp.251-259, 2001.
- (4) Marcelo Bertalmio, Guillermo Sapiro, Vicent Caselles and Coloma Ballester: “Image Inpainting”, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH2000), pp.417-424, 2000.
- (5) Atsushi Yamashita, Masayuki Kuramoto, Toru Kaneko and Kenjiro T. Miura: “A Virtual Wiper -Restoration of Deteriorated Images by Using Multiple Cameras-”, Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3126-3131, 2003.
- (6) 山下 淳, 金子 透, 西村 正樹, 三浦 憲二郎: “カメラの方向変化を利用した悪天候時の視野明瞭化～首振りカメラを用いた画像中の視野妨害となる水滴の除去～”, 映像情報メディア学会誌, Vol.57, No.10, pp.1347-1353, 2003.
- (7) Juyang Weng, Paul Cohen and Marc Herniou: “Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.10, pp.965-980, 1992.