

平行ステレオ画像における防滴ガラス面上の水滴除去

田中 友[†] 山下 淳[†] 金子 透[†] 三浦 憲二郎[†]

[†] 静岡大学工学部 〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

E-mail: [†] f0330051@ipc.shizuoka.ac.jp

あらまし 本論文では、視差のある画像から視野妨害となる水滴を除去する方法を提案する。近年様々な場所で監視カメラシステムが利用されるようになった。水滴などのノイズがカメラの防滴ガラス面に付着する事により監視カメラの視野が妨害されると、監視対象が隠れてしまい監視カメラシステムの能力を生かせない。そこで本論文ではステレオ画像を用いて、水滴の陰に隠れた部分を補い合う事により水滴を除去し修正する方法を提案する。

キーワード ステレオ画像, ノイズ除去, テンプレートマッチング

Removal of Waterdrops on a Protection Glass Surface from Parallel Stereo Images

Yuu TANAKA[†] Atsushi YAMASHITA[†] Toru KANEKO[†] and Kenjiro T.Miura[†]

[†] Faculty of Engineering, Shizuoka University 3-5-1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8561 Japan

E-mail: [†] f0330051@ipc.shizuoka.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a method for removing waterdrops that adhere to a protection glass surface in front of stereo cameras and block a scene in the common view of a parallel stereo image pair. Our method consists of three steps shown below. First, the method detects positions of waterdrops in images by comparing disparities. Next, the method estimates disparities of image parts hidden by waterdrops based on the property that the disparities are similar with those around waterdrops in many cases. Finally, the method removes waterdrops from images by replacing with image parts which correspond to parts hidden by waterdrops. Experimented results have shown the validity of the proposed method.

Keyword Stereo images, Noise removal, Template matching

1. まえがき

近年のコンピュータおよび画像入力機器の性能の向上や低価格化による普及に伴い、屋内外環境下における監視カメラを用いた画像処理技術による自動的な侵入者や進入物体の検出を行うシステムの研究・開発が盛んに行われている。また、カメラを搭載した移動ロボットが視覚情報を用いて自己位置同定や目的地到達を行う研究もなされている。

しかし、野外環境でカメラから得られる情報を用いる場合には環境条件に画像の質が影響され、時間の経過や晴天と曇天といった照明条件の変化に加え、雨や雪などの悪天候による視界への影響を無視できない。特に降雨時のカメラ撮影では、カメラの防滴ガラス面に水滴が付着する事により視野が妨害され、明瞭な画像を得ることが出来ない。

視野妨害のある画像から視野の明瞭化を行うには、視野を妨害している水滴等のノイズ領域の検出とノイズ領域の補間の2つが必要である。

ノイズ領域の特定方法については背景差分法やフレーム間差分法を基本としたものが一般的で、照明条件の変化[1]や天候の変化[2]、背景自体の変化[3]に対してロバストな画像中の移動物体検出方法など数多く提案されている。

背景差分法には背景自体が変化する際には用いる事が出来ないという欠点があり、フレーム間差分法には画面中に進入してから静止した物体を検出する事が出来ないという欠点がある。その為、背景が様々な変化する画像における静止ノイズである防滴ガラス面上の水滴を検出する事が困難である。

もう1つの課題であるノイズ領域の補間方法についても様々な手法が提案されている。その1つに画素毎

の時間軸方向の輝度値のメディアンをとる事でノイズ領域を補間する手法[4]がある。この方法はノイズ自体が動く場合には有効である。しかし、動かないノイズの補間は不可能である。他のノイズ領域の補間方法として **Inpainting** アルゴリズム[5]が提案されている。この手法は輪郭等の再現性は良いが複雑なテクスチャパターンの再現性が悪いという特徴があり、水滴の除去には向かない。

防滴ガラス面に付着した水滴を除去する手法として、首振りカメラを使用して複数の画像を取得し、画像の差分を取る事で水滴を除去する手法[6]がある。しかし、この手法では移動物体等により背景自体が変化する場合には対応できない。また、複数視点画像の差分を用いて水滴を除去する手法[7]が提案されている。この手法は複数視点の画像を同時に取得する為、背景自体が変化する場合にも対応できる。しかし、画像間の差分を基本としている為、視差の無い遠景画像にしか対応できない。

そこで、本論文では視差のある2つの画像から視野妨害となる水滴を除去する手法を提案する。視差のある画像から水滴除去が可能であれば、近景・遠景を問わずにカメラの設置場所や使用範囲も大きく広がる。

2. 処理概要

提案手法は以下に示す手順から成る。

- ① 平行ステレオ画像を取得する。カラー画像の場合はグレイスケール化する。
- ② 正規化相互相関によるマッチングを行い、各画素の視差および相関値を用いて水滴部位を判別する。
- ③ 水滴部位の視差を修正する。修正した視差を元に画像修正を行う。

以上の処理により①で取得した画像の共通視野部に存在する水滴を除去する。

本論文では2台のカメラが平行に並べられ、また防滴ガラスが両カメラの前に撮像面と平行に設置されている状況を取扱う (Fig.1)。また、カメラキャリブレーションは既に済んでおり、カメラパラメータ及び、カメラと防滴ガラスの位置関係は既知のものとする。

3章、4章において②、③の処理について詳述する。

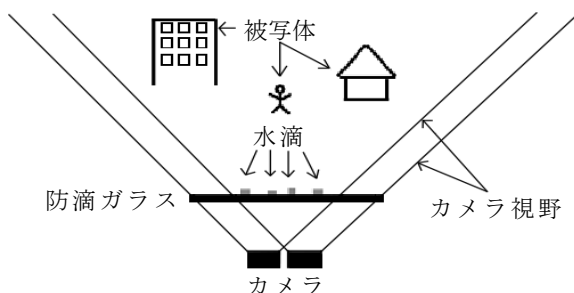


Fig.1 カメラ配置 (例)

3. 水滴部位判別

取得したステレオ画像に正規化相互相関によるテンプレートマッチングを行い、各画素の対応点、視差、相関値を得る。得られた視差、対応点から水滴部位を求める。

3.1. 一対一対応による判別

テンプレートマッチングはテンプレートの濃淡値の変化が乏しい場合、相関がとりにくく誤対応を起しやすいため、また、オクルージョンなどにより対応点が存在しない場合もある。対応点が存在しない場合、テンプレートマッチングにより得られる対応点は誤対応を起していると言える。その為、テンプレートマッチングの結果の信頼性について調べる必要がある。

そこで、正規化相互相関による相関値 R がある値 C 以上である場合は対応点同士の類似性が高く、ある程度信頼できるものとし、さらに誤対応か正しい対応かを判別する。相関値 R が C 未満である場合は対応点同士の類似性が乏しく、マッチング結果は信頼できないものとする。

誤対応か正しい対応かどうかは対応点同士が一対一対応しているかどうかを調べればよい。テンプレートマッチングにより正しい対応点が得られている場合、右の画像から左の画像の対応点を調べた時も左の画像から右の画像の対応点を調べた時も結果は一致し、一対一の対応が取れる。

一方の画像中の画素 $I(u,v)$ をテンプレートの中心とした時、この対応点がもう一方の画像中の画素 $I'(u',v')$ であったとする。ここで、画素 $I'(u',v')$ をテンプレートの中心としたテンプレートマッチングを行い、一方の画像から得られる対応点を画素 $I(u'',v)$ とする。厳密には $u = u''$ となる時のみ一対一の対応が取れていると言えるが、 $|u - u''|$ が微小である場合も一対一の対応が取れているとする。 u と u'' を式(1)に用いて画素 (u,v) に判定結果 $\gamma(u,v)$ を与える。

$$\gamma(u,v) = \begin{cases} 1, & R \geq C \text{ かつ } |u - u''| < \zeta \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad (1)$$

ζ : 一対一の対応を調べる為の閾値 $\gamma(u,v)$ が 1 となる画素は対応点同士の類似性も高く、一対一の対応が取れている為、正しく対応できているとする。 $\gamma(u,v)$ が 0 となる画素は対応点同士の類似性が乏しい、若しくは一対一の対応が取れていない為、誤対応であるとする。

ここで、画素 (u,v) を中心とするテンプレート T の濃淡値が全て同一となる場合について考える。正規化相互相関によるテンプレートマッチングでは、テンプレート内の濃淡値が全て同一となるとマッチングを行えない。その為、画素 (u,v) を中心とするテンプレート T

の濃淡値が全て同一となる場合は対応点が求められず、必ず誤対応と判別されてしまう。そこで画素 (u,v) を中心とするテンプレート T の濃淡値が全て同一となる場合も画素 (u,v) に $\gamma(u,v)=0$ を与える。

3.2. 視差による判別

カメラパラメータ及び防滴ガラスとカメラとの位置関係から防滴ガラス面上に物体が存在する場合の視差 η を算出する。視差 η は、基線長 b 、カメラのレンズ中心と結像面との間の距離 f 、カメラのレンズ中心と防滴ガラスとの距離 d を用いて式(2)により算出できる。

$$\eta = \frac{bf}{d} \quad (2)$$

$\gamma(u,v)=0$ となる画素はマッチング結果が誤対応を起している為、視差 $S(u,v)$ を求める事ができない。

そこで、 $\gamma(u,v)=1$ となる画素の視差 $S(u,v)$ をマッチング結果から求め、視差 η と比較する。その結果 $S(u,v)=\eta$ となる部位を水滴部位と判定する。

$\alpha(u,v)$ を各画素に与える水滴部位検出結果とすると、式(3)により得られる $\alpha(u,v)=1$ の画素が水滴部位の画素となる。

$$\alpha(u,v) = \begin{cases} 1, & \gamma(u,v)=1 \text{ かつ } S(u,v)=\eta \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad (3)$$

4. 画像修正

水滴部位を検出した後、水滴を除去する。水滴に隠れた部分は、もう一方の画像に写っている可能性が高い。そこでもう一方の画像の画素値を用いて水滴の除去を行う。

もう一方の画像の画素値を水滴除去に用いる為には、水滴が存在しなかった場合、水滴部位での視差はどうなっていたかを推定する必要がある。水滴部位の視差を推定できれば、その視差を元にもう一方の画像の画素値を用いて水滴部位を修正する事が出来る。

4.1. 視差推定

本手法では Inpainting アルゴリズム[5]を利用して水滴部位の視差を推定する。

本来 Inpainting アルゴリズムは画像の輝度勾配を考慮して画像の欠損部を修正する技術であり、輪郭の再現性が良く複雑なテクスチャの再現性が悪いという特徴がある。

本手法では視差 S を輝度、水滴部位である $\alpha(u,v)=1$ の画素と視差 S を求める事ができない $\gamma(u,v)=0$ の画素を欠損に見立てて Inpainting アルゴリズムを適用する。視差 S は画像中の被写体毎に同一の値をとる事が多く複雑なテクスチャになり難い。その為 Inpainting アルゴリズムの複雑なテクスチャの再現性が悪い点は多く

の場合には問題にならない。

4.2. 画像修正

視差の推定後、水滴を除去する。画像中の $\alpha(u,v)=1$ となる画素 (u,v) には、視差推定によって水滴が存在しなかった場合の視差 s が与えられている。この視差 s を用いて、水滴が存在しなかった場合の画素 $I(u,v)$ と対応する画素 $I'(u',v')$ を式(4)を用いて代入する。

$$I(u,v) = \begin{cases} I'(u-s,v), & I(u,v) \text{ が左画像の画素の場合} \\ I'(u+s,v), & I(u,v) \text{ が右画像の画素の場合} \end{cases} \quad (4)$$

5. 実験

提案した手法の有効性を確かめる為に、Fig.2 に示す平行ステレオ画像に本手法を用いた。なお、本手法は左右の画像に共通視野野となって現れる水滴のみを除去対象としている為、図に示す局所的な水滴配置で実験を行った。Fig.3 に手で水滴位置を囲んだ図を示す。

Fig.2 の画像のサイズは 640×480 pixel, カメラのレンズ中心と結像面との間の距離 f は画素値換算で 715 pixel, カメラと防滴ガラスの距離 d は 220 mm, 基線長 b は 80 mm である。式(1)を用いて算出されるガラス面での視差 η は 260 pixel となった。

テンプレートマッチングにおけるテンプレートサイズは 15×15 pixel, 相関値の閾値 C には 0.4 を用いた。一対一の対応を調べる閾値 ζ は 5 とした。

Fig.4 に示す図が水滴部位判別結果である。左の画像では 12 個の水滴中 9 個の水滴を検出し、水滴ではない箇所を水滴と判断した誤検出が一箇所存在する。右の画像では 12 個の水滴中 10 個の水滴を検出した。

Fig.5 に示す図が水滴の除去結果である。また、水滴の除去結果を拡大した図を Fig.6 に示す。検出できた水滴は除去に成功した。

水滴の検出失敗の原因としてはテンプレートマッチングによって正しい対応点を得る事ができなかった事、左右の画像で水滴の見え方に差ができた事等が挙げられる。また、除去できなくても水滴が目立たない部分もある。元々水滴が目立たないような部分では水滴同士の対応をとる事が困難である。

左右の画像のマッチング精度を高める事で水滴検出率の向上が見込める。

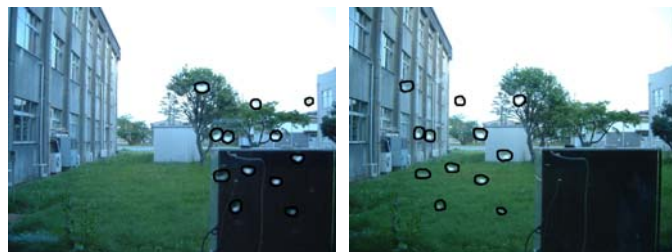
6. むすび

本論文では平行ステレオ画像から、視野妨害となる水滴を除去し、水滴により失われた情報を補完し合う事によって違和感の無い画像修正を行う方法を提案した。実験結果より、提案手法は視差のある近景画像の水滴除去、画像修正についての有効性を示した。今後はより正確に左右の画像を対応させる為の画像の先鋭



(a) 左画像 (b) 右画像

Fig.2 水滴強調画像



(a) 左画像 (b) 右画像

Fig.3 手描きによる水滴位置表示画像



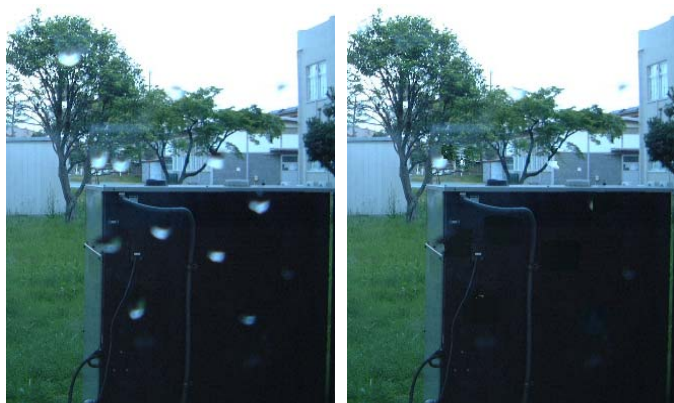
(a) 左画像 (b) 右画像

Fig.4 水滴部位判別結果



(a) 左画像 (b) 右画像

Fig.5 処理結果



(a) 左画像処理前 (b) 左画像処理後



(c) 右画像処理前 (d) 右画像処理後

Fig.6 拡大図

先鋭化やエッジ強調，水滴の共通視野を拡大する為の光学系構成について検討する．

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．

文 献

- [1] 松山隆司，和田俊和，波部齊，棚橋和也：“照明変化に頑健な背景差分”，信学論 D- II，Vol.J84-D- II，No.10，pp.2201-2211，(2001)
- [2] 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”，信学論 D- II，Vol.J79-D- II，No.4，pp.568-576，(1996)
- [3] 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”，信学会論 D- II，Vol.J80-D- II，No.5，pp.1086-1095，(1997)

- [4] 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”，画電誌，Vol.30，No.3，pp.251-259，(2001)
- [5] Marcelo Bertalmio，Guillermo Sapiro，Vicent Caselles，Coloma Ballester：“Image inpainting”，Proceedings of SIGGRAPH2000，pp.417-424，(2000).
- [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～”，映情学誌，Vol.57，No.10，pp.1347-1353，(2003)
- [7] Atushi 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)