

複数照明制御を用いた白とび・黒つぶれ画像の補正

Correction of Over and Under Exposure Images Using Multiple Lighting System

林鍾勳¹ 藤井浩光¹ 山下淳¹ 浅間一¹

Jonghoon Im¹ Hiromitsu Fujii¹ Atsushi Yamashita¹ and Hajime Asama¹

¹ 東京大学

¹ The University of Tokyo

ABSTRACT In this paper, we propose a method of correction over and under exposure images. In order to compensate over and under exposure images, we capture other images that over and under exposure appeared in different location against the over and under exposure image obtained first by using multiple lighting system. Next, we extract over and under exposure area from the images, and correct luminance difference caused by the lighting. After luminance correction, we combine multiple images into one image. Experimental results show that the over and under exposure is removed from the image by the proposed method.

1. 序論

人が直接入れない危険な場所では遠隔操作ロボットによる調査が必要である。特に外部照明がない暗い環境では、周囲環境の情報を取得するため、ロボットに取り付けられた照明を使う必要がある。しかし、ロボットに取り付けられた照明では天井に取り付けられた照明のように均質に環境を照らすことが難しく、明暗差が生じる。このような明暗差が大きい場所では、画像中に現れる白とびや黒つぶれなどによって画像の一部が不明瞭になり、ロボットを操作するオペレータが困難になる問題が挙げられる。白とび、黒つぶれはカメラ画像内の輝度差がカメラのダイナミックレンジを越えてしまうと発生する。

このような問題を解決するため、様々な手法が提案されてきた。画像内に現れる白とびや黒つぶれ問題を解決する技術として High Dynamic Range (HDR) 圧縮技術が提案されている¹⁾。この技術は露出度の異なる複数の画像を合成して 1 つの高階調画像を取得する技術である。露出度を上げて全体的に明るくした画像では相対的に暗い部分を、露出度を下げて全体的に暗くした画像では相対的に明るい部分を抽出し、合成することで画像を明瞭化する。この技術は使用する画像の数が多いほど、より広いダイナミックレンジを持つ画像の生成ができ、効果的に白とびおよび黒つぶれを除去することができる²⁾。露出度の異なる複数の画像を取得する方法としては、ビームスプリッタを用

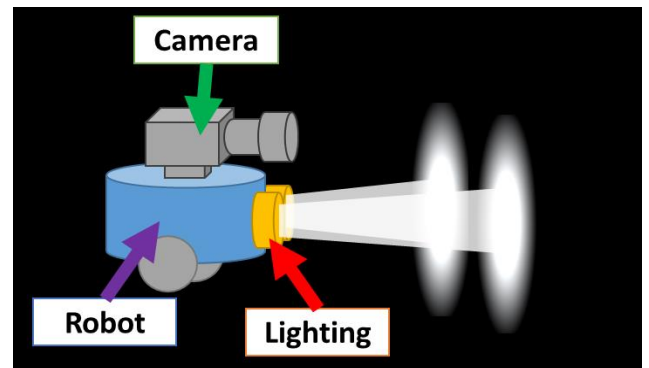


Fig. 1 本研究で想定する環境

いる方法³⁾やシャッタースピードを調整する方法⁴⁾などがある。

一方、上記に述べたような暗いところを照明がついているロボットが照射しながら周りの映像をカメラで取得している場合、ビームスプリッタやシャッタースピードの調整だけではなく、照明を制御することでも露出度の異なる複数の画像を取得することができる。これによって今想定した環境では従来手法に比べてより多様な露出度の制御が可能となる。これはより多くの露出度の異なる画像を取得することができることを意味し、画像内に現れる白とびおよび黒つぶれもより効果的に除去することが可能であることを示す。

そこで本研究では、照明の制御により、画像内に現れる白とびおよび黒つぶれを除去することが可能な手法を提

案する。Fig. 1 のように遠隔操作ロボットを用いた暗い環境での調査を想定し、車のヘッドライトのような 2 つの照明がロボットの前面の左右についており、2 つの照明を互いに点滅させる制御が可能な状況を想定する。

2. 提案手法

2.1 提案手法の概要

本研究では2つの照明を点滅させることで、画像内に現れる白とびおよび黒つぶれの除去が可能な手法を提案する。本研究で提案する白とびおよび黒つぶれ除去の流れを Fig. 2 に示す。

まず、片方の照明の点滅によって得られた白とびおよび黒つぶれ画像に対して、照明条件を変えて反対側の照明を点滅させ、画像内に白とびおよび黒つぶれの現れる位置が異なる 2 枚の画像を取得する。次に、最初に取得した画像をベースとし、画像内で白とびおよび黒つぶれが現れる領域を抽出する。その次に、各画像において照明によって変わった明るさを補正する。最後に提案する補間のルールに基づいて白とびおよび黒つぶれ領域を他の画像で補間する。

以下に各ステップについて具体的に説明する。

2.2 照明条件を変えた画像の取得

2つの照明の点滅により、画像内の白とびおよび黒つぶれの現れる位置が異なる2枚の画像を取得する。最初に取得した画像をベース画像 I_0^{base} 、その次に取得した画像をサブ画像 I_0^{sub} とする。例えば、Fig. 3(a) のような背景に対して照明条件を変えて2枚の画像を取得したとする。得られた2枚の画像の中で最初に取得した画像をベース画像 (Fig. 3(b))、その次に取得した画像をサブ画像 (Fig. 3(c)) とする。今回例としてあげたベース画像では左下の部分に白とびが、右上の部分に黒つぶれが現れている。一方、Fig. 3(c) のようにサブ画像では右下の部分に白とびが、左上の部分に黒つぶれが現れている。

2.3 白とびおよび黒つぶれ領域の抽出

次に、画像合成に不必要な白とびおよび黒つぶれ領域を削除するため、取得した画像での白とびおよび黒つぶれ領域を抽出する。白とびおよび黒つぶれの抽出には

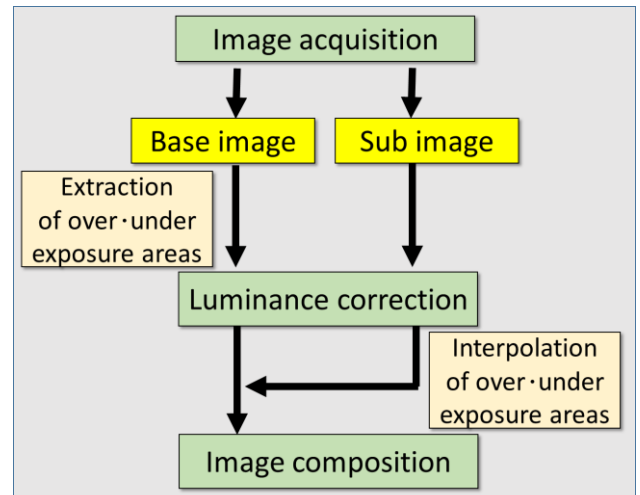


Fig. 2 提案する白とびおよび黒つぶれ除去の流れ

2つの閾値を用い、その判定条件を式(1)に示す。

$$D(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } \tau_H > I_0^{base}(i, j) > \tau_L \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

照明条件を変えて取得したベース画像 I_0^{base} (Fig. 3(b)) の輝度値 $I_0^{base}(i, j)$ が設定した閾値 τ_H 以上であれば白とび、 τ_L 以下であれば黒つぶれ領域であると判断し、その値を0に変換する。それ以外の領域においては値を1に変換する。得られた画像を補正用マップ $D(i, j)$ とし、ベース画像 I_0^{base} (Fig. 3(b)) の補正用マップ $D(i, j)$ を Fig. 3(d) に示す。Fig. 3(d) では、 $D(i, j)=1$ の部分は白に、 $D(i, j)=0$ の部分は黒に表示されている。

2.4 明るさの補正

ベース画像 I_0^{base} およびサブ画像 I_0^{sub} は照明によって明るさ分布が変わってしまい、今回背景として使用した画像 Fig. 3(a) と比べてみると照度差が発生する。そこで、原画像に近い画像を取得するためには照明によって変わった明るさ分布を再調整する必要がある。本ステップでは、まず照射面の重心位置を画像から探し、次に重心位置からの距離を考慮して各画素の明るさの補正を行う。

2.4.1 照射面の重心位置の探索

照射面の重心の探索では、閾値を用いて照明によって発生した白とび領域を抽出する。その抽出式を式(2)に示す。



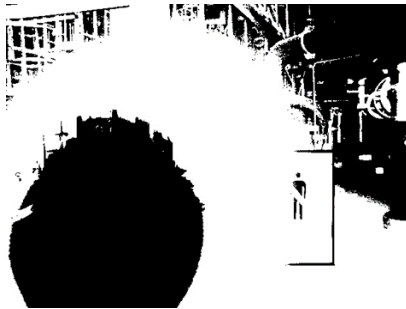
(a) 背景



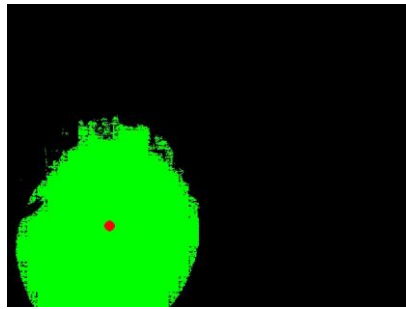
(b) ベース画像 I_0^{base}



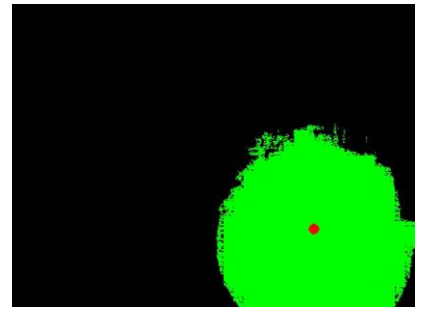
(c) サブ画像 I_0^{sub}



(d) 補正用マップ D



(e) 補正用マップ C^{base}



(f) 補正用マップ C^{sub}



(g) 明るさ補正後の画像 I_p^{base}



(h) 明るさ補正後の画像 I_p^{sub}



(i) ベース画像での出力部分



(j) サブ画像での出力部分



(k) 合成後の画像 I_f (I_0^{base} ベース)



(l) 合成後の画像 I_f (I_0^{sub} ベース)

Fig. 3 提案手法を用いた画像処理結果

$$C(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } I_0^{\text{base}}(i, j) > \tau_c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

ベース画像 I_0^{base} (Fig. 3(b))の輝度値 $I_0^{\text{base}}(i, j)$ が設定した閾値 τ_c 以上であれば白とび領域であると判断し、その値を1に変換する。それ以外の領域においては輝度値を0に変換する。得られた画像を補正用マップ $C(i, j)$ とし、Fig. 3(e), (f)に示す。Fig. 3(e), (f)では $C(i, j)=1$ の部分は緑色に、 $C(i, j)=0$ の部分は黒に表示されている。その次に、白とび領域の重心位置の探索を行う。得られた重心位置を X_c, Y_c とし、今回の場合はFig. 3(e), (f)の赤い丸に表示されている部分が重心位置である。

2.4.2 照射面からの距離による明るさの補正

今回は照射面の重心位置を光源であると仮定する。このとき、照射面の重心位置の周辺が一番明るい部分となり、重心位置から離れるほど徐々に暗くなる。この輝度差を補正するため、導入した補正式を式(3), (4)に示す。

$$L'(i, j) = \alpha \cdot L(i, j) \cdot r^2 \quad (3)$$

$$r = \sqrt{(i - X_c)^2 + (j - Y_c)^2} \quad (4)$$

ここで α は補正用係数、 $L(i, j)$ は座標 (i, j) における輝度値、 r は照射面の重心位置から各ピクセルまでの距離、 $L'(i, j)$ は補正後の座標 (i, j) における輝度値である。また、 X_c, Y_c は照射面の重心位置の i 座標、 j 座標を示す。明るさ補正の結果得られた画像を I_p とし、Fig. 3(g), (h)に示す。

2.5 画像合成

画像内の白とびおよび黒つぶれ領域を抽出した補正用マップ $D(i, j)$ を用いて画像の合成を行う。合成のルールを式(5)に示す。

$$I_f(i, j) = \begin{cases} I_p^{\text{base}}(i, j) & D = 1 \\ I_p^{\text{sub}}(i, j) & D = 0 \end{cases} \quad (5)$$

補正用マップの白い部分($D(i, j)=1$)に関してはベース画像 I_p^{base} をそのまま出力し(Fig. 3(i))、補正用マップの黒い部分($D(i, j)=0$)に関してはサブ画像 I_p^{sub} (Fig. 3(j))を出力する。この処理の結果得られた画像を I_f としFig. 3(k), (l)に示す。

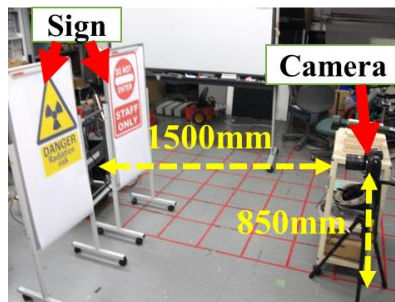
3. 実験

3.1 実験環境

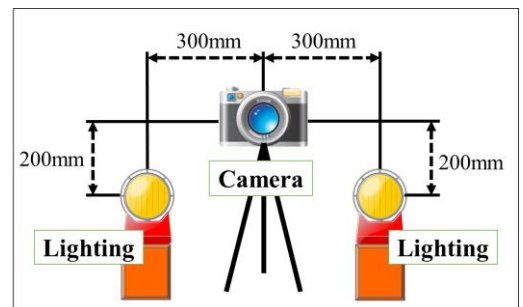
照明条件を変えたときの画像を取得するため、カメラの左右に同じ照明を設置した。次に、あらかじめ用意した2つの看板(Fig. 4(a))をカメラの視野に入るようにカメラと看板の間の距離を調整した。カメラ、照明、看板の位置関係をFig. 4(b), (c)に示す。カメラの高さは床から850mmであり、Fig. 4(c)のように左照明はカメラの左方向に300mm、下方向に200mm離れた場所に、右照明はカメラの右方向に300mm、下方向に200mm離れた場所にそれぞれ設置した。看板はFig. 4(b)のようにカメラから1500mm離れた場所に設置した。カメラと照明の位置関係以外の撮影条件(Table 1)は固定した状態で、左照明、右照明を順番にON/OFFし、1回ずつ撮影を行った。



(a) 看板



(b) カメラと看板の位置



(c) カメラと照明の位置

Fig. 4 カメラ・照明・看板の位置関係

Table 1 撮影条件

使用カメラ	NIKON D200
解像度	640×480
絞り値	f/5
露出時間	1/20sec
焦点距離	18mm
照明の明るさ	1000lm

3.2 実験結果

今回ベース画像として使用した画像 I_0^{base} をFig. 5(a), サブ画像として使用した画像 I_0^{sub} をFig. 5(b), 合成の結果得られた画像をFig. 5(c)に示す. ベース画像では左側の看板に白とびが, 右側に黒つぶれが発生し, サブ画像では右側の看板に白とびが, 左側に黒つぶれが発生した. 本研究で提案した補正アルゴリズムを適用した結果, ベース画像で白とびによって判別できなかった左側の看板に書かれた文字が判別できるようになった. また, 右側に発生した黒つぶれ領域も以前より改善され, 背景が判別できるようになった.

今回の補正アルゴリズムでは片方をベースとしてベース画像での白とびおよび黒つぶれ領域をサブ画像で補間した. その結果, Fig. 5(c)の右側の看板の左側の黒色の部分のように両方とも白とびおよび黒つぶれ領域の場合は上手く補正できなかった.

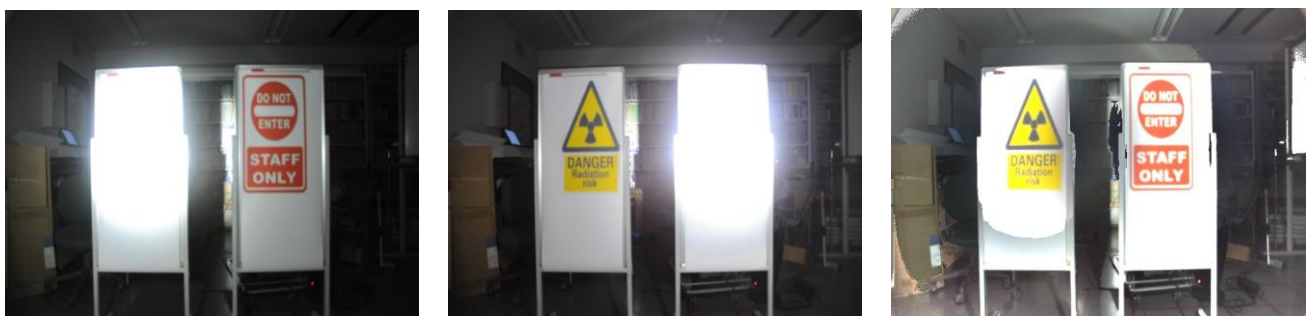
この問題を解決するため, ベース画像での白とびと黒つぶれ領域およびサブ画像での白とびと黒つぶれ領域が互

いに重ならないように, 照明を制御し画像を取得する必要があると考えられる. また, 入力画像の数を3枚以上に増やして今回のように両方とも白とび黒つぶれの場合に上手く補正できなかった部分を他の画像で補正する必要があると考えられる.

4. 結論

本研究では照明の制御により, 画像内に現れる白とびおよび黒つぶれを除去することが可能な手法を提案した. 今回は人が遠隔操作ロボットを用いて暗いところを調査している状況を想定し, 車のヘッドライトのような2つの照明がロボットの前面の左右についており, 2つの照明を互いに点滅させる制御が可能な状況を想定した. 想定した環境に合わせて実験環境を構築し, 照明の制御を行い, 画像内の白とびおよび黒つぶれの現れる位置が異なる複数の画像を取得した. その次に, 提案したアルゴリズムを適用することで白とびおよび黒つぶれ画像を補正することができた.

今後, 照明のON/OFFだけではなく照明の照射角あるいは明るさなどを制御し, より多くの画像を入力画像として取得する必要があると考えられる.



(a) ベース画像 I_0^{base}

(b) サブ画像 I_0^{sub}

(c) 合成後の画像 I_f

Fig. 5 実験結果

参考文献

- 1) S. Mann, R. W. Picard : On being ‘Undigital’ with Digital Cameras : Extending Dynamic Range by Combining Differently Exposed Pictures, *Proceedings of the 48th Annual Conference of the Imaging Science and Technology*, 442/448 (1995)
- 2) P. Debevec and J. Malik : Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs, *Proceedings of ACM SIGGRAPH 1997*, 369/378 (1997)
- 3) 小田 仁己, 吉田 麻子, 柴田 史久, 木村 朝子, 田村 秀行 : 2台の同型カメラを併用したHDR動画像の生成法, 第17回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 12B-1, 83/86 (2012)
- 4) 大倉 史生, 神原 誠之, 横矢 直和 : 無人飛行船に搭載された2台の全方位カメラを用いた不可視領域のない全天球HDR 画像の生成, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解 111(379), 245/250 (2012)