

ライトトランスポートの計測に基づく 一般照明下における映り込みの除去

赤松 薫平¹ 前田 涼汰¹ 日浦 慎作^{1,a)}

概要: 商品撮影などの商業撮影では被写体への周囲物体の映り込みを抑制したい場合がある。一般的には、Photoshop などの画像編集ソフトなどを用い手作業で修正がなされていたが、これには熟練した技術や作業時間が必要であるなどの問題がある。一方、照明法の工夫や画像処理により映り込みを除去する方法も研究されている。その1つとして、プロジェクタからチェッカーパターン等を複数枚投影し、その輝度差を利用する手法がある [1]。しかしこの手法ではプロジェクタのみを光源とし、それ以外の光源が存在しない状況を仮定しているため、点光源による強い影や反射が生じた不自然な写真になってしまう。一方、商業的な写真撮影では一般的に、このような影や反射の影響を小さくするため面積の大きな面照明が用いられる。そこで本研究では、反射を解析するためにパターン光を照射するプロジェクタに加え、一般的な撮影時に用いられるような投影パターンが制御されない光源を仮定し、後者の光源のみで撮影された写真から映り込みを除去することを目的とする。

1. はじめに

オンライン販売の普及に伴い、商品を撮影し発信する機会が増加している。商品の見え方で売上げが大きく変わることから、商品そのものに注目させる理想的な写真を得る技術に対する需要は日々高まっている。

表面がなめらかで光沢のある物体を撮影すると、周囲の物体が主要被写体に映り込む。この映り込みが撮影者の意図に反する場合がある。適度な映り込みは表面の滑らかさや光沢を表現する一方で、写り込んだ物体がはっきりと見えてしまう場合、そこに意識が向かい、注目させたい主要被写体から意識がそれてしまうことがある。また、単に写真の見た目が煩雑になってしまう場合もある。そこで従来から、Photoshop 等の画像編集ソフトを用いた手作業での映り込み修正が多くなされている。しかしこれには熟練した技術や作業時間などの問題がある。一方、照明法の工夫や画像処理により映り込みを自動的に除去する方法も研究されている。例えば Nayar らは周期性を持つパターン光 (チェッカーパターン等) をシーンに投影することで、直接反射成分と間接反射成分とを分離する手法を提案した [1]。しかし、この手法ではプロジェクタのみを光源とし、それ以外の照明が存在しない状況を仮定しているため、物体を点光源で照明したとき (図 1(a)) と同様の鋭い反射や強い影



(a) 点照明での撮影

(b) 面照明での撮影

図 1: 照明による反射, 影の違い [2]

が生じてしまう。一方、商業的な写真撮影では一般的に、このような反射や影を目立たなくするために、図 1(b) のような面積の大きな照明機材が使用される。しかし、このような条件下で効果的に映り込みを除去する手法は十分に研究されていない。そこで本研究では、一般的な撮影時に用いられるような照明機材に加え、シーン内の光の反射 (ライトトランスポート) を解析するためにパターン光を照射するプロジェクタを用い、前者の照明機材のみで撮影された写真から映り込みを除去することを目的とする。

本稿で提案する手法が前提とする条件を図 2 に示す。ここでは、映り込み物体は光沢を有する鏡面反射物体もしくは二色性反射物体であると仮定する。この物体に映り込む

¹ 兵庫県立大学

^{a)} hiura@eng.u-hyogo.ac.jp

物体を映り込み原因物体と呼ぶこととする。この映り込み原因物体は、提案手法では完全拡散反射物体であると仮定する。さらに、映り込み原因物体のうち実際に映り込み物体に写り込んでいる部分はカメラから可視であるとする。

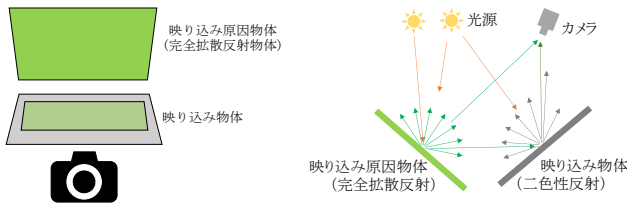


図 2: 前提条件

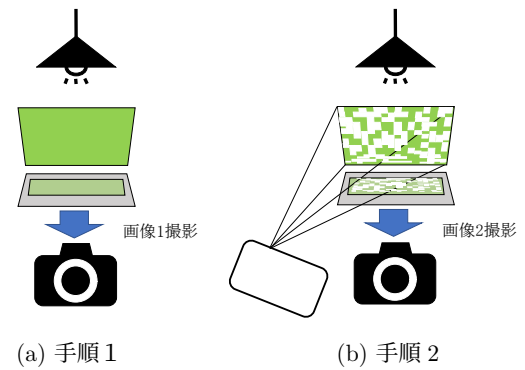


図 3: 撮影手順

2. 関連研究

ここでは画像処理等により自動的に映り込みを除去する手法と、それらの手法が前章で述べた前提条件に適用可能かどうかについて述べる。

2.1 高周波パターン光の照射による分離

直接反射成分は、光が照射されていない点では観察されないはずである。この原理に基づき、Nayarらは周期性を持つパターン光(チェッカパターン等)をシーンに投影することで直接反射成分と間接反射成分の分離を行う手法を提案した[1]。この手法では、パターン光を被写体に照射しカメラで撮影する。このとき、プロジェクタから光が直接投影されている領域では、プロジェクタからの直接反射成分と他の領域からの間接反射成分がカメラに記録されるのに対し、投影されていない領域では、間接反射成分のみが記録される。そこでパターンをずらしながら連続的に撮影することで、各画素において輝度値が最低のときの値を間接反射成分とし、それを明部の輝度から減じることで直接反射成分を得る。

この手法を本研究の条件で使用すると、プロジェクタ以外の照明装置による光は全て間接反射成分に分類される。その結果、間接反射成分を除去した画像は点光源(プロジェクタ)のみにより照明された不自然な画像となってしまう。

2.2 2色性反射モデルに基づく分離

プラスチックなどの絶縁体では、物体表面からさらに内部に光が入り込んで観測される拡散反射と、物体表面で光が反射する鏡面反射が合わさって観測される。このような拡散反射と鏡面反射の和で表される反射モデルとして2色性反射モデルがある。

Shaferは2色性反射モデルにしたがって拡散反射と鏡面反射の分離をする手法を提案した[3]。まず、撮影した画像のヒストグラムをRGB色空間内にプロットする。このとき、色分布は拡散反射成分と鏡面反射成分の色を表す2つ

のベクトルにより張られる平面状に存在する。クラスタリングを行い2つのベクトルを求め、拡散反射成分と鏡面反射成分の分離を行う。

この手法は拡散反射と鏡面反射の色の違いを利用しているため、映り込み物体の彩度が低い場合は利用できない。また、鏡面反射色が同一である多数の画素を用いてヒストグラムを作成する必要があるため、映り込み原因物体にテクスチャがある場合には適用できない。

2.3 偏光に基づく分離

完全直線偏光が照射された場合の反射成分について考える。鏡面反射は空気と物体の境界面で即座に反射するため、偏光は保たれる。従って、鏡面反射は完全直線偏光となる。一方、拡散反射では光が物体内部で乱反射し、様々な方向に偏光した光が混ざり合うため、非偏光となる。この原理に基づき、Wolffらは直線偏光板を用いて、2つの反射成分を分離する手法を提案した[4]。光源とカメラに直線偏光板を配置し、カメラ側の直線偏光板を回転させながら観測し、そのときの最大輝度と最小輝度から鏡面反射成分、拡散反射成分を計測する。

この手法は、間接反射による周囲物体の映り込みには必ずしも適用できない。なぜなら、映り込み原因物体が拡散反射物体である場合、その反射光は既に無偏光となっているためである。また、カメラ側だけに偏光板を装着し、フレネル反射の法則に基づき鏡面反射を除去する手法もあるが、物体の3次元形状が不明である場合には解が定まらない。

3. 提案手法

本手法ではまず、図3(a)のように投影パターンが制御されない光源のみを用いて撮影を行う。次に、映り込みの定量化、および映り込み画素と映り込み原因画素との対応関係を得るために、カメラ位置、照明条件を固定したまま、図3(b)のように映り込み原因となる物体にのみプロジェクタによりランダムパターン光を多数投影し撮影を行う。

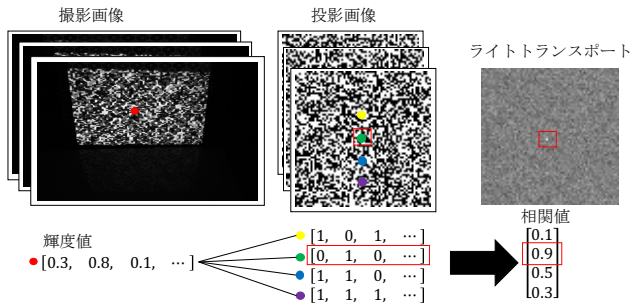


図 4: ライトトランスポート計測

3.1 ライトトランスポート計測

図 3(a) のように投影パターンが制御されない光源を用いて撮影した画像のみからでは、画像内に映り込みが発生しているかどうかの判断はできない。例えば、灰色物体の緑色の部分が映り込みである場合と、物体そのものに緑色の模様が描かれている場合とで、同じ画像が得られることが考えられる。そこで次に、図 3(b) のようにカメラ位置、照明条件を固定したままプロジェクタを用い、映り込みの原因となっている物体にランダムパターン光を多数投影し撮影する。ここで、映り込みが発生している場合、映り込みの原因となる箇所の投影パターンが変化すると、映り込みが生じている部分の輝度も変化する。それに対し、映り込みが発生していない場合は、投影パターンの変化による輝度の変化は生じないと考えられる。提案手法では、この違いにより映り込みの度合いを定量化することで映り込みの除去を行う。

投影画像と撮影画像の全画素の全組み合わせについて輝度変化の相関値を計算することで、投影する各画素からの光が、撮影された各画素にどれだけ影響を及ぼしているかを表すライトトランスポートを求める(図 4)。相関の取得には Zero-mean Normalized Cross-Correlation(ZNCC) を使用する(式 1)。ZNCC とは相関演算方法の一つであり、計算する過程で平均値を引いているため照明変化に対するロバスト性が高いという特徴がある。式中の p は投影画像の画素値、 c は撮影画像の画素値を示す。

$$S_{zncc} = \frac{\sum(p - \bar{p})(c - \bar{c})}{\sqrt{\sum(p - \bar{p})^2} \sqrt{\sum(c - \bar{c})^2}} \quad (1)$$

3.2 映り込み画素と映り込み原因画素

次に、撮影画像の各画素がプロジェクタからの光にどれだけ影響されているかを各画素の最大輝度と最小輝度の輝度差から求める。プロジェクタにより直接投影を受けている画素は、投影パターンが変化した際の輝度の変化が他の画素に比べて大きくなるため、輝度差も大きくなると考えられる。また、直接投影を受けている画素や、映り込みが生じている画素は、投影パターンの変化に応じて輝度が変化するため、投影画像上の対応する画素と強い相関を示す

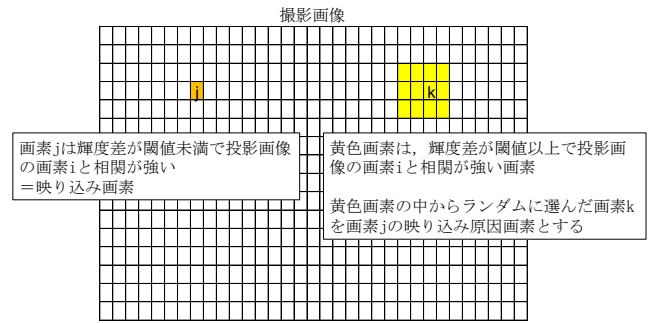


図 5: 映り込み画素と映り込み原因画素の対応

と考えられる。

そこで、撮影画像の中で、投影画像の特定の画素と強い相関を示し、かつ輝度差が閾値未満となる画素を映り込みが生じている画素に分類する。また、この画素と強い相関を示し、かつ輝度差が閾値以上となる画素の中からランダムに選んだ画素を映り込み原因画素とする(図 5)。投影しているパターンは十分に微細であるためランダムに選んでも差し支えないとする。上記の処理を輝度差が閾値未満であり、強い相関が見られる全画素について行い、どの画素がどの画素に映り込んでいるのかを対応づける。

3.3 映り込み除去

映り込みは、2 次的な光源として働く映り込み原因物体からの光が、映り込み物体上で反射することで生じる。今、映り込み原因物体には一般照明とプロジェクタの光が照射されている。一方、映り込み物体には一般照明の光と映り込み原因物体からの反射光が照射されている。ここで、これらの物体を一般照明のみを用いてカメラで撮影したときの映り込み原因物体の輝度を a_l 、映り込み物体の輝度を b_l とする。また、プロジェクタのみを用いて照明したときの映り込み原因物体の輝度を a_p 、映り込み物体の輝度を b_p は次のように表される(図 6)。

$$a_p = a_l + a_p \quad (2)$$

$$b_p = b_l + \beta(a_p) = b_l + \beta(a_l + a_p) \quad (3)$$

ここで、 β は映り込み原因物体の輝度変化に対する映り込み物体の輝度変化の比とする。また、プロジェクタからの光投影がない場合、それぞれの輝度 a, b は次のようになる。

$$a = a_l \quad (4)$$

$$b = b_l + \beta a = b_l + \beta a_l \quad (5)$$

式(5)と式(3)の差から

$$b_p - b = \beta a_p \quad (6)$$

が得られ、よって β は次の式により求めることができる。

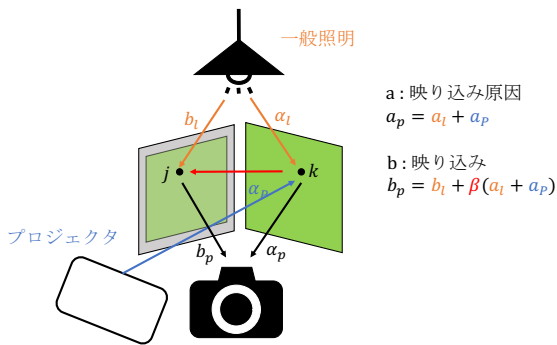


図 6: 映り込み画素と映り込み原因画素の輝度の関係

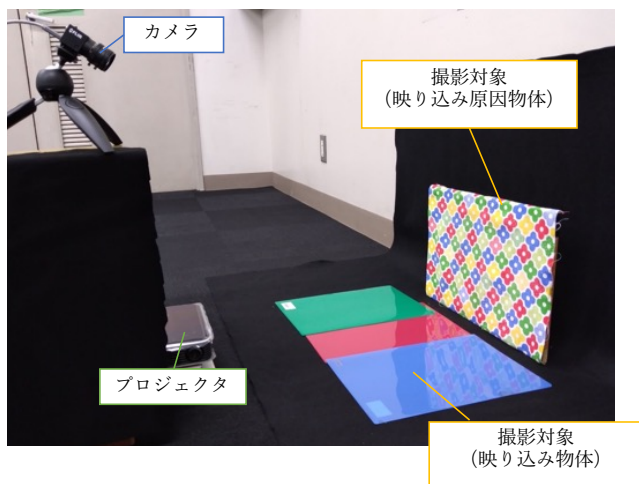


図 7: 撮影環境

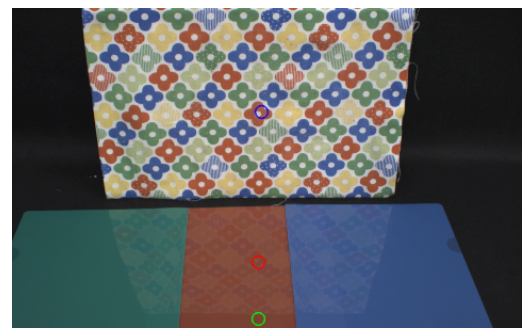
$$\beta = \frac{b_p - b}{a_p} = \frac{b_p - b}{a_p - a} \quad (7)$$

今、画素 j に画素 k が映り込んでいるとする。パターンを変化させながら得た撮影画像のうち画素 k の輝度が最大となるときの画素 k の輝度を a_p 、画素 j の輝度を b_p 、画素 k の輝度が最小となるときの画素 k の輝度を a_l 、画素 j の輝度を b_l として j 画素の β を計算する。これを用いて、プロジェクタから光を照射しない場合の撮影画像の画素 j の画素値から、画素 k の画素値に β をかけた値を引くことで映り込みを除去する。

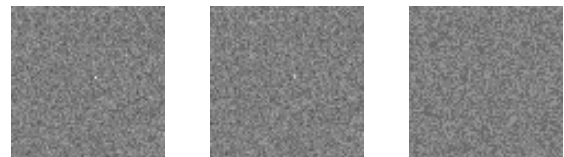
4. 実験結果

4.1 実験環境

図 7 に示すように、カメラ、プロジェクタ、撮影対象物体を配置し、撮影を行った。映り込み物体として光沢のある三色（緑、赤、青）のクリアファイルを用いた。また、映り込み原因物体としてテクスチャのある布を用いた。実験では、 70×70 画素のランダムパターンを 70 枚投影し計測を行った。



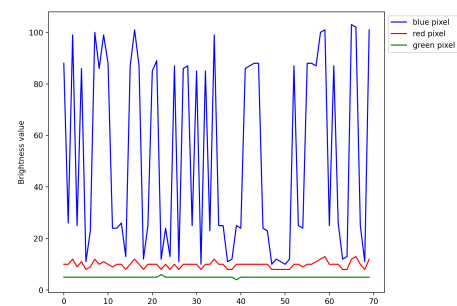
(a) 撮影画像



(b) 青丸画素

(c) 赤丸画素

(d) 緑丸画素



(e) 輝度変化

図 8: 注目画素のライトトランスポートと輝度変化

4.2 ランダムパターン光による相関値分布の計測

図 8(a) 中の青丸（直接投影される部分）、赤丸（映り込みが生じている部分）、緑丸（直接投影されず映り込みも生じていない部分）で示した画素のライトトランスポート（プロジェクタ投影パターンの各画素の輝度変化との相関値の分布）を求めた結果を図 8(b)(c)(d) に示す。また、各画素の輝度変化を図 8(e) に示す。

青丸で示した画素は、図 8(b), (e) より、特定の画素と強い相関を示しており、投影パターンが変化した際の輝度の変化が非常に大きいことから、プロジェクタからの光が直接反射を起こしていることが分かる。赤丸で示した画素は図 8(c), (e) より、特定の画素と強い相関を示しているが、投影パターンの変化による輝度の変化は小さく、直接投影された画素からの光の反射が影響していると考えられる。緑丸で示した画素は、図 8(d), (e) より、特定の画素との強い相関は見られず、投影パターンによる輝度の変化も小さいことがわかる。このように、直接投影されている画素と映り込みが生じている画素、それ以外の画素で相関と輝度の変化の仕方に違いがあることがわかった。

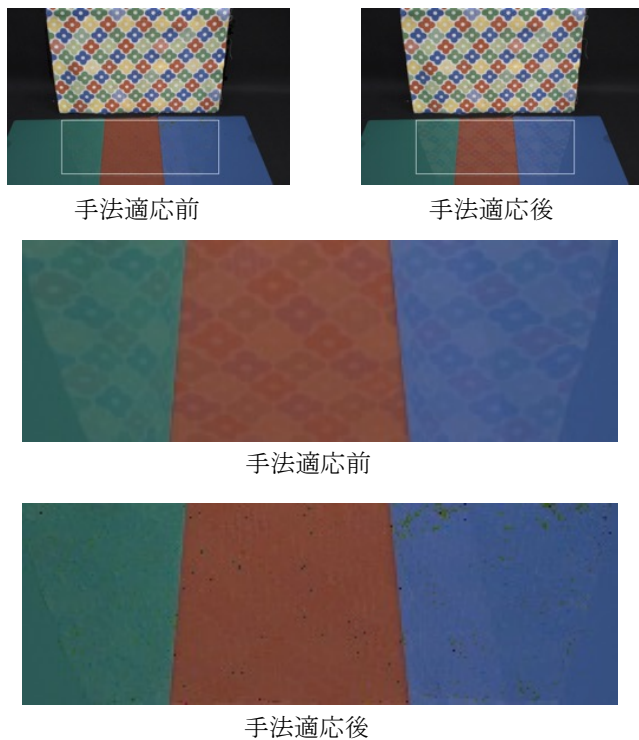


図 9: 提案手法による映り込みの除去結果

4.3 提案手法における映り込みの除去結果

撮影画像と、提案手法を用いた映り込みの除去結果を図 9 に示す。本手法では、輝度差が 20 以上となる画素を映り込み原因画素、輝度差が 20 未満で相関値が 0.6 より大きい画素を映り込み画素とした。手法適用後の画像には少しノイズのようなものが見られるが、映り込み成分が除去されていることがわかる。本手法の前提として、映り込みの原因となる素材を完全拡散反射物体と仮定しているが、実際には完全拡散反射物体ではなかったため、実験結果にノイズが発生したと考えられる。また、映り込みが生じている画素とその映り込みの原因となる画素とを対応させる際、ランダムに対応する点を選んだことで、実際の対応点とのずれが生じ、ノイズが発生したことも考えられる。

5. まとめ

本研究では一般照明下において、拡散反射物体がシーン内の他の物体に映り込む場合の映り込みを除去する手法を提案した。ランダムパターン光を投影して撮影した画像からライトトランスポートや各画素の輝度差を求めることで、映り込み画素と映り込み原因画素を対応づけ、映り込みを除去することができた。今後は、除去の精度を向上するとともに、映り込み原因物体が完全拡散反射でない場合に本手法が有効であるかどうかを確かめる必要があると考えている。

参考文献

- [1] Nayar, S. K., Krishnan, G., Grossberg, M. D. and Raskar, R.: Fast separation of direct and global components of a scene using high frequency illumination, *ACM SIG-GRAPH 2006 Papers*, pp. 935–944 (2006).
- [2] PHOTO PARTNERS: 点光源と面光源について, <https://www.photo-partners.com/photo-skill-4/>.
- [3] Shafer, S. A.: Using color to separate reflection components, *Color Research & Application*, Vol. 10, No. 4, pp. 210–218 (1985).
- [4] Wolff, L. B. and Boult, T. E.: Constraining object features using a polarization reflectance model, *Phys. Based Vis. Princ. Pract. Radiom*, Vol. 1, p. 167 (1993).