

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：34529

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16032

研究課題名(和文) シーン照度推定に基づく忠実な画像色再現に関する研究

研究課題名(英文) Illuminance Estimation to Accurate Color Reproduction

研究代表者

大寺 亮 (Ohtera, Ryo)

神戸情報大学院大学・情報技術研究科・講師

研究者番号：50590410

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、一般的なデジタルカメラで撮影された画像から、シーンの照度を推定する方法を検討した。本研究は、シーンの照度変化に伴う色の見えのシミュレーションを目的として照度の推定を行ったが、そのためには非常に高い精度が要求されるため、提案手法の有効性は不十分であると考えられる。一方で、特別なデバイスを用いず、手法が簡便であるため、高精度を要求しない一般的な用途への応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we examined a method to estimate the illuminance from images taken with a general digital camera. The final purpose of this study is simulating the color appearance attendant on the change in the illuminance. High accuracy illuminance estimation is required to achieve this purpose. Unfortunately, the estimation accuracy of the proposed method is not enough. However, since the method is simple and don't required any special device, it can be applied to general applications in order to estimate the illuminance.

研究分野：画像処理

キーワード：照度推定 画像処理

1. 研究開始当初の背景

現在、画像の入力機器として、デジタルカメラは広く一般にも普及し、生活に欠かすことのできないデバイスとなっている。その用途は、周囲のシーンの記録である。人間がシーンを記録し、出力しようとする際には、可能な限り人間が見たままを忠実に再現したいという要求がある。これが未だに実現できていない原因の一つとして、デジタルカメラのセンサと人間の視覚特性の違いが挙げられる。人間は、照度が高いシーンを観測しているときは、L 錐体 M 錐体 S 錐体の 3 つの視細胞が働き、外界を知覚する。シーン照度が下がっていくに従い、桿体細胞が応答を始める。桿体細胞は短波長側に感度ピークを持つため、人間は暗いシーンになるほど短波長側の青成分をより強く感じるようになる。一方で、デジタルカメラの CMOS センサもしくは CCD センサは、人間のように照度に応じて視細胞を切り替える機構・特性は備えていない。結果として、撮影された画像と人間の視覚との間で、色の見えの違いが生じる。従来、多くの研究者が、画像の見えを忠実に再現するという課題に対して、人間の視覚特性に着目し取り組んできた。特に、人間の目が持つ輝度に対するダイナミックレンジ調整の再現については研究が盛んである。一方で、シーンの照度変化に伴う色の見えに関しては、視覚生理学的な知見は多く存在するものの、画像処理分野への応用は近年まであまり活発ではなかった。その主たる原因は、「シーンの照度」が、デジタルカメラで取得した画像には記録されていないためである。後述する国内外での研究動向においても、これらの情報が得られないことに対する対応が未解決となっている。そこで本研究では、デジタルカメラで撮影された画像からのシーンの照度推定についての検討を行う。

2. 研究の目的

本研究では具体的にデジタル画像からのシーン照度を高精度に推定する方法を明らかにする。

デジタル画像からシーン照度を推定するために必要な要素は、シーンの実際の輝度とシーン中の物体の反射率である。本研究では、はじめにシーンの輝度に対する推定手法をまず明らかにする。シーンの実際の輝度を推定する手がかりとして、画像の輝度を利用する。画像の輝度はシーンの実際の輝度をカメラが変換したものであり、実際の数値を表してはいない。そこで、本研究では、カメラの輝度変換特性の分析から実際の輝度推定式の係数を明らかにする。また、同じく画像輝度と物体の反射率の関係を分析することで、反射率の推定を行う。次に、画像中の物体を均等拡散反射面と仮定し、推定された輝度と反射率から照度を算出する。

3. 研究の方法

画像中の物体を均等拡散反射面と仮定したとき、輝度 L 、照度 E 、反射率 ρ には以下の式が成り立つ。

$$L = \frac{\rho}{\pi} E \quad (1)$$

物体の輝度と反射率から照度が推定できるが、デジタルカメラで撮影された画像にはそれらの情報は含まれていない。しかしながら、影などが存在せず、一様に照明光があたり、空間的に連続した領域においては、デジタル画像における画像輝度と物体の輝度、およびデジタル画像における画像輝度と物体反射率には相関があると考えられる。そこで本研究では、安定した光源環境を構築した上で、反射率が既知の物体と輝度計および照度計を用いることで、デジタルカメラで撮影した画像の輝度と、物体の輝度および物体の反射率の関係式を算出した。なお、本研究では安定した照明環境下で実験を行うため、暗室内に X-Rite 社製の標準光源装置 マクベスジャッジ II (Macbeth Judge II) を設置し、装置内に物体を置いて撮影を行った。照明光源には D65 光源を用い、照明を布で覆う具合を変化させることで低照度から高照度の調整を行った。カメラは CANON EOS 5D Mark III、レンズは CANON EF24-105mm F3.5-5.6 IS STM を用い、汎用的な照度推定を目的とするため入力画像は jpeg 画像とした。また、本研究において基準となるカメラ設定を表 1 にまとめる。

表 1. 基準カメラ設定

レンズ絞り値	F5
シャッタースピード	1/80
ISO 感度	400
ホワイトバランス	オート

低照度のシーンを撮影する場合には、上記の基準カメラ設定では黒つぶれが発生するため、シャッタースピードを遅くして撮影を行うこととした。反射率が既知の物体として X-rite 社製の Color Checker Classic を上記設定で撮影し、輝度と照度の正解値はトプコン社製の輝度計 BM-9 および Coxfox 社製の照度計 GL-08 でそれぞれ取得した。図 1 に撮影画像例を示す。



図 1. 撮影画像例

まず、撮影画像の輝度と物体の輝度の関係を調べる。物体の輝度とは、物体が照明によって照らされているときの物体表面の明るさである（単位は cd/m^2 ）。画像の輝度から物体の輝度を推定することは従来から行われており、本研究では、単純な比例関係にあるとして推定を行っている。低照度から高照度まで複数の照度条件において、Color Checker を撮影し、逆ガンマ補正を施した jpeg 画像の各パッチの輝度、輝度計で取得した物体輝度を散布図としてプロットしたものを図 2 に示す。

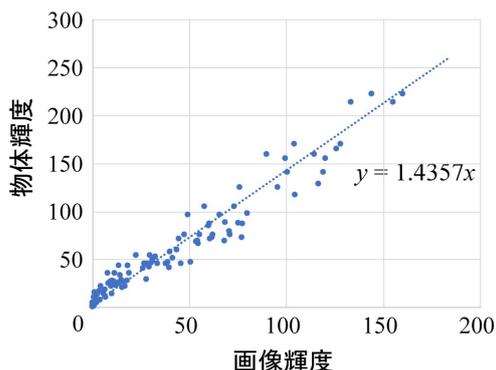
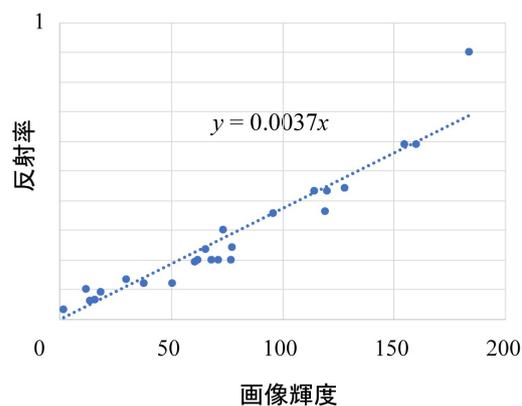


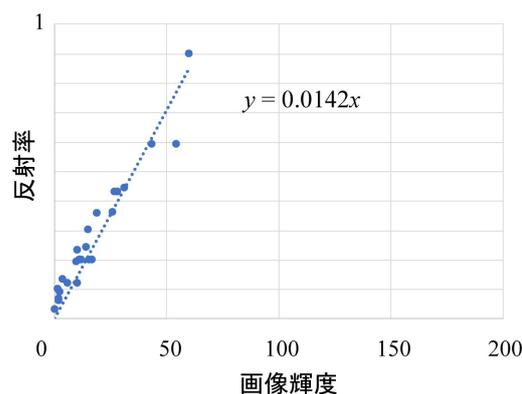
図 2. 画像輝度と物体輝度

図に示すとおり、画像輝度と物体輝度は順相関の関係にあり、カメラ設定が既知であれば単純な線形近似によって画像輝度から物体の輝度が推定可能である。

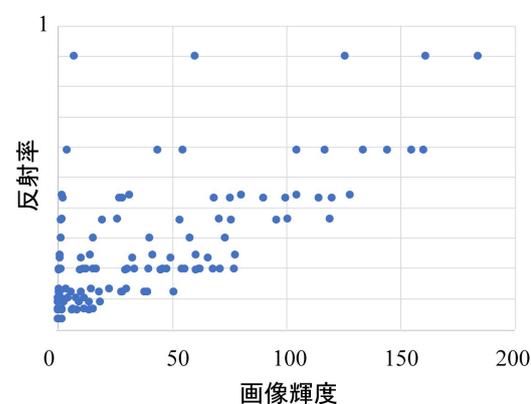
次に、物体の反射率の推定を行う。物体の反射面において入射した光束の反射する率が反射率であり、物体固有の数値である。画像の輝度から物体の反射率を推定するにあたって、輝度推定の時と同様に、その関係性を調べた。輝度推定時に用いた jpeg 画像の各パッチの輝度、公表されている Color Checker の視感反射率を利用し、散布図としてプロットしたものの一部を図 3 に示す。図 3(a) は高照度条件下で撮影された画像データの散布図、図 3 (b) はやや低照度条件下で撮影された画像データの散布図である。図に示すとおり、画像の輝度と反射率は順相関の関係にあるものの、照度によって線形近似における傾きが異なる。図 3 (c) は高輝度から低輝度までの全撮影データをプロットしたものであり、近似直線の傾きが照度に応じて変化していくことがわかる。本研究では、この傾きを推定することで、反射率の推定を試みる。具体的には、画像全体の平均輝度と近似直線の傾きについての分析を行う。図 4 に画像の平均輝度と近似直線の傾き関係を示す。図に示すとおり、平均輝度が低下する、つまり低照度になるにしたがって、反射率推定のための近似直線の傾きが急峻になることがわかる。本研究では、累乗近似曲線によって、傾きを推定することとした。



(a) 高照度条件下



(b) やや低照度条件下



(c) 全データ

図 3. 画像輝度と物体反射率

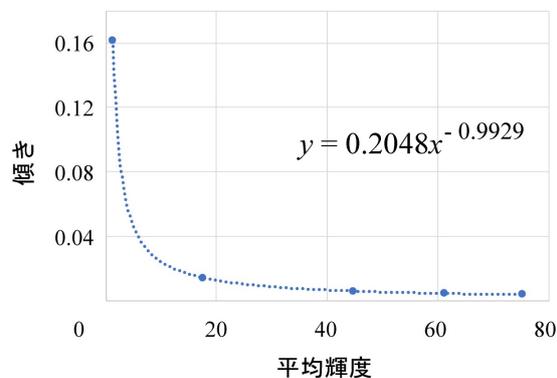


図 4. 画像平均輝度と反射率推定近似直線の傾き

最後に、推定された物体輝度と反射率を用いて、照度推定の実験を行い、精度を確認した。まず、これまでの分析の時と同様に、Color Checker を撮影した画像からの照度推定結果を試みた。正解値は各パッチの上で照度計を用いて取得した照度の平均値とする。推定値については、各パッチにおける 10×10 画素領域の平均輝度から、前述した方法で物体の輝度と反射率を推定し、式 (1) を用いて推定した照度 E の値である。表 2 に推定結果を示す。

表 2. 照度推定結果 (カラーチェッカー)

正解照度	推定照度	誤差
1334	1267	67
926	1002	76
751	733	18
380	330	50
48	28	20

照度はほんのわずかな照明の違いでも大きく変化するため、誤差が 100 lux 以内という結果は、一般的な用途においては高い精度であるといえる。しかし、本研究の目的は、シーンの照度変化に伴う人間の色の見えをシミュレーションすることであり、その目的に用いるには高精度とはいえない。そこで、オフィス内の照度推定などの一般用途を目的として、追加実験を行った。追加実験では、書籍や文房具を配置し、各物体で正解照度の取得と、提案手法による照度推定を行った。図 5 に実験に使用した画像を、表 3 および表 4 にシーンごとの推定結果を示す。

表 3. 照度推定結果 (シーン A)

正解照度	推定照度	誤差
786	625	161
54	29	25

表 3. 照度推定結果 (シーン B)

正解照度	推定照度	誤差
750	669	81
115	106	9

両シーンにおいて、低照度条件下での照度推定は非常に高い精度で行えていることがわかる。一方で、高照度条件下においては、誤差が大きくなっている。図 2 に示したとおり、画像輝度の推定は照度条件にかかわらず安定しているため、反射率推定部分が照度の影響を受けていると考えられる。したがって、反射率推定の照度に対するロバスト性の向上が今後の課題である。



(a) シーン A



(b) シーン B

図 5. 照度推定シーン

4. 研究成果

本研究では、一般的なデジタルカメラで撮影された jpeg 画像から、シーンの照度を推定する方法を検討した。最終的には、シーンの照度変化に伴う色の見えのシミュレーションを目的として照度の推定を行ったが、そのためには非常に高い精度が要求されるため、提案手法の有効性は低いと考えられる。一方で、特別なデバイスを用いず、手法が簡便であるため、高精度を要求しない一般的な用途への応用が期待できる。

本研究では、光源を D65 に固定しているため、他の光源に対する検証と、高照度条件下における物体反射率の推定精度の向上、シーン内に金属など特殊な反射物体が存在する場合への対応が今後の課題である。

5. 研究組織

(1) 研究代表者

大寺 亮 (OHTERA, Ryo)

神戸情報大学院大学・情報技術研究科・講師

研究者番号：50590410