

早稲田大学大学院国際情報通信研究科

博士論文概要

論文題目

黒体放射軌跡に基づく
カラー画像からの照明光色推定に関する研究
Research on Estimating Illuminant Colors
from Color Images Based on Blackbody Radiation Locus

申請者

川村	春美
Harumi	Kawamura

国際情報通信学専攻
画像処理研究Ⅱ

2014年3月

近年のインターネットの普及とカメラ付携帯電話・スマートフォンの利用拡大に伴い、各人がデジタル画像を容易に取得し、ネット上で共有する機会が増大している。また、ARやMR等、現実とCGとの融合技術も身近になり画像加工ソフトも整備され、画像のリアリティに対するユーザの要求レベルも向上してきた。リアリティの高い画像を得るには、画素値を構成する要素（照明光や物体の色）を分離し、制御することが必要となるが逆問題であり単純には解けない。従来、これらを分離する手段として照明光色推定が検討されてきた。

照明光色推定手法は、画像1枚による手法と、共通均一色領域を含む異照明光下で撮影された画像2枚を用いる手法に大別される。前者は画像に様々な色が含まれることが前提であるため色数が少ない場合に適用すると推定精度が悪いという課題があり、後者は適用条件の制約や近似手法に問題があり、現時点では推定精度の高い手法は見当たらない。以上のことから、本研究では、(A)1枚の画像に含まれる色数が少ない場合にも適用可能な照明光色推定手法を提案することと、(B)共通均一色領域を含む異照明光下で撮影された画像2枚から従来を上回る精度での照明光色推定手法を提案することの2点を目的とする。

本論文では上記逆問題を解く際に照明光と物体の色に関する性質を利用する。照明光（自然光とオフィスや家庭で使用の人工光）の色は、色空間上で黒体放射軌跡の近傍にあるという点と、人間が様々な照明下で物体の色を知覚する際にはシーン全体の平均を照明光色の手掛かりとする可能性があるという点に着目する。上記知覚特性は、シーン中の全ての物体の色を平均すると灰色になるという説（以下、灰色仮説）に基づいており、この仮説を利用した照明光色推定手法も提案されている。しかしながら、仮説を満たさない画像に適用しても推定精度が悪く、仮説を満たすか否かも不明であるという課題がある。本研究では照明光色が黒体放射軌跡の近傍にあることを制約条件とし、灰色仮説を満たす色の組み合わせを抽出することで局所的に灰色仮説が成立する条件を導くことで上述の課題を解決する手法を提案する。(A)の場合、局所的に灰色仮説を満たす色の組み合わせが、(1)画像中に存在する場合と(2)画像中に存在しない場合に対応する手法を提案し、(B)では、各画像に共通する均一色領域が、(3)2種類以上存在する場合と(4)1種類のみの場合の手法を提案する。以下、各提案手法の概要を述べる。

(1)従来灰色仮説による照明光色推定において推定精度が悪い要因は、画像全体の色を用いることによって面積（画素数）の広い色の影響を受けるためである。そこで、類似の色をクラスタリングして1色に統合し、画像から局所的に灰色仮説を満たす色を選択する。具体的には、画像を類似の色相カテゴリに分割し、反対色の関係にある色相カテゴリら色を選択しながら仮説成立可否を判定する。仮説が成立の場合は選択された色の平均値を照明光色として推定し、不成立の場合には選択色の平均値と反対色の関係にある色相カテゴリから次の色を選択し、再

度，仮説成立可否を判定する．仮説成立の判定は，選択された色の平均が色空間内で黒体放射軌跡の近傍にあることと，色追加によって得られる平均の色のばらつきが小さくなることの2条件で行う．

(2) 画像が特定の色に偏っている場合には反対色の関係にある色を選択できないため，画像を取得したシーンに存在し得る色を仮想的に追加し，(1)の局所灰色仮説を適用する．シーンに存在し得る色を追加するには，様々な照明光下における低彩度および高彩度の色領域からの反射光の取り得る範囲（それぞれ低彩度 gamut，高彩度 gamut）を用いる．低彩度の色をもつ均一色領域は照明光色を反映して反射する特性をもつことから，対象画像の色を多く含む低彩度 gamut を抽出することで照明光色候補を絞り込み，得られた照明光毎の高彩度 gamut の範囲内で色追加を行う．色追加によって得られた照明光色と，各高彩度 gamut に対応する照明光色との色差が最も小さくなる場合の照明光色を最終的な推定値とする．

(3) 照明光色の異なる2枚の画像に共通する均一色領域が複数種類，存在する場合に局所灰色仮説を適用する手法を提案する．異なる照明光下画像に共通する複数の均一色領域の平均の色が黒体放射軌跡の近傍に位置する場合には局所的灰色仮説が成立することを証明する．上記仮説成立の条件を満たす場合に，画像毎に平均の計算に用いた均一色領域の平均値を照明光色として推定する．

(4) 照明光色の異なる各画像に共通する均一色領域が1種類しか存在しない場合には，共通の均一色領域が灰色である場合を除き局所灰色仮説を適用できない．従来手法では，照明光を黒体放射とし，各画像の共通の均一色領域の色に対し白色光源下の場合に取り得る範囲（曲線）を求め，各画像から得られる曲線の交点が共通均一色領域に対応することを利用する．しかしながら，モデル化において非線形空間を線形と仮定することによる原理的な誤差や，照明光が黒体放射の分光分布にほぼ一致することを前提としており実画像に適用すると推定誤差が大きくなる．そこで，実在する物体の分光反射率(ISO/TR 16066)の測定データにある“typical set”を用い，様々な照明光下の反射光と分光反射率との関係を二次重回帰分析を用いて事前を取得し，各画像の共通均一色領域の色を白色光源下の分光反射率の集合に変換する．分光反射率をベクトルとみなした際のなす角で類似度を判定し共通均一色領域に対応する分光反射率を求め，照明光色を推定する．

以上，提案した照明光色推定手法は，それぞれ適用範囲が異なり，(1)，(2)は1枚の画像を対象とした手法，(3)，(4)は，共通均一色領域をもつ相異なる照明光下の画像が2枚以上ある場合を対象とした手法である．(1)は画像中に局所灰色仮説を満たす色が存在する場合，(2)は存在しない場合に color gamut を利用して仮想的に色追加を行って局所灰色仮説を適用する手法である．一方，(3)は共通均一色領域が複数種類存在する場合，(4)は1種類しか存在しない場合に，それぞれ適した手法である．画像が複数枚ある場合，画像毎に(1)，(2)を適用

することも可能であるが、(3) の手法の方が真値との誤差を小さく推定できる。

最後に本論文の構成を以下に示す。

第 1 章では、照明光の色を取得する手段を分類し、本論文で述べる画像からの照明光色推定の位置づけを明確にする。さらに、照明光種類を分類し、本研究が対象とする範囲および制約条件を述べ、本論文で述べる 4 つの提案手法の概要を説明する。

第 2 章では、本論文での前提条件を述べた上で、1 枚の画像から灰色仮説を満たす色の組合せを選択することによって従来手法における課題を解決する原理を説明する。提案手法の特徴は、互いに平均すると灰色になるという反対色の性質を利用することで色選択を行うという点と選択された色が灰色仮説を満たすか否かの判定条件を用いる点である。数値シミュレーションおよび実画像を用いた実験により、灰色仮説を満たす画像、満たさない画像の両方に対しても、従来手法よりも真値との誤差を小さく照明光色を推定できることを示す。

第 3 章では、均一色領域が特定の色相に偏っている画像に 2 章で述べた手法を適用する際の課題を述べた上で、画像中からではなく、画像が取得されたシーン中に存在し得る色を利用する color gamut を利用して仮想的に追加する手法を提案する。実画像に適用し、特定の色相に偏っている画像に対しても、従来手法よりも推定誤差を小さく照明光色を推定できることを示した。考察では、提案手法において推定精度が悪い要因を分析し、color gamut 利用による効果を明らかにする。さらに、color gamut のサイズや照明光のサンプリング間隔による照明光色推定への影響を検討する。

第 4 章では、異なる照明光下の画像 2 枚に共通する均一色領域が複数存在する場合に、灰色仮説を満たす色の組合せが存在するか否かを判定する条件を定式化し、条件成立の場合に照明光色推定を行う手法を提案する。上記条件により灰色仮説成立と判定された場合には精度よく推定できることを実験結果によって示す。

第 5 章では、異なる照明光下の 2 枚の画像に共通する均一色領域が 1 種類のみ存在する場合に照明光色を推定する技術を提案する。提案手法のコンセプトとして共通均一色領域の反射光の色から、照明光を仮定した際に均一色領域の色として取り得る分光反射率の集合を求め、その積集合が共通均一色領域を表すことを利用する旨を説明する。実験では、数値シミュレーションにおいて、照明光が黒体放射のみ、実在する照明光のみ（色は黒体放射軌跡の近傍）、および、黒体放射と実在する照明の組み合わせの 3 パターンで行い、実在する照明光の場合には、提案手法の方が従来 2 手法に比較して推定誤差が小さいことを示し、また、実画像に適用し同様の傾向を確認した。

第 6 章では、各章での研究成果をまとめ、残された課題を述べる。