

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700180

研究課題名（和文）

屋外環境フォトメトリ

研究課題名（英文）

Photometric estimation for outdoor scene

研究代表者

高松 淳 (Takamatsu Jun)

(奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授)

研究者番号：90510884

研究成果の概要（和文）：本研究では異なった屋外環境下で同一箇所から撮影された2枚の画像を用いて、光源に不変な物体表面色を画像ノイズに頑健に推定する手法を提案する。画素単位および画素間での関係を考慮しながら、最尤推定の枠組みに基づき尤度関数を定式化する。画素単位の関係を定義するため、画像ノイズの統計的性質および屋外光源色の分布の局在性を利用する。また、空間的依存性として光源色および物体表面色の空間的な連続性を仮定する。本研究では、定式化された尤度関数を2段階にわけて最適化する方法を提案する。本手法を用いることで従来手法よりも推定精度が向上することを実験的に示す。

研究成果の概要（英文）：We propose a method for estimating inherent surface color robustly against image noises from two registered images taken under different outdoor illuminations. We formulate the likelihood based on maximum likelihood manner while considering both inter-pixel and intra-pixel relationships. We define inter-pixel relationship based on stochastic behavior of image noises and properties of outdoor illumination chromaticity. We rely on the spatial continuity of both surface color and illumination to define intra-pixel relationship. We also propose to maximize the likelihood function in two step manner. Experimental results demonstrate the significant improvement of the proposed method in estimation accuracy compared to previous methods.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報処理・知能ロボティクス

## 1. 研究開始当初の背景

仮想現実感のための屋外実物体モデリングへの利用など、屋外でコンピュータビジョンの技術を利用したいという欲求が高まってきた。光源環境を制御しやすい屋内とは異なり、色情報を利用したアルゴリズムは、光源の影響を受けやすいため、それらを単純に適用するというのは困難な状況であった。

本研究分野が扱う問題は「色恒常性」問題として、古くからコンピュータビジョンの分野で盛んに研究されてきた。色恒常性を実現する手法は 1. 統計的手法と 2. 物理法則に基づく手法の大きく 2 つに分けることができる。統計的手法は、ある種的前提条件を仮定することによって問題を解決している。例えば、その代表例である「グレーワールド」アルゴリズムでは、基準となる白色光源下での世界中の色の平均は灰色であることを前提条件としている。統計的手法では仮定された前提条件からの逸脱が問題である。

そこで本研究では、より制約条件の少ない物理法則に基づく手法に着目した。具体的には、屋外光源色の分布が色度空間で局在化している性質を利用して、光源に不変な色情報を求める Finlayson らの手法に注目した。彼らの手法は、屋外光源色のモデル化の簡略化や、撮像系のノイズの影響を無視していることで、推定精度が低いという問題があった。このことから、より現実に即したモデル化をおこなうことによって推定精度を向上させることができると着想するに至った。

## 2. 研究の目的

前述のように Finlayson らの手法は、屋外光源色の分布を直線で近似し、2 直線の交点を求めることで色の推定をおこなっていた。しかし、画像ノイズにより直線の傾きが大きく異なってしまうため、結果、推定が安定しない、低下してしまうという状況であった。

そこで確率的フレームワークを利用することで、何をどのようにモデル化すればよいかを明確にし、より現実に即したモデル化をおこなうことによって、RMSE 値で 10 倍以上の性能向上を目指した。

## 3. 研究の方法

本研究では、Finlayson らの手法と同じく、異なる屋外光源下で撮影された 2 枚の画像を入力とし、光源の影響を受けない物体の真の色（以降、物体表面色と記述）および、屋外光源色をノイズに頑健に推定することを試みた。

### 定式化

入力画像  $I_1, I_2$  に対し、物体表面色  $S$ 、およびそれぞれの屋外光源色  $E_1, E_2$  のもつもらしさを表す尤度関数  $p(S, E_1, E_2 | I_1, I_2)$  を最大化することにより推定することができる。ベイズの定理を利用すると以下の関係式が得られる。

$$p(S, E_1, E_2 | I_1, I_2) \propto p(I_1 | S, E_1) p(I_2 | S, E_2)$$

$$p(S) p(E_1) p(E_2)$$

右辺第 1 項・第 2 項は真の観測値が与えられた際に実際に観測される値のもっともらしさ、すなわち画像ノイズの影響を表す。右辺第 3 項以降は物体表面色、屋外光源色の事前確率を表し、屋外光源色分布の局在性、および物体表面色、屋外光源色の空間的依存性を表すことになる。

画像ノイズは、主に 1. 光子・電子のフォトン性に起因するノイズ (通常ポアソン分布で近似される)、2. CCD センサに起因するノイズ、3. カメラレスポンス関数などの信号処理に起因するノイズ、の 3 つの要因が考えられる。いたずらに複雑なノイズモデルは最尤推定問題を扱いにくくなるため、真の観測値ごとに平均・分散の異なるガウス分布を利用してモデル化した。

屋外光源色分布の局在性は、実際の屋外光源色を白色板を用いて計測して、モデル化した。ノンパラメトリックな確率分布の表現法であるカーネル密度推定法を利用した。

物体表面色および屋外光源色分布の空間的依存性に関しては、近接画素の画素値の差分がガウス分布で近似できるとした。このアイデアはマルコフ確率場 (Markov Random Field: MRF) を利用したノイズ除去等でよく利用される。

## 最適化

基本的に確率密度分布  $p(S, E_1, E_2 | I_1, I_2)$

を最適化することで、物体表面色および屋外光源色を推定することができる。しかし、パラメータ空間が非常に大きいため、さまざまな工夫が必要となる。

一般に非線形最適化において、適切な初期解を設定することは、最適化にとって有利に

働く。もちろんパラメータ数が少な異問題は扱いやすい。

そこで、1. 空間的依存性を含む項の影響を無視して最適化をおこない、2. それを初期解として元来の問題の最適化をおこなう、という 2 段階の方法を提案する。空間的依存性を含む項を除去することで、各画素ごとに計算することができるため、計算の独立性を高め、それぞれの最適化におけるパラメータ数を減らすことができる。最適化には滑降シプレックス法を用いた。その後、元来の確率密度関数の最適化には Iterated Constraint Maximization (ICM) 法を用いた。

## 4. 研究成果

真の表面色が別の方法で推定できる状況で画像を撮影し、真値と比較することで従来手法と比較した。異なる光源下で撮影した 10 枚の画像 (300x200) セットを用いて表面色推定実験をおこなった。実験に用いたテスト画像の例を図 1 に示す。また、図 2 に表面色を推定した結果の一例を示す。図 2 の上段が入力画像、中段が表面色の推定結果である。中段の上から Finlayson ら、Kawakami ら、提案手法 (空間的依存性なし、あり) による推定結果、下段が表面色の真値である。真値と見た目が近けれ正しく推定されたといえる。また推定値と真値との平均誤差を数量化したものを表 1 に示す。平均誤差の値が従来法に比べて小さいことから提案手法は先行研究よりも 5 倍程度、正確に表面色を推定できることが判明した。



図 1. 実験に用いた画像の例

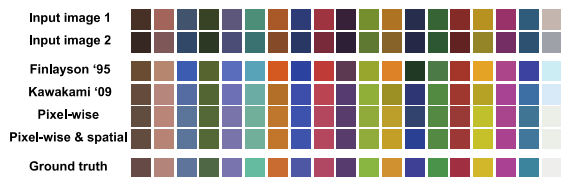


図 2. 推定結果のビジュアル化

表 1. 推定結果の比較

	平均誤差 [deg]
Finlayson	19.4
Kawakami	11.3
提案手法 (空間的依存性なし)	8.4
提案手法 (依存性あり)	5.7

この結果をまとめて、コンピュータビジョン系の最も著名な国際会議 CVPR2010 投稿し、見事採録され、実際に研究内容を発表し、大きな反響が得られた。

本研究の目的で述べた仮想現実感のための実物体モデリングへの適用はもちろんのこと、例えば屋外ロボットのためのリアルタイム物体認識、正確な色みの判断に基づく農作物収穫ロボットへの応用などが期待される。

今後は、より汎用性の高い単一画像からの表面色推定のための手法の構築をおこなっていききたい。単一画像からの推定は不良設定問題であるため、その解決のためには何らかの前提知識が必要となる。屋外光源色の分布の局在性のように、問題解決のために利用できる、元来自然界が有している事前知識とは何であるのか、それをどのように定式化すればいいのかを明らかにしたい。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

① Shun Hirose, Tsuyoshi Suenaga, Kentaro Takemura, Rei Kawakami, Jun Takamatsu, and Tsukasa Ogasawara, "Surface Color Estimation Based on Inter- and Intra-Pixel Relationships in Outdoor Scenes," CVPR, 2010. 6. 15, サンフランシスコ, 米国.

② 廣瀬 駿, 末永 剛, 竹村 憲太郎, 川上 玲, 高松 淳, 小笠原 司: "空間的依存性を用いた屋外光源化における物体表面色の推定", 第 13 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2010), OS9-1, 2010. 7. 28, 北海道釧路市.

[図書] (計 1 件)

① 高松 淳, 日浦 慎作, 長原 一, 富永 昌治, 向川 康博: "コンピュータビジョン最先端ガイド 4", OplusE, 総 156 ページ, 2012.

[その他]

ホームページ等

<http://robotics.naist.jp/~j-taka/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

高松 淳 (Takamatsu Jun)

(奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授)

研究者番号 : 90510884