

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：34529

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11877

研究課題名（和文）スマートフォンによるマルチバンドイメージングとアピランス編集への応用

研究課題名（英文）Smartphone-Based Multiband Imaging and Application to Appearance Editing

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・准教授

研究者番号：50590410

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、スマートフォンを用いたマルチバンドイメージングシステムの試作・提案を行った。

そのために、まず市販されているスマートフォン20機種のカメラの分光感度データベースの構築を行った。構築した分光感度のデータベースは <https://ohlab.kic.ac.jp/> にて公開されている。次に、アクティブ光源として、Luxeon Star LEDs社製の7色の高輝度LEDとマイコンボードArduinoを使い、小型の7色LED光源システムを試作した。最後に、構築したLED光源システムを使って撮影された画像から、線形演算による新しい分光反射率推定法を提案し有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

取得する機材の価格や可搬性の低さから、分光情報の実用的価値が認められにくいという大きな問題が背景として存在していたが、本研究の成果は、広く普及しているスマートフォンと、安価なLED照明によって容易かつ気軽に分光画像情報を取得できる第一歩となったと考える。また、取得された分光情報は、農業や医療、芸術など、一般的かつ実用的な用途への幅広い応用が期待できるため、スマートフォンという身近な機器とのシナジーによって、社会的にも大きなインパクトを持つと考えている。

研究成果の概要（英文）：In this study, we prototyped a multi-band imaging system using smartphones. First, we constructed a spectral sensitivity database for the cameras of 20 commercially available smartphone models. The obtained spectral sensitivity database is available at <https://ohlab.kic.ac.jp/>. Next, as an active light source, we prototyped a compact 7-color LED light source system using high-brightness LEDs and the Arduino. Finally, we proposed a new spectral reflectance estimation method based on linear calculations and confirmed its effectiveness by analyzing images captured using the constructed LED light source system.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：マルチバンドイメージング 分光計測 分光画像

1. 研究開始当初の背景

RGB カメラが広く一般的となった近年において、分光画像の必要性がコンピュータビジョン研究をはじめ多くの分野で高まっている。その理由の一つとして、R, G, B 3 バンドのカメラでは我々人間の持つ等色性および色恒常性の再現が不可能であることが挙げられる。また、物体表面や照明分布の解析などを目的として、分光画像そのものを獲得する必要性が出てきたためである。

従来、物体の分光反射率をはじめとする分光情報を正確に獲得するためには、分光放射輝度計や分光測色計などの専門的な機器が必要であった。これらの機器は高額で可搬性が低いという問題があるほか、シーン中の一点の分光情報しか獲得できないという大きな問題があった。分光情報を獲得したい対象ごとに機器の方向やフォーカス合わせが必要であり、当然ながらシーン全点の分光情報を求めることはできない。この問題を解決するため、カメラにフィルタを組み合わせることによるマルチバンド化の研究が進められている。カメラはシーン全点を獲得できるが、フィルタの設計や選択が容易ではなく、光放射輝度計や分光測色計と比較すると精度が劣るという問題がある。また、可搬性の面においても改善の余地が残されている。その後、フィルタをカメラ側に持たせることには原理的な限界があるため、光源側に分光情報を持たせた波長プログラムブル光源と高速モノクロカメラによる実時間マルチバンドイメージングシステムの研究が行われた。当該システムは、フィルタに関わる諸問題を解決しつつ、シーン全体の分光情報を実時間で獲得することを実現した。一方で、システムが高価になり、野外に持ち出して気軽に対象の分光情報を獲得するといったことは難しい。

2. 研究の目的

本研究では、光源側を制御することでマルチバンド化するというアクティブ分光イメージング手法を採用し、スマートフォンと小型の LED リングアレイ型照明を組み合わせることで、手軽に対象の分光情報を獲得する携帯型マルチバンドイメージングシステムの開発を目的とする。

背景でも述べたように、従来のカメラを用いたマルチバンドイメージ系では、デジタル一眼レフカメラと狭帯域フィルタを利用することで分光画像を獲得することができるが、狭帯域フィルタを切り換えて複数回撮影しなければならないため、画像の獲得に時間がかかり、S/N 比も低下するなどの問題が生じる。システムは持ち運びが不可能ではないが、決して気軽に撮影を行えるものではない。波長プログラムブル光源と高速モノクロカメラによる実時間マルチバンドイメージングシステムはフィルタに関わる物理的問題を解決したが、分光画像の実利用を考えた場合には、システムが高価であることと、可搬性において解決すべき課題が残されている。

そこで、本研究では、一般的なスマートフォンでの撮影時に、安価な LED リングアレイからの照明光を高速に切り替えて撮影し、手軽に分光画像を得ることが可能となる新しい携帯型マルチバンドイメージングシステムの試作を検討する。提案システムは、これまで必須とされていた分光画像取得のための煩雑な手順・準備を必要とせず、誰もが容易に持ち運べて分光画像を取得できる。また、ハードウェアとしては非常に安価な LED リングアレイ型照明の追加のみで、物理的なフィルタの制約も受けないという特徴を持つ。

3. 研究の方法

アクティブ光源の試作として、Luxeon Star LEDs 社製の 7 色 LED を使用し、Arduino にて制御を行う。スマートフォンで分光画像を獲得するにあたっては、各端末の分光感度を知る必要がある。そのため、スマートフォン 20 機種のカメラ分光感度を推定し、データベース化する。得られた分光感度を利用して、スマートフォンで撮影した画像から分光反射率を推定する新しい手法の提案を行う。

4. 研究成果

(1) スマートフォンの分光感度データベース

市販されているスマートフォン 20 機種のカメラ分光感度データベースの構築および公開を行った。本研究で対象としたスマートフォンの機種を表 1 にまとめる。撮影フォーマットは Adobe の DNG 形式で、ISO 感度は 100、ホワイトバランスは白熱灯に固定された。シャッタースピードは、飽和しないよう適宜調整した。また、レンズを完全に覆った状態で撮影したオフセット画像を撮影画像から引くことで、暗電流成分を除去した。使用したカメラのビット深度は 10 ~ 12 ビットの範囲である。

カメラの分光感度推定のためには、単色光を生成する必要がある。本研究では、キセノンランプとモノクロメータ (SPG-100) からの単色光を拡散板に投影する方法と、プログラムブル光源 (OL490) からの単色光を拡散反射標準板 (Spectralon) に投影する 2 種類の方法がとられた。それらを、スマートフォンおよび分光放射輝度計 (CS-2000) で計測し、スマートフォンカメラの分光感度の推定を行った。構築した分光感度のデータベースは <https://ohlab.kic.ac.jp/> にて公開されている。図 1 に iPhone 6s, iPhone 8, および Huawei P10 lite の分光感度例を示す。

表 1 使用したスマートフォン 20 種

メーカー	モデル名	イメージセンサ
Apple	iPhone 6s	Sony IMX315
Apple	iPhone SE	Sony IMX315
Apple	iPhone 8	Sony IMX315
Apple	iPhone X	Sony IMX315
Apple	iPhone 11	Sony IMX503
Apple	iPhone 12 Pro MAX	Sony IMX603
HUAWEI	P10 lite	Sony IMX214
HUAWEI	nova lite 2	Unknown
Samsung	Galaxy S7 edge	Samsung ISOCELL S5K2L1
Samsung	Galaxy S9	Samsung ISOCELL S5K2L3
Samsung	Galaxy Note10+	Samsung ISOCELL S5K2L4
Samsung	Galaxy S20	Samsung ISOCELL S5KGW2
SHARP	AQUOS sense3 lite	Unknown
SHARP	AQUOS R5G	Infineon Technologies IRS2381C
Xiaomi	Mi Mix 2s	Samsung ISOCELL S5K3M3
Xiaomi	Redmi Note 9S	Samsung ISOCELL S5KGM2
Sony	Xperia 1 II	Sony IMX557
Sony	Xperia 5 II	Sony IMX557
Fujitsu	Arrows NX9	Unknown
Google	Pixel 4	Sony IMX363

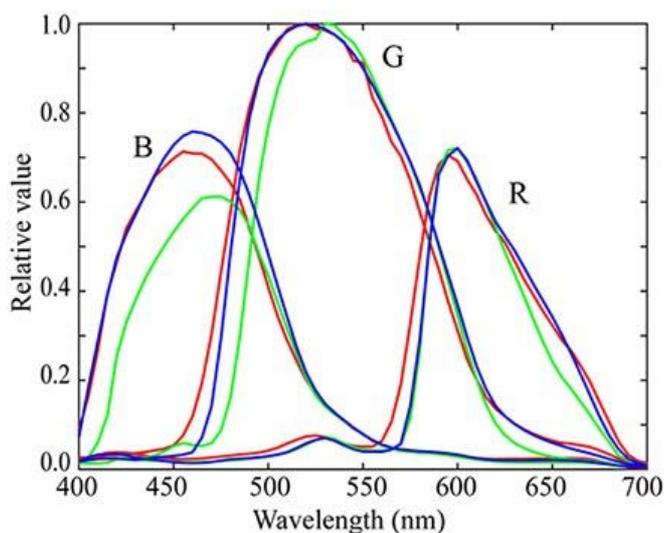


図 1 スマートフォン 3 機種のカメラ分光感度例

(赤 : iPhone 6s, 青 : iPhone 8, 緑 : Huawei P10 lite)

(2) 小型アクティブ LED 光源の試作

アクティブ光源として、図 2 に示す簡易な小型 LED 光源システムを試作した。LED は土台となる Luxeon Star LEDs 社製の SinkPAD-II 40mm Round Base 上に、7 色の高輝度 LED として、Royal Blue (LXML-PR02-A900), Cyan (LXML-PE01-0070), Green (LXML-PM01-0100), Lime (LXML-PX02-0000), PC Amber (LXM2-PL01-0000), Red (LXM5-PD01), および Deep Red (LXM3-PD01) を

配置した LED の電源としては 9V 角形電池を使用し，一部を 5V に降圧した上で制御用の Arduino へも電源供給した．各色 LED の分光特性を図 3 に示す．

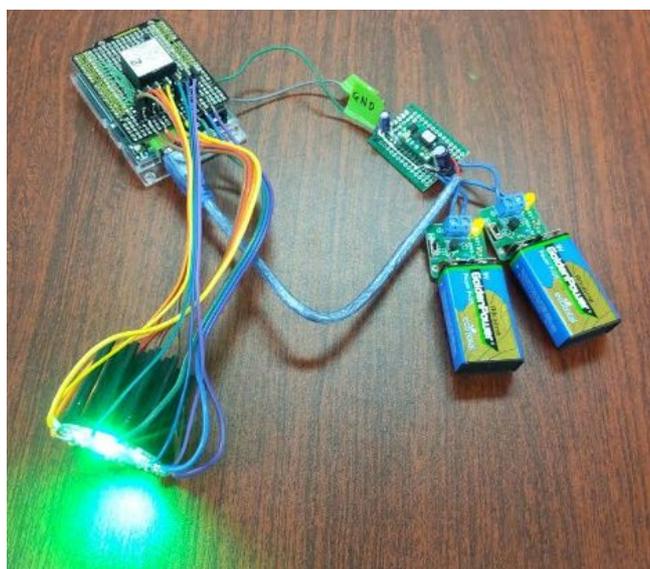


図 2 自作 7 色 LED 光源外観

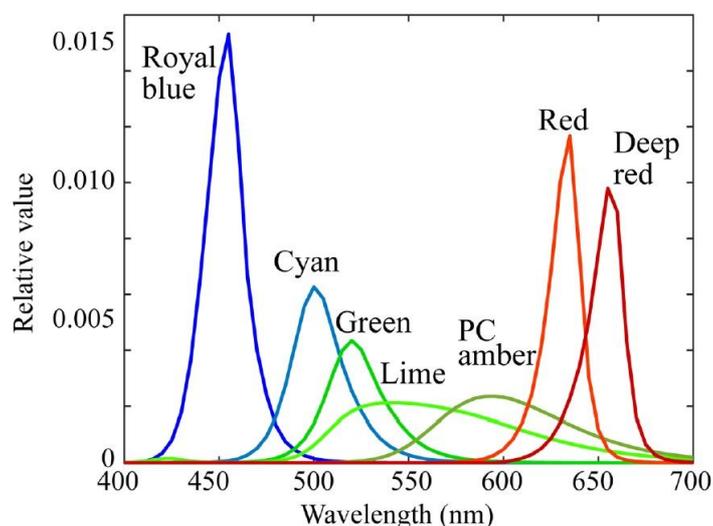


図 3 各色 LED の分光特性

(3) 分光反射率推定手法の提案

本研究では，新たな分光反射推定法として，LMMS 推定法 (Linear Minimum Mean-Square Estimator) を提案した．一般に，物体の分光反射率の測定には，分光光度計や分光放射輝度計などの特別な機器が利用される．しかし，これらは物体表面の任意のスポットしか測定することができない．そこで，画像から分光反射率を推定する手法が研究されている．線形演算を利用する手法としては Wiener 推定が知られているが，本研究ではより一般化された線形推定手法として LMMS 推定法の提案を行い，Wiener 推定および主成分分析を利用して推定を行う PCA 手法と推定精度の比較実験を行った．スマートフォン 3 機種 (iPhone 6s, iPhone 8, Huawei P10 lite) と作成した 7 色 LED 光源を用い，カラーチェッカーを撮影対象とした推定実験の結果，提案手法の優位性を確認した．図 4 に iPhone 6 を対象とした各手法の分光反射率推定結果例を示す．

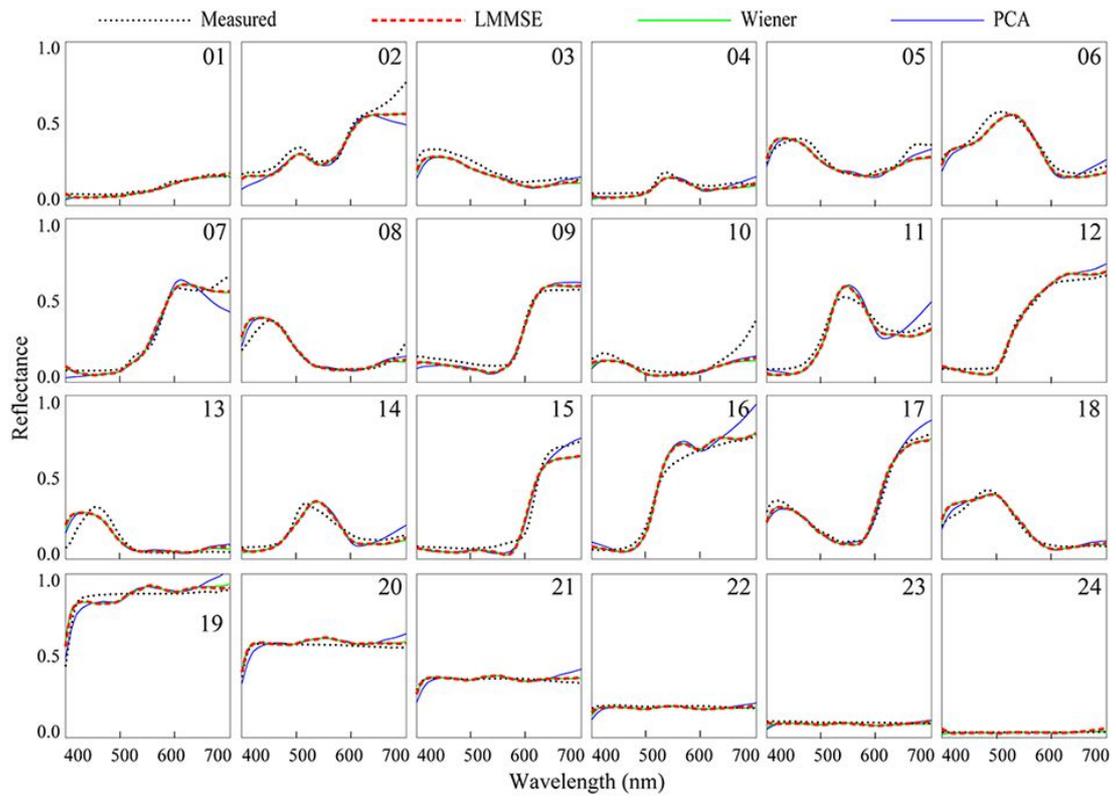


図 3 24 色カラーチェッカーに対する分光反射率推定結果例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tominaga Shoji, Nishi Shogo, Ohtera Ryo	4. 巻 21
2. 論文標題 Measurement and Estimation of Spectral Sensitivity Functions for Mobile Phone Cameras	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4985 ~ 4985
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21154985	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tominaga Shoji, Nishi Shogo, Ohtera Ryo, Sakai Hideaki	4. 巻 39
2. 論文標題 Improved method for spectral reflectance estimation and application to mobile phone cameras	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Optical Society of America A	6. 最初と最後の頁 494 ~ 494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/JOSAA.449347	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Tominaga Shoji, Nishi Shogo, Ohtera Ryo
2. 発表標題 Estimating Spectral Reflectances Using Mobile Phone Cameras
3. 学会等名 Proc, IS& T/SPIE Symposium on Electronic Imaging (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Tominaga, S. Nishi, R. Ohtera
2. 発表標題 Estimating Spectral Sensitivities of a Smartphone Camera
3. 学会等名 IS& T/SPIE Symposium on Electronic Imaging (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	富永 昌二 (Tominaga Shoji) (10103342)	長野大学・企業情報学部・研究員 (23602)	
研究 分担者	西 省吾 (Nishi Shogo) (70411478)	大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授 (34412)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------