

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：34412

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870725

研究課題名(和文) 高速波長可変光源を利用した実時間分光計測と分光画像表示システムの構築

研究課題名(英文) Real-time Spectral Measurement using Programmable Light Source and Construction of Spectral Image Display System

研究代表者

西 省吾 (NISHI, SHOGO)

大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授

研究者番号：70411478

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：物体表面の分光反射特性の計測では、波長分解能と計測時間とのトレードオフが問題であった。本研究ではこの問題を解決するために、モノクロカメラと波長プログラマブル光源を用いた高速な分光撮影システムを構築した。また照明光分光分布の較正方法を確立した。この較正方法により、分光感度が未知のカメラも分光撮影システムに組み込むことが可能となった。さらにデジタルマイクロミラーデバイスと波長プログラマブル光源による分光画像表示システムの構築にも取り組み、分光情報の取得から表示までのシステム構築を目指した。

研究成果の概要(英文)：In the measurement of the spectral reflection characteristics of an object surface, a trade-off between the wavelength resolution and the measurement time becomes a problem. In this research, a high-speed spectral imaging system using a monochrome camera and a programmable light source was constructed to solve this problem. Moreover, a calibration method for the spectral distribution of illumination was established. By this calibration method, it becomes possible to use a camera spectral sensitivity is unknown in the spectral imaging system. In addition, the construction of a spectral image display system consists of the digital micromirror device and a programmable light source was tried, it aimed to develop the acquisition and display system of the spectral information.

研究分野：色彩情報処理

キーワード：高速波長可変光源 DMDモジュール 波長可変照明システム 分光計測 分光画像表示システム

1. 研究開始当初の背景

近年、シーン情報の取得や解析の際に物体の表面反射特性を分光的に扱う、分光画像処理に注目が集まっている。表面反射特性は分光反射率による色彩情報のほか、三次元的な光反射による物体表面の質感などを視覚刺激として観測者に与えるため、色彩工学やコンピュータービジョン、コンピューターグラフィックスなど、様々な分野で有益な情報となっており、分光画像処理により詳細かつ高精度で解析することが非常に重要視されている。分光情報の獲得のために、カラーフィルタを複数枚用いて画像を取得するシステムや、フィルタの帯域幅を物理的または電子的に制御することで得られる狭帯域フィルタを用いて波長分解能を高めたシステムなど、幾つかの手法が既に提案されているが、波長分解能を高めるためには多くの撮影回数を要するため、分光情報の推定精度と計測時間はトレードオフの関係になる問題があった。また表示デバイスの高性能化に伴い、映像情報は RGB フルカラーで表現することが一般的となってきたが、波長レベルで色調整や出力を行うデバイスはまだ存在しない。そのため分光情報を高精度で推定しても、最終的な出力は RGB の三次元情報に落とさざるを得ない問題もあった。

2. 研究の目的

本研究では、波長分解能と計測時間とのトレードオフの問題を解決し、物体の表面反射特性を分光的に獲得することと、分光的な色表示システムの実現を目指し、高速な分光撮影システムと分光画像情報のための表示装置の構築を目的とした。

3. 研究の方法

従来の計測時間を短縮し、なおかつ高精度で計測を行うシステムを平成 26 年度に構築する。そのために (1) 高速度カメラと波長プログラマブル光源とを用いて分光撮影を行う。波長プログラマブル光源は任意の分光分布を生成できるので、撮影に適した分光分布を実験的に決定する。つぎに高速度カメラと波長プログラマブル光源の同期をとり、実時間分光撮影システムを構築する。(2) 波長プログラマブル光源に使用されるキセノンランプの分光特性や、一般的なカメラの分光感度特性などを考慮し、波長プログラマブル光源による照明光分光分布の較正方法を確立することも併せて検討する。

平成 27 年度は、前年度構築した計測システムのデータを用いて、(3) 波長プログラマブル光源と DMD モジュールを利用した分光画像表示システムを構築する。画面のちらつき抑止やフレームレートの最適化等を行い、高色忠実再現のための較正法を確立する。市販ディスプレイと比較検証を行い、本研究の有意性を実験的に確認する。

(1) 高速な分光撮影システムの構築

計測時間を短縮し、なおかつ高精度で物体表面の分光情報を取得するには、高速に動作する高速度カメラが必要となる。さらにこれまで帯域フィルタを交換することでカメラ側で分光情報を得ていたが、光源側で分光を行う手法を検討する。そのために高速波長可変光源を利用する。波長プログラマブル光源は出力光の分光分布を自由かつ高速に制御できるため、高速度カメラと組み合わせれば計測時間の短縮が可能となる。

(2) 照明光分光分布の較正

波長プログラマブル光源は、内部の回折格子と DMD によってキセノンランプから放射される光を波長レベルで制御が可能であり、ユーザーは波長、帯域、光強度を指定することで所望の分光分布を持つ照明光を設計することができる。それゆえ、カメラ出力が平坦になるような分光分布を有する照明光を波長可変光源で設計し計測対象を照射すれば、カメラ出力からは対象の表面分光反射率に比例した情報を得ることが可能となる。上記を満足するには、カメラ感度の逆数と等価な照明光分光分布を狭帯域な照明光群で構成すれば可能となる。

(3) 分光画像表示システムの構築

高速波長可変光源と DMD モジュールを用いて分光画像表示システムを構築する。通常の数倍のフレームレートで高速波長可変光源の分光分布を切り替えしつつ、それに同期して DMD の画面更新を行うことで高彩色かつ分光的な映像を表示できる。DMD モジュールとは別に透過型液晶ディスプレイモジュールを用いることも考えられるが、画面更新の点で DMD モジュールが優れているため、透過型液晶ディスプレイモジュールの使用は本研究では見送った。

4. 研究成果

(1) 高速な分光撮影システムの構築

波長プログラマブル光源と高感度モノクロカメラ、ならびにロッドレンズとテレセントリック均一照明ユニットから構成される分光撮影システムを構築した。波長プログラマブル光源からの出力光は期待していた光量が得られず、特に短波長では十分な照明光を対象に照射出来ないと判断したため、当初の予定を変更し、高感度カメラの購入に切り替え、分光撮影システムを構築した。また照明ムラが顕著に現れる問題点も明らかになったので、照明ムラの較正のために均一照明ユニットをシステムに組み込み、照明光の精度を高めた。

(2) 照明光分光分布の較正

本研究におけるカメラ出力モデルは、照明光分光分布と対象の表面分光反射率、そしてカメラの分光感度を可視光領域で積分する、

最も一般的なモデルを想定した。このモデルから目的の表面分光反射率を得るためには幾つかの手法があるが、本研究では波長プログラマブル光源を用いて、例えば図1に示すような任意の狭帯域照明光群を作成し、この狭帯域照明光群を物体に照射することで物体の表面分光反射率を取得する手法を構築した。作成した狭帯域照明光群のそれぞれの単色光は、帯域幅 10nm, つまり 31 組の狭帯域光で可視光域を 10nm 間隔で照明する。

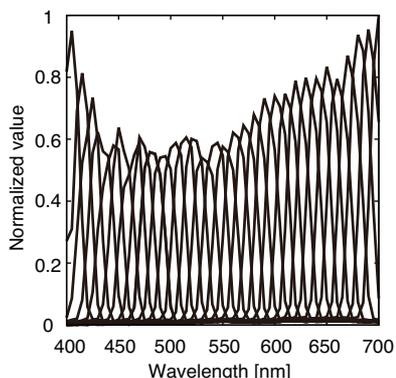


図1 生成した狭帯域照明光群

本研究で想定するカメラ出力モデルは上述したとおりであるが、このとき、照明光分光分布とカメラの分光感度の積が平坦になるような分光分布を有する照明光を波長プログラマブル光源で設計し、照射すれば分光反射率に相当するカメラ出力が得られる。上記を満足するには、カメラの分光感度の逆数と等価な照明光分光分布を狭帯域な照明光群で構成すれば可能となる。図1に示した狭帯域照明光群の分光分布はその一例である。精度よく狭帯域照明光群を構成できれば、狭帯域光のピークの推移がカメラ感度の逆数に比例した分布となる。

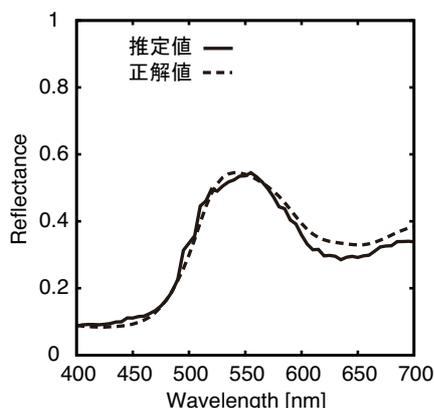
この推定手法では、カメラの分光感度の逆数に比例した分光分布を狭帯域照明光群でどれだけ正確に構成できるかに推定精度が依存する。本研究で用いた波長プログラマブル光源の光強度の線形性は期待したほど高くないため、この較正処理を繰り返し行うことでカメラの分光感度の逆数と等価な照明光分光分布を設計した。またこの較正方法の確立により、従来の分光反射率推定手法で必須であったカメラの分光感度データは不要となり、分光感度が未知のカメラでも容易にシステムに組み込むことができるようになった。

上記の手順で設計した狭帯域照明光群を計測対象 (X-Rite ColorChecker クラシック) に照射し、その時のカメラ出力を示したものが図2の各結果である。(a)から(c)のサブタイトルはカラーチェッカーの色票番号とその名称を表している。また、図中の実線はカメラ出力値、つまり分光反射率の推定値を表しており、点線は分光放射輝度計による実測値である。いずれの結果も非常に高精度

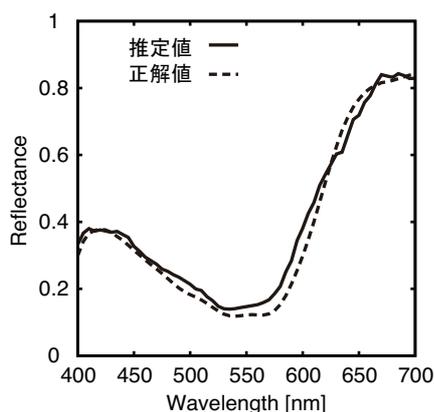
で分光反射率の推定が行われていることが確認できた。懸念された短波長帯域での推定精度も良好な結果を得たが、逆に長波長帯域での精度がやや劣る結果も見られた。原因究明とその対策を現在も継続中である。

(3) 分光画像表示システムの構築

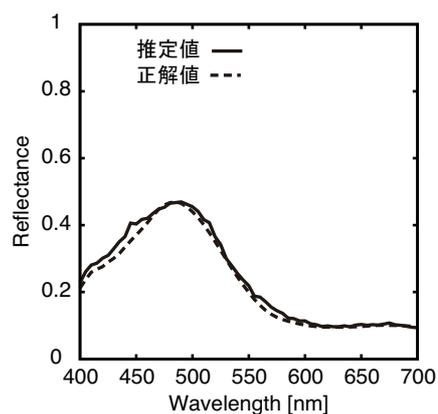
表示システムには撮影時に使用する波長プログラマブル光源とデジタルマイクロミラーデバイス(DMD)を利用する。つまり、1フレーム内に波長プログラマブル光源からの分光放射輝度分布を高速に変化させ、それと同期してDMDの各画素の階調を制御することで高忠実な映像を表示できる見通しであり、現在も引き続き実験を継続中である。またこのシステムでは、均一画像のみならず任意のパターンを表示できるため、分光撮影システムの照明として利用できると考えられる。それゆえ、パターン照明による分光撮影システムのための最適な照明光群も併せて検討中である。



(a) No. 11-Yellow green



(b) No. 17-Magenta



(c) No. 18-Cyan

図 2 計測結果

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)

[学会発表] (計 1 件)

西省吾, 来海暁, 土居元紀, 富永昌治 “波長可変照明システムによる分光反射率推定手法の検討”, 平成 27 年度日本色彩学会関西支部大会, 大阪電気通信大学 (大阪), 2016 年 3 月 5 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西省吾 (NISHI, SHOGO)

大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授

研究者番号: 70411478