

令和元年6月6日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00230

研究課題名(和文) 分光立体動画の入出力システムの開発

研究課題名(英文) Development of Input-Output System for Spectral Video

研究代表者

眞鍋 佳嗣 (Manabe, Yoshitsugu)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：50273610

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年，教育分野における情報通信技術の利活用が推進され，様々な情報通信技術が教育現場で使われている．しかし，一般の映像提示装置は基本的にRGBの三原色であり，正確な色の撮影や表示が困難である．

本研究では，現実世界の色彩情報に近い立体映像の撮影から処理，提示までの一連の流れを可能とする分光立体動画の入出力システムの開発を目的として研究を行なった．撮影は12バンドの同時撮影可能なカメラを利用し，ダイナミックレンジの拡張および拡張処理時に生じる擬似輪郭の軽減を行なった．提示には，6バンドのプロジェクタを利用し，分光画像および12バンドカメラからの出力値から6バンドの信号への変換を実現した．

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年，教育分野における情報通信技術の利活用が推進されるようになってきているが，一般の映像提示装置は基本的にRGBの三原色であり，我々が見ている色彩と必ずしも一致しない．また，立体提示によるリアルな情報提示も教育に重要な要素であると考えられる．本研究では，現実世界の色彩情報に近い立体映像の撮影から提示までを可能とする分光立体動画の入出力システムの開発を行った．このシステムにより，色や形を正確に再現できるようにすれば，理科や美術などの教科において効果的な教育が可能になると考える．

研究成果の概要(英文)：In recent years, a device that can present a three dimensional image is becoming inexpensive. We can enjoy a three dimensional image at home. However, shoot and reproduction of an accurate color is difficult because of the insufficient color gamut by RGB primary colors.

This research is aimed to develop input/output system of 3D spectral video which can process from shoot to display. We used 12 bands camera to input spectral video, and realized to expand dynamic range and reduce false contour. On the other hand, we used 6 bands projector to display 3D spectral video, and realized to convert to 6 bands signals from spectral information or signals of 12 bands camera.

研究分野：画像計測

キーワード：分光画像 立体画像 ハイダイナミックレンジ 色再現

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、教育分野における情報通信技術の利活用が推進され、様々な情報通信技術が教育現場で使われるようになってきている。特に映像提示装置は、計算機の操作画面としてだけでなく、映像コンテンツの表示にも不可欠である。しかしながら、一般の映像提示装置は基本的に RGB の三原色であり、我々が見ている色彩と必ずしも一致しない。また、立体提示によるリアルな情報提示も教育に重要な要素になると考えられる。もし、色や形を正確に提示できる映像システムがあれば、様々な教育分野での応用が可能となる。

例えば玉虫やモルフォ蝶などは、羽が特殊な構造をしており、構造色が観察される。しかし、二次元的な表現では繊細な色の変化を表現する事は難しく、また、通常の RGB では正確な色の再現は困難である。さらに、絵画のデジタルコンテンツにしても、色再現が重要であり、やはり RGB では正確に表現する事はできない。このように、色や形を正確に再現できる映像提示システムを教育現場で利用できれば、理科や美術などの教科において効果的な教育が可能になると思われる。

このため本研究では、色と立体形状を取り上げ、現実の世界の色および三次元情報と同等の記録および提示ができる分光立体動画像の入出力システムの開発を行った。

2. 研究の目的

画像入力システムとして、まず色に関しては、これまでに濃淡画像から RGB カラー画像、そしてマルチチャンネル画像と分光画像の入力が可能なシステムが提案されている。これにより、より実物に近い色の記録が可能となってきている。また、立体映像の入力に関しても、ステレオカメラから多眼カメラ、さらにはライトフィールドカメラのように進歩しており比較的手軽に立体映像の入力が可能となっている。しかしながら、分光画像の入力では、まだ静止画のものがほとんどであり、分光動画像の撮影には課題が多くある。さらに分光画像のステレオ撮影もほとんど研究がされていない。

一方、映像提示システムとしては、シャープ株式会社平成 22 年に RGB 三原色に黄色を加えることで、テレビで表現できる色域を広げより自然な色の再現が可能な液晶テレビを販売している[1]。多原色表示技術は放送・通信機構（現情報通信研究機構）の直轄研究であったナチュラルビジョン・プロジェクトにおいて研究[2]されたが、現在は研究がほとんどされていない。立体表示技術に関しては、偏光眼鏡方式や液晶シャッター眼鏡方式など様々な方式が実用化され、テーマパークや映画館で広く使われている。さらに平成 22 年が 3D テレビ元年と言われたように、家電メーカー各社から立体表示可能なテレビやパソコンが売り出された[3]。

しかしながら、立体映像と多原色を組合せた映像提示システムの研究は、世界的に見ても取組まれておらず、本研究では、現実世界の色彩情報に近い立体映像の撮影から処理、提示までの一連の流れを可能とする分光立体動画像の入出力システムを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、分光立体動画像の入力（撮影）と出力（提示）のシステムを実現することで色再現域の広い立体映像の提示を可能にすることを目的とした。そのために、以下の3点について研究を行った。

(1) 12 バンドカメラの改良と分光立体動画像の入力システムの開発

分光立体動画像の入力システムとしては、これまでに我々の研究グループで提案している RGB カメラと CMY フィルタを用いた 12 バンドカメラを利用した[4]。このカメラでは特殊なプリズムを利用した光学系を用いており、12 バンドの撮影を同時に行うことで分光動画像の撮影を可能としている。しかし、光沢の強い物体では画素値が飽和して正しく計測できない、という問題があった。そのため、この入力システムの分光分布推定において 12 バンドと 9 バンドでの性能比較を行い、推定性能に差がないことを確認した上で、ダイナミックレンジの拡大手法の検討を行った。具体的には、CMY フィルタを装着していないカメラ本来の RGB 画像に対して ND フィルタを装着することによって、輝度値の高い箇所を正確に計測することが可能となり、ダイナミックレンジを広げる HDR 処理を可能とした。また、HDR 処理により擬似輪郭が生じたため、CMY 画像の輝度値を露出に対して滑らかに変化させる平滑項を導入し、最適化手法の一つである共分散行列適用進化戦略(CMA-ES)を用いる方法を検討した。

(2) 2 台の 3D プロジェクタの同期提示による色再現の改良

分光立体動画像の出力システムとしては、「教育用映像コンテンツ提示のための多原色立体提示システムの開発」(2013~2015 年度：基盤(C)(一般))で研究開発を行った、2 台の 3D プロジェクタとノッチフィルタを用いた色再現域の広い立体映像提示システムを利用した[5]。RGB 表示よりも色域が広い立体提示が可能になっているが、さらに、正しい色再現を可能とするためのデータの処理手法を検討した。具体的には、分光情報から 2 台のプロジェクタに入力する 6 原色のデータへの変換方法に、共分散行列適用進化戦略(CMA-ES)を用いる方法を検討した。

(3) ステレオ分光画像の実時間表示のための処理方法の検討

本研究で扱う画像データは分光画像である。また、立体表示を行うために、それぞれの原色(本

研究では6色を想定)ごとに立体視用の視差のついた左右の映像が入力される。これらの映像を時間遅れなく提示するために、分光情報から各原色への高速な変換方法の開発が必要となる。(2)の色再現の改良では、分光画像から2台のプロジェクタの6原色への変換を行ったが、本研究で用いるカメラから直接プロジェクタに入力することを考えると、一度、分光情報に変換し、そして6原色にさらに変換するという処理の流れは冗長である。そこで、カメラの出力12バンドのうちND画像を除いた9バンドから直接6原色のデータへの変換に共分散行列適用進化戦略(CMA-ES)を用いる方法を検討し、高速化を目指した。

4. 研究成果

本研究で使用した、12バンドカメラおよび3D分光プロジェクタを図1, 2にそれぞれ示す。



図1 12バンドカメラ



図2 3D分光プロジェクタ

12バンドカメラには、CMYフィルタとNDフィルタをレンズとCCDカメラの間の光学素子内部に装着でき、CCDカメラのRGBと合わせて12バンドの同時撮影が可能となっている。

また、3D分光プロジェクタでは、同じプロジェクタに光学特性の異なるノッチフィルタを装着することで、6バンドの投影が可能となっている。

(1) 12バンドカメラの改良と分光立体動画の入力システムの開発

まず、12バンド全てで分光情報を推定する場合と、NDフィルタの画像を除き9バンドで分光情報を推定する場合での推定精度を比較したところ、X-rite カラーチェッカーの24色に対して、平均二乗誤差が12バンドで 1.38×10^{-5} 、9バンドで 1.54×10^{-5} と若干精度が悪くなるものの9バンドで十分な推定精度が得られることが確認できた。

次に、NDフィルタ画像を用いたダイナミックレンジの拡大について確認した(図3)。カメラのシャッタースピードを変えながら撮影し、HDR処理を行わなかった場合(灰色)、NDフィルタの画像とCMYフィルタ画像との輝度値の比を用いた場合(水色)、そして各フィルタ画像で分光分布を推定しその比を用いた場合(赤色)を比較した。その結果、分光分布から比を求める手法が、輝度値に対して出力値が線形となっており、最も精度が良いことがわかった。

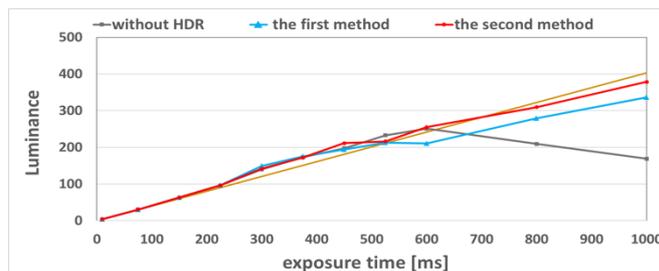
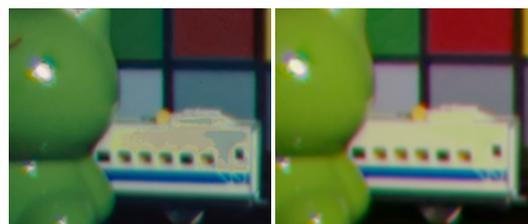


図3 ダイナミックレンジの拡大

さらに、HDR処理によって生じた擬似輪郭を軽減するために、輝度値を露出に対して滑らかに変化させる平滑項を導入し、共分散行列適用進化戦略(CMA-ES)を適用したところ、図4のように提案手法により擬似輪郭の発生を軽減することが可能となった。



(a) 従来手法 (b) 提案手法

図4 擬似輪郭の低減

このように、本研究により12バンドカメラを用いて、色再現の向上ならびにダイナミックレンジの拡大を実現することができた。

(2) 2台の3Dプロジェクタの同期提示による色再現の改良

教育用映像コンテンツ提示のための多原色立体提示システムの開発」で研究開発を行った、2台の3Dプロジェクタとノッチフィルタを用いた色再現域の広い立体映像提示システム[5]では、RGBより色域が広がることを確認したが、分光情報から2台のプロジェクタに入力する6バンドに変換する手法に関しては、まだ検討の余地があった。そこで、共分散行列適用進化戦略(CMA-ES)を用いて変換行列を求める手法を試みた。この手法では、分光情報を一度2つのXYZ値に変換し、その後、プロジェクタのガンマ特性などを考慮した信号値に変換した。この結果、ラグランジュ法を用いた従来手法での平均色差9.37に対し、提案手法では4.35となり分光情報から6バンドの信号値への精度の高い変換を実現できた。

(3) ステレオ分光画像の実時間表示のための処理方法の検討

上記(2)で精度の良い変換を実現できたが、12バンドカメラからの信号を一度分光情報に変換

し、その後(2)の手法で6バンドの信号値に変換するのでは効率が悪い。そこで、入力を分光情報から12バンドの信号値のうち色再現に利用する9バンドの信号値に変更し、カメラで撮影した信号を直接プロジェクタで出力できるように試みた。手法は、(2)と同じく共分散行列適用進化戦略(CMA-ES)を用い、9バンドの信号値をXYZ値に変換し、その後プロジェクタのガンマ特性などを考慮した信号値に変換した。

この提案手法により処理時間を短縮できたが、教師データに用いた画像において色の偏りなどがあつたため色の再現精度が不十分であり、引き続き検討が必要である。また、処理時間の短縮を実現できたが、実時間での変換処理は行えておらず動画像を提示するにはさらなる改善が必要であることがわかった。

以上のように、本研究では現実世界の色彩情報に近い立体映像の撮影から処理、提示までの一連の流れを可能とする分光立体動画像の入出力システムの開発を行い、分光動画像の入力、分光立体動画像の出力を実現した。これらは、世界的に見ても研究がほとんどされておらず、先端的な研究である。今後、さらに実用化に向けて引き続き研究を行う。

<引用文献>

- [1] 高演色リッチカラーテクノロジー：<https://jp.sharp/aquos/technology/>
- [2] 情報通信研究機構, ナチュラルビジョン(次世代映像表示・伝送システム)の研究開発プロジェクト [動画] 研究開発最終報告書 (2006)
- [3] 2010年は3Dテレビ元年 最大の不安はソフト不足：
<https://www.j-cast.com/2010/04/21064911.html?p=all>
- [4] Ryotaro Miwa, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata: Real-time Spectral Imaging System Using Complementary Color Filter and RGB Camera, Proc. of AIC2014, pp.567-571 (2014)
- [5] Ryotaro Miwa, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata: Development of Multi-bands 3D Projector, Proc. of AIC2015, PS2-74, pp.1289-1294 (2015)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1件)

- ① Masayoshi Tomizawa, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata: Color Reproduction of a Multiband 3D Projector, ITE Transactions on Media Technology and Applications, 査読有, Vol. 5 (2017) No. 4, pp. 134-140 (2017/10/01) DOI:10.3169/mta.5.134

[学会発表] (計 8件)

- ① Takayuki Tsuruta, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata: HDR Spectral Video Measurement System, Proc. of 7th Computational Color Imaging Workshop, LNCS11418, pp. 89-101 (2019/03/28)
- ② 鶴田貴之, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: HDR 分光画像計測システムにおける機械学習を用いた HDR 処理の検討, 映像情報メディア学会 2018 年冬季大会講演予稿集, 11A-5 (2018/12/20)
- ③ 鶴田貴之, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: マルチバンド技術によるステレオ分光画像の表示方法の検討, 日本色彩学会誌, 色彩科学 02-5, Vol. 42, No. 6, pp. 33-36 (2018/11/24)
- ④ 鶴田貴之, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: HDR 分光ステレオ画像の計測と表示システムの検討, 映像情報メディア学会 2017 年冬季大会講演予稿集, 12A-3 (2017/12/12)
- ⑤ Yuki Onishi, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata: HDR Spectral Video System Using CMY-ND Filter, Proc. of 13th AIC Congress 2017, PS03-77 (2017/10/19)
- ⑥ Naoki Shinozuka, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata: Consistency between Reflection on the Glass and Virtual Object in Augmented Reality, Proc. of ISMAR2017, pp.162-165 (2017/10/12) DOI 10.1109/ISMAR-Adjunct.2017.55
- ⑦ Yuki Onishi, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata: HDR Spectral Video System Using a Single Camera, Proc. of IWAIT2017, 2B-9 (2017/01/09)
- ⑧ Masayoshi Tomizawa, Noriko Yata, and Yoshitsugu Manabe: Spectral Color Reproduction of Multiband 3D Projector Using Evolution Strategy, Proc. of International Display Workshop' 16, 3D7/3DSA8-3, pp. 833-836 (2016/12/9)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。