

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330185

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Development of 3D Projection System with Multi-primary colors for Educational Visual Contents

研究代表者

眞鍋 佳嗣 (MANABE, Yoshitsugu)

千葉大学・融合科学研究科(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) 3,700,000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、立体提示も教育には重要な要素である。そこで本研究では、6原色表示より現実世界の色彩情報に近い映像を提示でき、かつ立体視が可能な多原色立体提示システムの開発を行った。具体的には、プロジェクタに装着する光学フィルタを設計、試作し、従来のRGB三原色よりも色再現が良い分光情報を入力とする立体映像提示システムを構築することができた。

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, an accurate color reproduction is difficult because of the insufficient color gamut by RGB primary colors. Previously, studies of the multi-primary color display device has been carried out, but there is less research dealing with the color reproduction and stereoscopic image at the same time. Therefore, if it is possible to make a simple system using general 3D projectors and filters, we can display educational visual contents using the 3D display system with wide color gamut effectively. This research proposed a method for expanding the color gamut of a three dimensional image by projection of the multi primary color more than RGB 3 bands using two 3D projectors with different spectral characteristics.

研究分野：視覚メディア処理

キーワード：表示装置 色域拡大 立体表示 分光画像

1. 研究開始当初の背景

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。特に映像提示装置は、映像コンテンツの表示に不可欠である。

映像提示システムとしては、平成 22 年が 3D テレビ元年と言われるように、家電メーカ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、これまで VR 研究などの一部の限られた用途から一般家庭に普及し始めた。また、シャープ株式会社は平成 22 年にこれまでの RGB 三原色に黄色を追加した RGBY 四原色のクアトロテクノロジーを用いた液晶テレビの販売を始めた[1]。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になっている。

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。一方、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され[2]、一時期、世界的にも研究が盛んになったが、実用化された物はほとんどなく、現在は研究がほとんどされていない。

一方、ITC の教育分野での利活用が推進されている。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である。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变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。

2. 研究の目的

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はなく、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である。現在の技術において、色再現、ダイナミックレンジ、分解能などまだ現実の世界を正確に再現できていない特性があるが、本研究では色再現と立体視を取り上げ、多原色表示により現実世界の色彩情報に近い映像を提示でき、なおかつ立体視が可能な、教育現場において簡便に利用できる多元色立体提示システムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

多元色立体提示システムを開発するために、提案システムでは 2 台の立体視プロジェクタを用い、各プロジェクタの分光特性を変更することで 6 バンドの多原色表示を実現する。一方で、2 台のプロジェクタを同期させ映像を提示することで、多原色の動画表示を実現するだけでなく、立体映像の表示も可能とする。そのために、以下の 2 点について研究を行った。

(1) 色再現域を広げるための多原色フィルタの設計

2 台のプロジェクタから投影する RGB の色の分光特性を光学フィルタによって変化させ、色再現域を広げる。そのため、最適なフィルタの分光透過特性の設計が重要となる。設計においてはできるだけシンプルな波形特性を考えることとした。まず、プロジェクタの分光特性を計測し、シミュレーションによって設計を行った。その後、実際にフィルタを試作し評価した。

(2) ステレオ分光画像および仮想物体の実時間表示のための処理方法の検討

ステレオ分光画像を提示するには、2 台のプロジェクタの分光特性に合わせて分光情報を適切に変換する必要がある。理論上は、フィルタを含めた分光特性をそのまま適用することで求められるはずであるが、再現精度に応じて変換手法を検討する必要がある。また、動画への適用を考えた場合、効率の良い変換方法が必要となる。本研究では、行列変換をもとに変換手法を検討した。

4. 研究成果

提案システムの概要を図 1 に示す。本提案システムは、2 台の 3D プロジェクタの前にフィルタを装着し、投影位置を合わせた 2 台のプロジェクタの同期提示によりスクリーン上に立体表示を行う。この時、フィルタを用いてプロジェクタの RGB 分光特性を変更した 6 バンドの分光特性を利用し、表示したい色の再現を行う。本研究で使用した 3D プロジェクタ(2台)は VIEW SONIC/PJD6 Series で、解像度は 1024 x 760 である。このプロジェクタの分光特性を、分光放射輝度計 TOPCON SR3 で計測し、フィルタの設計及び色再現の精度評価を行った。

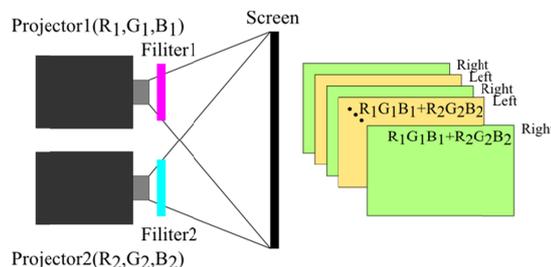


図 1 提案システムの概略

(1) 色再現域を広げるための多原色フィルタの設計

まず、本研究で使用する 3D プロジェクタの RGB 分光特性を計測した。計測は暗室で行い、プロジェクタから投影された光のみとし、R(255,0,0), G(0,255,0), B(0,0,255)の光をスクリーンに投影し、分光放射輝度計を用いて RGB の分光分布をそれぞれ取得した。

計測したプロジェクタの RGB 分光分布より、フィルタの最適な分光透過特性を検討した。今回はノッチフィルタ（帯域遮断フィルタ）の利用を考えてシミュレーションを行い、色度図にプロットした際に面積が最大となるフィルタ特性を決定した。シミュレーションは 380~780nm 間で計算を行い、分光分布で使用していない波長帯がないようにした。シミュレーションにより得られたフィルタの分光透過特性ならびにこれらのフィルタをプロジェクタに装着した際の分光特性を図 2 に示す。1 つ目のフィルタは、450~535nm を、2 つ目のフィルタは 535~625nm を遮断することで二つのプロジェクタから投影された映像の色域が最も広がることわかった。

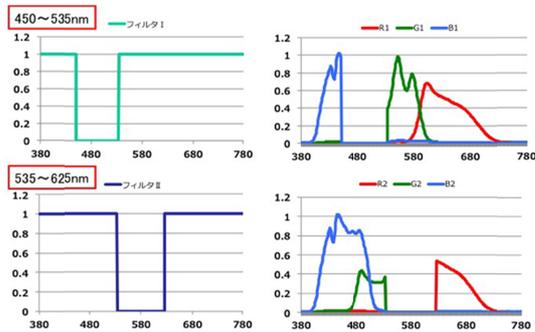
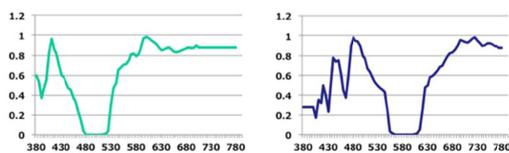


図 2 シミュレーション結果

次に図 2 のシミュレーションにより決定したフィルタ特性にもとづき、特性の異なる 2 枚のフィルタを試作し、色域の拡大を確認した。試作したフィルタの特性を図 3 に示す。



(a) フィルタ 1 (b) フィルタ 2
図 3 試作したフィルタの分光特性

これらのフィルタを 2 台の 3D プロジェクタに装着することで、RGB 分光特性に違いが生じ、6 バンドの情報提示が可能となる。

実際に、フィルタをプロジェクタに装着し、色域の拡大を確認した結果を図 4 に示す。xy 色度図中の黒線の三角形が使用したプロジェクタの RGB の色域を示しており、赤線の六角形が試作したフィルタを装着して計測した、6 バンドの色域を示している。この図から、フィルタ適用による 6 バンド投影により

多角形での色域の表現が可能となり、色域が拡大していることが確認出来た。また、試作したフィルタを装着し、スクリーンに映像を投影した結果を図 5 に示す。

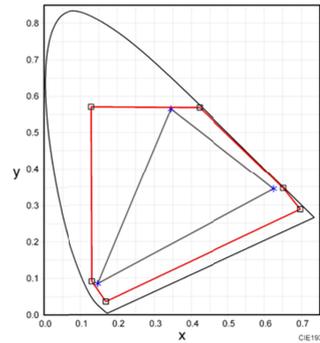


図 4 フィルタ装着前後の色域の変化



図 5 6 バンド投影の結果画像

入力画像は通常の RGB 画像ではなく分光画像を使用し、プロジェクタの分光特性及び試作したフィルタの分光透過特性を各画素の分光分布に畳み込むことで 6 バンドの投影強度を簡易に求めた。2 台のプロジェクタの投影像が若干ずれているが、2 枚の画像を重ね合わせることで目的とする投影画像を提示することができた。

(2) ステレオ分光画像および仮想物体の実時間表示のための処理方法の検討

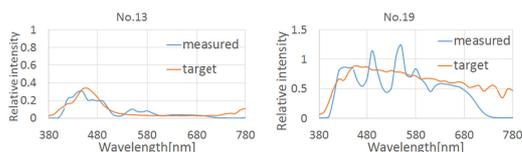
上記(1)において、2 台のプロジェクタとフィルタにより色域の拡大を確認できたが、実際には表示したい色と表示した色のズレがあった。また、2 台のプロジェクタの映像の位置合せを手動で行っており、正確な位置合せをするために自動化が必要である。そこで、まず色のズレを補正する方法を検討した。

上記(1)では、色域が拡大することを確認するだけだったため、プロジェクタとフィルタの分光感度特性から目的の 6 バンドの出力値を求めた。実際には、各バンドの分光強度の違いやガンマ特性を考慮する必要がある。そこで、分光情報を多原色信号値に分解するために、村上らが提案したラグランジュ未定乗数法を用いた手法[3]を適用した。

また、1 台のプロジェクタで RGB 各チャンネルのガンマ特性を計測したところ、R で $\gamma_R = 2.06$, G で $\gamma_G = 2.08$, B で $\gamma_B = 2.04$ となった。この値をもとにガンマ補正を行った。

色再現精度については、D65 光源下での

Xrite Color Checker CLASSIC の分光分布を使用して評価した。まず、分光分布の再現性については目標の分光分布と計測結果を RMSE で評価した。図 6 に最も良かった結果 (RMSE=0.0475) と最も悪かった結果 (RMSE=0.262) を示す。平均の RMSE は 0.126 となり、青みがかった色の分光分布の再現性が良くなる傾向があった。



(a) RMSE=0.0475 (b) RMSE=0.262

図 6 分光分布再現結果

次に、色再現精度に関して、CIELAB 色差で評価した。結果を図 7 に示す。最小色差 2.5, 最大色差 29.9, 平均色差 9.9 となり、他のパッチと比べて No. 11, 14, 16 の緑から黄色の成分を多く含む色で再現特性が特に悪くなることがわかった。

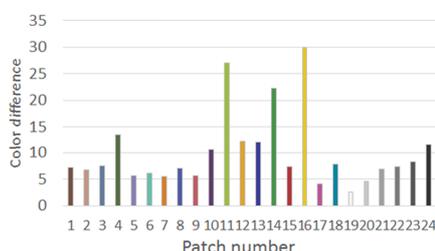


図 7 色差

最後に、2 台のプロジェクタから格子パターンを投影したものをカメラで撮影し、自動で位置合わせした CG の分光立体画像の提示結果を図 8 に示す。このように、まだ色再現性に問題が残っているが、提案システムにより色域の広い立体画像を提示できることが確認できた。

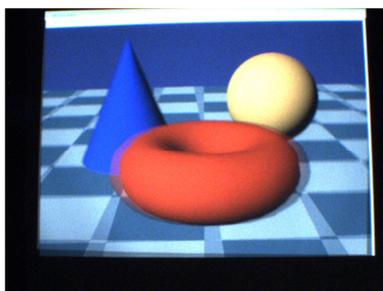


図 8 立体画像提示結果

< 引用文献 >

[1] シャープ・クアトロンテクノロジー, <http://www.sharp.co.jp/aquos/technology/quattron/>
 [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] Murakami, Yuri et al.: Color conversion method for multi-primary display for spectral color reproduction. Journal of Electronic Imaging 13.4, 701-708 (2004)

5. 主な発表論文等

(学会発表) (計 6 件)

大西悠貴, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: 1 台のカメラによる HDR 分光動画計測システム の検討, 映像情報メディア学会 2015 年 冬季大会講演予稿集, 14B-6 (2015/12/15) 早稲田大, 東京

富澤雅喜, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: マルチバンド投影による 3D 映像の忠実な色再現, 映像情報メディア学会 2015 年冬季大会講演予稿集, 11C-1 (2015/12/15) 早稲田大, 東京

Ryotaro MIWA, Yoshitsugu MANABE, Noriko YATA: Development of Multi-bands 3D Projector, Proc. of AIC2015, PS2-74, pp.1289-1294 (2015/05/21) Ochanomizu sola city Conference Center, Ochanomizu, Japan

Ryotaro Miwa, Yoshitsugu Manabe, Noriko Yata: Real-time Spectral Imaging System Using Complementary Color Filter and RGB Camera, Proc. of AIC2014, pp.567-571 (2014/10/23) Oaxaca, Mexico

三輪遼太郎, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: マルチバンド投影による 3D 映像の色域拡大手法の検討, 映像情報メディア学会 2013 年冬季大会講演予稿集, 5-5 (2013/12/18) 芝浦工大, 東京

Noriko Yata, Ryotaro Miwa, Yoshitsugu Manabe: An estimation method of spectral reflectance from a multi-band image using genetic programming, Proc. of 12th Congress of the International Colour Association (AIC 2013), pp.1773-1776 (2013/07/11) Newcastle Gateshead, UK

(産業財産権)

出願状況 (計 1 件)

名称: プロジェクタ装置
 発明者: 眞鍋佳嗣, 三輪遼太郎, 矢田紀子
 権利者: 同上
 種類: 特許
 番号: 特願 2014-109598, 特開 2015-225186
 出願年月日: 平成 26 年 5 月 27 日
 国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

眞鍋 佳嗣 (MANABE, Yoshitsugu)
 千葉大学・大学院融合科学研究科・教授
 研究者番号: 50273610