

研究報告書

「光投影による人の視覚特性を利用した錯覚的見かけ制御」

研究期間：平成 29 年 10 月～平成 31 年 3 月

研究者番号：50131

研究者：秋山 諒

1. 研究のねらい

プロジェクタの投影光は有限かつ加算的であるため、投影対象や光源環境の各条件下で色域に限界がある。本研究では、投影光を用いて錯視を誘発することによって、色域を知覚的に拡張する手法を確立することを目指す。

2. 研究成果

(1) 概要

色彩は人間にとって重要な要素である。近年、プロジェクションマッピング技術の開発により、プロジェクタは実物体の色彩を動的にピクセルごとに変化させられるツールとなっている。プロジェクタとカメラで構築される系を利用し、実物体の見かけを制御する研究が多くなされている。ただし、プロジェクタの投影光は有限かつ加算的であるため、投影対象や光源環境の各条件下で色域に限界がある。物理的にこの色域を拡張するためには環境を暗くすることやより光量の高いプロジェクタを使用する等の解決案はあるものの常に現実的であるわけではない。一方で、人は一様な光が当たっている環境下では色恒常性の働きによって、実際の色とは異なる色に知覚する場合がある。人は周囲からの影響を受けた相対的なものとして色を知覚しており、それは物理的な色とは異なる場合がある。本研究では、この色恒常性を投影光を用いて誘発することによって、色域を知覚的に拡張する手法を確立することを目指す。本研究は、1) 色恒常性を誘発しながら所望の色を知覚的に表現するための数理モデルの作成、2) 知覚量に基づいた色彩制御を可能とするプロジェクションシステムの構築、の 2 点を実施した。

まず、色恒常性の誘発にはその誘発条件を組み込んだモデルが必要である。色恒常性は、ある一様な色の照明が対象の領域に照射されていると人間が理解した場合に初めて成立する。つまり、この色恒常性を実際は複数の色の光が照射されているにも関わらず一様な一色の光が照射されていると錯覚させ、かつ、対象が所望の色であるかのように思わせる、ということを実現させるにはどのような色や明るさの光を投影する必要があるかを求めるモデルが必要であるということになる。本研究では、A. 対象物体の反射率、B. 対象物体に対する投影光、C. 対象物体の周辺に対する投影光、の 3 点に着目してモデルを作成した。具体的には、対象物体とその周辺への投影光を調整することで、一様な一色の光が投影されている場合の反射光を再現することで、色恒常性を誘発させるモデルを作成した。次に、作成したモデルを適用したプロジェクションシステムの構築に取り組んだ。プロジェクタ-カメラ系を使用して、実物体の反射率を推定し、その反射率を入力された所望の反射率の色に光投影で知覚的に表現する。まず対象の反射率と目標の反射率、その環境の環境光

から表現できる色域を計算し、入力された目標色がその色域外の場合に色恒常性を誘発しながら知覚的に表現する。

(2) 詳細

研究テーマA:「色恒常性を誘発しながら所望の色を知覚的に表現するための数理モデルの作成」

一様の照明下では、その照明色が異なっても、色恒常性によって対象物の色を同一の色として知覚することが知られている。よって、投影対象と目標色の反射率に基づき、対象領域とその周辺領域に一樣な光が照射されるように投影光を制御することで、色恒常性を誘発することが可能である。

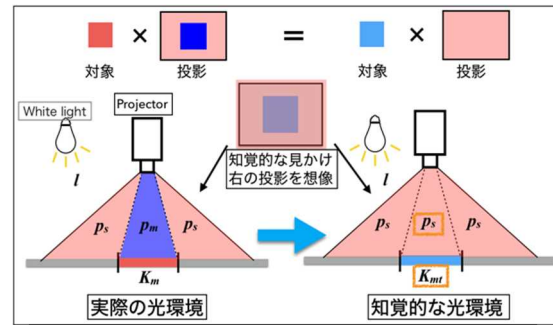


図1 色恒常性誘発の投影色決定の図

図1のように、反射率 $K_M = \text{diag}(k_{M,R}, k_{M,G}, k_{M,B})$ の実物体が無彩色の環境光 $l = (l, l, l)^T$ の下にある環境を想定する。その場合に物理的な反射光 c は、 $c = K_M l$ と表すことができ、この色が一般的に物体色と呼ばれる色である。一般的なプロジェクタを用いた色彩制御では、この反射率 K_M の対象領域のみに有彩色の投影光 $p_M = (p_{M,R}, p_{M,G}, p_{M,B})^T$ を照射し、周辺領域へ無彩色の投影光 $p_S = (p_{S,R}, p_{S,G}, p_{S,B})^T$ を投影する。この際に、反射率 K_M の領域への投影光 p_M は変化させず、周辺領域への投影光 p_S を有彩色へ変更することで、色恒常性の働きにより p_S の影響を受け、反射率 K_M の領域の色の知覚が変化する。この色の知覚の変化が生じた結果、反射率 K_M である領域が目標の反射率 $K_{MT} = \text{diag}(k_{MT,R}, k_{MT,G}, k_{MT,B})$ であるように知覚させることを目指す。そのためには、対象領域が目標の反射率 K_{MT} であり、一様に投影光 p_S が照射されているように知覚させる必要がある。つまり、目標の反射率 K_{MT} に周辺領域への投影光 p_S が照射されている場合に得られる反射光と同一の光を、反射率 K_M の領域に投影光 p_M を投影することによって得ることができれば良い。これを実現するためには以下の式を満たす p_M, p_S を求められれば良い。

$$p_M, p_S = \arg \min_{p_M, p_S} |K_M(p_M + l) - K_{MT}(p_S + l)|$$

(ただし、 $0 \leq p_M \leq p_{max}, 0 \leq p_S \leq p_{max}$ とする)

上記の式を満たす投影色を対象と周辺のそれぞれへ投影することで、実際には図1の左側のような光を投影しているにも関わらず、反射光のみを見ることが出来る人間にとっては図1の右側の光環境であるかのように知覚させることができる。

研究テーマB:「色恒常性誘発モデルを組み込んだプロジェクションシステムの構築」

研究テーマAで作成した色恒常性モデルを組み込んで、実際に実物体の色を知覚的に制御するシステムの構築を行った。具体的には、プロジェクタカメラ系を使用し、対象の反射率

をリアルタイムで推定し、その見かけを入力された所望の見かけになるように投影光を制御するシステムの構築を行った。投影対象とその投影結果を図2に示す。個人差はあると考えられるが、提案手法と単純な重畳投影の投影結果を見比べると、違った色として知覚されるはずである。

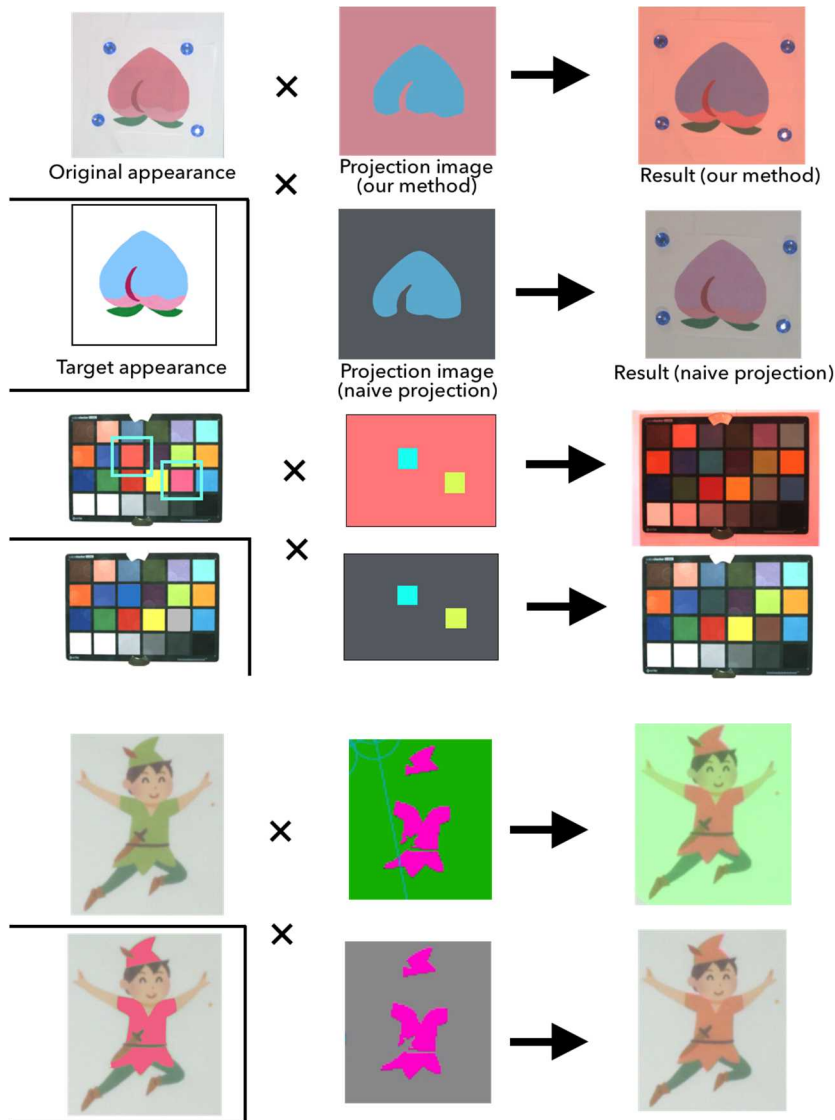


図2 単純な重畳投影と提案手法による投影結果

3. 今後の展開

色恒常性を誘発するモデルは作成できたものの、現在のモデルはあまり濃い色を投影しないことを前提に「一様な色の光が当たっていても人間は実物体の色を白色光下で見た色と全く同じと感じる」という仮定を置いている。この過程はある程度成立するものの、人間の色恒常性はそ子まで完全なわけではないので、正確には間違っている。より正確な知覚的色彩表現を実現するには色知覚モデルの導入が求められる。加えて、現在は周辺への有彩色の投影の範囲は特に限定していない。そのため、対象の色を変更するために周辺の領域全てに有彩色光を投影しなくてはならないという問題がある。色恒常性が成立する照明の範囲については知見がないが、この

研究に特化した条件であっても解明できれば、周辺の色をできるだけ犠牲にしない色表現が実現できると考える。これらがクリアできれば、表現色域の十分に担保するために夜や真っ暗な室内でしか実施できないプロジェクションマッピングを明るい場所でも実現することができると考える。また、目で受光する光の色と知覚する色に着目したものであるため、色弱患者の方の実際には見えない色を本研究のシステムで知覚的に見せてあげる、ということも可能ではないかと考えている。

4. 自己評価

・研究目的の達成状況

ACT-I 採択時当初の目的は概ね達成できたと考えている。ただ、色恒常性の誘発に必要な周辺への投影の広さに関しては、当初から問題意識があったので、そこまで取り組めなかったことは残念である。

博士課程の学生であるため指導教員の先生方にアドバイスを受けることはあったが、基本的には研究実施も研究費執行に関しても主体的に実施できたと考えている。そのおかげで今まで必要だがすぐには手に入れられなかった物品等を自分で購入でき、研究の高速化に繋がったと考えている。

・研究成果の科学技術及び学術・産業・社会・文化への波及効果(今後の見込みも重視してください。)

本研究は情報学の分野だけでなく心理学の分野に対して学術的インパクトがあると考えている。心理学分野では錯視の研究は多くなされているが、その成立条件や成立具体を調べるものが多く、それを誘発し利用する研究はほとんどない。また、色弱患者のサポートに関しては、色弁別を補助するシステムは多くあるが、「見えない色を見せる」ということを特別な機器の装着なしに叶えるものは類を見ない。

・研究課題の独創性・挑戦性

色恒常性は人間の見る色を一定に保つ働きである。その働きを色を変化させる制御に逆に利用するという本研究は独創性がある考える。また、一様な光が照射されると成立する色恒常性をそれ以外の方法で誘発させるという課題には挑戦性があると思う。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. 著者. 発表論文タイトル. 掲載誌名. 発行年, 巻号, 始頁-終頁, その他
--

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. **Ryo Akiyama**, Goshiro Yamamoto, Toshiyuki Amano, Takafumi Taketomi, Alexander Plopski, Christian Sandor, and Hirokazu Kato. "Perceptual Appearance Control by Projection-Induced Illusion" In *Proceedings of IEEE International Conference on Virtual Reality, Osaka, Japan*, 2 pages, March, 2019
2. **Ryo Akiyama**, Goshiro Yamamoto, Toshiyuki Amano, Takafumi Taketomi, Alexander Plopski, Christian Sandor, and Hirokazu Kato. "Light Projection-Induced Illusion for Controlling Object Color." In *Proceedings of IEEE International Conference on Virtual Reality, Reutlingen, Germany*, 2 pages, March, 2018
3. **秋山 諒**, 山本 豪志朗, 天野 敏之, 武富 貴史, プロプスキ アレクサンダー, サンドア クリスチャン, 加藤 博一, "色恒常性を利用したプロジェクタの色域の知覚的拡張" 第 21 回 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU 2018), 4 pages, August, 2018 . (**MIRU インタラクティブ発表賞 受賞**)
4. **秋山 諒**, 山本 豪志朗, 天野 敏之, 武富 貴史, プロプスキ アレクサンダー, サンドア クリスチャン, 加藤 博一, "知覚量に基づく光投影による色制御実現に向けた色知覚モデルの検討" 日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究会, MR2017-16, October, 2017.