

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12725

研究課題名（和文）経時加法混色現象を利用した不可視パタン投影技術の開発

研究課題名（英文）Development of invisible pattern projection technology based on temporal additive color mixture

研究代表者

藤本 雄一郎 (Fujimoto, Yuichiro)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教

研究者番号：30755971

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）：本研究は、任意の拡散反射面に対し、プロジェクタ投影光で情報を埋め込むための基礎技術開発を目的とする。具体的には、任意プロジェクタにより2色の色を高速に切り替え投影した際の経時加法混色現象発生時に、投影対象面色との兼ね合いが人の知覚に与える影響を確かめるとともに、任意の透明対象面色に対し、人の知覚しにくさの観点で、最適な色ペアを計算するアルゴリズムを開発するものである。人の知覚のモデル化等に関する一部技術を応用した研究により、2件の論文誌投稿と2件の国際会議発表を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

経時加法混色を利用した不可視パタン埋め込みはこれまでもいくつか研究が行われているが、それらは全て、白色スクリーンを対象とした投影、もしくは、ディスプレイを利用したもの（パタン投影ではない）であった。それに対し、本研究は、任意の拡散反射面色を対象とし、各色に最適な投影パターンを求めることに着目した点に学術的意義があると考えられる。この技術は、店のウィンドウに配置された物品に対する関連情報埋め込みや、インサイドアウト型の拡張現実感の実現時、カメラの位置姿勢推定のための補助情報埋め込みなど、多様な応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a basic technology for embedding information in an arbitrary diffuse reflective surface with a projector projection light. Specifically, I investigated the effect on human perception of stepwise additive blending when two colors are projected by an arbitrary projector at high speed, and developed an algorithm to calculate the optimal color pair for an arbitrary transparent surface color in terms of human perception difficulty. The research using some of the techniques such as color correction has been submitted to two journals and presented at two international conferences.

研究分野：拡張現実感

キーワード：プロジェクタ 不可視パタン 情報埋め込み 経時加法混色

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の WebGL の出現や高視野角 HMD, 3D プリンタの普及等により, 3次元情報の需要が増加しており, 様々な要件の 3次元情報計測技術が望まれている. 3次元情報を取得するための一般的な方法として, 幅広く使われる機器である可視光プロジェクタと可視光カメラによるアクティブステレオが挙げられる. この技術はプロジェクタにより各箇所に空間的・時系列的に一意性を持たせたパターンを投影し, カメラでそれを観測することにより, 高精度に 3次元形状計測を行うことが可能である. 一方, 上記のようなパターンがプロジェクタによって常に投影されていると, 人に対しては視覚的に煩わしいと感じさせるという問題があった. また, 対象の計測中(パターン投影中)は人が見て意味のある情報を同時に投影することは困難であった. しかし, 常に 3次元形状計測を行い続け, 同時にその対象を人が観測する用途の場合(監視目的の環境の常時 3次元形状計測等), 投影パターンは人の目からは不可視で, カメラからは可視であることが望ましい.

2. 研究の目的

本研究では, ある 2色を高速に切り替えて表示させると, それらが中間色として知覚されるという人の視覚特性である経時加法混色現象を利用する. 環境中の各箇所と同色を中間色とする 2色からなるパターンを高速に切り替えて投影することにより, 人の目にほぼ不可視なパターン投影を行う技術, およびそのパターンの認識技術の開発を目的とする.

当初の研究計画案では, 上記のように, 継時加法混色を発生させる光投影により, 3次元形状計測を行うことを一つの応用としていたが, 研究開始後の他の研究機関の技術動向により, 3次元形状計測技術はさらに成熟した. 一方で, もう一つの応用として挙げていた, 任意の対象物(レストラン店頭での食品サンプルや, 服飾店のディスプレイ商品など)への関連情報の不可視埋め込みの需要が相対的に向上したため, こちらを主な応用として見据え, 研究を行っていくこととした.(これは, 研究の推進に技術的変更をもたらすものではない.)

3. 研究の方法

実験によりプロジェクタにより 2色の色を高速に切り替え投影した際の継時加法混色現象発生時に, 投影対象面色との兼ね合いが人の知覚に与える影響を確かめた. ホワイトボードに任意色の色紙を配置し, そこにプロジェクタにより, ある条件にて作成した 2色のペアパターンを高速切り替え投影した. それを顎台で頭部位置を固定した被験者に観測させ, 投影光のちらつきやパターンの見え(すなわち主観的違和感の度合い)を回答させた. これを色紙やペア投影条件を変化させ, 繰り返し行うことで, 投影条件と対象投影面の兼ね合いが人の視認性に与える影響を確かめた.

さらに, 上記の実験の結果を用いて, 任意の拡散反射投影面色に対し, 人にとってちらつきが見えにくく, アーティファクトが発生しにくい条件を計算するためのアルゴリズムを開発した.

加えて, 上記の実験と, アルゴリズム開発を通して得られた, 人にとって違和感の少ない投影条件のモデル化という要素技術を応用した研究を並行して進めた. これは, 実際の食品に対して, 投影光により, 違和感を与えずに, それを見た人の主観的好ましさを向上させるためのものである. そのために, ある対象食品に対し, 投影条件を様々に変化させた投影光を照射することで, それを見た人の違和感や主観的好ましさに関するデータを集める実験を行い, 対象物と投影光の兼ね合いが人の主観値に与える影響を明らかにした. さらに, 任

意の対象に対し、人の好ましさの観点で、最適な見た目となるような投影条件を自動で生成するために、クラウドソーシングによるデータ収集と、そのアルゴリズム開発を行った。

4. 研究成果

最初の実験の結果、投影する2色の内、投影対象面色からの Lab 空間における距離を可能な限り小さくとした場合、人に最も知覚されにくいパタン埋め込みが可能となるという傾向を確かめた(図1)。当初考えていた仮説は、2色の色を Lab 色空間に変換した際に、投影対象面色と中間色のなす線分に(可能な限り)水平である2色ペアが最も人に知覚されにくい、すなわち、2色の対象面色に対する距離の差の同一性を重要視していたが、それは必ずしも正しくないことが明らかとなった。加えて、これは、表示装置として、プロジェクタの代わりにディスプレイを使用した研究を含め、他の画像や動画にパタンを埋め込む既存研究が主張していたこととは異なる結果である。この結果を、プロジェクタの色補正技術と組み合わせることで、任意の対象面各所へ人の目に見えにくいパタンを投影するための技術を開発した。これは照明光通信技術への応用の可能性もあると考えられ、従来技術と比較して、変調速度は遅いものの、ピクセル単位で、埋め込み情報を変化させることができる、すなわち、指向性が高い情報発信が可能であると期待できる。

また、応用の一つである、食品の投影光による見た目変化について、一般環境光下と比較して、見た目の違和感を生み出さずに、主観的好ましさを向上させる投影条件が、存在することを複数の食品で明らかにし、その結果が国際論文誌に採録された(図2)。さらに、その後、任意の食品に対し、最適な見た目を自動算出する2種類の異なるアルゴリズムを開発し、その結果が国際会議論文2本として採択された。

加えて、3次元形状計測をオフィスにおける人の位置検出に利用した研究成果が、国際論文誌に採択されている。

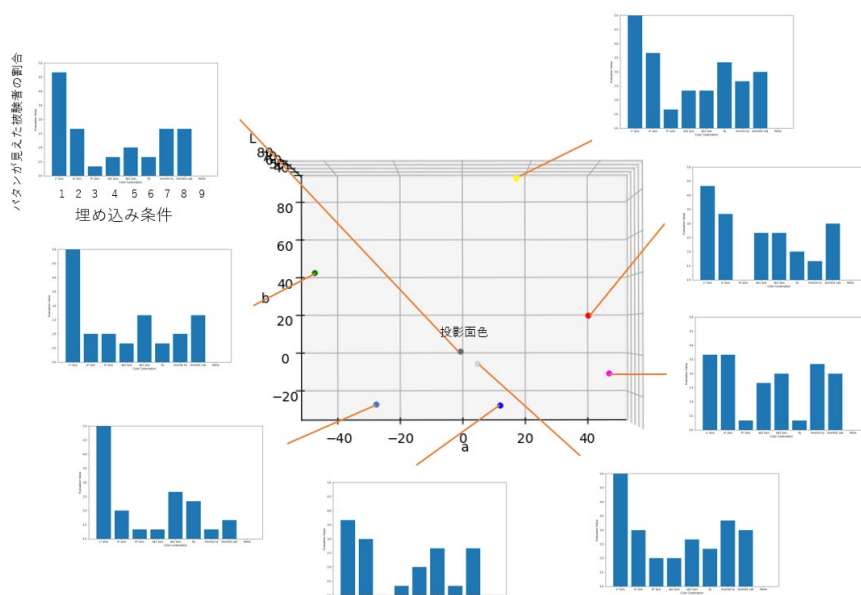


図1 様々なパタン埋め込み色条件、投影面色におけるパタン視認性

パタン埋め込み色条件 1: L*方向のみ, 2: a*方向のみ, 3: b*方向のみ, 4: a*,b*方向, 5:a*,
b*方向, 6: 投影面色と2色間の距離同じ, 7:投影面色と2色間の距離の小さいほう最小,
8: 2色間距離最小, 9:パタン埋め込みなし

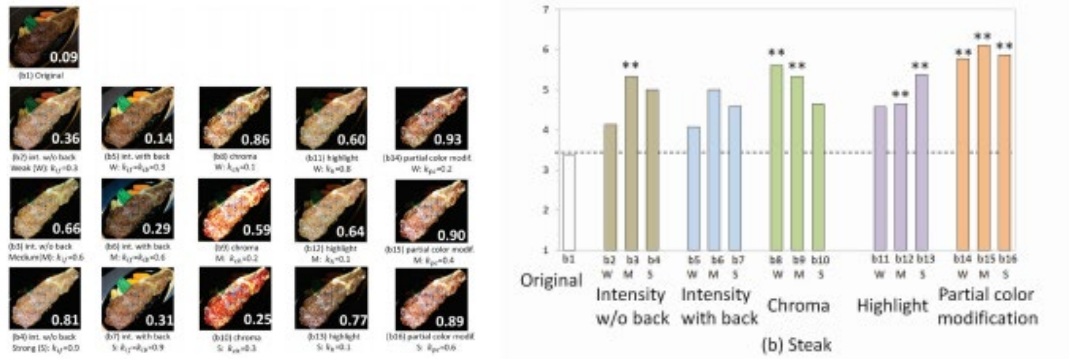


図 2 プロジェクタ投影条件と主観的好ましさ (+違和感の少なさ) の関係性 (ステーキの例)

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 2件）

1. 著者名 Fujimoto Yuichiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Projection Mapping for Enhancing the Perceived Deliciousness of Food	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 59975 ~ 59985
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2018.2875775	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 Fujimoto Yuichiro, Fujita Kinya	4. 巻 7
2. 論文標題 Depth-Based Human Detection Considering Postural Diversity and Depth Missing in Office Environment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 12206 ~ 12219
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2019.2892197	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 -

〔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 Yuichiro Fujimoto
2. 発表標題 Simple Projection Mapping for Food: Local Appearance Modification for Enhancement of Perceived Deliciousness
3. 学会等名 Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichiro Fujimoto
2. 発表標題 Food Appearance Optimizer: Automatic Projection Mapping System for Enhancing Perceived Deliciousness Based on Appearance
3. 学会等名 IEEE Virtual Reality Conference 2019 (IEEEVR2019) (国際学会)
4. 発表年 2019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
--	---------------------------	-----------------------	----