

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500156

研究課題名(和文)人間の色知覚特性の厳密な数理モデリングに基づく色弱補正と色彩情報処理への応用

研究課題名(英文)Exact mathematical modeling of human color perception and applications to color weak compensation and color information processing

研究代表者

趙 晋輝 (Chao, Jinhui)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：60227345

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、リーマン幾何学に基づき、色空間の間の主観色差を保存する等長写像を効率的に構成する手法を確立し、それを色弱補正に適用することで、色弱者に健常者と同様な色差感覚の刺激を与える色弱補正方式を開発した。まずは、色弱者と健常者の色弁別閾値データを測定することで、色覚特性を記述するリーマン計量テンソルを獲得した。そして、Brettelの色盲モデルを拡張した混同色線上の1次元色弱写像を構成した。次に、2D或いは3D色空間においては、局所アフィン等長写像を構成する方法と、測地線を用いたリーマン正規座標系に基づく大域等長写像を構成する方法を提案した。さらに提案手法の補正効果を主観評価によって確認した。

研究成果の概要(英文)：We proposed a novel compensation algorithm for color-weakness based on a new, objective criterion using Riemann geometric properties of color spaces.

The criterion is to match the color discrimination thresholds of average, normal observers and a colorweak observer such that he two groups of observers have the same color-difference experience. In order to describe the color spaces as Riemann spaces, we measured color discrimination thresholds data for color-weak and color-normal observers. A 1D compensation and simulation of color-weakness is shown on confusion lines in the LMS space. The 2D and 3D compensations and simulations are proposed in chromaticity planes and full color spaces in the two following ways. First, we show a local affine isometry which can be estimated from the metric tensor defined by the discrimination thresholds data. Second, the Riemann normal coordinates are built using geodesics grids. Performance of the proposed methods are confirmed by subjective evaluations.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：色弱補正 色彩科学 ユニバーサルデザイン ヒューマンインターフェース

1. 研究開始当初の背景

近年、人間を中心とする科学技術へのパラダイムシフトが益々加速化しており、バリアフリーや、ユニバーサルデザインの研究が注目されている。実生活ではタッチパネル、駅のインフォメーションボードなど電子表示による情報も増えており、見やすさと快適さを考慮するための取り組みは盛んである。中でも視覚メディアにおいて最も重要な色情報の提供に関する問題意識や関心は高まっている。特に、色彩バリアフリーの観点から、色盲と色弱を含む色覚異常者への対応は重要な課題である。色盲は主に人間の目の網膜で色を感じる L,M,S 錐体細胞のうち一つの欠損によるとされるが、色弱は錐体一つだけとは限らず、様々な遺伝的或いは後天的な原因から色覚の異常が引き起こされるため、その形態と程度は人によって大きく異なる。実際に色覚異常である人の大半はこのような色弱者である。

現在、色盲者に対しては、メガネやフィルターによる補正、ディスプレイ上の補正ソフトの利用、色盲シミュレーションに基づくカラーデザインといった様々な補正法が知られているが、背景と文字の色の補色対比を過剰に増幅させ区別するという方法は主に文字情報など二色対比型のカラー画像に用いられ、自然画像のような複雑なカラー画像へ適用できない。また、色盲特性については、Brettel のモデルと近藤のモデルが知られており、これらに基づき、色盲或いは色弱者が見えるだろう色を推定し、色差を拡大すると同時にできるだけ原色を保存するなどの要請を考慮した最適化手法による近似的な色補正の方式が提案されている。しかし、これらの色盲モデ

ルは、色弱特性、特に色弱者個人特有の色覚特性を記述することが困難である。また、最適化による方式では、評価関数の定式化、補正色解の必然性と一意性などの課題だけでなく、不自然な補正色が出てこないように正しい解への収束性と色分布の連続性は保証できない。

これらの問題点は、まず、人間の色知覚特性の複雑さとその観測の困難さに起因すると考えられる。一般的に人間の主観知覚の特性は、刺激毎に異なる非線形性が顕著であることが知られており、色知覚でのマカダム楕円と呼ばれる、色弁別閾値楕円が異なる色刺激においては異なるサイズと傾きを持つことは、代表的な例である。さらに、これらの特性は個人ごとに異なることも問題をさらに複雑にしている。なぜなら、人間の主観知覚は、相対的な比較ができて、絶対評価は難しいと知られている。また、似ている刺激同士の比較(局所情報)が正確に測定できて、大きく異なる刺激の定量的な比較(大域情報)は難しい。色彩科学においては、小色差を表すマカダム楕円などの閾値測定は知られているが、大色差の扱いは極めて難しいと言われている。従って、色知覚特性については、色弱者と健常者が実際に見ている色は観測できないため、観測者同士の比較ができなく、色弱の補正基準を客観的に定められない。実際に、色弱においては、色弱者に健常者と同様な色を見せる、いわゆる厳密な補正は、原理的に不可能であろうと思われてきた。

2. 研究の目的

色彩バリアフリーのために、色弱など色覚異常者に対する補正方式が望まれているが、

人間の色知覚特性が、刺激毎にまた個人毎に変化し、そして客観的に観測ができないため、現在、色弱者の色知覚特性と個人差を考慮する補正方式が知られていない。本研究は、リーマン幾何学に基づき、人間の色知覚特性の厳密な数理モデリングを行うことで、色弱者に健常者と同様な色差感覚を与える補正方式を提案し、その色彩情報処理への応用を検討する。

3. 研究の方法

本研究は、まず人間の色知覚に関する厳密な数理モデリングを、色弁別閾値データに基づき、リーマン幾何学を用いて行い、色覚の一般理論体系を構築し、特に異なる色空間の間に任意二点間の主観色差を保存する等長写像を効率的に構成する手法を確立した。さらに、それを色弱補正に適用し、色弱者に健常者と同様な色差感覚の刺激を与える色弱補正方式を開発する。そしてその応用として、人間の色知覚特性に基づく色彩情報処理の新しい理論と実現方式を目指した。

具体的には、大域的リーマン幾何学を用いて、色弱者と健常者の色空間の間に、色差保存する写像すなわち等長写像を構築することで、色弱者の見る色を健常者に見せる色弱シミュレーション写像と、色弱者に健常者と同様な色差感覚を与える色弱補正写像を、互いに逆写像として作成した。まずは、Brettelの色盲モデルに基づく混同色線上の色弱写像を構成し、色弁別閾値データに基づき、色弱シミュレーションと色弱補正写像の厳密な計算公式を求めた。次に、2D或いは3D色空間においては、局所アフィン等長写像を構成する方法と、測地線を用いたリーマン正規座標系に基づく大域等長写像を構成する方法を、それ

ぞれ提案し、色弱のシミュレーションと補正を行った。

4. 研究成果

人間の色知覚を厳密にモデリングするためには、色空間をリーマン空間として定義するリーマンテンソル即ち色弁別閾値のデータが必要である。本研究では、まず、健常者と色弱者の色弁別閾値のデータを心理物理実験によって測定する方法を検討し、従来方式の効率を高めると同時に学習効果、予測、記憶などによる測定バイアスをできるだけ低減するランダム調整を提案し、それを用いてリーマン計量テンソルを求めた。特に従来の色弁別閾値の測定は2D色度平面が主に使われており3D色空間における測定が困難であったが、本手法により、色弱者の3D色空間における色弁別閾値のデータベースが得られた。

この局所閾値データに基づき、健常者と色弱者の色空間の間に、任意二色間の色差を保存する即ち距離保存する等長写像を構築した。具体的には、色弱者の色空間から健常者の色空間への等長写像を、色弱写像と定義し、入力色のこの写像による像は、色弱者が実際に見る色のシミュレーションを健常者に与える。一方、この写像の逆写像は、色弱者に健常者と同様な色差感覚を与える色弱補正写像である。

一般的に、両色空間において任意対応する二色の間の色差を保存しながら移す写像を求めるのは大変難しいが、本研究は、大域リーマン幾何学の特性に基づき、両色空間のすべての対応する点同士のリーマン計量を等しくするように色弱写像を構成した。実際に人間の色知覚が客観的に観測できないため、両色空間の間の点对応は未知であるという問題を解決するためには、本研究では、以下のように場合に分けて色弱写像を構築した。

まず、Brettelの色盲モデルに基づき、色弱者は主にP型或いはD型の一種類の色弱である

と仮定して、LMS空間において混同色線上に計量保存する色弱写像を構成して実装した。

- (a) 色弁別閾値楕円体と混同色線との交わりより、色弱の程度を表すパラメータ色弱度を定め、混同色線上の色弱写像を定義した。混同色線上に色弱度が定数と仮定して、入力色の色弱写像による逆像を補正色とすれば、色弱者が見るこの補正色は、健常者が見る入力色に等しくなる。
- (b) 混同色線上に色弱度が定数でない一般的な場合において、色弱写像とその逆写像、つまり色弱シミュレーションと補正写像をリーマン空間における局所等長条件に基づき、厳密に計算する公式を求めることができた。従って、色弱者と健常者の色空間間の対応が得られ、厳密な色補正が可能となった。

さらに、色度平面のような2D、或いは色空間全体のような3Dの場合については、以下の二つの方式を提案し、実装した。

(1) 局所アフィン写像を用いる方法：

色弁別閾値データに基づき、局所座標系の原点对応が既知の場合、局所等長条件により、非線形方程式を解くことで、健常者と色弱者の色空間の各対応点对を定めて色差を保存する色弱写像を求めた。局所計量保存の条件式からは、ランク不足のため局所アフィン写像の線形写像部分を一意に定めることが一般的に難しいが、その写像をユークリッド変換として、二次多変数方程式を解くことで求められた。さらに、別手法として特異値分解法(SVD)という数値的に安定な方法により、局所色差保存写像を求めることができた。さらに、局所座標系の原点对応という課題を解決するためには、「近傍拡張法」という新しい手法を提案した。具体的には、局所座標系の近傍同士の共通部分を帰納的に拡張することで、各対応近傍の原点对を定め、局所アフィン写像

のアフィン部分を求めることに成功した。

このように求められた健常者と色弱者の色空間の間の局所アフィン写像を用いて、色弱写像と補正写像を実装し、主観評価により補正効果が確認された。

(2) リーマン正規座標系を用いる方法：

本手法は、リーマン空間においては、ユークリッド空間における直線に相当する測地線という特殊な曲線を、計量テンソルに基づき、二次常微分方程式の解曲線として求め、ユークリッド空間における極座標をリーマン空間において拡張するリーマン正規座標系を構築するものである。本研究では、両色空間において、共通の原点(例えば標準白色D65など)から出発して、計量によって測る場合の均等分角度をもつ測地線族を計算することで、リーマン正規座標系を構成した。各色空間のリーマン正規座標系とユークリッド空間の極座標と対応付けることで、色空間とユークリッド空間(均等色空間)の間の大域等長写像(均等化写像)が求められた。さらに、色弱者の色空間の均等化写像と健常者の色空間の均等化写像の逆写像との合成写像は、色弱者の色空間から健常者色空間への等長写像であるため、それを色弱写像として用いた。その手法により色弱補正を実現し、主観評価によって補正効果が確認された。

人間の色覚が客観的に観測することができないため、色弱補正の効果についての評価は難しいため、本研究では、さらに感性工学的な手法を利用して、色弱補正の主観評価を行い、本手法の有効性を実証した。

また、本研究の基礎理論と計算方法はヒューマン情報処理における非線形的なメカニズムに対して、一般的に応用されることが期待できる。

さらに、本研究においては、個人情報やプライバシー保護のための技術手法も検討され、今後一層発展される予定である。

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)

〔雑誌論文〕(計 9 件)

(1) Yi-Chun Chen, Yunge Guan, Tomoharu Ishikawa, Hiroaki Eto, Takehiro Nakatsue, Jinhui Chao, Miyoshi Ayama

"Preference for Color Enhanced Images Assessed by Color Deficiencies"

COLOR research and application, Volume 39, Number 3, pp.234-251, Wiley Periodicals, Inc. June 2014 (査読あり)

(2) Takanori Kojima, Rika Mochizuki, Reiner Lenz, Jinhui Chao

"Riemann Geometric Color-Weak Compensation for Individual Observers"

HCI International 2014 Conference, Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services LNCS-8514, pp.121-131, Springer-Verlag, 2014(査読あり)

(3) Hiroto Sasaki, Jinhui Chao

"Invariants of 3D images and face authentication" Proceedings, 2013 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2013), pp. 122-127. 2013(査読あり)

(4) Satoshi Oshima, Rika Mochizuki, Reiner Lenz and Jinhui Chao

"Color-Weakness Compensation using Riemann Normal Coordinates"

Proceedings of ISM2012, 2012 IEEE International Symposium on Multimedia, pp.175-178, 2012 (査読あり)

(5) Rika Mochizuki, Satoshi Oshima, Reiner Lenz, Jinhui Chao

"Exact compensation of color-weakness with discrimination threshold matching"

HCI International 2011 Conference, Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services

Lecture Notes in Computer Science, Volume 6768/2011, pp.155-164, 2011 (査読あり)

(6) Yi-Chun Chen, Yunge Guan, Nobuo Honma, Tomoharu Ishikawa, Hiroaki Eto, Takehiro Nakatsue, Jinhui Chao, Miyoshi Ayama

"Preference of Color Images with Color-weak Correction Assessed by Color Anomalous and Normal Observers"

Proceedings of the 18th International Display Workshops, IDW2011, pp.1863-1866, Dec.1 Nagoya, 2011 (査読あり)

(7) Rika Mochizuki, Satoshi Oshima, Jinhui Chao

"Fast color-weakness compensation with discrimination threshold matching"

"Computational Color Imaging", CCIW2011, Lecture Notes in Computer Science, 2011, Volume 6626/2011, pp.176-187, Springer-Verlag, 2011(査読あり)

(8) 望月理香、中村竜也、趙晋輝

「色弁別閾値を基準とした新しい色弱補正法の提案」電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-A, No.2, pp.127-137, Feb. 2011. (査読あり)

(9) 大島哲、望月理香、趙晋輝

「リーマン正規座標系を用いた色空間における色差保存写像の構築と色弱補正への応用」電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-D, No.1, pp.68-76, Jan. 2011. (査読あり)

〔学会発表〕(計 2 件)

(1) Yi-Chun Chen, Yunge Guan, Tomoharu Ishikawa, Hiroaki Eto, Takehiro Nakatsue, Jinhui Chao, Miyoshi Ayama,

"Preference of Images with Color Enhancement Assessed by Color Anomalous and Normal Observers"

Proceedings of CSAJ2012, International Conference of Color Science Association of Japan, May 25-27, Kyoto, 2012. (査読あり)

(2) 陳怡君, 関韻格, 江藤博昭, 中枝武弘, 石川智治, 趙晋輝, 阿山みよし

「色弱補正変換画像の好ましさ評価」

日本感性工学会, 第13回日本感性工学大会, 2011年9月4日(査読なし)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

趙 晋輝 (Chao Jinhui)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：60227345

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：