

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 21 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700159

研究課題名(和文)色恒常性を備えた色知覚モデル構築による色覚メカニズムの推定と知的カメラへの応用

研究課題名(英文)Construction of categorical color perception model and application for intelligent camera system

研究代表者

矢田 紀子(YATA, Noriko)

千葉大学・融合科学研究科(研究院)・助教

研究者番号：60528412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：画像中の色認識は、コンピュータビジョンにおいて最も重要な課題のひとつである。色を定量的に扱うには人間の色覚に基づく色識別モデルが必要となり、照明光の変化に伴って変化する多くの物体色に対して、全ての色を人間と同じように色名に分類して認識する技術が必要とされている。

本研究では、人間と同じように色認識ができる次世代の知的カメラアプリケーションの実現を目的として、人間の視覚特性を調べる心理物理実験の結果を用いて色恒常性を備えたカテゴリカル色知覚モデルを構築獲得した。また、RGB-Dカメラから取得した深度情報を利用して、獲得したモデルを用いて動画画像中の物体色自動認識を実現した。

研究成果の概要(英文)：Automatic color recognition technology that can correctly discriminate a categorical color in various environments like a human is required. If we want to make a computer vision system able to recognize color like a human, we must consider human visual characteristics such as categorical color perception and color constancy in the color recognition system. To create the model, the relationship between chromaticity of color chips under different illuminations and categorical color perception of the color chips under these illuminations by a human has been learned using a structured neural network.

We propose a new model with modified training data for high recognition performance and perception of multiple colors. In addition, this study proposes a method of recognition of object colors under varying illumination condition in video. The recognition function is the categorical color perception model, and it uses the depth information from RGB-D camera.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：色認識 色恒常性 ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

画像中の色認識は、コンピュータビジョンにおいて最も重要な課題のひとつである。特に、人間が知覚する見え方と同じように色を認識することができるモデルは、人間と共存するロボットや撮影対象を自動認識する監視カメラに欠かせない重要な技術である。現在行なわれているほとんどの画像処理では、色を階調値などの数値で扱っており、色の認識を行いたい場合には一般にカメラのセンサ値や画像の階調値を用いて色の境界を設定して特定の色を判断する。しかし、照明条件やその他の条件によって人間の色の知覚は変化するため、カメラやその他のセンサ値から人間の知覚と同様に色認識を行うことは非常に困難である。照明光の違いによるセンサ値の変化を補正するには、単純に全ての画素値を平行移動するだけでは人間の知覚と一致しないからである。そこで、色を定量的に扱うには人間の色覚に基づく色識別モデルが必要となり、照明光の変化に伴って変化する多くの物体色に対して、全ての色を人間と同じように色名に分類して認識する技術が必要とされている。人間の視覚系については神経生理学や視覚心理物理など様々な分野で研究されているが、視覚系全体において高度な処理をどのように行っているかは未だに不明である。そこで、心理物理実験における人間の応答を神経回路網 (Neural Network; NN) に学習させて、学習後の NN を解析することで、人間と同じように色認識するモデルを開発するとともに、色覚のメカニズムを推定できると考える。

2. 研究の目的

本研究では、人間と同じように色認識ができる次世代の知的カメラアプリケーションの実現を目的とする。人間の視覚特性を調べる心理物理実験を行い、その結果を用いて色恒常性を備えたカテゴリカル色知覚モデルを獲得する。このとき、進化計算法を用いて任意の構造を学習する進化的ニューラルネットワーク手法を用いることでシンプルな構造のモデルで実現し、得られたモデルから人間の色覚メカニズムの推定に繋げる。さらに、獲得した色知覚モデルを用いて動画像中の物体の色名の自動認識を実現し、監視カメラや、人間の意図した通りに物体色情報を正確に認識するロボットビジョンへの応用に繋がる色認識システムを構築する。

3. 研究の方法

本研究は、1) 心理物理実験による色知覚データの獲得、2) 解析のしやすい色知覚モデル構築手法の開発、3) 実環境データに適用可能な色知覚モデルの構築とその解析、4) 知的カメラアプリケーションの開発という4つのフェーズからなる。3) 実環境データに適用可能な色知覚モデルの構築では、カテゴリカルカラーネーミング実験の結果か

ら作成する教師データのカテゴリ毎の学習量の偏りの均一化と、カテゴリ境界付近の色の認識にふさわしいデータ構造への変更を行い、新たなモデルを獲得する。4) 知的カメラアプリケーションの開発では、RGB-Dカメラを用いて、得られた深度情報から対象物体領域を切り出し、切り出した物体領域を色情報と位置関係で領域分割し、分割した領域の中で距離と色相差の小さい領域同士を統合後、3) で獲得したカテゴリカル色知覚モデルを適用することで、画素ごとの色認識よりも陰影やハイライトの影響を軽減した物体色認識を行う。

4. 研究成果

(1) 実環境データに適用可能な色知覚モデルの構築

人間の視覚特性であるカテゴリカル色知覚と色恒常性を備えた自動認識モデルであるカテゴリカル色知覚モデルを、画像に適したモデルとして新たに作成するために、教師データの学習量の均一化とデータ構造の変更という二つの手法を提案した。

教師データのカテゴリ毎の学習量の偏りの均一化に用いる方法は、学習量の低いカテゴリを含むパターンを反復学習させ、学習量を増加させるというものである。カテゴリ番号 i 、各カテゴリの重み w_i 、パターン総数 P 、パターン番号 p 、得票比率 d_{ip} 、総出力値 D 、反復学習回数 t_p とすると、学習の反復回数の計算過程は式(1)、式(2)のようになる。

$$w_i = D / \sum_{p=1}^P d_{ip} \quad (1)$$

$$t_p = \sum_i^C d_{ip} w_i \quad (2)$$

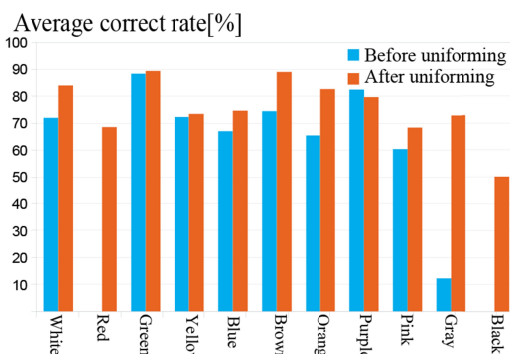


図1 カテゴリ毎の総出力値の割合の変化

学習量の均一化を行う前後の教師データのカテゴリ毎の総出力値の全体に占める割合の変化を図2に示す。今回用いた教師パターンでは、そのカテゴリのみがすべての得票を獲得したパターンが存在しないカテゴリがあったため、この均一化手法では学習パターンにおける各カテゴリの学習量の完全な均

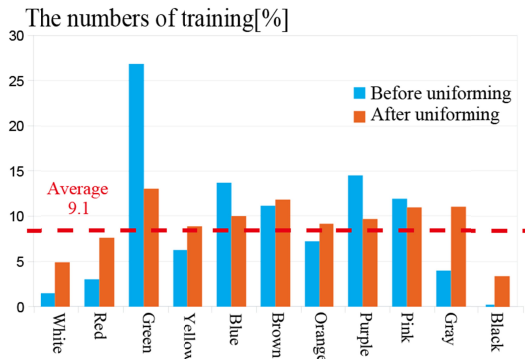


図2 未知照明に対する平均再現率

一化は達成されない。しかし、図2が示すように、提案手法によってカテゴリ毎の学習量は、全体に占める割合が平均値である9.1%に近づいている。このことから提案手法によって学習量の偏りが従来と比べより均一化され、学習に適したデータであるといえる。

表1 モデルのデータ構造の変化の例

得票カテゴリ	白	灰色	青
従来モデルの出力値	0.5	0.25	0.25
提案モデルの出力値	1.0	1.0	1.0

カテゴリ境界付近の色の認識精度向上のための教師データ構造の見直しについて、従来モデルでは心理物理実験で得られた各パターンにおけるカテゴリ毎の得票率を教師データとして用いていたが、得票カテゴリが分かれるカテゴリ境界付近の色のパターンに関しては、出力値が低下し、得票カテゴリ全てを認識することが困難になるという課題が見られた。そこで、提案モデルでは得票カテゴリ全てを認識させるために、全ての得票カテゴリの学習における出力値は得票率に関わらず最大値を用いる。表1に提案手法による教師データ構造の変更の例をあげる。

被写体となる24枚の色票を複数の照明条件で撮影した入力画像を用いて、モデルの自然画像に対する認識性能評価を行う。24枚の各色票に対する正解は被験者による主観評価で決定する。実験に用いた三種類のLED照明、自然光のそれぞれの照明条件に対する従来モデルと提案モデルの認識結果を表3に示す。表3から、提案モデルは自然画像に対して高い認識精度を示していることが分かる。

教師データの構造の変更を行う前後のモデルの学習に用いた教師データに対するカテゴリ境界付近の色の認識性能評価における正答率、再現率、適合率を表2に示す。この結果から、カテゴリ境界付近の色の認識性能は従来モデルよりも提案モデルの方が向上していることを示すことができる。提案手法によって、教師データのカテゴリ

表2 カテゴリ境界付近の色の認識性能

使用モデル	正答率 [%]	再現率 [%]	適合率 [%]
従来モデル	92.3	65.9	84.8
提案モデル	94.6	74.9	87.9

表3 未知の照明条件における実験結果

照明条件	従来モデル		提案モデル	
	正答数	正答率 [%]	正答数	正答率 [%]
LED1	11	45.8	21	87.5
LED2	15	62.5	23	95.8
LED3	13	54.2	22	91.7
SUN	15	62.5	23	95.8

毎の学習量の均一化を行うことができ、それによって従来モデルの課題であった、すべてのカテゴリで高い認識精度の実現が達成されたことを未知の照明光に対する検証で確認することができた。

カテゴリ境界付近の色の認識に関しては、カテゴリカルカラーネーミング実験の結果からカテゴリ中間色となる色が存在することが分かり、それを正しく認識するために新たな教師データの構造が必要であることが分かった。そして、カテゴリ中間色の認識のための新たな教師データの構造を提案し、提案モデルの認識性能を検証したことにより、カテゴリ中間色の認識精度が向上することを示すことができた。また、画像においてカテゴリをまたぐ色変化をする被写体を撮影した画像を用いて画像評価実験を行い、モデルの画像におけるカテゴリ中間色の認識が実現されていることを示すことができた。

(2) 知的カメラアプリケーションの開発

照明条件変動下で自動で人間と同じように動画像中の物体色認識を行うために、領域分割を用いて陰影の影響を軽減した、物体ごとに安定した色認識手法を提案する。その際に、背景の色などの影響を受けずに領域分割を行うために、RGB-Dカメラを用いて物体領域の切り出しを行う。まず、RGB-Dカメラを用いてシーンの背景画像と入力画像の色情報、深度情報を取得する。取得した深度情報の差分をもとにRGB画像からシーン中の対象物体領域を切り出し、切り出した物体領域に対してk-means法を用いて色情報による領域分割を行う。更に、位置関係も考慮するために、色情報で領域分割した際と同クラスタ内

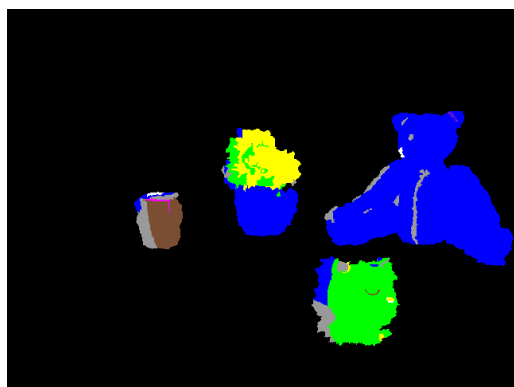
の各連続領域を，ラベリングによって単一の別領域として再度領域分割を行い，同じ番号ごとに画素の色から平均色を求め，その値を入力する．ここで，画像中の陰影の影響は輝度の低下や彩度の変化によるものであると考え，陰影を統合する際には，輝度や彩度の変化を考慮しない H を用いる． H は式 (3) を用いて求める．

$$\Delta H = \sqrt{\Delta E^2 - \Delta L^2 - \Delta C^2} \quad (3)$$

実際の処理の手順としては，色情報と位置関係で領域分割を行った領域で，閾値以上の大きさの面積を持つ領域に対して輪郭追跡を行い，隣接している領域で色相差 H が小さい，つまり陰影と考えられる領域を統合する．この時，領域に入力する色には陰影とハイライトの影響を受けていないと考えられる輝度値をもつ画素の RGB 値を採用する．最後に，陰影統合後の画像に対し，先行研究であるカテゴリカル色知覚モデルを適用することによって，シーン中の物体の色を基本カテゴリ 11 色に分類し，色動画像に提案手法を適用させる場合は，あらかじめ背景画像の深度情報を取得しておき，動画像の 1 フレームごとに上記の処理を施すことによつて色認識を行う．



(a) 入力画像



(b) 物体色認識結果

図3 提案手法適用結果画像

図3は，5500K と 3000K の照明光源下での撮影画像に提案手法を適用した結果である．撮影シーンは赤色のマグカップ，青色のぬいぐるみ，緑色の置物，黄色の花，低彩度の黄色い花瓶である．青色，緑色，黄色は概ね良

好に認識できていることが確認できる．赤色が茶色に認識された点に関しては，撮影画像の赤色部分の輝度値が低いために起きたと考えられるが，輝度値が低いと人間の目には赤色は茶色に見える傾向があるため，正解とも考えられる．提案手法により，陰影の影響を軽減した物体色認識を行うことができた．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- 1) 鎌田悠太郎, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣, 内川恵二, カテゴリカル色知覚モデルによるカテゴリ境界付近の色認識, 日本色彩学会誌, 査読有, 37 巻, 2013 年, pp.467-478

〔学会発表〕(計6件)

- 1) 江頭亜衣子, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 動画像中の照明条件の変化を考慮した物体色認識, 映像情報メディア学会 2013 年冬季大会, 2013 年 12 月 18 日, 東京
- 2) Masahide Kobayashi, Yoshitsugu Manabe and Noriko Yata, Interactive Estimation of Light Source Position and Reflectance of Real Objects for Mixed-Reality Application, 2013 International Conference Digital Image Computing: Techniques & Applications (DICTA2013), 2013 年 11 月 27 日, Hobart
- 3) 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 心理物理実験データからの視覚情報処理メカニズムの理解, 電気学会研究会, 2013 年 06 月 27 日, 東京
- 4) Yutaro Kamata, Noriko Yata, Keiji Uchikawa, Yoshitsugu Manabe, An Effective Training of Neural Networks for Categorical Color Perception, Interim Meeting of the International Colour Association 2012 (AIC2012), 2012 年 9 月 23, Taipei
- 5) 鎌田悠太郎, 矢田紀子, 内川恵二, 眞鍋佳嗣: カテゴリカル色知覚モデルの構築における偏りのある教師データの学習, 日本色彩学会第 43 回全国大会, 2012 年 5 月 26 日, 京都
- 6) Noriko Yata, Tomoharu Nagao, Keiji Uchikawa, Dichromat's categorical color perception model, 6th European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision (CGIV 2012), 2012 年 5 月 8 日, Amsterdam

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢田 紀子 (YATA, Noriko)

千葉大学・大学院融合科学研究科・助教

研究者番号: 6 0 5 2 8 4 1 2