

異なる背景色における LCD 上の色の見え方を考慮した色知覚モデルの構築に関する検討

目黒 大樹 石沢 千佳子 景山 陽一
秋田大学

1. 背景・目的

近年、Web ページに対する操作が人間によるものか、それとも悪意あるソフトウェア(以降、不正ボットと表記する)によるものかを判別するために、CAPTCHA[1]と呼ばれる認証が利用されている。CAPTCHA は、文字に歪みやノイズを加えた画像を提示することで、不正ボットによる文字認識を困難にしている。しかしながら、情報技術の進歩に伴い、不正ボットによる CAPTCHA の突破が可能になりつつある[2]。

一方、人間の視覚にはあいまいさが含まれる。例えば、白の背景色を用いてグレーを提示した場合、色の対比効果[3]と呼ばれる視覚特性が作用し、本来のグレーよりも暗い色として知覚される。このような人間の色知覚のあいまいさを利用し、本来の色とは異なる色を人間のみ知覚させることができれば、より強固な CAPTCHA の開発が可能になると考える。

そこで本研究では、色の対比効果などの視覚特性を利用した CAPTCHA を開発するため、人間の色知覚メカニズムを再現する機械学習モデル(以降、色知覚モデルと表記する)を用いて、複数の色名に認識可能な色を選出する手法を提案することを目的とする。本稿では、色知覚モデルが背景色による色知覚への影響を再現できているかどうかを調査するため、異なる背景色の入力データを用いて色知覚モデルの学習を行い、色知覚モデルから得られた色範囲を目視評価結果と比較した。

2. 目視評価実験によるデータ取得

2.1. 目視評価実験の概要

LCD 画面上に表示した色(以降、提示色と表記する)の中から、指定された色名に該当すると判断される色を選択する実験を行った。被験者は、日頃からコンピュータを使用している 20 代の男女 9 名(虹彩: ダークブラウン, 男性 5 名, 女性 4 名)である。実験は、色評価用 D65 光源の設置された室内(黒色のブラインドで外乱光を遮断)で行った。被験者の頭部周囲の照度は 280~325lx,

LCD と被験者の距離は約 60cm である。本研究は「秋田大学手形地区における人を対象とした研究に関する倫理規程第 6 条第 2 項」に基づき、被験者の同意を得てデータを取得した。

2.2. 使用色

LCD 画面上の提示色の中から色を選択するために被験者へ与えた色名(以降、指定色と表記する)は、人間の色知覚における 11 色のカテゴリカル色[3]のうち、有彩色である赤、茶色、橙、黄、緑、青、紫、桃色の計 8 色である。

提示色は、階調値 54, 99, 156, 210, 255(以降、基準階調値と表記する)の無彩色から RGB 成分を等量ずつ減少させて作成した合計 2,219 色である。そのうち、指定色の補色から色相角が前後 60°未満に属する色を除外した 1,537 色を指定色毎に設定し、LCD 画面上に提示した。

提示色を LCD 画面上に表示する際に使用した背景色は、階調値 127 のグレーである。また、指定色赤、黄、緑、青については、白、黒、指定色の補色をそれぞれ背景色とした場合についても同様にデータ取得を実施した。なお、指定色の補色は、HSV 表色系において彩度 80% の高彩度色および彩度 20% の低彩度色を設定した。提示画面の概要を図 1 に示す。

3. 色知覚モデル

3.1. 色知覚モデルの概要

色の恒常性を考慮した人間の色知覚を再現する機械学習モデル[4]を参考に、図 2 に示す構成の色知覚モデルを構築した。活性化関数は、中間層では sigmoid 関数、出力層では softmax 関数を使用した。色の知覚は背景色の影響を受けるため、入力層は提示色と背景色に分かれている。提示色と背景色は、視細胞の錐体(L, M, S)における反応値に変換されてから入力される。出力層は色名に判断される割合であり、色名毎に 0~1 の値が出力される。

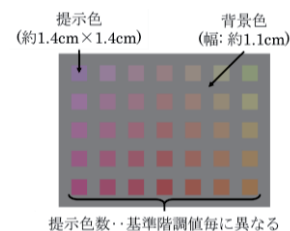


図 1. 提示画面の概要

Study on Creating a Color Perception Model that Takes into Account the Appearance of Colors on LCDs in Different Background Colors

Daiki Meguro, Chikako Ishizawa, Yoichi Kageyama
Akita University

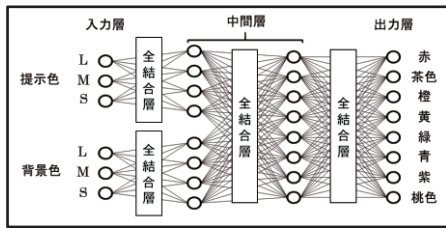


図2. 色知覚モデルの構成

3.2. 入力データ

色知覚モデルの学習に使用するデータを作成するために、下記①および②に示す目視評価結果をそれぞれ抽出した。

- ① 目視評価実験で使用した全ての背景色(グレー, 白, 黒, 指定色の補色)における目視評価結果
- ② 階調値 127 のグレーにおける目視評価結果

次に、①および②のうち、被験者に指定色と認められた提示色および評価時の背景色における RGB 値を、XYZ 値へ変換した後に LMS 値へ変換した。具体的には、D65 光源下における XYZ 変換式[5]および CIECAM02 で定義される LMS 変換式[6]を使用した。

3.3. 出力値の算出方法

色知覚モデルの出力値は、交差検証を行い算出した。具体的には、目視評価実験で取得した合計 9 名のデータを被験者毎に分割し、1 名を検証データに、残りの 8 名を教師データに使用して学習を行い、出力値を取得した。この処理を 9 回繰り返し、それぞれで算出した出力値の平均値を当該モデルにおける出力値として用いる。

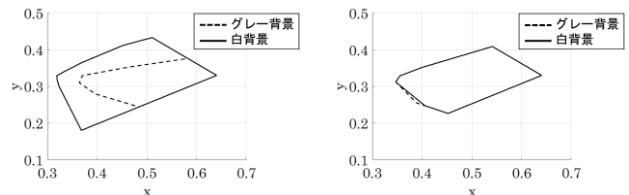
4. 解析手法

目視評価実験で使用した背景色毎に、下記 i~iii の処理を施した。

- i. 被験者の半数以上が指定色と回答した色を指定色毎に抽出した。
- ii. ①の入力データ、②の入力データでそれぞれ学習した色知覚モデルを用いて、目視評価実験に使用した全ての提示色を分類した。次に、各モデルにおいて出力値が 50%以上である色を指定色毎に抽出した。
- iii. i, ii で抽出した色に対して、D65 光源下における XYZ 変換式[5]を用いて、RGB 値から XYZ 値の色度 xy 値を算出した。

5. 評価結果および考察

グレー背景および白背景における提示色のうち、「目視評価により被験者の半数以上が赤と回答した色」および「各色知覚モデルにおいて赤の出力値が 50%以上である色」における範囲の例をそれぞれ図 3 および図 4 に示す。なお、図 3 および図 4 では、白背景下の提示色から得られた色範囲を実線で、グレー背景下の提示色から



(a) 複数背景色のデータを学習した色知覚モデルで算出した色範囲
(b) グレー背景のデータを学習した色知覚モデルで算出した色範囲

図3. 色知覚モデルにおける赤の出力値が50%以上の色範囲(グレー背景および白背景)

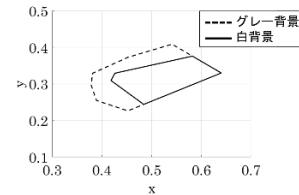


図4. 被験者の半数以上が赤と回答した色範囲(グレー背景および白背景)

得られた色範囲を点線で示す。

図 3(a)より、複数背景色のデータを学習した色知覚モデルは、背景色毎に色範囲が異なる。一方、図 3(b)より、グレー背景のみのデータを学習した色知覚モデルでは、背景色が異なる場合においても色範囲が類似する。したがって、構築した色知覚モデルは、背景色の色彩値を考慮して学習が行われていると判断される。

しかしながら、図 3(a)および図 4 を比較すると、目視評価結果と複数背景色のデータを学習した色知覚モデルは白背景における色範囲が大きく異なる。これは、グレー以外の背景色を分類する場合に、入力データが赤、黄、緑、青の4色のみであるため、当該色に分類されやすいことが要因であると考えられる。このため、構築した色知覚モデルが背景色による色知覚の影響を再現するためには、グレー以外の背景色における入力データについて、検討を加える必要がある。

参考文献

- [1] Luis von Ahn, Manuel Blum, and John Langford: "Telling humans and computers apart automatically", Communications of the ACM, Vol. 47, No. 2, pp. 56-60 (2004)
- [2] Suphanee Sivakorn, Iasonas Polakis, and Angelos D. Keromytis: "I am robot: (deep) learning to break semantic image CAPTCHAs", 2016 IEEE European Symposium on Security and Privacy, pp. 388-403 (2016)
- [3] 日本色彩学会: "新編 色彩科学ハンドブック(第3版)", 東京大学出版会 (2011)
- [4] Noriko Yata, Tomoharu Nagao, and Keiji Uchikawa: "Dichromat's categorical color perception model", 6th European Conference on Colour in Graphics Imaging and Vision 2012, pp. 295-300 (2012)
- [5] CIE 159-2004: "A Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIECAM02", CIE (2004)
- [6] IEC 61966-2-1: "Multimedia systems and equipment - Colour measurement and management - Part 2-1: Colour management - Default RGB colour space - RGB", IEC (1999)