

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 10 月 15 日現在

機関番号：25301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500653

研究課題名(和文)色覚特性者のための視覚的顕著性に基づく注視誘導による生活支援基盤の実現

研究課題名(英文)Guiding visual attention using saliency map for people with color vision deficiency

研究代表者

滝本 裕則 (TAKIMOTO, Hironori)

岡山県立大学・情報工学部・助教

研究者番号：10413874

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)：本課題では、色覚特性者に対して自然かつ効果的な注視誘導を行うため、視覚的顕著性に基づき、無意識的な視覚的注意である誘目性に影響を及ぼす画像の特徴を明らかにし、色覚特性の型に応じた誘目性モデルの構築を行った。また、得られた誘目性モデルに基づいて画像を加工し、色覚特性者の注視を自然に誘導可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：It is commonly believed that by drawing viewer's attention to particular objects, people with color vision deficiency activity can be effectively facilitated. The aim of our research is to propose a image modification method for directing viewer's gaze to specific regions of interest, using a novel saliency map model based on Lab color space. First, we compute the saliency map for people with color vision deficiency, and modify the Lab components based on the obtained saliency map for adjusting saliency value. And then, we repeat this process until the specified region has become the most salient. With the image obtained in this way, we can smoothly attract the viewer's attention to the specific region, without any interruption to the viewer's gaze. We performed a gaze-measurement and a subjective experiment. As a result, we confirmed that the viewer's visual attention is indeed attracted toward our specific region without uncomfortable feeling.

研究分野：画像工学

キーワード：色覚バリアフリー 視線誘導 視覚的顕著性 画像処理

1. 研究開始当初の背景

日本人を含む黄色人男性の約 5%は、特定の範囲の色について差を感じにくいという色覚特性を有しており、これら色覚特性は俗に「色盲・色弱」と呼ばれる。先天性色覚特性は、人間の網膜上にある 3 種類の錐体のうち、1 つ以上の錐体は何らかの異常をきたしており、色の知覚過程における生理的過程に原因があることが多い。

様々な先行研究において、xy 色度図において求められる混同色線（混同色線理論）に基づき、色覚特性者にとって弁別しやすい色の組合せを用いてカラー画像を補正する研究がいくつか報告されている。これら従来手法では、与えられたコンテンツ（静止画・動画）内で識別性を高めることを目的としており、意図的な注意の引かれやすさである視認性を高める効果を想定している。一方、色覚特性者に関する無意識的な視覚的注意の引かれやすさである誘目性についての研究はほとんどない。色覚特性者の無意識的な視覚的注意である誘目性に影響を及ぼす特徴が明らかになれば、その特徴に基づいて画像や映像を加工することにより、色覚特性者の注視を誘導することが可能である。また、特定のシーンにおいて無意識的な視覚的注意によって視線を誘導し、その後、意識的な視覚的注意による認知へとシームレスに移行可能な、色覚特性者にとって新しい概念のカラーユニバーサルデザイン技術が実現可能となる。

2. 研究の目的

本申請課題では、色覚特性者に対して自然かつ効果的な注視誘導を行うため、視覚的顕著性に基づき、無意識的な視覚的注意である誘目性に影響を及ぼす画像の特徴を明らかにし、色覚特性の型に応じた誘目性モデルの構築を目的とする。また、得られた誘目性モデルに基づいてコンテンツを加工し、色覚特性者の注視を自然に誘導することを目的とする。色覚特性者の注視を自然かつ効果的に誘導することが可能となれば、運転の補助や公共空間での案内表示など様々な場面において自然に注意を促すことが期待される。

3. 研究の方法

本課題では、研究期間内において、以下に示す 2 つの項目について研究を行った。

(1) 色覚特性者の視覚的顕著性モデルの構築

色覚特性者の注視を誘導するために色覚特性者の注視の移動と一致するような視覚的顕著性の計算モデルを提案する。我々は、混同色線理論を容易に適用することを考慮し、 $L^*a^*b^*$ 表色系に基づいてモデル化を行う。また、色覚特性者の注視を誘導するため、混同色線理論に基づいて、 L^* 成分と b^* 成分から得られる特徴を用いた視覚的顕著性マップを提案する。さらに、提案手法の有効性を確認するため、視線計測を行い、被験者の視線デー

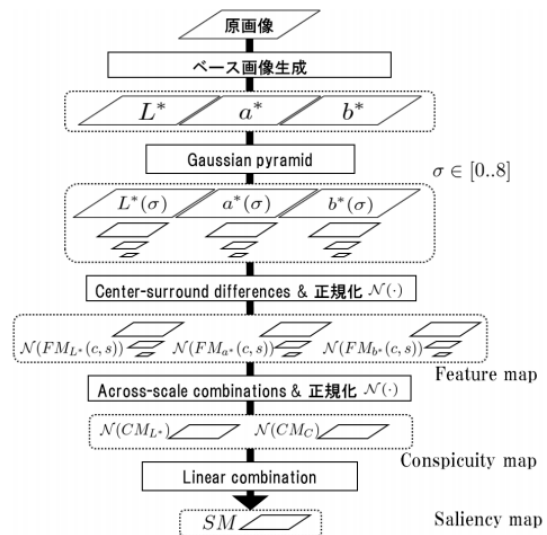
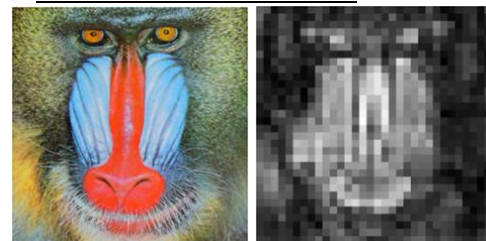


図 1 提案する $L^*a^*b^*$ 表色系に基づく視覚的顕著性マップモデルの概要



(a) 原画像 (b) 顕著性マップ ($L^*a^*b^*$ 成分)



(c) 顕著性マップ (L^*b^* 成分)

図 2 提案する視覚的顕著性マップ例

タと視覚的顕著性マップの一致度を求める。

(2) 色覚特性者のための視覚的顕著性に基づく注視誘導

任意の領域へ違和感を与えることなくユーザの注視を誘導するため、視覚的顕著性に基づく Color ベースの画像加工法を提案する。また、計算処理の高速化を行い、リアルタイム処理の実現を目指す。最後に、提案手法の有効性を示すため、視線計測と主観評価実験により注視誘導効果とユーザに与える違和感について検証を行う。

4. 研究成果

(1) 色覚特性者の視覚的顕著性モデルの構築

色覚特性者にとって混同しやすい色の組み合わせは、色を平面座標で表した xy 色度図における混同色線から推測可能である。ここで、P 型色覚と D 型色覚それぞれの xy 色度図の混同色線を $L^*a^*b^*$ 表色系の a^*b^* 色度図に写

像した場合、 a^* 成分の変更は同一の混同色線上での変更となるため、その差を識別することは困難である。一方、 b^* 成分を変更することで、容易に同一線上から離すことが可能である。したがって、明度 L^* 、および色差 b^* の2種類の成分を調整することで色覚特性者の視覚に対して効果的にうたえることができると考えられる。

我々は、色覚特性者の注視の移動と一致する $L^*a^*b^*$ 表色系に基づく視覚的顕著性マップを提案した。また前述のように、色覚特性者は a^* 成分の差を知覚することが困難である。したがって、Bottom-up 特徴による色覚特性者の視覚的注意においては、 a^* 成分から求められる Feature map の影響は小さいと考えられるため、 a^* 成分を除いた L^* と b^* 成分を用いた顕著性マップモデルを提案した。

評価実験として、提案手法の有効性を検証するため、視線計測を行い被験者の視線データと顕著性マップモデルの一致性を評価し、Itti らによって提案された従来の視覚的顕著性モデルとの比較を行った。視線計測には、ディテクト社の視線計測システム QGPLUS を用いた。被験者の頭部は顎台で固定し、前方 60[cm]の位置に視覚刺激を提示する液晶ディスプレイを設置した。視覚刺激提示前は画面中央に位置する固視点を注視させ、その後、実験画像を提示し視線の計測を行った。なお、実験に協力頂いた被験者は、正常色覚者を対象とした実験 1 では 20 代の正常色覚を有する男性 9 名、色覚特性者を対象とした実験 2 では 10 代と 20 代の色覚特性を有する男性 3 名である。なお、評価指標として、Peeters らによって定義された NSS と Percentile を用いた。

実験結果として、正常色覚者と色覚特性者に対する各視覚的顕著性マップの評価を表 1 と表 2 に示す。結果として、 $L^*a^*b^*$ 表色系に基づく視覚的顕著性マップは、従来モデルに比べて正常色覚者の注視行動をよく表しており、視覚的顕著性マップを用いる様々な場面で利用することが可能であることを確認した。しかし、表 2 より、色覚特性者に対して有効であると考えていた L^*b^* 成分のみを用いた視覚的顕著性マップは、 $L^*a^*b^*$ 成分を全て用いた視覚的顕著性マップよりも精度が低くなった。しかしながら、 $L^*a^*b^*$ 成分を全て用いた視覚的顕著性マップは、従来のモデルよりも色覚特性者の注視行動を高精度にモデル化できていることを確認した。

(2) 色覚特性者のための視覚的顕著性に基づく注視誘導

任意の領域へ違和感を与えることなくユー

表 1 正常色覚者に対するモデルの評価結果

	提案法 ($L^*a^*b^*$)	従来法 (Itti et al.)
NSS	0.739	0.632
Percentile	0.701	0.649

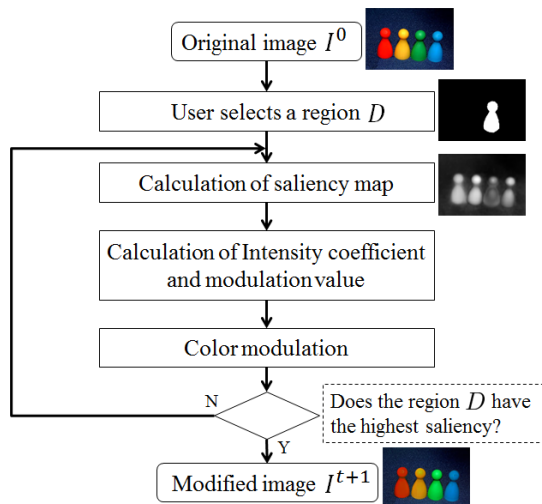


図 3 視覚的顕著性マップに基づく注視誘導のための画像加工技術の概要

表 2 色覚特性者に対するモデルの評価結果

	提案法 ($L^*a^*b^*$)	提案法 (L^*b^*)	従来法 (Itti)
NSS	0.693	0.607	0.621
Percentile	0.698	0.621	0.653

ザの注視を誘導するため、視覚的顕著性に基づく高速な画像加工法を提案した。提案手法は明るさや色相のような視覚的特徴の修正によりシーンの視覚的顕著性を調整する。その際、注視を誘導したい領域では視覚的顕著性が高くなり、それ以外の領域では低くなるように $L^*a^*b^*$ 表色系に基づく視覚的顕著性マップの計算モデルを利用し、各特徴の修正量を決定する。また、計算処理の高速化を行い、リアルタイム処理の実現を目指した。最後に、提案手法の有効性を示すため、視線計測と主観評価実験により注視誘導効果とユーザに与える違和感について検証を行った。

ここでは、上述の顕著性マップに基づく色修正アルゴリズムについて述べる。以下に全体の流れを簡単に示す。

- Step 1: 注視を誘導したい領域 D を指定
- Step 2: 顕著性マップを計算
- Step 3: 各画素の強度係数 P を計算
- Step 4: 各画素の基本修正量 Q を計算
- Step 5: 色修正
- Step 6: 指定領域 D 内の顕著度が最も高くなったら終了。そうでなければ Step2 に戻る。

続いて Step3 から各 Step の詳細を順に述べる。まず、画素 (i,j) の強度係数 P を次のように定義する。

$$P(i, j) = \begin{cases} \overline{SM} & (i, j) \in D \\ -SM(i, j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$\overline{SM} = \frac{1}{n} \sum_{(i,j) \in D} SM(i, j) \quad (2)$$

ここで、 n は注視を誘導したい領域 D 内に存在する画素の数である。強度係数は各画素の修正量にかかる重みであり、顕著度に従って決定される。このとき、注視誘導の対象領域 D 内であれば、特徴を強調するために正の値となり、それ以外の領域では特徴を抑制するために負の値となる。提案手法では、領域 D 内の強度係数を領域 D 内の顕著度の平均値とした。

次に、画素 (i, j) の基本修正量 $Q_k(i, j)$ ($k = L^*, a^*, b^*$) を次のように定義する。

$$Q_k(i, j) = \text{Sgn}_k(i, j) \cdot \phi_k \quad (3)$$

ここで、 $\text{Sgn}_k(i, j)$ ($k = L^*, a^*, b^*$) は、注目画素 (i, j) とその周囲の大小比較により異なる符号を持つ符号関数であり、次のように定義される。

$$\text{Sgn}_k(i, j) = \begin{cases} 1 & k(i, j) > \bar{k}(i, j) \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $k(i, j)$ は画素 (i, j) におけるベース画像 k ($k = L^*, a^*, b^*$) の値であり、 $\bar{k}(i, j)$ はベース画像 k の画素 (i, j) を中心とする 256×256 画素の範囲の平均値として次のように定義する。

$$\bar{k}(i, j) = \frac{1}{256 \times 256} \sum_{m=-127}^{128} \sum_{n=-127}^{128} k(i+m, j+n) \quad (5)$$

なお、周囲を 256×256 の範囲とした理由は、顕著性マップを作成する際に利用する最小スケール画像の大きさが原画像の $1/256$ となるためである。この符号関数は、顕著度を適切に調整するために各成分を強調するか抑制するかを決定する。

また、 ϕ_k ($k = L^*, a^*, b^*$) は影響度であり、次のように定義する。

$$\phi_k = \frac{\mathcal{N}(CM_k)}{\mathcal{N}(CM_L) + \mathcal{N}(CM_a) + \mathcal{N}(CM_b)} \quad (6)$$

影響度は各成分の顕著度への寄与率であり、この値が大きい成分ほど強調・抑制することで顕著度が変化する。

そして、画素 (i, j) における更新前の画素値を $k'(i, j)$ 、更新後の画素値を $k^{+1}(i, j)$ とし、色修正を強度係数 $P(i, j)$ と基本修正量 $Q_k(i, j)$ を用いて次のように定義する。

$$k^{+1}(i, j) = k'(i, j) + W \cdot P'(i, j) \cdot Q_k'(i, j) \quad (7)$$

ここで、 W は 1 回の更新に係る重みであり、この値が大きくなるほど処理の高速化が期待できる。しかし、この値は画像の自然性とトレードオフの関係にあるため、主観評価により最適化を行った。

最後に、領域 D 内の顕著度の平均値がそれ以外の領域の顕著度の最大値を上回るまで処理を繰り返し、領域 D に注視を誘導可能な画像を作成する。

評価実験として、提案手法の有効性を検証するため、視線計測により注視誘導効果、主観評価実験によりユーザに与える違和感を検証し、さらに処理時間の計測を行った。

実験条件として、被験者は正常色覚を有する 20 名 (男性: 12 名, 女性 8 名) と色覚特性を有する 3 名 (男性: 3 名) である。実験画像

として、 640×480 画素の画像 30 種類を使用した。それぞれの画像に対して注視を誘導したい領域を 1 つずつ指定し、提案手法により画像加工を行った。

まず、注視を誘導可能であることを視線計測により確認する。視線追尾システムとして QG-PLUS を用いる。被験者の頭部は顎台によって固定し、前方 60cm の位置にディスプレイ (1280×960 画素) を設置する。それぞれの実験画像はランダムな順番で 3 秒間表示される。また、それぞれの実験画像の表示前にはディスプレイの中央に固視点を 1 秒間表示する。この実験では、被験者の注視が注視誘導の対象領域に移動した順番を計測する。ただし、半径 100 画素の範囲内に 100 ミリ秒以上視線が停留したものに限り計測した。

まず、提案手法を用いて画像を加工した例を図 4 と図 5 に示す。図 4 と図 5 において、(a) は原画像、(c) は (a) を提案手法によって加工した画像であり、(b) と (d) はそれぞれ (a) と (c) の視覚的顕著性マップである。なお、図 4 と図 5 において、対象領域はそれぞれ左下の物体と右下の物体を選択した。図 4 において、提案手法による加工画像は元の色合いをある程度保っており、顕著度も全体的に向上している。また、図 5 において、提案手法による加工画像は対象領域が粗くなっておらず、対象領域の顕著度も向上している。このことから、提案手法はユーザに違和感を与えることなく注視を誘導可能であると考えられる。

次に、表 3 に正常色覚者に対する視線計測の結果として 1~3 番目の注視が対象領域に移動した割合を示す。原画像では、対象領域がほとんど注視されていないのに対し、提案手法による加工画像では、対象領域に視線を誘導できていることが確認できた。特に提案手法は、1 番目の視線移動が対象領域に移動する割合が高く、誘導効果が向上したといえる。一方、色覚特性者の場合、正常色覚者ほどではないものの、多くの場合において、提案手法が注視を誘導可能であることを確認した。結果の一例として、図 6 に、色覚特性者に対する視線計測実験の結果例 (スキャンパス) を示す。図 6 より、提案手法を用いて画像加工を行った場合、色覚特性者の注視を効果的に誘導可能であることが確認できた。

次に、画像加工が悪い印象を与えるかどうかを主観評価実験により確認する。原画像と提案手法による加工画像の比較を DSIS 法に基づき行った。主観評価実験の結果として、DSIS 法では提案手法の評価値は 3.31 となり、提案手法は高い評価を得たことから、提案手法による加工画像は被験者に多大な違和感を与えないことを確認した。なお、視線計測と主観評価実験の結果は検定により有意差が認められた。

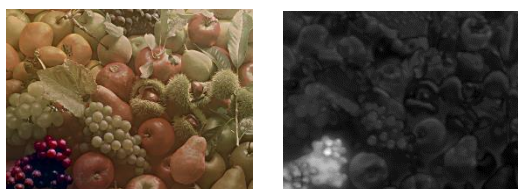
そして、処理時間は提案手法が 0.28 秒となり、実環境下でのリアルタイム処理が可能であることを確認した。以上の結果から、提案手法は色覚特性者に対する注視効果が高く、

実利用を想定した場合の自然性と処理時間に関しても問題ないことを確認した。

まとめとして、本課題では、色覚特性者に対して自然かつ効果的な注視誘導を行うため、視覚的顕著性に基づき、無意識的な視覚的注意である誘目性に影響を及ぼす画像の特徴を明らかにし、色覚特性の型に応じた誘目性モデルの構築を行った。また、得られた誘目性モデルに基づいて画像を加工し、色覚特性者の注視を自然に誘導可能であることを確認した。



(a) 原画像 (b) 顕著性マップ

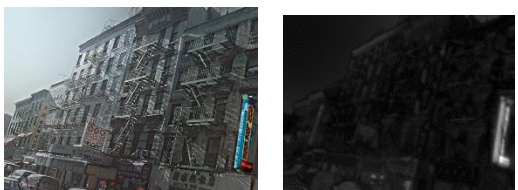


(c) 加工画像 (d) 顕著性マップ

図4 画像加工例と顕著性マップ(1)



(a) 原画像 (b) 顕著性マップ



(c) 加工画像 (d) 顕著性マップ

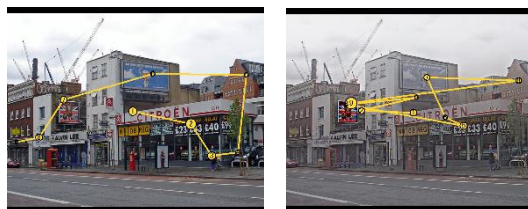
図5 画像加工例と顕著性マップ(2)

表3 対象領域に注視が移動した割合 [%]

	原画像	提案手法
1 番目	5.8	38.6
2 番目	8.4	21.9
3 番目	10.4	10.0



(a) 原画像 (b) 加工画像



(c) 原画像 (d) 加工画像

図6 画像加工結果とスキャンパス(色覚特性者)

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2件)

1. D. Gion, H. Takimoto, M. Kishihara, and K. Okubo: "Interactive Segmentation for Color Image based on Color Saliency", Journal of Electronics and Communications in Japan, Vol. 98, No. 3, pp.24-32, (2015)
2. H. Takimoto, H. Yamauchi, M. Kishihara, and K. Okubo: "FOREGROUND OBJECT EXTRACTION BASED ON INTERACTIVE COLOR SALIENCY MAP". International Journal of Image and Graphics, Vol. 14, Nos. 1&2, 1450007-1 - 1450007-15, (2014)

[学会発表] (計11件)

国際会議

1. T. Kokui, H. Takimoto, H. Yamauchi, M. Kishihara, and K. Okubo: "Image Modification based on Bottom-up Saliency Map for Directing User's Gaze", Proc. of RISP International Workshop on NCSP, pp. 637-640, (2014.3)
2. T. Kokui, H. Takimoto, Y. Mitsukura, M. Kishihara, and K. Okubo: "Color Image Modification Based on Visual Saliency for Guiding Visual Attention", Proc. of 22th IEEE International Symposium in RO-MAN2013, pp. 467-472, (2013.8)

国内発表

3. 佐藤 敬子, 滝本 裕則, 満倉 靖恵: "異なる輝度レベルにおける色覚特性者の色名応答と色彩印象", 第10回日本感性工学会春季大会, 5A-06, (2015.3)
4. 滝本 裕則: "効果的な広告デザインの検討と視覚障害者福祉の実現に向けた視線誘導技術", 第19回岡山リサーチパーク研究・展示発表会, (2014.9)

5. 人見 修平, 国井 達彦, 滝本 裕則, 山内 仁, 満倉 靖恵, 岸原 充佳, 大久保 賢祐: ``色覚特性者のための注視誘導に向けた視覚的顕著性マップの検討'', 第 20 回 画像センシングシンポジウム 講演論文集, IS1-21, (2014.6)
6. 国井 達彦, 滝本 裕則, 山内 仁, 岸原 充佳, 大久保 賢祐: ``自然な注視誘導のための画像加工に関する研究'', 第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム 論文集, B-75, (2013.11)
7. 国井 達彦, 滝本 裕則, 満倉 靖恵, 岸原 充佳, 大久保 賢祐: ``注視誘導のための Saliency Map に基づく画像加工'', 平成 25 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集, OS10-4, pp.933-937, (2013.9)
8. 国井 達彦, 滝本 裕則, 山内 仁, 岸原 充佳, 大久保 賢祐: ``Lab 表色系に基づく視覚的顕著性を利用した注視誘導'', 計測自動制御学会 第 90 回パターン計測部会研究会, pp. 7-13, (2013.7)
9. 国井 達彦, 滝本 裕則, 満倉 靖恵, 山内 仁, 神代 充: ``視覚的顕著性に基づく視線誘導のための画像変換'', 動的画像処理実利用化ワークショップ DIA2013, pp. 72-76, (2013.3)
10. 祇園 大輝, 滝本 裕則, 山内 仁, 神代 充: ``顕著性情報に基づくカラー画像のセグメンテーション'', 第 17 回 パターン計測シンポジウム, pp. 41-47, (2012.12)

6. 研究組織

(1)研究代表者

滝本 裕則 (TAKIMOTO HIRONORI)
岡山県立大学・情報工学部・助教
研究者番号: 10413874

(2)研究分担者

満倉 靖恵 (MITSUKURA YASUE)
慶應義塾大学・理工学部・准教授
研究者番号: 60314845