

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-01-15

自律移動ロボットのための異なる色調照明下での特定色検出システムの開発

藤森, 悠太 / FUJIMORI, Yuta

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

65

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2024-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030778>

自律移動ロボットのための 異なる色調照明下での特定色検出システムの開発

DEVELOPMENT OF SPECIFIC COLOR DETECTION SYSTEM UNDER DIFFERENT COLOR TONE ILLUMINATIONS FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS

藤森悠太

Yuta FUJIMORI

指導教員 小林一行 教授

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻修士課程

Autonomous waypoint navigation stands out as an important task for mobile robots operating in urban environments. To ensure safe navigation, most mobile robots rely on pre-trained navigation maps. However, traditional pre-trained map-based waypoint navigation faces challenges, especially in scenarios like construction sites where the environment changes temporarily and significantly. Temporarily construction sites are usually staffed by people wearing construction jackets in specific colors that make them stand out to avoid accidents involving pedestrians or other mobile robots.

This paper describes a new specific color detection algorithm to help autonomous mobile robots navigate safely even when there are temporary construction sites in their travel path. To address the problem of specific color detection under different lighting conditions, especially under the influence of various color lights, we introduce a stable algorithm for detecting specific colors based on Retinex theory. The effectiveness of the proposed system was demonstrated through experiments under various color light conditions.

Key Words: *waypoint navigation, safe navigation, construction worker detection, Retinex theory*

1. はじめに

移動ロボットの基本的な動作の一つであるナビゲーションでは、障害物と衝突しないように回避し、予め割り当てられたウェイポイントまで移動することである[1]。移動ロボットのナビゲーションシステムの多くは、事前に学習したマップに基づくティーチングバック方式である。しかし、ウェイポイントのコース上に道路工事現場などがあり、外観が大きく変化した場合、マップマッチングによる推定では、自己位置の推定に失敗し、移動ロボットが立ち往生するなどの問題が発生する可能性がある。

工事現場などでは、通行人や車両との接触事故を防止するために、工事作業員が高視認性の安全服の着用や、看板の設置などによって周囲に注意を促している。しかし、移動ロボットの多くは、衝突を回避するために 3D-LiDAR などで障害物を検知するようにされており、カメラから色彩を識別して走行を行なう事例は少ない。これは、照明条件によってカメラからの色の見え方が一定でない可能性があるためである。このような問題を解決するため、一貫した特定色の検出を行なうには、画像の RGB 値に対する補正を行なう手法や[2-3]、輝度に非線形な修正を加える手法[4]、Retinex 理論に基づくアプローチなどが挙げられる[5]。

本論文では、ISO 20471[6-7]で定義されたいくつかの高視認性色の安定した検出を目的とし、いくつかの異なる光条件を適用することで、提案するアル

ゴリズムの有効性を確認する。

2. ISO における高視認性色の定義

ISO20471 では、高視認性安全服の再帰反射材の色が定義されており、高視認性色（蛍光イエロー、蛍光オレンジ）の生地は昼光下でも視認性が高いため、工事現場などで注意を促すときに用いられる。各色の xy 色度座標および輝度率の範囲は Table1, Fig.1 のように定義され、高視認性色それぞれに対応する座標領域が設定されている。

Table1 xy chromaticity coordinates and coordinates of the range of luminance rates.

	xy chromaticity coordinate range		Luminance rate range
	x	y	β
Fluorescent Yellow	0.387	0.610	≥ 0.70
	0.356	0.492	
	0.398	0.452	
	0.460	0.540	
Fluorescent Orange	0.610	0.390	≥ 0.40
	0.535	0.375	
	0.570	0.340	
	0.655	0.345	

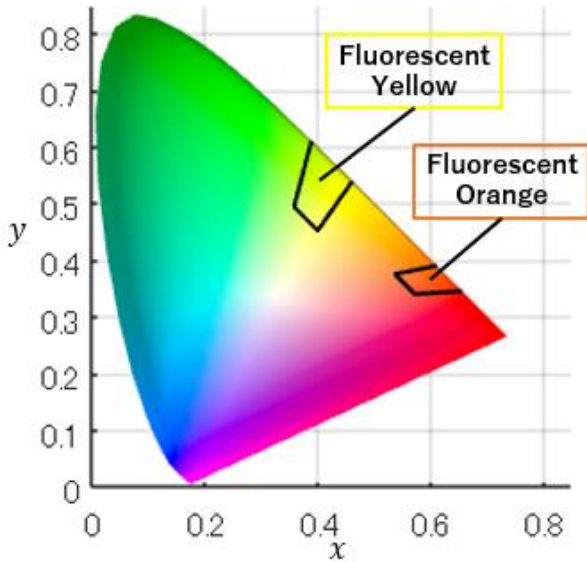


Fig.1 xy chromaticity coordinate range

3. 本研究における仮定と問題

本研究では、工事現場で使用される ISO で規定された高視認性色を、照明環境に影響されることなく、安定して検出することを目的とする。そのため、以下のことを仮定する。

- A1) 6500 ケルビンの色温度をもつ光源が当たっているものとする。
 - A2) 識別する対象は動いていないものとする。
- 以上の仮定のもとで、以下の問題を検討する。
- P1) 光源の色を変化させても識別できるようにする。
 - P2) Single-Scale Retinex(以降 SSR)による識別精度向上を確認する。

4. 提案する色検出アルゴリズム

4.1. Single-Scale Retinex

カメラから取得する画像は、色の明度や彩度で定義される色調が環境光により変化し、色検出に大きく影響する。この影響は、再帰反射材を使用した視認性の高い色の衣服や標識などに大きく表われる。そこで本研究では、色調の変化を補正して色を安定して認識するために、Retinex 理論を応用したモデルの一つである SSR モデルを採用した[8-10]。式(1)は、ガウシアンフィルタを用いて注目画素とその周辺画素をコンボリューション（畳み込み積分）することにより、元の RGB 画像から照明光の推定を行なう。

$$I'_{(x,y)} = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}\right) * I_{(x+i,y+j)} \quad (1)$$

ここで、 (x,y) は画像の座標、 $I'_{(x,y)}$ は推定照度、 $I_{(x,y)}$ は画像の画素値である。

式(2)は、画像と反射率成分の関係を表わす SSR モデルを示している。

$$P_{(x,y)} = \log \frac{I_{(x,y)}}{I'_{(x,y)}} \quad (2)$$

ここで、 $P_{(x,y)}$ は反射率成分であり、元の画像と推定した照度の比に対数を取ることで求められる。得られた反射率成分 P は照明光によらない、 R , G , B 成分を持つため、以降は反射率成分 P の RGB 値を用いて算出を行なっていく。

4.2. 輝度の算出

輝度率を算出するためには、画像の輝度を求める必要がある。輝度は式(3)によって求められる。

$$L = 0.299P_R + 0.586P_G + 0.114P_B \quad (3)$$

ここで、 P_R , P_G , P_B は反射率成分 P の RGB 成分であり、 L は輝度である。

次に、求められた輝度から式(4)を用いて輝度率の算出を行なう。

$$\beta = \frac{L-L_{min}}{L_{max}-L_{min}} \quad (4)$$

ここで、 L_{max} , L_{min} , はそれぞれ輝度 L の最大値と最小値であり、 β は反射率成分である。

得られた輝度率 β に Table1 に示す輝度率の範囲に基づいた閾値を設けることで二値化を行ない、高視認性色の検出を行なう。

4.3. xy 色度座標の算出

xy 色度座標を算出するためには、RGB 色空間から XYZ 色空間に変換する必要がある。XYZ 色空間への変換は式(5)によって行なう。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_R \\ P_G \\ P_B \end{bmatrix} \quad (5)$$

得られた XYZ 色空間の XYZ 値を式(6)と式(7)を用いて正規化することで、xy 色度座標の算出を行なう。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (6)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (7)$$

得られた xy 色度座標に Table1 に示す xy 色度座標の範囲に基づいた閾値を設けることで二値化を行ない、高視認性色の検出を行なう。

4.4. ノイズ除去

本研究ではノイズ除去として、二値化された画像に対して、時間的フィルタリング、モルフォロジー処理、面積フィルタリングの3つを行なった。

時間的フィルタリングの式を(8)に示す。

$$S_l = F_{l-2} \cap F_{l-1} \cap F_l \quad (8)$$

ここで、 S_l は l 番目のノイズ除去後のフレーム、 F_l は l 番目のフレームである。本研究では現在のフレームから2フレーム前までの論理積を取ることでノイズ除去を行なった。

その後、任意の直径を持つ円を構造要素としてモルフォロジー処理のオープニング処理とクローズング処理を行なうことで画像内の小さなノイズの除去を行ない、面積が一定数以下のオブジェクトの除去を行なうことで、画像の品質向上を行なった。

4.5. 提案アルゴリズムの手順

Fig.2 は、提案する色検出アルゴリズム全体のフローチャートである。

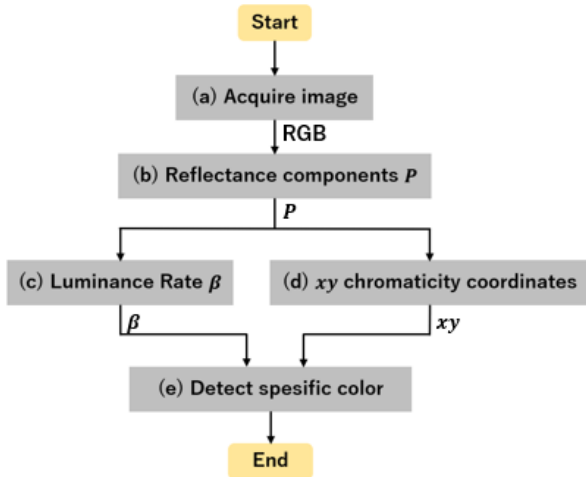


Fig. 2 The overall flow of the algorithm

- (a) RGB 画像を読み込み、反射率成分 P 画像、輝度率 β 画像、xy 色度座標画像を以下の(b)(c)(d)に示す手順で生成する。
- (b) (a)で得られた RGB 画像に対して、式(1)に示したガウシアンフィルタを用いて照明光の推定を行なう。その後、式(2)によって反射率成分 P 画像の生成を行なう。以下の(c), (d)では反射率成分 P 画像の RGB 値を用いた画像生成を行なう。
- (c) 反射率成分 P 画像の RGB 値に対して、式(3)を適用することで輝度の算出を行なう。その後、式(4)により生成される輝度率 β 画像に対して、Table1 に示した輝度率 β の範囲に基づいて二値化を行なう。
- (d) 反射率成分 P 画像の RGB 値に対して、式(5)を適用することで XYZ 色空間への変換を行なう。その後、式(6)、式(7)によって得られる xy 色度座標画像に対して、Table1 に示した xy 色度座標の範囲に基づいて二値化を行なう。
- (e) (c), (d)で生成した 2 つの画像の論理積をとることで、高視認性を検出する。その後、時間的フィルタリング、モルフォロジー処理、面積フィルタリングの 3 つのノイズ除去によって画像の品質向上を行なう。

以上が提案するアルゴリズムの手順である。

5. 検証実験

5.1. 実験環境

提案した高視認性色検出アルゴリズムの性能を確

認するため、複数の異なる色の照明光で識別対象を照らし、検出を行なった。また、SSR による精度向上確認のため、SSR を用いず、輝度率と xy 色度座標の閾値のみでの検出も行なった。Fig.3 に本実験の識別対象とした作業着を示す。



Fig.3 Work clothes

本実験ではこの作業着をマネキンに着用させ、蛍光オレンジと蛍光イエローそれぞれの識別を行なう。

Fig.4 に本実験の環境を示す。

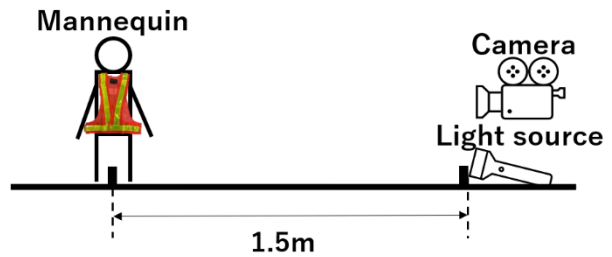


Fig.4 Experimental Environment

本実験では作業着を着用させたマネキンから 1.5m 離れた位置にカメラと光源を設置し、光源の色を黄、青、赤、緑、ピンク、紫、オレンジの合計 7 種類の色に変化させて識別を行なった。

5.2. 検証結果

Fig.5 に開発したシステムで検出および閾値のみでの検出を行なった結果を示す。

		Yellow	Blue	Red	Green	Pink	Purple	Orange
Original Image								
Only Threshold	Orange							
	Yellow							
Developed System	Orange							
	Yellow							

Fig.5 Experimental results

Fig.5 の結果から、開発した SSR を用いたシステムでは、蛍光オレンジ、蛍光イエローともに 6 種類の色の照明下では識別できていたが、赤色の色調下では識別ができなかった。これは、赤色の光の場合、画像の輝度が下がってしまっていることが原因だと考

えられ、使用するカメラの露光時間等を調整することで改善することができるのではないかと考えられた。また、SSRを用いずに閾値のみで識別するシステムでは、蛍光オレンジは光源の光の色が黄色とオレンジ色のときに検出ができ、蛍光イエローはどの色の光においても検出することができなかった。このことから、開発したシステムは複数の色の照明下においても、色を一貫して識別できることと、閾値のみに比べ、SSRを用いることで識別の精度が向上していることがわかった。

6. むすび

本研究では、SSRを用いて、異なる色調照明下での特定色検出システムの開発を行なった。開発したシステムでは、SSRによって得られる反射率成分をもとに、xy色度座標と輝度率を算出し、それぞれに閾値を設けることで二値化を行なった後、論理積をとることで高視認性色の検出を行なった。検証実験では、開発したシステムの性能確認とSSRを用いたことによる精度向上を確認するために、高視認性色が扱われた作業着をマネキンに着用させ、マネキンから1.5m離れた位置にカメラと光源を設置し、光源を7種類の色に変化させ、開発したシステムでの検出とSSRを用いずに閾値のみによる検出を行なった。その結果、開発したシステムは複数の色の照明下においても、色を一貫して識別でき、閾値のみの識別に比べ開発したSSRをシステムの方が、精度が向上していることがわかった。

7. 今後の展望

本研究では、複数の異なる色調照明下でも特定色を検出できるシステムの開発およびSSRを用いたことによる精度向上の確認ができた。しかし、今回の実験では、背景などに白色が多く存在し、対象との距離が固定されていることや、対象が動いていないことから、今後はより複雑な条件下でも検出をできるようにしていく必要があると考えられる。また、ノイズ除去においてもピクセル数を任意の数としているが、これは画像全体のピクセル数や識別対象との距離によって変化させる必要があるため、閾値設定の自動化も必要だと考える。

参考文献

[1] Sun-Do Kim, Chi-Won Roh, Sung-Chul Kang and Jae-Bok Song, "A fuzzy decision-making algorithm for safe driving in urban environment," 2007 International Conference on Control, Automation and Systems, 2007, pp. 678-683, doi: 10.1109/ICCAS.2007.4406985.
[2] S. Chokchaitam, P. Sukpornawan, N. Pungpiboon and S. Tharawut, "RGB Compensation Based on Background Shadow Subtraction for Low-Luminance Pill Recognition," 2019 4th International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (CRC),

2019, pp. 118-122, doi: 10.1109/CRC.2019.00032.

[3] Y. Bae, J. H. Jang and J. B. Ra, "Gamut-adaptive correction in color image processing," 2010 IEEE International Conference on Image Processing, 2010, pp. 3597-3600, doi: 10.1109/ICIP.2010.5652000.

[4] Yanfang Wang, Qian Huang, Jing Hu, "Adaptive enhancement for nonuniform illumination images via nonlinear mapping," J. Electron. Imag. 26(5) 053012 (19 September 2017)

[5] H. Tanaka and A. Taguchi, "Image Contrast Enhancement with High Dynamic Range using Singlescale Retinex," 2021 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), 2021, pp. 1-2, doi: 10.1109/ISPACS51563.2021.9651001.

[6] ISO 20471:2013 High visibility clothing - Test methods and requirements

[7] JIS T 8127:2020 High visibility safety clothing

[8] ContrastMagic™ Technology to Optimize Image Brightness and Contrast (Last viewed on 2024/01/22),

https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2009/06/64_06pdf/a06.pdf

[9] D. H. Choi, I. H. Jang, M. H. Kim and N. C. Kim, "Color Image Enhancement Based on Single-Scale Retinex With a JND-Based Nonlinear Filter," 2007 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2007, pp. 3948-3951, doi: 10.1109/ISCAS.2007.378664.

[10] Y.Koike, T.Horiuchi, R.Saito and S.Tominaga, "Improvement of Contrast and Haloing Artifact for Single-Scale Retinex Model", Journal of the Imaging Society of Japan, Vol.48, No.2, pp.84-91, 2009 (in Japanese).