法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-04

移動ロボットのためのカラーパッチを用いたロバストな色検出アルゴリズムの開発

KUROKI, Kouki / 黒木, 虹希

(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)
64
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
6
(発行年 / Year)
2023-03-24
(URL)
https://doi.org/10.15002/00026425

移動ロボットのためのカラーパッチを用いたロバストな色検出アルゴリズムの開発

DEVELOPMENT OF A CONSISTENT COLORDETECTION ALGORITHM USING COLORED REFERENCED PATCHES FOR MOBILE ROBOTS

黒木虹希
Kouki KUROKI
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

Observed color in images is easily affected by lighting conditions such as the sunlight location, weather, or time of day. Especially for image recognition processing on an outdoor navigated autonomous mobile robot, we should consider the effect of lighting conditions to achieve consistent robust color detection regardless of lighting condition change. In this paper, we employ new reference color patches to perform robust color detection to identify surrounding images by using the omnidirectional camera. As a demonstration of color detecting capability for the proposed approach, we apply specified human finding tasks defined by Tsukuba Challenge 2022 rules. Using the proposed method, we can demonstrate that the mobile robot was stably detected color, determining specified humans regardless of surrounding light change due to mobile robots.
.***Key Words*** *: omnidirectional camera, color patch, Tsukuba Challenge, mobile robot*

１．はじめに

近年,日本では少子高齢化が急速に進んでおり,労働力不足が問題となっている[1].そこで人間の作業に取って代わり，実環境下で機能する自律移動ロボットの需要が高まっている.そこで人とロボットが共存する実環境化において,自律移動ロボットの改良に取り組み,自律走行技術の進歩を目的とした「つくばチャレンジ」が開催されている.移動ロボットに求められる代表的な機能の一つとして,人物探索が挙げられており,つくばチャレンジでは公園内で事前に指定された色の衣装を着用した対象人物を探索することが課題の一つとなっている[2].

自律移動ロボットを使用することによる正確で一貫した色検出の達成のためには,ロボットに搭載されているセンサによって周囲の環境を認識する必要があるが，撮影時の場所や天気や時間帯による照明変動による影響を考慮しなければならない.つくばチャレンジではあらかじめ設定された探索対象人物を見つけるために,探索対象が着用する服の色特徴を用いる手法[3]が提案されている.しかし,カメラから得られる色情報は撮影した場所や天候,時間などによる照明変動の影響を受けやすく,さらに検出したい色の閾値を事前に手動で設定しなければならないという問題がある.照明変動の影響を避けるために,形状情報と色情報を組み合わせる手法[4,5,6]も提案されている.LiDAR は本来,カメラに比べて照明変動に強いが,この手法では,カメラと LIDAR の情報を処理しなければならなく,計算コストが増大する.ロバストで安定した人物検出を実現するために深層学習を用いた手法[7,8,9]も提案されている.この手法はロバストで安定した検出が行えるが，事前の学習に大量のデータを必要とし,開発するのに時間がかかる．また,計算コストを要するために高度なコンピューターの処理能力も必要になる.カメラから得られる色情報は周囲の照明条件の影響を受けやすいが，特に複数の人物が映り込んだ場合を想定すれば,人物の色情報は重要な特徴量だと考えられる.

そこで本研究では独自に作成した基準カラーパッチと全天球カメラを用いて，照明変動にロバストな色検出アルゴリズムの開発を行ない,つくばチャレンジ 2021[10]の選択課題である探索対象発見で対象者が着用する衣装を参考に検証を行った.

２．色検出システムの概要

Fig.1 に提案する移動ロボットのための色検出システムの概要を示す.提案する色検出システムでは,ロボット周囲の環境を死角なく観察できる全天球カメラを採用した.さらに,移動ロボットには様々な色のカラーパッチが取り付けられており,全天球カメラを地面と平行に取り付けた

ため,カラーパッチと探索対象人物を一度に観察することができる.そこで全天球カメラで撮影した画像をもとに探索対象の衣装の色とカラーパッチの色の類似度を比較することで, 周囲の照明条件の変化にかかわらず,ロバストな色検出を実現する.ロボット走行中は,周囲の状況によって,カラーパッチの明るさが変化することがあるが,動的に変化する基準カラーパッチを参照することで移動ロボットに搭載されたカラーパッチと対象人物の衣装の色はどちらも同じ色として観察される.

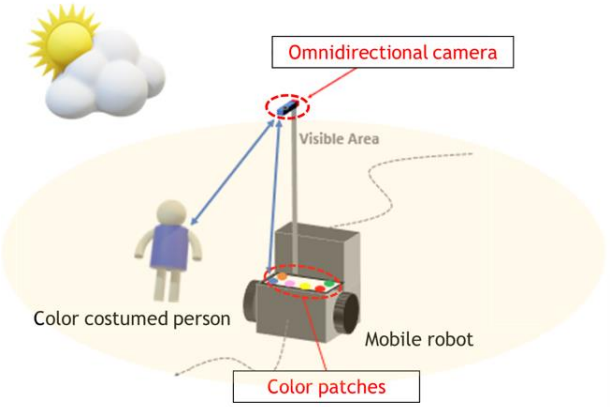


Fig.1 Color detection system summary

３． 検出対象人物

検出対象は Fig.2 に示す色ビブスと色帽子を着用した人物で, 検出対象の服装は色ビブス(青,黄,緑),色帽子(オレンジ,赤,ピンク)を着用している。検出対象は「つくばチャレンジ 2021」の選択課題である探索対象発見で,対象者が着用する衣装を参考にしている.

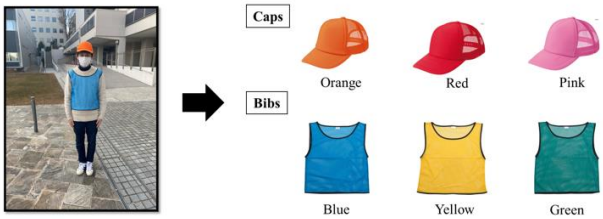


Fig.2 Detection target

４． 人物検出における仮定と問題

本研究では,カラーパッチと全天球カメラを用いた照明変動にロバストな色検出アルゴリズムを開発することを目的とし,事前に指定された色のビブスと帽子を着用した探索対象人物を見つけるために以下の 3 つの仮定を設けた.

A1）探索対象人物はつくばチャレンジで使用される色の帽子とビブスを着用している.

A2) 探索対象人物は色ビブスと色帽子が隠れるような体勢をとっていないものとする.

A3）探索対象人物の服装が判別できる明るさの環境で検証を行う.

仮定 A1 はつくばチャレンジ 2021 の「探索対象発見」のルールに基づき, 探索対象人物の衣装を設定した.探索対象人物の詳細は第 3 章に示した.

仮定 A2 は探索対象の衣装領域が隠れて見えない際に, 特徴量である色情報を検出することが困難であるために設けた.

仮定 A3 は, 移動ロボットを用いた人物探索は昼間に行われるものとし, 人間の目でも色の判別が難しい夜間などの環境を避けるために設けた.

上記の前提のもと, 色検出を実現するために以下の問題を考えた.

P1）照明条件が異なる環境下でも, いかにして探索対象を検出できるか.

５． 提案する人物検出アルゴリズム

Fig.3 に提案する色検出アルゴリズムのフローチャートを示す.

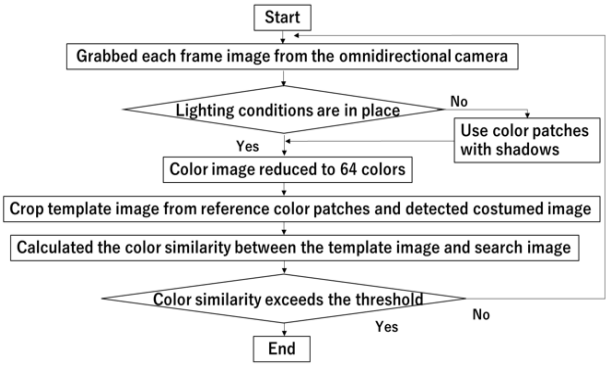


Fig.3 Color detection system using the omnidirectional camera and color patches

全天球カメラから画像を取り込み,カメラから得られる色情報を利用することで色検出を行う.カラー画像処理における計算負荷を軽減するために画像の色を減らす.全天球カメラで撮影する場合,取得される画像にはカラーパッチを含む周囲の地面の画像や移動ロボットの自画像が含まれるため,対応するカラーパッチ画像を基準色として切り出し,テンプレート画像を作成する.そして,色ヒストグラムを用いて画像間の類似度を計算する.そこでリアルタイムでの色検出を可能にするためにヒストグラム・インタセクション法[9]を適用し,カラーパッチと探索対象の着用するビブスや帽子の色の類似度を計算した.類似度が特定の閾値よりも高い場合,指定された衣装を着用した探索対象人物を検出することができる.

（１） 全天球カメラより画像取得

Fig.4 は全天球カメラから取得された画像であり,地面部と天空部の両方の画像が同時に取得される.地面部には基準となるカラーパッチと移動ロボットの自己画像が含まれており,画像の中央にはカラーパッチが見られ, 画像の下側には,探索対象人物が見られる.天空部には,探索対象人物の着用する帽子が見られ,移動ロボットの進行方向は左方向である.

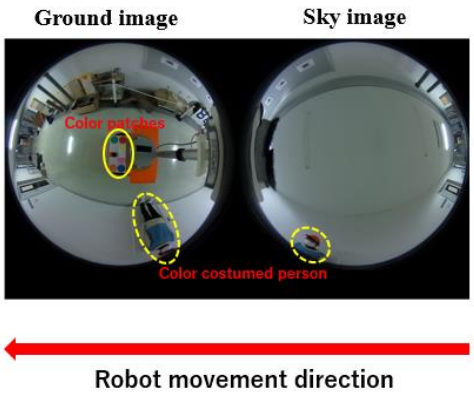


Fig.4 Image captured from the Omnidirectional camera

（２） 画像の減色

カラー画像処理における計算負荷を軽減するために,取得した画像の色を減らす.Fig.5(a)は RGB の各色が 8 ビットの情報を持ち,それぞれ 256 階調を再現できる 24 ビットのカラー画像であり, 1 ピクセルあたり約 1677 万の色を表現できる. そこで画像処理における計算負担を軽くするために画像を 64 色で表現する 4 ビットのカラー画像に縮小したのが Fig.5(b)である.色検出には画像を 4 ビットに縮小したカラー画像を適用する.

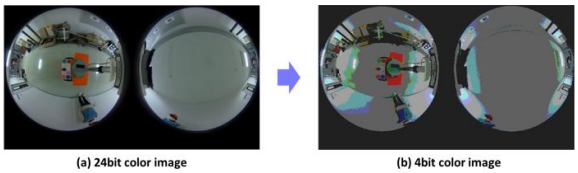


Fig.5 Color image reduced to 64 colors

（３） カラーパッチからテンプレート画像を作成

Fig.6 は移動ロボットに設置したカラーパッチと,そのパッチの関心領域を切り出したテンプレート画像を示す. カラーパッチは周囲の画像から, 照明条件によって動的に変化するカラーパッチの強度に基づき, 対象となる人物の所定の色を探索するために使用される. また,カラーパッチの色は探索対象の衣装の色に基づいて選択されている.

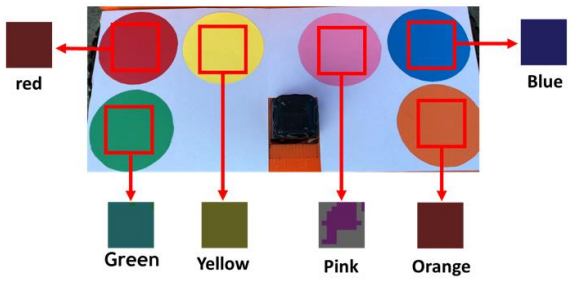


Fig.6 Template images using color patches

（４） 画像間の色類似度を計算

Fig.7 は青パッチのテンプレート画像と探索対象人物の青ビブス領域の色ヒストグラムである.どの色領域に依存しているか確認するために, RGB 各色の 0~1 ビットの青,2~3 ビットの緑,4~5 ビットの赤の強度に対応するように色ヒストグラムの値を 6 ビットに縮小した.

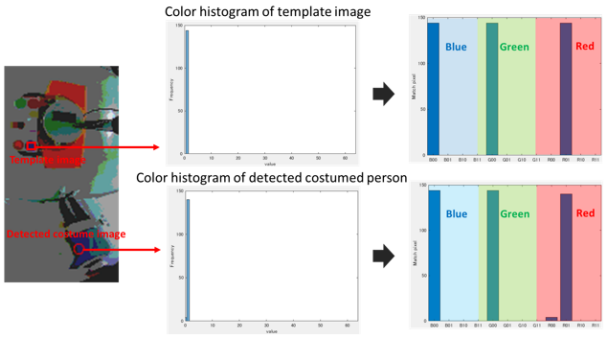


Fig.7 Color histograms of the blue template image and detected costume image

作成したテンプレート画像と探索対象人物の衣装領域の色の類似度を計算するために, ヒストグラム・インタセクション法を適用した. ヒストグラム・インタセクション法は画像の色特徴を示す色ヒストグラムを用いて画像間の類似度を計算する手法であり, 以下の式で表される.

$$\sum_{i=0}^{63} min(H_1[i], H_2[i]) \tag{1}$$

H_1は基準となるカラーパッチから切り出したテンプレート画像のヒストグラム, H_2は全天球カメラから取得される画像で,カラーパッチと比較する領域のヒストグラムである. H_1,H_2とも 4 ビットのカラー画像を適用する.ヒストグラム・インタセクション法の計算には画像間の色類似度を計算する min 演算子を用い,正規化された類似度は以下の式で算出した.

$$\frac{\sum_{i=0}^{63} min(H_1[i], H_2[i])}{\sum_{i=0}^{63} H_1[i]} \times 100\ [\%] \tag{2}$$

（５） 探索対象人物の特定

Fig.8 は(2)式から算出した値に閾値を設定し,探索対象人物の衣装領域の色検出を行った結果を示す.Fig.8 では青色のビブスを着用する探索対象人物を黄色の円で,青カラーパッチとの類似度が閾値を超えた領域を赤丸で示した.テンプレート画像と探索対象の青ビブス領域の色の類似度は 97%と高く,全天球カメラで撮影した画像をもとに,探索対象の衣装領域とカラーパッチのテンプレート画像の類似度を比較することで,照明条件の変化に関わらず,青色のビブスを検出することに成功した.

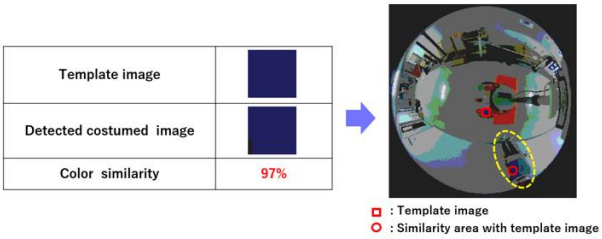


Fig.8 Results of color extraction using a blue patch

６． 検証

（１） 使用する移動ロボットの構成と検証環境

Fig.9 に本研究で使用する自律移動ロボットの構成を示す.使用するセンサは全天球カメラでカラーパッチが常にカメラに映るようにロボットの中心に 1.5 m の高さに地面と平行に取り付けられており，移動ロボットの自己画像とカラーパッチを含む,周囲の画像を撮影する.

カラーパッチは地面から 0.5m の位置に設置し,通常のカラーパッチに加えて,探索対象人物が日陰にいる場合を想定した日陰検出用カラーパッチも用意した.全天球カメラとカラーパッチを組み合わせることで探索対象人物の検出を行なう.

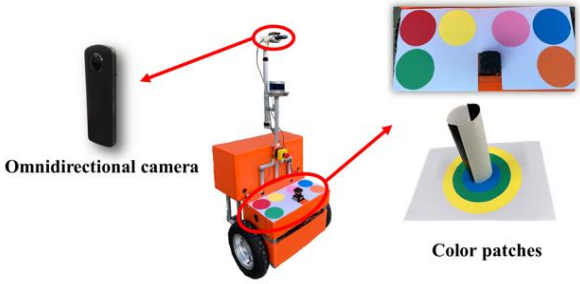


Fig.9 The robot and sensor and color patches used for research

検証環境には法政大学小金井キャンパスを使用し，Fig.10(a)は, 室内環境である大学内の廊下での検証の様子を示す. Fig.10(b)は, 屋外環境である校内の中庭での検証の様子を示す. 天井の照明, 太陽の位置, 天候など照明条件が変化しやすい屋内環境と屋外環境を用意した. ロボットは,様々な照明条件を再現するために，探索対象人物の画像とカラーパッチから得られるテンプレート画像の両方を撮影しながら,探索対象人物の周辺を移動させて検証を行った.

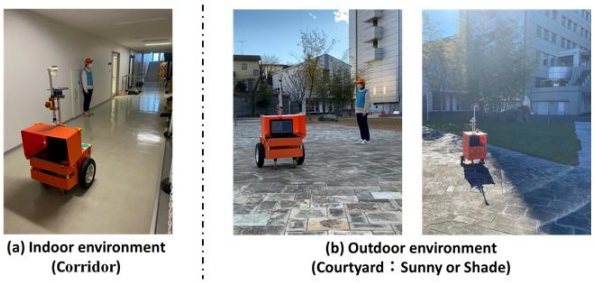


Fig.10 Actual device verification in indoor and outdoor environment

（２） 室内環境（廊下）での検証

提案したアルゴリズムの有効性を確認するため,天井の照明によって明るさが変わる屋内の環境で実験を行った. Fig.11 は, 移動ロボットに搭載された全天球カメラとカラーパッチを用いて,屋内環境で探索対象人物の着用する衣装を検出した結果を示す.探索対象となる人物の青色,黄色,緑色のビブスやオレンジ色,赤色,ピンク色の帽子を着用した人物の検出結果を示した.黄色い点線の円は探索対象人物で,赤色の円はカラーパッチを参照した色の類似領域と類似度を示した.

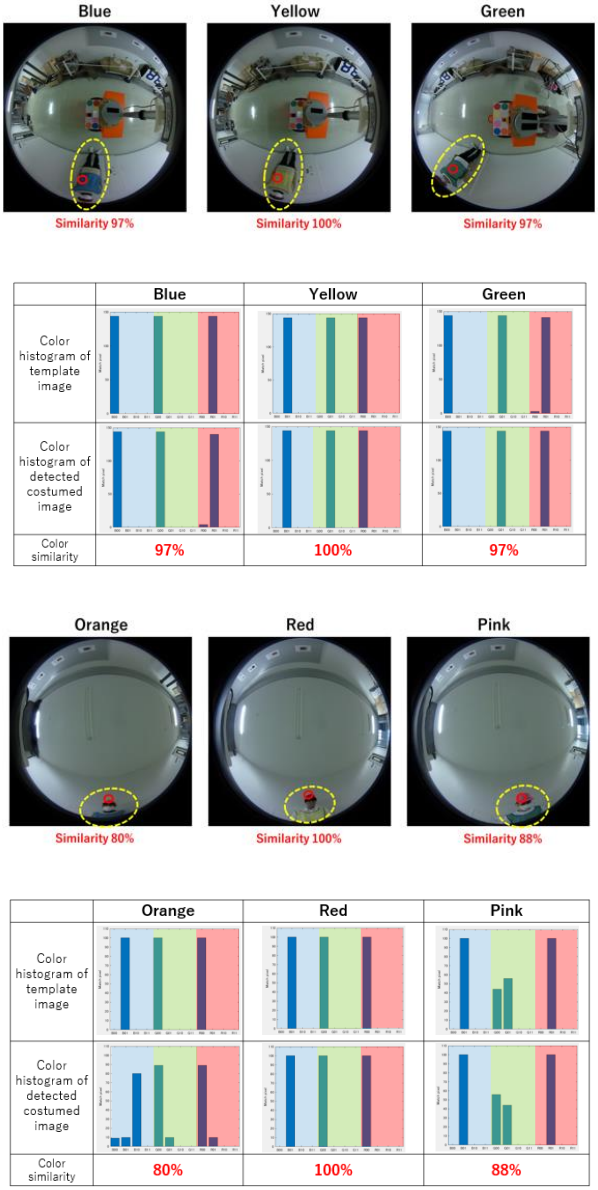


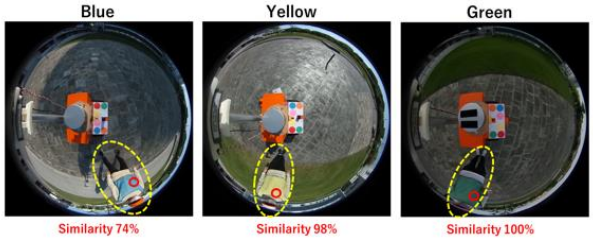
Fig.11 Detection results of the color costumed person in an indoor environment

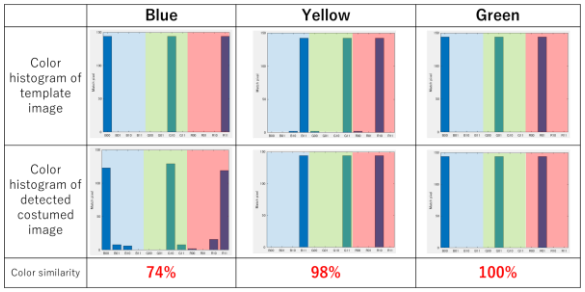
Fig.11 の結果より，探索対象人物の衣装領域とカラーパッチの類似度は高い値を示し,照明変動がある屋内環境でも,ロバストな色検出を実現している.これは変動する照明条件が基準カラーパッチと同じであれば,対象となる色を検出できることを意味する.

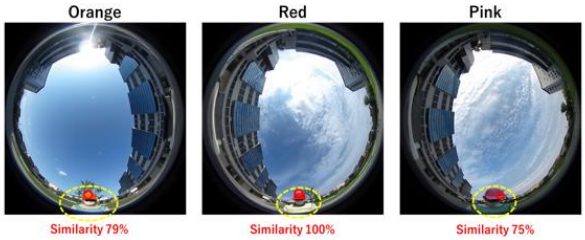
（３） 屋外環境（中庭）での検証

提案したアルゴリズムの有効性を確認するため,撮影時の場所や天気や時間帯によって,照明変動の起こりやすい屋外環境で実験を行った.本研究では,特につくばチャレンジ 2022 で検出が難しかった「日向」と「日陰」環境に探索対象人物がいる場合を想定し,周囲の明るさが異なる環境で特定の衣装を着用した探索対象人物を検出した結果を Fig.12 と Fig.13 に示す.また,探索対象人物が日陰におり,カラーパッチが日向にあるなど照明条件が揃っていない場合には Fig.9 に示す日陰領域検出用に作成したカラーパッチを適用した.

a） 照明条件が揃っている場合







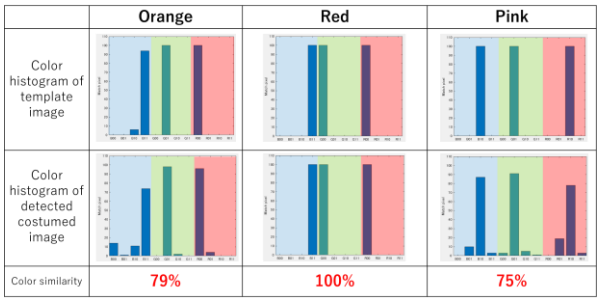
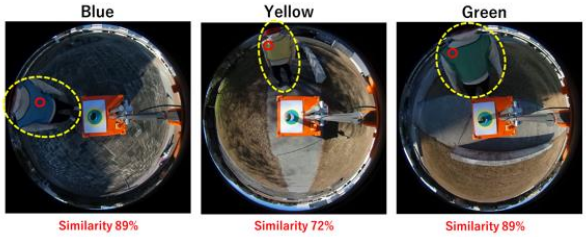


Fig.12 Detection results of the color costumed person in the outdoor environment

b） 照明条件が揃っていない場合



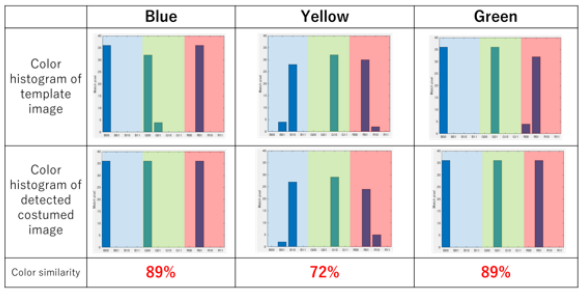


Fig.13 Detection results of the color costumed person in shadow environment

Fig.12 と Fig.13 の結果より,照明変動のある屋外環境においても探索対象人物の衣装領域の検出に成功した.また,カラーパッチと探索対象人物の照明条件が異なるときも日影用のカラーパッチを用いることで照明条件を揃え,探索対象人物を検出できることを確認できた.これはパッチの輝度変化を考慮することで周囲の色を検出し,特定の人物を検出できることを意味する.

７． 結論

本論文では 基準となるカラーパッチと全天球カメラを用いて，照明条件の変化に関わらずロバストな色検出を実現する色検出アルゴリズムを開発した. そこで, カラーパッチと探索対象人物を一度に観察でき, 周囲の環境も死角なく観察できる全天球カメラを採用し, 周囲の照明条件によって動的に変化するカラーパッチと探索対象領域を比較することで, カラーパッチと同一色を検出した. また，カラーパッチから切り出したテンプレート画像と探索対象の衣装領域の類似度についてはヒストグラム・インタセクション法を用いて算出し, 探索対象人物の検出を行った．提案したアルゴリズムの有効性を検証するため，「Tsukuba Challenge 2021」のルールで定められた選択課題の探索対象人物の衣装を参考にし, 法政大学小金井キャンパスの照明変動のある屋内および屋外の環境で実機検証を行った.

その結果, 提案した色検出システムを用いることで, 屋内および屋外の照明条件の変化に関わらず, 正確で一貫したロバストな色検出に成功した． さらに,これまで手動で行っていた色の閾値調整を基準となる色カラーパッチを用いることでパラメーターの設定を自動化することにも成功した.

８． 今後の展望

本研究で提案したシステムでは, 照明条件を揃えるために探索対象人物とカラーパッチが近くに接近した場合のみ検出に成功した. それぞれが離れていると照明条件が異なるため, 色情報だけでは検出が難しい. 今後の展望としては, 人間が遠く離れている人物を発見できるように色特徴以外の異なる特徴量も活用しながら人物検出の精度を上げることだと考える． また,つくばチャレンジの選択課題「探索対象発見」では探索対象であるのマネキンをすべて発見し,探索対象物 1.5m 以内に接近して,3 秒以上停止必要がある.そこで提案した人物検出アルゴリズムを実機に搭載し,発見した探索対象に対してのアプローチ方法についても検討していかなければいけない.

参考文献

1) 高齢化の現状と将来像，内閣府 https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2020/html/zenbun/s1_1_1.html

2) つくばチャレンジ 2022 https://tsukubachallenge.jp/2022/

3) Kenji Yamauchi, Naoki Akai, Ryutaro Unai, Kazumichi Inoue, and Koichi Ozaki, “Person Detection Method Based on Color Layout in Real World Robot Challenge 2013”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.26, No.2, pp.151-157, 2014

4) T. Shimizu and K. Kobayashi, “Development of a Person-Searching Algorithm Using an Omnidirectional Camera and LiDAR for the Tsukuba Challenge”, 2018 57th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Nara, Japan, pp. 810-815, 2018

5) A. Yoshida, T. Shimizu, T. Ohkubo, K. Kobayashi and K. Watanabe, "Development of a Person Search Components Based on an Omnidirectional Camera and a 3D-LiDAR", 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Chiang Mai, Thailand, 2020, pp. 478-483

6) Junji Eguchi and Koichi Ozaki, “Development of the Autonomous Mobile Robot for Target-Searching in Urban Areas in the Tsukuba Challenge 2013”, Journal of Robotics and Mechatronics Vol.26, No.2, pp.166-176, 2014

7) S. Nakamura, T. Hasegawa, T. Hirokawa, Y. Ochiai and S. Yuta, “Person Searching Through an Omnidirectional Camera Using CNN in the Tsukuba Challenge”, Journal of Robotics and Mechatronics Vol.30, No.4, pp.540-551, 2018

8) Ryohsuke Mitsudome, Hisashi Date, Azumi Suzuki, Takashi Tsubouchi, Akihisa Ohya, “Autonomous Mobile Robot Searching for Persons with Specific Clothing on Urban Walkway”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.29, No.4, pp.649-659, 2017

9) Yuichi Konishi, Kosuke Shigematsu, Takashi Tsubouchi, and Akihisa Ohya, “Detection of Target Persons Using Deep Learning and Training Data Generation for Tsukuba Challenge”, Journal of Robotics and Mechatronics Vol.30, No.4, pp.513-522, 2018

10) つくばチャレンジ 2021 https://tsukubachallenge.jp/2021/

11) M. J. Swain, D. H. Ballard, “Color indexing”, International Journal of Computer Vision, Vol.7, No1, pp.11-32,1991