

ロボットコンテストにおけるカメラを使用した自動ロボットの制御技術

田中将樹・山崎博之・小幡亮侑*
保坂真志*・辻 尚史・新井場貴寛

Camera-based control technology for robot automatization at the Robocon Competition

Masaki TANAKA, Hiroyuki YAMAZAKI, Ryo OBATA*,
Masashi HOSAKA*, Naofumi TSUJI and Takahiro NIIBA

(令和4年2月28日受理)

This report presents an outline and development description for our participant robots at the NHK KOSEN Robocon competition in 2021. Our goal was to develop robots with the ability to determine the position of a ball by camera-based object color recognition. The HSV model was used and the effect that lighting has on ball color recognition was observed. By optimizing the range of image processing parameters, we implemented an image recognition system resistant to the adverse effects originated from lighting.

1. はじめに

高専ロボコン（アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト）は、全国から56校61キャンパスの高等専門学校が参加する教育イベントで、1988年から始まり今回第34回を数えた大会である。これまで本校は、第1回大会を除くすべての大会に参加し、10回の全国大会出場を果たしている。最近では、東北地区大会ではベスト4以上や各賞を受賞する結果を残しており、2015年、2017年そしてオンライン形式で行われた2020年に全国大会に出場している[1]。

2021年の高専ロボコンは当初、現地開催の予定で進められていたが、コロナ禍の下で地区大会はオンライン形式、全国大会は国技館での開催となった。11月7日に開催された東北地区大会では2チーム（Aチーム：白熱！クウェペナ、Bチーム：ARA）が出場し、Aチームが優勝し、Bチームがデ

ザイン賞を受賞した。Aチームは11月28日に国技館で開催された全国大会に出場した。全国大会では会場の無線環境やフィールドの照明にロボットの動作やカメラによる画像認識が影響を受けて残念ながら十分なパフォーマンスを発揮することができなかった。

本稿では、今年度のロボットコンテストで製作したロボットのうち、カメラで撮影した画像の色検出を利用したロボットに焦点を当てて画像認識の概要を述べ、実験による検討を加えてまとめた。

2. 競技課題の概要

今年の高専ロボコンの競技課題は「超絶機巧(すごロボ)」というテーマで、これまでこだわってきた、あるいは新しく挑戦したい技術を駆使して「すごい！技のロボット」を製作し披露するアイデア対決となった。秋田高専でこれまで製作した「自律化・自動化」ロボットは主にロータリーエンコ

*秋田高専学生

ーダによる位置制御を行ってきた[1], [2]。そこで今年のテーマ設定は新しい技術として、両チームともカメラによる画像認識を使用した自動制御技術に挑戦した。A チームは、2 台のロボットが人間とボール競技をするクウェペナという競技をテーマに、人間が操縦するロボットを自動認識して追従し、キャッチボールする制御技術に挑戦した。一方、B チームは障害馬術と競馬をテーマに、最後の障害として、移動する風船をロボットに搭載したカメラにより目標とするマーカーを認識して自動追尾し、狙い撃つ技術にチャレンジした。

今年度のロボコンの競技課題におけるロボットの主な制限は、1 チームのロボット台数は 3 台まで、ロボット 1 台のサイズは、縦 1 m×横 1 m×高さ 1.2 m 以内、重量 25 kg 以下、コントロール方式を問わずに自発的な動力を持つこと、圧縮空気の使用は 0.75 MPa まで、駆動系および回路制御系電圧は 24 V 以下、1 台当たりの電流値は 30 A 以下であった。図 1 に A チームの全国大会での様子を、図 2 に B チームの東北地区大会での様子を示す。



図 1 A チームのパフォーマンスの様子



図 2 B チームのパフォーマンスの様子

3. 自動ロボットの詳細

3.1 自動ロボットの概要

本稿では人間が操縦するロボットを自動で追従し、キャッチボールをする A チームの自動制御ロボットについて紹介する。図 3 にパフォーマンス時の 2 台の自動ロボットと手動ロボットの位置関係を示す。2 台の自動ロボットは手動ロボットを挟んで対向した位置にいて、それぞれ手動ロボットを追いかけるように平行移動する。そして、お互いが手動ロボットを挟んだ位置に来ると手動ロボットの上空を通るようにボールを対向する自動ロボットに向かって投げる。手動ロボットが移動すると追いかけるように 2 台の自動ロボットも移動し、ボールの射出動作を繰り返し行う。

図 4 に自動ロボットの全体写真を示す。自動ロボットは左右への平行移動のみであるため、対角方向にギヤードモーターによる駆動 2 輪と従動 2 輪による 4 輪となっている。また、ロボット前方向に手動ロボットを追跡するためのカメラを取り付けている。カメラは Intel 社製 RealSense デプスカメラ D455 を使用した。デプスカメラはステレオカメラにより深度（距離）情報を取得することができ、対象物である手動ロボットと周囲の背景とを切り離して処理を行うことが可能となる。全国大会ではフィールド外の色情報によりロボットが誤動作するのを防ぐために採用した。図 5 に自動ロボットのボール射出機構の写真を示す。ボールを射出する機構には、定荷重バネによるカタパルト方式を採用した。ボールを射出後すぐにアー

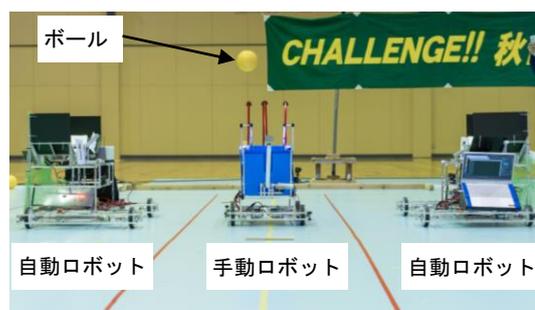


図 3 自動ロボットと手動ロボットの位置

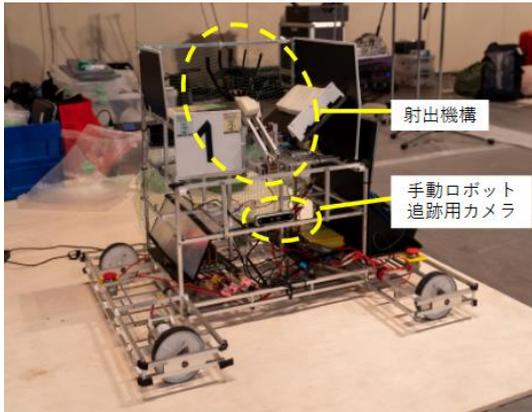


図4 自動ロボットの全体写真

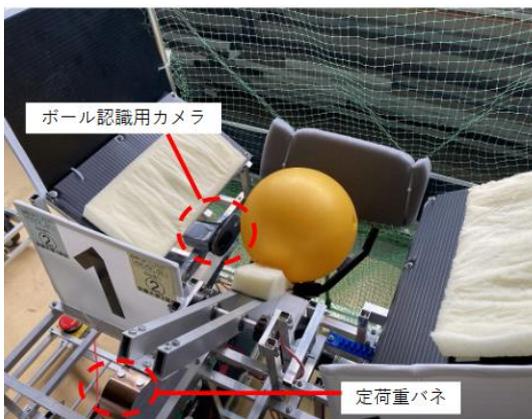


図5 自動ロボットの上側からの写真

ムはワイヤをモータで巻き取ることで、図5の位置に再度セットされボールを受け取るまで待機状態になる。この時、アーム先端部のボールの有無は、ボールの側部に取り付けたカメラにより判断を行った。カメラはロジクール社のHDウェブカメラC270nを使用した。

3.2 自動ロボットの画像認識

自動ロボットの画像認識による制御は、2つのカメラの画像から、手動ロボットの位置の識別およびボールの有無の認識により行った。この2つの画像認識の手法は基本的に同一であるため、ここではボールの認識について述べる。

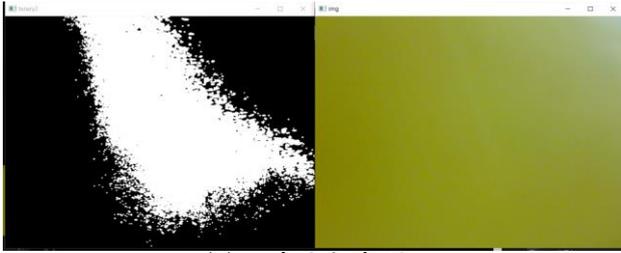
ボールおよび手動ロボットの認識は、カメラで撮影した画像からボールは黄色、手動ロボットは青あるいは緑色の特定色を検出し、それを二値化

する処理をリアルタイムで行った。色検出できた画素の大きさを判別して対象物の有無を判断した。検出する色の範囲はHSV色空間により指定した。HSVは色相(Hue: H値0～360度)、彩度(Saturation: S値0～100%)、明度(Value: V値0～100%)の3つの成分で色を表現しており、コンピュータグラフィックスの分野で用いられている。プログラム言語はC++を、画像処理ライブラリはOpenCV[3]を使用した。

4. 実験

東北地区大会ではオンライン形式での開催であったため、本校体育館に競技フィールドを設置した。それ故、フィールドの照明や背景の色についてパフォーマンス前に事前に調整を行うことができた。しかしながら、全国大会では競技フィールドでの調整は前日のテストランのみであるため、会場の照明に対する調整が不十分で、自動ロボットのボール認識が動作しない結果となった。そこで、大会後、周囲の明るさの違いによる色検出への影響について検討を行った。測定はボール認識について、室内の蛍光灯が点灯しているときと消灯させて外光のみとした場合でHSV値の検出範囲を変えて行った。

図6(a), (b)にボールがある時の室内灯あり、室内灯なしの場合の処理前画像(右図)と処理後の画像(左図)を示す。ここで、H値50～80度、S値59～100%、V値59～100%とした。処理後の画像は、HSV値がこれらの範囲内であるときに白で、範囲以外が黒で表されている。室内灯がある場合、ボールの色が検出できている範囲は画像の約半分を占めているが、室内灯がない場合はボールの色が検出されていない。また、図7にボールがない場合の画像を示す。このとき、照明に関わらず色検出はされていない。図6の処理前画像の中央におけるHSV値を取得して比較した図を図8に示す。H値(色相)のおよびV値(明度)



(a) 室内灯あり



(b) 室内灯なし

図 6 ボールがある時の画像



(a) 室内灯あり



(b) 室内灯なし

図 7 ボールがない時の画像

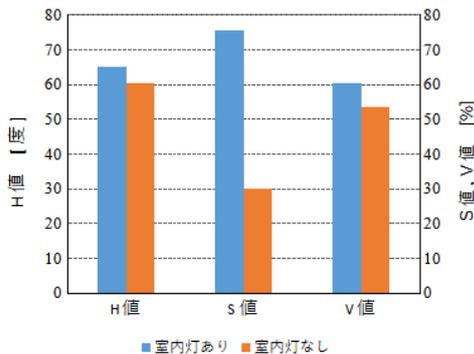
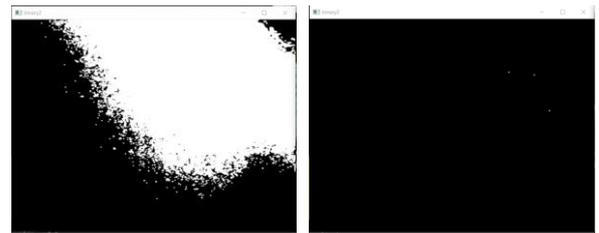


図 8 HSV 値に対する照明の影響

は照明がない場合でも減少は比較的小さいが S 値 (彩度) は半分以下に減少している。これより、照明の明暗による色相の変化はほとんどないことがわかる。また、明度の変化に関しては使用したカメラの自動光補正が影響しているものとする。

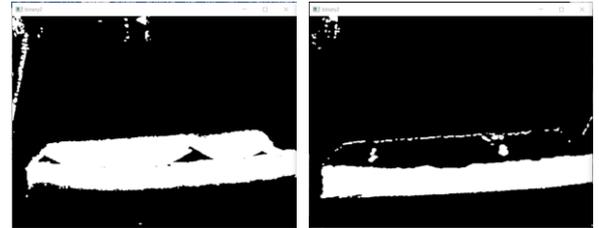
照明の明暗による色相の変化がないことから、S 値および V 値の範囲を広げて画像処理を行った結果を図 9~11 に示す。それぞれ、S 値を 0 ~ 100 %、V 値を 0 ~ 100 %、S 値と V 値共に 0 ~ 100 % と範囲を変えて色検出を行った。図 9 より、彩度を考慮しない場合、ボールがない状態でもボール受け取り用のクッションスポンジの色が検出されていることがわかる (図 (c), (d))。図 10 より明度を考慮しない場合、ボールがある状態で室内灯がない場合でも若干ではあるが色検出がされており (図 (b)), ボールがない状態での色検出は抑えられていることがわかる (図 (c), (d))。これはカメラの自動光補正の効果によるものとする。また、図 11 より色相のみの範囲指定ではいずれの場合でも色検出され判別ができないことがわかる。

以上より、HSV 値の範囲指定の最適化により照明の影響を考慮せずに対象物の識別を行える可能性があると考えられる。しかしながら、大会会場での



(a) ボールあり/室内灯あり

(b) ボールあり/室内灯なし



(c) ボールなし/室内灯あり

(d) ボールなし/室内灯なし

図 9 処理後の画像 (H 値 50 ~ 80 度, S 値 0 ~ 100 %, V 値 59 ~ 100 %)

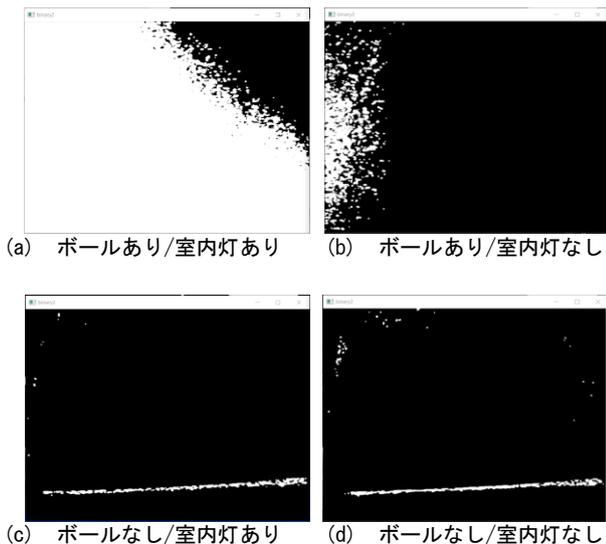


図 10 処理後の画像 (H 値 50 ~ 80 度, S 値 59 ~ 100 %, V 値 0 ~ 100 %)

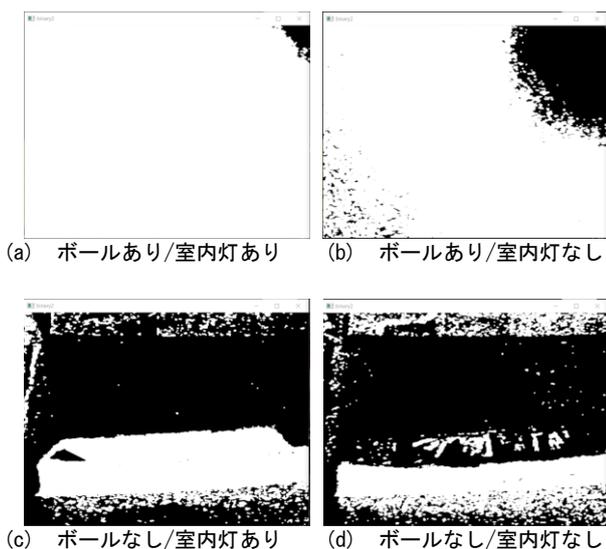


図 11 処理後の画像 (H 値 50 ~ 80 度, S 値 0 ~ 100 %, V 値 0 ~ 100 %)

対応を考慮すると色検出による識別のみでは対処が困難である。この問題を解決する方法として、色検出にマーカー等の識別を追加する、あるいは自発的な光源の利用等が考えられる。

5. まとめ

本稿では、高専ロボコンに出場したロボットのうちカメラを利用した自動ロボットの自動制御の機構と色検出の実験結果について報告した。今回採用した対象物の色検出による制御は、競技フィールドの照明等の環境を調整可能なオンライン形式で行われた東北地区大会では有効であった。しかしながら、リアル形式で行われた全国大会では特に照明の影響を受けて、色検出のみによる対象物の識別は困難であった。ロボットの自動化が主流となる今後の競技課題に要求される複雑な制御に対して、今回開発したカメラを用いた検出機構と複数のセンサからの情報を組み合わせる技術の開発が課題である。

謝辞

ロボコン活動において、日頃からご協力頂いた本校 物質・生物系 西野智路准教授および土木・建築系 山添誠隆准教授、そしてコロナ禍にも関わらず大会に臨んだロボコンの学生に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 田中将樹, 山添誠隆, 西野智路, 保坂真志, 辻尚史, 三浦翔平: ロボットコンテストにおける倒立振り子ロボットの自動制御, 秋田工業高等専門学校研究紀要, 56, pp.1-6, (2021)
- [2] 田中将樹, 西野智路, 中嶋龍一朗, 奈良雄斗, 松橋達也, 保坂真志, 渡部秀崇, 伊藤大地: ロボットコンテストにおける自動ロボットの開発, 秋田工業高等専門学校研究紀要, 54, pp.9-14, (2019)
- [3] OpenCV, <https://opencv.org>