

AI チャレンジ研究会(第 62 回)

Proceedings of the 62th Meeting of Special Interest Group on AI Challenges

CONTENTS

- 自律制御型ロボットを利用した換気システムの製作 1
伊藤 清人, 井上 零, 川邊 圭汰, 宮崎 裕也, 濱口 裕輝
三重県立四日市工業高等学校
- 自律移動ロボットにおける相手ロボットとのすれ違い方法に関する一考察 7
田邊 稜汰, 安田 尚平, 植村 渉
龍谷大学
- ロボカップサッカーにおける実況システムの提案 11
大橋 玲音[†], 坪倉 和哉[‡], 小林 邦和[†]
[†]愛知県立大学 情報科学部, [‡]愛知県立大学大学院 情報科学研究科

日時: 2023年5月4日

場所: 滋賀ダイハツアリーナ

Online, May 4th, 2023

一般社団法人 人工知能学会

Japanese Society for Artificial Intelligence

自律制御型ロボットを利用した換気システムの製作

A novel ventilation system using an autonomous robot

伊藤 清人* 井上 零 川邊 圭汰 宮崎 裕也 濱口 裕輝

Kiyoto Ito*, Rei Inoue, Keita Kawabe, Yuya Miyazaki, and Yuki Hamaguchi

三重県立四日市工業高等学校 ものづくり創造専攻科
Mie Prefectural Yokkaichi Technical School

Abstract:

新型コロナウイルスが蔓延し、感染症対策が重要となっている。その際に、対策の効果を可視化したり自動化することが必要となる。本研究の目的は、新型コロナウイルス感染症対策において、効果の「可視化」及び「自動化」を実現することである。そこで本研究では、可視化のために組込マイコンと CO₂ センサーを用いた IoT エッジデバイスを開発し、教室内の CO₂ 濃度を表示する。また、自動化においては、ロボットを用いて教室換気を自動的に行う。具体的には、自律型無人搬送車 Robotino を Wi-Fi で接続し、カメラやレーザーファインダーを活用した自律制御により、扉を開けて無人で換気を行うシステムを提案し、構築する。本システムは、自律制御技術を活用して無人換気を実現することを目指している。

1. まえがき

現在、新型コロナウイルス感染は広まりを見せ、全国で陽性者数が 3,349 万人を超える状況となっている[1]。このような状況下で、厚生労働省では感染防止対策を積極的に提案しており、換気の重要性が強く指摘されている。具体的には、毎時 2 回以上の換気回数と 2 方向の壁の窓を開放することが推奨されている[2]。しかしながら、換気状況や感染対策の効果は目で確認できず、感染リスクの把握が困難であるため、換気などの感染対策が不十分となることがある。

このような状況に対して、本研究では換気状況の評価手法として、CO₂濃度を数値化することで可視化し、自律制御型ロボットを用いた換気作業を検討する。換気状況を把握し、適切な換気作業を行うことで、感染リスクを低減させることが期待される。本研究によって、より効果的かつ実用的な換気対策の開発に寄与することを目指す。

2. 換気システムの提案

本研究では、新型コロナウイルス感染症対策における自動化の提案を行う。具体的には、移動式換気ロボットの導入、IoT エッジデバイスの活用、CO₂ センサーによる感染症対策の可視化、移動ロボットの位置同定および移動、扉マーカの設置である。

提案 1 移動式換気ロボットの導入

まず、移動式換気ロボットを導入することで、室内の感染のリスクが高くなった場合には、ロボットが部屋の前に移動して換気を行い、扉の開放を行う。また、換気のタイミングや誰が換気作業をするか明確でない場所においては、ロボットが作業を行うことで、より確実な効果が期待できる。

提案 2 IoT エッジデバイスの活用

対象となる部屋には IoT エッジデバイスを設置する。これにより、CO₂ 濃度を測定し表示することで感染症対策の可視化を行い、クラウドサーバーおよび移動式換気ロボットに CO₂ 濃度データを送信する。また、クラウドサーバーでは CO₂ 濃度が規定値以上に達した場合には、メールによる注意喚起を行う。IoT エッジデバイスにおいては野中ら (2019) により市販の IoT プロトタイプキットを利用し、センサーの値をスマートフォンの通信アプリに送信する技術の実用性も示されている[3]。

提案 3 CO₂ センサーによる感染症対策の可視化
感染症対策の可視化の指標として CO₂ の濃度を用

*連絡先 三重県立四日市工業高等学校, 四日市市
Mie Prefectural Yokkaichi Technical High School
3-4-63 Hinaga-Higashi, Yokkaichi-shi, Mie, 510-0886 Japan

E-mail: i.kiyoto@mxs.mie-c.ed.jp

いることを提案する。建物内における CO₂ 濃度は、建築物における衛生的環境の確保に関する法律（ビル管理法）で規定され、1000ppm 以下という基準が設けられている。これにより、適切な換気量を確保することが求められる。

提案4 移動式換気ロボット位置同定と移動

移動ロボットの位置同定にはタグマーカを使用し、各部屋の入口にタグマーカを用意することで、移動式換気ロボットの位置同定を行う。移動は床面の状態に大きく影響を受けるため、タグマーカで姿勢を修正したうえで行う。

提案5 扉マーカの取付け

扉にはドアハンドルの下にマーカを取り付け、カメラで認識をさせることで、扉の開閉状態とロボットアームの位置制御を行わせることを提案する。これにより正確な扉の開放の実現が期待できる。

以上の提案を実装することで、新型コロナウイルス感染症対策の可視化および自動化を実現し、効果的な感染症対策を行うことを目指す。

3. 実装

図1に示すシステムを開発する。

教室内に設置した IoT エッジデバイスは、CO₂ 濃度を測定し、表示するとともに、クラウドサーバーおよび移動式換気ロボットへ CO₂ 濃度データを送信する機能を有している。

移動式換気ロボットは、IoT エッジデバイスから受け取った CO₂ 濃度データを基に、対象の教室まで移動し、扉を開放する。

また、クラウドサーバーは、IoT エッジデバイスから受け取ったデータが規定値を超えた場合、設定されたメールアドレスに換気を促すメールを送信する。また、CO₂ 濃度はリアルタイムでブラウザから確認

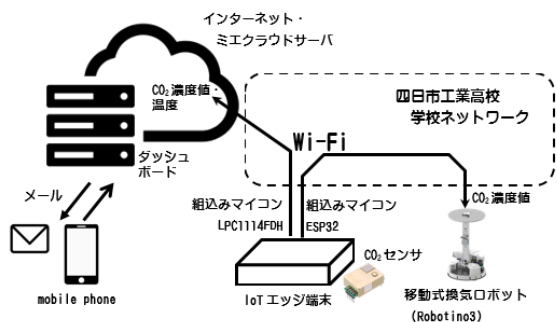


図1 システム構成図



図2 IoT エッジデバイス

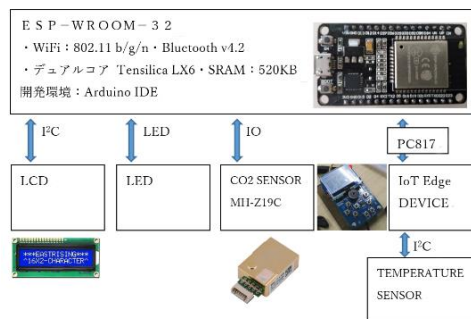


図3 IoT エッジデバイス構成

することができる。

3.1 IoT エッジデバイス

この研究で用いた IoT エッジデバイス (図2) には、2つの MPU を搭載した。そのうち1つは、主に CO₂ 濃度の測定やロボットへのデータ送信に使用される組込マイコン (ESP-WROOM-32) であり、もう1つは三重 ICT・データサイエンス推進協議会が提供する IoT エッジデバイス (LPC1114FDH) で、クラウドサーバーへのデータ送信に用いた[4]。MPU とセンサー・表示部は I2C および GPIO で接続されている (図3)。

IoT エッジデバイスで用いた CO₂ センサーは、Zhengzhou Winsen Electronics Technology 社製の MH-Z19C とする。このセンサーは、非分散型赤外線 (NDIR) 方式の CO₂ センサーであり、I2C および PWM でデータを出力することができる[5]。今回は PWM 出力を利用してデータ処理を行う。また、このセンサーは安定かつ正確な 5V 電源を必要とするため、昇圧用 DCDC コンバーター XCL103 (トレックセミコンダクタ製) を使用して基準電圧を供給する。



図4 ダッシュボード

IoT エッジデバイスからクラウドサーバーに送信されたデータはダッシュボードに上(図4)で確認が可能であり、CO₂濃度が設定値を超えた場合は、サーバーより管理者へ警告メールを送信する。

IoT エッジデバイスとクラウドサーバーの通信には、HTTP における POST メソッドおよび GET メソッドが用いられ、クラウドサーバーは株式会社ロジセンス内のシステムを活用する。

IoT エッジデバイスと移動式換気ロボットとの間の通信において、UDP を採用することとする。具体的には、ESP-WROOM-32 を用い、CO₂センサーの計測値を 36 バイトのデータ形式[6]に変換し、移動式換気ロボットへ送信する。

3.2 移動式換気ロボット

製作した移動式換気ロボットを示す(図5)。移動

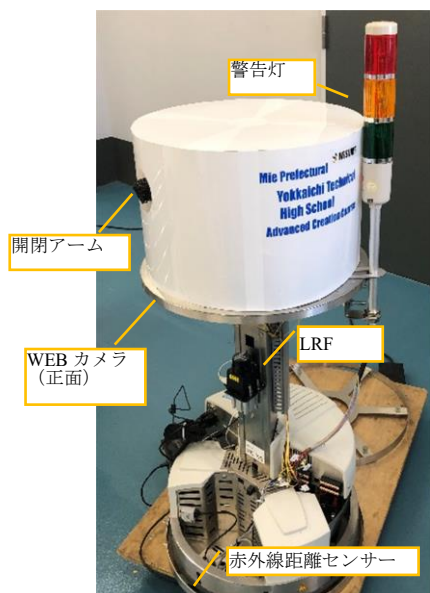


図5 換気ロボットの外観

式換気ロボットはFESTO社製 Robotino3 をベースとして製作した。Robotino3 は全方向性ドライブによるモバイルロボットシステムであり、3個のオムニホイールによって、その場で回転および移動を行う。また自律制御により赤外線距離センサー、カメラ、ジャイロ、LRF を搭載することで多様な用途への利用が可能である。移動式換気ロボットの制御ボードおよびリニアアクチュエータ(図6)・システム構成を示す(図7)。

移動式換気ロボットを使用してスライドドアの開放を行う。そのために、リニアアクチュエータのアームをドアハンドルまで伸ばし、移動式換気ロボットを移動させてドアを開くようにする(図8)。ただし、ドアが既に開いている場合は、何もせずにロボットをスタート位置に戻す。

リニアアクチュエータは24Vで駆動し、Hブリッジを構成するために通常開放型リレーを使用し、ロボットからの信号で制御する。ドアを開く際には、アクチュエータのアームに大きな荷重がかかるため、

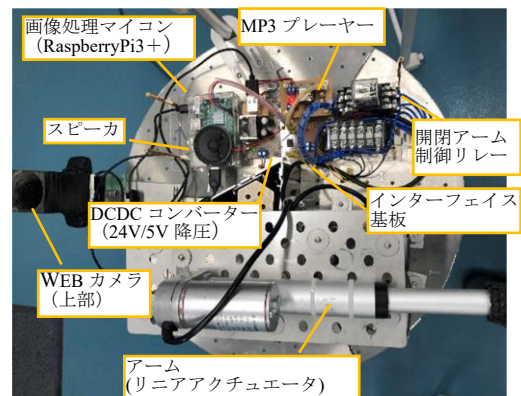


図6 制御ボード リニアアクチュエータ

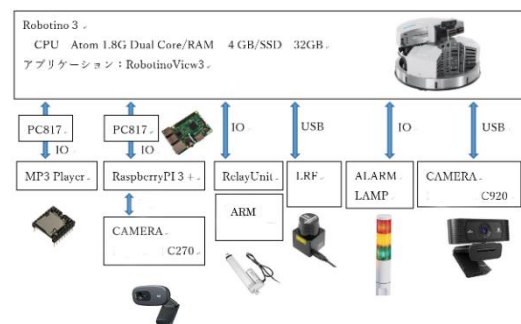


図7 換気ロボット構成



図8 アームによる扉開放

金属製のテーブルを設計し、Robotino に固定することで対応する。

運転中は表示灯によって移動式換気ロボットの動作状況が示される。また、事故防止のために LRF を用いて移動方向の障害物を検知し、障害物が正面照射角 50° で 0.50m 以内に検知された場合は、ロボットが停止し、障害物が移動するまで待機をする。その際に、表示灯を赤色にするとともに、音声で警告を行う。

3.3 移動式換気ロボットの制御

移動式換気ロボットの制御に、FESTO 社製 Robotino View3 を使用した (図 9)。制御プログラムは、フランスで提唱された機能表現の手法である GRAFCET を用いて表現される。GRAFCET は、ステップとトランジションの 2 種類のノードを使用して表現される [7]。

Robotino View3 におけるステップは、モータ、I/O、センサー、カメラ、オドメータ、ネットワーク、ナビゲーションなどが組み合わされたファンクションブロックによって構成される。

3.4 移動式換気ロボットの位置同定・移動

今回のロボットの位置同定は、車輪やステアリングの回転角度から計算し、それぞれの移動距離を求め、その累積から行われている。しかし、実測する

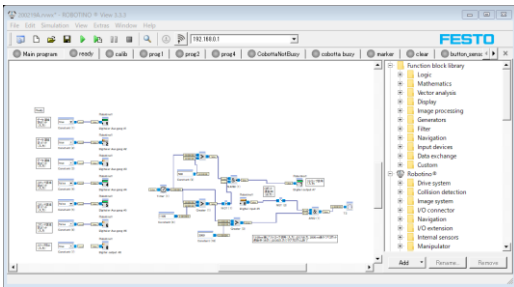


図9 Robotino View3 画面

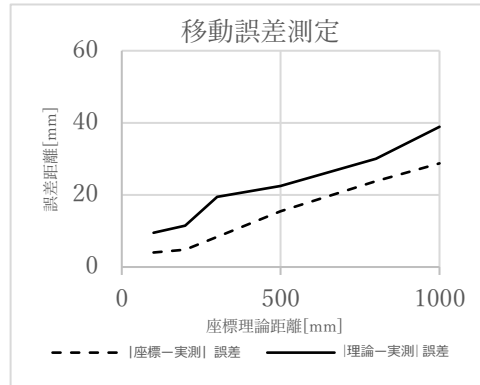


図10 座標値と実測値の誤差

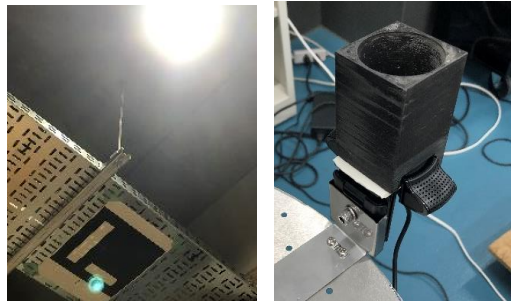


図11 タグマーカとレンズフード

と床面とのすべりなど条件により誤差が生じるため、移動誤差の測定を行い、理論値 (PositionDriver による設定値) と実測値 (実際の座標) を比較した。また、座標値 (オドメトリ値) も比較を行った (図 10)。測定の結果、Robotino の加減速直線移動 (上限 150mm/s) 1000mm で 39mm の実測値と理論値誤差が発生した。そこで、各扉の上にタグマーカ (図 11) を用意して位置補正することとした。タグマーカは A3 サイズで、目立たないよう天井にあるワイヤラックに張り付け、WEB カメラで認識し、位置および回転角の補正を行った。

タグマーカの認識においては、照明が大きく影響を及ぼすことがある。今回の場合は、ダウンライトがタグマーカの隣に設置されており、カメラ画像が白飛びを起こす現象が確認された。

そこで、WEB カメラ用にレンズフードを設計製作することにより、不要なダウンライトの直接光を遮断し、タグマーカを読み取ることが可能となった (図 12)。

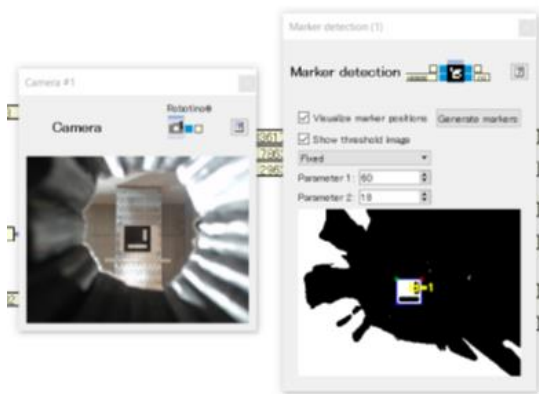


図 12 レンズフレアによる認識

3.5 扉位置の画像認識

扉のハンドル下に 5mm のマーカを取り付けし、WEB カメラでマーカの有無を認識する。マーカがあるかどうかで扉の開閉状態を認識し、移動式換気ロボットの姿勢を補正する。画像認識には、組込マイコン (RaspberryPi3+) を使用し、スムーズかつ安定した認識を実現する。

画像処理は C 言語と OpenCV を使用し、認識にはカラーベースの方法で HSV を用いる。HSV を用いることで、明度ではなく色相でマーカの色を識別し、照明の影響を軽減し、扉位置の識別が容易となる。

画像からマーカの色を認識して 2 値化し(図 13), その位置からロボットの姿勢を補正して、リニアアクチュエータを駆動する。ただし、マーカの色を認識できない場合は、ドアが開いている状態として、開放動作は行わない。

3.6 評価

今回は、専攻科棟 2 階の廊下 (直線約 18m・フローリング床) と PC 室 (スライドドア) において実験を実施した。エッジ端末の CO₂ 濃度を呼気により上昇させることで、換気ロボットが動作し、扉の開放

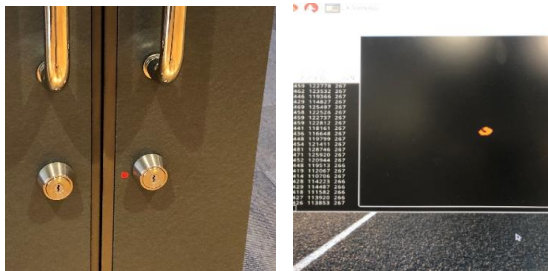


図 13 扉のマーカと 2 値化画像

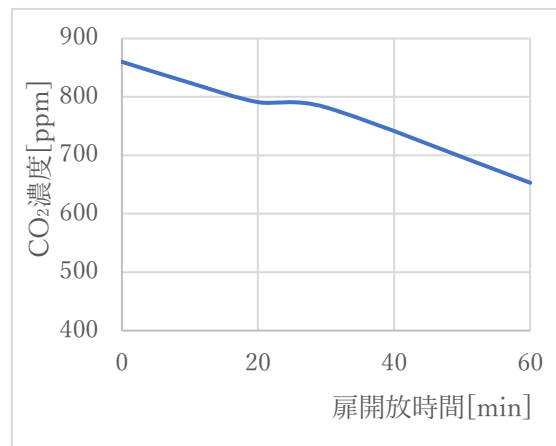


図 14 扉開放時間と CO₂ 濃度の変化

が行えることを確認した。しかしながら、現在開放できる扉はスライドドアに限られており、開き戸や折り戸には対応することができず、今後の課題とした。

また、扉を開放した教室において CO₂ 濃度の変化を図 14 に示す。CO₂ が高濃度状態の教室を故意に用意することは困難なため、ロボットが扉を開放したと想定し、手で扉を開け、講義中の教室で CO₂ 濃度を観測した。条件としては、学生 20 名在室、教室床面積 45.5m²、全熱交換形換気機器運転、屋外側窓 (1 か所)、廊下側窓 (1 か所) 20 cm 開放済みとする。開始時は 860ppm であったが、10 分後には 824ppm、20 分後に 791ppm、30 分後に 782ppm、1 時間後に 653ppm への減少した。

本研究の結果は、ロボットによる自動換気が新型コロナウイルス感染症対策に有効であることを示唆しており、今後、より実用的なシステムの開発につながると思われる。

4. むすび

本研究では、新型コロナウイルスの流行が続く中で、人々の健康と安全を守るために、換気による対策が重要であると考え、CO₂ センサーを利用した移動式換気ロボットを中心として換気システムを製作した。このシステムでは、公共の施設や責任者が不在の場所など、換気の必要性がある場所でも、IoT エッジ端末が CO₂ 濃度を測定し、感染リスクが高い場合はロボットが部屋の扉を開放したり、警告メールを管理者へ送信したりするなど、感染防止対策を自動化することができることを示した。また、移動中のロボットは障害物を検知し、表示灯や音声で安全に運転することを可能とした。本研究により、新型

コロナウイルスの感染拡大防止策の一つである換気に対して、具体的かつ効果的な自動化システムを提案することができた。将来的には、このシステムを応用することで、感染症対策における安全な環境づくりに役立てることを期待する。

[7] 中村 泰明 シーケンス制御システムのシミュレーション 計測と制御 Vol.27, No.8 695-700

1988,8,10 発行

謝辞

本研究は下中記念財団の助成金交付により遂行されたものです。この場を借りて深く御礼申し上げます。

執筆にあたり多くの方々にご協力いただきました。龍谷大学 植村渉様には、いつも丁寧な指導と適切な助言をいただきました。深く感謝いたします。

また、フェスト株式会社 林恒様には RoboCup および全国工業高等学校長会主催の講習会等においてご支援をいただき、感謝しております。

そして、株式会社ロジセンス 高萩幸司様からは研究に不可欠な端末、クラウドサーバー環境を無償で提供していただき、ありがとうございました。

最後に、本研究文を執筆するにあたり協力してくださった全ての方に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] データからわかる 新型コロナウイルス感染症情報, 厚生労働省
<https://www.mhlw.go.jp/content/10906000/000929065.pdf>
2023,4,5 閲覧
- [2] 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の見解, 令和2年3月9日および3月19日公表, 厚生労働省
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000606000.pdf>,
2022,4,14 閲覧
- [3] 野中章久, 山下善道, 金井源太 IoT プロトタイプピン
グ・キットを利用したハウス等の温度遠隔監視シ
ステムの開発と実用性の解明クラウド環境活用
2019年28巻3号 p.97-107 2019,10,1 発行
- [4] IoT ワークショップ サポートページ
<http://iot.logisense.co.jp/ws2019/support2019/>
2023,4,18 閲覧
- [5] Infrared CO2 Sensor Module(Model: MH-Z19C)User's
Manual(Version 1.2) page6
[https://www.winsen-sensor.com/sensors/co2-sensor/mh-
z19c.html](https://www.winsen-sensor.com/sensors/co2-sensor/mh-z19c.html) 2021,11,26 閲覧
- [6] 植村渉 全国工業高等学校長会「No.40 移動式ロボ
ットプログラミング基礎」講習会資料
” Robotino の通信 UDP”
[https://friede.elec.ryukoku.ac.jp/robotino/index08.php?id
=2#1](https://friede.elec.ryukoku.ac.jp/robotino/index08.php?id=2#1) 2021,11,18 閲覧

自律移動ロボットにおける相手ロボットとの すれ違い方法に関する一考察

A novel method for finding place for robots to pass each other

田邊稜汰 安田尚平 植村渉

Ryota Tanabe, Shohei Yasuda, and Wataru Uemura

龍谷大学

Ryukoku University

Abstract: The autonomous mobile robot creates path when moving, however if the created path overlaps with the path of other robots, there is a possibility of collision, so it is necessary to find a place to move each other robot. In this paper, we propose a method to find midpoint based on the positional with the other robot and evaluate its performance. When the other robot moves in the direction of the own robot at a constant speed, it collision with the opponent robot at the midpoint. Therefore, we propose a method to determine the location where the robots must pass at a distance necessary for them to avoid a collision at the midpoint.

1 はじめに

現在、少子高齢化が進み、製造業、医療現場など様々な分野で、将来的に人手不足になるため、代替りの労働力としてこれらの現場に自律移動ロボットが導入されると期待されている。自律移動ロボットの導入により、作業の自動化や手作業による危険の軽減の利点もある。これらの現場では、人や他のロボットと協働で作業を行う自律移動ロボットが注目されており、特にその移動時の経路探索、衝突回避技術が重要とされ、多くの研究が行われている。

自律移動ロボットは移動時に目的地までの経路を作成する。しかし、複数のロボットが共同で作業を行う環境では、作成した経路が他のロボットの経路と重複すると、衝突する危険性がある。そのため、相手ロボットを検出したときに、すれ違うことができ、衝突が起きない場所を見つけ、衝突回避する必要がある。本研究では、相手ロボットが存在せず、静止障害物のみ存在する場合に Dynamic Window Approach[1]を使い、相手ロボットがいる場合には、相手ロボットとのすれ違い点を見つけ、回避的な経路をとる方法を提案する。また、提案法の性能を評価する。

第 2 章では、研究で使用する自律移動ロボット、Robotino について説明する。第 3 章では、経路探索手法の一種である Dynamic Window Approach の概要とその評価関数、問題点について説明する。第 4 章で、提

案法である、相手ロボットとのすれ違い方法について説明し、第 5 章では提案法の性能を評価するために相手ロボットが存在する環境で目的地を目指す実験を行う。そして、第 6 章で本研究のまとめと今後の課題を述べる。

2 Robotino

自律移動ロボットとは人間の操作を必要とせず、ロボット自身が周囲の環境を把握し単体で移動するロボットのことである。環境を認識するために、カメラやセンサから得た情報をもとに、自己位置推定や環境地図を作る。本研究では、自ロボットと検知対象の相手ロボットに自律移動ロボットである Robotino を用いる。このロボットは、ドイツのフエスト社が販売するロボットであり、自律移動ロボットの世界大会である RoboCup Logistics League (RCLL)[2]で用いられている。Robotino は円形であり、直径 45cm である。また、3 輪のオムニホイールを持っている。

3 経路探索

3.1 Dynamic Window Approach

ロボットの軌跡を計算して経路選択をする手法として Dynamic Window Approach(DWA) がある。DWA は、環

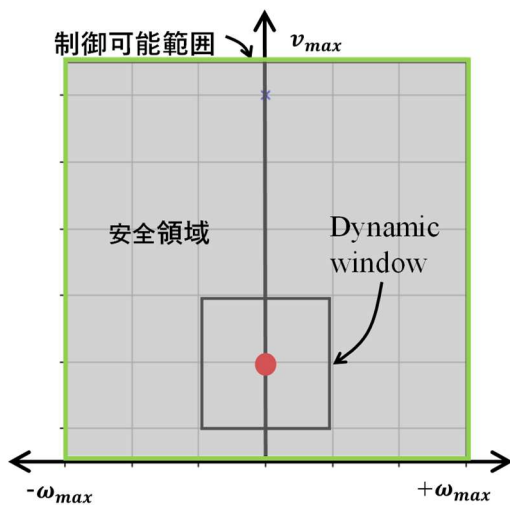


Fig. 1: Dynamic Window.

境が変化し続ける動的環境での経路計画法の Local Path Planning の一種でロボットの運動モデルを考慮し、自己位置、障害物、目的地の情報から、可能な制御入力(Dynamic Window)を計算して、ロボットの軌跡を計算することで、自ロボットが目的地の方位に向いているか、障害物から遠いか、速度が速いか、この三項目で評価を行う評価関数が最大になる経路を選択する手法である。主に、動的環境での自律移動ロボットの衝突回避や、経路探索において、広く用いられる手法である。Fig.1に Dynamic Window の概念図を示す。緑の枠で囲まれた範囲が制御可能範囲、グレーの領域が安全領域、赤丸を囲む正方形が Dynamic Window、赤丸が自ロボットの現在速度で縦軸が並進速度 v 、横軸が回転速度 ω である。制御可能範囲はロボットの取りうる制御入力の範囲を表し、そのうち現在の速度とロボットの加速度から計算される次の時刻までに取りうる範囲を Dynamic Window として表している。ロボットに搭載したカメラやセンサから得た環境情報とロボットの最大限速から計算される制御入力の範囲が安全領域である。また、障害物が存在する場合、障害物と衝突する範囲に衝突領域ができる。この Dynamic Window の範囲と安全領域を考慮することでロボットの運動モデルを考慮した障害物に衝突しない経路探索を行うことができる。本研究では、静止障害物のみ存在する場合に DWA を使用する。

3.2 評価関数

評価関数は、センサやカメラから得た情報から、自ロボットが目的地の方位に向いているか、障害物から遠いか、速度が速いか、この三項目で評価を行う。三項目の

評価値を足し合わせることで、それぞれの項目の特徴を反映した評価関数が得られる。合成後の評価関数を G とすると

$$G(v,\omega)=(a \times heading + \beta \times dist + \gamma \times velocity)$$

となる。評価関数 G は $heading$, $dist$, $velocity$ の評価値に対応している。この評価値はそれぞれ、 180° から目的地の方向とロボットの方向の差を引いた角度、障害物との距離、速度に関する変数であり、また、 a , β , γ はそれぞれ、各評価関数の足し合わせる際の重み係数であり、 $heading$ の係数の重み付けを大きくすると目的地に向かう経路を優先し、 $dist$ の係数の重み付けを大きくすると障害物から遠ざかる経路を優先し、 $velocity$ の係数の重み付けを大きくすると速度が速くなる制御を優先する。これらの係数を調整することで障害物を避けながら素早く目的地に向かう経路を探索できる。

3.2 問題点

DWA は、以前から変化する環境には対応できるが、静止障害物を対象としているため、相手ロボットがいる環境では使用できない。また、運動モデルや、運動モデルに伴った評価関数 G などの係数の設定によっては、障害物に対して不必要に遠回りする経路計画やロボットの軌跡を計算できずにその場で停止するような動きが起こり、衝突の危険性がある。

4 提案法

DWA は、相手ロボットがいる環境では使用できない、運動モデルや、評価関数などの係数の設定によって衝突の危険性があるという問題点がある。そのため、相手

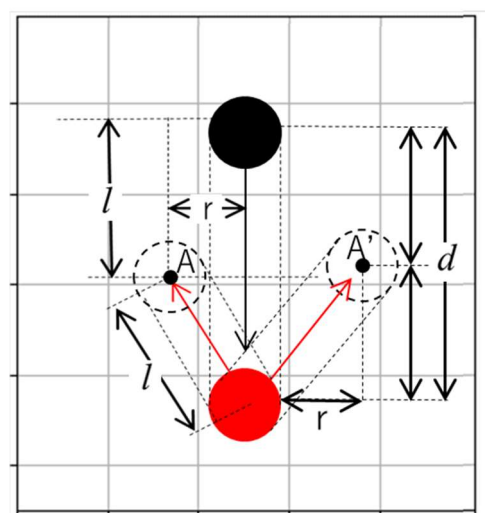


Fig. 2: place to pass each other robot

ロボットが存在せず、静止障害物のみ存在する場合にDWAを使用して経路探索を行い、相手ロボットがいる場合には回避的な経路をとる方法を提案する。ここで、回避的な経路とは、相手ロボットと衝突せずにすれ違える点を見つけ、見つけた点まで移動する方法である。

次にすれ違い点の導出方法について説明する。Fig.2 に提案法の経路のイメージ図を記す。図の赤丸が自ロボット、黒丸が相手ロボット、点 A が正しいすれ違い点、点 A' が正しいすれ違い点である。移動している相手ロボットとの衝突を考える。お互いが向かい合っていて、かつ、両者が最高速度で進んでいるときが一番危険である。その場合、相手ロボットと自ロボットは中点で衝突することになる。そこで、相手ロボットとのすれ違いに必要な距離を r とすると、お互いのロボットが l 進んだ時点で、 r 以上の距離を保つ点 A ですれ違うべきだが、導出するための計算が複雑で、複数のすれ違い点が存在するため、計算コストがかかる。そのため、ここでは導出を簡単にするため、中点より r だけ真横にずれた点 A' をすれ違い点とする。近似したすれ違い点へ進むことで、相手ロボットとの衝突を回避することを目指す。自ロボットの進行方向を x 軸とし、相手ロボットとの距離を d とすると、目的とするすれ違い点 A は、 $(d/2, \pm r)$ となる。なお、この場合、自ロボットがすれ違い点に到着する前に、相手ロボットが $d/2$ の経路を進み、自ロボットが r の距離を確保できない。

相手ロボットが複数存在するときは、一番距離が近い自ロボットに向かって進行する相手ロボットを危険だと判断し、その相手ロボットに対してすれ違い点を見つけることが重要になるので、そのロボットを対象にすれ違い点 A を設定する。1 ステップごとに点 A を計算するべきだがここでは次のように簡単化する。点 A を計算したらその点 A を目指して走行し、点 A に到達したら再度その時点でのすれ違い点 A を計算する。この作業を繰り返すことで、他のロボットの衝突を避けながら目的地へ進む。

5 性能評価

5.1 実験方法

実験では、数値シミュレーションを使って 2 台の相手ロボットがいる環境で経路探索を行い、提案法の経路と目的地に到達するまでの走行時間、距離、自ロボットと相手ロボットの距離を調べ、評価を行う。実験フィールドを Fig.3 に示す。(0,0) の赤い丸印が自ロボットの出発地、(5,0) の青いバツ印が目的地である。2 台のロボットが自ロボットに向かってくる場面を想定して、ロボット 1 の初期位置を(3,2)、目的地を(0,-1)として移動させる。ロボット2の初期位置を(5,0)、目的地を

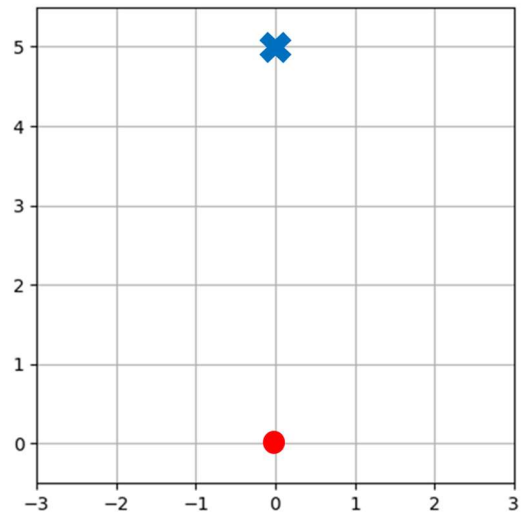


Fig. 3: Experimental field.

(0,0)としたとき、初期位置を(3.5,1)、目的地を(0,2)にして移動させる。衝突を回避するには相手ロボットとの距離として r [cm]を確保する必要があるが、今回は近似的にすれ違い点を導出するため r では相手ロボットと接触する。そこで、 r' として r に対して少しマージンを持った値を設定する必要がある。今回、ロボットの直径が 45cm であるため $r=45$ に対して、 $r'=60$ cm で設定する。実験では自ロボットと相手ロボットの距離が 45cm 以下になると衝突と判定する。

5.2 実験結果

実験結果を Fig.4 と Fig.5 に示す。Fig.4 が衝突時の経路、Fig.5 の上図が成功時の経路、下図が成功時の相手ロボットとの距離と時間の関係図である。

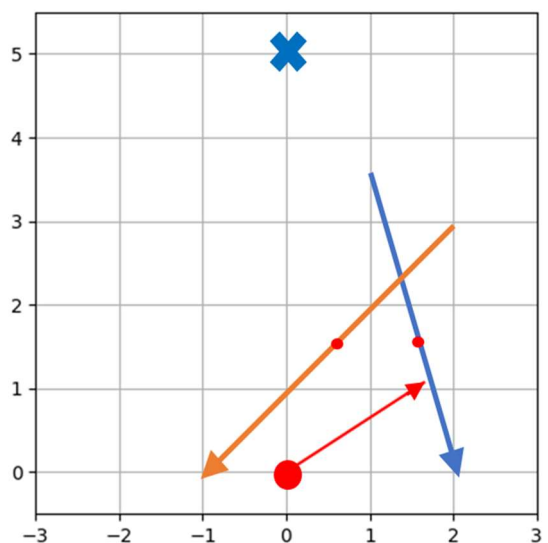


Fig. 4: Failure results.

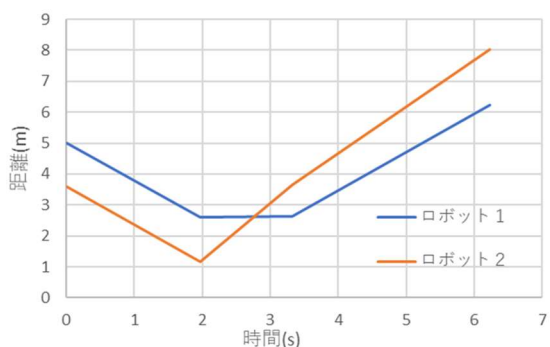
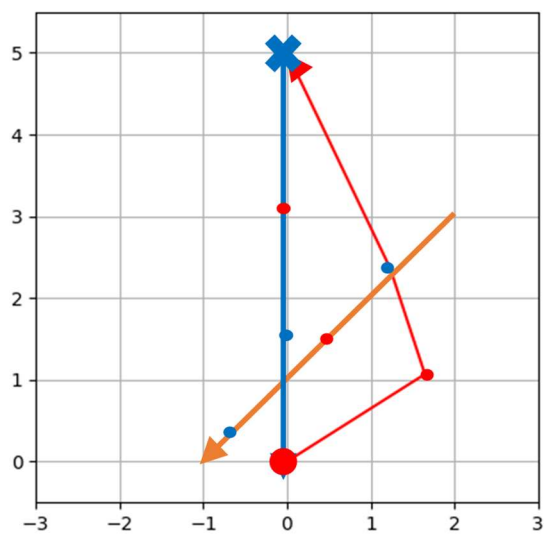


Fig. 5: Successful results.

衝突回避をして目的地に到達できた経路では、2 台の相手ロボットと、常に 1m 以上の距離を保って走行できた。衝突時の経路のように、相手ロボットが、危険度が低い場所から、すれ違い点に進行してくるような場面では、衝突した。

次に成功回数、衝突回数を調べるためにロボット 1 を(3,2)を初期位置として、5×5 のフィールド内の整数座標を目的地として移動させる。ロボット2はロボット1からそれぞれ近い場所、遠い場所に配置する。ロボット2の初期位置が近い場合(4,1) , 遠い場合(4,-1)とし、目的地をフィールド内の整数座標を目的地として移動させる。それぞれ 841 通り、合計 1682 通りのパターン

Table. 1: results.

Robot position	(4,1)	(4,-1)
Success	625	650
Failure	216	191

ンで実験を行い、目的地に衝突せずに到達できたか確認する。この結果を Table. 1 に示す。

Table. 1 の失敗は Fig. 4 のようにすれ違い点に、相手ロボットが進行したことが原因であった。この問題は、すれ違い点を相手ロボットの位置のみから計算して、相手ロボットの急な進路変更や急停止などの進行予測ができていないことや、相手ロボットと常に同じ距離を導出する方法を単純化したために相手ロボットと距離を確保できない場合が生じたため起きた。この問題を解決するためには、随時、相手ロボットの状態を判断し、すれ違い点を計算することで改善することができる。

6 まとめと今後の課題

本研究では、相手ロボットがない場合に DWA を使い、相手ロボットがいる場合にはすれ違い点を見つけて、回避的な経路をとる方法を提案した。

1 台の相手ロボットに対する回避行動を提案し、複数台に対応できるよう拡張した。次に相手ロボットが 2 台いる環境で提案法を試して、提案法の性能を評価した。成功時には、複数の相手ロボットと、常に 1m 以上の距離を保って安全に走行できたが、危険度が低い場所から、すれ違い点に進行してくるような場面では、衝突した。今後、衝突時の問題を相手ロボットの随時、相手ロボットの距離を判断し、お互いのロボットが l 進んだ時点で、 r 以上の距離を保つすれ違い点を計算して、経路探索することで解決したい。また、今回は、数値シミュレーションで提案法を評価したため、ロボットに実装して随時、相手ロボットと距離を保って経路計画できるようにしたい。

参考文献

- [1] Dieter Fox, Wolfram Burgard, and Sebastian Thrun. The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance. IEEE Robotics & Automation Magazine Volume: 4, Issue: 1, March 1997
- [2] RoboCup Logistics League (RCLL) (<https://ll.robocup.org/>)

ロボカップサッカーにおける実況システムの提案

Proposal of the Live-Commentary Robot System in RoboCup Soccer

大橋 玲音¹ 坪倉 和哉² 小林 邦和^{1*}
Reon OHASHI¹, Kazuya TSUBOKURA², Kunikazu KOBAYASHI²

¹ 愛知県立大学 情報科学部

¹ School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

² 愛知県立大学 大学院 情報科学研究科

² Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

Abstract: 本研究では、ロボカップサッカーの実況を行うシステムを提案する。ロボカップの試合は、人間のサッカーのルールと比べ複雑であり、競技者ではない観客にとって見どころやルールの把握が困難である。そこで、本稿ではロボカップの標準プラットフォームリーグを対象とし、観客がより試合の観戦を楽しめるように、試合の実況が可能か検討を行った。

1 はじめに

人工知能やロボット工学のためのランドマーク・プロジェクトとしてロボカップが開催されている [1]。ロボカップには5つの分野があり¹、各分野で競技が行われている [1, 2]。中でも「ロボカップサッカー」では、ロボットは自律的に行動しサッカーをプレイする。西暦2050年「サッカーの世界チャンピオンチームに勝てる、自律型ロボットのチームを作る」という夢に向かって、関連する研究や技術開発が進められている。

人間同士のサッカーでは、実況者や解説者により、観客にわかりやすく試合の状況が伝えられることがある。実況・解説により、観客は試合のルールに精通していなくとも、観戦を楽しむことができる。これは、ロボカップサッカーにおいても同様であると考えられる。ロボカップサッカーでは人間のサッカーのルールを踏襲している部分も多い。しかし、文献 [1, 3] でも解説されているように、各リーグの特性に応じてリーグ独自のルールが定められているため、人間のサッカー以上にルールの把握が困難である。そのため、ロボカップサッカーにおいても人間のサッカーと同様に、実況や解説を行うことで、観客がより観戦を楽しむことができると考える。ロボカップでは、一般の来場者が観戦することもあるため、実況・解説を行うことで観客に試合をより楽しんでもらうことは、ロボカップの活動への

の興味を喚起するうえでも重要である。

そこで、本研究ではロボカップサッカーの標準プラットフォームリーグにおける実況を行うシステムを提案する。標準プラットフォームは、人型のロボットを用いて1チーム5台で行われる [4]。これまで、ロボカップにおける実況システムは提案されているが [5]、シミュレーションリーグを対象としているため、各プレイヤーやボールの位置情報は正確に得ることができた。しかし、標準プラットフォームリーグでは、カメラ等を用いてロボットやボールの位置を推定することから取り組む必要があるため、より複雑な課題となる。

以下、2章ではロボカップサッカーの標準プラットフォームリーグについて述べる。3章ではに提案する実況システムについて説明する。最後に、4章で本稿をまとめる。

2 標準プラットフォームリーグ

本章では、ロボカップサッカーの標準プラットフォームリーグ (Standard Platform League; 以下 SPL) [4] について概説する²。SPLでは、全参加チームが同仕様のロボットを用いる。現在はロボットとして Aldebaran 社の NAO が採用されており、ハードウェアの改造は禁止されている。NAO は人型二足歩行ロボットで高さ約 58cm、1チーム最大5台 (ルールによっては7台) の NAO を用いることができる。フィールドは 10.4m×7.4m である。

*連絡先: 愛知県立大学 情報科学部
〒480-1342 愛知県長久手市茨ヶ廻間1522-3
E-mail: kobayashi@ist.aichi-pu.ac.jp

¹ロボカップには、「ロボカップサッカー」、「ロボカップレスキュー」、「ロボカップ@ホーム」、「ロボカップインダストリアル」、「ロボカップジュニア」の5つの分野がある。

²ルールの詳細については、公式ルール [6] を参照されたい。

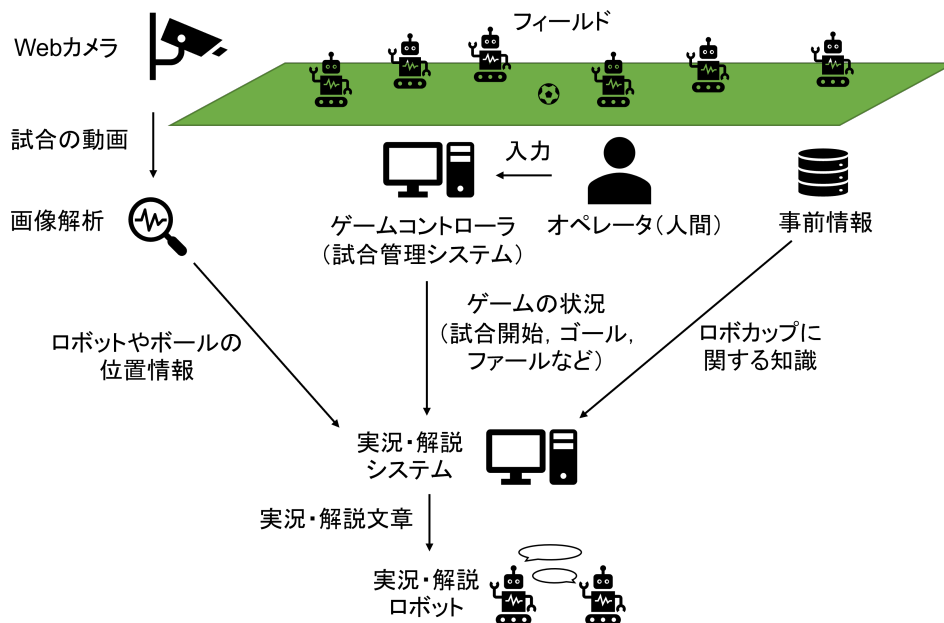


図 1: 実況システムの概要

人間のサッカー（あるいは、フットサル）の試合と同様に、キックオフから試合がスタートし、コーナーキックやゴールキック、キックイン、ペナルティキック等のプロセスが存在する。また、プレイヤーの違反として、相手ロボットへの強い接触（Pushing）や手を使ってボールに接触すること（Playing With Arms/Hands）なども規定されている。

SPL 特有のルールもいくつか存在する。倒れたまま起き上がれないロボット（Fallen Robot）や 10 秒間動いていないロボット（Inactive Robot）は違反となる。また、フィールド外へ出ようとしているロボットも違反（Leaving the Field）となる³。なお、これらのルールを犯したロボットはフィールドから一定時間取り除かれる。

SPL の試合では、主審が上述のルールに従い試合を管理する。同時に、リーグではゲームコントローラと呼ばれる試合を管理するシステムが採用されている。ゲームコントローラのオペレータは、ゲームコントローラを操作し、無線を通して主審の決定をロボットに指示する。

3 実況システム

本章では、実況システム（図 1）について述べる。本システムでは、試合の状況に応じて実況を行う。フィールドに設置された Web カメラにより、NAO やボール

の位置を推定し、推定結果に基づき試合のイベント（パスやシュートなど）を予測することで、試合の展開が実況可能となる。また、ゲームコントローラの情報を取得することで、試合の状況を実況できる。さらに、ロボカップに関する歴史や現状の課題等に関する知識を予め事前情報として蓄積しておき、試合の開始時や閑話として観客に有用な話題提供が可能となる。

3.1 節では画像処理による試合の状況理解について述べ、3.2 節では実況文章生成について説明する。3.3 節では本研究で開発した実況システムのプロトタイプについて紹介する。

3.1 画像処理による試合状況の理解

NAO の位置やボールの位置が分かれば、試合展開や NAO の行動を推測でき、実況を行うことができる。そこで、リアルタイムに物体検出と認識が可能な YOLOv5 [7] を用いて NAO とボールの位置情報の推定を行う。

3.1.1 訓練する画像の準備

SPL のフィールドが全て映り込む場所に Web カメラを配置し、NAO とボールの撮影を行った（図 2）。Web カメラには「ロジクール PRO STREAM フル HD ウェブカメラ C922n」を使用した。高性能カメラではなく、Web カメラを用いることで、安価にシステムの構築が可能になると期待される。

³システムのバグやモーターの疲労、バッテリーの残量などの問題から、これらの事象は試合中にしばしば起こり得る。



図 2: 収集した画像の例 (ロボット 10 台とボール 15 個を配置している)

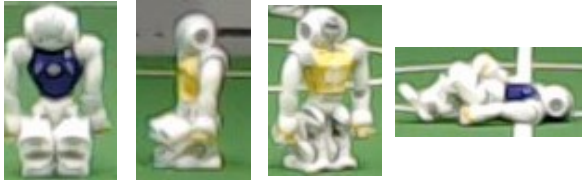


図 3: 訓練画像の例 (左から正面, 側面, 背面, 倒れた状態)

NAO は向きと位置を撮影毎に変更させ、撮影を行った。また、SPL では NAO が倒れている場合も起こり得るため、倒れた状態の NAO の撮影もした (図 3)。ボールも同様に、撮影毎に位置を変更させた。YOLO の訓練のため、撮影した画像に対して LabelImg [8] を用いて、NAO とボールの位置のアノテーションを行った。最終的に、NAO150 枚、ボール 217 枚の訓練データが得られた。

3.1.2 モデルの訓練

本研究では、試作としてモデルを 100epoch 学習させた。訓練に用いる画像とは別に撮影したテスト画像 1 枚を用いてモデルを適用した結果を図 4 に示す。同図より、367 枚と少ない学習枚数にもかかわらず、構築したモデルは高精度で NAO とボールを識別できていることがわかる。NAO の認識では、10 台すべての NAO を識別できていることがわかる。しかし、1 台の NAO に対して複数の NAO ラベルが認識されている例も確認できる。一方、ボールの認識では、15 個中 5 個のボールが認識できていなかった。NAO と比較してボールは小さい物体のため認識精度が低く、特に、Web カメラから遠い場合や白線上にボールがある場合は識別が困難であることが考えられる。

本研究では、定量的なモデルの評価を行えていないため、今後、学習に用いる画像枚数を増やし、モデルの評価を行う予定である。また、実際の競技では、NAO やボールの位置を認識するだけでなく、時系列で NAO やボールの位置変化を捉える必要もある。

3.2 実況文章の生成

本研究では、実況文章生成のための情報源を以下の 3 つに分類する。

1. ルールに基づく情報
2. ルール以外の試合に関する情報
3. 試合以外の情報

3.2.1 ルールに基づく情報

ルールに基づく情報としては、以下のような情報を含む。これらの情報は、ゲームコントローラを通して取得可能であるため、実況システムではゲームコントローラからの情報を活用する。

- 試合開始 / 試合終了
- ゴール
- ファール
- フリーキック

例えば、試合開始時には「今、[チーム名] のキックオフで試合が始まりました。」や、ゴール時には「[チーム名] がゴールし先制しました。」といった実況が可能である。そのため、以上のようなルールに対応した実況文章を事前に用意しておき、ゲームコントローラからの情報に基づいて選択して出力することとした。

3.2.2 ルール以外の試合に関する情報

ルールに基づく情報以外の情報も考慮することで、より臨場感のある実況が可能になる。ルール以外の情報としては、以下のような例が挙げられる。

- シュート
- パス
- ドリブル
- クリアランス



図 4: YOLOv5 による認識結果 (図 2 の画像をテストに使用した結果)



図 5: 実況システムのプロトタイプ

以上のようなプレイを認識できれば、「[チーム名]のロボットがシュートを打ちました。」や「いいパスが通りました。」といった実況が可能になる。本システムでは、これらの情報抽出が実現できていないが、3.1節で説明したロボットとボールの位置情報の推定をリアルタイムで行うことで実現可能性が高まると考えられるため、今後の課題である。

3.2.3 試合以外の情報

人間のサッカーにおいては、試合中に実況・解説者によって試合以外のサッカーに関する情報が伝えられることがある。試合の情報とは直接関係はないが、対戦チームや選手に関する情報など、閑話として伝えられる。これらの情報は、ロボカップの実況システムにおいても活用ができると考える。例えば、試合以外の情報として以下のような情報が挙げられる。

- ロボカップの技術的課題や見どころ
- 人間のサッカーとの相違
- 別のリーグの宣伝

ハーフタイム中や試合が膠着した際などに、これらの情報を発話することで、観客が観戦から離脱してしまうことも防ぐことができると考える。

3.3 プロトタイプ

本研究で提案する実況システムのプロトタイプを図5に示す。システムの画面左上に Web カメラにより取得

した映像を表示している。システムの右側は、ゲームコントローラの機能を再現している。システムの下部は、生成された実況文章を表示している。実況文章は、ゲームコントローラからの情報に基づき、予め用意された文章を出力している。なお、本研究では、3.2節で挙げた3つの情報源のうち、「1. ルールに基づく情報」の実装のみを行った。そのため、今後は、3.1節で説明した NAO とボールの検出を発展させ、「2. ルール以外の試合に関する情報」(シュートやパスなどの NAO の動作)の認識や「3. 試合以外の情報」を作成する必要がある。また、実際に SPL で用いられるゲームコントローラとの通信機能や実況文章を実況用のロボットに送信する機能を追加する予定である。

4 まとめ

本研究では、ロボカップサッカーにおいて、自動で試合の実況を行うシステムを提案した。標準プラットフォームリーグにおける実況のために必要な機能を検討し、プロトタイプを作成した。今後は、未実装の機能を実装し、システムを試合に適用してユーザ評価を行う。

参考文献

- [1] 野田 五十樹, 南方 英明, 小林 邦和, 杉浦 藤虎, 武村 泰範, 秋山 英久, 岡田 浩之, ロボカップ西暦 2050 年を目指して (その 1), 知能と情報, Vol.29, No.1, pp.2-13, 2017.

- [2] 奥川 雅之, 伊藤 暢浩, 岡田 浩之, 植村 渉, 高橋 友一, 杉浦 孔明, ロボカップ西暦 2050 年を目指して (その 2), 知能と情報, Vol.29, No.2, pp.42-54, 2017.
- [3] 浅田 稔, ロボカップサッカーにおける科学技術チャレンジ, 日本ロボット学会誌, Vol.38, No.4, pp.323-330, 2020.
- [4] RoboCup Standard Platform League. <https://spl.robocup.org/>, (cited 2023-04-09).
- [5] E. André, K. Binsted, K. Tanaka-Ishii, S. Luke, G. Herzog and T. Rist, “Three RoboCup Simulation League Commentator Systems,” AI Magazine, Vol.21, No.1, pp.57-66, 2000.
- [6] RoboCup Technical Committee, RoboCup Standard Platform League (NAO) Rule Book, 2023.
- [7] ultralytics YOLOv5. <https://github.com/ultralytics/yolov5>, (cited 2023-04-09).
- [8] LabelImg. <https://github.com/heartexlabs/labelImg>, (cited 2023-04-09).

© 2023 Special Interest Group on AI Challenges
Japanese Society for Artificial Intelligence
一般社団法人 人工知能学会 AI チャレンジ研究会

〒162 東京都新宿区津久戸町 4-7 OS ビル 402 号室 03-5261-3401 Fax: 03-5261-3402

(本研究会についてのお問い合わせは下記にお願いします.)

AI チャレンジ研究会

主査 / 担当幹事

植村 渉

龍谷大学 先端理工学部 電子情報通信課程

Executive Committee Chair

Wataru Uemura

Electronics, Information and Communication Engineering Course,
Ryukoku University

主幹事

干場 功太郎

東京工業大学 工学院 機械系

Secretary

Kotaro Hoshiba

Department of Mechanical Engineering,
Tokyo Institute of Technology

担当幹事

光永 法明

大阪教育大学 理数情報教育系

Noriaki Mitsunaga

Division of Math, Sciences, and Information Technology in Education
Osaka Kyoiku University

幹事

鈴木 麗璽

名古屋大学 大学院情報学研究科 複雑系科学専攻

Reiji Suzuki

Department of Complex Systems Science,
Graduate School of Informatics,
Nagoya University

中臺 一博

東京工業大学 工学院
システム制御系

Kazuhiro Nakadai

Department of Systems and Control
Engineering, School of Engineering,
Tokyo Institute of Technology

SIG-AI-Challenges web page; <http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~challeng/>