Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 53(2) (2021) 237-240
DOI: 10.22060/mej.2019.16409.6362

Path Design and Control of a Moving Social Robot in an Environment with Moving Obstacles in Order to Reach a Moving Target through Fuzzy Control

S. D. N. Tanha, M. H. Korayem*, S. F. Dehkordi

Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT: In this paper, the main objective is to design a fuzzy control system for path planning and controlling a moving robot in a social environment with obstacles. The proposed control algorithm establishes an appropriate path to reach the target without collision with obstacles by receiving the target position frequently. When the obstacles examined, it is assumed that fixed and moving obstacles have existed in the environment. Moreover, the robot movements are adjusted in such a way that they do not cause fear or change in human behavior. The fuzzy system used in the paper has four inputs (distance between obstacle and robot, the relative angle of the obstacle, the rate of the obstacle approaching the robot, and relative angle of the target), and two outputs (linear velocity and angles of the robot base). The suggested robotic system is examined in different states by considering diverse motions of obstacles and targets. Furthermore, the designed control system is implemented on the laboratory robot to validate the proposed method. In addition to the design of a graphical user interface, some changes have also been made to the function of its mechatronics system. Finally, the results obtained from simulation and laboratory systems are evaluated and compared.

Review History:

Received: May, 25, 2019
Revised: Aug. 02, 2019
Accepted: Nov. 05, 2019
Available Online: Dec. 30, 2019

Keywords:

Fuzzy control
Moving robot
Social robot
Time-variant control target
Graphical user interface

1. INTRODUCTION

The robot in social robotics is used as an aid to people in accomplishing their living affairs and as a smart tool to help educate, treat, and provide social services in public and recreational places. One of the prerequisites for the presence of a robot in the community is its ability to route and navigate without causing disturbance to people present in the environment and without collision with the fixed and moving obstacles. The mobile robot can be used in the case which is used as a leader in public environments with social predefined duties.

Mandava et al. [1] provided a potential field-based algorithm for path planning and controlling robots with nonholonomic constraints in the presence of fixed obstacles. Korayem et al. [2] dealt with mathematical modeling and optimal path planning for a moving robot, which used an open-loop controller to track the path. Akka and Khaber [3] applied the Takagi-Sugeno fuzzy model to obtain an optimal path with no collision with obstacles. Azzabi and Nouri [4] used a smart potential field for path planning and avoidance of collisions with obstacles. Hu and Yang [5] used the genetic algorithm and optimized robot path planning in the presence of moving obstacles.

In this paper, a fuzzy logic-based and potential field control method designed for path planning and controlling the robot's motions in a dynamic social environment. This situation includes fixed and moving obstacles, including humans, which is assumed in the experimental and simulation conditions. The proposed method for controlling the robot motions is composed of decisions making based on human logic; that is, the use of qualitative values. Moreover, the kinematic model used for simulating and controlling the robot based on the acceleration computations significantly. The main innovation of the paper is how to select inputs and outputs of fuzzy logic, as well as the use of fuzzy rules to move the robot in the vicinity of obstacles as the same of human motor behavior.

2. HYPOTHESES OF THE PROBLEM AND SOLVING METHODS

In the problem raised, a list of different states, which may be a robot face with, has been provided and given to people as a questionnaire. For each state, the most frequent response is chosen as the fuzzy rule. Then, for each predicted state, a solution is chosen according to the conditions. Finally, the path and favorable kinetic parameters are established. Subsequently, the required control commands are generated by solving the kinematic or inverse dynamics of the robot in order to achieve optimal parameters. After administering initial laboratory tests and measuring the robustness of the created control logic, a final decision is made on how the robot model should be accurate, and what parameters and errors can be ignored.

A questionnaire containing different states, which a person may face, is prepared without referring to the fact that the questionnaire is to be used to control the robot. Then, we ask people to imagine themselves under conditions defined in the questionnaire and choose what decisions they will be made

*Corresponding author's email: hkorayem@iust.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

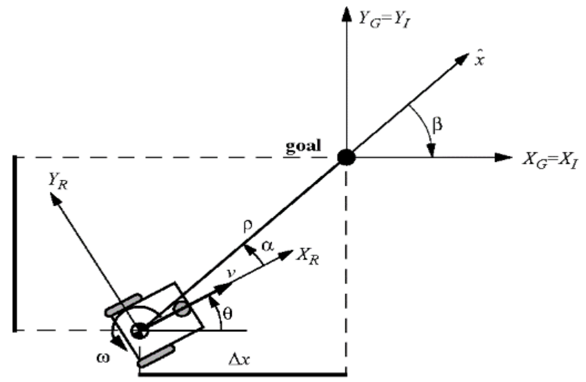

Fig. 1. Schematic of a two-wheeled differential moving robot and target position on the inertia coordinate system.

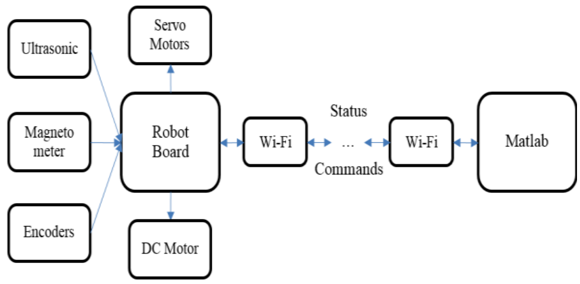

Fig. 2. A chart of the robot control with MATLAB software.

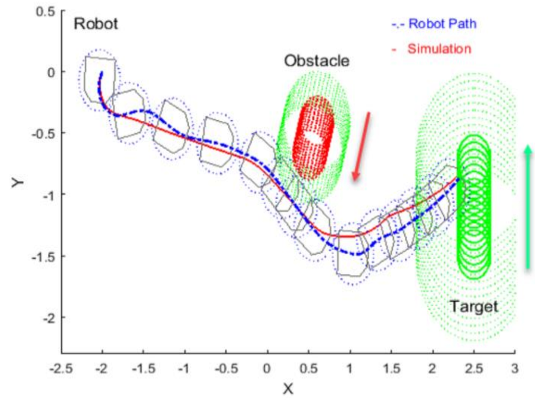

Fig. 3. Results of practical testing and simulation of robot path planning in the presence of a moving obstacle and reaching the moving target under initial conditions of θ = 90°

under each condition. Ultimately, any decision that has the highest response in the questionnaire is chosen as the fuzzy rule. The fuzzy rules base is composed of a set of if-then fuzzy rules. This part is considered as the heart of a fuzzy system that includes the following rules:

The rules are as follows:

IF

X_1 is A_1 AND … X_n is A_n

THEN

Y_1 is C_1 AND … Y_n is C_n

Consider the robot in Fig. 1 that can move in the *XY* Cartesian system. The angle between the axis connected to the robot (X_R) around the reference coordinate system (X_I) is called the vertex angle θ. Moreover, the angle between X_R and the vector connecting the center of gravity of the robot to the position is called target α. With regard to the nature of the motion of a two-wheeled differential moving robot with a two-wheel drive, the linear speed of the robot is in line with X_R. Therefore, the linear velocities and robot rotation are equal to:

$$v=\frac{\omega_1+\omega_2}{2}r=V_{X_I}\cos\theta+V_{Y_I}\sin\theta \tag{1}$$

$$\delta\theta=\frac{\omega_1-\omega_2}{2}\mu=\omega\delta t \tag{2}$$

3. IMPLEMENTATION OF THE SCOUT ROBOT HARDWARE AND TEST ENVIRONMENT

This section aims to provide activities for the implementation of the Scout robot hardware and laboratory environment. Therefore, the basic elements of the Scout robot, including drives, hardware modules, and control board used in this study will be examined. Moreover, the laboratory environment and arrangement of the obstacles will be examined. Fig. 2 depicts the hardware diagrams used in this robot.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

in order to evaluate the designed controller performance in situations where the target position is variable, a simulation was performed in the presence of a moving obstacle, assuming that the target position is varied. Fig. 3 demonstrates this simulation results. According to the Figure, the robot successfully crossed the obstacle. Moreover, the navigated path pattern is the same as the simulated path, and the only difference is in the end section of the path and time of reaching the target.

5. CONCLUSION

This paper provided the control algorithm of a moving robot with regard to the obstacles in both moving and fixed modes in the case where its control target varies with time. In this case, the plan is in such way that if the environment, in which the robot moves, is dynamic and the obstacles have the same human performance, the robot slows down to 65% of the maximum allowed speed, would adjust its motion in an environment with 800 mm radius in order to prevent collision and create fear. According to the changes in the position of the target over time and in the presence of obstacles, the used fuzzy algorithm has been defined in a manner that its motion is fast and is adjusted in the shortest possible direction. In order to investigate the results and the obtained control algorithm, a moving robot was implemented. Experiments revealed that a robot at a distance of 800 mm to the center of the obstacles decreases its speed to a maximum of 35%.

REFERENCES

[1] R.K. Mandava, S. Bondada, P.R. Vundavilli, An optimized path planning for the mobile robot using potential field method and PSO algorithm, in: Soft Computing for Problem Solving, Springer, 2019, pp. 139-150.

[2] M. Korayem, A. Shafei, H. Shafei, Dynamic modeling of nonholonomic wheeled mobile manipulators with elastic joints using recursive Gibbs–Appell formulation, Scientia Iranica, 19(4) (2012) 1092-1104.

[3] Akka, K., & Khaber, F. (2019). Optimal fuzzy tracking control with obstacles avoidance for a mobile robot based on Takagi-Sugeno fuzzy model. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 41(10), 2772–2781. https://doi.org/10.1177/0142331218811462

[4] Azzabi, A., & Nouri, K. (2019). An advanced potential field method proposed for mobile robot path planning. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 41(11), 3132–3144. https://doi.org/10.1177/0142331218824393

[5] Y. Hu, S.X. Yang, A knowledge based genetic algorithm for path planning of a mobile robot, in: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004, IEEE, 2004, pp. 4350-4355.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

S. D. N. Tanha, M. H. Korayem, S. F. Dehkordi, Path Design and Control of a Moving Social Robot in an Environment with Moving Obstacles in Order to Reach a Moving Target through Fuzzy Control, Amirkabir J. Mech. Eng., 53(2) (2021) 237-240.

DOI: 10.22060/mej.2019.16409.6362

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۳ شماره ۲، سال ۱۴۰۰، صفحات ۹۹۳ تا ۱۰۱۴
DOI: 10.22060/mej.2019.16409.6362

طراحی مسیر و کنترل ربات سیار اجتماعی در محیط با موانع متحرک به‌منظور رسیدن به هدف سیار با استفاده از کنترل فازی

سید داود نیکخوی تنها، محرم حبیب نژاد کورایم* ، سیاوش فتح اللهی دهکردی

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

خلاصه: در این مقاله، طراحی یک سیستم کنترل فازی به‌منظور مسیریابی و کنترل ربات سیار در محیط اجتماعی با حضور موانع مورد بررسی قرار می‌گیرد. الگوریتم کنترلی ارائه شده با دریافت موقعیت هدف، مسیر مناسب جهت رسیدن به آن‌را بدون برخورد با موانع تولید می‌نماید. در بررسی موانع، فرض براین است که به‌صورت ثابت و متحرک ازجمله انسان در محیط حضور دارند. همچنین، حرکت ربات به‌گونه‌ای تنظیم گردیده که موجب ایجاد ترس یا تغییر رفتار حرکتی افراد نشود. سیستم فازی مورد استفاده دارای چهار ورودی (فاصله مانع با ربات، زاویه‌ی نسبی آن، سرعت نزدیک شدن به ربات و زاویه‌ی نسبی هدف) و دو خروجی (سرعت خطی و زاویه‌ای پایه) می‌باشد. این سیستم در حالت‌های مختلف با لحاظ حرکت موانع و هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌منظور صحت‌سنجی این روش، علاوه بر طراحی رابط گرافیکی، سیستم طراحی شده بر روی ربات آزمایشگاهی پیاده‌سازی می‌گردد. نتایج علاوه بر بیان اهمیت تعداد داده ارسالی در فاصله‌های زمانی مشخص، اثر الگوریتم حضور مانع را نیز مشخص می‌نمایند. بنابراین نوآوری اصلی این مقاله، نحوه انتخاب ورودی و خروجی‌های منطق فازی و استفاده از قواعد فازی بمنظور حرکت ربات در مجاورت موانع می‌باشد. چنین کنترلی سبب می‌گردد افرادی که نزدیک ربات تردد می‌کنند، ترس از برخورد را احساس نکنند.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴
بازنگری: ۱۳۹۸/۰۵/۱۱
پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۴
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

کلمات کلیدی:
کنترل فازی
بات سیار اجتماعی
مسیریابی هوشمند
هدف کنترلی متغیر با زمان
رابط گرافیکی

۱-مقدمه

ربات‌ها همانند کامپیوترها قابلیت برنامه‌ریزی دارند. بسته به نوع برنامه‌ای که به آن‌ها داده می‌شود، کارها و حرکات مختلفی را انجام می‌دهند. بهره‌گیری از ربات برای کمک به انسان در انجام امور زندگی، استفاده از آن به‌عنوان ابزاری هوشمند برای کمک به آموزش، درمان و همچنین انجام خدمات اجتماعی در اماکن عمومی و تفریحی از موارد قابل‌ذکر در حوزه رباتیک اجتماعی می‌باشند. یکی از پیش‌نیازهای حضور ربات در اجتماع، توانایی مسیریابی و طی مسیر بدون ایجاد مزاحمت برای افراد حاضر در محیط و همچنین عدم برخورد با موانع اعم از ثابت و متحرک می‌باشد.

ماندااوا و همکاران [۱] یک الگوریتم مبتنی بر میدان پتانسیل جهت مسیریابی و کنترل ربات با قیود غیرهولونومیک در حضور موانع ثابت ارائه دادند. اقبال و اقبال [۲] با استفاده از روش بازخورد خطی‌ساز مسئله کنترل حرکت ربات دارای دوچرخ با محرک دیفرانسیلی را به همراه یک چرخ کوچک منفعل با فرض آن‌که محیط اطراف آن بدون مانع می‌باشد را بررسی نموده‌اند. کورایم و همکاران [۳] به مدل‌سازی ریاضی و طراحی مسیر بهینه برای ربات سیار با لینک‌های الاستیک و مفاصل دورانی انعطاف‌پذیر پرداخته‌اند که برای تعقیب مسیر در این تحقیق، از کنترل بهینه حلقه باز استفاده‌شده است. لی و همکاران [۴] از روش فیدبک خروجی برای کنترل حرکت ربات متحرک با قیود غیرهولونومیک و هولونومیک استفاده کرده‌اند. ربات موردنظر دارای دوچرخ اصلی و یک چرخ متعادل‌کننده

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: hkorayem@iust.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

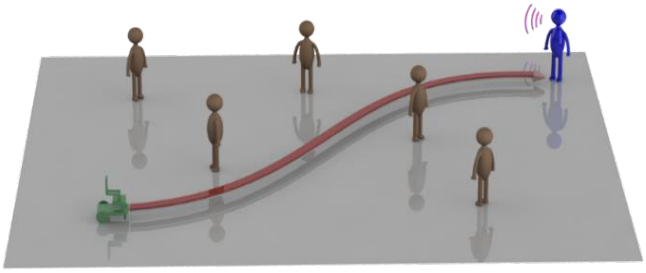

Fig. 1. Schematic of a simple social environment with human presence as moving obstacles

شکل ۱: شماتیک یک محیط اجتماعی ساده با حضور انسان‌ها به‌عنوان موانع متحرک

می‌باشد و روی پایه یک بازوی دو درجه آزادی نصب‌شده است. گاماج و همکاران [۵] از روش کنترلی تعقیب هدف برای کنترل ربات متحرک چهارچرخ با قیود غیرهولونومیک استفاده کرده‌اند. کوندراتنکو و همکاران [۶] با استفاده از منطق فازی، مسیر حرکت ربات متحرک چرخ‌دار در محیط مانع‌دار را با استفاده از اصول کنترل بهینه محاسبه کرد. همچنین الگوریتم جلوگیری از برخورد به مانع را نیز در مسیر، فرضی در نظر گرفت. جوآنگ و بویی [۷] با ترکیب شبکه عصبی و منطق فازی، روشی برای کنترل ربات ارائه داد که سرعت یادگیری ربات در فرایند یادگیری هوش مصنوعی را افزایش می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی به‌صورت هم‌زمان کوتاه‌ترین مسیر را طراحی و از برخورد با موانع متحرک اجتناب می‌نمود. سانتوس و همکاران [۸] به بررسی مسیریابی بهینه با در نظر گرفتن چندین تابع هدف در حضور موانع پرداخته‌اند. مسئله بهینه‌سازی با در نظر گرفتن تابع عملکرد چندهدفه شامل انرژی مصرفی و فاصله ربات با مانع، مورد بررسی قرار داده شده و از برنامه‌ریزی پویای غیرخطی استفاده گردیده و فضای حالت گسسته می‌شود. فاصله ربات تا مانع نیز در تابع هزینه به‌صورت تابع مرتبه دوم منفی در نظر گرفته می‌شود. دریک و همکاران [۹] با استفاده از الگوریتم جستجوی درختی، مسیر مناسب جهت تعقیب هدف متحرک ارائه نموده است. چنگ و وانگ [۱۰] از حس‌گر فاصله‌سنج لیزری جهت شناسایی موانع در مسئله مسیریابی ربات خود بهره گرفت. آکا و خابر [۱۱] از مدل فازی تاکاگی–سوگنو برای بدست آوردن مسیر بهینه بدون برخورد با موانع استفاده کرد .وارقصه و جیشا [۱۲] با تلفیق روش جستجوی سریع[1] و کنترل‌کننده پی‌آی‌دی[2] مسیریابی با عملکردی قابل‌قبول ارائه کرد. آمنی و نوری [۱۳] از یک میدان پتانسیل هوشمند جهت مسیریابی و اجتناب از برخورد با موانع استفاده نمود. هو و یانگ [۱۴] با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مسیریابی ربات در حضور موانع متحرک را بهینه‌سازی نمود. حاجی‌درویش و همکاران [۱۵] به‌منظور مسیریابی و اجتناب از برخورد با موانع در یک محیط دینامیک، از الگوریتم پرواز زنبورها الهام گرفت. زیلنخوف و اپیفانسو [۱۶] با استفاده از تکنیک‌های بینایی ماشین و هوش مصنوعی، به مسیریابی و ناوبری سیستم‌های خودران پرداخت. ابو و سویگاندر [۱۷] به‌منظور کنترل پاندول معکوس، از الگوریتم فازی تطبیقی و خود بهینه‌سازی کنترل‌کننده پی‌آی‌دی بهره برد.

در این مقاله یک روش کنترلی مبتنی بر منطق فازی و میدان پتانسیل جهت مسیریابی و کنترل ربات سیار در محیط اجتماعی پویا ارائه می‌گردد. در این روش، موانع ثابت و متحرک از جمله انسان در محیط آزمایش و شبیه‌سازی لحاظ شده است. ارائه روشی جهت نزدیک نمودن نحوه تصمیم‌گیری ربات هوشمند، به تصمیم‌های انسان گونه موردتوجه می‌باشد. روش پیشنهادی برای کنترل حرکت ربات، تصمیم‌سازی بر اساس منطق انسانی یعنی استفاده از مقادیر کیفی است. منطق فازی این امکان را فراهم می‌آورد که با استفاده از قواعد کیفی، منطقی مشابه تصمیم‌گیری انسان در تولید فرمان‌های کنترلی پیاده‌سازی شود. همچنین استفاده از مدل سینماتیکی برای شبیه‌سازی و کنترل پایه ربات، سرعت محاسبات را بسیار بالا می‌برد. در ادامه شبیه‌سازی‌های مختلفی اجرا و از صحت پاسخگویی روش پیشنهادی اطمینان حاصل شد. سپس به‌منظور بررسی عملکرد منطق

1 RRT

2 Proportional–Integral–Derivative Controller

کنترلی در شرایط محیطی، ربات آزمایشگاهی سیار اسکات، متناسب با نیازمندی‌های مسئله به‌روزرسانی گردید. هم‌چنین رابط گرافیکی به‌منظور ایجاد ارتباط میان بخش‌های مختلف سخت‌افزار و نرم‌افزار طراحی‌شده است.

۲-فرضیات مسئله و روش حل

مأموریتی که می‌توان برای یک ربات اجتماعی متصور بود، پیدا کردن هدف با پردازش صوت و تصویر و رساندن ربات به موقعیت هدف بدون برخورد با موانع ثابت و متحرک است. مسیری که ربات برای رسیدن به هدف طی می‌کند، متناسب با نوع مأموریت انتخاب می‌شود. به این مفهوم که با در نظر گرفتن شرایط مسئله یعنی متحرک بودن موانع، نامشخص بودن موقعیت موانع در طول مسیر، غیردقیق بودن موقعیت هدف و همچنین تردد انسان در محیط، انتخاب مسیر به‌گونه‌ای انجام می‌شود که بهترین رفتار حرکتی توسط ربات صورت گیرد. با توجه به پویا بودن موانع و هدف، مسیر به‌دست آمده درطی زمان به‌روزرسانی می‌شود.

کنترل ربات در این مقاله به دو بخش کلی مسیریابی و تعقیب مسیر تقسیم‌بندی می‌شود. با توجه به ویژگی‌های محیط‌های اجتماعی که ربات قرار است در آن مورد استفاده قرار گیرد، یعنی تردد افراد، عبور احتمالی چرخ‌دستی حمل بار، وجود ستون‌ها و دیوارهای با موقعیت ثابت و غیره که موانع ثابت و متحرک محیط بوده و ابعاد حدودی آن‌ها را می‌توان فرض کرد، مسیریابی حرکت ربات باید مبتنی بر اطلاعات لحظه‌ای دریافتی از سنسورهای فاصله‌سنج باشد. بدین معنی که نمی‌توان مسیر از پیش تعیین‌شده‌ای را برای حرکت ربات در نظر گرفت. لذا فرایند مسیریابی به‌صورت به هنگام انجام می‌شود. در چنین شرایطی استفاده از الگوریتم‌های کنترلی با دقت بالا برای تعقیب مسیر امکان‌پذیر نیست؛ زیرا مسیر متغیر با زمان بوده و حرکت موانع کاملاً تصادفی و غیرقابل مدل‌سازی فرض می‌شوند. همچنین فرض می‌گردد نمای از بالا از محیطی که ربات در آن حرکت می‌کند در دسترس نیست و امکان مشخص کردن مسیر حرکت از مبدأ تا مقصد بدون طی مسیر امکان ندارد و فرض می‌شود امکان ارائه نمای بالای پیوسته در تمام محیط‌هایی که یک ربات اجتماعی می‌تواند حضور داشته باشد میسر نیست. با بررسی روش‌های مسیریابی، روش منطق فازی برای ایجاد تصمیم‌گیری‌ها و میدان پتانسیل مصنوعی برای تولید فرمان‌های کنترلی استفاده می‌گردد.

منطق فازی مشابه عملی است که مغز انسان و نیز غریزه حیوانات در تعقیب شکار انجام می‌دهند [۱۸]. به این صورت که هرلحظه موقعیت خود و هدف و نیز فاصله را در نظر می‌گیرند و بدون در نظر گرفتن احتمالات آینده، جهت حرکت خود را انتخاب می‌کنند. این روش به حجم محاسبات بالایی نیاز ندارد، درنتیجه به‌عنوان یک الگوریتم به هنگام[۱] انتخاب مناسبی است. در این روش، نیاز به اطلاعات بسیار پایین است و لزومی برای استفاده از تصویر نمای بالای محیط وجود ندارد.

میدان پتانسیل مصنوعی ترکیبی از روش‌های فازی و بهینه است. در این روش بردارهای فاصله لحظه‌ای ربات با موانع و هدف به‌عنوان ورودی استفاده می‌شود. با تعریف تابع هزینه به‌منظور اجتناب از برخورد با موانع و نیز کاهش فاصله با مقصد، مسیر مناسب انتخاب می‌گردد. این روش در مسائلی که موانع متحرک هستند، عملکرد مناسبی دارد.

۲-۱- سینماتیک ربات اسکات

بررسی سینماتیک حاکم بر ربات اسکات شامل دو بخش سینماتیک پایه و سینماتیک بازوها می‌باشد. در این مقاله هدف اصلی تمرکز بر مسیریابی و کنترل پایه ربات سیار در محیط اجتماعی می‌باشد. مدل دینامیکی ربات تأثیر مهمی درنتیجه و یا ورودی‌های کنترلی ندارد. لذا از مدل جرم نقطه‌ای برای تعیین مسیر استفاده می‌گردد. در این مدل از تبدیل مختصات قطبی به مختصات کارتزین برای نمایش موقعیت هدف و موانع نسبت به ربات استفاده می‌شود. به این علت که سنسورهای مورداستفاده در استند آزمایشگاهی (ربات اسکات)، اطلاعات را در دستگاه قطبی اندازه‌گیری می‌کنند لیکن در دستگاه کارتزین روابط مربوط به کنترلر ساده‌تر خواهند بود.

برای پایه ربات می‌توان نوشت:

$$V_r = \left(\frac{\omega_R - \omega_L}{2}\right) R_w \tag{۱}$$

$$V_\theta = \left(\frac{\omega_R - \omega_L}{2}\right) \frac{R_w}{b} \tag{۲}$$

1 Real Time

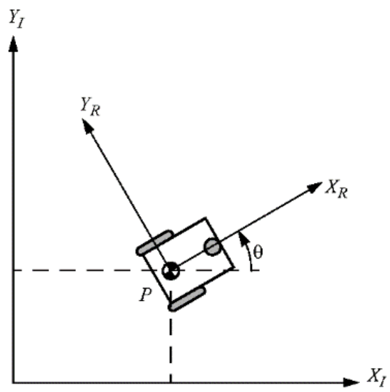

Fig. 2. Three-degree-of-freedom robot model with differential wheels on the horizontal plane

شکل ۲: مدل سه درجه آزادی ربات با دوچرخ تفاضلی در صفحه افقی

که در آن R_w شعاع چرخ، b فاصله چرخ تا مرکز محور دوران ربات و ω_R, ω_L سرعت‌های دورانی چرخ‌های چپ و راست ربات می‌باشند. با تبدیل سرعت‌های قطبی به کارتزین، سرعت ربات در دستگاه محلی X_R, Y_R و دستگاه اینرسی X_I, Y_I برابر است با:

$$V_{X_R} = V_R = \left(\frac{\omega_R + \omega_L}{2}\right) R_w \quad (۳)$$

$$V_{Y_R} = 0 \quad (۴)$$

$$V_{X_I} = V_{X_R} \cos\theta - V_{Y_R} \sin\theta = \left(\frac{\omega_R + \omega_L}{2}\right) R_w \cos\theta \quad (۵)$$

$$V_{Y_I} = V_{X_R} \sin\theta + V_{Y_R} \cos\theta = \left(\frac{\omega_R + \omega_L}{2}\right) R_w \sin\theta \quad (۶)$$

دلیل استفاده از نوشتار و انتخاب این دستگاه‌ها، کاهش حجم محاسبات و ساده‌سازی روابط سینماتیکی تا حد ممکن است. مشاهده می‌گردد که سرعت‌ها برحسب سه پارامتر $\theta, \omega_L, \omega_R$ محاسبه می‌گردند که هر سه توسط سنسورهای موجود در ربات قابل‌اندازه‌گیری می‌باشند. لذا فرایند کنترل و پایش ربات با روابط ساده و حجم محاسبات کمتر قابل‌اجرا می‌باشد.

۲-۲- ویژگی‌های کنترل فازی در مسئله مسیریابی

در مسئله طرح‌شده یک لیست از حالت‌های مختلفی که ممکن است پیشروی ربات باشد ایجاد شده و در قالب یک پرسش‌نامه به افرادی داده می‌شود و برای هر حالت، پر تکرارترین پاسخ به‌عنوان قاعده فازی انتخاب می‌گردد که مشخص می‌کند مقادیر پارامترهای معلوم در چه محدوده‌های فازی قرار دارند. سپس برای هریک از حالت‌های پیش‌بینی شده راه‌حلی متناسب با شرایط انتخاب می‌شود. در نهایت مسیر و پارامترهای سینتیکی مطلوب ایجاد می‌شوند. در ادامه برای رسیدن به پارامترهای مطلوب، با حل سینماتیک و یا دینامیک معکوس ربات، فرمان‌های کنترلی مورد نیاز تولید می‌شوند. پس از اجرای تست‌های آزمایشگاهی اولیه و سنجش میزان مقاوم[1] بودن منطق کنترلی ایجادشده، تصمیم‌گیری نهایی صورت می‌گیرد که چه مقدار لازم است مدل ربات دقیق باشد و از چه پارامترها و خطاهایی می‌توان صرف‌نظر کرد. تعدادی از حالت‌هایی که برای ربات پیش می‌آید به شرح زیر است:

الف) حالتی که در فاصله $R_{\min}$ از ربات هیچ مانعی حضور نداشته باشد.

1 Robust

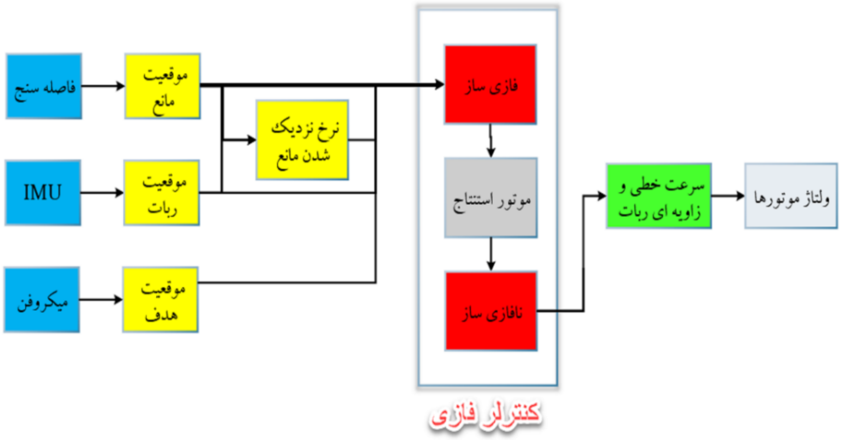

Fig. 3. Steps to control the robot from measuring to sensors to moving motors

شکل ۳: مراحل کنترل ربات از اندازه‌گیری در سنسورها تا ایجاد حرکت در محرک‌ها

در این مود حرکتی برای تولید فرمان‌های کنترلی ربات از یک میدان پتانسیل مصنوعی استفاده می‌شود که به زاویه میان ربات و هدف وابسته است.

ب) حالتی که ربات در محدوده یک مانع قرار دارد.

در این حالت لازم است موقعیت نسبی، سرعت و جهت حرکت مانع به‌وسیله سنسورهای حرکتی نصب شده بر ربات تشخیص داده شود و با منطق فازی مربوط به اجتناب از برخورد با موانع، فرمان مورد نیاز برای جلوگیری از برخورد و همچنین، هدایت ربات به سمت هدف با کمترین انحراف از مسیر اصلی اجرا شود.

ج) حالتی که ربات به گذرگاه می‌رسد.

در این حالت لازم است با سنسورهای فراصوتی و محاسبات هندسی، دهانه گذرگاه اندازه‌گیری شده و مشخص شود که ربات می‌تواند عبور کند و یا لازم است تصمیم دیگری اتخاذ شود.

د) رسیدن به دیوار و یا مانعی با سطح مقطع بزرگ.

در مواردی که ربات با مانعی با سطح مقطع بزرگ مواجه می‌شود، دو حالت وجود دارد: یا دیواری در مسیر وجود دارد که لازم است از پیش موقعیت دیوارها و ستون‌ها برای ربات مشخص‌شده باشند و یا مانعی جدید است که ممکن است قابل دور زدن باشد. در غیر این صورت لازم است ربات منتظر بماند مانع رفع شود.

پس از مشخص شدن مودهای حرکتی، توابع وزن هر مود مشخص می‌شود. این کار باید به کمک آزمون و خطا در مرحله شبیه‌سازی انجام شود. با اجرای شبیه‌سازی در شرایط مختلف و بررسی رفتارهای ربات، ضرایب وزنی به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که رفتار ربات چند ویژگی موردنظرمان را داشته باشد:

- ✓ رفتار ربات شبیه به حرکت انسان باشد تا حرکات ربات برای انسان‌های حاضر در فضای کاری ربات، قابل پیش‌بینی بوده و احساس امنیت را از بین نبرد.
- ✓ مسیرهای انتخابی اصطلاحاً نرم باشند و تصمیم‌های لحظه‌ای به حداقل برسد.
- ✓ مسیر طی شده کوتاه باشد و مصرف انرژی ربات بهینه باشد.

درنهایت با تهیه پرسشنامه‌ای شامل حالت‌های مختلفی که ممکن است یک فرد با آن مواجه باشد بدون اشاره به این‌که قرار است این پرسش‌نامه برای کنترل ربات مورد استفاده قرار گیرد، تهیه شده و از افرادی خواسته شده خود را در شرایط عنوان شده در پرسش‌نامه قرار داده و انتخاب کنند که در هریک از شرایط پیشرو چه تصمیمی اتخاذ می‌نمایند. نهایتاً هر تصمیمی که بیش‌ترین پاسخ به پرسش‌نامه باشد به‌عنوان قاعده فازی انتخاب می‌گردد.

وقتی سیستم فازی به‌عنوان کنترل‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد، به آن کنترل‌کننده فازی اطلاق می‌شود. یکی از بخش‌های اصلی کنترلر فازی، پایگاه قواعد فازی است. پایگاه قواعد فازی از مجموعه قواعد اگر–آنگاه فازی تشکیل‌شده است. این بخش قلب سیستم فازی محسوب می‌شود که شامل قواعدی به‌صورت زیر است:

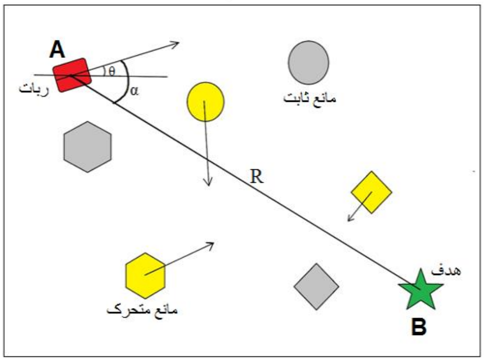

Fig. 4. Schematic of a social environment with the presence of target robots, fixed and moving obstacle

شکل۴: شماتیک یک محیط اجتماعی با حضور ربات هدف، موانع ثابت و متحرک

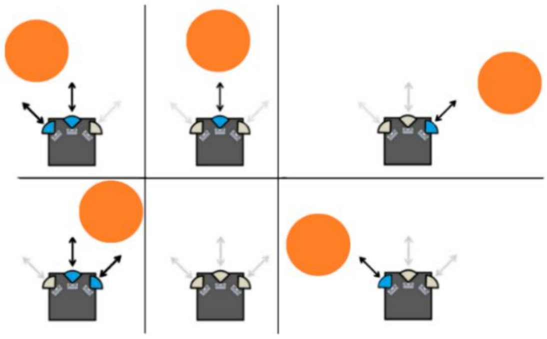

Fig. 5. The status of the distance sensors in different barrier conditions

شکل۵: وضعیت سنسورهای فاصله‌سنج در شرایط مختلف قرارگیری موانع

Rule i: IF X_1 is Y_1 AND …. X_n is A_n THEN is A_1 C_1 AND … Y_n is C_n

به‌طور خلاصه می‌توان برنامه کنترلی ربات را در شکل ۳ نمایش داد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ورودی‌ها مستقیم و غیرمستقیم از سنسورها اندازه‌گیری شده و وارد بخش فازی‌ساز کنترلر شده و پس از تصمیم‌سازی در موتور استنتاج، فرمان‌های منطقی وارد نافازی‌ساز شده و پارامترهای سینماتیکی ربات به برد کنترلی ربات ارسال می‌گردد. در ادامه با استفاده از سینماتیک معکوس بازوها و روابط هندسی پایه، مقادیر ولتاژ و پالس کنترلی محرک‌های ربات تولید و اعمال می‌گردند. هریک از مراحل به‌صورت مجزا در ادامه تشریح می‌شوند:

۲-۳- طراحی کنترلر بر اساس ورودی‌های سخت‌افزاری موجود

ربات مورداستفاده در این مقاله، یک ربات دوچرخ تفاضلی است. هنگامی‌که ربات به سمت هدف در حال حرکت است و سنسورها مانعی را در سر راه خود تشخیص می‌دهند، یک استراتژی از برخورد ربات با مانع جلوگیری می‌کند.

استراتژی واکنشی بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از سنسورها طرح‌ریزی شده است و تنها تعامل‌های نسبی بین ربات و محیط ارزیابی می‌شود. نکته مهم در این روش عدم نیاز به مدل ساختاری محیط حرکتی ربات است. همچنین کنترل‌کننده واکنشی فازی ازنظر زمان کوتاه واکنش و تصمیم‌گیری بالا در فرایند اجتناب از برخورد با موانع قدرتمند عمل می‌کند.

با در نظر گرفتن شرایط مسئله و ساختار مکانیکی ربات اسکات، کنترلر ربات به‌گونه‌ای انتخاب شده که ورودی‌ها و خروجی‌های آن به شرح زیر باشند:

ورودی‌ها: مقدار عددی سنسورهای فاصله‌سنج در مجاورت

موانع، مختصات نسبی ربات با انتگرال‌گیری از سنسور موقعیت‌سنج[1]، موقعیت موانع ثابت از پیش تعیین‌شده در محیط آزمایش.

خروجی‌ها: سرعت دورانی چرخ‌های ربات.

در یک مسئله دوبعدی در دستگاه مختصات زیر، موقعیت ربات با A، موقعیت هدف با B و موقعیت موانع با T_i نمایش داده می‌شود. سایر پارامترهای مسئله عبارت‌اند از $R, \theta, \alpha, \beta_i, \Omega_i$.

T_i: فاصله نسبی ربات با مانع iام

θ_{oi}: زاویه نسبی ربات با مانع iام

α: زاویه نسبی ربات باهدف

R: فاصله نسبی ربات باهدف

θ_t: زاویه ربات با افق

در شکل ۴، مستطیل قرمزرنگ که با حرف A مشخص شده، نماد ربات و شکل سبزرنگ که با حرف B مشخص شده، نماد هدف ثابت یا متحرک هستند. همچنین اشکال خاکستری‌رنگ نماد موانع ثابت و اشکال زردرنگ نماد موانع متحرک می‌باشند که جهت و سرعت حرکت آن‌ها با یک بردار مشخص‌شده است. طول پاره‌خط واصل B, A که با R نشان داده شده است، فاصله میان ربات و هدف بوده و راستای آن با بردار جهت ربات، زاویه نسبی ربات و هدف را می‌سازد که با α نمایش داده‌شده است .

پارامتر دیگری که در تصمیم‌گیری ربات اثر می‌گذارد، نرخ نزدیک شدن ربات به مانع $\|\dot{\Omega}\|$ است. ازآنجایی‌که موانع متحرک در مسئله، انسان فرض شده‌اند و ربات اجتماعی در تعامل با انسان‌ها قرار دارد از این پارامتر به‌عنوان پارامتری جهت کاهش احتمال برخورد ربات با افراد حاضر در محیط و افزایش حس اعتماد به حرکت ربات در فضای حرکتی استفاده می‌شود نحوه اثرگذاری این پارامتر به‌گونه‌ای است که با ورود ربات به محدوده مانع، سرعت حرکت آن با مقدار این پارامتر رابطه عکس دارد .

$$\left\|\dot{\Omega}_i\right\| = \left|V_i - V_R\right| \tag{۷}$$

همچنین هدف ربات یک انسان بوده و نزدیک شدن به آن با سرعت زیاد، باعث ایجاد حس اضطراب می‌شود لذا از این پارامتر برای مود نزدیک شدن به هدف نیز استفاده می‌شود .

۲-۴- نقش فاصله‌سنج‌ها در کنترل ربات

ربات اسکات دارای سه سنسور فاصله‌سنج فراصوت در قسمت جلوی ربات است که در شکل ۵ محل قرارگیری آن‌ها را مشاهده می‌کنید. از این سنسورها برای تشخیص فاصله موانع با ربات استفاده می‌شود. همچنین می‌توان با استفاده از روابط هندسی ربات و موقعیت نصب سنسورها، به اطلاعات مفیدتری نظیر سرعت حرکت موانع، نرخ نزدیک شدن ربات به مانع، زاویه نسبی مانع با سمت ربات و ... دست‌یافت.

با توجه به ساختار سنسورهای استفاده شده در ربات اسکات، اطلاعاتی که از سنسورهای فاصله‌سنج دریافت می‌شود، محدود به سه عدد بوده که فاصله جسم انعکاس‌دهنده امواج صوتی را تا سنسورها اندازه‌گیری می‌کند. هریک از این سنسورها، درصورتی‌که جسمی مقابل آن قرار نگیرد، عدد ۳۰۰ سانتی‌متر را نمایش می‌دهد. ازآنجایی‌که حداقل فاصله مانع تا ربات برای فعال‌سازی فرایند اجتناب از برخورد، ۲ متر در نظر گرفته شده، استفاده از این سنسورها با برد ۳ متر می‌تواند انتخاب مناسبی باشد.

تعیین موقعیت نسبی مانع به‌صورت مستقیم از مقادیر سنسورها امکان‌پذیر نبوده و برای تبدیل ۳ عدد به‌دست‌آمده از سنسورها به فاصله و زاویه نسبی مانع، نیاز به انجام محاسبات است. در این پژوهش از یک مدل فازی برای این تبدیل استفاده شده به این نحوی که با سه ورودی و در نظر گرفتن ۱۶ حالت مختلف، ۱۶ قاعده تصمیم‌گیری به صورتی‌که در ادامه توضیح داده می‌شود تعریف نموده و خروجی‌های زاویه و فاصله نسبی تولید می‌گردد. همان‌طور که گفته شد، ۳ سنسور فاصله‌سنج صوتی جلوی ربات در موقعیت‌های مقابل، -۴۵ و +۴۵ درجه نسبت به راستای محور X ربات در نظر گرفته‌شده است. هر یک از سنسورها می‌تواند فاصله خود تا مانع را اندازه‌گیری کند. با فرض دسته‌بندی فاصله‌های اندازه‌گیری شده در سه دسته خیلی نزدیک، نزدیک و خیلی دور و با فرض این‌که هر مانع حداکثر توسط دو سنسور قابل‌مشاهده باشد، می‌توان ۱۶ حالت را متصور بود. در شکل ۵، ۶ حالت از ۱۶ حالت ممکن را مشاهده می‌کنید.

موقعیت مانع نسبت به ربات در دستگاه مختصات قطبی دارای دو پارامتر فاصله و زاویه است. به ازای هریک از ۱۶ حالت معرفی‌شده می‌توان یک زاویه و فاصله به موقعیت مانع نسبت داد. مقادیر فاصله را به سه دسته دور، نزدیک و خیلی نزدیک و مقادیر زاویه را در پنج

1 IMU

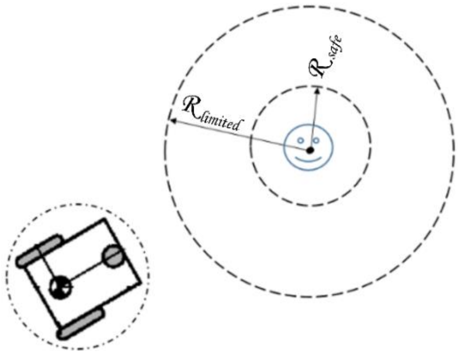

Fig. 6. Barriers to privacy

شکل ۶: محدوده حریم موانع

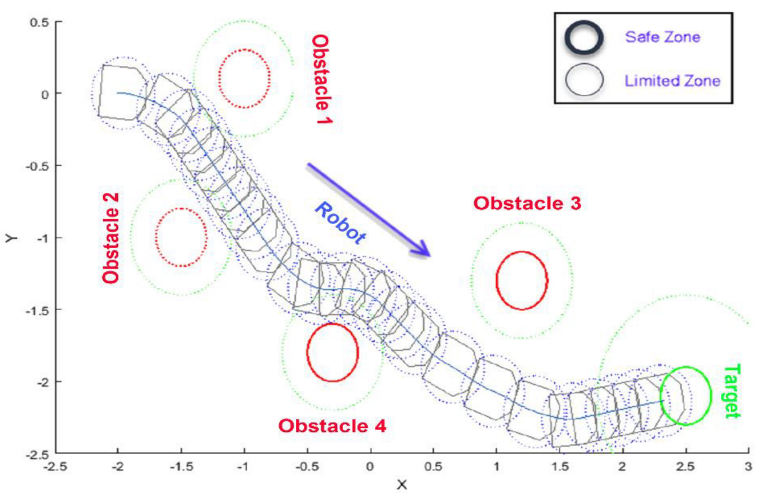

Fig. 7. Schematic design of a mobile robot with differential wheels and target position in inertia

شکل ۷: طرح شماتیک ربات سیار با دوچرخ تفاضلی و موقعیت هدف در دستگاه اینرسی

دسته چپ، مایل به چپ، روبه‌رو، مایل به راست و راست تقسیم‌بندی کرده و هریک از ۱۶ حالت ورودی را با ۱۶ حالت خروجی مرتبط می‌کنیم. فازی‌ساز ورودی‌ها و نافازی‌ساز خروجی‌ها می‌تواند به سه صورت مثلثی، ذوزنقه‌ای و گوسین تعریف گردد. با تکرار حالت‌های مختلف و آزمون و خطا، نهایتاً تابع عضویت ورودی (مقادیر سنسورهای فاصله‌سنج صوتی) و خروجی (زاویه و فاصله نسبی مانع) به‌گونه‌ای به‌دست می‌آیند که اولاً تخمین محاسبه شده توسط منطق فازی طراحی شده کم‌ترین خطا را داشته باشد، ثانیاً حجم محاسبات تخمین موقعیت موانع بالا نباشد.

ربات مورد بررسی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌شود که از آن بتوان در یک محیط فروشگاهی مورد استفاده قرار گیرد. از ویژگی‌های یک فروشگاه به‌عنوان نمونه مناسبی از یک محیط اجتماعی می‌توان به تردد افراد، عبور احتمالی چرخ‌دستی حمل بار، وجود ستون‌ها و دیوارهای با موقعیت ثابت و غیره که موانع ثابت و متحرک محیط بوده و ابعاد حدودی آن‌ها را می‌توان در نظر گرفت، اشاره کرد. در چنین محیطی حرکت موانع غیرقابل پیش‌بینی فرض شده و رعایت حریم افراد در حال تردد امری ضروری است. در شکل ۶ به‌صورت شماتیک حریم فردی که ربات در حین طی مسیر از مجاورت آن عبور

جدول ۱: قواعد اگر- آنگاه کنترلر فازی

Table 1. If - then fuzzy controller

ردیف	فاصله مانع با	زاویه نسبی	سرعت	زاویه نسبی	سرعت خطی	سرعت
1	M	S	L	M	L	M
2	M	S	M	M	L	L
3	M	S	H	Z	L	L
4	M	S	L	Z	L	Z
5	M	S	M	P	L	Z
6	M	S	H	P	L	L
7	M	M	L	M	L	L
8	M	M	M	M	L	L
9	M	M	H	Z	L	L
10	M	M	L	Z	L	M
11	M	M	M	P	L	M
12	M	M	H	P	L	L
13	M	L	L	M	L	L
14	M	L	M	M	L	M
15	M	L	H	Z	L	Z
16	M	L	L	Z	L	Z
17	M	L	M	P	L	L
18	M	L	H	P	L	M
19	Z	L	L	M	Z	M
20	Z	S	M	M	Z	L
21	Z	S	H	Z	Z	M
22	Z	S	L	Z	Z	M
23	Z	S	M	P	Z	L
24	Z	S	H	P	Z	L
25	Z	S	L	M	Z	M
26	Z	M	M	M	Z	Z
27	Z	M	H	Z	Z	Z
28	Z	M	L	Z	Z	M
29	Z	M	M	P	Z	L
30	Z	M	H	M	Z	L
31	Z	M	L	M	Z	M
32	Z	L	M	Z	Z	M
33	Z	L	H	Z	Z	Z
34	Z	L	L	P	Z	L
35	Z	L	M	P	Z	M
36	Z	L	H	M	Z	M
37	Z	L	L	M	Z	L
38	Z	L	M	Z	Z	L
39	P	S	H	Z	M	M
40	P	S	L	P	M	M
41	P	S	M	P	M	L
42	P	S	H	M	M	M
43	P	S	L	M	M	L
44	P	S	M	Z	M	M
45	P	M	H	Z	M	Z
46	P	M	L	P	M	M
47	P	M	M	P	M	Z
48	P	M	H	M	M	Z
49	P	M	L	M	M	M
50	P	M	M	Z	M	Z
51	P	L	H	Z	M	M
52	P	L	L	P	M	L
53	P	L	M	P	M	M
54	P	L	H	M	M	M
55	P	L	M	M	M	M
56	P	L	L	Z	M	L
57	P	L	M	Z	M	M

می‌کند با خط‌چین نمایش داده شده است. فاصله ایمن[1] متناسب با ابعاد و سرعت حرکت ربات انتخاب می‌گردد. این شعاع محدوده‌ای را مشخص می‌کند که ربات حق ورود به آن را ندارد. همچنین مرزی که با شعاع محدودکننده[2] مشخص‌شده، نشان‌دهنده محدوده‌ای است که ربات با ورود به آن ملزم به کاهش سرعت حرکت خود می‌شود.

ربات شکل ۷ را در نظر بگیرید که می‌تواند در دستگاه کارتزین XY حرکت کند. زاویه بین محور متصل به ربات (X_R) حول دستگاه مختصات مرجع (X_I)، زاویه رأس θ نام دارد. همچنین زاویه میان X_R با بردار واصل مرکز ثقل ربات به موقعیت هدف نامیده

1 R_{safe}
2 $R_{limited}$

جدول ۲: پارامترهای هندسی لحاظ شده در شبیه‌سازی

Table 2. The geometrical parameters considered in the simulation

پارامترهای هندسی		شبیه‌سازی اول	شبیه‌سازی دوم	شبیه‌سازی سوم
موقعیت اولیه ربات	X_R (m)	-2	-2	-2
	Y_R (m)	0	0	0
	θ_R (Rad)	0	0	0
موقعیت اولیه هدف	X_{T1} (m)	2/5	2/5	2/5
	Y_{T1} (m)	-2	-2	-2
موقعیت نهایی هدف	X_{T2} (m)	2/5	2/5	2/5
	Y_{T2} (m)	-2	-2	-0/2
موقعیت اولیه مانع اول	$X_{O1,1}$ (m)	-1	-1	-1
	$Y_{O1,1}$ (m)	0	0	0
موقعیت نهایی مانع اول	$X_{O1,2}$ (m)	-1	-1	-1
	$Y_{O1,2}$ (m)	0	-0/3	-0/4
موقعیت اولیه مانع دوم	$X_{O2,1}$ (m)	-1/5	-1/5	-1/5
	$Y_{O2,1}$ (m)	-1	-1	-1
موقعیت نهایی مانع دوم	$X_{O2,2}$ (m)	-1/5	-1/5	-1/5
	$Y_{O2,2}$ (m)	-1	-0/3	-0/1
موقعیت مانع سوم	$X_{O3,1}$ (m)	1/2	1/2	1/3
	$Y_{O3,1}$ (m)	-1/4	-1/2	-1/2
موقعیت مانع چهارم	$X_{O4,1}$ (m)	-0/3	-0/3	-0/3
	$Y_{O4,1}$ (m)	-1/8	-1/8	-1/8

جدول ۳: پارامترهای هندسی لحاظ شده در شبیه‌سازی سینماتیکی ربات اسکات [۳]

Table 3. Geometrical parameters considered in kinematic simulation of Scott's robot [3]

1- مشخصات ربات	**2-** مقادیر
3- شعاع چرخ‌های محرک	**4-** 0/065 m
5- فاصله دو چرخ محرک	**6-** 0/29 m
7- زاویه نسب سنسورهای فاصله‌سنج فراصوت	**8-** ± 30 Deg
9- شعاع دایره محیط بر ربات	**10-** 0/4 m

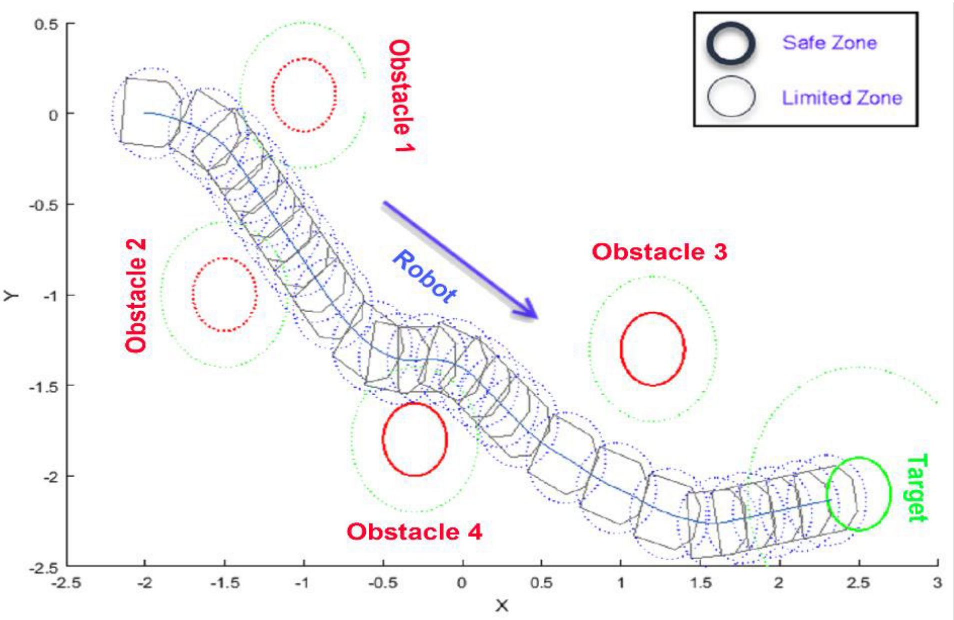

Fig. 8. Simulate three degrees of basic freedom by assuming the plane moves in the presence of four obstacles and a fixed target

شکل۸: شبیه‌سازی سه درجه آزادی پایه با فرض حرکت در صفحه در حضور چهار مانع و یک هدف ثابت

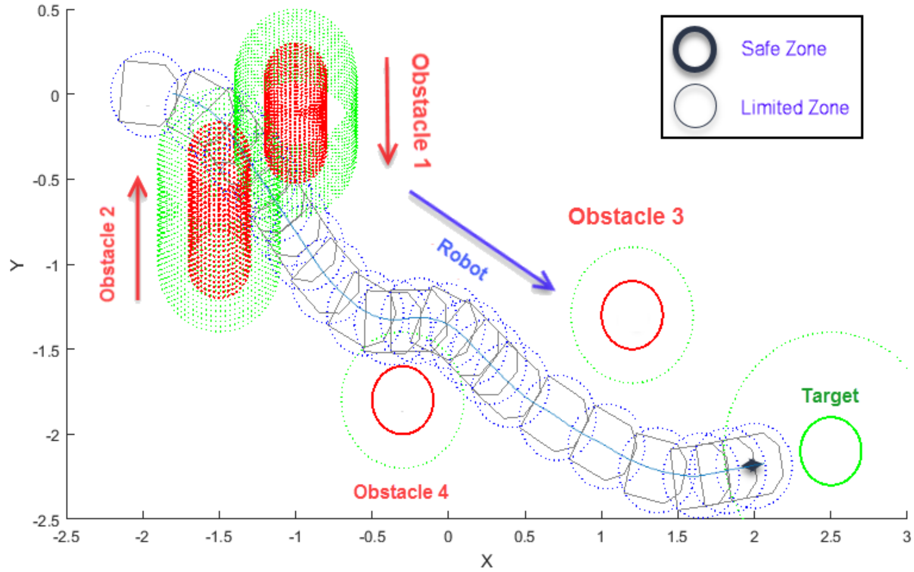

Fig. 9. Simulating three degrees of basic freedom by assuming the plane moves in the presence of two obstacles and a fixed target and two moving obstacles

شکل۹: شبیه‌سازی سه درجه آزادی پایه با فرض حرکت در صفحه در حضور دو مانع و یک هدف ثابت و دو مانع متحرک

می‌شود. با توجه به ماهیت حرکت ربات سیار با دوچرخ تفاضلی، جهت سرعت خطی ربات در راستای X_R می‌باشد. لذا سرعت‌های خطی و دوران ربات برابر است با:

$$v = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} r = V_{X_I} \cos\theta + V_{Y_I} \sin\theta \qquad (۸)$$

$$\delta\theta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \mu = \omega \delta t \qquad (۹)$$

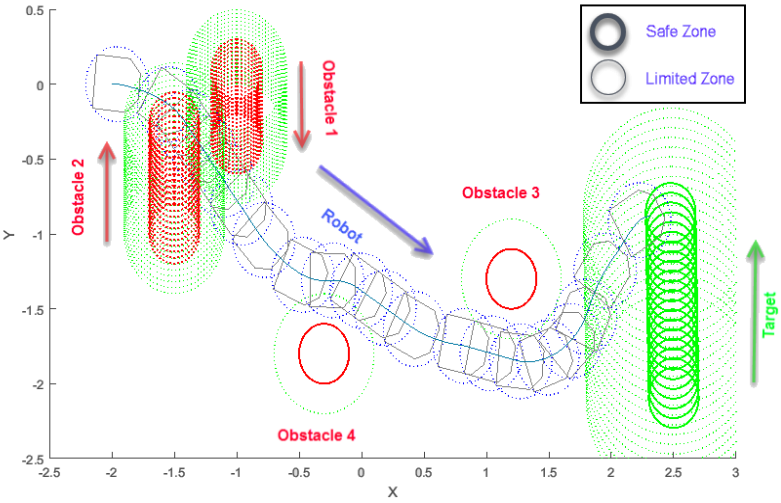

Fig. 10. Simulating three degrees of basic freedom by assuming the plane moves in the presence of two fixed obstacles and two obstacles and a moving target

شکل۱۰: شبیه‌سازی سه درجه آزادی پایه با فرض حرکت در صفحه در حضور دو مانع ثابت و دو مانع و هدف متحرک

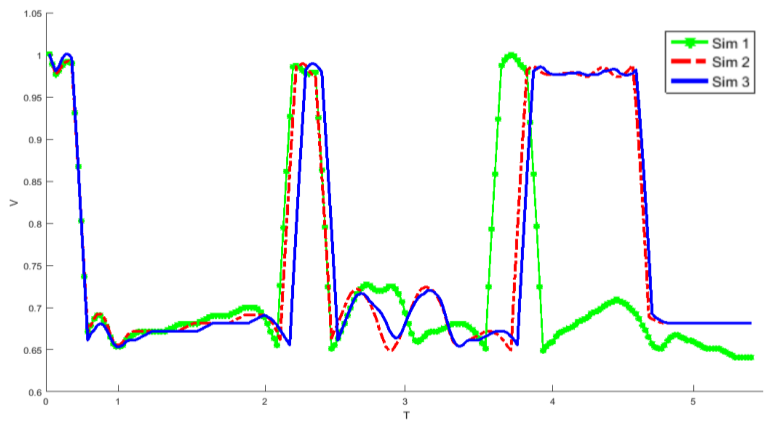

Fig. 11. Robot speed in three simulated modes

شکل۱۱: سرعت حرکت ربات در سه حالت شبیه‌سازی شده

که در روابط (۸) و (۹) مقادیر ω_2, ω_1 سرعت دوران چرخ‌های ربات، r شعاع چرخ‌ها و μ ضریب تبدیل دوران چرخ به دوران ربات حول مرکز دوران است که مقدار آن به ابعاد هندسی ربات و چرخ‌ها بستگی دارد.

پرسش‌نامه‌ای متشکل از ۵۷ حالتی که ممکن است ربات در شرایط آن قرار بگیرد مطابق جدول ۱ به افرادی داده شد و با توضیحاتی از این افراد خواسته می‌شود که خود را در شرایط ربات فرض کنند و بگویند که در هریک از این ۵۷ حالت، چه تصمیمی برای ادامه مسیر اتخاذ می‌نمایند. نهایتا قوائد اگر-آنگاه فازی متناسب با جواب‌های این پرسشنامه انتخواب شده‌اند.

۳-نتایج شبیه‌سازی

به منظور بررسی عملکرد کنترلر طراحی شده، در سه حالت کلی، حرکت ربات به سمت هدف شبیه‌سازی شده و نتایج آن در جدول ۲ ارائه می‌گردد. سه حالت پیشنهادی عبارت‌اند از حرکت ربات به سمت هدف ثابت در حضور چهار مانع ثابت، حرکت ربات به سمت هدف

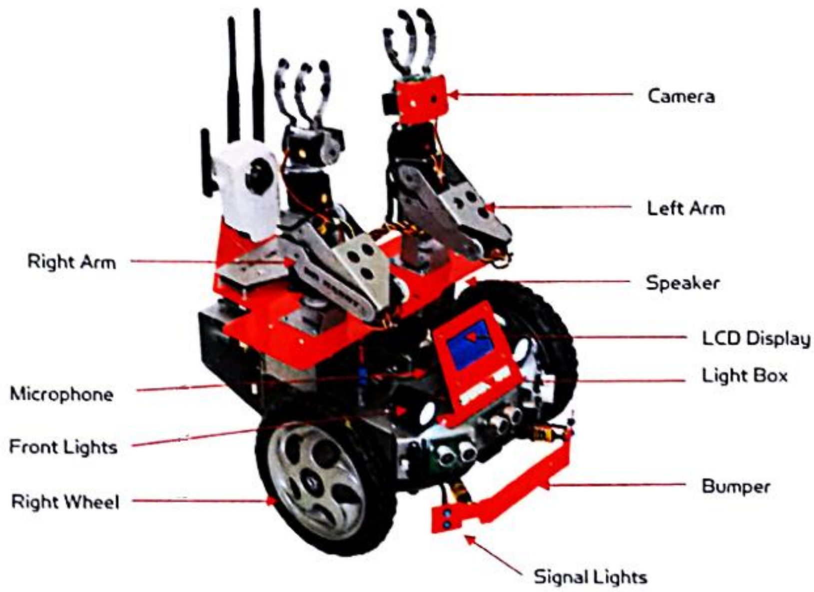

Fig. 12. A view of Scott's laboratory robot

شکل۱۲: نمایی از ربات آزمایشگاهی اسکات

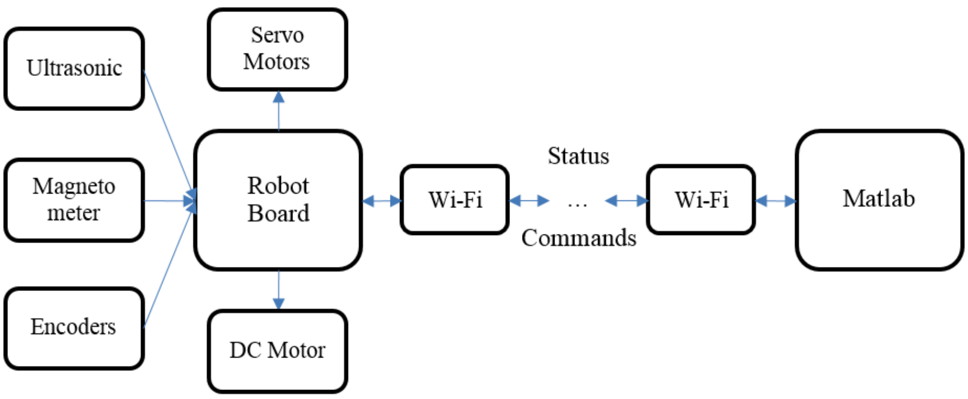

Fig. 13. Robot control chart with MATLAB software

شکل۱۳: چارت کنترل ربات به کمک نرم‌افزار متلب

ثابت در حضور دو مانع متحرک و دو مانع ثابت و نهایتا شبیه‌سازی حرکت ربات به سمت هدف متحرک در حضور دو مانع متحرک و دو مانع ثابت. پارامترهای هندسی این شبیه‌سازی‌ها شامل موقعیت اولیه و نهایی موانع و هدف و همچنین شرایط اولیه قرارگیری ربات مطابق جدول زیر فرض‌شده‌است.

تست‌های آزمایشگاهی در این قسمت برروی ربات اسکات اجرا گردیده است. جدول ۳ شامل مقادیر پارامترهای هندسی و ابعادی فرض شده در شبیه‌سازی سینماتیکی این ربات می‌باشد.

شکل ۸ نتیجه شبیه‌سازی کنترلر طراحی شده برای حالتی مشاهده می‌شود که موقعیت هدف و چهار مانع ثابت فرض شده‌اند. مشاهده می‌گردد که در هیچ کجای مسیر ربات وارد ناحیه امن نمی‌شود. همچنین ورود ربات به ناحیه محدودکننده موجب کاهش سرعت حرکت ربات می‌گردد. کاهش سرعت با نزدیک شدن دایره‌های نمایشگر موقعیت ربات نمایش داده‌شده است.

همچنین شبیه‌سازی مسیر حرکت ربات در دو حال موانع متحرک–هدف ثابت و موانع متحرک–هدف متحرک به ترتیب در

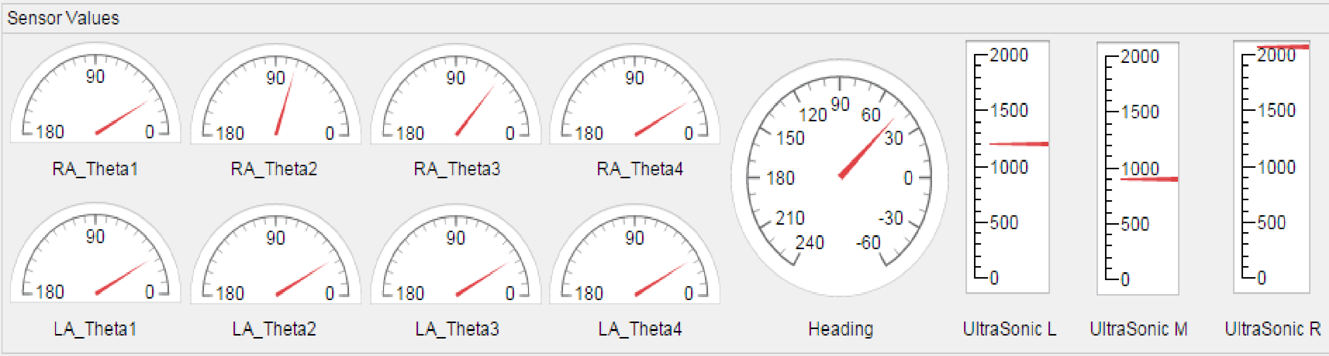

Fig. 14. Displays the measured values in the sensors as linear and circular gauges

شکل ۱۴: نمایش مقادیر اندازه‌گیری شده در سنسورها به‌صورت گیج‌های خطی و دورانی

شکل ۹ و شکل ۱۰ مشاهده می‌شود. شکل ۱۱ سرعت خطی ربات در سه حالت شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در مقاطعی از مسیر که ربات وارد ناحیه سبز یا ناحیه محدودکننده می‌شود، سرعت آن کاهش می‌یابد. در هر سه حالت بررسی‌شده، در هیچ کجای مسیر ربات وارد محدوده قرمز یا ناحیه امن[1] نمی‌شود.

۴-پیاده‌سازی سخت‌افزار ربات اسکات و محیط تست

بخش حاضر با هدف ارائه فعالیت‌های صورت گرفته در راستای پیاده‌سازی سخت‌افزار ربات اسکات و محیط آزمایشگاه تدوین شده است. بدین منظور و در ادامه المان‌های اساسی ربات اسکات شامل محرک‌ها، ماژول‌های سخت‌افزاری و بورد کنترلی مورداستفاده در این پژوهش بررسی خواهد شد. هم‌چنین در انتهای این بخش پیرامون محیط آزمایشگاه و چیدمان موانع توضیحاتی ارائه می‌گردد. در شکل ۱۲ تصویری از ربات اسکات مشاهده می‌گردد.

دو دسته محرک در ربات اسکات مورد استفاده قرار گرفته است، موتورهای جریان مستقیم جهت حرکت پایه و سروو موتورهای ۱۸۰ درجه جهت حرکت بازوها. فرمان دادن به موتورهای محرک پایه به این صورت انجام می‌شود که با تعیین مقدار ولتاژ و جهت جریان مستقیم، سرعت و جهت حرکت موتورها کنترل می‌گردد. ازآنجایی‌که ولتاژ و جریان خروجی برد کنترلی ربات آردیونو دوو[2] نسبت به ولتاژ و جریان موردنیاز موتورهای پایه جهت حرکت ربات بسیار پایین می‌باشند، لازم است از درایور متناسب با ویژگی‌های سخت‌افزاری ربات، جهت تغذیه محرک‌ها استفاده نمود.

یکی از پارامترهای مورد نیاز جهت کنترل ربات سیار، اطلاع از جهت ربات است. با استفاده از سنسورهایی نظیر شتاب‌سنج و انکودر می‌توان موقعیت نسبی ربات نسبت به لحظه روشن شدن را با مقداری خطا اندازه‌گیری نمود. اما استفاده از ماژول قطب‌نما این امکان را فراهم می‌سازد که با کمترین خطا زاویه ربات را نسبت به دستگاه مختصات اینرسی زمین اندازه‌گیری گردد. وجود قطب‌نما این امکان را فراهم می‌سازد که با دانستن یک پارامتر مطلق در دستگاه مختصات اینرسی و مقایسه آن با مقادیر محاسبه شده در دستگاه مختصات نسبی میزان خطای موقعیت پایه ربات استخراج شود. به‌عبارت دیگر با ترکیب اطلاعات سنسور قطب‌نما و انکودرها، موقعیت پایه ربات سیار در صفحه XY محاسبه گردد. لازم به ذکر است که این المان در سخت‌افزار ربات اولیه موجود نبوده و بر اساس نیاز پروژه به المان‌های ربات اسکات افزوده شده است. با توجه به فلزی بودن بدنه ربات و نیز خاصیت آهنربایی در قطب‌نمای مورداستفاده، قطب‌نمای مذکور با استفاده از یک‌پایه پلاستیکی بر روی بدنه نصب شد.

ماژول قطب‌نما امکان اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین در سه محور را با رزولوشن بسیار بالا فراهم می‌نماید. درصورتی‌که ماژول در موقعیت و زاویه صحیح بر روی ربات جانمایی شود. همچنین از سه بورد الکتریکی آردیونو استفاده‌شده است. بورد اول از طریق پورت سریال به رایانه متصل بوده و در ارتباط مستقیم با نرم‌افزار متلب می‌باشد. بوردهای دوم و سوم نیز بر روی ربات قرار دارند که بورد دوم در ارتباط با سنسورها و چرخ‌ها و بورد سوم در ارتباط با بازوها می‌باشد. مکانیزم عملکرد بوردها به‌صورت زیر می‌باشد:

1 Safe Zone
2 Arduino Due

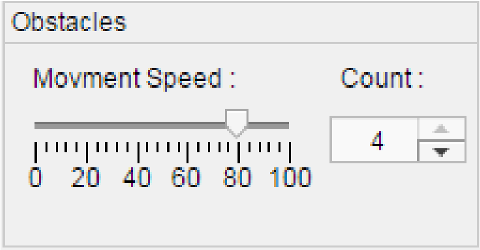

Fig. 15. Determine the number of obstacles and the speed of updating the position of the obstacles

شکل ۱۵: تعیین تعداد موانع و سرعت به‌روزآوری موقعیت موانع

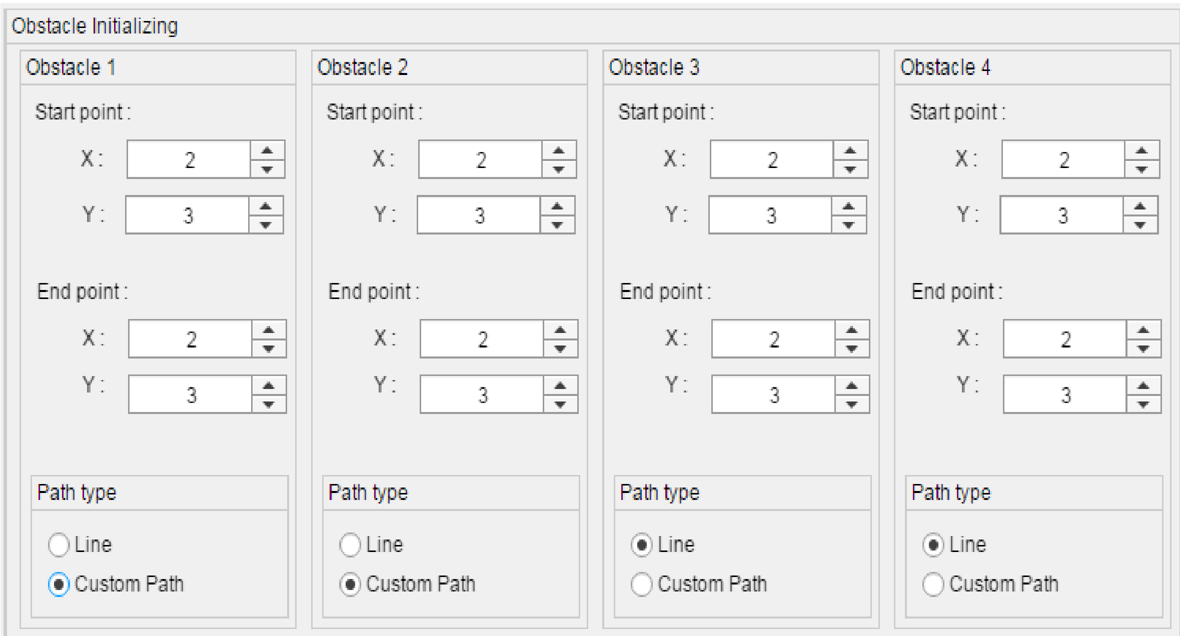

Fig. 16. The positioning and tracking panel of the simulation barriers section

شکل ۱۶: پنل تعیین موقعیت و مسیر حرکت موانع بخش شبیه‌سازی

بورد اول فرامین را از رایانه دریافت و از طریق ماژول وایرلس برای بورد دوم بر روی ربات ارسال می‌کند. بورد اول همچنین داده‌های دریافتی از بورد دوم را از طریق پورت سریال به بخش نرم‌افزاری منتقل می‌سازد.

بورد دوم فرامین مربوط به چرخ‌ها را اعمال و فرامین مربوط به بازوها را از طریق پورت سریال برای بورد سوم ارسال می‌کند. علاوه بر دریافت فرامین، بورد دوم داده‌های دریافتی از سنسورها را نیز از طریق ماژول وایرلس برای بورد اول ارسال می‌کند.

بورد سوم فرامین مربوط به بازوها را به سروو موتورها اعمال می‌کند.

در شکل ۱۳ دیاگرام کنترلر حلقه بسته استفاده شده در این مقاله نمایش داده‌شده است.

۵-پیاده‌سازی نرم‌افزار کنترلی

کنترل ربات و اجرای تست‌های عملی دربسته نرم‌افزاری مخصوصی اجرا می‌گردد که متناسب با نیازهای ربات طراحی شده است. این

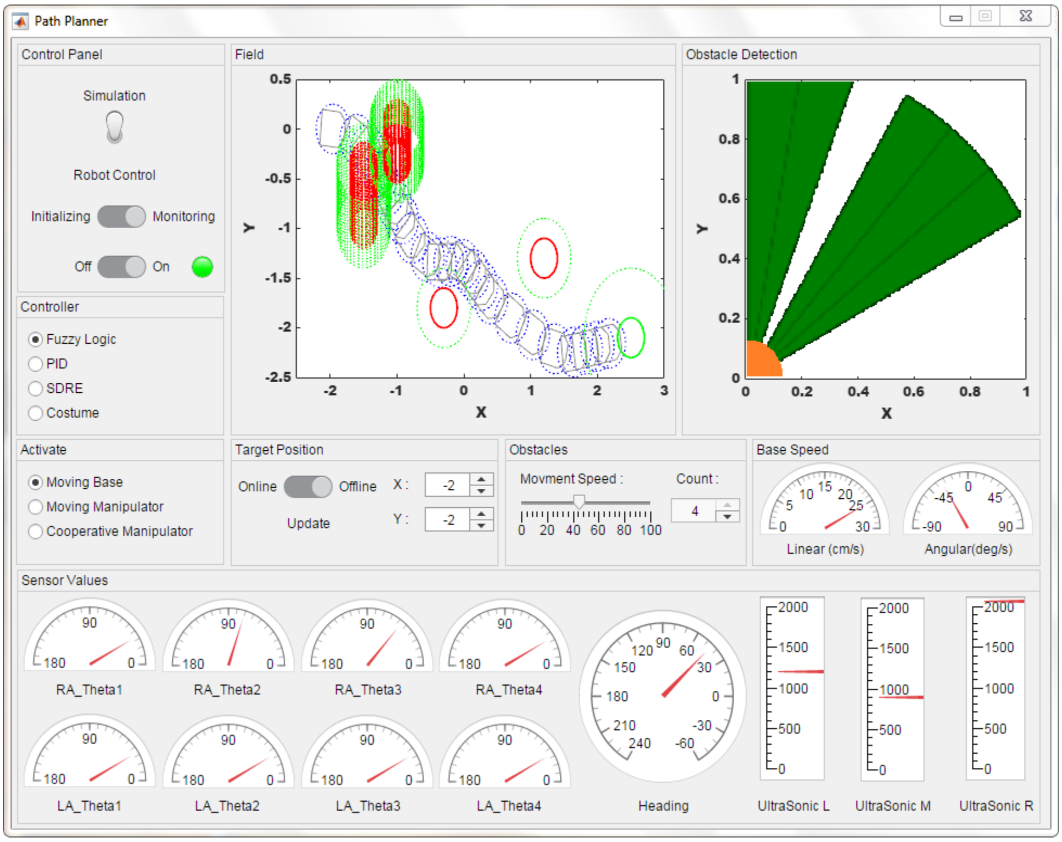

Fig. 17. A graphical interface simulation environment

شکل ۱۷: نمایی از محیط شبیه‌سازی رابط گرافیکی

بسته نرم‌افزاری وظیفه ایجاد ارتباط میان بخش‌های مختلف نظیر سخت‌افزار ربات، رابط گرافیکی، هسته کنترلی، واحد پردازش صوت و تصویر و کاربر را بر عهده دارد. اطلاعات سنسورها با استفاده از ماژول بی‌سیم[1] به برد آردیونو متصل به کامپیوتر ارسال شده و از طریق پورت سریال به محیط طراحی شده در نرم‌افزار متلب منتقل می‌گردد. نمایی از رابط طراحی شده در محیط نرم‌افزار متلب در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود. این رابط شامل سه بخش کلی مقداردهی، تنظیمات و پایش وضعیت می‌باشد. رابط گرافیکی به‌گونه‌ای طراحی شده که تبادل اطلاعات را به‌صورت دوطرفه میان ربات و متلب اجرا نموده و با تنظیماتی که کاربر انتخاب می‌کند، شرایط شبیه‌سازی و کنترل ربات را تعیین نماید. بدین منظور تعدادی از اطلاعات را از سنسورهای موجود در ربات و بخشی از اطلاعات مورد نیاز را از کاربر دریافت نموده و به الگوریتم کنترلی تحویل می‌دهد. سپس نتایج خروجی الگوریتم و همچنین مقادیر سنسورها را در بخش پایش وضعیت نمایش داده و همچنین فرمان‌های کنترلی تولید شده را به عملگرهای ربات ارسال می‌نماید.

پایش وضعیت ربات به دو صورت نمایش اطلاعات خام سنسورها و نمایش گرافیکی موقعیت و وضعیت ربات صورت می‌گیرد. در پنل مقداردهی سنسور مقادیر خام اندازه‌گیری شده در سنسورها با گیج‌های مدرج نمایش داده‌شده‌اند. این مقادیر شامل زوایای اتصالات بازوها، سرعت حرکت خطی و دورانی پایه، زاویه سمت ربات و فاصله اندازه‌گیری شده توسط فاصله‌سنج‌های فراصوت می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، هریک از مقادیر اندازه‌گیری شده توسط سنسورهای ربات، به‌صورت نشانگرهای خطی و دورانی نمایش داده‌شده‌اند.

پس از پردازش اطلاعات خام و تولید فرمان‌های کنترلی، در نمودار دوبعدی میدان موقعیت ربات، موانع و هدف و همچنین مسیر حرکت ربات به‌صورت لحظه‌به‌لحظه به‌روزرسانی می‌گردد. همچنین در نمودار تشخیص موانع، موانع شناسایی‌شده در نزدیکی ربات در

1 NRF

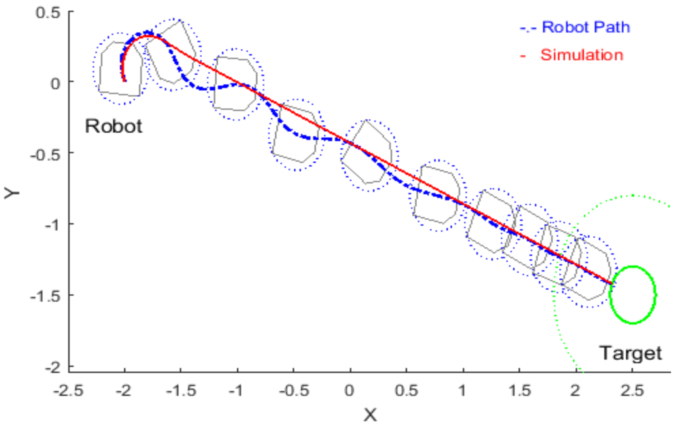

Fig. 18. The result of a practical test and simulation of a robust, unobstructed robot routing at initial conditions θ = 90

شکل۱۸: نتیجه آزمایش عملی و شبیه‌سازی مسیریابی ربات بدون حضور مانع در شرایط اولیه θ =°۹۰

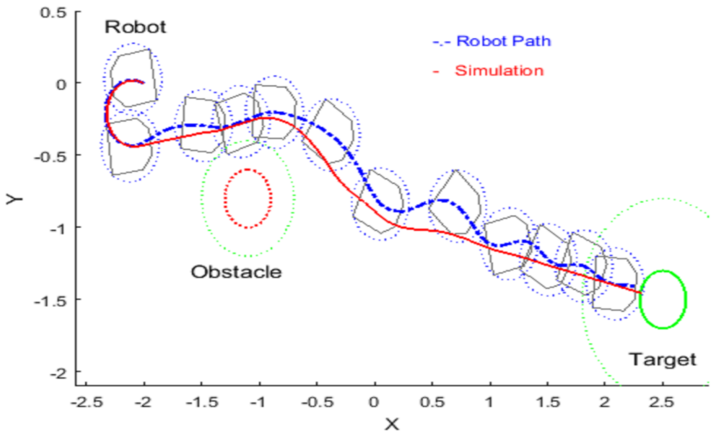

Fig. 19. Result of practical experiment and simulation of robot routing in the presence of constant barrier at initial conditions θ = 180°

شکل۱۹: نتیجه آزمایش عملی و شبیه‌سازی مسیریابی ربات در حضور مانع ثابت در شرایط اولیه θ= °۱۸۰

مختصات نسبی به مرکزیت ربات نمایش داده می‌شوند.

اطلاعات دریافتی از ربات به کنترلر انتخابی کاربر تحویل داده شده و مقادیر کنترلی جهت اعمال در محرک‌های ربات به برد کنترلی ربات ارسال می‌گردد. به‌طور پیش‌فرض سه نوع کنترلر فازی، کنترل‌کننده پی‌آی‌دی و معادله ریکاتی وابسته به حالت[1] که در این پروژه و پژوهش‌های پیشین طراحی‌شده‌اند، در رابط گرافیکی تعبیه شده‌اند. همچنین کاربر می‌تواند کنترلر دیگری طراحی و استفاده نماید. برای این کار کافی است ورودی و خروجی‌های کنترلر طراحی شده می‌بایست با رابط گرافیکی مطابقت داشته باشند. در این صورت با انتخاب گزینه پیش‌فرض از پنل کنترلر، شبیه‌سازی و همچنین کنترل ربات با فرمان‌های تولید شده توسط کنترل کاربر صورت می‌پذیرد. موقعیت هدف به دو صورت ثابت و متغیر قابل تعریف است. کاربر می‌تواند موقعیت هدف را در محیط گرافیکی

1 SDRE

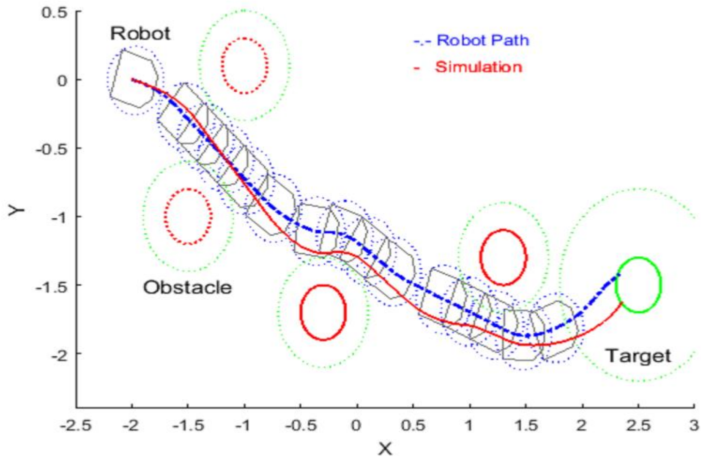

Fig. 20. Result of practical experimentation and simulation of robot routing in the presence of four constant barriers at initial conditions θ = -30°

شکل۲۰: نتیجه آزمایش عملی و شبیه‌سازی مسیریابی ربات در حضور چهار مانع ثابت در شرایط اولیه ۳۰°- =θ

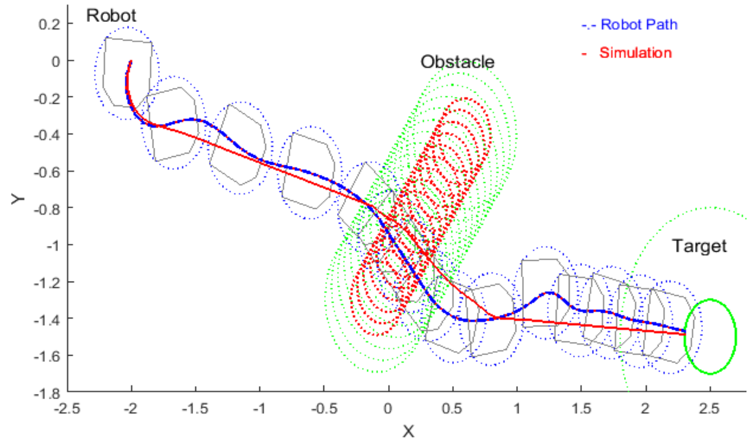

Fig. 21. Result of practical experimentation and simulation of robot routing in the presence of removable barrier at initial conditions of θ=-90°

شکل۲۱: نتیجه آزمایش عملی و شبیه‌سازی مسیریابی ربات در حضور مانع متحرک در شرایط اولیه ۹۰° - =θ

وارد نماید و یا به‌صورت مختصات متغیر و لحظه‌به‌لحظه موقعیت هدف را به‌روزرسانی کند. امکان دیگری که این رابط فراهم می‌کند، تعیین تعداد موانع مجازی جهت انجام شبیه‌سازی است. موقعیت و مسیر حرکت موانع می‌تواند به‌صورت پیش‌فرض حرکت بر روی خط صاف تعریف گردد و یا موقعیت لحظه‌ای توسط کاربر تعیین گردد.

در پنل فعال کاربر می‌تواند مشخص نماید کدام بخش از سخت‌افزار ربات فعال باشد. امکان انتخاب یک یا دو بازوی فعال و یا پایه فعال به‌تنهایی وجود دارد.

در شکل ۱۵ پنل تعیین تعداد و سرعت به‌روزرسانی حرکت موانع مشاهده می‌شود. با تغییر تعداد موانع مفروض توسط کاربر،

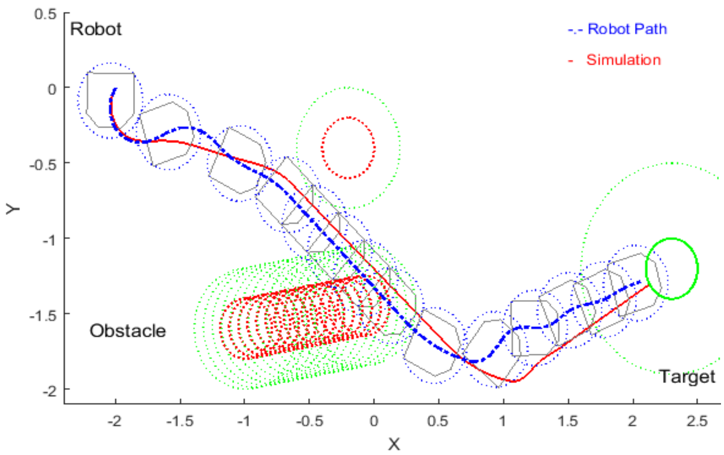

Fig. 22. Result of practical experimentation and simulation of robot routing in the presence of a constant barrier and a moving barrier in the initial condition θ = -90°

شکل ۲۲: نتیجه آزمایش عملی و شبیه‌سازی مسیریابی ربات در حضور یک مانع ثابت و یک مانع متحرک در شرایط اولیه °۹۰- = θ

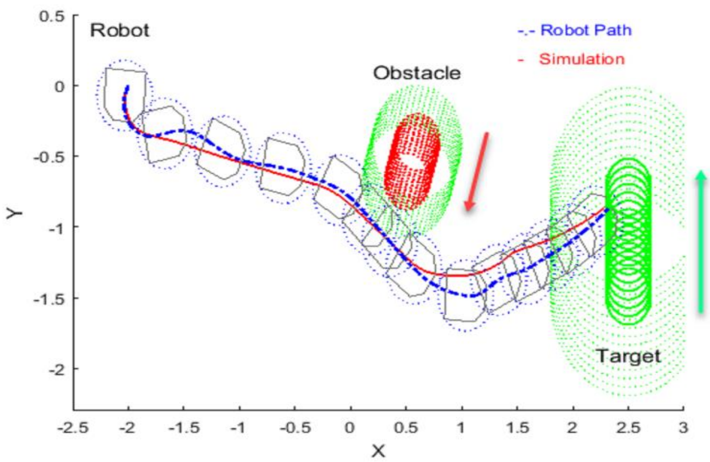

Fig. 23. Result of practical experimentation and simulation of robot routing in the presence of a moving obstacle and reaching a moving target in the initial condition θ = -90°

شکل ۲۳: نتیجه آزمایش عملی و شبیه‌سازی مسیریابی ربات در حضور مانع متحرک و رسیدن به هدف متحرک در شرایط اولیه °۹۰- = θ

پنل شروع اولیه مانع[1] مطابق شکل ۱۶ مشاهده می‌گردد. در این پنل کاربر می‌تواند موقعیت اولیه موانع را مشخص نموده و با انتخاب گزینه مرسوم[2] در پنل انتخاب نوع مسیر[3]، مسیر حرکت ربات را به‌صورت لحظه‌به‌لحظه در نرم‌افزار متلب مشخص نماید. همچنین می‌تواند با انتخاب نقطه پایان حرکت و انتخاب گزینه خط[4] در پنل انتخاب نوع مسیر مسیر حرکت ربات را به‌صورت یک خط راست تعریف نماید.

با تغییر وضعیت سویچ روشن-خاموش به حالت روشن، شبیه‌سازی یا کنترل ربات (بسته به وضعیت قرارگیری سویچ شبیه‌سازی-کنترل) آغازشده و به‌صورت لحظه‌به‌لحظه اطلاعات رابط گرافیکی

1 Obstacle Initializing
2 Custom
3 Path Type
4 Line

به‌روز می‌گردد. با شروع فرایند شبیه‌سازی و یا کنترل، تمام پنل‌های مقداردهی غیرفعال شده و نمودارهای نمایش وضعیت ظاهر می‌گردند.

به‌منظور بررسی عملکرد روش کنترلی ارائه شده و همچنین ارزیابی رابط کاربری طراحی‌شده، تعدادی از حالت‌های ساده‌شده مسئله در شرایط آزمایشگاهی پیاده‌سازی و تست شد که نتایج آن‌ها در این بخش ارائه می‌گردد. ازجمله آزمون‌های قابل‌اجرا با امکانات موجود آزمایشگاهی، اجرای فرایند مسیریابی و کنترل پایه در حضور مانع ثابت و متحرک با رفتاری مشابه انسان‌ها می‌باشد. بدین ترتیب حالت‌های کنترل پایه ربات بدون حضور مانع، در حضور مانع ثابت، در حضور مانع متحرک و در حضور موانع ثابت و متحرک مورد بررسی و آزمایش قرار می‌گیرد. در هر یک از این حالت‌ها، نتایج آزمایش با نتایج شبیه‌سازی در شرایط مشابه مقایسه می‌گردد.

۵-۱- کنترل پایه ربات سیار بدون حضور مانع

ربات آزمایشگاهی اسکات، به‌منظور اجرای تست‌های عملی بر اساس نتایج حاصل از این مقاله آماده‌سازی و به‌روزرسانی گردید. اولین آزمایشی که بر روی ربات اجرا گردید، رسیدن ربات به هدف ثابت بدون حضور مانع است. در این آزمایش، موقعیت هدف در دستگاه مختصات قطبی به ربات اعلام شده و با اجرای فرمان مسیریابی و کنترل، ربات از موقعیت اولیه، خود را به هدف می‌رساند. در شکل ۱۸ نتیجه آزمایش عملی و شبیه‌سازی تحت شرایط اولیه یکسان برای موقعیت ربات و هدف مشاهده می‌گردد. در این نمودار، محور افقی مختصات x و محور عمودی مختصات y مربوط به ربات و هدف را در دستگاه مختصات کارتزین نمایش می‌دهد. خطوط قرمزرنگ در نمودار نشان‌دهنده شبیه‌سازی مسیر حرکت ربات به سمت هدف می‌باشد. در نتایج آزمایشگاهی مسیر به‌صورت خط توپر آبی‌رنگ و در نتایج شبیه‌سازی به‌صورت خط‌چین قرمزرنگ ترسیم شده است. هم‌چنین در این نمودارها موقعیت ربات اسکات در هرلحظه با دایره‌های آبی‌رنگ و به‌صورت خط‌چین نمایش داده‌شده است.

با توجه به شکل ۱۹ مشاهده می‌شود که در حالتی که مانعی در مسیر ربات وجود ندارد، ربات مسیر به‌دست آمده از شبیه‌سازی را به‌خوبی تعقیب نموده و به نقطه هدف می‌رسد. موقعیت‌های مختلف ربات طی آزمایش، با استفاده از دایره‌های آبی‌رنگ و شش‌ضلعی درون آن قابل‌استخراج می‌باشد. شش‌ضلعی‌های درون دایره‌ها، زاویه ربات را نسبت به محور x نشان می‌دهد. فاصله میان دایره‌های آبی‌رنگ بیانگر مدت‌زمان طی شده و سرعت حرکت ربات می‌باشد. هر چه فاصله میان دایره‌ها کمتر باشد، سرعت حرکت ربات نیز کمتر است. به همین ترتیب هرچه فاصله میان دایره‌های بیشتر باشد، ربات آن بخش از مسیر را با سرعت بیشتری طی کرده است. نکته حائز اهمیت که از این نمودارها و فواصل دایره‌های آبی‌رنگ استخراج می‌گردد این‌که با نزدیک شدن ربات به هدف به‌تدریج از سرعت حرکت آن کاسته می‌گردد. این موضوع از آن جهت مهم است که نشان‌دهنده موفقیت کنترلر مورداستفاده در دست‌یابی به یکی از اهداف مهم خود می‌باشد. این هدف مهم، قابلیت استفاده از این ربات در محیط اجتماعی با شبیه‌ترین رفتار به رفتار انسان‌ها است.

در آزمایش دوم، موقعیت هدف مجدداً در دستگاه مختصات قطبی به ربات اعلام می‌گردد. هم‌چنین موقعیت مانع ثابت به کمک سنسورهای فاصله‌سنج فراصوتی و منطق فازی محاسبه شده و به رابط کاربری ارسال می‌شود. با اجرای فرامین مسیریابی و کنترل طراحی شده، ربات از موقعیت اولیه خود، بدون برخورد با مانع، به هدف می‌رسد. در شکل ۲۰ نتیجه آزمایش عملی و نتیجه شبیه‌سازی در شرایط اولیه θ=۱۸۰° برای موقعیت ربات، مانع و هدف مشاهده می‌گردد. در نمودار ارائه شده، شعاع دایره‌های قرمزرنگ ۳۰ سانتی‌متر بوده و نشان‌دهنده موقعیت مانع است. در این آزمایش مانع در موقعیت افقی ۱/۲- و موقعیت عمودی ۰/۷- قرار دارد. در این حالت، ربات حرکت خود را مشابه حالت بدون حضور مانع آغاز می‌کند. در ادامه مسیر با نزدیک شدن به مانع سرعت خود را کاهش می‌دهد. در منطق کنترلی طراحی شده، ربات می‌بایست حداقل فاصله ۳۰ سانتی‌متری را از هر مانع حفظ کند. این موضوع با دقت در موقعیت ربات نسبت به دایره قرمزرنگ در نمودارها مشهود است. ربات پس از عبور از کنار مانع با سرعت بیشتری به سمت هدف حرکت می‌کند و مشابه آزمایش پیشین با نزدیک شدن به هدف به‌تدریج از سرعت خود می‌کاهد.

آزمایش و شبیه‌سازی دیگری با حضور چهار مانع و هدف ثابت تکرار می‌گردد که نتیجه آن در شکل ۲۰ مشاهده می‌گردد.

به‌منظور بررسی عملکرد کنترلر پیاده‌سازی شده در حضور مانع متحرک، موقعیت مبدأ و مقصد ثابت فرض شده و به ربات دستور طی مسیر به سمت مقصد داده می‌شود. در میانه راه، فردی سعی می‌کند

با قدم زدن در مسیر، مانع حرکت مستقیم ربات به سمت هدف گردد. در شکل ۲۱ نتیجه آزمایش عملی و شبیه‌سازی تحت شرایط اولیه $\theta= -90^\circ$ برای موقعیت ربات، مانع و هدف مشاهده می‌گردد. شروع حرکت ربات به سمت موقعیت اولیه هدف در حالت بدون مانع بوده ولی در ادامه مسیر با نزدیک شدن به مانع متحرک مسیر و سرعت حرکت ربات تغییر می‌کند. الگوی کاهش سرعت در نزدیکی هدف نیز در این حالت نیز برقرار است.

آزمایش مرحله قبل با افزودن یک مانع با موقعیت ثابت تکرار می‌شود. درنتیجه آزمایش عملی تحت شرایط اولیه $\theta= -90^\circ$ برای موقعیت ربات، موانع و هدف مشاهده می‌گردد. با توجه به نمودار ارائه شده، کاهش سرعت و نیز تغییر مسیر با نزدیک شدن به موانع ملاحظه می‌شود. در عبور ربات از کنار مانع ثابت، تغییر مسیری رخ نمی‌دهد. درحالی‌که با نزدیک شدن به مانع متحرک و با توجه به موقعیت آن در هنگام عبور ربات، نیاز به تغییر مسیر بوده که در نمودار وجود دارد. درمجموع ربات بدون توقف مأموریت خود را به انجام می‌رساند.

درنهایت، به‌منظور بررسی عملکرد کنترلر طراحی شده در شرایطی که موقعیت هدف متغیر باشد، شبیه‌سازی دیگری در حضور یک مانع متحرک با فرض متغیر بودن موقعیت هدف صورت گرفته است. نتایج این شبیه‌سازی در شکل ۲۳ مشاهده می‌گردد. با دقت در نمودار ارائه شده مشخص می‌گردد که مشابه شبیه‌سازی بخش پیشین، ربات عبور از مانع را با موفقیت به انجام رسانده است. هم‌چنین الگوی مسیر طی شده مشابه حالت پیشین است و تنها تفاوت در بخش انتهایی مسیر و هنگام رسیدن به هدف می‌باشد.

۶-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، کنترل یک ربات سیار با در نظر گرفتن موانع در دو حالت سیار و ثابت در حالتی‌که هدف کنترلی آن با زمان متغیر می‌باشد، ارائه شده است. در این حالت برنامه‌ریزی به‌گونه‌ای صورت گرفته است که اگر محیطی که ربات در آن حرکت می‌کند پویا باشد و موانع، عملکردی مشابه انسان داشته باشند، ربات ضمن کاهش سرعت خود تا ۶۵ درصد سرعت بیشینه مجاز، در یک دامنه محیطی به شعاع ۸۰۰ میلی‌متر برای جلوگیری از برخورد و ایجاد ترس، حرکت خود را تنظیم می‌نماید. با توجه به تغییر موقعیت هدف در طول زمان و حضور موانع، الگوریتم فازی مورداستفاده به‌گونه‌ای تعریف شده است که حرکت آن سریع و در کوتاه‌ترین مسیر ممکن تنظیم گردد. به‌منظور بررسی نتایج و الگوریتم کنترلی به‌دست آمده، پیاده‌سازی بر روی ربات سیار انجام شد. در آزمایش‌های صورت‌گرفته، مشاهده شد که ربات در محدوده ۸۰۰ میلی‌متری مرکز موانع، سرعت خود را حداکثر ۳۵ درصد کاهش می‌دهد. همچنین از ورود ربات به ناحیه ممنوعه با شعاع ۴۰۰ میلی‌متر به مرکزیت موانع جلوگیری شده است. کاهش سرعت حرکت ربات در مرحله پایانی حرکت یعنی نزدیک شدن به محدوده هدف نیز مشهود است. جهت بهبود عملکرد ربات و سهولت در پیاده‌سازی روش پیشنهادی، ربات اسکات متناسب با نیازهای مسئله به‌روزرسانی شده است. در این بروزرساتی، ماژول قطب‌نما و فرستنده و گیرنده رادیویی تلمتری به مدار الکتریکی ربات افزوده شد. از این ربات می‌توان در اماکن عمومی نظیر فروشگاه‌ها، فرودگاه و غیره استفاده کرد.

مراجع

[1] R.K. Mandava, S. Bondada, P.R. Vundavilli, An optimized path planning for the mobile robot using potential field method and PSO algorithm, in: Soft Computing for Problem Solving, Springer, 2019, pp. 150-139.

[2] A. Iqbal, M. Iqbal, Controller Design of Two-Wheeled Differential Drive with a Passive Castor Wheel using Feedback Linearization, in: Proceedings Of World Symposium On Computer Networks And Information Security, N&N Global Technology, (2014), pp. 92-87.

[3] M. Korayem, A. Shafei, H. Shafei, Dynamic modeling of nonholonomic wheeled mobile manipulators with elastic joints using recursive Gibbs–Appell formulation, Scientia Iranica, 1104-1092 (2012) (4)19.

[4] Z. Li, S.S. Ge, M. Adams, W.S. Wijesoma, Adaptive robust output-feedback motion/force control of electrically driven nonholonomic mobile manipulators, IEEE Transactions on Control Systems Technology, (6)16 1315-1308 (2008).

[5] G.W. Gamage, G.K. Mann, R.G. Gosine, Discrete event systems based formation control framework to coordinate multiple nonholonomic mobile robots, in: 2009 IEEE/

RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, (2009), pp. 4836-4831.

[6] Y.P. Kondratenko, P. Khalaf, H. Richter, D. Simon, Fuzzy Real-Time Multi-objective Optimization of a Prosthesis Test Robot Control System, in: Advanced Control Techniques in Complex Engineering Systems: Theory and Applications, Springer, (2019), pp. 185-165.

[7] C.-F. Juang, T.B. Bui, Reinforcement Neural Fuzzy Surrogate-Assisted Multiobjective Evolutionary Fuzzy Systems with Robot Learning Control Application, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, (2019).

[8] R.R. dos Santos, V. Steffen, S. de FP Saramago, Robot path planning in a constrained workspace by using optimal control techniques, Multibody System Dynamics, (2-1)19 177-159 (2008).

[9] D. Drake, S. Koziol, E. Chabot, Mobile robot path planning with a moving goal, IEEE Access, 12814-12800 (2018) 6.

[10] D. Ji, J. Cheng, B. Wang, Path planning for mobile robots in complex environment via laser sensor, in: 2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), IEEE, (2018), pp. 2719-2715.

[11] K. Akka, F. Khaber, Optimal fuzzy tracking control with obstacles avoidance for a mobile robot based on Takagi-Sugeno fuzzy model, Transactions of the Institute of Measurement and Control, (0142331218811462 (2018.

[12] A.M. Varghese, V. Jisha, Motion Planning and Control of an Autonomous Mobile Robot, in: 2018 International CET Conference on Control, Communication, and Computing (IC4), IEEE, (2018), pp. 21-17.

[13] A. Azzabi, K. Nouri, An advanced potential field method proposed for mobile robot path planning, Transactions of the Institute of Measurement and Control, ((2019 0142331218824393.

[14] Y. Hu, S.X. Yang, A knowledge based genetic algorithm for path planning of a mobile robot, in: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'2004 .04, IEEE, (2004), pp. 4355-4350.

[15] A. Haj Darwish, A. Joukhadar, M. Kashkash, Using the Bees Algorithm for wheeled mobile robot path planning in an indoor dynamic environment, Cogent Engineering, 1426539 (2018) (1)5.

[16] A.A. Zhilenkov, I.R. Epifantsev, System of autonomous navigation of the drone in difficult conditions of the forest trails, in: 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), IEEE, (2018), pp. 1039-1036.

[17] T. Abut, S. Soyguder, Real-time control and application with self-tuning PID-type fuzzy adaptive controller of an inverted pendulum, Industrial Robot: the international journal of robotics research and application, (2019) (1)46 170-159.

[18] A. Shukla, R. Tiwari, R. Kala, Mobile robot navigation control in moving obstacle environment using A* algorithm, Intelligent Systems Engineering Systems through Artificial Neural Networks, 120-113 (2008) 18.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

S. D. N. Tanha, M. H. Korayem, S. F. Dehkordi, Path Design and Control of a Moving Social Robot in an Environment with Moving Obstacles in Order to Reach a Moving Target through Fuzzy Control, Amirkabir J. Mech. Eng., 53(2) (2021) 993-1014.

DOI: 10.22060/mej.2019.16409.6362