

UDC 582.259.3

DOI 10.52171/herald.250

Simulation of the Logical Control System of Mobile Robots in a Fuzzy Environment

K.A. Mammadova, A.A. Aliyeva

Azerbaijan State Oil and Industry University (Baku, Azerbaijan)

For correspondence:

Mammadova Kifayat / e-mail: ka.mamedova@yandex.com

Abstract

In the realization of mobile robots, it is very important to apply a fuzzy logic control system for effective navigation and decision making in complex environments. The purpose of this paper is to investigate the steps of creating a fuzzy logic control system and different moments in time and select the optimal path. Fuzzy logic control systems are especially suitable for mobile robots due to the uncertainty and the possibility of approximate logical control. Unlike classical logical Boolean logic (true or false), fuzzy logic allows for varying degrees of accuracy, making it ideal for situations where binary true/false conditions are inadequate in real-world conditions. As a result of simulation studies conducted using MATLAB and Simulink programs, the capabilities of mobile robots to avoid obstacles and the degree of effectiveness of control systems based on fuzzy logic were determined.

Keywords: fuzzy logic control, mobile robot navigation, membership function, decision making.

Submitted 5 Nov 2024

Published 17 Mar 2025

For citation:

Mammadova K. A., Aliyeva A.A.

[Simulation of the Logical Control System of Mobile Robots in a Fuzzy Environment]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025, vol. 17 (1), pp. 105-113

Mobil robotların qeyri-səlis mühitdə məntiqi idarəetmə sisteminin realizasiyası

K.A. Məmmədova, A.Ə. Əliyeva

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Bakı, Azərbaycan)

Xülasə

Mobil robotların realizasiyasında mürəkkəb mühitlərdə səmərəli naviqasiyası və qərar qəbul etməsi üçün qeyri-səlis məntiqə əsaslanan idarəetmə sisteminin tətbiqi çox vacibdir. Məqalədə məqsəd qeyri-səlis məntiqə əsaslanan idarəetmə sisteminin yaradılması etaplarının və zamana nəzərən müxtəlif məqamların tədqiqi və optimal yolun seçilməsidir. Qeyri-müəyyənlik və təxmini məntiqi idarəetmə bacarığına görə qeyri-səlis məntiqi idarəetmə sistemləri mobil robotlar üçün xüsusilə məqsədəuyğundur. Klassik bul məntiqindən (doğru və ya yalan) fərqli olaraq, qeyri-səlis məntiq müxtəlif dərəcədə dəqiqliyə imkan verir və onu real mühitlərdə ikili doğru/yalan şərtlərin qeyri-adekvat olduğu vəziyyətlər üçün ideal edir. MATLAB və Simulink proqramlarından istifadə etməklə aparılan simulyasiya tədqiqatları nəticəsində mobil robotların maneələrdən qaçma bacarığı və qeyri-səlis məntiqə əsaslanan idarəetmə sistemlərinin effektivlik dərəcəsi müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: qeyri-səlis məntiqi idarəetmə, mobil robotların naviqasiyası, mənsubiyyət funksiyası, qərar qəbul etmə.

Моделирование логической системы управления мобильными роботами в нечеткой среде

К.А. Маммадова, А.А. Алиева

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (Баку, Азербайджан)

Аннотация

При реализации мобильных роботов важно применять систему управления на основе нечеткой логики для эффективной навигации и принятия решений в сложных средах. Целью статьи является исследование этапов создания системы управления на основе нечеткой логики и различных моментов во времени и выбор оптимального пути. Системы управления с нечеткой логикой особенно подходят для мобильных роботов из-за неопределенности и возможности приблизительного логического управления. В отличие от классической логики (истина или ложь), нечеткая логика допускает различную степень точности, что делает ее идеальной для ситуаций, когда двоичные условия истинного/ложного значения неадекватны в реальных условиях. В результате имитационных исследований, проведенных с использованием программ MATLAB и Simulink, определены возможности мобильных роботов обходить препятствия и степень эффективности систем управления на основе нечеткой логики.

Ключевые слова: нечетко-логическое управление, навигация мобильного робота, функция принадлежности, принятие решений.

Giriş

Avtonom robot, insan müdaxiləsi olmadan işçi poliqonda əşyalara toxunmadan hərəkətləri planlaşdırmaq və onu həyata keçirmək üçün proqramlaşdırıla bilən müxtəlif növ sensorlardan istifadə edir. Mobil robotlar üçün naviqasiya çox vacib məsələdir. Naviqasiya sistemi iki təbəqəyə bölünə bilər: Yüksək səviyyəli qlobal planlaşdırma və aşağı səviyyəli reaktiv idarəetmə. Yüksək səviyyəli planlaşdırmada ətraf mühit haqqında ilkin məlumatlar mövcuddur və robotun iş sahəsi tam və ya qismən məlumdur. Qlobal planlaşdırıcı real modeldən istifadə edərək robotun hərəkət istiqamətini müəyyən edə bilər. Mürəkkəb maneələrin mövcudluğu zamanı hədəfə doğru minimum vaxt sərfi ilə müxtəlif yollar yarada bilər. Yalnız gözlənilməz və ya hərəkət edən maneələr olduğu zaman hərəkət istiqamətini dəyişdirə bilmədiyi üçün hədəfə çatma bilmir. Bunun əksinə olaraq, aşağı səviyyəli reaktiv idarəetmədə robotun işçi sahəsi naməlum və dinamikdir. O, robotun mövcud sensor məlumatlarından istifadə əsasında anlama-fəaliyyət strukturu əsasında idarəetmə əməlləri yaradır.

Planlaşdırma prosesi olmadan müvafiq tədbirlər görə bilər, beləliklə avtonom mobil robotlar sürətli cavab xüsusiyyətinə malikdir. Hərəkət istiqamətini dəyişdirərək gözlənilməz maneələrə və qeyri-müəyyənliklərə reaksiya vermək qabiliyyəti ilə də həmçinin fərqlənirlər.

Gücləndirici öyrənmə, neyron şəbəkələr, qeyri-səlis məntiq və genetik alqoritmlər kimi müxtəlif Süni intellekt üsulları mobil robotların performansını yaxşılaşdırmaq üçün reaktiv naviqasiya üçün tətbiq oluna bilər. Qeyri-səlis məntiq üsulları arasında linqvistik terminləri təmsil etmək və qeyri-müəyyənliyə və qeyri-dəqiqliyə baxmayaraq etibarlı qərar qəbul et-

mək qabiliyyəti onu idarəetmə sistemlərində faydalı alətə çevirir.

Qeyri-səlis idarəetmə sistemləri domen biliklərinə və ya insan ekspertlərinə əsaslanan qeyri-səlis IF-THEN qaydalarına və ya biliyə əsaslanan sistemlərdir. Qeyri-səlis qaydalara əsaslanan sistemlərin sadəliyi, açıq hesablamlar və ölçmələr olmadan geniş spektrli tapşırıqları yerinə yetirmək qabiliyyəti onlara tədqiqatçılar arasında geniş populyarlıq qazandırmışdır. Bu məqalədə naviqasiya probleminin həllində qeyri-səlis məntiqin əhəmiyyəti və effektivliyi təqdim olunur.

Qeyri-müəyyən və mürəkkəb mühitlərdə mobil robotun naviqasiyası ilə bağlı mühüm araşdırma son vaxtlar diqqəti xüsusilə cəlb etmişdir. Mobil robot naviqasiyasında adaptiv idarəetmə və davranışa əsaslanan tənzimləyici kimi effektiv alqoritmlər tədqiq olunur. Bu sahədəki çətinliklərə görə, naməlum və mürəkkəb mühitlərdə dəqiq bir yol yaratma tənliyi qurmaq, adaptiv tənzimləyiciyə alternativ üsul tapmaq qaçılmazdır.

Təkamül hesablamalar, dəqiq müəyyən edilmiş modelə ehtiyac olmadan robotun davranışını mühitə uyğunlaşdırın alternativ layihələndirmə metodu təklif edir. Onun adaptiv gücü robota ətraf mühitdəki dəyişikliklərin öhdəsindən gəlməyə imkan verir. Səs-küylü və etibarsız sensor məlumatlarına dözümlü bir davranış əldə etməyə kömək edir [1, 2]. Qeyri-səlis hesablamalar bir çox real problemlərə xas olan qeyri-dəqiqliyə dözümlülükdən istifadə edən ağıllı və möhkəm sensor sistemlərinin layihələndirilməsi ilə bağlıdır. Bunun əsasında insanlar heç bir açıq ölçmə və hesablamalar olmadan müxtəlif fiziki və ağılla əlaqəli işləri yerinə yetirmək üçün əla qabiliyyətə malikdirlər [3]. İnsanlar başa düşülən siniflərin sərhədlərinin qeyri-səlis olduğu təbii dildən çıxarılan

(məsələn, çox yaxşı, ən aşağı, orta böyüklükdə və s.) müddəalarla təsvir olunan müxtəlif əmrləri yerinə yetirərkən intuisiyadan istifadə edir.

Bu məqalədə qeyri-müəyyən məntiqə əsaslanan yanaşma qeyri-müəyyənliklərlə mübarizə imkanlarına malik olduğundan seçilmişdir. Qeyri-səlis qaydalara əsaslanan sistemlər mürəkkəb problemlərin modelləşdirilməsi üçün vacib alətlərdir. Qeyri-səlis məntiq sistemləri biliyi linqvistik formada ifadə edir ki, bu da tədqiqatçıya intuitiv şəkildə yüksək mücərrəd davranışı müəyyən etməyə imkan verir. Bu sistem qeyri-səlis məntiqdən istifadə etməklə, insan düşüncəsi və qərar qəbul etmə atributları asan başa düşülən və təbii linqvistik təsvirlərlə ifadə olunan sadə və intuitiv IF (Şərt) THEN (Nəticə) qaydaları toplusu ilə tərtib edilir.

Qeyri-səlis Təsnifat Sistemi tərəfindən robot davranışlarının təkamül yolu ilə öyrənilməsi təqdim edilmişdir [4]. Müəlliflər öz texnikalarını təsdiqləmək üçün səkkiz müxtəlif şəraitdə simulyasiyalar etmişlər. [5, 6]-da bir çox maneələrlə dolu naməlum mühitdə mobil robotun ilkin mövqedən hədəf mövqeyinə keçməsi üçün qeyri-səlis alqoritm təklif olunur. Təklif olunan metodun mümkünlüyü eksperimental və simulyasiya yolu ilə göstərilmişdir. [7, 8]-də mobil robotların idarə edilməsi üçün geniş qeyri-səlis davranışa əsaslanan layihə təklif edilmişdir. Layihə, bir-birini əvəz edən müxtəlif rolları yerinə yetirən üç futbol robotundan ibarət komandada həyata keçirilib. Robot davranışları və rolları kollektiv davranış üçün bir-birini tamamlamaq məqsədilə nəzərdə tutulub. Saroj və başqaları [9] tamamilə naməlum mühitdə qeyri-səlis məntiqdən istifadə edərək minə qədər robotun bir neçə mobil robot üçün naviqasiya üsullarını araşdırdı. Müxtəlif mənsubiyyət funksiyalarından istifadə

edən qeyri-səlis məntiq üsulları hazırlanmış və mobil robotların naviqasiyası üçün istifadə edilmişdir. Layihə simulyasiya edilmiş mühitdə sınaqdan keçirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Qauss mənsubiyyət funksiyasına malik qeyri-səlis məntiq tənzimləyicisi çoxsaylı mobil robotların naviqasiyası üçün ən səmərəlidir [10]. Bu məqalədə statik və dinamik hərəkət edən maneələrlə simulyasiya edilmiş qeyri-müəyyən mühitdə qeyri-səlis məntiq tənzimləyicisindən istifadə edərək mobil robotun naviqasiyası araşdırılmışdır.

Problemin qoyuluşu

Bu gün müxtəlif tətbiq sahələrində istifadə edilən müxtəlif idarəetmə sistemləri mövcuddur. Bu işdə məqsəd, mobil robot naviqasiya problemlərini həll etmək üçün qeyri-səlis idarəetməni mobil robota tətbiq edərək onu, maneələrdən qaçma, hədəfə çatma və kəşfiyyət davranışları üçün idarə etməkdir. Avtonom mobil robotu təsvir edən model, robotun fiziki xüsusiyyətlərini və davranışını təsvir etməlidir. Qeyri-səlis məntiq tənzimləyicisinin yaranılmasında ilk addım giriş və çıxış dəyişənlərinin müəyyən edilməsidir. Avtonom bir robot üçün tipik girişlər maneələrə olan məsafə, hədəfə olan bucaq və sürət ola bilər, çıxışlar isə sükan bucağı və sürət ola bilər. Hər bir giriş və çıxış dəyişənləri üçün mənsubiyyət funksiyaları müəyyənləşdirilir. Bu funksiyalar hər bir dəyişənin qeyri-səlis termlərlə necə şərh edildiyini əks etdirir. Məsələn, maneəyə olan məsafə "yaxın", "orta" və "uzaq" kimi təsnif edilir.

Məsələnin həlli

Qeyri-səlis məntiq sıfır ilə bir arasındakı bütün diapazondan istifadə etməklə insan təfəkkür prosesini təqlid edir və buna görə də in-

san düşüncəsini yaxından təmsil etmək üçün istifadə edilə bilər. Qeyri-səlis məntiq sisteminin layihələndirmə prosesi qeyri-səlisləşdirmə, qaydaların qiymətləndirilməsi və defuzifikasiya mərhələləri üzrə həyata keçirilir [1-3].

Robot və onun qeyri-səlis mühitdəki obyekt arasındakı nisbi məsafəsini təmsil edən üç linqvistik dəyişən: sol məsafə SoM, sağ məsafə SaM və ön məsafə ÖM müəyyən edilir. Robotlar nadir hallarda arxa sensorlardan istifadə etdiyinə görə, robot adətən irəliyə doğru hərəkət etdiyi üçün arxa sensorun verilənləri modeldə nəzərə alınmır.

Bu linqvistik qiymətlərin müəyyən edildiyi fiziki məkanlar (şəkil 1) aşağıdakı kimi müəyyən edilir: $SoM = \max(S_0, S_1)$; $SaM = \max(S_2, S_3)$; $ÖM = \max(S_4, S_5)$.

– Qeyri-səlis qaydalar FIS-in əsasını təşkil edir və giriş və çıxış dəyişənləri arasında əlaqəni müəyyən edir. Hər bir qayda “əgər-onda” strukturuna uyğundur. Məsələn, “məsafə yaxındırsa, sükan bucağı sola kəskin olmalıdır (LeftRight)” (şəkil 2).

Qeyri-səlis məntiq tənzimləyicisinin simulyasiyası. FIS işlənilib hazırlandıqdan sonra onun müxtəlif ssenarilərdə işini təqlid etmək və yoxlamaq vacibdir. MATLAB-ın Simulink-i dinamik sistemlərin modelləşdirilməsi və simulyasiyası üçün qrafik interfeys təqdim edərək onu qeyri-səlis məntiq tənzimləyicilərini sınaqdan keçirmək üçün ideal alətə çevirir [2-6].

Qeyri-səlis qaydaların yaradılması:

```
>> fis = mamfis('Name', 'ObstacleAvoidance');  
fis = addInput(fis, [0 100], 'Name', 'Distance');  
fis = addMF(fis, 'Distance', 'trapmf', [-10 0 20 30], 'Name', 'Near');  
fis = addMF(fis, 'Distance', 'trapmf', [20 30 70 80], 'Name', 'Medium');  
fis = addMF(fis, 'Distance', 'trapmf', [70 80 100 110], 'Name', 'Far');  
fis = addOutput(fis, [-100 100], 'Name', 'Steering');  
fis = addMF(fis, 'Steering', 'trimf', [-100 -50 0], 'Name', 'Front');  
fis = addMF(fis, 'Steering', 'trimf', [-50 0 50], 'Name', 'Left');  
fis = addMF(fis, 'Steering', 'trimf', [0 50 100], 'Name', 'Right');
```

Şəkil 1 – MATLAB-da mənsubiyyət funksiyalarının kod şəklində yazılması [5]

Figure 1 – Membership functions codes in MATLAB environment [5]

```
>> ruleList = [1 1 1 1 1;  
              2 2 2 1 1;  
              3 3 3 1 1];  
fis = addRule(fis, ruleList);  
Error using FuzzyInferenceSystem/addRule (line 1153)  
Rule consequent contains too many Outputs.
```

Şəkil 2 – Qeyri-səlis qaydaların MATLAB-da kod şəklində yaradılması

Figure 2 – Generating fuzzy rules codes in MATLAB environment

1. Simulink Modelinin qurulması:

– Qeyri-səlis məntiq tənzimləyicisindən ibarət Simulink modelini yaradaq. Model robotun kinematik modelini, sensorları və ətraf mühiti ehtiva etməlidir. Simulink kitabxanasındaki bloklardan istifadə edərək robotun hərəkətini və sensor girişlərini modelləşdirək.

2. FIS-in Simulink modeli ilə inteqrasiyası (şəkil 3):

– Fuzzy Logic Controller blokundan istifadə edərək FIS Simulink modelinə inteqrasiya edilməlidir.

– FIS-in giriş və çıxışları Simulink modelinin müvafiq hissələrinə birləşdirilməlidir [4, 7].

3. Simulyasiya və Nəticələrin Təhlili:

– Müxtəlif ssenarilərdə robotun davranışını müşahidə etmək üçün simulyasiyalar tətbiq edilir. Robotun hərəkətini yaxşılaşdırmaq üçün lazım gələrsə, qeyri-səlis qaydalar və mənsubiyyət funksiyaları tənzimlənir.

– Robotun səmərəli naviqasiyası və maneələrdən qaçmasını təmin etmək üçün nəticələr təhlil edilir.

Ssenaridə yer müstəvisi kimi təyyarə nümunəsini əlavə edək [9, 10].

```
>> open_system('simulink');  
add_block('simulink/Sources/Sine Wave', 'MyModel/SineWave');  
add_block('simulink/Sinks/Scope', 'MyModel/Scope');  
add_line('MyModel', 'SineWave/1', 'Scope/1');
```

Şəkil 3 – FIS ilə Simulink-in inteqrasiyası
Figure 3 – Integration of Simulink with FIS

```
addMesh(scenario, "Box", Position=[5 0 1.5], Size=[2 2 3], Color=[1 0 0]);  
end  
x >>
```

```
>> if strcmp(scenarioOptions, "Cuboid")  
  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[3 5 2], Size=[4 2 4], Color=[1 0.5 0.25], IsBinaryOccupied=true);  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[3 -5 2], Size=[4 2 4], Color=[1 0.5 0.25], IsBinaryOccupied=true);  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[7 5 2], Size=[4 2 4], Color=[1 0.5 0.25], IsBinaryOccupied=true);  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[7 -5 2], Size=[4 2 4], Color=[1 0.5 0.25], IsBinaryOccupied=true);  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[-3 0 0.5], Size=[1 1 1], Color=[0.1 0.1 0.1]);  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[-5 1 0.5], Size=[1 1 1], Color=[0.1 0.1 0.1]);  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[-5 -1 0.5], Size=[1 1 1], Color=[0.1 0.1 0.1]);  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[13 0 0.5], Size=[1 1 1], Color=[0.1 0.1 0.1]);  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[15 1 0.5], Size=[1 1 1], Color=[0.1 0.1 0.1]);  
    addMesh(scenario, "Box", Position=[15 -1 0.5], Size=[1 1 1], Color=[0.1 0.1 0.1]);  
end
```

Simulink ilə avtonom mobil robotun simulyasiyası.

```
>> scenarioOptions = "Cuboid";  
>> scenario = robotScenario(UpdateRate=10);
```

Anbar ssenarisinin yaradılması. RobotScenario obyektı statik şəbəkələrdən və robotPlatform obyektlərindən ibarətdir. RobotPlatform obyektləri statik və ya daşınan ola bilər. RobotPlatform obyektı SDF və URDF model dəstəyini təmin edən rigidBodyTree obyektı kimi göstərilən robot modelini dəstəkləyir. Bu nümunədə anbar ssenarisi statik qutu meshləri və ya SDF modelləri ilə yaradıla bilər [4, 8].

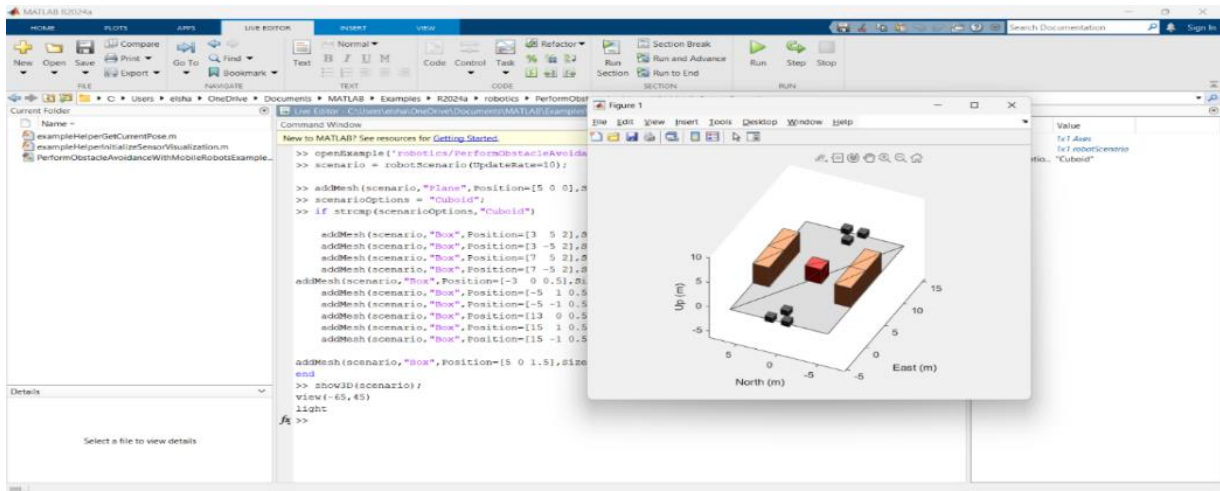
Statik meshlərdən (bloklardan) istifadə edərək Anbar Ssenarisini yaradaq. Scenario Options “Cuboid” olaraq təyin edilir, burada anbar ssenarisi statik Cuboid meshlərdən istifadə etməklə qurulur.

Cuboid şəbəkə, alqoritmləri əsas ssenari elementləri ilə sınaqdan keçirməyə kömək edən aşağı dəqiqlik simulyasiya mühitini tə-

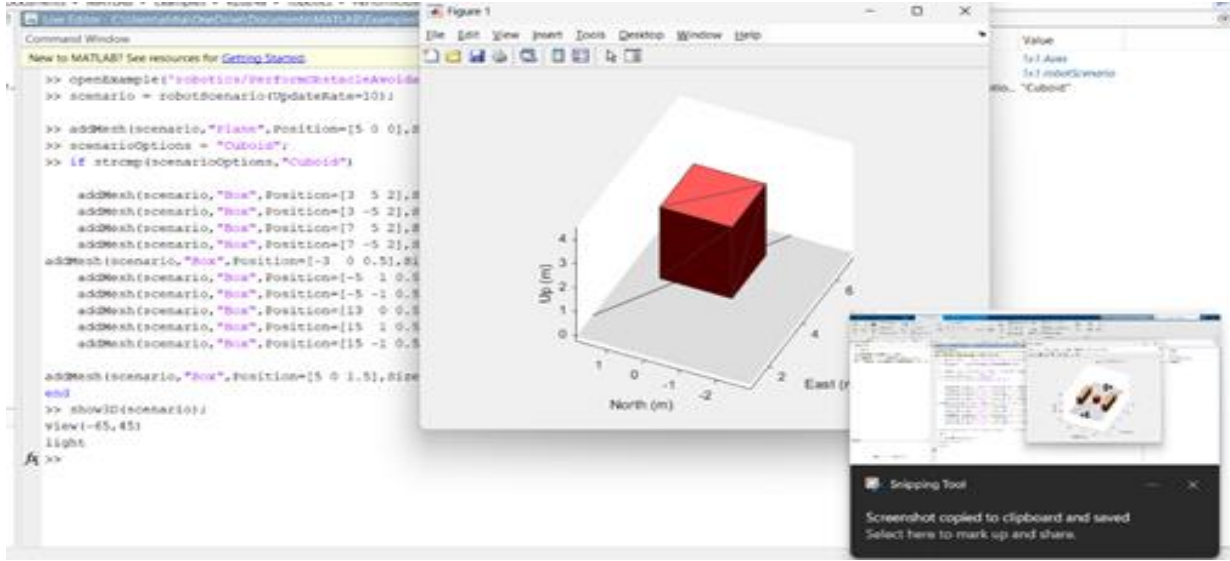
min edir. Anbar ssenarisində sol və sağ yan qutu şəbəkələri stasionar rəflər kimi qəbul edilir. Beləliklə, bu sahələr robotlar üçün məhdudlaşdırılmış bölgə kimi qəbul edilir və Is Binary Occupied parametri doğru olaraq təyin edilməklə, hərəkət xəritəsində nəzərə alınır. Robot yükləmə və boşaltma yerlərindən obyektləri yükləyir və boşaldır. Bu obyektlər qeyri-stasionardır və statik cuboid şəbəkələrlə təmsil olunur. Beləliklə, bu şəbəkələr yaşayış xəritəsində nəzərə alınmır. Bu son funksiya ilə gedişatı dayandırırıq.

Bu ardıcılıqla yaratdığımız anbar ssenarisini 3D formatda icra edirik (şək. 4, 5). Anbar ssenarisi həmçinin statik Cuboid şəbəkə ilə təmsil olunan tənzimləyicisiz qeyri-stasionar obyektə malikdir. Robot bu obyektə maneə kimi yanaşır. Əgər planlaşdırılmış yollar arasında maneə aşkar edilərsə, ondan qaçır.

RobotPlatform obyektlərindən istifadə edərək, rigidBodyTree obyektı kimi göstərilən iki robot modelini ssenariyə əlavə edək. Robotlarla ssenarini yenidən yaradaq.



Şəkil 4 – Anbar ssenarisinin 3D formatda təsviri
Figure 4 – 3D representation of the warehouse scenario



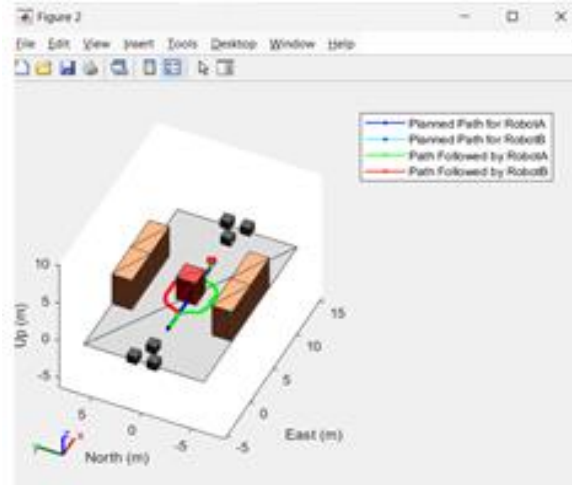
Şəkil 5 – Anbar ssenarisinin 3D formatda təsviri
Figure 5 – 3D representation of the warehouse scenario

Ssenariyə mobil robotların əlavə edilməsi.

Bu nümunə maneələrdən yayınma alqoritmləri ilə işləyən iki mobil robotu modelləşdirir. Robotlar anbarda müəyyən edilmiş iki mövqe arasında hərəkət edəcəklər (şək. 6).

Robot kitabxanasından iki AMR Pioneer 3DX mobil robotunu sətBodyTree obyektini kimi yükləyirik:

Göy rəngdə verilmiş olan yol Robot A üçün planlaşdırılmış yoldur, açıq mavi rəngdə olan isə Robot B üçün planlaşdırılmışdır. Yaşıl və Qırmızı rənglər uyğun olaraq Robot A və Robot B-nin maneələrə görə izlədiyi yoldur.



Şəkil 6 – MATLAB-da yaradılmış və simulyasiya edilmiş anbar mühitində A və B Robotunun hərəkət istiqamətləri

Figure 6 – Motion directions of Robot A and B in the warehouse environment created and simulated in MATLAB

```
>> robotA = robotPlatform("MobileRobotA",scenario,...
    RigidBodyTree=pioneerRBT,...
    InitialBasePosition=[loadingPosition,0]);
robotB = robotPlatform("MobileRobotB",scenario,...
    RigidBodyTree=pioneerRBT,...
    InitialBasePosition=[unloadingPosition,0]);
```


Nəticə

Bu məqalədə qeyri-səlis məntiqə əsaslanan idarəetmə sistemlərinin avtonom mobil robotlarda tətbiqi və MATLAB mühitində simulyasiyası ətraflı şəkildə araşdırılır. Tədqiqatın əvvəlindən qeyri-müəyyənlik halında qeyri-səlis məntiqin çevikliyi və real tətbiqlərdə effektivliyi vurğulanmışdır. Bu kontekstdə MATLAB və onun güclü alət dəstləri, xüsusilə Simulink, belə mürəkkəb idarəetmə sistemlərinin inkişafı və sınaqdan keçirilməsi üçün ideal platforma təklif edir. MATLAB və Si-

mulink proqramlarından istifadə etməklə aparılan simulyasiya tədqiqatları qeyri-səlis məntiqə əsaslanan idarəetmə sistemlərinin avtonom mobil robotların maneələrdən qaçma və məqsədyönlülük tapşırıqlarında effektivliyini nümayiş etdirmişdir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Prakash Moon A., Jajulwar K.K.** Design of adaptive fuzzy tracking controller for Autonomous navigation system // International Journal of Recent Trend in Engineering and Research, vol. 2, no. 2, pp. 268–275, 2016.
2. **Hajer Omrane, SlimMasmoudi Mohamed.** Fuzzy Logic Based Control for Autonomous Mobile Robot Navigation. Hindawi Publishing Corporation Computational Intelligence and Neuroscience. Volume 2016, Article ID 9548482, 10 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9548482>
3. **Xiong B., Qu S.R.** Intelligent vehicle's path tracking based on fuzzy control // Journal of Transportation Systems Engineering and Information, vol. 10, no. 2, pp. 70–75, 2010.
4. **Mac T.T., Copot C., De Keyser R.** "MIMO fuzzy control for autonomous mobile robot // Journal of Automation and Control Engineering, vol. 4, no. 1, pp. 65–70, 2016.
5. **S. Armah, S.Yi, T.Abu-Lebdehet.** Implementation of autonomous navigation algorithms on two wheeled ground mobile robot," American Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 7, no. 1, pp. 149–164, 2014.
6. MATLAB Robot Simulator SIMIAM (Software), Georgia Institute of Technology, Georgia Tech, Atlanta, Ga, USA, 2013.
7. **Farah Kamil & Mohammed Yasser Moghrabiah.** Multilayer DecisionBased Fuzzy Logic Model to Navigate Mobile Robot in Unknown Dynamic Environments // Fuzzy Information and Engineering, 2022. Vol14 №1. Pp.51-73
8. **Mammadova K.A., Aliyeva A.A.** Intelligent control system of multi-motion mobile robot // The Caucasus Economic&social analysis journal of Southern Caucasus. Georgia, Tbilisi 2024. Volume 58 (12), Issue 01 2024. Pp. 78-90. <https://scsj.fisdd.org/index.php/CESAJSC>
9. **Mammadova K.A.** Mathematical Modeling and Simulation of Robotic Dynamic Systems / Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. 2022, vol. 14, №. 4. pp. 98-111.
10. **Mammadova K.A., Aliyeva A.A., Baghirova N.G.** Construction of the kinematic model of robotic systems in the Matlab environment. Equipment Technologies Materials. Vol. 16 (05) ISSUE04. 2023, pp.67. <https://emtasoiu.com/index.php/en/archives>