

ARDUINO UNO VA ULTRATOVUSH SENSORI YORDAMIDA TO‘SIQLARDAN QOCHUVCHI MOBIL ROBOT PROTOTIPINI LOYIHALASH VA AMALGA OSHIRISH

Ziyamuxammedova U.A., Turobjonov S.B., Djaxangerov T.S.

Annotatsiya: Mazkur maqolada Arduino UNO mikrokontrolleri va ultratovush sensori asosida to‘siqlardan qochish qobiliyatiga ega bo‘lgan mobil robot prototipini loyihalash va yaratish natijalari bayon etiladi. Robot o‘z atrof-muhitini ultratovush sensori yordamida kuzatib, yo‘lida uchraydigan to‘siqlarni avtomatik tarzda aniqlaydi va ulardan chetlab o‘tadi. Loyihada robotning apparat ta‘minoti (Arduino UNO, ultratovush sensori, DC motorlar va boshqalar) va dasturiy qismi ishlab chiqilib, differensial yurish tamoyiliga asoslangan oddiy reaktiv algoritmi orqali harakatni boshqarish amalga oshirildi. Eksperimental sinovlar robotning turli sharoitlarda to‘siqlardan muvaffaqiyatli qochishini va barqaror harakatlanishini ko‘rsatdi. Arzon va ommabop komponentlardan foydalangan holda yaratilgan ushbu avtonom robot platformasi kelajakda murakkabroq tizimlarni rivojlantirish uchun asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: Mobil robot; to‘siqlardan qochish; Arduino UNO; ultratovush sensori; avtonom navigatsiya; prototip.

Kirish: Mobil robotlar inson aralashuvisiz atrof-muhit bo‘ylab mustaqil harakatlana oladigan qurilmalardir. Bunday avtonom robototexnika tizimlari sanoat avtomatizatsiyasi, xavfsizlik va kuzatuv, qidiruv-qutqaruv hamda kundalik hayotda tobora keng qo‘llanilmoqda. Avtonom harakat uchun esa robotning to‘qnashuvlardan saqlanishi, ya‘ni yo‘lidagi to‘siqlarni aniqlab, ulardan o‘z vaqtida qochishi juda muhim hisoblanadi. Ob‘ektlarga to‘qnashib ketmaslik qobiliyati mobil robotlar navigatsiyasining markaziy masalalaridan biridir. Ko‘pgina mobil robotlar ma‘lum darajada to‘siqlardan qochish mexanizmi bilan jihozlanadi. Masalan, devor bo‘ylab harakatlanish, chiziq bo‘ylab ergashish yoki S-shakl traektoriyasida harakatlanish kabi bir nechta oddiy algoritmlar avtonom robotlarda to‘qnashuvning oldini olish uchun qo‘llanib kelingan.

Hozirgi vaqtda to‘siqlarni aniqlash va ulardan qochish uchun turli sensorlar va usullar mavjud. Ultratovush, infraqizil va lidar sensorlari yordamida masofani o‘lchash orqali robot atrof-muhitdagi obyektlarni sezishi va to‘siqlar paydo bo‘lganda yo‘nalishini o‘zgartirishi mumkin. Ultratovush sensori arzon va sodda yechim bo‘lib, qisqa masofada to‘siqlarni ishonchli aniqlay oladi.

Shu bilan birga, kameralar va lazerli lidar tizimlari muhitni yanada batafsil “ko‘ra oladigan” imkoniyatni beradi, ammo bunday tizimlar murakkabroq va

qimmatroq sanaladi. Odatda, oddiy arzon robotlarda ultratovush yoki infraqizil datchiklar yetarli bo'lsa, murakkabroq avtonom tizimlar bir nechta sensorlarning birgalikdagi ma'lumotidan foydalanuvchi sensor-fuziya (multi-sensor fusion) yondashuvlarini qo'llaydi. Robotni boshqarish algoritmlari ham soddadan murakkabgacha bo'lishi mumkin. Eng oddiy boshqaruv modeli an'anaviy if-else qoidaviy mantiq bo'lib, oldindan belgilangan masofa chegaralariga asosan qaror qabul qiladi (masalan, "agar to'siq < 20 sm bo'lsa, to'xta, aks holda oldinga yur"). Noaniq mantiq (fuzzy logic) usullari va sun'iy neyron tarmoqlar esa murakkabroq vaziyatlarda yumshoqroq va adaptiv qarorlar qabul qilishga imkon beradi. So'nggi tadqiqotlarda esa chuqur o'rganish va mustahkamlovchi o'qitish kabi sun'iy intellekt usullarini robotlar navigatsiyasiga tatbiq etish bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda. Biroq, bunday ilg'or yondashuvlar oddiy apparat bazasiga ega kichik robotlarda qo'llanishi cheklangan bo'lib, ko'proq hisoblash resurslari va murakkab dasturiy ta'minot talab etadi. Ushbu maqolada biz arzon va ommabop komponentlar yordamida soddada reaktiv algoritmlar asosida to'siqlardan qochuvchi mobil robot prototipini yaratish masalasiga e'tibor qaratamiz. Maqsad – odam aralashuvisiz, oldindan noma'lum muhitda harakatlanishi va yo'lidagi to'siqlar bilan to'qnashuvlarni oldini olishi mumkin bo'lgan kichik robot qurishdir. Keltirilgan yondashuv murakkab sun'iy intellekt algoritmlarini qo'llamasdan ham minimal apparat vositalari bilan avtonom harakatni ta'minlash mumkinligini namoyish etadi. Maqola tuzilishi quyidagicha: dastlab, mavjud yechimlar va tegishli ishlar tahlili keltiriladi. So'ngra, robotni yaratish metodologiyasi va texnik yechimlar batafsil bayon qilinadi. Keyingi bo'limda eksperimental sinov natijalari va ularning tahlili muhokama qilinadi. Yakuniy bo'limda xulosalar va kelgusidagi ishlar bo'yicha takliflar beriladi. Mobil robotlarda samarali navigatsiya uchun ilmiy adabiyotlarda global va lokal strategiyalar taklif qilingan

Global navigatsiya algoritmlari (masalan, A yoki Dijkstra algoritmlari) oldindan ma'lum xarita asosida optimal marshrutni rejalashtirishga qaratilgan. Lokal (reaktiv) strategiyalar esa robot atrofidagi muhitni real vaqt rejimida sensorlar orqali baholash va darhol javob harakatini amalga oshirishga yo'naltirilgan. So'nggi yillarda global va lokal yondashuvlarning uyg'unlashuviga asoslangan gibril tizimlar ham rivojlanib, ular robotlarga noma'lum muhitda ham to'siqlardan samarali qochib, ishonchli harakatlanish imkonini bermoqda. Robotning atrof-muhitni sezish qobiliyati uning sensor tizimlariga bog'liq. Mavjud ishlanmalarda ultratovush, infraqizil, LiDAR, radar va kamera kabi turli sensorlardan foydalanilgan. Har bir sensorning o'ziga xos afzallik va cheklovlari bor. Masalan, ultratovush datchiklari yaqin masofada yaxshi ishlaydi, lekin ularning ko'rish burchagi tor; infraqizil sensorlar oddiy va tezkor, ammo yorug'lik va sirt rangiga sezgir; lidar va kameralar esa muhitning batafsil xaritasini tuzishi mumkin, lekin hisoblash jihatidan og'ir va qimmatroq. Ko'p hollarda, mobil robot prototiplari uchun ultratovush sensori eng maqbul tanlovlardan biri bo'lib, u

atrofdagi to'siqlargacha bo'lgan masofani osonlik bilan o'lchashi va kichik mikroprotsessorlar bilan ham ishlashi mumkin. Adabiyotlarda shuningdek, robotlarga qaror qabul qilish uchun turli boshqaruv usullari qo'llangan. Masalan, oddiy to'siqdan qochuvchi robotlarda oldindan belgilangan chegara qiymatlari asosida harakatlanish keng tarqalgan bo'lsa. Murakkabroq tizimlarda fuzzy-mantiqiy boshqaruv va sun'iy neyron tarmoqlar asosidagi boshqaruv orqali robotning moslashuvchanligi oshirilgan. So'nggi ishlarda esa bir nechta sensor ma'lumotlarini birlashtiruvchi sensor fusion va SLAM (bir vaqtda lokalizatsiya va xaritalash) algoritmlari yordamida robotning atrof-muhitni anglash va mustaqil yo'l chizish qobiliyati sezilarli ravishda yaxshilangan. Biroq, bunday yechimlar odatda kuchli hisoblash platformalari (masalan, Raspberry Pi, NVIDIA Jetson) va batareyadan tez zaryad oluvchi apparat talab qiladi. Bizning tadqiqotimiz doirasida esa mavjud ilmiy ishlanmalarni o'rganib, soddaligi va iqtisodiy samaradorligi bilan ajralib turadigan ultratovush datchigi asosidagi reaktiv uslub tanlandi.

Robot konstruktsiyasi va apparat qismi: Loyihada g'ildirakli differensial yurish prinsipi asosidagi mobil robot shassisi yaratildi. Robotning asosiy apparat komponentlari quyidagilar:

Arduino UNO R3: asosiy boshqaruv mikrokontrolleri sifatida xizmat qiladi va barcha sensor/aktuatorlardan keladigan signallarni qayta ishlaydi.

L298N motor haydovchi moduli: ikki dona DC motorni yo'nalishi va tezligini nazorat qilish uchun qo'llanildi. Arduino UNO dan keluvchi boshqaruv signallari ushbu drayver modul orqali motorlarga uzatiladi.

2 ta DC motor (g'ildiraklar): robotning chap va o'ng g'ildiraklariga ulanib, uning oldinga yoki orqaga harakatini ta'minlaydi.

Kaster g'ildirak (tayanch g'ildirak): robotning old qismida joylashgan bo'lib, uning muvozanatini saqlash va erkin burilishiga yordam beradi.

Ultratovush sensori (HC-SR04): robot oldidagi masofani o'lchash uchun asosiy datchik. Ushbu sensor ultratovush to'lqinlarini yuborib-qabul qilish orqali oldinda to'siq bor-yo'qligini aniqlaydi.

Servo motor (*ixtiyoriy*): ultratovush sensorini chapga-o'ngga burib, atrofni kengroq burchak ostida skanerlash uchun qo'llanilishi mumkin. Bizning prototipda servo motor sinovdan o'tkazildi; u sensorga $\sim 180^\circ$ ko'rish maydonini ta'minlash imkonini beradi.

Quvvat manbai: 9V li-ion batareya (yoki muqobil ravishda 7,4V li-polimer akkumulyator) butun tizimni quvvat bilan ta'minlaydi. Arduino UNO va motor haydovchi modul ushbu batareyadan zaryad oladi. Robotning elektron sxemasi oddiy tuzilgan. Arduino UNO mikrokontrolleri L298N drayver moduliga ulanib, ikki motorni boshqaradi. Ultratovush sensorining "Trig" (trigger) va "Echo" chiqishlari mos ravishda Arduino'ning raqamli kirish-chiqish pinlariga ulanadi (masalan, Trig – 12-

pin, Echo – 11-pin). Sensoring VCC va GND pinlari Arduino'ning 5V va GND pinlariga ulangan. Agar servo motor ishlatilsa, u Arduino'ning 9-piniga (signal uchun) ulanib, 5V va GND ga quvvat oladi. Barcha qurilmalar umumiy yer (GND) kontaktiga ega bo'lib, tizimning barqaror ishlashi uchun barcha GND pinlar o'zaro birlashtirilgan. Motorlarni boshqaruvchi L298N modulining OUT1 va OUT2 chiqishlari birinchi DC motorga, OUT3 va OUT4 chiqishlari esa ikkinchi DC motorga ulanadi. Motorlar va Arduino'ning quvvat tizimi yagona batareyadan ta'minlanadi (9V batareyaning "+" kontakti Arduino VIN kirishiga va L298N modulining VCC piniga, "-" kontakti esa Arduino va L298N ning GND pinlariga ulangan).

Dasturiy ta'minot va boshqaruv algoritmi: Robotning boshqaruv dasturi Arduino IDE muhitida C/C++ tilida yozildi

Dastur asosiy ikkita vazifani bajaradi: ultratovush sensoridan masofa ma'lumotlarini olib turadi va bu ma'lumotlarga asoslanib, robotning harakat yo'nalishini boshqaradi. Algoritm reaktiv (ya'ni joriy sensor ma'lumotiga darhol javob beruvchi) tamoyilga asoslangan bo'lib, quyidagi bosqichlar orqali amalga oshadi: Oldinga harakatlanish: Odatiy holatda robot to'siq yo'q ekan, to'g'ri oldinga tomon harakatlanadi. Ikki g'ildirak bir xil tezlikda oldinga aylanadi.

To'siqni aniqlash: Ultratovush sensor yordamida oldinda to'siq bor-yo'qligi doimiy tekshirib boriladi. Sensor orqali o'lchanayotgan masofa ma'lum bir chegara masofa (masalan, 20 sm) dan kichrayib ketsa, demak robot to'siqqa yaqinlashgan.

To'xtash va chekinish: Agar to'siq aniqlansa (masofa chegaradan kam bo'lsa), robot darhol harakatni to'xtatadi. Keyin xavfsizlik uchun qisqa vaqt orqaga tomon harakatlanib, o'zini to'siqdan biroz uzoqlashtiradi. Bu robot va to'siq orasida burilish uchun yetarli masofa bo'lishini ta'minlaydi.

Atrofni skanerlash: Robot to'xtagan joyida chap va o'ng tomonga alternativ ravishda qarab, qaysi yo'nalish nisbatan ochiq ekanini baholaydi. Buning uchun prototipimizda ikki xil usul sinovdan o'tkazildi:

Servo bilan: Ultrasonik sensorni servo motor yordamida mos ravishda $\sim 45^\circ$ chapga va o'ngga burib, har bir tomondagi masofani o'lchaydi.

Servosiz: Robotning o'zi chapga bir burilish (masalan, 30°) qilib masofani o'lchaydi, so'ngra bosh holatiga qaytib, o'ngga burilib masofani o'lchaydi. Har ikki holatda ham, sensor ma'lumotlari qaysi tomonda ko'proq ochiq joy borligini ko'rsatadi. Yo'nalishni tanlash: Chap va o'ng tomon masofalari taqqoslanib, qaysi biri uzoqroq bo'lsa (ya'ni, to'siqlar kamroq bo'lsa), robot o'sha tomonga buriladi. Agar farq minimal bo'lsa yoki to'siq umuman bo'lmasa, robot tasodifiy tarzda yo'nalishni tanlashi ham mumkin. Harakatni davom ettirish: Robot yangi yo'nalishda to'siqdan aylanib o'tib, yana oldinga harakatni davom ettiradi. So'ngra algoritm yana 1-bosqichdan takrorlanadi. Ushbu algoritm yordamida robot real vaqt rejimida oddiy qarorlar qabul qilib, muhitdagi to'siqlardan qochadi. Dasturda masofa uchun threshold

(chegara) qiymati va burilish burchagi kabi parametrlar tajriba yo‘li bilan tanlanib, optimal ishlashga moslab kalibrlash qilindi. Masalan, sensor uchun 20 sm masofa chegarasi o‘rnatildi, servo yordamida har ikki tomonga 45° ga burilib ko‘zdan kechirish belgilandi, hamda robotning joyida burilish vaqti (taxminan 0,5 soniya) uning $\sim 45^\circ$ burilishiga to‘g‘ri kelishi tajribada aniqlanib, dasturga kiritildi. Arduino dasturi doimiy ravishda sensor o‘lchovlarini olib, shu ketma-ketlikdagi qoidalar asosida motorlarni yoqib-o‘chirib turadi. Natijada, robot oldindan qat‘iy xarita yoki yo‘l-yo‘riqsiz ham oddiy qoidalar asosida mustaqil harakatlanadi.

Tajriba natijalari va tahlil

Yaratilgan mobil robot prototipi laboratoriya va real sharoitlarda sinovdan o‘tkazildi. Sinovlar davomida robotning turli konfiguratsiyadagi to‘siqlar bilan o‘zini tutishi kuzatildi va asosiy ko‘rsatkichlar tahlil qilindi. Dastlab, robot yopiq xonada bir nechta statik to‘siqlar (qutilar, devor segmentlari) bilan sinov qilindi. Robot odatiy holatda bir necha metr oldinga hech qanday to‘siqqa duch kelmasdan harakat qildi. Keyin uning yo‘liga biror to‘siq qo‘yilganda, taxminan 15–20 sm masofaga qadar yaqinlashgach, robot to‘xtab, orqaga chekinish harakatini bajargani kuzatildi. So‘ng robot to‘xtagan joyida chapga va o‘ngga qarab, qaysi taraf ochiq ekanini aniqladi va mos ravishda o‘sha yo‘nalishga burilib oldinga yurdi. Natijada robot to‘siqqa urilmasdan muvaffaqiyatli aylanib o‘tishi ta‘minlandi. Ushbu jarayon bir necha marta takrorlanib, robot bir nechta to‘siqlar orasida o‘z yo‘lini topa oldi. Sinovlar ko‘rsatdiki, oddiy sharoitlarda (masalan, 90° burchakli devor yoki yirik statik obyektlar) tizim juda ishonchli ishlaydi.

Robotning reaksiya vaqti ham qoniqarli bo‘ldi – sensor to‘siqni aniqlashi bilan bir necha millisekund ichida dastur motorlarni to‘xtatdi. Motorlar inersiyasining kichikligi sababli robot to‘xtash nuqtasida to‘siqqa deyarli tegmadi (taxminan 2–3 sm masofa qoldi). Bu esa tanlangan 20 sm xavfsizlik masofasi yetarli ekanini tasdiqlaydi. Robot burilgandan so‘ng yangi yo‘nalishda harakatlanishda davom etarkan, agar yana biror yangi to‘siqqa duch kelsa, xuddi shu algoritmni takrorlashi kuzatildi. Bu shuni anglatadiki, tizim ketma-ket va ko‘p marotaba to‘siqlarni aylanib o‘tish qobiliyatiga ega. Biroq sinovlar jarayonida prototip ishida bir qator cheklovlar va muammolar ham aniqlandi. Quyida kuzatilgan asosiy kamchiliklar keltirilgan: Tor ko‘rish burchagi: Robotda bir dona ultratovush sensori ishlatilgani bois, u faqat to‘g‘ri oldidagi $\sim 15^\circ$ lik sektorni “ko‘ra” oladi. Natijada, juda kichik yoki faqat yon tomonda joylashgan to‘siqlarni sensor o‘z vaqtida payqamay qolishi mumkin. Sinov davomida aynan shu sababli robot ba‘zan yon tomondan chiqqan to‘siqqa kechikib reaksiya qilgan hollar kuzatildi. Yopiq konturli nazoratning yo‘qligi: Robotning burilishi va harakatlanishi faqat vaqtinchalik signal yuborish orqali amalga oshirildi (masalan, 0,5 soniya davomida chap g‘ildirakni oldinga, o‘ng g‘ildirakni orqaga aylantirish). Bunday ochiq konturli boshqaruvda haqiqiy burilish burchagi biroz xato bo‘lishi mumkin. Chindan

ham, ba'zi sinovlarda robotning burilish burchagi kutilgandan $\sim 5-10^\circ$ farq qilgani va shuning hisobiga yo'lidan ozgina og'ishi qayd etildi.

Oddiy qaror qabul qilish algoritmi: Robot faqat joriy ultratovush sensoridan olingan ma'lumotga qarab harakatlanadi, oldindan xarita tuzmaydi va uzoq muddatli reja qurmaydi. Murakkab muhitlarda (masalan, bir nechta tor yo'laklar yoki ko'chib yuruvchi to'siqlar bor sharoitda) bunday sodda algoritm ba'zan nooptimal yo'l tanlashi yoki ikkilanib qolishi mumkin. Tajribalarda robot ba'zan to'siqlar orasida "u yoqdan bu yoqqa" tebranib qolgan holatlar kuzatildi, chunki global chiqish yo'lini rejalay olmadi.

Protsessor quvvatining cheklanganligi: Arduino UNO mikrokontrolleri juda katta hisoblash quvvatiga ega emas (16 MHz, 8-bit AVR). Shuning uchun, bir vaqtning o'zida bir nechta sensorlarni boshqarish, signalni raqamli filtdan o'tkazish yoki murakkab matematik hisob-kitoblar (masalan, trigonometrik hisoblar yoki xarita tuzish)ni bajarish uning imkoniyatlaridan tashqarida bo'lishi mumkin. Bizning prototipda dastur hajmi kichik bo'lgani sababli muammo bo'lmadi, lekin undan murakkabroq funksiya qo'shilsa, platforma cheklovlari sezila boshlaydi.

Energiya manbaining cheklovlari: Uzoq davom etgan sinovlardan so'ng batareyaning quvvati pasayishi kuzatildi. Batareya zaiflashganda motorlar quvvati ham pasayib, robotning harakat tezligi sekinlashdi va sensor o'lchovlarining aniqligi biroz yomonlashdi. Demak, robotning avtonomiya vaqti (to'liq quvvatda ishlash muddati) batareya sig'imi bilan cheklanadi.

Yuqoridagi muammolar tahlili shuni ko'rsatadiki, prototip kutilganidek ishlagan bo'lsa-da, uning imkoniyatlarini kengaytirish uchun hali joy mavjud. Shunday bo'lsa-da, umumiy olganda robot o'z vazifasini muvaffaqiyatli bajardi: sinov ssenariylarida biror marta ham to'siqqa to'qnashmadi va berilgan muhit ichida mustaqil ravishda navigatsiya qildi. Ushbu natijalar tanlangan yechimning samarasini tasdiqlaydi va keyingi takomillashtirishlar uchun asos bo'lib xizmat qiladi. To'siqlardan qochish funksiyasiga ega mobil robot prototipi muvaffaqiyatli loyihalashtirilib, amalga oshirildi. Belgilangan asosiy maqsad – robotning odam aralashuvizis harakatlanishi va yo'lidagi to'siqlardan chetlab o'tishi – to'liq erishildi. Sinovlar jarayonida qo'yilgan qo'shimcha vazifalar ham bajarilib, robot atrof-muhitni sezish, moslashuvchan navigatsiya va tizim integratsiyasi bo'yicha talablarni uddaladi. Yaratilgan prototip arzon komponentlar bazasida ishlab, real vaqt rejimida oddiy algoritm yordamida mustaqil harakatlana olishini ko'rsatdi.

Biroq, prototip imkoniyatlarini kengaytirish va takomillashtirish uchun hali bir qator ishlar amalga oshirilishi mumkin. Kelgusida quyidagi yo'nalishlarda rivojlantirishlar taklif etiladi: (1) robotga qo'shimcha sensorlar integratsiyasini joriy etish – masalan, ultratovush bilan birga infraqizil yoki LiDAR sensorlardan foydalanish orqali ko'rish maydonini kengaytirish va kichik to'siqlarni ham aniqlash;

(2) yopiq konturli boshqaruv tizimini qo‘shish – motor o‘qlariga enkoderlar o‘rnatish yoki girooskop/IMU datchiklarini integratsiya qilish orqali robotning burilish burchagini va holatini aniq nazorat qilish, shuningdek, harakat trayektoriyasini barqarorlashtirish; ilg‘or sun‘iy intellekt algoritmlarini tatbiq etish – masalan, mustahkamlovchi o‘rganish yoki neyron tarmoqlar asosida robotga murakkab muhitga moslashishni “o‘rgatish”, shu tariqa qaror qabul qilishni aqlliyoq qilish. Atrof-muhitni xaritalash va lokalizatsiya qilish qobiliyatini qo‘shish – bunga SLAM algoritmlarini joriy etish orqali erishish mumkin, natijada robot o‘z yo‘lini mustaqil tarzda xaritada rejalab, uzun muddatli navigatsiya vazifalarini bajarishi mumkin. Robotning mexanik va energetik tizimini kuchaytirish – barqarorroq va sig‘imi katta batareya blokini qo‘llash, shassis va g‘ildiraklarni takomillashtirish orqali qurilmaning uzoq vaqt davomida ishonchli ishlashini ta‘minlash. Keltirilgan takliflar amalga oshirilsa, robot prototipi yanada ilg‘or va univerval platformaga aylanishi kutilmoqda. Kelajakda shunday takomillashtirilgan tizim murakkabroq real muhit sharoitlarida, masalan, notekis joylarda yoki ko‘p sonli harakatlanuvchi to‘siqlar orasida ham, samarali navigatsiya qila oladigan darajada rivojlanishi mumkin. Ushbu ish natijalari shuni ko‘rsatadiki, hatto sodda apparat va dasturiy vositalar yordamida ham avtonom robot yaratish va uning to‘siqlardan qochishini ta‘minlash mumkin; navbatdagi qadamlar esa tizimni yanada mustahkamlash va intellektuallashtirishga qaratiladi. Yakun qilib aytganda, ushbu loyiha mobil robototexnika sohasida kichik lekin muhim qadam bo‘lib, u kelgusidagi ilmiy izlanishlar va amaliy loyihalar uchun zamin yaratadi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2016). *Springer Handbook of Robotics*. Springer International Publishing.
2. Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. MIT Press.
3. Monk, S. (2013). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. McGraw-Hill Education.
4. Blum, J. (2019). *Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry* (2nd ed.). Wiley.
5. Margolis, M. (2011). *Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects*. O’Reilly Media.
6. Everett, H. R. (2015). *Sensors for Mobile Robots: Theory and Application*. CRC Press.
7. Dudek, G., & Jenkin, M. (2010). *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University Press.
8. Banzi, M., & Shiloh, M. (2022). *Getting Started with Arduino* (4th ed.). Maker Media, Inc.

9. Bolton, W. (2019). *Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering* (7th ed.). Pearson Education.
10. Bishop, R. H. (2007). *Mechatronic Systems, Sensors, and Actuators: Fundamentals and Modeling*. CRC Press.
11. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
12. Murphy, R. R. (2019). *Introduction to AI Robotics* (2nd ed.). MIT Press.
13. Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005). *Probabilistic Robotics*. MIT Press.
14. McComb, G. (2018). *Robot Builder's Bonanza* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

