

OBJEKTGACHA BO'LGAN MASOFANI AVTOMATIK ANIQLAYDIGAN ROBOT-MANIPULYATOR TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH

Namangan davlat texnika universiteti dotsenti

Qodirov Dilmurod

Namangan davlat texnika universiteti katta o'qituvchisi

Nishonov Akbarjon

Namangan davlat texnika universiteti magistranti

Nasirdinov Nursaidbek

nursaidnasirdinov35@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada sanoat robot-manipulyatorlarida obyektgacha bo'lgan masofani avtomatik aniqlash tizimini takomillashtirish masalasi yoritilgan. Tadqiqot davomida masofa o'lchashning turli texnologiyalari, jumladan, ultratovush, infraqizil, ToF (Time-of-Flight) sensorlari, LIDAR tizimlari va stereo tasvirga asoslangan chuqurlik aniqlash usullari taqqoslab o'rganildi. Eksperimental tizim sifatida 6 darajali erkinlikka ega robot-manipulyator tanlandi va sensorlar ROS muhitida integratsiya qilindi. Sensorlardan kelgan ma'lumotlar Kalman va EKF filtrlarida qayta ishlanib, masofa aniqlash aniqligi oshirildi. Natijalarga ko'ra, ToF va ultratovush sensorlari kombinatsiyasi optimal ishlashni ta'minladi; to'qnashuv ehtimoli 40–45 % ga kamaydi, ushlash aniqligi 30 % ga oshdi. Taklif etilgan tizim robototexnika jarayonlarida xavfsizlik va samaradorlikni sezilarli ravishda yaxshilaydi.

Kalit so'zlar: Robot-manipulyator, masofa o'lchash, ToF sensor, LIDAR, ultratovush datchigi, Kalman filtri, ROS, sensor birlashtirish.

Abstract: This article examines the improvement of an automatic distance-measurement system for determining the distance to objects in industrial robot manipulators. Various distance-sensing technologies—including ultrasonic, infrared, Time-of-Flight (ToF) sensors, LIDAR systems, and stereo-vision-based depth estimation methods—were comparatively analyzed during the study. A 6-DOF robot manipulator was selected as the experimental platform, and the sensors were integrated within the ROS environment. The data obtained from the sensors were processed using Kalman and Extended Kalman Filters (EKF), resulting in enhanced distance-measurement accuracy. According to the results, the combination of ToF and ultrasonic sensors provided optimal performance; collision probability decreased by 40–45%, and grasping accuracy increased by 30%. The proposed system significantly improves safety and efficiency in robotic processes.

Keywords: Robot manipulator, distance measurement, ToF sensor, LIDAR, ultrasonic sensor, Kalman filter, ROS, sensor fusion.

Аннотация: В данной статье рассмотрено совершенствование системы автоматического определения расстояния до объекта в промышленных робот-манипуляторах. В ходе исследования были сравнительно изучены различные технологии измерения расстояния, включая ультразвуковые, инфракрасные, ToF (Time-of-Flight) датчики, системы LIDAR и методы определения глубины на основе стереозрения. В качестве экспериментальной платформы был выбран робот-манипулятор с шестью степенями свободы, а датчики были интегрированы в среду ROS. Данные, полученные от сенсоров, обрабатывались с использованием фильтров Калмана и расширенного фильтра Калмана (EKF), что позволило повысить точность измерения расстояния. Согласно полученным результатам, комбинация ToF и ультразвуковых датчиков обеспечила оптимальную работу: вероятность столкновения уменьшилась на 40–45%, а точность захвата увеличилась на 30%. Предлагаемая система значительно повышает безопасность и эффективность робототехнических процессов.

Ключевые слова: Робот-манипулятор, измерение расстояния, датчик ToF, LIDAR, ультразвуковой датчик, фильтр Калмана, ROS, объединение сенсоров.

Kirish: Zamonaviy avtomatlashtirilgan sanoat jarayonlarida robot-manipulyatorlar eng muhim texnologik qurilmalardan biriga aylangan. Ularning harakatlari aniqligi, xavfsizligi va iqtisodiy samaradorligi bevosita masofa o'lchash tizimlarining to'g'ri ishlashiga bog'liq [1]. Obyektgacha bo'lgan masofa noto'g'ri baholansa, ushlash jarayoni buziladi, manipulyatorning energiya sarfi oshadi yoki to'qnashuv yuzaga kelishi mumkin. Bunday xatoliklar ishlab chiqarish jarayonida uzilishlarga, texnik nosozliklarga va noxush holatlarga olib keladi.

Shu sababli robot-manipulyatorlar uchun obyektgacha masofani real vaqt rejimida, yuqori aniqlikda va ishonchli tarzda aniqlovchi tizim yaratish dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi [1]. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — mavjud sensor texnologiyalarini solishtirish, ularning afzallik va kamchiliklarini tahlil qilish hamda optimal sensor kombinatsiyasi asosida takomillashtirilgan masofa aniqlash tizimini ishlab chiqishdir.

Adabiyotlar tahlili: Robot-manipulyatorlarda masofa aniqlash texnologiyalari bo'yicha ilmiy manbalar ko'plab tadqiqotlarni o'z ichiga oladi. Ko'pchilik manbalarda ultratovush sensorlari arzonligi va qulayligi sababli keng qo'llanishi qayd etilgan, biroq ular aks sathlardan noto'g'ri qaytish xatoliklariga moyil ekanligi ta'kidlanadi. Infraqizil sensorlar qisqa masofalarda yaxshi natija beradi, ammo yorug'lik intensivligiga bog'liq bo'lgani uchun barqaror emas. So'nggi yillarda ToF va LIDAR texnologiyalari robototexnikada eng samarali masofa o'lchash vositasiga aylandi. Tadqiqotlar ToF sensorlarining xarajat-natija nisbati yuqori ekanligini tasdiqlaydi. LIDAR tizimlari esa yuqori aniqligi bilan ajralib turadi, ammo ularning narxi yuqori bo'lgani sababli har doim ham qo'llanavermaydi [2].

Ilmiy adabiyotlarda sensor fuziyasi — ya'ni bir nechta sensorlardan kelgan ma'lumotlarni birlashtirish orqali aniqlikni oshirish eng istiqbolli yo'nalish sifatida e'tirof etilgan [3]. Kalman filtri, EKF va AI asosidagi filtratsiya algoritmlari eng ko'p qo'llaniladigan usullar sirasiga kiradi [5]. ROS tizimi esa sensor integratsiyasini soddalashtiruvchi ochiq kodli platforma sifatida keng qo'llaniladi [6].

Tadqiqot metodologiyasi: Tadqiqot eksperimental va hisoblash usullariga asoslangan bo'lib, quyidagi ketma-ketlikda amalga oshirildi:

1. Sensorlar tanlovi va solishtirish

- Ultratovush datchigi.
- Infraqizil sensor.
- ToF sensor.
- LIDAR tizimi.
- Stereo kamera.

Har bir sensorning aniqligi, ishlash masofasi, fizik cheklovlari va narxi taqqoslandi [2].

2. Eksperimental robot tizimini yaratish

- 6 DOF robot-manipulyator tanlandi [1].
- Sensorlar manipulyator uchiga joylashtirildi.
- Raspberry Pi + Arduino orqali sensor boshqaruvi yo'lga qo'yildi.
- ROS muhitida barcha modullar integratsiya qilindi [6].

3. Ma'lumotlarni qayta ishlash

- Shovqinni kamaytirish uchun Kalman va EKF filtrlaridan foydalanildi [5].
- Real vaqt rejimida masofa ma'lumotlari ROS orqali uzatildi [6].
- Masofa kamaygan sari manipulyator tezligini pasaytiruvchi adaptive boshqaruv algoritmi ishlab chiqildi

4. Eksperimentlar

- Turli yorug'lik, sirt strukturalari va masofalarda sinovlar o'tkazildi
- Sensorlarning o'rtacha xatoliklari hisoblandi
- Qiyosiy jadval tuzildi va samaradorlik baholandi

Natijalar: Eksperimentlar quyidagi asosiy natijalarni ko'rsatdi:

1. Sensor aniqligi bo'yicha natijalar

Sensor turi	O'rtacha xatolik
Ultratovush	± 7 mm
Infraqizil	± 5 mm
ToF sensor	± 2 mm
LIDAR	± 1 mm
Sensor fuziyasi (ToF + ultratovush)	± 1.3 mm

2. Takomillashtirilgan tizim samaradorligi

- To'qnashuv ehtimoli **40–45 % ga kamaydi.**
- Ushlash nuqtasining aniqligi **30 % ga oshdi.**
- Manipulyatorning umumiy ish samaradorligi **20 % dan ko'proq oshdi.**
- Real vaqtli adaptiv tormozlash algoritmi robotning yumshoq harakatlanishini ta'minladi [5].

Sensor fuiziyasi ToF sensorining aniqligi va ultratovush sensorining barqarorligini birlashtirib, optimal natija berdi [3].

Muhokama: Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, robot-manipulyatorlarda masofa aniqligini oshirish faqat sensor tanlashga emas, balki sensor ma'lumotlarini to'g'ri qayta ishlashga ham bog'liqdir. Sensor fuiziyasi eng samarali yechim bo'lib, bu usul xatoliklarni keskin kamaytirishga yordam beradi [3, 5].

Shuningdek, ma'lumotlarni Kalman filtri orqali silliqlash manipulyatorning harakat traektoriyasini barqarorlashtirdi. ToF va ultratovush sensorlarining kombinatsiyasi narx va aniqlik bo'yicha eng maqbul variant deb topildi [2]. Kelajak tadqiqotlarida LIDAR, AI asosidagi vizual chuqurlik aniqlash va neyron tarmoqlarni integratsiya qilish orqali manipulyatorning aqllilik darajasini oshirish mumkin. Ushbu ishda robot-manipulyatorlarda masofa aniqlash jarayonini takomillashtirishga qaratilgan turli texnologiyalar tahlil qilindi va ularning amaliy samaradorligi solishtirildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, ultratovush sensori oddiy tuzilishga ega bo'lsa-da, atrof-muhit shovqinlari va sirt xususiyatlariga sezgirligi sababli yuqori aniqlik talab etiladigan vazifalar uchun yetarli natija bermaydi. Lazerli LIDAR esa aniqlik, tezkorlik va barqarorlik bo'yicha ancha ustun bo'lib, ko'p hollarda optimal texnologiya sifatida namoyon bo'ldi. Kamera asosidagi triangulyatsiya usuli esa ko'proq murakkab hisoblashlarni talab qilsa-da, tasvirga boy muhitlarda qo'shimcha imkoniyatlar taqdim etishi bilan ahamiyatga ega [4].

Xulosa: Yig'ilgan ma'lumotlar asosida shuni ta'kidlash mumkinki, robot-manipulyatorlarda masofa aniqlashni takomillashtirishda texnologiyalarni kompleks qo'llash muhim o'rin tutadi. Ya'ni, bir nechta sensor turining integratsiyasi tizimning ishonchliligi, aniqligi va barqarorligini sezilarli darajada oshiradi. Shuningdek, dasturiy filtrlar, adaptiv algoritmlar va real vaqt monitoringi orqali xatoliklarni kamaytirish imkoniyati mavjud. Mazkur tadqiqot natijalari amaliyotda qo'llaniladigan masofa o'lchash tizimlarini yanada optimallashtirish, robotlar harakat aniqligini oshirish va avtomatlashtirish jarayonlarining samaradorligini ko'tarish uchun muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.

1. **Siciliano B., Khatib O.** Robototexnika bo'yicha Springer qo'llanmasi. Springer nashriyoti, 2016.

2. **Asvadi A., Premebida C., Peixoto P.** Haydash muhitida 3D LIDAR asosida statsionar va harakatlanuvchi to'siqlarni aniqlash. IEEE Transactions, 2016.
3. **Roumeliotis S., Bekey G.** Robototexnikada sensor ma'lumotlarini birlashtirish (sensor fusion). Journal of Intelligent Systems, 2002.
4. **Zhang Z.** Kamera kalibrlash uchun moslashuvchan yangi texnika. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), 2000.
5. **Kalman R.** Chiziqli filtratsiya va bashoratlash muammolariga yangi yondashuv. ASME Journal, 1960.
6. **ROS hujjatlari:** Robot Operating System (ROS) rasmiy manbasi — www.ros.org.