AVTONOM MOBIL ROBOTLARNI BOSHQARISHDA TEXNOLOGIK USKUNALAR INTEGRATSIYASI

Xolmurotov Botirjon Tursinboyevich,
Andijon davlat texnika instituti, dotsent, t.f.f.d. (PhD)
E-mail: xolmurotovbotirjon@gmail.com
Xusanboyev Mirkomil Mirodil o‘g‘li,
Andijon davlat texnika instituti, magistr.
E-mail: mirkomil.khusanboyev@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada zamonaviy ombor tizimlarida avtonom mobil robotlarni (AMR) boshqarishda sensor va identifikatsiya texnologiyalari hamda texnologik uskunalar integratsiyasining ahamiyati chuqur tahlil qilingan. Tadqiqotda LIDAR, kamera va RFID texnologiyalarining AMRlarning navigatsiya, obyektlarni aniqlash, identifikatsiya va xavfsiz harakatini ta’minlashdagi roli ilmiy asosda yoritilgan. Sensorlar integratsiyasi asosida muhitni idrok etish aniqligini oshirish va boshqaruv tizimining barqarorligini ta’minlash masalalari ko‘rib chiqilgan.

Kalit so‘zlar: avtonom mobil robot, LIDAR, kamera, RFID, sensor integratsiyasi, WMS, ERP, ombor logistikasi, avtomatlashtirish.

Аннотация. В данной статье проведён углублённый анализ интеграции сенсорных и идентификационных технологий, а также технологического оборудования в системах управления автономными мобильными роботами (AMR) в современных складских комплексах. В работе научно обоснована роль технологий LIDAR, камер и RFID в обеспечении навигации, обнаружения объектов, идентификации и безопасного перемещения автономных мобильных роботов. Рассмотрены вопросы повышения точности восприятия окружающей среды и устойчивости систем управления на основе интеграции сенсорных данных.

Ключевые слова: автономный мобильный робот, LIDAR, камера, RFID, интеграция сенсоров, WMS, ERP, складская логистика, автоматизация.

Abstract. This paper provides an in-depth analysis of the integration of sensor and identification technologies and technological equipment in the control of autonomous mobile robots (AMRs) in modern warehouse systems. The study scientifically examines the role of LIDAR, camera, and RFID technologies in ensuring accurate navigation, object detection, identification, and safe movement of AMRs. Issues related to improving environmental perception accuracy and enhancing the stability of control systems through sensor integration are discussed.

Keywords: autonomous mobile robot, LIDAR, camera, RFID, sensor integration, WMS, ERP, warehouse logistics, automation.

ISSN 3030-3907

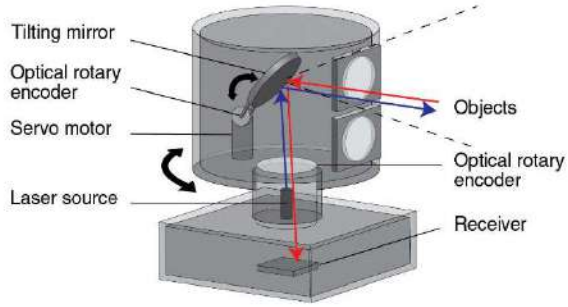
KIRISH.

Avtonom mobil robotlarning (AMR) ombor muhitida samarali ishlashi, avvalo, ularning atrof-muhitni qanchalik to‘g‘ri va tez idrok eta olishiga bog‘liq. Omborlar dinamik muhit bo‘lib, unda odamlar, boshqa robotlar, texnologik uskunalar va yuklar doimiy harakatda bo‘ladi. Shu sababli AMR boshqaruv tizimining eng muhim tarkibiy qismi sensor va identifikatsiya texnologiyalari hisoblanadi. LIDAR, kamera va RFID kabi texnologiyalar robotga muhit haqida ishonchli axborot berib, boshqaruv algoritmlarining aniqligi va barqarorligini ta’minlaydi.

LIDAR texnologiyasining AMR boshqaruvidagi roli

LIDAR (Light Detection and Ranging) texnologiyasi lazer nurlari yordamida masofa o‘lchashga asoslanadi va AMRlarda navigatsiya hamda xaritalash uchun keng qo‘llaniladi. LIDAR sensorlari robot atrofidagi obyektlargacha bo‘lgan masofani yuqori aniqlikda aniqlab, muhitning ikki yoki uch o‘lchamli xaritasini shakllantirish imkonini beradi.





LIDAR asosida masofa o‘lchash quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

bu yerda

d — obyektgacha bo‘lgan masofa,

c — yorug‘lik tezligi,

Δt — lazer impulsi qaytish vaqti.

LIDAR sensorlarining AMR boshqaruviga ta’siri shundaki, ular SLAM algoritmlarini amalga oshirishda asosiy axborot manbai bo‘lib xizmat qiladi. Natijada robot oldindan belgilangan infratuzilmasiz, ya’ni magnit lenta yoki relsga ehtiyoj sezmasdan mustaqil harakatlana oladi. Bu esa ombor tizimining moslashuvchanligini oshiradi va qayta konfiguratsiya xarajatlarini kamaytiradi.

Kamera va kompyuter ko‘rish tizimlarining ahamiyati

ISSN 3030-3907

Kamera asosidagi sensorlar AMRga vizual axborot beradi va obyektlarni aniqlash, klassifikatsiya qilish hamda sahnani semantik tahlil qilish imkonini yaratadi. Ombor sharoitida kameralar yordamida yuk shakli, o‘lchami, yorliqlari va holati aniqlanadi.

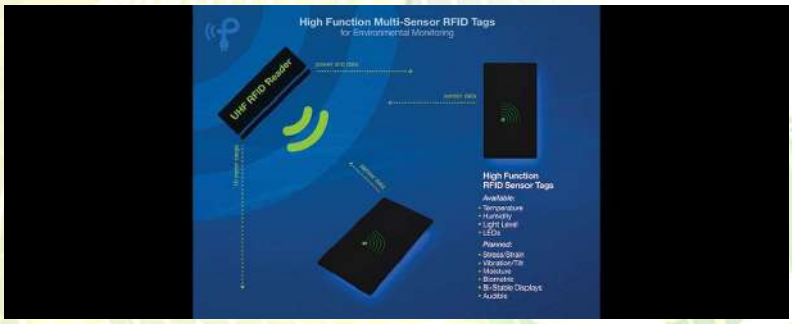




RFID texnologiyasining identifikatsiya jarayonidagi o‘rni

RFID (Radio Frequency Identification) texnologiyasi radiochastotali identifikatsiyaga asoslanib, ombor logistikasida mahsulot va yuklarni avtomatik aniqlash uchun keng qo‘llaniladi. AMRlar RFID o‘quvchilar bilan jihozlangan holda yuklarni kontaktsiz va tez aniqlash imkoniyatiga ega bo‘ladi.





RFID tizimida ma’lumot almashinuvi quyidagi model bilan ifodalanadi:

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2$$

bu yerda

P_r — qabul qilingan signal quvvati,

P_t — uzatilgan signal quvvati,

R — masofa,

λ — to‘lqin uzunligi.

RFID texnologiyasining AMR boshqaruviga ta’siri shundaki, robotlar yukning qaysi turga mansubligini, manzilini va ustuvorligini avtomatik aniqlay oladi. Bu esa noto‘g‘ri joylashtirish va inson omiliga bog‘liq xatolarni sezilarli darajada kamaytiradi.

Sensorlar integratsiyasining boshqaruv samaradorligiga ta’siri

ISSN 3030-3907

AMR boshqaruv tizimida LIDAR, kamera va RFID texnologiyalarining integratsiyalashuvi robotning muhitni idrok etish darajasini tubdan oshiradi. Sensor ma’lumotlarini birlashtirish quyidagi umumiy model asosida ifodalanadi:

$$\hat{x} = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i$$

bu yerda

x_i — i-sensordan olingan ma’lumot,

w_i — vazn koeffitsiyenti.

Natijada AMRlar:

- navigatsiya aniqligini oshiradi;
- xavfsizlik darajasini ta’minlaydi;
- real vaqt rejimida moslashuvchan qarorlar qabul qiladi.

Ombor texnologik uskunalari (konveyerlar, avtomatik raflar, liftlar) bilan integratsiya jarayonlari

Zamonaviy omborlarda avtonom mobil robotlar faqat mustaqil harakatlanuvchi transport vositasi sifatida emas, balki butun texnologik infratuzilmaning ajralmas qismi sifatida qaraladi. Ombor jarayonlarining yuqori samaradorligi AMRlarning konveyer tizimlari, avtomatik raflar va vertikal liftlar kabi texnologik uskunalar bilan qanchalik muvofiqlashgan holda ishlashiga bevosita bog‘liq. Shu sababli ushbu uskunalar bilan integratsiya jarayonlarini ilmiy asosda tashkil etish muhim ahamiyat kasb etadi.

Konveyer tizimlari bilan integratsiya

Konveyerlar ombor logistikasida yuklarni uzluksiz va barqaror harakatlantirishni ta’minlovchi asosiy texnologik vositalardan biridir. AMRlarning konveyer tizimlari bilan integratsiyasi yuklarni avtomatik qabul qilish va topshirish jarayonlarini inson aralashuvisiz amalga oshirish imkonini beradi. Bunda robot ma’lum interfeys nuqtasiga kelib, yukni konveyerga joylashtiradi yoki aksincha, konveyerdan qabul qiladi.

Avtomatik raf tizimlari bilan integratsiya

Avtomatik raf tizimlari (AS/RS – Automated Storage and Retrieval Systems) ombor maydonidan samarali foydalanish va saqlash jarayonlarini tezlashtirishga xizmat qiladi. AMRlarning ushbu tizimlar bilan integratsiyasi yuklarni raflarga joylashtirish va ularni qayta olish jarayonini to‘liq avtomatlashtirish imkonini beradi.

ISSN 3030-3907



AMR va raf tizimi o‘rtasidagi integratsiya ko‘pincha koordinatalar asosida amalga oshiriladi.

Yuk joylashuvi quyidagi koordinata vektori bilan aniqlanadi:

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix}$$

bu yerda

x_r, y_r, z_r — rafdagi yuk joylashgan nuqtaning fazoviy koordinatalari.

Vertikal liftlar bilan integratsiya

Ko‘p qavatli omborlarda vertikal liftlar muhim texnologik uskuna hisoblanadi. AMRlarning liftlar bilan integratsiyasi yuklarni turli balandlik darajalari o‘rtasida samarali tashishni ta’minlaydi.



Lift bilan ishlash jarayoni quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

ISSN 3030-3907

1. AMR liftga chaqiruv signali yuboradi;
2. Lift holati va bandligi tekshiriladi;
3. Robot liftga kiradi va yuk bilan birga kerakli qavatga ko‘tariladi.

Liftni boshqarish jarayoni vaqt va energiya sarfini minimallashtirishga qaratilgan optimallashtirish modeli bilan ifodalanadi:

$$J = \alpha T + \beta E \rightarrow \min$$

bu yerda

T — ko‘tarilish vaqti,

E — energiya sarfi,

α, β — vazn koeffitsiyentlari.

Integratsiyaning boshqaruv tizimiga ta’siri

Konveyerlar, avtomatik raflar va liftlar bilan integratsiya AMR boshqaruv tizimining murakkablashuviga olib keladi. Biroq bu murakkablik yuqori darajadagi avtomatlashtirish va moslashuvchanlik bilan kompensatsiya qilinadi. Integratsiya natijasida:

- yuk oqimlari uzluksiz holga keladi;
- AMRlar o‘zaro va uskunalar bilan to‘qnashuvsiz ishlaydi;
- ombor jarayonlari markazlashgan holda boshqariladi.

Ko‘p komponentli tizimlarda umumiy samaradorlik quyidagi ifoda orqali baholanadi:

$$\eta = \frac{\sum Q_{ij}}{T_{total}}$$

bu yerda

Q_{ij} — bajarilgan yuk operatsiyalari soni,

T_{total} — umumiy vaqt.

Zamonaviy ombor tizimlarida avtonom mobil robotlarning samarali ishlashi faqat sensorlar va mexanik uskunalar bilan integratsiya bilan cheklanib qolmaydi. AMRlar faoliyatini yuqori darajada muvofiqlashtirish uchun ularni axborot boshqaruv tizimlari, xususan Warehouse Management System (WMS) va Enterprise Resource Planning (ERP) tizimlari bilan integratsiyalash zarur hisoblanadi. Ushbu integratsiya natijasida ombor operatsiyalari yagona axborot muhitida boshqariladi hamda strategik va operativ darajadagi qarorlar o‘zaro bog‘langan holda qabul qilinadi.

WMS tizimi va uning AMR boshqaruvidagi roli

ISSN 3030-3907

WMS ombor ichidagi barcha operatsiyalarni rejalashtirish, nazorat qilish va optimallashtirishga mo‘ljallangan dasturiy platforma hisoblanadi. WMS tizimi AMRlar uchun markaziy boshqaruv manbai bo‘lib, robotlarga vazifalarni taqsimlaydi, ularning harakatini muvofiqlashtiradi va bajarilgan operatsiyalarni real vaqt rejimida kuzatadi.

ERP tizimi va yuqori darajadagi boshqaruv

ERP tizimi korxonaning umumiy resurslarini rejalashtirish va boshqarishga mo‘ljallangan bo‘lib, ombor tizimi ERPning muhim funksional modullaridan biri hisoblanadi. ERP tizimi WMS orqali AMRlar faoliyati bilan bilvosita bog‘lanadi va ombor jarayonlarini ishlab chiqarish, ta’minot va moliyaviy rejalashtirish bilan uyg‘unlashtiradi.



ERP → WMS → AMR zanjiri quyidagi ketma-ketlikda ishlaydi:

1. ERP tizimida buyurtma shakllantiriladi;
2. WMS ushbu buyurtmani ombor vazifalariga aylantiradi;
3. AMRlar vazifalarni fizik jihatdan bajaradi.

Ushbu o‘zaro aloqani axborot oqimi modeli orqali ifodalash mumkin:

$$I_{ERP} \rightarrow I_{WMS} \rightarrow I_{AMR}$$

bu yerda I — axborot oqimi.

Real vaqt rejimida ma’lumot almashinuvi mexanizmlari

AMRlarning WMS va ERP bilan o‘zaro ishlashi real vaqt rejimida ikki tomonlama axborot almashinuvi orqali amalga oshiriladi. Robotlar o‘z holati, joylashuvi va bajarilayotgan vazifalar haqida ma’lumot yuboradi, WMS esa ularga yangilangan buyruqlarni uzatadi.

Robot holatini ifodalovchi holat vektori quyidagicha yoziladi:

ISSN 3030-3907

$$S(t) = \{x(t), y(t), \theta(t), v(t), status\}$$

bu yerda statusstatusstatus — robotning joriy ish holati (band, bo‘sh, nosoz).

Ushbu ma’lumotlar asosida WMS tizimi qarorlarni dinamik ravishda yangilab boradi. Bu esa kutilmagan holatlarda (to‘siq paydo bo‘lishi, robot nosozligi) tizimning tez moslashuvchanligini ta’minlaydi.

Integratsiyaning amaliy va strategik ahamiyati

WMS va ERP tizimlari bilan AMRlarning integratsiyasi ombor jarayonlarining shaffofligi va boshqaruv aniqligini sezilarli darajada oshiradi. Operativ darajada bu integratsiya vazifalarning tez va aniq bajarilishini ta’minlasa, strategik darajada resurslarni rejalashtirish, investitsiyalarni baholash va rivojlanish istiqbollarini aniqlash imkonini beradi.

Shuningdek, ushbu integratsiya orqali ombor tizimi kelajakda sun’iy intellekt, prognozlash va raqamli egizak (Digital Twin) texnologiyalarini joriy etish uchun tayyor holatga keladi.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, LIDAR, kamera va RFID kabi sensor va identifikatsiya texnologiyalari avtonom mobil robotlarni boshqarish tizimining asosiy axborot manbai hisoblanadi. Axborot boshqaruv tizimlari — WMS va ERP — bilan avtonom mobil robotlarning o‘zaro ishlash mexanizmlari zamonaviy robotlashtirilgan omborlarning asosiy boshqaruv poydevorini tashkil etadi. Ushbu integratsiya AMRlar faoliyatini markazlashgan holda rejalashtirish, real vaqt rejimida nazorat qilish va optimallashtirish imkonini berib, ombor logistikasining umumiy samaradorligini yuqori bosqichga olib chiqadi. Shu bilan II bobda ko‘rib chiqilgan texnologik integratsiya masalalari to‘liq ilmiy asosda yoritilgan bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Abduraxmonov A.A. Logistika va ombor xo‘jaligini boshqarish. – Toshkent: Iqtisodiyot, 2020.
2. Karimov S.S., Ismoilov B.X. Avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish tizimlari. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2019.
3. Xudoyberdiyev J.J. Robototexnika asoslari. – Toshkent: O‘zbekiston Milliy Universiteti nashriyoti, 2021.
4. Rahmonov D.R. Sanoat robotlari va ularning boshqaruv tizimlari. – Toshkent: Fan, 2018.
5. Wurman P.R., D’Andrea R., Mountz M. Coordinating Hundreds of Cooperative, Autonomous Vehicles in Warehouses. – AI Magazine, 2008.

ISSN 3030-3907