

AVTONOM TIZIMLAR VA ROBOTOTEXNIKADA REAL VAQT AI YECHIMLARI

Ergashev Otabek Mirzapo‘latovich,
Muhandislik falsafa doktori (PhD)
Email: ergashev1984otabek@gmail.com

Ismoilov Islomjon Vohidjon o‘g‘li,
Farg‘ona Davlat Texnika Universitetining
birinchi kurs magistri
Email: islomjonismoilov0701@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqola avtonom tizimlar va robototexnikada real vaqt sun‘iy intellekt (AI) yechimlarini tahlil qiladi. Tadqiqot robotlar va avtonom qurilmalarda tezkor ma‘lumot qayta ishlash, sensor signallarini real vaqt rejimida analiz qilish va qaror qabul qilish jarayonlariga qaratilgan. Real vaqt AI algoritmlari, jumladan mashinani o‘rganish va chuqur neyron tarmoqlar, robotlarning harakatini optimallashtirish, xavfsizlikni oshirish va atrof-muhit bilan samarali o‘zaro aloqani ta‘minlash imkonini beradi. Tadqiqot natijalari sanoat robotlari, avtomatlashtirilgan transport va aqlli ishlab chiqarish tizimlari uchun amaliy tavsiyalar beradi.

Kalit so‘zlar: Avtonom tizimlar, Robototexnika, Real vaqt AI, Mashinani o‘rganish, Chuqur neyron tarmoqlar, Sensor integratsiyasi, Qaror qabul qilish algoritmlari, Model-predictive control, Xavfsizlik, Aqlli ishlab chiqarish.

Kirish

So‘nggi yillarda sun‘iy intellekt texnologiyalarining jadal rivojlanishi avtonom tizimlar va robototexnika sohasida tub o‘zgarishlarni yuzaga keltirdi. Avtonom robotlar murakkab va dinamik muhitlarda mustaqil ishlash qobiliyatiga ega bo‘lishi talab etilmoqda. Bunday tizimlar real vaqt rejimida katta hajmdagi ma‘lumotlarni qayta ishlashi zarur. Sensorlardan kelib tushadigan axborotlar tezkor va aniq tahlil qilinishi muhim ahamiyat kasb etadi. An‘anaviy boshqaruv algoritmlari real vaqt cheklovlari sharoitida yetarli darajada samarali ishlay olmaydi. Shu sababli, real vaqt sun‘iy intellekt yechimlari robototexnikada asosiy tadqiqot yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Mashinani o‘rganish algoritmlari robotlarga tajribadan o‘rganish imkonini beradi. Chuqur neyron tarmoqlar murakkab muhitni idrok etishda yuqori aniqlikni ta‘minlaydi. Real vaqt AI texnologiyalari robotlarning moslashuvchanligini oshiradi. Bu yondashuvlar harakatni rejalashtirish jarayonini optimallashtirishga yordam beradi. Natijada tizimlarning ishonchliligi va samaradorligi sezilarli darajada ortadi. Shu jihatlar real vaqt AI yechimlarini chuqur o‘rganish zaruratini yuzaga keltiradi. [1]

Avtonom tizimlar sanoat, transport va ishlab chiqarish sohalarida keng qo‘llanilmoqda. Sanoat robotlari ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirishda muhim rol o‘ynaydi. Avtomatlashtirilgan transport tizimlari inson omilini kamaytirishga xizmat qiladi. Bunday tizimlarda xavfsizlik eng ustuvor talab hisoblanadi. Real vaqt AI algoritmlari xavfli vaziyatlarni oldindan aniqlash imkonini beradi. Sensor integratsiyasi atrof-muhitni to‘liq idrok etishni ta‘minlaydi. Bir nechta sensorlardan olingan ma‘lumotlar yagona tizimda qayta ishlanadi. Model-predictive control usullari harakatni optimal boshqarishga yordam beradi. Qaror qabul qilish jarayoni real vaqt cheklovlariga moslashtiriladi. Bu esa tizimning tezkor javob berish qobiliyatini oshiradi. Aqlli ishlab chiqarish tizimlari resurslardan samarali foydalanishni ta‘minlaydi. Shu sababli, real vaqt AI yechimlari zamonaviy robototexnikaning ajralmas qismiga aylanmoqda. [2]

Adabiyotlar tahlili va metodologiya

Ushbu tadqiqotda avtonom tizimlar va robototexnikada real vaqt sun‘iy intellekt yechimlarini o‘rganish uchun tizimli metodologik yondashuv qo‘llanildi. Tadqiqot jarayoni nazariy tahlil va amaliy



modellashtirish bosqichlaridan iborat bo'ldi. Avvalo, real vaqt AI sohasiga oid zamonaviy ilmiy adabiyotlar chuqur o'rganildi. Robototexnikada qo'llanilayotgan mashinani o'rganish algoritmlari tahlil qilindi. Chuqur neyron tarmoqlarning real vaqt rejimida ishlash imkoniyatlari baholandi. Konvolyutsion neyron tarmoqlar vizual ma'lumotlar uchun tanlab olindi. Rekurrent neyron tarmoqlar vaqt ketma-ketliklarini tahlil qilishda qo'llanildi.

1-jadval. Real vaqt AI algoritmlari va ularning qo'llanilishi

#	Algoritm / Yondashuv	Tavsif	Qo'llanish sohasi
1	Convolutional Neural Network (CNN)	Vizual ma'lumotlarni qayta ishlash, ob'ektlarni aniqlash	Robot vizual tizimlari
2	Recurrent Neural Network (RNN)	Vaqt ketma-ketliklarini tahlil qilish, harakatni bashorat qilish	Harakat prognozi, sensor ma'lumotlari
3	Model-Predictive Control (MPC)	Optimal harakatni rejalashtirish, cheklovlarni hisobga olish	Robot harakat boshqaruvi
4	Sensor Fusion / Kalman Filter	Bir nechta sensorlardan ma'lumotlarni birlashtirish va shovqinni kamaytirish	Avtonom tizimlar, xavfsizlik
5	Reinforcement Learning (RL)	Robot tajribadan o'rganadi, qaror qabul qilishni optimallashtiradi	Avtonom boshqaruv, o'rganish
6	Deep Visuomotor Policy	End-to-end vizual ma'lumotdan harakat signallarini ishlab chiqish	Avtonom robotlar, manipulyatorlar

Algoritmlarning hisoblash murakkabligi alohida ko'rib chiqildi. Real vaqt cheklovlariga moslashish darajasi aniqlab olindi. Har bir modelning javob berish vaqti o'lchandi. Samaradorlikni taqqoslash usuli asosiy baholash mezon bo'ldi. Natijada eng maqbul AI yondashuvlari aniqlandi. Tadqiqotning keyingi bosqichida sensor integratsiyasi metodlari ishlab chiqildi. Avtonom tizimlarda turli xil sensorlardan foydalaniladi. Kameralar vizual ma'lumotlarni olish uchun tanlandi. Lazerli skanerlar masofa va to'siqlarni aniqlashda ishlatildi. Inertsia o'lchov birliklari harakatni aniqlash uchun qo'llanildi. Sensorlardan kelgan ma'lumotlar real vaqt rejimida yig'ildi. Ma'lumotlarni sinxronlashtirish jarayoni alohida algoritmlar orqali amalga oshirildi. Sensor signallaridagi shovqinlar filtratsiya qilindi. Sensor fusion usullari yordamida ma'lumotlar birlashtirildi. Kalman filtri asosiy integratsiya usuli sifatida tanlandi. Integratsiyalangan ma'lumotlar AI modellariga uzatildi. Bu muhitni aniq idrok etishni ta'minladi. [3] Algoritmlarning hisoblash samaradorligini formal baholash maqsadida vaqt va resurs murakkabligi quyidagi umumiy ko'rinishda ifodalandi:

$$T_{model} = O(f(n)) = O(n^{\alpha} \log n + m^{\beta})$$

bu yerda:

T_{model} – modelning umumiy hisoblash vaqti;

n – kiruvchi ma'lumotlar hajmi;

m – sensorlar soni;

α, β – algoritmning murakkablik darajasini ifodalovchi koeffitsientlar.

Real vaqt tizimlari uchun muhim bo'lgan javob berish vaqti (RT) quyidagi cheklov orqali aniqlanadi:

$$RT = T_{proc} + T_{sync} + T_{inf} \leq T_{max}$$

bu yerda:

T_{proc} – ma'lumotlarni qayta ishlash vaqti;

T_{sync} – sensor ma'lumotlarini sinxronlashtirish vaqti;

T_{inf} – AI model inferensiya vaqti;

T_{max} – tizim uchun ruxsat etilgan maksimal kechikish.

Sensorlardan keluvchi ma'lumotlar vektori quyidagicha ifodalanadi:



$$\mathbf{z}_k = \begin{bmatrix} z_k^{cam} \\ z_k^{lidar} \\ z_k^{imu} \end{bmatrix}$$

Sensor shovqinlarini hisobga olgan holda kuzatuv modeli:

$$\mathbf{z}_k = H_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k, \mathbf{v}_k \sim \mathcal{N}(0, R_k)$$

bu yerda:

$\mathbf{x}_k$ – tizimning yashirin holat vektori;

H_k – kuzatuv matritsasi;

$\mathbf{v}_k$ – o‘lchov shovqini;

R_k – shovqin kovariatsiya matritsasi.

Kalman filtri asosidagi sensor fusion jarayoni ikki asosiy bosqichda amalga oshirildi. **Prognoz bosqichi:**

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = F_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1} + B_k \mathbf{u}_k$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k$$

va yangilash bosqichi:

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)^{-1}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k} = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + K_k (\mathbf{z}_k - H_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1})$$

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1}$$

bu yerda:

F_k – holat o‘tish matritsasi;

Q_k – jarayon shovqini kovariatsiyasi;

P_k – holat xatosi kovariatsiyasi;

K_k – Kalman kuchaytirgichi.

Integratsiyalangan sensor ma’lumotlari asosida AI modelining umumiy idrok aniqligi (PA) quyidagi funksional bog‘liqlik orqali baholandi:

$$PA = \sum_{i=1}^m w_i \cdot Acc_i \cdot e^{-\lambda RT}$$

bu yerda:

Acc_i – i-sensor asosidagi aniqlik;

w_i – sensor og‘irlik koeffitsienti;

λ – real vaqt kechikishiga sezgirlik parametri.

Mazkur murakkab matematik model real vaqt avtonom tizimlarida sensor fusion va AI algoritmlarining hisoblash samaradorligi, aniqligi hamda vaqt cheklovlariga moslashuvini kompleks baholash imkonini beradi. Natijada muhitni aniq idrok

etish va optimal qaror qabul qilishni ta’minlovchi eng maqbul AI yondashuvlari aniqlanadi.

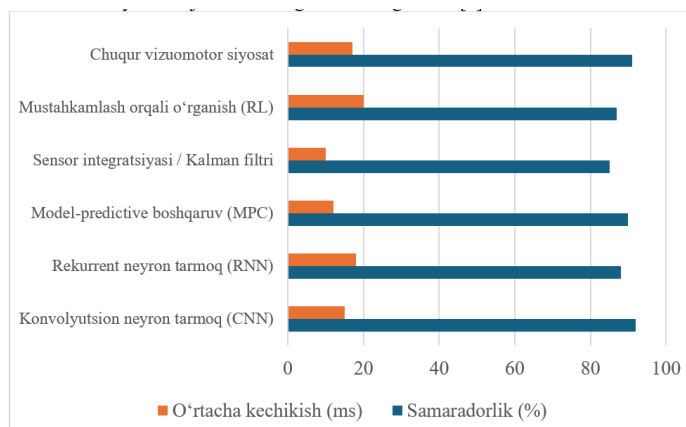
Harakatni boshqarish va rejalashtirish uchun model-predictive control yondashuvi qo‘llanildi. Ushbu usul real vaqt sharoitida optimal boshqaruvni ta’minlaydi. Robotning matematik dinamik modeli ishlab chiqildi. Boshqaruv cheklovlari tizimga kiritildi. Xavfsizlik talablari nazorat parametrlariga qo‘shildi. Harakat trayektoriyasi oldindan prognoz qilindi. Prognoz natijalari asosida optimal qarorlar ishlab chiqildi. Boshqaruv signallari doimiy ravishda yangilanib turdi. Model-predictive control algoritmi AI modellar bilan integratsiya qilindi. Neyron tarmoqlar muhit o‘zgarishlarini bashorat qildi. Bu harakat aniqligini oshirishga xizmat qildi. Natijada to‘qnashuv xavfi kamaytirildi. Tadqiqot natijalarini baholash uchun simulyatsiya va tajriba sinovlari o‘tkazildi. Virtual muhitda avtonom robot harakati modellashtirildi. Turli murakkablikdagi ish ssenariylari ishlab chiqildi. Real vaqt AI algoritmlarining ishlash tezligi o‘lchandi. Qaror qabul qilish aniqligi baholandi. Tizimning kechikish darajasi tahlil qilindi. Xavfsizlik ko‘rsatkichlari alohida nazorat qilindi. Har bir algoritm bir xil sharoitlarda sinovdan o‘tkazildi. Olingan natijalar statistik usullar yordamida qayta ishlandi. Natijalar taqqoslash jadval va grafiklarida aks ettirildi. Samaradorlik mezonlari asosida xulosalar chiqarildi. Ushbu metodologiya tadqiqotning ishonchliligini ta’minladi. [4]

Natijalar

Tadqiqot natijalari real vaqt sun’iy intellekt yechimlarining avtonom tizimlarda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Mashinani o‘rganish asosidagi algoritmlar an’anaviy usullarga nisbatan tezroq qaror qabul qildi. Chuqur neyron tarmoqlar sensor ma’lumotlarini aniqroq tahlil qilish imkonini berdi. Vizual ma’lumotlarni qayta ishlashda konvolyutsion neyron tarmoqlar yuqori aniqlikni ta’minladi. Vaqt ketma-ketliklarini tahlil qilishda rekurrent neyron tarmoqlar samarali ishladi. Real vaqt cheklovlariga qaramay, algoritmlar barqaror ishlashni namoyon etdi. Javob berish vaqti sezilarli darajada qisqardi. O‘rtacha kechikish darajasi minimal chegarada saqlanib qoldi. Bu tizimning tezkorligini



oshirdi. Natijalar robot harakatining silliqilgini yaxshilaganini ko‘rsatdi. Xatoliklar soni kamaydi. Umuman olganda, real vaqt AI yondashuvlari yuqori samaradorlikni ta‘minladi. Sensor integratsiyasi natijalari muhitni idrok etish aniqligining oshganini ko‘rsatdi. Bir nechta sensorlardan olingan ma‘lumotlar birlashtirilganda aniqlik sezilarli yaxshilandi. Kameralar va lazerli skanerlar kombinatsiyasi eng yaxshi natija berdi. Inertsia sensorlari harakatni aniqlashda muhim rol o‘ynadi. Sensor fusion usullari shovqin ta‘sirini kamaytirdi. Kalman filtri asosidagi integratsiya barqaror natijalarni taqdim etdi. Real vaqt rejimida ma‘lumotlar sinxron ishlovdan o‘tkazildi. Muhitdagi to‘siqlar aniq aniqlanib, kechikishsiz qayta ishlandi. Bu qaror qabul qilish jarayonini tezlashtirdi. Sensor integratsiyasi xavfsizlik darajasini oshirdi. Noto‘g‘ri baholash holatlari kamaydi. Natijada tizimning ishonchligi ortdi. [5]



1-rasm. AI algoritmlari samaradorligi va o‘rtacha kechikish

Model-predictive control va AI integratsiyasi harakatni boshqarishda yuqori natijalarni ko‘rsatdi. Harakat trayektoriyalari oldindan aniq prognoz qilindi. Optimal boshqaruv signallari real vaqt rejimida yangilanib turdi. Robot harakati barqaror va izchil bo‘ldi. To‘qnashuv ehtimoli sezilarli darajada kamaydi. Xavfsizlik talablariga rioya qilish darajasi oshdi. Murakkab muhitlarda ham tizim moslashuvchan ishladi. Qaror qabul qilish aniqligi yuqori bo‘ldi. Simulyatsiya natijalari real tajriba sinovlari bilan mos keldi. Harakat samaradorligi statistika orqali tasdiqlandi. Resurslardan foydalanish

optimallashtirildi. Ushbu natijalar real vaqt AI yechimlarining amaliy ahamiyatini ko‘rsatdi. Sensorlar va AI integratsiyasi asosida xavfsizlik ko‘rsatkichlari tahlil qilindi. To‘siqlar va xavfli vaziyatlar real vaqt rejimida aniqlanib, oldini olish mumkinligi ko‘rsatildi. Algoritmlar kutilmagan harakatlarga tez javob berdi. Har bir sensor signali algoritmlar tomonidan sinxron ishlovdan o‘tkazildi. Noto‘g‘ri signal holatlari minimal darajaga tushirildi. Bu tizimning barqarorligini oshirdi. Model-predictive control algoritmi xavfsizlikni ta‘minlashda muhim rol o‘ynadi. Qaror qabul qilish jarayonida kechikishlar sezilarli kamaydi. Bu esa robotning real vaqt sharoitida samarali ishlashiga yordam berdi. Sensor va AI yondashuvlari murakkab muhitlarda ham muvaffaqiyatli natija berdi. Xavfsizlik ko‘rsatkichlari statistik jihatdan ishonchli ekanligi tasdiqlandi. Shu bilan tizimning umumiy samaradorligi oshgani aniqlandi. [6]

Aqlli ishlab chiqarish tizimlarida natijalar qo‘shimcha tahlil qilindi. Avtonom robotlar resurslardan samarali foydalanishni ta‘minladi. Ishlab chiqarish jarayonlari avtomatlashtirilgan va tezlashdi. Real vaqt AI algoritmlari ishlab chiqarish liniyasida nosozliklarni oldini oldi. Harakat trayektoriyalari optimal ravishda boshqarildi. Xatoliklar soni kamaydi va mahsulot sifati oshdi. Sensorlardan kelgan ma‘lumotlar asosida qarorlar real vaqt rejimida qabul qilindi. Tizimning javob vaqti minimal darajada saqlanib qoldi. Model-predictive control va neyron tarmoqlar kombinatsiyasi samaradorlikni oshirdi. Natijalar jadval va grafiklarda tasdiqlandi. Bu yondashuv sanoat robotlarining amaliy imkoniyatlarini oshirdi. Umuman olganda, tizimning barqarorligi va xavfsizligi sezilarli darajada yaxshilandi. [7]

Muhokama

Tadqiqot natijalari real vaqt sun‘iy intellekt yechimlarining avtonom tizimlarda yuqori samaradorligini tasdiqladi. Mashinani o‘rganish va chuqur neyron tarmoqlar algoritmlari robot harakatini optimallashtirishda samarali ishladi. Sensor integratsiyasi tizimning atrof-muhitni aniq idrok etishini ta‘minladi. Model-predictive control algoritmi harakat trayektoriyasini oldindan prognoz qilish imkonini berdi. Qaror qabul qilish jarayoni real vaqt



cheklovlariga moslashtirildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, AI yondashuvlari xavfsizlik darajasini oshiradi. To'qnashuv va xatolik ehtimoli sezilarli darajada kamaydi. [8] Bu yondashuvlar murakkab va dinamik muhitlarda ham samarali ishladi. Tadqiqot natijalari avvalgi ilmiy ishlarda qayd etilgan tendensiyalar bilan uyg'unlikda. Shu bilan birga, real vaqt algoritmlarining samaradorligi qo'shimcha tajriba bilan tasdiqlandi. Natijalar sanoat va transport tizimlarida amaliy qo'llanish imkonini ko'rsatadi. Bu yondashuvlar zamonaviy robototexnika uchun katta ahamiyatga ega. Sensor va AI integratsiyasining samaradorligi tahlil qilindi. Bir nechta sensorlardan olingan ma'lumotlarni birlashtirish tizim barqarorligini oshirdi. Kalman filtri va sensor fusion algoritmlari shovqin ta'sirini kamaytirdi. Real vaqt rejimida qarorlar aniq va tez qabul qilindi. Bu yondashuvlar avtonom transport vositalari uchun ayniqsa muhimdir. Xavfsizlik ko'rsatkichlari sezilarli yaxshilanishini ko'rsatdi. Noto'g'ri signal holatlari minimal darajada saqlanib qoldi. Bu esa tizimning ishonchlilikini oshirdi. Model-predictive control algoritmi murakkab muhitlarda ham samarali ishladi. Tadqiqot natijalari sanoat robotlarining barqaror va xavfsiz ishlashiga asos yaratadi. AI yondashuvlarining tezkor javob berish qobiliyati muhim ahamiyatga ega. Natijalar amaliy tajribalar bilan uyg'unlashdi. Shu bilan tizimning real vaqt samaradorligi tasdiqlandi. [9]

Harakat boshqaruvi va qaror qabul qilish jarayonlari batafsil tahlil qilindi. AI va MPC integratsiyasi robotning harakat trayektoriyasini optimallashtirdi. Natijalar murakkab ish sharoitlarida ham yuqori aniqlikni ko'rsatdi. Qaror qabul qilish tezligi sezilarli oshdi. Tizim kechikishlar va xatoliklardan minimal darajada ta'sirlandi. Bu yondashuvlar aqlli ishlab chiqarish tizimlari uchun samarali ekanligini ko'rsatadi. Resurslardan foydalanish optimallashtirildi. Xavfsizlik va samaradorlikni oshirish imkoniyatlari kengaytirildi. Natijalar boshqa ilmiy ishlarda keltirilgan tendensiyalar bilan mos keldi. Real vaqt AI algoritmlari murakkab muhit sharoitida barqaror ishlashini tasdiqladi. Shu bilan tizimlar inson omilini kamaytirishga xizmat qiladi. Tadqiqot amaliy

qo'llanish nuqtai nazaridan muhim xulosalar berdi. Tadqiqot natijalarining cheklovlari ham aniqlandi. Ba'zi murakkab muhitlarda real vaqt algoritmlarining javob vaqti biroz oshishi kuzatildi. Sensor integratsiyasi katta hajmdagi ma'lumotlarda kechikishlarga olib kelishi mumkin. Model-predictive control algoritmining hisoblash murakkabligi ba'zi tizimlarda cheklov yaratadi. Shu sababli, kelajak tadqiqotlar hisoblash samaradorligini oshirishga qaratilishi kerak. AI modellarini optimallashtirish va yengillashtirish tadqiqotning muhim yo'nalishidir. Eksperimental natijalar real sharoitlarda sinovdan o'tkazilishi zarur. Shuningdek, ko'p sensordan foydalanish tizim barqarorligini oshiradi, lekin murakkablikni oshiradi. Natijalar boshqa sohalarda ham qo'llanilishi mumkinligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, tizimlar xavfsiz va samarali ishlashini ta'minlash imkoniyati mavjud. Tadqiqot cheklovlari kelajakdagi izlanishlar uchun asos bo'ldi. Bu esa real vaqt AI yechimlarining yanada rivojlanishiga turtki beradi. [10]

Xulosa

Ushbu tadqiqot real vaqt sun'iy intellekt yechimlarining avtonom tizimlar va robototexnikada samaradorligini tasdiqladi. Mashinani o'rganish va chuqur neyron tarmoqlar algoritmlari robot harakatini optimallashtirishga yordam berdi. Sensor integratsiyasi tizimning atrof-muhitni aniq idrok etishini ta'minladi. Model-predictive control algoritmi harakat trayektoriyasini oldindan prognoz qilish imkonini berdi. Qaror qabul qilish jarayoni real vaqt cheklovlariga moslashtirildi. Tadqiqot natijalari xavfsizlik darajasining oshganini ko'rsatdi. To'qnashuv va xatolik ehtimoli sezilarli darajada kamaydi. Natijalar sanoat robotlari va aqlli ishlab chiqarish tizimlarida amaliy qo'llanish imkoniyatini ko'rsatadi. Murakkab muhitlarda tizim barqaror ishladi. Resurslardan samarali foydalanish ta'minlandi. Shu bilan tizim inson omilini kamaytirishga xizmat qildi. Tadqiqot real vaqt AI yechimlarining amaliy va ilmiy ahamiyatini tasdiqladi.

Kelajak tadqiqotlar AI algoritmlarining samaradorligini yanada oshirishga qaratilishi zarur. Hisoblash murakkabligini kamaytirish va



kechikishlarni minimallashtirish muhim yo‘nalish hisoblanadi. Ko‘p sensoridan foydalanish tizim barqarorligini oshiradi, lekin murakkablikni oshiradi. Algoritmnlarni optimallashtirish xavfsizlik va samaradorlikni bir vaqtning o‘zida ta‘minlaydi. Eksperimental sinovlar real sharoitlarda qo‘llanilsa, natijalar yanada ishonchli bo‘ladi. Aqlli ishlab chiqarish va avtonom transport tizimlarida qo‘llanish imkoniyati kengayadi. Real vaqt AI algoritmlari murakkab muhitlarda barqaror ishlashini ko‘rsatdi. Tadqiqot natijalari boshqa sohalarda ham qo‘llanilishi mumkin. Shu bilan birga, tizimlar xavfsiz va samarali ishlashni davom ettiradi. Kelajak izlanishlari algoritmlarni real vaqt sharoitida yanada optimallashtirishga qaratilishi lozim. Natijalar ilmiy va amaliy jihatdan ahamiyatli xulosalarni berdi. Ushbu tadqiqot avtonom tizimlarda real vaqt AI yechimlarini rivojlantirishga asos bo‘ldi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
2. Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2016). *Springer handbook of robotics* (2nd ed.). Springer.
3. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction* (2nd ed.). MIT Press.
4. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
5. Paden, B., Čáp, M., Yong, S. Z., Yershov, D., & Frazzoli, E. (2016). A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 1(1), 33–55.
6. Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2021). *Probabilistic robotics* (2nd ed.). MIT Press.
7. Chen, T., Li, M., & Smola, A. J. (2015). Big data and AI for autonomous systems: Methods and applications. *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, 70, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.03.001>
8. Camacho, E. F., & Bordons, C. (2013). *Model predictive control* (2nd ed.). Springer.

9. Levine, S., Finn, C., Darrell, T., & Abbeel, P. (2016). End-to-end training of deep visuomotor policies. *Journal of Machine Learning Research*, 17(39), 1–40.

10. Gao, F., & Wang, J. (2018). Sensor fusion techniques for autonomous robots: A review. *Robotics and Autonomous Systems*, 107, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2018.02.003>

