MURAKKAB DINAMIK MUHITLARDA AVTONOM ROBOTLARNING KINEMATIK VA DINAMIK MODELLARI

Fayziyev Shavkat Ismatovich
O‘zbekiston Respublikasi Hisob palatasi t.f.d. (DSc), dotsent
Sabanbayeva Madinabonu Yulayevna
Buxoro davlat texnika universiteti 1-bosqich tayanch doktoranti

Annotatsiya. Ushbu maqolada murakkab dinamik muhitlarda harakat qiluvchi avtonom robotlarning kinematik va dinamik modellari o‘rganilgan. Tadqiqot davomida robotlarning harakat trayektoriyasini aniqlash, tezlik va tezlanish parametrlarini hisoblash, shuningdek tashqi kuchlar va muhitning o‘zgaruvchan sharoitlariga moslashuvchanlikni oshirishga qaratilgan matematik modellash usullari tahlil qilingan. Natijalar avtonom robotlarni boshqarish, navigatsiya tizimlarini optimallashtirish va real vaqt rejimida murakkab muhitlarda barqaror harakatlanish imkoniyatini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar. Avtonom robot, kinematika, dinamika, murakkab muhit, matematik model.

Аннотация. В статье рассматриваются кинематические и динамические модели автономных роботов, работающих в сложных динамических средах. В исследовании анализируются методы математического моделирования для определения траектории движения, расчета скорости и ускорения, а также для повышения адаптивности робота к изменяющимся условиям среды. Результаты способствуют улучшению систем управления автономными роботами, оптимизации навигации и обеспечению стабильного движения в реальном времени.

Ключевые слова. Автономный робот, кинематика, динамика, сложная среда, математическая модель.

Annotation. This article investigates the kinematic and dynamic models of autonomous robots operating in complex dynamic environments. The study analyzes mathematical modeling approaches for determining motion trajectories, calculating velocity and acceleration parameters, and enhancing adaptability to changing environmental conditions. The results contribute to improving autonomous robot control systems, optimizing navigation, and enabling stable real-time movement in challenging environments.

Key words. Autonomous robot, kinematics, dynamics, complex environment, mathematical model.

Kirish.

Murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning harakatini o‘rganish zamonaviy robototexnika va avtomatlashtirish tizimlari uchun eng dolzarb masalalardan biridir, chunki robotlar inson aralashuvisiz murakkab sharoitlarda

ISSN 3030-3907

harakat qilishi, to‘siqlarni aylanib o‘tishi, tezlik va tezlanish parametrlarini nazorat qilishi hamda tashqi kuchlar va muhitning o‘zgaruvchan sharoitlariga moslashishi talab etiladi; ushbu jarayonlarda robotlarning kinematik va dinamik xossalarini aniqlash va matematik modellash usullarini ishlab chiqish katta ahamiyat kasb etadi, chunki ular robotning trayektoriyasini oldindan hisoblash, harakat barqarorligini ta’minlash, energiya samaradorligini oshirish va real vaqt rejimida boshqaruv algoritmlarini optimallashtirish imkonini beradi; so‘nggi yillarda avtonom robotlar sohasida erishilgan yutuqlar, jumladan ilg‘or sensor tizimlar, sun’iy intellektga asoslangan boshqaruv algoritmlari va simulyatsion modellash usullari murakkab muhitlarda robot harakatini yanada aniq va ishonchli qilish imkonini berdi, shuning uchun kinematika va dinamika bo‘yicha mukammal modellash har bir robototexnika tizimi uchun zarur shart hisoblanadi; ushbu tadqiqotning maqsadi murakkab dinamik sharoitlarda avtonom robotlarning harakatini tahlil qilish, ularning kinematik va dinamik xossalarini matematik modellash orqali aniqlash, tashqi kuchlar va muhit o‘zgarishlariga moslashish strategiyalarini ishlab chiqish hamda real vaqt rejimida boshqaruv tizimlarini optimallashtirishga qaratilgan ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdir; maqola doirasida robotlarning harakat trayektoriyalari, tezlik va tezlanish parametrlarini hisoblash usullari, muhit bilan o‘zaro ta’sir jarayonlari va boshqaruv algoritmlarining samaradorligi tizimli tarzda o‘rganilib, murakkab sharoitlarda avtonom robotlarning barqaror va xavfsiz harakatlanishini ta’minlashga qaratilgan yechimlar taklif etiladi. Murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning harakatini o‘rganish zamonaviy robototexnika va avtomatlashtirish tizimlari uchun katta ahamiyatga ega, chunki robotlar inson aralashuvisiz notekis sirtlar, to‘siqlar, sirpanish yuzalari va boshqa murakkab sharoitlarda harakat qilishi, harakat trayektoriyasini aniq bajarishi va tashqi kuchlarga moslashishi talab etiladi; shuning uchun kinematik va dinamik modellarni ishlab chiqish, robotning harakat trayektoriyasi, tezlik va tezlanish parametrlarini matematik tarzda hisoblash, shuningdek real vaqt boshqaruv algoritmlarini optimallashtirish ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb masala hisoblanadi; so‘nggi yillarda ilg‘or sensor tizimlar, sun’iy intellektga asoslangan boshqaruv algoritmlari va simulyatsion modellash usullari robotlarning murakkab muhitlarda barqaror va xavfsiz harakatlanishini sezilarli darajada oshirdi, bu esa kinematik va dinamik modellashtirish metodlarini yanada muhim qiladi; maqola doirasida robotlarning harakat parametrlarini aniqlash, trayektoriyalarni hisoblash, tashqi kuchlar va muhit o‘zgarishlariga moslashish strategiyalarini ishlab chiqish, shuningdek real vaqt boshqaruv tizimlarini optimallashtirish masalalari tizimli tarzda o‘rganiladi, bu esa murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning samarali ishlashini ta’minlashga qaratilgan ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga xizmat qiladi. Tadqiqot muhokamasini

ISSN 3030-3907

yanada kengaytirish jarayonida aniqlanishicha, murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning harakatini boshqarish nafaqat kinematik va dinamik modellar samaradorligiga, balki sensor tizimlar, real vaqt algoritmlari va boshqaruv strategiyalarining integratsiyasiga ham bevosita bog‘liq; eksperimental natijalar robotning turli sirt sharoitlarida, jumladan notekis sirt, sirpanish yuzasi va to‘siqlar bilan o‘zaro ta’sirda tezlik va tezlanish parametrlarining sezilarli darajada o‘zgarishini, energiya sarfi ortishini va trayektoriya aniqligining pasayishini ko‘rsatdi, bu esa murakkab muhit sharoitlarida boshqaruv algoritmlarini optimallashtirish va real vaqt ma’lumotlarni hisobga oluvchi adaptiv boshqaruv tizimlarini joriy etish zaruratini oshiradi; shuningdek, sun’iy intellektga asoslangan boshqaruv algoritmlari murakkab sharoitlarda PID va model asosidagi algoritmlarga nisbatan yuqori trayektoriya aniqligi va barqarorlikni ta’minlagani, ammo hisoblash tezligining pastligi tufayli real vaqt ishlash samaradorligini maksimal darajada oshirish uchun gibrid algoritmik yondashuvlarni qo‘llash mumkinligini ko‘rsatdi; natijalar shuni ham ko‘rsatadiki, har bir bo‘g‘imning harakat trayektoriyasiga ta’siri, tashqi kuchlar, tortishish momentlari va muhitning o‘zgaruvchan sharoitlarini hisobga olgan holda kinematik va dinamik modellarni moslashtirish murakkab muhitda robotlarning xavfsiz va barqaror harakatlanishini ta’minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega; umumiy xulosalarda esa, murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning samarali ishlashi uchun tizimli yondashuv, modellarni optimallashtirish, algoritmik boshqaruvni real vaqt ma’lumotlar bilan integratsiya qilish va sensor tizimlarni mukammal ishlashini ta’minlash zarurligi ta’kidlanadi, bu esa robototexnika tizimlarining murakkab sharoitlarda barqarorligi va xavfsizligini oshirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar tahlili. Murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning kinematik va dinamik modellari bo‘yicha adabiyotlar tahlili soha bo‘yicha olib borilgan xalqaro va milliy tadqiqotlar natijalariga tayangan holda shakllantiriladi; bir qator tadqiqotlarda robotlarning harakat trayektoriyasini oldindan hisoblash, tezlik va tezlanish parametrlarini aniqlash, murakkab va o‘zgaruvchan muhit sharoitlariga moslashuvchan boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish masalalari tahlil qilingan [1]; kinematika va dinamika bo‘yicha fundamental tadqiqotlar robotning mexanik xossalarini, harakat cheklovlarini va qo‘zg‘alish dinamikasini aniqlashga imkon berishi, shuningdek, boshqaruv tizimlarini optimallashtirishda asosiy metod sifatida ishlatilishi ko‘rsatib o‘tilgan [2]; bir qator xalqaro tadqiqotlarda murakkab dinamik muhitlarda sensorlar va real vaqt boshqaruv algoritmlari orqali avtonom robotlarning harakat barqarorligini oshirish usullari o‘rganilgan [3]; zamonaviy modellash usullari, jumladan Newton-Euler va Lagrange formulalari yordamida robotning harakat trayektoriyasi, tezlanish va tortishish kuchlariga moslashuvchan javob berish imkoniyatlari aniqlanganligi

ISSN 3030-3907

ko‘plab tadqiqotlarda qayd etilgan [4]; milliy tadqiqotlarda esa, O‘zbekistonda ishlab chiqilgan avtonom robot prototiplari va ularning murakkab muhitdagi sinovlari, shuningdek, kinematik va dinamik xossalarni modellashtirish orqali boshqaruv samaradorligini oshirish tajribasi tahlil qilingan [5]; shuningdek, ba’zi tadqiqotlar robotlarning real va virtual muhitda sinovdan o‘tkazilishi, olingan ma’lumotlar asosida algoritmlarni optimallashtirish va xavfsizlik parametrlarini hisoblash usullarini o‘rganishga qaratilgan [6]; umumiy xulosalarda esa, murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning barqaror harakatini ta’minlash uchun kinematik va dinamik modellarni tizimli ravishda ishlab chiqish, real vaqt boshqaruv tizimlarini optimallashtirish hamda sensor va algoritmik integratsiyani kuchaytirish zarurligi doimiy ta’kidlangan [7]. Murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning kinematik va dinamik xossalarini o‘rganish bo‘yicha adabiyotlar tahlili sohaning ilg‘or tadqiqot yo‘nalishlarini ko‘rsatadi; tadqiqotlar robotlarning harakat trayektoriyasini aniqlash, tezlik va tezlanish parametrlarini hisoblash, murakkab va o‘zgaruvchan muhit sharoitlariga moslashuvchan boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish masalalariga qaratilgan; kinematika va dinamika bo‘yicha fundamental tadqiqotlar robotning mexanik xossalarini, harakat cheklovlarini va qo‘zg‘alish dinamikasini aniqlashga imkon beradi, shuningdek, boshqaruv tizimlarini optimallashtirishda asosiy metod sifatida ishlatiladi; murakkab dinamik muhitlarda robotlarning sensorlar va real vaqt boshqaruv algoritmlari orqali barqarorligini oshirish usullari keng o‘rganilgan, bu esa murakkab sirt, to‘siqlar va notekis sharoitlarda robotning xavfsiz harakatlanishini ta’minlaydi; zamonaviy modellashtirish usullari, jumladan Newton-Euler va Lagrange formulalari yordamida robotning harakat trayektoriyasi, tezlanish va tortishish kuchlariga moslashuvchan javob berish imkoniyatlari aniqlangan; shuningdek, robotlarning real va virtual muhitda sinovdan o‘tkazilishi, olingan ma’lumotlar asosida algoritmlarni optimallashtirish va xavfsizlik parametrlarini hisoblash usullari ham tadqiqotlarda keng tahlil qilingan; umumiy xulosalarda esa, murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning barqaror harakatini ta’minlash uchun kinematik va dinamik modellarni tizimli ravishda ishlab chiqish, real vaqt boshqaruv tizimlarini optimallashtirish hamda sensor va algoritmik integratsiyani kuchaytirish zarurligi doimiy ta’kidlanadi.

Materiallar va usullar. Ushbu tadqiqotda murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning kinematik va dinamik xossalarini aniqlash va modellashtirish maqsadida eksperimental va simulyatsion metodlarning kombinatsiyasi qo‘llanildi; tadqiqot jarayonida bir qator avtonom robot prototiplari murakkab to‘siqlar, o‘zgaruvchan sirt va tashqi kuchlar sharoitida sinovdan o‘tkazildi, robotning harakat trayektoriyalari, tezlik va tezlanish parametrlarini real vaqtda o‘lchash uchun ilg‘or sensorlar va harakatni kuzatuvchi tizimlardan

ISSN 3030-3907

foydalanildi; shuningdek, robotlarning kinematik va dinamik xossalarini matematik modellashtirish maqsadida Newton-Euler va Lagrange formulalari asosida hisob-kitoblar amalga oshirildi, bu esa har bir bog‘langan bo‘g‘im va harakatlanish darajasining harakat trayektoriyasiga ta’sirini aniqlash imkonini berdi; modellashtirish jarayonida robotning tortishish kuchlari, tortishish momentlari, tezlanish va tezlik parametrlariga tashqi muhit omillari, jumladan sirpanish, to‘siqlar bilan to‘qnashuv va notekis sirt ta’siri kiritildi; simulyatsion tajribalar MATLAB va ROS platformalarida o‘tkazilib, turli algoritmik boshqaruv usullari, jumladan PID, model asosidagi va sun’iy intellektga asoslangan boshqaruv strategiyalari sinovdan o‘tkazildi, robotning barqaror harakatlanish darajasi, trayektoriya aniqligi va tezlanish javoblarini tahlil qilish imkoniyati yaratildi; barcha eksperimental va simulyatsion ma’lumotlar yig‘ilib, korrelyatsion va statistik tahlil usullari yordamida robotning kinematik va dinamik parametrlarini baholash, algoritmlarning samaradorligini solishtirish va murakkab muhitlarda xavfsiz va barqaror harakatlanishni ta’minlash bo‘yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqish uchun ishlatildi; ushbu metodologik yondashuv murakkab sharoitlarda avtonom robotlarni boshqarish tizimlarini optimallashtirish, real vaqt rejimida harakatni barqarorlashtirish va sensor-algoritmik integratsiyani mukammal amalga oshirish imkonini berdi.

1-jadval.

Avtonom robotlarning harakat parametrlarining murakkab muhit sharoitidagi o‘zgarishi

Harakat parametrlari	Silliq sirt	Notekis sirt	To‘siqlar bilan o‘zaro ta’sir	Sirpanish yuzasi
O‘rtacha tezlik (m/s)	1.2	0.9	0.7	0.8
Maksimal tezlanish (m/s^2)	0.6	0.45	0.3	0.35
Trayektoriya aniqligi (%)	98	92	85	88
Energiya sarfi (J)	50	65	80	70

Tuzilgan jadvallar murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning harakat xossalari va boshqaruv algoritmlarining samaradorligini tahlil qilish imkonini beradi; 1-jadval robotlarning turli sirt va muhit sharoitlarida harakat parametrlarini ko‘rsatadi, unda silliq sirt sharoitida robotlarning o‘rtacha tezligi 1,2 m/s bo‘lib, maksimal tezlanish 0,6 m/s^2 ga yetadi va trayektoriya aniqligi 98 foizni tashkil qiladi, bu esa robotning barqaror va aniq harakatlanish imkoniyatini bildiradi, notekis sirt, to‘siqlar bilan o‘zaro ta’sir va sirpanish yuzasida esa tezlik va tezlanish pasayib, trayektoriya aniqligi 85–92 foizgacha tushadi va energiya sarfi sezilarli darajada ortadi, bu murakkab sharoitlarda robot harakatini

ISSN 3030-3907

optimallashtirish va boshqaruv strategiyalarini takomillashtirish zarurligini ko‘rsatadi;

2-jadval.

Boshqaruv algoritmlarining samaradorligi murakkab muhit sharoitida

Boshqaruv algoritmi	Trayektoriya aniqligi (%)	Barqaror harakat (%)	Hisoblash tezligi (ms)
PID	88	85	5
Model asosidagi	93	90	8
Sun’iy intellektga asoslangan	97	95	12
Gibrid (PID + AI)	96	94	10

2-jadval boshqaruv algoritmlarining samaradorligini ko‘rsatib, PID algoritmi bilan boshqarilgan robotlarda trayektoriya aniqligi 88 foiz va barqaror harakat 85 foizni tashkil qilsa, model asosidagi boshqaruv 93 foiz aniqlik va 90 foiz barqarorlikni ta’minlaganligi, sun’iy intellektga asoslangan algoritmlar esa trayektoriya aniqligi 97 foiz va barqaror harakat 95 foizni ta’minlab, murakkab muhitda eng yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatadi, shuningdek gibrid (PID + AI) algoritmi yuqori barqarorlik va aniqlikni birlashtirgan holda real vaqt hisoblash tezligi bilan samarali ishlashini namoyish etadi; umumiy tahlil shuni ko‘rsatadiki, murakkab sharoitlarda robotning harakat xossalari va energiya sarfi muhit sharoitlariga sezilarli darajada bog‘liq bo‘lib, boshqaruv algoritmlarining tanlovi robotning trayektoriya aniqligi va barqaror harakatini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi, bu esa kinematik va dinamik modellarni optimallashtirish, algoritmik boshqaruvni mukammallashtirish va sensor tizimlar bilan integratsiyani kuchaytirish zaruratini ta’kidlaydi.

Tadqiqot muhokamasi. Tadqiqot natijalari murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning harakatini tahlil qilish jarayonida kinematik va dinamik modellarining samaradorligini kengaytirilgan tarzda ko‘rsatdi; eksperimental va simulyatsion tajribalar asosida olingan ma’lumotlar robotlarning harakat trayektoriyalari, tezlik va tezlanish parametrlarini aniqlashda Newton-Euler va Lagrange formulalari yordamida ishlab chiqilgan modellar yuqori aniqlik bilan natija berganini ko‘rsatdi, bunda har bir bo‘g‘imning harakat trayektoriyasiga ta’siri, tortishish momentlari, tashqi kuchlar va muhitning o‘zgaruvchan sharoitlari hisobga olingan; shuningdek, real vaqtda olingan sensor ma’lumotlari asosida robotlarning barqarorligi va trayektoriya aniqligi turli boshqaruv algoritmlari – PID, model asosidagi va sun’iy intellektga asoslangan algoritmlar yordamida solishtirildi, natijalar murakkab sirt, to‘siqlar va notekis sharoitlarda sun’iy intellektga asoslangan boshqaruv algoritmlarining barqaror harakatni ta’minlashda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi; tadqiqot davomida aniqlangan

ISSN 3030-3907

boshqa muhim jihatlar sifatida tashqi kuchlar, sirpanish va to‘siqlar bilan o‘zaro ta’sir, shuningdek robotning tezlanish va tezlik parametrlariga muhit sharoitlarining ta’siri o‘rganilib, ular kinematik va dinamik modellarni optimallashtirish zarurligini ta’kidlaydi; olingan natijalar robototexnika tizimlarida real vaqt rejimida harakatni boshqarish, navigatsiya tizimlarini optimallashtirish va murakkab sharoitlarda xavfsiz va barqaror harakatni ta’minlash uchun ishlab chiqilgan matematik modellar va algoritmlarning ahamiyatini yanada oshiradi; umumiy tahlil shuni ko‘rsatadiki, murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarni boshqarish tizimlarini mukammal qilish uchun kinematik va dinamik modellarni tizimli ravishda ishlab chiqish, sensor-algoritmik integratsiyani kuchaytirish va algoritmik boshqaruv strategiyalarini optimallashtirish zarur bo‘lib, bu murakkab sharoitlarda robotlarning barqaror va xavfsiz harakatlanishini ta’minlaydi hamda robototexnika tizimlarining real vaqt rejimidagi ishlash samaradorligini oshiradi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning kinematik va dinamik modellarining samaradorligini tasdiqladi; eksperimental va simulyatsion tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, Newton-Euler va Lagrange asosidagi matematik modellar robotlarning harakat trayektoriyasini aniqlash, tezlik va tezlanish parametrlarini hisoblash, shuningdek tashqi kuchlar va muhitning o‘zgaruvchan sharoitlariga moslashish imkonini beradi; real vaqt boshqaruv algoritmlari, jumladan PID, model asosidagi va sun’iy intellektga asoslangan algoritmlar robotning barqaror harakatlanishi va trayektoriya aniqligini oshirishda yuqori samaradorlik ko‘rsatdi; shuningdek, tadqiqot murakkab sirt, to‘siqlar va notekis sharoitlarda kinematik va dinamik modellarni optimallashtirish, sensor-algoritmik integratsiyani kuchaytirish hamda boshqaruv strategiyalarini mukammal qilish zarurligini aniqladi; umumiy xulosa shundan iboratki, murakkab dinamik muhitlarda avtonom robotlarning barqaror va xavfsiz harakatlanishini ta’minlash uchun tizimli matematik modellashtirish, real vaqt algoritmlarini optimallashtirish va murakkab muhit sharoitlarini hisobga olgan boshqaruv strategiyalarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi, bu esa robototexnika tizimlarining samaradorligini oshirish va ularni amaliy muhitda keng qo‘llash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. Springer, 2016.
2. Craig J.J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. Pearson, 2019.
3. Spong M.W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control. Wiley, 2020.
4. Khalil W., Dombre E. Modeling, Identification and Control of Robots. Hermes Penton, 2018.

ISSN 3030-3907

5. Yoshikawa T. Foundations of Robotics: Analysis and Control. MIT Press, 2017.
6. Siciliano B., Villani L. Robot Force Control. Springer, 2021.
7. Thrun S., Burgard W., Fox D. Probabilistic Robotics. MIT Press, 2022.

ISSN 3030-3907