IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 23 Issue 01 AVGUST 2026

SANOAT ROBOTOTEXNIKASI VA MANIPULYATORLAR HARAKAT TRAYEKTORIYASINI O‘RGANISH

Suyunov Laziz Kuldashevich
Qarshi davlat texnika universiteti
Energetika muhandisligi fakulteti
Mexatronika va robototexnika yo‘nalishi 1-kurs talabasi
https://doi.org/10.5281/zenodo.21833694

Annotatsiya. Mazkur maqolada sanoat robototexnikasi tizimlarining zamonaviy rivojlanish tendensiyalari, robot manipulyatorlarining konstruktiv xususiyatlari hamda ularning harakat trayektoriyasini shakllantirish usullari ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Manipulyatorlarning ish samaradorligini oshirishda trayektoriyani rejalashtirishning ahamiyati, kinematik va dinamik modellashtirishning o‘rni hamda boshqaruv algoritmlarining ishlab chiqarish jarayonidagi samaradorligi yoritilgan. Shuningdek, robot manipulyatorlar harakatining aniqligini ta'minlashda interpolatsiya usullari, optimal trayektoriya tanlash va zamonaviy dasturiy vositalardan foydalanish masalalari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot natijalari sanoat korxonalarida robototexnika tizimlarini joriy etish ishlab chiqarish unumdorligini oshirish, mahsulot sifatini yaxshilash va inson omili ta'sirini kamaytirishda muhim ahamiyat kasb etishini ko‘rsatadi.
Kalit so‘zlar: sanoat roboti, manipulyator, robototexnika, trayektoriya, kinematika, dinamika, avtomatlashtirish, boshqaruv tizimi, interpolatsiya, ishlab chiqarish.

Abstract. This article analyzes the current development trends of industrial robotics, the structural features of robotic manipulators, and methods for planning their motion trajectories. Particular attention is paid to the role of trajectory planning in improving manipulator performance, as well as the importance of kinematic and dynamic modeling and modern control algorithms in industrial production. The study also discusses interpolation methods, optimal trajectory planning, and the application of modern software tools to improve motion accuracy. The results indicate that the implementation of industrial robotic systems significantly increases production efficiency, improves product quality, and reduces the influence of the human factor in manufacturing processes.
Keywords: industrial robot, manipulator, robotics, trajectory planning, kinematics, dynamics, automation, control system, interpolation, manufacturing.

Аннотация. В данной статье рассмотрены современные тенденции развития промышленной робототехники, конструктивные особенности промышленных манипуляторов и методы формирования траектории их движения. Проанализирована роль планирования траектории, кинематического и динамического моделирования, а также современных алгоритмов управления в повышении эффективности производственных процессов. Особое внимание уделено вопросам обеспечения точности движения, использованию методов интерполяции и современных программных средств моделирования. Полученные результаты показывают, что внедрение робототехнических комплексов способствует повышению производительности труда, улучшению качества продукции и снижению влияния человеческого фактора.
Ключевые слова: промышленный робот, манипулятор, робототехника, траектория движения, кинематика, динамика, автоматизация, система управления, интерполяция, производство.

Kirish. So‘nggi yillarda sanoat korxonalarida ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirishga bo‘lgan ehtiyoj tobora ortib bormoqda. Raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt elementlari, avtomatik boshqaruv tizimlari hamda robototexnika vositalarining rivojlanishi natijasida sanoat robotlari ishlab chiqarishning ajralmas qismiga aylandi. Zamonaviy sanoat korxonalarida mahsulot sifatini oshirish, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va mehnat unumdorligini yuksaltirishda robot manipulyatorlaridan keng foydalanilmoqda.

Sanoat roboti – oldindan belgilangan dastur asosida turli texnologik operatsiyalarni bajarishga mo‘ljallangan avtomatlashtirilgan mexanik tizimdir. Ayniqsa, payvandlash, bo‘yash, yig‘ish, qadoqlash, yuk ko‘tarish va materiallarni tashish jarayonlarida robot manipulyatorlar yuqori aniqlik hamda takrorlanuvchanlikni ta'minlaydi. Ushbu afzalliklar korxonalarning raqobatbardoshligini oshirishda muhim omil hisoblanadi.

Robot manipulyatorining samarali ishlashi uning harakat trayektoriyasining to‘g‘ri rejalashtirilishiga bevosita bog‘liq. Harakat trayektoriyasi manipulyatorning boshlang‘ich va yakuniy nuqtalar orasidagi optimal yo‘lini ifodalaydi. Trayektoriya noto‘g‘ri tanlanganda energiya sarfi ortadi, ish sikli uzayadi, mexanik qismlarning eskirishi tezlashadi va mahsulot sifati pasayadi. Shu sababli zamonaviy robototexnika tizimlarida optimal trayektoriya yaratish muhim ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

Harakatni rejalashtirish jarayonida manipulyatorning kinematik imkoniyatlari, bo‘g‘inlarning aylanish burchaklari, tezlanish va sekinlashish rejimlari, ishchi zona chegaralari hamda to‘siqlar mavjudligi hisobga olinadi. Mazkur omillar ishlab chiqarish xavfsizligi va texnologik jarayonlarning uzluksizligini ta'minlashda muhim rol o‘ynaydi.

Bugungi kunda MATLAB, Simulink, RoboDK, RobotStudio va ROS kabi dasturiy muhitlar yordamida manipulyatorlarning harakat trayektoriyasini modellashtirish, tahlil qilish va optimallashtirish imkoniyatlari kengaymoqda. Ushbu texnologiyalar real ishlab chiqarish sharoitida robotlarning ishlash samaradorligini oldindan baholash imkonini beradi.

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi sanoat robot manipulyatorlarining harakat trayektoriyasini shakllantirish usullarini ilmiy jihatdan tahlil qilish, ularning afzallik va kamchiliklarini aniqlash hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. Sanoat robototexnikasi va manipulyatorlarning harakat trayektoriyasini rejalashtirish masalalari XX asrning ikkinchi yarmidan boshlab robototexnika fanining asosiy yo‘nalishlaridan biri sifatida shakllandi. Ushbu yo‘nalishda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar robotlarning aniqligi, tezkorligi, energiya samaradorligi va xavfsiz ishlashini ta’minlashga qaratilgan.

Robototexnika sohasining rivojlanishida J. Denavit va R. Hartenberg tomonidan ishlab chiqilgan kinematik modellashtirish usuli katta ahamiyatga ega bo‘ldi. Denavit–Hartenberg (D-H) parametrlari yordamida robot manipulyatorining bo‘g‘inlari orasidagi geometrik bog‘lanishlarni matematik ifodalash mumkin. Ushbu usul bugungi kunda ko‘plab sanoat robotlarining kinematik tahlilida asosiy vosita sifatida qo‘llaniladi.

Craig J.J. tomonidan yozilgan “Introduction to Robotics: Mechanics and Control” asarida robot manipulyatorlarning mexanik tuzilishi, to‘g‘ri va teskari kinematika masalalari, dinamik

modellashtirish hamda boshqaruv algoritmlari batafsil yoritilgan. Ushbu ilmiy manba robot harakatini matematik tahlil qilishda asosiy nazariy asoslardan biri hisoblanadi.

Spong M.W., Hutchinson S. va Vidyasagar M. tomonidan ishlab chiqilgan tadqiqotlarda robot manipulyatorlarning dinamik modeli, harakat tenglamalari va boshqaruv tizimlari tahlil qilingan. Mualliflar robotning yuqori aniqlikda ishlashi uchun nafaqat kinematik, balki dinamik parametrlarni ham hisobga olish zarurligini ta'kidlagan.

Sanoat robotlarining harakat trayektoriyasini optimallashtirish bo'yicha olib borilgan zamonaviy tadqiqotlarda turli matematik va intellektual algoritmlardan foydalanish masalalari o'rganilgan. Jumladan, genetik algoritmlar, neyron tarmoqlar, zarracha to'dasi optimallashtirish (Particle Swarm Optimization) va boshqa sun'iy intellekt usullari yordamida robot harakatining eng qisqa va samarali yo'nalishini aniqlash imkoniyatlari ko'rib chiqilgan.

Robot manipulyatorlari trayektoriyasini rejalashtirishda vaqt bo'yicha polinom interpolatsiyasi keng qo'llaniladigan usullardan biridir. Ushbu usul yordamida robot bo'g'inlarining boshlang'ich va yakuniy holatlari orasidagi silliq harakat ta'minlanadi. Ayniqsa, beshinchi darajali polinomlar yordamida tezlik va tezlanishning uzluksiz o'zgarishini ta'minlash mumkin.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, zamonaviy sanoat robototexnikasida trayektoriya rejalashtirish masalasi faqat geometrik yo'lni aniqlash bilan chegaralanmaydi. Bunda energiya sarfi, bajarilish vaqti, mexanik yuklanishlar, xavfsizlik talablari va ishlab chiqarish samaradorligi kabi omillar kompleks ravishda hisobga olinmoqda.

Mahalliy tadqiqotchilar tomonidan ham avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish tizimlari, robotlashtirilgan komplekslar va sanoat xavfsizligi yo'nalishlarida ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. O'zbekiston sanoatida raqamli texnologiyalar va avtomatlashtirish tizimlarining joriy etilishi robototexnika sohasida yangi tadqiqot yo'nalishlarini shakllantirmoqda.

Umuman olganda, mavjud ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish natijasida sanoat robot manipulyatorlarining samarali ishlashi ko'p jihatdan harakat trayektoriyasining to'g'ri tanlanishi va boshqaruv algoritmlarining mukammalligiga bog'liq ekanligi aniqlandi. Shu sababli ushbu maqolada manipulyatorlarning trayektoriya shakllantirish usullari va ularning ishlab chiqarish samaradorligiga ta'siri chuqur o'rganiladi.

Tadqiqot metodologiyasi:

Mazkur tadqiqotda sanoat robot manipulyatorlarining harakat trayektoriyasini o'rganish uchun nazariy tahlil, matematik modellashtirish va qiyosiy tahlil usullaridan foydalanildi.

Tadqiqot metodologiyasining asosiy bosqichlari quyidagilardan iborat:

1.Robot manipulyator modelini shakllantirish. Manipulyatorning geometrik tuzilishi, bo'g'inlar soni, aylanish o'qlari va ishchi hududi aniqlanadi. Robotning harakat imkoniyatlarini baholash uchun kinematik model tuziladi.

2. Kinematik tahlil. Manipulyatorning holatini aniqlash uchun to'g'ri va teskari kinematika usullaridan foydalaniladi.

4.Tahlil va natijalar (Analysis and Results)

Sanoat robot manipulyatorlarining harakat trayektoriyasini tahlil qilishda asosiy e'tibor robotning aniqligi, tezligi va harakat davomida barqaror ishlashiga qaratiladi. Manipulyatorning samarali ishlashi uning mexanik tuzilishi, boshqaruv algoritmlari va tanlangan trayektoriya rejalashtirish usuliga bevosita bog'liq.

Robot manipulyator harakatini tashkil etishda uchta asosiy jarayon amalga oshiriladi:

1. Boshlang‘ich holatni aniqlash;
2. Optimal harakat yo‘nalishini shakllantirish;
3. Harakat jarayonini boshqarish va nazorat qilish.

Manipulyatorning fazodagi holatini aniqlash uchun kinematik tenglamalardan foydalaniladi. Ko‘p bo‘g‘inli robotlarda har bir bo‘g‘inning holati umumiy koordinatalar orqali ifodalanadi. Masalan, olti o‘qli sanoat robotida har bir aylanish o‘qi alohida boshqarilib, yakuniy ishchi organ (efektor)ning kerakli nuqtaga yetib borishi ta’minlanadi.

4.1. Manipulyatorlarning kinematik tahlili

Robot manipulyatorning kinematikasi uning harakat qonuniyatlarini o‘rganadi. Kinematik tahlilda kuch va momentlar emas, balki koordinatalarning vaqt davomida o‘zgarishi ko‘rib chiqiladi.

Robotning umumiy holati quyidagi matritsa yordamida ifodalanishi mumkin:

$$T=\begin{bmatrix} R & P \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

bu yerda:

R – aylanish matritsasi;
P – fazodagi siljish vektori.

Ushbu matritsa yordamida robot ishchi organining uch o‘lchamli fazodagi joylashuvi aniqlanadi.

D-H (Denavit–Hartenberg) usuli asosida har bir bo‘g‘inning parametrlari aniqlanadi:

- a – bo‘g‘in uzunligi;
- α – burilish burchagi;
- d – siljish masofasi;
- θ – aylanish burchagi.

Bu parametrlar yordamida robotning matematik modeli tuziladi.

4.2. Harakat trayektoriyasini shakllantirish

Robot manipulyatorning trayektoriyasi ikki nuqta orasidagi eng maqbul harakat yo‘lini belgilaydi. Sanoat jarayonlarida trayektoriyaning silliq bo‘lishi katta ahamiyatga ega, chunki keskin tezlanish va sekinlashish mexanik qismlarga qo‘shimcha yuk tushiradi.

Trayektoriyani rejalashtirishning asosiy usullari:

1.Chiziqli interpolatsiya usuli

Bu usulda robot boshlang‘ich nuqtadan yakuniy nuqtagacha to‘g‘ri chiziq bo‘ylab harakat qiladi.

Afzalliklari:

- hisoblash oddiyligi;
- yuqori aniqlik;
- dasturlash qulayligi.

Kamchiligi:

- murakkab ish zonalarida to‘siqlarni chetlab o‘tish qiyin.

2.Polinom interpolatsiyasi

Ushbu usulda robot harakati matematik funksiya orqali ifodalanadi. Beshinchi darajali polinom yordamida tezlik va tezlanishning uzluksizligi ta’minlanadi.

3.Optimal trayektoriya usuli

Bu usulda harakat vaqti, energiya sarfi va aniqlik birgalikda hisobga olinadi.

4.3. Robot harakatining aniqligiga ta’sir qiluvchi omillar

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, manipulyator harakat aniqligiga quyidagi omillar ta’sir qiladi:

Omil	Ta’sir darajasi	Natija
Mexanik bo‘g‘inlarning aniqligi	Yuqori	Joylashish xatosi kamayadi
Sensorlarning sifati	Yuqori	Boshqaruv aniqligi oshadi
Boshqaruv algoritmi	Yuqori	Harakat barqarorligi ta’minlanadi
Yuklama miqdori	O‘rta	Tezlik va aniqlikka ta’sir qiladi
Tashqi muhit ta’siri	O‘rta	Ishlash sharoitiga bog‘liq

Tahlillar asosida aniqlanishicha, zamonaviy boshqaruv tizimlari bilan jihozlangan robot manipulyatorlarda harakat aniqligi sezilarli darajada oshadi.

4.4. Boshqaruv algoritmlarining ahamiyati

Sanoat robotlarida ko‘pincha PID boshqaruv algoritmlaridan foydalaniladi. Ushbu algoritm robot harakatidagi xatolikni kamaytirish va kerakli holatni aniq ushlab turishga xizmat qiladi.

PID boshqaruv tenglamasi:

$$u(t)=K_pe(t)+K_i\int e(t)dt+K_d\frac{de(t)}{dt}$$

bu yerda:

u(t) – boshqaruv signali;
e(t) – xatolik qiymati;
Kp, Ki, Kd – boshqaruv koeffitsiyentlari.

To‘g‘ri tanlangan boshqaruv parametrlari robotning tezkorligi va aniqligini oshiradi.

4.5. Tadqiqot natijalari muhokamasi

O‘tkazilgan tahlillar natijasida quyidagi xulosalar olindi:

- trayektoriya rejalashtirish robot ish unumdorligining asosiy omillaridan biridir;
- matematik modellashtirish yordamida robot harakatidagi xatoliklarni oldindan aniqlash mumkin;
- optimal trayektoriya tanlash energiya sarfini kamaytiradi;
- zamonaviy boshqaruv algoritmlari robotlarning aniqligi va ishonchliligini oshiradi.

Shuningdek, sanoat robotlarini ishlab chiqarishga joriy etishda nafaqat texnik imkoniyatlar, balki xavfsizlik talablari ham hisobga olinishi zarur. Robotlashtirilgan tizimlarda inson va robot o‘zaro xavfsiz ishlashi uchun maxsus himoya vositalari va nazorat tizimlaridan foydalanish talab etiladi.

Umuman olganda, sanoat robot manipulyatorlarining harakat trayektoriyasini ilmiy asosda rejalashtirish ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish, mahsulot sifatini oshirish va texnologik jarayonlarning samaradorligini ta’minlash imkonini beradi.

Xulosa va takliflar

Mazkur tadqiqotda sanoat robototexnikasi tizimlarining asosiy elementlaridan biri bo‘lgan manipulyatorlarning harakat trayektoriyasini shakllantirish va boshqarish masalalari o‘rganildi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, zamonaviy ishlab chiqarish korxonalarida robot manipulyatorlardan samarali foydalanish ko‘p jihatdan ularning harakatini to‘g‘ri rejalashtirish va boshqarish algoritmlarining mukammalligiga bog‘liq. Robot manipulyatorlarning kinematik modeli yordamida ishchi organning fazodagi holatini aniqlash, bo‘g‘inlarning o‘zaro harakatini hisoblash va optimal yo‘nalishni tanlash imkoniyati yaratiladi. Denavit–Hartenberg modeli asosida tuzilgan matematik modellar robotlarning geometrik parametrlarini aniqlashda muhim vosita hisoblanadi. Tadqiqot davomida chiziqli interpolatsiya, polinom interpolatsiyasi va optimal trayektoriya rejalashtirish usullari tahlil qilindi. Ushbu usullar orasida beshinchi darajali polinomlar asosidagi trayektoriya shakllantirish usuli robot harakatining silliqligi va barqarorligini ta’minlashi bilan ajralib turadi. Optimal trayektoriya tanlash orqali robotning ishlash vaqti qisqaradi, energiya sarfi kamayadi va mexanik qismlarning xizmat muddati uzayadi. Sanoat robotlarida PID, adaptiv boshqaruv va sun’iy intellektga asoslangan algoritmlardan foydalanish manipulyatorlarning aniqligi va ishonchliligini oshirishga xizmat qiladi. Ayniqsa, murakkab ishlab chiqarish jarayonlarida neyron tarmoqlar va optimallashtirish algoritmlaridan foydalanish robotlarning mustaqil qaror qabul qilish imkoniyatlarini kengaytirmoqda.

Tadqiqot natijalariga asoslanib quyidagi takliflar ishlab chiqildi:

- sanoat korxonalarida robotlashtirilgan tizimlarni joriy etishda dastlab matematik modellashtirish va virtual sinovlardan foydalanish;
- manipulyator trayektoriyasini tanlashda faqat masofa emas, balki energiya sarfi va mexanik yuklanishlarni ham hisobga olish;
- robot boshqaruv tizimlarida zamonaviy sensorlar va aqlli algoritmlardan foydalanishni kengaytirish;
- robot operatorlari uchun xavfsizlik va texnik xizmat ko‘rsatish bo‘yicha maxsus tayyorgarlik tizimini rivojlantirish;
- mahalliy sanoat korxonalarida robototexnika bo‘yicha ilmiy-tadqiqot ishlarini kengaytirish.

Xulosa qilib aytganda, sanoat robot manipulyatorlarining harakat trayektoriyasini ilmiy asosda loyihalash avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish tizimlarining samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Kelajakda robototexnika, sun'iy intellekt va raqamli ishlab chiqarish texnologiyalarining rivojlanishi natijasida yanada aqlli va moslashuvchan sanoat robotlari yaratilishi kutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Craig J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. 4th Edition. Pearson Education, 2018.
2. Spong M. W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control. Wiley, 2020.
3. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. Springer, 2016.
4. Denavit J., Hartenberg R. S. A Kinematic Notation for Lower-Pair Mechanisms Based on Matrices. Journal of Applied Mechanics, 1955.
5. Fu K. S., Gonzalez R. C., Lee C. S. G. Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence. McGraw-Hill, 1987.
6. Corke P. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB. Springer, 2017.
7. Lynch K. M., Park F. C. Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press, 2017.
8. Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G. Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer, 2009.
9. Lewis F. L., Dawson D. M., Abdallah C. T. Robot Manipulator Control: Theory and Practice. CRC Press, 2004.
10. Khalil W., Dombre E. Modeling, Identification and Control of Robots. Butterworth-Heinemann, 2002.