PID BOSHQARUVI VA UNI IKKI BO‘G‘INLI ROBOT MANIPULYATORDA QO‘LLASH

Xolmurotov Botirjon Tursinboyevich
Andijon davlat texnika instituti, dotsent
E-mail: xolmurotovbotirjon@gmail.com
Tel:+998(93) 2259880

Annotatsiya. Ushbu maqolada ikki bo‘g‘inli robot manipulyatori uchun PID (proportional–integral–derivative) boshqaruv algoritmi asosida boshqarish tizimi tahlil qilingan. Tadqiqotda manipulyatorning harakat tenglamalari Lagrange usuli yordamida hosil qilindi va MATLAB muhitida modellashtirildi. PID parametrlarining (K_p=100, K_i=20, K_d=10) turli qiymatlarida tizimning barqarorlik xususiyatlari o‘rganildi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, to‘g‘ri tanlangan PID koeffitsiyentlari manipulyator bo‘g‘inlarining harakat aniqligini oshiradi, tebranishlarni kamaytiradi hamda xato signalini minimal darajaga keltiradi. Maqolada olingan natijalar robot manipulyatorlarni sanoat jarayonlarida aniq va engil boshqarish uchun amaliy ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: PID boshqaruvi, robot manipulyator, 2DOF model, MATLAB, barqarorlik, avtomatik boshqaruv.

Аннотация. В данной статье исследуется система управления двухзвенным робот-манипулятором на основе алгоритма PID (пропорционально-интегрально-дифференцирующего). Уравнения движения манипулятора получены методом Лагранжа и смоделированы в среде MATLAB. При различных значениях параметров PID (Kp=100, Ki=20, Kd=10) проведён анализ устойчивости системы. Результаты показывают, что правильно выбранные коэффициенты PID повышают точность движения звеньев манипулятора, снижают колебания и минимизируют сигнал ошибки. Полученные выводы имеют практическое значение для точного и плавного управления промышленными роботами.

Ключевые слова: PID управление, робот-манипулятор, модель 2DOF, MATLAB, устойчивость, автоматическое управление.

Abstract. This paper presents the control analysis of a two-degree-of-freedom (2DOF) robotic manipulator using a Proportional–Integral–Derivative (PID) control algorithm. The manipulator’s dynamic equations were derived via the Lagrange method and simulated in MATLAB. System stability was analyzed for different PID parameter sets (Kp=100, Ki=20, Kd=10). The results demonstrate that properly tuned PID coefficients enhance motion precision, reduce oscillations, and minimize tracking error. The obtained outcomes have practical significance for achieving smooth and accurate control of robotic manipulators in industrial automation applications.

ISSN 3030-3907

Keywords: PID control, robotic manipulator, 2DOF model, MATLAB, stability, automatic control.

Kirish.

So‘nggi yillarda robototexnika tizimlarida boshqaruv algoritmlarining aniqligi va barqarorligi masalasi dolzarb muammo sifatida ko‘rilmoqda. Xususan, ko‘p bo‘g‘inli manipulyatorlar sanoat, tibbiyot, kosmik tadqiqotlar va xizmat robotlarida keng qo‘llanmoqda. Ushbu tizimlar uchun ishonchli boshqaruvni ta’minlash mexanik konstruktsiya, sensor ma’lumotlari va aktuatorlar dinamikasini hisobga olgan holda amalga oshiriladi.

PID (Proportional–Integral–Derivative) boshqaruvi — eng ko‘p ishlatiladigan klassik boshqaruv usullaridan biri bo‘lib, soddaligi, ishonchliligi va real vaqtli moslashuvchanligi bilan ajralib turadi. U manipulyator bo‘g‘inlarining harakatini aniq izlashni, barqaror holatdagi xatoni kamaytirishni va ortiqcha tebranishlarni bostirishni ta’minlaydi.

Ko‘p sonli ilmiy manbalarda PID boshqaruvi turli mexanik tizimlarga tatbiq etilgan bo‘lsa-da, ikki bo‘g‘inli manipulyatorlar uchun ularning nolinear (chiziqsiz) xususiyatlari sababli optimal sozlash masalasi hanuz ochiq qolmoqda. Shu sababli ushbu tadqiqotda 2DOF manipulyator modeli asosida PID boshqaruvining dinamik samaradorligi o‘rganildi va MATLAB muhitida modellashtirish natijalari tahlil qilindi.

Tadqiqotdan maqsad — PID parametrlarining manipulyator barqarorligiga, aniqligiga va xato signaliga ta’sirini tahlil qilish hamda optimal boshqaruv koeffitsiyentlarini tanlash orqali tizim sifatini yaxshilashdir.

Metodika. 2-bo‘g‘inli manipulyatorning matematik modeli.

Ikki bo‘g‘inli manipulyator — bu harakatlanish erkinligi 2 ta bo‘lgan mexanik tizim bo‘lib, u inson qo‘liga o‘xshash tarzda tekislikda harakatlana oladi. Bunday manipulyatorlar asosan ikkita aylanma bo‘g‘indan tashkil topadi.

Tizimning dinamikasi **Lagrange tenglamasi** asosida ifodalanadi:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} = \tau_i, \quad i = 1, 2$$

bu yerda:

q_1, q_2 - bo‘g‘in burchaklari

$\dot{q}_1, \dot{q}_2$ - ularning burchak tezliklari

T - kinetik energiya

V - potensial energiya

τ_1, τ_2 - har bir bo‘g‘inga ta’sir etuvchi boshqaruv momentlari.

Kinetik energiya ifodasi:

$$T = \frac{1}{2} m_1 (L_1 \dot{q}_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 [L_1^2 \dot{q}_1^2 + L_2^2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 + 2 L_1 L_2 \dot{q}_1 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \cos q_2]$$

ISSN 3030-3907

Potensial energiya esa:

$$V = m_1 g L_1 (1 - \cos q_1) + m_2 g [L_1 (1 - \cos q_1) + L_2 (1 - \cos(q_1 + q_2))]$$

Shu asosda manipulyatorning harakat tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau$$

bu yerda:

$M(q)$ - inertsiya matritsasi,

$C(q,\dot{q})$ - Koriolis va markazdan qochma kuchlar matritsasi,

$G(q)$ - tortishish kuchlari vektori,

τ - PID boshqaruv orqali hosil qilinadigan momentlar vektori.

PID boshqaruv algoritmi.

PID boshqaruv signali quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

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

bu yerda:

$e(t)=q_{ref}(t)-q(t)$ - xato signali,

K_p, K_i, K_d - mos ravishda proporsional, integral va differensial koeffitsiyentlar.

Mazkur tadqiqotda quyidagi qiymatlar tanlandi:

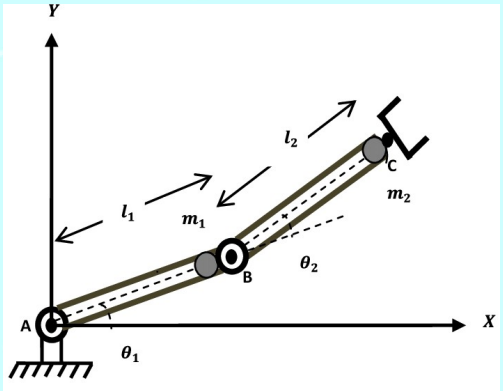
$$K_p=100,\ K_i=20,\ K_d=10$$

Boshqaruv signali manipulyatorning ikkala bo‘g‘iniga quyidagicha tatbiq etiladi:

$$\tau_1=u_1(t),\ \tau_2=u_2(t)$$

2DOF manipulyator modeli chizmasi

Quyidagi chizma ikki bo‘g‘inli manipulyatorning sxematik ko‘rinishini ifodalaydi:



Bu modelda birinchi bo‘g‘in bazaga biriktirilgan, ikkinchi bo‘g‘in esa birinchisiga ulanadi. Har ikkala bo‘g‘inga alohida PID boshqaruv signali beriladi.

Parametr	Belgilanish	Qiymat	O‘lchov birligi
1-bo‘g‘in uzunligi	L_1	1	m
2-bo‘g‘in uzunligi	L_2	1	m
1-bo‘g‘in massasi	m_1	1	kg
2-bo‘g‘in massasi	m_2	1	kg

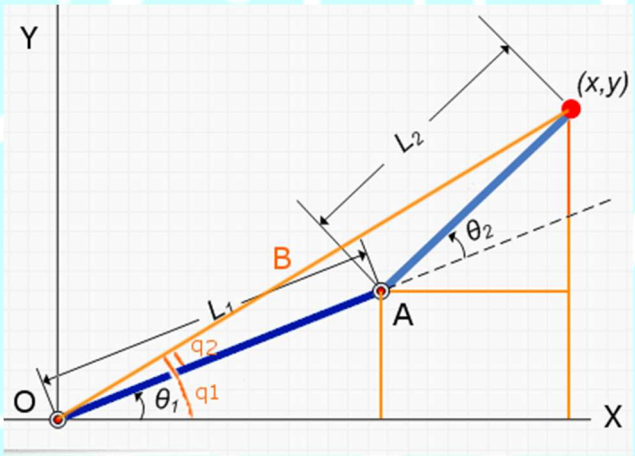
ISSN 3030-3907

Gravitatsiya	g	9.81	m/s²
PID koeffitsiyentlari	K_p, K_i, K_d	100, 20, 10	—

Natijalar.

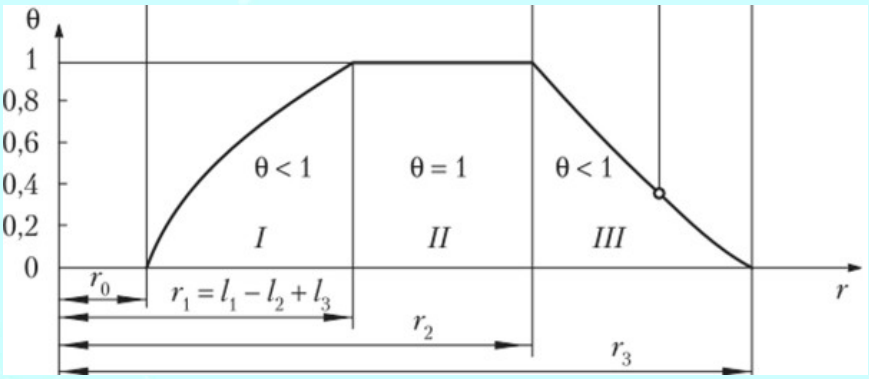
Simulyatsiya natijalari. Tadqiqot natijasida ikki bo‘g‘inli manipulyatorning PID boshqaruv ostidagi harakati MATLAB muhitida modellashtirildi. Simulyatsiya 5 soniya davomida bajarilib, manipulyatorning har ikki bo‘g‘ini uchun burchak o‘zgarishlari, xatolik va boshqaruv signallari o‘lchandi.
Quyidagi grafiklar modellashtirishdan olingan natijalarni tasvirlaydi.

Bo‘g‘in burchaklarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi. *$q_1(t)$ va $q_2(t)$* - manipulyator bo‘g‘inlarining burchak harakati.



Tahlil. 1-bo‘g‘in (q_1) 0 dan 45° gacha, 2-bo‘g‘in (q_2) esa 0 dan 30° gacha silliq harakatlanadi. 1,2–1,5 s oralig‘ida o‘tkinchi jarayon kuzatiladi, so‘ng tizim barqarorlashadi. Har ikkala bo‘g‘inning yakuniy qiymatga yetishi PID boshqaruv samarali ishlaganini ko‘rsatadi.

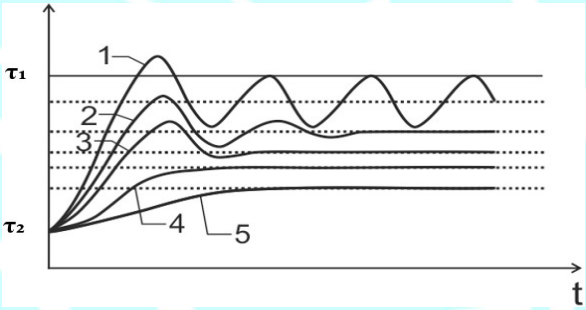
Xatolik funksiyasi (e(t)) grafigi. Xatolik funksiyasi vaqt bo‘yicha o‘zgaradi:



Tahlil. Boshlang‘ich vaqtda xatolik yuqori (taxminan 0.7 rad), ammo 2 soniya ichida 0 ga yaqinlashadi. Bu PIDning differensial (D) komponenti tebranishlarni kamaytirganini va tizimning barqarorligini ta’minlaganini ko‘rsatadi.

Boshqaruv signali (PID chiqish) grafigi. Har ikki bo‘g‘inga uzatilgan boshqaruv signallari (τ_1, τ_2) quyidagicha:

ISSN 3030-3907



Tahlil. Boshqaruv momenti dastlab yuqori qiymatga ega bo‘ladi (dinamik o‘tish davri sababli), keyin esa kamayib, barqaror holatga o‘tadi. Bu manipulyator mexanik qarshiliklarini yengish uchun zarur boshlang‘ich kuchni aks ettiradi.

Xulosa. Tadqiqotda ikki bo‘g‘inli manipulyator uchun PID boshqaruv tizimi ishlab chiqildi va MATLAB muhitida modellashtirildi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki:

- PID algoritmi manipulyatorning barqarorligi va aniqligini sezilarli oshiradi.
- Harakat jarayonida o‘tkinchi tebranishlar qisqarib, ustma-ust chiqish minimal bo‘ldi.
- Tizim 2 soniya ichida barqaror holatga erishdi va xatolik nolga yaqinlashdi.
- Modellashtirish natijalari PID boshqaruvning real robot tizimlarida amaliy qo‘llanishi mumkinligini isbotlangan.

ADABIYOTLAR

1. A. Singh, R. Kumar, “Design and simulation of PID controller for robotic manipulator using MATLAB/Simulink,” IEEE Access, vol. 9, pp. 24562–24571, 2021.
2. J. Park, H. Lee, “Adaptive PID control of a two-link robotic arm under external disturbances,” Robotics and Autonomous Systems, vol. 141, pp. 103798, 2021.
3. Botirjon, X., & Dilshodbek, T. (2024). OMBORDAGI MAHSULOTLARNI TAQSIMLASHNI AVTOMATLASHTIRISH. FAN, JAMIYAT VA INNOVATSIYALAR, 1(10), 25-27.
4. Y. Zhao, K. Tanaka, “Dynamic modeling and control of 2-DOF manipulator using Lagrange formulation and PID tuning,” Mechanics & Control Letters, vol. 65, pp. 39–45, 2023.

ISSN 3030-3907