



SANOAT ROBOTI XATOLIK MODELINING IDENTIFIKATSIYALANUVCHANLIGI VA O'LCHOV ANIQLIGIGA BO'LGAN TALAB

Ibragimov Umid Shuxratovich

Termiz shaharidagi "Zvezda Vostoka" xususiy

maktabi matematika fani o'qituvchisi

e-mail: shuhratovich2204@gmail.com

Sanoat robotlarining mutlaq pozitsiyalash aniqligi takrorlash aniqligidan bir-ikki tartibga past bo'lib, bu robotni CAD modeli asosida oflayn dasturlashga to'sqinlik qiladi. Kalibrlash bu farqni bartaraf etadi, biroq uning amalda joriy etilishini ikkita savol cheklaydi: xatolik modelining qaysi parametrlari o'lchovlar bo'yicha prinsipial aniqlanadi va buning uchun qanday aniqlikdagi o'lchov vositasi yetarli. Ko'pgina ishlarda birinchi savol oshkor tekshirilmaydi, ikkinchisi esa lazer treker foydasiga apriori hal qilinadi. Mazkur ishda ikkala savol yagona hisoblash tajribasida miqdoriy baholanadi.

Model va metodika. Tadqiqot obyekti sifatida olti erkinlik darajali antropomorf manipulyator qabul qilindi. Xatolik modeli uchta komponentni o'z ichiga oladi: har bir zveno uchun to'rtta geometrik og'ish (Δa , $\Delta \alpha$, Δd , $\Delta \theta$), parallel o'qli juftlik uchun qo'shimcha β burchagi, baza freymining olti parametri, asbob markazining uchta parametri hamda ikkinchi, uchinchi va beshinchi bo'g'inlar uchun podativlik koeffitsiyentlari. Jami $P = 37$ parametr. Identifikatsiya yakobiani markaziy ayirmalar usuli bilan sonli quriladi; rang tahlilidan oldin ustunlar normallashtiriladi, mustaqil ustunlar esa ustunlar bo'yicha pivotli QR-dekompozitsiya orqali ajratiladi. Shovqin tahlili Monte-Karlo sxemasida bajarildi: har bir σ qiymati uchun 40 ta mustaqil realizatsiya, kalibrlash 50 ta pozada, baholash esa kalibrlashda qatnashmagan 100 ta mustaqil pozada o'tkazildi.



Identifikatsiyalanuvchanlik. Natijalar 1-jadvalda keltirilgan. To'liq modelda 37 parametrdan faqat 27 tasi ajratiladi; qolgan 10 tasi mavjud o'lchov sxemasi orqali prinsipial aniqlanmaydi, chunki ularning ishchi organ pozitsiyasiga ta'siri boshqa parametrlar ta'siri bilan ustma-ust tushadi. Shu sababli to'liq modelning shartlanganlik soni cheksiz bo'lib qoladi, qisqartirilgan to'plamniki esa 50,7 ni tashkil etadi.

1-jadval. Xatolik modeli parametrlarining identifikatsiyalanuvchanligi

Model varianti	P	Rang	Ajratilmaydi	cond (qisqartirilgan)
Faqat geometrik	34	25	9	48,9
Geometrik + elastik	37	27	10	50,7
Geometrik + elastik, o'lchov nuqtasi ofseti bilan	37	29	8	20,0

Ajratilmaydigan parametrlar tarkibi mazmunli: birinchi bo'g'inning burchak siljishi baza freymining burilishi bilan, oxirgi bo'g'inning parametrlari esa asbob markazi koordinatalari bilan to'liq qoplanadi. Alohida e'tiborga loyiq natija – beshinchi bo'g'in podativligi koeffitsiyenti ham ajratilmadi: unga mos gravitatsion moment qiymati pozalar bo'yicha kam o'zgarganligi sababli uning ta'siri shu bo'g'inning doimiy burchak siljishidan farqlanmaydi. Bu podativlik parametrlarini identifikatsiyalash uchun o'lchov to'plamida yuklama momentining yetarli diapazonda o'zgarishi zarurligini ko'rsatadi.

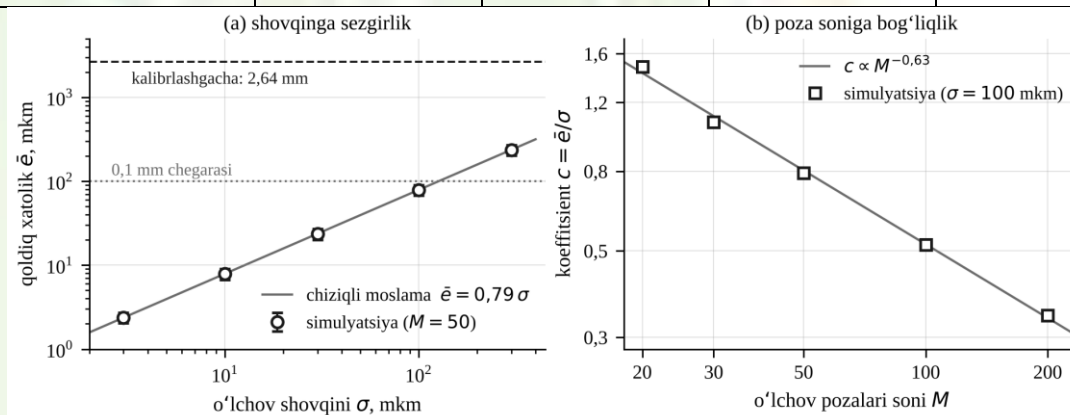
Rang poza soniga sezgir emas: 20 dan 120 gacha bo'lgan barcha to'plamlarda u o'zgarmay 27 ga teng bo'ldi. Demak, bu kattalik o'lchov rejasining emas, modelning strukturaviy xossasidir. Amaliy ahamiyatga ega kuzatuv shundan iboratki, o'lchov nuqtasini ishchi organ flanetsiga nisbatan ofset bilan o'rnatish identifikatsiyalanuvchi parametrlar sonini 27 dan 29 ga oshiradi va shartlanganlik sonini ikki yarim barobar yaxshilaydi – qo'shimcha jihozsiz erishiladigan sezilarli yutuq.



O'lchov aniqligiga bo'lgan talab. Rasmning (a) qismida σ ning 3 mkm dan 300 mkm gacha o'zgarishida qoldiq xatolikning o'zgarishi keltirilgan. Bog'liqlik qat'iy chiziqli: barcha nuqtalarda $\bar{e} \approx 0,79 \cdot \sigma$, nisbiy og'ish 1 % dan kam. Kalibrlashgacha bo'lgan o'rtacha xatolik 2,64 mm ni tashkil etadi.

2-jadval. O'lchov shovqinining qoldiq xatolikka ta'siri ($M = 50$ poza, 40 realizatsiya)

O'lchov vositasi sinfi	σ , mkm	$\bar{e}$, mkm	St. og'ish, mkm	Yaxshilanish
Lazer treker	3	2,4	0,4	1100 marta
Koordinata-o'lchash mashinasi	10	7,9	1,2	335 marta
Teleskopik ballbar	30	23,6	3,5	112 marta
Fotogrammetriya	100	78,8	11,5	33 marta
Texnik ko'ruv (stereo)	300	236,4	34,5	11 marta



Rasm. (a) o'lchov shovqinining qoldiq xatolikka ta'siri; (b) koefitsiyentning o'lchov pozalari soniga bog'liqligi

Koeffitsiyent o'lchov pozalari soniga bog'liq: rasmning (b) qismidagi moslama $c \approx M^{-0,63}$ darajali qonunni beradi, ya'ni pozalar sonini to'rt barobar oshirish koefitsiyentni taxminan ikki yarim barobar kamaytiradi. Bu σ va M o'rtasida almashinish imkonini beradi: arzonroq, lekin kamroq aniq vosita bilan ishlaganda o'lchovlar sonini oshirish hisobiga bir xil qoldiq xatolikka erishish mumkin.



Xulosa. Birinchidan, birlashtirilgan xatolik modelining parametrlari to'plami ortiqcha: 37 tadan 10 tasi prinsipial ajratilmaydi, shuning uchun identifikatsiyadan oldin rang tahlili majburiy bosqich bo'lishi kerak. Ikkinchidan, qoldiq xatolik o'lchov shovqiniga qat'iy chiziqli bog'liq bo'lib, koeffitsiyent 50 ta pozada 0,79 ni tashkil etadi. Bundan amaliy xulosa kelib chiqadi: 0,1 mm darajasidagi aniqlik talab qilinadigan vazifalar uchun aniqligi 100 mkm bo'lgan fotogrammetrik tizim yetarli va lazer treker zarur emas; lazer treker faqat 10 mkm dan yuqori aniqlik talab qilinganda asoslanadi. Uchinchidan, podativlik parametrlarini ajratish uchun o'lchov rejasi yuklama momentining o'zgarishini ta'minlashi lozim – bu kuzatuvchanlik indeksleri bilan hisobga olinmaydigan qo'shimcha talab va keyingi tadqiqot predmetidir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Hollerbach J. M., Wampler C. W. The calibration index and taxonomy for robot kinematic calibration methods // The International Journal of Robotics Research. – 1996. – Vol. 15, № 6. – P. 573–591.
2. Hayati S., Mirmirani M. Improving the absolute positioning accuracy of robot manipulators // Journal of Robotic Systems. – 1985. – Vol. 2, № 4. – P. 397–413.
3. Nubiola A., Bonev I. A. Absolute calibration of an ABB IRB 1600 robot using a laser tracker // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 2013. – Vol. 29, № 1. – P. 236–245.
4. Klimchik A., Wu Y., Caro S., Furet B., Pashkevich A. Geometric and elastostatic calibration of robotic manipulator using partial pose measurements // Advanced Robotics. – 2014. – Vol. 28, № 21. – P. 1419–1429.
5. Chen T., Yang W., Li S., Luo X. Data-driven calibration of industrial robots: a comprehensive survey // IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. – 2025. – Vol. 12, № 8. – P. 1544–1567.