

**KUZATUVCHANLIK INDEKSLARINING SAMARADORLIGI XATOLIK
MODELI TO'LIQLIGIGA BOG'LIQLIGI**

Ibragimov Umid Shuxratovich

Termiz shaharidagi "Zvezda Vostoka" xususiy
maktabi matematika fani o'qituvchisi

e-mail: shuhratovich2204@gmail.com

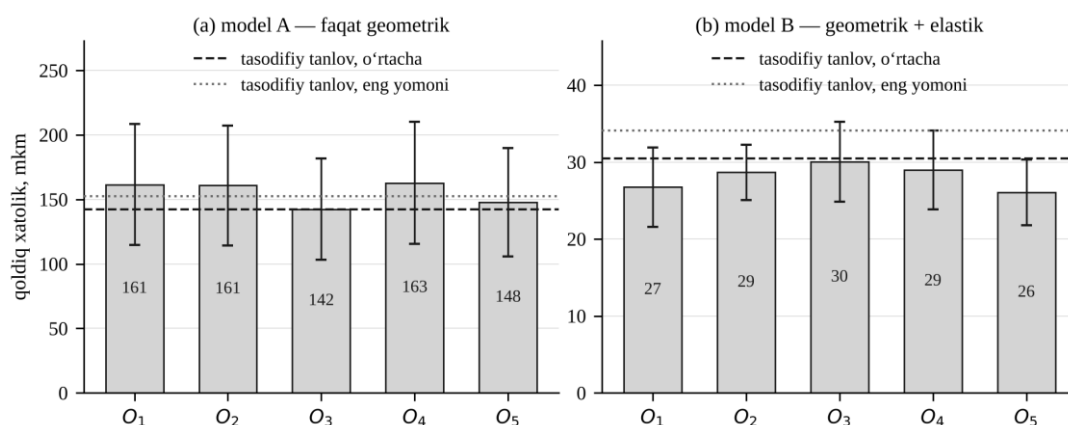
Robot kalibrlashda o'lchov pozalarini tanlash identifikatsiya yakobiani singulyar qiymatlari asosida qurilgan kuzatuvchanlik indeksini maksimallashtirish masalasiga keltiriladi. Adabiyotda beshta indeks keng qo'llanadi va ular tajriba rejalashtirish nazariyasidagi alifbo optimalliklari bilan bog'langan. Mavjud qiyosiy tadqiqotlarning umumiy xususiyati shundaki, ular indekslarni bitta qat'iy belgilangan xatolik modeli doirasida taqqoslaydi. Ushbu ishda boshqa savol qo'yiladi: model tarkibi o'zgarganda indekslarning samaradorlik tartibi saqlanadimi va ular umuman tasodifiy tanlovdan ustunlik beradimi.

Metodika. Olti erkinlik darajali manipulyator uchun 300 ta nomzod pozadan iborat to'plam shakllantirildi, ulardan 30 tasi tanlanadi. Ikkita model varianti ko'rib chiqildi: A – faqat geometrik xatoliklar (34 parametr, 25 tasi identifikatsiyalanuvchi); B – geometrik xatoliklar va bo'g'in podatliligi (37 parametr, 27 tasi identifikatsiyalanuvchi). Har bir indeks uchun pozalar DETMAX uslubidagi almashtirish algoritmi bilan tanlandi; barcha indekslar uchun boshlang'ich to'plam bir xil, bu taqqoslashning adolatliligini ta'minlaydi. Baholash 40 ta mustaqil realizatsiyada, $\sigma = 30$ mkm o'lchov shovqini sharoitida, kalibrlashda qatnashmagan 100 ta pozada o'tkazildi. Bazaviy variant sifatida 20 ta mustaqil tasodifiy tanlov qo'llanildi – nafaqat uning o'rtachasi, balki eng yomon natijasi ham qayd etildi.

Jadval. Kuzatuvchanlik indekslari bo'yicha tanlangan pozalardagi qoldiq xatolik, mkm

Model	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅
A (geometrik)	161,4	160,8	142,4	162,8	147,7
B (geom. + elastik)	26,7	28,7	30,0	29,0	26,1

Tasodifiy tanlov (20 tortish): model A – o'rtacha 142,4, eng yomoni 152,6 mkm; model B – o'rtacha 30,5, eng yomoni 34,1 mkm. Kalibrlashgacha bo'lgan xatolik 2,60 mm.



1-rasm. Indekslar bo'yicha tanlangan pozalardagi qoldiq xatolik: (a) to'liq bo'lmagan model; (b) to'liq model. Shtrixli chiziq – tasodifiy tanlovning o'rtachasi, nuqtali chiziq – eng yomon natijasi

Natijalar. A modelida, ya'ni robotda mavjud elastik deformatsiyalar modelda hisobga olinmaganda, barcha beshta indeks tasodifiy tanlov bilan amalda bir xil natija beradi: eng yaxshi indeks (O₃, 142,4 mkm) tasodifiy tanlovning o'rtachasiga (142,4 mkm) teng, O₁, O₂ va O₄ esa hatto tasodifiy tanlovning eng yomon natijasidan (152,6 mkm) ham yomonroq. Sababi aniq: bu holatda qoldiq xatolik o'lchov shovqinining

kuchayishi bilan emas, balki model nomuvofiqligi bilan chegaralanadi – hisobga olinmagan podatlilik taxminan 140 mkm darajasida quyi chegara hosil qiladi va pozalarni tanlash bu chegarani pasaytira olmaydi.

B modelida vaziyat o'zgaradi: eng yaxshi indekslar ($O_5 - 26,1$ mkm va $O_1 - 26,7$ mkm) tasodifiy tanlovning o'rtachasidan 14 % ga, eng yomon tortishidan esa 23 % ga ustun. Shu bilan birga O_3 (30,0 mkm) tasodifiy tanlovning o'rtachasidan yaxshiroq emas.

Eng muhim kuzatuv – indekslarning tartibi ikkita modelda deyarli teskari. A modelida tartib $O_3 < O_5 < O_2 < O_1 < O_4$, B modelida esa $O_5 < O_1 < O_2 < O_4 < O_3$. Minimal singulyar qiymatga asoslangan O_3 indeksi birinchi holatda eng yaxshi, ikkinchisida eng yomon natija beradi. Demak, bitta model uchun aniqlangan «eng yaxshi indeks» boshqa tarkibdagi modelga ko'chirilmaydi.

Xulosa. Kuzatuvchanlik indeksi bo'yicha pozalarni tanlash faqat xatolik modeli to'liq bo'lgan sharoitda foyda beradi. Model to'liq bo'lmasa, qoldiq xatolik model nomuvofiqligi bilan chegaralanadi va tanlashga sarflangan hisoblash resursi natijaga ta'sir qilmaydi – bu holatda tanlash algoritmini takomillashtirishdan ko'ra modelni to'ldirish ustuvor. To'liq modelda ham ustunlik mutlaq emas: o'rtacha bo'yicha 14 % ni tashkil etadi, biroq eng yomon holatdan himoya qilish nuqtai nazaridan ahamiyati kattaroq (23 %). Nihoyat, indekslarning samaradorlik tartibi model tarkibiga bog'liq, shuning uchun indeks tanlovi har bir aniq model uchun alohida asoslanishi lozim. Olingan natijalar o'lchov tajribasini rejalashtirishda model to'liqligini tekshirish bosqichini tanlash bosqichidan oldin bajarish zarurligini ko'rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Borm J. H., Menq C. H. Determination of optimal measurement configurations for robot calibration based on observability measure // The International Journal of Robotics Research. – 1991. – Vol. 10, № 1. – P. 51–63.
2. Driels M. R., Pathre U. S. Significance of observation strategy on the design of robot calibration experiments // Journal of Robotic Systems. – 1990. – Vol. 7, № 2. – P. 197–223.
3. Nahvi A., Hollerbach J. M. The noise amplification index for optimal pose selection in robot calibration // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. – Minneapolis, 1996. – P. 647–654.

4. Sun Y., Hollerbach J. M. Observability index selection for robot calibration // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. – Pasadena, 2008. – P. 831–836.
5. Xiang T., Gao C., Du B., Qiao G., Zuo H. Pose selection based on a hybrid observation index for robotic accuracy improvement // Machines. – 2024. – Vol. 12, № 8. – Art. 501.