

SUN'IY INTELLEKT ASOSIDAGI AQLLI ROBOTLARDA REAL VAQTLI BOSHQARUV MUAMMOLARI VA ULARNING YECHIMLARI

Duskobilova Faxriniso Abdimalik qizi

fduskobilova14@gmail.com

Termiz davlat universiteti, Axborot texnologiyalari fakulteti,

Kompyuter injiniringi yo'nalishi, 3-bosqich talabasi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20675466>

Annotatsiya: Ushbu maqolada sun'iy intellekt asosida faoliyat yurituvchi aqlli robototexnika tizimlarida real vaqtli boshqaruvni amalga oshirish jarayonida yuzaga keladigan asosiy texnik muammolar tahlil qilinadi. Xususan, hisoblash kechikishi (latency), hisoblash resurslarining cheklanganligi, sensor ma'lumotlarini real vaqt rejimida qayta ishlash va dasturiy-apparat integratsiyasi masalalari ko'rib chiqiladi. Mavjud ilmiy adabiyotlar asosida ushbu muammolarning sabab-oqibat bog'liqligi aniqlanadi hamda ularni bartaraf etishning zamonaviy yondashuvlari — periferik hisoblash (edge computing), neyron tarmoqlarni optimallashtirish usullari va ROS integratsiyasi — tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari aqlli robototexnika tizimlarining samaradorligi va ishonchliligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: aqlli robotlar, periferik hisoblash, o'rnatilgan tizimlar, hisoblash kechikishi, real vaqtli boshqaruv, sun'iy intellekt, neyron tarmoqlarni optimallashtirish.

So'nggi o'n yillikda sun'iy intellekt texnologiyalarining jadal rivojlanishi robototexnika sohasida yangi avlod aqlli tizimlarning yaratilishiga zamin hozirladi. Bunday robotlar atrof-muhitni tahlil qilish, mustaqil qaror qabul qilish va murakkab vazifalarni bajarish imkoniyatiga ega [1]. Sanoat avtomatlashtirish, tibbiy diagnostika, logistika va avtonom transport kabi sohalarda real vaqt rejimida ishlovchi robototexnika tizimlariga bo'lgan talab yil sayin ortib bormoqda.

Biroq sun'iy intellekt algoritmlarining yuqori hisoblash talabchanligi aqlli robotlarda real vaqtli boshqaruvni ta'minlashni murakkablashtiradi. Kechikish (latency) muammosi robotning noto'g'ri yoki kech harakatlanishiga olib kelishi mumkin [2]. Shu sababli real vaqtli boshqaruv muammolarini tizimli tahlil qilish va samarali yechimlar ishlab chiqish zamonaviy robototexnikaning dolzarb ilmiy-amaliy vazifalaridan biri hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — sun'iy intellekt asosidagi aqlli robototexnika tizimlarida real vaqtli boshqaruvni amalga oshirish jarayonida yuzaga keladigan asosiy muammolarni aniqlab, ularni bartaraf etishning zamonaviy yondashuvlarini ilmiy asoslab berish.

Sun'iy intellekt asosida faoliyat yurituvchi aqlli robototexnika tizimlarida real vaqtli boshqaruvni ta'minlash zamonaviy robototexnika oldida turgan eng murakkab muammolardan biridir. Bunday tizimlar tashqi muhitdan kelayotgan katta hajmdagi sensor ma'lumotlarini — kamera, ultratovush va inertsia sensorlari ko'rsatkichlarini — tezkor qabul qilishi, qayta ishlashi hamda qat'iy belgilangan vaqt chegarasida aniq qaror qabul qilishi talab etiladi. Real vaqtli boshqaruvda har bir millisekund muhim bo'lib, kechikishlar robotning noto'g'ri harakatlanishiga, xavfsizlik darajasining pasayishiga va tizim samaradorligining kamayishiga olib keladi [3].

Ko'pgina robototexnika tizimlari o'rnatilgan (embedded) platformalar asosida qurilgan bo'lib, ularning protsessor quvvati va xotira hajmi katta hajmdagi sun'iy intellekt modellarini real vaqt rejimida bajarish uchun yetarli emas [4]. Chuqur neyron tarmoqlar asosidagi qaror qabul qilish mexanizmlari ko'pincha belgilangan vaqt oralig'idan kechikib bajariladi. Ayniqsa, mobil robotlar va avtonom tizimlarda millisekund darajasidagi kechikishlar ham noto'g'ri qarorlar qabul qilinishiga sabab bo'ladi [3].

Sensordan kelayotgan ma'lumotlarning katta hajmi va shovqinlilik (noise) xususiyati real vaqtli qayta ishlash jarayonini yanada murakkablashtiradi. Kamera, ultratovush va inertsia sensorlaridan kelayotgan ma'lumot oqimini dastlabki filtrlamasdan qayta ishlash robotning atrof-muhitni noto'g'ri talqin qilishiga olib kelishi mumkin [2]. Shu bois real vaqtli boshqaruv tizimlarida sensor ma'lumotlarini tezkor, ishonchli va aniq tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi.

Ilmiy tadqiqotlarda sensorlar birlashtirish (sensor fusion) va signalni dastlabki qayta ishlash (preprocessing) usullari ushbu muammoni bartaraf etishning samarali yo'li sifatida ko'rsatilgan [2]. Sensorlar birlashtirish bir nechta sensordan kelayotgan ma'lumotlarni birlashtirish orqali atrof-muhitning aniq va to'liq modelini yaratadi; dastlabki qayta ishlash esa shovqinni kamaytiradi va faqat foydali ma'lumotlarni real vaqt algoritmlariga uzatadi.

Mazkur muammolarni bartaraf etishda periferik hisoblash texnologiyalaridan foydalanish eng samarali yechimlardan biri hisoblanadi. Hisoblash jarayonlarini markaziy serverlarga uzatmasdan, bevosita robototexnika tizimining o'zida yoki unga yaqin qurilmalarda amalga oshirish orqali ma'lumot uzatish kechikishlari sezilarli darajada kamayadi [5]. Masalan, mobil robotda to'siqni aniqlash va undan qochish vazifasi periferik hisoblash asosida bajarilganda, qaror qabul qilish vaqti bulutli hisoblashga nisbatan ancha qisqaradi, bu esa robotning xavfsiz va barqaror harakatlanishini ta'minlaydi.

Quyidagi 1-jadvalda periferik hisoblash va bulutli hisoblash tizimlaridagi kechikish ko'rsatkichlari taqqoslanishi keltirilgan.

Tizim turi	O'rtacha kechikish (ms)	Real vaqtli javob imkoniyati
Bulutli hisoblash	120–150	Past
Periferik hisoblash	15–25	Yuqori

1-jadval. Periferik va bulutli hisoblash tizimlarida kechikish (latency) taqqoslanishi

Jadval ma'lumotlari periferik hisoblashning real vaqtli boshqaruv uchun ancha moslashuvchan va tezkor yechim ekanini ko'rsatadi: kechikish ko'rsatkichi bulutli hisoblashga nisbatan 5–10 baravar pastdir.

Sun'iy intellekt modellarini yengillashtirish — ya'ni model siqish (model compression), keraksiz parametrlarni olib tashlash (pruning) va kvantlashtirish (quantization) usullarini qo'llash — orqali hisoblash murakkabligini pasaytirish mumkin. Ushbu yondashuv chuqur neyron tarmoqlarning aniqligini saqlab qolgan holda ularning hisoblash yuklamasini kamaytiradi va o'rnatilgan tizimlar sharoitida real vaqtli boshqaruvni amalga oshirish imkonini beradi.

Model siqish yordamida neyron tarmoq parametrlari kamaytiriladi; keraksiz parametrlarni olib tashlash modeldagi ahamiyatsiz bog'lanishlarni bartaraf etadi; kvantlashtirish esa hisoblashni 32-bitli suzuvchi nuqtali (floating-point) formatdan 8-bitli yoki 16-bitli formatga o'tkazib, samaradorlikni oshiradi. Natijada o'rnatilgan tizimlar sharoitida real vaqtli boshqaruvni amalga oshirish sezilarli darajada osonlashadi, shu bilan birga energiya sarfi kamayadi va robototexnika tizimining uzoq muddatli ishlash qobiliyati yaxshilanadi.

Dasturiy va apparat ta'minot o'rtasidagi integratsiyani optimallashtirish real vaqtli boshqaruvni ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Robot operatsion tizimi (ROS — Robot Operating System) kabi platformalar yordamida modulli, moslashuvchan va real vaqt talablariga javob beruvchi boshqaruv arxitekturalarini ishlab chiqish mumkin [6]. Bunday arxitektura robototexnika tizimining alohida komponentlarini mustaqil boshqarish va ularni real vaqt rejimida muvofiqlashtirish imkonini beradi.

Real vaqtli boshqaruvni yanada samarali qilish uchun quvur qatorasiga ishlov berish (pipeline parallelism), ya'ni sensor ma'lumotlarini qayta ishlash, qaror qabul qilish va ijrochilarni boshqarish jarayonlarini alohida bajarilish oqimlari (thread) yoki protsessor yadrolarida parallel amalga oshirish tavsiya etiladi. Bundan tashqari, ustuvor rejalashtirish (priority scheduling) yordamida muhim vazifalar — masalan, to'siqni aniqlash algoritmi — birinchi navbatda bajarilishi ta'minlanadi. Ushbu yondashuvlar birlashtirilganda, real vaqtli boshqaruv tizimining aniqligi va barqarorligi sezilarli darajada oshadi.

Istiqbolda neyromorfik hisoblash (neuromorphic computing) va dasturlashtiriladigan mantiqiy integral sxemalar (FPGA — Field-Programmable Gate Array) yoki grafik ishlov berish qurilmalari (GPU — Graphics Processing Unit) asosidagi optimizatsiya real vaqtli boshqaruvni yanada tez va energiya jihatdan samarali qilishi mumkin. Neyromorfik hisoblash inson miyasidagi neyronlar ishlashini taqlid qiluvchi hisoblash yondashuvi bo'lib, parallel va energiya tejaydigan hisoblash imkoniyatini beradi. FPGA yoki GPU texnologiyalari yordamida esa hisoblash jarayonlarini apparat darajasida tezlashtirish mumkin, bu katta hajmdagi sun'iy intellekt modellari uchun real vaqtli ishlash imkoniyatini kengaytiradi.

Xulosa. Ushbu tadqiqot sun'iy intellekt asosida faoliyat yurituvchi aqlli robototexnika tizimlarida real vaqtli boshqaruvni samarali tashkil etish zamonaviy robototexnika uchun muhim ilmiy-amaliy vazifa ekanini ko'rsatdi. Tahlillar natijasida asosiy muammo sifatida sun'iy intellekt algoritmlarining yuqori hisoblash talabchanligi va o'rnatilgan tizimlarning cheklangan resurslari sababli yuzaga keladigan kechikishlar aniqlandi.

Mazkur muammoni hal etish uchun robototexnika boshqaruv tizimlarida hisoblash jarayonlarini lokal darajada tashkil etish (periferik hisoblash), yengillashtirilgan sun'iy intellekt modellaridan foydalanish hamda dasturiy va apparat komponentlar o'rtasidagi integratsiyani optimallashtirish zarurligi ilmiy asoslab berildi. Taklif etilgan yondashuvlarning kombinatsiyasi — sensorlar birlashtirish, model optimallashtirish, periferik hisoblash va ROS integratsiyasi — aqlli robototexnika tizimlarining tezkorligi, aniqligi, ishonchliligi va energiya samaradorligini oshirishga, shuningdek murakkab real muhitda xavfsiz va barqaror ishlashini ta'minlashga xizmat qiladi.

Kelajakdagi tadqiqotlarda neyromorfik hisoblash arxitekturalarini va FPGA/GPU texnologiyalarini real vaqtli robototexnika tizimlariga integratsiya qilish masalalarini chuqurroq o'rganish tavsiya etiladi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Russell S.J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. — Hoboken: Pearson, 2021. — 1168 p. — ISBN: 978-0-13-461099-3.
2. Siciliano B., Khatib O. (eds.) Springer Handbook of Robotics. 2nd ed. — Berlin; Heidelberg: Springer, 2016. — 2227 p. — ISBN: 978-3-319-32550-7. — DOI: 10.1007/978-3-319-32552-1.
3. Buttazzo G.C. Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications. 3rd ed. — New York: Springer, 2011. — 524 p. — ISBN: 978-1-4614-0675-4. — DOI: 10.1007/978-1-4614-0676-1.
4. Shi W., Dustdar S. The promise of edge computing // Computer. — 2016. — Vol. 49, No. 5. — P. 78–81. — DOI: 10.1109/MC.2016.145.
5. Han S., Pool J., Tran J., Dally W.J. Learning both weights and connections for efficient neural networks // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). — 2015. — Vol. 28. — P. 1135–1143. — URL: <https://arxiv.org/abs/1506.02626>.

Quigley M., Conley K., Gerkey B., Faust J., Foote T., Leibs J., Wheeler R., Ng A.Y. ROS: an open-source robot operating system // Proceedings of the ICRA Workshop on Open Source Software. — Kobe, Japan, 2009. — Vol. 3. — P. 5. — URL: <https://www.ros.org>