

SUN'YI INTELLEKT ASOSIDA O'RNATILGAN TIZIMLARDA REAL VAQTLI QAROR QABUL QILISH ALGORITMLARINI OPTIMALLASHTIRISH**Soliyev Maqsudjon Murodjon o'g'li****Mirzayev Muhammadkarim Muzaffar o'g'li**

Farg'ona Davlat texnika universiteti

Axborot texnologiyalari va telekommunikatsiya fakulteti

Sun'iy Intelekt yo'nalishi 3-bosqich 72-23SI-guruh talabasi.

Abdulxamidov Azizjon Abdulla o'g'li

Farg'ona Davlat texnika universiteti, Axborot texnologiyalari va telekommunikatsiya fakulteti,

Kompyuter muhandisligi va sun'iy intellekt kafedrası dotsenti, PhD.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20030716>

Annotatsiya. Mazkur ilmiy maqolada sun'iy intellekt asosida ishlovchi o'rnatilgan tizimlarda real vaqt rejimida qaror qabul qilish algoritmlarini optimallashtirish masalasi IMRAD yondashuvi asosida tahlil qilinadi. Bugungi kunda o'rnatilgan tizimlar sanoat avtomatlashtirish, aqlli transport, tibbiy monitoring, robototexnika, harbiy texnologiyalar, "aqlli shahar" infratuzilmalari va Internet of Things tizimlarida keng qo'llanilmoqda. Bunday tizimlarning asosiy talabi — cheklangan hisoblash resurslari, kam energiya sarfi va minimal kechikish sharoitida aniq hamda ishonchli qaror qabul qilishdan iborat.

Tadqiqotda real vaqt tizimlarining asosiy ko'rsatkichlari — kechikish, aniqlik, hisoblash murakkabligi, energiya samaradorligi, xotira sarfi va tizim barqarorligi ilmiy jihatdan yoritiladi.

Shuningdek, mashinaviy o'rganish, chuqur o'rganish va mustahkamlovchi o'rganish algoritmlarining o'rnatilgan tizimlarda qo'llanish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Maqolada modelni siqish, pruning, quantization, edge computing, parallel hisoblash va apparatga mos optimallashtirish yondashuvlari orqali real vaqt tizimlarida qaror qabul qilish samaradorligini oshirish yo'llari asoslab beriladi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, real vaqtli sun'iy intellekt tizimlarida yuqori aniqlikka erishishning o'zi yetarli emas; algoritm belgilangan vaqt chegarasida ishlashi, apparat resurslariga moslashishi va o'zgaruvchan muhitga adaptatsiya qila olishi zarur. Shu bois, optimal natijaga erishish uchun algoritmik, apparat va tizimli optimallashtirish usullarini kompleks qo'llash talab etiladi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, o'rnatilgan tizimlar, real vaqt tizimlari, qaror qabul qilish, algoritm optimallashtirish, mashinaviy o'rganish, chuqur o'rganish, mustahkamlovchi o'rganish, edge computing, latency, pruning, quantization, model compression, parallel hisoblash, IoT, adaptiv tizimla

Аннотация. В данной научной статье на основе подхода IMRAD анализируется проблема оптимизации алгоритмов принятия решений в реальном времени в интеллектуальных встроенных системах. В настоящее время встроенные системы широко применяются в промышленной автоматизации, интеллектуальном транспорте, медицинском мониторинге, робототехнике, военных технологиях, инфраструктуре «умного города» и системах Интернета вещей. Основное требование к таким системам заключается в обеспечении точного и надежного принятия решений при ограниченных вычислительных ресурсах, низком энергопотреблении и минимальной задержке.

В исследовании научно освещаются основные показатели систем реального времени, такие как задержка, точность, вычислительная сложность, энергоэффективность, использование памяти и устойчивость системы.

Также анализируются возможности применения алгоритмов машинного обучения, глубокого обучения и обучения с подкреплением во встроенных системах. В статье обосновываются пути повышения эффективности принятия решений в реальном времени посредством сжатия моделей, pruning, quantization, edge computing, параллельных вычислений и аппаратно-ориентированной оптимизации.

Результаты анализа показывают, что в интеллектуальных системах реального времени одной только высокой точности недостаточно; алгоритм должен работать в заданных временных пределах, адаптироваться к аппаратным ресурсам и изменяющейся среде. Поэтому для достижения оптимальных результатов необходимо комплексное применение алгоритмических, аппаратных и системных методов оптимизации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, встроенные системы, системы реального времени, принятие решений, оптимизация алгоритмов, машинное обучение, глубокое обучение, обучение с подкреплением, edge computing, задержка, pruning, quantization, сжатие модели, параллельные вычисления, IoT, адаптивные системы.

Abstract. This scientific article analyzes the problem of optimizing real-time decision-making algorithms in artificial intelligence-based embedded systems using the IMRAD approach.

Today, embedded systems are widely used in industrial automation, intelligent transportation, medical monitoring, robotics, military technologies, smart city infrastructure, and Internet of Things systems. The main requirement for such systems is to ensure accurate and reliable decision-making under limited computational resources, low energy consumption, and minimal latency.

The study scientifically examines the key performance indicators of real-time systems, including latency, accuracy, computational complexity, energy efficiency, memory usage, and system stability. In addition, the applicability of machine learning, deep learning, and reinforcement learning algorithms in embedded systems is analyzed. The article substantiates ways to improve the efficiency of real-time decision-making through model compression, pruning, quantization, edge computing, parallel computing, and hardware-aware optimization approaches.

The analysis shows that achieving high accuracy alone is not sufficient in real-time artificial intelligence systems; the algorithm must operate within specified time constraints, adapt to hardware resources, and respond effectively to a changing environment. Therefore, achieving optimal results requires the integrated application of algorithmic, hardware-based, and system-level optimization methods.

Keywords: artificial intelligence, embedded systems, real-time systems, decision-making, algorithm optimization, machine learning, deep learning, reinforcement learning, edge computing, latency, pruning, quantization, model compression, parallel computing, IoT, adaptive systems.

Kirish

Zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari rivojlanishi natijasida sun'iy intellekt algoritmlari nafaqat yirik serverlar yoki bulutli hisoblash muhitlarida, balki bevosita kichik o'lchamli o'rnatilgan qurilmalarda ham faol qo'llanila boshladi.

O'rnatilgan tizimlar — bu muayyan vazifani bajarishga mo'ljallangan, apparat va dasturiy komponentlari bir butun holda ishlaydigan maxsus hisoblash tizimlaridir.

Ular maishiy texnikadan tortib avtomobil boshqaruv bloklari, tibbiy qurilmalar, sanoat robotlari, dronlar va aqlli sensor tarmoqlarigacha bo'lgan ko'plab sohalarda uchraydi.

Sun'iy intellektning bunday tizimlarga integratsiya qilinishi ularning funksional imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi. Masalan, oddiy sensorli qurilma faqat signalni o'lchasa, sun'iy intellekt bilan jihozlangan tizim ushbu signalni tahlil qiladi, holatni baholaydi, xavfni aniqlaydi va mustaqil qaror qabul qiladi. Ayniqsa, real vaqt rejimida ishlovchi tizimlarda qaror qabul qilish jarayoni juda katta ahamiyatga ega. Chunki bunday tizimlarda natija nafaqat to'g'ri bo'lishi, balki belgilangan vaqt oralig'ida chiqarilishi ham shart.

Real vaqt tizimlarining muhim xususiyati shundaki, ularda kechikish tizim sifati va xavfsizligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Masalan, avtonom transport vositasida to'siqni aniqlash algoritmi bir necha millisekund kechiksa, bu yo'l-transport hodisasiga sabab bo'lishi mumkin.

Tibbiy monitoring tizimida yurak urishi yoki qon bosimidagi xavfli o'zgarish kech aniqlansa, bemor hayoti xavf ostida qoladi. Sanoat robotlarida esa noto'g'ri yoki kechikkan qaror ishlab chiqarish jarayonining buzilishi, iqtisodiy zarar yoki texnik avariya olib kelishi mumkin.

Shu sababli, sun'iy intellekt asosidagi o'rnatilgan tizimlarda qaror qabul qilish algoritmlarini optimallashtirish dolzarb ilmiy-amaliy muammo hisoblanadi. Optimallashtirishdan asosiy maqsad — algoritmning aniqligini saqlagan holda uning ishlash tezligini oshirish, xotira sarfini kamaytirish, energiya tejamkorligini ta'minlash va real vaqt talablariga moslashtirishdir.

Ayniqsa, o'rnatilgan qurilmalar odatda cheklangan protsessor quvvati, kam operativ xotira va batareya energiyasi bilan ishlashi sababli, ularda og'ir chuqur o'rganish modellarini to'g'ridan-to'g'ri qo'llash doimo ham samarali bo'lavermaydi.

Ilmiy adabiyotlarda ushbu muammoni hal qilish uchun bir qator yondashuvlar taklif etilgan. Jumladan, MobileNet kabi yengil neyron tarmoq arxitekturalari mobil va o'rnatilgan qurilmalar uchun ishlab chiqilgan bo'lib, ular chuqur ajratilgan konvolyutsiyalar orqali hisoblash yuklamasini kamaytiradi hamda latency va accuracy o'rtasida muvozanat yaratadi. Deep Compression yondashuvi esa pruning, trained quantization va Huffman coding orqali neyron tarmoqlar hajmini sezilarli kamaytirish mumkinligini ko'rsatgan. Edge computing konsepsiyasi ma'lumotlarni markaziy bulutga yubormasdan, ularni manbaga yaqin joyda qayta ishlash orqali kechikish va tarmoq yuklamasini kamaytirishga xizmat qiladi.

Mazkur maqolaning asosiy maqsadi — sun'iy intellekt asosida ishlovchi o'rnatilgan tizimlarda real vaqtli qaror qabul qilish algoritmlarini optimallashtirishning nazariy asoslari, amaliy usullari va samaradorlik mezonlarini ilmiy jihatdan tahlil qilishdan iborat.

Metodlar

Ushbu tadqiqotda sun'iy intellekt asosida o'rnatilgan tizimlarda real vaqtli qaror qabul qilish algoritmlarini o'rganish uchun kompleks ilmiy-metodologik yondashuv qo'llanildi.

Tadqiqot jarayoni tizimli tahlil, solishtirma tahlil, modellashtirish, algoritmik baholash va umumlashtirish usullariga asoslandi.

Birinchi bosqichda real vaqt tizimlari va o'rnatilgan tizimlarning nazariy asoslari tahlil qilindi. Bunda tizimning apparat komponentlari, dasturiy ta'minoti, sensorlardan keluvchi ma'lumotlar oqimi, qaror qabul qilish moduli va boshqaruv mexanizmlari o'rtasidagi bog'liqlik o'rganildi. Real vaqt tizimlari uchun muhim bo'lgan latency, throughput, response time, energy consumption va memory footprint kabi ko'rsatkichlar asosiy baholash mezonlari sifatida tanlab olindi.

Baholash mezonlari	Mazmuni	Tizimdagi ahamiyati
Latency	Qaror chiqarishgacha bo'lgan kechikish vaqti	Real vaqt talabini belgilaydi
Accuracy	Modelning to'g'ri qaror chiqarish darajasi	Qaror sifatini ko'rsatadi
Energy consumption	Qurilmaning energiya sarfi	Batareyali tizimlar uchun muhim
Memory footprint	Model egallaydigan xotira hajmi	Mikrokontroller va IoT qurilmalar uchun muhim
Throughput	Ma'lumotlarni qayta ishlash tezligi	Katta oqimdagi ma'lumotlar uchun zarur
Stability	Tizimning barqaror ishlashi	Xavfsizlik va ishonchlikni ta'minlaydi

Real vaqtli o'rnatilgan tizimlarning asosiy baholash mezonlari

Ikkinchi bosqichda sun'iy intellekt algoritmlari guruhlariga ajratildi. Mashinaviy o'rganish algoritmlari, jumladan, qaror daraxtlari, support vector machine, random forest va gradient boosting modellari real vaqt tizimlarida yengil ishlashi, tushuntiriluvchanligi va nisbatan past hisoblash murakkabligi bilan baholandi. Chuqur o'rganish algoritmlari esa yuqori aniqlik berishi, lekin katta hisoblash resurslarini talab qilishi sababli alohida tahlil qilindi.

Mustahkamlovchi o'rganish algoritmlari dinamik muhitlarda agentning mukofot asosida optimal strategiya tanlash imkonini berishi bilan ajralib turadi; bu yondashuv murakkab va o'zgaruvchan real vaqt tizimlari uchun istiqbolli hisoblanadi. Sutton va Barto ta'rifiga ko'ra, reinforcement learning agentning muhit bilan o'zaro ta'siri davomida umumiy mukofotni maksimal qilishga qaratilgan hisoblash yondashuvidir.

Uchinchi bosqichda algoritmlarni optimallashtirish usullari tizimlashtirildi. Bunda quyidagi yondashuvlar asosiy tahlil obyekti sifatida olindi:

Modelni soddalashtirish — murakkab model o'rniga yengil arxitekturadan foydalanish.

Pruning — modeldagi kam ahamiyatli neyronlar yoki ulanishlarni olib tashlash.

Quantization — model og'irliklarini yuqori aniqlikdagi formatdan past aniqlikdagi formatga o'tkazish.

Knowledge distillation — katta model bilimni kichik modelga o'tkazish.

Parallel hisoblash — GPU, TPU yoki ko'p yadroli protsessorlardan foydalanish.

Edge computing — ma'lumotni qurilma yoki unga yaqin tugunda qayta ishlash.

Hardware-aware optimization — algoritmnin aniq apparat platformaga moslashtirish.

To'rtinchi bosqichda aniqlik va tezlik o'rtasidagi muvozanat konseptual model sifatida baholandi. Real vaqt tizimlarida algoritmnin foydaliligi faqat accuracy orqali emas, balki u qancha vaqt ichida javob qaytarishi, qancha energiya sarflashi va qurilma xotirasiga qanchalik mos kelishi bilan ham belgilanadi. Shu bois maqolada ko'p mezonli optimallashtirish yondashuvi asos sifatida qabul qilindi.

Natijalar

Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, sun'iy intellekt asosidagi o'rnatilgan tizimlarda qaror qabul qilish algoritmlarining samaradorligi bir nechta asosiy omillarga bog'liq: algoritm murakkabligi, ma'lumotlar oqimining hajmi, apparat imkoniyatlari, model hajmi, energiya sarfi, tarmoq kechikishi va muhitning o'zgaruvchanlik darajasi.

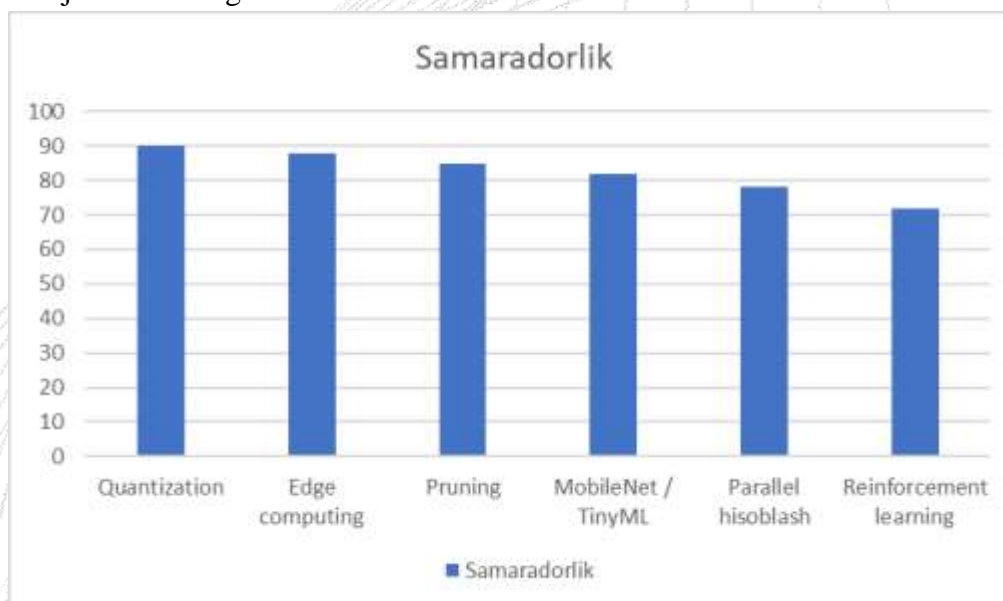
Birinchi muhim natija shundan iboratki, an'anaviy chuqur o'rganish modellari yuqori aniqlikni ta'minlashda, ular real vaqt o'rnatilgan tizimlari uchun har doim ham optimal yechim bo'la olmaydi. Chunki katta neyron tarmoqlar millionlab parametrlarni o'z ichiga oladi va ularni bajarish uchun kuchli protsessor, katta xotira hamda yuqori energiya talab qilinadi. Bu esa mikrokontroller, sensor tugunlari, mobil qurilmalar va IoT platformalarida muammo tug'diradi.

Ikkinchi natija shuni ko'rsatadiki, yengil arxitekturalar real vaqt tizimlari uchun yuqori amaliy ahamiyatga ega. MobileNet turidagi modellar chuqur ajratilgan konvolyutsiyalardan foydalanib, hisoblashlar sonini kamaytiradi va mobil hamda o'rnatilgan qurilmalarda sun'iy intellektni qo'llash imkonini kengaytiradi. MobileNet tadqiqotida model o'lchami va kechikish darajasini boshqarish uchun maxsus giperparametrlar taklif qilingan bo'lib, bu amaliy tizimlarda latency va accuracy o'rtasida mos muvozanat tanlash imkonini beradi.

Uchinchi natija model compression usullarining samaradorligi bilan bog'liq. Deep Compression tadqiqotida pruning, quantization va Huffman coding kombinatsiyasi neyron tarmoqlar hajmini 35–49 baravargacha kamaytirishi mumkinligi ko'rsatilgan. Bunday yondashuv o'rnatilgan tizimlarda modelni kichik xotiraga joylashtirish, xotira murojaatlarini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirish uchun muhim hisoblanadi.

To'rtinchi natija edge computing yondashuvining real vaqt tizimlaridagi ahamiyatini ko'rsatadi. Agar barcha ma'lumotlar bulutli serverga yuborilsa, tarmoq kechikishi va uzilishlar qaror qabul qilish jarayoniga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Edge computing esa hisoblash jarayonini ma'lumot manbasiga yaqinlashtiradi. Shi va boshqalar tomonidan ilgari surilgan edge computing konsepsiyasi IoT va real vaqt ilovalari uchun bulutli hisoblashning ayrim cheklovlarini kamaytirish zarurligini asoslaydi.

Beshinchi natija shundan iboratki, mustahkamlovchi o'rganish algoritmlari dinamik va oldindan to'liq aniqlanmagan muhitlarda samarali bo'lishi mumkin. Bunday tizimlarda agent muhit bilan o'zaro ta'sir qilib, tajriba asosida optimal harakat strategiyasini shakllantiradi. Bu yondashuv avtonom robotlar, dronlar, avtomatik boshqaruv tizimlari va aqlli transport tizimlarida dolzarb hisoblanadi. Biroq reinforcement learning algoritmlarini real vaqt tizimlarida qo'llashda o'qitish jarayonining murakkabligi, xavfsiz eksploratsiya muammosi va hisoblash xarajatlari inobatga olinishi lozim.



Optimallashtirish usullarining samaradorlikka ta'siri

Quyidagi jadval asosiy optimallashtirish yondashuvlarining real vaqt o‘rnatilgan tizimlar uchun ahamiyatini umumlashtiradi:

Optimallashtirish usuli	Asosiy vazifasi	Real vaqt tizimidagi foydasi	Cheklovi
Pruning	Keraksiz neyron yoki ulanishlarni olib tashlash	Model hajmi va hisoblash yukini kamaytiradi	Noto‘g‘ri qo‘llansa aniqlik pasayadi
Quantization	Model og‘irliklarini past aniqlikka o‘tkazish	Tezlik va energiya samaradorligini oshiradi	Ayrim vazifalarda aniqlik kamayishi mumkin
MobileNet kabi yengil modellar	Soddalashtirilgan neyron tarmoq arxitekturasi	Mobil va IoT qurilmalarga mos keladi	Juda murakkab vazifalarda cheklangan bo‘lishi mumkin
Edge computing	Ma‘lumotni lokal qurilmada qayta ishlash	Kechikish va tarmoq yukini kamaytiradi	Edge qurilma resurslari cheklangan
Parallel hisoblash	Hisoblashni bir nechta oqimga bo‘lish	Katta hajmdagi ma‘lumotlarni tez qayta ishlaydi	Kuchli apparat talab qiladi
Reinforcement learning	Tajriba asosida optimal qaror topish	Dinamik muhitga moslashadi	O‘qitish jarayoni murakkab va vaqt talab qiladi

Real vaqtli o‘rnatilgan tizimlarda optimallashtirish usullarining taqqoslanishi

Muhokama

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, sun‘iy intellekt asosidagi o‘rnatilgan tizimlarda real vaqtli qaror qabul qilish algoritmlarini optimallashtirish faqat bitta texnik usul bilan hal qilinadigan masala emas. Bu muammo algoritmik, apparat, dasturiy va tizimli omillarning o‘zaro uyg‘unligiga bog‘liq.

Real vaqt tizimlarida eng muhim masalalardan biri aniqlik va tezlik o‘rtasidagi muvozanatdir.

Model turi	Accuracy	Latency
Oddiy ML model	O‘rtacha	Past
Katta Deep Learning model	Yuqori	Yuqori
MobileNet / TinyML	Yaxshi	Past
Pruning + Quantization	Yaxshi	Juda past

Aniqlik va kechikish o‘rtasidagi muvozanat modeli

Yuqori aniqlikdagi model ko‘pincha murakkab bo‘ladi va ko‘proq hisoblash resurslarini talab qiladi. Aksincha, juda soddalashtirilgan model tez ishlashi mumkin, lekin uning aniqligi past bo‘lishi ehtimoli mavjud. Shuning uchun real vaqt tizimlarida model tanlashda faqat accuracy emas, balki latency, energiya sarfi, xotira hajmi va apparat mosligi ham baholanishi kerak.

Oʻrnatilgan tizimlarda apparat resurslari cheklanganligi sababli, optimallashtirishning eng samarali yoʻli — modelni qurilma imkoniyatlariga moslashtirishdir. Masalan, mikrokontroller asosidagi tizimda katta CNN modeldan foydalanish samarasiz boʻlishi mumkin. Bunday holatda yengil model, quantization va pruning kombinatsiyasi maqsadga muvofiq boʻladi. Agar tizimda GPU yoki maxsus neyron protsessor mavjud boʻlsa, parallel hisoblash imkoniyatlaridan foydalanish real vaqt talablari bajarilishini osonlashtiradi.

Edge computing yondashuvi ham alohida ahamiyatga ega. Chunki IoT tizimlarida har bir maʼlumotni markaziy serverga yuborish kechikish, tarmoq bandligi va xavfsizlik muammolarini keltirib chiqaradi. Lokal qayta ishlash esa tizimning mustaqilligini oshiradi, maʼlumot maxfiyligini yaxshilaydi va qaror qabul qilish vaqtini qisqartiradi. Ayniqsa, tibbiyot, sanoat xavfsizligi va transport tizimlarida bu juda muhim.

Shuningdek, real vaqtli tizimlarda adaptiv algoritmlar zarur. Chunki koʻplab amaliy muhitlar statik emas: sensor maʼlumotlari oʻzgaradi, tashqi sharoit almashadi, foydalanuvchi xatti-harakati oʻzgaradi yoki tizimga yangi xavf omillari paydo boʻladi. Bunday sharoitda oldindan oʻqitilgan model har doim ham yetarli boʻlmasligi mumkin. Online learning, continual learning va reinforcement learning kabi yondashuvlar tizimga yangi sharoitlarga moslashish imkonini beradi. Ammo bu yondashuvlarda xavfsizlik, barqarorlik va notoʻgʻri oʻrganish xavfi ham nazorat qilinishi kerak.

Maqola tahlillari asosida real vaqtli sunʼiy intellekt tizimlarini optimallashtirish uchun quyidagi kompleks strategiya taklif etiladi:

Birinchidan, tizim talablari aniq belgilanadi: maksimal ruxsat etilgan kechikish, minimal aniqlik, energiya chegarasi va xotira limiti aniqlanadi. Ikkinchidan, shu talablarga mos algoritmlar tanlanadi. Uchinchidan, model compression usullari orqali model yengillashtiriladi.

Toʻrtinchidan, algoritmlar edge yoki lokal qurilmada sinovdan oʻtkaziladi. Beshinchidan, tizim real sharoitda monitoring qilinadi va zarur hollarda adaptiv yangilash mexanizmi joriy etiladi.



Xulosa

Sunʼiy intellekt asosida ishlovchi oʻrnatilgan tizimlarda real vaqtli qaror qabul qilish algoritmlarini optimallashtirish zamonaviy raqamli texnologiyalar rivojida muhim ilmiy-amaliy yoʻnalishlardan biridir. Tadqiqot natijalari shuni koʻrsatadiki, bunday tizimlarda samaradorlikka erishish uchun algoritmlarning faqat aniqligi emas, balki uning tezligi, energiya tejamliligi, xotira sarfi, apparatga mosligi va barqarorligi ham birgalikda baholanishi zarur.

Maqolada aniqlanishicha, model compression, pruning, quantization, yengil neyron tarmoq arxitekturalari, edge computing va parallel hisoblash texnologiyalari real vaqt tizimlarida qaror qabul qilish jarayonini sezilarli darajada tezlashtiradi. Ayniqsa, o'rnatilgan qurilmalarda cheklangan resurslar mavjudligi sababli, algoritmlarni apparatga mos optimallashtirish muhim ahamiyatga ega.

Mustahkamlovchi o'rganish va adaptiv algoritmlar dinamik muhitlarda qaror qabul qilish sifatini oshiradi. Biroq ularni real vaqt tizimlarida qo'llashda xavfsizlik, o'qitish xarajatlari va barqarorlik masalalari chuqur tahlil qilinishi lozim. Shu sababli kelgusidagi tadqiqotlarda energiya samarador sun'iy intellekt, TinyML, xavfsiz reinforcement learning, apparat-dasturiy birgalikdagi optimallashtirish va real vaqtli edge AI tizimlarini rivojlantirish muhim ilmiy yo'nalishlar sifatida qaraladi.

Umuman olganda, real vaqtli o'rnatilgan tizimlarda sun'iy intellekt algoritmlarini optimallashtirish nafaqat hisoblash tezligini oshiradi, balki aqlli qurilmalar ishonchligi, xavfsizligi va amaliy qo'llanish doirasini ham kengaytiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education, 2021.
2. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
3. Sutton R. S., Barto A. G. Reinforcement Learning: An Introduction. MIT Press, 2018.
4. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.
5. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep Learning. Nature, 2015.
6. Han S., Mao H., Dally W. J. Deep Compression: Compressing Deep Neural Networks with Pruning, Trained Quantization and Huffman Coding. 2015.
7. Howard A. G., Zhu M., Chen B. et al. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. 2017.
8. Shi W., Cao J., Zhang Q., Li Y., Xu L. Edge Computing: Vision and Challenges. IEEE Internet of Things Journal, 2016.
9. Mnih V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning. Nature, 2015.
10. Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. 2008.
11. Hennessy J. L., Patterson D. A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. Morgan Kaufmann, 2019.
12. O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligi. Raqamli O'zbekiston – 2030 strategiyasi. Toshkent, 2020.
13. TATU. Sun'iy intellekt asoslari: o'quv qo'llanma. Toshkent, 2021.
14. O'zbekiston Milliy universiteti. Ma'lumotlar tahlili va mashinaviy o'rganish asoslari. Toshkent, 2022.
15. Raxmatov B. A. Sun'iy intellekt va uning zamonaviy qo'llanilishi. Toshkent, 2023. O'zbekiston Milliy universiteti. Ma'lumotlar tahlili va mashinaviy o'rganish asoslari. Toshkent, 2022.
16. Raxmatov B. A. Sun'iy intellekt va uning zamonaviy qo'llanilishi. Toshkent, 2023.