ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME - 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 9

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ROBOT MANIPULYATORLARINING ENERGIYA SARFINI KAMAYTIRISHDA NEYRON TARMOQ USULLARINI QO‘LLASH

Mirzakarimov Rustambek Xusanboy o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti, tayanch doktorant
Andijon, O‘zbekiston
E-mail: rustamkarimov1995095@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada robot manipulyatorlarining energiya sarfini kamaytirishda neyron tarmoq usullarini qo‘llash masalasi tahlil qilingan. Sanoat manipulyatorlarining energiya iste’moli avtomatlashtirishning dolzarb muammolaridan biri bo‘lib, an’anaviy optimal boshqaruv usullari aniq dinamik modelga bog‘liqligi bilan cheklangan. Ma’lumotga asoslangan neyron tarmoqlar, ayniqsa LSTM, GRU va ikki yo‘nalishli rekurrent arxitekturalar, manipulyatorning vaqtga bog‘liq dinamikasini ifodalab, energiya jihatdan maqbul trayektoriyani bashorat qilish imkonini beradi. Ushbu maqolada turli neyron tarmoq yondashuvlari yagona mezonlar asosida qiyoslangan va energiya minimallashtirish nuqtai nazaridan ularning kuchli hamda zaif tomonlari aniqlangan.

Kalit so‘zlar: robot manipulyator, energiya samaradorligi, neyron tarmoq, rekurrent tarmoq, LSTM, GRU, BiLSTM, trayektoriyani optimizatsiya qilish, mustahkamlovchi o‘qitish.

Аннотация: В статье анализируется применение нейросетевых методов для снижения энергопотребления роботов-манипуляторов. Энергопотребление промышленных манипуляторов является одной из актуальных проблем автоматизации, а традиционные методы оптимального управления ограничены зависимостью от точной динамической модели. Нейронные сети, основанные на данных, в особенности рекуррентные архитектуры LSTM, GRU и двунаправленные сети, позволяют описывать зависящую от времени динамику манипулятора и прогнозировать энергоэффективную траекторию. В работе различные нейросетевые подходы сравниваются по единым критериям и определяются их сильные и слабые стороны с точки зрения минимизации энергии.

Ключевые слова: робот-манипулятор, энергоэффективность, нейронная сеть, рекуррентная сеть, LSTM, GRU, BiLSTM, оптимизация траектории, обучение с подкреплением.

Abstract. The article analyzes the application of neural network methods for reducing the energy consumption of robot manipulators. The energy consumption of industrial manipulators is one of the pressing problems of automation, while traditional optimal-control methods are limited by their dependence on an accurate dynamic model. Data-driven neural networks, especially recurrent architectures such as LSTM, GRU and bidirectional networks, are able to represent the time-

dependent dynamics of a manipulator and predict an energy-efficient trajectory. In this work, different neural network approaches are compared against unified criteria, and their strengths and weaknesses from the standpoint of energy minimization are identified.

Keywords: robot manipulator, energy efficiency, neural network, recurrent network, LSTM, GRU, BiLSTM, trajectory optimization, reinforcement learning.

KIRISH.

Sanoatni avtomatlashtirishning bugungi bosqichida robot manipulyatorlari yig‘ish, payvandlash, bo‘yash va yuk ko‘chirish kabi takrorlanuvchi operatsiyalarning asosiy bajaruvchisiga aylangan. Bunday tizimlar uzluksiz ishlaganda sarflaydigan elektr energiyasi korxonaning umumiy energiya xarajatlarida sezilarli ulushni egallaydi. Bitta ish siklida tejalgan ozgina energiya yil davomida minglab takrorlanish hisobiga katta iqtisodiy va ekologik samaraga aylanadi. Shu bois manipulyatorlarning energiya samaradorligini oshirish Industriya 4.0 va barqaror ishlab chiqarish talablari doirasidagi dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Manipulyator sarflaydigan energiya, asosan, uning bo‘g‘imlaridagi momentlar va ularning burchak tezligi ko‘paytmasining harakat davomidagi integraliga bog‘liq. Bu kattalik tanlangan trayektoriyaga, tezlik va tezlanish profillariga, yuk og‘irligiga hamda mexanik tizimning dinamik xususiyatlariga bevosita ta’sir qiladi. Demak, energiyani kamaytirish, mohiyatan, harakat trayektoriyasini shunday tanlashdan iboratki, talab qilingan vazifa bajarilsa-da, sarflanadigan ish minimal bo‘lsin.

An’anaviy yondashuvlarda bu masala optimal boshqaruv yoki trayektoriyani optimizatsiya qilish usullari bilan yechiladi. Biroq ular manipulyatorning aniq dinamik modelini talab qiladi; real sharoitda esa ishqalanish, lyuft, yukning o‘zgarishi va detallarning eskirishi bu modelni noaniq qiladi. Aynan shu nuqtada ma’lumotga asoslangan, ya’ni neyron tarmoqlarga tayanadigan usullar ustunlik kasb etadi: ular murakkab va nochiziqli bog‘lanishlarni o‘lchov ma’lumotlaridan o‘rganadi hamda o‘zgaruvchan sharoitga moslasha oladi.

Ushbu maqolaning maqsadi — robot manipulyatorlarining energiya sarfini kamaytirishda qo‘llanilayotgan neyron tarmoq usullarini tahlil qilish, ularni tizimlashtirish va qaysi arxitekturalar manipulyatorning vaqtga bog‘liq dinamikasini eng yaxshi ifodalashini aniqlashdir. Tahlil mavhum bo‘lib qolmasligi uchun namunaviy ob’ekt sifatida Andijon davlat texnika instituti laboratoriyasida mavjud UFACTORY xArm 5 (5-DOF) manipulyatori tanlandi. Tadqiqotning ilmiy yangiligi turli neyron tarmoq yondashuvlarini yagona mezonlar asosida qiyoslab, energiya minimallashtirish nuqtai nazaridan ularning kuchli va zaif tomonlarini ochib berishida namoyon bo‘ladi.

ISSN 3030-3907

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Robotlarda energiya tejash usullari bo‘yicha mavjud ishlarni Carabin va hammualliflari keng ko‘lamda umumlashtirgan; ularning tahlilida trayektoriyani optimizatsiya qilish, harakat parametrlarini moslash va energiya rekuperatsiyasi kabi yo‘nalishlar ajratib ko‘rsatilgan [1]. Manipulyator dinamikasining nazariy asoslari — Lagranj tenglamalari va bo‘g‘im momentlarini hisoblash — klassik robototexnika adabiyotida batafsil bayon etilgan [2]. Ushbu asoslar energiya funksionalini shakllantirish uchun zamin bo‘lib xizmat qiladi.

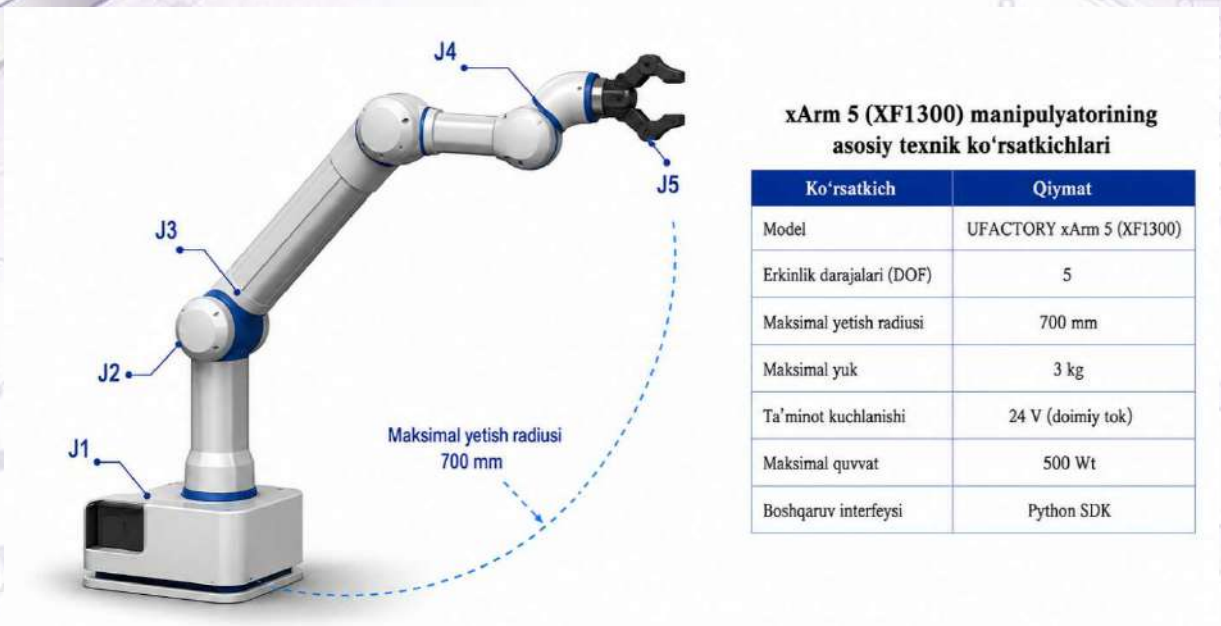
Chuqur o‘qitish usullarining umumiy nazariyasi nochiziqli bog‘lanishlarni approksimatsiya qilishda neyron tarmoqlarning yuqori imkoniyatlarini ko‘rsatadi [3]. Manipulyatorning harakati esa, o‘z mohiyatiga ko‘ra, vaqt qatori — bo‘g‘im burchaklari va tezliklarining ketma-ketligidir. Shu sababli rekurrent arxitekturalar bu masalaga tabiiy mos keladi. Uzoq qisqa muddatli xotira (LSTM) tarmog‘i uzoq vaqtli bog‘lanishlarni saqlash muammosini hal etish uchun taklif qilingan [4]; boshqaruvchi darvozalari soddalashtirilgan GRU tarmog‘i esa o‘xshash samaradorlikni kamroq hisoblash bilan ta’minlaydi [5]. Ikki yo‘nalishli ishlov berish trayektoriyaning ham o‘tmish, ham keyingi konteksti asosida bashoratning aniqligini oshiradi [6].

Yana bir yo‘nalish — mustahkamlovchi o‘qitish bo‘lib, unda agent harakat siyosatini energiya mezonini minimallashtirish orqali shakllantiradi [7]. Bu yondashuv kuchli moslashuvchanlikka ega bo‘lsa-da, katta hajmdagi o‘rgatish ma’lumoti va hisoblash resurslarini talab qiladi. Mavjud ishlarning aksariyati ayrim usullarni alohida o‘rganadi; manipulyatorning vaqtli dinamikasini energiya bashorati uchun qaysi arxitektura eng yaxshi ifodalashi masalasi esa hali yetarlicha tizimlashtirilmagan.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Tadqiqot ob’ekti. Tadqiqot ob’ekti sifatida UFACTORY xArm 5 (XF1300) hamkorlikdagi manipulyatori olindi. Bu — beshta aylanma bo‘g‘imdan iborat (5-DOF) nisbatan ixcham robot bo‘lib, maksimal yetish radiusi 700 mm, ko‘tara oladigan yuki 3 kg gacha, ta’minlanish kuchlanishi 24 V va eng yuqori quvvati 500 Vt ni tashkil etadi. Uning kinematik tuzilishi 1-rasmda, asosiy texnik ko‘rsatkichlari esa 1-jadvalda keltirilgan. Manipulyator Python dasturlash interfeysi (SDK) orqali boshqarilishi sababli energiya-samarali boshqaruv algoritmlarini sinash uchun qulay platforma hisoblanadi.

ISSN 3030-3907



xArm 5 (XF1300) manipulyatorining asosiy texnik ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Qiymat
Model	UFACTORY xArm 5 (XF1300)
Erkinlik darajalari (DOF)	5
Maksimal yetish radiusi	700 mm
Maksimal yuk	3 kg
Ta’minot kuchlanishi	24 V (doimiy tok)
Maksimal quvvat	500 Wt
Boshqaruv interfeysi	Python SDK

1-rasm. xArm 5 manipulyatorining 5-DOF kinematik tuzilishi

1-jadval

xArm 5 (XF1300) manipulyatorining asosiy texnik ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	**Qiymat**
Model	UFACTORY xArm 5 (XF1300)
Erkinlik darajalari (DOF)	5
Maksimal yetish radiusi	700 mm
Maksimal yuk	3 kg
Ta’minot kuchlanishi	24 V (doimiy tok)
Maksimal quvvat	500 Vt
Boshqaruv interfeysi	Python SDK
Ishlab chiqaruvchi	UFACTORY (Xitoy)

Tahlil usuli. Tadqiqot tahliliy-qiyosiy xususiyatga ega bo‘lib, mavjud ilmiy manbalarni umumlashtirish va yagona mezonlar asosida solishtirish usuliga asoslanadi. Tahlil uchun manipulyatorning energiya sarfi quyidagicha ta’riflanadi: harakat sikli davomida barcha bo‘g‘imlardagi moment (τ) va burchak tezligi (q̇) ko‘paytmasining integrali, ya’ni $E = \int \tau \cdot \dot{q}\, dt$. Aynan shu funksional minimallashtirilishi kerak bo‘lgan maqsad sifatida qabul qilinadi. xArm 5 misolida bu yig‘indi uning beshta bo‘g‘imi bo‘yicha hisoblanadi.

Neyron tarmoqlar bu masalaga uch xil ko‘rinishda qo‘llaniladi. Birinchidan, tarmoq dinamik model o‘rnida ishlatilib, berilgan trayektoriya uchun energiya sarfini bashorat qiladi. Ikkinchidan, tarmoq energiya jihatdan maqbul trayektoriyani bevosita generatsiya qiladi. Uchinchidan, mustahkamlovchi o‘qitish doirasida tarmoq energiyani kamaytiruvchi boshqaruv siyosatini shakllantiradi.

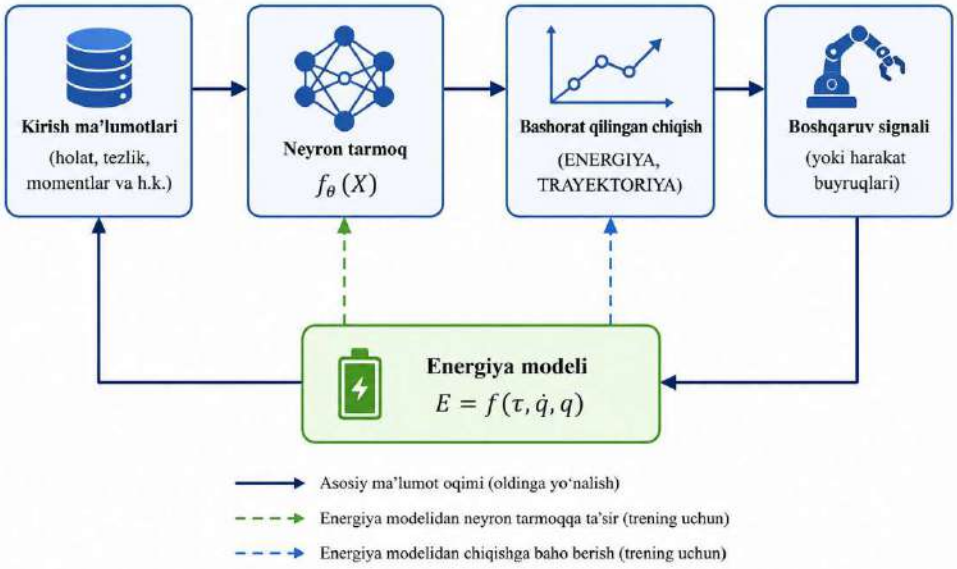
ISSN 3030-3907

Mazkur ishda asosiy e’tibor birinchi va ikkinchi yo‘nalishga, xususan rekurrent tarmoqlar imkoniyatiga qaratiladi.

Rekurrent tarmoqlarning ustunligi shundaki, ular bo‘g‘im harakatining ketma-ket tabiatini hisobga oladi: oldingi vaqt qadamlaridagi holat keyingisiga ta’sir qiladi. LSTM va GRU bu bog‘lanishlarni xotirada saqlaydi, ikki yo‘nalishli ishlov esa trayektoriyaning to‘liq konteksti asosida aniqroq bashorat beradi. Shu sababli BiLSTM va GRU elementlarini birlashtirgan gibrid arxitekturalar aniqlik bilan hisoblash tejamkorligi o‘rtasida muvozanat ta’minlashi mumkin. Qiyoslash uchun beshta mezon belgilandi: aniq dinamik modelga bog‘liqlik, o‘zgaruvchan sharoitga moslashuvchanlik, hisoblash murakkabligi, o‘rgatish ma’lumotiga ehtiyoj va energiya tejash salohiyati.

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Neyron tarmoqqa asoslangan energiya-samarali boshqaruvning umumiy tuzilishi 2-rasmda keltirilgan. Manipulyatordan olingan holat ma’lumotlari (q, q̇) rekurrent tarmoqqa uzatiladi; tarmoq energiya mezoni asosida maqbul trayektoriya yoki moment qiymatini hosil qiladi va bu boshqaruv ta’siri tizimga qaytariladi.



2-rasm. Neyron tarmoqqa asoslangan energiya-samarali boshqaruv sxemasi

Asosiy yondashuvlarning qiyosiy tahlili 2-jadvalda umumlashtirilgan.

2-jadval

Energiya sarfini kamaytirish yondashuvlarining qiyosiy tahlili

Yondashuv	Model talabi	Moslashuvchanlik	Hisoblash murakkabligi	Energiya tejash salohiyati
Klassik trayektoriya optimizatsiyasi	Yuqori	Past	O‘rta	O‘rta–yuqori

ISSN 3030-3907

Mustahkamlovchi o‘qitish (RL)	Past–o‘rta	Yuqori	Yuqori	Yuqori
Rekurrent NN (LSTM/GRU/BiLSTM)	Past	Yuqori	O‘rta	Yuqori
Gibrid (rekurrent NN + optimizatsiya)	O‘rta	Yuqori	O‘rta–yuqori	Yuqori

(muallif tomonidan manbalar asosida tuzilgan)

Jadvaldan ko‘rinadiki, klassik trayektoriya optimizatsiyasi yuqori aniqlik bersa-da, aniq dinamik modelga qattiq bog‘liq va o‘zgaruvchan sharoitda samarasi pasayadi. Mustahkamlovchi o‘qitish eng yuqori moslashuvchanlikka ega, biroq katta hajmdagi ma’lumot va hisoblash quvvatini talab qilgani uchun amaliy joriy etish murakkab. Rekurrent neyron tarmoqlar esa ma’lumotga asoslangani, o‘zgaruvchan yukka moslasha olgani va hisoblash jihatidan nisbatan tejamkorligi bilan ajralib turadi. Ayniqsa rekurrent tarmoq bashoratini optimizatsiya bilan birlashtirgan gibrid yondashuvlar amaliy nuqtai nazardan istiqbolli ko‘rinadi.

Adabiyotda keltirilgan natijalar energiyaga yo‘naltirilgan trayektoriya rejalashtirish va boshqaruv sezilarli, ko‘pincha o‘nlab foiz darajasidagi tejashga olib kelishi mumkinligini ko‘rsatadi [1]. Shu bilan birga, usulni real manipulyatorga joriy etishda bashoratning real vaqtda bajarilishi, kontroller resurslarining cheklanganligi va modelni yangi sharoitga moslash masalalari muhim ahamiyat kasb etadi. Bu omillar neyron tarmoqni iloji boricha ixcham va tez ishlaydigan ko‘rinishda loyihalashni taqozo etadi.

Mazkur yondashuvni xArm 5 manipulyatoriga tatbiq etishda uning konstruktiv xususiyatlari alohida ahamiyatga ega. Birinchidan, manipulyator 3 kg gacha o‘zgaruvchan yuk bilan ishlaydi; yuk o‘zgarganda bo‘g‘imlardagi moment va, demak, energiya sarfi ham o‘zgaradi. Bunday o‘zgaruvchanlikni aniq dinamik model orqali to‘liq qamrab olish murakkab bo‘lgani uchun, ma’lumotga asoslangan rekurrent tarmoqlar bu platforma uchun ayniqsa qulaydir. Ikkinchidan, xArm 5 ning past quvvati (500 Vt) va Python SDK orqali boshqarilishi energiya-samarali boshqaruv algoritmlarini real vaqtda sinash hamda o‘lchash imkonini beradi. Shu bois ushbu manipulyator institut laboratoriyasida rekurrent tarmoqqa asoslangan usullarni amaliy tekshirish uchun mos eksperimental platforma bo‘la oladi.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, neyron tarmoq usullari, ayniqsa rekurrent arxitekturalar, robot manipulyatorlarining vaqtga bog‘liq dinamikasini ifodalash va energiya-samarali boshqaruvni ta’minlashda samarali vositadir. Ma’lumotga asoslangan bu yondashuvlar aniq dinamik modelga bog‘liqlikni kamaytiradi va o‘zgaruvchan ish sharoitiga moslasha oladi. BiLSTM va GRU elementlarini

ISSN 3030-3907

birlashtirgan gibrid tarmoqlar aniqlik bilan hisoblash tejamkorligi o‘rtasidagi maqbul muvozanat sifatida alohida e’tiborga loyiq.

Kelgusi izlanishlarda mazkur yondashuvlarni Andijon davlat texnika institutidagi xArm 5 manipulyatorida eksperimental sinovdan o‘tkazish, rekurrent bashoratni optimizatsiya algoritmlari bilan birlashtirish hamda tarmoqning kontroller darajasida real vaqtda ishlashini ta’minlash ko‘zda tutiladi. Bu yo‘nalishlar manipulyatorlarning energiya samaradorligini oshirishda amaliy ahamiyatga ega bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Carabin G., Wehrle E., Vidoni R. A Review on Energy-Saving Optimization Methods for Robotic and Automatic Systems // Robotics. – 2017. – Vol. 6, № 4. – Art. 39. https://doi.org/10.3390/robotics6040039
2. Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G. Robotics: Modelling, Planning and Control. – London: Springer, 2009. – 632 p.
3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge: MIT Press, 2016. – 800 p.
4. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, № 8. – P. 1735–1780. https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735
5. Cho K., van Merriënboer B., Gulcehre C. et al. Learning phrase representations using RNN encoder–decoder for statistical machine translation // Proceedings of EMNLP. – 2014. – P. 1724–1734. https://doi.org/10.3115/v1/D14-1179
6. Schuster M., Paliwal K.K. Bidirectional recurrent neural networks // IEEE Transactions on Signal Processing. – 1997. – Vol. 45, № 11. – P. 2673–2681. https://doi.org/10.1109/78.650093
7. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement Learning: An Introduction. 2nd ed. – Cambridge: MIT Press, 2018. – 552 p.