TASVIRLARGA PARALLEL ISHLOV BERISHDA HISOBLASH QURILMALARI VA PARALLEL DASTURLASH VOSITALARINING QIYOSIY TAHLILI

Javliyev Shahzod Alisher o‘g‘li
Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
shajavliyev@gmail.com

Annotatsiya. *Mazkur tadqiqot ishida tasvirlarga parallel ishlov berishda CPU va GPU arxitekturalari, sun’iy intellekt protsessorlari hamda parallel dasturlash vositalarining imkoniyatlari qiyosiy tahlil qilindi. NVIDIA GPU arxitekturalarining rivojlanishi va hisoblash imkoniyatlari baholandi, CPU, GPU va sun’iy intellekt protsessorlariga mos dasturiy vositalar hamda kutubxonalarning asosiy xususiyatlari taqqoslandi. Olingan natijalar asosida tasvirlarga parallel ishlov berishda bajariladigan vazifaga mos hisoblash qurilmasi va dasturiy vositani tanlash imkoniyatlari aniqlandi.*

Kalit so‘zlar: *tasvirlarga parallel ishlov berish, sun’iy intellekt protsessorlari, parallel hisoblash, CPU, GPU, TPU, NPU.*

Аннотация. *В данном исследовании проведен сравнительный анализ архитектур CPU и GPU, процессоров искусственного интеллекта и средств параллельного программирования для параллельной обработки изображений. Оценены развитие и вычислительные возможности архитектур NVIDIA GPU, а также сопоставлены основные характеристики программных средств и библиотек для CPU, GPU и процессоров искусственного интеллекта. На основе полученных результатов определены возможности выбора соответствующего вычислительного устройства и программного средства для конкретных задач параллельной обработки изображений..*

Ключевые слова: *параллельная обработка изображений, процессоры искусственного интеллекта, параллельные вычисления, CPU, GPU, TPU, NPU.*

Abstract. *This study presents a comparative analysis of CPU and GPU architectures, artificial intelligence processors, and parallel programming tools for parallel image processing. The development and computational capabilities of NVIDIA GPU architectures were evaluated, and the main features of software tools and libraries for CPU, GPU, and artificial intelligence processors were compared.*

Based on the obtained results, the possibilities of selecting an appropriate computing device and software tool for specific parallel image processing tasks were identified.

Keywords: *parallel image processing, artificial intelligence processors, parallel computing, CPU, GPU, TPU, NPU..*

Kirish. Raqamli texnologiyalar va sun’iy intellekt tizimlarining rivojlanishi yuqori aniqlikdagi tasvir va video ma’lumotlar hajmining ortishiga olib kelmoqda. Tasvirlarga ishlov berish algoritmlarida bir xil turdagi amallar ko‘p sonli piksellar ustida takroran bajarilishi sababli hisoblash yuklamasi tasvir o‘lchami va kadrlar soniga bog‘liq ravishda oshadi. Bunday masalalarda hisoblashlarni parallel tashkil etish ishlov berish vaqtini qisqartirish va mavjud apparat resurslaridan samarali foydalanish imkonini beradi [1].

Parallel hisoblashlarni bajarishda markaziy protsessor (Central Processing Unit, CPU), grafik protsessor (Graphics Processing Unit, GPU) va sun’iy intellektga ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalari turli arxitekturaviy imkoniyatlarga ega. CPU umumiy maqsadli hisoblash va boshqaruv vazifalariga moslashgan bo‘lsa, GPU ko‘p sonli ma’lumot elementlari ustida bir xil amallarni parallel bajarishga yo‘naltirilgan [2]. Tenzor protsessori (Tensor Processing Unit, TPU), neyron protsessor (Neural Processing Unit, NPU), ma’lumotlarni qayta ishlash protsessori (Data Processing Unit, DPU), rezistiv protsessor (Resistive Processing Unit, RPU) va intellektual protsessor (Intelligence Processing Unit, IPU) kabi ixtisoslashtirilgan qurilmalar esa sun’iy intellektga xos hisoblash operatsiyalarini tezlashtirish imkonini beradi [3].

Hisoblash qurilmalarining apparat imkoniyatlaridan foydalanish ularga mos parallel dasturlash vositalari va kutubxonalar orqali amalga oshiriladi. CPU uchun Open Multi-Processing (OpenMP), Intel Threading Building Blocks (Intel TBB), Intel Math Kernel Library (Intel MKL) va Message Passing Interface (MPI); GPU uchun Compute Unified Device Architecture (CUDA), Open Computing Language (OpenCL) va Open Accelerators (OpenACC) kabi vositalar qo‘llaniladi. Sun’iy intellekt hisoblashlarida esa PyTorch, TensorFlow, JAX, ONNX Runtime, TensorRT, OpenVINO va cuDNN kutubxonalari turli hisoblash qurilmalarida modellarni o‘qitish va bajarish imkonini beradi [4], [5].

Tasvirlarga parallel ishlov berish samaradorligi hisoblash qurilmasining arxitekturaviy imkoniyatlari va unga mos dasturiy vositani tanlashga bog‘liq. Shu sababli, mazkur tadqiqot ishining asosiy maqsadi CPU va GPU arxitekturalarining xususiyatlari, sun’iy intellektga ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalarining

funksional imkoniyatlari hamda ular uchun mo‘ljallangan parallel dasturlash vositalari va kutubxonalarni qiyosiy tahlil qilishdan iborat.

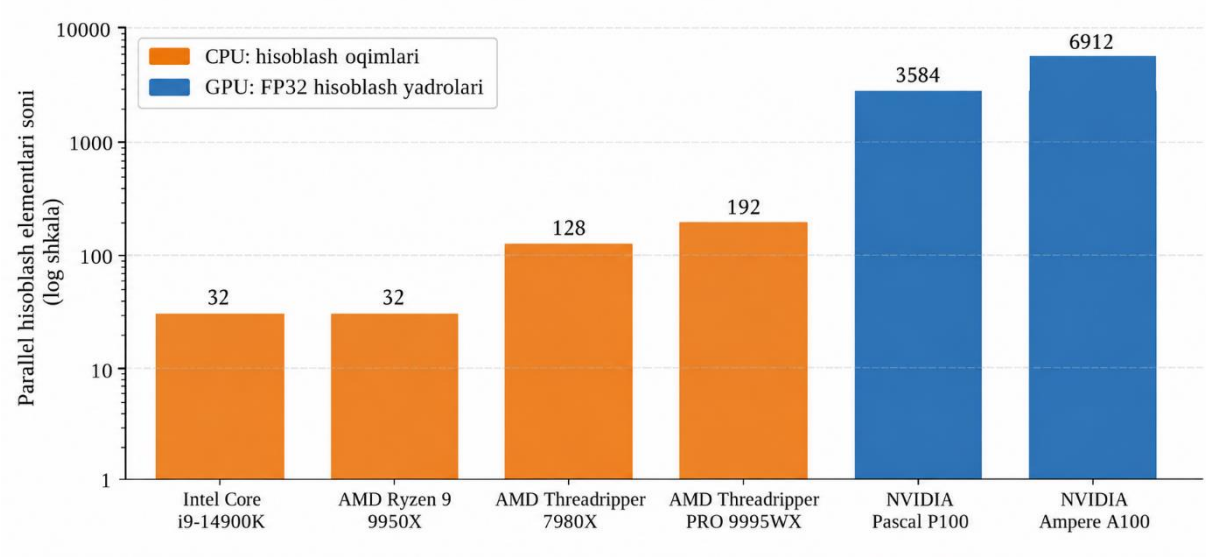
Asosiy qism. Tasvirlarga ishlov berishda hisoblash yuklamasining xususiyati foydalaniladigan qurilmani tanlashga bevosita ta’sir qiladi. Umumiy maqsadli hisoblashlarda CPUning moslashuvchanligi muhim bo‘lsa, bir xil amallarni katta hajmdagi ma’lumotlar ustida bajarishda GPUning yuqori parallelligi ustunlik qiladi. Sun’iy intellekt masalalarida esa matritsa, tenzor va neyron tarmoq amallariga ixtisoslashtirilgan protsessorlardan foydalaniladi. Ushbu qurilmalarning imkoniyatlari ularning arxitekturasi va dasturiy ta’minoti bilan belgilanadi.

CPU va GPU arxitekturalarining qiyosiy tahlili. Zamonaviy ko‘p yadroli CPUlarda hisoblash vazifalari bir nechta yadrolar o‘rtasida taqsimlanishi mumkin. Flin tasnifiga ko‘ra ko‘p yadroli CPUlar ko‘p buyruq — ko‘p ma’lumot (Multiple Instruction, Multiple Data, MIMD) modeliga mansub bo‘lib, alohida yadrolar turli buyruqlarni turli ma’lumotlar ustida mustaqil bajaradi [6]. GPU esa yagona buyruq — ko‘p oqim (Single Instruction Multiple Threads, SIMT) modeli asosida bir xil amalni ko‘p sonli ma’lumot elementlari ustida parallel bajarishga moslashtirilgan. CPUda kam sonli murakkab yadrolar va rivojlangan kesh tizimi turli xarakterdagi hisoblashlarni bajarishga xizmat qiladi. GPUda esa ko‘p sonli hisoblash birliklarining parallel ishlashi asosiy o‘rinni egallaydi. Tasvirlarga ishlov berishda piksellar yoki ularning bloklari mustaqil hisoblash oqimlariga taqsimlanishi mumkinligi sababli GPU arxitekturasi filtrlash, rang qiymatlarini o‘zgartirish va svertka kabi takrorlanuvchi amallarga mos keladi. CPU va GPU arxitekturalarining asosiy farqlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. CPU va GPU arxitekturalarining asosiy xususiyatlari

Ko‘rsatkich	**CPU**	**GPU**
Hisoblash tuzilishi	Kam sonli murakkab yadrolar	Ko‘p sonli hisoblash birliklari
Bajarish modeli	MIMD	SIMT
Parallellik	Ko‘p yadroli	Massiv parallel
Xotira tuzilishi	L1/L2/L3 kesh va asosiy xotira	Registr, umumiy xotira, L2 va global xotira
Asosiy yo‘nalish	Umumiy hisoblash va boshqaruv	Ko‘p sonli bir xil amallarni parallel bajarish
Tasvirlarga ishlov berish	Turli va boshqaruvga bog‘liq amallar	Piksel va bloklar ustidagi takrorlanuvchi amallar

CPU va GPU o‘rtasidagi parallellik darajasidagi farq ularning bir vaqtda hisoblashlarni tashkil etish imkoniyatlarida ham namoyon bo‘ladi. Zamonaviy ko‘p yadroli CPUlarda hisoblash oqimlari soni ortib borayotgan bo‘lsa-da, GPU arxitekturasida parallel bajarishga mo‘ljallangan hisoblash birliklari soni ancha yuqori. Quyidagi 1-rasmda AMD Ryzen Threadripper PRO 9995WX protsessorining 192 ta hisoblash oqimi bilan NVIDIA Ampere A100 GPUning 6912 ta FP32 yadrosi o‘rtasidagi miqdoriy farq ko‘rinadi.

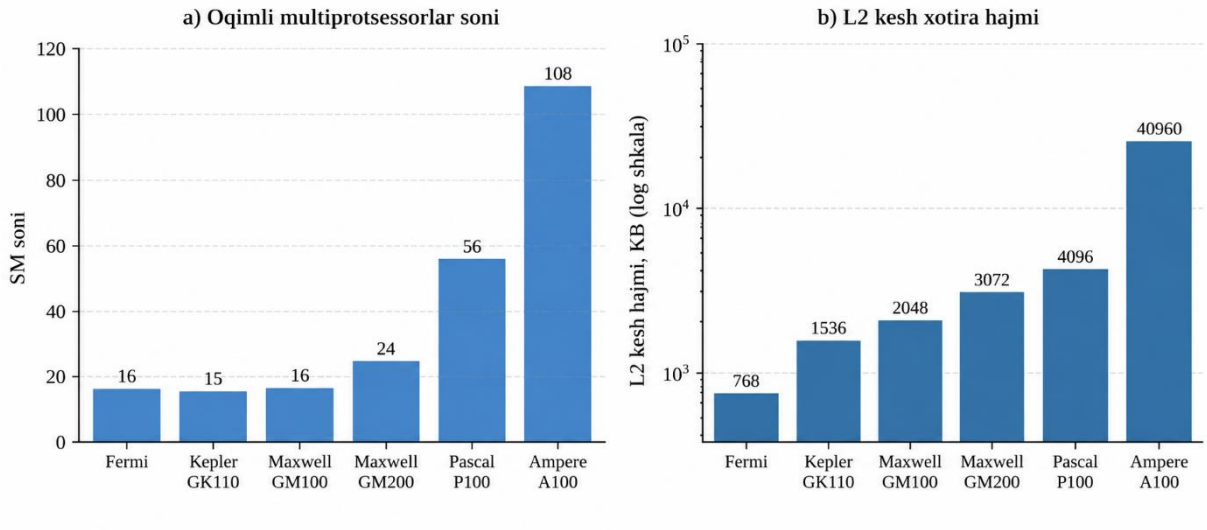


1-rasm. CPU hisoblash oqimlari va GPU FP32 hisoblash yadrolari sonining taqqoslanishi

Yuqorida 1-rasmda keltirilgan ko‘rsatkichlarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri unumdorlik sifatida tenglashtirish mumkin emas, biroq ular CPU va GPUda parallel hisoblash resurslarini tashkil etish ko‘lami sezilarli farq qilishini ko‘rsatadi. Tasvir elementlari ustida bir xil amallarni ko‘p marta bajarishda GPUning ko‘p sonli hisoblash birliklari aynan shu turdagi parallellikni ta’minlaydi

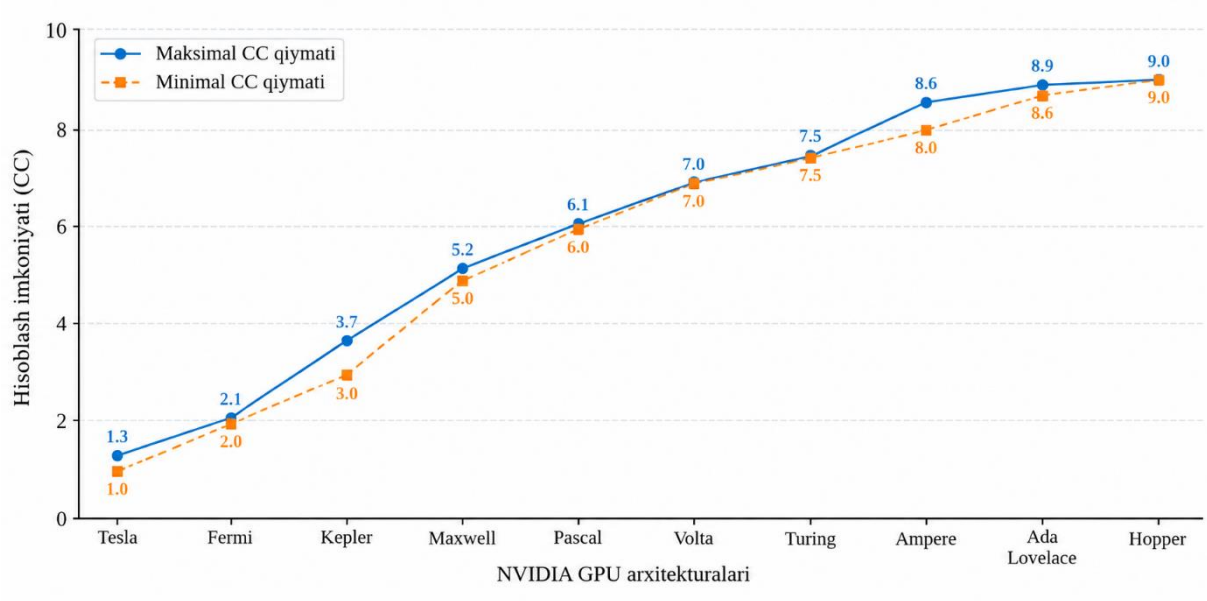
GPUda hisoblash yadrolari oqimli multiprotsessorlar (Streaming Multiprocessor, SM) tarkibida tashkil etiladi. Global xotira katta hajmdagi ma’lumotlarni saqlashga xizmat qilsa, L2 kesh tez-tez foydalaniladigan ma’lumotlarga murojaatni tezlashtiradi. Umumiy (shared) xotiraesa bitta blokdagi oqimlarga umumiy ma’lumotlardan tezkor foydalanish imkonini beradi. Tasvir fragmentlari qayta ishlatiladigan operatsiyalarda ushbu xotiradan foydalanish global xotiraga takroriy murojaatlarni kamaytiradi. NVIDIA GPU avlodlarida hisoblash va xotira resurslari birgalikda rivojlangan. Pascal P100da 56 ta SM va 3584 ta FP32 CUDA yadrosi mavjud bo‘lsa, Volta V100da bu ko‘rsatkichlar 80 ta va 5120 tani, Ampere A100da esa 108 ta va 6912 tani tashkil etadi [7]. Shu bilan birga har bir SMdagi umumiy xotira hajmi 64 KB dan 164 KB gacha, L2 kesh 4 MB dan 40 MB

gacha, xotira o‘tkazuvchanligi esa 732 GB/s dan 1555 GB/s gacha oshgan. GPU avlodlarida hisoblash va xotira resurslarining o‘zgarishi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Pascal P100, Volta V100 va Ampere A100 GPUlarida SM soni va umumiy xotira hajmining o‘zgarishi

NVIDIA GPUlarining Tesla, Fermi, Kepler, Maxwell, Pascal, Volta, Turing, Ampere, Ada Lovelace va Hopper avlodlarida hisoblash imkoniyatlari bosqichma-bosqich kengaygan [8]. Ushbu rivojlanish GPUlarning hisoblash imkoniyati (Compute Capability, CC) ko‘rsatkichida ham aks etadi. Arxitektura avlodlari bo‘yicha CC qiymatlarining o‘zgarishi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. NVIDIA GPU arxitektura oilalarining hisoblash imkoniyati (CC) bo‘yicha rivojlanishi

Yuqoridaki 3-rasmda keltirilgan ma’lumotlarga ko‘ra, NVIDIA GPU arxitekturalarining CC qiymati Tesla avlodidagi 1.0 dan Hopper avlodida 9.0 gacha oshib, yangi avlodlarda hisoblash imkoniyatlarining izchil kengayib borganini

ko‘rsatadi. Shu bilan birga, GPU arxitekturalarini baholashda faqat CC qiymati yetarli bo‘lmay, oqimli multiprotsessorlar soni, hisoblash birliklari, kesh va global xotira hajmi hamda ma’lumot almashish interfeyslari kabi apparat ko‘rsatkichlari ham muhim ahamiyatga ega. GPUlarning ko‘p oqimli arxitekturasi tasvirlarga ishlov berish bilan bir qatorda matritsa va tenzor amallarini ham parallel bajarishga imkon beradi. Bunday amallar sun’iy intellekt algoritmlarida keng qo‘llanilishi sababli GPUlar ushbu yo‘nalishda ham muhim hisoblash vositasi hisoblanadi. Shu bilan birga, ayrim sun’iy intellekt vazifalarida muayyan turdagi hisoblashlarni tezlashtirish uchun sun’iy intellektga ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalaridan foydalaniladi.

Sun’iy intellektga ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalari (protsessorlar) ning qiyosiy tahlili. Sun’iy intellekt algoritmlarida matritsalarni ko‘paytirish, svertka, tenzor va ko‘paytirib-qo‘shish (Multiply-Accumulate, MAC) amallari katta hisoblash yuklamasini hosil qiladi. Bunday operatsiyalarni tezlashtirish uchun umumiy maqsadli CPU va GPUlar bilan bir qatorda sun’iy intellektga ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalaridan ham foydalaniladi [5]. Ularning asosiy farqi universallik darajasi, hisoblashni tashkil etish usuli va energiya samaradorligida namoyon bo‘ladi. TPU matritsa va tenzor amallarini sistolik massiv asosida bajarishga moslashtirilgan. NPU neyron tarmoq amallarini past aniqlikdagi ma’lumot formatlaridan foydalanib energiya tejamkor bajarishga yo‘naltirilgan. DPU tarmoq, saqlash va xavfsizlik bilan bog‘liq yuklamalarni CPUdan ajratadi. RPU rezistiv xotira elementlarida hisoblashni amalga oshirishga asoslangan bo‘lsa, IPU ko‘p sonli mustaqil yadrolar yordamida graf ko‘rinishidagi mashinali o‘qitish hisoblashlarini bajarishga moslashtirilgan [2].

Sun’iy intellektga ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalari ko‘p sonli parallel hisoblash elementlarida, past aniqlikdagi ma’lumot formatlari (FP16, BF16, INT8, INT4) yordamida energiya tejamkor bajarishga yo‘naltirilgan. Ularning asosiy turlari quyidagilardan iborat:.

- *TPU (Tensor Processing Unit)* — matritsa va tenzor amallarini sistolik massiv asosida tezlashtiradi. Asosan katta hajmdagi neyron tarmoq modellarini o‘qitish va inference jarayonlarida qo‘llaniladi.
- *NPU (Neural Processing Unit)* — neyron tarmoq amallarini kam energiya sarfi bilan bajarishga mo‘ljallangan. Tasvirni tanish, obyektlarni aniqlash va segmentatsiya kabi vazifalarni qurilmaning o‘zida bajarishga imkon beradi.
- *DPU (Data Processing Unit)* — tarmoq, ma’lumotlarni saqlash va xavfsizlik bilan bog‘liq yuklamalarni CPUdan ajratib bajaradi. SI klasterlarida ma’lumot uzatish jarayonlarini tezlashtirishga xizmat qiladi.

- *RPU (Resistive Processing Unit)* — rezistiv xotira elementlarida ma’lumotni saqlash va hisoblashni birlashtiradi. Matritsa-vektor amallarida ma’lumot uzatish xarajatlarini kamaytirishga yo‘naltirilgan bo‘lib, hozirda asosan tadqiqot bosqichida.
- *IPU (Intelligence Processing Unit)* — ko‘p sonli mustaqil yadrolar va katta hajmdagi ichki xotira asosida graf ko‘rinishidagi mashinali o‘qitish hisoblashlarini parallel bajarishga moslashtirilgan.
- *FPGA (Field-Programmable Gate Array)* — qayta konfiguratsiya qilinadigan mantiqiy bloklar asosida muayyan SI hisoblashlarini apparat darajasida moslashtirish va tezlashtirish imkonini beradi.

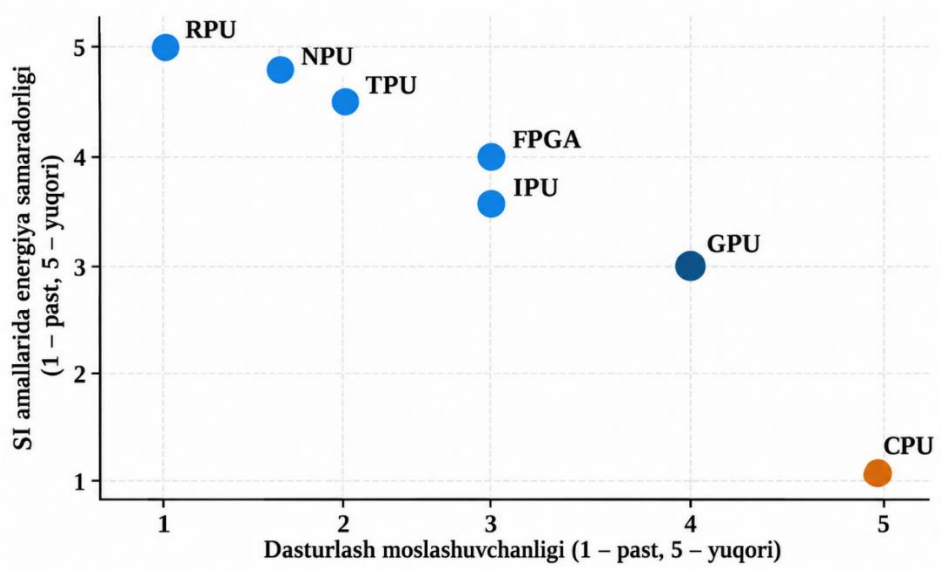
Yuqorida ko‘rib chiqilgan sun’iy intellekt masallari uchun moslashtirilgan hisoblash qurilmalarining asosiy xususiyatlari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. Sun’iy intellekt hisoblash qurilmalarining qiyosiy xususiyatlari

Qurilma	**Asosiy vazifasi**	**Arxitekturaviy xususiyati**	**Misollar**
GPU	Massiv parallel hisoblash, o‘qitish va inference	SIMT, CUDA va Tensor yadrolari	NVIDIA A100, H100, GeForce RTX
TPU	Tenzor amallarini tezlashtirish	Sistolik massiv	Google Cloud TPU
NPU	Energiya tejamkor inference	MAC massivlari, past aniqlikdagi formatlar	Apple Neural Engine, Qualcomm Hexagon, Intel NPU, AMD XDNA
DPU	Tarmoq, saqlash va xavfsizlik yuklamalari	Dasturlanadigan yadrolar va tarmoq tezlatgichlari	NVIDIA BlueField, AMD Pensando
RPU	Xotira ichida analog hisoblash	Rezistiv xotira elementlari	Tadqiqot prototiplari
IPU	Graf asosidagi mashinali o‘qitish	Ko‘p sonli mustaqil yadrolar, ichki SRAM	Graphcore IPU

Yuqoridaki 2-jadvalda keltirilgan sun’iy intellektga ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalarida universallik kamayishi hisobiga muayyan hisoblashlarni samarali bajarish imkoniyati ortadi. CPU turli vazifalarni dasturlash va boshqarishda yuqori moslashuvchanlikka ega bo‘lsa, TPU, NPU va RPU muayyan SI amallariga yo‘naltirilgan. GPU esa yuqori parallellikni nisbatan keng dasturlash imkoniyatlari

bilan birlashtiradi. Ushbu hisoblash qurilmalarining dasturlash moslashuvchanligi va sun’iy intellekt amallaridagi energiya samaradorligi 4-rasmda keltirilgan.



4-rasm. Sun’iy intellekt masalalariga mo’ljallangan hisoblash qurilmalarining dasturlash moslashuvchanligi va energiya samaradorligi bo‘yicha qiyosiy bahosi

CPUdan sun’iy intellektga ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalariga o‘tishda muayyan sun’iy intellekt amallarini bajarishga yo‘naltirilganlik ortib boradi. GPU ushbu qurilmalar orasida massiv parallel hisoblash imkoniyati va dasturlash moslashuvchanligini birlashtirishi bilan ajralib turadi. TPU, NPU va RPU kabi ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalari muayyan SI amallari, tasvirlarni tanish, obyektlarni aniqlash va segmentatsiya qilish vazifalarini energiya tejamkor bajarishga yo‘naltirilganligi bilan yuqori energiya samaradorligiga yo‘naltirilgan.

Parallel dasturlash vositalari va kutubxonalarining qiyosiy tahlili. Ko‘p yadroli tizimlarda parallel hisoblashni tashkil etish uchun turli darajadagi dasturlash vositalari mavjud bo‘lib, ular odatda past darajali va yuqori darajali yondashuvlarga ajratiladi. Past darajadagi yondashuvlarda hisoblash oqimlarini yaratish va boshqarish, ular o‘rtasidagi o‘zaro ishlashni muvofiqlashtirish dasturchi tomonidan bevosita amalga oshiriladi. Yuqori darajadagi vositalar esa ushbu jarayonlarni soddalashtirish va parallel dasturlarni ishlab chiqishni yengillashtirish imkonini beradi. Parallel hisoblashlarni dasturiy amalga oshirishda OpenMP (Open Multi-Processing), Intel TBB (Intel Threading Building Blocks), Intel MKL (Intel Math Kernel Library), MPI (Message Passing Interface), CUDA (Compute Unified Device Architecture), OpenCL (Open Computing Language) va OpenACC (Open Accelerators) kabi vositalardan foydalaniladi [8], [9], [10].

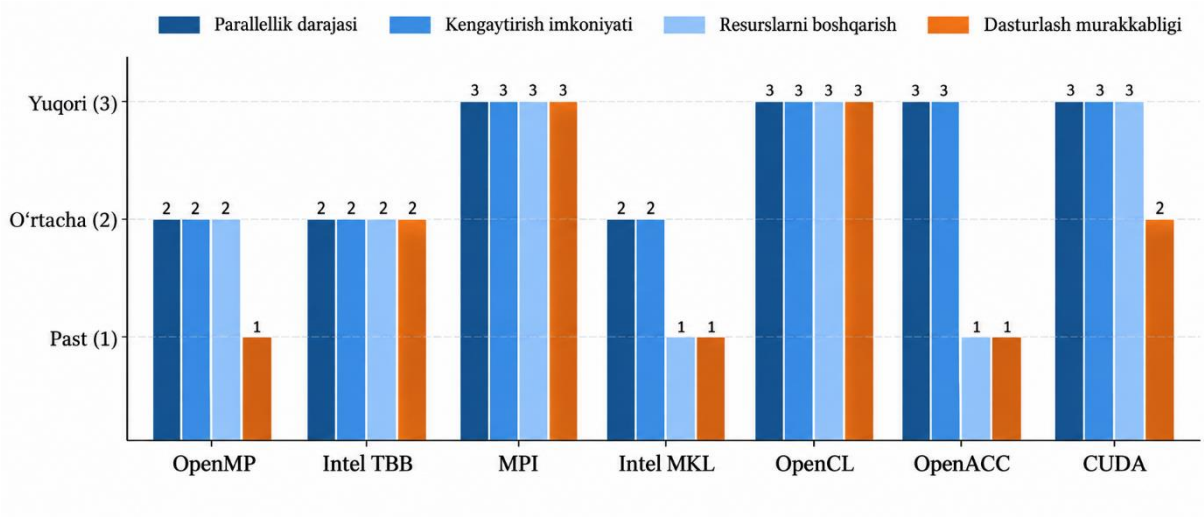
Parallel dasturlash vositalari hisoblash qurilmasi va parallel bajarishni tashkil etish usuliga ko‘ra farqlanadi. Ularning asosiy xususiyatlarini quyidagicha ixcham ifodalash mumkin:

- *OpenMP (Open Multi-Processing)* — umumiy xotirali ko‘p yadroli CPUlarda fork-join modeli asosida parallel hisoblashlarni tashkil etadi. Tasvir qismlarini bir nechta CPU yadrolari o‘rtasida taqsimlab ishlash imkonini beradi.
- *Intel TBB (Intel Threading Building Blocks)* — C++ uchun vazifalarga asoslangan parallel dasturlash kutubxonasi bo‘lib, hisoblash vazifalarini CPU yadrolari o‘rtasida avtomatik taqsimlaydi.
- *Intel MKL (Intel Math Kernel Library)* — ko‘p yadroli CPUlarda chiziqli algebra, matritsa va boshqa matematik amallarni parallel bajarishga mo‘ljallangan kutubxona.
- *MPI (Message Passing Interface)* — taqsimlangan xotirali tizimlarda mustaqil jarayonlar o‘rtasida xabar almashishni ta’minlaydi. Asosan ko‘p tugunli parallel hisoblash tizimlarida qo‘llaniladi.
- *CUDA (Compute Unified Device Architecture)* — NVIDIA GPUlarida kernel funksiyalarini ko‘p sonli oqimlarda parallel bajarishga mo‘ljallangan platforma. Tasvir elementlari ustidagi bir xil amallarni massiv parallel bajarish imkonini beradi.
- *OpenCL (Open Computing Language)* — CPU, GPU, FPGA (Field-Programmable Gate Array) va DSP (Digital Signal Processor) kabi turli hisoblash qurilmalarida parallel hisoblashlarni tashkil etishga mo‘ljallangan ochiq platforma.
- *OpenACC (Open Accelerators)* — kompilyator direktivalari yordamida CPU va GPUlarda parallel hisoblashlarni tashkil etadi. Mavjud ketma-ket kodni katta o‘zgartirishlarsiz parallel bajarishga moslashtirish imkonini beradi.

CPUga mo‘ljallangan vositalarda parallellik turli darajada tashkil etiladi. OpenMP parallel sohalar va sikllarni bir nechta yadroga taqsimlaydi, Intel TBB vazifalarga asoslangan parallellikdan foydalanadi, Intel MKL matematik amallarning tayyor optimallashtirilgan funksiyalarini taqdim etadi. MPI esa jarayonlar o‘rtasida xabar almashish orqali parallel hisoblashlarni bir nechta hisoblash tuguniga kengaytiradi. GPU vositalarida apparat resurslarini boshqarish darajasi yuqoriroq. CUDA NVIDIA GPUlarida kernel, oqim va xotirani bevosita boshqarish imkonini beradi; OpenCL turli ishlab chiqaruvchilarning hisoblash qurilmalarida ishlashga yo‘naltirilgan; OpenACC esa direktivalar yordamida mavjud dastur kodini parallel bajarishga moslashtirishni soddalashtiradi. Sun’iy intellekt kutubxonalari past darajadagi apparat boshqaruvini foydalanuvchidan yashirib, tenzor va neyron tarmoq amallarini mos qurilmada bajarishni tashkil etadi.

PyTorch, TensorFlow va JAX model yaratish va o‘qitishga, ONNX Runtime turli apparat platformalarida modelni bajarishga, TensorRT va cuDNN NVIDIA GPUlaridagi hisoblashlarni, OpenVINO esa Intel CPU, GPU va NPUlaridagi inference jarayonini optimallashtirishga yo‘naltirilgan.

Ko‘rib chiqilgan parallel dasturlash vositalarining parallellik darajasi, kengaytirish imkoniyati, apparat resurslarini boshqarish imkoniyati hamda dasturlash murakkabligi mezonlari bo‘yicha qiyosiy tahlili grafik ko‘rinishi 5-rasmda keltirilgan



5-rasm. Parallel dasturlash vositalarining mezonlar bo‘yicha baholanishi (1 – past, 2 – o‘rtacha, 3 – yuqori)

OpenMP va Intel MKL dasturlash murakkabligining pastligi bilan qulay bo‘lsa, apparat resurslarini boshqarish imkoniyati nisbatan cheklangan. OpenCL yuqori parallellik va platformalararo moslashuvchanlikni ta’minlaydi, biroq undan foydalanish murakkabroq. CUDA esa yuqori parallellik, kengaytirish va GPU resurslarini boshqarish imkoniyatini o‘rtacha dasturlash murakkabligi bilan birlashtiradi. Umuman, tasvirlarga parallel ishlov berishda hisoblash qurilmasini dasturiy vositadan alohida tanlash yetarli emas. CPU turli va boshqaruvga bog‘liq hisoblashlarda, GPU ko‘p sonli takrorlanuvchi amallarni parallel bajarishda, sun’iy intellektga ixtisoslashtirilgan hisoblash qurilmalari esa muayyan sun’iy intellekt vazifalarida qo‘llaniladi. Ularga mos dasturlash vositalari va kutubxonalar hisoblash resurslaridan foydalanish usulini belgilaydi. Shu sababli tasvirlarga parallel ishlov berishda qurilmaning arxitekturaviy xususiyatlari, bajariladigan vazifa va dasturiy muhitning imkoniyatlari o‘zaro mos holda tanlanishi lozim.

Xulosa. Mazkur maqolada tasvirlarga parallel ishlov berishda qo‘llaniladigan CPU va GPU arxitekturalari, sun’iy intellekt protsessorlari hamda ularga mos parallel dasturlash vositalarining imkoniyatlari qiyosiy tahlil qilindi. Tahlil natijasida CPU umumiy maqsadli va boshqaruvga bog‘liq hisoblashlarda

moslashuvchanligi, GPU esa ko‘p sonli tasvir elementlari ustida bir xil amallarni massiv parallel bajarish imkoniyati bilan ajralib turishi aniqlandi. NVIDIA GPU arxitekturalarining rivojlanishi hisoblash imkoniyatlari hamda apparat va xotira resurslarining kengayib borishi bilan tavsiflanishi ko‘rsatildi. Shuningdek, TPU, NPU, DPU, RPU va IPU protsessorlarining sun’iy intellekt hisoblashlaridagi vazifalari hamda OpenMP, Intel TBB, Intel MKL, MPI, CUDA, OpenCL va OpenACC vositalarining qo‘llanish xususiyatlari aniqlandi. Qiyosiy natijalarga ko‘ra, CUDA NVIDIA GPUlarining parallel hisoblash va xotira resurslarini boshqarish imkoniyati bilan tasvirlarga parallel ishlov berish vazifalarida samarali dasturiy muhitni ta’minlaydi. Umumiy natijalar tasvirlarga parallel ishlov berish samaradorligi bajariladigan masalaga mos hisoblash arxitekturasi va parallel dasturlash vositasini birgalikda tanlashga bog‘liqligini ko‘rsatdi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Raximov M.F., Ochilov M.M., Javliyev Sh.A. CUDA texnologiyasi yordamida tasvirlarni parallel qayta ishlash uchun GPU blok o‘lchami va xotira resurslarini samarali boshqarish // TATU xabarlari ilmiy-texnika va axborot-tahliliy jurnali. – 2025. – №4(76). – B. 83-97.

2. Intel Corporation. CPU vs. GPU: Powerful Options for Your Computing Needs [Elektron resurs]. – URL: intel.com — CPU vs. GPU (murojaat sanasi: 29.09.2026)

3. Intel Corporation. Intel® 64 and IA-32 Architectures Optimization Reference Manual [Elektron manba]. – URL: https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/intel-sdm.html (murojaat sanasi: 10.06.2026).

4. Intel Corporation. Intel® oneAPI Threading Building Blocks (oneTBB) [Elektron resurs]. – URL: Intel oneTBB (murojaat sanasi: 29.09.2026).

5. Mekhriddin Rakhimov, Dilnoza Zaripova, Shakhzod Javliev, Jakhongir Karimberdiyev; Deep learning parallel approach using CUDA technology. AIP Conf. Proc. 27 November 2024; 3244 (1): 030003. https://doi.org/10.1063/5.0241439

6. Flynn M.J. Some Computer Organizations and Their Effectiveness // IEEE Transactions on Computers. – 1972. – Vol. C-21, № 9. – P. 948-960. DOI: 10.1109/TC.1972.5009071.

7. Xujayarov I.Sh. Zamonaviy grafik protsessorlar arxitekturasi va texnologiyalari (Obzor) // TATU xabarlari (Vestnik TUIT). – Toshkent, 2018. – №1(45). – B. 22-41.

8. NVIDIA Corporation. NVIDIA Ampere Architecture [Elektron resurs]. – URL: https://www.nvidia.com/en-us/data-center/ampere-architecture/ (murojaat qilingan sana: 04.09.2026).

9. The Khronos Group. OpenCL – the open standard for parallel programming of heterogeneous systems [Elektron manba]. – 2013. – URL: https://www.khronos.org/opencl/ (murojaat sanasi: 10.06.2026).

10. OpenACC. OpenACC Programming and Best Practices Guide. Introduction [Elektron manba]. – URL: https://openacc-best-practices-guide.readthedocs.io/en/latest/01-Introduction.html (murojaat qilingan sana: 01.09.2026).