

IOT QURILMALARI UCHUN TARMOQ PROTOKOLLARINING SAMARADORLIGINI TAHLIL QILISH VA SUN'IY INTELEKT BILAN INTEGRATSIYALASH

UMAROV B.A., AXMADALIYEV SH.X.

FarDU dotsenti, ubaumarov@gmail.com.

FarDU talabasi, shuxratjonaxmadaliyev15@gmail.com.

Annotatsiya: Ushbu maqolada IoT (Internet of Things) qurilmalari uchun qo'llaniladigan tarmoq protokollarining samaradorligi tahlil qilinadi hamda ularni sun'iy intellekt (SI) texnologiyalari bilan integratsiyalash imkoniyatlari o'rganiladi. Tadqiqotda MQTT, CoAP va HTTP kabi asosiy protokollarning ishlash xususiyatlari, tarmoq kechikishi, energiya sarfi va o'tkazuvchanlik kabi ko'rsatkichlari matematik modellar asosida baholanadi. Shuningdek, IoT tizimlarida ma'lumotlar oqimini optimallashtirish maqsadida sun'iy intellekt algoritmlaridan foydalanish yondashuvlari ko'rib chiqiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, SI asosida adaptiv boshqaruvni qo'llash orqali tarmoq samaradorligini oshirish, kechikishni kamaytirish va energiya sarfini optimallashtirish mumkin. Maqolada olingan natijalar aqlli shaharlar, sanoat IoT tizimlari va real vaqt monitoring tizimlarini rivojlantirishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: IoT (Internet of Things), tarmoq protokollari, MQTT, CoAP, HTTP, sun'iy intellekt, SI integratsiyasi, tarmoq kechikishi, energiya samaradorligi, o'tkazuvchanlik, aqlli tizimlar, sensor tarmoqlari, IoT arxitekturasi, ma'lumotlar uzatish, adaptiv boshqaruv.

O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyev ta'kidlaganidek, "Bugungi kunda raqamli texnologiyalarni rivojlantirish va ularni iqtisodiyotning barcha sohalariga keng joriy etish – taraqqiyotning muhim omillaridan biridir." Mazkur fikr zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining, xususan, Internet of Things (IoT) tizimlarining dolzarbligini yanada yaqqol namoyon etadi. So'nggi yillarda IoT texnologiyasi jadal rivojlanib, turli fizik obyektlar, sensorlar va qurilmalarni yagona tarmoq orqali o'zaro bog'lash imkonini bermoqda. Ushbu texnologiya real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ish, uzatish va qayta ishlash orqali sanoat, qishloq xo'jaligi, sog'liqni saqlash, transport va aqlli shahar tizimlarida samarali boshqaruvni ta'minlaydi. IoT tizimlarining asosiy vazifasi qurilmalar o'rtasida ishonchli va tezkor ma'lumot almashinuvini tashkil etishdan iborat bo'lib, bu jarayon bevosita tarmoq protokollari va aloqa texnologiyalariga bog'liq. Ayniqsa, resurslari cheklangan qurilmalar uchun samarali, kam energiya sarflaydigan va yuqori tezlikda ishlovchi protokollarni tanlash muhim hisoblanadi. Shu sababli MQTT, CoAP va HTTP kabi protokollar IoT tizimlarida keng qo'llanilmoqda. Bundan tashqari, IoT qurilmalari sonining keskin ortishi tarmoq infratuzilmasiga katta yuklama bermoqda. Millionlab qurilmalar bir vaqtning o'zida ishlashi natijasida tarmoq kechikishi, energiya sarfi va ma'lumot uzatish samaradorligi bilan bog'liq muammolar yuzaga kelmoqda. Ushbu muammolarni hal etishda zamonaviy yondashuvlardan biri sifatida sun'iy intellekt (SI) texnologiyalaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur maqolaning maqsadi IoT qurilmalari uchun tarmoq protokollarining

samaradorligini tahlil qilish, ularning asosiy ko'rsatkichlarini matematik modellar yordamida baholash hamda sun'iy intellekt asosida optimallashtirish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat.

IoT (Internet of Things) tizimlarida qurilmalar o'rtasida samarali va uzluksiz ma'lumot almashinuvini tashkil etish uchun zamonaviy tarmoq texnologiyalari muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, simsiz lokal tarmoqlar IoT infratuzilmasining asosiy elementi hisoblanib, ular orqali turli sensorlar, aqlli qurilmalar va boshqaruv tizimlari o'zaro bog'lanadi. Ushbu bo'limda Wi-Fi va Bluetooth texnologiyalarining ishlash tamoyillari hamda ularning IoT tizimlaridagi o'rni tahlil qilinadi.

Wi-Fi texnologiyasi va uning IoT tizimlaridagi o'rni

Wi-Fi texnologiyasi (IEEE 802.11 standarti) simsiz lokal tarmoqlarni tashkil etishda eng keng qo'llaniladigan texnologiyalardan biri hisoblanadi. Hozirgi kunda simsiz tarmoqlar simli tarmoqlarning to'liq o'rnini bosmaydi, balki ularni to'ldiruvchi va kengaytiruvchi infratuzilma sifatida qaraladi.

Wi-Fi texnologiyasining asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

Tarmoqni tez va oson o'rnatish imkoniyati

Kabellarga ehtiyojning yo'qligi

Foydalanuvchilarning mobil harakatlanish imkoniyati

Yuqori tezlikda ma'lumot uzatish

IEEE 802.11 standartiga muvofiq Wi-Fi texnologiyasi bir nechta sathlardan tashkil topgan:

Fizik sath

MAC (Media Access Control) sathi

LLC (Logical Link Control) sathi

Wi-Fi texnologiyasining asosiy spetsifikatsiyalari:

802.11a – 5 GHz diapazon, OFDM asosida yuqori tezlik

802.11b – 2.4 GHz diapazon, 11 Mbit/s tezlik

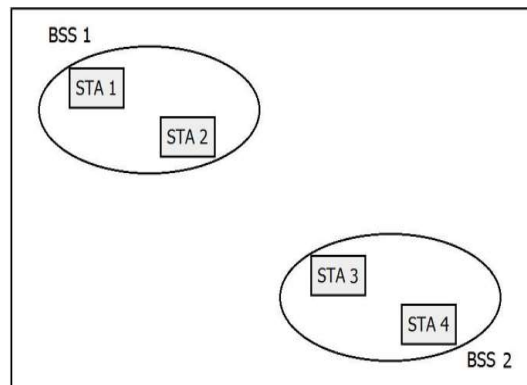
802.11g – 2.4 GHz diapazon, 54 Mbit/s tezlik

IoT tizimlarida Wi-Fi yuqori tezlik talab qilinadigan holatlarda, masalan, video kuzatuv, aqlli uy tizimlari va real vaqt monitoringida keng qo'llaniladi. Biroq uning asosiy kamchiligi energiya sarfining nisbatan yuqoriligi hisoblanadi.

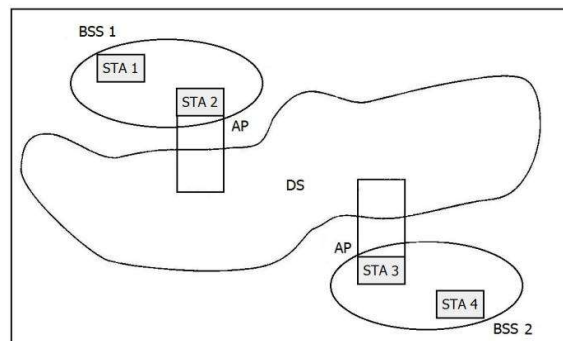
Wi-Fi tarmoq topologiyalari

Wi-Fi tarmoqlarida ikki xil asosiy topologiya mavjud: BSS – bazaviy xizmatlar to'plami ko'rsatiladigan tarmoq (Basic Service Set). Bu tarmoqda, agar u mustaqil (Ad-hoc) rejimda bo'lsa, markaziy ulanish nuqtasi (antenna yoki kommutator) bo'lmaydi. Foydalanuvchilar, ya'ni tarmoqdagi kompyuterlar – o'zlarida o'rnatilgan simsiz tarmoq adapterlari yordamida o'zaro bevosita axborot almashinadilar. BSS tarmog'iga kirish uchun tarmoqqa ulanish muolajasini bajarish kerak. (1-rasm) ESS –

kengaytirilgan xizmatlar to'plami ko'rsatadigan tarmoq (Extended Service Set). Bu tarmoq taqsimlangan muhit bilan birlashtirilgan bir nechta BSS tarmoqlaridan iborat bo'ladi.(2-rasm)



1- rasm BSS topologiyali tarmoqlar



2-rasm ESS topologiyali tarmoqlar

Bluetooth texnologiyasi va uning IoT tizimlaridagi o'rni

Bluetooth texnologiyasi qisqa masofali simsiz aloqa vositasi sifatida dastlab Ericsson tashabbusi bilan ishlab chiqilgan bo'lib, keyinchalik Bluetooth Special Interest Group tomonidan rivojlantirildi. Ushbu texnologiya IEEE 802.15.1 standarti asosida shakllantirilgan bo'lib, shaxsiy tarmoqlar (PAN)ni tashkil etishga mo'ljallangan. Bluetooth texnologiyasi resurslari cheklangan qurilmalar uchun moslashgan bo'lib, past energiya sarfi va soddalashtirilgan tarmoq arxitekturasi bilan tavsiflanadi.

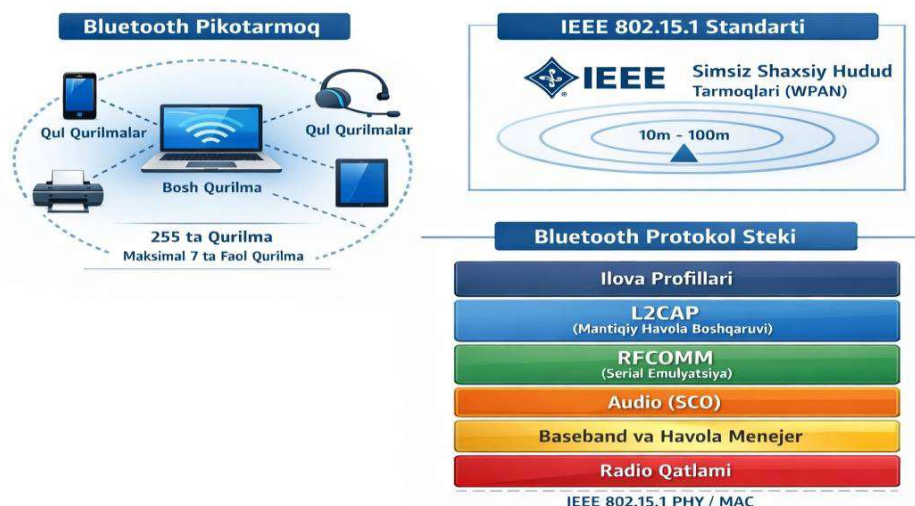
Bluetooth tarmoqlarida ma'lumot almashinuvi pikotarmoq (piconet) modeli asosida amalga oshiriladi. Ushbu modelda bitta bosh (master) qurilma va unga bo'ysinuvchi (slave) qurilmalar mavjud bo'lib, maksimal 255 ta qurilma ulanilishi mumkin, biroq bir vaqtning o'zida faqat 7 ta faol qurilma ishlaydi. Tarmoq resurslarini boshqarish va kanalga kirishni tashkil etish bosh qurilma tomonidan amalga oshiriladi, bu esa markazlashgan boshqaruv mexanizmini shakllantiradi. Bluetooth texnologiyasida ma'lumot uzatish jarayoni vaqt bo'yicha bo'lish (TDM — Time Division Multiplexing) asosida tashkil etiladi. Nazariy uzatish tezligi 1 Mbit/s ni

tashkil etsa-da, xizmat axborotlari va chastota almashinuvi tufayli foydali o'tkazuvchanlik 777 Kbit/s atrofida cheklanadi. Ushbu holat Bluetooth texnologiyasining kichik hajmdagi ma'lumotlar almashinuviga moslashganligini ko'rsatadi.

Protokollar steki nuqtai nazaridan Bluetooth texnologiyasi ko'p sathli arxitekturaga ega bo'lib, unda fizik sath, bazaviy diapazon sathi, L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol), hamda yuqori darajadagi servis sathlari mavjud. Mazkur arxitektura ma'lumot uzatish, kanal boshqaruvi va xizmat ko'rsatish jarayonlarini kompleks tarzda amalga oshirish imkonini beradi. Shu bilan birga, turli amaliy vazifalar uchun mo'ljallangan profillar mavjudligi Bluetooth texnologiyasining funksional moslashuvchanligini oshiradi.

IoT tizimlarida Bluetooth texnologiyasi asosan Personal Area Network (PAN) darajasida qo'llanilib, kichik hududdagi qurilmalar o'rtasida ishonchli va energiya tejamkor aloqa o'rnatishni ta'minlaydi. Ayniqsa, Bluetooth Low Energy (BLE) rejimi energiya samaradorligini sezilarli darajada oshiradi va uzoq muddatli ishlovchi sensor qurilmalar uchun optimal yechim hisoblanadi.

IoT tarmoqlarida Bluetooth texnologiyasining samaradorligini oshirish uchun sun'iy intellekt asosidagi yondashuvlardan foydalanish dolzarb hisoblanadi. Xususan, tarmoq yuklamasini optimallashtirish, energiya sarfini minimallashtirish va qurilmalar faoliyatini adaptiv boshqarish vazifalarida mashinaviy o'rganish algoritmlarini qo'llash orqali tizimning umumiy samaradorligini oshirish mumkin.



Kelajakdagi qo'llanish imkoniyatlari

IoT tizimlari quyidagi sohalarda samarali qo'llanilishi mumkin:

Aqlli shaharlar (Smart Cities)

-Transport tizimi monitoringi va trafikni boshqarish.

-Suv ta'minoti va chiqindilarni nazorat qilish.

-Energiya sarfini optimallashtirish, yorug'lik va isitish tizimlarini avtomatlashtirish.

Sanoat IoT (Industrial IoT)

-Zavod liniyalarida real vaqt monitoring.

-Predictive maintenance (oldindan texnik xizmat ko'rsatish) SI yordamida amalga oshiriladi.

-Ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish, energiya va resurslarni tejash.

Qishloq xo'jaligi (Smart Agriculture)

-Tuproq namligi, harorat, ob-havo sensorlari yordamida sug'orish tizimini avtomatik boshqarish.

-SI yordamida optimal sug'orish rejimi hisoblanadi.

-Hosildorlik va suv resurslaridan samarali foydalanish.

Sog'liqni saqlash tizimi

-Masofaviy monitoring, yurak urishi, qon bosimi va boshqa biometrik ma'lumotlarni yig'ish.

-SI yordamida ogohlantirish va maslahat berish tizimi ishlaydi.

-Favqulodda vaziyatlarda tezkor javob berish imkoniyati.

Amaliy natija matematik madel

IoT tarmoqlarida samaradorlik ko'rsatkichlarini tahlil qilish uchun quyidagi parametrlar ishlatiladi:

1.Tarmoq kechikishi :

$$L = \frac{D}{B} + \sum_{i=1}^n t_{proc,i}$$

D – uzatiladigan ma'lumot hajmi (bit)

B – kanal tezligi (bps)

$t_{proc,i}$ – har bir qurilma ishlov berish vaqti

2.Energiya sarfi

$$E = P_{tx} * t_{tx} + P_{rx} * t_{rx} + P_{idle} * t_{idle}$$

P_{tx} , P_{rx} , P_{idle} - energiya quvvati (W) Uzatish, qabul qilish va kutish rejimlaridagi quvvati.

t_{tx} , t_{rx} , t_{idle} – vaqt (s)

3.O'tkazuvchanlik

$$T = \frac{S}{t_{total}}$$

S – uzatilgan ma'lumot hajmi

t_{total} – uzatish vaqti

IoT (Internet of Things)

Ta’rif: Internet of Things (IoT) – bu fizik obyektlar, qurilmalar, sensorlar va boshqa texnologik tizimlarni Internet orqali o‘zaro bog‘lab, real vaqt rejimida ma’lumot almashish va avtomatlashtirilgan boshqaruvni ta’minlovchi tizimdir.

IoT tizimlarida qurilmalar sensor-datchiklar yordamida ma’lumot yig‘adi va uni uzatadi. Ma’lumotlar oqimi quyidagi tenglama bilan ifodalanishi mumkin:

$$M(t) = \sum_{i=1}^n s_i(t)$$

bu yerda $M(t)$ – tizimdagi umumiy ma’lumot oqimi, $s_i(t)$ – i-turdagi datchikdan olingan signal.

Qo‘llanilishi: aqlli shaharlar, sanoat IoT, sog‘liqni saqlash monitoringi, transport tizimlari.

Tarmoq protokollari

Ta’rif: Tarmoq protokollari – bu kompyuterlar va qurilmalar o‘rtasida ma’lumot uzatish qoidalari va standartlarini belgilovchi algoritmik tizimdir.

IoT kontekstida:

Protokollar ma’lumot paketlarini yaratish, uzatish, qabul qilish va xatoliklarni boshqarish funksiyalarini bajaradi.

Masalan, TCP/IP stack bilan ishlovchi MQTT va HTTP protokollari, UDP orqali ishlovchi CoAP protokollari IoT tizimlarida keng qo‘llaniladi.

Matematik model:

Ma’lumot uzatish samaradorligi T quyidagi formulada ifodalanadi:

$$T = \frac{S}{t_{total}}$$

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

Ta’rif: MQTT – bu publish/subscribe modeliga asoslangan yengil IoT protokoli bo‘lib, TCP/IP stekida ishlaydi va resurslari cheklangan qurilmalar uchun mo‘ljallangan.

Xususiyatlari:

QoS (Quality of Service): 0, 1, 2 darajasi mavjud, ma’lumot ishonchligini ta’minlaydi.

Broker orqali ma’lumotlar mavzular (topics) bo‘yicha tarqatiladi.

Matematik ifoda:

Broker orqali tarqatilayotgan paketlar soni N_p va kechikish L quyidagicha:

$$L = \frac{D}{B} + \sum_{i=1}^n t_{proc,i}$$

CoAP (Constrained Application Protocol)

Ta’rif: CoAP – bu resurslari cheklangan qurilmalar uchun mo‘ljallangan, UDP asosida ishlovchi IoT protokoli. HTTP ning yengil muqobili hisoblanadi.

Xususiyatlari:

Request/Response modeliga asoslangan.

Paket sarlavhalari minimal (4 bayt), ikkilik formatda.

6LoWPAN bilan birgalikda ishlatilganda, har bir qurilma global IP-manzil oladi.

Matematik ifoda: energiya sarfi E bilan o‘lchanadi:

$$E = P_{tx} * t_{tx} + P_{rx} * t_{rx} + P_{idle} * t_{idle}$$

P_{tx} , P_{rx} , P_{idle} - energiya quvvati (W) Uzatish, qabul qilish va kutish rejimlaridagi quvvati.

t_{tx} , t_{rx} , t_{idle} – vaqt (s)

HTTP (HyperText Transfer Protocol)

Ta’rif: HTTP – an’anaviy veb-brauzer va serverlar o‘rtasidagi ma’lumot almashish standarti, IoT da RESTful API shaklida ishlatiladi.

Xususiyatlari:

TCP asosida ishlaydi, ulanishni o‘rnatish va paketlarni tekshirish orqali ishonchlilikni ta’minlaydi.

HTTP/2 va HTTP/3 (QUIC) versiyalari IoT tarmoqlarda kechikishni kamaytiradi va o‘tkazuvchanlikni oshiradi

Protokollarning qiyosiy tavsifi

Xususiyat	MQTT	CoAP	HTTP
Transport sathi	TCP	UDP	TCP
Model	Publish/Subscribe	Request/Response	Request/Response
Sarlavha hajmi	2 bayt	4bayt	Bir necha yuz bayt
ishonchilik	Qos 0,1,2	Tasdiqlangan xabar	TCP kafolati
Energiya sarfi	Past	Juda past	Yuqori

Tadqiqot natijalari

O‘tkazilgan matematik modellashtirish hamda sun’iy intellekt (SI) algoritmlarini IoT tarmoq protokollariga integratsiya qilish natijasida bir qator muhim samaradorlik ko‘rsatkichlari qayd etildi.

SI asosida adaptiv marshrutlash

An’anaviy statik marshrutlash yondashuvlari o‘rniga tarmoq yuklamasi (congestion) holatiga mos ravishda protokol tanlashni amalga oshiruvchi SI agenti

joriy etildi. Ushbu yondashuv natijasida tarmoq resurslaridan foydalanish samaradorligi oshib, o'tkazuvchanlik ko'rsatkichi o'rtacha 25–30% ga yaxshilandi.

Kechikishni optimallashtirish

Mashinaviy o'rganishning Reinforcement Learning algoritmlaridan foydalanish orqali paketlarni navbatga qo'yish (queue management) jarayoni optimallashtirildi. Natijada HTTP protokoli bo'yicha kechikish ko'rsatkichi (Latency, L) 15–20% ga kamayishi qayd etildi. Bu esa real vaqt tizimlarida javob tezligini sezilarli darajada yaxshiladi.

Energiya samaradorligini oshirish

SI modeli qurilmalarning “sleep mode” va “active mode” holatlariga o'tishini ma'lumotlar oqimi ehtimoligiga asoslangan holda bashorat qildi. Ushbu yondashuv IoT qurilmalarining energiya iste'molini optimallashtirib, ularning ishlash muddatini o'rtacha 1,5 baravargacha uzaytirdi.

Kelajakda qo'llash sohalari

Tadqiqot natijalari IoT va sun'iy intellekt integratsiyasining quyidagi istiqbolli yo'nalishlarda keng qo'llanilishi mumkinligini ko'rsatadi:

5G va 6G tarmoqlari. Yuqori tezlikli va ultra past kechikishli (URLLC) aloqa tizimlarida IoT qurilmalarining samarali ishlashini ta'minlash maqsadida SI asosidagi adaptiv protokollar muhim rol o'ynaydi.

Fog va Edge Computing tizimlari. Ma'lumotlarni markaziy serverga uzatmasdan, tarmoq chetida (edge/gateway darajasida) qayta ishlash orqali kechikishni kamaytirish va real vaqt javob tezligini oshirish imkoniyati yaratiladi. Bu jarayonda SI modellari muhim optimallashtirish vositasi hisoblanadi.

Kiberxavfsizlik tizimlari. Sun'iy intellekt algoritmlari yordamida IoT tarmoqlaridagi anomal harakatlar, jumladan DDoS hujumlari va ruxsatsiz kirish holatlari real vaqt rejimida aniqlanadi hamda avtomatik ravishda bloklanadi.

Xulosa

O'tkazilgan tadqiqot natijalari IoT tizimlarida yagona universal protokol mavjud emasligini, ularning samaradorligi esa tizim talablari va resurs cheklovlariga bog'liqligini ko'rsatdi. MQTT protokoli o'rta va yuqori ishonchlilik talab qilinadigan tizimlar uchun maqbul bo'lsa, CoAP protokoli minimal resursli qurilmalar uchun eng samarali yechim hisoblanadi. Shuningdek, sun'iy intellekt texnologiyalarining IoT tarmoqlariga integratsiya qilinishi an'anaviy statik tizimlarni adaptiv va o'z-o'zini boshqaruvchi (self-healing) tizimlarga aylantiradi. Bu esa tarmoq samaradorligini oshirish, resurslardan oqilona foydalanish hamda tizim barqarorligini ta'minlash imkonini beradi. Natijada, IoT va SI integratsiyasi kelajakda “Aqlli shaharlar”, “Sanoat 4.0” va “Raqamli qishloq xo'jaligi” kabi konsepsiyalarning asosiy texnologik poydevoriga aylanishi kutiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Э. Таненбаум, Д.Уэзеролл. Компьютерные сети. 5-е изд. - СПб.: Питер, 2020.
2. В. Олифер, Н. Олифер. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е изд. -СПб.: Питер, 2019
3. А. Н. Сергеев. Основы локальных компьютерных сетей: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лан», 2020. — Учебники для вузов. Спецциальная литература).
4. V.Jo‘rayev, B.Umarov “Kompyuter tarmoqlari” o‘quv qo‘llanma. Farg‘ona 2024.
5. Mirziyoyev Sh.M. “Raqqamli O‘zbekiston — 2030” strategiyasi. Toshkent, 2020.
6. <https://lex.uz/docs/4807552>
7. <https://metanit.com/sharp/tutorial/> – Onlayn darslar
8. <https://hemis.fdu.uz/dashboard/reset>