DIGITAL TWIN VA SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA PROGNOZLOVCHI AQLLI SHAHAR: INFRASTRUKTURANI REAL VAQT REJIMIDA OPTIMALLASHTIRISH VA BARQAROR BOSHQARISH MODELI

Xudoykulov Javohir Maxmatkulovich
Termiz davlat universiteti Axborot texnologiyalari fakulteti 3-kurs talabasi
DOI:https://doi.org/10.5281/zenodo.22894998

Annotatsiya. Ushbu maqolada Digital Twin, ya'ni raqamli egizak texnologiyasi hamda sun'iy intellektning integratsiyasi asosida prognozlovchi aqlli shaharni shakllantirish masalasi tadqiq etiladi. Zamonaviy urbanizatsiya jarayonlari natijasida shahar infratuzilmasiga tushayotgan yuklamaning ortishi transport, energetika, suv ta'minoti, ekologik monitoring va kommunal xizmatlarni boshqarishda yangi texnologik yondashuvlardan foydalanishni talab qilmoqda. Digital Twin texnologiyasi real shahar muhitining raqamli modelini yaratib, jismoniy obyektlardan olinayotgan ma'lumotlarni virtual muhit bilan bog'lash imkonini beradi. Sun'iy intellekt esa ushbu ma'lumotlarni katta hajmda qayta ishlash, mavjud holatni baholash, kelajakdagi jarayonlarni prognozlash, nosozliklarni oldindan aniqlash va infratuzilmadan foydalanishning optimal variantlarini ishlab chiqishga xizmat qiladi. Maqolada Digital Twin va sun'iy intellekt asosidagi aqlli shahar modelining nazariy asoslari, real vaqt rejimida ma'lumot almashinuvi, infratuzilmani prognozlovchi boshqarish imkoniyatlari, resurslardan samarali foydalanish masalalari, ekologik barqarorlik, kiberxavfsizlik hamda O'zbekiston sharoitida mazkur texnologiyalardan foydalanish istiqbollari tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: Digital Twin, raqamli egizak, sun'iy intellekt, aqlli shahar, urbanizatsiya, IoT, real vaqt rejimi, prognozlash, raqamli infratuzilma, mashinali o'qitish, barqaror rivojlanish, shahar boshqaruvi.

Zamonaviy dunyoda urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi shaharlarni boshqarish tizimlari oldiga yangi talablarni qo'ymoqda. Aholining shaharlarda tobora ko'proq jamlanishi transport oqimlarining ortishi, energiya iste'molining ko'payishi, suv resurslariga bo'lgan talabning oshishi, chiqindilar hajmining kengayishi va ekologik bosimning kuchayishiga olib kelmoqda. Bunday sharoitda shahar infratuzilmasini faqat mavjud muammolarga javob berish tamoyili asosida boshqarish yetarli emas. Boshqaruv tizimlari muammolarni oldindan aniqlashi, ularning ehtimoliy rivojlanish ssenariylarini hisoblab chiqishi va resurslarni shunga muvofiq taqsimlashi zarur. Aynan shu nuqtada raqamli texnologiyalar, xususan, Digital Twin va sun'iy intellektning integratsiyasi muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Digital Twin atamasi real fizik obyekt, jarayon yoki tizimning raqamli muhitdagi dinamik tasvirini anglatadi. Oddiy raqamli model ma'lum bir obyektning statik holatini aks ettirishi mumkin bo'lsa, Digital Twin real obyekt bilan doimiy ma'lumot almashish imkoniyatiga ega bo'lgan dinamik model hisoblanadi. Uning asosiy xususiyati jismoniy obyekt holatidagi o'zgarishlarning raqamli muhitda aks ettirilishi va raqamli model yordamida turli jarayonlarni tahlil qilish imkoniyatining mavjudligidir.[1] Shu sababli Digital Twin texnologiyasi ishlab chiqarish, energetika, transport, qurilish va urbanistik boshqaruv kabi ko'plab sohalarda qo'llash uchun istiqbolli vosita sifatida qaralmoqda.

Aqlli shahar sharoitida Digital Twin butun shahar infratuzilmasining raqamli nusxasini

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

shakllantirishga xizmat qilishi mumkin. Bunday model tarkibiga binolar, yo'llar, transport vositalari, elektr tarmoqlari, suv ta'minoti tizimlari, jamoat transporti, ekologik monitoring qurilmalari va boshqa infratuzilma elementlari kiritilishi mumkin. Ushbu obyektlarga o'rnatilgan sensorlar va Internet of Things qurilmalari real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'adi. Mazkur ma'lumotlar markaziy raqamli platformaga uzatiladi va Digital Twin modelida aks ettiriladi. Natijada shahar boshqaruvchilari real vaqtda infratuzilmaning holatini kuzatish, turli hududlardagi o'zgarishlarni taqqoslash va yuzaga kelayotgan muammolarni aniqlash imkoniyatiga ega bo'ladilar.[2]

Biroq katta hajmdagi ma'lumotlarning mavjudligi ularning avtomatik ravishda foydali boshqaruv qaroriga aylanishini anglatmaydi. Shu sababli Digital Twin tizimining sun'iy intellekt bilan integratsiyasi alohida ahamiyatga ega. Sun'iy intellekt algoritmlari katta hajmdagi tarixiy va real vaqt ma'lumotlarini qayta ishlab, ular orasidagi yashirin bog'liqliklarni aniqlashi mumkin. Mashinali o'qitish algoritmlari avvalgi transport oqimlari, elektr energiyasi iste'moli, suv sarfi, ob-havo ko'rsatkichlari va boshqa omillar asosida kelajakdagi ehtimoliy holatlarni prognozlash imkonini beradi. Shu tariqa shahar boshqaruvi mavjud holatni kuzatishdan tashqari, kelajakdagi o'zgarishlarni oldindan hisobga oladigan prognozlovchi boshqaruv tizimiga aylanishi mumkin.

Prognozlovchi boshqaruvning amaliy ahamiyati ayniqsa infratuzilmadagi nosozliklarning oldini olishda namoyon bo'ladi. Masalan, suv ta'minoti tarmog'ida bosimning o'zgarishi, suv oqimining kamayishi yoki boshqa ko'rsatkichlarning noodatiy holatga kelishi quvur tizimida muammo yuzaga kelish ehtimolini bildirishi mumkin. Sun'iy intellekt ushbu ko'rsatkichlarni tarixiy ma'lumotlar bilan taqqoslab, muayyan uchastkada nosozlik yuzaga kelish xavfini oldindan aniqlashga yordam beradi. Natijada ta'mirlash ishlari avariya sodir bo'lgandan keyin emas, balki muammo yuzaga kelishidan oldin rejalashtirilishi mumkin. Bunday yondashuv prediktiv texnik xizmat ko'rsatish tamoyiliga asoslanadi va infratuzilmaning ishlash muddatini uzaytirish hamda kutilmagan xarajatlarni kamaytirish imkonini beradi.[3]

Transport tizimida ham Digital Twin va sun'iy intellektning integratsiyasi katta imkoniyatlar yaratadi. Shahardagi transport vositalarining harakati, yo'l kesishmalaridagi yuklama, avtomobillar tezligi va tirbandliklarning davomiyligi to'g'risidagi ma'lumotlar real vaqt rejimida yig'ilishi mumkin. Sun'iy intellekt ushbu ma'lumotlardan foydalanib, transport oqimining kelajakdagi o'zgarishini prognozlaydi. Digital Twin esa turli boshqaruv ssenariylarini virtual muhitda sinab ko'rish imkonini beradi. Masalan, ma'lum bir chorrahada svetoforning ishlash vaqtini o'zgartirish yoki transport oqimini boshqa yo'nalishga qayta taqsimlashdan oldin uning boshqa ko'chalarga ta'sirini raqamli model yordamida baholash mumkin. Bu real infratuzilmaga bevosita tajriba o'tkazish zaruratini kamaytiradi.

Energetika tizimida Digital Twin va sun'iy intellektdan foydalanish energiya ishlab chiqarish va iste'mol qilish jarayonlarini muvofiqlashtirish imkonini beradi. Shaharda elektr energiyasiga bo'lgan talab kunning turli vaqtlarida o'zgarib turadi. Ob-havo, mavsum, aholi faolligi va boshqa omillar energiya iste'moliga ta'sir ko'rsatadi. Sun'iy intellekt tarixiy va real vaqt ma'lumotlari asosida kelajakdagi energiya yuklamasini prognozlab, tarmoqdagi ortiqcha yuklanish ehtimolini aniqlashi mumkin. Digital Twin esa turli energiya taqsimoti ssenariylarini virtual muhitda modellashtirish imkonini beradi. Bunday yondashuv energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslardan oqilona foydalanish uchun qo'shimcha imkoniyat yaratadi.[4]

Shahar suv ta'minoti tizimi ham prognozlovchi boshqaruv uchun muhim yo'nalishlardan biridir. Suv tarmoqlaridagi sizib chiqishlar, bosim o'zgarishlari va iste'mol hajmining hududlar bo'yicha farqlanishi katta miqdorda resurs yo'qotilishiga sabab bo'lishi mumkin. Sensorlar yordamida suv

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

tarmog'ining turli nuqtalaridan ma'lumotlar yig'ilib, Digital Twin modeliga uzatilsa, tizimning virtual holatini doimiy ravishda kuzatish mumkin. Sun'iy intellekt esa odatiy iste'mol ko'rsatkichlaridan farq qiluvchi holatlarni aniqlab, ehtimoliy nosozliklar haqida oldindan signal berishi mumkin. Natijada suv yo'qotishlarini kamaytirish va texnik xizmat ko'rsatish jarayonlarini optimallashtirish imkoniyati paydo bo'ladi.

Ekologik monitoringda ham ushbu texnologiyalarning ahamiyati katta. Shaharlarda havo sifati, harorat, namlik, shovqin darajasi va boshqa ekologik ko'rsatkichlarni sensorlar orqali kuzatish mumkin. Ushbu ma'lumotlarni transport oqimi, meteorologik sharoit va aholi zichligi haqidagi ma'lumotlar bilan birlashtirish orqali ekologik vaziyatning rivojlanishini modellashtirish mumkin. Sun'iy intellekt ma'lum hududlarda ifloslanish darajasi oshishining ehtimoliy sabablarini aniqlash va kelajakdagi holatlarni prognozlash uchun ishlatilishi mumkin. Bu esa ekologik boshqaruv choralarini faqat mavjud muammoga javoban emas, balki oldindan rejalashtirish imkonini beradi.

Digital Twin asosidagi aqlli shahar modelining muhim jihatlaridan biri turli infratuzilma tizimlarini yagona raqamli muhitda o'zaro bog'lash imkoniyatidir. An'anaviy boshqaruvda transport, energetika, suv ta'minoti va ekologik monitoring tizimlari alohida-alohida boshqarilishi mumkin. Aslida esa ular o'zaro chambarchas bog'liq. Masalan, transport oqimining o'zgarishi energiya iste'moli va havoning ifloslanishiga ta'sir qilishi mumkin. Haroratning ko'tarilishi esa elektr energiyasiga bo'lgan talabni oshirishi ehtimoli mavjud. Digital Twin ushbu o'zaro bog'liqliklarni yagona model doirasida ko'rib chiqish imkonini beradi.[5] Bunday integratsiyalashgan tizimni "ma'lumotlarni yig'ish - raqamli modellashtirish - sun'iy intellekt orqali tahlil qilish - prognozlash - optimallashtirish - boshqaruv - qayta aloqa" tamoyili asosida tasavvur qilish mumkin. Dastlab sensorlar va IoT qurilmalari real muhitdan ma'lumotlarni yig'adi. Keyin ushbu ma'lumotlar raqamli platformaga uzatiladi va Digital Twin modelida aks ettiriladi. Sun'iy intellekt algoritmlari ma'lumotlarni qayta ishlab, kelajakdagi ehtimoliy holatlarni aniqlaydi. Keyingi bosqichda turli boshqaruv variantlari modellashtiriladi va belgilangan mezonlar asosida baholanadi. Tanlangan boshqaruv mexanizmi real infratuzilmaga tatbiq etilgach, uning natijalari yana tizimga qaytariladi. Shu tariqa Digital Twin o'zgarib turuvchi shahar muhitiga moslashib boruvchi dinamik tizimga aylanadi.

Mazkur model barqaror shahar rivojlanishi bilan ham bevosita bog'liq. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Barqaror rivojlanish maqsadlarida shaharlarni inklyuziv, xavfsiz, chidamli va barqaror qilish alohida maqsad sifatida belgilangan.[6] Resurslardan samarali foydalanish, energiya sarfini optimallashtirish, suv yo'qotishlarini kamaytirish, transport oqimini boshqarish va ekologik monitoringni takomillashtirish ushbu maqsadlarning ayrim yo'nalishlari bilan uyg'unlashadi. Shunday qilib, Digital Twin texnologiyasi faqat texnik boshqaruv vositasi emas, balki shaharlarning uzoq muddatli barqarorligini ta'minlashga xizmat qiluvchi raqamli instrument sifatida ham qaralishi mumkin.

Chiqindilarni boshqarishda ham prognozlovchi modeldan foydalanish imkoniyati mavjud. Chiqindi konteynerlariga o'rnatilgan sensorlar ularning to'lish darajasini aniqlashi mumkin. Ushbu ma'lumotlar asosida sun'iy intellekt chiqindilarni yig'ish uchun optimal vaqt va yo'nalishlarni hisoblab chiqishi mumkin. Natijada chiqindi tashuvchi transport vositalarining keraksiz qatnovlari kamayishi, yoqilg'i va vaqt tejalishi mumkin. Bunday yondashuv resurslardan foydalanish samaradorligini oshirish bilan birga, shahar xizmatlarining sifatini ham yaxshilashga xizmat qilishi mumkin.

Shu bilan birga, Digital Twin va sun'iy intellekt asosidagi aqlli shahar modelining joriy etilishi bir qator muammolarni ham keltirib chiqaradi. Eng muhim masalalardan biri ma'lumotlarning sifati va ishonchliligidir. Sun'iy intellekt algoritmi qanchalik murakkab bo'lmasin, agar unga noto'g'ri, eskirgan

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

yoki to'liq bo'lmagan ma'lumotlar berilsa, uning prognozlari ham yetarlicha ishonchli bo'lmasligi mumkin. Shu sababli aqlli shahar tizimlarida ma'lumotlarni standartlashtirish, tekshirish, yangilash va sifat nazoratidan o'tkazish alohida ahamiyatga ega.[7]

Kiberxavfsizlik masalasi ham muhim muammolardan biridir. Shaharning energetika, transport, suv ta'minoti va boshqa muhim infratuzilmalari yagona raqamli tizimga ulanadigan bo'lsa, ularning axborot xavfsizligini ta'minlash talab etiladi. Raqamli tizimga ruxsatsiz kirish yoki noto'g'ri ma'lumotlarni tizimga kiritish boshqaruv qarorlariga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli autentifikatsiya, ma'lumotlarni shifrlash, kirish huquqlarini cheklash va kiberxavfsizlik monitoringi kabi mexanizmlar Digital Twin infratuzilmasining ajralmas qismi bo'lishi kerak.

Shaxsiy ma'lumotlarning himoyasi ham alohida e'tibor talab qiladi. Aqlli shahar tizimlarida videokuzatuv, transport monitoringi, mobil qurilmalar va boshqa manbalardan ma'lumot olinishi mumkin. Bunday ma'lumotlardan foydalanishda maxfiylik va qonuniylik tamoyillariga rioya qilish zarur. Ayniqsa, ma'lumotlarni yig'ish maqsadi, ularni saqlash muddati, foydalanish huquqi va uchinchi tomonlarga berish shartlari aniq belgilanishi kerak. Texnologik rivojlanish bilan bir qatorda fuqarolarning huquq va manfaatlarini himoya qilishga qaratilgan tashkiliy va huquqiy mexanizmlar ham rivojlantirilishi lozim.

O'zbekiston sharoitida Digital Twin va sun'iy intellekt asosidagi aqlli shahar modelini bosqichma-bosqich joriy etish imkoniyatlari mavjud. Bunda avvalo transport oqimi, energiya iste'moli, suv ta'minoti va ekologik monitoring kabi yo'nalishlardan bir yoki bir nechtasini pilot loyiha sifatida tanlash mumkin. Alohida infratuzilma obyektlarining raqamli egizaklarini yaratish orqali texnologiyaning amaliy samaradorligini sinab ko'rish, keyinchalik esa ularni yagona shahar raqamli modeliga integratsiya qilish mumkin. Bunday jarayonda mahalliy iqlim, aholi zichligi, transport tuzilmasi, suv va energetika resurslarining xususiyatlari kabi omillar hisobga olinishi zarur.

O'zbekiston shaharlarida bunday texnologiyalarni rivojlantirishda oliy ta'lim muassasalari, ilmiy-tadqiqot markazlari, davlat tashkilotlari va xususiy texnologik kompaniyalar hamkorligi muhim ahamiyatga ega. Mahalliy sharoitga mos ma'lumotlar bazalarining shakllantirilishi va mahalliy mutaxassislarning sun'iy intellekt, GIS, IoT, kiberxavfsizlik va raqamli modellashtirish bo'yicha bilimlarini rivojlantirish Digital Twin tizimlarining amaliy samaradorligini oshirishga xizmat qilishi mumkin. Umuman olganda, Digital Twin va sun'iy intellektning integratsiyasi shahar boshqaruvida real vaqt ma'lumotlaridan foydalanish, kelajakdagi jarayonlarni prognozlash va infratuzilmani dinamik ravishda optimallashtirish imkonini beruvchi istiqbolli texnologik modelni shakllantiradi. Ushbu modelning asosiy afzalligi shahar infratuzilmasini alohida obyektlar yig'indisi sifatida emas, balki o'zaro bog'liq murakkab tizim sifatida ko'rib chiqish imkoniyatidir. Sun'iy intellekt ushbu tizimda katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish va prognozlash vazifasini bajarishi mumkin bo'lsa, Digital Twin real infratuzilmaning virtual muhitdagi dinamik tasvirini ta'minlaydi. Shu orqali transport, energetika, suv ta'minoti, ekologiya va kommunal xizmatlar o'rtasidagi o'zaro bog'liqliklarni hisobga olgan holda boshqaruv ssenariylarini ishlab chiqish imkoniyati yuzaga keladi. Biroq texnologiyaning samaradorligi faqat algoritmlarning murakkabligi bilan emas, balki ma'lumotlar sifati, infratuzilmaning texnik tayyorgarligi, kiberxavfsizlik, huquqiy tartibga solish, malakali kadrlar va inson nazoratining mavjudligi bilan ham belgilanadi. Shu sababli kelajakdagi prognozlovchi aqlli shahar modeli texnologik vositalar majmuasi sifatida emas, balki raqamli ma'lumotlar, sun'iy intellekt, inson qarori va barqaror boshqaruv tamoyillarini yagona tizimga birlashtiruvchi kompleks model sifatida shakllantirilishi lozim.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In: Kahlen F.J., Flumerfelt S., Alves A. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Springer, 2017.
2. Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 108952–108971.
3. Carvalho T.P., Soares F.A.A.M.N., Vita R., Francisco R.P., Basto J.P., Alcalá S.G.S. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. Computers & Industrial Engineering. 2019. Vol. 137.
4. International Energy Agency. Digitalisation and Energy. Paris: IEA, 2017.
5. Batty M. Digital twins. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2018. Vol. 45(5). P. 817–820.
6. United Nations. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, 2015.
7. Ketzler B., Naserentin V., Latino F., Zangelidis C., Thuvander L., Logg A. Digital Twins for Cities: A State of the Art Review. Built Environment. 2020. Vol. 46(4). P. 547–573.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.