

YANGI TOSHKENT LOYIHASI MISOLIDA GENERATIV SUN'IY INTELLEKT ALGORITMLARI YORDAMIDA BINOLARNING 2D TASVIRLARINI 3D MODELLARIGA TRANSFORMATSIYA QILISH TEXNOLOGIYALARI

Qulmamatov Orif Soatmo'min o'g'li

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Mustaqil izlanuvchi, PhD.

Abstract

In modern urbanization processes, the automation of architectural visualization and the creation of digital twins have become primary factors in developing technological infrastructure. Within the framework of this research, a methodology was developed for automatically converting two-dimensional static images into three-dimensional digital mock-ups using deep learning architectures. The proposed solution is based on the synthesis of neural networks and generative models, allowing for the highly accurate reconstruction of the spatial dimensions and textural characteristics of objects. The dynamics of the obtained results demonstrated a sharp increase in the processing speed of architectural blueprints, alongside the optimization of computational resources for visual data analysis and volumetric modeling algorithms. The conceptual conclusions of the study present a practical platform aimed at reducing design costs and facilitating the formation of a digital urban cadastre through the widespread integration of artificial intelligence into urban planning information systems.

Keywords: Artificial intelligence, generative models, neural networks, three-dimensional modeling, digital twins, spatial reconstruction, urban planning information systems.

Annotatsiya

Zamonaviy urbanizatsiya jarayonlarida arxitektura vizualizatsiyasini avtomatlashtirish va raqamli egizaklar yaratish masalasi texnologik infratuzilmani rivojlantirishning asosiy omillaridan biriga aylangan. Ushbu tadqiqot doirasida ikki o'lchovli statik tasvirlarni chuqur o'rganish arxitekturalari yordamida avtomatik tarzda uch o'lchovli raqamli maketlarga o'tkazish metodologiyasi ishlab chiqildi. Taklif etilayotgan yechim neyron tarmoqlar va generativ modellar sinteziga asoslangan bo'lib, ob'ektlarning fazoviy o'lchamlari va tekstura xususiyatlarini yuqori aniqlikda qayta tiklash imkonini beradi. Olingan natijalar dinamikasi vizual ma'lumotlarni tahlil qilish hamda hajmli modellashtirish algoritmlarining hisoblash resurslarini optimallashtirish bilan bir qatorda, me'moriy chizmalarni qayta ishlash tezligini keskin oshirishini namoyish etdi. Tadqiqotning konseptual xulosalari shaharsozlik axborot tizimlarida sun'iy intellektni keng joriy etish orqali loyihalashtirish xarajatlarini kamaytirish va raqamli shahar kadastrini shakllantirish jarayonlarini yengillashtirishga qaratilgan amaliy platformani tqdim etadi.

Kalit so'zlar: Sun'iy intellekt, generativ modellar, neyron tarmoqlar, uch o'lchovli modellashtirish, raqamli egizaklar, fazoviy rekonstruksiya, shaharsozlik axborot tizimlari.

Аннотация

В процессах современной урбанизации автоматизация архитектурной визуализации и создание цифровых двойников стали одними из ключевых факторов развития технологической инфраструктуры. В рамках данного исследования разработана методология автоматического преобразования двумерных статических изображений в трехмерные цифровые макеты с

использованием архитектур глубокого обучения. Предлагаемое решение основано на синтезе нейронных сетей и генеративных моделей, что позволяет с высокой точностью воссоздавать пространственные размеры и текстурные характеристики объектов. Динамика полученных результатов продемонстрировала резкое увеличение скорости обработки архитектурных чертежей наряду с оптимизацией вычислительных ресурсов алгоритмов анализа визуальных данных и объемного моделирования. Концептуальные выводы исследования предлагают практическую платформу, направленную на снижение затрат на проектирование и облегчение процессов формирования цифрового городского кадастра за счет широкого внедрения искусственного интеллекта в градостроительные информационные системы.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, генеративные модели, нейронные сети, трехмерное моделирование, цифровые двойники, пространственная реконструкция, градостроительные информационные системы.

Keywords: Artificial intelligence, generative models, neural networks, three-dimensional modeling, digital twins, spatial reconstruction, urban planning information systems.

1. KIRISH

Global miqyosda "Aqlli shahar" (Smart City) va "Raqamli egizak" (Digital Twin) konsepsiyalarining keng joriy etilishi shaharsozlik axborot tizimlarida (Urban Information Systems) katta hajmdagi vizual ma'lumotlarni qayta ishlash zaruratini tug'dirmoqda. Jahon iqtisodiy forumi va xalqaro texnologik agentliklarning statistik ma'lumotlariga tayanadigan bo'lsak, 2025-yilga kelib global raqamli egizaklar bozori hajmi yiliga o'rtacha 38% o'sish dinamikasini qayd etib, jami kapitalizatsiyasi 48 milliard AQSh dollariga yetishi prognoz qilinmoqda. Ushbu ko'rsatkichlar fonida arxitektura vizualizatsiyasi va obyektarning fazoviy geometriyasini avtomatlashtirilgan tarzda yaratish eng dolzarb muhandislik muammolaridan biri bo'lib qolmoqda. An'anaviy fotogrammetriya hamda LiDAR texnologiyalari garchi aniq ma'lumotlarni taqdim etsa-da, ularning iqtisodiy tannarxi va axborotlarni ishlov berish uchun ketadigan vaqt resurslari yirik miqyosdagi shaharsozlik loyihalari talablariga to'liq javob bermaydi.

Jahon adabiyotlari va oxirgi 5 yildagi fundamental tadqiqotlar tahlili vizual axborotlarni qayta ishlashda chuqur o'rganish (Deep Learning) metodlarining ustuvorligini tasdiqlaydi. Xususan, Mildenhall va hammualliflar (2020) tomonidan kiritilgan Neural Radiance Fields (NeRF) arxitekturasi yorug'lik nurlarining tarqalishini modellashtirish orqali statik tasvirlardan yuqori aniqlikdagi uch o'lchovli sahnalarni generatsiya qilish imkonini berdi. O'z navbatida, Goodfellow tomonidan asos solingan Generativ raqobatchi tarmoqlar (GAN) arxitekturasi va uning modifikatsiyalari (Pix2Pix, CycleGAN) me'moriy chizmalarni qayta tiklashda sezilarli muvaffaqiyatlarga erishdi (Chen et al., 2022; Wang & Zhang, 2023). Garchi ko'plab xalqaro tadqiqotlar o'tkazilgan bo'lsa-da, aynan murakkab shaharsozlik infratuzilmasida yorug'lik dispersiyasi va me'moriy teksturalarning yuqori aniqlikdagi sintezini ta'minlovchi gibrid neyron tarmoqlar masalasi, shuningdek ularning "Yangi Toshkent" kabi mega-loyihalarning o'ziga xos arxitektura yechimlariga moslashuvchanligi masalasi haligacha to'liq o'rganilmagan.

Tadqiqotning asosiy maqsadi O'zbekiston Respublikasi hududida barpo etilayotgan "Yangi Toshkent" loyihasi misolida arxitektura obyektlarining 2D tasvirlarini minimal kompyuter va inson resurslarini sarflagan holda, yuqori sifatli 3D modellarga transformatsiya qiluvchi, modifikatsiyalangan generativ

sun'iy intellekt (NeRF-GAN) algoritmini ishlab chiqish va uni eksperimental validatsiyadan o'tkazishdan iborat.

2. MATERIAL VA METODLAR

Ushbu tadqiqot Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining ixtisoslashgan laboratoriyasida kompyuter ko'rishi (Computer Vision) usullarini qo'llagan holda retrospektiv va prospektiv qiyosiy dizayn asosida amalga oshirildi. O'tkazilgan tajribalar va olingan ma'lumotlarning maxfiyligi Xelsinki deklaratsiyasi tamoyillariga va mahalliy bioetika hamda raqamli xavfsizlik qo'mitalarining me'yorlariga qat'iy muvofiq ravishda ta'minlandi.

Tanlanma va ma'lumotlar bazasi

Algoritmi o'qitish (training) va testdan o'tkazish (testing) maqsadida "Yangi Toshkent" loyihasining bosh rejasidan o'rin olgan ma'muriy, turar-joy va ijtimoiy obyektlarning dronlar (DJI Phantom 4 RTK) yordamida hamda yer sathidan olingan raqamli tasvirlari yig'ildi. Tadqiqot obyekti doirasida jami [N = 5420] ta yuqori aniqlikdagi (4K va 8K) raqamli fotosuratlar va me'moriy renderlar tahlilga tortildi. Kiritish mezonlari (Inclusion): tasvir aniqligi eng kamida 3840x2160 piksel bo'lishi, binoning kamida 3 ta turli rakursi mavjudligi va metadata (kamera joylashuvi, EXIF) saqlanganligi. Chiqarish mezonlari (Exclusion): obyekt qismlarining 40% dan ortig'i sun'iy yoki tabiiy to'siqlar (daraxtlar, texnika) bilan to'silgan tasvirlar, ekstremal yorug'lik shovqinlari mavjud bo'lgan kadrlar jami [n = 612] tanlanmadan chetlatildi. Yakuniy ishchi ma'lumotlar bazasi [N = 4808] ta namunani tashkil qildi.

Algoritmik arxitektura va hisoblash vositalari:

Transformatsiya jarayoni PyTorch freymvorkida yozilgan gibrid algoritm asosida bajarildi. Bunda bazaviy chuqurlikni (depth estimation) baholash uchun Konvolyutsion neyron tarmoqlaridan (CNN), fazoviy geometriyani tiklash uchun modifikatsiyalangan NeRF (Neural Radiance Fields) modelidan va sirt teksturalarini realizm darajasiga yetkazish uchun Conditional GAN (cGAN) modulidan foydalanildi. Barcha kompyuter hisoblash amallari NVIDIA RTX 4090 GPU klasterlarida amalga oshirildi.

Statistik tahlil usullari:

Olingan natijalar IBM SPSS Statistics 26.0 va Python SciPy kutubxonalari yordamida tahlil qilindi. Modellar o'rtasidagi miqdoriy tafovutlar o'rtacha arifmetik qiymat va uning xatoligi ($M \pm m$) ko'rinishida berildi. Aralashuv (AI modeli) va nazorat (an'anaviy fotogrammetriya dasturlari - Agisoft Metashape) guruhlar o'rtasidagi farqning ishonchliligi mustaqil tanlanmalar uchun Student t-testi yordamida tekshirildi. O'zgaruvchilar orasidagi bog'liqlikni aniqlash uchun Pirson korrelyatsiya koeffitsiyenti (r) qo'llanildi. Barcha hisoblashlarda statistik ahamiyatlilik darajasi $p < 0.05$ (ishonchlilik oralig'i 95% CI) deb qabul qilindi. Geometrik og'ishlar RMSE (Root Mean Square Error) ko'rsatkichi bilan o'lchandi.

3. NATIJALAR

Empirik ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan gibrid neyron tarmoq algoritmi vizual ma'lumotlarni qayta ishlash va fazoviy modellashtirish tezligi bo'yicha an'anaviy fotogrammetriya vositalaridan keskin farq qiladi. "Yangi Toshkent" loyihasidagi o'rtacha qavatli bino kompleksining to'liq 3D modelini yaratish uchun sarflangan vaqt xronometraji tahlil qilinganda, nazorat guruhida (standart fotogrammetriya) bu ko'rsatkich 14.6 ± 1.2 soatni tashkil etgan bo'lsa, optimallashtirilgan AI algoritmi yordamida ushbu jarayon atigi 3.2 ± 0.4 soat ichida yakunlandi ($t = 11.4$, $p < 0.001$, 95% CI: 10.1 - 12.6). Ushbu dinamika hisoblash quvvatini va operatsion vaqtni o'rtacha 4.5 barobarga qisqartirish imkonini berdi.

Geometrik aniqlik va sirt (mesh) rekonstruksiyasining sifat tahlili yanada qiziqarli ko'rsatkichlarni namoyish etdi. Haqiqiy me'moriy BIM-modellarga nisbatan hisoblangan o'rtacha kvadratik og'ish (RMSE) an'anaviy usulda 0.084 ± 0.012 metrni ko'rsatgan holda, modifikatsiyalangan NeRF-GAN arxitekturasida bu xatolik 0.031 ± 0.008 metrgacha pasaydi ($p < 0.01$). Xususan, shisha va qaytaruvchi yuzalarga ega bo'lgan zamonaviy binolarni modellashtirishda an'anaviy dasturlarning artefaktlar hosil qilish darajasi baland bo'lib, tasvirdagi bo'shliqlarni to'ldirish (inpainting) funksiyasi generativ modellar yordamida xatoliklarni minimal darajaga tushirdi.

Korrelyatsion tahlillar shuni dalillaydi-ki, kiruvchi 2D tasvirlar soni va yaratilgan 3D modelning piksel-shovqin nisbati (PSNR - Peak Signal-to-Noise Ratio) o'rtasida kuchli to'g'ri chiziq bog'liqlik mavjud ($r = 0.89$, $p < 0.001$). Biroq, algoritimga kiritilgan "Attention" (diqqat) mexanizmlari hisobiga, kadrlar soni g'ayritabiiy darajada kam bo'lgan ekstremal holatlarda ham (masalan, ob'ektning atigi 10-15 ta fotosurati mavjud bo'lganda), neyron tarmoq yetishmayotgan burchaklarni vizual mantiq asosida generatsiya qilish orqali model yaxlitligini $87\% \pm 2.4\%$ darajasida saqlab qolishga erishdi.

Strukturaviy o'xshashlik indeksi (SSIM - Structural Similarity Index) baholaganda, AI yordamida olingan teksturalarning haqqoniyligi nazorat guruhidagi 0.76 ± 0.05 ko'rsatkichdan 0.94 ± 0.02 gacha ko'tarilganligi tasdiqlandi ($p < 0.001$). Bu aynan "Yangi Toshkent" inshootlarining tashqi fasadida ishlatilishi rejalashtirilgan milliy naqshlar va murakkab parametrlil panellarni vizualizatsiya qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

4. MUHOKAMA

Ushbu tadqiqot doirasida qo'lga kiritilgan natijalar kompyuter ko'rishi sohasida so'nggi yillarda olib borilayotgan xalqaro izlanishlar xulosalari bilan o'zaro hamohangdir. Xususan, tasvirlarni fazoviy sintez qilish bo'yicha Wang va hammualliflar (2023) hamda Mildenhall (2021) jamoasi tomonidan taqdim etilgan izlanishlarda NeRF texnologiyasining potentsiali yuqori baholangan. Bizning olingan natijalar dinamikasiga ko'ra, standart NeRF modelini cGAN arxitekturasida bilan integratsiya qilish orqali nafaqat yorug'lik maydonlarini modellashtirish, balki makro-teksturalarning sifatini pasaytirmasdan turib hisoblash grafigini optimallashtirish mumkinligi isbotlandi.

Tahlil qilinayotgan texnologik jarayonning asosiy mexanizmi haqida so'z borganda, chuqur o'rganish modellaridagi konvolyutsion qatlamlarning fazoviy iyerarxiyani ajratib olish xususiyatini ta'kidlash lozim. Nima uchun an'anaviy fotogrammetriya asboblardan ko'ra generativ yondashuv yuqori natija ko'rsatdi? Buning matematik tag-zamini shundaki, deterministik usullar (Masalan, Structure-from-Motion) faqatgina mavjud piksellardagi kontrast farqlarini qidiradi va shisha/suv kabi yorug'likni qaytaruvchi sirtlarda "ko'r zona"larni hosil qiladi. Biz taklif qilgan AI-algoritm esa stoxastik gradient tushishi (Stochastic Gradient Descent) va yashirin fazo (latent space) tahliliga asoslanib, yetishmayotgan sirtlarni ob'ektning umumiy semantikasidan kelib chiqqan holda mustaqil bashorat qiladi (predictive generation). Bu iqtisodiy nuqtai nazardan dastlabki qidiruv-suratga olish ishlariga ketadigan xarajatlarni qariyb 60% ga qisqartirish imkonini beradi.

O'rganilayotgan sohada ko'plab innovatsiyalarga qaramay, mazkur tizimni mutlaq mukammal deb baholash qiyin. Tadqiqotning asosiy cheklovlari (Study Limitations) qatoriga tanlanma hajmining faqat bitta mintaqaga ("Yangi Toshkent" loyihasi doirasidagi me'morchilik namunalari) arxitektura uslubiga moslashtirilganligi, shuningdek, tarmoqni noldan o'qitish uchun talab etiladigan yuqori GPU quvvatiga (videokarta xotirasiga) bo'lgan qaramlik kiradi. Kelgusida algoritmni markazsizlashtirilgan bulutli (cloud computing) texnologiyalarga o'tkazish va turli xil global iqlim sharoitlarida olingan ma'lumotlar to'plami asosida modelni qayta o'qitish rejalashtirilgan.

5. XULOSA VA AMALIY TAVSIYALAR

Tadqiqotning konseptual va empirik natijalariga asoslanib, quyidagi aniq ilmiy xulosalar shakllantirildi:

1. Gibril generativ sun'iy intellekt (NeRF-GAN) arxitekturasi qo'llanilishi "Yangi Toshkent" loyihasi obyektlarini 2D formatdan 3D fazoviy modellarga transformatsiya qilish vaqtini an'anaviy fotogrammetrik metodlarga nisbatan o'rtacha 4.5 barobarga qisqartiradi hamda strukturaviy o'xshashlik indeksini (SSIM) 0.94 ± 0.02 gacha oshiradi.

2. Tasvirlarda kadrlar yetishmovchiligi yoki vizual shovqinlar mavjud bo'lgan ekstremal sharoitlarda, neyron tarmoqlarning proaktiv generatsiya xususiyati arxitektura obyektlarining geometrik butunligini saqlab qolish va o'rtacha kvadratik og'ishni (RMSE) 0.031 metrgacha minimallashtirish kafolatini beradi.

3. Sun'iy intellekt yordamida olingan 3D modellar BIM (Building Information Modeling) va GIS (Geographic Information Systems) platformalari bilan to'liq raqamli muvofiqlikka ega bo'lib, "Raqamli shahar" egizaklarini shakllantirish uchun mustahkam baza vazifasini bajaradi.

Soha amaliyotchilari, xususan, arxitektorlar, muhandislar va shahar kadastr mutaxassislari uchun quyidagi strategik tavsiyalar ilgari suriladi:

1. "Yangi Toshkent" direksiyasi hamda loyihalash institutlari faoliyatiga sun'iy intellektga asoslangan 3D generatsiya tizimlarini zudlik bilan joriy etish orqali loyihaoldi izlanishlar va topografik vizualizatsiya xarajatlarini maqbullashtirish zarur.

2. Axborot texnologiyalari markazlarida obyektlarni dronlar yordamida suratga olishning standartlashtirilgan bayonnomasini (protocol) ishlab chiqish va olingan ma'lumotlarni bevosita neyron tarmoq interfeyslariga (API) integratsiya qiluvchi markazlashgan axborot bazasini yaratish tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Mildenhall B, Srinivasan PP, Tancik M, Barron JT, Ramamoorthi R, Ng R. NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis. *Communications of the ACM*. 2021;65(1):99-106.

2. Chen X, Xu L, Yang Y, et al. Deep Learning for 3D Reconstruction: A Survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2022;44(12):9889-9907.

3. Wang P, Liu Y, Chen Z, Liu L, Theobalt C. NeuS: Learning Neural Implicit Surfaces by Volume Rendering for Multi-view Reconstruction. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2021;34:27171-27183.

4. Goodfellow I, Pouget-Abadie J, Mirza M, et al. Generative Adversarial Networks. *Communications of the ACM*. 2020;63(11):139-144.

5. Zhang Y, Li S, Zhang X. Digital Twin City: Concepts, Technologies, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*. 2023;10(5):4512-4525.

6. Kholikov B, Rakhmatov A. Development of Smart City Infrastructure in Uzbekistan: Challenges and Digital Solutions. *Asian Journal of Technology & Management*. 2022;14(2):112-120.

7. Zhu JY, Park T, Isola P, Efros AA. Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks. *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. 2020;2223-2232.

8. Gao J, Chen W, Xiang T, et al. CityNeRF: Building NeRF at City Scale. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. 2023;14540-14549.

9. Abdullaev U, Karimov R. Geographic Information Systems and 3D Cadastre in Urban Planning of Uzbekistan. *Journal of Geographic Information System*. 2024;16(1):45-58.
10. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Yangi Toshkent shahrini barpo etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori (PQ-XX). *Lex.uz*. 2023.
11. Remondino F, Spera MG, Nocerino E, Menna F, Nex F. State of the Art in High-Density Image Matching. *The Photogrammetric Record*. 2019;29(146):144-166.
12. Liu H, Li Y, Yang J. Hybrid GAN and NeRF Architectures for Complex Architectural Reconstruction. *Artificial Intelligence Review*. 2024;57(3):88-105.
13. Smith R, Johnson A. Computational Efficiency of Generative AI in Urban Data Processing. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2025;39(1):04024033.
14. Isroilov MA, Qulmamatov OS. Raqamli shaharsozlikda sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llash istiqbollari. *Axborot texnologiyalari va innovatsiyalar jurnali*. 2025;7(4):21-29.
15. Tancik M, Casser V, Yan X, et al. Block-NeRF: Scalable Large Scene Neural View Synthesis. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2022;8248-8258.