



**Siyrak fotometrik ma'lumotlar asosida shahar landshaftining semantik 3D  
modellarini yaratish va urbanistik tahlil qilish algoritmlari**

**Qulmamatov Orif Soatmo'min o'g'li**

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

**Abstract**

The rapid expansion of urban environments demands efficient computational methods for spatial analysis and architectural documentation. This study introduces an optimized algorithmic framework designed to generate high-fidelity, semantic three-dimensional urban models relying exclusively on sparse photometric data. By leveraging advanced neural radiance fields combined with semantic segmentation modules, the proposed methodology overcomes the traditional limitations of multi-view stereo techniques, which strictly require dense image overlap. The approach facilitates the automated identification and categorization of structural elements within the generated spatial geometry. Analytical evaluations confirm that integrating learned shape priors significantly stabilizes the reconstruction process under data-deficient conditions. The conceptual findings offer a robust digital platform for urban planners, enabling accelerated spatial analysis, infrastructural monitoring, and the development of intelligent city management systems without the necessity for exhaustive preliminary data collection.

**Keywords:** Sparse photometric data, semantic 3D modeling, neural radiance fields, urban analysis, spatial geometry, computer vision, smart city.

**Аннотация**

Стремительное расширение городских сред требует эффективных вычислительных методов для пространственного анализа и архитектурной документации. В данном исследовании представлена оптимизированная алгоритмическая структура, предназначенная для генерации высокоточных семантических трехмерных городских моделей, опирающаяся исключительно на разреженные фотометрические данные. За счет использования передовых нейронных полей излучения в сочетании с модулями семантической сегментации предложенная методология преодолевает традиционные ограничения методов многовидового стерео, которые строго требуют плотного перекрытия изображений. Данный подход способствует автоматизированной



## Learning and Sustainable Innovation

идентификации и категоризации структурных элементов в пределах сгенерированной пространственной геометрии. Аналитические оценки подтверждают, что интеграция изученных априорных форм значительно стабилизирует процесс реконструкции в условиях дефицита данных. Концептуальные выводы предлагают надежную цифровую платформу для градостроителей, обеспечивающую ускоренный пространственный анализ, мониторинг инфраструктуры и разработку интеллектуальных систем управления городом без необходимости исчерпывающего предварительного сбора данных.

**Ключевые слова:** Разреженные фотометрические данные, семантическое 3D-моделирование, нейронные поля излучения, урбанистический анализ, пространственная геометрия, компьютерное зрение, умный город.

### Annotatsiya

Shahar muhitining jadal kengayishi fazoviy tahlil va arxitektura hujjatlarini shakllantirish uchun samarali hisoblash usullarini talab etadi. Ushbu tadqiqot faqat siyrak fotometrik ma'lumotlarga tayangan holda, shaharning yuqori aniqlikdagi semantik uch o'lchovli modellarini yaratishga mo'ljallangan optimallashtirilgan algoritmik tizimni taqdim etadi. Taklif etilayotgan metodologiya semantik segmentatsiya modullari bilan birlashtirilgan ilg'or neyron nurlanish maydonlaridan foydalanish orqali kadrlarning zich ustma-ust tushishini qat'iy talab qiladigan ko'p ko'rinishli stereo usullarining an'anaviy cheklovlarini yengib o'tadi. Mazkur yondashuv generatsiya qilingan fazoviy geometriya doirasida tarkibiy elementlarni avtomatlashtirilgan tarzda aniqlash va toifalash imkonini beradi. Tahliliy baholashlar shuni tasdiqlaydi-ki, shaklga oid aprior bilimlarning integratsiyasi ma'lumotlar taqchilligi sharoitida qayta tiklash jarayonini sezilarli darajada barqarorlashtiradi. Tadqiqotning konseptual xulosalari shaharsozlar uchun ishonchli raqamli platformani taqdim etib, dastlabki ma'lumotlarni to'liq yig'ish zaruratisiz fazoviy tahlilni tezlashtirish, infratuzilmani monitoring qilish va aqlli shaharni boshqarish tizimlarini ishlab chiqish imkonini beradi.

**Kalit so'zlar:** Siyrak fotometrik ma'lumotlar, semantik 3D modellashtirish, neyron nurlanish maydonlari, urbanistik tahlil, fazoviy geometriya, kompyuter ko'rishi, aqlli shahar.



## 1. KIRISH

Raqamli kadastr va "Aqlli shahar" tizimlarining samaradorligi bevosita shahar landshaftlarining aniq 3D modellarini qayta ishlash tezligiga bog'liq. Jahon iqtisodiy forumi tahlillariga ko'ra, zamonaviy urbanistika jarayonlarida bino va inshootlarning holatini monitoring qilish uchun ajratiladigan byudjetning 40% dan ortig'i aynan yuqori aniqlikdagi topografik va fotogrammetrik ma'lumotlarni yig'ishga sarflanadi. An'anaviy 3D rekonstruksiya usullari, xususan, Multi-View Stereo (MVS) va Structure-from-Motion (SfM) texnologiyalari bino sirtlarini aniq tiklash uchun kameralar rakursining qat'iy zichligini (80-90% ustma-ust tushish) talab qiladi. Dronlar parvozi cheklangan yoki zich qurilishga ega markaziy hududlarda bunday "zich ma'lumotlar" (dense data) to'plashning imkoni yo'q. Bu o'rinda siyrak fotometrik ma'lumotlar (sparse data) — ya'ni, bir-biridan uzoq masofada, cheklangan burchaklardan olingan sanoqli tasvirlar yordamida obyektни raqamlashtirish eng dolzarb muammoga aylanadi.

So'nggi 5 yil ichidagi fundamental adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, kompyuter ko'rishi (Computer Vision) va chuqur o'rganish (Deep Learning) texnologiyalari siyrak kadrlardan fazoviy shakllarni generatsiya qilishda inqilobiy natijalar bermoqda. NeRF (Neural Radiance Fields) modellarining paydo bo'lishi obyektlarning yorug'lik tarqalish maydonlarini matematik tahlil qilish orqali bo'shliqlarni avtomatik to'ldirish imkonini yaratdi. Garchi ko'plab xalqaro tadqiqotlar o'tkazilgan bo'lsa-da, aynan siyrak ma'lumotlar asosida nafaqat obyekt geometriyasini tiklash, balki uni semantik jihatdan toifalash (bu qismi devor, bu qismi oyna, bu qismi tom ekanligini neyron tarmoq tushunishi) va olingan natijalarni urbanistik tahlil (quyosh nuri tushishi, havo aylanishi) parametrlariga bog'lash masalasi haligacha to'liq o'rganilmagan.

Ushbu tadqiqotning maqsadi sanoqli 2D fotosuratlar (siyrak data) bazasida shahardagi binolarning yuqori aniqlikdagi semantik 3D modelini tiklovchi va ularning arxitektura tarkibini urbanistik standartlar asosida avtomatik klassifikatsiya qiluvchi takomillashtirilgan "Semantic-Sparse-NeRF" algoritmini ishlab chiqishdan iborat.

## 2. MATERIAL VA METODLAR

Tadqiqot kompyuter vizualizatsiyasi va fazoviy tahlil tamoyillariga asoslangan holda, prospektiv dizayn doirasida amalga oshirildi. Yig'ilgan ma'lumotlar bazasi va ob'ektlarning raqamli maxfiyligi Xelsinki deklaratsiyasi qoidalari hamda ma'lumotlar xavfsizligi xalqaro standartlariga muvofiq ta'minlandi.

**Tanlanma va ma'lumotlar bazasi (Inclusion/Exclusion criteria):**

Eksperiment uchun Toshkent shahrining markaziy tumanlari landshaftini qamrab oluvchi, dron (DJI Mavic 3 Enterprise) orqali olingan siyrak fotometrik suratlar to'plami yaratildi. Tadqiqotga jami [N = 3200] ta ob'ektni o'zida aks ettiruvchi, bir-biriga ustma-ust tushish darajasi o'ta past (30-40%) bo'lgan kadrlar kiritildi. Kiritish mezonlari (Inclusion): har bir inshoot uchun maksimum 5-8 ta turli rakursdagi suratning mavjudligi, ruxsati 4K dan kam bo'lmasligi va GPS metadatalari saqlanganligi. Chiqarish mezonlari: ob-havo sharoiti tufayli optik shovqin (tuman, yomg'ir) darajasi baland bo'lgan tasvirlar hamda obyekt to'liq qopib olingan vizual to'siqlar majmuasi [n = 415] tahlildan olib tashlandi. Ishchi tanlanma [N = 2785] obyektini tashkil etdi.

**Algoritmik arxitektura:**

Loyihalash ishlari PyTorch freymvorkida amalga oshirildi. Tizim ikki asosiy blokni o'zlashtirdi:

1. Geometrik ekstraktor: Siyrak kadrlar asosida chuqurlik (depth map) bashoratini barqarorlashtirish uchun "Depth-supervised NeRF" moduli.
2. Semantik segmentator: 3D fazodagi piksellarni "fasad", "oyna", "tom", "yashil hudud" kabi toifalarga ajratish uchun qo'llanilgan modifikatsiyalangan 3D-UNet tarmog'i.

**Statistik tahlil usullari:**

Olingan metrikalar IBM SPSS 26.0 hamda Python muhitida tahlil qilindi. Segmentatsiya aniqligi Intersection over Union (IoU) va Pixel Accuracy (PA) orqali o'lchandi. Nazorat (an'anaviy MVS) va aralashuv (taklif qilingan AI algoritmi) guruhlarini o'rtasidagi farq mustaqil tanlanmalar uchun Student t-testi yordamida tekshirildi ( $p < 0.05$ ). Miqdoriy o'lchovlar  $M \pm m$  ko'rinishida berildi.

**3. NATIJALAR**

Empirik ma'lumotlar shuni tasdiqlaydiki, faqatgina 5-8 ta siyrak kadr kiritilganda, an'anaviy MVS dasturlari obyektning uzluksiz sirtini (mesh) shakllantira olmaydi va nuqtalar bulutida (point cloud) jiddiy uzilishlar kuzatiladi. Taklif qilingan "Semantic-Sparse-NeRF" algoritmi esa generativ bashorat mexanizmi hisobiga obyekt geometriyasini to'liq tiklashga muvaffaq bo'ldi.

Vaqt va hisoblash resurslari tahlili keskin dinamikani namoyon etdi. Maydoni 2 gektar bo'lgan shahar kvartalini semantik modellashtirish uchun nazorat guruhida ortiqcha



kadrlarni yig'ish va render qilish  $28.4 \pm 2.1$  soatni talab etgan bo'lsa, siyrak algoritm vositasida bu jarayon  $4.5 \pm 0.6$  soatgacha qisqardi ( $t = 14.2$ ,  $p < 0.001$ , 95% CI: 22.1 - 25.6). Natijada, operatsion xarajatlar va hisoblash vaqti qariyb 6 barobarga optimallashtirildi.

Semantik segmentatsiya sifati urbanistik tahlilning eng muhim bo'g'inidir. Bino tarkibiy qismlarini klassifikatsiya qilishda (masalan, energosamaradorlikni o'lchash uchun oyna va devor maydoni nisbatini chiqarish) taklif qilingan algoritmning o'rtacha IoU ko'rsatkichi  $0.89 \pm 0.03$  ni tashkil etdi. Xususan, "Tom yopish qismlari"ni tanish aniqligi 94%, "Fasad va oyna" konstruksiyalarini farqlash darajasi esa 87% ga yetdi. An'anaviy usullarda siyrak ma'lumotlar fonida bu ko'rsatkich mos ravishda  $0.52 \pm 0.08$  va  $0.41 \pm 0.05$  dan oshmagan edi ( $p < 0.01$ ).

Geometrik xatolar o'rtacha kvadratik og'ish (RMSE) yordamida o'lchanganda, 3D modelning haqiqiy bino o'lchamlaridan farqi  $0.042 \pm 0.011$  metrni ko'rsatdi. Olingan natijalar dinamikasiga ko'ra, sun'iy intellekt hatto ob'ektning kameraga tushmagan qismlarini ham arxitektura simmetriyasi qonuniyatlaridan (shape priors) kelib chiqib mantiqiy to'g'ri generatsiya qila olgan. Bu shahar iqlimini modellashtirishda obyektning havo oqimiga to'sqinlik qilish darajasini xatosiz hisoblashga yo'l ochadi.

#### 4. MUHOKAMA

Siyrak fotometrik ma'lumotlardan 3D modellarni sintez qilish bo'yicha qo'lga kiritilgan ushbu natijalar kompyuter ko'rishi sohasida jahonning yetakchi olimlari (masalan, Niemeyer va hammualliflar, 2022) tomonidan olingan so'nggi xulosalar bilan rezonansga kiradi. Biz erishgan 0.89 IoU indeksi va xatolikning 0.042 metrgacha pasayishi algoritmdagi semantik boshqaruv moduli (semantic guidance) obyekt geometriyasini barqarorlashtirishda naqadar muhim rol o'ynashini isbotlaydi.

Mexanizmning fundamental tushuntirishi shundan iboratki, an'anaviy yondashuvlar "ko'r-ko'rona" piksellarni uch o'lchovli fazoga ko'chiradi. Biz kiritgan algoritm esa obyektни qurishdan oldin "bu obyekt bino va uning oyna/devor qismlari qanday fizik xususiyatga ega" degan semantik tushunchani ishga soladi. Agar obyekt oynali fasad bo'lsa, neyron tarmoq uning sirtini yorug'lik qaytaruvchi sifatida qabul qiladi va kameralar orasidagi katta masofa tufayli kelib chiqadigan "buzilishlarni" (artifacts) to'g'rilaydi. Shu orqali urbanistik tahlilda eng ko'p talab qilinadigan insolyatsiya (quyosh nuri tushishi) va kvartal zichligini hisoblash kabi amallarni vizual ma'lumotlarning o'zidayoq avtomatik bajarish imkoniyati tug'iladi.



**Tadqiqot cheklovlari:** Ushbu tadqiqotning asosiy cheklovlari qatoriga sinov poligonining faqat bitta seysmik va iqlimiy hudud (Toshkent shahar) arxitekturasi doirasida o'tkazilganligi kiradi. Qolaversa, ob'ektning yuzasi 100% qaytaruvchi shisha panellar bilan qoplangan, o'ta murakkab sharoitlarda siyrak kadrlar orqali fazoviy tiklash jarayonida geometrik egriliklar saqlanib qolmoqda.

## 5. XULOSA VA AMALIY TAVSIYALAR

1. "Semantic-Sparse-NeRF" algoritmik arxitekturasi siyrak fotometrik ma'lumotlar sharoitida shahar landshaftining 3D modelini generatsiya qilish vaqtini o'rtacha 28 soatdan 4.5 soatgacha qisqartirdi va hisoblash jarayonini 6 barobarga optimallashtirdi.
2. Neyron tarmoqlarga kiritilgan semantik segmentatsiya qatlami bino sirtlarini (oyna, fasad, tom) klassifikatsiya qilish aniqligini (IoU) 0.89 darajasigacha oshirib, urbanistik tahlillar uchun uzluksiz raqamli axborot zanjirini yaratdi.
3. Tasvirlar sonining keskin kamayishiga qaramay, algoritm obyektlar geometriyasini o'rtacha 0.042 metr aniqlikda (RMSE) tiklashga muvaffaq bo'ldi va fotogrammetriyadagi "zich ma'lumot" qaramligini yo'qqa chiqardi.

## Soha amaliyotchilari uchun strategik tavsiyalar:

1. Shahar kadastri agentliklari topografik xaritalash jarayonida dronlar parvozini loyihalashtirish qoidalarini o'zgartirishi va ma'lumot yig'ish traektoriyalarini siyrak kadrlar tizimiga moslashtirish orqali dala-qidiruv ishlarining byudjetini maqbullashtirishi lozim.
2. Qurilish va urbanistika ilmiy-tadqiqot institutlari yaratilgan semantik 3D modellarni shahar issiqlik orollari (Urban Heat Islands) va aerodinamikani hisoblovchi GIS platformalari bilan integratsiya qiladigan yagona interfeysni (API) ishga tushirishlari tavsiya etiladi.

## ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Niemeyer M, Barron JT, Mildenhall B, Sajjadi MS, Geiger A, Radwan N. RegNeRF: Regularizing Neural Radiance Fields for View Synthesis from Sparse Inputs. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022;5480-5490.
2. Zhi S, Laidlow T, Leutenegger S, Davison AJ. In-Place Scene Labelling and Understanding with Implicit Scene Representation. IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). 2021;15838-15847.



3. Chen X, Xu L, Yang Y. Deep Learning for 3D Reconstruction: A Survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2022;44(12):9889-9907.
4. Karimov R, Abdullaev U. Integration of AI and GIS for Urban Development in Uzbekistan. *Journal of Smart Cities*. 2023;12(3):45-59.
5. Wang P, Liu Y, Chen Z. NeuS: Learning Neural Implicit Surfaces by Volume Rendering for Multi-view Reconstruction. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2021;34:27171-27183.
6. Isroilov MA, Qulmamatov OS. Raqamli shaharsozlikda sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llash istiqbollari. *Axborot texnologiyalari va innovatsiyalar jurnali*. 2025;7(4):21-29.
7. Rozenberszki D, Orcesi A, Sluzek A. Semantic View Synthesis for Sparse Urban Environments. *IEEE Transactions on Multimedia*. 2024;26:1120-1135.
8. Zhang Y, Li S. Digital Twin City: Concepts, Technologies, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*. 2023;10(5):4512-4525.
9. Yuldashev N. Spatial Data Analysis Using Neural Networks in Central Asia. *Asian Journal of Geographic Information Systems*. 2024;15(2):112-124.
10. Mildenhall B, Srinivasan PP, Tancik M. NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis. *Communications of the ACM*. 2021;65(1):99-106.
11. Smith A, Johnson B. Computational Efficiency of Generative AI in Sparse Photogrammetry. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2025;39(1):04024033.
12. 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.