

Development of 3D Geometric Analysis Neural Networks for Detecting Structural Weaknesses of Buildings Based on Their Visual Representations

Qulmamatov Orif Soatmo'min o'g'li

Independent Researcher, PhD Tashkent University of Information Technologies
named after Muhammad al-Khwarizmi

Abstract

This thesis presents a novel deep learning approach for autonomously detecting structural vulnerabilities in urban infrastructure using two-dimensional visual data. By integrating spatial reconstruction algorithms with defect-recognition neural networks, the proposed method transitions flat imagery into semantically analyzed three-dimensional models. The framework effectively identifies topological anomalies, surface deformations, and micro-fissures. The conceptual findings demonstrate enhanced diagnostic precision and computational efficiency, offering a scalable tool for preemptive architectural maintenance and smart city hazard mitigation.

Keywords: Structural vulnerabilities, 3D geometric analysis, neural networks, defect detection, spatial reconstruction.

Binolarning vizual tasvirlari orqali ularning konstruktiv zaifliklarini aniqlashga yo'naltirilgan 3D geometrik tahlil neyron tarmoqlarini ishlab chiqish

Qulmamatov Orif Soatmo'min o'g'li

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

Аннотация

В тезисах представлен новый подход на основе глубокого обучения для автономного обнаружения конструктивных уязвимостей городской инфраструктуры с использованием двумерных визуальных данных. Объединяя

64

алгоритмы пространственной реконструкции с нейросетями распознавания дефектов, предложенный метод преобразует плоские изображения в семантически проанализированные трехмерные модели. Система эффективно выявляет топологические аномалии, деформации поверхностей и микротрещины. Концептуальные выводы демонстрируют повышенную точность диагностики, предлагая масштабируемый инструмент для превентивного обслуживания архитектурных объектов и снижения рисков.

Ключевые слова: Конструктивные уязвимости, 3D геометрический анализ, нейронные сети, обнаружение дефектов, пространственная реконструкция.

Annotatsiya

Ushbu tezisdagi ikki o'lchovli vizual ma'lumotlardan foydalangan holda shahar infratuzilmasidagi konstruktiv zaifliklarni avtonom tarzda aniqlash uchun chuqur o'rganishga asoslangan yangi yondashuv taqdim etilgan. Fazoviy rekonstruksiya algoritmlarini nuqsonlarni aniqlovchi neyron tarmoqlar bilan integratsiya qilish orqali, taklif etilayotgan usul yassi tasvirlarni semantik tahlil qilingan uch o'lchovli modellarga aylantiradi. Tizim topologik anomaliyalar, sirt deformatsiyalari va mikro-yoriqlarni samarali aniqlaydi. Konseptual xulosalar diagnostika aniqligini oshishini namoyish etib, me'moriy obyektlarga ehtiyotkorona xizmat ko'rsatish va xavflarni kamaytirish uchun kengaytiriladigan vositani taklif etadi.

Kalit so'zlar: Konstruktiv zaifliklar, 3D geometrik tahlil, neyron tarmoqlar, nuqsonlarni aniqlash, fazoviy rekonstruksiya.

1. KIRISH VA DOLZARBLIGI

Zamonaviy shaharsozlikda inshootlarning seysmik va ekspluatatsion xavfsizligini ta'minlash eng muhim muhandislik masalasidir. Jahon seysmologiya va arxitektura fondlari ma'lumotlariga ko'ra, yoshi 30 yildan oshgan binolarning kamida 45% qismi yashirin konstruktiv nuqsonlarga ega. An'anaviy vizual inspeksiya va ultratovushli

defektoskopiya usullari ko'p vaqt talab qiladi hamda yirik massivlarni tezkor qamrab olish imkoniga ega emas. So'nggi yillardagi ilmiy izlanishlarda (masalan, Cha et al., 2022) kompyuter ko'rishi yordamida yoriqlar va beton ko'chishlarini 2D tasvirlarda aniqlash bo'yicha yutuqlarga erishilgan bo'lsa-da, nuqsonning 3D fazodagi chuqurligi va bino statikasiga ta'sirini baholash haligacha ochiq qolayotgan ilmiy bo'shliq hisoblanadi. Tadqiqotning asosiy maqsadi binolarning oddiy 2D fotosuratlarini asosida ularning 3D modelini generatsiya qiluvchi va ayni vaqtda sirt topologiyasidagi konstruktiv zaifliklarni (yoriqlar, qiyshayishlar) aniqlovchi gibrid neyron tarmoq algoritmini ishlab chiqishdir.

2. MATERIAL VA METODLAR

Tadqiqot kompyuter vizualizatsiyasi va prediktiv diagnostika doirasida amalga oshirildi. O'qitish va test jarayonlari uchun Toshkent shahrining turli davrlarda qurilgan (1970-2020 yillar) binolari fasadidan olingan 4K ruxsatdagi raqamli tasvirlar bazasi yaratildi (N = 2150). Kiritish mezonlariga asosan faqat strukturaviy nuqsonlari (mikro-yoriqlar, fundament cho'kishi alomatlari, armatura korroziyasi) mavjud bo'lgan obyektlar tanlab olindi.

Algoritmik baza sifatida tasvirlardan 3D shakl yaratuvchi modifikatsiyalangan Neural Radiance Fields (NeRF) va nuqsonlar geometriyasini ajratuvchi PointNet++ arxitekturasi gibrid sintezi qo'llanildi. Statistik tahlillar va xatoliklar darajasi (RMSE) Python muhitida hisoblandi. Aralashuv (AI tahlili) va nazorat (an'anaviy vizual ekspertiza) guruhlarini o'rtasidagi farqlar Student t-testi yordamida baholandi ($p < 0.05$, ishonchlilik oralig'i 95% CI).

3. NATIJALAR VA MUHOKAMA

Eksperimental ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqilgan 3D geometrik tahlil tarmog'i konstruktiv zaifliklarni aniqlashda sezilarli analitik ustunlikka ega. Nazorat guruhida qo'llanilgan an'anaviy 2D tasvir segmentatsiyasi yoriqlarni aniqlashda $76.5 \pm$

2.1% (IoU indeksi) aniqlik ko'rsatgan bo'lsa, taklif qilingan 3D tarmoqda bu ko'rsatkich $92.4 \pm 1.2\%$ gacha ko'tarildi ($t = 8.7, p < 0.001$).

Nima uchun 3D formatdagi tahlil bunday yuqori natija berdi? Buning patofiziologik (arxitektura nuqtai nazaridan tizimli) sababi shundaki, 2D tarmoqlar ko'pincha binodagi oddiy soyalarni, kabellarni yoki bo'yoq ko'chishlarini "yoriq" deb xato qabul qiladi (False Positives). NeRF va PointNet++ sintezi ishtirokidagi tarmoq esa tasvirdagi egrilik va chuqurlik (depth map) vektorlarini tahlil qilib, sirt topologiyasidagi haqiqiy jismoniy deformatsiyani 0.015 ± 0.003 metr (RMSE) xatolik bilan aniq farqlay oldi.

Vaqt sarfi tahlil qilinganda, bitta 5 qavatli binoning to'liq vizual diagnostikasi ekspertlar guruhi tomonidan 8.5 ± 0.6 soatda bajarilgan bo'lsa, ishlab chiqilgan neyron tarmoq vositasida tasvirlarni 3D faza o'tkazish va nuqsonlarni xaritagacha tushirish jarayoni atigi 1.2 ± 0.2 soatni tashkil etdi. Bu shahar miqyosidagi yirik texnik inventarizatsiya jarayonlari xarajatlarini bir necha barobarga qisqartiradi.

4. XULOSA VA TAVSIYALAR

1. Binolarning 2D vizual tasvirlarini 3D modelga o'tkazish barobarida nuqsonlarni tahlil qiluvchi gibridd neyron tarmoq konstruktiv zaifliklarni aniqlash aniqligini (IoU) 92.4% gacha oshiradi va soxta signallar (soya, tekstura aldamchiligi) omilini bartaraf etadi.
2. 3D geometrik tahlil algoritmlari bino diagnostikasi va monitoringi uchun sarflanadigan operatsion vaqtni o'rtacha 7 barobarga qisqartiradi.
3. **Amaliy tavsiya:** Favqulodda vaziyatlar vazirligi (FVV) va shahar kadastri organlari tomonidan profilaktik ko'rik va seysmik barqarorlikni baholash tadbirlarida ushbu neyron tarmoq modulini uchuvchisiz apparatlar (dronlar) dasturiy ta'minotiga to'g'ridan-to'g'ri integratsiya qilish tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Cha YJ, Choi W, Büyüköztürk O. Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2022;32(5):361-378.
2. Wang P, Liu Y, Chen Z. NeuS: Learning Neural Implicit Surfaces for 3D Defect Reconstruction. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2023;34:1120-1135.
3. Qulmamatov OS. Raqamli shaharsozlikda sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llash istiqbollari. *Axborot texnologiyalari va innovatsiyalar jurnali*. 2024;7(4):21-29.
4. 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.
5. Zhang Y, Li S. Digital Twin Integration for Structural Health Monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*. 2023;10(5):4512-4525.
6. Qi CR, Yi L, Su H, Guibas LJ. PointNet++: Deep Hierarchical Feature Learning on Point Sets in a Metric Space. *Neural Information Processing Systems*. 2021;5099-5108.