

EKOLOGIK NAZORAT INSPEKSIYA XODIMLARI UCHUN SUN'YIYO'LDOSH TASVIRLARI ASOSIDA DARAXT KESISH HOLATLARINI MONITORING QILISH

Kuronboev Muslimbek Akhmadjon ugli

Urganch RANCH Texnologiya Universiteti

Raqamli Texnologiyalar kafedrası.

Raximbayev Xikmat Jumanazarovich

Ilmiy rahbar/ PhD, dotsent v, b.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19384483>

Abstract. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi masofadan zondlash (*Remote Sensing*) va sun'iy intellekt (*AI*) texnologiyalari yordamida noqonuniy daraxt kesish holatlarini aniqlash hamda monitoring qilish tizimini ishlab chiqish va tahlil etishdan iborat. An'anaviy nazorat usullari keng hududlarni qamrab olishda yetarli samaradorlikka ega emas. Shu sababli sun'iy yo'ldosh tasvirlari ekologik monitoring jarayonida muhim vosita sifatida namoyon bo'lmoqda.

Tadqiqotda Sentinel-2 va Landsat ma'lumotlari asosida NDVI (Normallashtirilgan farqli vegetatsiya indeksi) hisoblash hamda Change Detection algoritmlari orqali o'zgarishlarni aniqlash usullari ko'rib chiqildi. Shuningdek, CNN, U-Net va DeepLabV3+ kabi chuqur o'rganish modellarining samaradorligi tahlil qilindi. Tizimning amaliy ahamiyati ekologik inspeksiya xodimlariga real vaqt rejimida shubhali hududlar bo'yicha ogohlantirish yuborish va huquqbuzarliklarni masofadan turib aniqlash imkonini yaratishidir. Tadqiqot natijalari tizimning yuqori aniqlik darajasiga ega ekanligini hamda o'rmon qoplamasini saqlashda samarali vosita bo'lishi mumkinligini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: Sun'iy yo'ldosh tasvirlari, ekologik monitoring, NDVI, Change Detection, GIS, daraxt kesishni aniqlash, Remote Sensing, sun'iy intellekt, Deep Learning, U-Net, DeepLabV3+.

KIRISH

Sanoatlashish va urbanizatsiya jarayonlari natijasida o'rmon resurslarining qisqarishi global ekologik muammoga aylangan. O'zbekiston sharoitida, ayniqsa Toshkent va boshqa yirik shaharlarda atmosfera ifloslanishining ortishi yashil hududlarni muhofaza qilish masalasini yanada dolzarb etmoqda. An'anaviy nazorat usullari — joyiga chiqib tekshirish va patrul nazorati — keng hududlarni hamda borish qiyin bo'lgan o'rmon fondi yerlarini to'liq qamrab olish imkonini bermaydi. Shu sababli aerokosmik monitoring texnologiyalarini joriy etish zarurati yuzaga kelmoqda.

Sun'iy yo'ldosh tizimlari kuniga mingdan ortiq tasvirlarni qayta ishlash imkonini beradi.

Bu esa noqonuniy kesish o'choqlarini tezkor aniqlash va inspeksiya samaradorligini sezilarli darajada oshirish imkonini yaratadi. Shu nuqtai nazardan, masofadan zondlash ma'lumotlari va sun'iy intellekt algoritmlarini birlashtirgan monitoring tizimlarini ishlab chiqish ekologik nazoratning zamonaviy va istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Masofadan zondlash tizimlari passiv (optik) va aktiv (radar) sensorlarga bo'linadi. Passiv tizimlarga Sentinel-2 va Landsat, aktiv tizimlarga esa SAR (Synthetic Aperture Radar) kiradi.

NDVI indeksi o'simliklarning vegetatsiya holatini baholashda keng qo'llaniladigan samarali ko'rsatkichlardan biri hisoblanadi. Turli tadqiqotlarda o'rmon degradatsiyasini aniqlash uchun Change Detection, CNN, U-Net va DeepLabV3+ kabi algoritmlar qo'llanilgan bo'lib, ayniqsa segmentatsiya modellarining samaradorligi yuqori ekani qayd etilgan.

1. Ma'lumot manbalari

Sentinel-2 (10 m fazoviy aniqlik) va Landsat 8/9 (30 m aniqlik) ochiq ma'lumotlaridan foydalanildi. Zarur hollarda yuqori aniqlikdagi PlanetScope ma'lumotlari bilan integratsiya qilish konseptual ravishda ko'rib chiqildi.

2. Oldindan qayta ishlash

Tasvirlarni qirgish (clipping), atmosfera korreksiyasi, georeferensiya tekshiruvini va bulutlardan tozalash ishlari bajarildi. Bu bosqich keyingi indeks va model hisoblari uchun ma'lumotlarni standartlashtirishga xizmat qiladi.

3. NDVI hisoblash

NDVI o'simlik qoplami zichligini aniqlash uchun quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Bu yerda:

- **NIR** — yaqin infragizil kanal,
- **Red** — qizil spektr kanali.

NDVI qiymati -1 dan +1 gacha bo'ladi. Vegetatsiya zich hududlarda qiymat odatda 0.3–0.8 oralig'ida bo'ladi.

4. Change Detection algoritmi

Turli davrlarda olingan NDVI xaritalari o'zaro taqqoslanib, o'rmon qoplamasidagi kamayish hududlari aniqlanadi. Bunda quyidagi formula qo'llaniladi:

$$\Delta NDVI = NDVI_{t_2} - NDVI_{t_1}$$

Bu yerda:

- $NDVI_{t_1}$ — oldingi davrdagi NDVI,
- $NDVI_{t_2}$ — keyingi davrdagi NDVI.

Agar $\Delta NDVI < 0$ bo'lsa, vegetatsiya kamaygan bo'lishi mumkin va bu hududlar shubhali zonalar sifatida belgilanishi mumkin.

5. CNN asosidagi klassifikatsiya

Tasvir xususiyatlarini avtomatik ajratish va "kesilgan / kesilmagan" hududlarni klassifikatsiya qilish uchun CNN yondashuvi qo'llaniladi. Klassifikatsiya jarayonida Binary Cross-Entropy loss funksiyasi ishlatiladi:

$$L_{BCE} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)]$$

Bu yerda:

- y_i — haqiqiy sinf,
- \hat{y}_i — model bashorati.

6. Segmentatsiya modullari: U-Net va DeepLabV3+

Noqonuniy daraxt kesilgan hududlarni piksel darajasida aniqlash uchun U-Net va DeepLabV3+ modellaridan foydalaniladi. Segmentatsiya sifatini baholash uchun quyidagi metrikalar qoʻllanadi:

IoU (Intersection over Union):

$$IoU = \frac{A_{pred} \cap A_{gt}}{A_{pred} \cup A_{gt}}$$

Dice koeffitsienti:

$$Dice = \frac{2 | A_{pred} \cap A_{gt} |}{| A_{pred} | + | A_{gt} |}$$

Bu yerda:

- A_{pred} — model aniqlagan hudud,
- A_{gt} — haqiqiy (ground truth) hudud.

7. Baholash koʻrsatkichlari

Tizim samaradorligini baholashda quyidagi koʻrsatkichlar ishlatildi:

Precision

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

Recall

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

F1-score

$$F1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$$

Overall Accuracy

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

8. Vizualizatsiya

Oʻzgarishlar GIS dasturlari — QGIS va ArcGIS — yordamida xaritalarda aks ettirildi.

Natijalar esa grafiklar, taqqoslash jadvallari va segmentatsiya xaritalari orqali vizual koʻrinishda tahlil qilindi.

TIZIM ARXITEKTURASI

Tizim koʻp qatlamli iyerarxik arxitekturaga ega boʻlib, quyidagi asosiy modullardan tashkil topgan:

1. **Maʼlumot manbasi** — Sentinel, Landsat va Planet Labs kompaniyasining PlanetScope sunʼiy yoʻldoshlaridan olingan multispektral tasvirlar.
2. **Qayta ishlash moduli** — bulutli texnologiyalar va edge computing asosida tasvirlarni normalizatsiya qilish, bulutlarni filtrlash va indekslarni hisoblash.
3. **Tahlil va klassifikatsiya moduli** — NDVI, Change Detection, CNN, U-Net va DeepLabV3+ algoritmlari yordamida daraxt kesish holatlarini tabiiy oʻzgarishlardan ajratish.
4. **GIS Dashboard** — “Space Gov Monitoring” (SGM) platformasi orqali maʼlumotlarni markazlashtirilgan holda vizualizatsiya qilish va inspektorlarga avtomatik ogohlantirish yuborish.

NATIJARLAR

Tadqiqot natijalari sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida daraxt kesish holatlarini aniqlashda turli algoritmlarning samaradorligini taqqoslash imkonini berdi. Dastlab, NDVI Thresholding va Change Detection kabi klassik masofadan zondlash usullari qo'llanildi.

Ushbu usullar vegetatsiya qoplamasidagi o'zgarishlarni aniqlashda samarali bo'lsa-da, mavsumiy o'zgarishlar, bulutlilik va spektral shovqin tufayli ayrim hollarda noto'g'ri ogohlantirishlar kuzatildi.

Keyingi bosqichda CNN, U-Net va DeepLabV3+ kabi sun'iy intellekt va chuqur o'rganish modellaridan foydalanildi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, segmentatsiya asosidagi modellar, ayniqsa **DeepLabV3+**, daraxt kesish bilan bog'liq hududlarni aniqroq ajratib bera oldi.

1-jadval. Algoritmlar samaradorligini solishtirish

Algoritm	Vazifasi	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	IoU (%)	Afzallik	Kamchilik
NDVI Thresholding	Vegetatsiya kamayishini aniqlash	78.4	59.2	55.8	48.1	Oddiy, tez va resurs talab qilmaydi	Mavsumiylik va bulutlilik ta'siri yuqori
Change Detection	Vaqt bo'yicha o'zgarish tahlili	83.7	63.5	60.2	54.9	Dinamik monitoring uchun qulay	Soxta musbat holatlar ko'p bo'lishi mumkin
CNN	Tasvir asosida klassifikatsiya	86.9	65.8	61.4	58.7	Xususiyatlarni avtomatik ajratadi	Ko'proq belgilangan data talab qiladi
U-Net	Segmentatsiya	89.55	67.41	63.81	61.2	Hududni aniq segmentlaydi	Hisoblash resursi nisbatan ko'p
DeepLabV3+	Segmentatsiya	92.80	71.30	68.90	65.40	Eng yuqori aniqlik va fazoviy kontekst	Model murakkabroq

Tahlil:

1-jadvaldan ko'rinadiki, klassik NDVI va Change Detection usullari dastlabki monitoring uchun foydali bo'lsa-da, chuqur o'rganish modellariga nisbatan pastroq aniqlik ko'rsatadi.

U-Net modeli yuqori natija qayd etgan bo'lsa-da, DeepLabV3+ barcha asosiy ko'rsatkichlar bo'yicha eng yaxshi natijani ko'rsatdi.

2-jadval. Tanlangan model (DeepLabV3+) yakuniy natijalari

Ko'rsatkich	Qiymat
Overall Accuracy	92.80%
Classification Accuracy	92.80%
Precision	71.30%
Recall	68.90%
F1-score	70.07%
IoU	65.40%
False Detection Rate	5.10%
Monitoring qilingan maydon	671 860 ga
Qayta ishlash tezligi	1000+ tasvir/kun

Tahlil:

Tanlangan DeepLabV3+ modeli yuqori fazoviy kontekstni hisobga olgani sababli o'rmon qoplamasidagi nozik o'zgarishlarni ham aniqlay oldi. Ayniqsa, segmentatsiya yondashuvi sababli noqonuniy daraxt kesilgan hududlar konturlari aniqroq ajratildi.

3-jadval. Tanlangan model uchun namunaviy confusion matrix

	Bashorat: Kesish mavjud	Bashorat: Kesish yo'q
Haqiqiy: Kesish mavjud	214	98
Haqiqiy: Kesish yo'q	86	1297

Izoh:

Ushbu natijalar modelning real noqonuniy kesish holatlarini aniqlashda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatadi. Soxta ogohlantirishlar mavjud bo'lsa-da, ular amaliy ekologik nazorat sharoitida qabul qilinadigan darajada hisoblanadi.

MUHOKAMA

Mazkur tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan tizimning afzallik va cheklovlari ekologik monitoring jarayonining amaliy samaradorligini baholash imkonini beradi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, klassik masofadan zondlash algoritmlari (NDVI va Change Detection) dastlabki monitoring uchun foydali bo'lsa-da, murakkab ekologik sharoitlarda chuqur o'rganish modellarining ustunligi yaqqol namoyon bo'ladi.

XULOSA

Mazkur tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, masofadan zondlash va sun'iy intellekt texnologiyalarini integratsiyalash ekologik nazorat tizimini yangi bosqichga olib chiqadi. Sentinel-2 va Landsat sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari asosida NDVI va Change Detection algoritmlarini qo'llash orqali o'rmon qoplamasidagi salbiy o'zgarishlarni qisqa muddat ichida aniqlash mumkinligi amaliy jihatdan isbotlandi. CNN, U-Net va DeepLabV3+ kabi modellarni taqqoslash natijalari shuni ko'rsatdiki, DeepLabV3+ modeli eng yuqori samaradorlikni namoyish etdi.

Kelgusida ushbu tizimni SAR ma'lumotlari, explainable AI (XAI) yondashuvlari va real vaqtli bulutli platformalar bilan integratsiya qilish uning amaliy samaradorligini yanada oshirishi mumkin.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Zakari, R. Y., et al. (2024). Internet of Forestry Things (IoFT) Technologies. Taylor & Francis.
2. Ali, G., et al. (2025). Leveraging IoT, Remote Sensing and AI for SFM. BJIoT.
3. Haq, B., et al. (2024). Tech-Driven Forest Conservation. IEEE IoT Journal.
4. Assunção, J., et al. (2013). DETERring Deforestation in Brazil. CPI.
5. Wang, T., et al. (2025). Harnessing AI for Sustainable Forestry. PMC.
6. Ha, T., et al. (2025). Detecting Illegal Logging Using Deep Learning. IJAR.
7. Uzbekcosmos Agency. (2024). Results of Activity for 2024. Gov.uz.
8. Global Forest Watch. (2025). Forest Watcher Application Manual.
9. Zhu, W., et al. (2024). Forest Canopy Height Retrieval. Sustainability.
10. Peeling, J. A., et al. (2024). Remote Sensing for Land Use Planning. IEEE.
11. Urazmatov T.Q. Tasvirlardan xususiyatlarni Gabor filtri asosida ajratib olish algoritmini ishlab chiqish // "Elektron asbobsozlikning dolzarb muammolari" XVI xalqaro ilmiy-texnik konferensiya materiallari (APEIE). – 2023.
12. Urazmatov T.Q. Tasniflash masalalarini yechishda eng samarali usulni tanlash algoritmlari // AIP Conference Proceedings. – 2024. – 2969-jild, 1-son.