

REAL VAQT REJIMIDAGI VIDEOKUZATUV TIZIMLARIDA OBYEKTARNI ANIQLASH VA TANISHNING NEYRON TARMOQ USULLARI: SIRKULYAR IQTISODIYOT VA RESURS SAMARADORLIGI YONDASHUVI

Xolmatov Azizbek Tolibjonovich

Ichki ishlar vazirligi Tashkiliy departamenti
Situatsion-tahliliy markazi smena boshlig'i

E-mail: khalmatovazizbek@gmail.com

Annotatsiya

Maqolada videokuzatuvda obyektlarni aniqlash, kuzatish va yuzni tanishning neyron tarmoq usullari sirkulyar iqtisodiyot nuqtayi nazaridan tizimlashtirildi. E'lon qilingan natijalar turli to'plam va grafik protsessorlarda olingani sababli bevosita taqqoslanmasligi ko'rsatildi. Kadrning to'liq kechikishini va bitta tezlatgich xizmat ko'rsata oladigan oqimlar sonini baholovchi analitik model taklif etildi: faraziy misolda aniqlashni har beshinchi kadrda chaqirish oqimlar sonini 3 tadan 12 taga oshirdi. Yuzni tanishni cheklash va uskunani tejash tavsiyalari ishlab chiqildi. Tahlil YOLO, Faster R-CNN, YOLOv7, RT-DETR, DeepSORT, ByteTrack, FaceNet va ArcFace modellarining e'lon qilingan natijalarini qamrab oldi. Kaskad arxitekturasida aniqlash chastotasi, oqimlar sig'imi va yangi obyektning aniqlash kechikishi o'rtasidagi kelishuv ko'rsatildi. Tavsiyalar biometrik ma'lumotlarga ishlov berishning huquqiy talablari va operator nazoratiga tayanadi. Taklif etilgan model videoanalitika tizimini loyihalashda talab qilinadigan tezlatgichlar sonini oldindan baholashga imkon beradi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, videokuzatuv, obyektlarni aniqlash, neyron tarmoqlar, sirkulyar iqtisodiyot, yuzni tanish, real vaqt rejimi, kechikish

Аннотация

В статье нейросетевые методы обнаружения, отслеживания и распознавания лиц в системах видеонаблюдения систематизированы с позиций циркулярной экономики. Показано, что опубликованные результаты нельзя сравнивать напрямую из-за различий наборов данных и графических процессоров. Предложена аналитическая модель полной задержки кадра и числа потоков на один ускоритель: на условном примере вызов детектора на каждом пятом кадре увеличил число потоков с 3 до 12. Разработаны рекомендации по ограничению распознавания лиц и экономии оборудования. Анализ охватил опубликованные результаты моделей YOLO, Faster R-CNN, YOLOv7, RT-DETR, DeepSORT, ByteTrack, FaceNet и ArcFace. Показан компромисс между частотой обнаружения, пропускной способностью по потокам и задержкой обнаружения нового объекта в каскадной архитектуре. Рекомендации опираются на правовые требования к обработке биометрических данных и контроль оператора. Предложенная модель позволяет заранее оценить число ускорителей, необходимых при проектировании системы видеоаналитики.

Ключевые слова: искусственный интеллект, видеонаблюдение, обнаружение объектов, нейронные сети, циркулярная экономика, распознавание лиц, режим реального времени, задержка

Abstract

The article systematized neural network methods for object detection, tracking and face recognition in video surveillance from a circular economy perspective. It showed that published results were not directly comparable because of different datasets and GPUs. An analytical model of end-to-end frame latency and of the number of streams per accelerator was proposed: in a hypothetical example, invoking the detector on every fifth frame raised the number of streams from 3 to 12. Recommendations to restrict face recognition and save hardware were developed. The analysis covered the published results of YOLO, Faster R-CNN, YOLOv7, RT-DETR, DeepSORT, ByteTrack, FaceNet and ArcFace. The trade-off between detection frequency, stream capacity and the delay in detecting a new object in a cascade architecture was shown. The recommendations rely on the legal requirements for processing biometric data and on operator oversight. The proposed model makes it possible to estimate in advance the number of accelerators required when designing a video analytics system.

Keywords: artificial intelligence, video surveillance, object detection, neural networks, circular economy, face recognition, real-time processing, latency

KIRISH

Videokuzatuv tizimlari yozib olingan tasvirni ko'rish vositasidan oqimni real vaqtda tahlil qiluvchi tizimga aylanmoqda. Uning sifati obyektlarni aniqlash, kuzatish va zarur hollarda identifikatsiya qilish (yuz yoki davlat raqam belgisini tanish) vazifalariga bog'liq. 25-30 kadr/s li kamera uchun kadrda 33-40 ms ajratiladi, shu sababli aniqlik bilan birga kechikish hisobga olinishi shart. 2025-yil iyulda Toshkentda sun'iy intellektli kameralar yo'l bermayotgan haydovchilarni aniqlay boshlagan, uch kunda 1 700 ta jarima qo'llangan [15].

Maqolaning maqsadi neyron tarmoq usullarini tizimlashtirish hamda ularni kechikish, oqimlar sig'imi va uskuna ehtiyoji bo'yicha baholashning analitik modelini asoslashdan iborat. Buning uchun natijalar umumlashtirildi, kechikish va oqimlar sonini bog'lovchi ifodalar shakllantirildi, huquqiy cheklovlar belgilandi.

ADABIYOTLAR SHARHI

Aniqlash tezligi bir bosqichli detektorlar bilan keskin oshdi: YOLO aniqlashni yagona regressiya masalasi sifatida qo'yib, 45 kadr/s ga erishgan bo'lsa [6], ikki bosqichli Faster R-CNN [7] atigi 5-7 kadr/s bergan; YOLOv7 V100 da 30 kadr/s va undan yuqori tezlikdagi detektorlar orasida eng yuqori aniqlikni (COCO da 56,8 % AP) ko'rsatgan [9]. Transformeriga asoslangan RT-DETR esa mualliflarning fikricha, tezlik va aniqlik bo'yicha oldingi YOLO detektorlaridan ustun kelgan [12].

Videokuzatuvda "aniqlash orqali kuzatish" yondashuvi keng qo'llanadi: DeepSORT tashqi ko'rinish belgilari yordamida identifikatorlar almashinuvini 45 %

ga kamaytirgan [10], ByteTrack esa barcha aniqlash qutillarini bog'lab, MOT17 da MOTA 80,3 ni bitta V100 da 30 kadr/s tezlikda ko'rsatgan [11].

Yuzni tanishda FaceNet yuzni uchlik yo'qotish funksiyasi bilan ixcham embedding fazosiga akslantirib, LFW da 99,63 % aniqlikka erishgan [8]; ArcFace esa burchak chegarasi bilan sinflararo farqni oshirgan [1]. NIST 189 ta algoritmnini sinab, ko'plab algoritmlarda soxta musbatlardagi demografik farqlar algoritmgga qarab 10 dan 100 martagacha va undan ortiq bo'lishini aniqlagan [4]. Yevropa Ittifoqining sun'iy intellekt reglamenti (5(1)(h)-modda) jamoat joylarida real vaqt rejimida masofaviy biometrik identifikatsiyani huquqni muhofaza qilish maqsadida taqiqlaydi [3]; O'zbekistonda biometrik ma'lumotlarga ishlov berish "Shaxsga doir ma'lumotlar to'g'risida"gi Qonunning 26-moddasida tartibga solingan [13].

Sirkulyar iqtisodiyot chiqindi va ifloslanishni bartaraf etish, mahsulot va materiallarni aylanishda saqlash hamda tabiatni tiklash tamoyillariga tayanadi [2]; O'zbekistonda uni rivojlantirish 2024-yildagi PF-5-son Farmonida maqsad etilgan [14]. Raqamli uskunar uchun bu elektron chiqindini kamaytirishdir: 2022-yilda hosil bo'lgan 62 mln t elektron chiqindining atigi 22,3 % rasman qayta ishlangan [5].

METODOLOGIYA

Tadqiqot tizimli-qiyosiy tahlilga asoslandi: ochiq benchmarkda (VOC, COCO, MOT17, LFW) baholangan nashr etilgan ishlar tanlandi, natijalar esa mualliflarning asl ishlaridan olingan va qayta o'lchanmagan. Real vaqt tizimi dekodlash, dastlabki ishlov, aniqlash, kuzatish, tanish va hodisa qoidalaridan iborat quvur sifatida modellashtirildi. Birinchi shart: bitta kadrning kameradan qaror qabul qilinguncha bo'lgan to'liq kechikishi ruxsat etilgan chegaradan oshmasligi kerak:

$$T_{e2e} = t_{dec} + t_{pre} + t_{det} + t_{trk} + t_{rec} + t_{net} + t_{que} \leq T_{max} \quad (1)$$

Bu yerda T_{e2e} - to'liq kechikish; t_{dec} , t_{pre} , t_{det} , t_{trk} , t_{rec} , t_{net} va t_{que} - mos ravishda dekodlash, dastlabki ishlov, aniqlash, kuzatish, tanish, tarmoq orqali uzatish va navbatda kutish vaqti; T_{max} - ruxsat etilgan eng katta kechikish. Ikkinchi shart: tezlatgich barcha oqimlar kadrlariga ulgurishi kerak. Aniqlash modeli har k -kadrda, tanish modeli esa kadrlarning q ulushida ishlatilsa, bitta kadrning o'rtacha tezlatgich vaqti:

$$\tau_f = \frac{\tau_{det}}{k} + \tau_{trk} + q \cdot \tau_{rec} \quad (2)$$

Bu yerda τ_{det} , τ_{trk} va τ_{rec} - aniqlash, kuzatish va tanishning bitta chaqiruv vaqti; k - aniqlash chaqiriladigan kadrlar oralig'i; q - tanish ishga tushiriladigan kadrlar ulushi ($0 \leq q \leq 1$). Bitta tezlatgich bir vaqtda xizmat ko'rsata oladigan oqimlar soni:

$$N = \left\lfloor \frac{1}{f_a \cdot \tau_f} \right\rfloor \quad (3)$$

Bu yerda N - oqimlar soni; f_a - har bir oqimda tahlil qilinadigan kadr chastotasi, kadr/s; $\lfloor \cdot \rfloor$ - butun qism; τ_f bu ifodada sekundlarda olinadi. (3) ifoda partiyalab ishlov berish va xotira cheklovlarini hisobga olmaydi, shuning uchun dastlabki baho hisoblanadi; modellarning empirik qayta o'lchovi o'tkazilmagan.

TAHLIL VA NATIJALAR

Real vaqt videoanalitika tizimi kaskad arxitekturasida tavsiflandi: oraliq kadrlarda obyektlar holati kuzatgich bilan yangilanadi. Chekka tugunda aniqlash va kuzatish bajarilsa, tarmoq orqali faqat iz va hodisa ma'lumotlari uzatilib, t_{net} kamayishi mumkin. Modellarning natijalari 1-jadvalda umumlashtirildi (1-jadval).

1-jadval

Aniqlash, kuzatish va yuzni tanishning e'lon qilingan natijalari¹

Model	E'lon qilingan natija	Tezlik (qurilma)	Manba
Faster R-CNN (VGG-16)	VOC 2007: 73,2 mAP	5-7 kadr/s (GPU)	[6]; [7]
YOLO	VOC 2007: 63,4 mAP	45 kadr/s	[6]
YOLOv7	COCO: 56,8 % AP	30 kadr/s va yuqori (V100)	[9]
RT-DETR-R50	COCO: 53,1 % AP	108 kadr/s (T4)	[12]
ByteTrack	MOT17: MOTA 80,3; HOTA 63,1	30 kadr/s (V100)	[11]
FaceNet	LFW: 99,63 %	-	[8]

1-jadvaldan ikki xulosa kelib chiqadi. Birinchidan, aniqlik va tezlik oralig'i keskin siljigan: Faster R-CNN 5-7 kadr/s bergan bo'lsa [6; 7], YOLOv7 va RT-DETR-R50 30 kadr/s dan yuqori tezlikda 53-57 % AP ga yetgan [9; 12]. Ikkinchidan, bu qiymatlar turli to'plam va grafik protsessorlarda olingani uchun faqat bir xil sharoitda o'lchangandagina solishtirilishi mumkin, benchmark aniqligi esa videokuzatuv sharoitini (kichik obyektlar, kechki yoritish, to'silishlar) kafolatlamaydi, shuning uchun modelni obyektning o'zida sinash zarur.

(2) va (3) ifodalar bo'yicha kaskad sig'imi 2-jadvalda faraziy misolda berildi.

2-jadval

Aniqlash oralig'ining oqimlar sig'imiga ta'siri (faraziy misol)²

Aniqlash oralig'i k , kadr	Aniqlash chaqiruvlari (bitta oqimda), 1 s da	Kadr vaqti τ_f , ms	Oqimlar soni N
1	25	11,25	3
3	8,33	4,58	8
5	5	3,25	12
10	2,5	2,25	17

$k = 1$ bo'lganda kadr vaqti 11,25 ms bo'lib, bitta tezlatgich 3 ta oqimga xizmat ko'rsatadi; $k = 5$ da 3,25 ms gacha qisqarib, oqimlar soni 12 taga, ya'ni 4 baravar oshadi; 36 oqim uchun zarur tezlatgichlar soni esa 12 tadan 3 taga kamayadi, bu uskunaga ehtiyojni va kelgusidagi elektron chiqindini qisqartirishi mumkin. Biroq oraliq kadrlarda holat faqat kuzatgich bilan yangilangani uchun yangi obyektlarni aniqlash kechikadi: 25 kadr/s da $k = 5$ eng ko'pi bilan 0,2 s ga mos keladi. Demak, k tanlovi sig'im va javob kechikishi (T_{max}) o'rtasidagi kelishuv bo'lib, uni sinov videolarida tekshirish zarur. Parametrlar muallif tanlagan namunaviy qiymatlardir.

¹ Manba: [6; 7; 8; 9; 11; 12] asosida muallif umumlashtirgan; natijalar turli sharoitda olingan, taqqoslanmaydi.

² Manba: (2), (3) asosida muallif illyustratsiyasi; $\tau_{det} = 10$ ms, $\tau_{trk} = 1$ ms, $\tau_{rec} = 5$ ms, $q = 0,05$, $fa = 25$ kadr/s.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Neyron tarmoq detektorlari real vaqt rejimida yuqori aniqlikka erishgan [9; 12], biroq natijalar turli to'plam va qurilmalarda olingani uchun modelni tanlash (1)-(3) ifodalar bilan baholanadigan kechikish, oqimlar sig'imi va uskuna ehtiyojiga tayanishi kerak: faraziy misolda aniqlashni har beshinchi kadrda chaqirish oqimlar sonini 3 tadan 12 taga oshirib, 36 oqim uchun tezlatgichlar sonini 12 tadan 3 taga tushirdi, bunga yangi obyektlarni aniqlashda eng ko'pi bilan 0,2 s kechikish evaziga erishildi; bu sirkulyar iqtisodiyotning chiqindi va ifloslanishni bartaraf etish tamoyiliga mos keladi [2]. Yuzni tanish demografik xatolik xavfi [4] va huquqiy cheklovlar [3]; [13] sababli maqsadli va inson nazoratida qo'llanishi kerak. Natijalar asosida quyidagi takliflar ishlab chiqildi.

1. Modellarni faqat AP yoki MOTA bo'yicha emas, to'liq kechikish, bitta tezlatgichdagi oqimlar soni va talab etiladigan uskuna miqdori bo'yicha ham baholash.

2. Kaskad arxitekturasini qo'llash: aniqlashni har k -kadrda, tanishni q ulushdagi kadrlarda chaqirish; k va q ni sinov videolarida tanlash. Bu mavjud tezlatgichlarda ko'proq oqimga xizmat ko'rsatib, yangi uskuna xaridini kechiktirishi mumkin.

3. Yuzni tanishni faqat aniq huquqiy asos [3; 13], demografik guruhlar bo'yicha tekshirilgan chegara va operator tasdig'i bilan qo'llash, joriy etishni esa biometriyani talab qilmaydigan vazifalardan (masalan, o'tish joyida yo'l bermaslikni aniqlashdan [15]) boshlash.

Keyingi tadqiqotlarda (1)-(3) ifodalarni mahalliy videolarda empirik tekshirish hamda energiya sarfini o'lchash rejalashtirilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Deng, J., Guo, J., Xue, N., & Zafeiriou, S. (2019). ArcFace: Additive angular margin loss for deep face recognition. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 4685-4694). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00482>

2. Ellen MacArthur Foundation. (2019). The circular economy in detail. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive>

3. European Parliament & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union, L, 2024/1689. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>

4. Grother, P., Ngan, M., & Hanaoka, K. (2019). Face recognition vendor test (FRVT) part 3: Demographic effects (NISTIR 8280). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8280>

5. International Telecommunication Union & United Nations Institute for Training and Research. (2024). Global E-waste Monitor 2024. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Publications/The-Global-E-Waste-Monitor-2024.aspx>

6. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE Conference on

Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 779-788).

<https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>

7. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2017). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(6), 1137-1149. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031>

8. Schroff, F., Kalenichenko, D., & Philbin, J. (2015). FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 815-823). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298682>

9. Wang, C.-Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H.-Y. M. (2023). YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 7464-7475). <https://doi.org/10.1109/CVPR52729.2023.00721>

10. Wojke, N., Bewley, A., & Paulus, D. (2017). Simple online and realtime tracking with a deep association metric. In *2017 IEEE International Conference on Image Processing* (pp. 3645-3649). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2017.8296962>

11. Zhang, Y., Sun, P., Jiang, Y., Yu, D., Weng, F., Yuan, Z., Luo, P., Liu, W., & Wang, X. (2022). ByteTrack: Multi-object tracking by associating every detection box. In *Computer Vision - ECCV 2022* (pp. 1-21). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20047-2_1

12. Zhao, Y., Lv, W., Xu, S., Wei, J., Wang, G., Dang, Q., Liu, Y., & Chen, J. (2024). DETRs beat YOLOs on real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 16965-16974). <https://doi.org/10.1109/CVPR52733.2024.01605>

13. O'zbekiston Respublikasining 2019-yil 2-iyuldagi O'RQ-547-son "Shaxsga doir ma'lumotlar to'g'risida"gi Qonuni. <https://lex.uz/docs/-4396419>

14. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 4-yanvardagi PF-5-son "Chiqindilarni boshqarish tizimini takomillashtirish va ularning ekologik vaziyatga salbiy ta'sirini kamaytirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida"gi Farmoni. <https://lex.uz/docs/-6732832>

15. Spot.uz. (2025, 14-iyul). Toshkentda SI'ga ega kameralar piyodalarga yo'l bermayotgan haydovchilarni aniqlay boshladi. <https://www.spot.uz/oz/2025/07/14/cameras-ai/>



Marketing

ilmiy, amaliy va ommabop jurnali

Muharrir:
Ingliz tili muharriri:
Rus tili muharriri:
Musahhih:
Sahifalovchi va dizaynerlar:

Turobova Hulkar Rustamovna
Oripov Mahmud Ashurovich
Xidirova Gavxar Rustamovna
Qudratov Aziz Dehqonboyevich
Sadikov Shoxrux Shuxratovich
Abidjonov Nodirbek Odijon o'g'li

2026-YIL, 24-25-SENTABR, MAXSUS-SON, III-IV-SEKSIYALAR

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Marketing" ilmiy, amaliy va ommabop jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar mas'ul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelavermasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

Mazkur jurnalda maqolalar chop etish uchun quyidagi havolalarga murojaat qilish mumkin. Ilmiy maqola, ommabop maqola, reklama, hikoya va boshqa ilmiy-ijodiy materiallar yuborishingiz mumkin.

Materiallar va reklamalar pullik asosda chop etiladi.

Elektron pochta: info@marketingjournal.uz
Bot: [@marketinjournalbot](https://t.me/@marketinjournalbot)
Tel.: +99890 5125464, +998939266610

Jurnalning rasmiy sayti: <https://marketingjournal.uz>

Marketing jurnali O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi **Oliy attestatsiya komissiyasi rayosatining 2024-yil 04-oktabrdagi 362/5 sonli qarori** bilan milliy ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan



"Marketing" ilmiy, amaliy va ommabop jurnali 2024-yil 15-martdan O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan **C-5669517** reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan. **Litsenziya raqami: №240874**



"Marketing" ilmiy, amaliy va ommabop jurnalining xalqaro darajasi: **9710**. GOCT 7.56-2002 "Seriya nashrlarning xalqaro standart raqamlanishi" davlatlaro standartlari talablari. **Berilgan ISSN tartib raqami: 3060-4621**