



ANALYTICAL REVIEW OF REAL-TIME OBJECT DETECTION SYSTEMS BASED ON YOLO AND CNN MODELS

Komil Fikratovich Kerimov

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of System and Applied Programming, Tashkent University of Information Technologies. E-mail: kerimov@tuit.uz

Mirjahon Normurodovich Shodmonov

PhD Researcher at the Institute of Advanced Research under New Uzbekistan University.

E-mail: sh.mirjakhon@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20525807>

ARTICLE INFO

Received: 25th May 2026

Accepted: 30th May 2026

Online: 31st May 2026

KEYWORDS

Object Detection, YOLO, CNN.

ABSTRACT

Object detection serves as one of the fundamental components of modern artificial intelligence systems. This survey paper provides an overview of the YOU ONLY LOOK ONCE (YOLO) algorithm and its advanced versions, with a particular focus on their application in real-time object detection. The study also examines the role of Convolutional Neural Networks (CNNs) in improving the efficiency and accuracy of object recognition tasks.

Compared with conventional object detection approaches, YOLO offers a more effective framework for generalized object representation while maintaining a high level of detection accuracy. CNN-based architectures are capable of extracting meaningful visual features and identifying objects within complex image environments. When properly implemented, these models can be applied to a wide range of domains, including defect and anomaly detection, intelligent educational systems, and various computer vision applications.

The analysis presented in this survey highlights several important observations and future research perspectives. Furthermore, it discusses the significance of visual feature extraction and target detection techniques across financial and industrial sectors, reviews feature selection methods, and outlines the evolutionary development of the YOLO algorithm and its subsequent versions.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ YOLO И CNN

Керимов Комил Фикратович

Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Системное и прикладное программирование» Ташкентского университета информационных технологий.

E-mail: kerimov@tuit.uz

Шодмонов Мирджохон Нормурод угли



базовый докторант Института передовых исследований при Университете
«Новый Узбекистан».

E-mail: sh.mirjakhon@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20525807>

ARTICLE INFO

Received: 25th May 2026

Accepted: 30th May 2026

Online: 31st May 2026

KEYWORDS

Обнаружение объектов,
YOLO, CNN.

ABSTRACT

Область искусственного интеллекта в значительной степени основана на технологиях обнаружения объектов. В данном обзорном исследовании кратко рассматриваются алгоритм YOU ONLY LOOK ONCE (YOLO) и его усовершенствованные версии. Основное внимание уделяется применению алгоритма YOLO и сверточных нейронных сетей (CNN) для обнаружения объектов в режиме реального времени.

Алгоритм YOLO обеспечивает более эффективное обобщенное представление объектов по сравнению с другими моделями обнаружения, сохраняя при этом высокий уровень точности. Модели, основанные на архитектуре CNN, способны выделять важные признаки и распознавать объекты на изображениях различного типа. При правильной реализации такие модели могут использоваться для решения широкого круга задач, включая диагностику деформаций, разработку образовательных и обучающих приложений и другие направления.

В результате проведенного анализа были получены важные наблюдения и перспективные выводы. Кроме того, исследование демонстрирует возможности применения методов визуального анализа и извлечения признаков в финансовой и других отраслях, рассматривает подходы к обнаружению целевых объектов и выбору признаков, а также кратко описывает этапы развития алгоритма YOLO.

YOLO VA CNN MODELLARI ASOSIDAGI REAL VAQTDA OBYEKT LARNI ANIQLASH TIZIMLARINING: TAHLILY SHARHI

Kerimov Komil Fikratovich

t.f.d. Toshkent Axborot Texnologiyalari Universiteti

“Tizimli va amaliy dasturlashtirish” kafedrasini mudiri Email: kerimov@tuit.uz

Shodmonov Mirjahon Normurod o'g'li

“Yangi O'zbekiston” universiteti huzuridagi

Ilg'or tadqiqotlar instituti tayanch doktoranti Email: sh.mirjakhon@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20525807>

ARTICLE INFO

Received: 25th May 2026

Accepted: 30th May 2026

Online: 31st May 2026

ABSTRACT

Sun'iy intellekt sohasi obyekt larni aniqlash texnologiyalariga asoslanadi. Ushbu ilmiy sharhda YOU



KEYWORDS

Obyektlarni aniqlash,
YOLO, CNN.

ONLY LOOK ONCE (YOLO) algoritmi hamda uning takomillashtirilgan versiyalari qisqacha tahlil qilingan. Tadqiqot asosan real vaqt rejimida obyektlarni aniqlash masalasida YOLO algoritmi va konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN)ning qo'llanilishiga bag'ishlangan.

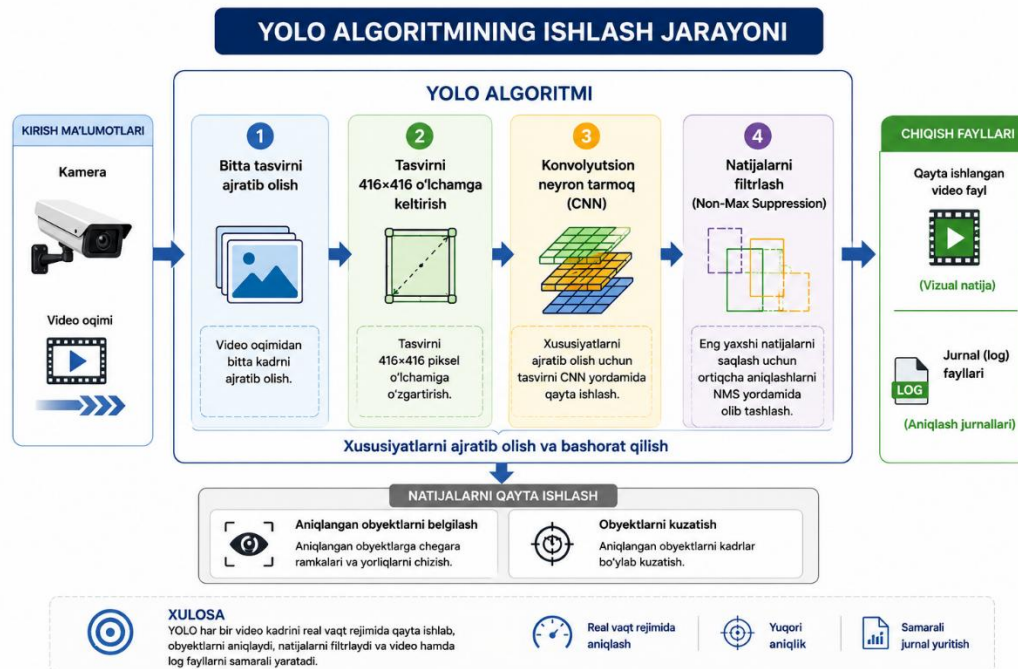
YOLO algoritmi boshqa obyektlarni aniqlash modellariga nisbatan aniqlikni sezilarli darajada yo'qotmagan holda obyektlarning umumlashtirilgan tasvirini samaraliroq shakllantira oladi. CNN arxitekturasiga asoslangan modellar tasvirdagi muhim xususiyatlarni ajratib olish va berilgan tasvirda mavjud obyektlarni aniqlash imkoniyatiga ega. To'g'ri joriy etilganda, CNN modellari deformatsiyalarni diagnostika qilish, ta'limiy va o'quv dasturlarini yaratish kabi turli muammolarni hal etishda samarali natijalar beradi.

Mazkur maqolada olib borilgan tahlillar asosida bir qator kuzatishlar va istiqbolli xulosalar keltirilgan. Shuningdek, tadqiqot moliya va boshqa sohalarda vizual axborotni tahlil qilish hamda xususiyatlarni ajratib olish jarayonlarini qo'llab-quvvatlaydi, maqsadli obyektlarni aniqlash va xususiyatlarni tanlash usullarini yoritadi hamda YOLO algoritmining rivojlanish bosqichlarini qisqacha tavsiflaydi.

I. KIRISH

Obyektlarni aniqlash texnologiyalari sun'iy intellekt sohasining asosiy poydevorlaridan biri hisoblanadi. Ushbu maqolada YOU ONLY LOOK ONCE (YOLO) algoritmi va uning keng tarqalgan boshqa versiyalariga qisqacha baho berilgan. O'tkazilgan tahlillar natijasida YOLO versiyalari o'rtasidagi, shuningdek, YOLO va konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) o'rtasidagi o'xshashliklar hamda farqlarni aks ettiruvchi ko'plab muhim kuzatishlar va natijalar aniqlangan.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, YOLO algoritmini takomillashtirish va rivojlantirish jarayoni hozirgi kunda ham davom etmoqda. Mazkur maqolada YOLO algoritmlari oilasining rivojlanish bosqichlari qisqacha yoritilgan, maqsadli obyektlarni aniqlash va xususiyatlarni tanlash usullari umumlashtirilgan hamda tasvirlardan maqsadga yo'naltirilgan axborotni olish va xususiyatlarni ajratib olish jarayonlari uchun adabiy manbalar tahlili taqdim etilgan (1-rasm).

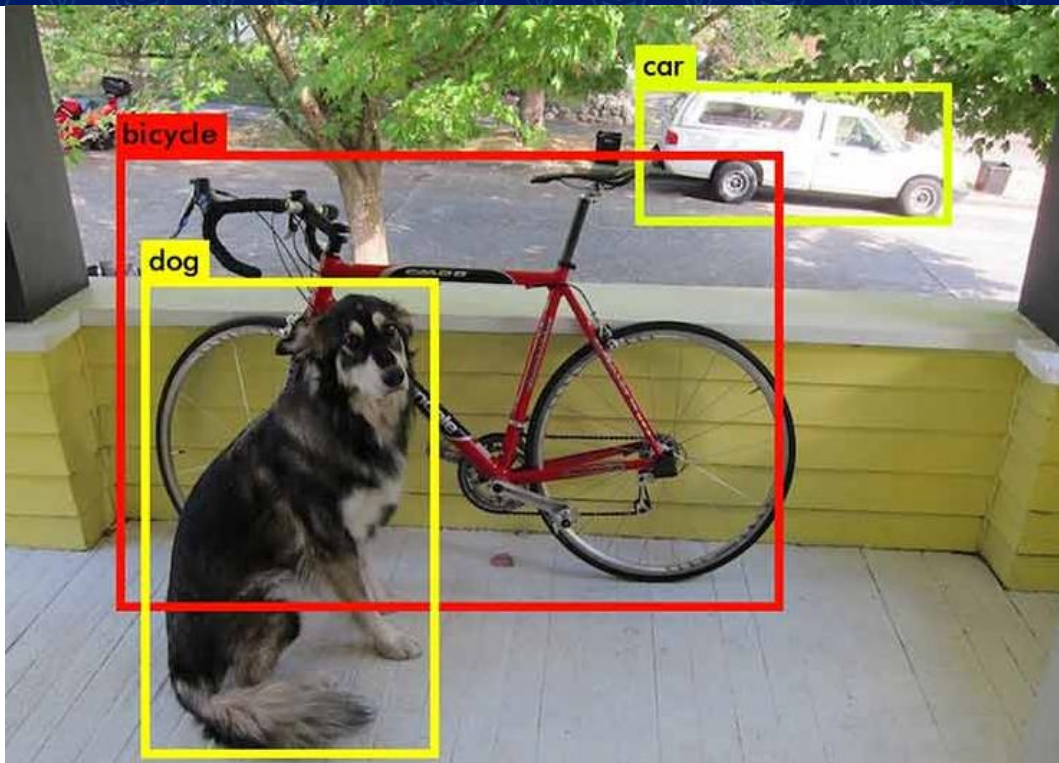


1-rasm. YOLO algoritmining ishlash jarayoni.

YOLO (You Only Look Once) obyektlarni aniqlashning zamonaviy yondashuvlaridan biri hisoblanadi. Avvalgi tadqiqotlarda obyektlarni aniqlash jarayonida turli klassifikatorlardan foydalanilgan. YOLO yondashuvida esa obyektlarni aniqlash masalasi regressiya muammosi sifatida qaraladi. Bunda tasvirda joylashgan obyektlarning chegaralovchi ramkalari

(bounding boxes) va ularga mos sinf ehtimolliklari bevosita bashorat qilinadi.

An'anaviy obyektlarni aniqlash usullaridan farqli ravishda, YOLO butun tasvirni bir martalik tahlil qilish orqali obyektlarning joylashuvi va sinfini bir vaqtning o'zida aniqlaydi. Shu sababli ushbu algoritm yuqori tezlik va samaradorlikka ega bo'lib, real vaqt rejimida obyektlarni aniqlash vazifalarida keng qo'llaniladi (2-rasm) [1].



2-rasm. YOLO yordamida real vaqtda obyektlarni aniqlash.

YOLO algoritmidagi bitta neyron tarmoq yordamida to'liq tasvir bir martalik tahlil qilinadi va obyektlarning chegaralovchi ramkalari (bounding boxes) hamda ularga tegishli sinf ehtimolliklari bevosita bashorat qilinadi. Tizim yagona tarmoq arxitekturasiga asoslanganligi sababli, obyektlarni aniqlash jarayoni boshidan oxirigacha bir butun holda optimallashtirilishi mumkin.

YOLO algoritmining asosiy afzalliklaridan biri uning yuqori tezkorligidir. Birlashtirilgan arxitektura tufayli model real vaqt rejimida obyektlarni aniqlash imkoniyatiga ega bo'lib, standart YOLO modeli soniyasiga taxminan 45 ta kadrni (FPS) qayta ishlay oladi. Tarmoqning soddalashtirilgan versiyasi esa soniyasiga 125 tagacha kadrni qayta ishlash imkonini berib, boshqa real vaqt rejimida ishlovchi detektorlar bilan solishtirganda sezilarli

darajada yuqori samaradorlikni namoyish etadi.

Zamonaviy obyektlarni aniqlash algoritmlariga nisbatan YOLO ba'zi hollarda obyekt joylashuvini aniqlashda ko'proq xatoliklarga yo'l qo'yishi mumkin. Biroq, u yolg'on musbat natijalar (false positives) sonini kamaytirish bo'yicha yuqori samaradorlikka ega. Shuningdek, YOLO obyektlarning umumlashtirilgan tasvirlarini samarali o'rganadi va tabiiy fotosuratlarda o'qitilgan bo'lsa ham, rasm chizmalari va boshqa tasvir domenlarida muvaffaqiyatli qo'llanilishi mumkin.

Tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatadiki, YOLO algoritmi DPM va R-CNN kabi an'anaviy obyektlarni aniqlash usullariga nisbatan yuqori tezlik va raqobatbardosh aniqlik ko'rsatkichlarini ta'minlaydi, bu esa uni real vaqt rejimida ishlovchi kompyuter ko'rish tizimlari uchun samarali yechimlardan biriga aylantiradi [2].



II. YOLO va CNN algoritmlarini amalga oshirish yondashuvlari

Obyektlarni aniqlash (Object Detection) — bu tasvirlar va videolarda ma'lum bir toifaga mansub obyektlarni aniqlash va joylashuvini belgilashga xizmat qiluvchi kompyuter ko'rishi texnologiyasidir. Ushbu texnologiyaning eng muhim real vaqt amaliyotlaridan biri avtonom boshqariladigan transport vositalaridir. Bunday tizimlarda tasvir tarkibidagi bir nechta obyektlarni aniqlash va tasniflash talab etiladi. Ko'pincha aniqlanadigan obyektlar qatoriga avtomobillar, mototsikllar va piyodalar kiradi. Obyektlarni aniqlash jarayoni nafaqat ularning joylashuvini belgilashni (object localization), balki real vaqt rejimida bir nechta obyektlarni topishni ham o'z ichiga oladi.

Obyektlarni aniqlash uchun turli xil yondashuvlar mavjud bo'lib, ular asosan ikki guruhga bo'linadi. Birinchi guruh klassifikatsiyaga asoslangan algoritmlardan iborat bo'lib, ularga CNN (Convolutional Neural Network) va R-CNN (Region-based CNN) kabi usullar kiradi. Ushbu yondashuvda tasvirdan qiziqish uyg'otuvchi hududlar (Regions of Interest) ajratib olinadi va keyinchalik konvolyutsion neyron tarmoqlar yordamida tasniflanadi. Biroq har bir tanlangan hudud uchun alohida bashorat amalga oshirilishi sababli, ushbu usullar hisoblash nuqtai nazaridan sekin ishlaydi.

Ikkinchi guruh regressiyaga asoslangan algoritmlardan tashkil topgan bo'lib, YOLO (You Only Look Once) algoritmi ushbu toifaga mansubdir. YOLO yondashuvida tasvirdan alohida qiziqish hududlari ajratib olinmaydi. Buning o'rniga, butun

tasvir yagona neyron tarmoq orqali bir martalik tahlil qilinadi va obyektlarning sinfi hamda chegaralovchi ramkalari (bounding boxes) bir vaqtning o'zida bashorat qilinadi. Natijada YOLO bir nechta obyektlarni bitta neyron tarmoq yordamida aniqlash imkonini beradi va boshqa klassifikatsiyaga asoslangan algoritmlarga nisbatan yuqori tezlikka ega hisoblanadi. Real vaqt rejimida YOLO modeli soniyasiga taxminan 45 ta kadrni qayta ishlash imkoniyatiga ega. Garchi YOLO obyektlarning joylashuvini aniqlashda ayrim xatoliklarga yo'l qo'yishi mumkin bo'lsa-da, fon elementlarini obyekt sifatida noto'g'ri aniqlash ehtimoli nisbatan pastdir [3].

Insonlar turli sharoitlarda, jumladan obyektlarning joylashuvi, orientatsiyasi, rangi yoki teksturasi o'zgargan holatlarda ham ularni osonlik bilan taniy oladi. Kompyuter tizimlarida esa tasvir yoki videodagi obyektlarni aniqlash va tanib olish katta hajmdagi hisoblash resurslarini talab qiladi. Kompyuter ko'rishi sohasida tasvir yoki videoda obyektning aniqlash jarayoni obyektlarni aniqlash (object detection) deb yuritiladi. Ushbu texnologiya kuzatuv tizimlari, saraton kasalligini aniqlash, transport vositalarini identifikatsiyalash va suv osti obyektlarini aniqlash kabi ko'plab amaliy sohalarda qo'llaniladi.

So'nggi yillarda obyektlarni yanada aniq va samarali aniqlash maqsadida turli metodlar taklif qilingan. Shunga qaramay, ayrim usullar aniqlik va samaradorlik bilan bog'liq muammolarga duch kelmoqda. Ushbu muammolarni bartaraf etishda mashinali o'qitish (Machine Learning) va chuqur neyron tarmoqlar (Deep Neural Networks) asosidagi yondashuvlar



yuqori samaradorlikni namoyish etmoqda [4].

Konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) sun'iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi bilan tasvirlarni qayta ishlash va tahlil qilish sohasida keng qo'llanila boshladi. Buning asosiy sababi ularning yuqori aniqlik va samaradorlik ko'rsatkichlariga ega ekanligidir. Shu bilan birga, CNN algoritmlarining hisoblash murakkabligi yuqori bo'lgani sababli, ularni mobil qurilmalarda qo'llash ma'lum qiyyinchiliklarni keltirib chiqaradi. Mazkur muammoni hal qilishda FPGA (Field Programmable Gate Array) texnologiyasi yuqori unumdorlik, qayta dasturlash imkoniyati va energiya tejamlorligi tufayli samarali platforma sifatida qaraladi.

Boshqa CNN asosidagi obyektlarni aniqlash algoritmlaridan farqli ravishda, YOLO algoritmi obyektlarni aniqlash vazifasini regressiya muammosi sifatida ko'rib chiqadi. Ushbu yondashuv obyektlarni aniqlash tezligini sezilarli darajada oshirib, real vaqt rejimidagi kompyuter ko'rishi tizimlarida samarali qo'llash imkonini beradi.

YOLO algoritmi bir bosqichli (one-stage) obyektlarni aniqlash usuli bo'lib, yuqori tezlikda ishlashi va nisbatan kam hisoblash resurslarini talab qilishi bilan ajralib turadi. Shu sababli u FPGA (Field Programmable Gate Array) apparat platformalarida amalga oshirish uchun juda qulay hisoblanadi. CNN modellarining katta hisoblash murakkabligi va FPGA chiplaridagi resurslarning cheklanganligi muammosi FPGA'ning parallel ishlash imkoniyatlaridan foydalanish orqali bartaraf etiladi. Bunga YOLO tarmog'ini

optimallashtirish, tarmoq parametrlarini soddalashtirish hamda qat'iy nuqtali (fixed-point) hisoblash usullarini qo'llash orqali erishiladi.

Tadqiqot natijalari taklif etilgan yondashuv hisoblash xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirgan holda aniqlik ko'rsatkichlarini saqlab qolishini ko'rsatdi. Bu esa mobil qurilmalar va real vaqt hisoblash tizimlari uchun samarali yechim hisoblanadi. Xilinx FPGA platformasiga asoslangan tezlashtirish yondashuvi CNN tarmoqlarining hisoblash yuklamasini kamaytirish va ishlash tezligini oshirishga qaratilgan. Taklif etilgan tizim uchta asosiy qismdan iborat: FPGA asosidagi YOLO tarmog'i arxitekturasini loyihalash, aktivatsiya funksiyalarini tanlash hamda vazn parametrlarini 16 bitli qat'iy nuqtali formatda optimallashtirish [5].

YOLOv3 algoritmini yanada takomillashtirish maqsadida ayrim tadqiqotlarda yo'l obyektlarini aniqlash aniqligini oshirish va aniqlanmay qolgan obyektlar sonini kamaytirish bo'yicha yondashuvlar taklif qilingan. Xususan, anchor box o'lchamlari va tomonlar nisbatlarini optimallashtirish uchun K-Means klasterlash algoritmidan foydalanilgan. Bundan tashqari, tarmoq chiqish qatlamlari modernizatsiya qilinib, 104×104 o'lchamdagi qo'shimcha xususiyatlar xaritasi (feature map) joriy etilgan. Natijada kichik obyektlarga tegishli xususiyatlarning yo'qolishi kamaytirilib, obyektlarni aniqlash sifati yaxshilangan. Tajriba natijalari takomillashtirilgan YOLOv3 algoritmi yo'l obyektlarini aniqlash aniqligini taxminan 3,17 % ga oshirganini va aniqlanmay qolish ko'rsatkichini 5,62 % ga kamaytirganini ko'rsatdi [6].



Uchuvchisiz uchish apparatlari (UAV) tizimlarida bort kameralaridan olingan ma'lumotlarni qayta ishlash va kompyuter ko'rishi texnologiyalarini qo'llash keng tarqalgan. Biroq UAV platformalarida mavjud xotira va hisoblash quvvatining cheklanganligi real vaqt rejimida obyektlarni aniqlash vazifasini murakkablashtiradi. Shu sababli turli YOLO modellarining samaradorligi Pascal VOC ma'lumotlar to'plamida mAP (mean Average Precision) va FPS (Frames Per Second) ko'rsatkichlari bo'yicha baholangan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, YOLOv4 modeli 87,48 % mAP natijasini qayd etib, YOLOv3 modelidan 14,2 % yuqori natija ko'rsatgan. Shu bilan birga, YOLOv4-Tiny modeli yuqori tezlikka ega bo'lsa-da, aniqlik jihatidan YOLOv3-Tiny modelidan pastroq natija bergan. XDrone simulyatsiya platformasida o'tkazilgan tajribalar asosida YOLOv3 modeli real vaqt rejimida ishlash, yengil vaznli arxitektura va yuqori aniqlik talablari uchun eng maqbul variantlardan biri sifatida baholangan [7].

Real vaqt rejimida obyektlarni aniqlashning asosiy maqsadi tasvirdagi obyektlarning joylashuvini aniq topish va ularni tegishli sinflarga ajratishdan iborat. Buning uchun YOLO algoritmi COCO ma'lumotlar to'plami asosida o'qitilib, turli obyektlarni aniqlash va tasniflash imkoniyatiga ega bo'ladi. O'qitish jarayonidan so'ng tizim real vaqt rejimida obyektlarni taxminan 90 % aniqlik bilan aniqlashi mumkin.

Obyektlarni aniqlash vazifasi ma'lum sinfga mansub barcha obyektlarni topishni o'z ichiga oladi. Odatda tasvirda obyektlar soni kam bo'lsa-da, ularning joylashuvi va o'lchamlari turlicha bo'lishi

mumkin. Har bir aniqlangan obyekt uning koordinatalari, o'lchami yoki chegaralovchi ramkasi yordamida tavsiflanadi. Murakkab holatlarda esa obyektning pozitsiyasi chiziqli yoki chiziqli bo'lmagan transformatsiyalar parametrlari orqali ham ifodalanishi mumkin. Masalan, yuzni aniqlash tizimlari nafaqat yuzning chegaralarini, balki ko'zlar, burun va og'izning joylashuvini ham aniqlaydi [8].

So'nggi yillarda sun'iy intellekt va chuqur o'rganish texnologiyalari jadal rivojlanib, obyektlarni aniqlash va kuzatish sohasida muhim natijalarga erishildi. Chuqur o'rganish algoritmlari inson miyasining ishlash tamoyillaridan ilhomlangan bo'lib, ma'lumotlar hajmi ortishi bilan ularning samaradorligi ham oshib boradi. Shu sababli real vaqt rejimida obyektlarni kuzatish kompyuter ko'rishi sohasining eng dolzarb tadqiqot yo'nalishlaridan biriga aylangan.

Obyektlarni aniqlashda YOLO, R-CNN va Faster R-CNN kabi algoritmlar keng qo'llaniladi. R-CNN algoritmi odatda yuqori aniqlikni ta'minlasa-da, YOLO algoritmi ishlash tezligi bo'yicha sezilarli ustunlikka ega. YOLO obyektlarni aniqlash masalasini regressiya muammosi sifatida ko'rib chiqadi va tasvirdagi obyektlar uchun sinf ehtimolliklarini hamda ularning joylashuv parametrlarini bir vaqtning o'zida bashorat qiladi. Ushbu xususiyatlar YOLO algoritmini real vaqt rejimida ishlovchi kompyuter ko'rishi tizimlari uchun eng samarali yechimlardan biriga aylantiradi.

Amaliy muammolarni hal etishda obyektlarni aniqlash uchun YOLO algoritmidan foydalanishga bo'lgan ehtiyoj tobora ortib bormoqda. Tezlik



asosiy samaradorlik ko'rsatkichi sifatida qaralganda, YOLO algoritmi ko'plab boshqa obyektlarni aniqlash usullaridan ustunlik qiladi. Mazkur algoritm obyektlarning chegaralovchi ramkalari (bounding boxes) va sinf ehtimolliklarini bitta o'tishda bashorat qiladi. Shu jihati bilan u tasvirni bir necha marta qayta ishlashni talab qiladigan an'anaviy yondashuvlardan farq qiladi. Natijada soniyasiga qayta ishlanadigan kadrlar soni (FPS) sezilarli darajada oshadi va real vaqt rejimidagi tizimlarda samarali ishlash imkoniyati yaratiladi.

YOLOv3 modeli aniqlik (accuracy), aniqlashtirish (precision) va umumiy samaradorlik ko'rsatkichlari bo'yicha yuqori natijalarni namoyish etadi. Ushbu afzalliklar YOLOv3 algoritmidan real vaqt rejimida kuzatuv tizimlari va monitoring ilovalarida keng foydalanish imkonini beradi. Uning ishlash tezligi va optimallashtirilgan arxitekturasi avvalgi obyektlarni aniqlash algoritmlariga nisbatan muhim ustunliklarni ta'minlaydi [9].

Ma'lumotlarni ko'paytirish (Data Augmentation) usullari mavjud ma'lumotlar bazasini yangi tasvirlarni qo'shmasdan kengaytirish imkonini beradi. Tadqiqotlarda tasvirlarni akslantirish, aylantirish va invertatsiya qilish kabi usullar yuzni aniqlash tizimlarining samaradorligiga ta'siri nuqtai nazaridan o'rganilgan. Olingan natijalar o'qitish ma'lumotlari hajmining cheklanganligi modelning aniqligiga salbiy ta'sir ko'rsatishini ko'rsatgan. Ma'lumotlarni sun'iy ravishda ko'paytirish orqali model turli holatlarga moslashadi va bashorat qilish aniqligi oshadi. YOLOv3 algoritmi asosida yuzlarni aniqlash bo'yicha o'tkazilgan

tajribalar ma'lumotlarni kengaytirish usullarining model natijalarini sezilarli darajada yaxshilashini tasdiqlagan.

Obyektlarni aniqlash texnologiyasi kompyuter ko'rishi sohasida eng faol tadqiq qilinayotgan yo'nalishlardan biri bo'lib, tibbiyot, harakatlarni aniqlash, xavfsizlik monitoringi, sanoat avtomatlashtirish tizimlari va robototexnika kabi ko'plab sohalarda qo'llaniladi. Dastlabki obyektlarni aniqlash usullari Histogram of Oriented Gradients (HOG), Speeded-Up Robust Features (SURF), Local Binary Patterns (LBP) va rang gistogrammalari kabi xususiyatlarni ajratib olish metodlariga asoslangan edi. Ushbu yondashuvlarning asosiy maqsadi obyektlarning muhim belgilarini aniqlash va ularni tavsiflashdan iborat bo'lgan [10].

YOLO esa to'liq tasvir bilan ishlaydigan yagona obyektlarni aniqlash modeli hisoblanadi. Ushbu model yuqori tezlik va mustahkam ishlash xususiyatlariga ega bo'lib, murakkab va yangi muhitlarga ham yaxshi moslasha oladi. Tadqiqotlarda shovqinli, xiralashgan va sifat jihatidan pasaygan tasvirlarda obyektlarni aniqlash uchun maxsus tayyorlangan modellar qo'llanilgan bo'lib, ular murakkab sahnalarda ham yuqori aniqlikni namoyish etgan. Masalan, piyodalarni aniqlash vazifalarida YOLOv2 tarmog'iga qo'shimcha Pass-Through qatlamlari kiritilgan va tizim soniyasiga 25 tagacha kadrlarni qayta ishlash imkoniyatiga ega bo'lgan. Bu ko'rsatkich real vaqt rejimidagi ishlash talablarini qanoatlantiradi [11].

Shuningdek, chuqur o'rganish usullarini Light Field Camera texnologiyasi bilan birlashtirish orqali



ichki muhitdagi to'siqlarni aniqlash bo'yicha yangi yondashuvlar ham taklif qilingan. YOLO algoritmi avtomobil kuzovi panellaridagi payvand choklarini aniqlash va ularning joylashuvini belgilash kabi sanoat vazifalarida ham muvaffaqiyatli qo'llanilgan.

So'nggi yillarda obyektlarni aniqlash video tahlili va tasvirlarni interpretatsiya qilish bilan chambarchas bog'liqligi sababli katta ilmiy qiziqish uyg'otmoqda. An'anaviy obyektlarni aniqlash tizimlari qo'lda yaratilgan xususiyatlar va sodda o'qitiladigan modellar asosida qurilgan bo'lsa, chuqur o'rganish texnologiyalarining rivojlanishi natijasida yuqori darajadagi semantik xususiyatlarni avtomatik o'rganuvchi kuchli modellar paydo bo'ldi. Ushbu modellar tarmoq arxitekturasi, o'qitish metodologiyasi va optimallashtirish funksiyalari bo'yicha bir-biridan farq qiladi [12].

Konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) chuqur o'rganishning asosiy vositalaridan biri sifatida obyektlarni aniqlash tizimlarining rivojlanishida muhim o'rin tutadi. Chuqur o'rganishga asoslangan zamonaviy obyektlarni aniqlash arxitekturasi an'anaviy usullarga qaraganda yuqori aniqlik va samaradorlikni ta'minlaydi. Bundan tashqari, yuzni aniqlash, piyodalarni aniqlash va muhim obyektlarni aniqlash kabi maxsus vazifalar uchun alohida optimallashtirilgan modellar ishlab chiqilgan. Turli yondashuvlarni baholash maqsadida eksperimental tahlillar o'tkazilib, ularning afzalliklari va cheklovlari o'rganilgan. Tadqiqotlar natijasida obyektlarni aniqlash va neyron tarmoqlarga asoslangan o'rganish tizimlarini yanada

takomillashtirish uchun istiqbolli ilmiy yo'nalishlar va kelgusidagi tadqiqot vazifalari belgilab berilgan. Obyektlarni aniqlash (Object Detection) kompyuter ko'rishi (Computer Vision) sohasining eng muhim va keng qo'llaniladigan yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Obyektlarni aniqlash texnologiyasi dastlab qo'lda yaratilgan xususiyatlarni ajratib olish usullaridan boshlangan bo'lsa, bugungi kunda chuqur konvolyutsion neyron tarmoqlar (Deep Convolutional Neural Networks) asosidagi zamonaviy yondashuvlarga rivojlandi. 2012-yilda AlexNet modelining ImageNet musobaqasida yuqori natijalarga erishishi CNN arxitekturalariga bo'lgan qiziqishni keskin oshirdi. Shundan so'ng CNN modellarining kompyuter fanlarining ko'plab yo'nalishlarida, xususan obyektlarni aniqlash sohasida qo'llanilishi sezilarli darajada kengaydi.

Hozirgi kunda CNN asosidagi obyektlarni aniqlash tarmoqlari asosan ikki bosqichli (Two-Stage) va bir bosqichli (One-Stage) arxitekturalarga bo'linadi. Ikki bosqichli obyektlarni aniqlash tarmoqlari odatda uchta asosiy jarayonni o'z ichiga oladi. Birinchi bosqichda obyekt bo'lishi mumkin bo'lgan hududlar (Region Proposals) aniqlanadi. Ikkinchi bosqichda ushbu hududlar tasniflanadi, uchinchi bosqichda esa obyektlarning aniq koordinatalari va chegaralovchi ramkalari (Bounding Boxes) bashorat qilinadi. Ushbu yondashuvga R-CNN, Fast R-CNN, SPPNet, Faster R-CNN, Feature Pyramid Network (FPN) va Mask R-CNN kabi modellar misol bo'la oladi.

Bir bosqichli obyektlarni aniqlash tarmoqlari esa to'liq end-to-end



arxitekturaga ega bo'lib, kirish tasviridan chiqish natijasigacha bo'lgan jarayon yagona neyron tarmoq orqali amalga oshiriladi. Ushbu turdagi modellar qatoriga YOLO, SSD (Single Shot Detector) va RetinaNet algoritmlari kiradi. Bir bosqichli modellar yuqori ishlash tezligiga ega bo'lsa-da, ikki bosqichli modellar ayrim hollarda aniqlik jihatidan biroz ustunlikka ega. Biroq har ikkala turdagi tarmoqlar uchun ham katta hisoblash resurslari va xotira sarfi talab qilinishi amaliy qo'llashdagi muhim muammolardan biri hisoblanadi [13].

YOLO algoritmi obyektlarni aniqlash sohasida yuqori samaradorlikni namoyish etgan modellar qatoriga kiradi. So'nggi tadqiqotlarda YOLO arxitekturasini takomillashtirish maqsadida CSP (Cross Stage Partial) modullaridagi qoldiq bog'lanishlar (Residual Connections) zich bog'lanishlar (Dense Connections) bilan almashtirilgan hamda kanal e'tibor mexanizmlari (Channel Attention Mechanisms) qo'shilgan. Ushbu o'zgarishlar gradientlarning yo'qolib ketishi (Vanishing Gradient) muammosini kamaytiradi, xususiyatlarning samarali uzatilishini ta'minlaydi, mavjud xususiyatlardan qayta foydalanishni rag'batlantiradi va model parametrlarining sonini kamaytiradi. Bundan tashqari, kanal e'tibor mexanizmlari xususiyatlar xaritalaridagi (Feature Maps) muhim ma'lumotlarni adaptiv ravishda kuchaytirib, obyektlarni aniqlash samaradorligini oshiradi. Tajriba natijalari takomillashtirilgan YOLO modeli aniqlik ko'rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilashini hamda obyektlarni o'tkazib yuborish va noto'g'ri

aniqlash holatlarini kamaytirishini ko'rsatgan. Konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) bugungi kunda obyektlarni aniqlash vazifalarida eng ommabop chuqur o'rganish algoritmlaridan biri hisoblanadi. Biroq, tarmoq chuqurlashgani sari bir necha marta konvolyutsiya amallaridan o'tgan xususiyatlar xaritalaridagi ma'lumotlarning yo'qolib borishi kuzatiladi. Ushbu muammoni bartaraf etish maqsadida ResNet va DenseNet kabi zamonaviy arxitekturalar ishlab chiqilgan. ResNet modelida oldingi va keyingi qatlamlar o'rtasida qoldiq bog'lanishlar (Skip Connections) tashkil etilib, gradientlarning samarali uzatilishi ta'minlanadi. DenseNet modelida esa har bir qatlam o'zidan oldingi barcha qatlamlar bilan bog'lanadi. Ushbu yondashuvlar xususiyatlarning yo'qolishini kamaytiradi, o'qitish jarayonini barqarorlashtiradi va obyektlarni aniqlash aniqligini oshiradi.

Shunday qilib, CNN va YOLO arxitekturalarining uzluksiz rivojlanishi obyektlarni aniqlash tizimlarining aniqligi, tezligi va amaliy qo'llash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirib, ularni avtonom transport vositalari, video kuzatuv tizimlari, sanoat avtomatlashtirish va tibbiy tasvirlarni tahlil qilish kabi ko'plab sohalarda muvaffaqiyatli qo'llash imkonini bermoqda.

DenseNet arxitekturasining asosiy afzalliklaridan biri qatlamlar o'rtasidagi ma'lumot oqimini maksimal darajada ta'minlashidir. Ushbu yondashuv ortiqcha xususiyatlar xaritalarini (feature maps) qayta o'rganish zaruratini kamaytiradi va har bir qatlamga kamroq parametrlar yordamida ko'proq foydali



ma'lumotlarni olish imkonini beradi. Bundan tashqari, DenseNet tarmog'ida ma'lumotlar va gradientlarning uzatilishi samarali tashkil etilganligi sababli modelni o'qitish jarayoni yengillashadi va o'rganish sifati oshadi. Shu bois DenseNet chuqur neyron tarmoqlarda uchraydigan gradientlarning yo'qolib ketishi (vanishing gradient) muammosini kamaytirishda samarali arxitekturalardan biri hisoblanadi [14].

Konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) sun'iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi bilan tasvirlarni qayta ishlash va tahlil qilish sohasida keng qo'llanila boshladi. Ularning yuqori aniqlik va samaradorlik ko'rsatkichlari ko'plab amaliy vazifalarda muvaffaqiyatli natijalar berayotgan bo'lsa-da, CNN modellarining hisoblash murakkabligi mobil qurilmalar va cheklangan resursli tizimlarda qo'llashda qiyinchiliklar tug'diradi. Shu sababli FPGA (Field Programmable Gate Array) platformalari yuqori unumdorlik, qayta dasturlash imkoniyati va energiya tejamkorligi tufayli CNN modellarini joriy etish uchun istiqbolli yechim sifatida qaralmoqda.

YOLO algoritmi boshqa CNN asosidagi obyektlarni aniqlash usullaridan farqli ravishda obyektlarni aniqlash vazifasini regressiya muammosi sifatida ko'rib chiqadi. Ushbu yondashuv algoritmnining bir bosqichda ishlashini ta'minlaydi, natijada hisoblash xarajatlari kamayadi va ishlash tezligi oshadi. Mazkur xususiyat YOLO modelini apparat platformalarida, jumladan Xilinx ZYNQ FPGA qurilmalarida amalga oshirish uchun qulay yechimga aylantiradi. Tadqiqotlarda YOLO tarmog'ining optimallashtirilgan

versiyasi va fixed-point hisoblash usullaridan foydalanish orqali FPGA chiplaridagi cheklangan resurslar muammosi bartaraf etilgan. Eksperimental natijalar taklif etilgan yondashuv real vaqt rejimidagi CNN hisoblashlarida aniqlikni saqlagan holda ishlash xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirishini ko'rsatgan [15].

Boshqa bir tadqiqotda insonlar va transport vositalarini tasniflash aniqligini oshirish maqsadida YOLO algoritmi va Support Vector Machine (SVM) klassifikatori integratsiyalangan. Tadqiqot yuqori aniqlikdagi avtomobil radar tizimlarida amalga oshirilgan bo'lib, YOLO modeli tomonidan aniqlangan obyektlar haqidagi ma'lumotlar SVM klassifikatoriga uzatilgan. Natijada ikkala modelning afzalliklarini birlashtirish orqali obyektlarni tasniflash samaradorligi oshirilgan.

Taklif etilgan tizimda radar signallaridan oldindan qayta ishlangan Range-Angle (RA) domenidagi ma'lumotlardan foydalanilgan. YOLO modeli obyektlarning chegaralovchi ramkalarini aniqlasa, SVM ushbu ma'lumotlar asosida obyektlarni yakuniy tasniflaydi. Har ikkala model natijalarini birlashtirish orqali umumiy tasniflash aniqligi sezilarli darajada oshirilgan. Tajriba natijalari taklif etilgan usul insonlar va transport vositalarini 90 % dan yuqori aniqlik bilan tasniflay olishini ko'rsatgan. Shuningdek, YOLO va SVM modellarining integratsiyasi alohida ishlatilgan YOLO yoki SVM algoritmlariga nisbatan yaxshiroq natijalar bergan [16].

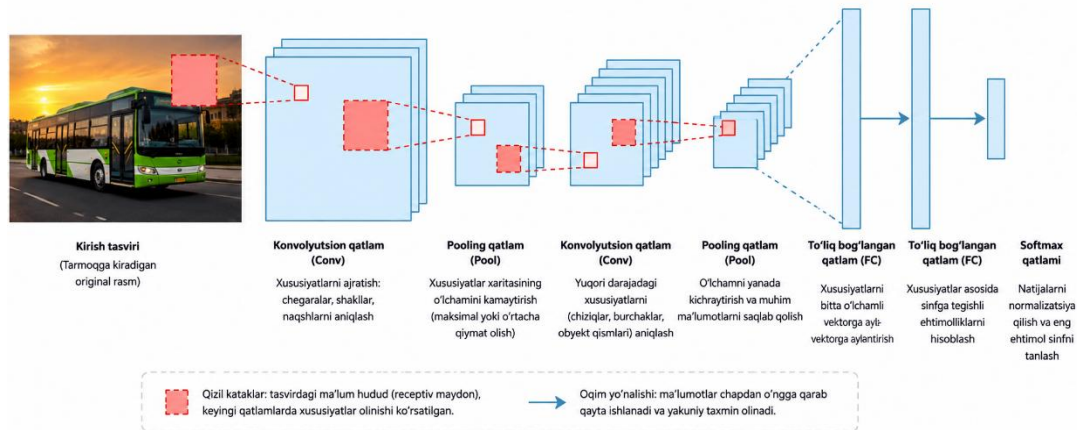
Yuqoridagi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, YOLO algoritmini FPGA platformalarida optimallashtirish hamda



uni SVM kabi klassifikatorlar bilan integratsiyalash obyektlarni aniqlash va tasniflash tizimlarining tezligi, aniqligi va amaliy samaradorligini sezilarli darajada oshirish imkonini beradi.

Mazkur tadqiqotda GPU qurilmalariga ega bo'lmagan kompyuterlarda real vaqt rejimida obyektlarni aniqlash imkonini beruvchi CPU asosidagi YOLO modelini taqdim etgan. Hozirgi kunda obyektlarni aniqlash uchun YOLO, Faster R-CNN, Fast R-CNN, R-CNN, Mask R-CNN, R-FCN, SSD va RetinaNet kabi ko'plab samarali algoritmlar mavjud. Ular orasida YOLO algoritmi yuqori tezlik va aniqlik ko'rsatkichlari bilan ajralib turadi. An'anaviy YOLO modellarining aksariyati GPU qurilmalarida ishlash uchun mo'ljallangan bo'lib, samarali ishlashi uchun kamida 12 GB xotiraga ega grafik protsessorlar talab etiladi. Biroq, bunday apparat ta'minoti barcha foydalanuvchilarda mavjud emas. Shu sababli tadqiqotda OpenCV kutubxonasi yordamida CPU asosidagi YOLO modeli ishlab chiqilgan va optimallashtirilgan. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan model GPU mavjud bo'lmagan kompyuterlarda ham videodagi obyektlarni ishonchli tarzda aniqlay oladi. Turli konfiguratsiyadagi kompyuterlarda tizim soniyasiga taxminan 6,29–10,12 ta kadrni (FPS) qayta ishlash imkoniyatini namoyish etgan. CPU asosidagi YOLO modelining o'rtacha aniqlik ko'rsatkichi (mAP) 31,5 % ni tashkil qilgan. Ushbu natijalar obyektlarni aniqlash texnologiyalarini cheklangan apparat

resurslariga ega qurilmalarda ham qo'llash mumkinligini ko'rsatadi. Kompyuter ko'rishi tizimlarida chuqur o'rganish texnologiyalarining rivojlanishi asosan konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) bilan bog'liq. CNN arxitekturasi bir necha qatlamlardan tashkil topgan bo'lib, ularning eng muhimlaridan biri konvolyutsiya qatlamidir (Convolution Layer). Ushbu qatlam kirish tasviriga filtrlar qo'llash orqali muhim xususiyatlarni ajratib oladi va keyingi qatlamlar uchun xususiyatlar xaritasini (Feature Map) hosil qiladi. Konvolyutsiya qatlamining asosiy afzalligi tasvirdagi obyektlarga tegishli muhim naqshlar va belgilarni samarali aniqlash imkoniyatidir. Bundan tashqari, to'liq bog'langan qatlamlar (Fully Connected Layers) bilan taqqoslaganda, konvolyutsiya qatlamlari ancha kam parametrlarni talab qiladi. Sababi, bir xil filtrlar tasvirning turli qismlarida qayta qo'llaniladi va parametrlar umumlashtiriladi. Natijada modelning hisoblash murakkabligi kamayadi, xotira sarfi qisqaradi hamda o'qitish jarayoni samaraliroq amalga oshiriladi (3-rasm). Shunday qilib, CPU asosidagi YOLO modelining ishlab chiqilishi real vaqt rejimida obyektlarni aniqlash texnologiyalarini kengroq auditoriya uchun foydalanishga imkon beradi. Shu bilan birga, CNN arxitekturasi konvolyutsiya qatlamlariga asoslangan ishlash tamoyili obyektlarni aniqlash tizimlarining yuqori aniqlik va samaradorlikka erishishida muhim omil bo'lib xizmat qiladi [17].



3-rasm. Konvolyutsion neyron tarmoqlari arxitekturasi.

Aqlli monitoring tizimlarida YOLO algoritmining qo'llanilishi

Mazkur tadqiqotda inson aralashuvini talab qiladigan va yetarli darajada intellektual bo'lmagan an'anaviy kuzatuv tizimlarining kamchiliklarini bartaraf etish maqsadida aqlli monitoring qurilmasi ishlab chiqilgan. Tizim tasvir mazmunini avtomatik tahlil qilish, obyektlarni aniqlash va kuzatish vazifalarini chuqur o'rganish texnologiyalari asosida amalga oshiradi. Obyektlarni aniqlash uchun YOLOv2 algoritmidan foydalanilgan.

Tadqiqot davomida shakli va harakatlanish xususiyatlariga ega obyektlarni aniqlash bo'yicha ma'lumotlar to'plami yaratilgan va model sinovdan o'tkazilgan. Natijalar YOLOv2 modelining aniqlik darajasi 94,3 % ga yetganini ko'rsatgan. Aniqlash tezligi esa soniyasiga 13 ta kadrni tashkil etgan. Ushbu ko'rsatkichlar modelning real vaqt rejimida ishlash talablariga javob berishini tasdiqlaydi.

Shuningdek, YOLOv2 algoritmi asosida ishlovchi aqlli monitoring tizimi raqamli kamera platformasi bilan integratsiyalangan. Obyekt aniqlanganda kamera avtomatik ravishda mos harakatlarni bajaradi va kuzatuv

jarayonini optimallashtiradi. Tajribalar natijasida tizim obyektlarni 94,3 % aniqlik bilan va soniyasiga 30 tagacha kadr tezligida qayta ishlay olishi aniqlangan. Bu esa YOLO asosidagi aqlli monitoring uskunalarining aniqlik va real vaqt ishlash talablarini bir vaqtning o'zida qondira olishini ko'rsatadi. Tadqiqotda kamera tasvirlarini aqlli baholash modeli ham taklif etilgan bo'lib, qurilmaning arxitekturasi hamda YOLO algoritmini o'qitish va natijalarni baholash jarayonlari batafsil yoritilgan [18].

Avtonom transport vositalarida YOLOv3-Tiny algoritmining qo'llanilishi

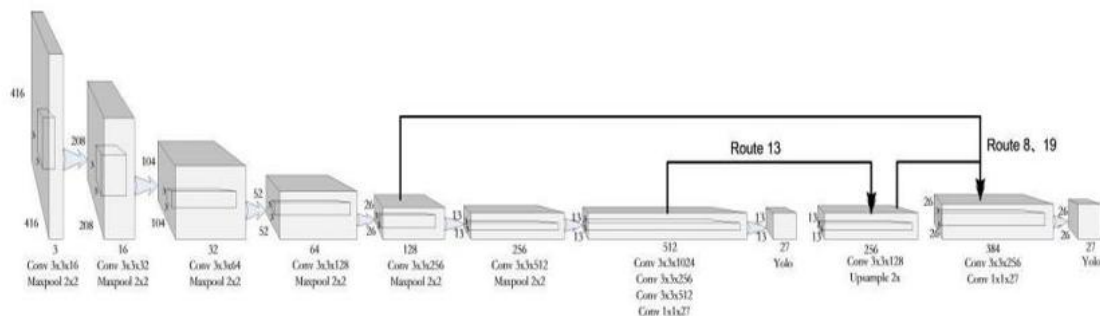
Yo'l muhitidagi obyektlarni real vaqt rejimida aniqlash avtonom boshqaruv texnologiyalarining muhim tarkibiy qismlaridan biridir. Ushbu tadqiqotda o'rnatilgan (embedded) qurilmalar uchun mo'ljallangan real vaqt avtomobil aniqlash tizimi taklif etilgan.

Mavjud YOLOv3-Tiny neyron tarmog'i asosida yangi optimallashtirilgan arxitektura ishlab chiqilgan. Ushbu yondashuvda tarmoq parametrlarini kvantlash (quantization) usuli qo'llanilib, hisoblash murakkabligi kamaytirilgan va modelning cheklangan resurslarga ega qurilmalarda ishlash samaradorligi oshirilgan. Natijada yangi

arxitektura o'rnatilgan tizimlar uchun yanada moslashuvchan va samarali yechimga aylangan.

YOLOv3-Tiny arxitekturasi obyektlarni aniqlash uchun ikki xil o'lchamdagi xususiyatlar xaritalaridan (feature maps) foydalanadi. Dastlab 13×13 o'lchamdagi xususiyatlar xaritasi hosil qilinadi va u obyektlarni aniqlash qatlamiga uzatiladi. Shu bilan birga, 26×26 o'lchamdagi xususiyatlar xaritasi ham shakllantirilib, ikkinchi YOLO qatlamiga yuboriladi. Ushbu ko'p masshtabli yondashuv modelga katta va kichik o'lchamdagi obyektlarni samarali aniqlash imkonini beradi.

Tajriba natijalariga ko'ra, kvantlashdan oldin YOLOv3-Tiny modeli test to'plamida 87,79 % mAP (mean Average Precision) natijasiga erishgan.



4-rasm. YOLOv3-kichik tarmoqning tuzilishi.

Xulosa

YOLO yordamida real vaqt rejimida obyektlarni aniqlash texnikasiga umumiy sharh berish bilan birga, ushbu maqolada Convolutional Neural Networks (CNN) ning asosiy tuzilmasi ham yoritildi. CNN asosidagi arxitekturalar tasvirdagi muhim belgilarni ajratib olish va obyektlarni aniq aniqlash qobiliyatiga ega. To'g'ri qo'llanilganda, CNN modellari nuqsonlarni aniqlash, ta'limiy yoki o'quv dasturlarini yaratish hamda aqlli

Tarmoq parametrlarini kvantlashdan so'ng aniqlik darajasi 69,79 % mAP ni tashkil etgan bo'lsa-da, ishlash tezligi soniyasiga 28 kadr (FPS) ga yetgan. Bu esa real vaqt tizimlari uchun muhim afzallik hisoblanadi.

YOLOv3-Tiny arxitekturasi asosan konvolyutsiya (Convolution) va pooling qatlamlaridan tashkil topgan. Kirish tasviriga ketma-ket pooling amallari qo'llanilishi natijasida o'lchami kichikroq bo'lgan xususiyatlar xaritalari hosil qilinadi va ular orqali tasvirning muhim xususiyatlari ajratib olinadi. Ushbu arxitektura yuqori tezlik va qoniqarli aniqlik o'rtasidagi muvozanatni ta'minlagani sababli, avtonom transport vositalari va o'rnatilgan intellektual tizimlarda keng qo'llanilmoqda [19].

monitoring tizimlari kabi turli sohalarda qo'llanilishi mumkin.

Amaliyotda YOLO an'anaviy CNN asosidagi obyekt aniqlash algoritmlariga nisbatan bir qator afzalliklarga ega. Yagona (unified) aniqlash tizimi sifatida u modelni uchdan-oxirigacha (end-to-end) o'qitish va parallel ishlov berish imkonini beradi, bu esa uni yaratish va optimallashtirishni nisbatan osonlashtiradi. Oddiy yo'qotish funksiyasi tufayli u tezlik va aniqlik o'rtasida yaxshi muvozanatni ta'minlaydi.



Uning versiyalari orasida YOLOv4 real vaqt rejimidagi obyekt aniqlash uchun eng yaxshi tezlik va aniqlik muvozanatini ta'minlovchi modellardan biri hisoblanadi. Bundan tashqari, YOLO boshqa ko'plab obyekt aniqlash modellariga qaraganda obyektlarni

umumlashtirish qobiliyati yuqori bo'lgan ilg'or usullardan biri bo'lib, real vaqt ilovalari uchun juda mos keladi.

Umuman olganda, ushbu yutuqlar obyektlarni aniqlash sohasi kelajakda ham jadal rivojlanishini va katta istiqbolga ega ekanligini ko'rsatadi.

References:

1. Peiyuan Jiang, Daji Ergu, Fangyao Liu, Ying Cai, Bo Ma; A Review of Yolo Algorithm Developments; The 8th International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2020 & 2021)
2. Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi; "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection"; University of Washington, Allen Institute for AI, Facebook AI Research, 9 may 2016
3. Geethapriya. S, N. Duraimurugan, S.P. Chokkalingam; "Real-Time Object Detection with Yolo" International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-8, Issue-3S, February 2019.
4. Tanvir Ahmad , 1 Yinglong Ma , 1 Muhammad Yahya, 2 Belal Ahmad, 3 Shah Nazir , 4 and Amin ul Haq; "Object Detection through Modified YOLO Neural Network" Research Article, 6 June 2020.
5. Zhenguang Li; "An improved algorithm for deep learning YOLO network based on Xilinx ZYNQ FPGA"; 2020 International Conference on Culture-oriented Science & Technology (ICCST).
6. JIN Zhao-zhao¹, ZHENG Yu-fu¹; "Research on Application of Improved YOLO V3 Algorithm in Road Target Detection"; ICMTIM 2020 Journal of Physics: Conference Series.
7. Shuo Wang; "Research towards Yolo-Series Algorithms: Comparison and Analysis of Object Detection Models for Real-Time UAV Applications"; IoTAIMA 2021 Journal of Physics: Conference Series.
8. Priya Kumari , Sonali Mitra , Suparna Biswas, Sunipa Roy, Sayan Roy Chaudhuri, Antara Ghosal, Palasri Dhar, Anurima Majumder; "YOLO Algorithm Based Real-Time Object Detection"; June 2021 | IJIRT | Volume 8 Issue 1 | ISSN: 2349-6002
9. Dr. N. Murali Krishna¹, Ramidi Yashwanth Reddy², Mallu Sai Chandra Reddy³, Kasibhatla Phani Madhav⁴, Gaikwad Sudham; "OBJECT DETECTION AND TRACKING USING YOLO"; 2021 Third International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA).
10. Rakha Asyrofi, Yoni Azhar Winata; "The Improvement Impact Performance of Face Detection Using YOLO Algorithm"; Proc. EECSI 2020 - 1-2 October 2020
11. Rekha B. S.¹, Athiya Mariam², Dr. G. N. Srinivasan³, Supreetha A. Shetty; "Literature Survey on Object Detection using YOLO"; International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) , Volume: 07 Issue: 06 | June 2020.



12. Zhong-Qiu Zhao, Member, IEEE, Peng Zheng, Shou-tao Xu, and Xindong Wu, Fellow, IEEE; "YOLOv3: An Incremental Improv Object Detection with Deep Learning: A Review"; 16 Apr 2019
13. Yonghui Lu¹, Langwen Zhang², Wei Xie; "YOLO-compact: An Efficient YOLO Network for Single Category Real-time Object Detection"; 2020 IEEE
14. Fengxi Yan, Yinxia Xu; "Improved Target Detection Algorithm Based on YOLO"; 2021 4th International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering
15. Zhenguang Li; "An improved algorithm for deep learning YOLO network based on Xilinx ZYNQ FPGA"; 2020 International Conference on Culture-oriented Science & Technology (ICCST).
16. Woosuk Kim, Hyunwoong Cho, Jongseok Kim, Byungkwan Kim, and Seongwook Lee; "Target Classification Using Combined YOLO SVM in High-Resolution Automotive FMCW Radar"; 2020 IEEE Radar Conference.
17. Md. Bahar Ullah; "CPU Based YOLO: A Real Time Object Detection Algorithm"; 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), 5-7 June 2020, Dhaka, Bangladesh.
18. Shujun Zhang, Shanzhen Lan, Qi Bu, Shaobin Li; "YOLO based Intelligent Tracking System for Curling Sport"; ICIS 2019, June 17-19, 2019
19. Shaobin Chen¹, Wei Lin¹¹; "Embedded System Real-Time Vehicle Detectionbased on Improved YOLO Network"; 2019 IEEE 3rd Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC 2019)