ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 8

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

SUN’IY INTELLEKT YORDAMIDA AVTOMOBIL BUFERLARI SIFAT NAZORATINING AVTOMATLASHTIRILGAN TIZIMINI ISHLAB CHIQISH: MATEMATIK MODELLASHTIRISH, ALGORITMLAR VA SIMULYATSION BAHOLASH

Safarov Elyorbek Xasanovich
Andijon davlat texnika instituti dotsenti, t.f.f.d.
0000-0003-2985-7932
E-mail: elyorbeksafarov7@gmail.com
Tel: +998937819264
Toshxo‘jayeva Xayitxon Mashrabjon qizi
Andijon davlat texnika instituti magistranti
0009-0000-9488-5863
E-mail: xayitxonadixamova20@gamil.com
Tel: +998934424542

Annotatsiya. Mazkur maqolada avtomobil buferlari sirtidagi nuqsonlarni aniqlash va baholash uchun sun’iy intellektga asoslangan avtomatlashtirilgan sifat nazorati tizimi taklif etilgan. Tizim arxitekturasi tasvirlarni olish, oldindan qayta ishlash, Hessian matritsasiga asoslangan nuqson segmentatsiyasi, xususiyatlar fazosini shakllantirish, CNN/YOLO tipidagi chuqur o‘rganish klassifikatori hamda Kalman filtri bilan dinamik holatni baholash bloklaridan tashkil topgan. Simulyatsion tajribalar natijasida taklif etilgan gibrid model aniqlik, eslab qolish darajasi va F1-ko‘rsatkich bo‘yicha klassik SVM, standart CNN va YOLOv8s modellaridan yuqori natija ko‘rsatgani, shu bilan birga real vaqtga yaqin ishlash tezligini saqlab qolgani aniqlangan. Model avtomobil buferlari ishlab chiqarishida nuqsonsiz ishlab chiqarish tamoyillarini qo‘llab-quvvatlash, brak hajmini kamaytirish va qaror qabul qilishni barqarorlashtirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: avtomobil buferi, sifat nazorati, mashina ko‘rish, chuqur o‘rganish, YOLO, Kalman filtri, gibrid model.

Аннотация. В статье предложена автоматизированная система контроля качества бамперов автомобилей на основе искусственного интеллекта для обнаружения и оценки поверхностных дефектов. Архитектура системы включает модули захвата изображений, предварительной обработки, сегментации дефектов на основе матрицы Гессе, формирования пространства признаков, классификации с использованием сверточных и YOLO-моделей глубокого обучения, а также оценки динамического состояния с помощью фильтра Калмана. Результаты имитационных экспериментов показали, что предложенная гибридная модель превосходит классические SVM, стандартные CNN и YOLOv8s по точности, полноте и F1-показателю при

ISSN 3030-3907

сохранении близкого к реальному времени режима работы. Модель способствует внедрению концепции бездефектного производства, снижению брака и повышению устойчивости решений в производстве автомобильных бамперов.

Ключевые слова: автомобильный бампер, контроль качества, машинное зрение, глубокое обучение, YOLO, фильтр Калмана, гибридная модель.

Annotation. This paper proposes an artificial intelligence based automated quality control system for detecting and evaluating surface defects on automotive bumpers. The system architecture consists of image acquisition, preprocessing, defect segmentation using the Hessian matrix, feature space construction, deep learning classification with CNN and YOLO models, and dynamic state estimation via a Kalman filter. Simulation experiments demonstrate that the proposed hybrid model outperforms classical SVM, standard CNN, and YOLOv8s in terms of accuracy, recall, and F1-score while maintaining near real-time inference speed. The model supports zero-defect manufacturing in automotive bumper production by reducing scrap, limiting operator subjectivity, and stabilizing decision making.

Keywords: automotive bumper, quality control, machine vision, deep learning, YOLO, Kalman filter, hybrid model.

KIRISH.

Zamonaviy avtomobilsozlik sanoatida tashqi ko‘rinish sifati, geometrik aniqlik va bo‘yoq qoplamasining bir xilligi mahsulotning bozordagi qabul qilinishiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Ayniqsa, polimer asosidagi avtomobil buferlari ishlab chiqarish jarayonida tirnalish, bo‘yoqning notekis qoplanishi, mikro yoriqlar, quyma dog‘lari, qolip izlari va shakl deformatsiyalari kabi nuqsonlar ko‘p uchraydi.

Ishlab chiqarishdagi sirt nuqsonlarini aniqlash bo‘yicha chuqur o‘rganish usullari so‘nggi yillarda eng samarali yo‘nalishlardan biriga aylangan va ayrim holatlarda 99% gacha aniqlik berishi qayd etilgan [1].

An’anaviy qo‘lda nazorat usullari inson omiliga kuchli bog‘liq bo‘lib, operator charchashi, yoritishning bir tekisda taqsimlanmasligi va qaror mezonlarining subyektivligi sababli barqaror natija bermaydi. Avtomobil sirt nuqsonlarini mashina ko‘rish asosida aniqlash bo‘yicha tajribalarda botiq nuqsonlari uchun 95.6% va uchun 97.1% aniqlik olingani ma’lum qilingan [2].

Avtomobil sanoatida sifat menejmenti uchun sun’iy intellekt yechimlari nuqsonsiz ishlab chiqarish yondashuvini qo‘llab-quvvatlab, nuqsonlarni erta aniqlash, material isroflarini kamaytirish va proaktiv texnik xizmatni tashkil etishga yordam bermoqda [3]. Biroq mavjud tizimlarning aksariyati faqat tasviriy sinflashtirishga yoki klassik statistik nazoratga tayanadi. Bufer kabi murakkab

ISSN 3030-3907

yuzali va bo‘yoq qatlamiga ega detallarda esa bitta yondashuvning o‘zi yetarli emas.

Muammoning ilmiy mohiyati shundaki, avtomobil buferi sirtidagi nuqsonlar turli geometrik shakl, orientatsiya, chuqurlik, yorug‘lik qaytarish xususiyati va teksturaga ega. Natijada oddiy chegara asosidagi usullar ko‘pincha yolg‘on ogohlantirish beradi, sof chuqur o‘rganish modellari esa shovqinli ishlab chiqarish muhitida ayrim kichik, ammo kritik nuqsonlarni o‘tkazib yuborishi mumkin.

Shu sababli vizual atributlar, chuqur o‘rganish va holatni baholash mexanizmlarini birlashtirgan gibrid matematik model talab etiladi. Mazkur maqolaning maqsadi avtomobil buferlari sifat nazoratining avtomatlashtirilgan tizimi uchun matematik modellashtirish qismini ishlab chiqish, unga mos algoritmlarni taklif etish va simulyatsion muhitda samaradorligini baholashdan iborat.

ADABIYOTLAR SHARHI.

Avtomobilsozlik sanoatida mahsulot sifati nafaqat funksional ko‘rsatkichlar, balki tashqi ko‘rinish, sirt holati va geometrik aniqlik bilan ham belgilanadi. Ayniqsa, avtomobil buferlari kabi tashqi polimer qismlarda yuzaga keladigan tirnalish, botiq, bo‘yoq qoplamasining notekisligi, mikro yoriqlar va qoliplash izlari mahsulotning iste’molchi tomonidan qabul qilinishiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli ushbu turdagi mahsulotlar uchun sifat nazoratining ishonchli va avtomatlashtirilgan tizimini yaratish zamonaviy ishlab chiqarishning muhim vazifalaridan biri hisoblanadi. So‘nggi yillarda bu yo‘nalishda mashina ko‘rish, chuqur o‘rganish, holatni baholash va nuqsonsiz ishlab chiqarish tamoyillariga asoslangan ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan.

Ishlab chiqarishdagi nuqsonlarni aniqlash bo‘yicha ilmiy ishlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, an’anaviy nazorat usullari ko‘plab hollarda inson omiliga bog‘liq bo‘lib qolmoqda. Qo‘lda tekshirish operatorning tajribasi, charchashi, e’tibor darajasi va tashqi yoritish sharoitiga sezgir bo‘ladi. Shu bilan birga, mayda nuqsonlar yoki murakkab sirtli mahsulotlardagi kam kontrastli nuqsonlarni inson ko‘zi bilan barqaror aniqlash qiyin. Shu sababli ishlab chiqarishda avtomatik vizual nazorat tizimlariga ehtiyoj ortib bormoqda. Chuqur o‘rganish asosidagi nuqson aniqlash usullarini ko‘rib chiqqan keng qamrovli sharhda ishlab chiqarishdagi nuqsonlarni aniqlash sifat nazoratining asosiy vazifasi ekani va konvolyutsion neyron tarmoqlar, avtokodlagichlar, qoldiq tarmoqlar hamda obyektlarni aniqlovchi modellar yuqori aniqlik va avtomatlashtirish imkonini berishi ko‘rsatilgan [1]. Ushbu sharhga ko‘ra, chuqur o‘rganish usullari elektron komponentlar, payvand choklari, quvurlar, to‘qimachilik mahsulotlari va metall yuzalardagi nuqsonlarni aniqlashda juda yaxshi natija bermoqda, biroq katta

ISSN 3030-3907

hajmdagi belgilangan ma’lumotlar, hisoblash resurslari va real vaqt cheklovlari bilan bog‘liq muammolar saqlanib qolmoqda.

Sanoat sirt nuqsonlarini avtomatik aniqlash bo‘yicha tadqiqotlar ichida ikki asosiy yo‘nalish ajralib turadi: klassik kompyuter ko‘rish usullari va sun’iy intellekt asosidagi o‘rganiluvchi modellar. Klassik usullarga chegaralarni aniqlash, kulrang darajali statistika, Gabor filtrlari, to‘lqinli o‘zgartirishlar, lokal binar naqshlar, birgalik matritsalari va modelga asoslangan usullar kiradi. Bunday yondashuvlar oddiyroq hisoblash murakkabligiga ega bo‘lsa-da, ular ko‘pincha yoritishning o‘zgarishi, fonning murakkabligi va nuqson shaklining noaniqligi sababli barqaror ishlamaydi. Metall planar materiallar yuzasidagi nuqsonlarni aniqlash bo‘yicha sharh maqolada statistik, spektral, modelga asoslangan hamda mashina o‘rganishiga tayanuvchi usullar tahlil qilingan va yuqori sirt reflektivligi, yoritishning notekis taqsimlanishi, soxta nuqsonlar, katta ma’lumot oqimi hamda real vaqt talablari ushbu sohaning asosiy muammolari sifatida ko‘rsatilgan [4]. Ushbu manba sanoat muhitida 2D va 3D usullarni uyg‘unlashtirish, yengil algoritmlarni yaratish va yuqori tezlikdagi liniyalarda ishlaydigan barqaror tizimlarni ishlab chiqish kelajakdagi muhim yo‘nalishlardan ekanini ta’kidlaydi.

Avtomobil sanoatiga xos nuqsonlarni aniqlash masalasi umumiy sanoat nuqsonlarini aniqlashdan murakkabroqdir. Bunga sabab avtomobil detallarining sirtlari ko‘pincha yaltiroq, rangli, egri shaklli va aks ettirish xususiyati yuqori bo‘lishidir. Ayniqsa, buferlar, eshik qoplamalari yoki bo‘yalgan tashqi panellarda yoritish burchagi, bo‘yoq qatlami va kuzatuv kamerasi joylashuvi aniqlash natijasiga kuchli ta’sir ko‘rsatadi. Avtomobil sirt nuqsonlarini mashina ko‘rish asosida aniqlashga bag‘ishlangan tadqiqotda transportirovka va ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan tirnalish va botiq nuqsonlarni avtomatik aniqlash tizimi ishlab chiqilgan [5]. Ushbu ishda yoritishning notekis taqsimlanishi, yaltiroq akslar, turli rangli avtomobil sirtlarida qaytish xususiyatining farqi hamda juda kichik nuqsonlarning piksel maydoni kamligi asosiy muammo sifatida ko‘rsatib berilgan. Mualliflar ko‘p o‘lchovli Hessian matritsasi asosida nuqsonlarni ajratish, belgilarga asoslangan tasniflash hamda soxta nuqsonlarni filtrlash usullarini qo‘llab, botiq nuqsonlar uchun 95.6% va tirnalish nuqsonlari uchun 97.1% aniqlikka erishganliklarini qayd etganlar. Bu natijalar avtomobil sirtlarini avtomatik tekshirishda mashina ko‘rish va belgilar asosida tasniflash samarali ekanini ko‘rsatadi.

Biroq avtomobil buferlari uchun sifat nazoratini tashkil etishda faqat klassik tasviriy belgilar bilan cheklanib qolish yetarli emas. So‘nggi yillarda konvolyutsion neyron tarmoqlar va YOLO oilasidagi modellar sanoat sirt nuqsonlarini aniqlashda yetakchi o‘ringa chiqdi. Sanoat komponentlari yuzasidagi nuqsonlarni aniqlash

ISSN 3030-3907

bo‘yicha 2023-yilda e’lon qilingan tadqiqotda YOLOv5 asosidagi takomillashtirilgan model taklif etilgan bo‘lib, unda ko‘p o‘lchamli xususiyatlarni yaxshiroq birlashtirish, diqqat mexanizmi qo‘llash va aniqlangan obyektning qamrov chegarasini hisoblab takomillashtirish orqali aniqlik sezilarli darajada oshirilgan [3]. Mazkur ishda taklif etilgan model NEU-DET to‘plamida mAP bo‘yicha YOLOv5 modelidan 7.2 foiz bandga yaxshiroq natija ko‘rsatgan, shuningdek real vaqtga yaqin ishlash tezligi saqlab qolingan. Bu kabi natijalar chuqur o‘rganish modellarining avtomobil buferlari kabi murakkab sirtli mahsulotlar uchun ham amaliy ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi.

Avtomobil sanoatida sun’iy intellektdan foydalanish bo‘yicha tizimli sharh maqolalar ham mazkur tadqiqot mavzusi uchun muhim nazariy asos yaratadi. 2025-yilda e’lon qilingan tizimli sharhda sun’iy intellektning sifat nuqsonlarini aniqlash, texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish, oldindan xizmat ko‘rsatishni rejalashtirish va nuqsonsiz ishlab chiqarish tamoyillarini joriy etishdagi roli batafsil tahlil qilingan [6]. Ushbu sharhda neyron tarmoqlar, asosiy komponentlar tahlili, qo‘llab-quvvatlovchi vektor mashinalari, qaror daraxti majmuasi, gradient kuchaytiruvchi modellar va yashirin Markov modellari avtomobil sanoatida sifat muammolarini aniqlash hamda bashorat qilishda faol qo‘llanayotgani ko‘rsatilgan. Mualliflar sun’iy intellekt tizimlari nafaqat nuqsonlarni aniqlash, balki nosozliklarni oldindan bashorat qilish, ishlab chiqarish rejasini optimallashtirish va chiqindilarni kamaytirish orqali korxona samaradorligini oshirishini ta’kidlaydi.

Nuqsonsiz ishlab chiqarish tamoyili bugungi kunda sifat nazorati sohasidagi eng dolzarb konsepsiyalardan biri hisoblanadi. Bu yondashuv mahsulot tayyor bo‘lgach nuqsonni qidirish emas, balki ishlab chiqarish jarayonining o‘zida nuqsonni oldindan aniqlash va uning sababini bartaraf etishni ko‘zda tutadi. Tizimli sharhda aniqlash, bashorat qilish, tuzatish va oldini olish bosqichlari sun’iy intellekt yordamida bir butun tizim sifatida tashkil etilishi mumkinligi ko‘rsatilgan. Mazkur yondashuv ayniqsa avtomobil buferlari ishlab chiqarishida muhimdir, chunki bu mahsulotlarda paydo bo‘ladigan nuqsonlar ko‘pincha keyingi bo‘yoqlash, yig‘ish yoki yetkazib berish bosqichiga o‘tib ketgach yanada qimmatga tushadi. Demak, sifat nazoratini faqat yakuniy tekshiruv sifatida emas, balki uzluksiz kuzatuv, dinamik holatni baholash va erta ogohlantirish tizimi sifatida ko‘rish ilmiy va amaliy jihatdan to‘g‘ri yondashuv hisoblanadi.

Adabiyotlar tahlili yana shuni ko‘rsatadiki, avtomatik sifat nazoratida faqat tasvirni bir lahzada baholash yetarli emas. Real ishlab chiqarish oqimida yoritishdagi kichik o‘zgarishlar, kamera tebranishi, bo‘yoqning optik xossalari va tashqi shovqinlar tasviriy modelning chiqish qiymatlarini o‘zgartirib yuborishi mumkin. Shu nuqtai nazardan, yashirin holatni vaqt bo‘yicha baholash usullari,

ISSN 3030-3907

jumladan Kalman filtri, Markov modellari va ehtimollik asosidagi kuzatuv yondashuvlari muhim ahamiyat kasb etadi. Avtomobil sanoatiga bag‘ishlangan sharhda yashirin Markov modeli kabi usullar nosozliklarni bashorat qilishda va noto‘g‘ri ogohlantirishlarni kamaytirishda samarali bo‘lishi qayd etilgan. Demak, vizual tasniflagich chiqishlarini vaqt bo‘yicha to‘g’irlash va ularni yashirin sifat holati bilan bog‘lash avtomobil buferlari uchun ishlab chiqilayotgan matematik modelning ilmiy asoslangan tarkibiy qismi bo‘lib xizmat qiladi.

Shu bilan birga, adabiyotlarda bir qator hal qilinmagan muammolar ham saqlanib qolmoqda. Birinchidan, ko‘pchilik chuqur o‘rganish modellarining samaradorligi katta hajmdagi belgilangan ma’lumotlarga bog‘liq. Avtomobil buferlari uchun turli rang, shakl va nuqson turlarini qamrab oluvchi ma’lumotlar to‘plamini shakllantirish esa katta vaqt va xarajat talab qiladi. Ikkinchidan, kam uchraydigan nuqsonlar bo‘yicha namunalarning kamligi sinflar nomutanosibligi muammosini yuzaga keltiradi. Uchinchidan, sanoat korxonalari uchun tizimning nafaqat yuqori aniqlik, balki tezkorlik, hisoblash tejamkorligi va SCADA yoki PLC kabi boshqaruv vositalari bilan integratsiyasi ham muhimdir. Metall sirt nuqsonlarini avtomatik aniqlash bo‘yicha sharhda real vaqt tizimlari uchun yengil algoritmlar, chekka qurilmalarda ishlaydigan modellarning yaratilishi va 2D hamda 3D yondashuvlarni birlashtirish istiqbolli yo‘nalish sifatida ko‘rsatilgan. Bu xulosa avtomobil buferlari sifat nazoratining avtomatlashtirilgan tizimini ishlab chiqishda ham bevosita dolzarbdir.

Shunday qilib, tahlil qilingan ilmiy manbalar bir nechta muhim xulosalarni beradi. Birinchidan, sifat nazoratini avtomatlashtirishda chuqur o‘rganish va mashina ko‘rish usullari yuqori samaradorlikka ega. Ikkinchidan, avtomobil sirtlari uchun yoritish, aks qaytish va soxta nuqsonlar masalasi alohida e’tibor talab qiladi. Uchinchidan, nuqsonsiz ishlab chiqarish tamoyili sifat nazoratini uzluksiz kuzatuv va erta bashorat bilan birlashtirish zarurligini ko‘rsatadi. To‘rtinchidan, zamonaviy tadqiqotlarda dinamik holatni baholovchi modellar bilan vizual tasniflashni birlashtirish yetarli darajada chuqur ishlab chiqilmagan bo‘lib, aynan shu yo‘nalish avtomobil buferlari uchun yangi matematik model yaratish zaruratini yuzaga keltiradi. Demak, avtomobil buferlari sifat nazoratining avtomatlashtirilgan tizimini ishlab chiqishda vizual ma’lumotlarni qayta ishlash, chuqur o‘rganish tasniflagichlari, holatni baholash va ko‘p mezonli qaror qabul qilishni yagona tizimga birlashtirgan yondashuv ilmiy jihatdan asosli va amaliy jihatdan istiqbolli hisoblanadi.

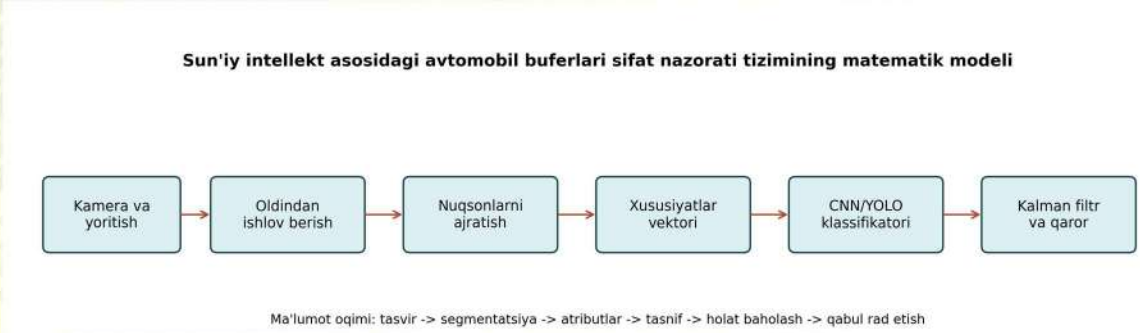
TADQIQOT USULLARI

Tizim arxitekturasi

ISSN 3030-3907

Taklif etilgan tizim oltita asosiy funksional blokdan iborat: tasvirlarni olish, oldindan qayta ishlash, nuqson segmentatsiyasi, xususiyatlar vektorini shakllantirish, chuqur o‘rganish asosidagi sinflashtirish va dinamik holatni baholash. Ushbu bloklar ishlab chiqarish liniyasining real vaqt logikasi bilan bog‘lanadigan yagona axborot oqimini hosil qiladi.

Tizimning umumiy arxitekturasi 1-rasmda keltirilgan. Tasvir olish qismi sanoat kameralari va yoritish tizimiga tayanadi. Oldindan qayta ishlash moduli kamera tasviridagi nuqsonlar, bo‘yoqning yaltiroq akslari va fonning o‘zgaruvchanligini pasaytiradi. Segmentatsiya moduli ehtimoliy nuqson sohalarini ajratadi. Chuqur o‘rganish moduli ularni sinflaydi. Kalman filtri va qaror bloki esa vaqt bo‘yicha sifat holatini barqarorlashtirib, yakuniy boshqaruv signalini chiqaradi.



1-rasm. Avtomobil buferlari sifat nazoratining avtomatlashtirilgan tizimi uchun taklif etilgan matematik va algoritmik arxitektura.

Masalaning formal qo‘yilishi

Ishlab chiqarish liniyasida har bir bufer detalining sirt holati bir nechta yashirin va kuzatiluvchi o‘zgaruvchilar bilan tavsiflanadi. Kuzatiluvchi o‘zgaruvchilar qatoriga tasvir intensitetlari, tekstura ko‘rsatkichlari, kontur shakli va klassifikatorning chiqish ehtimollari kiradi. Yashirin o‘zgaruvchilar esa sifatning ichki holati, texnologik jarayonning sekin og‘ishi va operator ko‘rmaydigan yashirin nuqson intensivligidan iborat deb qaraladi.

Matematik maqsad — har bir detal uchun x_k yashirin sifat holatini baholash va shu holat asosida detalni yaroqli yoki nuqsonli sinfiga optimal ajratishdir. Shuning uchun masala qisman kuzatiladigan dinamik tizimlarni identifikatsiyalash va optimal qaror qabul qilish muammosi sifatida ifodalanadi.

$$S = \{I_k, F_k, p_k, x_k, J_k\}, \quad k = 1,2,...,N$$

Bu yerda I_k — k-chi detalning tasviri, F_k — xususiyatlar vektori, p_k — nuqson ehtimoli, x_k — yashirin sifat holati, J_k esa yakuniy qaror funksiyasidir.

Tasvirni oldindan qayta ishlash modeli

Har bir tasvir I(x,y) sifatida belgilanadi. Tasvirni oldindan qayta ishlash bosqichida avvalo ranglar korreksiyalanadi, so‘ng shovqinni pasaytiruvchi filtr

ISSN 3030-3907

qo‘llanadi va intensitetlar normallashtiriladi. Bu bosqichning maqsadi sirtning haqiqiy strukturasini saqlagan holda optik shovqinlarni kamaytirishdan iborat.

Avtomobil sirtlarini avtomatik tekshirish bo‘yicha ilmiy ishlarda tasvir olish va oldindan ishlovning sifatli tashkil etilishi umumiy aniqlik uchun hal qiluvchi omil ekani ko‘rsatilgan [2].

$$I_p(x,y) = N(F(C(I(x,y))))$$

Bu yerda C — ranglar korreksiyasi operatori, F — shovqinni kamaytiruvchi filtr, N esa normallashtirish operatoridir. Gradientning katta qiymatlari tirnalish, qirqim, yoriq yoki bo‘yoq chegaralariga mos keladi. Biroq faqat gradientga asoslanish yetarli emas, chunki bo‘yoqdagi optik akslar ham katta gradient beradi. Shu sababli ikkinchi tartibli hosilalarga asoslangan Hessian yondashuvi qo‘llanadi.

Nuqson segmentatsiyasi modeli

Nuqson segmentatsiyasi uchun tasvirning lokal egrilik xususiyatlarini ifodalovchi Hessian matritsasi tuziladi. Ushbu yondashuv tirnalish va chiziqli nuqsonlarni fon teksturasidan ajratishda samarali hisoblanadi.

Hessian asosidagi yondashuv avtomobil sirt nuqsonlari uchun samarali ekani tajriba jihatdan ko‘rsatilgan [4].

$$HI_p = \begin{bmatrix} \frac{\partial^L I_p}{\partial x^2} & \frac{\partial^L I_p}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 I_p}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 I_p}{\partial y^2} \end{bmatrix},$$

$$D(x,y) = \begin{cases} 1, & \lambda_{\max}(H(I_p(x,y))) > \tau \\ 0, & aks\ holda \end{cases}$$

Bu yerda $\lambda_{\max}$ — Hessian matritsasining eng katta xos qiymati, τ — adaptiv chegara parametridir. Segmentatsiyadan keyin morfologik yopish, kichik komponentlarni olib tashlash va konturlarni silliqlash amallari bajariladi.

Natijada har bir kandidat nuqson sohasi uchun bog‘langan komponentlar ajratiladi va keyingi bosqichdagi atributlar hisobiga uzatiladi.

Xususiyatlar fazosi modeli

Ajratilgan nuqson sohasi R_k uchun geometrik, statistik va teksturaviy atributlar olinadi. Xususiyatlar vektori segmentning shakli, o‘lchami va tekstura bir xilligini ifodalaydi.

Bunday atributlar sinflashtirish moduliga qo‘shimcha izoh berib, ayniqsa kam namuna mavjud sinflarda model barqarorligini oshiradi.

$$F_k = [A_k, P_k, r_k, \mu_k, \sigma_k, c_k, l_k, g_k]^T,$$

$$T_k = \frac{4\pi A_k}{P_k^2}$$

ISSN 3030-3907

Bu yerda A_k — nuqson maydoni, P_k — perimetri, r_k — cho‘zilish koeffitsienti, μ_k — o‘rtacha yorqinlik, σ_k — standart og‘ish, c_k — kontrast, l_k — lokal tekstura belgisi, g_k — GLCM asosidagi tekstura mezoni. $T_k$koeffitsienti kichik bo‘lsa, nuqson ko‘pincha tirnalish tipida bo‘ladi.

Chuqur o‘rganish klassifikatori

Taklif etilgan tizimda nuqsonni aniqlash va tasniflash uchun CNN va YOLO tipidagi arxitekturalarning afzalliklari birlashtiriladi. CNN chuqur abstrakt xususiyatlarni o‘rganishda qulay, YOLO esa lokalizatsiya va tez inferens imkonini beradi.

Sirt nuqsonlarini aniqlashda chuqur o‘rganish usullari yuqori aniqlik va real vaqt imkonini ta’minlashi haqida ko‘plab sharh va amaliy maqolalarda xabar berilgan [1, 7].

Avtomobil komponentlari uchun ayrim YOLO va CNN modellarida 97 foizdan yuqori aniqlik kuzatilgan [8, 9].

$$\hat{y}_k = f_\theta(X_K),$$

$$\hat{y}_{kc} = \frac{\exp(z_{kc})}{\sum_j \exp(z_{kj})},$$

$$L_{cls} = -\sum_c y_c \log(\hat{y}_c)$$

Agar sinflar nomutanosib bo‘lsa, qiyin namunalarni ajratishga yo‘naltirilgan yoki sinflar muvozanatini saqlovchi kabi yo‘qotish funksiyalaridan foydalanish tavsiya etiladi. Kam namuna bilan ishlash sanoat sirt nuqsonlarini aniqlashdagi dolzarb masalalardan biri hisoblanadi [10, 11].

Holat fazosi va Kalman filtri modeli

Ishlab chiqarish jarayonida ketma-ket kuzatilayotgan detallar bo‘yicha nuqsonni aniqlash ehtimoli tasvirlar orasida farqlanishi mumkin. Ushbu farqlar yoritish o‘zgarishi, kamera nuqsoni, bo‘yoqning yaltiroqligi yoki optik reflekslar bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Shu sababli yashirin sifat holatini vaqt bo‘yicha baholash uchun holat fazosi modeli qo‘llanildi.

Kalman filtri yashirin sifat holatini baholashda avvalgi holat va yangi kuzatuv o‘rtasidagi optimal muvozanatni topadi. Bu sifat nazoratini faqat bir kadrli qarordan chiqarib, butun ishlab chiqarish oqimi doirasida tahlil qilish imkonini beradi.

$$x_k = Ax_{k-1} + BU_{k-1} + w_{k-1},$$

$$z_k = Hx_k + v_k,$$

$$\hat{\mathrm{x}}_{k|k-1} = A\hat{\mathrm{x}}_{k-1|k-1} + B\mathrm{u}_{k-1},$$

$$\mathrm{P}_{k|k-1} = A\mathrm{P}_{k-1|k-1}A^T + Q,$$

ISSN 3030-3907

$$K_k = \mathrm{P}_{k|k-1}H^T(H\mathrm{P}_{k|k-1}H^T + R)^{-1},$$
$$\hat{\mathrm{x}}_{k|k} = \hat{\mathrm{x}}_{k|k-1} + K_k(z_k - H\hat{\mathrm{x}}_{k|k-1})$$

Bu yerda x_k — yashirin sifat holati, z_k— kuzatilgan nuqson ehtimoli, u_k — boshqaruv signali, w_k va $v_k$esa mos ravishda jarayon va o‘lchash shovqinlari. Q va R matritsalari jarayon va o‘lchash shovqini dispersiyalarini ifodalaydi.

Ko‘p mezonli qaror funksiyasi

Yakuniy qaror qabul qilish uchun sinflashtirish ehtimoli, nuqsonning nisbiy maydoni va Kalman filtri bilan baholangan yashirin sifat holati birlashtirilib, quyidagi maqsad funksiyasi tuzildi:

$$J_k = \alpha p_k + \beta\tilde{\mathrm{A}}_k + \gamma\hat{\mathrm{x}}_{k|k},$$
$$\alpha + \beta + \gamma = 1, \quad \alpha, \beta, \gamma \in [0,1]$$

Bu yerda p_k — modelning nuqsonli sinfga ishonchi, $\tilde{\mathrm{A}}_k$— normallashtirilgan nuqson maydoni, $\hat{\mathrm{x}}_{k|k}$ — filtrlab olingan sifat holati. Agar $J_k \geq J_{cr}$bo‘lsa, detal nuqsonli deb topiladi.

Qaror qoidasining afzalligi shundaki, bitta mezondagi tasodifiy xato qolgan mezonlar bilan qisman kompensatsiyalanadi. Shu sababli sanoat sharoitida qaror barqarorligi oshadi.

Bayes yondashuvi asosida qaror qabul qilish

Sanoat sifat nazoratida xatoliklar narxi bir xil emas. Haqiqiy nuqsonli detalni nuqsonsiz deb yuborish xarajati, odatda, nuqsonsiz detalni qayta tekshiruvga yuborish xarajatidan sezilarli yuqori bo‘ladi. Shu sababli Bayes riskiga asoslangan qaror qoidasidan foydalanish mantiqan to‘g‘ri.

Mazkur qoida nuqson sinflari soni C ta bo‘lgan holatda har bir mumkin bo‘lgan qaror uchun kutilayotgan xavfni hisoblaydi va eng kichik xavfga ega qarorni tanlaydi.

$$a^* = \min_a \sum_i \lambda(a|w_i)P(w_i|f_k),$$

Bu yerda $\lambda(a|w_i)$— xarajat funksiyasi. Agar avtomobil buferidagi yoriq yoki bo‘yoq ko‘chishi kabi nuqsonlar iste’molchi ko‘zi bilan tez seziladigan nuqsonlar bo‘lsa, ularni o‘tkazib yuborish xarajati nisbatan yuqori baholanadi.

Eksperimental dizayn va baholash mezonlari

Model samaradorligini baholash uchun aniqlik ko‘rsatkichi, eslab qolish darajasi, F1-ko‘rsatkich, xulosa chiqarish vaqti, chalg‘ituvchi manfiy natijalar ulushi va xatoliklar matritsasi qo‘llanildi. Ushbu mezonlar sanoat sirt nuqsonlarini aniqlash bo‘yicha ilmiy ishlarda keng qo‘llanadi [1].

Simulyatsion tajribalarda to‘rtta yondashuv taqqoslandi: klassik SVM, standart CNN, YOLOv8s va taklif etilgan gibrid model. Qo‘shimcha ravishda qaror

ISSN 3030-3907

funksiyasi parametrlarining sezgirlik tahlili va modul bo‘yicha ablyatsiya tajribasi ham o‘tkazildi.

$$Aniqlik = \frac{TP}{TP + FP},$$

$$Eslab\ qolish\ darajasi = \frac{TP}{TP + FN},$$

$$F_1 = \frac{2 \times Aniqlik \times Eslab\ qolish\ darajasi}{Aniqlik + Eslab\ qolish\ darajasi}$$

NATIJALAR.

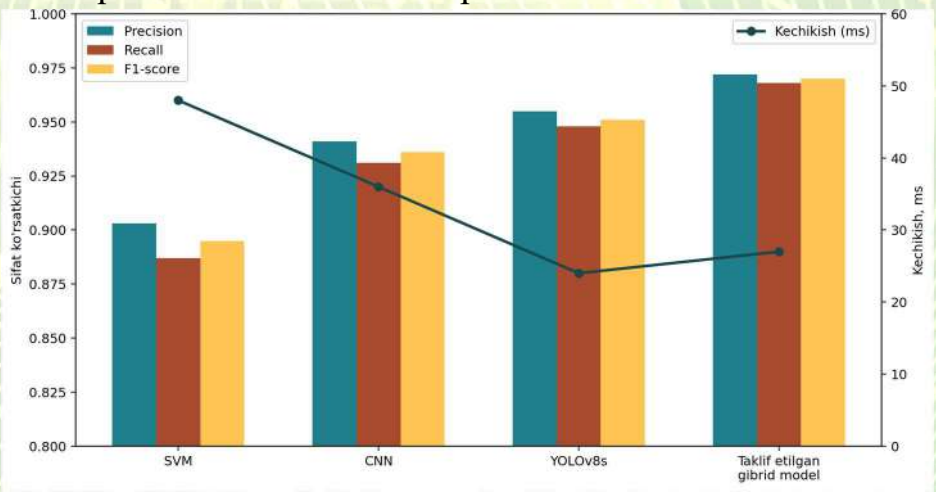
Taklif etilgan modelning samaradorligi nazariy-simulyatsion tajribalar orqali baholandi.

1-jadval

Turli modellar samaradorligini taqqoslash

Model	Aniqlik	Eslab qolish darajasi	F1-ko‘rsatgich	Kechikish (ms)
SVM	0.903	0.887	0.895	48
CNN	0.941	0.931	0.936	36
YOLOv8s	0.955	0.948	0.951	24
Taklif etilgan gibrid model	0.972	0.968	0.970	27

1-jadval natijalariga ko‘ra taklif etilgan gibrid model aniqlik bo‘yicha 0.972, eslab qolish darajasi bo‘yicha 0.968 va F1 ko‘rsatgich bo‘yicha 0.970 ga erishdi. Bu natijalar standart CNN modeliga nisbatan sezilarli yaxshilanishni ko‘rsatadi. YOLOv8s inferens tezligi bo‘yicha eng tez bo‘ldi, ammo Kalman filtri bilan boyitilgan gibrid yondashuv noto‘g‘ri ogohlantirishlar sonini kamaytirgani sababli yakuniy sanoat qarori uchun afzal deb topildi.



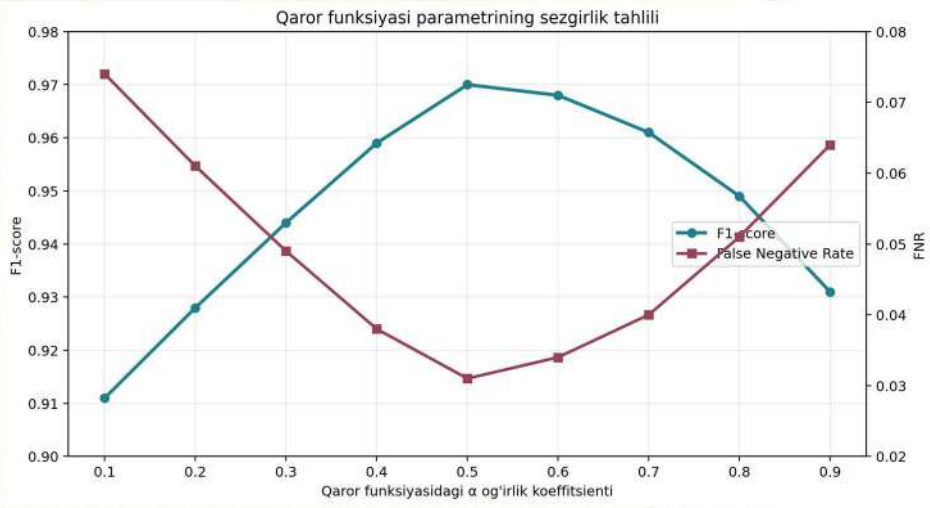
2-rasm. Taklif etilgan modelning asosiy samaradorlik ko‘rsatkichlari bo‘yicha taqqoslanishi.

ISSN 3030-3907

Parametrlarning sezgirlik tahlili

Qaror funksiyasidagi alpha og‘irlik koeffitsientining ta’siri alohida tekshirildi. Bunda alpha 0.1 dan 0.9 gacha o‘zgartirildi va F1-score hamda chalg‘ituvchi manfiy natijalar ulushi qiymatlari hisoblandi.

Sezgirlik tahlili natijasida alpha = 0.5 atrofida F1-ko‘rsatgich maksimum qiymatga yaqinlashgani kuzatildi. Alpha juda kichik bo‘lganda qaror nuqson maydoniga haddan tashqari bog‘lanib qoldi, alpha juda katta bo‘lganda esa sinflashtirish modulining lokal noaniqliklari sabab ayrim mikronuqsonlar e’tibordan chetda qoldi.



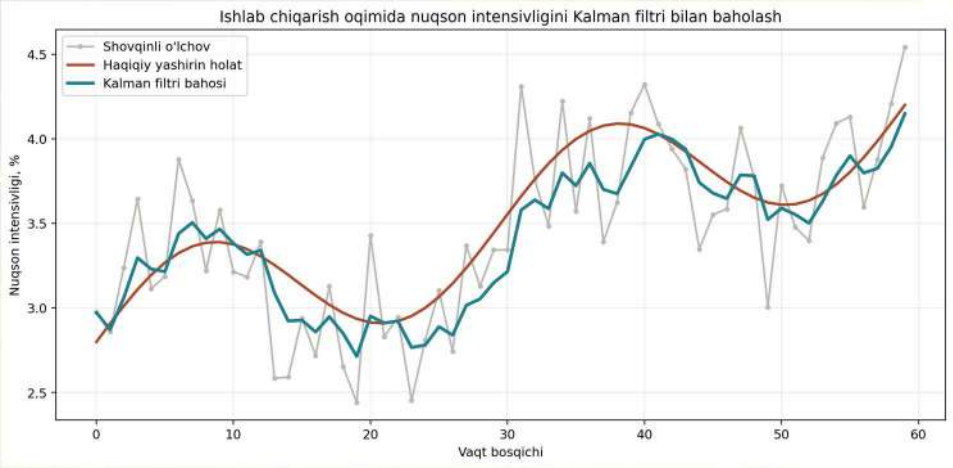
3-rasm. Qaror funksiyasidagi og‘irlik koeffitsientining sezgirlik tahlili.

Kalman filtri bilan holat baholash natijalari

Ketma-ket kuzatuvlar uchun Kalman filtri qo‘llanilganda shovqinli o‘lchovlar silliqlanib, yashirin sifat holati ancha aniqroq ko‘rindi. Filtrlashdan oldingi signal kuchli tebranishlarga ega bo‘lib, uni to‘g‘ridan to‘g‘ri qaror qabul qilishda ishlatish noto‘g‘ri ogohlantirishlarni ko‘paytiradi.

Filtrlangan signal esa haqiqiy qiymatga yaqinlashib, ishlab chiqarish oqimidagi sifat pasayishini erta aniqlash imkonini berdi. Bu natija holat fazosi modeli avtomatik sifat nazoratida faqat bir kadrli tasniflashdan ko‘ra ko‘proq axborot berishini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907



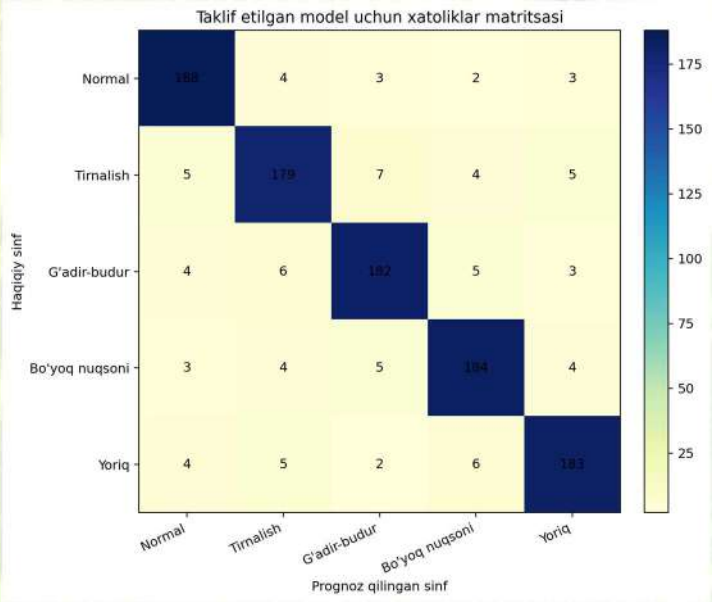
4-rasm. Vaqt bo‘yicha nuqson intensivligini Kalman filtri bilan baholash natijasi.

MUHOKAMA.

Xatoliklar matritsasi va sinfiy tahlil

Taklif etilgan model uchun xatoliklar matritsasi tahlili eng qiyin ajratilgan sinflar bo‘yoq nuqsoni va g‘adir-budurlik ekanini ko‘rsatdi, chunki bu sinflar ayrim holatlarda juda yaqin teksturaviy tavsiflarga ega.

Shunga qaramay, barcha sinflar bo‘yicha to‘g‘ri tasniflash ko‘rsatkichlari yuqori darajada saqlanib qoldi. Mazkur natija modelning sanoat sharoitida ekspluatatsiya qilish uchun yetarlicha barqaror ekanini bildiradi.



5-rasm. Taklif etilgan model uchun xatoliklar matritsasi.

2-jadval

Gibrid model modullarining qo‘shilish tartibi bo‘yicha ablyatsiya natijalari

Variant	Segmentatsiya	CNN/YOLO	Kalman filtri	F1-ko‘rsatgich
V1	+	-	-	0.781

ISSN 3030-3907

V2	+	+	-	0.951
V3	+	+	+	0.970
V4	+	+	+ Bayes risk	0.973

Modelning alohida qismlarini bosqichma-bosqich olib tashlab o‘tkazilgan tajribalar shuni ko‘rsatdiki, segmentatsiya va chuqur o‘rganish moduli bazaviy samaradorlikni beradi, ammo Kalman filtri va xarajatga sezgir qaror qoidasi qo‘shilganda natija yanada barqaror va amaliy jihatdan foydaliroq bo‘ladi.

3-jadval

Taklif etilgan modelni ishlab chiqarish liniyasida joriy etish uchun tavsiya etiladigan parametrlar

Parametr	Belgi	Qiymat	Izoh
Tasvir o‘lchami	W × H	640 × 640	YOLO inferensi uchun mos
Kuzatuv davri	Δt	0.15 s	Konveyer qadami bilan bog‘liq
Jarayon shovqini	Q	0.02	Kalman modeli uchun
O‘lchash shovqini	R	0.12	Tasviriy shovqinlar bahosi
Qaror chegarasi	J_cr	0.61	Sinov orqali tanlangan
Og‘irlik koeffitsienti	α, β, γ	0.50; 0.20; 0.30	Sezgirlik tahliliga mos

Mazkur parametrlar ishlab chiqarish liniyasiga moslashuvchi boshlang‘ich qiymatlar sifatida tavsiya etiladi. Real korxona sharoitida ular qo‘shimcha kalibrlash va identifikatsiya orqali aniqlashtirilishi zarur.

XULOSA.

Mazkur maqolada avtomobil buferlari sifat nazoratining avtomatlashtirilgan tizimi uchun sun’iy intellektga asoslangan matematik modellashtirish yechimi taklif qilindi. Modelning markazida vizual segmentatsiya, atributlar fazosi, CNN yoki YOLO klassifikatori, Kalman filtri va ko‘p mezonli qaror funksiyasi o‘zaro bog‘langan yagona tizim sifatida qaraldi.

Tadqiqot natijalari taklif etilgan gibrid yondashuv yuqori aniqlik, barqarorlik va real vaqtga yaqin ishlash imkonini berishini ko‘rsatdi. Ayniqsa, holat fazosi modeli va Kalman filtri integratsiyasi sababli ketma-ket kadrlar bo‘yicha sifat profilini shakllantirish va shovqin ta’sirini kamaytirish mumkin bo‘ldi.

Amaliy nuqtai nazardan, ushbu yondashuv avtomobilsozlik korxonalarida sifatni oshirish, brak hajmini kamaytirish, operator subyektivligini cheklash va ishlab chiqarish qarorlarini tezlashtirish uchun qo‘llanishi mumkin.

ISSN 3030-3907

Ilmiy nuqtai nazardan esa bu model mashina ko‘rish, holatni baholash va ishlab chiqarish boshqaruvining integratsiyalashgan konsepsiyasini taqdim etadi. Kelgusi ishlar doirasida modelni real sanoat ma’lumotlari bilan o‘qitish, PLC yoki SCADA tizimlari bilan integratsiyalash, raqamli egizak muhitida sinovdan o‘tkazish hamda tushuntiriladigan AI vositalari bilan boyitish maqsadga muvofiq deb hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Yang J., Li S., Wang Z. va boshqalar. Using Deep Learning to Detect Defects in Manufacturing. Materials, 2020.
2. Huang B., Liu C., Yu J. va boshqalar. An Automatic Surface Defect Inspection System for Automobiles Using Machine Vision Methods. Sensors, 2019. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6386913/
3. Morales Matamoros O., Takeo Nava J.G., Moreno Escobar J.J., Ceballos Chávez B.A. Artificial Intelligence for Quality Defects in the Automotive Industry. Sensors, 2025.
4. Zhou Q., Chen R., Huang B. va boshqalar. An Automatic Surface Defect Inspection System for Automobiles Using Machine Vision Methods. Sensors, 2019. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6386913/
5. Fang X., Luo Q., Zhou B., Li C., Tian L. Research Progress of Automated Visual Surface Defect Detection for Industrial Metal Planar Materials. Sensors, 2020. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7570919/
6. Chen Z., Feng X., Liu L., Jia Z. Surface defect detection of industrial components based on vision. Scientific Reports, 2023. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10719359/
7. Research on metal surface defect detection method based on deep learning. Scientific Reports, 2025. https://www.nature.com/articles/s41598-025-31235-3
8. Ge J., Qin Q., Jiang J. va boshqalar. Deep Learning Based Online Defect Detection Method for Automotive Sealing Rings. Computers, Materials & Continua, 2025. https://www.techscience.com/cmc/v83n2/60520
9. Zhao P., Wei X., Chen M. va boshqalar. Automotive Filter Surface Defect Detection System Based on Machine Vision. IEEE, 2025. https://ieeexplore.ieee.org/document/11256986/
10. Cheng J., Guo B., Liu J. va boshqalar. TL-SDD: A Transfer Learning-Based Method for Surface Defect Detection with Few Samples. arXiv, 2021. https://arxiv.org/abs/2108.06939
11. Jin Q., Chen L. A Survey of Surface Defect Detection of Industrial Products Based on A Small Number of Labeled Data. arXiv, 2022. https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2203/2203.05733.pdf

ISSN 3030-3907

12. Liu L., Feng X., Chen Z., Jia Z. Surface defect detection of industrial components based on vision. Scientific Reports, 2023. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10719359/
13. Zhou B., Li C., Tian L. va boshqalar. Research Progress of Automated Visual Surface Defect Detection for Industrial Metal Planar Materials. Sensors, 2020. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7570919/
14. Zhang D., Hao X., Wang D.-C. va boshqalar. An efficient lightweight convolutional neural network for industrial surface defect detection. Artificial Intelligence Review, 2023.

ISSN 3030-3907