PINHOLE KAMERA GEOMETRIYASI VA BAYES FUSIONGA ASOSLANGAN REAL VAQTDA HAYDOVCHI HOLATINI MONITORING QILISHNING GIBRID MULTIMODAL MATEMATIK MODELI

Mirzayeva Nilufar Sirojidinovna[1], Kalillayev Dauletiyar Baxtiyarovich[1]

[1]Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent Axborot Texnologiyalari Univeriteti
E-mail: nilufarmirzayeva1410@gmail.com
ORCID: 0009-0006-1653-4981

K E Y W O R D S

Haydovchini kuzatish tizimi, Pinhole kamera modeli, Bayesian sintezi, YOLOv11, Haydovchining charchoqini aniqlash, real vaqt rejimida kompyuter ko'rish.

A B S T R A C T

Haydovchilarning charchoqlari va diqqatni chalg'itishi natijasida yuzaga keladigan yo'l-transport hodisalari global transport xavfsizligining asosiy muammolaridan biri bo'lib qolmoqda. Mavjud haydovchilarni kuzatish tizimlari ko'pincha faqat vizual signallarga, transport vositalarining dinamikasiga yoki fiziologik signallarga tayanadigan unimodal arxitekturalar bilan cheklangan bo'lib, bu yorug'lik o'zgarishi, okklyuziyalar va haydovchilarning murakkab xatti-harakatlari kabi real sharoitlarda beqarorlikka olib keladi. Ushbu tadqiqot pinhole kamera geometriyasi, moslashuvchan vaqtinchalik modellashtirish va dinamik Bayes sinteziga asoslangan real vaqt rejimida haydovchi holatini kuzatish uchun gibrid multimodal matematik modelni taklif qiladi. Taklif etilayotgan tizim bosh holatini baholash, moslashuvchan ikki tomonlama eksponensial tekislash (ADES) asosidagi chuqurlikni barqarorlashtirish, ko'z aspekt nisbati (EAR) va og'iz aspekt nisbati (MAR) asosidagi charchoqni aniqlash va chalg'itishni aniqlash uchun moslashtirilgan YOLOv11 neyron tarmog'ini birlashtiradi. Barcha hisoblash modullari o'rtasida fazoviy muvofiqlikni ta'minlash uchun pinhole kamera modeliga asoslangan yagona geometrik kalibrlash tizimi qo'llaniladi. Geometrik, ehtimollik va neyron modullarining chiqishlari uzluksiz haydovchi holati vektorini yaratish uchun dinamik ravishda og'irlashtirilgan Bayes xulosa mexanizmi yordamida birlashtiriladi. Eksperimental tahlil shuni ko'rsatadiki, taklif qilingan arxitektura real vaqt rejimida hisoblash qobiliyatini saqlab qolgan holda turli xil yorug'lik sharoitlarida, qisman yuz okklyuziyalari va dinamik haydash senariylarida mustahkam ishlashga erishadi. Taklif qilingan yondashuv geometrik aniqlik, ehtimoliy vaqtinchalik mulohaza yuritish va neyron semantik tushunchani yagona moslashuvchan tizimda birlashtirgan yangi multimodal sintez paradigmasini yaratadi.

Kirish. Haydovchining charchoqligi va diqqatni chalg'itishi butun dunyo bo'ylab yo'l-transport hodisalarining asosiy sabablaridan biridir. Bu holatlar ko'pincha asta-sekin rivojlanadi va muhim voqea sodir bo'lguncha sezilmaydi. Mexanik nosozliklardan farqli o'laroq, kognitiv chalg'itish va charchoqni aniqlash qiyin, chunki ular nozik fiziologik va xulq-atvor o'zgarishlari orqali namoyon bo'ladi. Natijada, aqlli haydovchilarni kuzatish tizimlarini (DMS) ishlab chiqish transport xavfsizligi va aqlli transport vositalari texnologiyalarida muhim tadqiqot yo'nalishiga aylandi. Ko'pgina mamlakatlarda minglab yo'l-transport hodisalari mobil telefondan foydalanish, kognitiv ortiqcha yuklanish yoki uzoq muddatli charchoq kabi chalg'ituvchi haydash xatti-harakatlari bilan bevosita bog'liq. Haydovchining beparvoligi reaksiya vaqtini sezilarli darajada oshiradi va vaziyatni anglashni kamaytiradi, shu bilan to'qnashuvlar ehtimolini oshiradi. Charchoq bilan bog'liq mikro-uyqu epizodlari ayniqsa xavflidir, chunki ular haydovchining ongli xabardorligisiz sodir bo'lishi mumkin. Rul boshqaruvi yoki yo'lakdan chiqish tahliliga asoslangan an'anaviy ogohlantirish mexanizmlari ko'pincha profilaktika o'rniga reaktivdir. Bunday tizimlar xavfli xatti-harakatlarni faqat haydash

(cc) BY

samaradorligi sezilarli darajada pasayganidan keyingina aniqlay oladi. Shuning uchun, xavfli vaziyatlar paydo bo‘lishidan oldin erta bosqichdagi charchoq va diqqatni chalg‘itish ko‘rsatkichlarini aniqlashga qodir bo‘lgan proaktiv monitoring tizimlariga juda ehtiyoj bor.

Haydovchilarni kuzatish tizimlarining evolyutsiyasi

Dastlabki haydovchilarni kuzatish tizimlari asosan rulning harakati, rul holatining og‘ishi va turli xil tezlanishlar kabi transport vositalarining dinamikasiga tayangan. Ushbu tizimlar dastlabki xavfsizlikni ta’minlagan bo‘lsa-da, ular haydovchining fiziologik va kognitiv holatini bevosita kuzatish imkoniyatiga ega emas edi. Raqamli tasvirlash texnologiyalarining joriy etilishi yuz ifodalarini, ko‘z harakatini va bosh yo‘nalishini tahlil qila oladigan ko‘rishga asoslangan monitoring tizimlarini ishlab chiqish imkonini berdi. Keyinchalik, mashinani o‘qitish va chuqur o‘rganish usullari konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN), takroriy neyron tarmoqlari (RNN) va vaqtinchalik ketma-ketlikni modellashtirish orqali aniqlash aniqligini sezilarli darajada yaxshiladi. Infraqizil tasvirlash tizimlari va multimodal sensorlarni birlashtirish texnikasi qiyin yorug‘lik sharoitida haydovchilarni kuzatish imkoniyatlarini yanada oshirdi. Shunga qaramay, ko‘plab mavjud yondashuvlar bitta usulga yoki real vaqt rejimida avtomobil muhitida joylashtirish qiyin bo‘lgan hisoblash uchun qimmat arxitekturalarga bog‘liqlik bilan cheklangan.

An’anaviy unimodal yondashuvlarning cheklovlari

Unimodal haydovchilarni kuzatish tizimlari real hayotdagi haydash sharoitlarida ularning ishonchliligini pasaytiradigan ichki cheklovlardan aziyat chekadi. Faqat yuz tahliliga tayanadigan tizimlar yorug‘lik o‘zgarishi, qisman okklyuziya yoki kameraning siljishi ostida beqaror bo‘lib qoladi. Haydovchilar ko‘zoynak taqqanda yoki yuz belgilari qisman yashiringanda, ko‘zni kuzatish usullari muvaffaqiyatsiz bo‘lishi mumkin. Shunga o‘xshab, faqat transport vositasi dinamikasiga asoslangan tizimlar ko'pincha charchoqni juda kech aniqlaydi, chunki ular erta fiziologik ko‘rsatkichlarga emas, balki kuzatiladigan haydash xatolariga bog‘liq. Kognitiv chalg‘itishni bir modal yondashuvlar yordamida aniqlash qiyin, chunki ichki ruhiy holatlar har doim ham aniq tashqi xulq-atvor signallarini ishlab chiqarmasligi mumkin. Multimodal tizimlar yaxshiroq mustahkamlikni ta’minlasa-da, ko‘plab mavjud dasturlar qimmat sensorlar, kiyiladigan qurilmalar yoki yuqori hisoblash resurslarini talab qiladi. Bundan tashqari, heterojen ma’lumotlar oqimlarini sinxronlashtirish va integratsiyalash real vaqt rejimida qo‘llaniladigan qiyin muammolar bo‘lib qolmoqda. Bu cheklovlar geometrik izchillik, vaqtinchalik ehtimollik mulohazasi va semantik neyron tushunchasini hisoblash uchun samarali arxitektura doirasida birlashtira oladigan yagona moslashuvchan tizim zarurligini ko‘rsatadi.

Haydovchilarni kuzatish bo‘yicha hozirgi tadqiqotlar yuz belgilari tahlili, neyron obyektlarini aniqlash va fiziologik signalni talqin qilish kabi izolyatsiya qilingan sohalarda kuchli taraqqiyotni ko‘rsatadi. Biroq, bu imkoniyatlarni bir nechta tizimlar yagona matematik asosga ega tizimga birlashtiradi. Bundan tashqari, ko‘plab mavjud multimodal tizimlar statik birlashishni amalga oshiradi, bu yerda individual xususiyatlar atrof-muhit sharoitlari yoki signal ishonchliligidan qat’iy nazar, yakuniy qarorga qat’iy og‘irliklarni qo‘shadi. Bunday qattiq arxitekturalar dinamik real dunyo stsenariylariga samarali moslasha olmaydi. Shuning uchun ushbu ishning asosiy maqsadi quyidagilarga qodir bo‘lgan moslashuvchan multimodal monitoring tizimini ishlab chiqishdir:

- pinhole kamerasini kalibrlash orqali geometrik izchillikni saqlash;
- moslashuvchan tekislash yordamida vaqtinchalik o‘lchovlarni barqarorlashtirish;
- ehtimollik sintezi yordamida heterojen signallarni birlashtirish;
- avtomobil tizimlarida real vaqt rejimida joylashtirishni qo‘llab-quvvatlash**.**

Ushbu maqolada geometrik, ehtimollik va neyron tahlil qatlamlarini birlashtirgan yagona multimodal haydovchi monitoringi arxitekturasi. Fazoviy izchil multimodal integratsiya uchun

(cc) BY

pinhole kameraga asoslangan kalibrlash tizimi. Mustahkam chuqurlikni barqarorlashtirish uchun moslashuvchan ikki tomonlama eksponensial tekislash (ADES) mexanizmi. EAR va MAR vaqt dinamikasiga asoslangan ehtimollik charchoq tahlili modeli. Kontekstga asoslangan YOLOv11 chalg'itishni aniqlash tizimi. Haydovchining holatini uzluksiz baholash uchun dinamik ravishda og'irlashtirilgan Bayes sintezi mexanizmi. O'rnatilgan avtomobillarni joylashtirish uchun mos keladigan real vaqt rejimida hisoblash tizimi.

Tizim arxitekturasiga umumiy ko'rinishi

Taklif qilinayotgan haydovchi monitoringi tizimi birlashtirilgan moslashuvchan arxitektura doirasida ishlaydigan bir nechta hisoblash qatlamlaridan iborat. Tizim avtomobil saloniga o'rnatilgan monokulyar RGB kamera yordamida uzluksiz video olishdan boshlanadi. Olingan kadrlar geometrik, ehtimollik va semantik tahlil modullari orqali ketma-ket qayta ishlanadi. Qayta ishlash liniyasi quyidagi bosqichlardan iborat:

- Yuz belgilarini ajratib olish;
- Perspective-n-Point (PnP) yordamida bosh holatini baholash;
- ADES filtrlash yordamida chuqurlikni barqarorlashtirish;
- EAR va MAR charchoq tahlili;
- YOLOv11 yordamida real vaqt rejimida chalg'itishni aniqlash;
- Dinamik Bayes multimodal birlashuvi.

Barcha modullardan olingan natijalar standartlashtirilgan va charchoq ehtimoli, chalg'ituvchi ehtimol va diqqat darajasini ifodalovchi uzluksiz haydovchi holati vektoriga birlashtirilgan.

Pinhole kamera geometriyasi va kalibrlash

Pinhole kamera modeli taklif qilingan ramkaning geometrik asosini tashkil qiladi. Model kamerani uch o'lchovli dunyo nuqtalarini ikki o'lchovli tasvir tekisligiga proyeksiyalovchi ideal optik markaz sifatida ifodalaydi. To'rtta koordinata tizimi fazoviy koordinata tizimi, kamera koordinata tizimi, tasvir koordinata tizimi, piksel koordinata tizimi ko'rib chiqiladi. Ideal proyeksiya modeli quyidagicha ifodalanadi: f_x

$$x = f\frac{X}{Z}$$

$$y = f\frac{Y}{Z} \qquad (1)$$

bu yerda f fokus masofasini bildiradi. Kameraning ichki matritsasi quyidagicha aniqlanadi:

$$K = \begin{matrix} f_x & s & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix} \qquad (2)$$

bu yerda f_x va f_y fokus masofalarini piksel birliklarida, c_x va c_y asosiy nuqta koordinatalarini va s qiyalikni bildiradi. To'liq proyeksiya tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$p = K\left[\frac{R}{t}\right]P \qquad (3)$$

u yerda R aylanish matritsasi va t translyatsiya vektori. Kamerani kalibrlash turli yo'nalishlardan olingan bir nechta shaxmat taxtasi tasvirlariga asoslangan Zhang kalibrlash usuli yordamida amalga oshiriladi. Radial va tangensial linzalarning buzilishlari Brown-Conrady buzilish modeli yordamida tuzatiladi.

Perspective-n-Point yordamida bosh pozasini baholash

Bosh pozasini baholash Perspective-n-Point (PnP) algoritmi yordamida amalga oshiriladi. Yuz belgilari 68 nuqtali yuz belgilarini aniqlash modeli yordamida olinadi. Ushbu nuqtalar orasida qisman okklyuziya ostida ishonchli baholash uchun 17 ta barqaror belgilar tanlanadi. Optimallashtirish jarayoni reproyeksiya xatosini minimallashtiradi:

$$E(R,t) = \sum_{i=1}^{n} \|p_i - proj(RP_i + t)\|^2 \qquad (4)$$

bu yerda pi aniqlangan 2D tasvir nuqtalarini va Pi mos keladigan 3D yuz model nuqtalarini ifodalaydi. Levenberg-Marquardt optimallashtirish algoritmi chiziqli bo'lmagan minimallashtirish muammosini iterativ ravishda yechish uchun

(cc) BY

ISSN: 3030-3346

qo‘llaniladi. Olingan aylanish matritsasi Eyler burchaklariga aylantiriladi va qadam, yaw,burish burchaklarni hisoblaydi. Bu burchaklar haydovchining diqqatini yo‘naltirishning talqin qilinadigan o‘lchovlarini ta’minlaydi.

ADES filtrlash yordamida chuqurlikni baholash

Monokulyar chuqurlikni baholash noaniqlikdan yuzaga keladi, sababi bitta tasvir mutlaq fazoviy chuqurlikni mukammal aniqlay olmaydi. Ushbu cheklovni bartaraf etish uchun taklif qilingan tizim Adaptiv Ikki Eksponensial Smoothing (ADES) ni o‘z ichiga oladi. Silliqlash tenglamalari quyidagicha aniqlanadi:

$$L_t = \alpha X_t + (1-\alpha)(L_{t-1} - T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \qquad (5)$$

bu yerda:L_t -silliqlangan darajani ifodalaydi, T_t -trend komponentini bildiradi, X_t-kuzatilgan chuqurlik bahosi, α va β moslashuvchan silliqlash koeffitsientlari. An’anaviy silliqlash usullaridan farqli o‘laroq, ADES silliqlash parametrlarini harakat intensivligi va signal o‘zgarishiga asoslangan holda dinamik ravishda yangilaydi. Bu o‘lchov shovqinini bostirish bilan birga boshning haqiqiy harakatiga tez moslashish imkonini beradi.

EAR va MAR yordamida charchoqni aniqlash

Haydovchining charchoqni aniqlashi ko‘zni yumish va esnash xatti-harakatlarini tahlil qilishga asoslangan.Ko‘z Aspektlari Nisbati (EAR) va Og'iz Aspekti Nisbati (MAR) quyidagicha hisoblanadi:

$$EAR\ yoki\ MAR = \frac{||p_2 - p_6|| + ||p_3 - p_5||}{2||p_1 - p_4||} \quad (6)$$

Ko‘zni yumganda EAR sezilarli darajada kamayadi, esnash paytida esa MAR ortadi. Taklif qilinayotgan tizim faqat statik chegaralarga tayanish o‘rniga, EAR va MAR signallarining vaqtinchalik naqshlarini tahlil qilish uchun ehtimoliy Cheklangan Holat Mashinasidan (FSM) foydalanadi. FSM quyidagilarni ajratib turadi:

- normal miltillash;
- uzoq vaqt ko‘zni yumish;
- mikro-uyqu epizodlari;
- charchoq bilan bog‘liq esnash.

Vaqtinchalik filtrlash vaqtinchalik yuz harakatlari natijasida yuzaga keladigan noto‘g‘ri ijobiy aniqlashlarni sezilarli darajada kamaytiradi.

YOLOv11 yordamida real vaqt rejimida chalg‘itishni aniqlash

Haydovchining chalg‘itishni aniqlash salon ichidagi haydash ma’lumotlar to‘plamlarida o‘qitilgan moslashtirilgan YOLOv11 obyektlarni aniqlash modeli yordamida amalga oshiriladi. Model chalg‘itishga bog‘liq obyektlardan mobil telefonlar, sigaretalar, ichimliklar, qo‘lda ushlab turiladigan aksessuarlarni aniqlaydi. Kontekstual ishonchlilikni oshirish uchun tizim bosh yo‘nalishi va taxminiy nigoh yo‘nalishiga asoslangan dinamik Qiziqish Mintaqasi (ROI) moslashuvidan foydalanadi. Vaqtinchalik ishonchni tekislash qo‘shimcha ravishda sporadik noto‘g‘ri aniqlashlarni bartaraf etish uchun qo‘llaniladi. Yakuniy chalg‘ituvchi ishonch balli obyektning ishonchliligi, fazoviy o‘zoro tasir ehtimoli, vaqtinchalik barqarorlikni birlashtiradi.

Dinamik Bayes sintezi

Taklif qilingan tizimning asosiy yangiligi dinamik ravishda og'irlashtirilgan Bayes sintezida yotadi. Barcha ajratib olingan xususiyatlar avval birlashtirilgan xususiyat maydoniga normallashtiriladi. Tizimning ishonchlilik koeffisentlari yorug‘lik sifati, yuz ko‘rinishi, aniqlash barqarorligiga muvofiq belgilanadi. Yakuniy haydovchi holati ehtimoli quyidagilar yordamida baholanadi:

$$P(\frac{S}{F_1}, F_1, F_2, \dots, F_n) \propto \prod_{i=1}^{n} P(F)/s)^w \qquad (7)$$

bu yerda: S- drayver holatini bildiradi, □□ kuzatilgan xususiyatlarni ifodalaydi, w moslashuvchan ishonchlilik og‘irliklarini bildiradi. Olingan drayver holati vektori quyidagicha ifodalanadi:

(cc) BY

$$V_h = [P_d, P_{ch}, P_{ch}] \qquad (8)$$

Tizim xavf darajalarini quyidagilarga ajratadi: Past xavfli holat; O‘rta xavfli holat; Yuqori xavfli holat. Dinamik og‘irlik tizimning ozgaruvchan atrof-muhit sharoitlari va signal ishonchliligiga avtomatik ravishda moslashishiga imkon beradi.

Taklif qilingan tizim ham ommaviy haydovchilarni kuzatish ma'lumotlar to‘plamlari, ham maxsus haydash stsenariylari yozuvlari yordamida baholandi. Tajribalar kunduzgi yorug‘lik, tungi yorug‘lik, qisman okklyuziya va haydovchi harakati kabi turli xil atrof-muhit sharoitlarida o‘tkazildi. Tizim Python, OpenCV, PyTorch va CUDA tezlashuvi yordamida amalga oshirildi. Texnik uskunalar Intel Core i7 protsessori, NVIDIA RTX seriyali , 16 GB RAM parametrga ega bolishi kerak. Ishlash samaradorligini baholash aniqligi, hamda real vaqt rejimida hisoblash qobiliyatiga qaratilgan.

Ishlash samaradorligini baholash

Eksperimental natijalar shuni ko‘rsatadiki, taklif qilingan gibrid tizim bir nechta drayverlarni kuzatish vazifalarida yuqori mustahkamlikka erishadi.

1-jadval.

Tizim samaradorligini baholash jadvali.

Metod	Aniqlik	Recall	Recall	FPS
EAR/MAR	0.87	0.82	0.84	42
YOLOv11	0.89	0.86	0.87	38
Taklif qilingan gibrid model	0.94	0.92	0.93	31

Gibrid arxitektura real vaqt rejimida ishlov berish qobiliyatini 30 FPS dan yuqori darajada saqlab qolish bilan birga umumiy aniqlash ishonchliligini sezilarli darajada oshirdi.

Haqiqiy haydash sharoitida mustahkamlik

Taklif qilingan tizim yorug'lik o‘zgarishi, yuzning qisman okklyuziyasi, boshning tez harakatlanishi, kameraning turli pozitsiyalari kabi turli sharoitlarda barqaror ishlashi kerak. Dinamik Bayes og‘irligi turli shovqinli tasvir sharoitlarida ishonchsiz xususiyatlarning ta'sirini samarali ravishda kamaytirdi. Kam yorug‘lik muhitida tizim vizual obyektni aniqlash ishonchiga bog‘liqlikni kamaytirib, vaqtinchalik charchoq ko‘rsatkichlariga bog‘liqlikni avtomatik ravishda oshirdi. Xuddi shunday, yuz belgilari qisman yopilganda, YOLOv11 semantik xususiyatlari yakuniy holatni baholashga ko‘proq hissa qo‘shdi. An'anaviy unimodal tizimlar bilan taqqoslaganda, taklif qilingan tizim yuqori iunimdorlik, barqaror ishlash, moslashuvchanlik vaqt boyicha barqarorlikka erishishi kerak. An'anaviy chegaraga asoslangan usullar tez atrof-muhit o‘zgarishlari paytida ko‘pincha beqaror natijalarni keltirib chiqardi. Aksincha, taklif qilingan multimodal birlashma mexanizmi moslashuvchan og‘irlik va vaqtni tekislash orqali barqaror ehtimollik bahosini saqlab qoldi.

Topilmalarni talqin qilish

Eksperimental natijalar shuni ko'rsatadiki, geometrik tahlil, fiziologik monitoring va semantik neyronlarni aniqlashni birlashtirish haydovchi holatini baholash ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi. Geometrik qatlam kalibrlangan igna teshigi proektsiyasi va bosh holatini baholash orqali barqaror fazoviy tushunishni ta'minlaydi. ADES orqali vaqtinchalik tekislash haqiqiy harakatga javob berishdan voz kechmasdan shovqinni sezilarli darajada bostiradi. Ehtimoliy Bayes sintez mexanizmi tizimga o‘zgaruvchan atrof-muhit sharoitlari va xususiyatlarning ishonchliligiga dinamik ravishda moslashish imkonini beradi.

Mavjud tizimlarga nisbatan afzalliklari

Taklif etilayotgan arxitektura an'anaviy haydovchilarni kuzatish tizimlariga nisbatan mustahkam multimodal integratsiya, soxta ijobiy aniqlashlarning kamayishi, real vaqt rejimida hisoblash samaradorligi, moslashuvchan ishonchlilikning og'irligi, kontekstual tushunishni yaxshilash kabi avzalliklarga ega. Statik termoyadroviy arxitekturalardan farqli o'laroq, taklif etilayotgan dinamik og‘irlik strategiyasi atrof-muhitning ishonchliligiga qarab xususiyatlarning

(cc) BY

ahamiyatini doimiy ravishda sozlaydi. Afzalliklariga qaramay, taklif qilingan tizim bir qator cheklovlarga ega. Birinchidan, monokulyar chuqurlikni baholash stereo ko'rish tizimlariga nisbatan asosan noaniq bo'lib qolmoqda. ADES filtrlash vaqt izchilligini yaxshilasa-da, mutlaq chuqurlik aniqligi hali ham cheklangan. Ikkinchidan, samaradorlik qisman o‘quv ma’lumotlar to‘plamining xilma-xilligiga bog‘liq. O‘quv jarayonida aks ettirilmagan ekstremal atrof-muhit sharoitlari umumlashtirish qobiliyatini pasaytirishi mumkin. Uchinchidan, kam quvvatli o'rnatilgan avtomobil uskunalariga joylashtirish neyron xulosa modullarini qo'shimcha optimallashtirishni talab qilishi mumkin. Kelajakdagi tadqiqotlarda EKG va EEG kabi fiziologik sensorlarni integratsiyalash, xususiyatlarni og‘irlashtirish uchun moslashuvchan chuqur mustahkamlash, shaxsiylashtirilgan uzoq muddatli haydovchi xatti-harakatlarini modellashtirish, o‘rnatilgan joylashtirish uchun yengil neyron arxitekturalari, multimodal transformatorga asoslangan sintez strategiyalari o‘rganish bo’yicha tizimni takomillashtirish ishlarini amalga oshirish kerak.

Xulosa

Ushbu maqolada pinhole kamera geometriyasi, moslashuvchan vaqtinchalik tekislash, neyron obyektlarni aniqlash va Bayes ehtimollik sintezi asosida real vaqt rejimida haydovchi holatini monitoring qilish uchun gibrid multimodal matematik asos taklif qilindi. Taklif qilingan arxitektura geometrik aniqlik, fiziologik charchoq tahlili va semantik chalg'itishni tushunishni real hayotdagi haydash sharoitlarida ishlashga qodir yagona moslashuvchan tizimga muvaffaqiyatli birlashtiradi. Eksperimental tahlil shuni ko'rsatdiki, asos yuqori mustahkamlikka, past soxta ijobiy ko'rsatkichlarga va aqlli transport ilovalari uchun mos keladigan real vaqt rejimida hisoblash samaradorligiga erishadi. Taqdim etilgan dinamik Bayes sintezi paradigmasi o'zgaruvchan atrof-muhit sharoitlarida haydovchi holatini doimiy ehtimollik bilan baholashni ta'minlash orqali moslashuvchan haydovchi monitoring tizimlari uchun yangi yo'nalishga hissa qo'shadi. Taklif qilingan asos proaktiv va aqlli haydovchi yordami texnologiyalari orqali transport xavfsizligini yaxshilash va inson omili bilan bog'liq baxtsiz hodisalarni kamaytirish uchun katta salohiyatga ega.

Adabiyotlar ro‘yxati.

1. Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 11, 2000, pp. 1330–1334.
2. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2004, 672 p.
3. Lepetit V., Moreno-Noguer F., Fua P. EPnP: An Accurate O(n) Solution to the PnP Problem. International Journal of Computer Vision, Vol. 81, 2009, pp. 155–166.
4. Brown D. C. Close-Range Camera Calibration. Photogrammetric Engineering, Vol. 37, No. 8, 1971, pp. 855–866.
5. Soukupová T., Čech J. Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks. Proceedings of the 21st Computer Vision Winter Workshop, Rimske Toplice, Slovenia, 2016, pp. 1–8.
6. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001, pp. 511–518.
7. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016, pp. 779–788.
8. Ultralytics. YOLO11: Fast and Accurate Vision AI Model Documentation. Ultralytics Docs, 2024.
9. Safarov F., Kuriyama N., Soliev A., et al. Real-Time Deep Learning-Based Drowsiness Detection. Sensors, Vol. 23, No. 13, 2023, Article 5983.
10. Civik E., Yuzkat M. Real-Time Driver Fatigue Detection System with Deep Learning on Embedded Platforms. Displays, Vol. 78, 2023, Article 102441.

(cc) BY