https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-20

ҒТАХР: 20.23.27

BY 4.0

Check for updates

Б.С. Смақанов[1], И.М. Увалиева[1*], А.К. Шайханова[2]
[1]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ, Серикбаева 19
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана, Сатбаева 2
*e-mail: s.bauyrzhan.10@gmail.com

ЖҮРГІЗУШІ ЖАҒДАЙЫН БАҚЫЛАУДЫҢ КЛАССИКАЛЫҚ КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ ӘДІСТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа: *Бұл мақалада нақты уақыт режимінде жүргізушінің жағдайын бақылауға арналған классикалық компьютерлік көру әдістеріне негізделген интеллектуалды мониторинг жүйесінің моделі ұсынылған. Зерттеудің мақсаты жүргізушінің шаршауы, ұйқышылдығы және назардың төмендеуі сияқты қауіпті күйлерді бет-әлпет ерекшеліктерін, көздің күйін және бастың кеңістіктегі орналасуын талдау арқылы автоматты түрде анықтайтын тиімді алгоритм әзірлеу болып табылады. Ұсынылған модельде бет пен көзді анықтау үшін Haar Cascade классификаторлары, бет ерекшеліктерінің негізгі нүктелерін анықтау үшін Dlib кітапханасының алгоритмдері, ал көздің ашық немесе жабық күйін бағалау үшін Eye Aspect Ratio (EAR) көрсеткіші пайдаланылды. Сонымен қатар жүргізушінің басының еңкеюі мен бұрылу бұрышы талданып, назардың төмендеу белгілері бағаланды. Алгоритм OpenCV кітапханасы мен Python бағдарламалау тілі негізінде жүзеге асырылды және Android платформасындағы мобильді құрылғыда сынақтан өткізілді. Эксперименттік зерттеулер барысында жалпы ұзақтығы шамамен үш сағат болатын бейнематериалдар өңделіп, жүйенің нақты уақыт режимінде орташа 28 FPS жылдамдықпен жұмыс істейтіні анықталды. Алынған нәтижелер классикалық компьютерлік көру әдістерінің жүргізушінің шаршау белгілерін нақты уақыт режимінде анықтауға мүмкіндік беретінін, есептеу ресурстарын аз пайдаланатынын және мобильді құрылғыларда тиімді қолдануға болатындығын көрсетті. Ұсынылған модель интеллектуалды көлік жүйелерінде, жүргізушіні қолдау жүйелерінде және жол қозғалысы қауіпсіздігін арттыруға бағытталған бағдарламалық кешендерде қолдануға перспективалы болып табылады.*

Түйін сөздер: *жүргізуші жағдайын мониторингтеу, компьютерлік көру, Haar Cascade, Dlib, Eye Aspect Ratio, шаршауды анықтау, OpenCV.*

Кіріспе

Жол-көлік оқиғалары қазіргі уақытта адам өмірі мен денсаулығына қауіп төндіретін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының мәліметтері бойынша, жол-көлік апаттарының едәуір бөлігі жүргізушінің шаршауы, ұйқышылдығы және назардың төмендеуі сияқты адами факторлармен байланысты. Ұзақ уақыт көлік жүргізу барысында жүргізушінің реакция жылдамдығы төмендеп, қоршаған ортадағы өзгерістерді қабылдау және шешім қабылдау қабілеті әлсірейді. Бұл өз кезегінде апат қаупінің артуына алып келеді.

Соңғы жылдары жүргізушінің жағдайын автоматты түрде бақылауға арналған интеллектуалды жүйелерді әзірлеуге ерекше көңіл бөлінуде. Мұндай жүйелердің негізгі мақсаты – жүргізушінің шаршау белгілерін ерте кезеңде анықтап, қауіпті жағдайлардың алдын алу. Қазіргі уақытта жүргізушінің жағдайын бағалау үшін әртүрлі тәсілдер қолданылады, олардың ішінде физиологиялық көрсеткіштерді талдау, көлік құралын басқару параметрлерін бақылау және компьютерлік көру әдістеріне негізделген тәсілдер кең таралған.

Компьютерлік көру технологиялары жүргізушінің бет-әлпетін, көз күйін, бас қалпын және басқа да мінез-құлық ерекшеліктерін нақты уақыт режимінде талдауға мүмкіндік береді [8-12]. Мұндай жүйелердің артықшылығы – арнайы датчиктерді пайдалануды қажет етпейді және қарапайым бейнекамера көмегімен жұмыс істей алады. Жүргізушінің көзінің жабылу ұзақтығы, жыпылықтау жиілігі, бастың еңкею бұрышы сияқты көрсеткіштер шаршау деңгейін бағалаудың маңызды белгілері болып табылады.

©Б.С. Смақанов, И.М. Увалиева, А.К. Шайханова, 2026

Жүргізушінің шаршауын анықтаудың классикалық әдістерінің қатарына Haar Cascade классификаторлары, Histogram of Oriented Gradients (HOG) дескрипторлары, Dlib кітапханасының бет нүктелерін анықтау алгоритмдері және Eye Aspect Ratio (EAR) көрсеткішіне негізделген тәсілдер жатады [4, 13-15]. Бұл әдістер есептеу ресурстарын аз қажет етеді, жоғары жылдамдықпен жұмыс істейді және нақты уақыт режиміндегі мониторинг жүйелерінде тиімді қолданылады.

Осыған байланысты жүргізушінің жағдайын бақылаудың классикалық компьютерлік көру әдістеріне негізделген модельдерін зерттеу және жетілдіру өзекті ғылыми және практикалық міндет болып табылады [5, 16-18].

Осы жұмыстың мақсаты – Haar Cascade, Dlib және Eye Aspect Ratio әдістерін пайдалану арқылы жүргізушінің көз күйі мен бас қалпын талдауға негізделген жүргізуші жағдайын мониторингтеу жүйесінің моделін әзірлеу және оның тиімділігін бағалау.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы жүргізушінің жағдайын нақты уақыт режимінде бақылауға арналған классикалық компьютерлік көру әдістерін мобильді құрылғы жағдайына бейімдеп біріктіру тәсілін ұсынуда болып табылады. Ұсынылған модельде Haar Cascade классификаторлары арқылы бет пен көз аймақтарын анықтау, Dlib алгоритмдері арқылы бет ерекшеліктерінің негізгі нүктелерін локализациялау және Eye Aspect Ratio (EAR) көрсеткіші арқылы көздің жабылу күйін бағалау біртұтас өңдеу тізбегіне біріктірілді. Сонымен қатар көздің жабық күйін бір ғана кадр бойынша емес, 48 қатарынан кадр ішінде сақталуына негізделген уақыттық шешім қабылдау критерийі қолданылды. Бейнеағынды өңдеудің орташа жылдамдығы 28 FPS болған жағдайда бұл критерий шамамен 1,71 с үздіксіз көз жабылуына сәйкес келеді. Осылайша, ұсынылған модель қысқа мерзімді жыпылықтауды ұзақ көз жабылуынан ажыратуға бағытталған уақыттық критерийді және мобильді құрылғыдағы нақты уақыттағы өңдеу талабын бір жүйеде біріктіреді.

Зерттеу әдістері

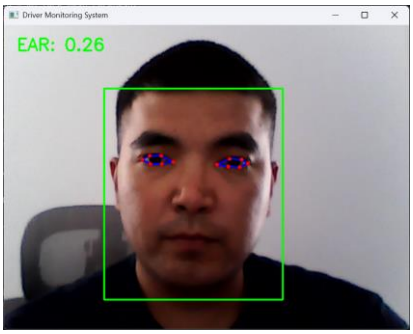
Жүргізушінің көлік құралын басқару барысында туындауы мүмкін қауіпті жағдайларды анықтау үшін оның бет-әлпет ерекшеліктері негізгі ақпарат көзі болып табылады.

Жүйенің жұмысы камера арқылы жүргізушінің бейнесін түсіруден басталады. Алдын ала өңдеу кезеңінде жүргізушінің беті мен көздері анықталады. Бейнелерді өңдеу алгоритмдері нақты уақыт режиміндегі бейнеағынды цифрлық кескіндер тізбегіне түрлендіру үшін қолданылады. Одан кейін алынған кескіндер бет пен көздердің орналасуын анықтау кезеңіне жіберіледі.

Бет пен көздерді анықтау барысында камера нақты уақыт режимінде бейнежазба жүргізеді. Бейнеағын бір-бірінен ерекшеленетін кескін кадрларының тізбегінен тұрады.

Смартфонның алдыңғы камерасынан алынған кадрлар алдын ала өңделіп, сұр түстер градациясына түрлендіріледі. Кейін Haar Cascade классификаторларының көмегімен жүргізушінің беті мен көздері анықталады. Алынған ақпарат жүргізушінің жағдайын талдау және ықтимал қауіпті белгілерді анықтау үшін пайдаланылады.

Осыдан кейін жүйе сол және оң көздерді іздеу және тану процедурасын бастайды. Егер көздер анықталмаса, жабық көздер саны ұлғайтылып, келесі кадр талдауға жіберіледі. Екі көз де анықталған жағдайда жүйе анықтаудың сәтті аяқталғанын бет пен көздердің айналасына тікбұрышты шекара сызу арқылы көрсетеді (1-сурет).



Сурет 1 – Жүргізушінің бетін және көздерін анықтау нәтижесі

Бет пен көздердің орналасуын анықтау кезеңінде жүргізушінің ұйқышылдығын анықтау жүйесі кескіндегі бет пен көздерді дәл локализациялау үшін Haar Cascade классификаторын қолданады [1]. Осы мақсатта Haar каскадына негізделген екі негізгі процесс пайдаланылады:

1. Кескіннен бетті анықтау;
2. Анықталған бет аймағынан көздерді табу.

Аталған процестер аяқталғаннан кейін кескіндер жүйенің келесі өңдеу кезеңіне жіберіледі. Бұл кезеңде көздердің ашық немесе жабық күйі анықталады. Егер жоғарғы қабақтар толық жабылып, көздің қарашығы көрінбесе, көз жабық деп есептеледі. Пайдаланушы алдын ала орнатқан шекті мәнге сәйкес, жабық көздердің үлесі белгіленген деңгейден асқан жағдайда жүйе жүргізушіге дыбыстық ескерту сигналын береді.

Егер есептелген көрсеткіш пайдаланушы орнатқан шекті мәнге тең немесе одан жоғары болса, жүйе дабыл сигналын іске қосады. Керісінше жағдайда дыбыстық ескерту өшіріледі.

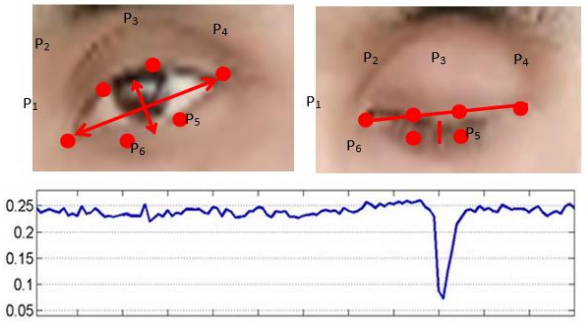
Сонымен қатар жүргізушінің әрекеттеріне қатысты статистикалық мәліметтер файлға сақталады. Жиналған деректер кейіннен машиналық оқыту әдістерін қолдану арқылы модельдің тиімділігін арттыру және жүйені жетілдіру мақсатында пайдаланылуы мүмкін.

Көз күйін анықтау үшін компьютерлік көру әдістеріне негізделген алгоритм қолданылды. Көздің негізгі нүктелері арасындағы тік және көлденең қашықтықтардың арақатынасын есептеу үшін сәйкес координаталар (x, y) бойынша Евклид қашықтығы зінде келесі өрнекпен есептеледі:

$$EAR = \frac{\| p_2 - p_6 \| + \| p_3 - p_5 \|}{2 * \| p_1 - p_4 \|}$$

мұндағы $p_1, \ldots, p_6$ – көз контурының негізгі нүктелері; $\| p_i - p_j \| - p_i$ және p_j нүктелері арасындағы Евклид қашықтығы. Мұнда алымдағы екі қашықтық көздің тік ашылуын, ал бөлімдегі қашықтық көздің көлденең өлшемін сипаттайды. Сондықтан көз ашық болған кезде EAR мәні салыстырмалы түрде тұрақты болады, ал көз жұмылған немесе жыпылықтаған кезде оның мәні төмендейді. Алынған мәндер негізінде Eye Aspect Ratio (EAR) көрсеткіші есептеліп, жүргізушінің көз күйі бағаланды.

Көз күйін бағалау үшін Eye Aspect Ratio (EAR) көрсеткіші қолданылды. EAR мәні көз ашық болған кезде салыстырмалы түрде тұрақты болып сақталады, ал жыпылықтау немесе көздің жабылуы кезінде төмендейді. Ұсынылған бағдарламалық іске асыруда көздің ашық және жабық күйлерін ажырату үшін EAR шекті мәні 0,22 ретінде қабылданды. EAR мәні 0,22-ден төмен болған жағдайда көз жабық күйде деп белгіленіп, жабық кадрлар есептегіші іске қосылады. Сондықтан EAR көрсеткішінің уақыт бойынша өзгеру динамикасы жүргізушінің көз күйін бағалауға және шаршау белгілерін анықтауға мүмкіндік береді. EAR көрсеткішінің өзгеру мысалы 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – Көз нүктелерінің орналасуы және EAR көрсеткішінің өзгеру динамикасы

2-суретте көздің негізгі нүктелерінің орналасуы және бейнеағынды өңдеу барысында EAR көрсеткішінің уақыт бойынша өзгеру динамикасы көрсетілген. Графиктен көз ашық болған кезеңдерде EAR мәнінің салыстырмалы түрде тұрақты диапазонда сақталатыны байқалады. Қалыпты жыпылықтау кезінде EAR мәні қысқа уақыт аралығында төмендейді, содан кейін көз қайта ашылған кезде бастапқы деңгейіне жақын мәнге оралады. Ал көздің ұзақ уақыт жабылуы кезінде EAR көрсеткіші белгіленген шекті мәннен төмен деңгейде бірнеше қатарынан кадр бойы сақталады. Бұл жағдай қысқа мерзімді жыпылықтаудан ұзақ көз жабылуын ажыратуға мүмкіндік береді. Көз қайта ашылғаннан кейін EAR мәні қайтадан бастапқы диапазонға

жақындайды. Осылайша, EAR көрсеткішінің тек бір кадрдағы төмендеуін емес, оның уақыт бойынша сақталуын ескеру жүйенің жалған дабылдарды азайтуына мүмкіндік береді.

EAR көрсеткіші алдын ала белгіленген шекті мәннен төмен болған жағдайда жүргізушінің көзінің жабық күйде болу ұзақтығы есептеледі. Егер көздің жабық күйі қатарынан 48 кадр немесе одан көп уақыт сақталса, жүйе жүргізушіге дыбыстық ескерту сигналын іске қосады. 48 кадрлық шек жүйенің нақты жұмыс жылдамдығын ескере отырып қабылданды. Эксперимент барысында бейнеағынды өңдеудің орташа жылдамдығы 28 кадр/с құрағандықтан, 48 кадрға сәйкес келетін уақыт аралығы келесі өрнекпен анықталды:

$$T_{closed} = \frac{N_{frames}}{FPS} = \frac{48}{28} \approx 1.71\text{с}$$

Мұндағы T_{closed} – көздің үздіксіз жабық күйде болу ұзақтығы, N_{frames} – қатарынан анықталған жабық көз кадрларының саны, ал FPS – бейнеағынды өңдеудің орташа жылдамдығы. Осылайша, жүйе көздің жабық күйі шамамен 1,7 с немесе одан ұзақ уақыт сақталған жағдайда ұзақ көз жабылуын тіркейді. Қабылданған уақыттық шек қысқа мерзімді жыпылықтауды ұзақ уақытқа созылған көз жабылуынан ажыратуға және жалған дабылдардың пайда болуын азайтуға бағытталған. Бұл тәсіл кадрлар санына ғана емес, жүйенің нақты өңдеу жылдамдығына негізделген уақыттық критерийді қолдануға мүмкіндік береді.

Ұсынылған модельде Dlib кітапханасының гистограммаға бағытталған градиенттерге (Histogram of Oriented Gradients, HOG) негізделген бет детекторы және бет ерекшеліктерін анықтау предикторы қолданылды [3, 10, 13]. Бұл әдістер жүргізушінің беті мен көз аймағын дәл анықтауға және олардың күйін нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді.

Жүргізушінің ұйқышылдық белгілерін бағалау үшін алдымен бейнеағындағы көздің пропорция коэффициенті (EAR) талданады. Егер бұл көрсеткіш алдын ала орнатылған «жыпылықтау/көздің жабылуы» шекті мәнінен төмен түссе, есептегіш жүргізушінің көзі жабық болған тізбекті кадрлардың санын арттырады. Есептегіш мәні белгіленген максималды кадрлар санынан асқан жағдайда жүргізушінің ұйқышылдық күйге ауыса бастағаны туралы қорытынды жасауға болады.

Алдыңғы камерадан алынған кескіндер бейнеағын кадрларының кезегіне үздіксіз қосылып отырады және жаңа кадрлар түскен сайын автоматты түрде жаңартылады. Мұндай тәсіл графикалық ақпараттың жылдам әрі тиімді жаңартылуын қамтамасыз етеді.

Жүргізушінің бет ерекшеліктерін анықтау мақсатында кескіндерді цифрлық өңдеу бірнеше есептеу операцияларын қамтиды. Бұл операциялардың көпшілігі белгілі бір уақыт шығындарын талап етеді. Сондықтан өңделетін кескіннің өлшемі ұлғайған сайын есептеу жүктемесі де артады. Өз кезегінде бұл фактор алгоритмнің жұмыс өнімділігіне әсер етуі мүмкін, сондықтан нақты уақыт режиміндегі жүйелер үшін есептеу тиімділігін сақтау маңызды болып табылады.

Жүргізушінің бет ерекшеліктерін анықтау нәтижесінде алынған негізгі нүктелер бет кескініне қабаттастырылып көрсетілді. Бет нүктелерінің орналасуын визуализациялау нәтижесі 3-суретте берілген.



Сурет 3 – Бет ерекшеліктерінің негізгі нүктелерін визуализациялау

Кадрлар жиілігін (FPS) арттыру мақсатында кескіндерді өңдеудің бастапқы кезеңінен бастап әртүрлі оңтайландыру әдістері қолданылды. Бұл кезеңде кескіннің ажыратымдылығы пропорционалды түрде кішірейтіліп, кейін барлық пиксельдер сұр түстер градациясына түрлендіріледі. Түрлі-түсті кескіндерді сұр түске ауыстыру үшін әрбір пиксельге келесі формула қолданылады: Y = 0.299R+0.587G+0.114B

Мұндағы R, G және B – сәйкесінше қызыл, жасыл және көк түстік арналардың мәндері, ал Y – сұр түстің қарқындылығы. Осы түрлендіру нәтижесінде өңдеу уақыты қысқарып, жүйенің жұмыс өнімділігі артады.

Одан кейін алдыңғы камерадан алынған кескіннің бағдарын түзету үшін нормализация процедурасы орындалады. Әрбір кадрда жүргізушінің бет ерекшеліктері талданып, ықтимал қауіпті жағдайлар анықталады.

OpenCV және Dlib кітапханаларының құралдарын, сондай-ақ компьютерлік көру алгоритмдерін пайдалану арқылы жүйе жүргізушінің бет ерекшеліктерін анықтап, оларды үздіксіз бақылауды жүзеге асырады. Бұл ретте көздің күйі, бастың бұрылу бұрышы мен еңкею дәрежесі сияқты параметрлер алдын ала оқытылған классификаторлар мен HOG (Histogram of Oriented Gradients) дескрипторлары негізінде бағаланады [4].

Жүргізушінің бетіндегі негізгі нүктелердің координаталарын есептеу арқылы бастың кеңістіктегі орналасуын, сондай-ақ оның алға немесе артқа еңкею бұрышын және солға немесе оңға бұрылу бағытын анықтауға болады. Бұл процедура екі өлшемді антропометриялық деректер негізінде құрылған адамның үш өлшемді бас моделін талдау арқылы жүзеге асырылады.

Нәтижелер және талқылау

Эксперименттік зерттеулер Xiaomi Redmi Note 9 Pro (6 ГБ RAM, Snapdragon 720G процессоры) смартфонында жүргізілді. Жүргізуші жағдайын мониторингтеу жүйесін бағалау үшін жалпы ұзақтығы шамамен 3 сағат болатын 12 бейнежазбадан тұратын деректер жиынтығы пайдаланылды. Бейнематериалдардан шамамен 18 000 кадр алынды. Олардың 12 000-ы алгоритм параметрлерін баптау және шекті мәндерді анықтау үшін, ал 6 000-ы жүйенің эксперименттік жұмысын бағалау үшін пайдаланылды.

Экспериментке 7 ерікті қатысушы қатысты (5 ер адам және 2 әйел). Қатысушылардың жасы 21-46 жас аралығын қамтыды. Үш қатысушы көзілдірік пайдаланған. Бейнежазбалар табиғи күндізгі жарықта және төмен жарықтандыру жағдайларында түсірілді. Сонымен қатар жүргізуші басының әртүрлі бұрылу бұрыштары және беттің ішінара жабылу жағдайлары қарастырылды.

Ұсынылған жүйенің жұмыс өнімділігін бағалау мақсатында кадрларды өңдеу жылдамдығы өлшенді. Зерттеу нәтижелері жүйенің орташа есеппен 28 FPS жылдамдықпен жұмыс істейтінін көрсетті. Бұл көрсеткіш ұсынылған модельдің нақты уақыт режимінде жүргізушінің жағдайын бақылау міндеттерін орындауға жарамды екенін дәлелдейді. Ұсынылған жүйенің нақты уақыт режиміндегі жұмыс өнімділігін сандық бағалау үшін бейнеағынды өңдеу жылдамдығы өлшенді. Эксперимент нәтижесінде жүйенің орташа өңдеу жылдамдығы 28 кадр/с құрады. Бір кадрды өңдеуге жұмсалатын орташа уақыт келесі өрнек арқылы анықталды:

$$T_{frame} = \frac{1}{FPS} = \frac{1}{28} \approx 0.0357 \text{ с} = 35.7 \text{ мс}$$

Мұндағы T_{frame}– бір кадрды өңдеудің орташа уақыты, ал FPS – бейнеағынды өңдеудің орташа жылдамдығы. Алынған нәтиже жүйенің бір кадрды орта есеппен 35,7 мс ішінде өңдейтінін және бейеағынды нақты уақыт режимінде үздіксіз талдауға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Осылайша, ұсынылған модельдің нақты уақыттағы жұмыс өнімділігі эксперименттік түрде 28 FPS деңгейінде бағаланды (1-кесте). Сонымен қатар, EAR әдісінің классификациялық дәлдігін бағалау үшін әрбір тестілік кадр бойынша тәуелсіз эталондық разметка қалыптастырылмаған. Осыған байланысты Accuracy, Precision, Recall және F1-score, сондай-ақ False Positive және False Negative көрсеткіштерін статистикалық тұрғыдан негізделген түрде есептеу мүмкін болмады. Сондықтан бұл жұмыста жүйенің тиімділігі нақты уақыттағы өңдеу жылдамдығы, EAR көрсеткішінің уақыттық динамикасы және көздің ұзақ уақыт жабылуын анықтау мүмкіндігі негізінде бағаланды. Классификациялық метрикаларды толық бағалау болашақ зерттеулерде эталондық кадрлық разметкасы бар кеңейтілген тестілік деректер жиынтығын пайдалану арқылы жүргізілетін болады.

Алынған нәтижелер классикалық компьютерлік көру әдістеріне негізделген модельдің мобильді құрылғыларда тиімді жұмыс істейтінін көрсетті. Haar Cascade, Dlib және EAR көрсеткіштерін біріктіріп пайдалану жүргізушінің көз күйін, бет ерекшеліктерін және бас қалпын нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Жүйенің негізгі артықшылығы есептеу ресурстарын аз тұтынуы және арнайы аппараттық жабдықты қажет етпеуі болып табылады.

Кесте 1 – Эксперименттік деректер жиынтығының сипаттамасы

Параметр	Мәні
Бейнежазбалар саны	12
Жалпы ұзақтығы	≈3 сағат
Жалпы кадр саны	≈18 000
Параметрлерді баптау кадрлары	12 000
Тестілеу кадрлары	6 000
Қатысушылар саны	7
Жас аралығы	21-46 жас
Көзілдірік пайдаланушылар	3
Орташа өңдеу жылдамдығы	28 FPS

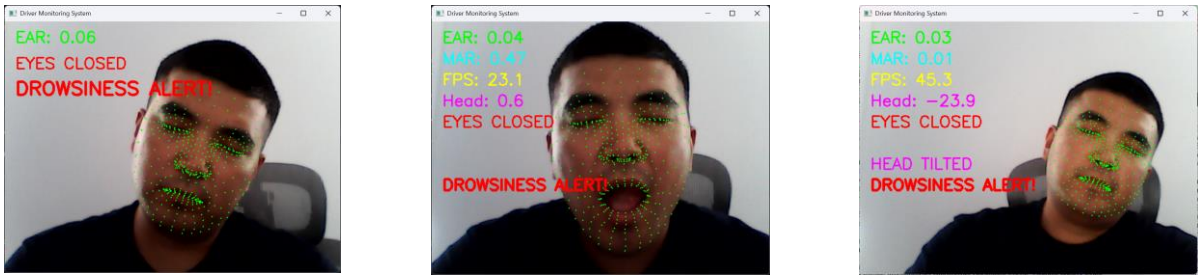
Жүргізушінің бет ерекшеліктерін, көз күйін және бас қалпын талдау нәтижесінде жүйе қауіпті жағдайларды анықтауға мүмкіндік береді. Алынған көрсеткіштер жүргізушінің шаршау деңгейін, назардың төмендеуін және ұйқышылдық белгілерін бағалау үшін пайдаланылды. Эксперимент барысында көздің ұзақ уақыт жабылуы, жыпылықтау жиілігінің өзгеруі және бастың еңкею бұрышы жүргізушінің шаршауының негізгі белгілері ретінде қарастырылды.

Анықталған көрсеткіштер жүргізушінің шаршауы, назардың төмендеуі және ұйқышылдық сияқты қауіпті жағдайларды айқындауға мүмкіндік береді. Мұндай күйлер көлік құралын басқару қауіпсіздігіне теріс әсер етіп, жол-көлік оқиғаларының туындау ықтималдығын арттыруы мүмкін. Ұсынылған модель арқылы анықталатын негізгі көрсеткіштер мен олардың шекті мәндері 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2 – Жүргізуші күйін анықтау нәтижелері

Анықталатын белгі	Бақылау параметрі	Шекті мән	Нәтиже
Ұйқышылдық	EAR	EAR < 0,22	Анықталды
Ұзақ көз жабылуы	Кадрлар саны	48 кадр	Анықталды
Бас еңкеюі	Head angle	|angle| >20°	Анықталды
Есінеу	Ауыз ашылуы	≥ 2.5 с	Анықталды
Ауыздың кең ашылуы	MAR	MAR > 0,60	Анықталды
Нақты уақыттағы жұмыс	FPS	≥25 FPS	28 кадр/с

Жүргізушінің ұйқышылдық белгілерін анықтау нәтижесі 5-суретте көрсетілген. Суреттен 4 жүргізушінің көздерінің ұзақ уақыт жабық болуы және бастың еңкеюі байқалады, бұл оның шаршау күйіне ауыса бастағанын көрсетеді.



Сурет 4 – Жүргізушінің ұйқышылдық күйін анықтау нәтижесі

Эксперименттік зерттеулер барысында EAR көрсеткіші жүргізушінің көзінің ашық және жабық күйін тиімді ажыратқаны анықталды. Көздің жабылу ұзақтығы артқан сайын EAR мәні белгіленген шекті деңгейден төмендеп, жүйе жүргізушінің шаршау жағдайын тіркейді. Бұл тәсіл жалған анықтаулар санын азайтып, жүйенің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Жүргізушінің бет ерекшеліктерін анықтау үшін қолданылған Haar Cascade және Dlib алгоритмдері нақты уақыт режимінде тұрақты жұмыс көрсетті. Бет аймағы мен көз координаттары дұрыс анықталған жағдайда жүйе көздің ашық және жабық күйін тұрақты түрде ажыратып, шаршау мен ұйқышылдықтың ықтимал белгілерін анықтауға мүмкіндік береді. Жүйенің классификациялық дәлдігі арнайы эталондық белгілеу негізінде сандық түрде бағаланбағандықтан, алынған нәтижелерді «жоғары дәлдік» ретінде сипаттау орнына нақты

уақыттағы жұмыс өнімділігі және көз күйінің уақыттық динамикасын анықтау қабілеті негізге алынды. Сонымен қатар бет нүктелерін бақылау жүргізушінің бас қалпының өзгерістерін бақылауға мүмкіндік береді [6, 11, 14].

Ұсынылған әдістің шектеулері. Ұсынылған модельдің жұмыс нәтижелері қоршаған орта жағдайлары мен бейнекамераның орналасуына тәуелді болуы мүмкін. Атап айтқанда, төмен жарықтандыру, беттің ішінара көлеңкеленуі, көзілдіріктің болуы, жүргізушінің бетінің камерадан шамадан тыс бұрылуы немесе бетінің ішінара жабылуы бет нүктелерін анықтау және EAR көрсеткішін есептеу тұрақтылығына әсер етуі мүмкін. Сонымен қатар, камераның орналасуы мен көру бұрышы өзгерген жағдайда бас қалпын бағалау нәтижелерінде ауытқулар пайда болуы ықтимал. Ұсынылған модель классикалық компьютерлік көру әдістеріне негізделгендіктен, күрделі сыртқы жағдайларда оның тұрақтылығын арттыру үшін қосымша бейімдеу және кеңейтілген эксперименттік тексеру қажет. Болашақ зерттеулерде әртүрлі жарықтандыру деңгейлері, камераның орналасуы және жүргізушінің бет қалпы бойынша кеңейтілген деректер жиынтығын пайдалану жоспарланады.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, бейнеокулография (eye-tracking) әдістерін қолдану жүргізушінің көз қозғалыстарын бақылаудың тиімді тәсілі болып табылады [7]. Көз қозғалыстары мен жыпылықтау жиілігін талдау жүргізушінің назар деңгейін бағалауға және қауіпті жағдайларды ерте кезеңде анықтауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер классикалық компьютерлік көру әдістерінің жүргізуші жағдайын мониторингтеу міндеттерін шешуде тиімді екенін көрсетті. Haar Cascade, Dlib және EAR көрсеткіштерін біріктіріп қолдану нақты уақыт режимінде жұмыс істейтін, есептеу ресурстарын аз қажет ететін және мобильді құрылғыларда іске асыруға болатын жүргізуші мониторингі жүйесін құруға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, жүргізілген зерттеу нәтижелері ұсынылған әдістің жүргізушінің шаршау белгілерін анықтауда практикалық тұрғыдан тиімді екенін және оны интеллектуалды көлік жүйелерінде қолдануға болатынын дәлелдейді.

Қорытынды

Осы жұмыста жүргізушінің жағдайын нақты уақыт режимінде бақылауға арналған классикалық компьютерлік көру әдістеріне негізделген мониторинг жүйесінің моделі ұсынылды. Жүйені әзірлеу барысында жүргізушінің бет-әлпетін, көз күйін және бас қалпын анықтауға мүмкіндік беретін Haar Cascade, Dlib және Eye Aspect Ratio (EAR) әдістері қолданылды. Ұсынылған алгоритм бейнеағыннан алынған кескіндерді өңдеу арқылы жүргізушінің ұйқышылдық және шаршау белгілерін анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері көздің жабылу ұзақтығын, жыпылықтау жиілігін және бастың кеңістіктегі орналасуын талдау жүргізушінің қауіпті жағдайларын анықтаудың тиімді көрсеткіштері екенін көрсетті. Сонымен қатар, кескіндерді алдын ала өңдеу және кадрлар санын бейімдеп басқару тәсілдері жүйенің мобильді құрылғыларда нақты уақыт режимінде жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

Ұсынылған модель жүргізушінің шаршауын ерте кезеңде анықтауға және жол-көлік оқиғаларының алдын алуға бағытталған интеллектуалды жүргізуші мониторингі жүйелерін құру үшін негіз бола алады. Болашақта зерттеу шеңберінде жүйенің дәлдігін арттыру мақсатында машиналық оқыту және нейрондық желілер әдістерін енгізу, сондай-ақ әртүрлі жарықтандыру және пайдалану жағдайларында эксперименттік зерттеулер жүргізу жоспарлануда.

Әдебиеттер тізімі

1. Soo S. Object Detection Using Haar-Cascade Classifier / S. Soo // Institute of Computer Science, University of Tartu. – 2014. – Vol. 2, № 3. – P. 1-12.
2. Kazemi V. One Millisecond Face Alignment with an Ensemble of Regression Trees / V. Kazemi, J. Sullivan // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2014. – P. 1867-1874.
3. Dalal N. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection / N. Dalal, B. Triggs // 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05). – San Diego, USA, 2005. – Vol. 1. – P. 886-893. https://doi.org/10.1109/CVPR.2005.177.
4. Bradski G. The OpenCV Library / G. Bradski // Dr. Dobb's Journal of Software Tools. – 2000. – Vol. 25, № 11. – P. 120-125.

5. Driver Inattention Monitoring System for Intelligent Vehicles: A Review / Y. Dong et al // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2011. – Vol. 12, № 2. – P. 596-614.
6. Sikander G. Driver Fatigue Detection Systems: A Review / G. Sikander, S. Anwar // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2019. – Vol. 20, № 6. – P. 2339-2352.
7. Salvucci D.D. Identifying Fixations and Saccades in Eye-Tracking Protocols / D.D. Salvucci, J.H. Goldberg // Proceedings of the 2000 Symposium on Eye Tracking Research & Applications. – 2000. – P. 71-78.
8. Hu S. Driver Fatigue Detection Based on Eye State Analysis and Deep Learning / S. Hu, Y. Li X. Wang // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12, № 15. – P. 7654.
9. Real-Time Driver Drowsiness Detection for Embedded Systems Using Model Compression of Deep Neural Networks / B. Reddy et al // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2017. – P. 121-128.
10. Kumar A. Driver Drowsiness Monitoring System Using Visual Behaviour and Machine Learning / A. Kumar, R. Patra // 2018 IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE). – IEEE, 2018. – P. 339-344.
11. Advancements in the Intelligent Detection of Driver Fatigue and Distraction: A Comprehensive Review / S. Fu et al // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14, № 7. – Article 3016.
12. Khan M.Q. Gaze and Eye Tracking: Techniques and Applications in ADAS / M.Q. Khan, S. Lee // Sensors. – 2019. – Vol. 19, № 24. – Article 5540.
13. Mobile-Based Kernel-Fuzzy-C-Means-Wavelet for Driver Fatigue Prediction with Cloud Computing / B.G. Lee et al // IEEE Sensors Conference. – 2014. – P. 1236-1239.
14. A Real-Time Driving Drowsiness Detection Algorithm with Individual Differences Consideration / F. You et al // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 179396-179408.
15. Deep Learning-Based Computer Vision for Surveillance in ITS: Evaluation of State-of-the-Art Methods / J. Xie et al // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2021. – Vol. 70, № 4. – P. 3027-3042.
16. Predicting the Driver's Focus of Attention: The DR(eye)VE Project / A. Palazzi et al // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2018. – Vol. 41, № 7. – P. 1720-1733.
17. On Creating Vision-Based Advanced Driver Assistance Systems / M. Nieto et al // IET Intelligent Transport Systems. – 2015. – Vol. 9, № 1. – P. 59-66.
18. Rahman A. Computer Vision-Based Approach to Detect Fatigue Driving and Face Mask for Edge Computing Device / A. Rahman, M.B.H. Hriday, R. Khan // Heliyon. – 2022. – Vol. 8, № 10.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (ЖТН AP25795477 Жасанды интеллект әдістерінің негізінде нақты уақыт режимінде жүргізушінің жағдайын бақылаудың интеллектуалды цифрлық жүйесін әзірлеу»).

Б.С. Смақанов[1], И.М. Увалиева[1]*, А.К. Шайханова[2]
[1]Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19
[2]Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2
*e-mail: s.bauyrzhan.10@gmail.com

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

В статье представлена модель интеллектуальной системы мониторинга состояния водителя в режиме реального времени, основанная на классических методах компьютерного зрения. Целью исследования является разработка эффективного алгоритма автоматического обнаружения признаков усталости, сонливости и снижения внимания водителя на основе анализа лица, состояния глаз и положения головы. Для обнаружения лица и глаз использовались классификаторы Haar Cascade, для определения ключевых точек лица – алгоритмы библиотеки Dlib, а оценка состояния глаз осуществлялась с использованием показателя Eye Aspect Ratio (EAR). Дополнительно анализировались углы наклона и поворота головы, позволяющие выявлять признаки

снижения концентрации внимания. Алгоритм реализован с использованием библиотеки OpenCV и языка программирования Python и протестирован на мобильном устройстве под управлением операционной системы Android. Экспериментальные исследования выполнены на наборе видеоданных общей продолжительностью около трех часов, включающем различные условия освещения, повороты головы и наличие очков у участников. Полученные результаты показали, что предложенная система обеспечивает обработку видеопотока со средней скоростью 28 кадров в секунду и позволяет эффективно выявлять признаки усталости водителя в режиме реального времени. Использование классических методов компьютерного зрения обеспечивает невысокие вычислительные затраты, стабильную работу на мобильных устройствах и отсутствие необходимости в специализированном аппаратном обеспечении. Разработанная модель может быть использована в интеллектуальных транспортных системах, системах помощи водителю и комплексах повышения безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: *мониторинг состояния водителя, компьютерное зрение, Haar Cascade, Dlib, Eye Aspect Ratio, обнаружение усталости, OpenCV.*

B.S. Smakanov[1], I.M. Uvaliyeva[1]*, A.K. Shaikhanova[2]
[1]D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
19 Serikbayev St., Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University,
2 Satbayev St., Astana, Republic of Kazakhstan
*e-mail: s.bauyrzhan.10@gmail.com

DEVELOPMENT OF A DRIVER STATE MONITORING MODEL BASED ON CLASSICAL COMPUTER VISION METHODS

This paper presents a real-time driver state monitoring model based on classical computer vision techniques. The primary objective of the study is to develop an algorithm for detecting fatigue, drowsiness, and reduced attention by analyzing facial features, eye state, and head pose. The proposed system employs Haar Cascade classifiers for face and eye detection, Dlib facial landmark detection for extracting facial feature points, and the Eye Aspect Ratio (EAR) metric for estimating eye openness and detecting prolonged eye closure. In addition, head orientation and tilt are analyzed as supplementary indicators of reduced attention and fatigue-related states. The algorithm was implemented using the OpenCV library and the Python programming language and evaluated on an Android-based mobile device. Experimental studies were conducted using approximately three hours of video recordings collected under different lighting conditions, head orientations, and with participants wearing glasses. Experimental results showed that the proposed system processes the video stream at an average speed of 28 frames per second and can detect prolonged eye closure and other fatigue-related indicators in real time. The use of classical computer vision methods provides low computational complexity and enables implementation on mobile devices with limited hardware resources. The obtained results demonstrate the practical applicability of the proposed approach for real-time driver state monitoring. The developed model can serve as a basis for driver assistance systems, intelligent transportation systems, and other safety-oriented applications.

Key words: *driver state monitoring, computer vision, Haar Cascade, Dlib, Eye Aspect Ratio, fatigue detection, OpenCV.*

Авторлар туралы мәліметтер

Бауыржан Серікқанұлы Смақанов – PhD, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: bauka.10.10@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4343-0463.

Индира Махмутовна Увалиева* – PhD, қауымдастырылған профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: iuvalieva@ektu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2117-5390.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова – PhD, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Сведения об авторах

Бауыржан Серікқанұлы Смақанов – PhD, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: bauka.10.10@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4343-0463.

Индира Махмутовна Увалиева* – PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: iuvalieva@ektu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2117-5390.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова – PhD, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Information about the authors

Bauyrzhan Smakanov – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: bauka.10.10@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4343-0463.

Indira Uvaliyeva* – PhD, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: iuvalieva@ektu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2117-5390.

Aigul Shaikhanova – PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Редакцияға енуі 02.06.2026
Өңдеуден кейін түсуі 19.08.2026
Жариялауға қабылданды 25.08.2026

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-21

IRSTI: 20.53.19

I. Bainazarova[1], Zh. Umarova[1]*, Yu. Jusoh[2], Zh. Iztayev[1], S. Botayeva[3]
[1]South Kazakhstan Research University, Tauke Khan Avenue, 5, Shymkent, Kazakhstan
[2]Universiti Putra Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia
[3]Tashenev University, Konayev Avenue, 16, Shymkent, Kazakhstan
*e-mail: Zhanat-u@mail.ru

CONTEXT-DEPENDENT TRAJECTORY FORECASTING FOR AUTONOMOUS TRANSPORT SYSTEMS USING HYBRID GRAPH AND TRANSFORMER NEURAL NETWORKS

Abstract: *Trajectory forecasting is a critical component of autonomous transport systems because it supports conflict assessment and safe motion planning in dynamic road environments. This study proposes a hybrid forecasting architecture that combines adaptive graph-based modeling of local agent interactions with a transformer module that encodes the global scene context. The model was evaluated on the Argoverse 2 Motion Forecasting and Waymo Open Motion Dataset benchmarks using ADE, FDE, Miss Rate, minADE, and minFDE, together with analyses of robustness, interaction density, and inference time. On Argoverse 2, the proposed model reduced ADE from 1.21 to 1.17, FDE from 2.81 to 2.69, and Miss Rate from 0.25 to 0.23 compared with Motion Transformer. On Waymo, the improvement was smaller but consistent: ADE decreased from 1.58 to 1.53 and FDE from 3.82 to 3.69. The largest gain was observed in high-density interaction scenes, where ADE decreased from 1.52 to 1.45. These results indicate that adaptive interaction weighting improves forecasting robustness in complex multi-agent road scenarios, although it increases computational cost.*

Key words: *autonomous transport; trajectory forecasting; deep learning; graph neural networks; transformers; multi-agent interaction; computer vision; motion prediction.*

Introduction

Autonomous transport systems operate in environments where the future trajectory of one road user is rarely independent of surrounding agents, road geometry, and potential motion conflicts. A forecasting error may propagate to the planning layer and lead to an unsafe maneuver. For this reason, trajectory forecasting remains a central component of autonomous driving. Recent methods have evolved from recurrent models and social pooling approaches to graph- and attention-based architectures that model inter-agent relationships and scene-level context [1-5]. A remaining problem is the context-dependent selection of relevant interactions. In many existing models, neighboring agents are processed either through a predefined graph structure or through a general attention mechanism. Such representations do not always distinguish between agents that genuinely affect the future trajectory and agents whose presence has little influence on the forecast. In practice, interaction relevance depends on several factors at once: distance, relative velocity, heading

©I. Bainazarova, Zh. Umarova, Yu. Jusoh, Zh. Iztayev, S. Botayeva, 2026