

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ПРАЦІ ВОДІЇВ В УМОВАХ КРИТИЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ

Георгієва Я. В., Гриньова О.Є.

e-mail: yana.heorhiieva@nure.ua, olena.hrynova@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ШІ
м. Харків, Україна

This study addresses AI-driven optimization of driver labor regimes amidst critical instability. Standard AETR compliance is hindered by wartime infrastructure damage and curfews. We propose a system integrating Computer Vision (PERCLOS) with CAN-bus data fusion for cross-modal fatigue validation. Utilizing Edge Computing ensures operational resilience during power outages and communication blackouts. Predictive analytics determine Safe Hubs for rest, accounting for external risks and strict timing. This approach transforms passive monitoring into an adaptive assistance system, significantly enhancing logistics stability and driver safety in high-risk environments.

Безпека дорожнього руху в секторі комерційних перевезень безпосередньо залежить від суворого дотримання режиму праці та відпочинку. Згідно з нормами ЄУТР [1], робочий цикл водія складає 15 годин, з яких 9 годин відведено на керування, а кожні 4,5 години руху мають перериватися 45-хвилинним відпочинком. Проте в умовах воєнного стану ці норми вступають у конфлікт із зовнішніми обмеженнями: затримками на блокпостах, руйнуванням мостів та комендантською годиною. Стандартні тахографи лише фіксують порушення, тоді як інтелектуальні системи мають їх запобігати.

Трансформація пасивного контролю в активну інтелектуальну допомогу потребує впровадження систем DMS (Driver Monitoring System). Запропонована архітектура базується на використанні інфрачервоних камер та ШІ для аналізу біометрії. Інтелектуальна система допомоги водієві може бути реалізована через наступні модулі.

Модуль динамічного планування (Safe Hubs). Система ШІ предиктивно розраховує час до настання ліміту або комендантської години, інтегруючи в маршрут безпечні локації для відстою, що мають автономне живлення. Вибір локацій базується на багатокритеріальному аналізі, що включає не лише часову доступність, а й наявність автономних джерел живлення (генераторів) та засобів супутникового зв'язку, що критично для координації з диспетчерським центром у зонах повного блекауту.

Модуль моніторингу біометрії водія (Computer Vision). Використання інфрачервоних камер для аналізу ступеня закриття повік (PERCLOS) [2] та мікрорухів голови. Це дозволяє детектувати втому на етапі її виникнення, що є критичним при тривалих затримках у рейсі.

Модуль динамічного розрахунку залишку часу: розрахунок виконується за формулою:

$$T_{rem} = T_{shift} - (T_{drive} + T_{work} + T_{rest}),$$

де T_{shift} позначає максимально допустиму тривалість зміни (15 годин). Показник T_{drive} відображає фактичний час перебування за кермом, який згідно з нормативами не повинен перевищувати 9 годин. Параметр T_{work} включає 6 годин, відведених на супутні виробничі завдання, а T_{rest} фіксує тривалість перерв. Використання цієї формули в алгоритмах штучного інтелекту дозволяє системі в реальному часі віднімати фактичні витрати часу від встановленого ліміту.

Ключовим аспектом живучості системи є застосування Edge Computing. Оскільки воєнний стан супроводжується блекаутами та нестабільним зв'язком, обробка відеопотоку та перерахунок маршруту може здійснюватися локально на бортовому пристрої водія. Це забезпечує безперервний контроль безпеки навіть за повної відсутності зв'язку з хмарними серверами.

Особливу увагу при розробці систем підтримки водіїв на базі ШІ слід приділити інтеграції з геоінформаційними системами (ГІС). Це дозволяє не просто фіксувати час керування, а й будувати предиктивні моделі руху. Наприклад, якщо алгоритм бачить, що попереду затор тривалістю понад 40 хвилин, він може запропонувати водієві зробити обов'язкову 45-хвилинну перерву раніше, щоб уникнути порушення режиму через непередбачувані зупинки в дорозі.

Технічна архітектура такої системи базується на зборі даних з датчиків CAN-шини автомобіля та відеопотоку з внутрішньої камери кабіни. Нейронна мережа типу CNN обробляє кадри в реальному часі (PERCLOS), визначаючи ступінь закриття повік та частоту позіхань. Поєднання цих біометричних даних із математичною формулою розрахунку залишку часу T_{rem} дозволяє створити комплексний профіль безпеки.

PERCLOS може давати хибнопозитивні результати (водій просто схилив голову, щоб звіритись із картою). Якщо дані з датчика кута повороту керма показують мікроколивання або, навпаки, повну відсутність корекції траєкторії, а датчик педалі газу фіксує нестабільне натискання – система отримує неспростовне підтвердження стану мікросну або критичної втоми. Це перетворює припущення на математично обґрунтований факт.

Для розрахунку залишку часу до обов'язкової зупинки нам потрібні не просто GPS-координати, які можуть бути нестабільними через засоби РЕБ або блеаути. CAN-шина надає прямі дані з одометра та контролера двигуна. Це дозволяє системі точно знати, коли автомобіль перебував у режимі T_{drive} , а коли – у режимі T_{work} , навіть якщо водій забув перемкнути режим на тахографі.

В умовах критичної нестабільності водій може намагатися «перемогти» втоми, що проявляється у різких прискореннях та

гальмуваннях. Дані CAN-шини про оберти двигуна, тиск у гальмівній системі та миттєву швидкість дозволяють алгоритму ідентифікувати цей «стресовий» профіль (аномальний) водіння, що є передвісником когнітивного або фізичного виснаження.

Алгоритм вибору безпечної зупинки не може бути ефективним без знання залишку палива та технічного стану транспортного засобу. Якщо система планує зупинку в хабі через 40 км, але дані CAN-шини повідомляють про критично низький рівень пального або перегрів двигуна, інтелектуальний агент повинен миттєво переглянути маршрут.

Оскільки робиться ставка на локальну обробку даних (Edge Computing), CAN-шина є найнадійнішим джерелом інформації у разі повної відсутності зв'язку (Offline mode). Вона дозволяє внутрішньому алгоритму продовжувати логічне обчислення логістичних вікон, спираючись на реальні показники руху автомобіля, а не на застарілу хмарну інформацію.

Отже, інтеграція даних CAN-шини дозволяє реалізувати крос-модальну валідацію психофізіологічного стану водія, де показники телеметрії транспортного засобу виступають об'єктивним корелятом біометричних даних PERCLOS.

Окрім біометрії, важливу роль відіграють гібридні алгоритми динамічного планування [3], які синхронізуються з хмарними платформами управління автопарком. Такі алгоритми автоматично перевіряють бази даних спеціалізованих стоянок TIR та АЗС на маршруті, заздалегідь бронюючи місця для відпочинку саме тоді, коли прогнозований час водіння наближається до ліміту. Це виключає ситуації, коли водій змушений порушувати режим через відсутність вільних місць для паркування після чотирьох з половиною годин проїзду.

Впровадження інтелектуальної системи адаптивного управління дозволяє трансформувати логістичні ланцюги зі статичної структури у гнучку динамічну систему. Використання агентних технологій та Edge Computing знижує ризик порушення комендантського режиму, дозволяє інтелектуально керувати режимами праці водіїв в умовах критичної нестабільності у критичних ситуаціях.

Список використаних джерел:

1. Протокол ЄУТР: Європейська угода щодо роботи екіпажів транспортних засобів.
2. Wierwille W. W., Ellsworth P. S. Evaluation of Driver Drowsiness Detection Algorithms using PERCLOS // National Highway Traffic Safety Administration. – 1994.
3. Industry 4.0 vs. Industry 5.0: co-existence, transition, or a hybrid / M. Golovianko et al. Procedia computer science. 2023. Vol. 217. P. 102–113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.206>.