

УДК 004.89:614

РОЗУМНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РОБОЧОГО СТАНУ КОРИСТУВАЧА НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ (ANTI- FATIGUE SYSTEM)

Луценко М.А.

mykhailo.lutsenko@nure.ua

Науковий керівник – Хаханов І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, АПОТ
Харків, Україна

The paper presents the design and implementation of an intelligent real-time user fatigue monitoring system based on computer vision. The system uses a standard webcam and an ultrasonic distance sensor to track two key ergonomic parameters: eye blink frequency as an indicator of cognitive fatigue, and the distance between the user and the monitor as a posture quality metric. When critical thresholds are exceeded – indicating drowsiness or incorrect posture – the system triggers a visual alert by changing the color of a desk LED strip connected via a microcontroller. The proposed solution is low-cost, non-intrusive, and suitable for integration into home or office workstations to reduce the risk of occupational fatigue-related health disorders.

Тривала робота за комп'ютером є невід'ємною частиною сучасного професійного та освітнього середовища. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, більше 60% офісних працівників і студентів щоденно проводять за екраном понад 6 годин, що призводить до розвитку синдрому комп'ютерного зорового напруження, хронічної втоми та порушень опорно-рухового апарату. Одним із ключових факторів ризику є відсутність своєчасного сигналізування про настання критичного рівня втоми та некоректну поставу під час роботи.

Існуючі комерційні рішення у сфері ергономічного моніторингу переважно є дорогими спеціалізованими пристроями або вимагають встановлення додаткового обладнання. Натомість масова доступність веб-камер і сучасних бібліотек комп'ютерного зору відкриває можливість реалізувати ефективну систему моніторингу втоми на базі типового персонального комп'ютера без значних фінансових витрат. Застосування бібліотеки MediaPipe від Google для відстеження контрольних точок обличчя в реальному часі є перспективним підходом, що поєднує високу точність детекції з можливістю роботи на звичайному споживчому обладнанні без використання спеціалізованих GPU-прискорювачів.

Таким чином, розробка доступної інтелектуальної системи, здатної в автоматичному режимі відстежувати ознаки втоми та некоректної постави з наданням миттєвого фізичного зворотного зв'язку користувачу, є актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого матиме

позитивний ефект на здоров'я та продуктивність широкого кола користувачів.

Метою роботи є розробка та апаратно-програмна реалізація інтелектуальної системи моніторингу робочого стану користувача комп'ютера, яка в режимі реального часу аналізує рівень втоми та якість постави і надає негайний фізичний сигнал зворотного зв'язку через зміну кольору підсвітки робочого столу.

Система складається з двох апаратних компонентів та програмного ядра обробки даних. Апаратна частина включає стандартну USB-веб-камеру (роздільна здатність не менше 720p, частота кадрів 30 fps) та ультразвуковий датчик відстані HC-SR04, підключений до мікроконтролера Arduino Uno. Мікроконтролер також керує трьома групами світлодіодів на макетній платі: зелені діоди індикують нормальний стан, жовті – попередження про початок втоми або незначне відхилення постави, червоні – критичний стан, що потребує негайного реагування користувача.

Програмне ядро реалізовано мовою Python з використанням бібліотеки MediaPipe Face Mesh, яка забезпечує детекцію 468 тривимірних лицьових ланцюжків у реальному часі. Для оцінки рівня втоми використовується метрика Eye Aspect Ratio (EAR) – відношення вертикальних відстаней між точками повік до горизонтального діаметру ока. Зниження EAR нижче порогового значення (0.25) протягом більше 2 секунд інтерпретується як ознака засинання або критичної втоми. Частота кліпання очей (в нормі 15-20 разів на хвилину) також є діагностичною ознакою: різке зниження цього показника свідчить про підвищену концентрацію уваги, пов'язану з перевтомою зорового апарату.

Паралельно ультразвуковий датчик відстані фіксує положення голови користувача відносно монітора з частотою 10 вимірювань на секунду. Рекомендована ергономічна відстань до монітора складає 50-70 см. При скороченні відстані менш ніж до 40 см система реєструє порушення постави і формує сигнал сповіщення. Обидва потоки даних – від камери та датчика – обробляються асинхронно в окремих потоках виконання (Python threading), що забезпечує стабільну частоту обробки відеопотоку без затримок через операції зчитування даних з послідовного порту мікроконтролера.

Логіка прийняття рішень реалізована як скінченний автомат із трьома станами: «норма», «попередження» та «критичний стан». Переходи між станами визначаються на основі зваженої комбінації показників EAR, частоти кліпання та відстані до монітора з урахуванням часових фільтрів для запобігання хибних спрацьовувань від короточасних відхилень. При переході до стану «попередження» мікроконтролер отримує команду через серійний порт та перемикає підсвітку на жовтий колір; при досягненні критичного стану – на червоний з одночасним звуковим сигналом через п'єзодинамік.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному застосуванні бібліотеки MediaPipe Face Mesh для одночасного моніторингу двох ергономічних параметрів – рівня втоми за показником EAR та якості постави за відстанню до монітора – з реалізацією фізичного зворотного зв'язку через апаратний LED-індикатор. На відміну від існуючих рішень, що покладаються переважно на аналіз лише одного параметра або потребують спеціалізованого обладнання (інфрачервоні камери, окулографи), запропонована система використовує виключно доступні споживчі компоненти із загальною вартістю до 15 доларів США.

Практична значимість полягає у можливості широкого впровадження системи як у домашніх робочих місцях, так і в навчальних аудиторіях та офісних просторах. В освітньому контексті система може інтегруватися із платформами аналізу поведінки студентів, доповнюючи аналіз емоційного стану даними про фізіологічну втому [1, 2]. Відкритий програмний код системи та доступність апаратних компонентів роблять її придатною для подальшого розвитку дослідницькою спільнотою та адаптації під конкретні виробничі або навчальні умови.

У роботі розроблено та реалізовано інтелектуальну систему моніторингу робочого стану користувача комп'ютера, що поєднує методи комп'ютерного зору на базі MediaPipe Face Mesh із апаратним зворотним зв'язком через RGB-підсвітку робочого столу. Система забезпечує безперервний аналіз частоти кліпання очей та відстані до монітора в режимі реального часу, не вимагаючи спеціалізованого обладнання понад стандартну веб-камеру та недорогий ультразвуковий датчик.

Реалізований триступеневий механізм сповіщення дозволяє своєчасно інформувати користувача про початок розвитку стану втоми або ергономічного порушення до досягнення критичного рівня, що сприяє формуванню здорових навичок роботи за комп'ютером. Перспективами подальшого розвитку системи є розширення переліку діагностичних параметрів (аналіз нахилу голови, частота мікрорухів), розробка мобільного застосунку для збору та аналізу статистики втоми за тривалі робочі сесії, а також інтеграція з платформами розумного офісу та освітніми системами управління навчанням.

Список використаних джерел:

1. Lugaresi C. et al. MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. Workshop on Computer Vision for AR/VR at CVPR. 2019.
2. Phyo C. N., Zin T. T., Tin P. Driver Drowsiness Detection System Using Eye Aspect Ratio. IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing. 2019. P. 1–6.
3. Hedge A., Morimoto S., McCrobie D. Effects of keyboard tray geometry on upper body posture and comfort. Ergonomics. 1999. Vol. 42. P. 1333–1349.