

FRI-2G.303-1-CCT1-04

A SYSTEM FOR MONITORING STUDENT ATTENTION THROUGH EYE TRACKING ⁴

Sezen Dermendzhiev, Eng

Department of Computer Systems and Technologies,
University of Ruse, Bulgaria
Tel.: +359 82 888 672
E-mail: sdermendzhiev@uni-ruse.bg

Prof. Georgi Krastev, DcS

Department of Computer Systems and Technologies,
University of Ruse, Bulgaria
Tel.: +359 82 888 672
E-mail: geork@uni-ruse.bg

Lilia Ilieva, PhD

Project "Ruse Research University". Intelligent cyberphysical systems and technologies for the generation and visualization of spatial objects and processes
University of Ruse, Bulgaria
Tel.: +359 82 888 672
E-mail: lilieva@uni-ruse.bg

***Abstract:** Attention represents a process of selectively focusing consciousness on certain stimuli, events, or thoughts while ignoring the rest. This work presents a system for assessing student attention during the learning process, based on eye-tracking technology using an ordinary webcam. This is a very relevant field, especially after the pandemic, when online learning became widespread. The system aims to provide teachers with objective information about the level of concentration and engagement of learners, thereby helping to improve the effectiveness of distance and in-person learning.*

***Keywords:** Attention, Assessment, Visual-based communication, Eye-tracking, Intelligent cyber-physical systems, Online learning*

ВЪВЕДЕНИЕ

Вниманието представлява процес на селективно фокусиране на съзнанието върху определени стимули, събития или мисли за сметка на игнориране на останалите (Dineva, 2015).

Човеко-машинният интерфейс представлява съвкупност от методи и средства, които определят начина, по който хората взаимодействат с компютърни системи и автоматизирани устройства. Сред различните подходи за взаимодействие, **визуално-базираната комуникация** предизвиква особено голям интерес в изследователската общност, поради своята естественост и интуитивност (Krastev, G., M. Andreeva, 2015; Krastev, G., V. Voinohovska, S. Tsankov, & V. Dineva, 2017; Krastev, G., V. Voinohovska, & Sv. Tsankov, 2016; Krastev, G., 2014; Krastev, G. & V. Dineva, 2015; Krastev, G. & V. Dineva, 2017)

С развитието на онлайн образованието възниква необходимост от инструменти, които позволяват мониторинг на вниманието и участието на студентите. Традиционните методи, като анкети или наблюдения, са субективни и трудоемки. Технологиите за проследяване на

⁴ The paper was presented on 24 October 2025 in section "Communication and Computer Technologies" with original title in Bulgarian: СИСТЕМА ЗА СЛЕДЕНЕ НА ВНИМАНИЕТО НА СТУДЕНТИТЕ ЧРЕЗ ПРОСЛЕДЯВАНЕ НА ПОГЛЕДА

погледа (gaze tracking) предлагат автоматизиран и ненатрапчив подход за анализ на визуалното поведение на обучаемите, което е пряко свързано с когнитивната ангажираност (Chen, J. & Epps, J., 2014; D'Mello, S. & Graesser, A., 2012).

Системите за следене на вниманието на студентите (student attention monitoring) са модерни инструменти, които анализират поведението и фокуса в реално време, особено в онлайн и хибридно образование. Те използват уеб камери за компютърно зрение, eye tracking и машинно обучение, за да откриват индикатори като мигане, посока на погледа, изражения на лицето и дори когнитивна натовареност (Paroutsaki, A. et al., 2016; Zhang, X. et al., 2015). Според актуални изследвания от 2025 г., тези системи подобряват ангажираността с до 20-30%, като помагат за персонализирани уроци и ранно откриване на умора или разсейване. В Китай, например, се тестват AI headbands, които проследяват мозъчна активност и сигнализируют на учители и родители в реално време.

Популярни софтуери и инструменти:

- Безплатни инструменти: WebGazer.js за пилотни проекти (open-source, лесен за интеграция) (WebGazer.js (n.d.)).
- Платени решения: RealEye.io или GazeRecorder за професионален анализ с heatmaps (RealEye (n.d.); GazeRecorder (n.d.)).

Настоящата публикация разглежда технология, която използва стандартна уеб камера (webcam) за проследяване на движението на очите (eye tracking), с фокус върху анализ на вниманието в образователния контекст. Това е много актуална област, особено след пандемията, когато онлайн обучението стана масово. Системата анализира къде гледат студентите (gaze point), колко време остават на определени части от екрана (fixation duration) и откриват признаци на разсейване или умора (напр. често мигане или mind wandering). Това помага на преподавателите да персонализират уроците, да откриват проблеми в ангажираността и да подобряват учебните материали.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Архитектура на системата

Предложената система използва уеб камера за заснемане на лицето на студента в реално време. Чрез алгоритми за откриване на лице и очи се определя посоката на погледа и честотата на мигане. Данните се анализират, за да се идентифицират периоди на разсейване, понижаване на концентрацията и продължителност на фокусиране върху екрана.

Архитектурата на система за следене на вниманието чрез проследяване на погледа в образователна среда включва основни компоненти, свързани с обработка на данни и интеграция на хардуер и софтуер (фиг. 1).

Основните модули са:

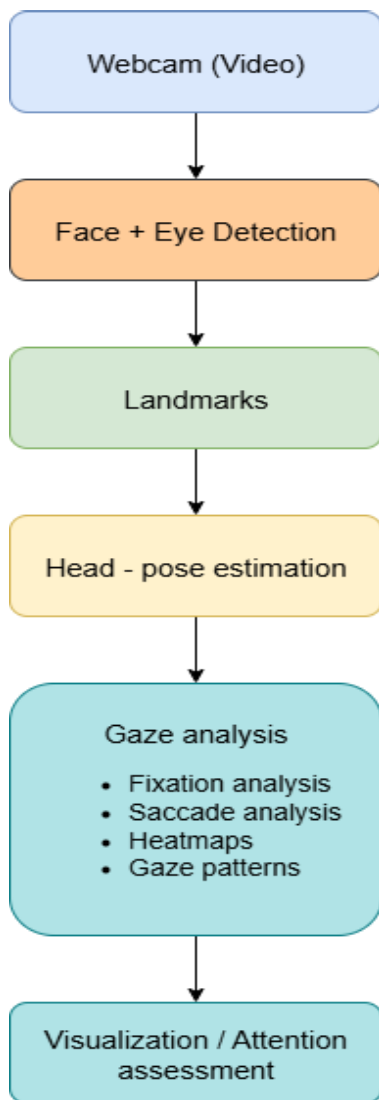
1. Уебкамера – улавя видеопоток на лицето на студента.
2. Детекция на лице и очи – намира лицето и очите във всеки кадър.
3. Landmarks – ключови точки на очите и лицето, включително ирис и зеница.
4. Head-pose estimation – ориентацията на главата, нужна за точна оценка на погледа.
5. Gaze analysis – количествена оценка на вниманието на студентите по време на учебни задачи. Това се постига чрез следните методи:

- Fixation analysis (анализ на фиксации) – Определя колко време студентът гледа конкретен елемент на екрана. По-дългите фиксации могат да показват концентрирано внимание, а кратките – разсеяност.
- Saccade analysis (анализ на бързи премествания на погледа между фиксации) – Тяхната честота или хаотичното движение на погледа могат да показват ниска концентрация.
- Heatmaps (топлинни карти) – Визуализация на зоните на екрана, които получават най-много внимание. Помага за идентифициране на области, които привличат или губят вниманието на студентите.

- Gaze patterns (шаблони на погледа) – Сравняване на траектории на погледа спрямо идеален или очакван модел. Позволява оценка дали студентът следи логиката на материала или пропуска важни елементи.

Метрики като fixation duration и saccade frequency се използват широко при анализа на когнитивните процеси (D'Mello, S. & Graesser, A., 2012), докато топлинните карти (heatmaps) визуализират разпределението на вниманието по екрана (Holmqvist, K. et al., 2011).

6. Визуализация / Оценка на вниманието – показване на резултатите за обучение и интерактивна обратна връзка.



Фиг. 1. Архитектура на системата за следене на вниманието на студентите чрез проследяване на погледа

Софтуерни инструменти

Разработеното програмно осигуряване е на Python и включва:

- OpenCV (Open Source Computer Vision Library) отворена библиотека за компютърно зрение и обработка на изображения, използвана за разработка на приложения, свързани с анализ на изображения, видео, машинно обучение и др.
- MediaPipe (open-source фреймуърк), разработен от Google, предназначен за обработка и анализ на мултимедийни данни (изображения, видео, аудио) в реално време. Той е особено популярен за задачи в областта на компютърното зрение и машинното обучение, като предоставя готови решения за разпознаване на обекти,

проследяване на движение, анализ на жестове и други. MediaPipe е оптимизиран за работа на различни платформи, включително мобилни устройства, десктоп системи и веб приложения.

- Scikit-learn (open-source библиотека) за машинно обучение на Python, предназначена за изграждане, обучение и оценка на модели за данни. Тя е една от най-популярните библиотеки за машинно обучение, благодарение на лесния си интерфейс и широкия набор от алгоритми. Scikit-learn е изградена върху NumPy, SciPy и Matplotlib, което я прави ефективна за работа с числови данни и визуализации.
- Tkinter се използва за създаване на интерфейс, който позволява на потребителя да стартира модел на Scikit-learn или да визуализира резултати. Tkinter е стандартна библиотека в Python за създаване на графични потребителски интерфейси (GUI). Тя е вградена в Python, което я прави лесно достъпна без нужда от допълнителна инсталация.

Получени резултати

Калибрирането на система за следене на вниманието чрез проследяване на погледа е ключова стъпка за постигане на точни и надеждни резултати. То представлява процесът на настройка и адаптация на хардуера и софтуера спрямо индивидуалните характеристики на потребителя и условията на работа.

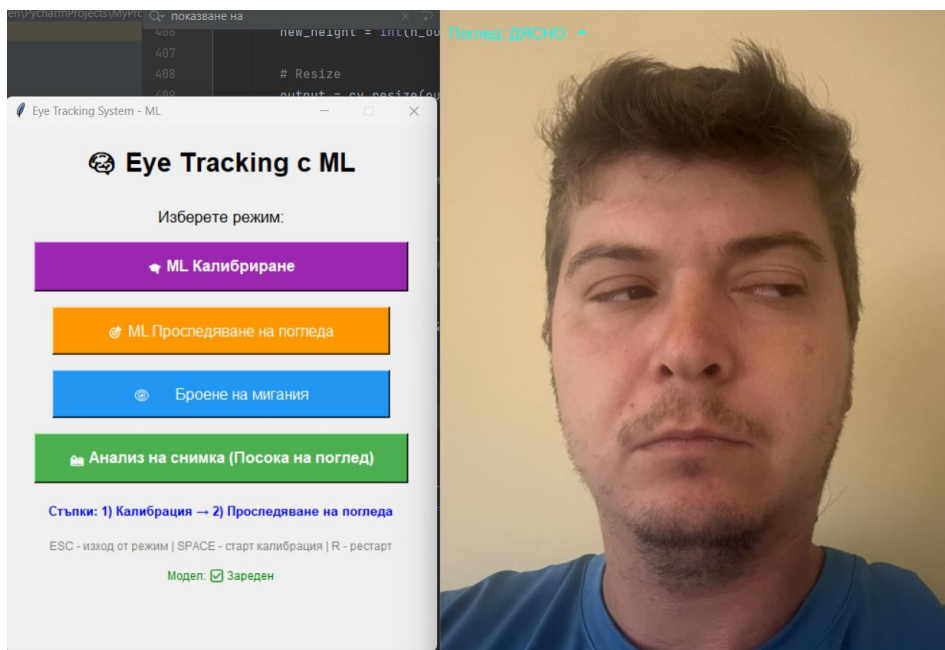
Основни етапи на калибриране:

- Потребителят застава в оптимална позиция — обикновено на разстояние 50-70 см от монитора.
- Софтуерът показва последователност от точки или образи на екрана, които потребителят трябва да гледа, като по този начин сензорът улавя конкретните движения и позициониране на очите.
- Системата анализира получените данни и изчислява индивидуалните характеристики на зрението и движение на очите, като коригира алгоритмите за по-точно проследяване на погледа.
- В някои случаи може да се наложи допълнително адаптиране при смяна на осветлението или позицията на потребителя.

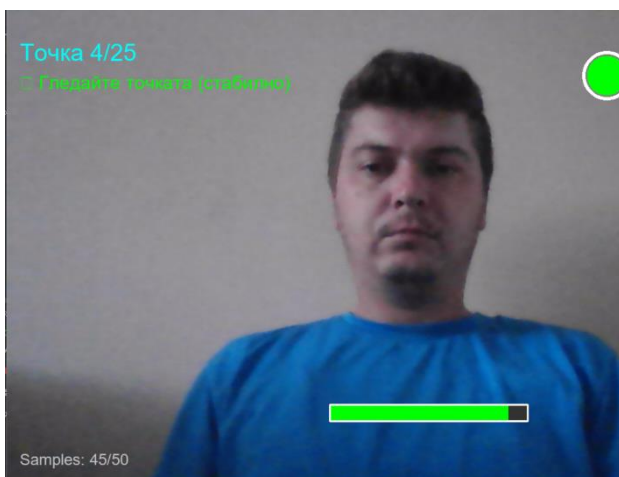
Калибрирането трябва да се извършва при всяка нова сесия с различен студент или при значителна промяна на условията, за да се избегнат грешки в данните и неточности (фиг. 3).

Добре калибрираната система гарантира, че следенето на погледа ще бъде прецизно и полезно за реална оценка на вниманието по време на учебни занятия или изпити. (EyeLogic Solutions (n.d.))

Проведените тестове демонстрират, че системите за проследяване на погледа в университетска среда са способни да оценяват вниманието, да предотвратяват измами и да подпомагат преподавателите в адаптирането на учебния процес към нуждите на студентите, като също така предоставят точни и количествени данни за анализа на учебните навици и когнитивните процеси (фиг. 2 и фиг. 4).



Фиг. 2. Тестове със снимка



Фиг. 3. Калибриране



Фиг. 4. Тестове в реално време

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработената система демонстрира потенциала на достъпните технологии за оценка на вниманието в образователна среда. Тя съчетава алгоритми за компютърно зрение с педагогически подходи за подобряване на учебния процес и взаимодействието между студент и преподавател. Тя може да се интегрира в платформи за електронно обучение и да служи като инструмент за подобряване на педагогическите стратегии чрез данни в реално време.

Разработената система позволява:

- Лектори и инструктори да могат да анализират кои части от учебния материал са най-трудни за концентрация.
- Системата може да се използва за интерактивна обратна връзка, показвайки на студента къде е разсеян.
- Индивидуализиране на учебния процес според нуждите и степента на ангажираност на всеки студент.
- Чрез натрупване на данни учебните материали и курсовете могат да се адаптират за по-добра ефективност.

БЛАГОДАРНОСТ

Този доклад се публикува с подкрепата на проект 2025-ФЕЕА-02 „Приложение на AI в различни професионални сфери: възможности, предизвикателства и етични въпроси“, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет „Ангел Кънчев“.

REFERENCES

Chen, J. & Epps, J. (2014). Using Gaze Behavior to Estimate Cognitive Load During Learning, in Proceedings of the ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications (ETRA).

Dineva, V. (2015). About validity of the diagnostic criteria for Computer Addiction and Dysfunctional Internet Use. Proceedings of University of Ruse, vol. 54, b. 6. 2., p. 74-78 (**Оригинално заглавие:** Динева, В. За валидността на диагностичните критерии при компютърна зависимост и дисфункционална употреба на Интернет. Научни трудове, т. 54, сер. 6. 2. Русенски университет, 2015, с. 74-78.)

D'Mello, S. & Graesser, A. (2012). Dynamics of Affective States During Complex Learning, Learning and Instruction, 22(2), pp. 145-157.

EyeLogic Solutions (n.d.) The Role of Eye Tracking in Learning and Educational Research. Available at URL: <https://www.eyelogicsolutions.com/blog-the-role-of-eye-tracking-in-learning-and-educational-research/> (Accessed: 30 September 2025).

GazeRecorder (n.d.) Available at URL: <https://gazerecorder.com/> (Accessed: 30 September 2025).

Holmqvist, K. et al. (2011). Eye Tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures. Oxford: Oxford University Press.

Krastev, G. (2014). Technical Solutions for Human-machine Interface via Analysis of Brain activity. Proceedings of University of Ruse, vol. 53, b. 3. 2., p. 54-58 (**Оригинално заглавие:** Кръстев, Г., Технически решения за човеко-машинен интерфейс чрез анализ на активността на мозъка. Научни трудове, т. 53, сер. 3. 2. Русенски университет, 2014, с. 54-58.)

Krastev, G. & Andreeva, M. (2015). A Software Tool for Experimental Study Leap Motion, International Journal of Computer Science & Information Technologies (IJCSIT), 7(6).

Krastev, G. & Dineva, V. (2015). Neurofeedback software. Communication with MindSet headset. Proceedings of University of Ruse, vol. 54, b. 3. 2., p. 47-51 (**Оригинално заглавие:** Кръстев, Г., В. Динева. Програмно осигуряване за неврофийдбек. Комуникация със слушалки MindSet. Научни трудове, т. 54, сер. 3. 2. Русенски университет, 2015, с. 47-51.)

Krastev, G. & Dineva, V. (2015). Visualization of brain waves generated by MindSet headset. Proceedings of University of Ruse, vol. 54, b. 3. 2., p. 62-66 (**Оригинално заглавие:** Кръстев, Г., В. Динева. Визуализация на мозъчни вълни получени от слушалки MindSet. Научни трудове, т. 54, сер. 3. 2. Русенски университет, 2015, с. 62-66.)

Krastev, G. & Dineva, V. (2017). Human-machine interface design with Leap Motion. Journal of the Union of Scientists Ruse, vol. 14, b. 1, p. 38-46 (**Оригинално заглавие:** Кръстев, Г., В. Динева. Човеко-машинен интерфейс с Leap Motion. Известия на съюза на учените, т. 14, сер. 1. Русе, 2017, с. 38-46.)

Krastev, G., Voinohovska, V. and Tsankov, S. (2016). Web Based Reality With Structure Sensor, International Journal of Computer Science and Technology (IJCSIT), 7(4), pp. 90-93.

Krastev, G., Voinohovska, V., Tsankov, S. and Dineva, V. (2017). Controlling a 2D Computer Game with a Leap Motion, IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), 19(6), pp. 81-93.

Papoutsaki, A. et al. (2016). 'WebGazer: Scalable Webcam Eye Tracking Using User Interactions', in Proceedings of the 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI).

RealEye (n.d.). Available at URL: <https://www.realeye.io/> (Accessed: 30 September 2025).

WebGazer.js (n.d.). Available at URL: <https://webgazer.cs.brown.edu/> (Accessed: 30 September 2025).

Zhang, X. et al. (2015). Appearance-Based Gaze Estimation in the Wild, in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).