

The developed system allows to check the validity of a passport, and also offers other opportunities - data storage, searching and disseminating reliable information about travelers.

#### References

1. O’Gorman, L. An overview of fingerprint verification technologies / L. O’Gorman // Inf. Secur. Tech. Rep. – 1999. – Vol. 4, No. 1. – P. 28–29.
2. Kalunga, J. Development of Fingerprint Biometrics Verification and Vetting Management System / J. Kalunga, S. Tembo // American Journal of Bioinformatics Research. – 2016. – Vol. 6(3). – P. 99-112.
3. Agnihotri, N. How to enroll and match fingerprint templates with Adafruit and R30X fingerprint scanner [Electronic resource] / N. Agnihotri. – Mode of access: <https://www.engineersgarage.com/arduino-adafruit-r30x-r307-fingerprint-scanner>. – Date of access: 20.02.2022.
4. Geddes, M. Arduino Project Handbook, Volume II / M. Geddes. – San Francisco: No Starch Press. – 2017. – 272 p.

УДК 655.1

## О ПРИМЕНИМОСТИ АЙТРЕКЕРОВ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО СЕГМЕНТА В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧАХ

Л.И. Давыдюк, Д.А. Костюк, А.А. Маркина

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,  
d.k@list.ru

*An analysis of the use of oculography-based effectiveness assessment of the human-machine interaction with modern oculographic devices (eye-trackers) of the consumer segment is presented. An overview of using such eye trackers to map the hit points of the user's gaze in usability research tasks is given, considering the issues of their performance and limitations.*

При взаимодействии с современным аппаратным и программным обеспечением зрение часто играет роль основного, а в ряде случаев и единственного канала восприятия информации. Изображение, формируемое на сетчатке светом, проходящим через зрачок, хрусталик и стекловидное тело, обрабатывается и распознается мозгом с помощью 24 базовых стереотипов – геометрических пиктограмм или геонов, из которых строятся все остальные объекты [1]. При этом четкое и детализированное зрение, обеспечиваемое центральной частью сетчатки, известной как макула или желтое пятно, охватывает крайне небольшую площадь, но на него отводится половина процессов обработки информации зрительной коры головного мозга. При этом четкое и детализированное зрение, обеспечиваемое центральной частью сетчатки, охватывает крайне небольшую площадь, но на него приходится половина процессов обработки информации зрительной коры головного мозга. Соответственно, детализированная информация получается с помощью зрительной выборки и сканирования [2].

Окулографическое исследование подразумевает анализ движения взгляда и зон визуальной фокализации, на которых концентрируется взгляд. Его примене-

ние для оценки эффективности человеко-машинного взаимодействия можно разделить на три категории [3]:

- выяснение причин возникших у пользователя затруднений (долгое заполнение формы и др.), в особенности, связанных с заметностью элементов, точками фокуса внимания, ментальной нагрузкой и отвлечениями;
- выявление особенностей поведения пользователей (стратегии визуального поиска, паттерны чтения и сканирования);
- сравнение нескольких дизайнерских решений в совокупности с другими видами тестирования (анкетированием, биометрической оценкой).

Использование окулографических устройств, называемых также айтрекерами, не требует вербализации (нет необходимости, чтобы испытуемые комментировали свои действия), что является преимуществом, т. к. вербализация сама по себе может влиять на поведение пользователей (выдача желаемого результата, завышение собственных оценок и др.) [4, 5]. Окулографические исследования позволяют избежать как подобных искажений, так и трудоёмкого ручного анализа поведения пользователя на видеозаписи, и потому достаточно актуальны при исследовании эргономики графических приложений.

До недавнего времени малая распространённость и высокая стоимость требуемого оборудования ограничивали использование окулографии для оценки эффективности работы человека-оператора. Однако в последнее время на рынке появилось значительное число биометрических устройств, предназначенных потребительского сегмента: в частности, окулографические устройства в данной категории представлены игровыми айтрекерами, выпускаемыми фирмой Tobii [6–8].

Роль провайдеров биометрии при мониторинге состояния человека-оператора для потребительских устройств не является основной, поэтому при выработке приборных подходов к оценке эффективности человеко-машинного взаимодействия необходимо решать задачи и находить нестандартные архитектурные решения, связанные с доступом к измеряемым ими показателями. Однако перечисленные недостатки компенсируются тем, что подобные устройства обладают приемлемой точностью, пригодны к непрерывному мониторингу, способны передавать данные в персональный компьютер и при этом, благодаря массовому производству, являются более доступными.

Айтрекеры определяют ориентацию оптической оси глазного яблока и динамику изменения этой ориентации во времени. По принципу действия их можно разделить на три большие группы: устройства на основе механического контакта с глазом, устройства, измеряющие электрические потенциалы на электродах, расположенных вокруг глаз, и устройства на основе бесконтактных оптических методов регистрации движения глаз. Окулографические устройства потребительского сегмента, представленные на рынке, относятся к последней категории.

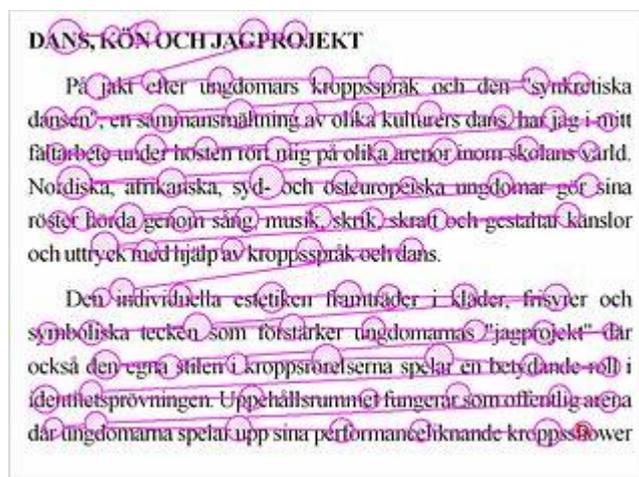
В целом, данные устройства обычно с меньшей точностью отслеживают движения глаз по сравнению с использованием механического контакта или принципа электроокулографии, а также имеют ряд ограничений (невозможность регистрации движений глаз во время сна и др.). Однако они достаточно эффективны для отслеживания направления взгляда (т. е. нахождения точки пе-

ресечения оптической оси глазного яблока и плоскости экрана), а потому востребованы в задачах, требующих сравнительно недорогого оборудования и неинвазивной процедуры эксперимента.

Обычно в айтрекерах данного типа используется отражение инфракрасной подсветки от роговицы глаз для расчета направления на центр глазного яблока и дальнейшего сравнения с координатами центра зрачка, либо отражение от хрусталика глаза (по аналогии с эффектом «красных глаз» на любительских фотографиях).

Айтрекер может закрепляться неподвижно либо монтироваться на голове испытуемого. Айтрекеры потребительского сегмента относятся к первой категории: устройство закрепляется на ноутбуке или корпусе монитора и подключается к компьютеру по шине USB. Подобная схема позволяет не выполнять учёт и компенсацию движения головы испытуемого относительно координат экрана, что приводит к несколько меньшим вычислительным затратам.

Тем не менее, в целом оптическая окулография характеризуется высокими требованиями к вычислительным ресурсам компьютера и пропускной способности шины подключения. Фактически взгляд перемещается быстрыми скачками (саккадами) с короткими паузами между ними (фиксациями, во время которых зрительный анализатор человеческого мозга получает основное количество информации), как показано на рис. 1. Средняя продолжительность фиксаций находится в диапазоне от 200 мс (чтение текста) до 350 мс (изучение статического изображения), а саккада занимает до 200 мс. Поэтому для оптической окулографии решающую роль играет частота кадров, с которой выполняется видеосъемка.

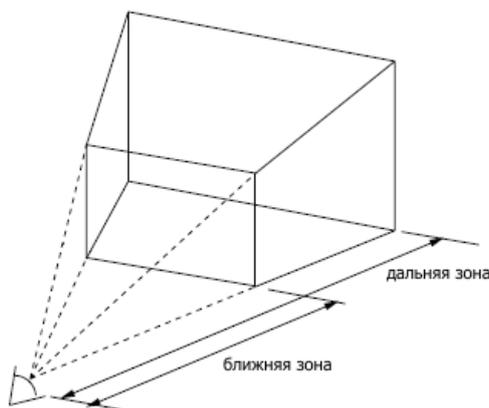


*Рисунок 1 – Пример саккад и фиксаций*

Айтрекеры потребительского сегмента выполняют видеосъемку с частотой от 30 кадров в секунду. В частности, айтрекеры фирмы Tobii работают на следующей частоте кадров: 30 Гц (наиболее ранняя модель, Tobii REX), 70 Гц (Tobii EyeX), 90 Гц (Eye Tracker 4C) и 133 Гц (выпускающийся в настоящий момент Eye Tracker 5). Поскольку более высокая частота обеспечивает регистрацию большего процента движений глаз, профессиональные окулографические устройства характеризуются частотой выше 100 Гц, а для ряда применений, связанных с точным отслеживанием движений глаз, выпускаются модели,

работающие на частоте 300–1000 Гц [9]. Однако для большинства задач, связанных с оценкой человеко-машинного взаимодействия, подобная точность является избыточной.

Поскольку устройство Tobii EyeX, использованное нами в экспериментах, предназначено для потребительского сегмента, а не для научных исследований [3], его технические характеристики целесообразно рассмотреть более подробно. Рабочее расстояние (обозначено на рис. 2 как «ближняя зона») – расстояние между глазами пользователя и устройством, на котором может выполняться отслеживание взгляда при сохранении достоверности данных – составляет для EyeX – 450-800 мм.



**Рисунок 2 – Область поля зрения**

EyeX позволяет свободно двигать головой, в то время как голова находится внутри обратного усеченного конуса с вершиной, расположенной в центре устройства. Таким образом, допустимые горизонтальные и вертикальные движения головы изменяются в зависимости от расстояния пользователя от экрана. Например, на расстоянии 700 мм пользователи могут перемещать голову на 240 мм влево или вправо и на 195 мм вверх или вниз. Максимальный рекомендуемый размер экрана для EyeX – 24 дюйма. Когда пользователь находится на границе дальней зоны рабочего расстояния (800 мм), рабочий диапазон устройства в градусах угла зрения составит  $[-18^\circ, 18^\circ]$  по оси  $x$  и  $[-10,5^\circ, 10,5^\circ]$  по оси  $y$ . Устройство, вероятно, будет обеспечивать оценку взгляда при более широких углах взгляда, однако в ущерб точности и четкости, особенно в углах монитора. Частота дискретизации устройства, то есть количество выборок данных в секунду, собираемых для каждого глаза, для Tobii EyeX составляет, как уже упоминалось, 60 Гц.

При использовании айтрекера в научных исследованиях важно также точное описание пространственных и временных характеристик устройства: необходимо оценить точность и достоверность окулографии, а также системную задержку и изменчивость частоты дискретизации. Под точностью определения взгляда понимается средняя угловая ошибка оценки взгляда, когда пользователь зафиксировал взгляд на заданной пространственной локации. Таким образом, определение точность взгляда – это распределение оценок угловой позиции направления взгляда когда глаза неподвижны и зафиксированы на заданной цели. Существует вероятность что раздражающие факторы в виде объектов на мониторе компьютера могут приводить к нежелательному изменению положения

взгляда. Задержка системы может быть определена как задержка между изменением местоположения взгляда и моментом, когда соответствующее изменение будет зарегистрировано. Сквозная задержка состоит из времени экспозиции камеры айтрекера, времени считывания и передачи изображения, времени обработки изображения, времени передачи данных между драйвером Tobii EyeX Engine и конечным приложением, а также частоты обновления дисплея.

#### **Список использованных источников**

1. Semmelmann, K. Online webcam-based eye tracking in cognitive science : a first look / K. Semmelmann, S. Weigelt // Behavior Research Methods. – Vol. 50. – 2018. – P. 451–465.
2. Titz, J. Comparing eye trackers by correlating their eye-metricdata / J. Titz, A. Scholz, P. Sedlmeier // Behavior Research Methods. – Vol. 50. – 2018. – P. 1853–1863.
3. Дубицкий, А. Применение айтрекеров для юзабилити-исследований ПО в GNU/Linux / А. Дубицкий, Д. Костюк, А. Маркина, С. Фомин // Четырнадцатая конференция разработчиков свободных программ: тезисы докладов – Калуга, 22–24 сентября 2017 г. – М. : Базальт СПО, 2017. – С. 36–41.
4. Arhippainen, L. Empirical evaluation of user experience in two adaptive mobile application prototypes / L. Arhippainen, M. Tähti // Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. Norrköping, Sweden, 10–12 December 2003. – P. 27–34.
5. Mandryk, R. L. Using psychophysiological techniques to measure user experience with entertainment technologies / R. L. Mandryk, K. M. Inkpen, T. W. Calvert // Behaviour & Information Technology, Vol. 25 (2), 2006. – P. 141–158.
6. Костюк, Д. А. Подход к биометрической оценке эргономики графического интерфейса пользователя / Д. А. Костюк, О. О. Латий, А. А. Маркина // Вестник БрГТУ. – № 5 (101) : Физика, математика, информатика. – 2016. – Брест : Издательство БрГТУ. – С. 46–49.
7. Gibaldi, A. Evaluation of the Tobii EyeX Eye tracking controller and Matlab toolkit for research / A. Gibaldi [et al.] // Behavior Research Methods, Vol. 49, 2017. – P. 923–946.
8. Drachen, A. Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in First-Person Shooter games / A. Drachen [et al.] // Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games. – Los Angeles : CA, 2010. – P. 49–54.
9. Duchowski, A. Eye Tracking Methodology. Theory and practice. Second edition. – London : Springer, 2007. – 334 p.

УДК 004.35

### **КОНЦЕПЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТИПА «ПЕРЧАТКА» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КИСТИ РУКИ В ПРОСТРАНСТВЕ**

И.Д. Козик, Ю.В. Савицкий

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,  
zmyhpyh@yandex.ru

*An own concept of a hardware-software complex, consisting of a virtual reality glove, has been developed. This system has the basic functions of tracking, capturing and transmitting information about the flexion of the joints of all five fingers, detecting the position and orientation of the hand in space, and also has wireless communication.*