

МЕТОД АЙТРЕКИНГА В ИССЛЕДОВАНИИ ЧТЕНИЯ

Бабанова К.Ю.^{1,2}

1. ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребенка»

2 – МГУ им. М.В. Ломоносова, биологический факультет.

E-mail: shedenko.ksyu@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Метод айтрекинга широко используется для изучения внимания и восприятия во время чтения; однако способы обработки движений глаз и используемые индикаторы сильно различаются. Статья посвящена описанию различных способов обработки движений глаз, выявлению наиболее часто используемых показателей анализа восприятия текстовой информации, а также обобщению факторов, влияющих на двигательную активность глаз при чтении. Полученная информация может быть применена в области биологии, психофизиологии, медицины и педагогики.

Ключевые слова: анализ глазных движений, чтение, обзор методик

Babanova K.U.

Eye tracking method in reading research.

The method of eye tracking is widely used to study attention and perception during reading; however, the ways of processing eye movements and the indicators used vary widely. The article is dedicated to describing various methods of processing eye movements, identifying the most commonly used indicators for analyzing perception of textual information, and summarizing the factors influencing eye movement activity during reading. The obtained information can be applied in the fields of biology, psychophysiology, medicine, and pedagogy.

Key words: analysis of eye movements, reading, review of techniques

Зарождением методологии айтрекинга (англ. eye tracking, регистрация движений глаз) можно считать исследования Л.Э Жавалья, проведенные в XIX в. [15], когда были впервые описаны движения глаз при чтении. Быстрые движения глаз названы саккадами (франц. saccade, «скачок»), в то время как кратковременные остановки между ними названы фиксациями (франц. fixation, «установка») взора. С этих исследований началось создание специализированного оборудования для изучения движений глаз при чтении и рассмотрении статических изображений. В начале 19 века Эдмунд Хью создал первый контактный аппарат, а уже в 30 годах Г. Бузвелл изобрел первое бесконтактное устройство для записи движений глаз [8]. В СССР направление получило свое продолжение и развитие в работах

Альфреда Лукьяновича Ярбуса; в 1965 году вышла книга «Роль движений глаз в процессе зрения» [4], которая до сих является одной из самых влиятельных и цитируемых книг по изучению движения глаз во время решения разнообразных перцептивных задач.

В настоящее время методика айтрекинга применяется для исследования чтения материалов на широком списке языков, включая английский [4], испанский [5], немецкий [25], русский язык [7], китайском [21], арабском [20] и многие другие. Список охваченных языков постепенно расширяется.

Использование айтрекинга в рамках изучения чтения позволяет определять и выявлять паттерны обработки текста [28], стратегии, используемые человеком в зависимости от цели чтения [18, 48]. Айтрекинг позволяет изучать процессы зрительного внимания и восприятия, скорости чтения текста, понимания, а также анализировать взаимосвязи между ними, выявлять, какие участки текста привлекают больше внимания, каким образом читатели ориентируются в тексте, и какие факторы влияют на эффективность восприятия и усвоения информации [26, 7, 49, 32, 22, 1]. Также айтрекинг может использоваться для исследования различий в стратегиях чтения у разных групп людей, анализа эффективности различных образовательных методик [18, 32, 22]. В целом, айтрекинг открывает возможности для более глубокого и детального изучения процессов чтения и восприятия текстовой информации.

Способы обработки движений глаз и используемые показатели варьируют в широком диапазоне. Основные категории, на которые условно можно разделить эти способы, включают (1) анализ глазодвигательных событий, (2) анализ пространственно-временных характеристик зрительного внимания при чтении, (3) алгоритмические подходы и машинное обучение.

Наиболее часто встречающимися событиями при чтении являются упомянутые выше «фиксации» и «саккады». Считается, что преимущественная обработка информации при чтении происходит во время фиксации, поэтому длительность фиксации традиционно ассоциирована с информационными процессами, происходящими в мозге при восприятии, распознавании, узнавании фиксируемого участка текста (зачастую – отдельного слова) [1, 14, 11, 33, 40]. Наиболее часто проводится анализ первой фиксации, отражающей скорость восприятия фиксируемого слова [26, 1, 19].

В зависимости от успешности информационных процессов, следующая саккада совершается по направлению чтения – прогрессивные саккады, либо против направления чтения, обеспечивая возврат к ранее прочитанному тексту – регрессивные саккады. Регрессии в общем случае отражают

сложности при прочтении и выражаются в процентном соотношении к общему числу саккад или к числу прогрессий. Выявление причин регрессий, в том числе анализ закономерностей их появления при чтении в каждом конкретном случае, лежит в основе как определения сложности текста, так и индивидуальных трудностей [26, 1, 19, 47, 13, 41].

На одном слове может быть совершено от нуля до нескольких фиксаций в зависимости от его длины, частотности и предсказуемости из контекста, что обуславливается парафовеальным просмотром следующего слова, а также объемом словарного запаса и языковой компетентностью читателя [26, 35, 43, 31, 41]. Все фиксации, совершенные на слове при первом его прочтении, условно называют «продолжительностью взора», который вычисляется, как сумма всех фиксаций на слове в течении первого прохода по тексту [25, 19].

При чтении в условиях многострочного текста, выделяются также первая и последняя фиксации на строке, коррекции после первой фиксации на новой строке, если детекция начала строки произошла ошибочно [43, 29]. Эти события отражают переход от восприятия непосредственно текстовой информации к восприятию зрительно-пространственной репрезентации текста и обратно [2]. Для этих событий наблюдаются несколько иные закономерности длительностей, связанные в основном с особенностями парафовеального просмотра при переходе на новую строку: первое слово в строке не получает «предварительного» просмотра, в то время как во время обработки последнего слова больше не имеется информации по направлению чтения, которая нуждается в предварительном просмотре. Обычно первая фиксация длиннее фиксаций внутри строки, последняя – короче, однако у детей эта закономерность формируется постепенно, по мере освоения навыка чтения [29].

Пространственно-временные показатели (2) включают время чтения текста, отдельных фрагментов, характеристики пути сканирования текста или перемещения между текстом и другими объектами в зрительном поле, распределение длительностей фиксаций по тексту (см. F-паттерн чтения [28]), а также другие показатели, характеризующие не только особенности чтения как такового, но и стратегии поведения человека в условиях читательской деятельности [20, 18, 32, 22, 1, 2].

Искусственный интеллект (3) играет важную роль в обработке данных, полученных с помощью айтрекинга. Задачи, решаемые с помощью машинного обучения, относятся: моделирование зрительного внимания человека при чтении [12], автоматическое определение понимания прочитанного [23], определение/предсказание речевых расстройств [17, 10], определение

эмоций [46], оценка психологического состояния человека и выявление психических проблем [9] и другое.

Важно отметить, что каждый из представленных способов обработки движений глаз имеет свои преимущества и ограничения, и зачастую исследователи используют их в комбинации, чтобы получить более полное представление о глазодвигательной активности при чтении.

Параметры движений глаз чувствительны ко многим факторам [38, 45]. Среди них можно условно выделить физические параметры стимулов, сложность информации или ее подачи, особенности предъявления, набор объектов в зрительном поле.

Физические параметры стимулов включают в себя удобочитаемость и размер шрифта, цвет фона, на котором текст размещен [39, 50, 27, 24, 16, 30]. Другими важными факторами, влияющими на глазодвигательную активность при чтении, являются структура текста и его организация [1, 5, 3]. Например, наличие заголовков, подзаголовков, списков или выделенных ключевых слов может значительно облегчить ориентацию читателя в тексте и ускорить его перемещение по нему. Такие элементы структуры могут служить ориентирами для глаз, помогая им быстрее ориентироваться в тексте и более эффективно сканировать информацию. С другой стороны, излишняя структуризация текста может вызвать дезориентацию и пропуск фрагментов.

Сложность информации может быть оценена по различным критериям, наиболее часто используются семантические свойства текста, такие как частотность употребления слов в языке, длина отдельных слов или целых предложений [25, 7, 20, 32, 1]. При увеличении семантической сложности текста, в т.ч. уменьшении «угадываемости» следующего слова из контекста [47, 35, 43, 31, 41], увеличиваются продолжительность фиксации и количество регрессий, уменьшается амплитуда саккад [36]. Подобный эффект проявляется также в зависимости от уровня подготовки читателей и возраста респондентов [20, 49, 32, 19, 2, 37]. Для детей характерно совершение более длительных фиксаций, большего количества как прогрессивных, так и регрессивных фиксаций, а также меньшая вероятность пропуска слова из контекста, что связывается с меньшим перцептивным полем по сравнению со взрослыми [19, 2]. Уровень образования и степень знакомства респондента с тематикой, представленной в тексте, также играют роль: более опытные читатели могут более эффективно сканировать текст и быстрее понимать его содержание [49, 19, 43, 46].

Особенности предъявления включают в себя количество просмотров, возможность предпросмотра, объем предъявления (по словам, по предло-

жениям, многострочный текст), объем информации и т.п. [28, 32, 1, 43, 29] Предварительный просмотр и предварительное чтение приводят в дальнейшем к более «беглому» просмотру информации, т.е. увеличению амплитуды саккад и уменьшению длительности фиксаций, что связано в большей мере с уменьшением времени обработки информации [32, 34].

Набор объектов в зрительном поле подразумевает то, что текст может быть представлен как часть медиа-материала. Особенно часто в практических целях исследуется сочетание текста и изображений в различных комбинациях, в частности, в рамках обучения [22, 6, 3] и маркетинга [39, 30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод айтрекинга представляет собой мощный инструмент для исследования внимания и восприятия при чтении текстовой информации. Несмотря на разнообразие способов обработки движений глаз и используемых показателей, статья обобщает основные категории их анализа, включая анализ глазодвигательных событий, пространственно-временные характеристики внимания и методы машинного обучения. Полученные сведения могут быть полезны в различных областях, таких как биология, психофизиология, медицина и педагогика, где они могут применяться для более глубокого понимания процессов чтения и разработки инновационных подходов. Несмотря на долгую историю исследований движений глаз при чтении, современные технологии айтрекинга и обработки данных продолжают эволюционировать, что открывает новые возможности для изучения и применения в различных сферах деятельности.

Информация о финансовой поддержке: Исследование не имело спонсорской поддержки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов В.Н. Федорова О.В., Латанов А.В. Параметры движений глаз при чтении предложений с синтаксической неоднозначностью в русском языке // Физиология человека. 2014. Т.40. №4. С. 1-12
2. Безруких М. М., Иванов В. В., Голландцева А. И. Возрастные особенности окулomotorной активности при чтении текста с различных электронных устройств отображения информации у подростков // Новые исследования. – 2019. – №. 4 (60). – С. 4-29.
3. Клоктунова Н. А. и др. Изучение когнитивных процессов обучающихся при поиске образовательной информации на экране // Перспективы науки и образования. – 2019. – №. 3 (39). – С. 326-340.

4. Ярбус А. Л. Роль движений глаз в процессе зрения; отв. ред. Н. Д. Ньюберг ; Академия наук СССР, Институт проблем передачи информации. – Москва : Наука, 1965.
5. Álvarez-García E., Igoa González J. M. Lexico-Semantic Influence on Syntactic Processing: An Eye-Tracking Study with Spanish Relative Clauses //Brain Sciences. – 2023. – Т. 13. – №. 3. – С. 409.
6. Ariasi N., Mason L. Uncovering the effect of text structure in learning from a science text: An eye-tracking study //Instructional science. – 2011. – Т. 39. – С. 581-601.
7. Babanova K., Revazov A., Chernozatonskiy K., Pikunov A., Anisimov V. An Application of Eye Movement Parameters Collected from Mass Market Devices for the Estimation of a Text Comprehension // Journal of Eye Movement Research. – 2023. – Т. 16. – №. 2.
8. Buswell G.T. How People Look at Pictures. Chicago: University of Chicago Press, 1935.
9. Cuijpers P., Veen S. C. V., Sijbrandij M., Yoder W., Cristea I. A. Eye movement desensitization and reprocessing for mental health problems: A systematic review and meta-analysis //Cognitive Behaviour Therapy. – 2020. – Т. 49. – №. 3. – С. 165-180.
10. Fassetti F., Fassetti I. Discriminating Pattern Mining for Diagnosing Reading Disorders //Applied Sciences. – 2022. – Т. 12. – №. 15. – С. 7540.
11. Henderson J. M. et al. Neural correlates of individual differences in fixation duration during natural reading //Quarterly Journal of Experimental Psychology. – 2018. – Т. 71. – №. 1. – С. 314-323.
12. Ikhwantri F., Putra J. W. G., Yamada H., Tokunaga T. Looking deep in the eyes: Investigating interpretation methods for neural models on reading tasks using human eye-movement behaviour //Information Processing & Management. – 2023. – Т. 60. – №. 2. – С. 103195.
13. Inhoff A. W., Kim A., Radach R. Regressions during reading //Vision. – 2019. – Т. 3. – №. 3. – С. 35.
14. Irwin D. E. Fixation location and fixation duration as indices of cognitive processing //The interface of language, vision, and action. – Psychology Press, 2013. – С. 105-133.
15. Javal, E. (1878) “Essai sur la physiologie de la lecture”, in Annales d’oculistique 80, 61–73.(1)
16. Josephson S. Keeping your readers’ eyes on the screen: An eye-tracking study comparing sans serif and serif typefaces //Visual communication quarterly. – 2008. – Т. 15. – №. 1-2. – С. 67-79.

17. JothiPrabha A., Bhargavi R., Rani B. V. D. Prediction of dyslexia severity levels from fixation and saccadic eye movement using machine learning // *Biomedical Signal Processing and Control*. – 2023. – Т. 79. – С. 104094.
18. Jung J., Lee M. Second language reading and recall processes under different reading purposes: an eye-tracking, keystroke-logging, and stimulated recall study // *Language Awareness*. – 2023. – Т. 32. – №. 2. – С. 278-300.
19. Justino J., Kolinsky R. Eye movements during reading in beginning and skilled readers: Impact of reading level or physiological maturation? // *Acta Psychologica*. – 2023. – Т. 236. – С. 103927.
20. Lahoud H., Eviatar Z., Kreiner H. Eye-movement patterns in skilled Arabic readers: effects of specific features of Arabic versus universal factors // *Reading and Writing*. – 2023. – С. 1-30.
21. Lin Y., Li X. Eye movement pattern of reading Chinese Classics // *Digital Scholarship in the Humanities*. – 2023. – Т. 38. – №. 2. – С. 596-603.
22. Lindner M., A. Eitel A., Strobel B., Köller, O. Identifying processes underlying the multimedia effect in testing: An eye-movement analysis // *Learning and instruction*. – 2017. – Т. 47. – С. 91-102.
23. Ma X., Liu Y., Clariana R., Gu C., Li P. From eye movements to scanpath networks: A method for studying individual differences in expository text reading // *Behavior research methods*. – 2023. – Т. 55. – №. 2. – С. 730-750.
24. Masulli F. et al. Effect of different font sizes and of spaces between words on eye movement performance: An eye tracker study in dyslexic and non-dyslexic children // *Vision research*. – 2018. – Т. 153. – С. 24-29.
25. Mertzen D., Paape D., Dillon B., Engbert R., Vasishth, S. Syntactic and semantic interference in sentence comprehension: Support from English and German eye-tracking data // *Glossa Psycholinguistics*. – 2023. – Т. 2. – №. 1.
26. Mézière D. C., Yu L., Reichle E. D., Von Der Malsburg T., McArthur, G. Using Eye-Tracking Measures to Predict Reading Comprehension // *Reading Research Quarterly*. – 2023. – Т. 58. – №. 3. – С. 425-449.
27. Minakata K., Beier S. The effect of font width on eye movements during reading // *Applied ergonomics*. – 2021. – Т. 97. – С. 103523.
28. Nielsen J. F-shaped pattern for reading Web content, Jakob Nielsen's Alertbox // http://www.useit.com/alertbox/reading_pattern.html. – 2006.
29. Parker A. J., Kirkby J. A., Slattery T. J. Undersweep fixations during reading in adults and children // *Journal of Experimental Child Psychology*. – 2020. – Т. 192. – С. 104788.
30. Pieters R., Wedel M. Attention capture and transfer in advertising: Brand, pictorial, and text-size effects // *Journal of marketing*. – 2004. – Т. 68. – №. 2. – С. 36-50.

31. Plummer P., Rayner K. Effects of parafoveal word length and orthographic features on initial fixation landing positions in reading //Attention, Perception, & Psychophysics. – 2012. – Т. 74. – С. 950-963.

32. Prichard C., Atkins A. Evaluating L2 readers' previewing strategies using eye tracking //The Reading Matrix: An International Online Journal. – 2016. – Т. 16. – №. 2. – С. 110-130.

33. Radach R., McConkie G. W. Determinants of fixation positions in words during reading //Eye guidance in reading and scene perception. – Elsevier Science Ltd, 1998. – С. 77-100.

34. Raney G. E., Rayner K. Word frequency effects and eye movements during two readings of a text //Canadian Journal of Experimental Psychology/ Revue canadienne de psychologie expérimentale. – 1995. – Т. 49. – №. 2. – С. 151.

35. Rayner K. et al. Eye movements and word skipping during reading: effects of word length and predictability //Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. – 2011. – Т. 37. – №. 2. – С. 514.

36. Rayner K. et al. Eye movements as reflections of comprehension processes in reading //Scientific studies of reading. – 2006. – Т. 10. – №. 3. – С. 241-255.

37. Rayner K., Castelhana M. S., Yang J. Eye movements and the perceptual span in older and younger readers //Psychology and aging. – 2009. – Т. 24. – №. 3. – С. 755.

38. Rayner K., Shen D., Bai X., Yan G. (ed.). Cognitive and cultural influences on eye movements. – Taylor & Francis, 2023.

39. Rello L., Marcos M. C. An eye tracking study on text customization for user performance and preference //2012 Eighth Latin American Web Congress. – IEEE, 2012. – С. 64-70.

40. Salthouse T. A., Ellis C. L. Determinants of eye-fixation duration //The American journal of psychology. – 1980. – С. 207-234.

41. Schotter E. R., Angele B., Rayner K. Parafoveal processing in reading // Attention, Perception, & Psychophysics. – 2012. – Т. 74. – С. 5-35.

42. Schotter E. R., Tran R., Rayner K. Don't believe what you read (only once) comprehension is supported by regressions during reading //Psychological science. – 2014. – Т. 25. – №. 6. – С. 1218-1226.

43. Slattery T. J., Parker A. J. Return sweeps in reading: Processing implications of undersweep-fixations //Psychonomic Bulletin & Review. – 2019. – Т. 26. – С. 1948-1957.

44. Slattery T. J., Yates M. Word skipping: Effects of word length, predictability, spelling and reading skill //Quarterly Journal of Experimental Psychology. – 2018. – Т. 71. – №. 1. – С. 250-259.

45. Staub A., Benatar A. Individual differences in fixation duration distributions in reading //Psychonomic Bulletin & Review. – 2013. – Т. 20. – С. 1304-1311.
46. Tarnowski P., Kołodziej M., Majkowski A., Rak R. J. Eye-tracking analysis for emotion recognition //Computational intelligence and neuroscience. –
47. Vitu F., McConkie G. W., Zola D. About regressive saccades in reading and their relation to word identification //2020. – Т. 2020. Eye guidance in reading and scene perception. – Elsevier Science Ltd, 1998. – С. 101-124.
48. Yeari M., van den Broek P., Oudega M. Processing and memory of central versus peripheral information as a function of reading goals: Evidence from eye-movements // Reading and writing. – 2015. – Т. 28. – С. 1071-1097.
49. Zargar E., Adams A. M., Connor C. M. D. The relations between children's comprehension monitoring and their reading comprehension and vocabulary knowledge: an eye-movement study //Reading and writing. – 2020. – Т. 33. – С. 511-545.
50. Zorko A. et al. The impact of the text and background color on the screen reading experience //Tehnički glasnik. – 2017. – Т. 11. – №. 3. – С. 78-82.

REFERENCE

1. Anisimov V.N. Fedorova O.V., Latanov A.V. Parametry dvizhenij glaz pri chtenii predlozhenij s sintaksicheskoj neodnoznachnost'yu v rusском yazyke // Fiziologiya cheloveka. 2014. T.40. №4. S. 1-12
2. Bezrukih M. M., Ivanov V. V., Gollandceva A. I. Vozrastnye osobennosti okulomotornoj aktivnosti pri chtenii teksta s razlichnyh elektronnyh ustrojstv otobrazheniya informacii u podrostkov //Novye issledovaniya. – 2019. – №. 4 (60). – S. 4-29.
3. Kloktunova N.A. i dr. Izuchenie kognitivnyh processov obuchayushchihся pri poiske obrazovatel'noj informacii na ekrane //Perspektivy nauki i obrazovaniya. – 2019. – №. 3 (39). – S. 326-340.
4. Yarbus A. L. Rol' dvizhenij glaz v processe zreniya; otv. red. N. D. Nyuberg ; Akademiya nauk SSSR, Institut problem peredachi informacii. – Moskva : Nauka, 1965.