

УДК 612.842.3/519.651

О построении модели зрачковой реакции человека на вспышку

Рабцевич Мария Александровна^{1(*)}

mariya.rabtcevich@gmail.com

Григорян Григор Левонович²

green_ae@mail.ru

Кручинина Анна Павловна¹

anna.kruchinina@math.msu.ru

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия² ООО «Нью Девайс», Москва, Россия

Аннотация. При исследовании движений глаз интерес представляют не только повороты глазного яблока вокруг собственного центра, но изменение размера зрачка. Наша работа посвящена анализу и аппроксимации пупиллограммы — записи размера зрачка. Особенностью предлагаемого подхода является анализ скорости, полученной на высокочастотных записях 476 Гц. Исходя из перечисленных представлений ограничивается класс непрерывности и дифференцируемости функций.

Ключевые слова: зрачковая реакция на свет, пупиллометрия, аппроксимация, айтрекинг, зрачок, радужная оболочка

Введение. Пупиллометрия изучает зрачковые реакции человека и животных, которые являются произвольным индикатором активности нервной системы. Зрачок меняет размер при изменении освещенности, а также под влиянием эмоций, когнитивных процессов, стресса, утомления и лекарств. Пупиллометрические исследования применяются в психологии [1], медицине и инженерии. Например, пупиллометрия используется при диагностике болезни Паркинсона и шизофрении.

Современные методы пупиллометрии основаны на инфракрасной видеосъемке глаза и фиксируют изменения диаметра зрачка с частотами от 30 до 500 Гц. В результате записи получается пупиллограмма: кривая зависимости площади (радиуса или диаметра) зрачка от времени. Для обработки пупиллограмм применяются математические модели, включая аппроксимации кусочно-линейными и нелинейными моделями, кривыми Безье [2], нейронные сети [3]. Для анализа малых колебаний размера зрачка используются методы корреляции, регрессии и частотного анализа [4]. Основные параметры, описывающие реакцию на свет: минимальный размер зрачка, латентное время реакции и скорость изменений зрачка. Для их вычисления требуется применять сглаживание, к которому предъявляется требование сохранения профиля скорости.

Материалы и методы; результаты. При помощи высокочастотного окулографа ND-1000 [5], оборудованного синхронизированной вспышкой, на базе МГУ им. М.В. Ломоносова было собрано несколько десятков записей зрачковой реакции на свет на частоте 476 Гц. По полученным данным были

вычислены профили скорости изменения радиуса зрачка. Исходя из их вида предлагается аппроксимация кусочно-гладкими функциями вида

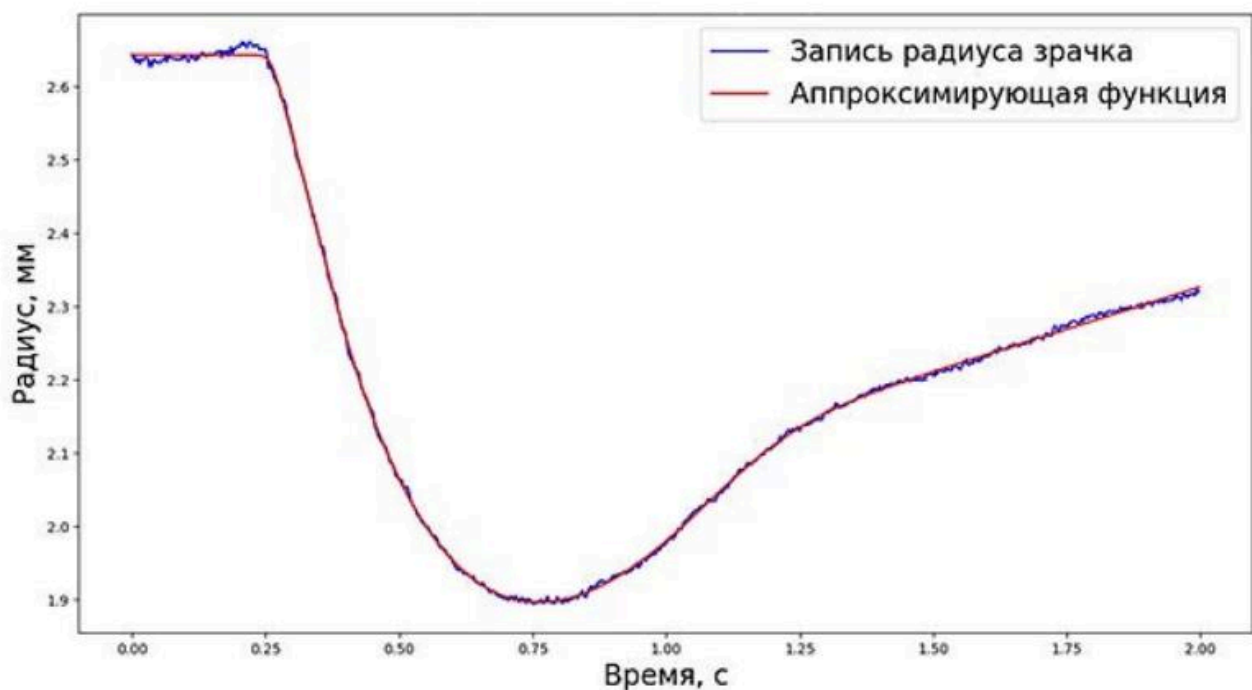
$$\dot{r}_i(t) = a_i - \frac{b_i}{1 + e^{\frac{t-d}{f_i}}}$$

В качестве аппроксимирующей функции радиуса (площади) зрачка был взят интеграл от сигмоиды:

$$r_i(t) = (a_i - b_i)t + b_i f_i \ln \left(e^{\frac{a_i}{f_i}} + e^{\frac{t}{f_i}} \right) + C_i.$$

Проба делится на три части: на каждой функция скорости монотонна, после отыскиваются коэффициенты аппроксимирующей функции на данном интервале.

В результате решения системы уравнений и подбора свободных параметров методом наименьших квадратов была построена аппроксимация вида, представленного на рисунке.



Аппроксимация радиуса зрачка

Заключение. Полученная аппроксимация имеет достаточную степень гладкости, позволяет строить описание скорости изменения размера зрачка. Это позволяет применять критерии для определения латентного времени и других величин на основании значения мгновенной скорости. Стоит отметить еще одно преимущество использования модели: подход делает возможным сравнение результатов, сделанных в отличающихся условиях, через

инициализацию типовых параметров модели на больших выборках, или моделирование отклика на основании биомеханической модели.

Список источников

- [1] Кутлубаев М.А. Пупиллометрия в оценке психоэмоционального состояния и когнитивных функций человека. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*, 2023, т. 73, № 5, с. 651–665.
- [2] Фоменко В.Н., Куприянов А.С. Математические модели зрачковых реакций глаз человека (пупиллограмм). *Известия Петербургского университета путей сообщения*, 2010, № 4, с. 220–231.
- [3] Ахметвалеев А.М. Нейросетевое моделирование функционального состояния человека на примере диагностики зрачкового рефлекса. *Проблемы анализа и моделирования региональных социально-экономических процессов. VII Междунар. очная науч.-практ. конф: матер.* Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2017, с. 37–41.
- [4] Fink L, Simola J., Tavano A. From pre-processing to advanced dynamic modeling of pupil data. *Behavior Research Methods*, 2023, vol. 56.
<https://doi.org/10.3758/s13428-023-02098-1>
- [5] URL: <https://gazetracking.ru/> (дата обращения 15.10.2024).