

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ СРЕЗА ГИППОКАМПА КРЫСЫ

А. В. Никифоров

Белорусский государственный университет, г. Минск;

sky92033@live.com;

науч. рук. – А. А. Денисов, канд. биол. наук.

Большинство исследований механизмов функционирования мозга в наше время тесно связано с разработкой высокотехнологичных методов и инструментов. Развитие микроэлектроники позволяет создавать эффективные системы для работы с нейронными сетями. В связи с этим была разработана система, предназначенная для анализа и визуализации электрической активности нейронов гиппокампа крысы. Основными составляющими данной системы стали одноплатные компьютеры Raspberry Pi 4 и Pocket Beagle, в качестве программной среды выступил пакет открытого ПО Jupyter Lab. Также был разработан ряд алгоритмов передачи и обработки получаемых данных.

Ключевые слова: гиппокамп; нейронная сеть; синаптическая пластичность; Jupyter; RaspberryPi.

ВВЕДЕНИЕ

Синаптическая пластичность представляет собой одно из важнейших явлений, лежащих в основе многих психических функций мозга человека. Яркими примерами нейропластичности мозга являются процессы, происходящие в гиппокампе. Гиппокамп, участвующий в формировании и работе обучения и памяти, очень чувствителен к сенсорной, социальной и пространственной сложности окружения [1]. Изучение электрической активности нейронных сетей гиппокампа, в том числе под воздействием внешних факторов, позволяет узнать биофизические механизмы, лежащие в основе функций мозга, которые связаны с работой гиппокампа. Визуализация и анализ динамики нейронных сетей также позволяет получить информацию о механизмах развития нейродегенеративных заболеваний и воздействии ноотропных веществ на работу мозга. В связи с этим было предложено разработать программный модуль, предназначенный для визуализации и анализа электрической активности нейронных сетей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными объектами для проверки работы системы были нейронные сети срезов гиппокампа крысы. Активность

регистрировалась в собственно гиппокампе, в отделе CA1. В качестве инструментов измерения измерения использовались стандартные вольфрамовые электроды в стеклянной изоляции, наполнителем которых выступала спинномозговая жидкость.

Основными компонентами разработанной системы, представленной на рис. 1, являются одноплатные компьютеры Raspberry Pi 4 и Pocket Beagle, а также микроконтроллер NodeMCU32-S:

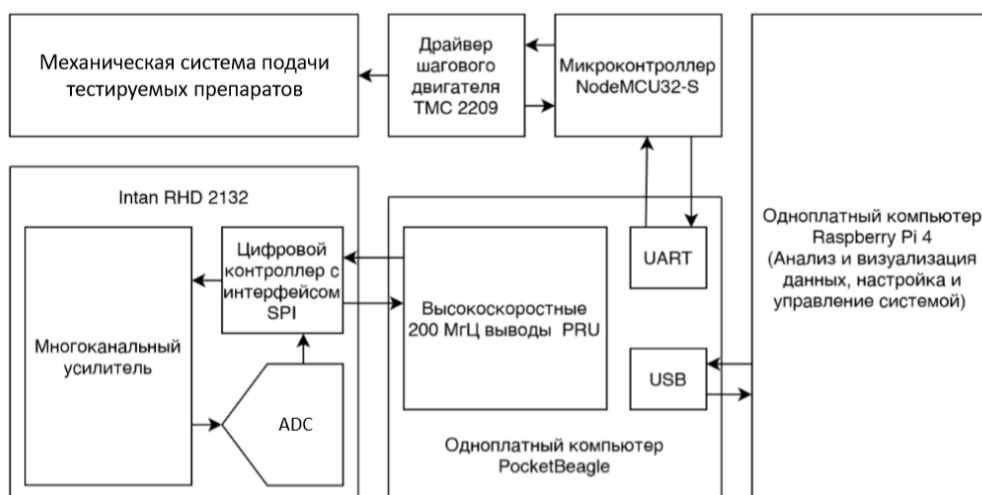


Рис. 1. Схема разработанной системы

Для разработки алгоритмов регистрации, обработки, анализа и визуализации были использованы языки программирования Python, C. Средой для разработки программной реализации визуализации и анализа данных, а также создания графического интерфейса пользователя был выбран Jupyter Lab.

Фильтром оцифрованных данных является фильтр Савицкого-Голея [2] с размером окна равным 5 и степенью полинома равной 3. Запись электрической активности производится на протяжении от 20 до 50 мс после акта стимуляции. Актом стимуляции является возбуждение в виде импульса тока длительностью 250 мкс и амплитудой 25 мкА.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ

Более подробно рассмотрим основные компоненты системы. Intan RHD 2132 представляет из себя микрочип, предназначенный для регистрации слабых электрических сигналов живых тканей. Основной причиной использования компьютера Pocket Beagle является его высокоскоростные выходы, которые по сути являются отдельными программируемыми процессорами с частотой работы 200 МГц. Был разработан алгоритм высокопроизводительного обмена данными

высокоскоростных выводов с главным процессором, основанный на технологии прямого доступа к памяти (Direct Memory Access– DMA). Через Pocket Beagle также происходит управление механической системы подачи тестируемых препаратов на основе NodeMCU32-S. Основным вычислительным центром, в который передаются данные, полученные Pocket Beagle, является Raspberry Pi 4. В качестве объектов визуализации нейронных сетей гиппокампа выступают кривые популяционных спайков (ПС) и полевые постсинаптические возбуждающие потенциалы (пВПСП). Рассчитываемые характеристики ПС и пВПСП: амплитуда, задержка пика, полуширина пика, наклон кривой и асимметрия. Разработанный интерфейс, основная часть которого представлена на рис. 2, позволяет проводить визуализацию и анализ как полного массив полученных данных, так и отдельных событий. Отдельным событием являются измеренные кривые ПС и пВПСП в ответ на выбранный акт стимуляции. Помимо анализа и визуализации данных, интерфейс позволяет производить гибкую настройку системы, представленной на рис. 1.

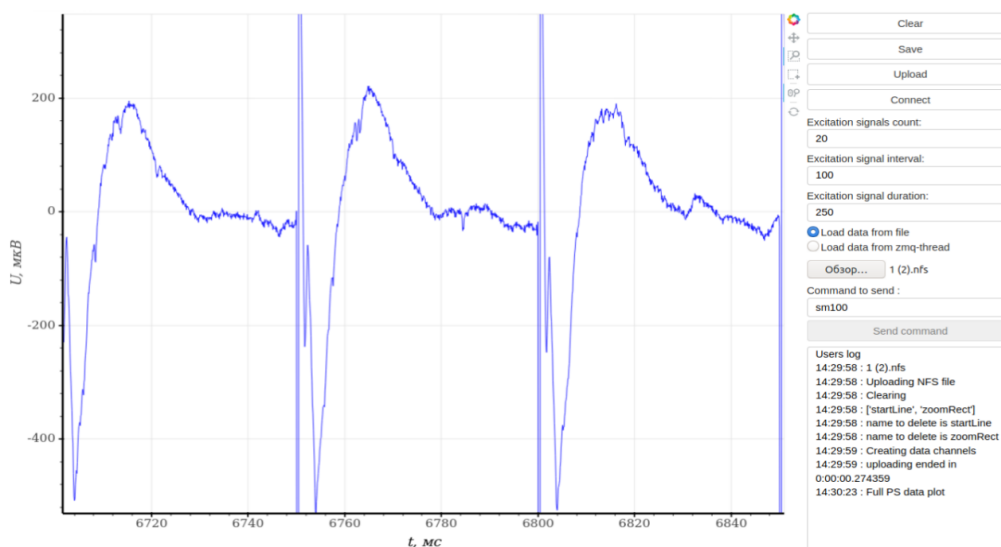


Рис. 2. Интерфейс для визуализации и анализа электрической активности срезов гиппокампа крысы

Для описания и анализа явления синаптической пластичности гиппокампа важно следить за динамикой перечисленных выше характеристик измеряемых кривых. Так, на рис. 3 представлена динамика амплитуды в эксперименте с добавлением агониста (происходит на 20 и на 40 минутах):

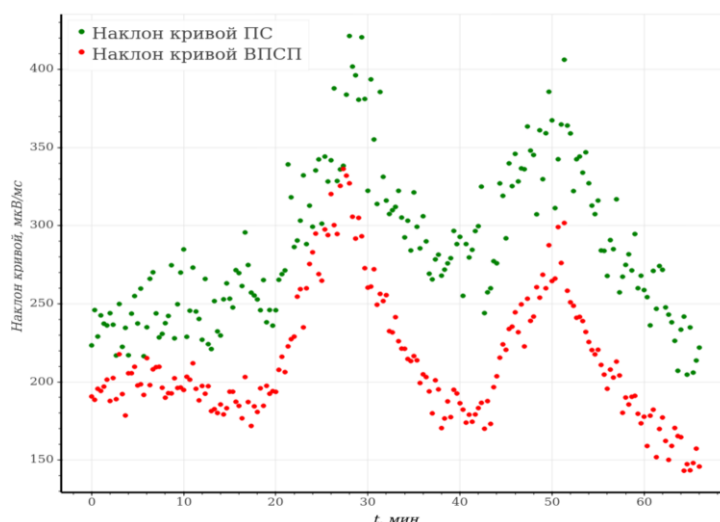


Рис. 3. Изменение наклона кривых популяционного спайка и полевого возбуждающего постсинаптического потенциала

В ходе разработки также было проведено сравнение скорости обработки и визуализации данных Raspberry Pi 4 с ПК. Время на последовательное считывание, обработку и визуализацию данных из файлов (5 файлов, около 85000 точек в каждом) представлено в таблице:

Таблица

Сравнение скорости работы с данными

| Устройство | Обработка, сек | Обработка + Визуализация, сек |
|---|----------------|-------------------------------|
| Raspberry Pi 4 (Broadcom BCM2711B0 quad-core A72, 4 GB LDDR4) | 4.9 ± 0.3 | 7.5 ± 0.3 |
| ПК (Intel Core i5 - 6300HQ, 8 GB DDR4, GTX 950M) | 1.3 ± 0.2 | 2.1 ± 0.2 |

Не смотря на то, что Raspberry Pi 4 проигрывает ПК, его скорости все равно хватает для визуализации данных, в том числе в режиме реального времени. Разработанный программный пакет может запускаться, как на ПК, так и на микрокомпьютерах. Более того, архитектура программы позволяет включать в систему дополнительные модули для проведения расчетов без полной переработки системы.

Библиографические ссылки

1. *Eckert M. J., Abraham W.C.* Effects of environmental enrichment exposure on synaptic transmission and plasticity in the hippocampus // *Curr. Top. Behav. Neurosci.* 2013. V. 15. P.165 – 187
2. *Savitzky A., Golay M. J.* Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures // *Analytical Chemistry* 1964. V. 36. №. 8. P. 1627