

NeuroML: декодирование и управление нейронными культурами

Исследовательский пайплайн диссертации: обучаемый регулятор в замкнутом контуре между нейронной культурой и компьютером.

Период: 08/2026 – наст. время

Аспирантура СПбПУ Петра Великого, 1.2.1 «Искусственный интеллект и машинное обучение», с 09/2026

Роль: автор исследования и кода

ЗАДАЧА

Нейронная культура на мультиэлектродной матрице стимулируется и регистрируется через компьютер. В типичных установках момент стимуляции определяет пороговый детектор. Исследуется, может ли обучаемый регулятор заменить этот детектор, не выходя за бюджет контура в 50 мс.

РЕШЕНИЕ

- Слой адаптеров приводит любой источник данных к единому формату записи. Открытые датасеты, симулятор и в дальнейшем лабораторные данные подключаются одним адаптером и одной конфигурацией.
- 26 экстракторов признаков, часть работает офлайн, часть онлайн. Для каждого онлайн-признака измерена задержка.
- Симулятор с известной истинной разметкой, чтобы проверять декодеры до работы с живыми культурами.
- Каждое число даётся с доверительным интервалом, критерий фиксируется до замера. По выборке меньше пяти культур выводы не делаются.
- Воспроизводимость за счёт явных seed и конфигураций, каждый запуск в Docker.

РЕЗУЛЬТАТЫ

- Восстановление спайков по кальциевому сигналу на реальных данных (CASCADE): корреляция 0,549 [0,517; 0,610], у классического метода 0,067.
- Декодирование стимула по ответу в симуляторе: F1 0,754 [0,703; 0,805].
- Полный контур укладывается в бюджет 50 мс при числе каналов до 128.
- Понг на модели культуры (12 культур, по 3000 шагов): 21,2 пропущенного мяча на 1000 без пластичности, 32,1 при неподвижной ракетке. С включённой STDP-пластичностью игра ухудшилась у 11 культур из 12.
- Воспроизведена кривая подавления бёрстов в зависимости от частоты стимуляции по Wagenaar et al. (2005). Оставшееся расхождение сведено к одной проверяемой гипотезе о геометрии модели культуры.
- Более 700 тестов. Отрицательные результаты задокументированы так же подробно, как положительные.

ТЕХНОЛОГИИ

Python · NumPy · SciPy · scikit-learn · Brian2 · Спайковые нейросети · Управление в замкнутом контуре · Docker