

## О МОДЕЛИРОВАНИИ РЕЖИМА СПОНТАННЫХ ПОПУЛЯЦИОННЫХ СПАЙКОВ В ИЗОЛИРОВАННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ

*Земскова Татьяна Сергеевна*

*Студентка*

*ИНБИКСТ МФТИ, Москва, Россия*

*E-mail: zemskova.ts@phystech.edu*

*Научный руководитель — Параскевов Александр Ваноевич*

**1. Введение.** Теоретическое исследование спайковых нейронных сетей мозга, как физической системы, естественно начать с построения простых моделей некоей замкнутой динамической системы и определения набора ее возможных стационарных состояний. Более того, современные экспериментальные методики позволяют выращивать изолированные двумерные биологические нейронные сети в искусственных условиях, *in vitro*. В таких сетях, на протяжении всей своей жизнедеятельности лишенных какого-либо внешнего воздействия, действительно возникает богатый репертуар спонтанной спайковой активности [1]. Этот репертуар можно описать в виде конечного набора различных стационарных динамических состояний и переходов между ними. Одним из наиболее часто наблюдаемых стационарных состояний является режим т.н. популяционных спайков - событий кратковременной спонтанной синхронизации спайковой активности большей части нейронной сети. Возникновение таких событий в общем случае носит вероятностный характер, поэтому их периодичность не подразумевается. Цель настоящей работы - получить режим популяционных спайков в максимально простой модели нейронной сети, а также исследовать влияние на него типа модели синаптического тока (различают два типа, т.н. current-based и conductance-based, в последнем случае синаптический ток зависит от потенциала нейрона, см. ниже).

**2. Модель.** С помощью численных симуляций исследована спайковая динамика модельной сети из  $N = 10^3$  возбуждающих LIF (Leaky Integrate-and-Fire) нейронов с биномиальным распределением связей между нейронами, т.е. с заданной вероятностью  $p_{con} = 0.1$  образования односторонней синаптической связи, дающей среднее число входящих/исходящих связей на нейрон  $\approx p_{con}N = 100$ .

Для каждого нейрона сети подпороговая динамика его мембран-

ного потенциала  $V$  описывается уравнением

$$\tau_m \dot{V} = -(V - V_{rest}) + I_{syn}(V, t) \cdot R_m. \quad (1)$$

Параметры модели нейрона: время релаксации мембраны  $\tau_m = 10$  мс, потенциал покоя мембраны  $V_{rest} = -70$  мВ, электрическое сопротивление мембраны  $R_m = 0.1$  ГОм. Если потенциал мембраны нейрона превышает пороговое значение  $V_{th} = -55$  мВ, то происходит спайк и потенциал мембраны скачком возвращается к потенциалу покоя, далее оставаясь в этом состоянии в течение периода рефрактерности  $\tau_{ref} = 2$  мс.

Синаптический ток для случая conductance-based синапса имеет вид

$$I_{syn}(V, t) = g(t) \cdot (E_{rev} - V(t)), \quad (2)$$

где потенциал реверсии синаптического тока для возбуждающего синапса  $E_{rev} = 0$  мВ, а динамика синаптической проводимости  $g(t)$  описывается уравнением

$$\frac{dg}{dt} = -\frac{g}{\tau_s} + g_s \cdot \sum_{j,k} \delta(t - t_j^{(k)}). \quad (3)$$

В правой части уравнения, величина  $t_j^{(k)}$  в аргументе дельта-функции Дирака - это момент генерации  $k$ -го спайка  $j$ -м нейроном, который имеет исходящую связь к данному нейрону. Значение величины  $t_j^{(k)}$  определяется из условия  $V_j(t_j^{(k)}) = V_{th}$ .

Для current-based синапса динамика синаптического тока  $I_{syn}(t)$  не зависит от  $V$  и описывается уравнением

$$\frac{dI_{syn}}{dt} = -\frac{I_{syn}}{\tau_s} + I_s \cdot \sum_{j,k} \delta(t - t_j^{(k)}). \quad (4)$$

Диапазон варьируемых параметров модели синаптического тока приведен в Таблице.

conductance-based синапсы	current-based синапсы
$g_s = 0 \div 50$ нСм	$I_s = 0 \div 1000$ пА
$\tau_s = 5 \div 15$ мс	$\tau_s = 5 \div 15$ мс

Для инициации спайковой активности сети была задана вероятность  $p_s = 0.005$  спонтанной генерации спайка в единицу времени (т.е. за элементарный шаг по времени в программе,  $\Delta t = 0.1$  мс):

для каждого нейрона на данном шаге по времени генерировалось случайное действительное число от нуля до единицы и сравнивалось с  $p_s$ , если это число было меньше  $p_s$ , то потенциал нейрона представлялся равным пороговому значению, т.е. нейрон испускал спайк (при условии, что этот нейрон не испустил спайк чуть раньше и не находится в состоянии рефрактерности). Значение  $p_s$  подобрано так, чтобы среднее число нейронов, испускающих спайки в течение интервала усреднения спайковой активности (2 мс), было порядка 10% от полного числа нейронов сети.

Начальные условия: все мембранные потенциалы равны потенциалу покоя, все синаптические проводимости/токи равны нулю.

**3. Результаты.** Обнаружен режим популяционных спайков, причем как для conductance-based (ср. [2]), так и для current-based случая. Получено, что при фиксированной реализации коннектома сети возникновение популяционных спайков становится все более периодическим с увеличением амплитуды импульса синаптической проводимости/тока. В отличие от работы [3], где также получены спонтанные популяционные спайки в бинаomialной сети из LIF-нейронов, рассмотренный нами простейший current-based случай не содержит модель кратковременной синаптической депрессии. Стандартная модель LIF-нейрона, не смотря на свою относительную простоту, оказалась достаточной для получения желаемого режима - это контрастирует с предпосылками недавней работы [4], где для получения режима популяционных спайков авторы сочли целесообразным усложнить модель нейрона.

### Литература

1. Wagenaar D. A., Pine J., Potter S. M. An extremely rich repertoire of bursting patterns during the development of cortical cultures // BMC Neurosci. 2006, Vol. 7, Article 11.
2. Parga N., Abbott L. F. Network model of spontaneous activity exhibiting synchronous transitions between up and down states // Front. Neurosci. 2007, Vol. 1(1), P. 57–66.
3. Tsodyks M., Uziel A., Markram H. Synchrony generation in recurrent networks with frequency-dependent synapses // J. Neurosci. 2000, Vol. 20(1), Article RC50.
4. Fardet T., *et al.* Understanding the generation of network bursts by adaptive oscillatory neurons // Front. Neurosci. 2018, Vol. 12, Article 41.