

# Гедонистический синапс

## Содержание

<b>1</b>	<b>Спайковый нейрон</b>	<b>2</b>
1.1	Модель Integrate-and-fire . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Статичный синапс</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Гедонистический синапс</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Исследование классификатора</b>	<b>5</b>

# 1 Спайковый нейрон

На рис. 1, также, показан типичный профиль активности нейрона, основные свойства которого:

- интеграция входного сигнала (integration);
- угасание этого сигнала на нейроне со временем, или иначе говоря “утечка” (leakage);
- рефракторный период, нейрон переживает его после выработки спайка, как следствие сложных химических реакций, некоторое время (от 2-10 мс) неработоспособен.

Моделирование спайковых нейронов в виде наиболее приближенном к биологии, насколько позволяет современная нейронаука, возможно, но очень трудозатратно с точки зрения ресурсов компьютера. Существует модели, более менее, приближенные к биологическому аналогу и которые не так сложно моделировать. Две из них будут рассмотрены в задании.

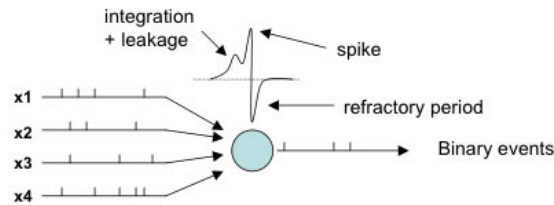


Рис. 1: Спайковый нейрон

## 1.1 Модель Integrate-and-fire

Самая простая спайковая модель, основанная на RC цепи, записывается в виде дифференциального уравнения

$$\tau_m \frac{du}{dt} = -u + RI(t), \quad (1)$$

при  $u \geq \vartheta$  потенциал мембраны сбрасывается и на  $\tau_{ref}$  держится в сброшенном состоянии

$$u \leftarrow u_r \text{ в течении } \tau_{ref}, \quad (2)$$

где  $\vartheta$  - порог напряжения, временная константа мембраны  $\tau_m = RC$ ,  $R$  и  $C$  - сопротивление и ёмкость RC-цепи соответственно,  $\tau_{ref}$  - рефракторное время,  $I(t)$  - приложенный ток извне,  $u_r$  - константа описывающая потенциал мембраны покоя нейрона.

Пример работы такого нейрона можно посмотреть на рис.2.

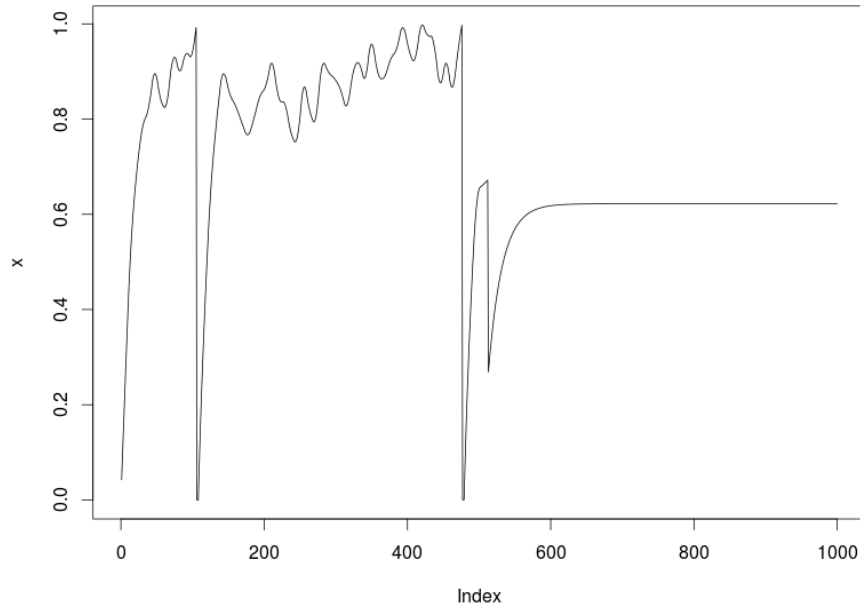


Рис. 2: Напряжение на мембране IaF, при  
 $u_r = 0, \vartheta = 1, \tau_{ref} = 2 \text{ мс}, \tau_m = 20 \text{ мс}$

## 2 Статичный синапс

При формировании спайковых нейронных сетей наиболее естественный способ передачи сигнала от одного нейрона к другому – через синаптические связи. Биологически адекватной моделью является модель синапса с быстрым экспоненциальным ростом (1-5 мс), а затем медленным (10-100 мс) угасанием. Такая динамика хорошо описывает высвобождение нейромедиаторов в синаптическую щель, проведение импульса на постсинаптическую мембрану, а затем медленное угасание этого импульса [1]. См. рис. 3

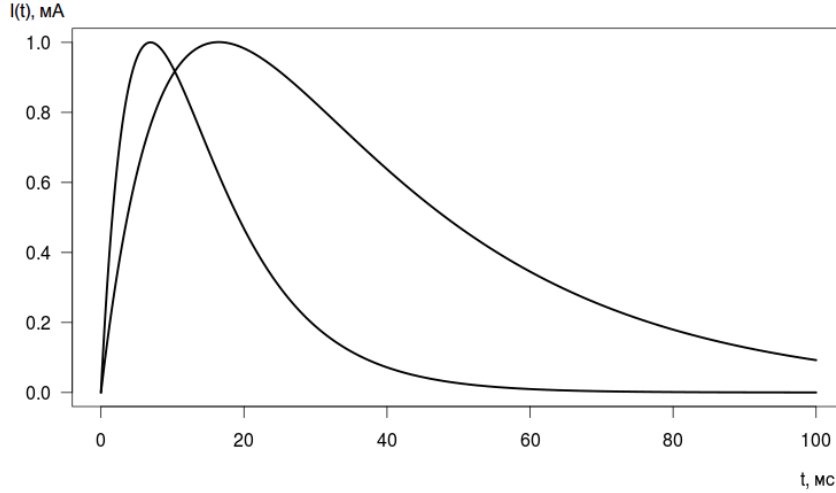


Рис. 3: Динамика синапса

### 3 Гедонистический синапс

В работе Seung[2] была представлена модель синапса в разрезе теории обучения с подкреплением – предполагается, что активность синапса напрямую альтерируется размером награды в системе. Теоретическая модель в своей основе, модель не претендует на серьезные биологические обоснования, но тем не менее модель отражает некоторые известные биологические феномены, например такой как выработка оперантного условного рефлекса.

Модель гедонистического синапса устроена так, что синапс может находиться в двух состояниях: состояние доступности ( $A$ ), состояние рефракторности ( $R$ ). Когда синапс доступен вероятность того, что синапс высвободит нейромедиаторы и проведёт входной импульс задается softmax формулой:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-q-c}},$$

которая является функцией от параметра натренированности синапса  $q$  и параметра  $c$ , который задает динамику кальция в синапсе. Чем больше значение этих двух параметров, тем выше вероятность проведения спайка.

Параметры  $q$  и  $c$  изменяются во времени и имеют разную динамику. Параметр  $q$  изменяется на большом промежутке времени, обучение нейрона охарактеризовано именно этим параметром, этот параметр можно описать как вероятностный вес синапса. Параметр  $c$  задает динамику на небольшом промежутке (около 0.5 с) и является как бы катализатором спайков синапса – при большом количестве спайков на входе синапса, синапс увеличивает вероятность своего спайка.

При каждом спайке синапса переменная  $c$  увеличивается на небольшую константу  $\Delta c$ , после чего  $c$  угасает с динамикой описываемой уравне-

нием:

$$\frac{dc}{dt} = -c/\tau_c, \quad (3)$$

где  $\tau_c$  временная константа порядка 500 мс.

Так же, при каждом спайке синапса, спайк оставлет т.н. след на синапсе, который угасает в заданном порядке (от 20 мс, до 1 с). Этот элемент является ключевым в обучении синапса следовать награде. При спайке переменная  $e$  увеличивается на значение  $\Delta e$ :

$$\Delta e = \begin{cases} 1 - p, & \text{при выбросе нейромедиатора} \\ -p, & \text{при неудаче выброса} \end{cases}, \quad (4)$$

угасание описывается аналогичной динамикой, как в динамике кальция 3, только с временной константой  $\tau_e$

При включении системы награды и наказания в данную модель, где уровень награды описывается переменной  $R$ , динамику вероятностного веса синапса  $q$ , можно описать уравнением

$$\frac{dq}{dt} = \eta R(t)e(t)$$

где  $\eta$  маленький коэффициент обучения.

След активности синапса  $e$  играет роль памяти в системе, если синапс произвёл определенную активность и получил награду в ближайшее время (зависит от  $\tau_e$ ), то вероятность выброса нейромедиатора напрямую альтернируется корреляцией  $e$  и  $R$ . Причём, если синапс имеет слабый вероятностный вес  $q$ , он провалил провести потенциал (т.е. монетка подброшенная для семплирования вероятности  $p$  показала неудачу) и получил награду, то  $q$  в целом уменьшается на значения  $-p$  (см. 4). В случае же когда синапс выпустил нейромедиатор и награда пришла, но веротность увеличивается на значение  $1 - p$ .

## 4 Исследование классификатора

\*в разработке\*

## Список литературы

- [1] Wikipedia. Excitatory postsynaptic potential — Wikipedia, the free encyclopedia, 2015. [Online; accessed 10-October-2015].
- [2] H Sebastian Seung. Learning in spiking neural networks by reinforcement of stochastic synaptic transmission. *Neuron*, 40:1063–1073, 2003.