

# Проекты

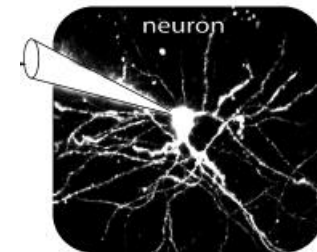
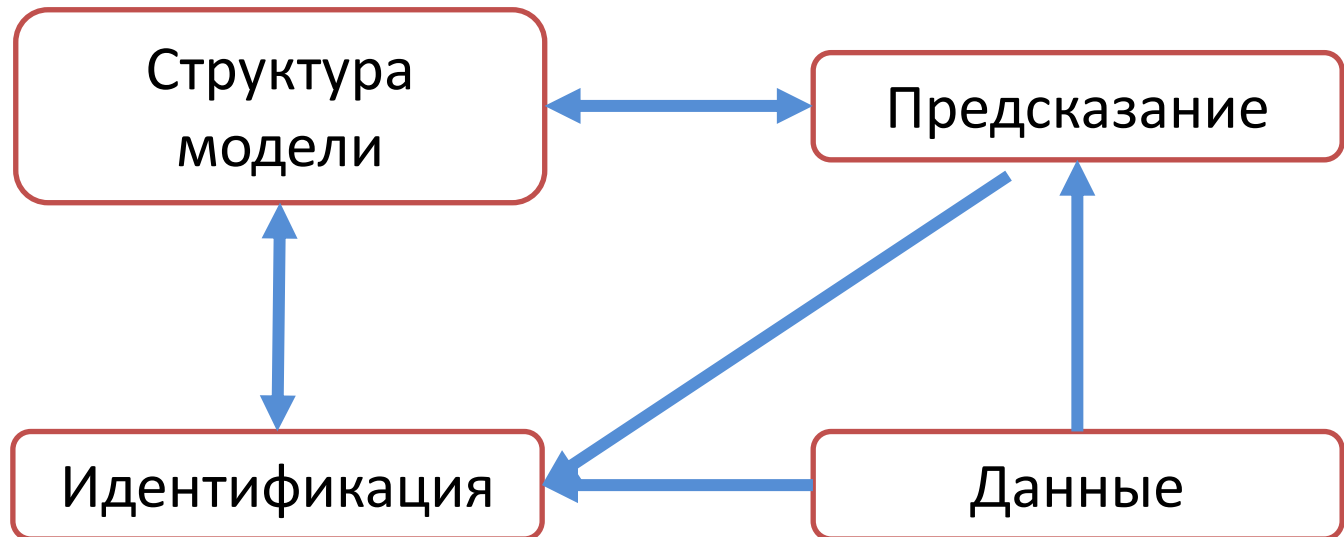
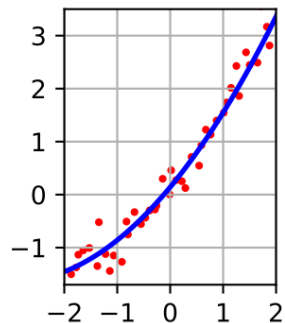
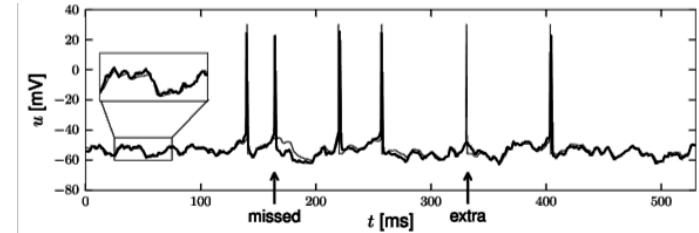
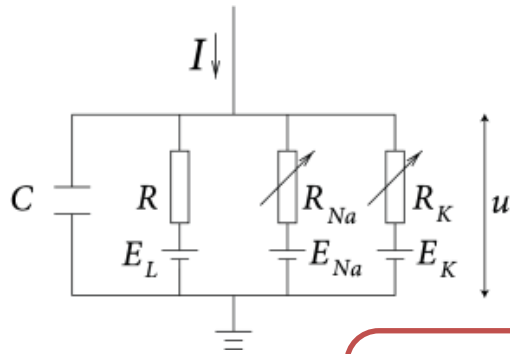
**Моделирование**

**Управление**

**Нейроморфные  
вычисления**

**Обучение**

# 1. Идентификация модели нейрона



# 1. Идентификация модели нейрона

1. Скачать данные о динамике МП реального нейрона
2. Выбрать упрощенную модель: AdEx или Ижикевича
3. Выбрать целевые признаки: частота спайков, ISI (interspike interval), I-f кривая, I-V кривая и др.
4. Подобрать параметры упрощенной модели так, чтобы она воспроизводила поведение.

<https://neurondynamics.epfl.ch/online/Ch10.html>

Naud, R., Marcille, N., Clopath, C., & Gerstner, W. (2008). Firing patterns in the adaptive exponential integrate-and-fire model. *Biological cybernetics*, 99(4), 335-347.

# Данные

**Реалистичные модели:** <https://senselab.med.yale.edu/ModelDB/>

Есть в MATLAB:

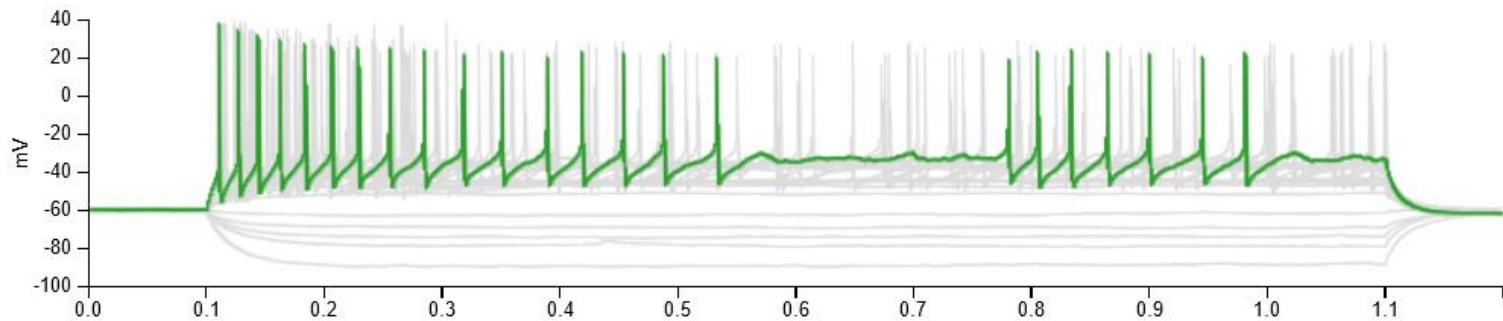
[https://senselab.med.yale.edu/ModelDB/ShowModel?model=262422&file=/MedlockEtAl2018/SFO\\_model.m#tabs-1](https://senselab.med.yale.edu/ModelDB/ShowModel?model=262422&file=/MedlockEtAl2018/SFO_model.m#tabs-1)

**Электрофизиологические данные от Allen Brain Institute :**

<https://celltypes.brain-map.org/data>

Лучше выбрать какой-нибудь интересный паттерн

**Например:** <https://celltypes.brain-map.org/experiment/electrophysiology/617745241>

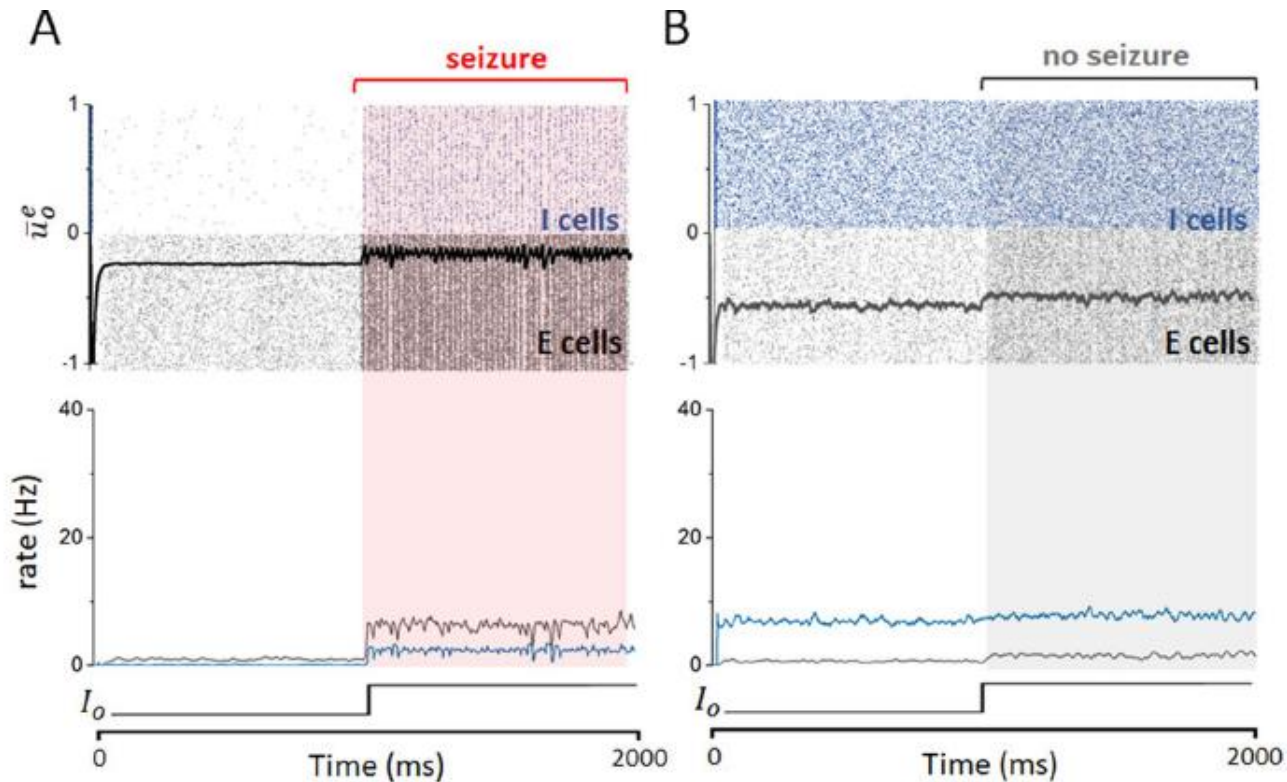


## 2. Синхронизация в сети нейронов

Спонтанная синхронизация активности – одна из причин эпилепсии.

**Задача:**

Исследовать, как топология сети влияет на синхронизацию



Rich, S., Hutt, A., Skinner, F.K. *et al.* Neurostimulation stabilizes spiking neural networks by disrupting seizure-like oscillatory transitions. *Sci Rep* **10**, 15408 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72335-6>

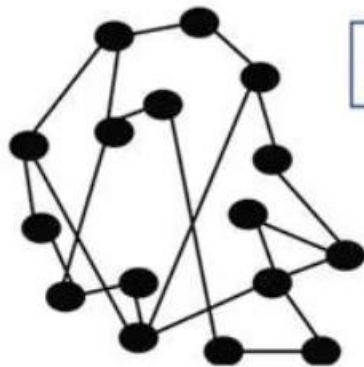
## 2. Синхронизация в сети нейронов

В сети спайкующих нейронов исследовать возникновение синхронных колебаний.

Создать сеть со сложной топологией: scale-free или small-world.

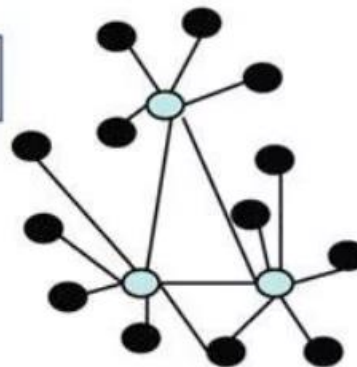
Исследовать, какое влияние на синхронизацию оказывает плотность связей, коэффициент кластеризации, длина пути, другие параметры.

Random Network

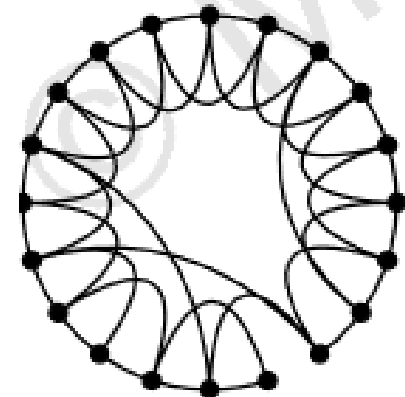


$k = \text{degree or \# nodal connections}$

Scale-free Network



Small-world

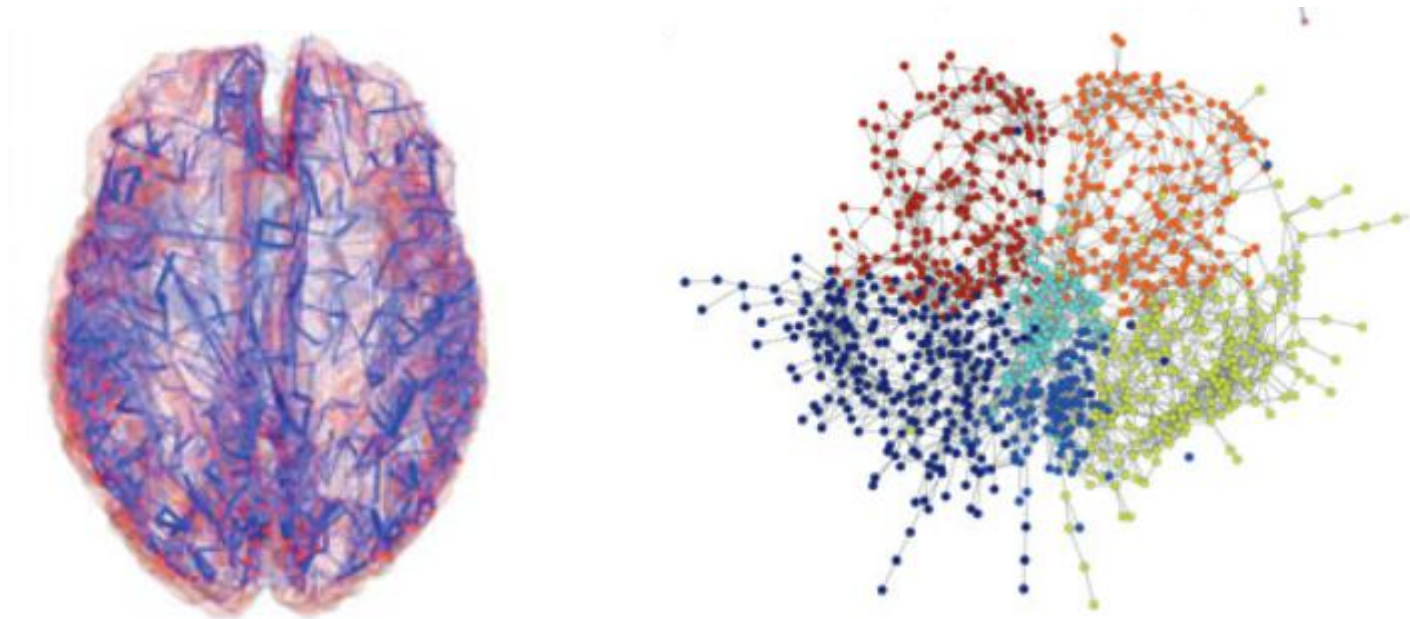


<http://worrydream.com/refs/Watts-CollectiveDynamicsOfSmallWorldNetworks.pdf>

## 2. Синхронизация в сети нейронов

Мотивация: мозг это сеть «тесного мира», а не случайный граф.

Сети тесного мира позволяют получить короткое расстояние между узлами при небольшом числе связей



Sporns, O. (2011). The human connectome: a complex network. *Annals of the new York Academy of Sciences*, 1224(1), 109-125.

Roxin, A., Riecke, H., & Solla, S. A. (2004). Self-sustained activity in a small-world network of excitable neurons. *Physical review letters*, 92(19), 198101.

<https://arxiv.org/pdf/nlin/0309067.pdf>

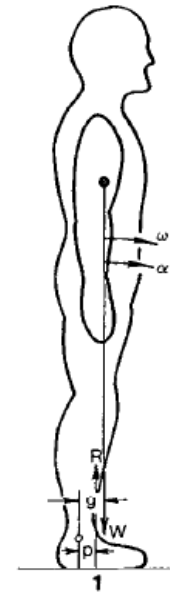
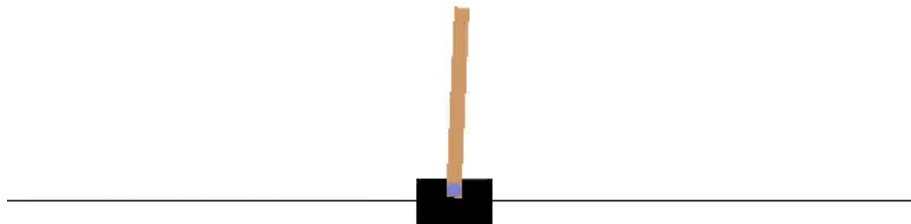
## 2. Синхронизация в сети нейронов

1. Изучить, как задавать топологию сети в Brian2
  2. Создать small-world сеть (см Вики или [3]).
  3. Исследовать как в сети возникает синхронизация
  4. Исследовать, как влияют на синхронизацию изменение топологических параметров сети: коэффициент кластеризации, длина путей
  5. Исследовать, как влияет стимуляция узлов с разными характеристиками центральности
- 
1. <https://brian2.readthedocs.io/en/stable/resources/tutorials/2-intro-to-brian-synapses.html>
  2. [https://brian2.readthedocs.io/en/stable/examples/frompapers.Brunel\\_Hakim\\_1999.html](https://brian2.readthedocs.io/en/stable/examples/frompapers.Brunel_Hakim_1999.html)
  3. <https://networkx.org/documentation/stable/reference/generators.html>

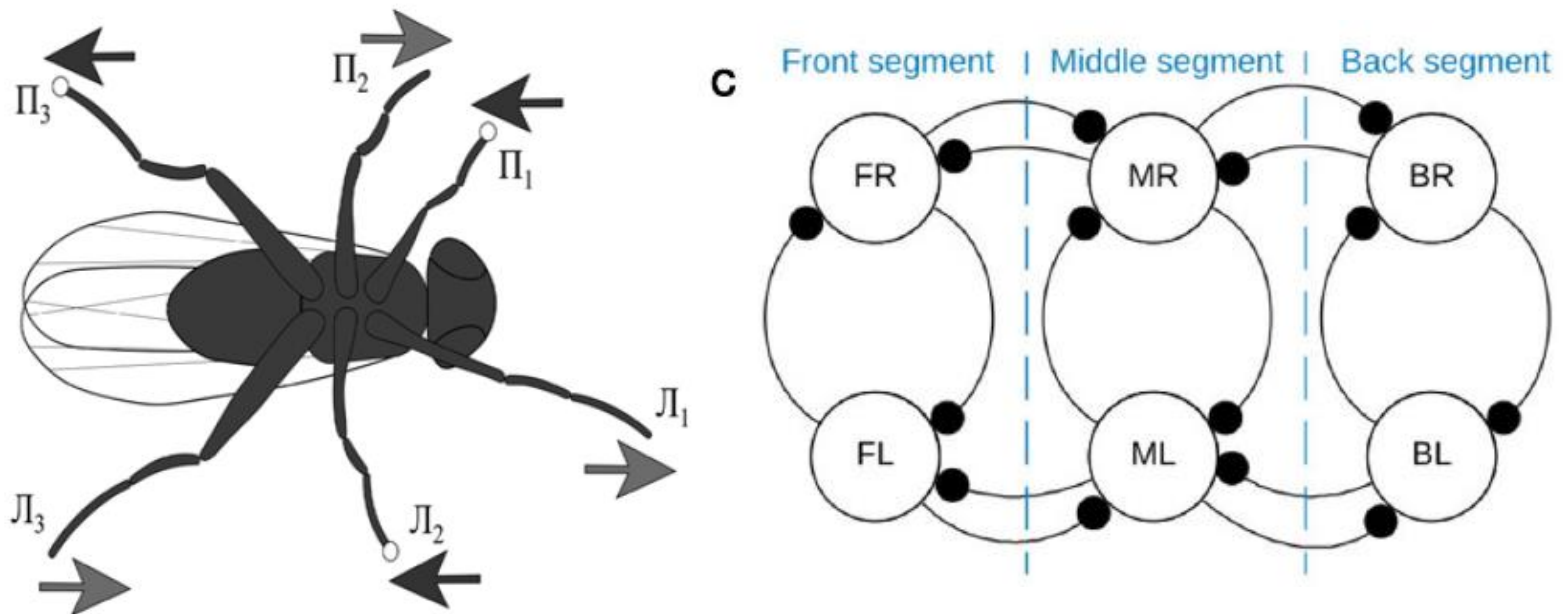


### 3. Управление балансом

1. Научиться не ронять маятник ( $R=200$ )
2. Переделать среду для непрерывного управления
3. Научиться приводить тележку в заданную точку  $x$
4. Исследовать, как помехи влияют на управление. К наблюдениям прибавляется случайный шум  $N(0, \sigma)$
5. Ограниченные наблюдения. Контроллер не получает на вход скорость тележки. Подсказка: скорость можно оценить по прошлому управлению



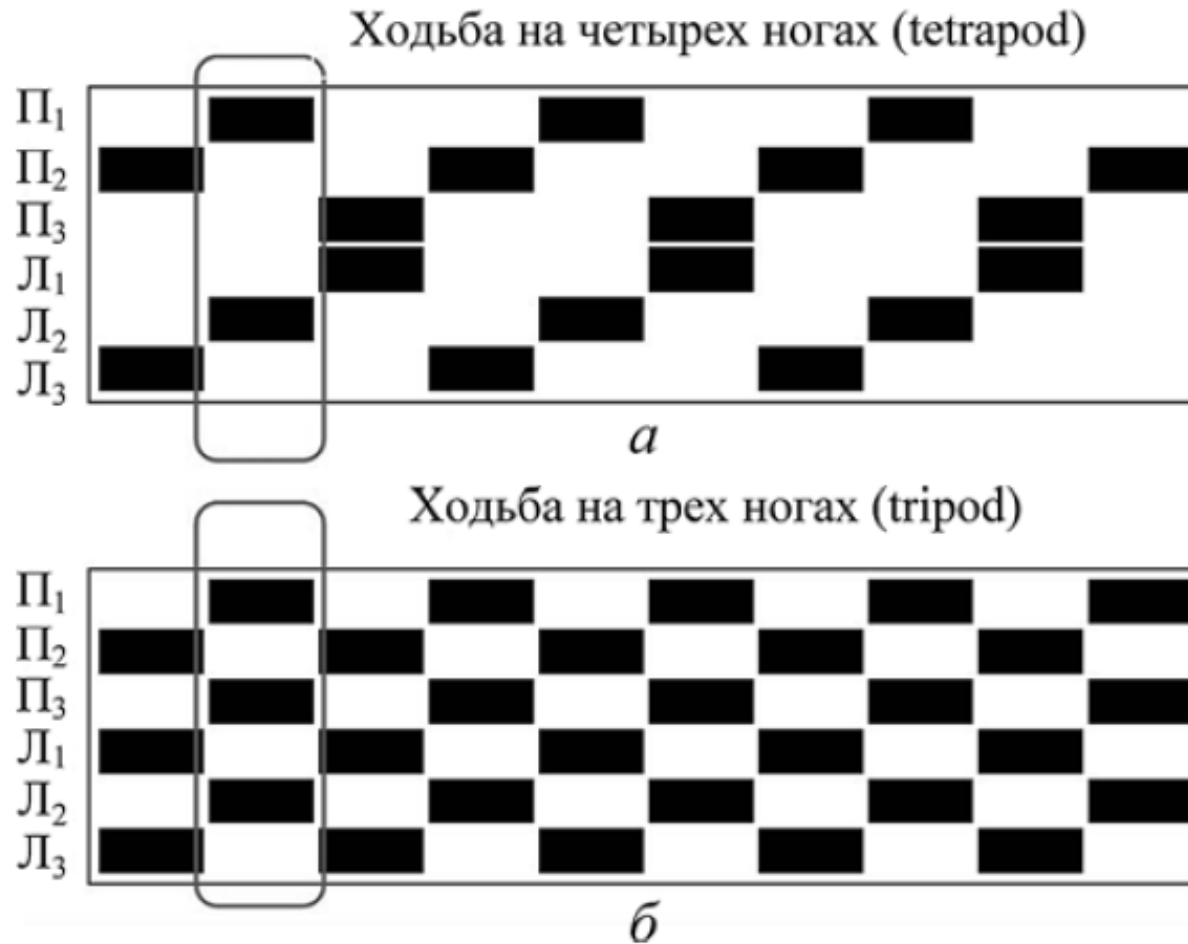
## 4. Переключение моторного ритма



Strohmer, B., Manoonpong, P., & Larsen, L. B. (2020). Flexible spiking CPGs for online manipulation during hexapod walking. *Frontiers in neurorobotics*, 14, 41.

Болдышев, Б. А., & Жиликова, Л. Ю. (2021). Нейромодуляция как инструмент управления нейронными ансамблями. *Проблемы управления*, 2(0), 76-84.

## 4. Переключение моторного ритма

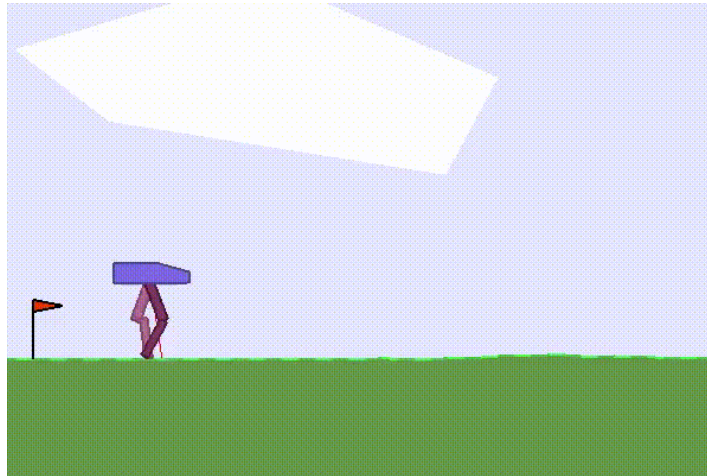


## 4. Переключение моторного ритма

1. Установить симулятор шестиногого робота  
[https://kraby.readthedocs.io/en/latest/gym\\_environments/](https://kraby.readthedocs.io/en/latest/gym_environments/)
2. Создать центральный генератор паттернов для управления шестиногой локомоцией [Болдышев & Жиякова, 2021]
3. Настроить параметры сети и нейронов так, чтобы получился четырехногий ритм [Болдышев & Жиякова, 2021]
4. Добавить тормозные связи таким образом, чтобы помехи не разрушали ритм
5. Научиться управлять частотой ритма – скоростью походки
6. Научиться изменять веса связей так, чтобы получился трехногий ритм

## 5. Управление походкой

Создать сеть, управляющую походкой двуногого робота  
Среда BipedalWalker в OpenAI Gym



Russell, A., Orchard, G., & Etienne-Cummings, R. (2007, May). Configuring of spiking central pattern generator networks for bipedal walking using genetic algorithms.

# Обучение

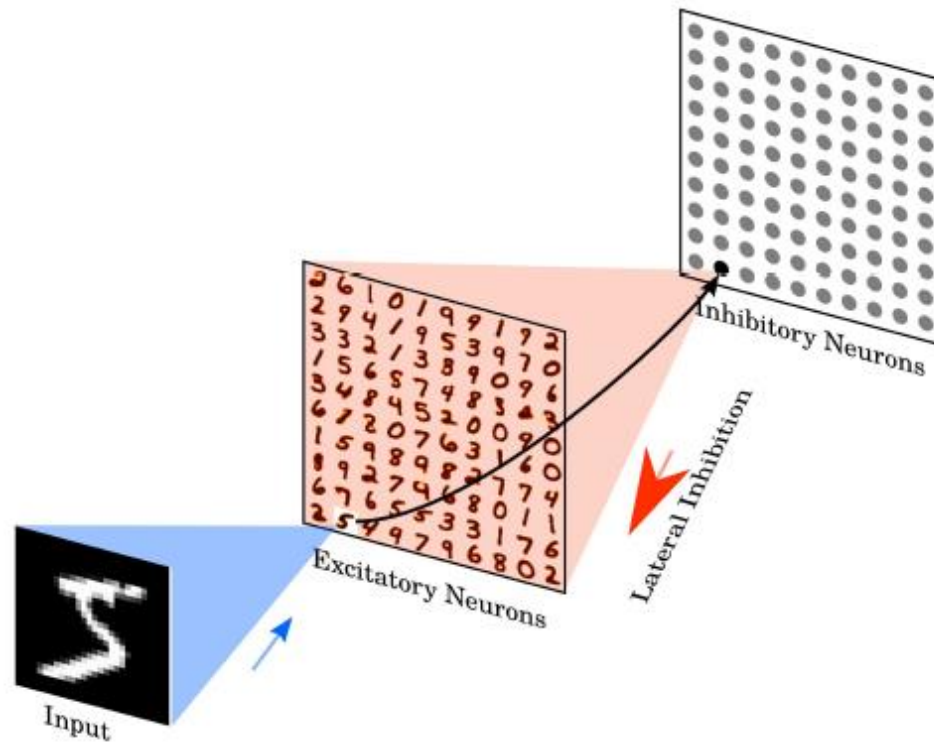
**С учителем**

**Без учителя**

**Обучение**

**С подкреплением**

## 6. Обучение без учителя



Diehl, P. U., & Cook, M. (2015). Unsupervised learning of digit recognition using spike-timing-dependent plasticity. *Frontiers in computational neuroscience*, 9, 99.  
<https://github.com/peter-u-diehl/stdp-mnist>

## 6. Обучение без учителя

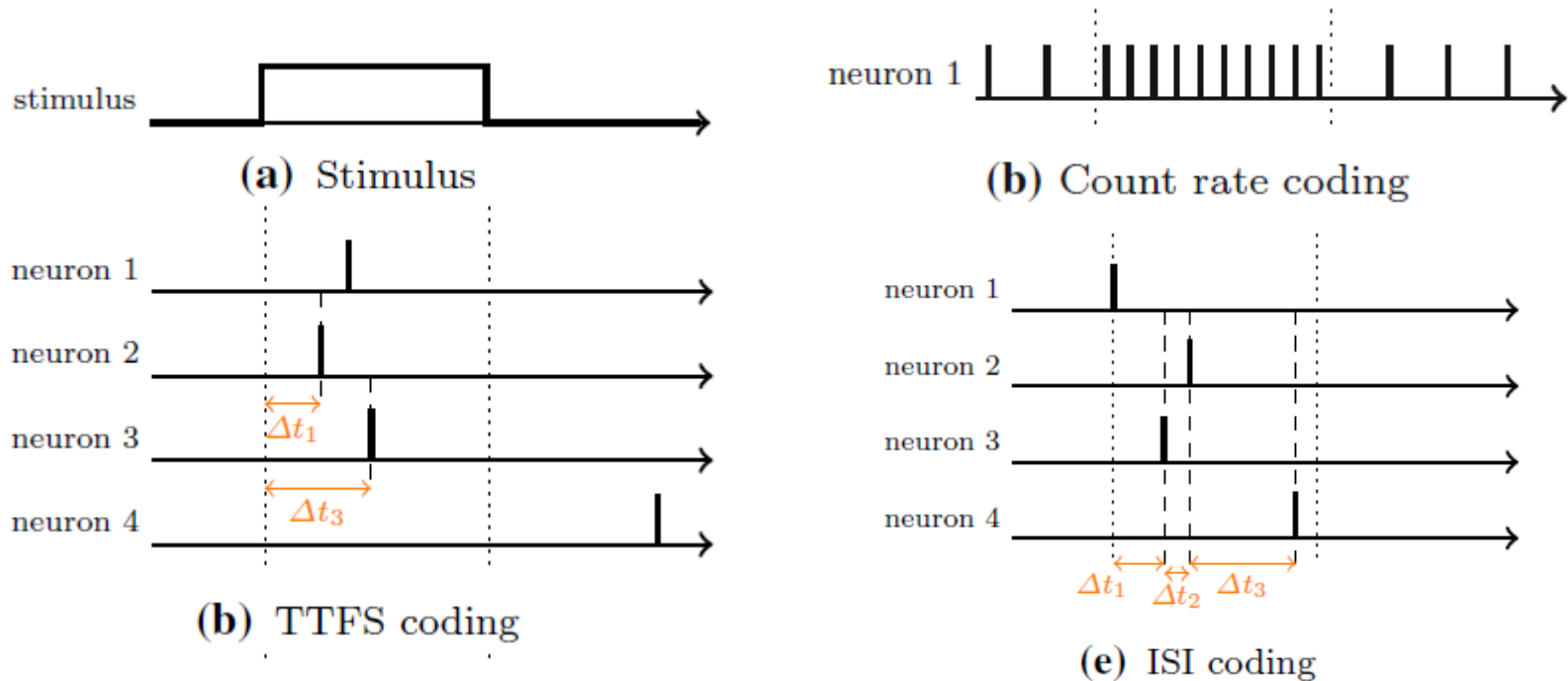
Реализовать классификатор изображений (или других объектов) на основе сети спайкующих нейронов.

1. Выбрать датасет. Только не базовый MNIST.
2. Выбрать архитектуру сети: кол-во слоев, кодирование, модель нейронов и синапсов
3. Реализовать STDP пластичность
4. Обучить сеть без учителя
5. Сопоставить классы активности сети



# 7. Сравнение схем кодирования

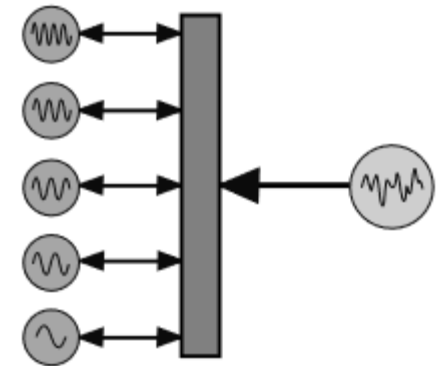
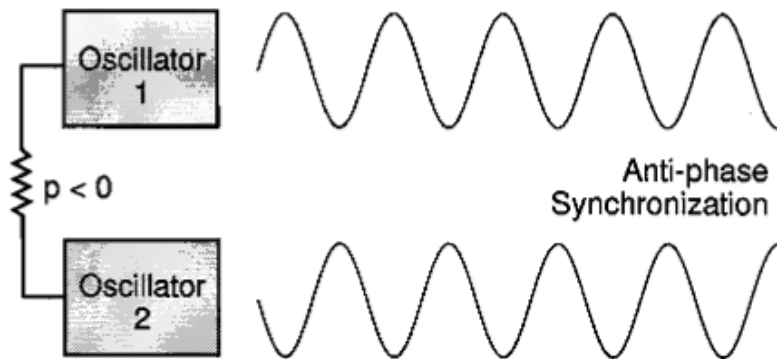
1. Выбрать задачу обучения
2. Реализовать любое не частотное кодирование
3. Обучить сеть без
4. Сравнить кодирование с частотным по критериям: качество классификации, энергоэффективность (кол-во спайков), время реакции, устойчивость к шуму в данных



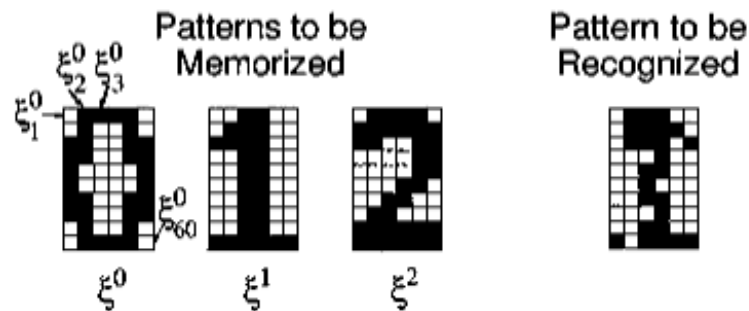
## 8. Ассоциативная память в сети осцилляторов

Образы могут кодироваться не только отдельными нейронами, но установившимися устойчивыми колебательными режимами.

Реализовать такое кодирование в сети осцилляторов



Oscillatory Neurocomputer



## 8. Ассоциативная память в сети осцилляторов

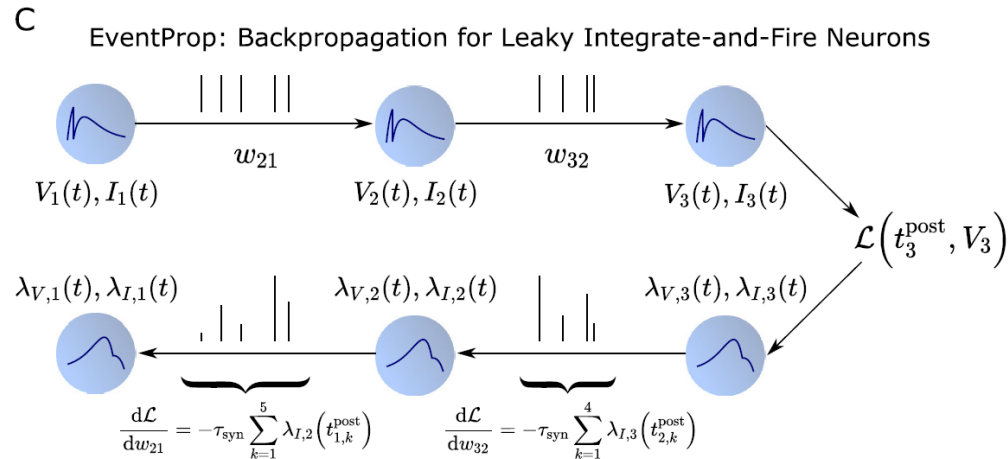
1. Создать набор простых образов, закодированных бинарными признаками. Например, 0-1 матриц (крестик, квадрат итд)
2. Используя одно из правил обучения, научить сеть осцилляторов распознавать образы
3. Создать сеть большего размера и повторить процедуру обучения
4. Протестировать обучение и работу сети на датасете MNIST

Hoppensteadt, F. C., & Izhikevich, E. M. (2001). Synchronization of MEMS resonators and mechanical neurocomputing. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 48(2), 133-138.

Hoppensteadt, F. C., & Izhikevich, E. M. (1999). Oscillatory neurocomputers with dynamic connectivity. *Physical Review Letters*, 82(14), 2983.

## 9. Обучение с учителем

1. Выбрать датасет (картинки, временные ряды и т.д.)
2. Сформулировать задачу: классификация, предсказание, обнаружение аномалий
3. Обучить спайковую нейросеть градиентными методами



Wunderlich, T. C., & Pehle, C. (2021). Event-based backpropagation can compute exact gradients for spiking neural networks. *Scientific Reports*, 11(1), 1-17.

<https://lava-nc.org/dl.html>

## 10. Сравнение ANN и SNN

1. Выбрать какую-нибудь задачу ML из перечисленных выше
2. Обучить ANN ее решать
3. Конвертировать ANN в SNN, сравнить качество

Diehl, P. U. et.al. (2016) Conversion of artificial recurrent neural networks to spiking neural networks for low-power neuromorphic hardware. In *2016 IEEE International Conference on Rebooting Computing (ICRC)* (pp. 1-8). IEEE