

Проекты

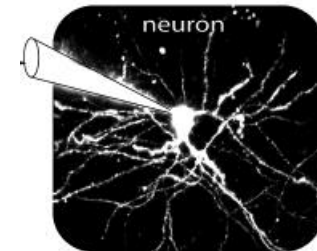
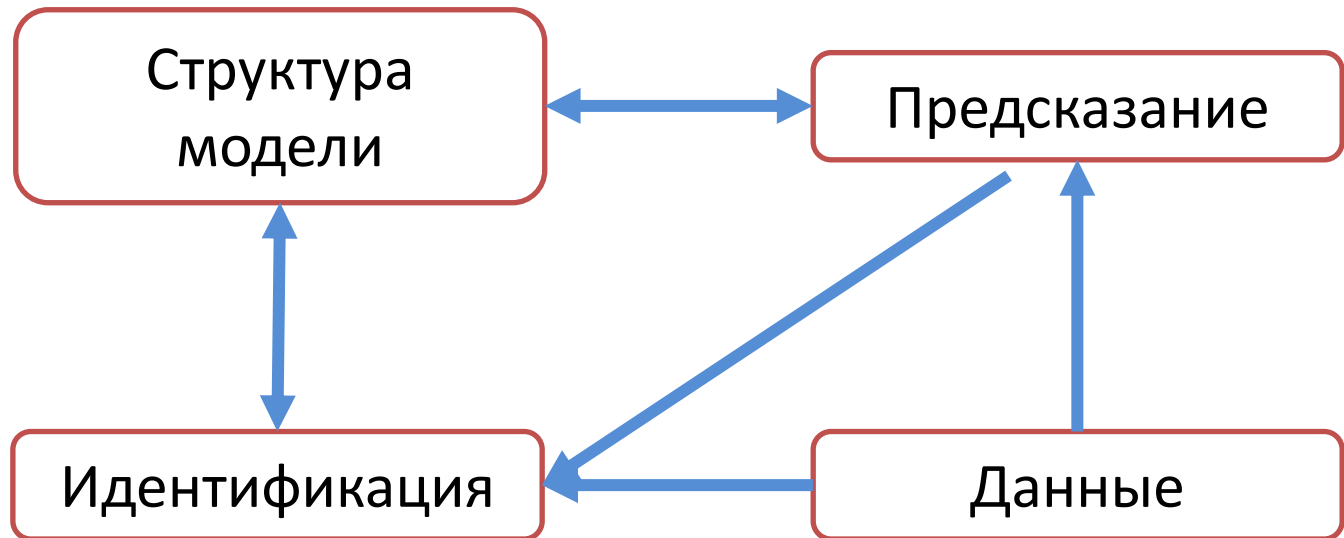
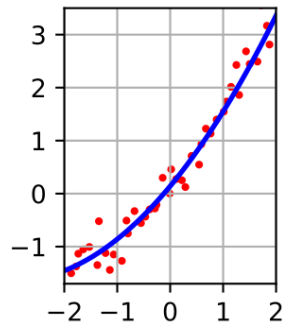
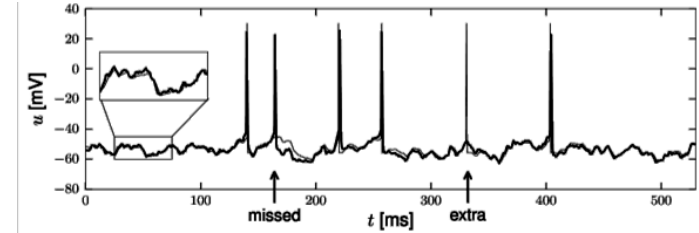
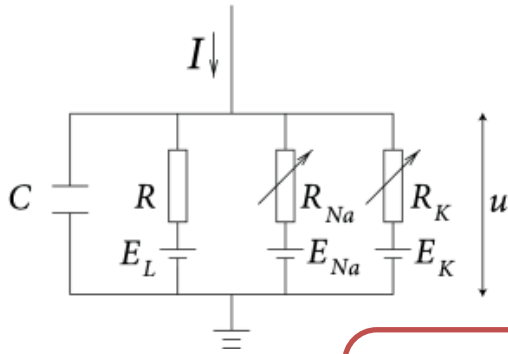
Моделирование

Управление

**Нейроморфные
вычисления**

Обучение

Идентификация модели нейрона



Идентификация модели нейрона

1. Скачать данные или сгенерировать их реалистичной моделью 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.

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:

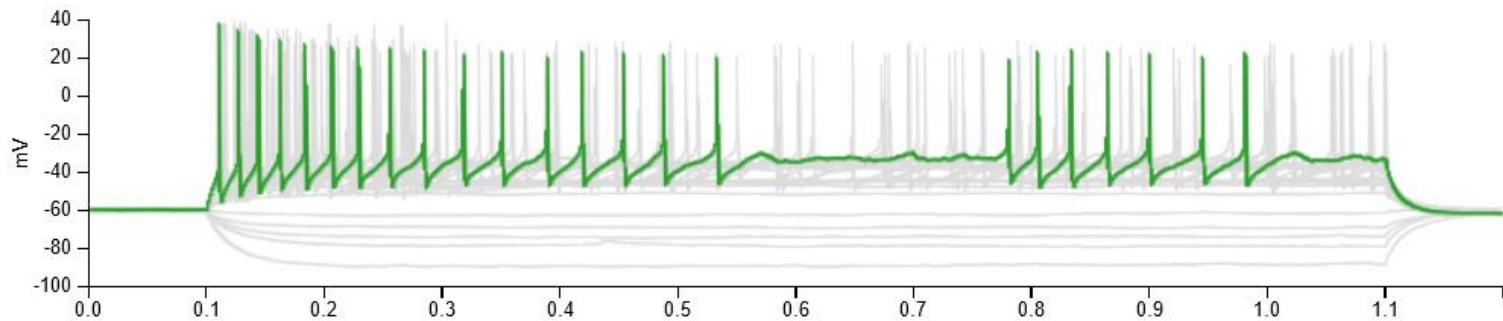
https://senselab.med.yale.edu/ModelDB/ShowModel?model=262422&file=/MedlockEtAl2018/SFO_model.m#tabs-1

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>



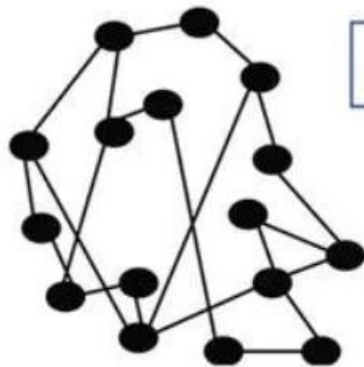
Исследование нестандартной топологии сети

В сети спайкующих нейронов исследовать возникновение синхронных колебаний. Создать сеть со сложной топологией:

scale-free или small-world.

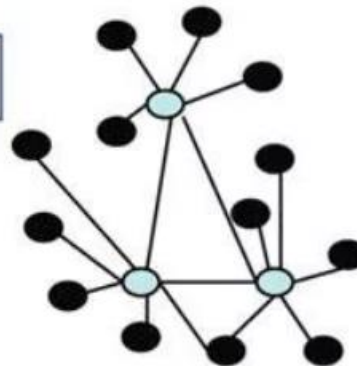
Исследовать, какое влияние на синхронизацию оказывает расположение нейрона в сети.

Random Network

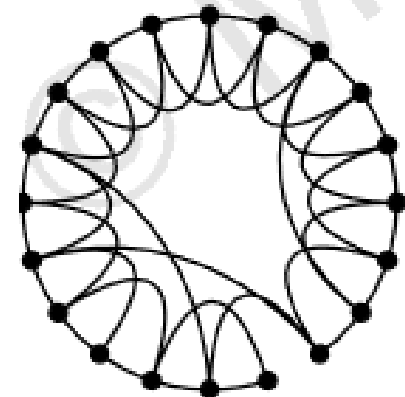


$k = \text{degree or \# nodal connections}$

Scale-free Network



Small-world



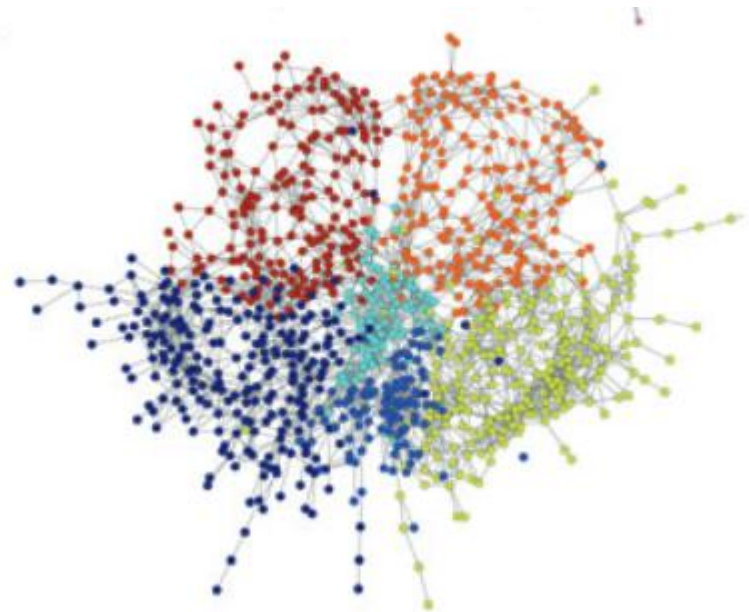
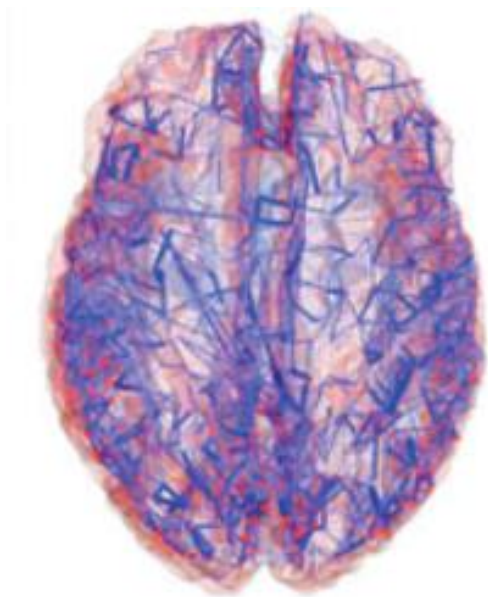
Roxin, A., Riecke, H., & Solla, S. A. (2004). Self-sustained activity in a small-world network of excitable neurons. *Physical review letters*, 92(19), 198101.

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

Исследование нестандартной топологии сети

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

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



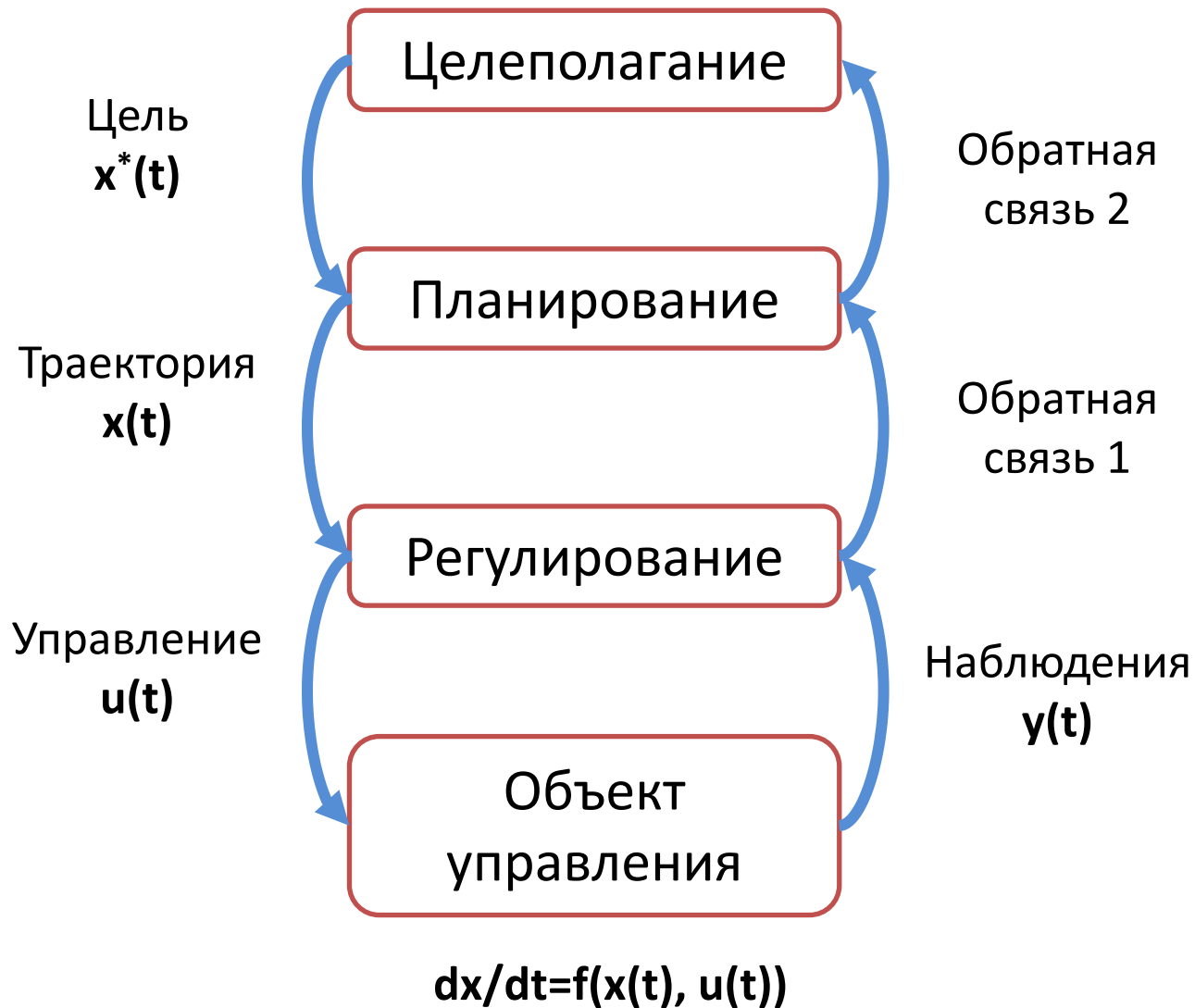
Sporns, O. (2011). The human connectome: a complex network. *Annals of the new York Academy of Sciences*, 1224(1), 109-125.

Исследование нестандартной топологии сети

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 сеть случайные повреждения
5. Исследовать, как влияют на сеть повреждения узлов с наибольшим количеством связей

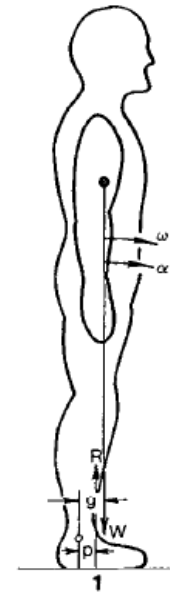
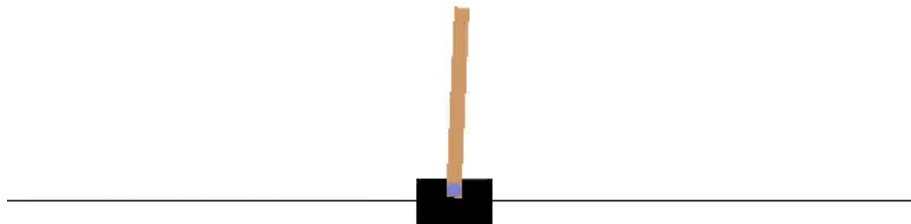
1. <https://brian2.readthedocs.io/en/stable/resources/tutorials/2-intro-to-brian-synapses.html>
2. https://brian2.readthedocs.io/en/stable/examples/frompapers/Brunel_Hakim_1999.html
3. <http://worrydream.com/refs/Watts-CollectiveDynamicsOfSmallWorldNetworks.pdf>

Управление

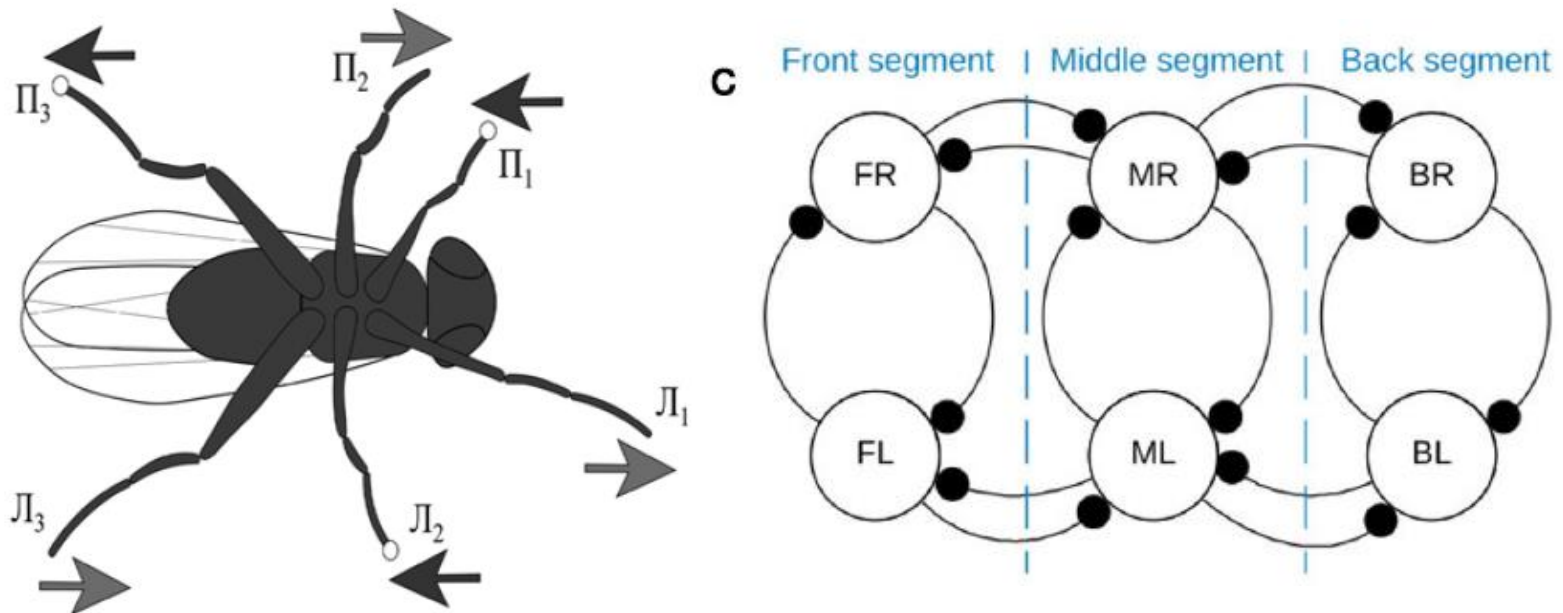


Управление балансом

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



Переключение моторного ритма

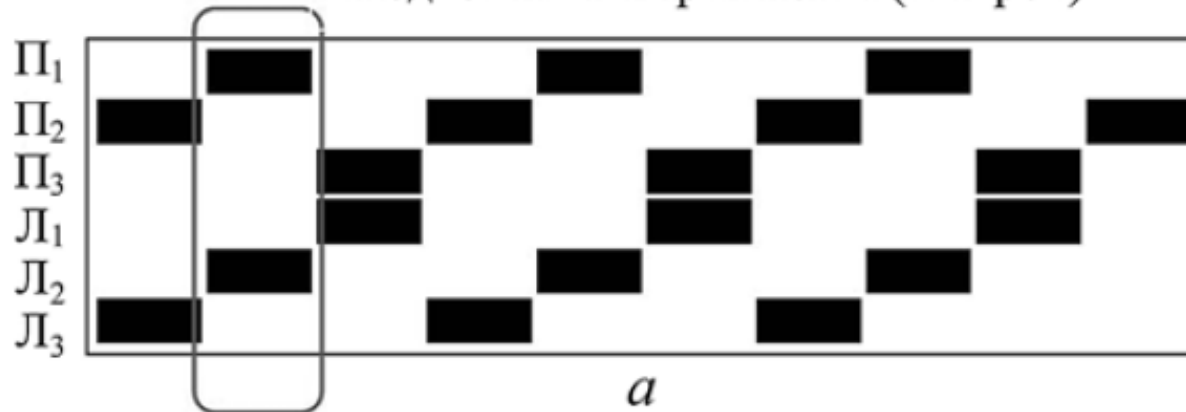


Strohmer, B., Manoonpong, P., & Larsen, L. B. (2020). Flexible spiking CPGs for online manipulation during hexapod walking. *Frontiers in neurorobotics*, 14, 41.

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

Переключение моторного ритма

Ходьба на четырех ногах (tetrapod)



Ходьба на трех ногах (tripod)



Переключение моторного ритма

1. Создать центральный генератор паттернов для управления шестиногой локомоцией [Болдышев & Жиякова, 2021]
2. Настроить параметры сети и нейронов так, чтобы получился четырехногий ритм [Болдышев & Жиякова, 2021]
3. Добавить тормозные связи таким образом, чтобы помехи не разрушали ритм
4. Научиться управлять частотой ритма – скоростью походки
5. Научиться изменять веса связей так, чтобы получился трехногий ритм

Переключение моторного ритма

Объекты управления:

- 1) CartPole в OpenAI Gym
- 2) Модель робота BipedalWalker в OpenAI Gym
- 3) Мышечно-скелетная модель человека в OSIM-RL (advanced)

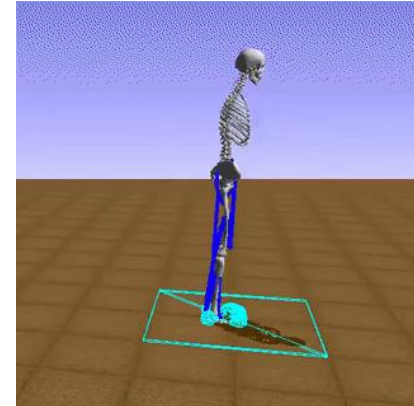
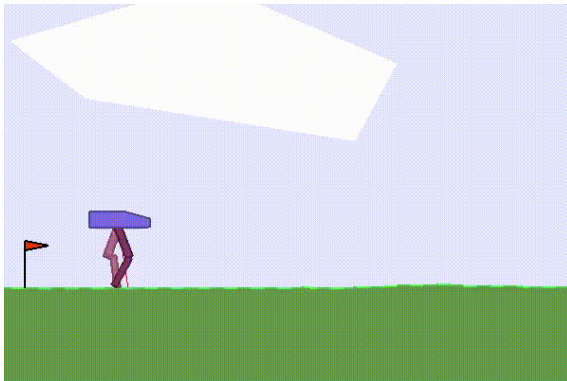
Источники:

1. Russell, A., Orchard, G., & Etienne-Cummings, R. (2007, May). Configuring of spiking central pattern generator networks for bipedal walking using genetic algorithms.
2. Knüsel, J. et.al. (2020). Reproducing five motor behaviors in a salamander robot with virtual muscles and a distributed CPG controller regulated by drive signals and proprioceptive feedback. *Frontiers in neurorobotics*, 14.
3. Google Scholar по ключевым словам “walk CPG”, “locomotion control”, ...

Управление локомоцией

На основе принципов работы нервной системы создать сеть, управляющую движениями робота.

- управление походкой на ровной поверхности
- восприятие – учет препятствий и изменений рельефа
- адаптация – перестройка сети при отказе сенсоров или актуаторов



Объекты управления:

- 1) CartPole в OpenAI Gym
- 2) Модель робота BipedalWalker в OpenAI Gym
- 3) Мышечно-скелетная модель человека в OSIM-RL (advanced)

Источники:

1. Russell, A., Orchard, G., & Etienne-Cummings, R. (2007, May). Configuring of spiking central pattern generator networks for bipedal walking using genetic algorithms.
2. Knüsel, J. et.al. (2020). Reproducing five motor behaviors in a salamander robot with virtual muscles and a distributed CPG controller regulated by drive signals and proprioceptive feedback. *Frontiers in neurorobotics*, 14.
3. Google Scholar по ключевым словам “walk CPG”, “locomotion control”, ...

Обучение

С учителем

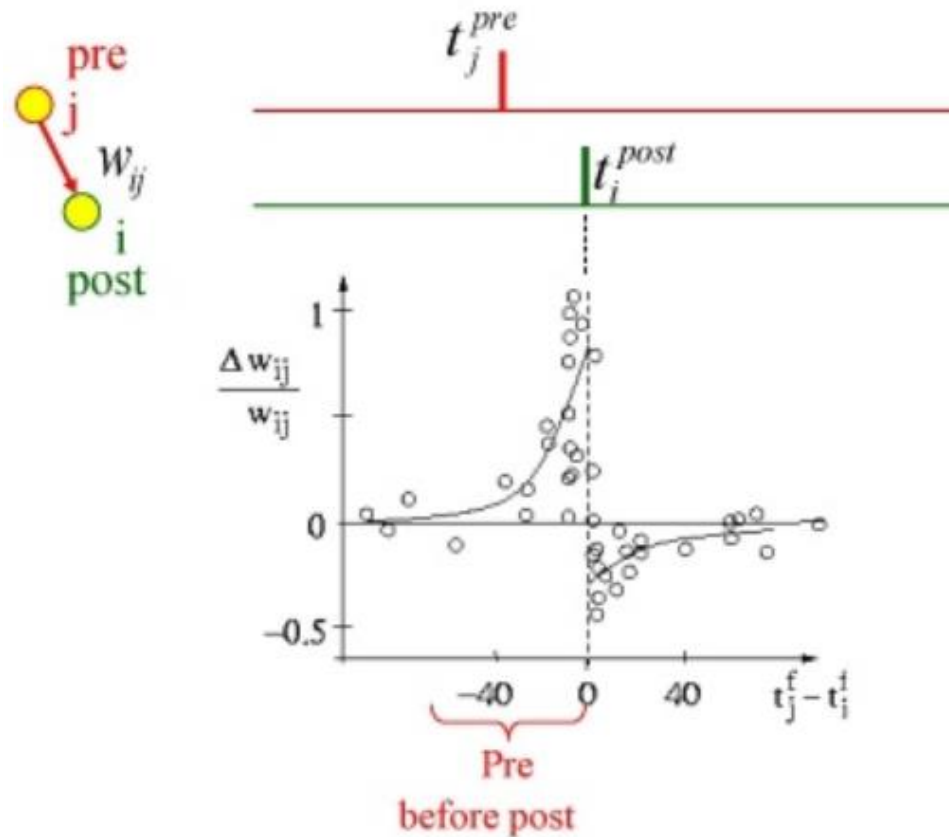
Без учителя

Обучение

С подкреплением

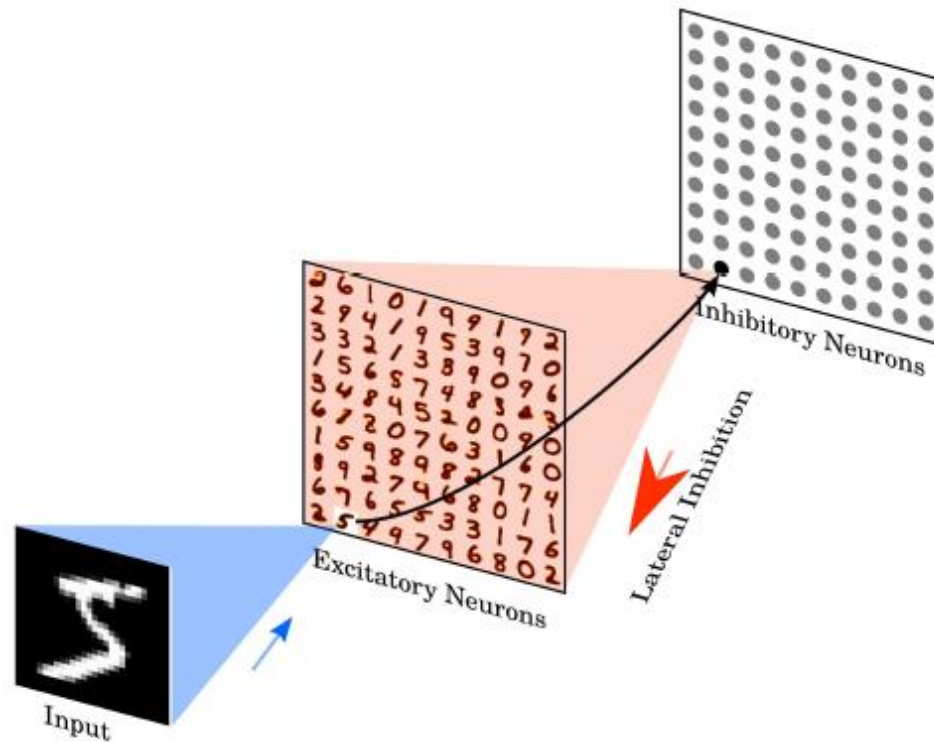
Обучение без учителя

STDP – Spike Timing Dependent Plasticity



J. Sjöström and W. Gerstner (2010), Scholarpedia, 5(2):1362.
<http://www.scholarpedia.org/article/STDP>

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>

Обучение без учителя

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

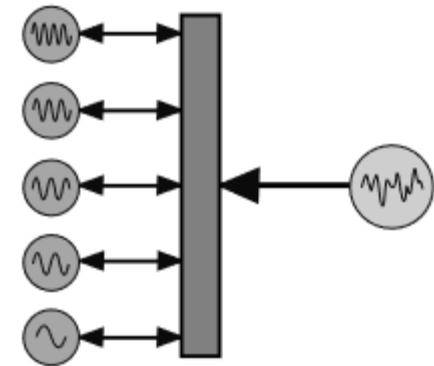
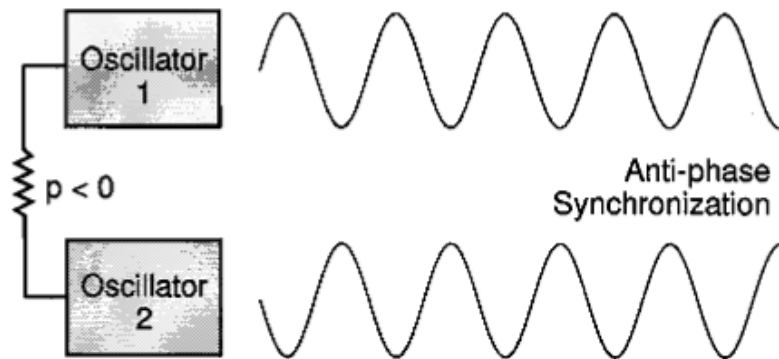
1. Выбрать датасет (Например, MNIST)
 1. Простой вариант: сформировать простые паттерны в матрице 10×10 : крест, линия, треугольник, смайлик и др.
2. Реализовать входной слой сети из I&F нейронов. Закодировать активность каждого пикселя частотой спайков
3. Реализовать второй слой нейронов как в статье [Diehl, 2015]
4. Реализовать STDP пластичность
5. Обучить сеть без учителя
6. Сопоставить классы активности сети

MNIST Digits. <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>

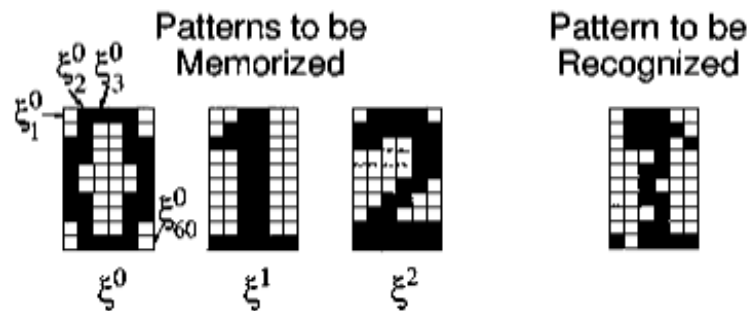
Ассоциативная память в сети осцилляторов

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

Реализовать такое кодирование в сети осцилляторов



Oscillatory Neurocomputer



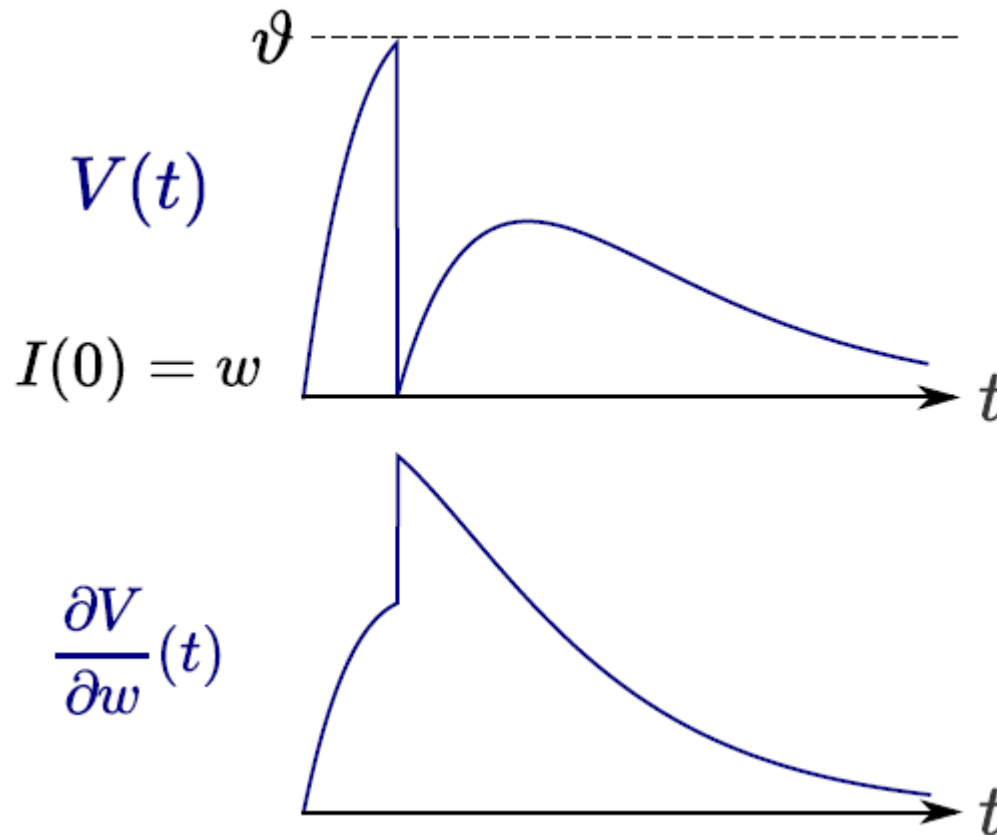
Ассоциативная память в сети осцилляторов

1. Создать сеть из двух связанных осцилляторов
2. Создать набор простых образов, закодированных бинарными признаками. Например, 0-1 матриц (крестик, квадрат итд)
3. Используя Хеббовское правило обучения, научить осцилляторы распознавать образы
4. Создать сеть большего размера и повторить процедуру обучения
5. 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.

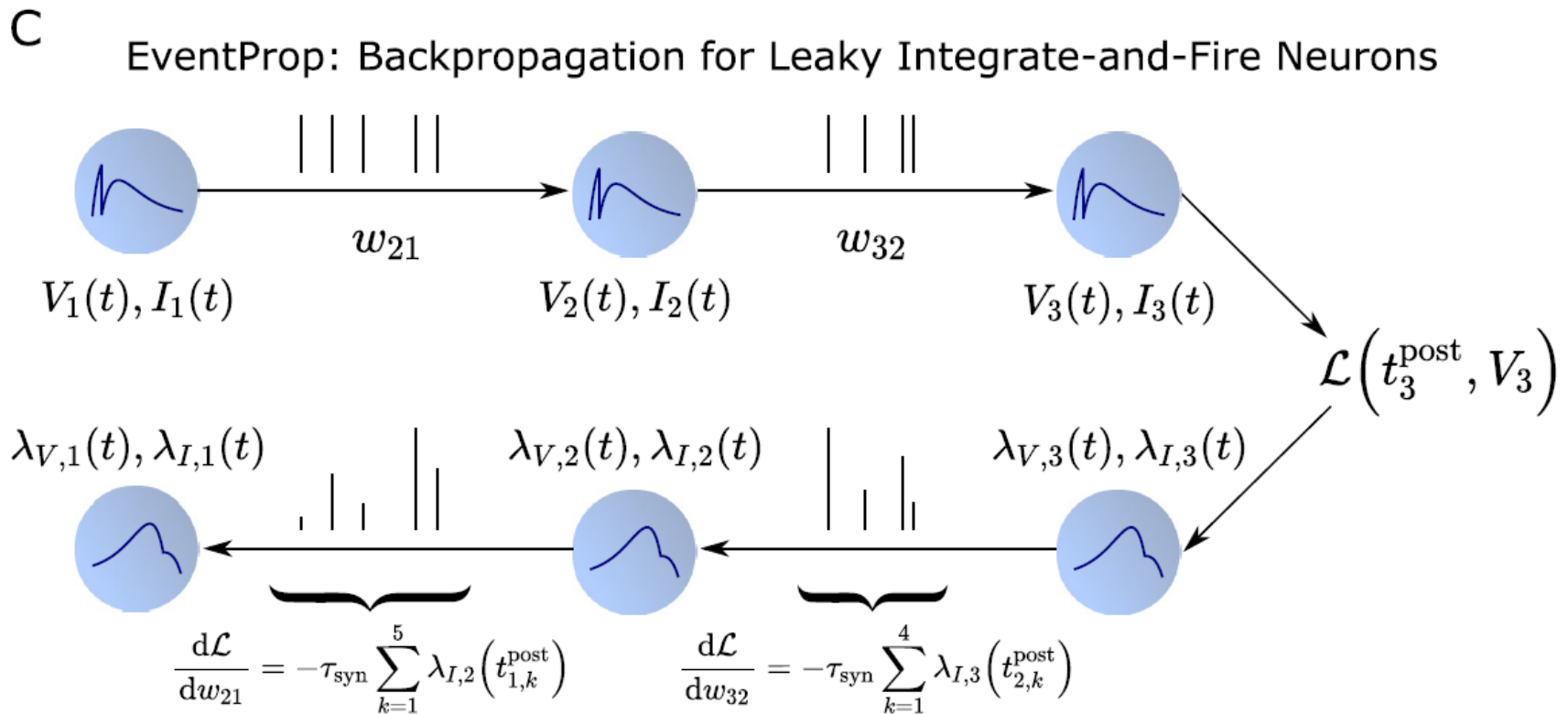
Hoppensteadt, F. C., & Izhikevich, E. M. (1999). Oscillatory neurocomputers with dynamic connectivity. *Physical Review Letters*, 82(14), 2983.

Обучение с учителем



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

Обучение с учителем



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