

Фізичний механізм обробки сигналів в біологічних нейронних мережах

О.К.Відибіда
<http://vidybida.kiev.ua>

Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова

Конференція молодих вчених 2021-12-21, Інститут
теоретичної фізики, Київ, Україна

Outline

Розпізнавання об'єктів як концепцій

Нейронна доктрина

Нервові імпульси

Кодування

Видалення зайвої інформації

Рекурентна нейронна мережа

Зв'язующий нейрон

Розпізнавання об'єктів як концепцій



концепція



"ТИГР"



Outline

Розпізнавання об'єктів як концепцій

Нейронна доктрина

Нервові імпульси

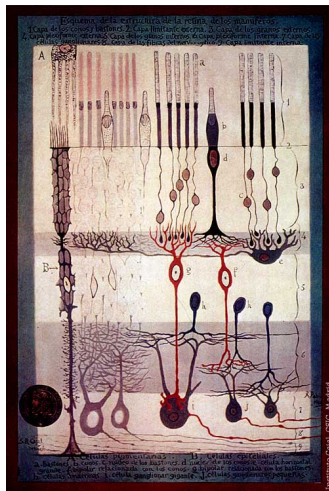
Кодування

Видалення зайвої інформації

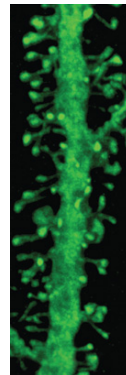
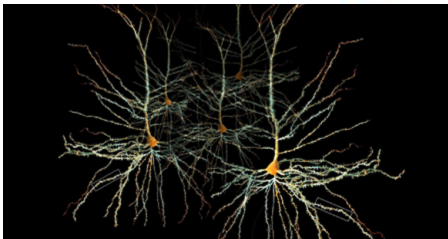
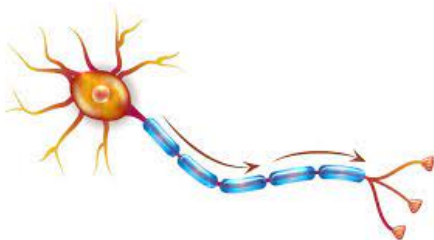
Рекурентна нейронна мережа

Зв'язующий нейрон

Нейронна доктрина (1888, Рамон-і-Кахаль)



Нейрони



Outline

Розпізнавання об'єктів як концепцій

Нейронна доктрина

Нервові імпульси

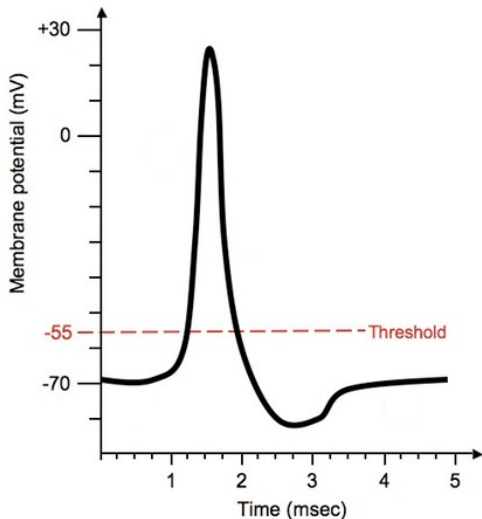
Кодування

Видалення зайвої інформації

Рекурентна нейронна мережа

Зв'язующий нейрон

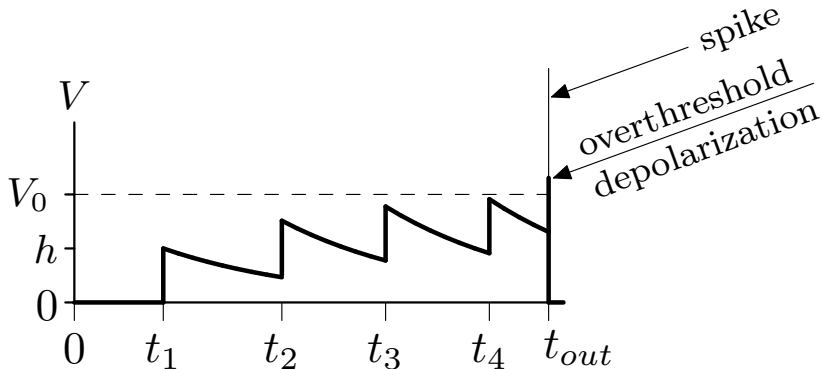
Нервовий імпульс (спайк)



Імпульси, згенеровані одним нейроном, однакові.

Імпульси, згенеровані різними нейронами, дуже схожі.

Декілька імпульсів потрібно для досягнення порогу збудження



Модель Ходжкіна — Хакслі (1952)

500

10

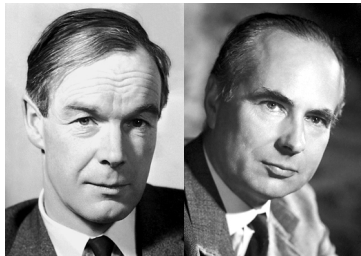
J. Physiol. (1952) 117, 500-544

A QUANTITATIVE DESCRIPTION OF MEMBRANE
CURRENT AND ITS APPLICATION TO CONDUCTION
AND EXCITATION IN NERVE

By A. L. HODGKIN AND A. F. HUXLEY

From the Physiological Laboratory, University of Cambridge

(Received 10 March 1952)



Описує фізико-хімічні процеси при генерації і передачі нервових імпульсів. В основі – рух іонів натрію і калію через канали в непроникній нейронній мембрані

Нобелівська премія 1963 р.

Біофізика електричної активності



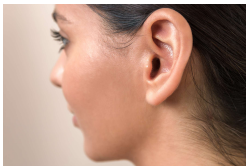
БІБЛІОТЕКА ДЕРЖАВНОГО ФОНДУ
ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

П. Г. Костюк, В. Л. Зима, І. С. Магура,
М. С. Мірошніченко, М. Ф. Шуба

БІОФІЗИКА



Будь-який сенсорний орган генерує послідовність імпульсів

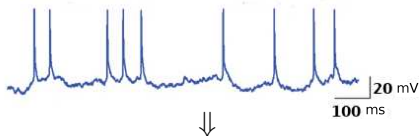


ЗІР

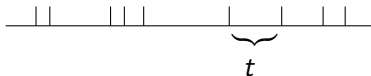
СЛУХ

НЮХ

напруга на мембрані:



послідовність імпульсів



міжспайковий інтервал

Outline

Розпізнавання об'єктів як концепцій

Нейронна доктрина

Нервові імпульси

Кодування

Видалення зайвої інформації

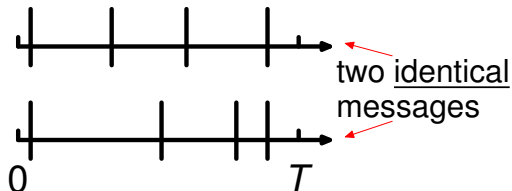
Рекурентна нейронна мережа

Зв'язующий нейрон

Частотне кодування чи часове кодування?

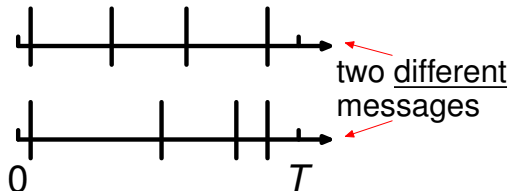
exact temporal position **does not** matter

Rate
coding

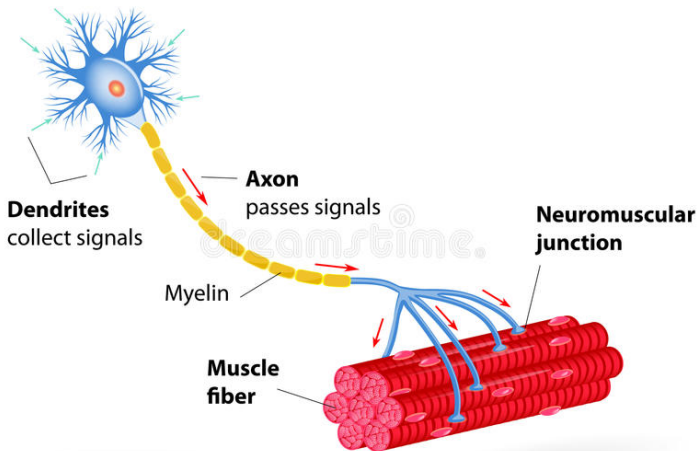


exact temporal position matter

Time
coding

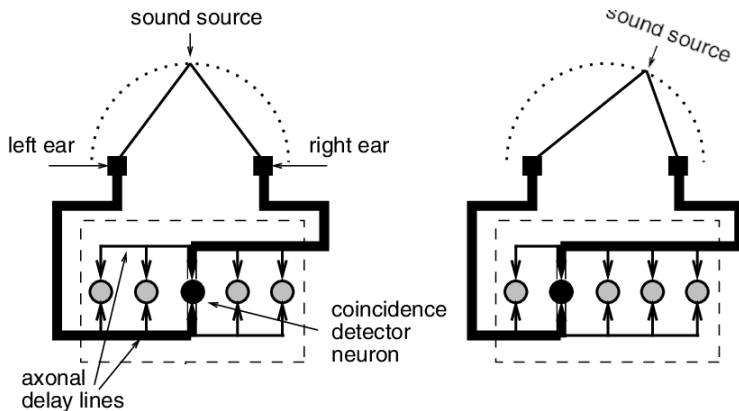


Приклад частотного кодування (мотонейрон)



Приклад часового кодування (локалізація звуку)

Точність часового положення спайків має бути кращою за 100 мкс



Leo van Hemmen, T.J. Sejnowski

DOI: 10.1093/acprof:oso/9780195148220.001.0001

ПАРАДИГМА

В цій лекції

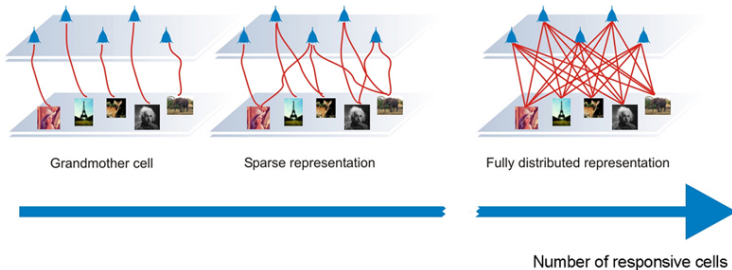
ми притримуємось принципу

часового кодування

Один нейрон на кожен об'єкт ("grandmother neuron")



Кодування об'єкта групою нейронів



ПАРАДИГМА

В цій лекції

ми притримуємось принципу

кодування об'єкта

специфічним типом динаміки

в специфічній групі нейронів

Розпізнавання об'єктів як концепцій



концепція



"ТИГР"



Outline

Розпізнавання об'єктів як концепцій

Нейронна доктрина

Нервові імпульси

Кодування

Видалення зайвої інформації

Рекурентна нейронна мережа

Зв'язующий нейрон

Перетворення сигналів Відбувається уніфікація При сприйнятті запахів:

- P. Duchamp-Viret and A. Duchamp, Odor processing in the frog olfactory system, Prog. Neurobiol. 53 (1997) 561-602.
- M. Wehr and G. Laurent, Odor encoding by temporal sequences of firing in oscillating neural assemblies, Nature 384 (1996) 162-166.

Перетворення сигналів

Відбувається уніфікація
При сприйнятті звуків:

- P. Cariani, Temporal codes, timing nets, and music perception, J. New Music Res. 30 (2001) 107-135.

Перетворення сигналів

Відбувається уніфікація
При зоровому сприйнятті:

- R. Durbin and G. Mitchison, A dimension reduction framework for understanding cortical maps, Nature 343 (1990) 644-647.
- S. Tang, R. Wolf, S. Xu and M. Heisenberg, Visual pattern recognition in Drosophila is invariant for retinal position, Science 305 (2004) 1020-1022.

Конденсація інформації

Термін “конденсація інформації”
запущено в статті:

P. König and N. Krüger, Symbols as self-emergent entities in an optimization process of feature extraction and predictions, Biol. Cybern. 94(4) (2006) 325-334.

Яким міг би бути фізичний
механізм конденсації/редукції
інформації нам зараз підкаже
психофізичний експеримент

Можливі механізми?

Характерний час для процесів
пластичності мозку — від секунд
до хвилин:

D. V. Buonomano and M. M.
Merzenich, Cortical plasticity: from
synapses to maps, Annu. Rev. Neu-
rosci. 21 (1998) 149-186.

Можливі механізми?

Як можливий механізм
залишається зміна паттерну
імпульсації в процесі проходження
сигналу через нейронну мережу.

Зараз демонстрація цього

Outline

Розпізнавання об'єктів як концепцій

Нейронна доктрина

Нервові імпульси

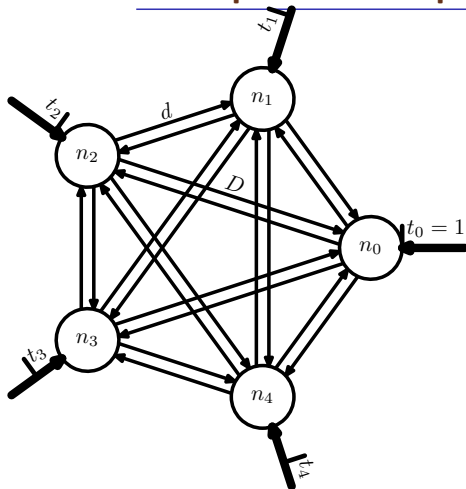
Кодування

Видалення зайвої інформації

Рекурентна нейронна мережа

Зв'язующий нейрон

Використані мережі, 1

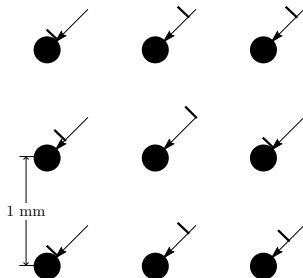


Vidybida, A.K. (2011) Testing of information condensation in a model reverberating spiking neural network. *International Journal of Neural Systems*, 21(3):187-198

Використані мережі, 2

Мережа

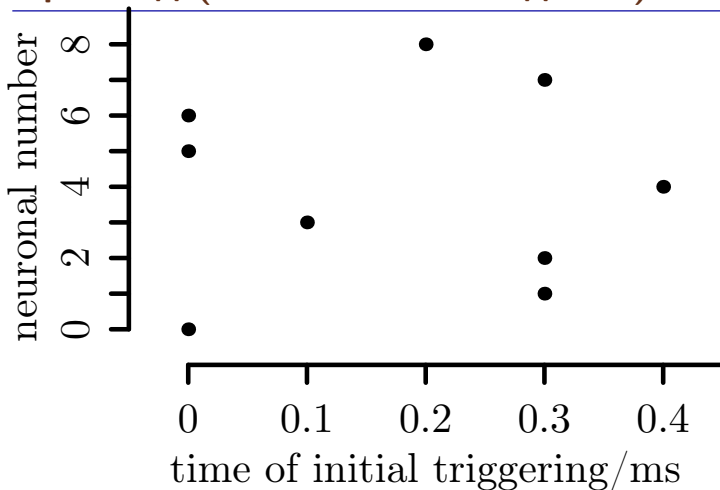
(внутрішні з'єднання не показано)



- поріг 20 мВ
- $h = 2.71$ мВ
- $\tau = 20$ мс
- $dt = 0.1$ мс
- $v = 1$ м/с
- час проходження між найближчими сусідами $10 dt$
- час проходження діагоналі $28 dt$
- змінні: 9×2 для нейронів, 9×8 для аксонів

Vidybida, A., Shchur, O. (2017) Information reduction in a reverberatory neuronal network through convergence to complex oscillatory firing patterns. *BioSystems*, Neural Coding 2016 **161**(Supplement C):24-30

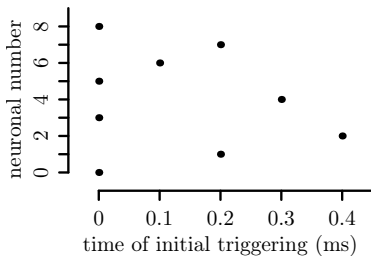
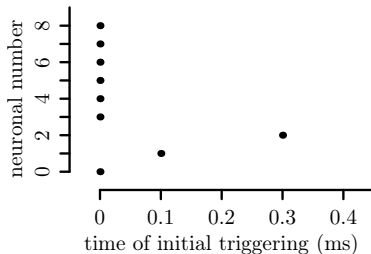
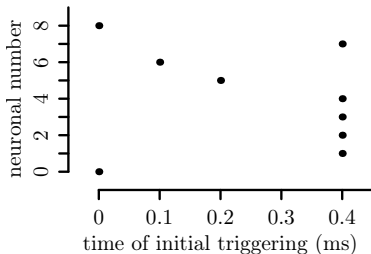
Приклад (початкового, вхідного) стимулу



Всього випробувано 390625 стимулів.

Знайдено 102 різних періодичних режими.

Ці 3 стимули дають один режим (#6)



Знайдені режими

період/мсек	3.0	3.2	3.4	3.6	4.0	6.8	7.2	10.4
кількість режимів	5	20	11	29	19	6	6	6

Табл.: Кількість режимів з певним періодом.

період/мсек	3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 4.0	6.8, 7.2	10.4
спайків за період	1	2	3

Табл.: Кількість спайків за період.

Раути виходу на періодичний режим

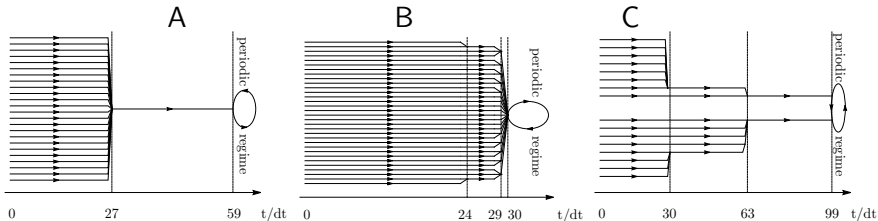


Рис.: Routes to common periodic regime. (A) - state #83; (B) - state #34 (C) - state #96, not all trajectories are shown.

Що спричиняє склеювання різних траєкторій в одну?

Приклад файлу траєкторії

```
0 104 1 13 0 1 1 13 1 0 1 13 1 0 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 1
3 1 0 1 13 0 1 7 17 7 11 19 17 19 25 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -
1 -1 -1 10 14 22 10 20 10 14 22 13 9 13 9 9 13 9 13 20 12 8 18 8 20 12 8 18 20 2
6 8 12 20 8 18 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 25 19 17 19 11 7 17 7

1 104 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 1
3 0 1 1 13 0 1 6 16 6 10 18 16 18 24 10 10 14 10 14 22 20 22 20 10 22 14 10 2
8 22 20 9 13 21 9 19 9 13 21 12 8 12 8 8 12 8 12 19 11 7 17 7 19 11 7 17 19 25 7
11 19 7 17 22 20 22 14 10 14 10 10 24 18 16 18 10 6 16 6

2 104 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 1
3 0 1 1 13 0 1 5 15 5 9 17 15 17 23 9 9 13 9 13 21 19 21 19 9 21 13 9 27 21 1
9 8 12 20 8 18 8 12 20 11 7 11 7 7 11 7 11 18 10 6 16 6 18 10 6 16 18 24 6 10 18
6 16 21 19 21 13 9 13 9 9 23 17 15 17 9 5 15 5

3 104 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 1
3 0 1 1 13 0 1 4 14 4 8 16 14 16 22 8 8 12 8 12 20 18 20 18 8 20 12 8 26 20 1
8 7 11 19 7 17 7 11 19 10 6 10 6 6 10 6 10 17 9 5 15 5 17 9 5 15 17 23 5 9 17 5
15 20 18 20 12 8 12 8 8 22 16 14 16 8 4 14 4

4 104 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 13 0 1 1 1
3 0 1 1 13 0 1 3 13 3 7 15 13 15 21 7 7 11 7 11 19 17 19 17 7 19 11 7 25 19 1
7 6 10 18 6 16 6 10 18 9 5 9 5 5 9 5 9 16 8 4 14 4 16 8 4 14 16 22 4 8 16 4 14 1
9 17 19 11 7 11 7 7 21 15 13 15 7 3 13 3
"test" 232L, 79688C
```

Спостереження

Перед кожним склеюванням двох
різних траєкторій в одну
відбувається постріл одного, або
декількох нейронів

Outline

Розпізнавання об'єктів як концепцій

Нейронна доктрина

Нервові імпульси

Кодування

Видалення зайвої інформації

Рекурентна нейронна мережа

Зв'язующий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 1

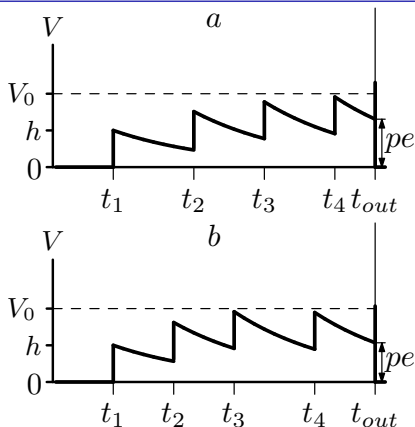
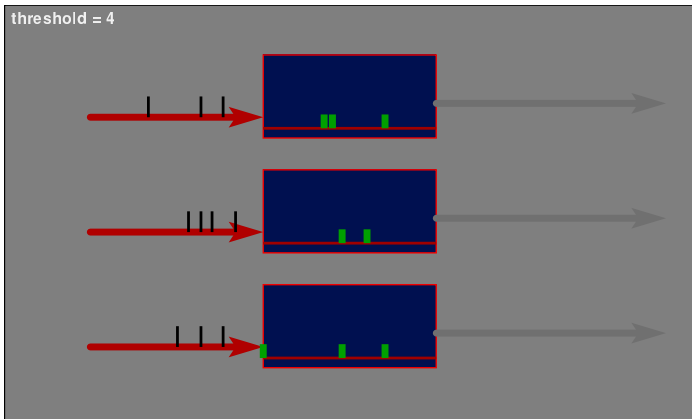


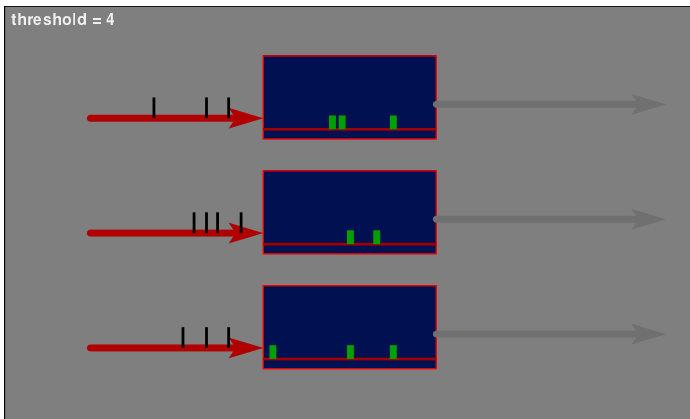
Рис.: Приклад двох різних стимулів, які дають ідентичний відгук для інтегруючого нейрона з втратами.

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



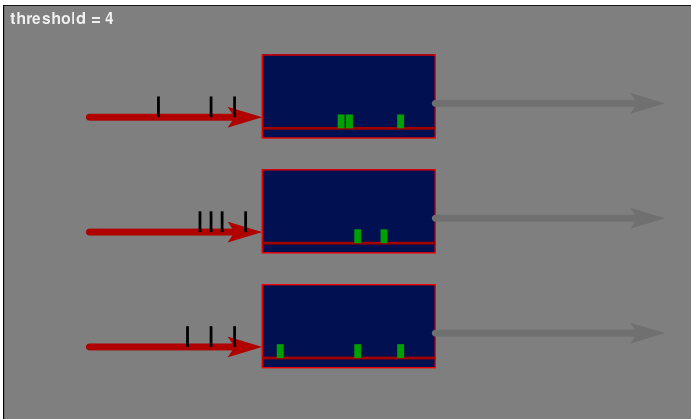
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



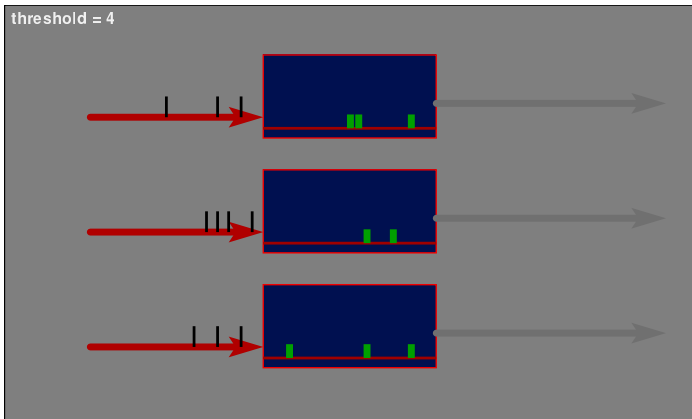
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



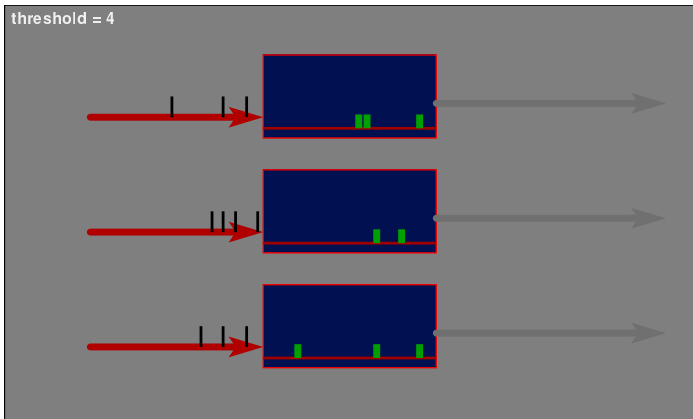
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



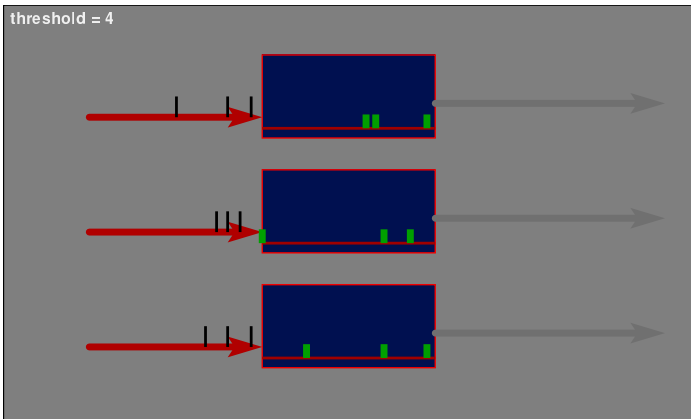
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



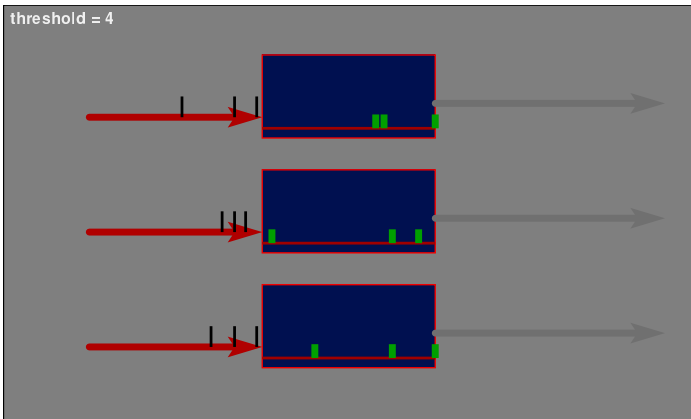
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



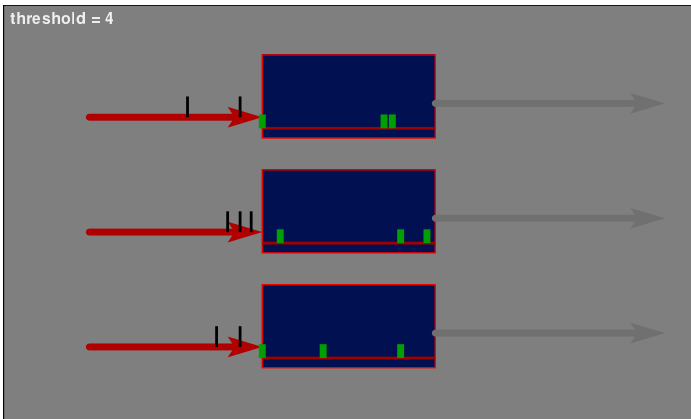
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



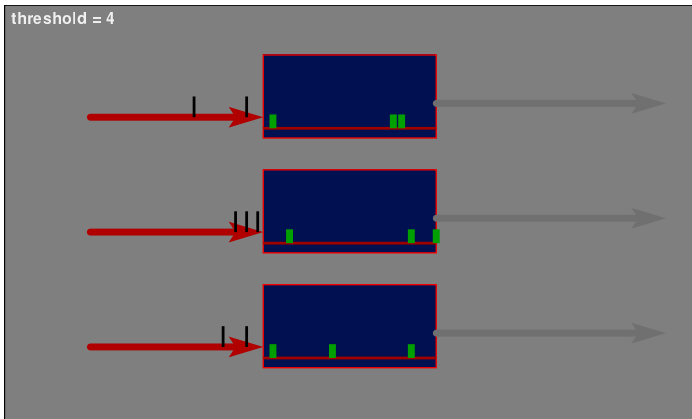
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



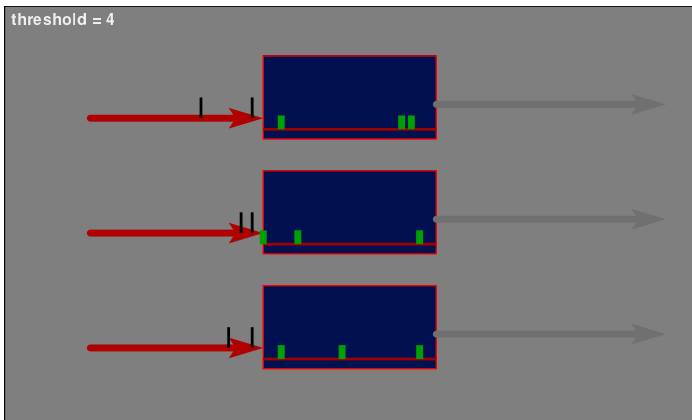
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



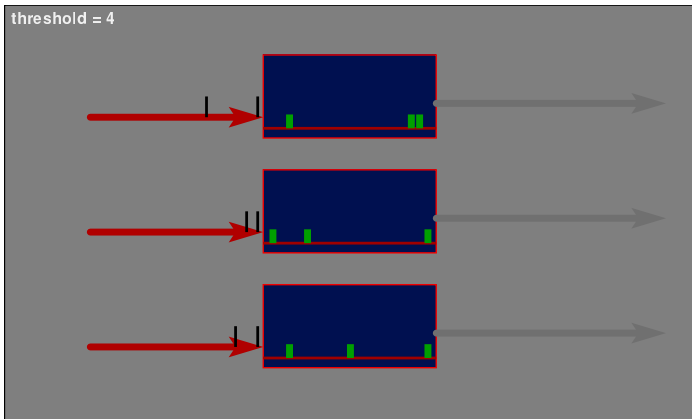
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



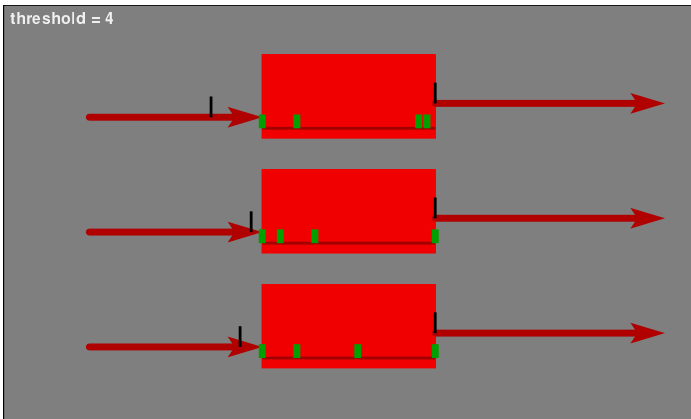
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



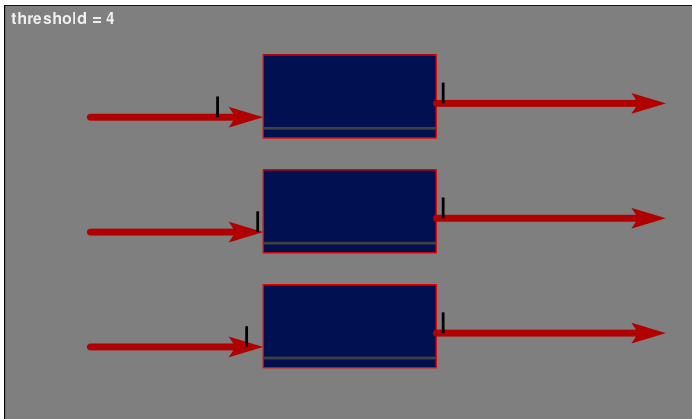
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



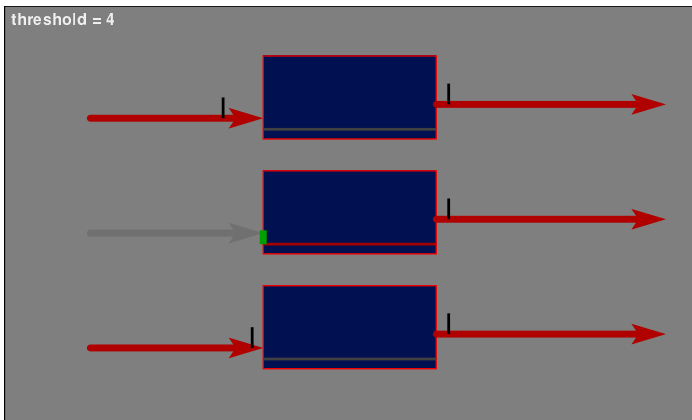
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



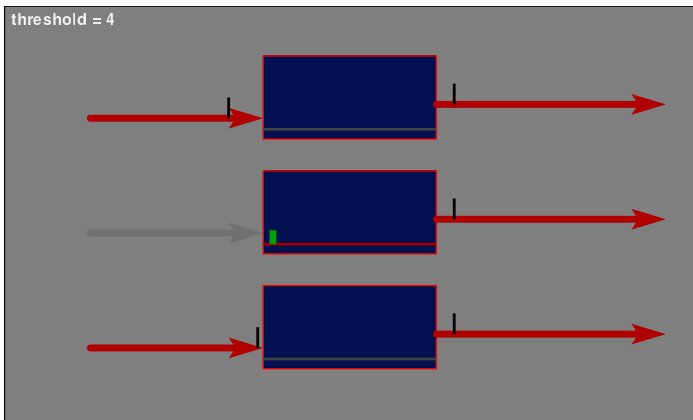
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



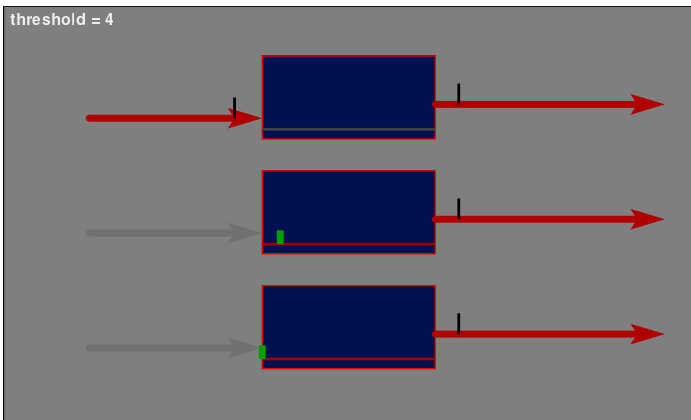
Модель: Зв'язуючий нейрон

Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



Модель: Зв'язуючий нейрон

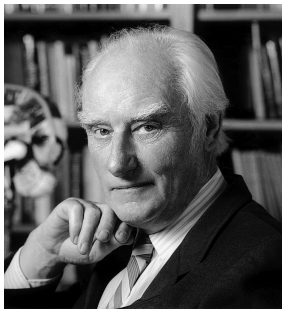
Під час пострілу певні відмінності зникають, 2



Модель: Зв'язуючий нейрон

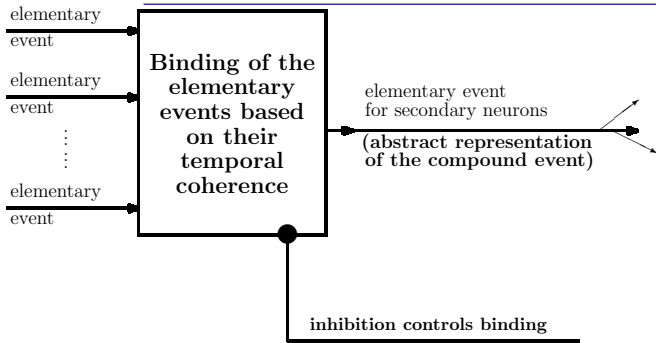
Функція нейронів — обробка і передача інформації

Френсіс Крік (1916-2004)



“Although a neuron requires energy, its main function is to receive signals and to send them out — that is, to handle information.” – The Astonishing Hypothesis, 1994

Сигнальна функція нейрона



from: Vidybida, A.K. **Binding neuron.**
 in: Khosrow-Pour, M. (ed.) **Encyclopedia of information science and technology**, pp. 1123-1134 (2014)



WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

[Main page](#)

[Contents](#)

[Current events](#)

[Random article](#)

[About Wikipedia](#)

[Contact us](#)

[Donate](#)

[Contribute](#)

Article

[Talk](#)

Binding neuron

From Wikipedia, the free encyclopedia

A **binding neuron** (BN) is an abstract concept of processing implemented by most neuronal models including the well-known

Contents [\[hide\]](#)

- 1 [Description of the concept](#)
- 2 [Origin](#)
- 3 [Mathematical implementations](#)
 - 3.1 [Hodgkin–Huxley \(H-H\) model](#)

Сприйняття як самоорганізація в просторі-часі

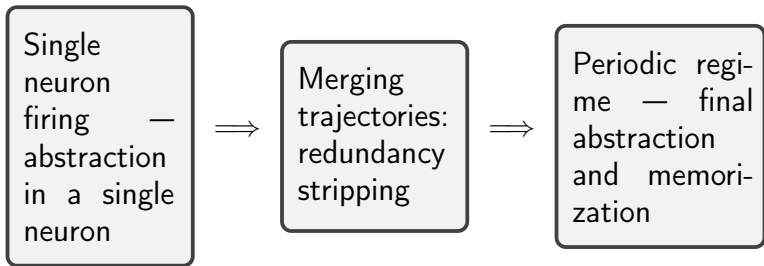


Рис.: Possible route to perception as emergent phenomenon due to self-organization in time domain

from: Vidybida, A., Shchur, O. **Information reduction in a reverberatory neuronal network through convergence to complex oscillatory firing patterns.** *BioSystems*, Neural Coding 2016 161(Supplement C):24-30 (2017)