Relatório — Modelagem de neurônios

Bruno Kenji Sato
kenji.sato21@unifesp.br

Guilherme Gimenes Diogo
guilherme.gimenes@unifesp.br

Leonardo Loureiro Costa
leonardo.costa@unifesp.br

***Resumo*—Neste relatório será estudado o comportamento de neurônios matemáticos, e o fenômeno da sincronização neuronal quando dispostos em uma rede cirular.**

I. INTRODUÇÃO

O problema da segmentação de cena, na computação, é o de destacar objetos da imagem onde eles estão inseridos. Este relatório almeja revisar um conceito da teoria de correlação de von der Malsburg [1], analisando as atividades de neurônios matemáticos com a finalidade de compreender o fenômeno da sincronização de seus pulsos.

A. *Modelos matemáticos*

Para este relatório alguns modelos de neurônios foram considerados, dentre eles: Integra-Dispara, Hodgkin Huxley, Fitzhugh-Naguno, e o Oscilador de Van der Pol. O modelo selecionado foi o Oscilador de Van der Pol, oscilador de relaxamento.

Este Modelo matemático é composto por um sistema de duas equações diferenciais. A primeira é em relação à variável x; a segunda, em relação a y — equações

$$\begin{aligned} \frac{dx_i}{dt} &= 3x_i - x_i^3 + 2 - y_i + I + \rho + S \\ \frac{dy_i}{dt} &= \epsilon((1 + tanh(\frac{x_i}{\beta})) - y_i) \end{aligned} \tag{1}$$

Onde:

$$\begin{aligned} x_i &: \text{excitação de um neurônio i} \\ y_i &: \text{inibição de um neurônio i} \\ \frac{dx_i}{dt} &: \text{taxa de variação de x} \\ \frac{dy_i}{dt} &: \text{taxa de variação de y} \\ I &: \text{excitação global} \\ \rho &: \text{ruído} \\ S &: \text{excitação pela vizinhança} \\ \epsilon &: \text{parâemtro do modelo} \\ \beta &: \text{parâmetro do modelo} \end{aligned}$$

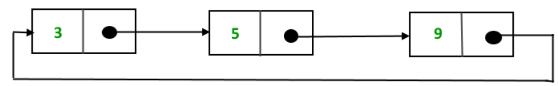

Figura 1: Lista Circular

Os neurônios acoplados em rede são interligados por uma lista circular 1. Isto implica que um neurônio X_n possui conexão com neurônios X_{n+1} e X_{n-1}, onde n representa o índice de dado neurônio na lista. Dessa forma um neurônio X_n influencia e é influenciado por seus vizinhos.

Essa interligação entre os neurônios é representada em 1 por meio do parâmetro S_i: a soma do produto de w, uma variável universal representante da força de acoplamento, por $H(v)$, uma função "Heaviside".

$$S_i = \sum_{k \in N(i)} w_{ik} H(x_k - \theta) \tag{2}$$

Onde:

$$\begin{aligned} S_i &: \text{influência dos neurônios vizinhos} \\ k &: \text{neurônio} \\ N(i) &: \text{vizinhança de um neurônio} \\ w_{ik} &: \text{força de acoplamento} \\ H &: \text{função Heaviside} \\ x_k &: \text{excitação de um neurônio} \\ \theta &: \text{limiar de excitação} \end{aligned}$$

A função "Heaviside"recebe como parâmetro a diferença da intensidade do pulso de um dado neurônio por um valor arbitrário θ, um limiar de excitação. Dessa forma o neurônio só vai ser considerado "ativo"se seu valor foi igual ou maior que θ

$$H(v) = \begin{cases} 1, v \geq 0 \\ 0, v < 0 \end{cases} \tag{3}$$

Onde:

$$v : \text{argumento da funçao}$$

Para as simulações o método de Euler foi aplicado nas equações, desta forma $\frac{dx_i}{dt} e \frac{dy_i}{dt}$ foram substituidos, respectivamente por $\frac{\Delta x_i}{\Delta t}$ e $\frac{\Delta y_i}{\Delta}$

O parâmetro Δt representa agora o passo de integração, o intervalo de tempo entre as iterações processadas pelo algorítimo.

II. Objetivos

1) Reproduzir o comportamento de um neurônio biológico
2) Analisar o comportamento de neurônios dispostos em uma rede circular
3) Analisar o fenômeno de sincronização neuronal.

III. Resultados

A. Reproduzindo um neurônio biológico

Utilizando o modelo apresentado em 1 um neurônio foi simulado utilizando os parâmetros da tabela I. O valor de w é 0, pois não existe outro neurônio para com quem o único da simulação possa se acomplar.

Variável	valor
DT	0.01
Tmax	1000
neurons	1
t	0.5
w	0
e	0.02
a	6
B	0.1
p	0
I	0.1
o	15
seed	10

Tabela I: Valores simulação 1

Nota-se que o neurônio possui um comportamento Oscilatório, aparentemente periódico. A imagem 2 ilustra a excitação do neurônio em função do tempo; o gráfico de cima apresenta uma análise em tepo contínuo e o debaixo uma verão discretizada, onde cada ponto representa um máximo local do gráfico.

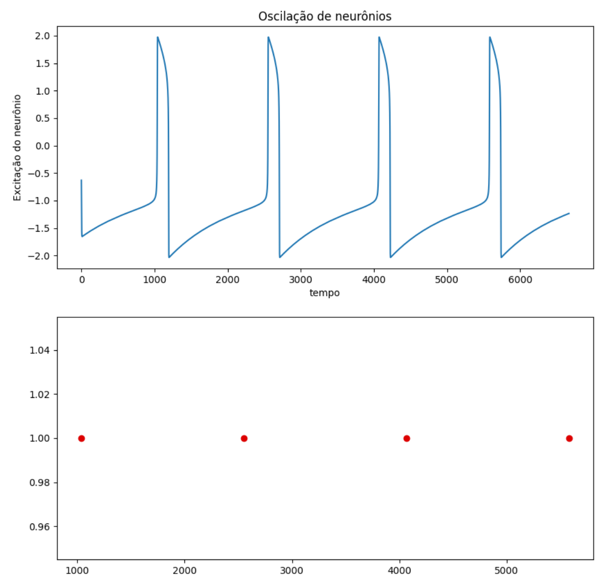

Figura 2: Oscilação de um único neurônio

B. Neurônios em rede

Nesta simulação os valores utilizados foram os da tabela II. Os valores de w oscilaram para ilustrar os diferentes comportamentos de sincronização neuronal.

Variável	valor
DT	0.01
Tmax	1000
neurons	20
t	0.5
w	—
e	0.02
a	6
B	0.1
p	0
I	0.1
o	15
seed	10

Tabela II: Valores simulação 2

Os gráficos 3, 4, e 5 ilustram os pulsos de 20 neurônios conectados através da rede circular. Os valores de w são, respectivamente: $0, 0.2, e0.4$. Observa-se que quanto maior é o valor de w menos tempo leva para que a sincronização ocorra.

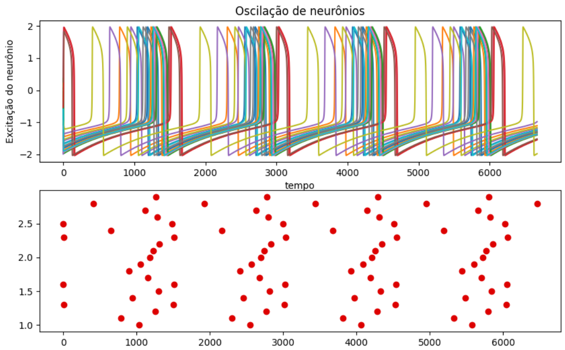

Figura 3: Oscilação de 20 neurônios

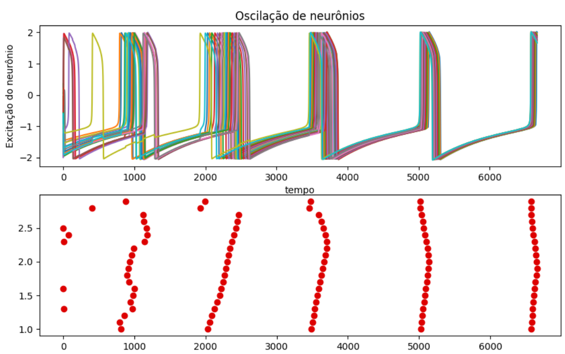

Figura 4: Oscilação de 20 neurônios

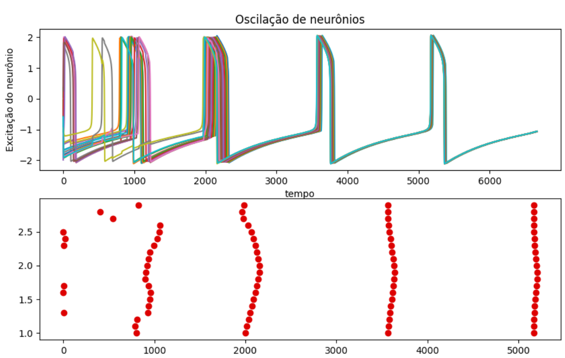

Figura 5: Oscilação de 20 neurônios

IV. Conclusão

O trabalho realizado teve como finalidade o estudo do comportamento de neurônios através da modelagem computacional de uma rede neuronal.

A partir da análise dos gráficos realizados foi possível observar a influência exercida por um neurônio em outro, determinada pela forma como os osciladores estavam conectados e pela força de acoplamento.

D

Referências

[1] Christoph von der Malsburg. The correlation theory of brain function. In *Models of neural networks*, pages 95–119. Springer, 1994.

[2] Balth Van der Pol. Lxxxviii. on “relaxation-oscillations”. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11):978–992, 1926.

[3] DeLiang Wang and David Terman. Locally excitatory globally inhibitory oscillator networks. *IEEE transactions on neural networks*, 6(1):283–286, 1995.