

Plataforma de simulação de redes de neurônios em código aberto

Ricardo de Biazzini¹ e Marcio Eisenkraft²

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP

Este resumo relata uma proposta de iniciação científica em andamento que aborda a simulação computacional de modelos de neurônios em uma plataforma aberta.

Como primeiro passo deste processo, implementou-se computacionalmente alguns dos principais modelos de neurodinâmica. Os códigos foram desenvolvidos em linguagem Python utilizando-se o ambiente de programação Google Colab. Até o momento foram implementados os modelos de Fitzhugh-Nagumo (FN) [1], Hindmarsh-Rose (HR) [2] e Hodgkin-Huxley (HH) [3]. Visto que todos os modelos tratam de equações diferenciais ordinárias, a implementação desses foi realizada adotando-se o método de Runge-Kutta de 4^a ordem conforme descrito em [4], com o passo de tempo de integração adotado como constante e ajustável para todos os casos. Dessa forma, as simulações atingem resultados precisos, sem a necessidade de uma discretização em intervalos muito pequenos ou de uma maior complexidade na codificação.

Exemplos de gráficos gerados pelas simulações estão na Figura 1, para as quais utilizou-se um passo de integração igual a 0.01. As curvas apresentam a variação temporal do potencial de membrana em um neurônio, quando este é excitado por um pulso contínuo de corrente externo ao mesmo. Verifica-se em todos os casos a característica básica do impulso nervoso de ser um sinal “tudo ou nada”, isto é, a presença de disparos com grande amplitude em um pequeno intervalo de tempo a partir do momento em que certo limiar de estímulo for atingido. Uma vez que esse estímulo é constante e acima do limiar específico de cada modelo, os resultados obtidos apresentam a transmissão de uma sequência de impulsos, um possível comportamento comum aos três modelos.

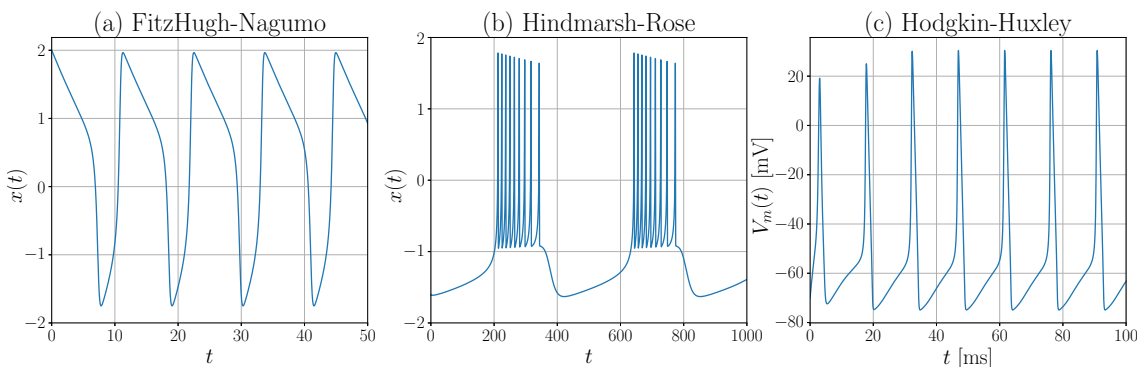


Figura 1: Evolução temporal da variável referente ao potencial de membrana nos modelos de (a) Fitzhugh-Nagumo [1], (b) Hindmarsh-Rose [2] e (c) Hodgkin-Huxley [3].

¹biazzi.ricardo00@usp.br

²marcioft@usp.br

Contudo, também são nítidas as diferenças entre cada modelagem. Enquanto o modelo HH é uma aproximação da curva obtida em um impulso nervoso real, que considera fatores como a abertura e o fechamento de canais iônicos, os modelos FN e HR são simplificações adotadas principalmente em grandes redes de neurônios devido às menores complexidades computacionais exigidas. Sendo assim, o modelo HH possui um formato de disparo mais condizente com a realidade, motivo pelo qual são incluídas unidades em seus parâmetros e variáveis. Já os modelos FN e HR não possuem essa preocupação, uma vez que nesses casos apenas espera-se modelar um comportamento análogo ao de um disparo real. As principais diferenças entre esses dois modelos podem ser resumidas pelo fato de o modelo HR incluir o comportamento de disparos em rajadas, vide Figura 1(b), e considerar fatores como a hiperpolarização do neurônio, fenômeno que diminui a frequência dos disparos.

Em todas as simulações até então obtidas, suas soluções se estabilizaram no ciclo-limite esperado para as respectivas escolhas de parâmetros e condições iniciais. Embora saiba-se da literatura que todos os modelos apresentados possam descrever dinâmicas mais complexas, desde bifurcações de Hopf nos modelos FN e HH, até comportamentos caóticos no modelo HR, esses casos ainda não foram aprofundados.

As próximas etapas a serem realizadas na pesquisa incluem a simulação de modelo em tempo discreto e a expansão dos modelos já implementados, aplicando esses em uma rede com alguns neurônios. Para tal, também é considerada a alteração do método de integração numérica implementado, haja vista que rotinas amplamente utilizadas, cujos passos de tempo de integração são adaptativos e calculados eficientemente, reduziriam o tempo de compilação e permitiriam simulações mais abrangentes. Por fim, espera-se utilizar modelos como o descrito em [5], de maneira que será possível simular uma rede complexa de neurônios análoga a um cérebro real.

Em todas as etapas do processo pretende-se divulgar os códigos fontes utilizados. Aqueles implementados até o momento estão disponíveis publicamente em um arquivo Colab, que pode ser acessado e editado livremente. Esta pesquisa e seus resultados estão sendo usados para alimentar informações disponíveis na Wikipédia brasileira, principalmente no verbete “Modelos de disparos neuronais” e naqueles referentes aos modelos estudados individualmente.

Referências

- [1] Richard FitzHugh. “Impulses and Physiological States in Theoretical Models of Nerve Membrane”. eng. Em: **Biophysical journal** 1.6 (1961), pp. 445–466. ISSN: 0006-3495.
- [2] J. L. Hindmarsh e R. M. Rose. “A Model of Neuronal Bursting Using Three Coupled First Order Differential Equations”. Em: **Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences** 221.1222 (1984), pp. 87–102. ISSN: 00804649.
- [3] A. L. Hodgkin e A. F. Huxley. “A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve”. eng. Em: **The Journal of physiology** 117.4 (1952), pp. 500–544. ISSN: 0022-3751.
- [4] Steven H. Strogatz. **Nonlinear Dynamics and Chaos With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering**. Perseus Books, 1994. ISBN: 0-201-54344-3.
- [5] M.S. Santos, J.D. Szezech, F.S. Borges, K.C. Iarosz, I.L. Caldas, A.M. Batista, R.L. Viana e J. Kurths. “Chimera-like states in a neuronal network model of the cat brain”. Em: **Chaos, Solitons & Fractals** 101 (2017), pp. 86–91. ISSN: 0960-0779.