

Dinâmica Neuronal e Processamento de Sinais

Bolsista: Vanessa Brischi Olivatto

e-mail: vanessa.olivatto@gmail.com

Orientadores: Prof. Dr. Romis Attux e Diogo Coutinho Soriano

e-mails: {attux, soriano}@dca.fee.unicamp.br

Depto. de Eng. de Computação e Automação Industrial (DCA) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação(FEEC)

Agência Financiadora : FAPESP.

Palavras-Chave: Modelos Neurais, Filtragem Adaptativa, Inteligência Computacional, Sistemas Dinâmicos.

INTRODUÇÃO

Este projeto tem como objeto de estudo o comportamento de sistemas não-lineares que representam as propriedades dinâmicas de um neurônio. Partindo do sistema de equações do modelo de FitzHugh-Nagumo e do circuito analógico que reproduz o comportamento do mesmo, propôs-se uma metodologia de estimação dos parâmetros associados ao circuito. O método tem como ferramenta base o algoritmo de otimização por enxame de partículas (PSO, Particle Swarm Optimization). Os resultados preliminares indicam a eficácia do método proposto e sugerem as próximas medidas a serem adotadas para sua consolidação.

METODOLOGIA

O modelo de FitzHugh-Nagumo tem como característica fundamental a capacidade de representação das características qualitativas de oscilações neuronais [FitzHugh, 1961; FitzHugh, 1969; Soriano et al., 2011]. As equações do modelo, que contém duas variáveis de estado - V e W , - são:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= V - \frac{V^3}{3} - W + I(t) \\ \frac{dW}{dt} &= c(V + a - bW) \end{aligned}$$

onde $I(t)$ é um sinal de entrada ou excitação externa. As constantes a , b e c são parâmetros do sistema. A variável V pode ser associada ao potencial de membrana (tensão através da membrana celular) de um dado neurônio, enquanto W trabalha como variável de recuperação (após a excitação), estabelecendo analogia ao padrão de permeabilidade seletiva da membrana e os principais íons envolvidos no processo.

A simulação analógica desse modelo, que serviu como base na proposta do método de estimação de parâmetros, fez uso de um circuito, cujo esquema encontra-se na Fig. 1.

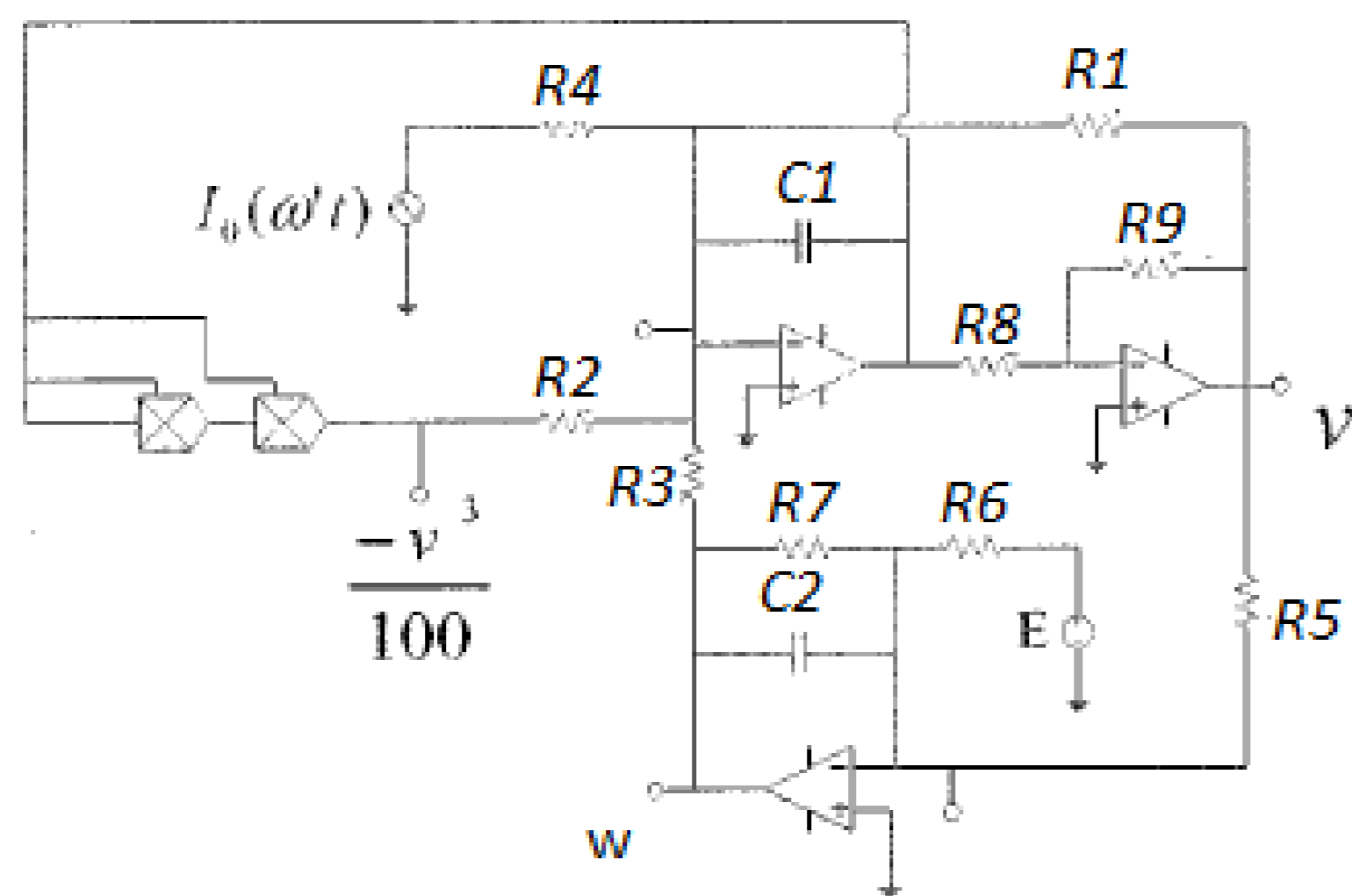


Figura 1 – Circuito analógico do modelo de FitzHugh-Nagumo

Foram feitas 21 gravações de séries temporais associadas às variáveis de estado W e V do circuito para diferentes cenários. As gravações foram feitas por meio de uma placa de aquisição e um software de apoio. De posse das séries temporais dos sinais do circuito analógico de FitzHugh-Nagumo, partiu-se à etapa de desenvolvimento de um algoritmo bio-inspirado com potencial de busca global para realizar um processo de identificação dos parâmetros do sistema analógico por meio da medida de erro quadrático médio relativamente a sinais referentes à simulação digital. No circuito analógico utilizado, os parâmetros envolvidos na identificação foram as capacitâncias e resistências ($C1, C2, R1, R2, R3, R4, R5, R6$ e $R7$).

A proposta parte da idéia de minimização da função custo definida como:

$$J_{custo} = -media \sqrt{(V_{medido} - V_{simulação\ digital})^2}$$

que corresponde a divergência entre a série medida para uma das variáveis de estado e a série proveniente de de uma simulação digital para um dado conjunto de parâmetros. A função custo deve ser minimizada com respeito a esse conjunto.

Para realizar a minimização, utilizou-se o algoritmo de otimização por enxame de partículas (PSO, do inglês *Particle Swarm Optimization*), que se baseia em um modelo de inteligência coletiva emergente de um grupo de agentes com ação individual restrita [de Castro, 2006]. A configuração adotada para o algoritmo PSO foi a de vizinhança em anel – cada partícula é dita vizinha de duas outras partículas apenas [de Castro, 2006].

RESULTADOS

A evolução do algoritmo implementado pode ser acompanhada através da figura 2, na qual, através da simulação envolvendo 55 gerações e 15 partículas, pode-se observar a trajetória da função custo ao longo das gerações. A entrada de excitação externa utilizada na simulação foi uma forma de onda senoidal com 118mVpp 1KHz.

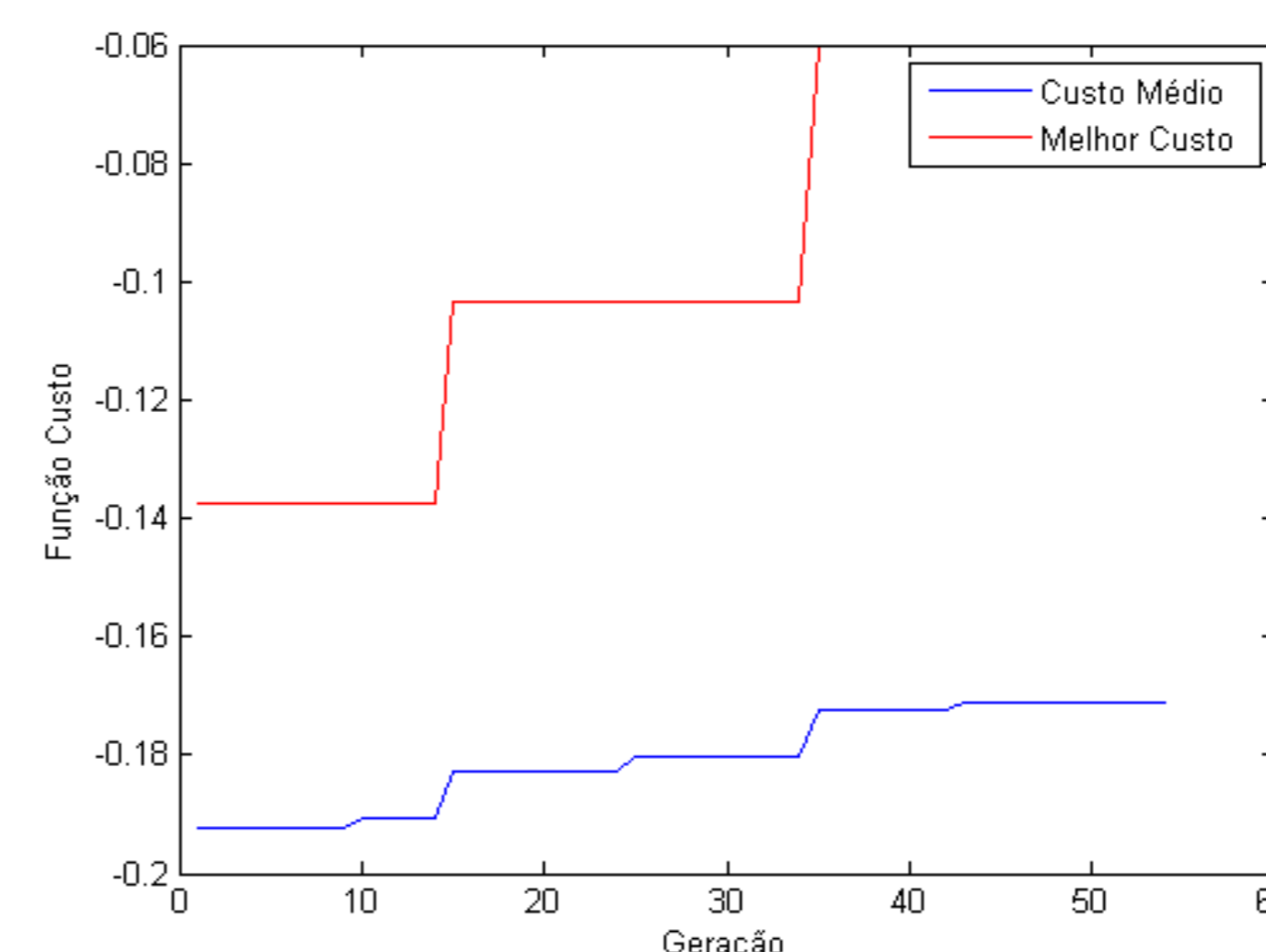


Figura 2 – Trajetória da função custo ao longo das gerações

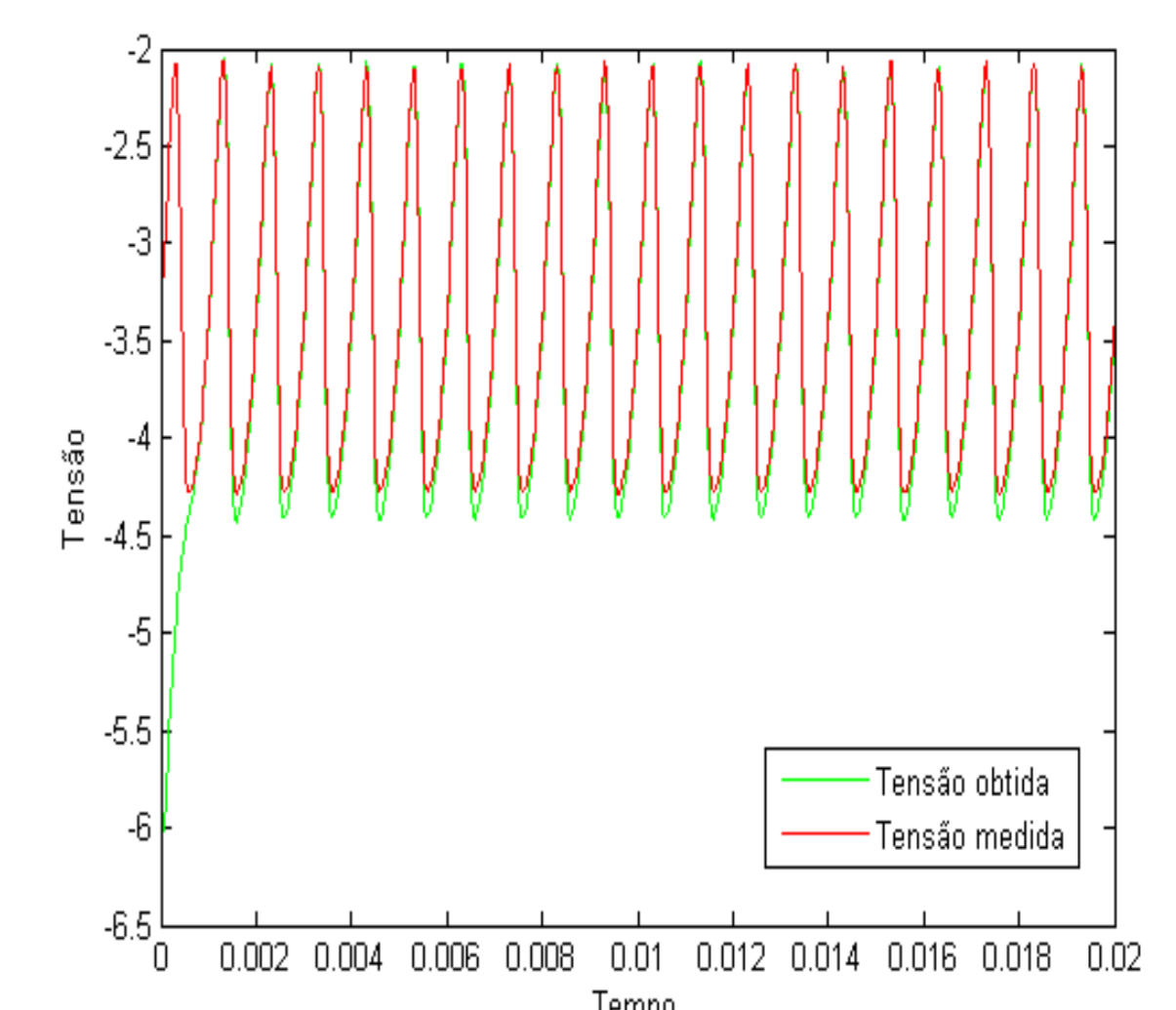


Figura 3 – Séries temporais do modelo de FitzHugh-Nagumo

O melhor valor obtido para a função custo foi $J_{custo} = -0.0602$. Este indicador atesta a qualidade do conjunto de parâmetros estimados, evidenciando a semelhança entre a série temporal construída a partir do conjunto de parâmetros encontrados e a série medida através do circuito (a Fig. 3 ilustra isso).

Os valores nominais dos componentes utilizados no circuito e os valores obtidos pelo algoritmo de minimização da função custo foram:

Parâmetro	Valor Nominal	Valor Obtido	Varição %
C1	1.1 nF	1.0386 nF	-5,58%
C2	1.05 nF	1.1937 nF	13,68%
R1	3.7 KΩ	3.594518 KΩ	-2,85%
R2	1 KΩ	1.04584 KΩ	4,58%
R3	7.4 KΩ	6.81678 KΩ	-7,88%
R4	1.23 KΩ	1.381217 KΩ	12,29%
R5	18.5 KΩ	17.94445 KΩ	-3,00%
R6	8.8 KΩ	8.06114 KΩ	-8,39%
R7	46.3 KΩ	47.22046 KΩ	1,98%

CONCLUSÕES

Os resultados preliminares envolvendo a simulação analógica e digital do modelo de FitzHugh-Nagumo foram promissores e, a princípio, confirmam a validade da metodologia de estimação de parâmetros sugerida. A maior parte dos parâmetros calculados, conforme esperado, está dentro da faixa de tolerância garantida pelos componentes utilizados no circuito do modelo ($\pm 10\%$). O trabalho prosseguirá com novas aplicações da metodologia e também com o estudo dos problemas de modelamento de memórias associativas e redução de ruído em séries temporais.

REFERÊNCIAS

[de Castro, 2006] L. N. de Castro, Fundamentals of Natural Computing, Chapman & Hall, 2006.
[FitzHugh, 1961] R. FitzHugh, "Impulses and Physiological States in Theoretical Models of Nerve Membrane", Biophysical Journal, v.1, pp. 445-466, 1961.

[FitzHugh, 1969] R. FitzHugh, "Mathematical models of excitation and propagation in nerve", Em: Biological Engineering, Ed: H. P. Schwan, McGraw-Gill, pp. 1-85, 1969.

[Soriano et al., 2011] D. C. Soriano, F. I. Fazanaro, R. Suyama, J. R. de Oliveira, R. Attux, M. K. Madrid, "A method for Lyapunov spectrum estimation using cloned dynamics and its application to discontinuously-excited FitzHugh-Nagumo model", Nonlinear Dynamics, DOI: 10.1007/s11071-011-9989-2.