Primeira Lista de Exercícios (data de entrega: 02/04/19)

1. Escreva um programa na sua linguagem favorita que simule o modelo de neurônio integra-e-dispara com vazamento (LIF) no caso de uma corrente constante:

$$C_m \frac{dV_m}{dt} = (E_L - V_m)/R_m + I_{app},$$

com a condição de que se $V_m > V_L$, ocorre um disparo e $V \rightarrow V_{reset}$. Assuma os seguintes valores para os parâmetros do modelo: $E_L = -70$ mV, $R_m = 5$ MΩ, $C_m = 2$ nF, $V_L = -50$ mV e $V_{reset} = -65$ mV. Implemente a solução numérica usando o método de Euler forward com passo de tempo $\Delta t = 0,1$ ms e tempo máximo de simulação $t_{max} = 2$ s. Faça seu programa de maneira que a corrente externa aplicada seja uma constante I_0 aplicada por todo o tempo de simulação.

   a. Qual a mínima corrente aplicada necessária para que o neurônio produza disparos? Calcule essa corrente usando a equação 2.11 do livro do Miller (ou equação 9 da aula 12 nas notas de aula) e depois simule o modelo com correntes aplicadas (i) ligeiramente menores e (ii) ligeiramente maiores que essa corrente mínima. Em cada caso, faça o gráfico do potencial de membrana, $V(t)$, por um intervalo de tempo de 200 ms (ou um intervalo entre disparos completo se este for mais longo).

   b. Faça simulações com 10 valores diferentes de I_{app} (todos acima da corrente mínima), cada uma tendo 2 s de duração (vamos chamar cada simulações de um "teste"). Para cada valor de corrente aplicada, faça o seu programa calcular a frequência média de disparos (f) do neurônio como o número de disparos durante a apresentação da corrente dividido pelo tempo em que ela é apresentada e, ao final, faça seu programa gerar o gráfico da frequência média de disparos *versus* a corrente aplicada (curva F-I) para o modelo. Escolha valores de I_{app} de maneira que as frequências f estejam no intervalo entre 0 e 100 Hz.

Nota: Para se resolver numericamente uma equação do tipo

$$\frac{dy}{dt} = f(y,t),$$

pelo método de Euler forward, usa-se o seguinte procedimento iterativo:

$$y(t + \Delta t) = y(t) + f\big(y(t),t\big)\Delta t,$$

ou

$$y_{n+1} = y_n + f(y_n)\Delta t.$$

onde Δt é o tamanho do passo da iteração e y é a quantidade sendo calculada a cada passo.

2. Inclua um termo de ruído à simulação do item anterior pela adição de um termo de ruído à equação para dV/dt:

$$C_m \frac{dV_m}{dt} = (E_L - V_m)/R_m + I_{app} + \sigma w(t),$$

onde $w(t)$ é dado por um processo de ruído branco: $<w(t)> = 0$ e $<w(t)w(t')> = \delta(t-t')$, onde <...> indica a média por um intervalo de tempo e $\delta(t)$ é a função delta de Dirac. O termo σ na equação é um fator de escala para o nível de ruído. Para simular essa equação pelo método de Euler forward, use a seguinte equação:

$$x_{n+1} = x_n + f(x_n)\Delta t + \sigma \tilde{w}_n \sqrt{\Delta t},$$

onde $\tilde{w}_n$ é um número aleatório selecionado de uma distribuição gaussiana com média zero e desvio padrão unitário. Para entender o motivo de se usar $\sqrt{\Delta t}$ na equação acima, leia a secção 1.6.6 do livro do Miller.

a. Faça o gráfico de F-I para o modelo com ruído para dois valores diferentes de σ. Para fazer isso, vá aumentando o valor de σ a partir de zero até notar que a curva F-I começa a ficar diferente da curva para $\sigma = 0$. Este será o seu primeiro valor de σ. Depois, continue aumentando σ até notar outra mudança significativa na curva F-I. Este será o seu segundo valor de σ. Apresente os gráficos de F-I para os dois valores de σ e explique o que é observado.

b. Repita suas simulações que geram as curvas F-I para um valor de Δt dez vezes menor que o do item anterior (isto é Δt = 0,01 ms). Os resultados são significativamente diferentes ou não?

Entregue sua lista resolvida, contendo os <u>códigos</u> dos programas implementados e os respectivos <u>gráficos</u> até o dia 2 de abril de 2019. A entrega pode ser feita por e-mail para antonior@usp.br.