

Testes Preliminares de um Modelo Reduzido da Rede Neuronal da Medula Envolvida em Controle Motor

André Fabio Kohn e Luiz Jurandir S. Araújo

Laboratório de Engenharia Biomédica, Escola Politécnica da USP, Depto de Engenharia Eletrônica, Cx.P. 61548 São Paulo, S.P. e-mail ANDFKOHN@LCS.USP.BR

Resumo - Um modelo reduzido da rede neuronal da medula espinhal foi simulado. Constatou-se que certas discrepâncias entre as simulações e dados experimentais podem ser eliminadas com modificações na proposta original do modelo.

Abstract - A reduced neuronal model of the spinal cord was simulated. Certain differences between simulated and animal results could be eliminated by changes in the original model.

Introdução

Pesquisas relativas ao controle motor em mamíferos têm sido realizadas em gatos, macacos e em seres humanos. Com seres humanos o máximo de abordagem invasiva praticável consiste na inserção de eletrodos de agulha em músculos ou nervos com a finalidade de se captar a atividade de unidades motoras e de axônios, respectivamente. Por outro lado a investigação em seres humanos tem a vantagem de se poder estudar o sistema nervoso intacto e com a colaboração consciente do sujeito. Entretanto, as limitações experimentais tornam muitas vezes difícil a interpretação dos resultados, tipicamente se deparando com um certo número de hipóteses plausíveis mas sem se poder decidir entre elas apenas com base nos dados experimentais obtidos do ser humano. Uma forma de se poder testar hipóteses é através da simulação de um modelo matemático. Uma vez que estamos iniciando pesquisas com o sistema nervoso da medula humana, decidimos também desenvolver um simulador que nos pudesse auxiliar na interpretação de certos dados experimentais.

Metodologia

O modelo de partida foi o proposto por Akazawa, Kato e Fujii^{1,2}, devendo-se ressaltar que sua abrangência é limitada à via descendente córtico-motoneuronal (CMN) (via monosináptica), aos motoneurônios (MN), às células de Renshaw (RC) e às unidades geradoras de força associadas às unidades motoras simuladas. Uma descrição pormenorizada dos modelos pode ser encontrada nos trabalhos originais. O simulador foi implementado em linguagem C e as simulações realizadas em microcomputadores Pentium. O passo usado para as computações numéricas foi de 0,1 ms.

Dependência do limiar de disparo na frequência de disparo de um dado MN

Dados experimentais³ mostraram que o limiar de potencial para o disparo de um motoneurônio aumenta com a taxa de disparo do mesmo. Como esta consideração nos parece importante e não foi utilizada na proposição do modelo básico de cada MN por Akazawa et al^{1,2}, decidimos testar o modelo neste aspecto. A Fig. 1 mostra que de fato no modelo também há um aumento do limiar de disparo para frequências maiores.

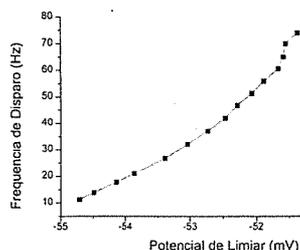


Figura 1 -Relação entre potencial de limiar (mV) e frequência de disparo (Hz)

Entretanto, notamos um pequeno detalhe discrepante entre o modelo neuronal e a realidade: o potencial de "reset" em moto-neurônios reais aumenta com a frequência³, algo que não está representado no modelo original^{1,2}. Em um trabalho futuro verificaremos se os resultados de simulação da rede incluindo tal fenômeno se modificam.

Simulações de rede com 60 MNs em uma condição de contração mantida.

Os autores dos trabalhos originais^{1,2} verificaram que os resultados da simulação indicam uma relação aproximadamente linear entre a taxa de disparo da CMN e a força muscular, replicando pois dados obtidos em gatos. As curvas de taxa de disparo de MNs em função do grau de ativação da CMN também seguiram o que ocorre na vida real. Em complementação a esses estudos, em nossas

simulações investigamos o que ocorre com os intervalos entre disparos de cada MN. O que se observou foi que MNs pequenos em geral apresentavam histogramas dos intervalos entre disparos bimodais, como ilustrado na Fig. 2.

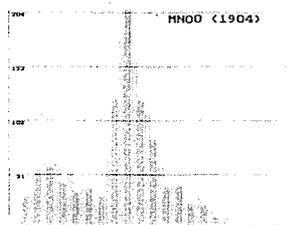


Figura 2 - Histograma de intervalos entre disparos de um MN com distribuição bimodal

Isto está em desacordo com os achados típicos em seres humanos⁴. Duas razões parecem estar por detrás desta discrepância com a realidade. Uma é que ao se observar um dado MN (isto é, seu potencial de membrana, os efeitos sinápticos sobre ele e seus disparos) nota-se que o efeito da RC é forte demais. A outra é que em um dado MN há uma série de entradas sinápticas além da CMN e da RC e que atenuariam o efeito marcante que estas duas têm nas simulações. Portanto, realizamos simulações em que a força sináptica da RC sobre os MNs foi reduzida (dividida por 1.5) e/ou se somou ao potencial de membrana um sinal aleatório com espectro adequado (ruído branco passado por um filtro de médias móveis com 100 atrasadores), desta forma simulando o efeito do grande número de outras sinapses não simuladas per se. Um resultado é mostrado na Fig. 3 em que a unimodalidade resultou já no menor motoneurônio.

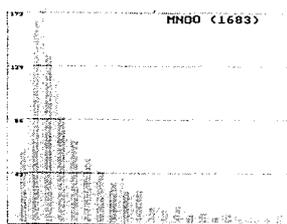


Figura 3 - Histograma de intervalos entre disparos de um MN com distribuição unimodal

Um teste adicional constou na observação dos disparos dos 60 MNs simulados observando-se que na proposta original há um forte grau de sincronismo entre os disparos. Isto está em desacordo com o que ocorre na prática e claramente decorre da ausência de outras ativações sinápticas além das de CMN e RC. A adição do ruído acima citado diminuiu consideravelmente o sincronismo.

Conclusão

O modelo proposto em^{1,2}, embora replique razoavelmente dados da literatura em que se analisam taxas de disparo e forças médias, requer uma série de modificações para poder representar de forma mais fidedigna as relações temporais nas atividades dos motoneurônios. Apresentamos duas propostas que resultaram em melhorias e devem ser levadas adiante.

Referências

- 1- AKAZAWA, K, KATO, K e FUJII, K. , A neural network model of force control based on the size principle of motor unit. *Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks*, pp 1739-1746, 1989.
- 2- AKAZAWA, K. e KATO, K., Neural network model for control of muscle force based on the size principle of motor unit. *Proc. IEEE*, 78, pp 1531-1534, 1990.
- 3- SCHWINDT, P.C. e CRILL, W.E., Factors influencing motoneuron rhythmic firing: results from a voltage-clamp study. *J. Neurophysiol.*, 48, pp 875-890, 1982.
- 4- PERSON, R.S. e KUDINA, L.P., Discharge frequency and discharge pattern of human motor units during voluntary contraction of muscle. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 32, pp 471-483, 1972.