

Estimação de parâmetros musculares via memórias associativas

Cinthia Itiki¹

¹ Laboratório de Engenharia Biomédica, Depto. Engenharia Eletrônica - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, nº 158, Cidade Universitária, São Paulo, SP 05508-900
E-mail: citiki@lcs.poli.usp.br

Resumo - Estudos computacionais mostram que a elasticidade e a viscosidade de um modelo de músculo podem ser estimadas adequadamente por meio de memórias associativas. Os resultados obtidos indicam a possibilidade de uso de memórias associativas na estimação de parâmetros envolvendo dados biológicos.

Abstract - Computer simulations show that muscle model parameters (elasticity and viscosity) may be estimated through associative memories. The obtained results suggest that associative memories may be used for parameter estimation involving biological data.

Introdução

Modelos de membros inferiores podem incluir modelos musculares com parâmetros de valor desconhecido. Neste caso, a estimação de parâmetros se torna uma tarefa necessária à obtenção de modelos que sejam capazes de aproximar as propriedades mecânicas de membros inferiores. Este trabalho apresenta uma aplicação de memórias associativas¹ na estimação dos parâmetros de elasticidade (K) e viscosidade (B) do modelo muscular em um membro inferior.

Consideremos um modelo de membro inferior com dois segmentos, como indicado na figura 1.

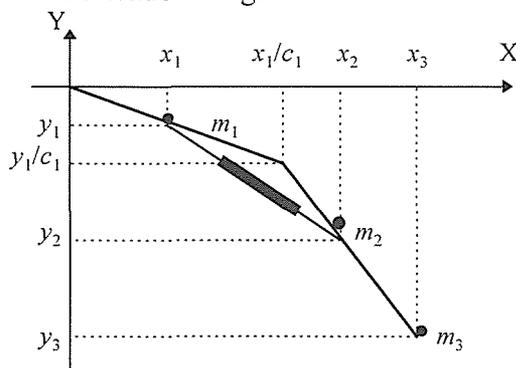


Figura 1 - Modelo de membro inferior.

Para um homem médio de 1,755 metro de altura e 78,4 kilogramas, as

dimensões da coxa e canela são dadas por $l_1=0,424$ e $l_2=0,422$ metro respectivamente². A distância entre o joelho e o centro de massa da canela é igual a $c_2 l_2$. O centro de massa da coxa está à distância $c_1 l_1$ da origem do sistema de coordenadas. As constantes c_1 e c_2 são definidas como 0,433 e 0,434 respectivamente³. As massas da coxa, canela e pé são dadas por $m_1=8,232$; $m_2=3,724$ e $m_3=1,121$ kilogramas respectivamente. Um modelo muscular com propriedades visco-elásticas conecta a perna à anteperna. As forças externas \mathbf{f} são devidas à gravidade g e aos componentes do modelo muscular

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} 0 \\ -m_1 g \\ 0 \\ -m_2 g \\ 0 \\ -m_3 g \end{bmatrix} + \{K+C(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})\} \begin{bmatrix} (x_2 - x_1) \\ (y_2 - y_1) \\ (x_1 - x_2) \\ (y_1 - y_2) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

onde

$$C(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) = B \frac{(x_2 - x_1)(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + (y_2 - y_1)(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

Metodologia

As equações de vínculo são dadas por

$$x_1^2 + y_1^2 - (c_1 l_1)^2 = 0,$$

$$\left(x_2 - \frac{x_1}{c_1}\right)^2 + \left(y_2 - \frac{y_1}{c_1}\right)^2 - (c_2 l_2)^2 = 0,$$

$$\left(x_3 - \frac{x_1}{c_1}\right) - \frac{1}{c_2} \left(x_2 - \frac{x_1}{c_1}\right) = 0,$$

$$\left(y_3 - \frac{y_1}{c_1}\right) - \frac{1}{c_2} \left(y_2 - \frac{y_1}{c_1}\right) = 0.$$

As equações de vínculo são diferenciadas duas vezes, gerando relações lineares nos componentes de aceleração, do tipo $A \ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{b}$, onde $\ddot{\mathbf{x}}$ é o vetor que contém os componentes de aceleração. A aceleração é obtida pela forma de inversa generalizada das equações de movimento⁴ $\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{f} + \mathbf{M}^{-1/2} (\mathbf{A} \mathbf{M}^{-1/2})^+ (\mathbf{b} - \mathbf{A} \mathbf{M}^{-1} \mathbf{f})$, onde \mathbf{M} é uma matriz diagonal que contém os elementos $\{m_1, m_1, m_2, m_2, m_3, m_3\}$, e $(.)^+$ denota a matriz inversa generalizada de $(.)$.

A determinação das trajetórias para valores conhecidos de parâmetros é feita através de integração numérica das acelerações. Neste trabalho foi utilizado o método de Runge-Kutta de quarta ordem para um passo de integração de 0,005 segundo. As trajetórias foram amostradas à taxa de 4 amostras por segundo, resultando em 11 amostras para cada coordenada.

Memórias associativas são formadas a partir de um conjunto de treinamento. Para valores conhecidos de parâmetros (ou respostas), as respectivas amostras das trajetórias (ou estímulos) são geradas pelo modelo computacional, como descrito acima. Cada coluna da matriz de resposta constitui de um conjunto de valores dos parâmetros. A respectiva coluna da matriz de estímulo contém as amostras de x_1 seguidas das amostras de y_1, x_2, y_2, x_3 e y_3 associadas aos valores dos parâmetros. A memória associativa M_A é calculada pelo produto entre a matriz de respostas \mathbf{R} e a pseudoinversa \mathbf{S}^+ da matriz de estímulos. As estimativas $\hat{\mathbf{r}}$ dos parâmetros são calculadas pelo produto

entre a matriz de memória associativa M_A e o vetor de observações \mathbf{s} .

Resultados

A tabela 1 mostra os valores usados para treinamento.

Tabela 1 - Conjunto de treinamento

B/10	19	19	19	20	20	21	21	21
K/100	19	20	21	19	21	19	20	21

Trajetórias sintéticas foram geradas para $K=2000$ Newton/metro e $B=200$ Newton/(metro/segundo). Para o resultante vetor de observações \mathbf{s} , as estimativas dos parâmetros foram $\hat{K} = 1994,4$ N/m e $\hat{B} = 194,8$ N/(m/s). Neste exemplo, o erro máximo de estimação foi de 3%.

Discussão e Conclusões

Boas estimativas dos parâmetros de um modelo muscular foram obtidas com dados sintéticos. Os resultados mostram que memórias associativas tem o potencial de serem usadas na estimação de parâmetros musculares envolvendo dados biológicos.

Referências

- ¹ KOHONEN, T. *Self-Organization and Adaptive Memory*, Springer-Verlag, New York, 1988.
- ² TILLEY, A.R.; HENRY DREYFUSS ASSOCIATES. *The measure of man and woman: human factors in design*, p.11, Whitney, New York, 1993.
- ³ KREIGHBAUM, E.; BARTHELS, K.M. *Biomechanics: a qualitative approach for studying human movement*, 2nd. ed., appendix III, p.654-658, Burgess, Minneapolis, 1985.
- ⁴ UDWADIA, F.E.; KALABA, R.E. A new perspective on constrained motion. *Proc. Royal Soc. London*, v.439, p.407-410, 1992.