

CÁLCULO RECURSIVO DA CINEMÁTICA DE MANIPULADORES REDUNDANTES

José Homero Feitosa Cavalcanti

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Departamento de Tecnologia Mecânica, Centro de Tecnologia, UFPB – Campus I

CEP 58059-900, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

E-mail: zevhom@uol.com.br

Maria da Guia Oliveira

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Departamento de Tecnologia Mecânica, Centro de Tecnologia, UFPB – Campus I

CEP 58059-900, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

E-mail: guioli@neofire.com.br

Alexsandro José Virgínio dos Santos

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Departamento de Tecnologia Mecânica, Centro de Tecnologia, UFPB – Campus I

CEP 58059-900, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

Email: ajvs@bol.com.br

Resumo. Neste trabalho, após a apresentação da forma clássica do cálculo da cinemática inversa de um manipulador de dois elos, apresenta-se uma nova metodologia para o cálculo da cinemática inversa de manipuladores de dois elos utilizando redes neurais artificiais. A metodologia baseia-se no cálculo agrupado da trajetória circular da extremidade do segundo elo do manipulador robótico. Serão apresentados resultados obtidos de simulação da metodologia implementada.

Palavras-chave: manipuladores redundantes, cálculo recursivo da trajetória dos elos, rede neural artificial.

1. INTRODUÇÃO

A partir da análise do cálculo da cinemática inversa algumas vezes observou-se que aumentando o valor de uma das coordenadas os ângulos calculados aumentam ou diminuem. Pode-se considerar que o cálculo da cinemática inversa de um único ponto por uma RNMC se assemelha ao cálculo do ou exclusivo de funções lógicas por RNMC que, como se sabe, é bastante complexo (arquitetura da rede neural, número de iterações, etc). Além disso, sabe-se que uma rede neural artificial de multicamadas (Humelhart. 1986) pode representar qualquer função contínua (Narendra. 1990 e Kurkova. 1995).

Propõe-se neste trabalho utilizar uma RNMC, com 26 neurônios do tipo linear na camada de entrada, 30 neurônios do tipo sigmóide na camada escondida e 26 neurônios do tipo tangente hiperbólico na camada de saída, com valores de entrada referentes à abscissa e ordenada da figura geométrica e valores de saída equivalentes aos ângulos obtidos com a cinemática inversa (ângulos θ_1 e θ_2), para um manipulador robótico projetado para seguir uma trajetória circular.

2. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

Na Figura (1) apresenta-se o diagrama simplificado de um manipulador robótico com dois elos representado em coordenadas x e y (abscissa e ordenada). As variáveis a_1 e a_2 representam o comprimento dos elos L1 e L2 respectivamente. O elo L1 faz um ângulo θ_1 com o eixo x. O elo L2 faz um ângulo θ_2 em relação ao elo L1. A cinemática direta, representada pela Eq. (1), é definida como o cálculo das coordenadas x e y conhecendo-se os ângulos θ_1 e θ_2 (Craig, 1986 e Spong, 1989).

$$x = a_1 \cdot \cos(\theta_1) + a_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

(1)

$$y = a_1 \cdot \sin(\theta_1) + a_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

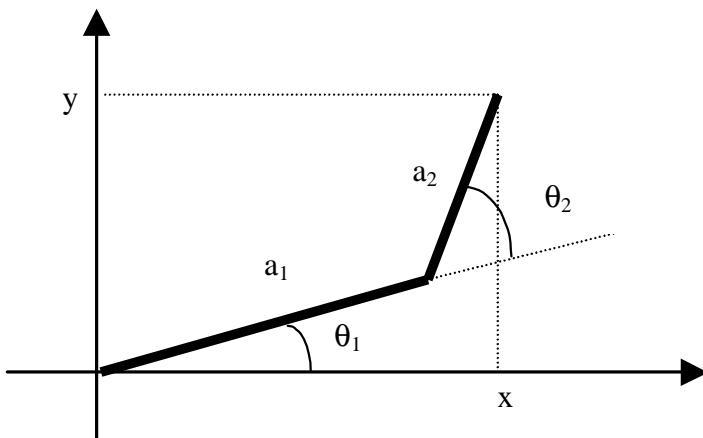


Figura1. Um manipulador com dois elos

A Cinemática Inversa é definida como o cálculo dos ângulos θ_1 e θ_2 conhecendo-se a extremidade do elo L2 (representado pelo ponto na coordenada x e y). A Cinemática Inversa pode ser calculada por etapas apresentadas a seguir.

Etapa 1: Pela lei dos cossenos calculam-se $\cos(\theta_2)$ e a seguir θ_2 (ver a Eq. (2)).

$$D = \cos\theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}$$

(2)

$$\theta_2 = \cos^{-1}(D)$$

Etapa 2: Utilizando-se a Eq. (2) podem-se calcular os ângulos θ_1 e θ_2 na forma da Eq. (3).

$$\begin{aligned}
 \text{seno}(\theta_2) &= \pm\sqrt{1 - D^2} \\
 \theta_2 &= \tan^{-1}\left(\frac{\pm\sqrt{1 - D^2}}{D}\right) \\
 \theta_1 &= \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{a_2 \cdot \text{seno}(\theta_2)}{a_1 + a_2 \cdot \cos(\theta_2)}\right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

Na metodologia aqui proposta, os dados a serem utilizados no treinamento da rede neural são agrupados formando uma figura geométrica (um círculo). As coordenadas do círculo podem ser descritas por funções trigonométricas (seno e cosseno), que por serem funções contínuas, são adequadas para serem utilizadas nem RNMC. No desenvolvimento do conjunto de dados para o treinamento da RNMC, a cada coordenada do círculo é associado um par de ângulos θ_1 e θ_2 calculados usando a Eq. (3). A partir de simulações observou-se que as duas curvas traçadas com os valores dos ângulos para cada ponto do círculo representam uma função contínua. Na cinemática inversa calculam-se os ângulos sendo conhecidas as coordenadas do círculo. Portanto, os dois conjuntos de dados dos ângulos calculados para o círculo são utilizados como objetivo e saída da RNMC.

De uma forma genérica, a metodologia desenvolvida para o cálculo da cinemática inversa pode ser sumarizada nas quatro etapas apresentadas a seguir.

- 1) Para um sistema que exista a relação $y=f(x)$ existem teoremas (Kurkova. 1995) que provam que existe uma rede neural tal que forneça $y'=RN(x)$, ($RN(x)$ representa o conjunto de valores calculados pela rede neural), y' próximo de y .
- 2) Para sistemas de duas ou mais variáveis tal que $g=gf(x,y)$, observa-se que $gf(x,y)$ não é necessariamente uma função.
- 3) Para um conjunto de pontos tal que $g=gf(x,y)$ escolhidos de forma que existam $h=m(x)$ e $r=n(y)$, sendo $m(x)$ e $n(y)$ funções. Se existir a função $v=z(h,r)$, então existirá uma rede neural tal que $v'=RN(h,r)$.
- 4) Uma das formas de garantir que h e r sejam funções é usar figuras geométricas do tipo círculos.

3. O MANIPULADOR REDUNDANTE TRACANDO UM CÍRCULO

A construção de um círculo é feita com dois vetores representando as suas coordenadas x e y . Na Eq. (4) apresenta-se a fórmula utilizada para representar um círculo de raio r . As coordenadas x e y podem ser representadas pelas Eq. (5) e (6), respectivamente, com θ representando o ângulo ao longo do círculo.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{4}$$

$$x = r \cdot \cos(\theta) \tag{5}$$

$$y = r \cdot \text{seno}(\theta) \tag{6}$$

Inicialmente, traçou-se um círculo (treze pontos), representado nas eq.5 e eq.6. A seguir, usando o simulador de um manipulador de dois eixos baseado nas eq.3, movimentou-se a extremidade do segundo eixo sobre o círculo na forma apresentada na Figura (2). Na Figura (2) os eixos do

manipulador redundante têm comprimento 0.5cm, o círculo tem raio de 0.2cm, e o centro do círculo está localizado no ponto (0.4, 0.4). A seguir, traçou-se a curva dos ângulos θ_1 e θ_2 para cada ponto representado pelas coordenadas x e y do círculo.

Na parte superior da Figura (3) apresenta-se o desenho do círculo traçado a partir das suas coordenadas x e y. Na parte inferior da Figura (3) apresentam-se as curvas das coordenadas x e y, e as curvas dos ângulos θ_1 e θ_2 .

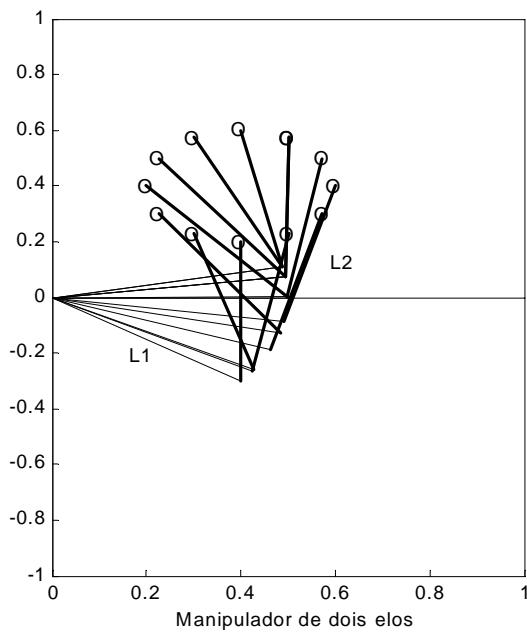


Figura 2. Traçado do círculo

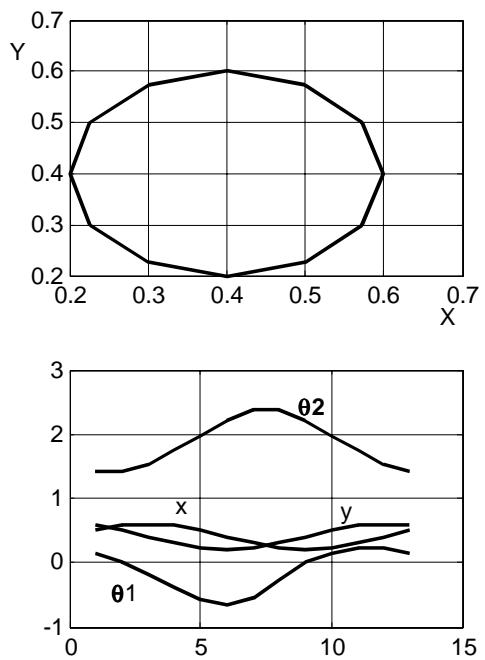


Figura 3. Círculo, coordenadas e ângulos

4. CINEMÁTICA INVERSA USANDO A RNMC

A idéia central da metodologia é utilizar uma RNMC(26,30,26) (26 neurônios do tipo linear na camada de entrada, 30 neurônios do tipo sigmóide na camada escondida e 26 neurônios do tipo tangente hiperbólico na camada de saída) com valores de entrada referentes à abscissa e ordenada da figura geométrica (13 valores do seno e 13 valores do cosseno), e valores de saída equivalentes aos ângulos obtidos com a cinemática inversa (ângulos θ_1 e θ_2), para um manipulador robótico projetado para seguir uma trajetória circular.

A seguir, foi feito o treinamento da RNMC com as coordenadas e os ângulos do círculo apresentado na Figura (3) (resultados não apresentados neste trabalho). Observou-se que a RNMC aprendeu satisfatoriamente a relação entre as coordenadas e os ângulos do círculo.

Pretendendo-se generalizar a RNMC para o cálculo da cinemática inversa de um manipulador redundante, decidiu-se usar os dados de dez círculos de diferentes raios para treinamento da rede neural.

Na parte superior da Figura (4) apresentam-se as curvas de dez círculos com diferentes raios. Os círculos foram traçados com dez curvas das coordenadas x e y, cada curva com 13 elementos representando um período da senóide com amplitude crescente (0.1;0.2;...1).

Na parte inferior da Figura (4) apresentam-se dez figuras traçadas com os ângulos θ_1 em função dos ângulos θ_2 obtidos dos dez círculos com diferentes raios. Observe-se que essas figuras não são circulares.

Na Figura (5) apresenta-se a curva da somatória ao quadrado do erro (valor objetivo menos valor na saída de RNMC) obtida a partir do treinamento da RNMC com o conjunto de dados referente aos dez círculos. O treinamento foi feito em 16000 iterações.

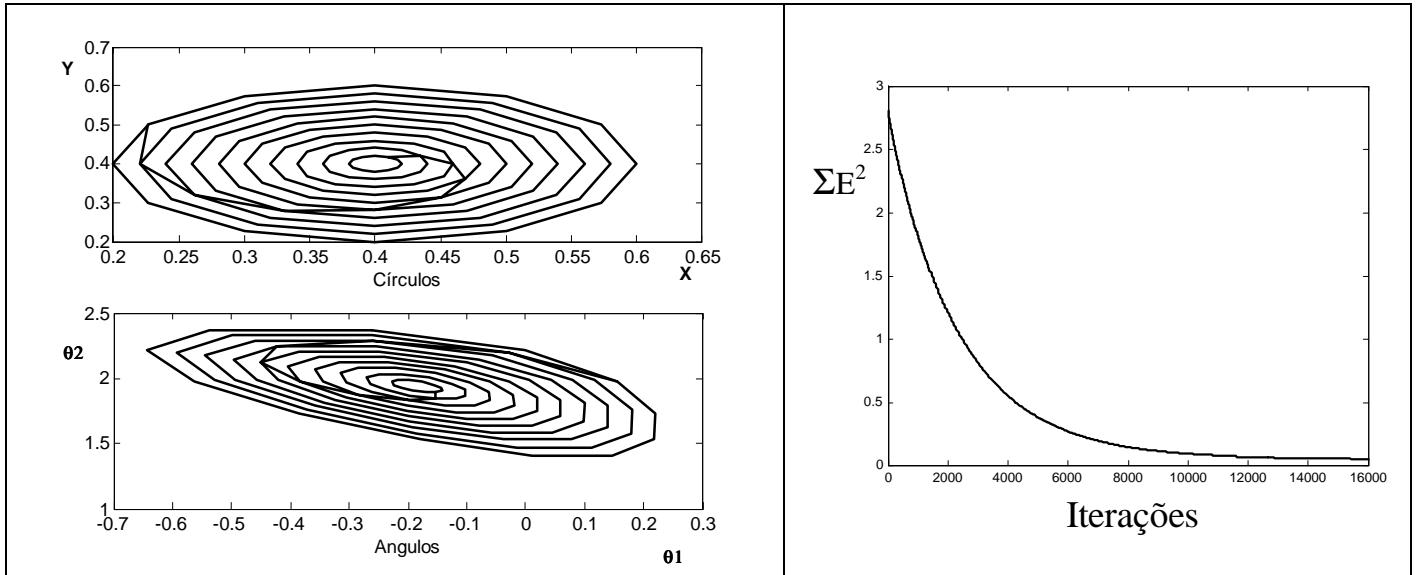


Figura 4. Círculos e ângulos

5. Índice de desempenho

A seguir, foi feita a verificação do aprendizado da RNMC. Os resultados apresentados na forma de figuras geométricas foi semelhante aos dados objetivos apresentados na parte inferior da Figura 4. Na Figura (6) apresentam-se as curvas dos ângulos θ_1 (parte superior) e θ_2 (parte inferior) superpostas com os respectivos ângulos fornecidos na saída da RNMC (cor vermelha e indicado por RN1 e RN2) obtidos depois do treinamento. Pode-se observar uma boa aprendizagem da RNMC mas, para pequenos valores dos raios dos círculos, a RNMC não aprendeu completamente a cinemática inversa desses círculos.

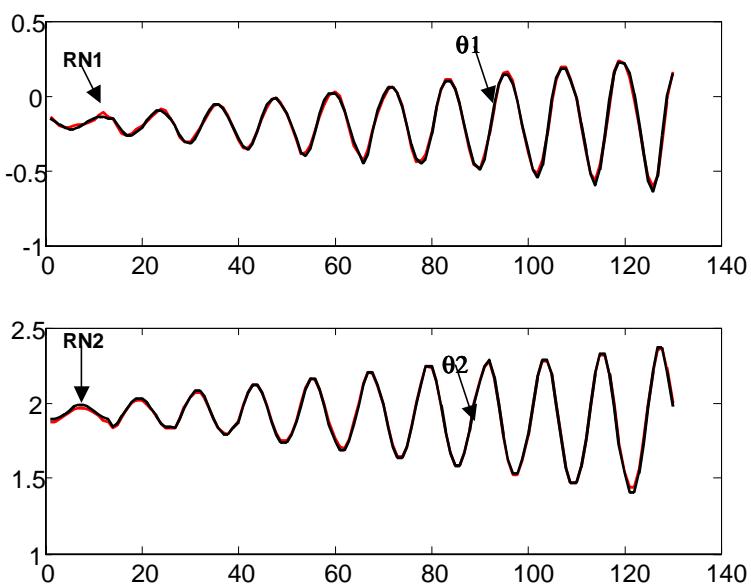


Figura 6. Os ângulos dos círculos e os valores fornecidos pela RNMC

3. CONCLUSÃO

Apresentou-se uma metodologia que permite o cálculo da cinemática inversa de manipuladores robóticos. A metodologia baseou-se no cálculo da trajetória da extremidade do elo final do manipulador. Foi feito o treinamento de uma RNMC e se observou que o resultado apresentado se aproxima dos ângulos fornecidos pelo cálculo convencional da cinemática inversa de manipuladores robóticos.

As contribuições desta metodologia são as seguintes: 1) cálculo agrupado dos ângulos dos elos do robô para uma trajetória e não para um ponto; 2) transformação de um sistema representado por funções não lineares e descontínuas para um sistema representado por funções não lineares; 3) possibilidade de aplicação em manipuladores redundantes (mais de dois elos) o que dispensará a inversão da matriz do jacobiano; 4) adaptável a tecnologias do tipo FPGA.

Este método foi utilizado para manipuladores redundantes de três elos e se mostrou adequado para pequenas variações nos raios dos círculos (os resultados obtidos serão apresentados futuramente).

Este método é adequado a um controle inteligente do robô, pois facilmente pode ser integrado a um sistema que utilize blocos baseados em redes neurais artificiais e em Lógica Fuzzy (Zadeh, 1988). Futuramente pretende-se provar com o rigor exigido as afirmações da seção 2 deste trabalho. Atualmente está sendo testado um robô com dois elos para verificar experimentalmente os resultados obtidos com esta metodologia.

4. REFERÊNCIAS

- Craig, John J., 1986, “Introduction to Robotic Mechanics & Control”, Addison-Wesley.
- Spong, M. W. and Vidyasagar, M. “Robot Dynamics and Control”, John Wiley and Sons, New York, 1989. Publishing Company.
- Humelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J. “Learning Representations by back-Propagating Errors”, Nature323, 1986, pp.533-536.
- Zadeh, L.A. “Fuzzy Logic”, IEEE Computer Magazine, April 1988, pp.83-93. Republicado por J.A. Anderson & E. Rosenfeld, Neurocomputing Foundations of Researchs, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, 1988. pp. 177-194.
- Narendra, K. S. & Parthasarathy, K., “Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks”, IEEE Transactions On Neural Networks, Vol.1 No.1, march 1990, pp.4-26.0.
- Kurkova, V., “Kolmogorov’s Theorem”, publicado em Brain Theory and Neural Networks, Editado por Arbib, M. A., The MIT Press, London, England, 1995.

5. DIREITOS AUTORAIS

José Homero Feitosa Cavalcanti

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Departamento de Tecnologia Mecânica, Centro de Tecnologia, UFPB – Campus I
CEP 58059-900, João Pessoa, Paraíba, Brasil.
E-mail: zevhom@uol.com.br

Maria da Guia Oliveira E-mail: guioli@neofire.com.br

Alexsandro José Virgílio dos Santos

Email: ajvs@bol.com.br.

RECURSIVE CALCULATION OF THE KINEMATIC OF THE REDUNDANTS MANIPULATORS

José Homero Feitosa Cavalcanti

Postgraduation Course in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering, Center of Technology, UFPB – Campus I

CEP 58059-900, João Pessoa, Paraíba, Brazil, e-mail: homerof@uol.com.br

Maria da Guia Oliveira

Postgraduation Course in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering , Center of Technology, UFPB – Campus I

CEP 58059-900, João Pessoa, Paraíba, Brasil, e-mail: guioli@neofire.com.br

Alexsandro José Virgílio dos Santos

Postgraduation Course in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering , Center of Technology, UFPB – Campus I

CEP 58059-900, João Pessoa, Paraíba, Brasil, e-mail: ajvs@bol.com.br.

Abstract: In this work, after the presentation in the classic way of the calculation of a manipulator's of two links inverse kinematics, a new methodology for the calculation of the manipulators' of two links inverse kinematics using artificial neural networks is presented. The methodology is based on the contained calculation of the circular path of the extremity of the second link of the robotic manipulator. Obtained results of simulation of the implemented methodology is presented.

Keywords: circles, redundant manipulators, neural network, recursive calculation.