ROBÓTICA E REDES NEURAIS

Ezequiel Orloski
Ariangelo Hauer Dias, ariangelo@uepg.br

Universidade Estadual de Ponta Grossa / Departamento de Informática

Engenharias, Engenharia Elétrica.

Palavras-chave: Cinemática direta e inversa, Denavit-Hantemberg, Robô 6DOF.

Resumo

A cinemática é a ciência que estuda o movimento dos corpos sem se preocupar com sua dinâmica. A modelagem da cinemática direta de um braço robótico tem como objetivo relacionar o movimento das juntas com a trajetória de um ponto de interesse no robô. Com a cinemática direta também é possível simular o movimento do braço robótico.

Neste trabalho, é feita a modelagem da cinemática direta e inversa de um robô manipulador de 6 graus de liberdade, também abreviadas como RRRRRR ou 6R (UR5, Universal Robots) com juntas rotativas, sendo três para posicionamento e três para orientação.

Introdução

Para Tsai (1999), um robô é considerado um manipulador quando capaz de ser reprogramável, multifuncional e projetado para manusear materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais, através de movimentos pré-programados para realização de tarefas.

Material e Métodos

Cinemática

Para se obter a cinemática direta, o método escolhido foi o de Denavit-Hartenberg, apesar de ser uma ferramenta singular, ela permite a obtenção mais simplificada dos parâmetros no espaço de juntas que representam a cinemática direta.

Basicamente, um mecanismo pode ser descrito através da notação de Denavit-Hartenberg fixando os SR{i}'s de maneira que o eixo Z seja normal ao plano de rotação da junta rotativa θ_i. Para as juntas prismáticas, o eixo Z deve ser fixado paralelo ao sentido de deslocamento de di. Quando existir a necessidade de Rotacionar o SR{i} de um elo em relação ao anterior, essa rotação deve ocorrer somente no eixo X. Com isso, é possível obter a representação simplificada do manipulador estudado aplicando-se o método de Denavit-Hartenberg.

MATRIZES DE TRANSFORMAÇÃO

Assim como visto em CRAIG (2012), a forma canônica da matriz de transformação $i\mathrm{A}\ i-1$ pode ser vista na equação 1.

ISSN 1676-0093

$$A_{i-1}^{i} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i \cos\alpha_i & -C\theta_i S\alpha_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Uma vez que os SR's foram fixados, os parâmetros de cada link encontrados e as matrizes de transformação obtidas, pode-se então obter a matriz de transformação de 6 para 0 ($4T\ 0$) através de (2).

$$T_6 = A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * A_6 \quad (2)$$

CINEMÁTICA INVERSA

Como tratado anteriormente, a função da cinemática direta consiste em informar os ângulos para o espaço de juntas e por consequência, obter uma posição da ponta da ferramenta no espaço. Na cinemática inversa, como o próprio nome sugere, deseja-se informar ao sistema uma posição para a ponta da ferramenta no espaço e obter como resposta os ângulos das juntas rotativas e deslocamentos das juntas prismáticas.

A necessidade da obtenção de referencias em coordenadas angulares, correspondentes a tarefas definidas no espaço cartesiano é expressa matematicamente pela inversão do modelo geométrico, isto é:

$$\theta = f^{-1}(x) \quad (3)$$

Existem diversos métodos numéricos iterativos, entre eles os métodos recursiva, que utiliza o cálculo do modelo geométrico direto e da matriz Jacobiana inversa.

A transformação de coordenadas de um robô com N graus de liberdade pode ser formulada da seguinte maneira. A partir da configuração inicial do robô, na qual as suas variáveis articulares $\underline{\theta}^{o}$ são conhecidas, a posição completa do seu elemento terminal (end-effector) $\underline{X}^{o}$ será conhecida a partir do modelo do sistema.

A mudança de coordenadas consistira de um funcional que descrevera a correspondência existente entre a cadeia cinemática para um conjunto de variáveis articulares $\underline{\theta}$ e sua posição $\underline{X}$ correspondente.

$$x - x_0 = f(\theta - \theta^{\circ}) \quad (4)$$

Onde o vetor f possui N ≤ 6 componentes descrevendo a posição e orientação do elemento terminal (end-effector) do robô (no caso do robô UR5, N = 6).

No caso da transformação de coordenadas, uma determinada posição $\underline{X}$ do volume de trabalho do robô será atingida pelo robô a partir de uma posição de repouso $\underline{x}_0$. Esta equação não apresentara uma solução única, e a mesma poderá ser utilizada para o controle cinemático de mecanismos.

$$\theta - \theta^{\circ} = f^{-1}(x - x_0) \quad (5)$$

A transformação direta de coordenadas não apresenta dificuldades na sua resolução, o mesmo não acontecendo com a transformação inversa que é mais complexa, não apresentando solução única. Para eliminarmos as indeterminações que aparecem no problema inverso, utiliza-se geralmente a matriz Jacobiana, onde a mesma poderá ser utilizada para o controle cinemático de mecanismos.

Matriz Jacobiana

Dado uma configuração inicial θ^o e X^o de um robô, as coordenadas X do elemento terminal são descritas pela equação (5). Para pequenos deslocamentos δx associados aos deslocamentos das variáveis articulares $\delta\theta$ podemos escrever:

$$\partial\theta = J^{-1}\partial x \qquad (6)$$

A matriz Jacobiana $J(\theta)$ será definida como:

$$J(\theta)_{i,j} = \frac{\partial f_i}{\partial \theta_j} \qquad (7)$$

Através de derivas parciais, a matriz Jacobiana $J(\theta)$ será definida como:

$$J(\theta) = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial F_1}{\partial \theta} & \cdots & \cdots & \frac{\partial F_1}{\partial \theta_n} \\ \frac{\partial F_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial F_2}{\partial \theta_2} & \cdots & \cdots & \frac{\partial F_2}{\partial \theta_n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial F_n}{\partial \theta_1} & \frac{\partial F_n}{\partial \theta_2} & \cdots & \cdots & \frac{\partial F_n}{\partial \theta_n} \end{bmatrix} \qquad (8)$$

Inversão da Matriz Jacobiana

O controle de um robô no espaço de tarefas necessita de uma transformação de coordenadas. Esta transformação poderá ser realizada a partir da inversão da matriz Jacobiana:

$$\partial\theta = J(\theta)^{-1}\partial x \qquad (9)$$

Onde:

$J(\theta)^{-1}$: representa a matriz Jacobiana inversa (se ela existir).

Esta relação indica a variação do incremento $\delta\theta$ das variáveis articulares para um dado deslocamento δX do elemento terminal (end-effector) do robô.

Resultados e Discussão

ISSN 1676-0093

SIMULAÇÃO DA CINEMÁTICA INVERSA

A cinemática inversa se resume a alimentar o sistema com uma posição no espaço que esteja dentro da região de trabalho do manipulador e obter como resposta os valores de θi. Foi possível encontrar os resultados esperados de maneira plenamente satisfatória e quando comparado a cinemática direta, os resultados da inversa mostram-se corretos. Essa comparação dá-se pelo fato de obter os valores de θi fornecidos pela cinemática inversa e alimentar o sistema na cinemática direta. Observa-se então se a ponta da ferramenta na cinemática direta alcança exatamente o ponto no espaço que foi inicialmente passado ao sistema da cinemática inversa.

A figura 1 mostra os gráficos de variação de θ_i e velocidade em graus/segundo.

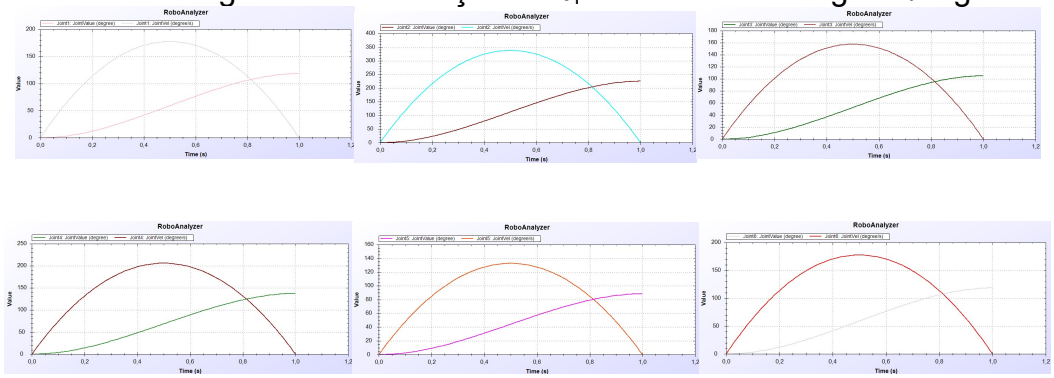


Figura 1. Variação de θ_i.

Conclusão

Durante a elaboração deste trabalho foi possível observar os diversos aspectos referentes às características de funcionamento do modelo matemático da cinemática direta e inversa do robô manipulador alva deste trabalho. Conforme visto, com a modelagem da cinemática inversa elaborada é possível inserir uma posição no espaço Euclidiano e obter como resposta uma configuração para os ângulos das juntas do manipulador. Com os resultados, foi possível obter de maneira satisfatória a visualização dos alcances máximos do robô manipulador, bem como as posições apontadas na cinemática direta e inversas coerentemente obtidas.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Ariangelo Hauer Dias pelo ensino e apoio no desenvolvimento deste trabalho, a Fundação Araucária e a UEPG pela bolsa concedida durante o mesmo.

Referências

Groover, M. P. **Robótica: tecnologia e programação**. McGraw-Hill, 1989.

Tsai, L.-W. **Robot analysis: the mechanics of serial and parallel manipulators**. John Wiley & Sons, 1999.

Craig, J. J. **Robótica. 3ª ed**. Pearson, 2012.

SOUZA, Samantha Mendonça de. **Controle no espaço das juntas de manipuladores com jacobiana inversa utilizando servovisão**. 2011. 51f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2011.