

MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA UM MANIPULADOR HIPER-REDUNDANTE COM 10 GRAUS DE LIBERDADE

Marcelo de Miranda Bastos¹; Anfranserai Morais Dias²

1. Bolsista Fapesb, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marcelomirbas@yahoo.com.br
2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: anfranserai@ecomp.uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Hiper-Redundância, Manipuladores, Robótica.

INTRODUÇÃO

A acessibilidade e a mobilidade têm sido temas bastante explorados no campo da robótica. Diversas estruturas de robôs foram propostas ao longo dos anos de modo a aumentar os índices qualitativos dessas características, o que impulsionou diversas frentes de pesquisa em com robôs modulares [3] [6] [8] [13], manipuladores, robôs hiper-redundantes, entre outras.

Um robô no qual a estrutura mimetiza um braço humano é denominado de manipulador, que consiste em uma cadeia de elos rígidos conectados por juntas que permite movimentação entre elos vizinhos [2]. Manipuladores que possuem uma grande quantidade de graus de liberdade (tendendo a infinito) são denominados Manipuladores Hiper-Redundantes. Este tipo de robô é altamente manobrável, flexível e tolerantes a falhas em um ou mais atuadores [9]. Em contrapartida, modelagens cinemáticas e dinâmicas de robôs hiper-redundantes são substancialmente mais complexas.

Como forma de simplificar a resolução da cinemática, diversos métodos foram desenvolvidos nos últimos anos, e estão divididos em três abordagens [10]: (1) algébricas, (2) iterativas, as quais podem envolver soluções numéricas ou inteligência artificial - com o uso de redes neurais [11], algoritmos evolutivos [7], ou lógica nebulosa -, e (3) soluções geométricas [5].

O presente trabalho objetiva apresentar a modelagem e o desenvolvimento de um sistema de controle para um manipulador hiper-redundante com 10 graus de liberdade. As seções seguintes trarão a metodologia de desenvolvimento, a fundamentação teórica, os resultados obtidos, as discussões acerca deles, e a conclusão.

METODOLOGIA

A cinemática direta do robô foi modelada sob o uso da metodologia de Denavit-Hartenberg. O cômputo da matriz de transformação da ferramenta para a base foi feito através da multiplicação literal utilizando o software MATLAB. O cômputo da cinemática inversa é feito no sentido de encontrar os parâmetros dos atuadores para que uma dada posição da ferramenta seja alcançada.

Da cinemática direta temos que $\vec{X} = \vec{f}(q)$, onde q é o vetor dos ângulos das juntas $(r_1, \theta_1, r_2, \theta_2, \dots, r_n, \theta_n)$. O problema da cinemática inversa consiste em determinar a inversa de \vec{f} tal que $q = \vec{f}^{-1}(\vec{X})$. Devido aos senos e cossenos dos ângulos das rotações, \vec{f} é não linear em q . Por isso, a sua inversa pode não existir ou ser de complexa resolução. Uma forma de contornar esse problema é aplicar as séries de Taylor, com o uso do jacobiano, para encontrar um modelo linear aproximado. Então, obtêm-se $\vec{f}(q) = \vec{f}(q_0) + J(q_0)(q - q_0)$, onde $J(q_0)$ é o Jacobiano

da função no ponto q_0 . O Jacobiano pode então representar uma notação para posição e orientação da ferramenta variando no tempo [2]. Trata-se de uma derivada multidimensional, onde as suas colunas representam derivadas parciais de \vec{f} no ponto q_0 . Ou seja, o jacobiano é definido por $J(q_0) = \frac{\partial \vec{f}}{\partial q_0}$.

Contudo, o inverter o jacobiano para a determinação da cinemática inversa ainda é um problema para o caso de manipuladores hiper-redundantes. Isso se deve ao fato de que os algoritmos empenhados nessa tarefa são de natureza iterativa e, para matrizes grandes como as que são geradas no cômputo do jacobiano de robôs hiper-redundantes, isso demanda um tempo de processamento proibitivo para aplicações de tempo real. Outras abordagens consistem na aplicação da pseudo-inversa da Jacobiana, da inversa da Jacobiana estendida ou a inversa da Jacobiana aumentada. Contudo, essas técnicas não são opções para robôs hiper-redundantes devido ao fardo computacional e há um grande número de restrições de tarefas que precisam ser especificados.

Foram buscadas soluções para o cômputo da cinemática inversa em tempo aceitável em diversas metodologias, que variaram desde abordagens geométricas [5], soluções inteligentes [7] e aproximações exatas [4]. A necessidade de desenvolver um algoritmo rápido é essencial para que seja possível eliminar uma unidade de processamento externa ao robô. Logo, uma metodologia de resolução da redundância exata tornasse mais atraente.

Um método desenvolvido por [11] apresenta uma simplificação do cômputo da cinemática inversa através de um método geométrico. A ideia básica do método proposto é encontrar o ângulo entre cada dois elos adjacentes, o que fará a ferramenta alcançar o objetivo. Este ângulo deve ser o mesmo para cada par de elos adjacentes. Para encontrar tal ângulo, é analisado o ângulo no centro da circunferência que circunscreve o polígono a ser formado pelo robô referente ao deslocamento entre a origem e a ferramenta do robô. A restrição para a aplicação de tal método é que todos os elos do robô tenham tamanhos iguais, o que é compatível com o projeto em desenvolvimento.

Em seu outro artigo, [12] propõem uma abordagem inteligente para resolver a cinemática inversa de um manipulador hiper-redundante de elos de mesmo tamanho. Para isso, utiliza uma rede neural do tipo perceptron multicamadas e o método geométrico descrito anteriormente como meio para levantar amostras para o treinamento da rede. Já [7] propões a aplicação de um algoritmo genético multi-objetivo para a resolução da inversa da jacobiana estendida considerando os problemas da repetibilidade, precisão e obstáculos no espaço de trabalho.

Outra abordagem geométrica também foi proposta por [5] no intuito de simplificar o computo da cinemática inversa. Ela aborda o problema sob uma estratégia de divisão e conquista que segmenta o robô ao meio a cada iteração, gerando sub-robôs de 2 elos, cada. É elaborada então uma estratégia onde o objetivo de um sub-robô é a origem do próximo sub-robô e o posicionamento se baseia nos centroides dos triângulos formados pelos dois elos de cada sub-robô. Esta estratégia insere poucas interações e reduz a complexidade final da inversão do jacobiano.

Outra estratégia interessante, proposta por [1], aplica um método semi-analítico que elimina a redundância do robô. Para tanto, ele abstrai um robô de n graus de liberdade em um robô de 6 graus de liberdade, onde a ferramenta é posicionada por 3 juntas virtuais que são funções das $n - 3$ juntas e a sua orientação é dada por uma junta virtual que abstrai as 3 juntas do punho robótico.

Por fim, [4] demonstra um método exato, baseado na curva de *backbone* – uma curva contínua por partes que captura os recursos geométricos macroscópicos importantes de um robô

hiper-redundante. A proposta, que tem base na geometria clássica das curvas, apresenta soluções para as limitações do Aparato de Frenet-Serret.

RESULTADOS

Foi feita a resolução da cinemática direta do robô de maneira que é possível determinar a posição e a orientação da ferramenta no espaço tridimensional. O posicionamento dos frames de referência foi feito conforme mostra a figura abaixo:

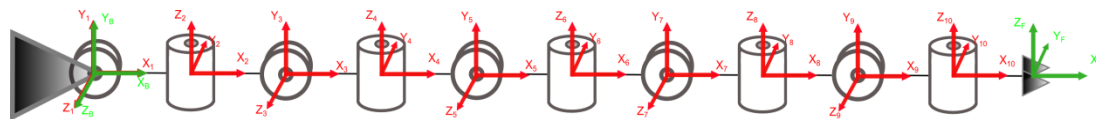


Figura 1 – Posicionamento dos Frames de Referência

A partir disso, foi encontrada a matriz transformação que referencia a posição da ferramenta em relação ao eixo fixo da base. Com o comparativo realizado entre algumas metodologias aplicadas na solução da cinemática inversa, concluiu-se que uma solução ideal deve-se dá através de uma abordagem analítica exata para o modelo, já que as abordagens iterativas consomem mais recursos de processamento, não ideal para ser embarcada ao robô.

Para a resolução da cinemática inversa, diferentes matrizes podem ser geradas a depender da estratégia de resolução adotada. Como o tempo foi empenhado em analisar e comparar métodos diferentes, ainda não foi realizado o cômputo de nenhuma matriz, o que será feito após a decisão de qual método será utilizado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trabalhos que envolvem o controle de robôs demandam a resolução do problema da cinemática deste. No entanto, a resolução da cinemática em robôs hiper-redundantes não é uma tarefa fácil. Frequentemente é necessário adaptar métodos, já que as estruturas são muito variadas e a resolução tem uma natureza particular.

Restrições de processamento geram ainda outros problemas. As matrizes envolvidas no cômputo da cinemática inversa podem ser de dimensões muito grandes para uma resposta em tempo aceitável. Como o que se deseja é a construção de um robô independente de um módulo de controle central externo, a necessidade de encontrar uma metodologia rápida e paralelizável torna-se um requisito crítico para o projeto.

A análise das variadas estratégias foi enriquecedora pois apresentou diversas tendências novas para a resolução do problema da cinemática. Por outro lado, observou-se que tendências mais clássicas, antes desenvolvidas para computadores com baixo poder computacional, são candidatas a serem embarcadas nos microcontroladores dos robôs para que possam trabalhar com um tempo aceitável de processamento.

Ainda não foi aplicada nenhuma estratégia de resolução da cinemática inversa, já que nenhuma estratégia aplicada anteriormente em robôs hiper-redundantes demonstrou total adaptação ao robô que proposto. Contudo, foi feito uma vasta análise de métodos, onde alguns deles demonstraram-se possíveis para aplicação após algumas adaptações. Os próximos passos deste projeto estão a ser dados no sentido de selecionar a estratégia que apresente o melhor tradeoff entre a rapidez do cômputo e a simplicidade de adaptação.

REFERÊNCIAS

- [1] AOYAGI, S., TASHIRO, K., MINAMI, M., TAKANO, M. , **Development of Redundant Robot Simulator for Avoiding Arbitrary Obstacles Based on Semi-Analytical Method of Solving Inverse Kinematics**. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Diego: Nov., 2007.
- [2] CRAIG, J.J.. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control (3rd Edition)**,3 Ed. United States: Prentice Hall, 2005.
- [3] FARRITO, S., DUBOWSKY, S.. **On Modular Design of Field Robotic Systems**, *Design Journal Paper Draft*, 2000.
- [4] BURDICK, J. W., CHIRIKJIAN, G.S., **The Kinematicsof of Hyper-Redundant Robots**. Essay on Mathematical Robotic, New York: Springer, 1998.
- [5] JAMALI, A., KHAN, R., RAHMAN, M.M., **A New Geometrical Approach to Solve Inverse Kinematics of Hyper-Redundant Robot with Variable Link Length**. In: International Conference on Mechatronics (ICOM), Malasia, 2011.
- [6] KAMIMURA, A., MURATA, S., YOSHIDA, E., KUROKAWA, H., TOMITA, K., KOKAJI, S. “**Self-Reconfigurable Modular Robot**”, *Intenational Conference on Intelligent Robots and Systems*, Hawaii, USA, 2001.
- [7] MARCOS, M. G., MACHADO,J.A.T., AZEVEDO-PERDICOÚLIS, T.-P. (2009), **An evolutionary approach for the motion planning of redundant and hyper-redundant manipulators**. *Springer Science+Business Media B.V.*, vol. 60, pp.115-129, Dezembro, 2009.
- [8] MENG, Y., ZHANG, Y., JIN, Y. **Autonomous Self-Reconfiguration of Modular Robots by envolving a Hierarchical Mechanochemical Model**. *IEEE COMPUTATIONAL INTELLIGENCE MAGAZINE*. Fevereiro, 2011.
- [9] SALABARRIA, M. H., **ROBÔ HIPER-REDUNDANTE COM MÓDULO DE ARQUITETURA PARALELA**, Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos – Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, 2007.
- [10] SHENG, L.,YIQING, W., QUINWEI, C., WEILI H.. **A new Geometrical Method for the inverse Kinematics of the Hyper-Redundant Manipulators**. In: *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, China, dezembro, 2006.
- [11] YAHYA, S. , MOHAMED, H. A. F., MOGHAVVEMI, M., YANG, S. S.. **Inverse Kinematics of an Equal Length Links Planar Hyper Redundant Manipulator Using Neural Networks**. In: *ICROS-SICE International Joint Conference*, Fukouka International Congress Center, Japão, Agosto, 2009
- [12] YAHYA, S. , MOHAMED, H. A. F., MOGHAVVEMI, M., YANG, S. S.. **Motion Planning of Hyper Redundant Manipulator Based on a New Geometrical Method**. In: *Industrial Technology ICIT IEEE International Conferency*, Fevereiro, 2009
- [13] YANG, G., CHEN, I.-M.. **Kinematic Calibration of Modular Reconfigurable Robots**, Singapore.