



Análise de projeto e execução na fabricação de uma aranha robótica **Analysis of design and execution in the manufacture of a robotic spider**

Diego Alves de Miranda¹
Diego Galvan de Oliveira²

Resumo: O surgimento de avanços tecnológicos vem alavancando desenvolvimento de novos produtos e equipamentos para aplicações industriais. As etapas de fabricação de sistemas articulados de movimentação exige conhecimentos e experiências em projetos mecânicos, eletroeletrônico etc. Neste estudo foi realizado proposto um novo projeto mecânico bem como seus componentes eletrônicos para fabricação de um sistema articulado (aranha robótica). Foram demonstradas as principais etapas de fabricação deste sistema, desde as idéias iniciais até a movimentação da aranha. O projeto desenvolvido demonstrou-se consistente, eficaz e com custo de aquisição acessível.

Palavras Chave: Aranha Robótica, Engenharia Mecatrônica, Engenharia de Projetos.

Abstract: The emergence of technological advances has been leveraging the development of new products and equipment for industrial applications. The manufacturing stages of articulated movement systems require knowledge and experience in mechanical, electronic and electronic projects. In this paper, a new mechanical design was proposed as well as its electronic components for the manufacture of an articulated system (robotic spider). The main stages of manufacture of this system were demonstrated, from the initial ideas to the movement of the spider. The project developed proved to be consistent, effective and affordable.

Keywords: Robotic Spider, Mechatronics Engineering, Project Engineering.

¹ UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville

² SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

Introdução

Segundo Figliolini e Rea (2007), a criatura homo sapiens prossegue em constante movimento, uma vez que aprendeu e desenvolveu um modo locomoção diferenciado, quando comparado ao dos outros seres terrestres. Cada animal terrestre possui uma capacidade de locomoção peculiar, seja andar, correr, nadar, pular, voar. Desta forma, as máquinas e equipamentos cinéticos ocupam o desenvolvimento induzido de razões práticas de movimentação, ou até utópicas (KESEL *et al.* 2004). A movimentação por meio de rodas são adequadas para superfícies firmes, sendo inviáveis na utilização de deslocamentos em terrenos macios ou irregulares como a areia e a neve (GAO *et al.* 2005). Com sistemas de movimentação por pernas, as dificuldades aparecem na flexibilidade e adaptação ao solo (AUTUMN *et al.* 2000; CHENG & ORIN, 1991). Isto implica que escolher entre diferentes soluções disponíveis e controlar a posição do centro de massa de cada sistema, evita derrapagens e capotamentos provenientes de solos irregulares (WEN & WITFINGER, 1999). A consequência de construir sistemas de locomoção por pernas são uma velocidade reduzida e uma maior complexidade para controlar o sistema, sendo mais vantajoso o sistema de locomoção por rodas (YI *et al.* 2002).

Gasparetto *et al.* (2008), demonstrou como os sistemas controlados com pernas, possuem elevados números de graus de liberdade, por exercer um enorme equilíbrio das forças de sustentação tentando ainda consumir o mínimo de energia possível. Sistemas de controle com pernas possuem um corpo como base e são ligados a uma série de pernas articuladas (GASPARETTO *et al.* 2009; AUTUMN & PEATTIE 2002). Individualmente, cada uma dessas ligações cinemáticas é considerada um manipulador que atua como um membro, contribuindo para o sistema de equilíbrio da estrutura.

Kesel e Martin (2003) explicam que na natureza, os animais com diferentes sistemas de pernas impressionam pela capacidade de caminhar e escalar superfícies diferentes com um baixo consumo energético e alta autonomia. Esta capacidade está diretamente associada ao desprendimento de substratos do próprio corpo. A força de aderência está relacionada ao ângulo de aproximação entre os elementos de fixação e a superfície terrestre (MAHFOUDI *et al.* 2003). Esta adesão é alcançada quando atinge um ângulo de aproximadamente 30°, no qual o deslizamento ocorre quando o ângulo é menor e o desprendimento ocorre quando o ângulo é maior (CHEN *et al.* 1999; NAHON & ANGELES 1998).

Dentro deste contexto, este trabalho exemplificou as etapas de construção de um sistema articulado considerado simples (aranha robótica), com doze graus de liberdade. Para minimizar os erros, buscou-se detalhar os passos mais relevantes de tomadas de decisão nos principais momentos da execução do projeto, que envolve diferentes áreas de Engenharia Mecatrônica.

Passos de execução da aranha robótica

Já na etapa inicial de geração de ideias, uma aplicação de brainstorming ajudou a acatar diversas maneiras de protótipos iniciais de projetos. Pensou-se então em uma estrutura com um material resistente para que tenha a capacidade de suportar o peso de sua própria estrutura e de carregar os componentes que serão embarcados sobre a sua base. O ideal é que este material possua baixa densidade pelo fato de ela trabalhar com

um material leve, será necessário um equilíbrio quanto a resistência e peso do material. Alguns autores encaram este como sendo um dos maiores desafios encontrados durante a elaboração do projeto. Neste projeto, o material designado para fabricar a aranha robótica foi a madeira, por ser leve de trabalhar e com fácil usinabilidade.

Como ideia principal de projeto, para não entrar em uma complexidade profunda, foram executadas apenas 6 pernas para a aranha, sendo que cada perna exerça apenas dois sentidos de movimentos, conforme demonstra a Figura 1.

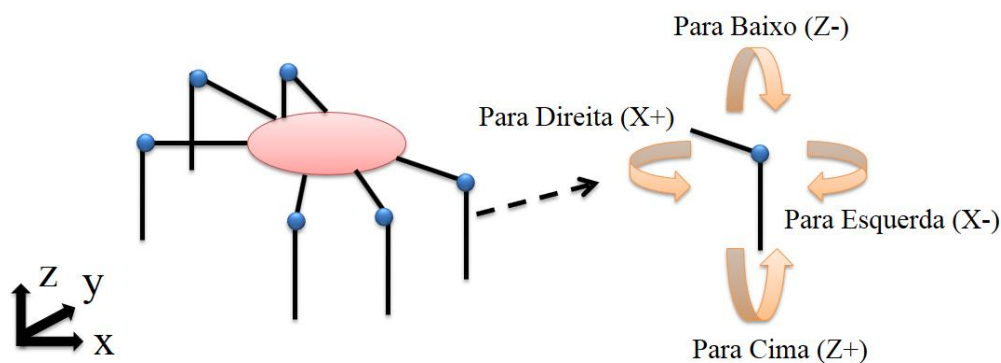


Figura 1. Modelo cinemático do robô de aranha. Cada perna é composta por apenas 1 nó e duas articulações.

Após realizar uma pesquisa sobre como será a estrutura mecânica e materiais que serão utilizados para sua confecção, deverá pesquisar sobre os componentes eletroeletrônicos que serão necessários ser empregados no projeto para que seja possível dar movimentos para a aranha robô. Para um desenvolvimento inicial pode-se primeiramente realizar um esboço desenhado a lápis no caderno. Isto instiga a criatividade e o surgimento de novas ideias de como seriam os traços da aranha robô. Partindo da ideia de esboço a lápis, pode-se desenvolver o desenho em softwares CAD (*Computer Aided Design*), ferramentas de engenharia que auxiliam no desenho de peças, componentes e montagens. A montagem da aranha robótica no CAD pode ser observada na Figura 2.

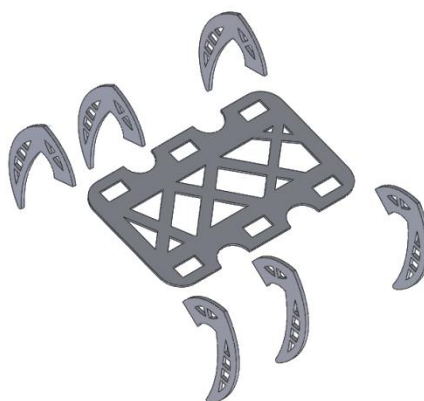


Figura 2. Estrutura mecânica da aranha.

Com uma estrutura feita em madeira com todas as peças medindo uma espessura de 5 mm, a aranha será capaz de suportar os componentes eletroeletrônicos sem comprometer e exigir demais dos motores de acionamentos.

Componentes eletroeletrônicos da aranha robótica

Para a execução da programação e componentes eletrônicos utilizados neste estudo, é necessário conhecer todos as partes e peças acopladas neste sistema, a Tabela 1 demonstra os componentes utilizados para movimentar a aranha robótica.

Tabela 1. Componentes eletroeletrônicos par movimentação da aranha robótica.

Nome	Modelo/Capacidade
Micro Servo 9g	Torque 16 kg
Placa Eletrônica	STM 64 Pinos
Microcontrolador ARM	32 bits
Processadores de Núcleo	72MHz
Bateria	7,4 V
Controle Remoto Infravermelho	38kHz

Para que seja possível a movimentação das pernas da aranha será necessária a utilização de servo motores. Neste caso foi definido que será utilizado o micro servo com peso de 9g, marca Tower Pro, modelo SG 90, com torque de 1,6 Kg, esses motores trabalham com uma tensão baixa, na faixa de 4,6 a 6 volts. Esses micros servos são muito utilizados em robótica por possuírem muitas vantagens, como ótimo torque, pequeno tamanho, sendo assim utilizando pouco espaço, além de muito leve e com ótima precisão, podendo trabalhar em até 180°. Para sua instalação possuem três cabos, dois para alimentação sendo o marrom o negativo, e o vermelho o positivo, além do terceiro cabo, este de cor laranja que é encarregado de receber o sinal de comando, do micro controlador enviar para o micro servo. Será necessário a instalação de doze micros servos, dois em cada perna, um será responsável por fazer o movimento de erguer a perna e o outro fará com que a perna se mova para frente ou para trás, conforme demonstrado na Figura 3.

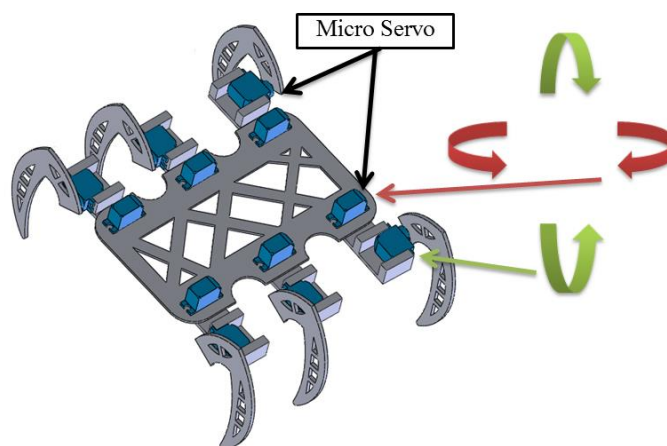


Figura 3. Esquema de movimentação com os micro servos.

Para a aranha robô andar para frente, por exemplo o comando será sempre com três pernas, levantando as pernas das extremidades de um dos lados, e a perna do meio do outro lado, sendo assim será possível manter o equilíbrio da aranha robótica, pois sempre possuirá três pernas no chão, dividindo o peso da aranha e mantendo ela equilibrada.

Sistema de controle

Para controlar os micro servos será necessário a utilização de uma placa eletrônica, neste projeto foi utilizado STM 32 F103RBT6, com 64 pinos, equipado com um microcontrolador ARM 32-bit, fabricado pela ST Microelectronics, equipado ainda com processadores núcleo cortex-M3, de 72MHz. Este controlador possui saídas PWM (*Pulse Width Modulation*), modulação por largura de pulso, se trata de uma nova tecnologia para modulação de sinais digitais, em que basicamente trabalham em nível alto e baixo “on-off”, aliados a altas frequências de trabalho, em torno de 1KHz a 200 KHz. É possível modular a faixa de tensão ou corrente que é enviado para o circuito, neste caso, pegará a tensão da bateria que é de 7,4 volts, mais sendo um sinal analógico pode variar, e transformando em sinal digital através do PWM, sendo possível controlar a tensão de saída na faixa de tensão dos micro servos que trabalham entre 4,6 volts a 6 volts.

Código de programação

O desenvolvimento da programação em que o micro-controlador irá trabalhar, será utilizado a linguagem de programação em “C”. Esta linguagem, é bastante utilizada para o desenvolvimento de programações, em todas as famílias e fabricantes de microcontroladores. Para a programação será utilizado o software de programação mbed, que está disponível online, ou seja para que seja possível sua utilização é somente necessário estar conectado a uma rede de internet para fazer a transferência do código de programação do computador para o micro-controlador diretamente com um cabo USB tipo A - miniB.

Controle remoto ir

Será utilizado para enviar sinal para a placa um controle remoto de comunicação infravermelho, com frequência de transmissão de 38 KHz que possui um alcance de transmissão de 8 metros. Estes sinais serão captados por um módulo receptor de infravermelho que será instalado na placa eletrônica. Os sinais enviados, serão os comandos manuais realizados no controle remoto IR.

Fonte de alimentação

Para que os acessórios eletroeletrônicos possam entrar em operação, será necessário a utilização de uma fonte de energia. Esta fonte será uma bateria Lipo, uma das mais utilizadas para projetos que requer menor volume e desempenhado uma capacidade de 2000 mAh. Ela trabalha na faixa de tensão de 7.4 V, possuindo uma boa capacidade de corrente com pouco peso, apenas 99,1 g.

Metodologia de funcionamento

Para que a aranha entre em operação, necessita-se seguir as seguintes etapas: primeiramente verificar se a bateria possui carga, pois ela será a fonte de energia para a aranha robô. Somente após isso poderá ser dado o start na aranha, comando que será enviado através do controle remoto. Este sinal será captado pelo

receptor de infravermelho que estará conectado a placa eletrônica através da pinagem PA9. Após a aranha ligar, ela irá se levantar, para que isso seja possível entrarão em operação os micro-servos de numeração 1, (número este pré-determinado pelos desenvolvedores do protótipo) que estarão instalados nas pernas da aranha e ligado na placa eletrônica através da saída PB3.

Do lado direito as pernas das extremidades e do lado esquerdo a perna do meio, e os micro-servos de numeração 6, estarão ligadas na placa eletrônica através da saída PB10, que por sua vez serão instalados nas pernas da aranha do lado esquerdo nas pernas das extremidades e do lado direito na perna do meio. Após ela ficar em pé, ela ficará aguardando novo comando, quando pressionado o a tecla OK do controle, a aranha receberá um novo comando entrando em operação os micro-servos de numeração 1, que farão com que três pernas levantem. Somente após isto, os micro-servos de numeração 3, que estão fixados na base das pernas, localizado nas extremidades do lado direito e ligados na placa eletrônica através da pinagem PB5 juntamente com o micro-servo de numeração 5. Este encontra-se instalado na base da perna do meio no lado esquerdo da aranha, estando conectado na pinagem PA8 da placa eletrônica, movendo-se em 180°. Os micro-servos de numeração 1 serão atuados, deixando novamente as pernas no chão, terminando assim um passo da aranha.

Para que a aranha mova as outras pernas seguiu-se uma sequência lógica, entrando em operação os micro-servos de numeração 6, fazendo com que as outras três pernas levantem, e em seguida entram em operação os micro-servos de numeração 4 que estão instalados nas extremidades do lado esquerdo da aranha. Estes estão conectados na placa através da pinagem PA10 juntamente com o micro-servo de numeração 2, que recebe o comando da placa eletrônica através da pinagem PB4 e está fixado na base das pernas da aranha. Este conjunto encontra-se posicionado no meio do lado direito, movendo-se em 180°, após isto entram em operação os micro-servos de numeração 6 que farão com que as pernas fiquem novamente apoiadas sobre o chão.

Para que a aranha se mova para frente ou para trás é necessário que seja desenvolvido uma lógica de programação em que sejam repetidas os passos acima descritos. Para que a aranha se mova para a direita é necessário desenvolver uma lógica de programação em que o micro-servo de numeração 2, fixado na base da perna do meio no direito, fique estático. Enquanto que as outras pernas desenvolverão os movimentos de mudanças de passos. Na movimentação para o lado esquerdo, cria-se outra lógica de programação em que o micro-servo de numeração 5, fixado sobre a base da perna do meio no lado esquerdo, fique sem qualquer movimento. Enquanto que as outras pernas seguirão a sequência lógica desenvolvida para mudança de passos, seguindo conforme o fluxograma demonstrado na Figura 4.

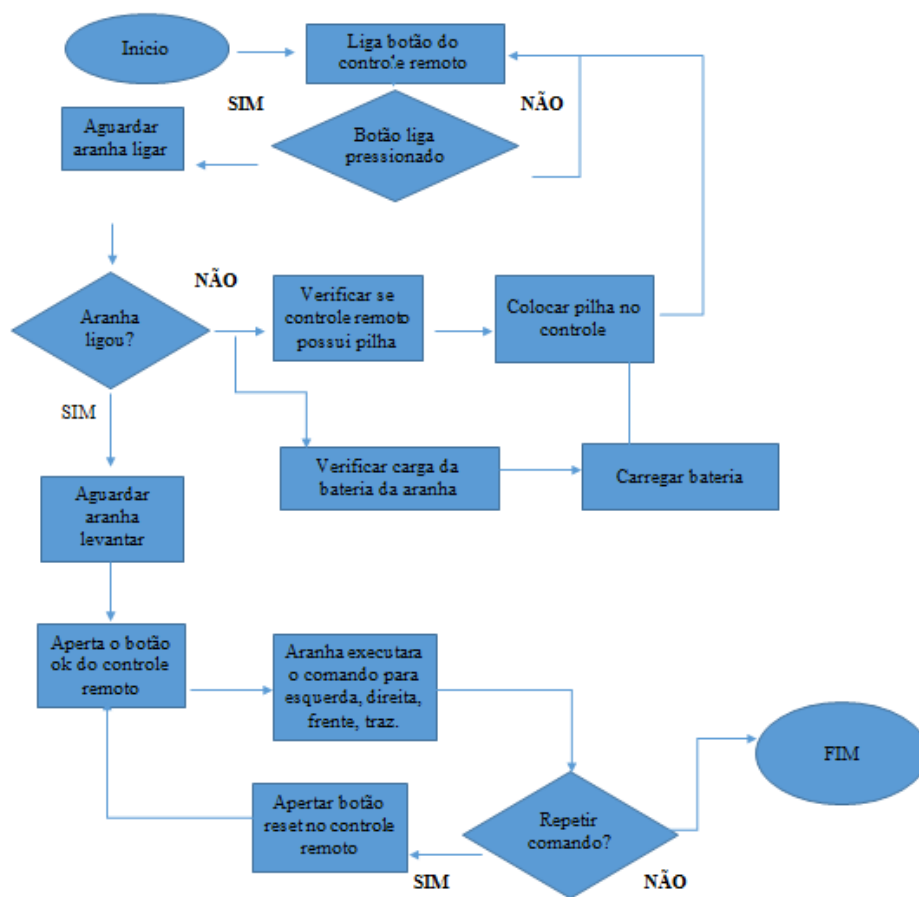
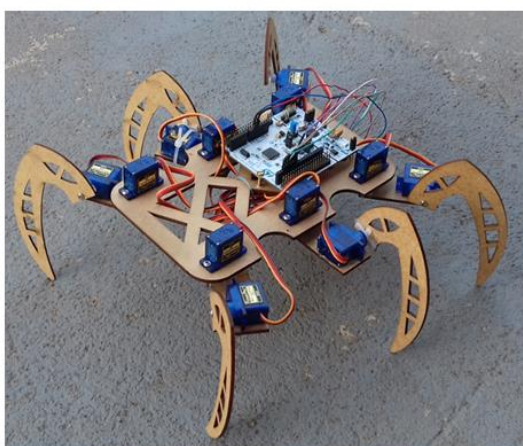


Figura 4. Fluxograma de Linguagem numérica.

Com esta linguagem, a estrutura desenvolveu perfeitamente os movimentos para andar semelhante a uma aranha normal. A Figura 5 demonstra a estrutura da aranha pronta com os componentes eletroeletrônicos instalados.



(a)



(b)

Figura 5. Aranha Robótica Montada, a) parte superior da aranha, b) parte inferior da aranha.

Embora seja um projeto considerado simples por cada perna possuir apenas dois graus de liberdade, a aranha robótica demonstrou-se eficiente para subir e ultrapassar obstáculos em sua frente. Esta iniciativa de começar um projeto simples trará novas experiências para trabalhos mais complexos no futuro.

Conclusão

Este estudo buscou por meio de ferramentas e componentes desenvolver uma aranha robótica simples com componentes de baixo custo. Foram desenvolvidos dois sistemas, um sistema mecânico e um sistema eletrônico. No sistema mecânico gerou-se uma estrutura de madeira que suportou bem o peso dos componentes além de atender bem os movimentos semelhantes a uma aranha normal.

Já o sistema elétrico operou perfeitamente recebendo a linguagem programada para os movimentos da aranha. Movimentos estes que se assemelham aos reais aracnídeos. Contudo, melhorias ainda podem ser executadas, como por exemplo a adição de mais motores e pernas para gerar mais graus de liberdade, fazendo com que se assemelhe ainda mais com uma aranha real.

Referências

- Autumn, K., Liang, Y., Hsieh, S., Zesch, W., Chan, W., Kenny, T., Fearing, R. e Full, R. Adhesive force of a single gecko foot-hair, *Nature*, 405, 2000, 681–685.
- Autumn, K., Peattie, A. Mechanisms of adhesion in geckos, *The Journal of Integrative and Comparative Biology*, 42 (6), 2002, 1081–1090.
- Chen, X., Watanabe, K., Kiguchi, K., Izumi, K. Optimal force distribution for the legs of a quadruped robot, *Journal of Machine Intelligence & Robotic Control* 1 (2) (1999) 87–94.
- Cheng, F., Orin, D. Efficient formulation of the force distribution equations for simple closed-chain robotic mechanisms, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 21 (1) (1991) 25–32.
- Figliolini, G., Rea, P. Mechanics and simulation of six-legged walking robots, in: *Climbing and Walking Robots Towards New Applications*, I-Tech Education and Publishing, Austria, 2007, pp. 1–22.
- Gao, H., Wang, X., Yao, Y., Gorb, S., Arzt, E. Mechanics of hierarchical adhesion structures of geckos, *Mechanics of Materials* 37 (2–3) (2005) 275–285.
- Gasparetto, A., Seidl, T., Vidoni, R. Kinematic study of the spider locomotor system in a biomimetic perspective, in: *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2008, Nice, France, 2008*.
- Gasparetto, A., Seidl, T., Vidoni, R. Passive control of attachment in legged space robots, *Applied Bionics and Biomechanics* 7 (1) (2009) 69–81.
- Kesel, A., Martin, A., Seidl, T. Getting a grip on spider attachment: an AFM approach to microstructure adhesion in arthropods, *Smart Materials and Structures* 13 (2004) 512–518.
- Kesel, A., Martin, A., Seidl, T. Adhesion measurements on the attachment devices of the jumping spider *Evarcha arcuata*, *Journal of Experimental Biology* 206 (2003) 2733–2738.

Mahfoudi, C., Djouani, K., Rechak, S. Optimal force distribution for the legs of an hexapod robot, in: Proceedings of 2003 International Conference on Control Applications, CCA 2003, vol. 1, 2003, pp. 657–663.

Nahon, M., Angeles, J. Real time force optimization in parallel kinematic chains under inequality constraints, IEEE Transactions on Robotics and Automation 8 (4) (1992) 439–450.

Wen, J., Witfinger, L. Kinematic manipulability of general constrained rigid multibody systems, IEEE Transactions on Robotics and Automation 15 (3) (1999) 558–567.

Yi, Y., McInroy, J., Chen, Y. Over-constrained rigid multibody systems: differential kinematics, and fault tolerance, in: SPIE Proceedings, Smart Structures and Materials 2002: Smart Structures and Integrated Systems, San Diego, CA, 2002.