

Construção de Uma Aranha Robótica Com Doze Graus de Liberdade: Inovação Estrutural e Conceitual

Diego Alves de Miranda¹, Diego Galvan de Oliveira¹

¹Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI)
Unidade SENAI/SC – CEP 89.283-105 – São Bento do Sul, SC – Brasil

Diegoalves_klx@hotmail.com, diego@sc.senai.br

Resumo. *O uso das novas tecnologias se torna cada vez mais útil para o desenvolvimento de novos equipamentos de Engenharia Mecatrônica para aplicações industriais. A fabricação de uma aranha robótica exige conhecimentos e experiências em projetos mecânicos, eletroeletrônico etc. Neste trabalho foi desenvolvido um projeto mecânico e eletrônico de uma aranha robótica, bem como suas respectivas etapas de fabricação e estruturação para movimentação da aranha. Este projeto se mostrou eficaz e capaz de fabricar um robô que imite os movimentos de uma aranha real.*

Palavras Chaves: *Aranha Robótica, Engenharia Mecatrônica, Engenharia de Projetos.*

Abstract. *The use of new technologies becomes increasingly useful for the development of new Mechatronics Engineering equipment for industrial applications. The manufacture of a robotic spider requires knowledge and experience in mechanical, electrical and electronic projects. In this paper a mechanical and electronic design of a robotic spider was developed, as well as its respective manufacturing and structuring steps for spider movement. This project proved effective and capable of making a robot that mimics the movements of a real spider.*

Keywords: *Robotic Spider, Mechatronics Engineering, Project Engineering.*

1. Introdução

Segundo Figliolini e Rea (2007), o homo sapiens é uma criatura em constante movimento, em que desenvolveu um próprio modo locomoção se comparado ao dos outros animais, seja andar, correr, nadar, pular, voar. As máquinas e equipamentos móveis estão localizadas em um universo de desenvolvimento produzido por razões mais práticas, ou até utópicas (KESEL *et al.*, 2004). O deslocamento sobre rodas são adequadas para superfícies firmes, sendo inviáveis para utilização em terrenos macios ou irregulares como a neve, ou montanhas, uma vez que necessitam de um contato contínuo com o solo, exigindo uma superfície uniforme e firme, como uma estrada, o que inviabiliza seu uso se a estrada não existir (GAO *et al.* 2005). Com sistemas com perna, a maioria das dificuldades pode ser superada graças a flexibilidade e adaptação ao solo (AUTUMN *et al.* 2000; CHENG & ORIN, 1991). Na verdade, a oportunidade escolher entre diferentes soluções disponíveis e adaptar e controlar a posição do centro de massa de cada sistema permite evitar derrapagens e capotamentos devido a irregularidades do terreno (WEN & WITFINGER, 1999). O preço que se paga por um sistema de locomoção por pernas são a menor velocidade de locomoção e maior complexidade do controle em relação aos sistemas de rodas (YI *et al.* 2002; MIRANDA *et al.*, 2017). Contudo, de acordo com Ijspeert (2008), existem controladores de locomoção de inspiração biológica

baseados em uma central, isto é, circuitos neurais capazes de produzir padrões coordenados de rítmica de alta dimensão sinais de saída enquanto recebe apenas sinais de entrada simples e controladores reflexivos. Além disso, devido ao fato de que as pernas são independentemente (CRUSE *et al.* 1995). De acordo com Gasparetto *et al.* (2008), os sistemas controlados e com perna têm um grande número de graus de liberdade com um sistema de coordenadas para controlar a posição, equilibrar as forças (por exemplo, carga, forças externas) e tentar consumir como pouca energia possível. Os robôs com pernas são fabricados em um corpo base e ligados a uma série de pernas articuladas (GASPARETTO *et al.* 2009; AUTUMN & PEATTIE 2002). Cada uma dessas ligações cinemáticas pode ser vista como uma manipulador que atua como um membro e contribui para o conjunto posição e equilíbrio da estrutura.

Kesel e Martin (2003) explicam que na natureza, animais com diferentes sistemas de pernas são capazes de caminhar e escalar superfícies diferentes com um baixo consumo energético e alta autonomia. Isto se deve ao fácil desprendimento de substratos suaves tornando-se característica importante várias espécies de animais. A força de adesão parece estar relacionada ao ângulo de aproximação entre os elementos de fixação e a superfície, ou seja o ângulo máximo (MAHFOUDI *et al.* 2003). A condição de adesão é alcançada quando o ângulo é de cerca de 30 ° sendo que o deslizamento ocorre quando o ângulo é menor e o desprendimento ocorre quando o ângulo é maior (CHEN *et al.* 1999; NAHON & ANGELES 1998).

Neste trabalho, demonstrou as etapas de construção de uma aranha robótica simples, com apenas doze graus de liberdade (seis patas com dois graus em cada pata. Para executar estas buscando minimizar os erros, este trabalho buscou detalhar os passos mais importantes no momento de desenvolvimento de projetos envolvendo Engenharia Mecatrônica. A inovação proposta será acrescentar graus de liberdade a este tipo de equipamento que é comercializado de 6 a 9 graus de liberdade com custos mais elevados.

2. Etapas de projeto da aranha robótica

Ao realizar o protótipo da aranha robótica, observou-se a real necessidade do conhecimento de várias áreas na mecatrônica. Primeiramente é necessário projetar a 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.

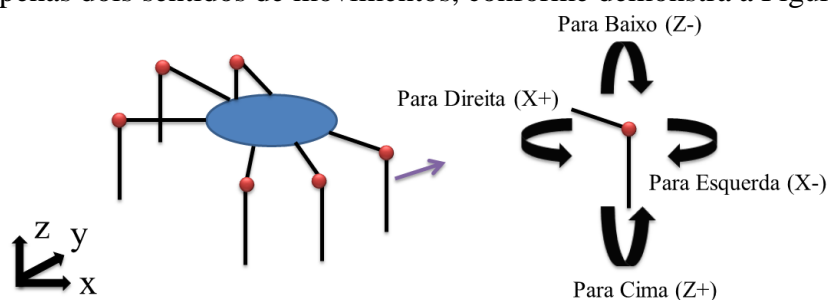


Figura 1. Modelo cinemático do robô de aranha. Cada perna é composta por apenas 1 nó e duas articulações.

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.

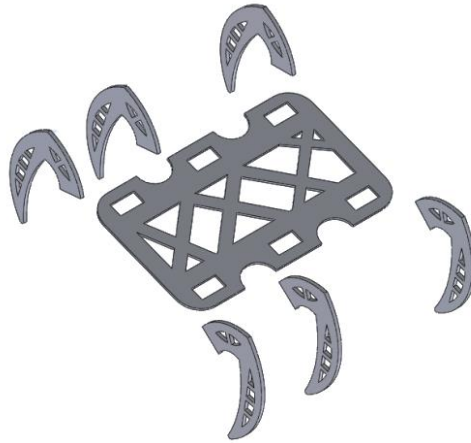


Figura 2. Estrutura mecânica da aranha.

Com uma estrutura feita em madeira com todas as peças medindo uma espessura de 5 mm, a aranha será capaz de suportar os componentes (650 gramas) eletroeletrônicos sem comprometer e exigir demais dos motores de acionamentos.

2.1 Componentes eletroeletrônicos da aranha robótica

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

Tabela 1. Componentes eletroeletrônicos por movimentação da aranha robótica.

Nome	Modelo/Capacidade	Valor (R\$)
Micro Servo 9g	Torque 1,6 kg	12,60
Placa Eletrônica	STM 64 Pinos	107,90
Microcontrolador ARM	32 bits	52,20
Processadores de Núcleo	72MHz	50,95
Bateria	7,4 V	24,42
Controle Remoto Infravermelho	38kHz	18,00
Total		266,07

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.

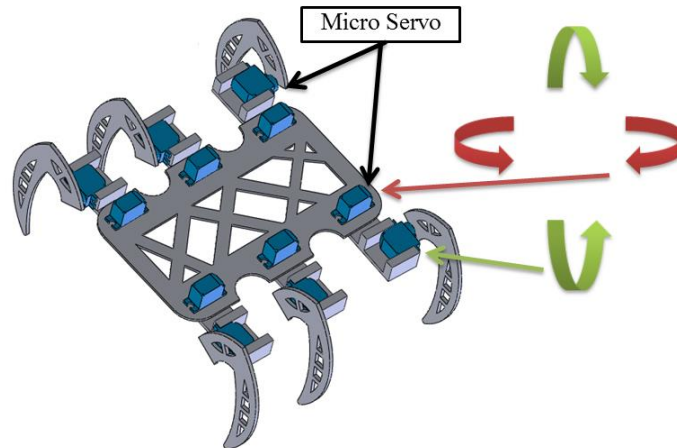


Figura 3. Esquema de movimentação com os micro servos.

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.

2.2 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.

2.3 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.

2.4 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.

2.5 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.

2.6 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 temos que seguir 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 sequencia lógica desenvolvida para mudança de passos, seguindo conforme o fluxograma abaixo.

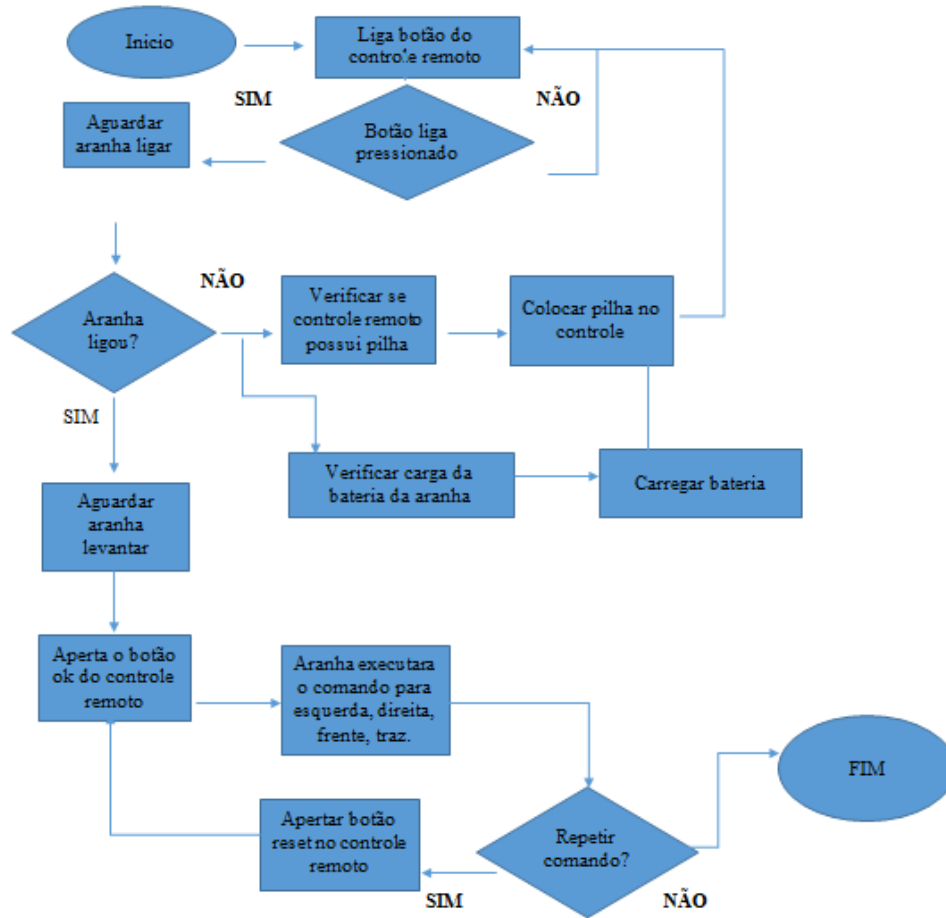
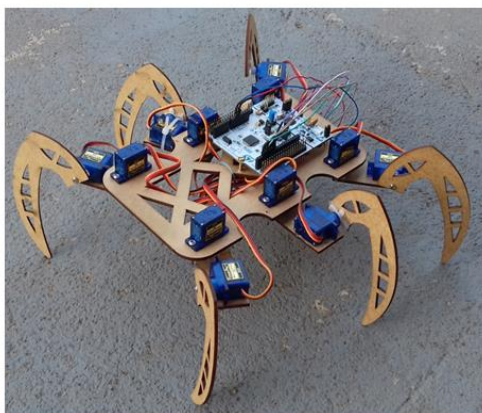


Figura 4. Fluxograma de Linguagem numérica.

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.

3. Conclusão

Este estudo buscou por meio de ferramentas e peças desenvolver uma aranha robótica simples com componentes de baixo custo (Tab. 1) se comparado a aranhas com até 6 graus de liberdade que chegam a preços acima de 700 reais. 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. Logicamente que como sugestão de trabalhos futuros existam novos métodos estruturais além de novos materiais podem ser implantados. 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

- G. Figliolini, P. Rea, 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.
- A. Kesel, A. Martin, T. Seidl, Getting a grip on spider attachment: an AFM approach to microstructure adhesion in arthropods, *Smart Materials and Structures* 13 (2004) 512–518.
- H. Gao, X. Wang, H. Yao, S. Gorb, E. Arzt, Mechanics of hierarchical adhesion structures of geckos, *Mechanics of Materials* 37 (2–3) (2005) 275–285.
- K. Autumn, Y. Liang, S. Hsieh, W. Zesch, W. Chan, T. Kenny, R. Fearing, R. Full, Adhesive force of a single gecko foot-hair, *Nature* 405 (2000) 681–685.
- F. Cheng, D. Orin, 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.
- J. Wen, L. Witfinger, Kinematic manipulability of general constrained rigid multibody systems, *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 15 (3) (1999) 558–567.
- Y. Yi, J. McInroy, Y. Chen, 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.
- D. A. Miranda, D. G. Oliveira, C. A. Langer, B. Cipriani, F. Mareth, Desenvolvimento de Sistema Automatizado AGV Para Guiar Veículos Acionados Por Motores Elétricos. 2º Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia – INOVA, 2017,
- A. Ijspeert, Central pattern generators for locomotion control in animals and robots: a review, *Neural Networks* 21 (4) (2008) 642–653.

- H. Cruse, D. Brunn, C. Bartling, J. Dean, M. Dreifert, T. Kindermann, Walking: a complex behavior controlled by simple networks, *Adaptive Behavior* 3 (1995) 385–418.
- A. Gasparetto, T. Seidl, R. Vidoni, 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*.
- A. Gasparetto, T. Seidl, R. Vidoni, Passive control of attachment in legged space robots, *Applied Bionics and Biomechanics* 7 (1) (2009) 69–81.
- K. Autumn, A. Peattie, Mechanisms of adhesion in geckos, *The Journal of Integrative and Comparative Biology* 42 (6) (2002) 1081–1090.
- A. Kesel, A. Martin, T. Seidl, Adhesion measurements on the attachment devices of the jumping spider *Evarcha arcuata*, *Journal of Experimental Biology* 206 (2003) 2733–2738.
- C. Mahfoudi, K. Djouani, S. Rechak, 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.
- X. Chen, K. Watanabe, K. Kiguchi, K. Izumi, Optimal force distribution for the legs of a quadruped robot, *Journal of Machine Intelligence & Robotic Control* 1 (2) (1999) 87–94.
- M. Nahon, J. Angeles, Real time force optimization in parallel kinematic chains under inequality constraints, *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 8 (4) (1992) 439–450.