

Desenvolvimento da Estrutura de Reabilitação da Marcha Humana HOPE-G

Lucas Antônio Oliveira Rodrigues*, Rogério Sales Gonçalves

*Laboratório de Automação e Robótica - LAR, lucasaor@ufu.br

Palavras-chave

Reabilitação, Marcha Humana, Estrutura robótica, Membro inferior, MIT-Skywalker

1. INTRODUÇÃO

A robótica possui uma vasta área de aplicação dentro das quais pode-se incluir a reabilitação, atuando na coadjuvação e apoio das diferentes ações médico-cirúrgicas; facilitação e estímulo dos processos de recuperação e regeneração natural; e finalmente o estímulo, maximização e compensação das capacidades residuais (Nunes, 2012). Tratamentos envolvendo estruturas robóticas são aplicados para vítimas de Acidente Vascular Encefálico (AVE) (Lum et al., 2002), Lesão Encefálica Adquirida (Riberto et al., 2007), e lesões medulares prejudiciais aos movimentos necessários para a marcha humana (Jezernik; Colombo; Morari, 2004).

Tal importância destes equipamentos pode ser complementada com o fato de acidentes vasculares encefálicos causam, em grande parte dos casos, sequelas na capacidade motora das vítimas, além de ser a terceira causa de morte mais frequente nos Estados Unidos e Europa (Lloyd-Jones et al., 2010), e a primeira no Brasil em morte e incapacidade, tendo um grande impacto social e econômico (Brasil, 2013).

Este trabalho apresenta um resumo das etapas já realizadas no desenvolvimento de uma nova estrutura robótica para reabilitação da marcha humana em pacientes sobreviventes de AVE e outras patologias que levam a problemas na marcha, com o objetivo de promover melhoramento motor e funcional para o(s) membro(s) inferior(es) lesionado(s). O projeto completo da estrutura denomina-se *HOPE-G* é dividido em 3 módulos, sendo eles: sistema para suporte de peso do paciente com 5 graus de liberdade; um sistema para movimentação passiva das pernas através de uma esteira bipartida; e um sistema de controle sem marcadores (*Markless*), já desenvolvido em um trabalho anterior (Salim, 2018).

2. A ESTRUTURA HOPE-G

A estrutura *HOPE-G* classifica-se como uma estrutura do tipo (i) (Rodrigues, 2017), que utilizam esteiras e suportes para alívio do peso corporal. A presente estrutura diferencia-se por utilizar um sistema de esteiras bipartidas e por ter suporte corporal desenvolvido de forma a atuar sobre os graus de liberdade da pélvis significantes para a marcha humana, para poder manter a capacidade de equilíbrio dos pacientes e ainda treiná-la com segurança durante as sessões de exercícios. A proposta da movimentação por esteira bipartida baseia-se principalmente em uma estrutura também do tipo (i) denominada *MIT Skywalker-γ*, principal referência deste trabalho (Susko, 2015).

O modelo conceitual da estrutura em desenvolvimento, dividido em três módulos, é apresentado na Fig. 1.

A seguir são apresentados, resumidamente, os procedimentos para o desenvolvimento dos módulos de movimentação das pernas e suporte ativo de peso.

2.1. Módulo de movimentação das pernas

O módulo de movimentação das pernas consiste em um sistema de esteiras basculantes, as quais realizam a movimentação passiva dos membros inferiores do paciente. Para realizar esta movimentação, cada esteira toca individualmente um dos pés do usuário, levando o membro até o limiar da fase de apoio da marcha humana, onde a esteira realiza o movimento basculante, e deixa o membro movimentado livre para realizar o balanço através da ação da gravidade.

A Fig. 2(a) apresenta o esquema proposto para a estrutura *HOPE-G*, e as relações geométricas utilizadas para a modelagem, Fig. 2(b) e (c).



Figura 1: Imagem conceitual da estrutura HOPE-G, contendo: módulo para suporte do corpo; módulo para movimentação dos membros inferiores; e sistema de controle e monitoramento sem marcas.

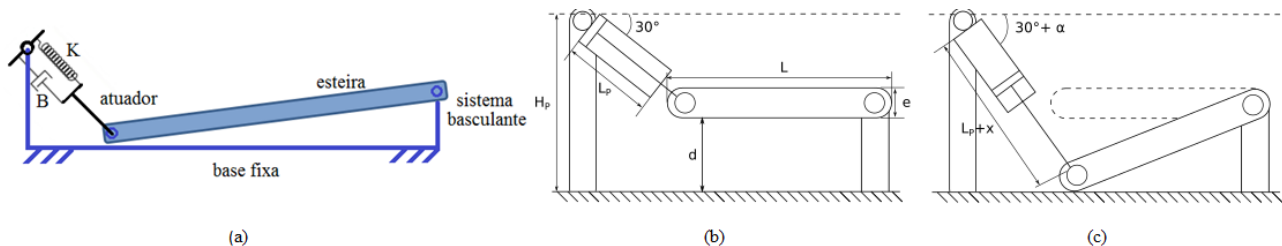


Figura 2: (a) esquema de funcionamento da esteira bipartida do módulo de movimentação; e relações geométricas utilizadas para modelagem matemática da estrutura na posição (b) em contato com o pé e (c) livre para balanço do pé.

Os atuadores pneumáticos de cada esteira serão acionados através de eletroválvulas proporcionais, as quais serão controladas por um microcontrolador de forma a permitir o controle de impedância nos atuadores, isto é, de forma a fazer com que sistema tenha uma rigidez K e amortecimento B ajustáveis, Fig. 2(a), o que irá permitir que as esteiras realizem um contato suave e seguro com os pés dos pacientes durante a operação.

O modelo matemático desenvolvido para o controle e dimensionamento do módulo de movimentação é descrito pela Eq. 1 sendo a altura da extremidade móvel da esteira (d) em função do comprimento do atuador linear

$$d(x) = H_p - (L_p + x) \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{L_p}{L_p + x} \cos 30^\circ \right) \right) - e \quad (1)$$

2.2. Módulo de suporte corporal ativo

Para realizar o alívio do peso do corpo do paciente sem comprometer a capacidade de equilíbrio do paciente, desenvolveu-se uma estrutura paralela 4PRRU+PRRS, de 5 graus de liberdade baseada nas estruturas conhecidas como *multipteron* (Gosselin et al., 2007). Optou-se por restringir apenas uma das rotações da pélvis, uma vez que não há evidências da influência deste grau de liberdade sob a reabilitação da pélvis (Roberts, 2004).

Um esquema da estrutura desenvolvida é apresentado na Fig. 3(a), e as relações geométricas utilizadas na modelagem matemática nas Figs. 3(b), (c) e (d).

A estrutura atua sobre a plataforma móvel através de 5 atuadores, que consistem em mecanismos de 3 barras capazes de converter o movimento angular de motores DC, em deslocamentos de guias lineares (q_1 a q_5). Os atuadores são conectados à plataforma móvel através de duas barras com articulações de rotação e uma junta universal, sendo que apenas na perna 3 a junta é substituída por uma articulação esférica.

O modelo geométrico inverso da estrutura foi obtido através da análise da cinemática vetorial de cada segmento da estrutura, e é apresentado nas Eqs. 2 a 6.

$$q_1 = {}^0r_{p,x} + \frac{d_x}{2} + r_A \cos \varphi \quad (2)$$

$$q_2 = {}^0r_{p,z} + r_B \cos \theta \quad (3)$$

$$q_3 = {}^0r_{p,y} + r_C \cos(\theta + \psi) + \frac{dy}{2} \quad (4)$$

$$q_4 = {}^0r_{p,z} + r_D \cos(\theta + \phi) \quad (5)$$

$$q_5 = {}^0r_{p,x} - r_E \cos \varphi + \frac{dx}{2} \quad (6)$$

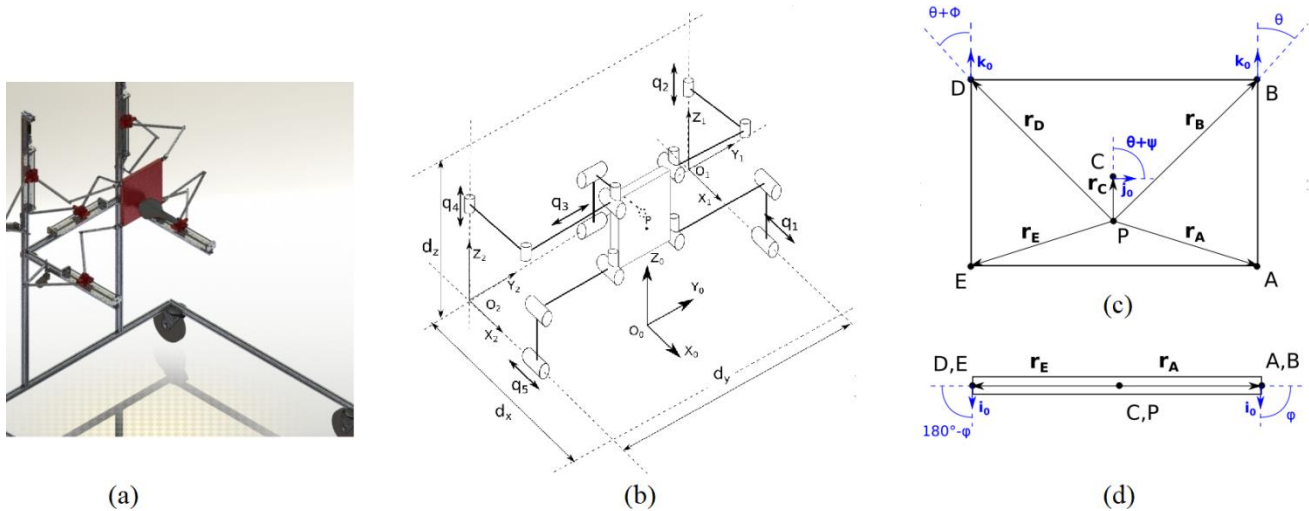


Figura 3: (a) esquema desenvolvido para o suporte de peso corporal; e as relações geométricas utilizadas para obter o modelo matemático (b) das barras da estrutura e (c,d) da posição do assento do paciente.

Através do modelo matemático e da modelagem da estrutura em CAD, foi possível simular computacionalmente, modelo CAE, o funcionamento do módulo. A simulação dos movimentos da estrutura pode ser visualizada em vídeo disponível em <https://tinyurl.com/BWS-HOPE-G>.

3. PRÓXIMAS ETAPAS

O projeto da estrutura HOPE-G prevê para os próximos passos a construção de protótipos para os módulos de movimentação e suporte corporal baseando-se nos modelos geométricos obtidos e na expansão de ambos para modelos dinâmicos, possibilitando a correta especificação de peças e equipamentos necessários para a construção destes. De posse dos protótipos, os mesmos serão utilizados para testes de movimentação preliminares para comparar resultados experimentais às simulações computacionais realizadas, e após validados, os protótipos serão encaminhados para a realização de testes clínicos, com o acompanhamento de profissionais da saúde.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, CAPES - Código de Financiamento 001 e CNPq pelo apoio financeiro ao desenvolvimento do projeto.

5. REFERÊNCIAS

- Brasil. Diretrizes de Atenção à Reabilitação da Pessoa com Acidente Vascular Cerebral. 2013.
- Gosselin, C. M. et al. "Parallel Mechanisms of the Multipterion Family: Kinematic Architectures and Benchmarking". Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2007.
- Jezernik, S.; Colombo, G.; Morari, M. "Automatic gait-pattern adaptation algorithms for rehabilitation with a 4-DOF robotic orthosis". IEEE Transactions on Robotics and Automation, v. 20, n. 3, p. 574–582, 2004.
- Lloyd-Jones, D. et al. "Executive summary: Heart disease and stroke statistics-2010 update: A report from the american heart association Circulation", 2010.
- Lum, P. et al. "Robotic Devices for Movement Therapy After Stroke: Current Status and Challenges to Clinical Acceptance". Topics in Stroke Rehabilitation, v. 8, n. 4, p. 40–53, 2002.
- Nunes, W. M. "Desenvolvimento de uma estrutura robótica atuada por cabos para reabilitação/recuperação dos movimentos do ombro humano". Dissertação de Mestrado, Uberlândia, 2012.
- Riberto, M. et al. "Functional independence in individuals with acquired brain injuries submitted to rehabilitation on an outpatient basis". ACTA FISIATR, v. 14, n. 2, p. 87–94, 2007.
- Roberts, M. "A robot for gait rehabilitation". Dissertação de mestrado. Massachusetts, 2004.
- Rodrigues, L. A. O. "Desenvolvimento de dispositivos não motorizados para reabilitação do membro inferior humano". Dissertação de Mestrado, Uberlândia, 2017.
- Salim, V. V. "Desenvolvimento de um sistema sem marcas para controle de um dispositivo robótico para reabilitação da marcha humana". Dissertação de Mestrado, Uberlândia, 2018.
- SUSKO, T. G. "MIT Skywalker: A novel robot for gait rehabilitation of stroke and cerebral palsy patients". Tese de Doutorado, Massachusetts, 2015.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.