

CARDOSO, José Ricardo Ferreira; ESCOLA, João Paulo Lemos; ROBERTI, Eduardo Aparecido. Estudo de sistema de controle difuso para exoesqueleto para membros inferiores. In: WORKSHOP DE INOVAÇÃO, PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO, 3., 2018, São Carlos, SP. *Anais...* São Carlos, SP: IFSP, 2018. p. 5-8. ISSN 2525-9377.

ESTUDO DE SISTEMA DE CONTROLE DIFUSO PARA EXOESQUELETO PARA MEMBROS INFERIORES

JOSÉ RICARDO FERREIRA CARDOSO; JOÃO PAULO LEMOS ESCOLA; EDUARDO APARECIDO ROBERTI

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Barretos, Brasil

RESUMO: Em se tratando de reabilitação humana, muitas pesquisas têm sido realizadas. Neste sentido foi realizada uma pesquisa bibliográfica que resultou na proposição de um sistema de controle difuso, dividido em três partes, sendo uma para o controle de posição, outra para o controle de velocidade e outra para o controle da corrente de armadura do motor de corrente contínua. Para o estudo do sistema proposto, foi utilizado o software Matlab® em conjunto com a ferramenta Simulink®, que proporcionou a construção dos blocos de controle e simulação de funcionamento. Por meio dos recursos disponibilizados por este software pode se chegar à conclusão de que a utilização de controladores baseados na lógica nebulosa é bastante promissora, embora, pode-se constatar que para este projeto será necessário um melhor refinamento do sistema e a utilização de um motor mais adequado à realidade de um sistema de tempo real, mais aderente à realidade de movimento humano.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de Tempo Real. Malha de Controle. Análise de Sinais.

ABSTRACT: When it comes to human rehabilitation, much research has been done. In this sense a bibliographical research was carried out, which resulted in the proposition of a diffuse control system, divided into three parts, one for the position control, another for the speed control and another for the control of the armature current of the current motor to be continued. For the study of the proposed system, Matlab® software was used in conjunction with the Simulink® tool, which provided the construction of the control blocks and their simulation of operation. Through the resources made available by this software it can be concluded that the use of controllers based on nebula logic is very promising, requiring in this project a better refinement of the system in question and the use of a motor more suited to the reality of a system of real time, more adherent to the reality of human movement.

KEYWORDS: Real Time Systems. Control Knit. Signal Analysis.

INTRODUÇÃO

O exoesqueleto tecnológico abordado aqui é um robô que é vestido por um operador humano e, suas articulações e elos correspondem aos membros e articulações do corpo humano (KAZEROONI, 1996).

O ser humano, como todos os seres vivos, possui limitações nas mais diversas esferas e estas são agravadas pela incapacidade motora de origem genética ou acidental (QINGCHUAN; LINHONG; RENCHENG, 2018). Porém, é importante observar que existem vários mecanismos com a finalidade de melhorar a qualidade de vida das pessoas portadoras de deficiência motora, como: cadeira de rodas, órteses, muletas, andadores, dentre outros (LARSON, 1987).

Sobre a reabilitação humana, muitas pesquisas têm sido realizadas e, é neste contexto que este trabalho apresenta o resultado parcial de pesquisa que objetiva projetar um sistema de controle para ser implantado em um exoesqueleto para membros inferiores. Este sistema deverá movimentar seus músculos artificiais, na forma de motores de corrente contínua, conforme o sinal obtido por sensores proporcionando um posicionamento correto e suave de suas articulações.

MATERIAL E MÉTODOS

Após a análise bibliográfica foi possível determinar a estrutura do sistema de controle do exoesqueleto observando sua semelhança com um robô, com a diferença de que este pode ser vestido por uma pessoa. Assim, é importante que o sistema satisfaça várias restrições preconizadas em sistemas de tempo real (QINGCHUAN; LINHONG; RENCHENG, 2018; KAZEROONI, 1996; RUSSEL; NORVIG, 2004).

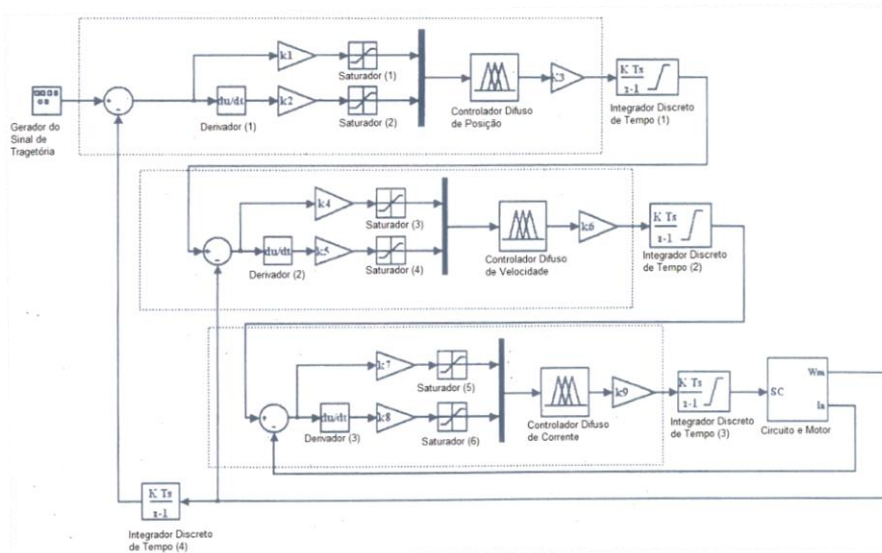
Em muitas situações na robótica, a especificação de movimento desejado deve ser feita por meio da determinação de coordenadas espaciais dos pontos iniciais e finais do movimento, juntamente com instantes de passo, velocidade e tipo de trajetória, ambos a certa distância entre eles, sendo então necessário a seleção de pontos intermediários suficientemente próximos para que o sistema consiga obedecer à trajetória indicada (CRAING, 2012).

Aqui a lógica difusa inclui imprecisões na descrição dos processos controlados para o controle direto. Assim, a obtenção de uma lei de controle que atenda as especificações fornecidas constitui um problema típico deste tipo de controle (COPIN, 2012; LUGER, 2013; RUSSEL; NORVIG, 2004; SIMOES; SHAW, 2007).

Para assegurar que cada perna do exoesqueleto siga o caminho planejado é feito uso de um controlador de posicionamento que é uma técnica utilizada para gerar controle de robôs em tempo real, utilizando um *feedback* do ambiente, a fim de atingir um objetivo de controle (CRAING, 2012; JUNIOR; YONEYAMA, 2000; SIMOES; SHAW, 2007). Para atingir este objetivo é proposto a utilização de um controlador difuso de posição, velocidade e corrente, para cada articulação do exoesqueleto, constantemente realimentado.

A figura 1 exibe um diagrama genérico para prover o controle necessário. O sistema de controle é dividido em três subsistemas de controle, que são: sistema de controle de posição (SCP), sistema de controle de velocidade (SCV) e sistema de controle de corrente (SCC).

Figura 1 – Diagrama de blocos do controlador dinâmico de cada articulação do exoesqueleto



Fonte: Elaborado pelos autores.

O SCP recebe o sinal de referência diretamente do gerador de trajetória. A referência do SCV é a saída do SCP e a referência do SCC é a saída do SCV. O sistema de referência $r_n(t)$ passa por um somador que, subtraindo o sinal de saída do processo $Y_n(t)$ do sinal de referência $r_n(t)$, fornece o erro do processo $e_n(t)$. O erro do processo $e_n(t)$ é dividido em duas partes, sendo um deles derivado, para fornecer a taxa de variação do erro $\frac{de}{dt}$. O erro do processo $e_n(t)$ e a taxa de variação do erro $\frac{de}{dt}$ são a entrada do bloco controlador difuso de posição, velocidade e corrente. O controlador difuso fornece uma saída $U_m(t)$ que passa por um integrador, e é passado para o próximo sistema de controle ou para

o processo, que é o circuito elétrico do motor da articulação. O sistema faz uso de blocos de ganho e saturadores, para adequar e/ou limitar a amplitude do sinal de modo a impedir que ruídos interfiram no bloco de controle difuso.

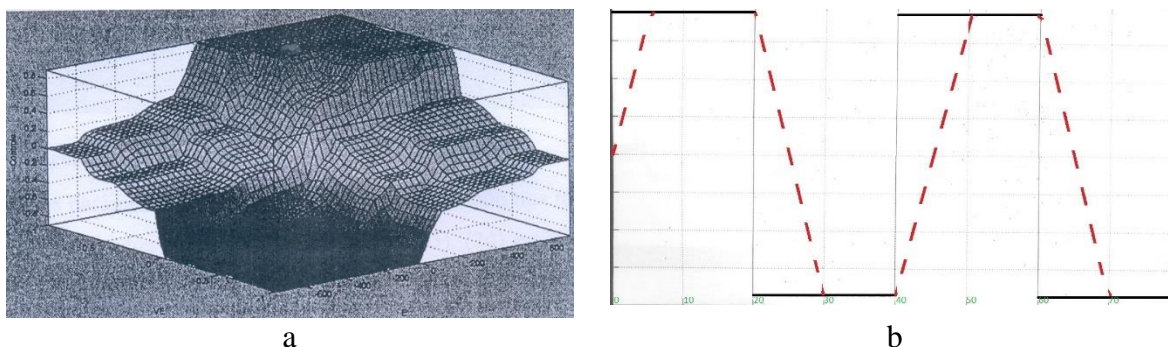
O circuito de controle do motor, tem uma entrada, SC - sinal de controle e duas saídas: velocidade angular (W_m) e a corrente de armadura (I_a). Estas duas saídas são utilizadas para realimentar cada um dos subsistemas. A corrente de armadura (I_a) realimenta diretamente o SCC, e o W_m é dividido em dois sinais, onde um é ligado diretamente ao SCV e o outro é integrado para realimentar o SCP. Os valores dos blocos de ganho, saturação e integração foram levantados de maneira empírica, de acordo com a necessidade demonstrada para cada controlador difuso. Para simular e apresentar este sistema de controle difuso, foi utilizado um motor de corrente contínua, discreto, capaz de fornecer um torque, estimado, de 20[N.m] e girar a 1500 Rpm.

O controlador difuso de posicionamento possui uma entrada de referência do gerador de trajetória subtraído pelo valor proveniente do sensor de posicionamento que trabalha em conjunto com a articulação a ser controlada, chamado de erro de posicionamento $e_p(t)$, e a outra a taxa com que este erro varia no tempo, chamada de taxa de variação do erro $\Delta_{ep}(t)$. O controlador de posição tem como saída $S_p(t)$ um sinal que é parâmetro de entrada para o subsistema de controle de velocidade. O controlador difuso de velocidade, fornece em sua saída $S_v(t)$ o valor de referência do controlador difuso de corrente que é composto de duas entradas, sendo uma o erro de velocidade $e_v(t)$ e a outra a variação do erro de velocidade $\Delta_{ev}(t)$. O controlador difuso de corrente é responsável pelo controle de fornecimento de corrente para o circuito do motor de corrente contínua (CC), fornecendo em sua saída $S_c(t)$ o nível de corrente exigido pelo controlador de velocidade. Este controlador é composto de duas entradas, sendo uma o erro de corrente $e_c(t)$ e a outra a variação do erro de corrente $\Delta_{ec}(t)$. Para os controladores de posição, velocidade e corrente foram definidos os valores para seu universo de discurso e os conjuntos difusos de forma empírica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a implementação dos sistemas de controles difusos no “FIS Editor” do Matlab® utilizando parâmetros mencionados, foram obtidos os gráficos de superfície de resposta do controlador de posição (a) e o tempo de posicionamento (b).

Gráfico 1 – a) Superfície de resposta do controlador de posição. b) Resposta do posicionamento do motor em relação à referência



Fonte: Elaborado pelos autores.

A linha contínua na cor preta corresponde à referência e a linha tracejada na cor vermelha corresponde a resposta do sistema. Por este gráfico constatou-se que a posição de referência foi atingida em aproximadamente 5 segundos para o primeiro posicionamento. Os demais foram atingidos em aproximadamente 10 segundos, sem a ocorrência de *overshoot* e de maneira suave. O tempo de aproximadamente 10 segundos se dá devido a posição ser o dobro da distância que ocorre nos primeiros vinte segundos.

CONCLUSÕES

Os sistemas de controle difusos têm recebido cada vez mais adeptos, conforme pesquisa bibliográfica. Devido a isso e aos resultados obtidos, pode se afirmar que este tipo de controle é adequado para o desenvolvimento de controladores de posicionamento, velocidade e corrente, porém, para o exoesqueleto em questão, é necessária uma melhora no tempo de resposta, pois o tempo de assentamento do sinal em relação à referência ainda está longo, embora este tenha sido atingido de forma suave e ser *overshut*.

REFERÊNCIAS

COPIN, B. **Inteligência Artificial**. Tradução e Revisão Técnica Jorge Duarte Pires Valério. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CRAIG, J. J. **Robótica**. Tradução Heloisa Coimbra de Souza. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

JUNIOR, C. L. Nascimento; YONEYAMA, T. Y. **Inteligência artificial em controle e automação**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2000.

KAZEROONI, H. The human power amplifier technology at the University of California, Berkeley. **Robotics Autonomous Syst.**, n. 19, p. 179-187, 1996.

LUGER, G. F. **Inteligência artificial**. Tradução Daniel Vieira. 6. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

LARSON, PAUL F. New Orleans. Roy D. Douglas, Kenner, both of La. Jerrold S. Petrofsky, Beavercreek. Chandler A. Phillips, Tipp City, Both of Ohio. Walking Assistance System. Int. Ci. 4 A61N 1/36. U.S. Ci. 272/70. 16 mai. 1985. 6 out. 1987. United States Patent and Trademark Office. N. 4.697.808.

QINGCHUAN, M. L.; LINHONG, J.; RENCHENG W. The Development and Preliminary Test of a Powered Alternately Walking Exoskeleton With the Wheeled Foot for Paraplegic Patients. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 26, n. 2, p. 451-459, feb. 2018. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8113547&isnumber=8288842> >. Acesso em: 15 fev. 2018.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência artificial: um enfoque moderno**. 3. ed. São Paulo: Editora Campus, 2004.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher/FAPESP, 2007.