

MODELAGEM E CONTROLE DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA PREVENÇÃO DE ÚLCERAS POR PRESSÃO

F. Noveletto*, A. B. Leal*, P. Bertemes Filho*

* Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville/SC, Brasil

e-mail: fabricio.noveletto@udesc.br

Resumo: As úlceras por pressão são um problema crítico que acomete principalmente pacientes acamados, sendo geradas pelo longo período de pressão de contato do corpo com a superfície do leito. Para evitá-las, o paciente deve ser reposicionado regularmente em seu leito, o que geralmente é feito de forma manual. Assim, o objetivo desse trabalho é fazer a modelagem e controle de um sistema automatizado para alívio de pressão baseado na Teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos. Para validação desse sistema foi construído um protótipo em escala reduzida e um software específico. Os resultados obtidos através de testes de bancada com o protótipo construído mostraram a eficiência do sistema proposto, permitindo modelar diversos tipos de sistemas, inclusive no contexto da engenharia biomédica.

Palavras-chave: Úlcera por Pressão, Controle Supervisório, Sistemas a Eventos Discretos.

Abstract: Pressure ulcers are a critical problem that affects mainly bedridden patients. Those are developed by a long period of time in which the patient body pressures the bed surface. The patient should be repositioned regularly in his bed in order to prevent this type of injury. The patient reposition is usually done manually. The objective of this work is to model and to control an automated system for pressure relief based on Supervisory Control Theory of Discrete Event Systems. It was built a small-scale prototype and specific software in order to validate the system. The results from bench testing of the developed prototype showed that the proposed system is efficient, allowing to model different types of systems, such as the biomedical engineering ones.

Keywords: Pressure Ulcer, Supervisory Control, Discrete Event Systems.

Introdução

As úlceras por pressão (UPP) são lesões na pele ou tecidos moles ocasionadas pelo excesso de pressão em uma determinada área do corpo por períodos de tempo prolongados. Os locais comumente afetados são mostrados na Figura 1, sendo que cerca de 60% ocorrem na região pélvica ou abaixo desta [1]. As UPP podem causar sérios danos à saúde, dificultando o processo de recuperação funcional, causando dor e levando ao desenvolvimento de infecções graves, com internações

prolongadas, podendo levar a óbito [2].

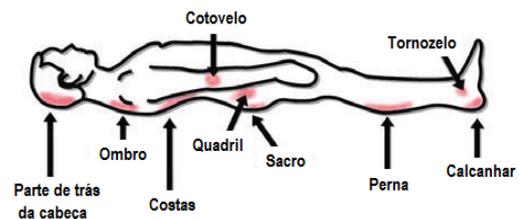


Figura 1: Locais mais afetados por úlceras de pressão.

Uma medida para auxiliar na prevenção de UPP é reduzir a pressão sobre a pele nas áreas que apresentam maior risco [3], o que em geral é feito de forma manual, demandando tempo e conhecimento específico da equipe de enfermagem. Assim, o processo de automação consiste em monitorar e controlar a pressão nas áreas de risco. Entretanto, controlar um sistema desse tipo pode se tornar uma tarefa complexa. Em trabalhos correlatos encontrados na literatura [4,5], não são apresentados modelos para representar o funcionamento do sistema, de modo que o desenvolvimento depende da habilidade do projetista e, conseqüentemente, está sujeito a erros. Assim, nesse trabalho é utilizada uma abordagem formal para a modelagem e controle do sistema, onde o sistema a ser controlado é modelado como um Sistema a Eventos Discretos (SED) [6] e o controlador é projetado segundo a Teoria de Controle Supervisório (TCS) [7]. Por definição, um SED é um sistema dinâmico que evolui de acordo com a ocorrência abrupta de eventos físicos, em intervalos de tempo, em geral, irregulares e desconhecidos. Assim, é possível modelar um sistema real como um autômato, que é uma máquina de estados finitos, onde essa máquina pode estar em apenas um de seus estados finitos por vez (estado atual). Para que a máquina transite de estado deve ocorrer uma ação (evento). Essas máquinas podem modelar diversos tipos de problemas em áreas como engenharia, computação, biologia, entre outros. O uso dessa abordagem cria um formalismo que permite avaliar o comportamento do sistema através de um *supervisor*, de forma a garantir que o mesmo obedeça todas as especificações impostas pelo projeto. Portanto, com base no exposto, o objetivo desse trabalho é fazer a modelagem e controle de um sistema automatizado para alívio de pressão utilizando a TCS.

Materiais e Métodos

Para validação do estudo proposto foi desenvolvido um sistema composto por um protótipo em escala reduzida e uma plataforma computacional para executar as ações de controle. O protótipo é composto por uma placa *Arduino Uno*, quatro servo-motores modelo SG90 (Tower Pro), quatro sensores de pressão do tipo FSR modelo FSR-400 (Interlink Electronics) e um sistema de alarme com quatro *Leds*. A Figura 2 mostra um esboço do protótipo, que funciona da seguinte maneira: *Passo 1* – Inicialmente, um sistema de Reset posiciona todos os pistões acima da base de apoio; *Passo 2* – O sistema de leitura dos sensores de pressão identifica qual o sensor recebe o maior peso; *Passo 3* – O servo-motor associado ao referido sensor posiciona o pistão no nível da base de apoio, aliviando a pressão nesse ponto; Esse processo é repetido quatro vezes a partir do *Passo 2*, encerrando o ciclo e reiniciando no *Passo 1*.

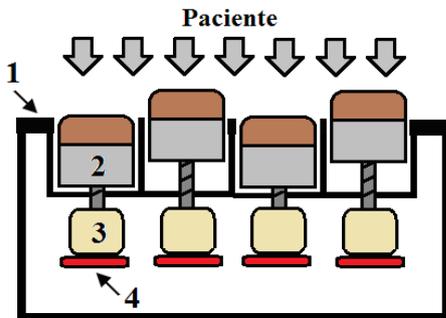


Figura 2: Esboço do sistema proposto. 1) Base de Apoio; 2) Pistão; 3) Motor; 4) Sensor de peso.

Um evento de alarme é gerado se um mesmo sensor de pressão for ativado mais de uma vez durante um ciclo de quatro leituras, informando que não houve alteração do ponto de pressão mesmo após ter abaixado o referido pistão, indicando a possibilidade de reavaliar a posição do paciente.

Modelagem e controle do sistema – O sistema (planta) foi modelado com base nas descrições de funcionamento do mesmo, sendo composto por modelos da planta (Figura 4) e modelos de especificações (Figura 5). Os modelos da planta e os eventos associados representam o comportamento individual das partes que compõe o sistema (motores, sensores de peso, alarme e reset). A Tabela 1 mostra os eventos do sistema.

Tabela 1: Eventos Controláveis (C) e Não Controláveis (NC)

Eventos	$i = 1,2,3,4$	
Read	Inicia a leitura dos sensores de pressão	
C	Alarm i_on	Alarme - Si foi ativado duas vezes
	Reset_on	Levanta todos os pistões
	Mi_dec	Liga o motor Mi para abaixar o pistão
NC	Si	O maior nível de peso está sobre o sensor Si
	Mi_off	Motor i desligado (pistão abaixado)

Os eventos são classificados em controláveis, que podem ser habilitados e desabilitados pelo supervisor, e em não controláveis, que não podem ser controlados pelo supervisor.

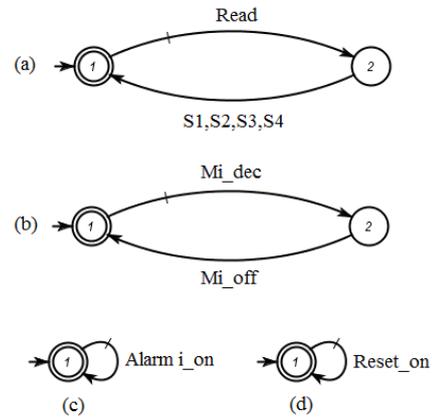


Figura 4: Modelos da planta física. (a) Sensores; (b) Motores; (c) Alarmes; (d) Reset

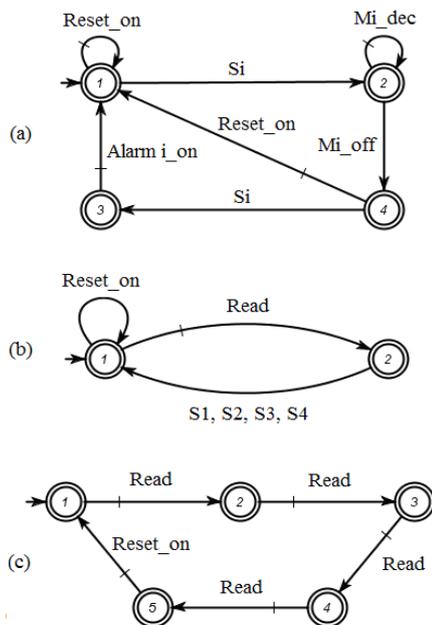


Figura 5: Modelos das especificações de controle.

Assim, o modelo na Figura 4(a), por exemplo, representa o comportamento do sistema de leitura de peso, onde na ocorrência de um evento *Read*, solicitando a leitura dos sensores, é gerado um evento *S1*, *S2*, *S3* ou *S4*, informando sobre qual sensor está o maior peso. Na Figura 4(b) é mostrado o modelo que representa cada um dos motores, onde o evento *MI_dec* faz com que o Motor 1 seja ligado, abaixando o pistão e gerando um evento *MI_off* para desligar o respectivo motor.

Os modelos de especificações mostrados na Figura 5 definem as restrições de coordenação a serem impostas ao sistema. Na especificação mostrada na Figura 5(a), o

evento S_i ($i=1,2,3,4$) indica que o maior peso está sobre o sensor i e, portanto, o motor M_i será ativado para abaixar o respectivo pistão. Além disso, se o evento S_i ocorrer duas vezes durante um ciclo completo (quatro leituras dos sensores), um alarme será acionado informando essa ocorrência. A Figura 5(b) mostra a especificação que proíbe um Reset no sistema (levantar os pistões) sem que tenha ocorrido um dos eventos não controláveis S_1 , S_2 , S_3 ou S_4 . A especificação mostrada na Figura 5(c) determina o ciclo de trabalho do sistema, onde a cada quatro leituras dos sensores os pistões devem ser levantados (Reset).

A partir dos modelos da planta e das especificações aplicou-se a metodologia proposta por Ramadge e Wonham [7] e obteve-se um autômato correspondente ao supervisor da planta. Todas as operações necessárias para a obtenção do supervisor foram executadas pela ferramenta computacional IDES [8] e não serão discutidas nesse trabalho. Ao final dessas operações é gerado um arquivo texto contendo todas as sequências de execução do supervisor, no formato *Estado Atual – Evento – Próximo Estado*.

Numa primeira etapa, para validação da lógica de controle, o modelo proposto foi simulado em ambiente computacional através de um programa desenvolvido em linguagem *Delphi*. Posteriormente, esse mesmo programa efetuou as ações de controle diretamente no protótipo.

Resultados

A Figura 6 mostra parcialmente a tela principal do software desenvolvido, onde é possível visualizar a posição dos pistões, os alarmes de acionamento dos sensores, o número total de ativações de cada sensor e os comandos executados pelo supervisor.



Figura 6: Tela principal do software de controle.

A Figura 7 mostra um exemplo de um ciclo completo de execução do sistema. Inicialmente, no 1º

ciclo todos os pistões estão levantados e a leitura dos sensores indica que a maior pressão (peso) está sobre o sensor 2, fazendo com que o pistão 2 seja abaixado. No 2º ciclo, com o pistão 2 abaixado, a leitura dos sensores indica que a maior pressão está sobre o sensor 1, fazendo com que o pistão 1 seja abaixado. Esse processo se repete até completar 4 ciclos de leitura dos sensores. Após isso, todos os pistões são levantados e o ciclo é reiniciado.

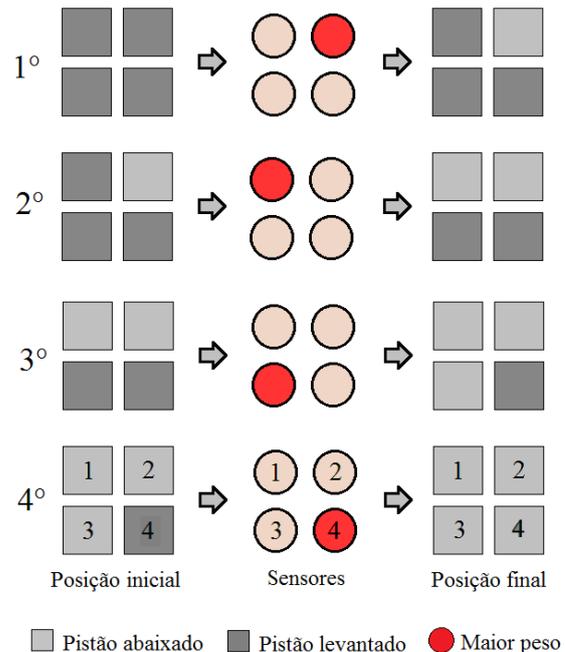


Figura 7: Exemplo de ciclo completo de execução do sistema.

Foram realizados testes com diferentes sequências de eventos, sendo que para todos os casos testados o sistema se comportou conforme as especificações de controle impostas.

Discussão

Esse trabalho apresentou a modelagem e controle um sistema automatizado para alívio de pressão utilizando a Teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos. Esse tipo de abordagem cria um formalismo que permite descrever as características de um sistema através da teoria de autômatos. A partir dos modelos da planta e das especificações de controle definidas pelo projetista, é possível chegar, com auxílio de uma ferramenta computacional, a uma lógica de controle minimamente restritiva e não bloqueante. Isso permite que todas as possibilidades de ações que ocorrem no sistema possam ser avaliadas antes da construção de um modelo físico.

Tipicamente, a teoria de controle supervisório é amplamente utilizada em aplicações industriais de manufatura [9]. Entretanto, a modelagem de sistemas baseada em SED e o controle com uso da TCS tem se

expandido para áreas além da Engenharia de Automação. Em um trabalho recente [10] foi usada essa mesma abordagem para modelagem e controle de uma mesa de suporte ao paciente de um scanner de ressonância magnética. Em outro trabalho foi abordado o uso da TCS para tratar problemas de controle em sistemas biológicos [11].

Conclusão

A modelagem usada nesse trabalho foi baseada em um modelo reduzido com o objetivo de facilitar a construção do protótipo. Vale destacar que os procedimentos utilizados são válidos para um sistema com um número maior de motores e sensores, por exemplo. Além disso, para uma mesma planta, é possível modificar os modelos das especificações de acordo com as necessidades de controle do sistema.

A grande contribuição da abordagem proposta está na capacidade de formalizar um sistema e seu comportamento, permitindo criar modelos para diversas áreas, inclusive no contexto da engenharia biomédica.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro e institucional da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Referências

- [1] Ministério da Saúde. Protocolo para prevenção de úlcera por pressão [internet]. 2013 [acessado em 10 Jul 2014]. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>.
- [2] Ostadabbas S, Yousefi R, Nourani M, Faezipour M, Tamil L, Pompeo MQ. A Resource-Efficient Planning for Pressure Ulcer Prevention. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 16, n. 6; 2012.
- [3] Rogenski NMB, Santos VLGC. Estudo sobre a incidência de úlceras por pressão em um Hospital Universitário, *Rev Latino-am Enfermagem*; 2005.
- [4] Santos CLA. Sistema Automático de Prevenção de Úlceras por Pressão [dissertação]. Universidade da Madeira; 2009.
- [5] Pasluosta CF, Fontana JM, Beltramone DA, Taborda RAM. Microcontrolled air-mattress for ulcer by pressure prevention, 16th Argentine Bioengineering Congress and the 5th Conference of Clinical Engineering; 2007.
- [6] Cassandras CG, Lafortune S. Introduction to Discrete Event Systems. 2ª ed. Kluwer Academic Publishers. Massachusetts; 1999.
- [7] Ramadge, PJG, Wonham, WM. The control of discrete event systems. *Proceedings of the IEEE* 77(1); 1989. p.81–98.
- [8] Rudie K. Modelling with IDES v3. Queen's University [internet]. 2010 [acessado em 10 Jul 2014]. Disponível em: <https://qshare.queensu.ca/Users01/rudie/www/software.html>.
- [9] Cury JER. Teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos [internet]. 2001 [acessado em 10 Jul 2014]. Disponível em: <http://www.das.ufsc.br/~cury/cursos/apostila.pdf>.
- [10] Theunissen RJM, Petreczky M, Schiffelers RRH, vanBeek DA, Rooda JE. Application of Supervisory Control Synthesis to a Patient Support Table of a Magnetic Resonance Imaging Scanner. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*; 2014. vol. 11, n. 1.
- [11] Cury JER, Baldissera, FL. Systems Biology, Synthetic Biology and Control Theory: A promising golden braid. *Annual Reviews in Control*; 2013. v. 37, p. 57-67.