

PROTÓTIPO DE UMA CADEIRA DE RODAS CONTROLADA POR MOVIMENTOS DA CABEÇA

Kleber Lima da Silva, Crystiano M. Luz, Matheus F. G. Coelho, Vitor H. D. Pareja
Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT)
Av. João Naves de Ávila, 2160 - Bloco 3N - Campus Santa Mônica CEP: 38.400-902, Uberlândia, MG, Brasil
kleber.ufu@hotmail.com

Resumo - A dificuldade de integração de indivíduos com determinadas deficiências motoras despertam um interesse em possibilitar maior autonomia a estes potenciais usuários de cadeiras de rodas. Este trabalho apresenta um sistema protótipo para o controle de uma maquete de cadeira de rodas por meio dos movimentos da cabeça do usuário. É proposto um algoritmo que possibilita a calibração do sistema de acordo com as limitações e preferências do utilizador. Os resultados iniciais se mostraram satisfatórios e encorajam a utilização do protótipo em trabalhos futuros envolvendo pesquisas de técnicas novas e alternativas de acionamento de cadeira de rodas.

Palavras-Chave - acelerômetro, cadeira de rodas, microcontrolador, sensores inerciais.

PROTOTYPE OF A WHEELCHAIR CONTROLLED BY HEAD MOTION

Abstract - The difficulty of integrating individuals with certain physical disabilities arouse an interest in allowing greater autonomy to these potential users of wheelchairs. This paper presents a prototype system for controlling a mockup of wheelchair through head movements of the user. It is an algorithm that allows the system calibration according to the limitations and user preferences. The initial results were satisfactory and encourage the use of the prototype for future work involving researches of new and alternative techniques for driving wheelchairs.

Keywords - accelerometer, inertial sensors, microcontroller, wheelchair.

I. INTRODUÇÃO

Certos grupos da sociedade apresentam dificuldades de se integrar ou mesmo de executar suas tarefas cotidianas, isto vem servindo de incentivo para uma nova área de pesquisa tecnológica. Dentre estes indivíduos, encontram-se os usuários de cadeiras de rodas portadores de patologias que também afetam a coordenação motora ou que restringem os movimentos dos membros superiores. Tais pacientes encontram muita dificuldade na utilização das tradicionais

cadeiras de rodas, portanto, o desenvolvimento de alternativas que diminuam sua dependência a outras pessoas é essencial.

Como solução a esta problemática, muitas pesquisas têm sido realizadas, tais como: SENARIO [1], VAHM [2], Rolland [3], SIAMO [4], Wheelesley [5], e Omniwheeled Plataforma [6]. Todos estes trabalhos apresentam sistemas eletrônicos em comum para a adaptação de cadeiras de rodas com formas alternativas de acionamento ou capacitando-as com percepção do ambiente e inteligência, tornando-as cada vez mais autônomas ou de fácil controle.

A proposta deste trabalho é um sistema microcontrolado que permite o controle de uma cadeira de rodas pelo movimento da cabeça do usuário. O protótipo consiste em uma maquete de cadeira de rodas, e um sistema digital com uma unidade de medição inercial (IMU na sigla em inglês) e um microcontrolador para interpretação dos movimentos da cabeça e geração do controle da cadeira de rodas.

A maquete de cadeira de rodas foi desenvolvida a fim de se ter um *hardware* genérico para uma plataforma de pesquisa e desenvolvimento para o controle embarcado de cadeira de rodas, permitindo a interface com diferentes técnicas de acionamento.

II. DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

A Fig. 1 apresenta o diagrama de blocos do protótipo, notam-se dois módulos separados. A comunicação entre o módulo da cadeira de rodas e o módulo de sensores e processamento é realizada sem fio. Tem-se a interface via USB com um computador para permitir a calibração e configuração tanto dos sensores como da cadeira de rodas.

As velocidades dos motores M1 e M2 são controladas de forma independente por sinais de PWM. Para permitir a interface com outros projetos definiu-se um protocolo de comunicação, tratado mais a frente, para determinação destas velocidades.

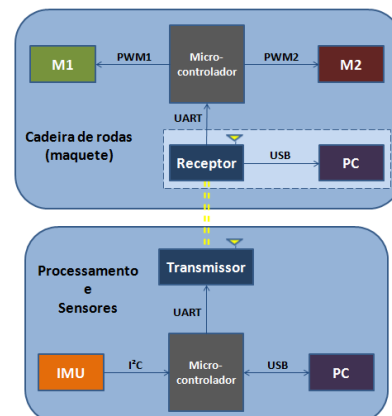


Fig. 1. Diagrama de blocos do protótipo.



XI CEEL – ISSN 2178-8308
25 a 29 de novembro de 2013
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

A. Projeto da Maquete

Para elaboração da maquete consultou-se a norma ABNT NBR 9050 [7], a qual apresenta na seção 4.2.1 as dimensões referenciais para cadeiras de rodas manuais ou motorizadas. Buscou-se fazer um modelo em escala reduzida (com fator aproximado de 1:7) para maior representatividade de uma cadeira real. O modelo 3D da maquete é apresentado na Fig. 2 e foi realizado no *software* SolidWorks.



Fig. 2. Desenho 3D da maquete de cadeira de rodas.

Os materiais utilizados são caixas plásticas, arames para a armação e rodas de espuma. Para locomoção da cadeira utilizaram-se motores de corrente contínua com caixa de redução adaptados de mini servo-motores (utilizados em aeromodelos).

B. Reconhecimento dos Movimentos da Cabeça

A IMU utilizada é composta pelo acelerômetro ADXL345 [8] e pelo giroscópio L3G4200D [9]. Ambos os sensores se comunicam com o microcontrolador PIC16F648A [10] pelo barramento serial mestre-escravo I²C. A partir dos dados obtidos destes sensores (aceleração linear e velocidade angular) é possível determinar os movimentos da cabeça do usuário por meio de um algoritmo de navegação.

Neste trabalho bastou a simples utilização do acelerômetro para identificação de movimentos básicos, que inclui as seguintes etapas: leitura e filtragem dos sinais; determinação dos ângulos de inclinação para frente e para trás (*pitch*) e de inclinação lateral (*roll*).

Os ângulos *pitch* e *roll* são determinados a partir das seguintes equações:

$$pitch = \tan^{-1} \left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}} \right) \quad (1)$$

$$roll = \tan^{-1} \left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}} \right) \quad (2)$$

Onde:

- pitch* - ângulo de inclinação para frente ou para trás.
- roll* - ângulo de inclinação lateral.
- A_x, A_y, A_z - aceleração linear nos respectivos eixos.

Para que as Equações (1) e (2) estejam corretas é necessário realizar o posicionamento adequado do acelerômetro, que é mostrado na Fig. 3.

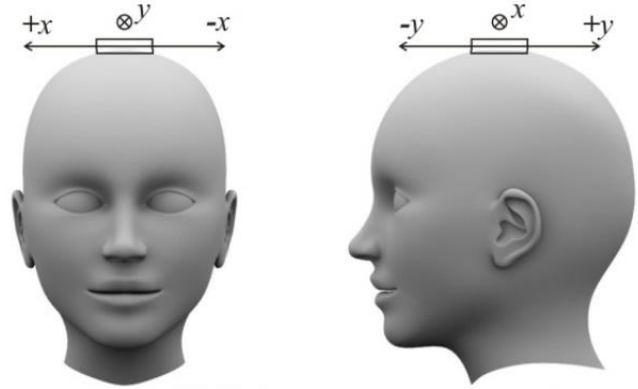


Fig. 3. Posição do acelerômetro para reconhecimento dos movimentos da cabeça.

C. Protocolo de Comunicação

Como um dos objetivos do trabalho é a proposta de uma plataforma de pesquisa e desenvolvimento, buscou-se estabelecer um protocolo de comunicação para o controle de velocidade e sentidos dos motores da maquete de cadeira de rodas para o uso com diferentes interfaces.

O protocolo proposto consiste no envio de duas variáveis (uma para cada motor) que assume valores entre -100 e 100. O inicializador da mensagem é "PWM:", as variáveis são representadas em complemento de 2 e separadas por vírgula; por fim termina-se a mensagem com um salto de linha. Esta formatação é mais bem observada na Fig. 4.

Início	int		int	Fim
PWM:	DC_M1	,	DC_M2	\n \r

Fig. 4. Protocolo de comunicação PWM.

Com esta formatação consegue-se controlar a velocidade (*duty-cycle*) dos motores de 0 a 100% e também o sentido, o qual é representado pelo sinal negativo da variável. Na seguinte mensagem, por exemplo: "PWM:-50,-50\n\r" os dois motores giram ao contrário com 50% da velocidade máxima, ou seja, a cadeira estaria realizando uma ré com velocidade intermediária.

A comunicação é realizada de forma serial TTL na configuração 8N1 a uma taxa de 4800 bps. A interface pode ser realizada por fio através de um conector ou através de um módulo de comunicação sem fio.

D. Software de Treinamento

Foi desenvolvido um *software* de computador com o objetivo de realizar a calibração do sistema para cada usuário de acordo com suas limitações de movimento. Este *software* também é capaz de realizar o treinamento do usuário a fim de ambientá-lo melhor ao uso futuro da cadeira de rodas. Com isto, é o sistema que se adapta ao usuário e não o contrário.

A Fig. 5 mostra a tela de calibração, nela são realizadas diversas leituras de posicionamento da cabeça do usuário para a execução de cada movimento da cadeira de rodas. Ao final são realizadas as médias desses valores que por fim são enviados à cadeira de rodas para configurá-la de acordo com o usuário. Estes valores são as amplitudes máximas de inclinação para frente, para trás, para a esquerda e para direita.

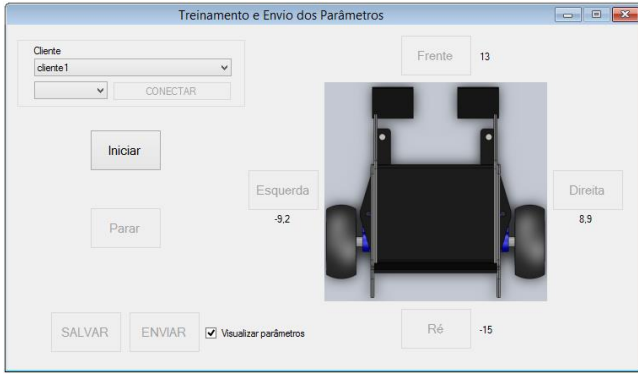


Fig. 5. Software de calibração.

E. Algoritmo de Controle

A partir dos dados de amplitude máxima obtidos pelo software é realizada uma conversão de escalas. Esta conversão tem a finalidade de a partir dos ângulos medidos realizar uma interpolação em relação ao valor máximo registrado na calibração e transformá-los em coordenadas cartesianas em um plano xy.

O sistema cartesiano como mostra a Fig. 6 é amplamente utilizado em *joysticks* convencionais de cadeiras motorizadas. A contribuição no eixo x está relacionada com a ação diferencial e no eixo y com a velocidade. Assim, com o eixo x em 0% e para o eixo y em 100% tem-se a cadeira com velocidade máxima para frente; 100% para o eixo x e 0% para o y acarreta no giro para direita em torno de seu próprio eixo; e em situações intermediárias ocorre o deslocamento curvilíneo da cadeira.

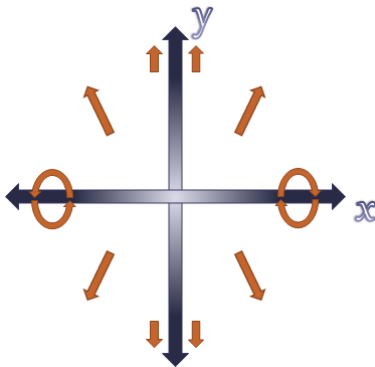


Fig. 6. Sistema cartesiano para movimentação de cadeira de rodas.

A etapa seguinte para controle da cadeira de rodas é a conversão deste sistema de coordenadas cartesianas para as velocidades dos motores. Tem-se então uma situação de controle cinemático por ação diferencial. Para isto, são utilizadas duas equações, das quais a primeira, Equação (3), representa a relação entre a velocidade escalar da cadeira com as velocidades angulares de cada roda, já a segunda, Equação (4), representa a ação diferencial.

$$v = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \rightarrow 2v = \omega_1 + \omega_2 \quad (3)$$

$$d = \omega_1 - \omega_2 \quad (4)$$

Tais equações resultam nas seguintes relações:

$$\omega_1 = v + \frac{d}{2} \quad e \quad \omega_2 = v - \frac{d}{2} \quad (5)$$

Onde:

d - valor da contribuição em X.

v - valor da contribuição em Y.

ω_1 - velocidade do motor M1 (DC_M1).

ω_2 - velocidade do motor M2 (DC_M2).

Logo, a Equação (5) oferece a transformação direta das coordenadas cartesianas para os valores de razão cíclica utilizadas no controle de velocidade dos motores, e consequentemente no controle da cadeira de rodas.

III. RESULTADOS

Neste primeiro momento para realizar testes preliminares o protótipo foi utilizado apenas entre os membros do grupo. Os resultados obtidos foram satisfatórios podendo notar a rápida adaptação do usuário com o sistema.

O movimento adotado de inclinação e não o movimento de girar a cabeça para realizar os movimentos de virar a cadeira permitiu de certa forma evitar movimentos involuntários, pois são mais frequentes os movimentos de girar a cabeça, por exemplo, ao olhar para uma pessoa.

A Fig. 7 mostra a montagem final da maquete de cadeira de rodas, a bateria e todo o circuito eletrônico estão acomodados dentro das caixas, para a recepção dos sinais dos sensores foi adaptado um módulo de comunicação sem fio.



Fig. 7. Maquete de cadeira de rodas.

O módulo dos sensores foi adaptado em um boné, como mostra a Fig. 8. Acredita-se que para um protótipo foi a maneira mais discreta e prática encontrada para alocação do módulo no usuário.



Fig. 8. Sensores fixados em um boné.

IV. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta um protótipo de uma técnica alternativa para controle de cadeiras de rodas, além propor uma plataforma de pesquisa e desenvolvimento genérica. Acredita-se que tal proposta facilita o estudo de novas metodologias de acionamentos de cadeiras de rodas, pois o uso da maquete dispensa a aquisição e adaptações de modelos reais para testes iniciais.

Para trabalhos futuros, espera-se realizar um tratamento mais robusto quanto aos movimentos involuntários realizados pelo usuário. Também se propõe a realização de experimentos com pacientes reais para possíveis correções e melhorias quanto ao método utilizado para o treinamento e o estudo de novos recursos que sejam pertinentes à aplicação. Outros fatores que podem ser melhorados são a estética e o tamanho dos sensores.

REFERÊNCIAS

- [1] N.I. Katevas, N.M. Sgouros, S.G. Tzafestas, G. Papakonstantinou, P. Beattie, J.M. Bishop, P. Tsanakas, D. Koutsouris, “The Autonomous Mobile Robot SENARIO: A Sensor Aided Intelligent Navigation System for Powered Wheelchairs”, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 4, no. 4, pp. 60-70, December 1997.
- [2] G. Bourhis, O. Horn, O. Habert, A. Pruski, “An Autonomous Vehicle for People with Motor Disabilities”, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 8, no. 1, pp. 20-28, March 2001.
- [3] A. Lanckenau, T. Rofer, “A Versatile and Safe Mobility Assistant”, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 8, no. 1, pp. 29-37, March 2001.
- [4] M. Mazo, “An Integral System for Assisted Mobility (Automated Wheelchair)”, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 8, no. 1, pp. 46-56, March 2001.
- [5] H.A. Yanco: Wheellesley, “A Robotic Wheelchair System: Indoor Navigation and User Interface, Lecture Notes in Artificial Intelligence”, *Assistive Technology and Artificial Intelligence, Applications in Robotics, User Interfaces and Natural Language Processing*, Berlin, Springer, Germany, vol. 1458, pp. 256-268, 1998.
- [6] C.H. Kuo, H.H.W. Chen, “Human-oriented Design of Autonomous Navigation Assisted Robotic Wheelchair for Indoor Environments”, *IEEE International Conference on Mechatronics*, Budapest, Hungary, pp. 230-235, 03-05 July 2006.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “ABNT NBR 9050:2004 Versão Corrigida:2005 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos”.
- [8] Analog Devices Inc., “3-Axis, $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$ Digital Accelerometer – ADXL345”, *Datasheet*, 2011.
- [9] STMicroelectronics, “MEMS motion sensor: ultra-stable three-axis digital output gyroscope – L3G4200D”, *Datasheet*, 2010.
- [10] Microchip Technology Inc., “FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers – PIC16F627A/628A/648A”, *Datasheet*, 2002.