

CADEIRA DE RODAS MOTORIZADA COM CONTROLE DIGITAL DE VELOCIDADE: UMA APLICAÇÃO DE TELEMETRIA UTILIZANDO ZIGBEE

Gladson Cardoso Dias¹; Leandro Edmar Campos Bueno²; Roberto Louzada Tureta³; Arlei Fonseca Barcelos⁴ (orientador)

¹Faculdade de Engenharia de Resende. Resende - RJ
gladsoncardoso@gmail.com

²Faculdade de Engenharia de Resende. Resende - RJ
leandroebueno@hotmail.com

³Faculdade de Engenharia de Resende. Resende - RJ
robertotureta@yahoo.com.br

⁴Faculdade de Engenharia de Resende. Resende - RJ
arlei@csn.com.br

Resumo - O presente artigo relata a otimização do controle PID digital de velocidade de uma cadeira de rodas motorizada através de um sistema de telemetria utilizando protocolo *Zigbee*, padrão IEEE 802.15.4, assim como a implementação de acessórios para torná-la mais cômoda e prática ao usuário.

Palavras-Chave - Controle PID digital de velocidade. Cadeira de rodas motorizada. Telemetria. *Zigbee*.

Abstract - This article reports the optimization of the PID digital speed control of a motorized wheelchair by a telemetry system using *Zigbee* protocol, IEEE 802.15.4, as well as implementation of accessories to make it more comfortable and practical to the user.

Palavras-Chave - PID digital speed control . Motorized wheelchair. Telemetry. *Zigbee*.

1 Introdução

Atualmente, o mundo em que vivemos possui cerca de 6,5 bilhões de habitantes, dentre os quais 10% da população, segundo a Ordem Mundial de Saúde (OMS), são portadores de necessidades especiais. A inclusão dessa considerável fatia da população na sociedade vem sendo alvo de estudos e pesquisas há vários anos e recentemente, com a enorme evolução tecnológica, reduziram-se significativamente as dificuldades em ultrapassar muitas barreiras, antes impeditivas, para possibilitar uma vida normal e mais confortável a essas pessoas.

Porém, a realidade de um país ainda subdesenvolvido obriga-nos a buscar soluções que facilitem o acesso de classes mais baixas da sociedade a equipamentos que amenizem as dificuldades naturais encontradas devido à deficiência. Sendo assim, o objetivo principal é desenvolver uma cadeira de rodas motorizada mais acessível financeiramente à essas pessoas.

O princípio de funcionamento da cadeira de rodas motorizada desenvolvida, mostrada na Figura 1, consiste na transformação de energia elétrica em propulsão mecânica através de dois motores de corrente contínua alimentados por baterias automotivas.

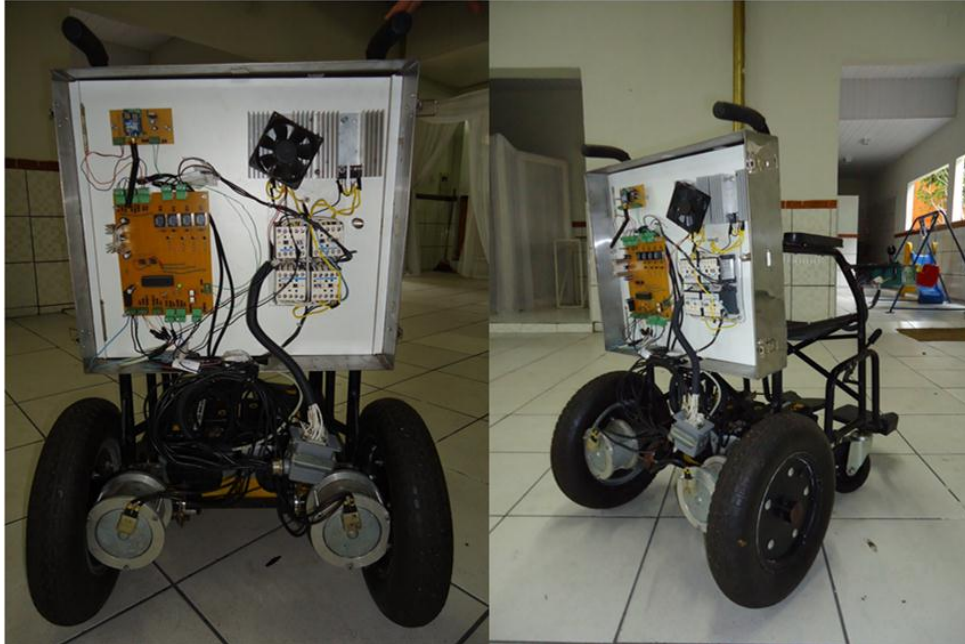


Figura 1 – Cadeira de rodas motorizada desenvolvida.

Para o acionamento da cadeira é necessário um sistema capaz de controlar o sentido de rotação e velocidade dos motores. Para isso foi utilizado um circuito em ponte H conectado em série com MOSFET's de potência cujo chaveamento faz-se por sinal Pulse Width Modulation (PWM). Ao variar a largura dos pulsos de chaveamento varia-se a tensão média nos motores e conseqüentemente sua velocidade de rotação.

O controle de velocidade digital é feito por um microcontrolador que recebe sinal de referência do *Joystick*, *feedback* de velocidade dos *encoders* e gera sinal PWM utilizando conceitos de controle PID digital. O microcontrolador utilizado é o PIC 18F452 de fabricação da *Microchip Technology Inc.* O fator determinante para a escolha deste modelo foi a possibilidade de utilização de entradas analógicas, saídas PWM, interrupções externas, assim como a facilidade de programação em linguagem C.

A dificuldade encontrada em parametrizar o controlador de velocidade PID digital provocava instabilidade no funcionamento da cadeira tornando-a insegura ao usuário. A solução para corrigir a parametrização do controlador foi implementar um sistema de telemetria para aprofundar o conhecimento das suas variáveis. O sistema adotado utiliza tecnologia *Zigbee* de comunicação sem fio, o que permite adquirir dados do controle em tempo real, os quais são plotados graficamente através do *software* MATLAB. Com isso definiu-se o comportamento exato das variáveis de controle tornando possível realizar a parametrização ideal do controlador PID e encontrar falhas no programa do microcontrolador.

2 Desenvolvimento

2.1 Funcionamento da cadeira de rodas

O funcionamento do sistema da cadeira pode ser visto graficamente no diagrama de blocos da Figura 2. O usuário comanda a cadeira por meio de um *Joystick* enviando sinal de referência de velocidade e direção para o microcontrolador, que ainda recebe sinais de *feedback* de velocidade dos *encoders* e valores de corrente dos motores obtidos por sensores de efeito hall. O microcontrolador processa as informações recebidas de acordo com seu algoritmo de controle, aciona os motores através de sinal PWM e envia, pela porta serial, informações de velocidade e corrente dos motores para o módulo transmissor do *Zigbee*, acoplado à cadeira. O módulo receptor, conectado à porta USB do computador, recebe os dados que serão utilizados pelo *software* MATLAB.

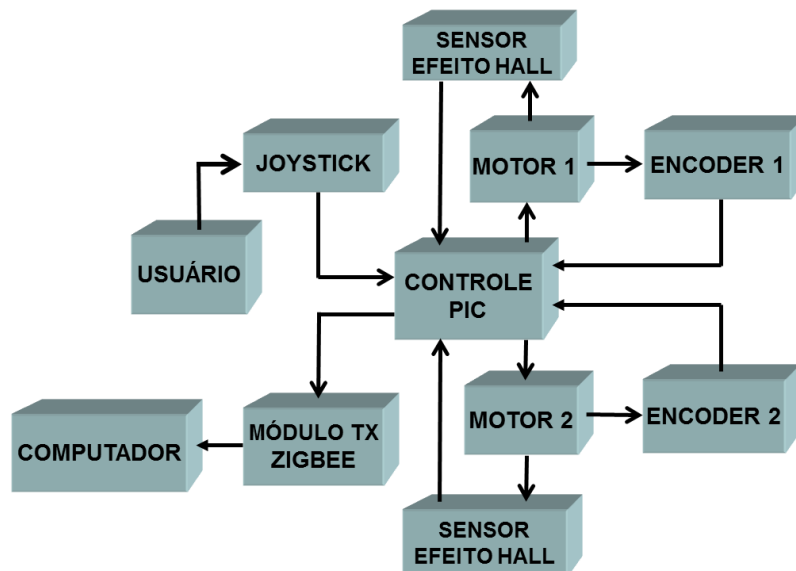


Figura 2 – Diagrama de blocos da cadeira de rodas.

2.2 Controle digital de velocidade

Controladores digitais diferem dos analógicos por serem flexíveis. Leis de controle mais complexas também podem ser implementadas sem dificuldade e alteradas a qualquer momento. O diagrama do sistema de controle implementado é mostrado na Figura 3.

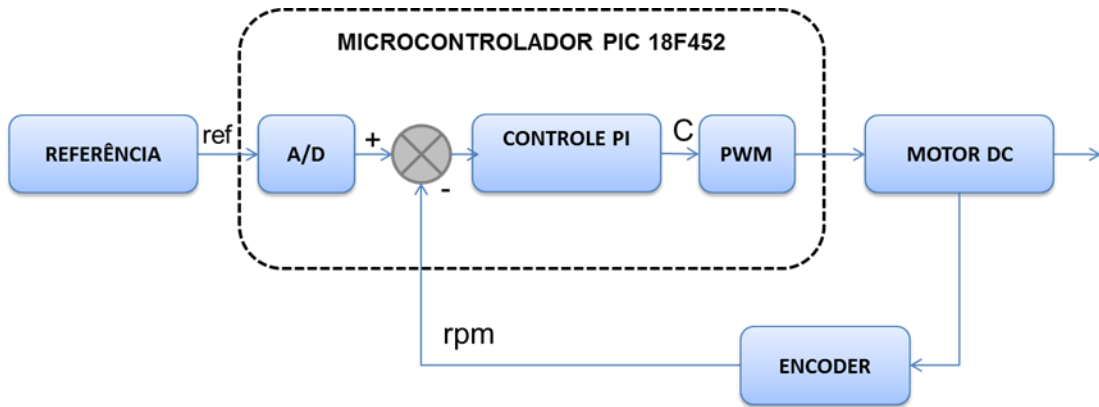


Figura 3 – Diagrama de blocos do sistema de Controle Digital.

O algoritmo de controle do microcontrolador é baseado em controle PI (Proporcional e Integral) discreto. A saída C que aciona os motores segue mostrada na Equação 1.

$$C = P + I \quad \text{Equação 1}$$

As parcelas do ganho proporcional e integral são mostradas nas Equações 2, 3 e 4.

$$P = K_p * e(n) \quad \text{Equação 2}$$

$$I = I_{old} + \frac{P}{T_i} \quad \text{Equação 3}$$

$$I_{old} = \frac{K_p * e(n-1)}{T_i} \quad \text{Equação 4}$$

Logo, a Equação 5 mostra a saída final do controlador.

$$C = K_p * e(n) + \frac{K_p * e(n-1)}{T_i} + \frac{K_p * e(n)}{T_i} \quad \text{Equação 5}$$

O erro do sistema de controle ($e(n)$) é obtido através da diferença entre a referência do *Joystick* (ref) e a velocidade medida pelo *encoder* (rpm).

A referência de velocidade é obtida através de potenciômetros acoplados aos eixos X e Y do *Joystick*, que fornecem níveis de tensão entre 0 e 5V nas entradas do PIC, sendo que de 0 a 2,5V no eixo Y a cadeira é acionada no sentido Trás e 2,5 a 5V para o sentido Frente, funcionando da mesma forma no eixo X para Esquerda e Direita respectivamente. As tensões geradas pelo *Joystick* são lidas pelas entradas analógicas do microcontrolador e digitalizadas, valores de 0 a 1024, pelos canais A/D do PIC para serem utilizadas no cálculo do controle.

O *feedback* de velocidade é obtido dos *encoders* incrementais acoplados aos eixos das rodas. Cada *encoder* gera pulsos que são lidos pelo PIC através de interrupções externas prioritárias nas entradas INT1 e INT2. As interrupções geradas incrementam as variáveis

encoder1 e encoder2. A quantidade de pulsos incrementados durante o tempo de amostragem determina a velocidade real.

Baseados no erro do sistema e no tempo de amostragem são calculados os parâmetros de controle PI. Com o cálculo de PI é determinada a variável C que seta o valor de PWM de 0 a 1023 buscando compensar o erro.

2.3 Sistema de Telemetria

A tecnologia utilizada para o desenvolvimento do sistema de telemetria baseou-se no padrão IEEE 802.15.4, correspondente ao *Zigbee*. O *Zigbee* tem como principal objetivo atender aos requisitos específicos, como baixo custo e consumo de energia.

Dentre as características mais importantes do módulo *Zigbee*, pode-se citar:

- Taxa máxima de comunicação de 115.200bps;
- Tensão de alimentação: 2.8 a 3.4V;
- Alcance em ambientes internos/zonas urbanas: 100m;
- Corrente de transmissão (típico): 215mA @ 3.3V;
- Corrente de recepção (típico): 55mA @ 3.3V;
- Corrente de *power down sleep*: <10 μ A;
- Dimensões: (2.438cm x 3.294cm);
- Peso: 3g;
- Endereçamento: 65.000 endereços de rede disponíveis para cada canal;
- Faixa de frequência: 2.4000 a 2.4835 GHz;
- Topologia de rede: par-a-par, ponto-a-ponto, ponto-a-multiponto e malha.

Foram utilizados dois módulos configurados para comunicação ponto a ponto, onde o módulo receptor desempenha a função de coordenador da rede e o transmissor a função de roteador, como mostrado na Figura 4. A escolha do módulo receptor como coordenador foi feita de modo a garantir que em uma perda de sinal ele possa informar ao módulo transmissor.

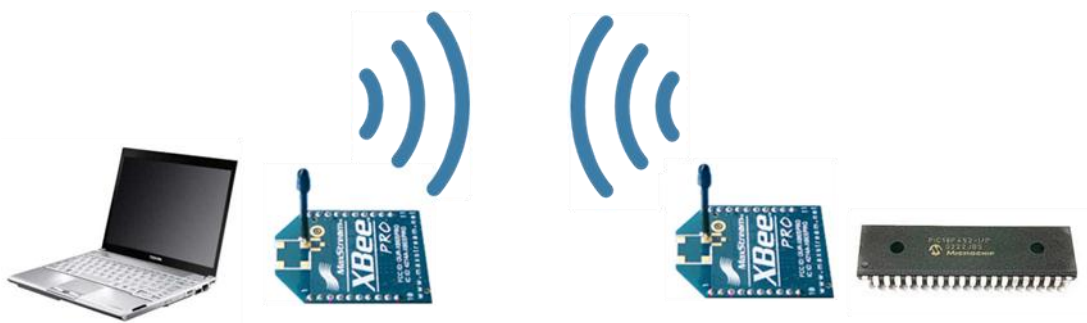


Figura 4 – Configuração de comunicação de rede.

O módulo transmissor está conectado à porta serial do microcontrolador na cadeira e o módulo receptor está ligado ao computador por meio de uma placa denominada CON-USBEE, desenvolvida pela ROGERCOM e vista na Figura 5. Esta placa é conectada a porta USB do computador e tem por finalidade simular uma porta RS232 virtual. Sua facilidade de conexão é semelhante à de um *Pen-drive*.

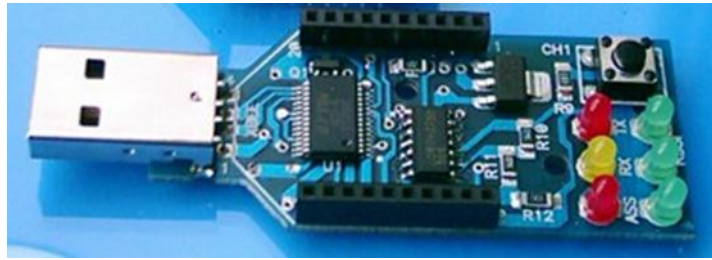


Figura 5 - Placa CON-USBBEE.

Utilizando o *software* MATLAB desenvolveu-se um algoritmo para aquisição de dados, via porta serial, vindos do módulo *Zigbee*. Existe a possibilidade de escolha das variáveis que serão aquisitadas alterando o programa do microcontrolador. Sendo assim, podem ser realizadas diversas aquisições de qualquer variável que se deseje obter. O algoritmo do MATLAB armazena as variáveis e plota gráficos com os dados obtidos. A Figura 6 mostra um gráfico onde foram aquisitadas as variáveis do sinal de erro ($e(n)$), mostrado em azul, a referência do *Joystick* (*ref*) em vermelho e o sinal de controle (*C*) em verde. Por meio desses dados é possível observar o comportamento do sistema de controle, e modificar os parâmetros do controlador PID digital de modo a se obter um controle mais preciso e confiável.

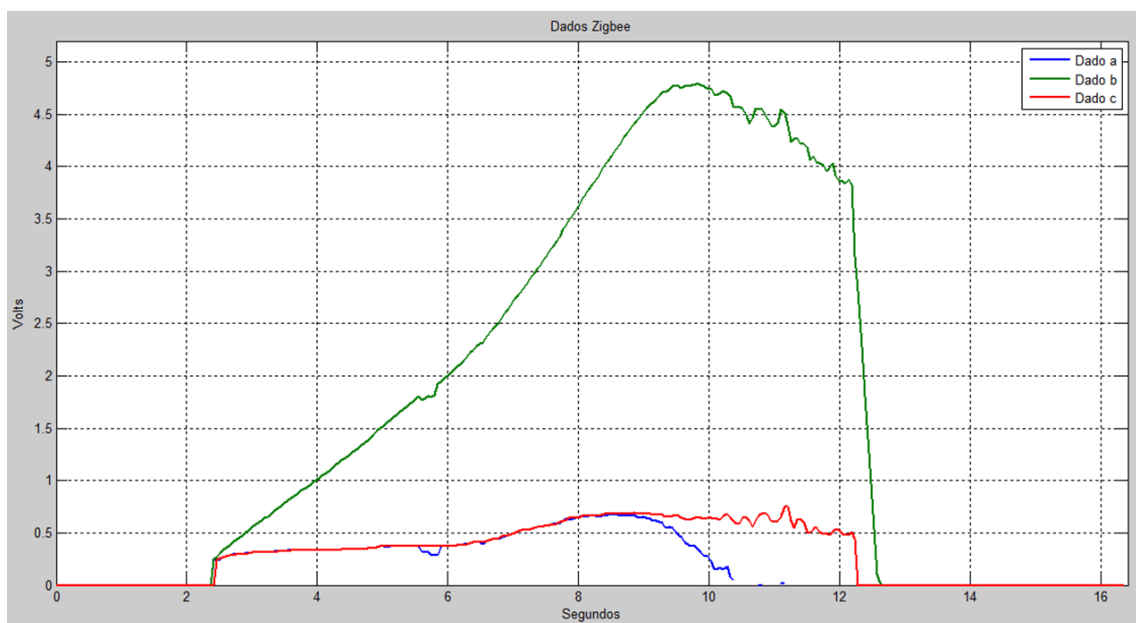


Figura 6 - Atuação do controle com a cadeira em movimento.

3 Conclusões

Após o desenvolvimento do trabalho é possível concluir que o objetivo inicial de desenvolver um sistema de telemetria, utilizando a tecnologia *Zigbee*, foi atingido com sucesso. A utilização da telemetria, junto com os programas desenvolvidos no MATLAB, possibilitou a aquisição de qualquer variável do microcontrolador. Isso foi de extrema importância para realizar as correções no programa do PIC e também ajustar os parâmetros de forma satisfatória.

Observamos que os eixos mecânicos possuem diferenças construtivas, o que faz com que as rodas girem em velocidades diferentes. Desta forma, foram necessários fatores de correção para os motores.

As correções realizadas no controle PI da cadeira, visto que o termo derivativo não foi utilizado no presente trabalho, funcionaram de forma satisfatória. Observamos a ação de controle com diferentes ganhos integrais e proporcionais.

Contudo, concluímos que embora o controle esteja atuando satisfatoriamente, são necessárias algumas alterações de *hardware* para disponibilizar a cadeira à sociedade.

Para possíveis implementações futuras na cadeira de rodas, visto que não foi o foco deste trabalho, deixam-se as seguintes sugestões:

- Substituição dos contadores por relés de estado sólido.
- Desacoplamento mecânico do eixo das rodas, de modo a ser possível a utilização manual.
- Implantar um sistema embarcado para recarga de baterias.
- Substituição dos motores por outros mais leves e sem caixa de redução.

5 Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724:2011. **Informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação**. Rio de Janeiro, 2011.

CÓDIGO de catalogação anglo-americano. 2. ed., rev. 2002. São Paulo: FEBAB: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.

PEREIRA, Adriano; VIEIRA, Giuliano. **Sistema de Motorização e Controle de Cadeira de Rodas**, Monografia apresentada à Associação Educacional Dom Bosco- AEDB para obtenção de grau de bacharel em Engenharia Elétrica/ Eletrônica, Resende, RJ, 2007.

BARCELLOS, Arlei; GONÇALVES, José; FLORES, Maxsuel; MATOS, Warllem; **Sistema de controle e monitoração de cadeira de rodas**, Faculdade de Engenharia de Resende - AEDB, RJ, 2008.

BELLONI, Edson; SOARES, Fábio; NETO, Neucimar. **Estudo de aspectos de controle digital em tempo real**, Faculdade de Engenharia de Resende – AEDB para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica/ Eletrônica, Resende, RJ, 2008.

FREITAS, Bruno; ALMEIDA, Vinicius; FERREIRA, Wallas. **Cadeira de rodas motorizada com controle digital de velocidade e comando por voz embarcado**, Faculdade de Engenharia de Resende – AEDB para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica/ Eletrônica, Resende, RJ, 2009.

SOUSA, Anderson de; NAPOLI, David L.; PEREIRA, José A. **Sistema de telemetria com condicionamento de sinal para testes veiculares, utilizando o padrão Zigbee**, Faculdade

de Engenharia de Resende – AEDB para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica/ Eletrônica, Resende, RJ, 2010.

HANSELMAN, D.; LITTLEFIELD, B. *MATLAB 6: Curso Completo*. São Paulo, Editora *Prentice Hall*, 2003. 676 p.

TORRES, Gabriel. **Redes de Computadores Curso Completo**. Rio de Janeiro, Axcel Books do Brasil Editora, 2001. 644 p.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 3ª Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 1998.

LATHI, B. P. **Sinais e Sistemas Lineares**. 2ª Edição. Editora Bookman. Porto Alegre, 2007. 856p.

ROGERCOM. **Zigbee**. Disponível em: <<http://www.rogercom.com.br/Zigbee/Zigbee.htm>>. Acesso em: 02 abr. 2011.

DIAS, Osmar. **Telemetria e sensoriamento remoto**. Editora Copel, 1992.

GUERRA, Wladimir de Andrade. **Implementação de controle proporcional, integral e derivativo digital em controladores lógico programáveis**, Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco - para obtenção de grau de bacharel em Engenharia de Instrumentação, Recife, PE, 2009.

MICROCHIP. **PIC18FXX2 Data Sheet**. Microchip Technology Inc, 2002. 330p.

GHIRARDELLO, Ariovaldo. **Apostila sobre modulação PWM**. Disponível em: <http://www.l2f.inesc-id.pt/~lco/ss-lerci-0405/pdf/tz_cop.pdf> Acesso em: 14 nov. 2011.

OLIVEIRA, Luís Caldas de. **Sinais e Sistemas: Transformada Z**, Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em: <http://www.l2f.inesc-id.pt/~lco/ss-lerci-0405/pdf/tz_cop.pdf> Acesso em: 14 nov. 2011.

MATLAB. **The Language Of Technical Computing**. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/matlab/description1.html>> Acesso em: 31 ago. 2011.