



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

TEORIA DE CONTROLE AUTÔNOMO DE UMA CADEIRA DE RODAS

Ludmila Corrêa de Alkmin e Silva, ludmila@fem.unicamp.br¹
Geraldo Gonçalves Delgado Neto, geraneto@fem.unicamp.br¹
Vivianne Vieira Delgado, vivianne@fem.unicamp.br¹
Fernanda Cristina Corrêa, fernanda@fem.unicamp.br¹
Franco Giuseppe Dedini, dedini@fem.unicamp.br¹

¹ UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas – FEM, Faculdade de Engenharia Mecânica, Rua Mendeleiev, 200 – Cidade Universitária “Zeferino Vaz” Barão Geraldo – Campinas – SP – Caixa Postal: 6122 – 13.083-970

***Resumo:** Este artigo tem como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema de controle para o kit de motorização utilizado em cadeira de rodas manuais. O denominado kit de motorização é um dispositivo que permite que uma cadeira de rodas manual se torne uma cadeira de rodas motorizada. O sistema de controle desenvolvido permitirá que uma cadeira siga uma rota desenhada no chão, destinada aos casos em que o usuário utiliza a mesma trajetória repetidas vezes ou quando deseja retornar a uma posição inicial, o usuário ao acionar o sistema o kit irá seguir uma trajetória feita no chão. A marca no chão é detectada utilizando sensores infravermelhos e a velocidade é medida por um encoder fixado nas rodas. A velocidade e a posição do kit de motorização são controladas por microcontroladores interligados através de uma comunicação serial. Os resultados experimentais deste sistema de controle mostraram a eficácia do sistema Além do kit de motorização o sistema pode ser usado com um AVG (veículo auto guiado).*

Palavras-chave: cadeira de rodas; controle; pid; motorização

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico e com o avanço de Softwares houve um grande crescimento na tecnologia e nos equipamentos usados para a melhoria da qualidade de vida. Logo esse trabalho foi inspirado na necessidade crescente do desenvolvimento de produtos que atendam às pessoas com necessidades, visando à melhoria de sua integração na sociedade.

O Laboratório de Sistemas Integrados (LabSin) por anos vem desenvolvendo um módulo de potência para cadeiras de rodas manual visando sempre o baixo custo e atender as necessidade do usuário. Com este kit de motorização foi possível a união das vantagens da cadeira de rodas manual e da cadeira de rodas motorizada. As cadeiras de rodas manuais são mais leves e permitem aos usuários realizar os exercícios e as cadeiras de rodas motorizadas são de alto custo e geralmente prescritos para os usuários que não têm poder ou coordenação motora para acionar manualmente uma cadeira de rodas manual, portanto, este módulo associa as qualidades de ambos.

O kit é uma unidade de motorização o qual pode ser conectado em todos os tipos de cadeiras de rodas manual, com rapidez e facilidade pelo usuário. Ele pode ser usado para empurrar ou puxar a cadeira de rodas em diferentes ambientes. Assim, quando o usuário necessitar percorrer longas distância ou subir rampas, ele pode acoplar este módulo e depois desacoplar transformar sua cadeira de rodas em manual novamente.

No entanto, este kit de motorização desenvolvido tem apenas um sistema de controle por joystick, porém alguns usuários são incapazes de controlar a cadeira de rodas por um longo tempo através do joystick ou tem alguma dificuldade em controlá-lo. Portanto, este trabalho visa desenvolver um sistema de controle que a cadeira de rodas vai seguir uma linha no chão. Com este sistema de controle, o usuário que necessita subir uma rampa ou percorrer longas distâncias todos os dias, pode utilizar a linha desenhada no chão, assim a cadeira de rodas como o kit de motorização seguirá esta marcação.

Neste trabalho, a cadeira de rodas será visto como um veículo autônomo, um robô móvel autônomo (AVG), mas mesmo assim, as estratégias de controle devem ser consideradas os aspectos de dirigibilidade segura e conforto dos passageiros. O sistema de controle, que será desenvolvido, será responsável por automatizar a tarefa de conduzir uma cadeira de rodas, onde se tenta atingir um sistema de controle robusto capaz de seguir uma linha desenhada no chão. Assim para o desenvolvimento do controle foram criados novos sistemas no kit de motorização, ou seja, um modulo que pode ser acoplado a ele.

2. ARQUITETURA DO SISTEMA

A navegação é uma das competências mais desafiadoras exigidas de um robô móvel de acordo com Siegwart (2004). O sucesso exige noções básicas de quatro blocos de navegação: a percepção, o robô deve interpretar seus sensores para extrair dados significativos; a localização, o robô deve determinar a sua posição no ambiente, a cognição, o robô deve decidir como agir para alcançar seus objetivos, e controle do movimento, o robô deve modular saídas de seu motor para atingir a trajetória desejada

Neste trabalho a cadeira de rodas passará a ser vista como um veículo autônomo, ou seja, um robô móvel autônomo (AVG), porém, mesmo, desta forma, nas estratégias de controle devem ser considerados os aspectos de dirigibilidade segura e o conforto do passageiro. Assim o kit de motorização apresentado na fig.1 é visto como um robô móvel. Ele é composto basicamente por baterias de 12V ligadas em serie, dois motores DC de 24V ligados a um sistema de transmissão e a estrutura de suporte dos componentes e de fixação na cadeira de rodas.



Figura 1. Kit de motorização para cadeiras de rodas manuais

Com base nas teorias, o sistema de controle do robô móvel deste trabalho pode ser considerado como mostrado na fig. 2. As entradas principais são sensores para detectar o caminho e os encoders e a saída do sistema é a velocidade dos dois motores DC. O sistema de navegação é executado por microcontroladores da Microchip da serie PIC® e também inclui alguns circuitos adicionais para normalizações dos sinais e dos filtros. Este sistema de navegação é composto por três microcontroladores no qual apresentam um mestre (“Master”) e dois escravos (“Slave”) que são comandados pelo principal. Os escravos (“Slave”) são responsáveis pelo controle da velocidade dos motores e o mestre (“Master”) é responsável pela leitura dos sensores e comandar os escravos.

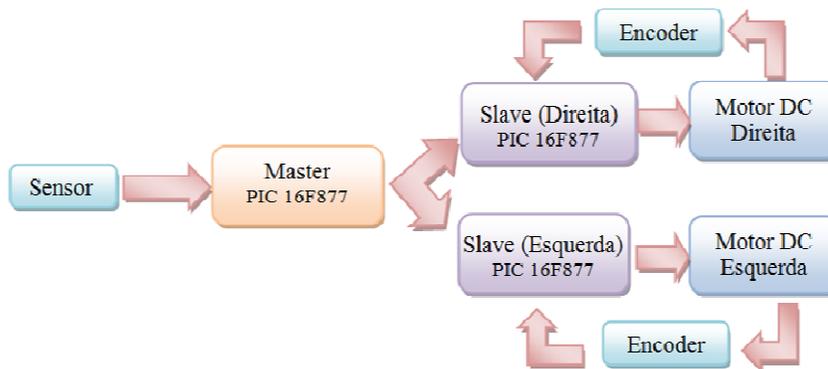


Figura 2. Diagrama simplificado do sistema de controle

3. SISTEMA DE CONTROLE

O sistema controle, que será desenvolvido, será responsável pela automatização da tarefa de condução de uma cadeira de rodas, onde se busca obter um sistema de controle robusto capaz seguir uma linha e atingir um objetivo. A cadeira de rodas seguirá uma trajetória planejada logo o principal objetivo é determinar o sistema de comunicação para controle em malha fechada da velocidade de cada roda e para unidade de controle do seguimento de trilhas.

O modelo do controle da velocidade do robô projetado permitiu um sistema de controle separado para cada roda no qual possibilita o envio de comandos diferentes para cada roda separadamente. O erro da velocidade de cada roda é corrigido em relação ao valor de referência de cada uma delas. As especificações eletrônicas adotadas para o controle da velocidade conforme Onwubolu, (2006) são:

- Controle genérico do motor DC baseado no PWM (“Pulse Width Modulation”)
- Adaptação da voltagem para atender as especificações dos equipamentos

- Implementação do controle em malha fechada.

A figura 3 apresenta a plataforma do kit de motorização mostrando o fluxo de informações entre os componentes. O sistema foi desenvolvido para que o kit de motorização seja capaz de movimentar perfeitamente em linhas retas e realizar algumas curvas, assim para seguir uma linha reta os motores devem girar na mesma velocidade e em velocidades diferentes para realizar curvas. Devido a esta necessidade foi sugerido o uso de um sistema de controle separado para cada roda. O terceiro controle do sistema é representado como controlador mestre (“master”), ele é responsável por comandar todo o sistema enviando os comandos da velocidade.

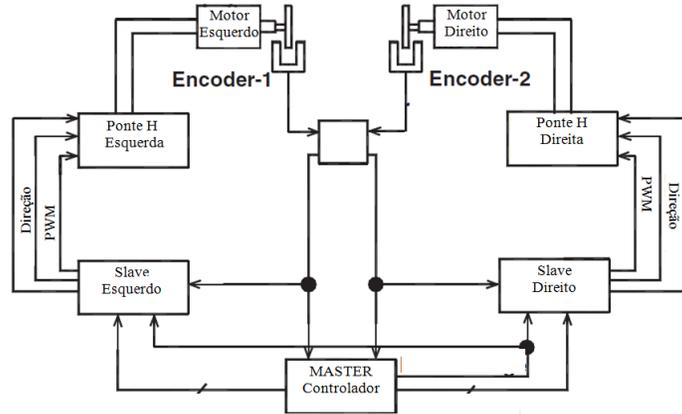


Figura 3. Fluxo do controle para o kit de motorização (adaptado de Onwubolu, 2006)

3.1. Sistema de Comunicação

As interfaces seriais mais utilizadas na maioria dos PICs 16F877 são a USART, SPI (“Serial Peripheral Interface”) e I2C (“Inter-integrated circuit”). Segundo Bates (2006), a comunicação serial exige apenas um sinal de conexão, logo o número total de conexões de dados pode ser reduzida a dois ou três, incluindo o terra. As interfaces seriais mais utilizadas em PICs 16F877 são os USART, SPI (Serial Peripheral Interface) e I2C (Inter-circuito integrado).

De acordo com Bates (2006), o SPI é simples e rápido, utilizando um sistema de endereçamento a base de hardware enquanto o I2C é mais complexo e podendo ser abordado como software. Assim neste projeto será utilizada a comunicação SPI.

A tecnologia de comunicação SPI (Serial Peripheral Interface) foi criada pela Motorola para a linha de processadores da família MC68K. O SPI é um protocolo síncrono, onde o mestre é responsável por gerar o “clock” do sistema. Seu pino SCK deve ser configurado como saída e o pino SCK do escravo deve ser configurados como entrada como mostrado na figura 4.

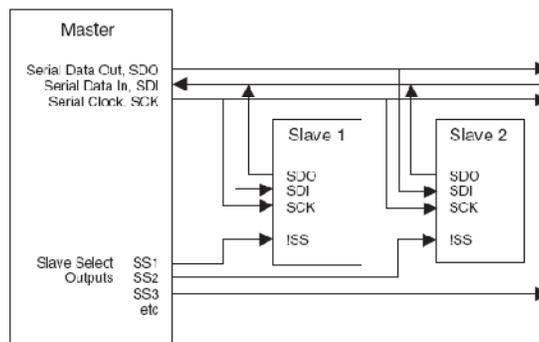


Figure 4. Comunicação SPI (Bates, 2006)

Assim o PIC Master recebe os valores dos sensores e manda os comandos para os dois Slaves que comandam os motores DC, o controle da velocidade utilizado foi um PID e o controle da posição, a leitura dos sensores, também usou um PID, mas diferencial. Logo, para cada comando enviado pelo Mater, os motores se comportam de uma determinada maneira.

3.2. PID

Conforme Knospe (2006) controle proporcional – integral – derivativo (PID) é certamente hoje a estratégia mais utilizada em controle. Estima-se que mais de 90% do controle em malha fechada empregam o controle PID, muitas vezes o ganho derivativo é definido como zero (controle PI). Ao longo do último meio século, um grande esforço acadêmico e industrial concentrou-se em melhorar o controle PID, principalmente nas áreas de regras de tuning, de identificação e técnicas de adaptação.

Um controlador PID é a união do proporcional, derivativo e integral. O controlador PID pode ser executado em tempo discreto ou contínuo. O PID é um algoritmo robusto de fácil compreensão que pode proporcionar excelente controle no desempenho apesar de variadas características dinâmicas existentes no processo segundo Bishop (2001).

A função de transferência é geralmente escrita como:

$$G(s) = K_p + K_I \frac{1}{s} + K_D s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (1)$$

Onde K_p é o coeficiente de proporcionalidade, T_I é período integral e T_D é o período derivativo. Segundo Ang (2005) os três termos do ganho possuem as seguintes funcionalidades:

- O termo proporcional (K_p) proporciona uma ação de controle global proporcional ao sinal de erro através do fator de ganho.
- O termo integrante (K_I) reduz os erros através do estado estacionário de baixa frequência por um integrador.
- O termo derivado (K_D) melhora resposta transiente através de alta frequência, por uma compensação diferencial.

Para a utilização no kit, ou seja, no microcontrolador a eq. 1 deve ser discretizada e escrita em função do erro. O erro é calculado em função da diferença do valor lido pelo encoder e o valor desejado, ou seja, o valor enviado pelo controlador mestre. O controlador PID trabalha para forçar o erro da velocidade e posição para zero para que o veículo esteja sempre na posição e velocidade desejada. Assim a equação discreta de acordo com Isermann (1977) chamada Fast PID pode ser escrita como sendo:

$$y(k) = y(k-1) + K_p[e(k) - e(k-1)] + K_I e(k-1) + K_D[e(k) - 2e(k-1) - e(k-2)] \quad (2)$$

Onde e é o erro, k é a amostragem do sistema e os K_i são os ganhos. O termo integrante de uma resposta de segunda ordem para uma etapa sinal é mostrado na região de sombra da fig. 5.

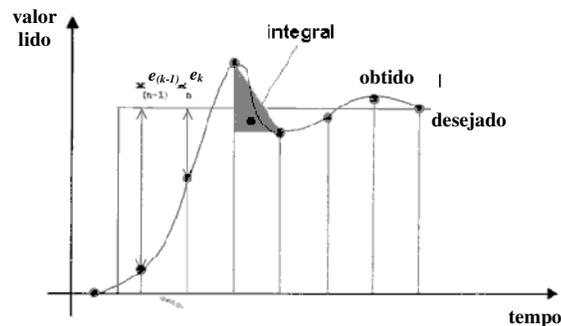


Figura 5. Abordagem discreta de uma resposta de segunda ordem para um sinal de entrada etapa. (Silva, 2008)

3.3. PWM

PWM (“Pulse Width Modulation”) ou modulação por largura de pulso é um método de controlar a quantidade de potência a uma carga sem as perdas ocorridas normalmente devido à queda de tensão, esse controle é feito de trens de pulso como apresentado na fig. 6. Para esta geração foi utilizado o microcontrolador PIC16F877, este microcontrolador possui duas portas (C1 e C2) dedicados à captura, comparação e modulo de geração PWM (CCP).

O módulo CCP contém um registrador de 16bits que pode operar como um registrador de captura, comparação ou como um PWM Duty Cycle. Segundo Ordonez (2005) o modulo CCP pode realizar as seguintes funções:

- capturar a largura de um pulso entre todas as subidas ou descidas deste,
- capturar a largura de um pulso, considerando 4 ou 16 subidas do mesmo,

- compara uma largura de pulso com um segundo valor previamente estabelecido,
- gerar uma saída de pulsos com modulação de largura (PWM).

Neste trabalho, as portas do CCP foram ligadas ao encoder e ao motor DC, porém cada PIC 16F877 apresenta apenas duas portas CCP sendo necessários quatro portas para os dois motores e dois encoders. Logo cada módulo de motorização necessita de um PIC para o controle. Sendo esta a necessidade da utilização de três PIC para o controle da locomoção do kit de motorização.

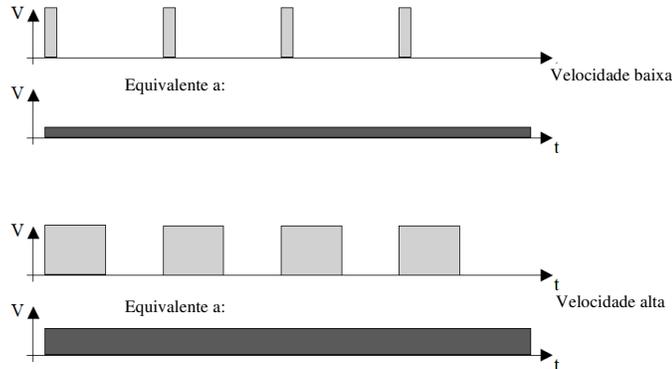


Figura 6. Representação do PWM (Adaptado de Bräunl, 2006)

4. MOTOR DC

Um robô móvel precisa de mecanismos de locomoção que lhe permitem deslocar sem limitação durante todo o seu ambiente. Assim, conforme apresentado anteriormente a locomoção do kit de motorização é controlado, ou seja, feita por dois motores DC de 24V. Estes são colocados em cada lado do corpo do robô e também pode ser girado nos dois sentidos. A direção e velocidade das rodas são controladas com o PIC16F877 e H-ponte.

Um motor DC é um dispositivo eletromecânico que pode girar sobre seu eixo usando uma fonte de alimentação DC. A direção pode ser alterada invertendo a tensão aplicada no motor e a velocidade pode ser controlada através do controle da potência média para o motor com o sinal PWM.

Um circuito de ponte completa fornece uma grande funcionalidade. Este circuito permite a operação dos quatro quadrantes do motor DC. O motor pode ser executado em ambas as direções frente e trás, e é adequada para veículos elétricos, ferramentas elétricas, cadeiras de rodas, ou outra qualquer aplicação que necessita a operação frente e trás. A figura 7 mostra um esquema da ponte H utilizada no kit de motorização.

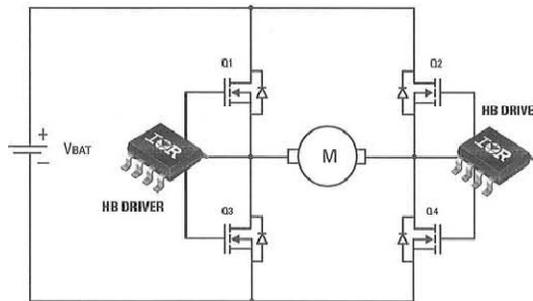


Figura 7. Circuito do motor DC com uma ponte completa (Bolloju, 2006)

A construção do circuito de controle do motor foi dividida em dois módulos. O primeiro módulo é o circuito com a lógica da mudança de direção e de habilitação e o sistema de comando para a ponte H composto pelo o componente IR 2110. O segundo módulo é o circuito de potência, ou seja, a ponte completa composta pelos mosfets. A figura 8 mostra esses módulos conectados.

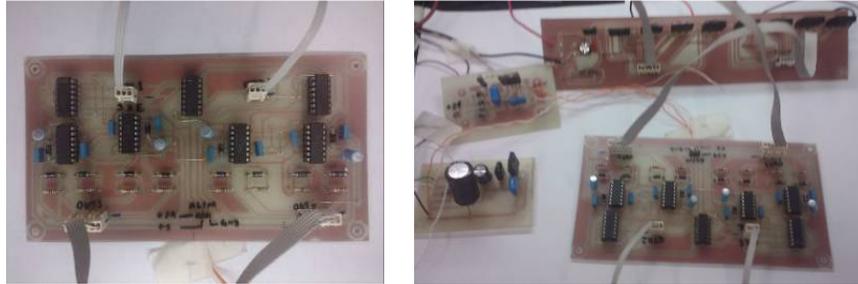


Figura 8. Sistema de Controle IR 2110 e Ponte H

5. SENSOR

Segundo Heinem (2007), os sensores são usados em robótica móvel para que seja possível perceber o ambiente e assim poder comandar os atuadores de forma adequada. Para um melhor desempenho, um robô pode utilizar vários sensores ao mesmo tempo, integrando os dados destes sensores e fazendo com que seus atuadores se comportem de forma correta.

Um sensor é um dispositivo essencial que pode detectar e / ou medir um aspecto do ambiente e pode produzir um sinal elétrico proporcional, sendo esta informação lida e interpretada por um sistema inteligente como neste trabalho um microcontrolador.

Há uma enorme gama de sensores desenvolvidos para aplicações específicas na área de engenharia. Alguns dos mais comumente utilizados na área de robótica são câmeras de vídeos, infravermelho, laser, sonar, acelerômetro, encoder e sensores fotoelétricos. No kit de motorização foram utilizados encoders e sensores fotoelétricos.

O sensor fotoelétrico converte um sinal luminoso (branco ou preto) em um sinal elétrico que é processado no microcontrolador. No circuito foram utilizados cinco sensores alinhados fixados na frente do robô como mostra na fig. 9.

O sensor fotoelétrico baseia-se na transmissão e recepção de luz, podendo ser refletida ou interrompida. Ele é composto basicamente por um transmissor (diodo emissor de luz) e o receptor (fototransistor). Assim o transmissor emite o feixe de luz e o receptor recebe este feixe de luz gerando assim um sinal elétrico.

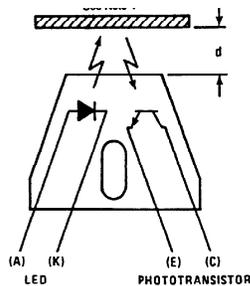


Figura 9. Sensor Fotoelétrico (Datasheet OPB742 ,2010)

Existem vários tipos de codificadores para detectar o movimento na roda, neste trabalho usaremos o encoder por ser um sensor simples e de fácil construção. Os encoders são sensores proprioceptivos de posição angular, que permitem ao sistema de controle conhecer a velocidade ou o ângulo da roda com precisão. Os encoders não fornecem informações relativas ao ambiente como foi abordado anteriormente no conceito de sensores, mas sim relativas ao próprio robô ou sistema segundo Heinem (2007).

O encoder é composto de uma fonte de luz que pode ser um Diodo Emissor de Luz (LED) e um detector que é normalmente um fototransistor. Os encoders funcionam por meio de um disco com ranhuras que se gira entre a fonte de luz e o detector e este disco é acoplado no eixo da roda ou motor como mostra na fig. 10. A medida que o eixo gira o disco passa entre a fonte de luz e o receptor, fazendo com que o feixe de luz seja interrompido ou não quando encontra parte sem ranhura gerando assim uma onda pulsante. O encoder gera um pulso para um determinado incremento de rotação tendo assim através da contagem dos pulsos a distância percorrida e sabendo tempo gasta para percorrer esta distancia consegue-se calcular a velocidade.

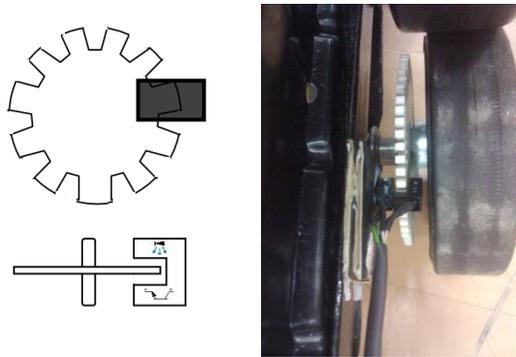


Figura 10. Sensor Encoder

6. PROTÓTIPO

O robô móvel, ou seja, o kit de motorização necessita cumprir basicamente um objetivo fundamental: seguir uma linha desenhada no chão. Para este objetivo é considerado uma área de trabalho no qual deve ser pré-definida, com uma linha de caminho e nenhuma condição de obstáculos. Este caminho a seguir não é conhecido antecipadamente podendo ser redesenhado a qualquer momento anterior a passagem do robô.

Os sensores alinhados detectam a linha padrão desenhada no chão definindo assim a posição na qual o robô deve se mover. A direção a qual o robô deve se mover é a relação entre as velocidades nas rodas e o centro da linha. A fig. 11 mostra o kit de motorização seguindo uma linha desenhada no chão.



Figura 11. Protótipo do kit de motorização para cadeira de rodas

7. CONCLUSÃO

O objetivo deste projeto é construir um protótipo do kit de motorização para testar e desenvolver a teoria de controle. Este protótipo atende ao objetivo desejado no momento sendo o de seguir uma linha no chão. Este artigo apresenta a concepção, execução e os resultados do kit de motorização.

O usuário pode utilizar o controle do kit de motorização ao percorrer longas distancias sem a muita alteração da trajetória ligando o dispositivo de controle quando necessário. Este sistema também pode ser usado para o retorno na posição desejada, assim o usuário quando não necessitar utilizar mais do kit de motorização pode colocar o kit na linha que o kit retornará para a posição inicial.

O resultado inicial é bastante promissor, a próxima etapa, ou seja, os trabalhos futuros será aplicar outros tipos de controle como reconhecimento do ambiente ao redor. Por conseguinte, este trabalho é uma contribuição importante em relação à mobilidade e independência das pessoas com necessidades especiais.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) pelo apoio e incentivo ao longo dos anos.

9. REFERÊNCIAS

- Ang, K. H., Chong, G., 2005, "PID Control System Analysis, Design and Technology", IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol 13, no 4, pp. 559-576.
- Bates, Martin, 2006, "Interfacing PIC Microcontrollers Embedded Design by Interactive Simulation", Elsevier, 289 p.
- Bishop, Robert H. and Dorf, Richard C., 2001, "Sistema de Controle Modernos", 8º ed. Rio de Janeiro: LTC editora.
- Bolloju, Vijay, 2006, "PWM Control Methods Increases Efficiency, Reliability and Extend Battery Lifetime", Bodo's Power Systems, International Rectifier, 15 Março 2010 <http://www.irf.com/pressroom/articles/463bps0708.pdf>
- Bräunl, Thomas, 2003, "Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems", Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Datasheet OPB743, 2010, "Reflective Object Sensors", Alldatasheet.com, 19 Março 2010, <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/86677/OPTEK/OPB742.html>.
- Heinem, M. R., 2007, "Controle Inteligente do Caminhar de Robôs Móveis Simulados", dissertação, orientado Fernando S. Osório, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Ciências Exatas e Tecnologia.
- ISERMANN, R., 1977, "Digitale Regelsystem", Springer Verlag, 554p.
- Knospe, Carl, 2006, "PID Control", IEEE Control Systems Magazine, pp 30-31.
- Onwubolu, G. C., Jannif, I., Tazil, M. and Singh, 2006, "Mobile robotic platform controller with an effective data communication protocol", proc. IMechE, vol. 220, Part B: J. Engineering Manufacture.
- Ordonez, E. D. M. , et al, 2005, " Microcontroladores e FPGAs – Aplicação em Automação", São Paulo: Novatec , 384p.
- Siegwart, Roland and Nourbakhsh, Illah R, 2004, "Autonomous Mobile Robots. Massachusetts Institute of Technology", 321 p.
- Silva, L. C. A., et al , 2008, Strategies of Control Applied in Autonomous Guided Vehicles , Society of Automotive Engineers Inc. .

10. DIREITOS AUTORAIS

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



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

THEORY OF AUTONOMOUS CONTROL OF A WHEELCHAIR

Ludmila Corrêa de Alkmin e Silva, ludmila@fem.unicamp.br¹

Geraldo Gonçalves Delgado Neto, geraneto@fem.unicamp.br¹

Vivianne Vieira Delgado, vivianne@fem.unicamp.br¹

Fernanda Cristina Corrêa, fernanda@fem.unicamp.br

Franco Giuseppe Dedini, dedini@fem.unicamp.br¹

¹ UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas – FEM, Faculdade de Engenharia Mecânica, Rua Mendeleiev, 200 – Cidade Universitária “Zeferino Vaz” Barão Geraldo – Campinas – SP – Caixa Postal: 6122 – 13.083-970

Abstract. *This article aims to a control system of the power kit for manual wheelchairs. This power kit is a device which lets a manual wheelchair to become a motorized wheelchair. Once this work is the development of a control in which the kit will follow a line drawn on the floor, and in special cases such as when the User uses the same path or want to return the kit in an initial position, the User to trigger the system kit will follow a trajectory of the floor. The mark on the ground is read with the aid of infrared sensors, the speed is read by an encoder fixed on wheels. The speed and position of the power kit are controlled by microcontrollers interconnected via a serial communication. The experimental results of this control system proved effective, the power kit with manual wheelchair can follow a path previously proposed and beyond the power kit, the control system can be used with an AVG (Automated Guided Vehicle).*

Keywords: *wheelchair, control, PID, motor*