



XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

PROJETO MECATRÔNICO DE UM ROBÔ MÓVEL COM RODAS (RMR)

Alex Rodrigues Fricelli, Guilherme Barboni Paschoal, Júlio Rodrigues Goulart, Lucas Godoi de Oliveira, Rafael Valério Garcia e Roberto Santos Inoue

UFSCar, Universidade Federal de São Carlos, Curso de Engenharia Elétrica
Campus São Carlos - CEP 13565-905 – São Carlos – São Paulo

E-mail para correspondência: alex_fricelli@hotmail.com, gbpaschoal@hotmail.com, juliorgt@gmail.com, lucas.ee09@gmail.com, rvgarci@gmail.com e rsinoue@gmail.com

Resumo

O propósito deste artigo consiste em elaborar um projeto mecatrônico de modelamento, simulação e construção de um robô móvel com rodas (RMR). Inicialmente foram feitos desenhos do sistema real, utilizando o *software Solid Edge*, para obtenção de parâmetros construtivos como dimensões, massa e momento de inércia. A simulação da estratégia de controle, baseada na lei de controle cinemática, foi realizada por meio do *software MATLAB*, utilizando um modelo descrito por equações cinemáticas para representar o robô. A execução da estratégia de controle foi realizada em um computador, que envia através de comunicação serial as informações necessárias ao microcontrolador, que por sua vez controla o acionamento dos motores.

Palavras-chave: robô móvel com rodas, microcontrolador, controle cinemático.

I. Introdução

“Um robô é um mecanismo multifuncional reprogramável projetado para mover materiais, ferramentas, ou dispositivos especializados através de movimentos variados”, conforme definição dada pelo *Robot Institute of America (RIA)*.

Robôs móveis são capazes de locomover-se no ambiente em que estão inseridos. Fisicamente, um robô móvel pode ser decomposto em um mecanismo para fazer o robô locomover-se pelo ambiente, em um ou mais computadores para controlar o robô e uma coleção de sensores com os quais o robô obtém informação do ambiente.

Neste artigo será desenvolvido o projeto mecatrônico de um robô móvel com rodas controlado por dois métodos diferentes, “manual” e “automático”, bem como a criação de um módulo para simular a trajetória do robô. O controle manual consistirá simplesmente da movimentação do RMR com base em movimentos pré-definidos. O controle “automático” será realizado com base no controle cinemático, apresentado em Siegwart (2004). Para o sistema de localização será utilizada a Transformada de Hough Circular, descrita em REIS (2006). Os controles do RMR serão operados via Matlab utilizando comunicação serial remota.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção II será apresentado o modelo e controle cinemático do RMR, respectivamente. Na Seção III serão mostrados o projeto mecânico (desenho e construção física do RMR), o projeto eletrônico (conexão de dispositivos eletrônicos e construção da PCI), a programação do microcontrolador e o sistema de localização. Na Seção IV os resultados. E na Seção V conclusões sobre o trabalho desenvolvido.

II. Modelo e controle cinemático do RMR

A Figura 1 apresenta a representação cinemática do RMR, sendo:

- X_G e Y_G os eixos de referência da posição objetivo;
- X_I e Y_I os eixos de referência da origem do sistema cartesiano;
- X_R e Y_R os eixos de referência da posição atual do robô;
- \hat{x} : vetor dado pela direção do ponto central entre as rodas e a posição final;

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
 Artigo CREEM2012

- β : o ângulo entre o vetor \hat{x} e o eixo X_G ;
- θ : ângulo os eixos X_R e X_G ;
- α : ângulo entre X_R e \hat{x} ;
- v : velocidade linear do RMR;
- ω : velocidade angular do RMR.

Assumindo condições ideais, o contato entre a roda e o plano horizontal é reduzido a um único ponto durante o movimento. As rodas estão fixas, sendo que o plano de cada roda permanece na vertical e ocorre a rotação em torno do seu eixo horizontal. São assumidos também que não ocorre derrapagem ou escorregamento das rodas e estas não se deformam e se movem em um plano horizontal não deformável. Isto significa que a velocidade do ponto de contato entre cada roda e o plano horizontal é igual a zero.

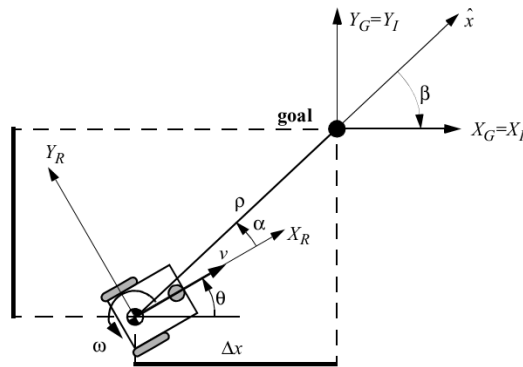


Figura 1 – Diagrama para representação cinemática do RMR.

Conforme apresentado em (Siegwart *et al.*, 2004), o modelo cinemático do RMR apresentado na Figura 1 é dado pela Eq. (1).

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

Para apresentar o controle cinemático é necessário realizar uma transformação de coordenadas, de um sistema cartesiano para a forma polar; para isso são usadas as Eqs. (2), (3) e (4).

$$\rho = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (2)$$

$$\alpha = -\theta + \text{atan2}(\Delta y, \Delta x) \quad (3)$$

$$\beta = -\theta - \alpha \quad (4)$$

Feita a transformação de coordenadas, a lei de controle do RMR que fornecem as velocidades linear e angular são dadas pelas Eqs. (5) e (6), respectivamente, como feito em (Siegwart *et al.*, 2004). Sendo K_ρ , K_α e K_β os ganhos do controlador cinemático.

$$v = \kappa_\rho \quad (5)$$

$$\omega = \kappa_\alpha \cdot \alpha + \kappa_\beta \cdot \beta \quad (6)$$

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

E a Equação (7) relaciona as velocidades linear e angular do RMR com as velocidades angulares das rodas do RMR, sendo r o raio das rodas, b a distância entre uma roda atuada e o eixo de simetria do robô, $\dot{\theta}_d^d$ o deslocamento angular da roda direita e $\dot{\theta}_e^d$ o deslocamento angular da roda esquerda.

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_d^d \\ \dot{\theta}_e^d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/r & b/r \\ 1/r & -b/r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (7)$$

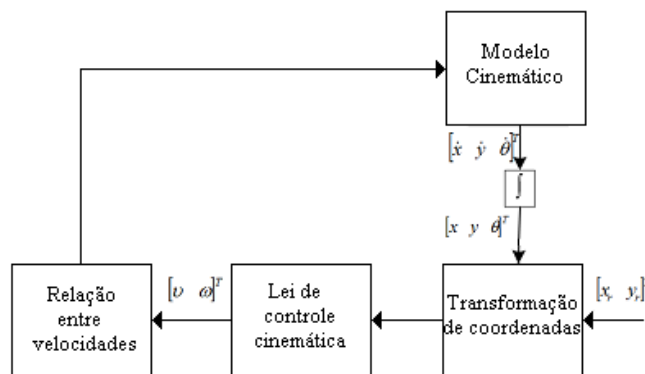


Figura 2 – Diagrama de simulação do RMR.

III. Metodologia

A execução do trabalho foi fracionada em três partes principais: projeto mecânico, projeto eletrônico e programação. O projeto mecânico refere-se ao planejamento e construção da estrutura física do robô. A segunda etapa contém os métodos de conexão entre os dispositivos eletrônicos empregados, bem como a confecção da placa de circuito impresso. Por último, a programação que integra os dois sistemas projetados anteriormente, por meio da execução de algoritmos de controle e determinação dos comandos de acionamento dos motores em função da operação desejada para o robô.

A. Projeto Mecânico

A Figura 3 apresenta a montagem final do RMR, desenhos em *Solid Edge 3D* foram realizados com a finalidade de se obter parâmetros utilizados nas simulações. As peças projetadas nesta fase do projeto são descritas pela Tabela 1.

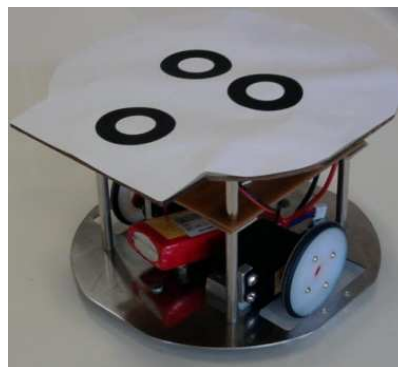


Figura 3 – Montagem final do Robô Móvel com Rodas.

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

Tabela 1 – Peças constituintes do robô.

Item	Descrição	Material	Quantidade [pç.]
01	Placa base do robô	Aço Inoxidável AISI 304	01
02	Suporte de fixação do motor	Alumínio	04
03	Motor	Item comercial	02
04	Cruzeta de fixação das rodas	Polímero rígido	02
05	Roda	Polímero rígido	02
06	Pneu	Elastômero	02
07	Prisioneiros	Aço Inoxidável AISI 304	04

B. Projeto Eletrônico – Conexão PIC18F4520 – Ponte H (L293D)

O RMR é composto por diversos blocos, tanto computacionais quanto físicos, conforme Figura 4.

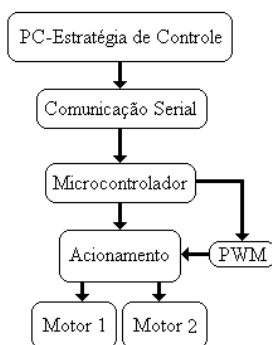


Figura 4 – Diagrama de blocos do RMR.

As conexões entre o microcontrolador e o circuito da Ponte H foram feitas de forma a possibilitar o controle da velocidade e sentido de rotação do motor através das saídas PWM (pinos CCP1 e CCP2) e RD (RD1 a RD4). As quatro saídas do L293 foram conectadas aos dois motores da seguinte maneira: OUT1 e OUT2 (pinos 3 e 6, respectivamente) ao motor 1, e OUT3 e OUT4 (pinos 11 e 14, respectivamente) ao motor 2. O sentido de rotação dos motores é definido pela combinação das entradas IN1 a IN4 (ligadas aos pinos RD0 a RD3, respectivamente) da ponte H, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Sentido de rotação dos motores de acordo com os pinos do L293.

Motor 1			Motor 2		
IN1	IN2	Sentido	IN3	IN4	Sentido
1	0	Horário	1	0	Horário
1	1	Anti-Horário	1	1	Anti-Horário

C. Programação

i. Microcontrolador

O código embarcado no PIC18F4520, executa funções de comunicação serial com o computador e determina quais motores devem ser acionados pelo *drive*, além de gerar o sinal PWM que irá controlar a velocidade de rotação. Para a construção deste código, duas funções especiais do compilador foram usadas, `OpenPWMx` (período) e `SetDCPWMx` (`duty_cycle`).

Na comunicação, o computador envia uma palavra com 20 caracteres, na qual 7 caracteres (M-R/L-XXXX-F/B) são aproveitados pelo PIC. O microcontrolador lê o sinal ‘M’ e inicia a rotina de nova mensagem. A partir desse ponto as letras ‘L’ ou ‘R’ fazem referência ao controle da roda esquerda e roda

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

direita respectivamente. Um número de 0 a 1023 faz referência ao *duty cycle* do PWM e por fim as letras ‘F’ e ‘B’ referenciam o movimento para frente ou para trás respectivamente.

ii. MATLAB

Os controles de posicionamento do RMR, definidos pelo comando manual e modelo cinemático, foram realizados via o software *Matlab*. No controle manual, realizado em conjunto da interface Guide (representado pela figura 26), os botões, representados por setas (cima, baixo, sentido horário, sentido anti-horário, etc), realizam modificações nas letras “L”, “R”, “F” e “B” da mensagem enviada via serial e são responsáveis pelo controle de sentido do movimento do RMR; enquanto que sliders (Roda Esquerda, Gira-Frente-Trás, Roda Direita) são responsáveis pelo controle de velocidade das rodas do robô, realizado através de modificações no *duty cycle* dos PWMs.

No controle denominado automático, selecionado pelo usuário por meio da interface (radio Button), é processado um algoritmo de controle de posicionamento do robô, em malha fechada, com auxílio de uma máscara impressa em papel. Um dispositivo de vídeo, webcam, capta a imagem atual do RMR no plano. A partir desta, um algoritmo de posicionamento captura um frame deste vídeo armazenando a imagem RGB em uma matriz, na qual é aplicada uma função para extrair os níveis de cinza da imagem. Em seguida, é aplicada a transformada de Hough Circular, algoritmo de localização do robô. Este algoritmo analisa a máscara formada por três círculos e por meio de cálculos trigonométricos e condições oportunas, extrai o posicionamento angular e linear do robô referido ao plano xy, para maiores detalhes consultar REIS (2006). Desta forma, é atualizado o estado atual do robô. A partir do estado atual e da trajetória (alvo) indicada pelo usuário, são calculadas as velocidades linear e angular do robô, e conseqüentemente as velocidades angulares das rodas esquerda e direita. Uma nova função é carregada para analisar numericamente os valores destas velocidades e condicionar a parametrização da palavra que é então enviada via serial para o microcontrolador. A cada ciclo do algoritmo a posição do robô é atualizada no gráfico por meio da movimentação do objeto, bem como são impressas na tela os valores da posição xy, orientação angular e velocidade das rodas.

IV. Resultados

A. Integração dos sistemas: testes de operação do RMR

A Figura 5 apresenta a interface gráfica de controle do RMR contendo resultados de uma simulação no modo automático. Primeiramente, o gráfico posicionado a esquerda, parte inferior da figura, ilustra a imagem em tempo real do robô captada pela câmera. Acima desta, tem-se o gráfico da trajetória realizada pelo RMR, onde a linha vermelha refere ao caminho percorrido e os círculos azuis, o destino. Neste caso, foram passadas ao robô quatro trajetórias distintas, as quais foram alcançadas com sucesso.

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

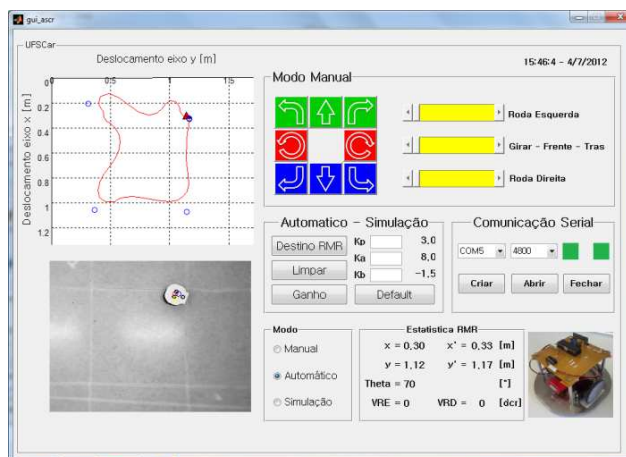


Figura 5 – Operação do RMR.

V. Conclusão

Neste artigo foi desenvolvido o projeto de um robô móvel com rodas diferencial, realizado em um período de 4 meses como aplicação da disciplina de Tópicos em Mecatrônica. A realização deste projeto possibilitou a compreensão de estudos quanto à movimentação e mecânica de um RMR, assim como, compreensão de etapas envolvidas no projeto eletrônico e controle de posicionamento do mesmo.

Os desenhos realizados no software Solid Edge 3D, possibilitaram a obtenção de dados como massa, torque de torção, distâncias entre pontos estratégicos, momento de inércia, entre outros.

No projeto eletrônico, desenvolveu-se um circuito que recebe instruções de um computador responsável por controlar, remotamente, a movimentação e o posicionamento do robô. Utilizando componentes fundamentais como uma ponte H, um PIC18F4520, um conversor MAX232 e um módulo de comunicação via rádio, faz-se com que informações, enviadas, sejam interpretadas pelo microcontrolador e traduzidas em um comando de acionamento e velocidade dos motores do robô.

Utilizando o software Matlab, foram criadas funções que tratassem da modelagem do robô, da aquisição e tratamento das imagens obtidas via câmera para localização do robô, da geração e transmissão de mensagens que seriam interpretadas pelo controlador, funções periféricas, como conversão de unidades, parametrização de grandezas e adequação de coordenadas.

Criou-se, por fim, uma interface gráfica do tipo homem-máquina, “amigável”, que contém informações necessárias ao entendimento e funcionamento do robô, como imagem com a leitura da localização do robô, comandos para movimentar o robô, entre outros.

Ao fim, o RMR apresentou funcionamento pleno para ambos os métodos de controle comprovando um resultado satisfatório, que abrange toda a proposta inicial em criar o robô móvel com rodas com controle de posição via aquisição de imagens.

VI. Referências bibliográficas

G. I. Ueda – DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ MÓVEL PARA NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA, dissertação submetida a Universidade de São Paulo, Julho 2009.

Reis, G. A., “Controle H-infinito Não Linear de Robôs Móveis com Rodas”, Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

Siegwart, R; Noubarkhsh, I. R., “Introduction to Autonomous Mobile Robots”, The MIT Press, Massachusetts, 321p., 2004