

CONTROLE NEURO-ADAPTATIVO DE TRAJETÓRIA DE ROBÔS MÓVEIS

OTACÍLIO DA M. ALMEIDA

*Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará
Av. Mister Hull S/N Campus do Pici Fortaleza-Ceará
E-mail: otacilio@dee.ufc.br*

FRANCISCO V. DE ANDRADE

*Cefet- Ceará Uned Cedro
Al. Dom Quintino S/N Prado Cedro-Ceará
E-mail: vanier_andrade@hotmail.com*

Abstract— This article goal is implementation of a mobile robot trajectory system control using predictive control using neural network. The trajectory is programmed and sent to mobile robot via radio link. The trajectory control is obtained on the speed control of motors, giving linear and angular movements, for this, the computer gets the running time for each motor. The complete system use two neural-networks: One of these is used for controlling the right and the other for left motor. Each individual controller is a neural network with three layers and the control horizon used was 5. The robot was implemented with three microcontrollers PIC 16F877A. The communication between these was did using an I2C network. The main controller is centralized and was running on a PC, whose software was implemented in MATLAB. The software on microcontrollers did the control action and data collection. The microcontrollers software was implemented in C language.

Keywords— Control, Neural, Predictive, Trajectory, Mobile.

Resumo— O objetivo deste artigo é a implementação de um sistema de controle de trajetória usando controle preditivo usando redes neurais. A trajetória é programada e enviada ao robô móvel via rádio. O controle de trajetória é obtido através do controle de velocidade dos motores de tração, resultando em movimentos lineares e angulares, para isso o computador calcula o tempo de ativação de cada motor. O sistema completo usa duas redes neurais: Uma para o controle do motor direito e a outra para o motor esquerdo. Cada controlador individual é uma rede neural com três camadas e foi usado um horizonte de controle de 5. O robô foi implementado com três micro controladores PIC 16F877A. A comunicação entre estes usou uma rede I2C. O controlador principal é centralizado em um PC, cujo software foi implementado em MATLAB. O software dos micro controladores executa a coleta de dados e ação de controle. O software dos micro controladores foi implementado em C.

Palavras-chave— Controle, Neural, Preditivo, Trajetória, Móvel.

1 Introdução

A robótica móvel tem evoluído bastante nos últimos anos, com sua crescente aplicação em muitas áreas. Tarefas como exploração, transporte, busca, dentre outras, tem encontrado na robótica móvel uma grande aliada.

Determinados tipos de tarefas que são perigosas ao ser humano podem ser executados por robôs com precisão e rapidez.

Recentemente a NASA enviou dois robôs móveis para exploração do planeta Marte. Os robôs OP-PORTUNITY e SPIRIT enviam dados e imagens do solo marciano.

O objetivo deste trabalho é controlar a trajetória de um robô móvel através de técnicas de controle preditivo, sendo sua implementação através de redes neurais.

Trata-se de um robô não autônomo, uma vez que a trajetória deste é programada e enviada ao robô móvel.

2 Desenvolvimento do trabalho

2.1 Sistemas Móveis

O problema relacionado com o uso de robôs móveis, qualquer que seja a tarefa a ser executada, recai sobre as condições em que o mesmo irá operar.

Determinados tipos de tarefas exigem que o robô se desloque por pisos diferentes, ou em condições ambientais que variam.

Essa variação causa mudanças nos parâmetros do sistema a ser controlado, gerando dificuldades na implementação de um controle eficiente.

A modelagem matemática de sistemas móveis, é dificultada por essas variações, bem como pelas não-linearidades e erros de modelagem.

Para sistemas móveis, é necessário, portanto, o uso de controladores que se adaptem a essas variações, tornando estes “robustos” em relação a essas mudanças.

O uso de redes neurais artificiais proporcionou a implementação de sistemas que se adaptam às varia-

ções do ambiente, aliando a vantagem de poder trabalhar com sistemas não-lineares.

O sistema desenvolvido consiste de um controlador executado por um software desenvolvido em MATLAB® e um robô móvel que executa uma trajetória pré-programada. O programa do robô móvel foi desenvolvido em C.

O robô possui dois motores de corrente contínua que são usados para tração nas rodas dianteiras e uma roda traseira livre para execução de manobras.

O envio de dados do controlador para o robô móvel é feito através de um link de rádio. A comunicação entre as partes é bidirecional e half-duplex.

Foi desenvolvido um protocolo simples de comunicação entre o controlador e o robô móvel. Esse protocolo é composto de mensagens simples com um cabeçalho indicando a tarefa a ser executada e um corpo. O envio de mensagem pelo controlador, exige uma resposta do robô móvel. Por exemplo: O envio de entradas de controle pelo controlador exige que o robô aplique aos motores e envie como resposta a velocidade obtida.

As dimensões do robô são 20 cm x 25 cm. O mesmo foi construído numa base de alumínio.

Foram usados três micro-controladores PIC 16F877A para o móvel, pois o mesmo possui características desejáveis para a tarefa, como: Duas saídas PWM, interrupções externas, etc.

Dois micros controladores executam as tarefas de leitura de velocidades e controle dos motores direito e esquerdo e o terceiro executa a função de comunicação com o controlador central. A comunicação entre os três micro-controladores é executada através de uma rede I2C.

A leitura das velocidades de cada motor é feita por encoders montados nos eixos dos motores.

Os encoders foram retirados de um mouse e enviam pulsos para os microcontroladores, gerando interrupções externas. A cada período de amostragem, é feita a contagem do número de pulsos, determinando-se as velocidades.

A escolha de um controle centralizado recai no tipo de tarefa a ser executada, bem como nas limitações dos microcontroladores escolhidos, uma vez que o uso de redes neurais exige o cálculo de matrizes de dimensões que podem ser elevadas em relação à que esses microcontroladores podem trabalhar.

Foram colocadas caixas de redução para tracionar o móvel, pois os motores não forneciam torque suficiente devido ao peso do móvel.

O controle da trajetória executada pelo móvel é realizado pelo controle das velocidades dos motores de tração direito e esquerdo.

A velocidade linear do móvel é dada por:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (1)$$

Sendo V_1 e V_2 as velocidades dos motores direito e esquerdo, respectivamente.

Se os motores tiverem velocidades diferentes, o móvel executa movimentos angulares, com velocidade angular dada por:

$$\omega = \frac{V_1 - V_2}{L} \quad (2)$$

Sendo L a largura do móvel.

A figura 1 mostra o robô móvel.

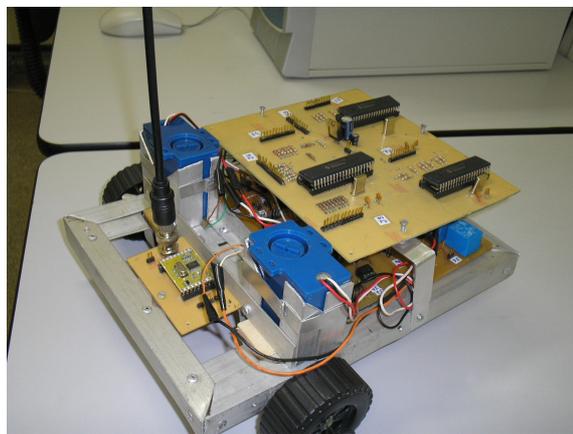


Figura 1. O robô móvel.

2.2 Controle de Trajetória

Conforme salientado, o controle de trajetória de sistemas móveis tem dificuldades devido às mudanças e/ou irregularidades no caminho percorrido por estes.

Assim, se o móvel está se deslocando por um determinado tipo de piso e há uma mudança neste, os parâmetros do sistema a ser controlado variam, gerando dificuldades em relação ao controle.

Portanto faz-se necessário um controlador que se adapte a essas variações do ambiente, tornando o sistema robusto em relação a estas.

A modelagem matemática de um sistema cujos parâmetros variam, torna o controle mais complicado.

Usando leis mecânicas para modelagem do sistema, encontra-se um parâmetro que funciona como distúrbio que é o atrito entre as rodas do móvel e o piso. Este distúrbio é difícil de modelar, pois não se conhece sua dependência com a variável a ser controlada (velocidade).

A proposta deste artigo é fornecer uma trajetória ao robô móvel e o mesmo deve executá-la com o menor erro possível. Essa trajetória é composta de deslocamentos lineares e angulares.

Algumas considerações devem ser feitas neste ponto:

- O trecho no qual o robô irá se deslocar deve estar livre de obstáculos;
- Será definida uma velocidade padrão com a qual o robô deve se deslocar;

A primeira consideração deve-se ao fato de que como a trajetória é programada, a presença de obstá-

culos iria modificá-la, entretanto conforme pode ser visto na figura 1, foram colocados servomotores com o intuito de poderem ser acoplados sensores do tipo sonar, caso se deseje que o robô detecte obstáculos, sendo necessário para tanto modificações no software de controle.

Inicialmente, como o robô desconhece o ambiente no qual irá operar, é necessário que o mesmo adquira dados a fim de treinar o controlador, portanto ao ser inicializado, o robô recebe uma seqüência de dados. Esta seqüência corresponde às entradas que devem ser aplicadas aos motores de tração. O robô devolve o conjunto de velocidade correspondente.

Com estes são determinados os parâmetros iniciais de controlador.

Após esse passo, define-se a trajetória a ser seguida pelo móvel.

Para o treinamento do controlador, foi enviada uma seqüência a ser aplicada ao motor esquerdo e direito. Os dados de velocidade obtidos estão mostrados na figura 2:

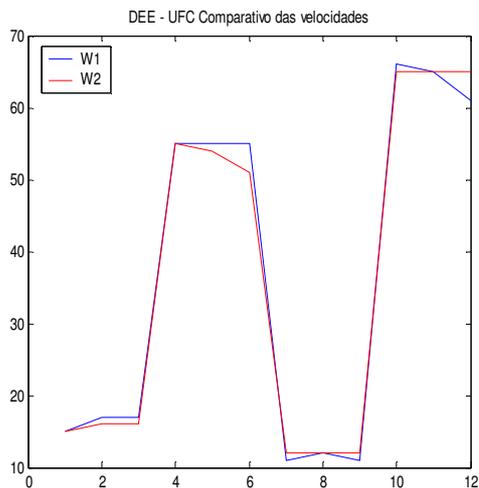


Figura 2. Dados de velocidade.

Entrando com os dados acima para treinar os controladores do motor esquerdo e direito, obteve-se os resultados mostrados nas figuras 3 e 4.

Foram usados 12 dados para o treinamento.

O algoritmo usado para treinamento segue os passos a seguir:

1 - Calcular o trajeto inicial (durante 12 períodos de amostragem) e envio para o móvel (u_1 e u_2);

2 - Recebe os valores reais de v_1 e v_2 ;

3 - Treina as redes (v_1 e v_2 calculados = referência; v_1 e v_2 real = saídas);

4 - Recebe a trajetória a ser seguida;

5 - Envia u_1 e u_2 para o móvel;

6 - Recebe v_1 e v_2 ;

7 - Atualiza parâmetros das redes e volta para o passo 5 até fim de trajetória.

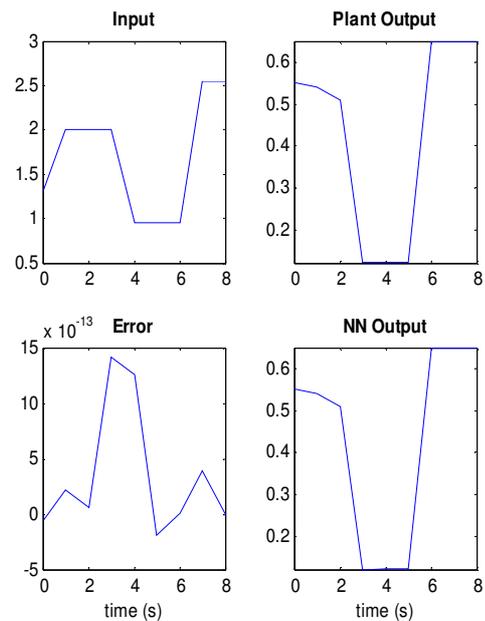


Figura 3. Treinamento do motor direito.

As saídas obtidas para ambos os controladores foram bastante próximos dos resultados reais. Cada controlador é composto de uma rede neural com uma camada oculta. Esta camada sendo composta de 30 neurônios. O tipo de rede usada foi uma rede recorrente com dois atrasos.

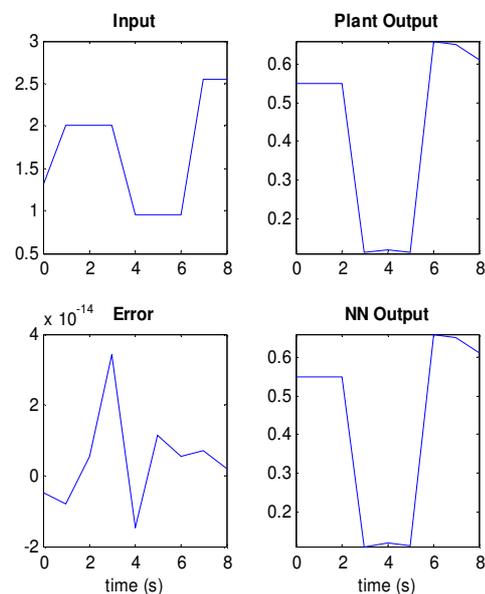


Figura 4. Treinamento do motor esquerdo.

Este teste de trajetória foi obtido num piso com poucas irregularidades, conforme pode ser visto pelos resultados obtidos para ambos os motores.

Após o treinamento dos controladores e entrada da trajetória a ser seguida, o controlador irá corrigir seus parâmetros de maneira continuada até que a trajetória tenha sido finalizada.

Essa adaptação é feita dentro de intervalos, a fim de não sobrecarregar o processamento do sistema de controle. Foi usado como período de amostragem o valor de 1 segundo. Esse valor é considerado razoável para os testes. Foram usados também outros valores para verificação do melhor resultado. O intervalo de atualização dos controladores foi de cinco períodos de amostragem, dentro do qual os parâmetros são considerados constantes. Depois de expirado o intervalo de amostragem, os novos parâmetros são então recalculados. Esse intervalo também mostrou resultados bons, uma vez que as constantes envolvidas no processo são comparáveis ao intervalo usado para atualização dos parâmetros.

O controle de trajetória é feito através do controle das velocidades de ambos os motores, conforme mostrado nas equações anteriores. Quando se deseja que o móvel execute um movimento linear, ambos os motores devem estar durante um intervalo de tempo (calculado pelo programa de controle) à mesma velocidade. Se for desejado que o móvel execute um movimento angular, o programa calcula o intervalo de tempo durante o qual os motores devem estar velocidades diferentes. Esta diferença de velocidades determina a suavidade na mudança de direção.

Para a execução de movimentos lineares foi usado para velocidade o valor de 30 RPM. Para os movimentos angulares, uma das rodas fica com valor nulo enquanto a outra com valor de 30 RPM.

As rodas do robô móvel têm 4,5 cm de raio.

Deve-se salientar a diferença entre a velocidade angular das rodas e a velocidade angular do móvel.

2.3 Teste de Trajetória

Foi usada a trajetória abaixo a fim de testar os controladores. Para a execução desta, foi usado, além do piso, um tapete por onde o robô deveria seguir. O mesmo mostrou pouca sensibilidade à variação do tipo de piso usado.



Figura 5. Trajetória de teste.

Essa trajetória corresponde a três deslocamentos lineares e dois deslocamentos angulares. Para cada um desses deslocamentos é calculado o tempo de acionamento de cada um dos motores de tração.

A figura 6 mostra o acionamento de cada motor.

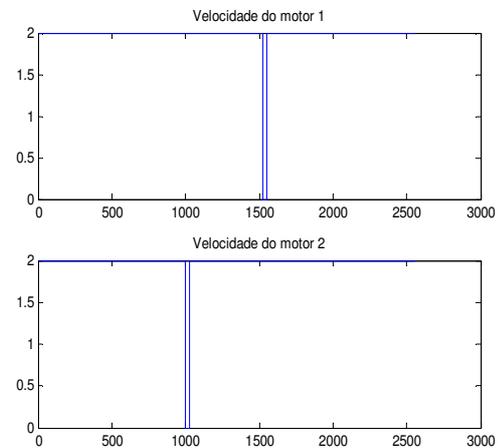


Figura 6. Acionamento dos motores.

Os deslocamentos angulares correspondem a 30 graus. A figura 6 mostra a escala de tempo ampliada a fim de que possam ser visualizados os valores de acionamento dos motores de tração.

Todo o programa dos controladores foi desenvolvido em MATLAB, enquanto a parte de programação do móvel foi desenvolvida em C.

O sentido de rotação horário foi definido como negativo e o anti-horário positivo.

A figura 7 mostra a conexão dos microcontroladores com o sistema de leitura e controle de velocidade.

O conjunto de dois relés pode controlar o sentido de rotação do robô, o módulo de potência recebe do modulador PWM o sinal modulado que irá controlar de velocidade através do duty cycle.

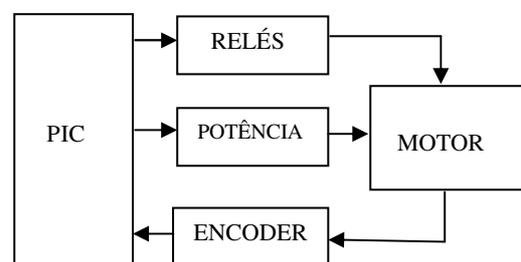


Figura 7. Leitura e controle de velocidade

3 Conclusão

O controle de trajetória de sistemas móveis pode ser executado com o auxílio de redes neurais. Esse proje-

to foi puramente didático, sendo seu propósito apresentar para alunos de cursos de graduação e/ou pós-graduação conhecimentos e aplicação de disciplinas como inteligência computacional aplicada e sistemas de controle.

Os resultados obtidos foram satisfatórios. O projeto foi realizado a fim de torná-lo o mais barato possível, permitindo a qualquer instituição de ensino que deseje aplicar conhecimentos em áreas afins a sua implementação.

Agradecimentos

Agradecimento especial ao Dr. Otacílio da Mota Almeida por sua colaboração e por ceder seu tempo a fim de que esse projeto pudesse ser realizado. Ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, nas pessoas de seus funcionários, professores e alunos.

Referências Bibliográficas

- Haykin, S., (2004). Redes Neurais: Princípios e Prática, Ed. Bookman, 2a Edição, Porto Alegre.
- Camacho, F. E. and Bordons, C. (1999). Model Predictive Control, Springer, Sevilla.
- Krose, B. and Smagt, P. V. D. (1996). An Introduction to Neural Networks, Amsterdam.
- Vargas, J.A.R e Hemerly, E. M. (1998). Identificação neural robusta de Sistemas não-lineares, XII CBA, Vol IV, pp. 1285-1290.
- Carrapiço, O. L. (2004). Controle Preditivo de horizonte infinito para processos integradores com tempo morto, São Paulo, USP.
- Pereira, G. A. S. (2000). Identificação e controle de micro-robôs móveis, Belo Horizonte, UFMG.
- Alves, A. C. R. (2002). Estudo e Implementação de Técnicas de sensoriamento ultra-sônico por varredura em robô móvel, Fortaleza, UFC.