



CONTROLE DE VELOCIDADE DE UM ROBÔ AUTÔNOMO MÓVEL - COMPARAÇÃO ENTRE UM CONTROLE PID E UM CONTROLE UTILIZANDO LÓGICA NEBULOSA

Paulo E. Silveira

Roberto de Souza Jr.

Valdir M. Biazotto

Universidade São Francisco, Faculdade de Engenharia

R. Alexandre Rodrigues Barbosa, 45, - 13251-900 - Itatiba, SP, Brasil

***Resumo.** Está em desenvolvimento um Robô Autônomo Móvel acionado por baterias, com duas rodas tratoras e uma roda diretora. O controle central deste Robô é feito por um IPC, que controla as funções de segurança, de acionamento, de direção, de posicionamento e de localização. As rodas tratoras são acionadas individualmente por motores de corrente contínua, havendo para cada uma, um sistema de controle independente. Cada sistema de controle é composto basicamente por um conversor dc-dc chaveado, um encoder relativo e um microcontrolador PIC 16F84. O IPC passa aos microcontroladores PIC os valores de velocidade e da rampa de aceleração. Como os controles de cada roda tratora são independentes, pode-se ter velocidades diferentes em cada roda, facilitando a mudança de direção e eventuais manobras. Foram implementadas duas estratégias de controle de velocidade, uma utilizando um tratamento PID e outra utilizando lógica nebulosa (fuzzy). Não foi feita nenhuma alteração nos circuitos e componentes da malha de controle, apenas alterações na programação do microcontrolador PIC. Em uma comparação entre o desempenho das duas estratégias de controle, em termos do controle de velocidade, obteve-se resultados equivalentes. Porém em relação ao desenvolvimento e implementação de cada uma destas estratégias, as dificuldades foram maiores para a implementação do controle PID.*

***Palavras-chave:** Robô movel, Controle fuzzy, Controle Automático*

1. INTRODUÇÃO

Os robôs autônomos móveis, que podem ser considerados como uma evolução a partir dos veículos auto-guiados (AGVs), são alvos de recentes pesquisas, e entre as características que garantem um bom desempenho destes robôs estão o controle de velocidade e de posição, (Borenstein & Feng, 1996).

Está em desenvolvimento um Robô Autônomo Móvel alimentado por 2 baterias automotivas, com capacidade de carga de 100kg e autonomia de 5 horas. Este veículo é acionado por duas rodas tratoras e uma roda diretora. O controle central deste Robô é feito por

um IPC, que controla as funções de segurança, de acionamento, de direção, de posicionamento e de localização. A roda diretora é acionada por um motor de passo e as rodas tratoras são acionadas individualmente por motores de corrente contínua, havendo para cada uma destas, um sistema de controle independente. Cada sistema de controle é composto basicamente por um conversor dc-dc chaveado, um "encoder" relativo e um microcontrolador PIC 16F84. O IPC transmite aos microcontroladores PIC os valores de velocidade e da rampa de aceleração. Como os controles de cada roda tratora são independentes, pode-se ter velocidades diferentes em cada roda, facilitando a mudança de direção e eventuais manobras.

Foram implementadas duas estratégias de controle de velocidade, uma utilizando um tratamento PID e outra utilizando lógica nebulosa (*fuzzy*). Não foi feita nenhuma alteração nos circuitos e componentes da malha de controle, apenas alterações na programação do microcontrolador PIC, (Chiu, 1998).

O controle PID é uma estratégia tradicional de controle, sendo implementada na maioria das vezes com circuitos analógicos ou sistemas microprocessados. Para este tipo de controle é necessário o modelamento do sistema, com o levantamento da respectiva função de transferência ou modelamento por espaço de estados.

Já o controle utilizando lógica "fuzzy", que normalmente é aplicado a sistemas de difícil equacionamento, tem também como vantagem a sua fácil implementação em sistemas microprocessados não requerendo grandes quantidades de memória, nem processamento matemático específico, (Pedrycz, 1995).

Foi feita uma comparação experimental entre o desempenho das duas estratégias de controle em termos do controle de velocidade. Também são comparadas as dificuldades no desenvolvimento do projeto em cada uma das estratégias.

2. COMPONENTES DA MALHA DE CONTROLE

O sistema mecânico é constituído de um motor de corrente contínua, 24 V, imã permanente, 7,0 Nm e 300 rpm, que já vem com um redutor de fábrica e a roda. Sobre o eixo da roda foi colocado um "encoder" relativo de 32 pulsos por volta, para a determinação da velocidade do motor, e que faz parte da malha de controle, conforme apresentado na Fig. 1.

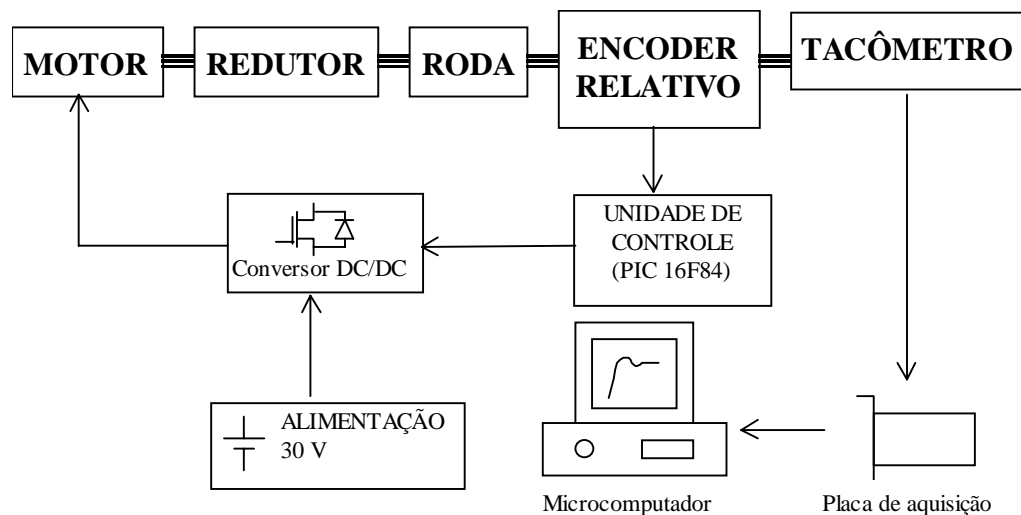


Figura 1 – Diagrama de blocos da malha de controle

Os pulsos gerados pelo "encoder" são adquiridos pelo microcontrolador PIC 16F84, de oito bits, com um contador interno de oito bits, memória Flash de 1K e 13 pinos de I/O. Este

microcontrolador foi usado na configuração "single chip", tendo como circuito externo apenas um cristal de 4 MHz para geração do "clock".

A contagem dos pulsos do "encoder" durante um tempo pré-determinado é proporcional a velocidade do eixo e é desta forma que o "encoder" é utilizado na maioria das vezes, porém neste caso, como a velocidade de trabalho é baixa, 180 rpm, e o número de pulsos gerado a cada volta, 32, também é pequeno, seria necessário para a medida da velocidade com uma incerteza aceitável um número de cinco voltas ou mais, isto tornaria a atuação sobre o sistema muito lenta, pois qualquer correção seria feita somente a cada cinco voltas. Como solução para isto, foi utilizado um número fixo de pulsos, e determinado o tempo gasto para que estes pulsos ocorressem, desta forma o tempo medido é inversamente proporcional a velocidade do eixo. O número de pulsos escolhido foi 32, ou seja uma volta completa, pois isto elimina qualquer imperfeição do "encoder", tanto do disco quanto da resposta dos circuitos eletrônicos. O problema da velocidade ser inversamente proporcional a grandeza medida é solucionado por "software".

O microcontrolador atua no controle de velocidade do motor com a geração de uma onda PWM, de frequência de 8,3 kHz. Para esta frequência, e com um "clock" de 4 MHz obtém-se uma variação de oitenta passos na onda PWM. Esta excursão demonstrou ser suficiente para esta aplicação. Este sinal é injetado no Conversor dc-dc chaveado, alimentado com 30V.

Para avaliação do desempenho do sistema foi colocado sobre este eixo um tacômetro acoplado a uma placa de aquisição de 12 bits, tempo de conversão de 15 μ s e faixa de entrada de ± 1 V, para o registro das curvas de velocidade por tempo, com uma taxa de aquisição de 100 pontos por segundo.

3. CONTROLE PID

O projeto de um controlador segundo estratégias convencionais necessita de um conhecimento prévio da natureza da planta que se deseja controlar. Frequentemente são necessários ensaios para se determinar um modelo matemático que represente adequadamente o sistema, em função do qual é realizado o projeto do controlador. Na grande maioria dos casos, os parâmetros do controlador devem ser ajustados "in loco" para se alcançar o desempenho desejado.

No controlador PID implementado, os ganhos proporcional, integral e derivativo do controlador, após a definição do modelo matemático, foram ajustados de maneira a se obter o menor tempo de resposta, baixo sobre sinal e menor tempo de acomodação.

No algoritmo de controle foi incorporada uma limitação da parcela relativa à integral do erro, procurando-se evitar os efeitos de "wind-up" (Leonard & Levine, 1995) que podem prejudicar o desempenho do controlador, (Shin, 1998).

A programação do controle PID foi feita sem a utilização de uma linguagem de alto nível e nem de ponto flutuante. Esta foi implementada diretamente em linguagem de máquina do microcontrolador 16F84 com todas as variáveis parametrizadas para se trabalhar com oito bits, com números positivo e negativos. Com isto obteve-se uma maior velocidade de atuação sobre o sistema, apesar da frequência relativamente baixa do microcontrolador, 4 MHz.

4. CONTROLE "FUZZY"

O controle "fuzzy" para este tipo de motor é bastante facilitado pois há apenas uma variável para análise, a velocidade do eixo do motor, e apenas uma variável para atuação, que é a tensão aplicada ao motor. Para a conversão das variáveis numéricas em variáveis "fuzzy" foram definidos 7 conjuntos com os seguintes termos lingüísticos em relação a velocidade, velocidade acima alta, velocidade acima média, velocidade acima pequena, velocidade

normal, velocidade abaixo pequena, velocidade abaixo média, velocidade abaixo alta, com uma sobreposição de 15%, (Saneifard, 1998). Nenhum sistema de desenvolvimento foi utilizado para esta operação, e nem para a operação inversa.

A operação inversa, ou seja, a transformação das variáveis "fuzzy" em variáveis numéricas foi feita pelo método do centro de gravidade (Leondes, 1998). A programação para este tipo de controle é simples, pois a estrutura básica necessária é simplesmente uma declaração do tipo *se.....então.....senão.....*, não necessitando nenhum cálculo.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O desempenho de cada controlador foi analisado de acordo com sua resposta a uma entrada degrau, sendo que cada sistema foi submetido a três condições de carga relacionadas abaixo. A carga mínima é equivalente ao esforço a que seria submetido o motor para o deslocamento do próprio peso do robô móvel, e a carga máxima é equivalente ao peso próprio do robô mais a sua capacidade de carga que é 50 Kg.

- ensaio em vazio
- carga mínima
- carga máxima

A velocidade de referência foi, para todos os ensaios, de $\omega_r = 180$ rpm. Foram realizados 10 ensaios para cada condição, obtendo-se como resultado uma grande repetitividade. Nas Fig. 2 e 3 são mostradas as repostas típicas de cada controlador nas três condições de carga, e também é apresentado um destaque da região onde ocorre o sobre sinal.

Observa-se na duas figuras um comportamento semelhante entre todas as curvas, tanto para PID como para o controle "fuzzy", apresentando uma diminuição do sobre sinal com o aumento da carga. Porém a curva do ensaio em vazio do controlador "fuzzy" apresentou um comportamento incomum, que foi identificado nos 10 ensaios realizados nas mesmas condições. Nestes ensaios o sobre sinal foi menor, porém nota-se a ocorrência de acentuado "under shoot".

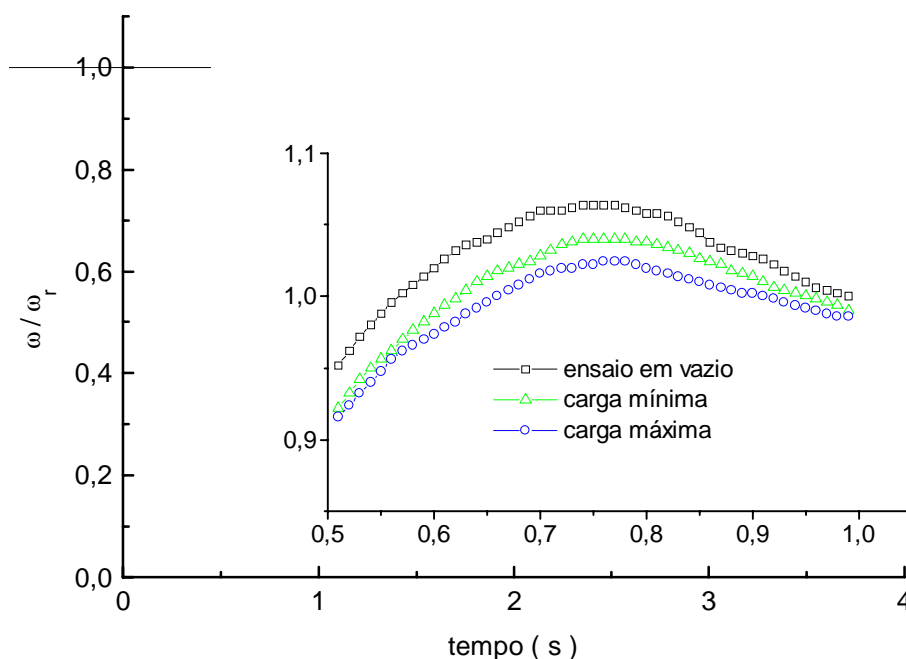


Figura 2 – Desempenho do controlador PID

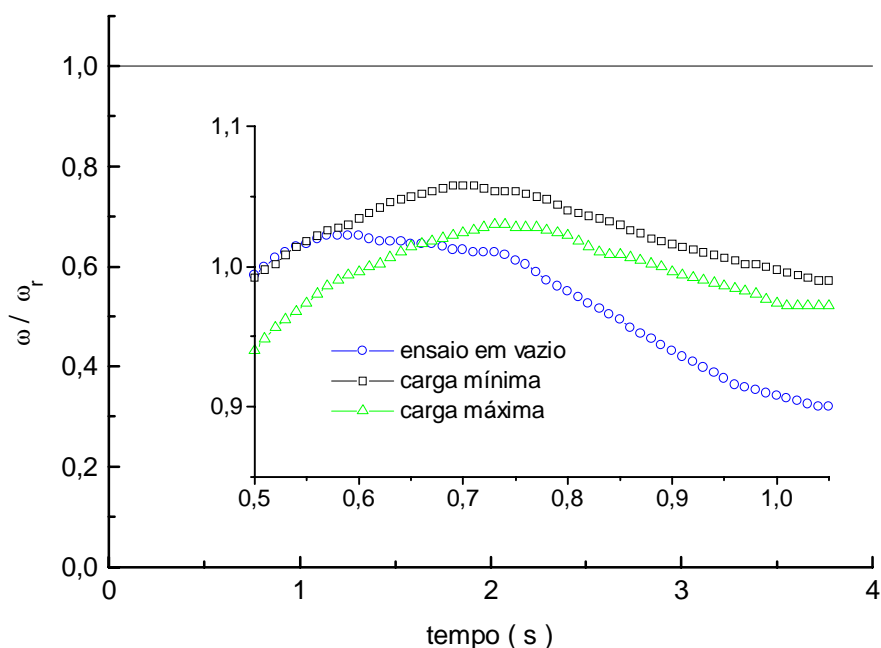


Figura 3 – Desempenho do controlador "Fuzzy"

Na Tabela 1 encontram-se os resultados obtidos para os parâmetros de interesse, onde pode-se verificar, apesar das diferenças numéricas, que o comportamento dos dois tipos de controladores é semelhante. Para o tempo de acomodação foi considerada uma variação inferior a $\pm 2\%$ do valor no estado estacionário. Estes resultados foram calculados pela média de cada grupo de 10 ensaios. Em todas as condições, o erro no estado estacionário foi inferior a 1% para as duas configurações e para as três solicitações de carga.

Tabela 1 – Resultados experimentais

Controlador e Condição de carga	Sobre sinal máximo (%)	Tempo de acomodação (s)	Tempo de subida (s)
PID – em vazio	6	1,48	0,56
PID – carga mínima	4	1,48	0,60
PID – carga máxima	2	1,43	0,65
<i>FUZZY</i> – em vazio	2	1,48	0,51
<i>FUZZY</i> – carga mínima	6	1,38	0,51
<i>FUZZY</i> - carga máxima	3	1,31	0,60

6. CONCLUSÃO

O desempenho destes dois sistemas de controle para uma entrada degrau foi semelhante nos vários aspectos analisados, e ambos se mostraram adequados a aplicação final, que é o

controle de velocidade de um robô móvel, pois apresentaram um erro menor que 1% para as três solicitações de carga.

A implementação das duas estratégias de controle apresentou uma significativa diferença no tempo de horas trabalhadas, sendo muito mais rápido e simples a implementação do controle "fuzzy". Considera-se que a implementação neste caso corresponde ao levantamento das características do conjunto motor/redutor e a programação, pois a estrutura montada, "encoder" relativo, conversor dc-dc chaveado e circuito do microcontrolador PIC 16F84 foi a mesma para as duas situações.

O microcontrolador PIC 16F84 mostrou ser suficiente para a implementação dos dois controles, apesar da sua reduzida capacidade de memória e baixa frequência de "clock".

Desta forma as duas estratégias são adequadas para o controle de velocidade, mas ainda devem ser testadas e comparadas dentro de um laço de controle maior, que é o controle de posição do robô móvel.

REFERÊNCIAS

- Borenstein, J. & Feng, L., 1996, Measurement and Correction of Systematic Odometry Errors in Mobile Robots, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, n. 6, pp.869-880.
- Chiu, S., 1998, Using Fuzzy Logic in Control Applications: Beyond Fuzzy PID Control, IEEE Control Systems Magazine, vol 8, n. 5, pp 100-104.
- Leonard, N. E. & Levine, W. S., 1995, Using Matlab to Analyze and Design Control Systems, Addison-Wesley Publishing Company, 2nd Ed.
- Leondes, Conerlius T., 1998, Fuzzy Logic and Expert Systems Applications, Academic Press, San Diego.
- Pedrycz, W., 1995, Fuzzy Sets Engineering, CRC Press, Boca Raton.
- Saneifard, S. et. al., 1998, Fuzzy-Logic-Based Speed Control of a Shunt DC Motor, IEEE Transaction on Education, vol. 41, n. 2, pp 159- 164.
- Shin, H. B., 1998, New Antiwindup PI controller for variable-speed motor drives, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 45, n. 3 pp 445-450.

VELOCITY CONTROL OF AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT - COMPARISON BETWEEN A PID AND A FUZZY CONTROL

Abstract: *An Autonomous Mobile Robot driven with batteries, two drive wheels and a steering wheel is being developed. The robot central control is done by one IPC, which controls every function of security, steering, positioning, localization and driving. Each drive wheel is controlled by a dc motor, with control system for each one. The control system is composed of one chopper, one encoder and one microcontroller. The IPC transmits to PIC microcontroller the velocity values and acceleration ramp values. Since each drive wheel control is independent, it's possible to obtain different values of velocity for each wheel*

velocity. Two different strategies for velocity control were implemented, a PID and a fuzzy logic. There were not changes in circuits and feedback control, but the changes appear in PIC microcontroller software only. Comparing the different velocity control strategies, the results were equivalent. However, the development and implementation of PID control were more difficult than fuzzy control.

Index Terms: *Mobile Robot, Fuzzy Control, Automatic Control*