

Sistemas Microcontrolados - Professor Frank Helbert

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Alan Lima Marques | RA: 1511335 |
| Breno Farias da Silva | RA: 2300516 |
| Felipe Archanjo da Cunha Mendes | RA: 2252740 |
| Jonathan de Gaspari Lauber | RA: 1858300 |
| Pamella Lissa Sato Tamura | RA: 2254107 |
| Thaynara Ribeiro Falcao dos Santos | RA: 2254140 |

Solução de problemas (SP) - atividade semestral incremental - Atividade de Complementação de Carga Horária (ACCH)

Título: Implementando um sistema drive-by-wire com progressive force-feedback, auto-centering e ajustes dinâmicos de dirigibilidade

Objetivos: Estudar tecnologias e interfaces diferentes das utilizadas durante as aulas presenciais. Especificamente, interface com motor DC controlado por PWM, encoder óptico, servo-motor.

Hardware disponível:

- Volante preso a uma engrenagem de 120 dentes;
- Motor DC atuador do volante preso a uma engrenagem de 15 dentes;
- Encoder ótico de 600 pulsos por revolução preso a uma engrenagem de 20 dentes;
- Chave mecânica (switch para centralizar o volante na inicialização);
- Ponte H L298 H-bridge Motor Driver Board 2A.
- Servo motor para simular a atuação nas rodas.

O motor DC é um HP/Mabuchi DC/PM Brushed Motor, modelo C2162-60006 / DN505728. As suas especificações estão no apêndice.

O encoder ótico é o LPD3806-600BM e a chave mecânica é a KW11-7-2-3T com haste de 29mm com rolete, também no apêndice. O servo é compatível com o MG995 TowerPro.

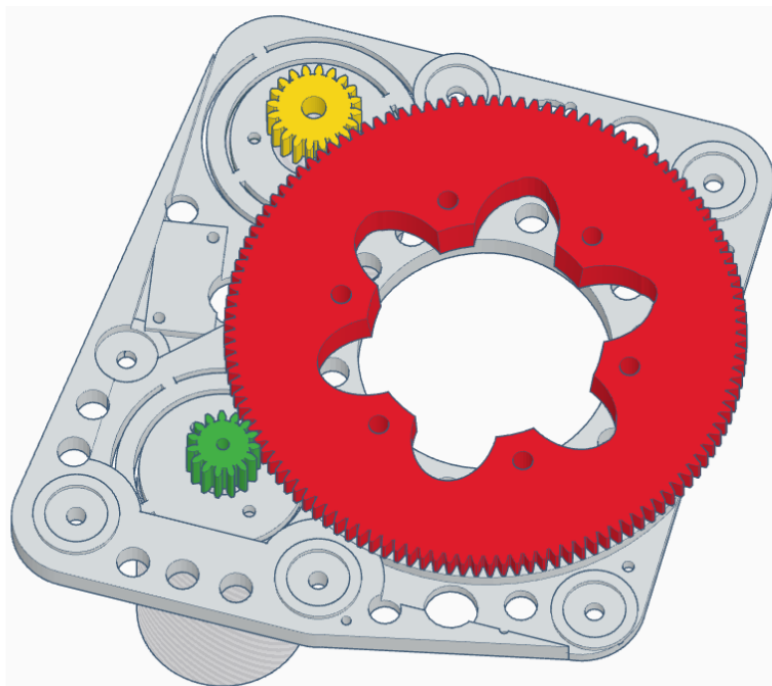


Figura 1: Modelo 3D do hardware (tampa superior ocultada). Em vermelho, engrenagem ligada ao volante. Em amarelo, engrenagem ligada ao encoder ótico e em verde, engrenagem ligada ao motor DC.

Contexto: Estamos tentando montar um volante elétrico (Drive by wire, DbW, by-wire, Steer-by-wire, Fly-by-wire or x-by-wire). No entanto, temos que medir a posição exata do volante em um determinado instante, para então atuar nas rodas. No momento estamos interessados na leitura da posição do volante, centralização do volante na inicialização, atuação nas rodas, e definição dos limites de curso do volante.

Atividade:

1. Descreva como pode ser feita a leitura do encoder óptico usando somente uma interrupção e um pino de dados adicional.

Seria possível discernir uma mudança angular no volante de quantos minutos de grau (considere usar somente a) a borda de descida do sinal A, b) borda de subida e c) mudança de estado)?

Considerando que o tratamento de uma interrupção no Atmega328 necessita de 4 ciclos de CPU para responder à interrupção (carregar endereço da rotina) e mais 4 ciclos para carregar o contador de programa de volta, além da execução de uma instrução do código principal antes do atendimento da próxima interrupção, qual seria a velocidade máxima de rotação do volante (velocidade teórica que poderia ser estimada / lida usando a interrupção)? Lembre-se de definir qualquer condição que considerar ambígua em sua resposta.

Uma volta da engrenagem vermelha = 120 dentes.

Uma volta da engrenagem do encoder = 20 dentes.

Logo, uma volta da engrenagem vermelha = 6 voltas no eixo do encoder.

Cada volta do eixo do encoder = 600 pulos.

$600 * 6 = 3600$ pulsos do encoder por volta da engrenagem vermelha.
 $360^\circ / 3600 \text{ pulsos} = 0,1 \text{ graus}$.
 $0,1 \text{ graus} = 6 \text{ minutos}$.

A saída “A” pode ser utilizada para identificar o sinal de borda, e a saída “B” pode ser utilizada para saber a direção.

Velocidade teórica máxima :

4 ciclos para desviar para a instrução.

2 ciclos (BRANCH) para testar a direção do movimento.

1 ciclo (ADD) para incrementar ou decrementar o valor do contador de pulsos.

4 ciclos para voltar ao código principal.

4 ciclos (chamada de função, pior caso) instrução obrigatória que deve ser executada do laço principal.

Total = 15 ciclos.

$1/16\text{Mhz} * 15 = 0,94 \text{ microsegundos}$.

$1 \text{ segundo} / 0,94 \text{ microssegundo} = 1.066.666,666... \text{ interrupções por segundo}$.

$1.066.666,666 / 3600 = 296,29 \text{ voltas por segundo}$.

A velocidade máxima de rotação do volante que pode ser lida considerando o gasto de 15 ciclos de instrução para tratamento das interrupções é de 296 giros por segundo. Porém a quantidade real de ciclos gastos para essa operação só pode ser calculada com precisão ao se observar o código de máquina gerado a partir do código C.

2. Adicionamos uma chave mecânica que se mantém ligada por alguns graus durante uma revolução do volante através de uma elevação na engrenagem do volante como mostra a Figura 2.



Figura 2: Detalhe da engrenagem principal ligada ao volante com elevação para detecção da posição angular absoluta.

Por que tal chave foi necessária? Descreva uma possível solução para a centralização do volante durante a inicialização do sistema. Dica: o volante pode ser rotacionado por software (sem atuação nas rodas do veículo) utilizando o motor DC fornecido.

A chave se faz necessária para ajudar na centralização do volante. Podemos usar o motor para rotacionar o volante até que a chave seja ativada pela elevação na engrenagem. Escolhemos um lado e giramos, ao atingir a elevação e ativar a chave podemos assumir que o volante está centralizado.

3. Suponha que teremos dois modos de direção: o modo Confort e o modo Sport. No primeiro, serão necessárias três voltas e meia do volante para que o pneu esterce aos limites de um lado a outro (esquerda e direita). Já no modo Sport, serão necessários apenas 1/3 de volta para o mesmo esterçamento.

Explique uma possível implementação para os dois modos (indique como isto seria feito por software, assumindo que um servo motor será utilizado para atuar nas rodas).

Indique seus cálculos para determinar o fim de curso do volante.

Como dito anteriormente, podemos determinar a posição do volante pela quantidade de pulsos lidos pelo microcontrolador.

3600 pulsos do encoder por volta do volante.

$3.5 \text{ voltas} * 3600 = 12600 \text{ pulsos.}$

Uma volta da engrenagem vermelha = 120 dentes.

Uma volta da engrenagem do encoder = 20 dentes.

Logo, uma volta da engrenagem vermelha = 6 voltas no eixo do encoder.

$\frac{1}{3}$ de volta da engrenagem vermelha = 2 voltas no eixo do encoder.

2 voltas no eixo do encoder = 1200 pulsos.

Portanto, no modo Confort , contamos os pulsos de 0 (volante totalmente à esquerda) até 12600. Se o giro acontece para a esquerda diminuimos da variável que conta os pulsos, e para a direita aumentamos. Já no modo Sport, o valor máximo é 1200.

Como em cada modo a amplitude do movimento das rodas deve ser a mesma, precisamos dividir a largura de pulso máxima do servo motor pelo contador de pulso máximo e teremos um incremento proporcional para cada modo de direção.

Digamos que estou usando o timer 1 do microcontrolador no modo pwm, com top de 40000 (20ms) e um servo que varia de 0,5 ms (0°) até 2,5 ms (180°). Para obter os valores entre esses intervalos devemos variar o OCR1A entre 1000 e 5000.

$5000 - 1000 = 4000$ posições diferentes para o servo.

$4000 \text{ posições do servo} / 12600 \text{ posições do volante} = 0,3174...$

$4000 \text{ posições do servo} / 1200 \text{ posições do volante} = 3,333...$

Logo no modo Confort podemos determinar a posição do servo multiplicando a variável contadora de pulsos por 0,3174 e armazenando o resultado em OCR1A.

E no modo Sport, multiplicamos por 3,333...

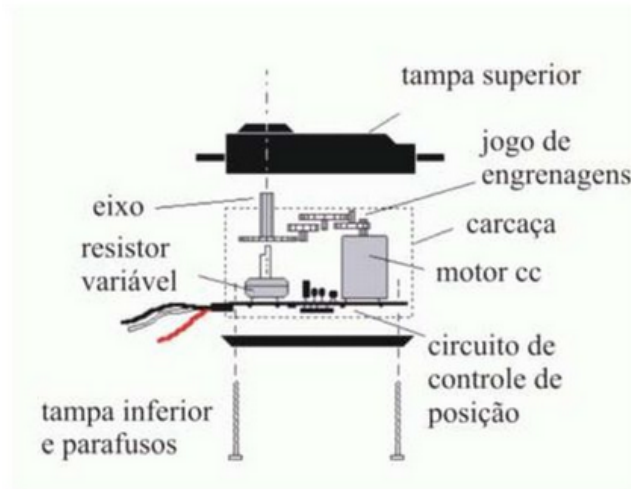
4. Esboce uma possível implementação para o fim de curso do volante utilizando o hardware disponibilizado.

DICA: ao chegar aos 30 graus finais do curso, atuar no motor DC de forma a dificultar o movimento do volante.

DICA: o termo esboce indica que você pode usar uma figura, mas deve apoiar esta em fluxogramas e/ou pseudo-código para validar sua ideia.

5. Explique como funciona um servo-motor.

Um servo-motor nada mais é do que um dispositivo usado em contexto onde é necessário ter controle do movimento com precisão. Dentro dele há um encoder, o qual tem a função de fornecer a posição do motor e a sua velocidade, além de um controlador. A estrutura interna do servo motor é dada por um motor, um potenciômetro, uma caixa de engrenagens e um circuito integrado usado para controle, como visto na seguinte figura:



O seu funcionamento se dá por uma tensão contínua que é ajustada para o valor desejado. Essa tensão pode ser gerada pelo potenciômetro. Essa tensão que irá definir a largura do pulso do PWM. Dessa forma, usando o microcontrolador, podemos programá-lo para produzir o sinal de pulso de tensão pelo PWM. É possível ver que o motor servo tem três fios. Um dos fios é usado para a alimentação (VCC), outro usado para ser conectado à terra e, por fim, o fio laranja que é usado para controle. Como é a largura do ciclo ativo que termina o ângulo de rotação do motor, então basta gerar um pulso pelo tempo equivalente à rotação do motor. Dessa forma, dado que a cada 0,5ms a mais tem-se uma rotação de 45°, teremos que um pulso de 0,5ms irá gerar uma rotação de 0°. Para 1ms, 45°, 1,5ms gera 90°, 2ms gera 135° e 2,5ms gera 180°.

Como ele poderia atuar no esterçamento das rodas de um veículo (desconsidere problemas de escala)?

Como no servo morto não há posição negativa, então o centro teria que ser metade do ângulo máximo de rotação dele. Por exemplo, em um micro servo, onde ele tem uma rotação máxima de 180°, o seu centro seria na posição de ângulo 90. Dessa forma, os movimentos para a direita seriam representados por qualquer rotação desde 90° até 180°. Por fim, os movimentos para a esquerda se dariam por qualquer rotação desde 90° até 0°. Todavia, surge um problema: E no caso do servo motor desligar, como ele faria para voltar à posição neutra? Isso é mais complicado, pois um micro servo, por exemplo, não tem um fio

de feedback, para saber em qual posição ele se encontra. Dessa forma, a forma mais simples de resolver o problema seria definir uma macro no microcontrolador para definir a posição inicial (no nosso exemplo, a posição de 90°). Assim, na inicialização do problema, seria enviado um pulso de 1,5ms. Com isso, como o microcontrolador verifica a cada 20ms se houve alteração no potenciômetro, ele realiza o movimento.

Estude o que acontece quando tentamos impedir o movimento de um motor DC (em termos de corrente). Explique como isto pode ser utilizado no caso do servo-motor para gerar um feedback ao volante fazendo com que este vá a uma posição que minimize o feedback.

O que acontece ao bloquear o movimento de um motor DC é o bloqueio do motor, pois as escovas não conseguem girar. Isso pode acontecer, por exemplo, por excesso de carga. Como o que acontece no fundo é que o motor converte energia elétrica em energia mecânica, pode ocorrer também um aquecimento excessivo do motor, resultado na sua queima.

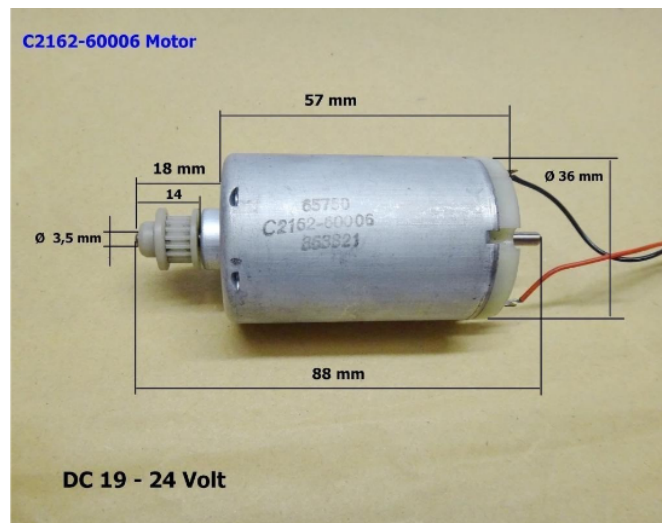
Quando tentamos alterar a posição do motor, ele mostra uma resistência, chamada de torque. Uma forma de usar esse torque como forma de gerar resistência para que o motor volte à posição inicial é basicamente monitorar alterações na corrente.

RÚBRICA (nota máxima por item): 20%

Esta segunda atividade vale 12% da nota atribuída as atividades SP e ACCH na média.

Apêndice A

HP/Mabuchi DC/PM Brush Motor



C2162-60006 / DN505728

Motor Specifications

Rating (volts) 19
Max (volts) 24
Stall Current (amps) 2.5
Stall Torque (N-cm) 28.7
Stall Torque (in-oz) 40.68
No Load Speed (rpm) 4,550
No Load Speed (rad/sec) 476
Max Power (Watts) 34.2
Max Power (milli-HP) 45.83
Duration (sec) 30
Energy (Joules) 1026
Weight (grams) 224
Weight (oz) 7.88
Power/Weight (Watts/kg) 153
Energy/Weight (Joules/kg) 4580
No Load Current (amps) 0.15
Start Up Voltage (volts) 2
Resistance (ohms) 8.2
Motor Const (N-cm/watt^{0.5}) 1.8
Torque Constant (N-cm/amp) 4.8
Inertia (g-cm²) 45
Shaft Diameter (mm) 3.1
Shaft Diameter (in) 0.12
Shaft Length (mm) 85
Motor Diameter (mm) 37
Motor Length (mm) 64

Apêndice B

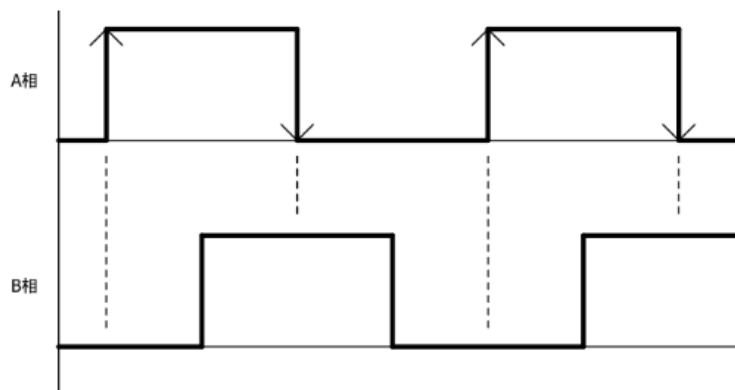
Encoder óptico LPD3806-600BM

Modelo: LPD 3806-600 BM-G5-24C
Método de detecção: Tipo óptico / Tipo incremental
Sinal de saída: Onda quadrada
Saída NPN, Coletor aberto
Resolução: 600 pulsos / Rotação
Diâmetro externo \varnothing 38 mm
Altura 38 mm (sem incluir o eixo rotativo)
Eixo de rotação: \varnothing 6 mm, altura da haste 10 mm
Tensão de alimentação: 5V a 24V DC
Consumo: 30mA (tensão de alimentação 5V) /
50mA (tensão de alimentação 24V)
Velocidade máxima: 5000 rpm

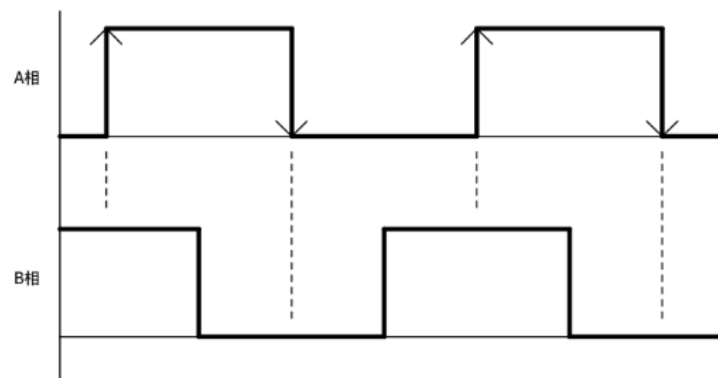


Ligação:
Vermelho: VCC
Preto: GND
Verde: A
Branco: B

Abaixo gráfico com as saídas A e B para movimentos horários e anti-horários. É possível saber a direção do movimento, pois os sinais A e B estão deslocados em fase por 90 graus.



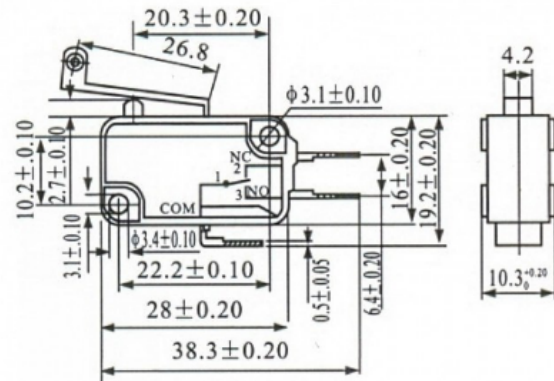
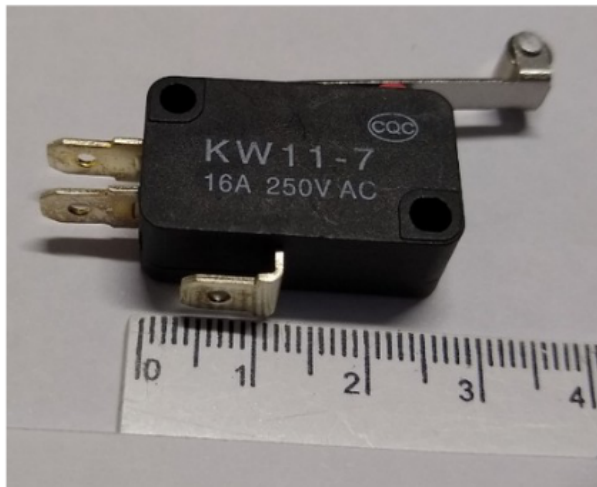
① CW 回転時 (シャフト側から見て時計回り)



② CCW 回転時 (シャフト側から見て反時計回り)

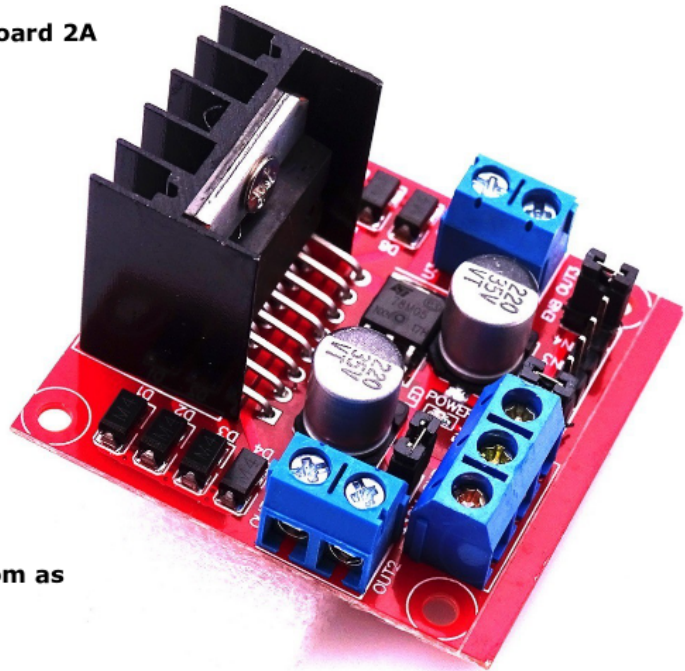
Apêndice C

Chave mecânica KW11-7-2-3T com haste de 29mm com rolete



Possui três terminais, sendo um comum e os outros dois NC e NO (normally closed, normally open).

Apêndice D
Ponte H L298 H-bridge Motor Driver Board 2A



Controle do motor A ou B de acordo com as entradas respectivas IN1 e IN2


| IN1 | IN2 | Estado |
|-----|-----|-----------|
| 0V | 0V | Desligado |
| 0V | 5V | Sentido 1 |
| 5V | 0V | Sentido 2 |
| 5V | 5V | Freio |

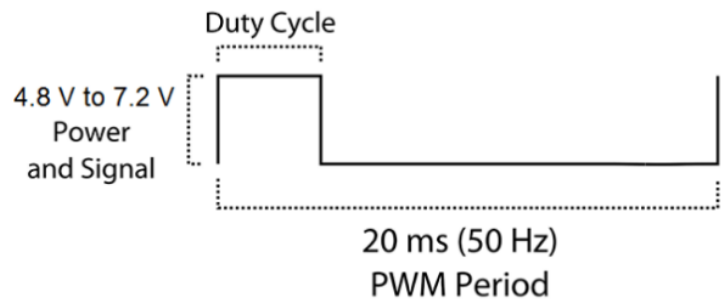
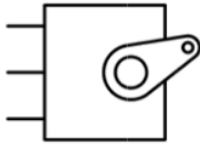
Observação: Uma saída inferior a de entrada pode ser obtida chaveando-se rapidamente a entrada ENABLE entradas usando uma saída PWM do microcontrolador.

Apêndice E

Servo motor MG995 Tower Pro (ou modelo compatível)



PWM=Orange ()
Vcc = Red (+)
Ground=Brown (-)



Dados técnicos:

Descrição MG 995R TowerPro

Tensão de Alimentação 4,8 - 7,2V

Corrente de Operação 500mA - 900mA

Corrente Stall 2,5A

Connector JR (Universal)

Comprimento do cabo 24,5cm

Velocidade 0,16 seg/60° (6V)

Torque a 4.8V 9,4 kg-cm

Torque a 6V 11 kg-cm

Dimensões 40.7x19.7x42.9mm

Peso 55g

Datasheet MG995R.pdf