

Assistência senso-motora para deficientes visuais

Aline Rosa dos Santos Rocha¹, 16/0023076, Felipe Lima Alcântara², 16/0027918
^{1,2}Programa de Engenharia Eletrônica, Faculdade Gama - Universidade de Brasília, Brasil

Resumo—O projeto Assistência senso-motora para deficientes visuais (ASMDV) é um equipamento assistivo, construído para facilitar o deslocamento de deficientes visuais, cujos os quais não têm como detectar obstáculos fora da altura alcançável pela bengala. Utilizando o MSP430G2 e sensores ultrassônicos, buscou-se criar uma alternativa, para detecção de obstáculos altos.

Index Terms—MSP430, tecnologia assistiva, deficiência visual, sensor ultrassônico

I. INTRODUÇÃO

DE acordo com a Fundação Dorina Nowill para Cegos [1], do total da população brasileira, 23,9% (45,6 milhões de pessoas) declararam ter algum tipo de deficiência. Entre as deficiências declaradas, a mais comum foi a visual, atingindo 3,5% da população. Em seguida, ficaram problemas motores (2,3%), intelectuais (1,4%) e auditivos (1,1%). Segundo dados do IBGE de 2010, no Brasil, das mais de 6,5 milhões de pessoas com alguma deficiência visual 528.624 pessoas são incapazes de enxergar (cegos), 6.056.654 pessoas possuem baixa visão ou visão subnormal (grande e permanente dificuldade de enxergar) e outros 29 milhões de pessoas declararam possuir alguma dificuldade permanente de enxergar, ainda que usando óculos ou lentes. Dentro deste aspecto, Hogetop e Santarosa [2] afirmam que "a mediação digital vem impreterivelmente favorecer inúmeras novas oportunidades de acesso, em via dupla, ao conhecimento da cultura por parte do indivíduo [...]". A Educação Especial tem agora novas perspectivas de abordar a diversidade humana e "des"cobrir todos que historicamente foram excluídos, escondidos, discriminados, encobertos pelas diferentes sociedades no *continuum* das épocas". De forma menos abrangente, é isto que o projeto se propõe a fazer.

II. JUSTIFICATIVA

Segundo Souza [3], as soluções atuais mais amplamente utilizadas no Brasil para locomoção de cegos são as bengalas comuns - os usuários a movimentam e se ela esbarrar em algum objeto conseguem ter um noção

de onde há obstáculos e assim podem desviar, tem preço acessível mas se limita ao sensoramento abaixo da linha da cintura, - e cães-guia - que é uma boa solução por ser tratar de um ser inteligente auxiliando a locomoção mas pouco acessível devido aos poucos centros especializados no treinamento dos cães e todo o custo financeiro envolvido nesse processo. Alguns projetos de conclusão de curso e pós-graduação desenvolveram uma bengala eletrônica, Figura 1, ela faz uso de um microcontrolador em sua parte superior e dois sensores - um no meio da bengala responsável pelo sensoramento de objetos acima da linha da cintura e o outro, no final da bengala responsável pelos objetos abaixo da linha da cintura. Porém, além de ainda não estar sendo produzida, o preço de venda ficou estimado em R\$ 300,00 em um dos projetos [4].

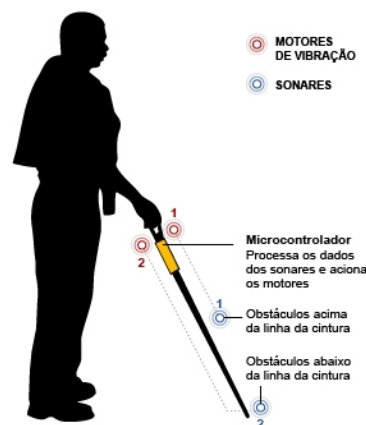


Figura 1. Bengala eletrônica.

Uma pesquisa de campo foi feita com um portador de deficiência visual, Leonardo Lemos de 22 anos, morador do Distrito Federal e cego desde os 09 anos. Ele relatou que só faz uso da bengala tradicional e que uma das grandes dificuldades que sente são os obstáculos aéreos como galhas de árvores, placas de trânsito ou qualquer outro objeto que esteja próximo à cabeça.

Tendo isso em vista, pensou-se que uma solução que envolvesse sensores que monitorassem a presença de objetos na parte superior do corpo e avisassem ao usuário através de som ou vibração seria de grande valia, principalmente se houvesse baixo custo associado à produção. A solução usaria microcontroladores do tipo *MSP430*, que pudessem facilitar a locomoção de deficientes visuais severos, pensado-se principalmente nos que entraram em tal condição recentemente - haja visto que, pessoas que à pouco tempo tiveram uma perda drástica de visão, terão muitas dificuldades associadas à locomoção que a bengala comum não é capaz de sanar, como evitar esbarrar em objetos que estão na região mais próxima à parte superior do corpo -.

III. OBJETIVO

Desenvolver protótipo funcional de um dispositivo capaz de detectar objetos acima da linha da cintura e avisar sensorialmente conforme for se aproximando o obstáculo. O projeto é pensado especialmente para portadores de deficiência visual, afim de evitar colisões. Projeta-se que os obstáculos seja sensoreados por 3 Sensores de Distância Ultrassônico HC-SR04 localizados na região da cabeça - um na direção frontal e dois laterais -, o microcontrolador seja uma *MSP430G2*, da *Texas Instruments* e a alimentação do circuito feita com bateria recarregável.

Além disso temos que levar em conta as características de:

A. Precisão

Como para o cálculo da distância do sensor de ultrassom, é necessário utilizar um timer em modo de captura, vide Seção VII-B, é importante definir bem as interrupções na codificação da placa [5].

B. Conforto e estética

Em pesquisa de campo, um ponto levantado pelos entrevistados foi a questão estética. O público alvo do projeto mostrou preocupação em usar dispositivos que tivessem muitos fios, fossem grandes ou causassem grande estranheza para quem olhasse.

Assim, o projeto deve ser confortável para que não prejudique os usuários e esteticamente agradável. Nesse sentido, as sinalizações com *buzzers* foram desconsideradas - barulho chamativo - e Motores de Vibração Chato com fio (8x4 mm) foram adotados, já que possuem vibrações baixas mas suficientes para alertar.

IV. METODOLOGIA

O projeto seguirá as seguintes etapas, buscando com este tornar mais organizado o desenvolvimento.

A. Pesquisa de Aplicações e Produção do PC1

Inicialmente foi realizada uma pesquisa do estado da arte, buscando reconhecer o que já foi realizado na área do tema. Junto a pesquisa, foi realizada uma breve conversa com um deficiente visual, buscando se inteirar da real necessidade do produto. Com o projeto definido e o problema identificado, foi realizada a produção do presente documento.

B. Desenvolvimento do Software com o Compilador Energia

Nesta etapa do projeto será iniciado o processo de produção do protótipo, com um compilador de utilização mais simples. Realizando assim os primeiros testes com os sensores e o microcontrolador, buscando identificar possíveis ameaças e necessidades de *hardware* e *software*.

C. Aprimoramento de Software no Code Composer Studio

Esta etapa será abordada no Ponto de Controle 2, buscando já realizar aprimoramentos no código, e integração de algumas partes do *hardware*, principalmente a identificação e sinalização dos obstáculos.

D. Desenvolvimento do Protótipo e Refinamento em C

Inicia-se aqui a etapa de desenvolvimento do *hardware*, buscando se adequar ao abordado na Seção III-B. Além do trabalho com *hardware*, o *software* deverá ser aprimorado, tendo como objetivo demonstrar mais recursos do sistema e integrar o sensor de cabeça.

E. Conclusão do Hardware e Refinamento em C

Esta etapa busca finalizar a construção do *hardware* do protótipo e buscar já haver a temporização do sistema bem definido. Os sensores já deverão estar com regulação confiável.

V. REQUISITOS

A. Requisitos materiais

- 1 Microcontrolador *MSP430G2*;
- 3 Sensores ultrassônicos *HC - SR04*;
- Boné para suporte do sensor da cabeça e do circuito;
- Suporte acrílico para acoplamento dos sensores

- 3 Motores de Vibração Chato com fio (8x4 mm);
- Bateria alcalina 9V;
- 1 CI SN74LS153;
- *Jumpers* macho-macho e macho-fêmea;

B. Requisitos técnicos

1) *Formatação dos documentos*: A elaboração e manutenção dos documentos produzidos no projeto deverá utilizar *LaTeX* de forma que a apresentação das informações fique organizada, assim como, representará as instruções para a construção do protótipo.

2) *Custos*: Um ponto importante que diferencia o projeto de outros já desenvolvidos é seu baixo custo. Estima-se o custo de produção com material abaixo.

- 1 Microcontrolador *MSP430G2* - R\$ 40,00;
- 3 Sensores ultrassônicos *HC-SR04* - R\$ 8,90 cada = R\$ 26,70;
- Boné para suporte do sensor da cabeça e do circuito - R\$ 20,00;
- 3 Motores de Vibração Chato com fio (8x4 mm) - R\$ 4,90 cada = R\$ 14,70;
- Bateria alcalina 9V - R\$ 18,00;
- 1 CI SN74LS153 - R\$ 2,50;
- *Jumpers* macho-macho e macho-fêmea - R\$ 17,80;

Assim, estima-se um custo total de produção de R\$ 139,60.

VI. BENEFÍCIOS

A proposta de projeto tecnológico assistivo de monitoramento senso-motor para deficientes visuais visa melhorar a vida de pessoas que tiveram perdas bruscas de visão, principalmente perdas recentes que ainda não se acostumaram com suas rotinas e trajetos, trazendo mais conforto e confiabilidade em seus trajetos ao monitorar obstáculos que estejam próximos a regiões do corpo do usuário que a bengala tradicional não é capaz de detectar e assim avisá-lo evitando entrocamentos, quedas e até acidentes mais sérios. Em relação a tecnologias já existentes citadas anteriormente, o benefício desse projeto seria o custo de aquisição mais acessível atendendo a um leque maior de consumidores.

VII. DESENVOLVIMENTO

A. O microcontrolador *MSP430G2553*

Segundo a fabricante *Texas Instruments*, a família de microcontroladores de baixíssima potência da *Texas Instruments* *MSP430* consiste em vários dispositivos diferentes conjuntos de periféricos destinados a várias aplicações. A arquitetura, combinada com cinco modos

de operação de baixa potência, é otimizado para aumentar a vida útil da bateria em aplicações de medição portáteis. O dispositivo apresenta CPU RISC de 16 bits, registradores de 16 bits e geradores constantes que contribuem para a eficiência de código. O oscilador controlado digitalmente (DCO) permite o despertar dos modos de baixa potência para o modo ativo em menos de 1 μ s. Além disso, os membros da família *MSP430G2x53* tem um conversor analógico-digital (A / D) de 10 bits. Aplicações típicas incluem sistemas de sensores de baixo custo que capturam sinais analógicos, convertem-nos em valores digitais, e, em seguida, processam os dados para exibição ou para transmissão para um sistema host.

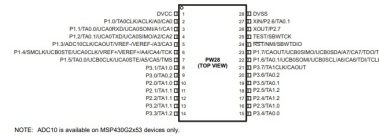


Figura 2. Pinagem da *MSP430G2553*.

B. O Sensor *HC-SR04*

De acordo com o *datasheet*, após a porta *Trig* receber um pulso, a porta *Echo*, após o envio da onda de ultrassom, iniciará a enviar o valor da tensão em V_{cc} até o ultrassom receber a onda de eco ou exceder a distância máxima de leitura, segundo o *datasheet* 4m, o funcionamento do sensor está exemplificado na Figura 3.

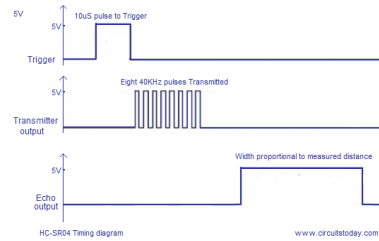


Figura 3. Diagrama de funcionamento no tempo do sensor de ultrassom.

O tempo de pulso da porta *Echo*, será usado para o cálculo da distância. O cálculo é realizado pela equação[6]:

$$Distancia = \frac{T_{Echo} \cdot V_{som}}{2} \quad (1)$$

Algumas vezes é necessário realizar testes para tornar mais preciso o cálculo da distância, para isso escrever um código simples para a leitura serial das distâncias é uma boa prática.

C. Multiplexação do sinal Echo

Uma das grandes dificuldades de todo o projeto era conseguir realizar a análise das distâncias por conta do número insuficiente de *Timers* da MSP430G2553. As interrupções de ambos os *timers* afetando uma a outra, fazendo leituras de distância erradas ou ainda não realizando nenhuma leitura no sensor.[7]

Para isso a ideia de multiplexação da saída do sensor surgiu, pois diminuiria o número de portas utilizadas da MSP430, de 6 portas, para 4, sendo antes 3 portas de modo de comparação e com o multiplexador somente uma. A implementação da multiplexação se deu no Ponto de Controle 4, sendo provada vantajosa.

Um multiplexador tem a função de por uma série de entradas, a partir de suas seletoras entregar uma saída igual à uma das entradas, como pode ser analisado em sua tabela verdade, Figura 4. Para a multiplexação foi utilizado o Circuito Integrado *SN74LS153N*.

FUNCTION TABLE							
SELECT INPUTS		DATA INPUTS				STROBE	OUTPUT
B	A	C0	C1	C2	C3	\bar{G}	Y
X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	X	X	X	L	L
L	L	H	X	X	X	L	H
L	H	X	L	X	X	L	L
L	H	X	H	X	X	L	H
H	L	X	X	L	X	L	L
H	L	X	X	H	X	L	H
H	H	X	X	X	L	L	L
H	H	X	X	X	H	L	H

Select inputs A and B are common to both sections.
H = high level, L = low level, X = irrelevant

Figura 4. Tabela Verdade do circuito integrado SN74LS153N

D. Motores com PWM

Quanto aos motores de vibração, para vibrar, eles receberam ondas moduladas, *PWM(Pulse Width Modulation)*. A vantagem de tratar o motor desta forma é a possibilidade de modulação da largura do pulso, aumentando e diminuindo a intensidade com aplicação em *Software*[8], além de se levarmos em conta que a potência de um pequeno motor DC depende da tensão aplicada podemos usar este artifício para variar essa potência sem, entretanto, modificar a tensão aplicada ao motor.

À parte positiva que pode ter seu pulso modulado é dado o nome de *Duty Cycle*. A Figura 5 trás um gráfico da voltagem pelo tempo exemplificando algumas modulações.

Um controle *PWM* é realizado ajustando o *Duty Cycle*, aumentando-se a largura deste, a potência do motor aumenta também e se diminuir a largura, o mesmo ocorre com a potência.

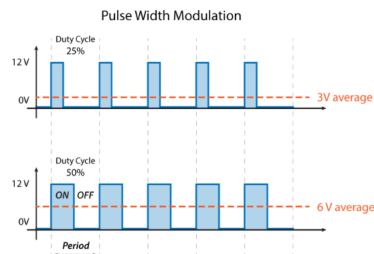


Figura 5. Modulação da largura do pulso.

Outra vantagem de aplicar o PWM é que o sinal permanece digital em todo o percurso desde o processador até o sistema controlado e nenhuma conversão de digital para analógico é necessária. Ao manter o sinal digital, os efeitos de ruído são minimizados pois um ruído só pode afetar um sinal digital se ele for forte o suficiente para alterar uma lógica 1 para uma lógica 0 ou vice-versa.[9]

E. Hardware - Ponto de Controle 2

Para o ponto de Controle 2, buscou-se realizar a aplicação da identificação de obstáculos determinando a distância deste ao sensor. A intensidade de vibração foi exemplificada pelo uso de *leds*, que foram conectadas em série as saídas do tipo paralelo, do *74HC595*. O design em *protoboard*, realizado no software *Fritzing*, está na Figura 6.

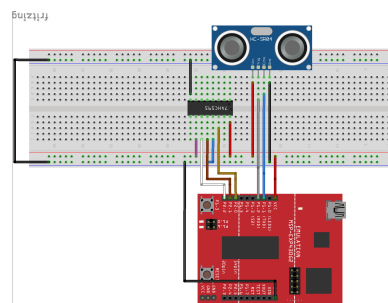


Figura 6. Desing do Circuito em *Protoboard*, sem *leds* conectadas a saída.

F. Software - Ponto de Controle 2

O código foi realizado no ambiente de desenvolvimento integrado da *Texas Instruments*, *Code Composer Studio(CCS)*, o código escrito na linguagem C.

Inicialmente é enviado um pulso para entrada *Trig*, de 20ms, após isso espera-se 6 segundos para um novo pulso no *Trig*. O *Timer A* foi definido em modo de captura para a entrada do pino *Echo*, ao ser encontrada

a borda de subida é realizada a interrupção e após a borda de descida é realizado o cálculo da distância.

Com a distância do obstáculo definida, uma variável interna é setada de acordo com o valor da distância, assim enviando pra porta de saída um valor serial pré-setado em uma matriz.

G. Software - Ponto de Controle 3

O grande desafio à nível de software do terceiro ponto de controle era conseguir realizar a leitura de dois sensores simultaneamente usando apenas uma *MSP430G2*. Inicialmente pensou-se em utiliza-los de maneira "paralela", enviando o pulso de Trigger, com o único atraso sendo de leitura de tarefa.

```
P1OUT |= TRIG1;
P1OUT |= TRIG2;
__delay_cycles(20);
P1OUT &= ~TRIG1;
P1OUT &= ~TRIG2;
```

Para usá-los, na codificação os sensores foram colocados em portas diferentes, a Figura 7 exemplifica o funcionamento, se havendo a borda de subida em um dos pinos *Echo*, a função de interrupção da porta é chamada, inicializando assim a contagem do pino *Echo* em nível lógico alto.

```
P1IE |= EchoPin1;
P2IE |= EchoPin2;
P1IES &= ~EchoPin1;
P2IES &= ~EchoPin2;
```

Na interrupção caso seja verificada uma borda de descida significa que um obstáculo foi identificado, assim podendo realizar o calculo da distância. Para o calculo foi usado o numero de vezes que a interrupção do *Timer* foi chamada somado ao valor no registrador *TAR*, o valor resultante sendo dividido por 74, para a transformação total do período do *ECHO* em centímetros.

Por fim foi setada a distância tolerável de 15cm, caso o obstáculo estivesse numa distância menor deveria ser ligado o *led* correspondente ao sensor. Porém ao se implementar na placa, não houve acendimento do *led*.

Logo a entrega da parte de software não foi efetuada no prazo do PC3, sendo adiada para o PC4, o orientador do projeto deu a ideia de realizar a utilização dos sensores de forma sequencial, enviando o pulso do Trigger e análise do Echo, em um sensor de cada vez.

H. Hardware - Ponto de Controle 3

À nível de hardware para o ponto de controle 3, foi montado um circuito em *protoboard* para leitura de dois sensores.

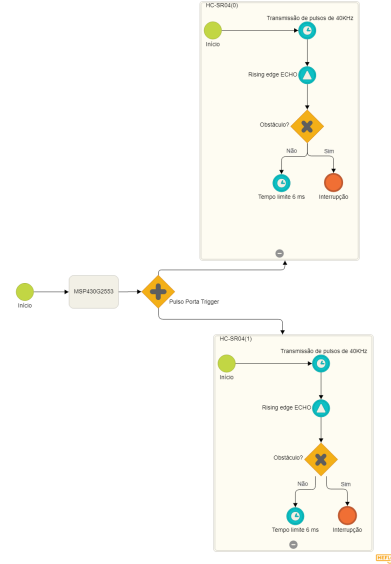


Figura 7. Fluxograma de Funcionamento do Software para os sensores de ultrassom, funcionamento paralelo.

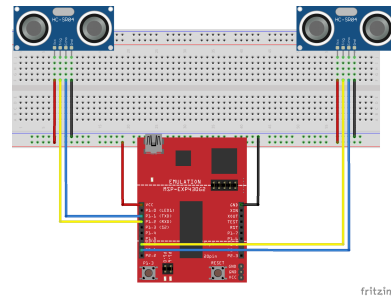


Figura 8. Esquemático circuito com leitura de dois sensores.

Para o protótipo final, foi decidido que para conforto, será realizado a confecção unicamente do boné, este contendo os 3 sensores, um frontal e dois diagonais(a ser testado a eficiência). Para a alimentação do circuito será utilizada uma bateria de 9V e 250mAh, sendo utilizado o regulador de tensão *LM7805*, para atingir a tensão de 5V desejada.

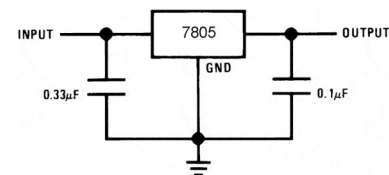


Figura 9. Esquemático circuito regulador de tensão.

I. Software - Ponto de Controle 4

Para este ponto de controle o objetivo era conseguir ler os três sensores, mostrar os resultados das distâncias pela comunicação serial e piscar os *LEDs* caso certas distâncias fossem identificadas e realizar a implementação da função do motor *PWM*, explicado como funciona na Seção VII-D. A leitura dos três sensores foi realizada com sucesso utilizando-se a multiplexação, Seção VII-C, porém para o projeto final talvez seja necessário realizar algum tipo de filtragem dos sinais.

No teste do funcionamento foi utilizado o monitor serial do *Energia*, pois este amostra de forma melhor os dados escritos na porta serial. A Figura 10 foi obtida como resultado, durante a realização dos teste, com um objeto na frente do sensor 1. A distância impressa para os outros dois sensores, se dá pelo máximo que o sensor capta e um controle realizado em *Software*.

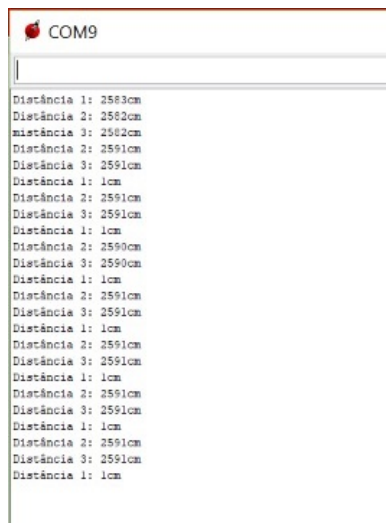


Figura 10. Leitura dos sensores 1, 2 e 3.

O ponto principal para realizar esta implementação foi a temporalização das funções, para que as seletoras ficassem setadas por tempo suficiente para o *CI* [10] e ainda os *leds* ficassem acesos por tempo suficiente para a percepção humana. O *Software* funciona da forma exemplificada pelo fluxograma na Figura 11.

Já para o motor *PWM*, a lógica básica usada foi atribuir um tempo grande ao *timer A0* em modo de Captura e Comparação do registrador *TACCR0* e porcentagens menores ao mesmo *timer* de registrador *TACCR1* - este funciona como o *Duty Cycle*. Como mostra o trecho de código abaixo, conforme o sensor vai lendo as distâncias, é atribuído um valor ao *TACCR1*. Por fim, se o registrador do *timer A0* for menor que o *Duty Cycle*

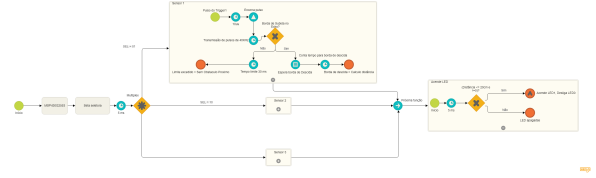


Figura 11. Fluxograma para 3 sensores de ultrassom multiplexados.

a saída tem seu pino zerado, caso contrário, o pino é setado.

O teste feito com o código abaixo mostrou que para atribuições ao *TACCR1* abaixo de 30% o tempo de vibração do motor é imperceptível. Assim, para o projeto final os valores de *TACCR0* e *TACCR1* devem ser melhor adaptados.

```
while(1) {
  if (distance >= 30 && distance < 40)
    TACCR1 = 500; //DUTY CYCLE 50%
  else if (distance >= 20 && distance < 30)
    TACCR1 = 600; //DUTY CYCLE 60%
  else if (distance >= 10 && distance < 20)
    TACCR1 = 700; //DUTY CYCLE 70%
  else if (distance < 10)
    TACCR1 = 800; //DUTY CYCLE 80%
  else
    TACCR1 = 0;

  if (TA0R >= TACCR1)
    P1OUT &= ~PWM;
  else
    P1OUT |= PWM;
}
```

J. Hardware - Ponto de Controle 4

Neste ponto de controle, à nível de hardware o desenvolvido foi o circuito para ligação dos três sensores ao multiplexador e à MSP. A imagem abaixo mostra o circuito montado em *protoboard*.

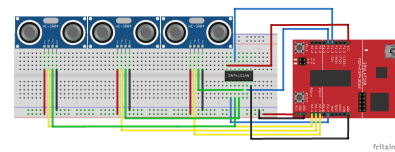


Figura 12. Visão circuito em *protoboard* 3 sensores e MUX

Também foi realizado a implementação teste de um motor com um sensor de ultrassom, porém não há a necessidade de apresentação do circuito, por seu aspecto simples e poucas conexões.

VIII. AMEAÇAS

Com a primeira aplicação real, notou-se uma deficiência de identificação de certos tipos de obstáculos, um exemplo são objetos circulares com pequenos diâmetros, isto se deve pela dispersão da onda emitida pelo ultrassom, fazendo com que a onda de retorno se torne uma onda disforme.

A compra de sensores ultrassônicos mais caros supriria este percalço, porém foge ao objetivo de baixo custo do projeto. Existe a possibilidade da aplicação de filtros, como por exemplo o Filtro de Kalman, porém seria necessário mais sensores e a aplicação em software teria dificuldade maior.

Outra ameaça nesta fase do projeto é conseguir fazer todo o protótipo físico com acomodação de todos os componentes do circuito no boné de forma que nenhum fio se desconecte e a estrutura do projeto não mude já que ainda não houve avanço nesta parte.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Dorina. (2010) Estatística da deficiência visual. [Online]. Available: <https://www.fundacaodorina.org.br/a-fundacao/deficiencia-visual/estatisticas-da-deficiencia-visual/>
- [2] L. Hogetop and L. Santarosa, "Tecnologias assistivas: Viabilizando a acessibilidade ao potencial individual," *PGIE - UFRGS*, vol. 5, no. 2, pp. 103–117, 2002.
- [3] C. S. G. de SOUZA, J. Sala, A. R. TOGNI, W. O. KAWAMOTO, C. S. P. ARIAS, and L. T. K. JÚNIOR., "Dispositivo para auxílio à locomoção de deficientes visuais baseado em transdutores ultrassônicos," *Revista Espacios*, vol. 37, no. 09, p. 20, 2016.
- [4] L. Brentano. (2011) Brasileiro cria bengala eletrônica de baixo custo para deficientes visuais. [Online]. Available: <http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2011/07/brasileiro-cria-bengala-eletronica-de-baixo-custo-para-deficientes-visuais.html>
- [5] J. H. Davies, *MSP430 microcontroller basics*. Elsevier, 2008.
- [6] A. Thomsen. (2015) Como utilizar o sensor ultrassônico hc-sr04. [Online]. Available: <http://buildbot.com.br/blog/como-utilizar-o-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>
- [7] T. Lima. (2015) Mux - multiplexador. [Online]. Available: <https://www.embarcados.com.br/mux/>
- [8] C. B. Silveira. (2016) O que é pwm e para que serve? [Online]. Available: <https://www.citisystems.com.br/pwm/>
- [9] N. C. Braga. (2013) Controle pwm de motor dc (mec139). [Online]. Available: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5534-mec139>
- [10] *Dual 4-Line To 1-Line Data Selectors/Multiplexers datasheet* (Rev. A), Texas Instruments, 5 2007, revised.