

TRABALHO PRÁTICO 2

Introdução à Robótica
Professor: Mário Fernando Montenegro Campos

Grupo 5 – Gigante Guerreiro Daileon:
Leonardo Palhares
Moisés Lisboa
Rafael Pissolato
Tiago Amadeu

Objetivo:

Familiarizar o aluno com a Handy Board e com as principais características do ambiente de programação Interactive C por meio da utilização de sensores, avaliando montagem e processamento dos sinais medidos.

Um breve parêntese:

Devido ao fato do protótipo construído para atuar no primeiro trabalho prático não ter atingido nossas expectativas, não seguimos adiante com ele. O único resquício do antigo modelo do Gigante Guerreiro Daileon foi a experiência que adquirimos durante o seu desenvolvimento.

Dessa vez, partimos de um modelo mais simples: duas rodas com tração diferencial e uma esfera de apoio dianteiro, sem muita experimentação. A redução foi baseada em rosca-sem-fim, por ser mais compacta. O novo protótipo ficou pronto em poucos dias, e apresenta uma estrutura bastante estável.

Como o foco desse trabalho prático é a utilização de sensores, não vamos expor aqui o trabalho de calibração dos motores realizado para essa nova configuração do Gigante. Vamos nos limitar a dizer aqui que os testes foram feitos de acordo com as necessidades que surgiram no decorrer do trabalho prático atual.

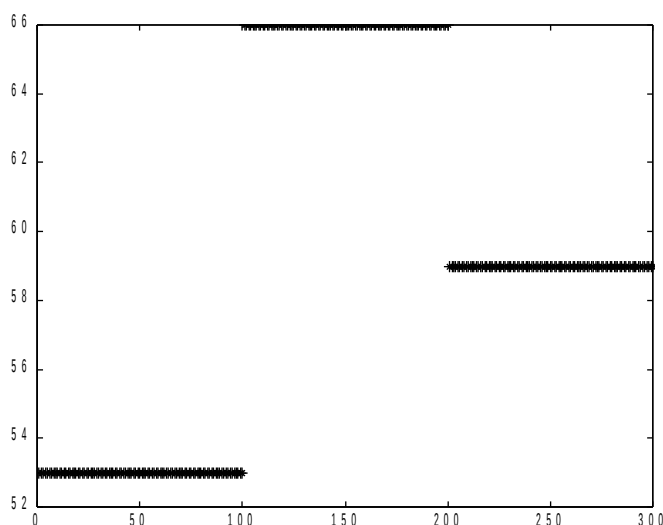
Caracterização do sensor ótico:

Escolhemos por montar o sensor ótico na base dianteira do robô. O sensor foi adaptado ao Lego utilizando-se uma peça extra de 2x2 pinos, e fita 3M para anexar o sensor à peça. A seguir, ele foi conectado a porta analógica 4 da Handy Board.

O objeto que escolhemos para fazer a caracterização do sensor foi um bloco de isopor verde. Colocamos o objeto a uma distância de 7mm do sensor. Usamos uma caixa de papelão para isolar a montagem da luz ambiente e manter as condições de iluminação constantes.

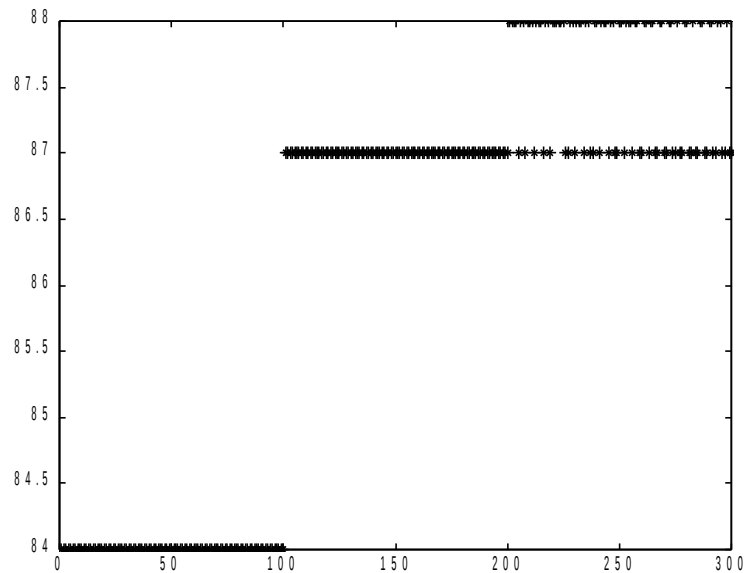
A listagem do programa IC usado para a coleta dos dados do sensor encontra-se na página do grupo.

Plotamos um gráfico com os dados adquiridos no MatLab. O valor médio e o desvio padrão podem ser observados no próprio gráfico:



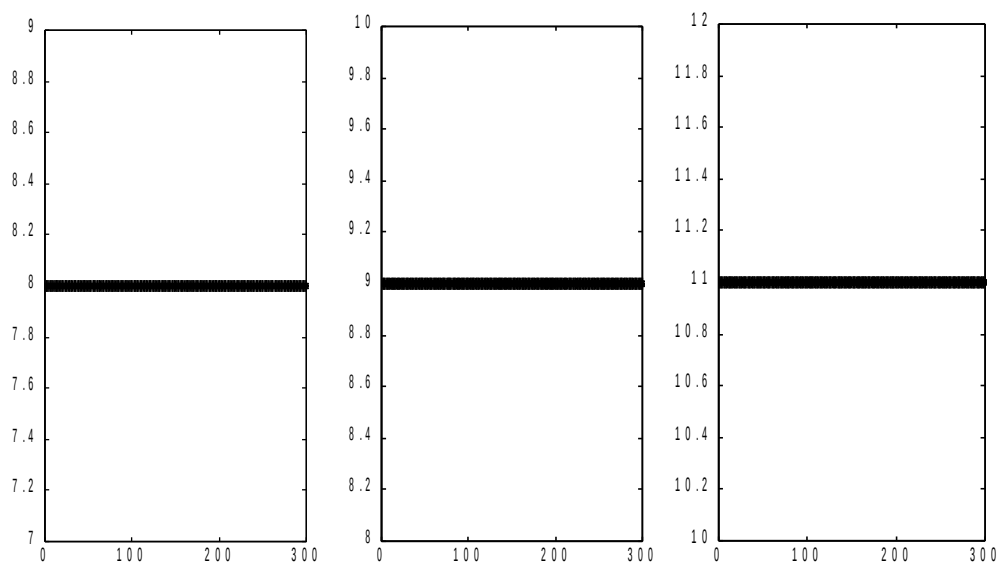
Descrevendo os dados, podemos observar uma variação em faixas de valores. Isso mostra que o sensor é muito sensível as menores variações na distância. Porém, pelo menos para curtas distâncias, quando o objeto se encontra em uma posição fixa, a leitura do sensor é constante durante todo o tempo.

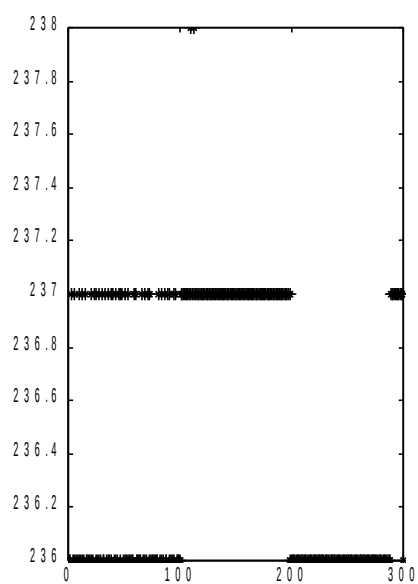
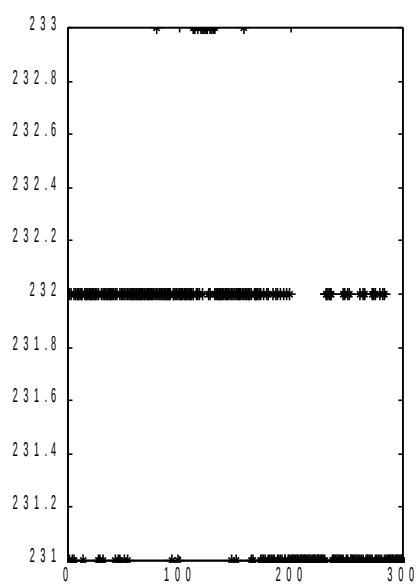
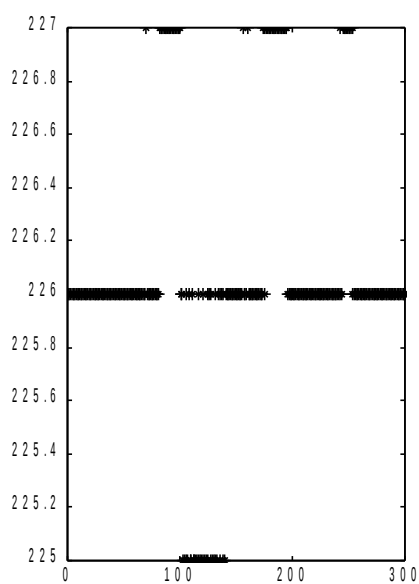
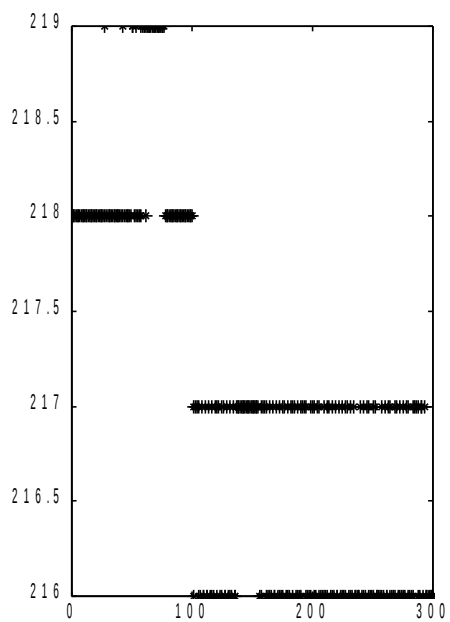
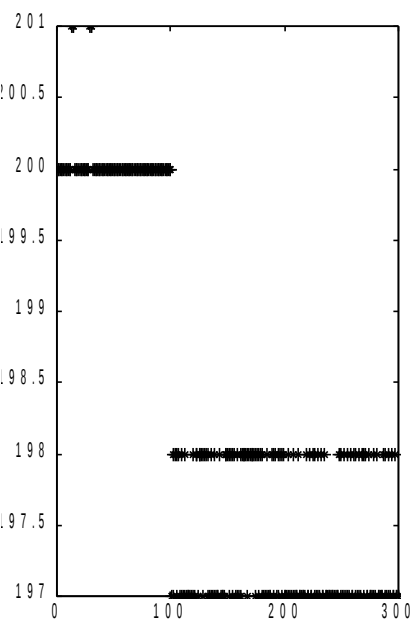
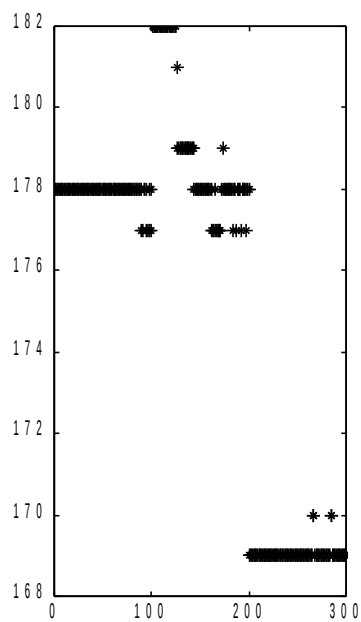
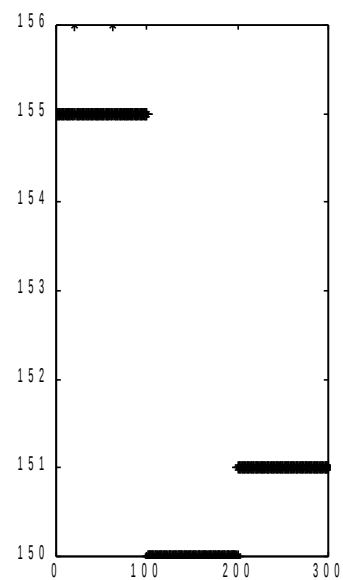
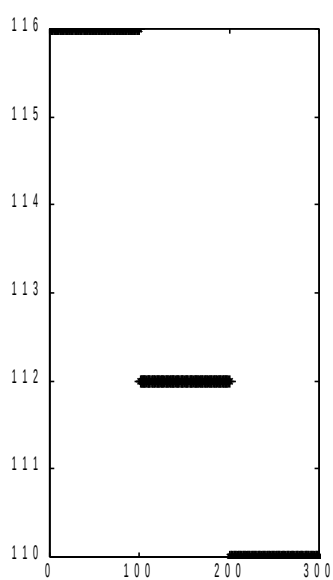
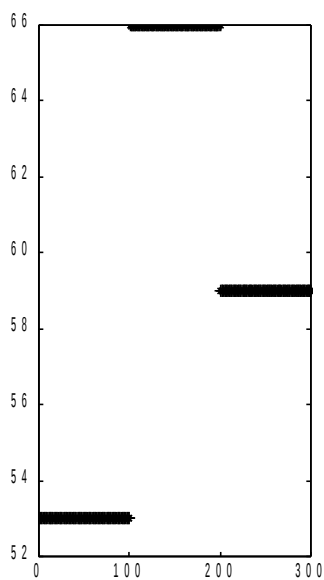
Com o mesmo objeto, posicionado à mesma distância do robô, porém agora sem manter as condições de iluminação constantes (retiramos a caixa de papelão de cima do robô), realizamos uma nova coleta de dados. Aqui, o objetivo é avaliar o impacto da variação da iluminação ambiente nos dados adquiridos. Plotamos esses dados no gráfico que vemos a seguir:

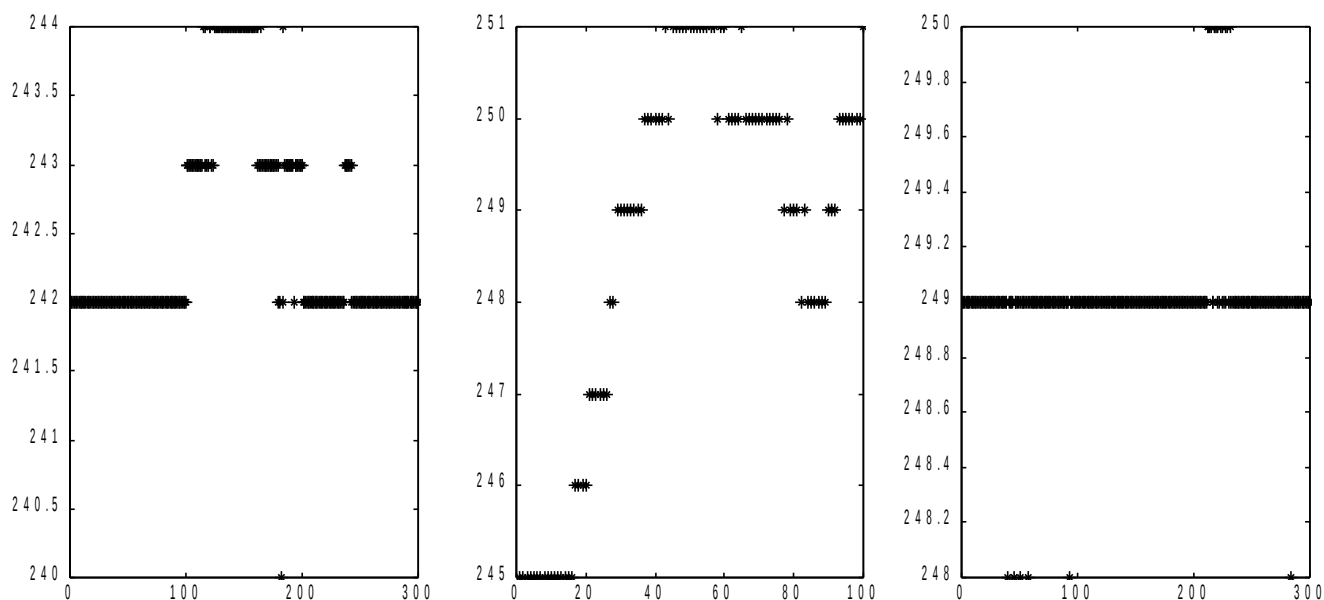


Comparando esse gráfico com o anterior, que mantinha as condições de iluminação constantes, observamos uma drástica mudança no valor da média dos sinais medidos. A variação do desvio padrão não nos importa muito para essa curta distância de 7mm, pois o sensor se mostra muito sensível à mínima variação da distância (da ordem de décimos de milímetro). Podemos assim perceber claramente a influência da luz ambiente nas medidas do sensor, de forma que não podemos em hipótese alguma desprezar esse efeito.

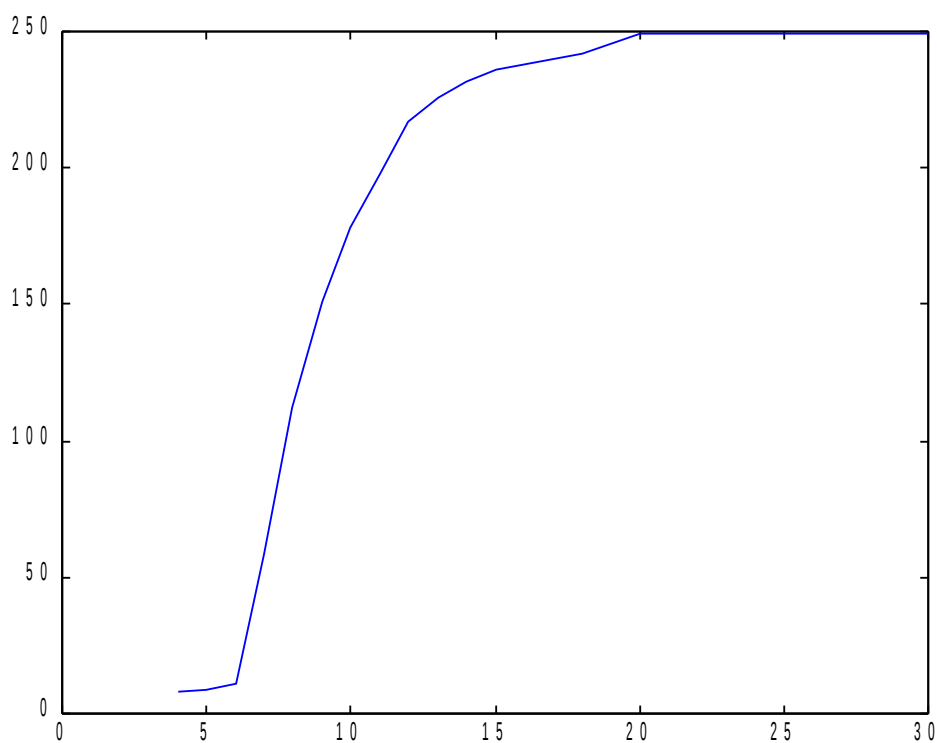
Ainda com o mesmo bloco de isopor verde, fazemos medidas do sinal do sensor ótico variando a distância do bloco em relação àquele. Realizamos essas medidas mantendo as condições de iluminação constantes, ou seja, utilizando a caixa de papelão para isolar a montagem da luz ambiente. Resumimos em vários gráficos os dados que foram coletados usando o mesmo programa listado anteriormente:







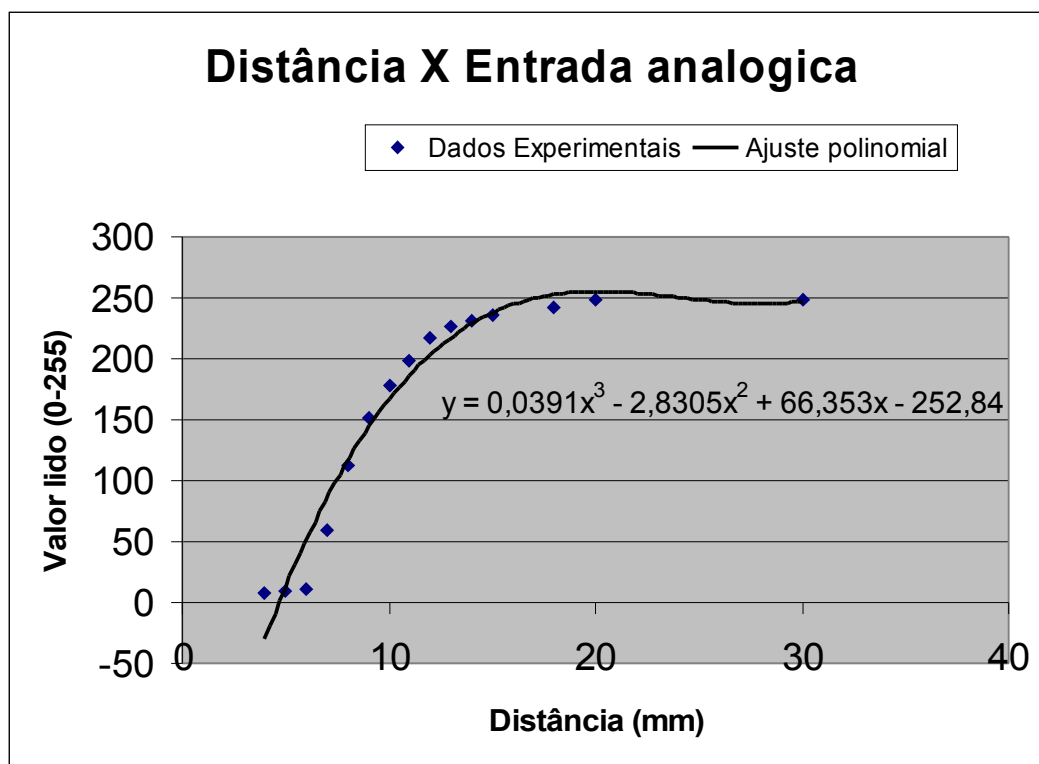
Em cada gráfico anterior, apresentamos também o valor médio e o desvio padrão. A seguir, apresentamos um gráfico que representa a curva do sinal do sensor ótico em função da distância do objeto. Nesse gráfico, os pontos foram escolhidos como os valores médios em cada distância. Para saber o desvio padrão em cada ponto, basta consultar seus respectivos gráficos dentre aqueles apresentados anteriormente:



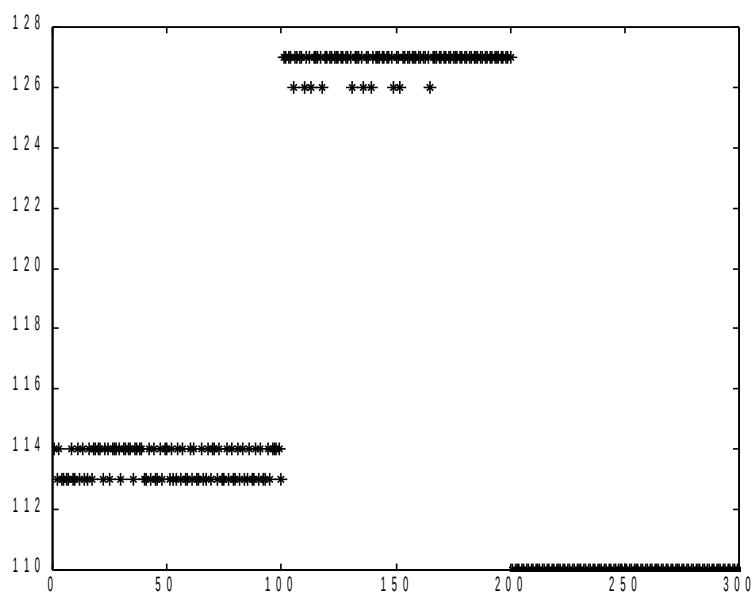
Ao observar o comportamento do sinal, aproximamos a curva por uma função polinomial de 3º grau, dada pela equação:

$$y = 0,0391x^3 - 2,8305x^2 + 66,353x - 252,84$$

Abaixo apresentamos a ajuste feito usando o Excel. Observa-se que a função não é linear, porém pode ser aproximada por dois trechos lineares: um primeiro trecho partindo da abscissa 7mm até aproximadamente 12mm, e outra partindo de 13mm até 30 mm.



Novamente, com o mesmo objeto utilizado nos procedimentos anteriores, na mesma distância onde as primeiras medidas foram realizadas, sob condições de iluminação constantes, usamos o mesmo programa para coleta de dados da primeira listagem para observar o comportamento do sinal do sensor ótico com os motores ligados. Montamos um gráfico com os dados obtidos:



Observa-se uma diferença, assim como no caso da variação das condições de iluminação, do valor médio do sinal. O desvio padrão, pelos mesmos motivos anteriores, ou seja, pelo fato do sinal variar muito com a menor variação da distância, não é muito importante em nossa análise. Porém, podemos perceber que o valor médio do sinal aumenta bastante. Explicamos esse fato dizendo que a fonte de energia disponível na Handy Board é uma bateria, que assim como todas as outras, não é ideal, e apresenta uma resistência interna. Logo, quanto mais carga exigirmos da bateria, maior é a queda de tensão em sua resistência interna, e dessa forma os sinais medidos se alteram. No caso do sensor ótico, essa alteração implica num aumento da amplitude do sinal.

Validação:

Colocamos o mesmo objeto usado para efetuar as medidas anteriores em quatro distâncias diferentes daquela usada. Os valores encontrados foram:

Distância	Valor medido	Valor calculado pela função	Erro médio (%)
15mm	241	238	1,24
17mm	244	249	2,05
19mm	246	254	3,25
25mm	251	248	1,20

Podemos observar também na tabela o erro médio entre o valor medido pelo sensor e o valor calculado pela função que aproximamos à curva de dados coletados. Com base nessa comparação, podemos dizer que a aproximação foi muito boa, o suficiente se pensarmos que existem muitos erros envolvidos nas próprias medidas.

Influência da superfície e cor do objeto:

Utilizando blocos coloridos de isopor, examinamos a influência da superfície e cor do objeto na resposta do sensor. Escolhemos blocos de isopor por ser um corpo mais fosco, onde existe pouca reflexão. Dessa forma, focamos nossos experimentos principalmente na influência da cor.

Para observar esse fato, usamos a seguinte metodologia, que também nos ajudaria a determinar qual seria a melhor distância que nos permitiria a distinguir entre blocos de diferentes cores: para cada bloco, fizemos medidas da intensidade do sinal em função da distância, em condições de iluminação não constantes. Abaixo, apresentamos uma tabela com os valores medidos e um gráfico com as respectivas curvas:

Verde:

distância(mm)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	18	30
média	8	9	10	32	87	126	161	183	206	219	226	233	238	243	250
desvio padrão	0	0,48	0	1,83	1,60	1,01	1,07	0,90	1,32	0,42	0,50	0,50	0,50	0,54	0,40

Azul:

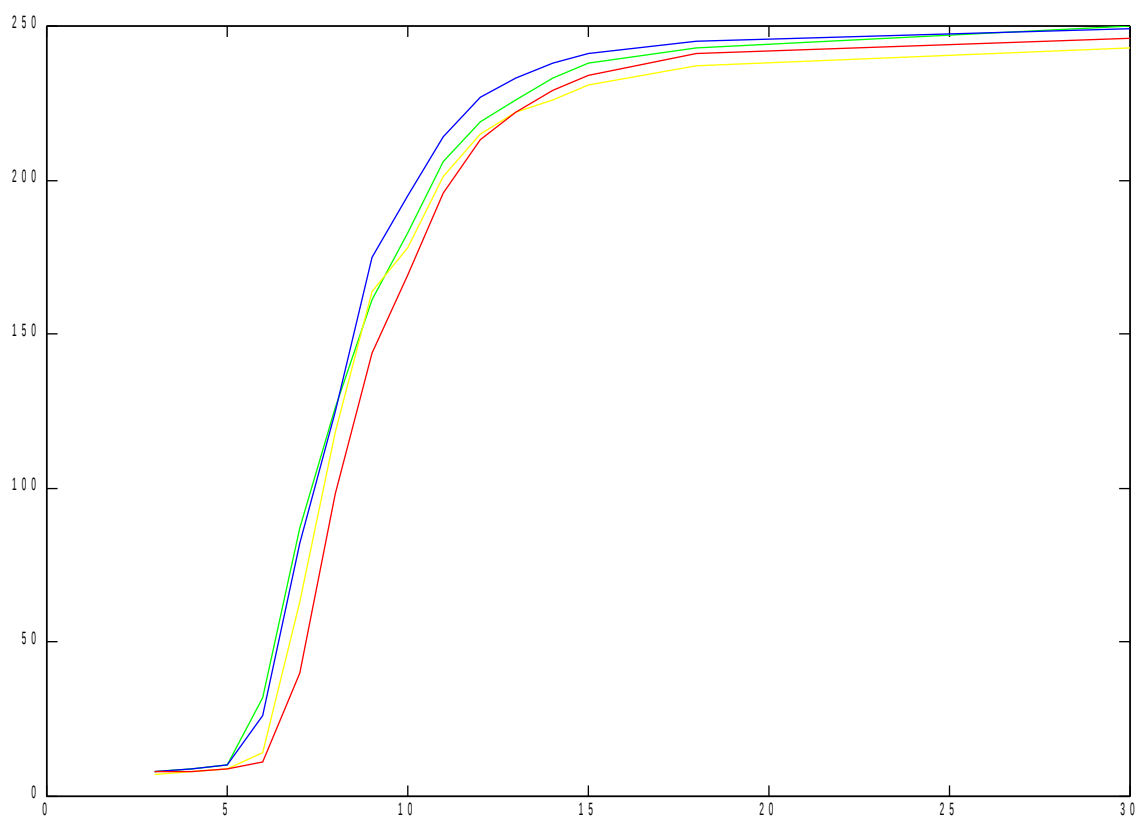
distância(mm)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	18	30
média	8	9	10	26	82	125	175	195	214	227	233	238	241	245	249
desvio padrão	0	0	0	0	0,49	0	0,10	0,10	0,43	0,49	0,36	0,50	0,45	0,38	0,50

Amarelo:

distância(mm)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	18	30
média	7	8	9	14	63	118	164	178	201	215	222	226	231	237	243
desvio padrão	0,45	0	0	0,10	0,64	0,58	0,64	0,59	0,69	0,62	0,58	0,71	0,67	0,80	0,82

Vermelho:

distância(mm)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	18	30
média	8	8	9	11	40	98	144	169	196	213	222	229	234	241	246
desvio padrão	0	0	0	0	0,74	0,46	0,17	0,42	0,34	0,45	0,36	0,48	0,50	0,50	0,52



Podemos observar que as curvas são muito próximas, o que mostra a pequena influência da cor do objeto na resposta do sensor se comparado, por exemplo, à influência dos motores ligados e das condições de iluminação não constantes. Apesar desse fato ter tornado quase impossível nossa tarefa de determinar a melhor distância para distinguir cores diferentes, ele é um ponto positivo do sensor se lembrarmos que sua principal função é medir distância, sem se importar com a cor do objeto que reflete a onda eletromagnética.

A listagem do programa para identificar a cor do bloco se encontra na página do grupo.

Interface de sensores:

Exercícios do livro:

1 - Reescreva a função `normal.c` e atualize os valores de `MAX_LIGHT` e `MIN_LIGHT` para os valores encontrados nos testes realizados com o robô. Quais foram estes valores?

R.:
Os valores obtidos para cada sensor foram de:
`Analog_2: Min 140 Max 251;`
`Analog_5: Min 170 Max 251;`
`/*normal.c*/`
`/*converte um range qualquer, em um range de 0 a 100 para controle dos motores*/`
`int normaliza(int light, int MAX_LIGHT, int MIN_LIGHT){`
`/*modificação necessária, visto que cada sensor tem um RANGE diferente;*/`
`//int MAX_LIGHT = 140;`
`//int MIN_LIGHT = 251;`
`int output = 100 - (( light - MAX_LIGHT) * 100) / (MIN_LIGHT - MAX_LIGHT);`
`if (output < 0 ) output = 0;`
`if (output > 100) output = 100;`
`return output;`
`}`

2 - Faça o teste da nova função que você implementou e diga qual foi o resultado.

R.:
Utilize o comando:
`int main (){`
`while (1) {`
`printf("normal = %d \n", normalize(analog(4))); msleep(.1);`
`}`
`return 0`
`}`

3 - Na função `NORMALIZE`, há uma checagem para verificar se os valores estão abaixo de 1 ou acima de 100. Como é possível que isto venha a ocorrer?

R.:
Isto ocorre principalmente porque as constantes utilizadas para realizar a função de normalização são dependentes de muitas variáveis do ambiente, tais como carga da bateria, temperatura e para este tipo de sensor, principalmente a iluminação local que até para o mesmo ambiente, varia ao longo do dia, o que ocasiona uma mudança nas constantes do range que não são percebidas pela função, ocasionando números negativos ou números maiores que 100.

Metodologia:

Selecionamos um dos dois sensores LDR disponíveis. Montamos o sensor dentro de uma superfície cilíndrica plástica escura de forma a limitar o ângulo de incidência da luz ambiente sobre o resistor. Dessa forma, somente a face frontal do LDR recebe radiação externa. Além dessa blindagem, anexamos o sensor numa montagem com cola quente em duas peças Lego extras, de forma a montá-lo na lateral dianteira do robô, com sua face exposta à luz virada para o chão.

Escolhemos de início a porta analógica onde trabalharíamos com esse sensor. Dessa forma, evitamos que nossas medidas percam sua validade ao usarmos o sensor em outra porta analógica, que pode responder de forma diferente àquela onde foram realizados os testes. Esses testes se resumiram a medir a diferença dos sinais quando o sensor apontava pra uma superfície negra e para uma superfície clara, o suficiente para nosso objetivo de seguir uma faixa negra.

A seguir, construímos o outro sensor LDR da mesma forma como montamos o anterior. De forma a fazer um teste definitivo, montamos os dois sensores no robô, um na lateral esquerda dianteira e outro na lateral direita dianteira, ambos com a face exposta à luz virada para o chão. O espaçamento entre eles foi alocado de forma a deixá-los numa distância um pouco maior que a faixa negra que o robô teria de seguir. Feita a montagem, seguimos com os testes. Estes foram feitos da seguinte forma: colocamos o robô, com os motores ligados, com os sensores em várias situações diferentes, variando sempre as condições de iluminação ambiente. Os dados obtidos pela leitura do sensor foram os seguintes:

Combinação / Sensor	Analog 2 (direita) Muita iluminação	Analog 5 (esquerda) Muita iluminação	Analog 2 (direita) Pouca iluminação	Analog 5 (esquerda) Pouca iluminação
Esquerdo claro Direito claro	140	170	177	178
Esquerdo claro Direito escuro	247	177	251	192
Esquerdo escuro Direito claro	150	251	160	251
Esquerdo escuro Direito escuro	248	248	251	251

Nossa intenção com esses testes foi a de estabelecer um valor limite entre a superfície negra e a clara, como resultado da leitura dos sensores. Como podemos observar, os valores estão concentrados em margens bem distintas, mesmo com uma significativa variação das condições de iluminação ambiente. Esse fato foi de grande importância para o sucesso de nosso trabalho. Estabelecemos que um bom valor para esse limite entre negro e claro seria 230, pois como podemos observar, os valores no escuro nunca são menores que 247, enquanto que os valores no claro nunca são maiores que 192. Claro que existe uma faixa de valores que poderíamos ter escolhido, porém não houve necessidade de nenhum outro método que não fosse o próprio instinto pra poder escolher o valor que escolhemos.

O programa que usamos como a interface para essas medidas se encontra na página do grupo.

Sensoriamento avançado:

O algoritmo que usamos para fazer o robô seguir a faixa escura foi o seguinte: dada as posições onde os sensores estão alocados no robô, conforme descrito anteriormente, baseamos nosso algoritmo em quatro estados que tem ligação direta de um com todos os outros. A seguir discutimos esses quatro estados:

- Ambos sensores indicam claro - Nessa condição, o robô entende que a faixa preta está abaixo dele e, portanto, ele segue em linha reta. Ou seja, mesmo que o robô não tenha nenhuma faixa escura abaixo de si, ele continua seguindo em linha reta.
- Sensor esquerdo indica claro e sensor direito indica escuro - Supondo o robô anteriormente em cima da faixa escura (ambos sensores indicando claro), quando o sensor direito passa a indicar escuro, entende-se que a faixa mudou sua trajetória e, para continuar seguindo a faixa, o robô precisa virar pra direita. Do outro lado, supondo que o robô se encontra fora da faixa, ao encontrar uma faixa à sua direita, ele vira para sua direção, de forma a ficar mais próximo da faixa.
- Sensor esquerdo indica escuro e sensor direito indica claro - Supondo o robô anteriormente em cima da faixa escura (ambos sensores indicando claro), quando o sensor esquerdo passa a indicar escuro, entende-se que a faixa mudou sua trajetória e, para continuar seguindo a faixa, o robô precisa virar pra

esquerda. Do outro lado, supondo que o robô se encontra fora da faixa, ao encontrar uma faixa à sua esquerda, ele vira para sua direção, de forma a ficar mais próximo da faixa.

- Ambos sensores indicam escuro - Nessa condição, o robô entende que a faixa preta está perpendicular a sua direção e, portanto, ele gira pra algum sentido. No nosso algoritmo, o sentido escolhido foi pra direita. Assim, sempre que se encontrar nessa condição, o robô vai seguir a linha no sentido à sua direita.

O problema encontrado a seguir foi o de se responder o quanto o robô teria de virar em cada uma dessas condições. Por esse algoritmo, podemos perceber claramente que esse tanto depende de várias questões como espessura da faixa negra a se seguir e a velocidade de translação do robô. Para lidar com essas variáveis, que não eram muitas, optamos inicialmente por usar o método de tentativa e erro, pois fazer uma lógica que abordasse esses quesitos seria um exagero se o ajuste fosse simples.

Então, estabelecemos valores iniciais na velocidade de rotação. Para o primeiro ajuste, percebemos que o robô estava girando muito lentamente. Para permanecer na reta estava muito bom, porém nas curvas ele precisava de uma maior amplitude de rotação. Então, aumentamos a amplitude de rotação do robô e testamos novamente. Bastou isso para o robô seguir a linha perfeitamente. Alguns ajustes foram feitos mais tarde com o intuito de suavizar a curva do robô para a trajetória em questão.

Partindo do mais simples, conseguimos resultados muito bons. Dessa forma, não nos pareceu conveniente, nesse caso especificamente, trabalhar numa outra hipótese muito mais elaborada e que não poderia trazer um avanço muito mais significativo.

O programa que implementa a função de seguir a linha escura se encontra listado na página do grupo.

Conclusão:

Percebemos que o mais simples sempre é a melhor solução.

Partindo sempre da hipótese mais simples, podemos sempre ter um maior controle do que estamos fazendo. Dessa forma, mesmo que o mais simples seja pouco para nossos propósitos, ao trabalhar em cima do modelo simples, podemos perceber com muito mais facilidade onde se encontram os erros, para então, numa próxima implementação, corrigi-los com maior eficiência.

Com os vários testes que realizamos ao longo desse trabalho, notamos claramente a diferença de se trabalhar em um universo teórico e no universo real. Aprendemos que a teoria nos ajuda bastante a elaborar modelos que se aplicam a realidade, e que um bom domínio desses modelos, nos ajuda muito no universo real, porém não resolve todos os nossos problemas. Quando trabalhamos com o sensor ótico, os resultados teóricos não respondiam ao que acontecia no mundo real, pois os erros envolvidos faziam as curvas das diferentes cores superporem-se, tornando a tarefa de distingui-las praticamente impossível pelos métodos que usamos.

É fundamental se trabalhar em blocos. Dividir uma tarefa em várias sub-tarefas nos dá um maior domínio sobre as partes, resultando de um grande entendimento da tarefa final, o que nos ajuda inclusive na detecção e correção de possíveis falhas ou pontos onde se pode fazer algo melhor. Ao se trabalhar com cada sensor separadamente, antes de integrá-lo ao robô e trabalhar com o sistema completo, nos facilitou muito na tarefa de calibrar a máquina na tarefa final, o que inclusive nos possibilitou fazer a calibração por tentativa e erro.

Notamos a grande importância do software num projeto de robótica. Apesar de toda a estrutura e de todos os sensores calibrados e funcionando perfeitamente, saber lidar com os dados adquiridos e a forma de como processá-los é uma tarefa de fundamental importância para o sucesso do projeto.