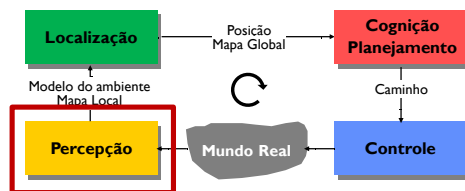


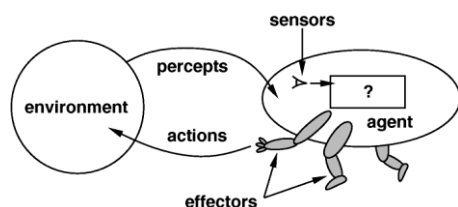
Introdução à Robótica Sensores

Prof. Douglas G. Macharet
douglas.macharet@dcc.ufmg.br

Introdução



Introdução



Introdução

- Aquisição de informações do ambiente
 - Mais conhecimento → Melhores decisões
- Diferentes tipos de sensores
 - Qual tarefa o robô deve resolver?
 - Quanto posso pagar?
 - Qualidade
 - Outras características (peso, tamanho, ...)

Introdução

Classificação

- Proprioceptivos (internos)
 - Mede valores internos aos sistema (robô)
 - Ex: Velocidade do motor, orientação, bateria, ...
- Exteroceptivos (externos)
 - Mede valores externos ao sistema (ambiente)
 - Ex: Distância de objetos, intensidade da luz, ...

Introdução

Classificação

- Passivos
 - Baseados em *energia* vinda do ambiente
 - Ex: Câmeras, bússolas, bumpers, ...
- Ativos
 - Emitem a própria energia e medem o resultado
 - Melhor desempenho, influenciam no ambiente
 - Ex: Lasers, radares, ...

Introdução

Classificação

General classification (typical use)	Sensor Sensor System	PC or EC	A or P
Tactile sensors (detection of physical contact or closeness; security switches)	Contact switches, bumpers	EC	P
	Optical barriers	EC	A
	Noncontact proximity sensors	EC	A
Wheel/motor sensors (wheel/motor speed and position)	Brush encoders	PC	P
	Potentiometers	PC	P
	Synchros, resolvers	PC	A
	Optical encoders	PC	A
	Magnetic encoders	PC	A
	Inductive encoders	PC	A
	Capacitive encoders	PC	A
Heading sensors (orientation of the robot in relation to a fixed reference frame)	Compass	EC	P
	Gyroscopes	PC	P
	Inclinometers	EC	A/P

A, active; P, passive; P/A, passive/active; PC, proprioceptive; EC, exteroceptive.

Introdução

Classificação

General classification (typical use)	Sensor Sensor System	PC or EC	A or P
Ground-based beacons (localization in a fixed reference frame)	GPS	EC	A
	Active optical or RF beacons	EC	A
	Active ultrasonic beacons	EC	A
Active ranging (reflectivity, time-of-flight, and geometric triangulation)	Reflectivity sensors	EC	A
	Ultrasonic sensor	EC	A
	Laser rangefinder	EC	A
	Optical triangulation (1D)	EC	A
Motion/speed sensors (speed relative to fixed or moving objects)	Structured light (2D)	EC	A
	Doppler radar	EC	A
Vision-based sensors (visual ranging, whole-image analysis, segmentation, object recognition)	Doppler sound	EC	A
	CCD/CMOS camera(s)	EC	P
	Object tracking packages		

Processamento Digital de Sinais

- Maioria dos fenômenos é contínuo
 - Geram sinais (medições) contínuos
- Para utilizá-lo é necessário uma conversão
 - Analogico → Digital
- Principais características
 - Amostragem
 - Quantização

Processamento Digital de Sinais

- Conversão implica em perda de informação
 - Qual informação pode ser descartada?



- Amostragem: Intervalo entre os valores
- Quantização: Transformação do valor

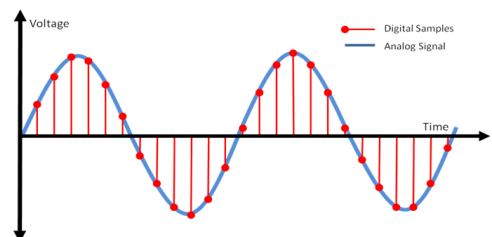
Processamento Digital de Sinais

Amostragem

- Processo no qual são armazenados alguns valores de um sinal contínuo em instantes discretos de tempo
 - Período de amostragem
- Similar ao que ocorre em um vídeo
 - Fotos das cenas em intervalos regulares
 - Sensação de movimento

Processamento Digital de Sinais

Amostragem



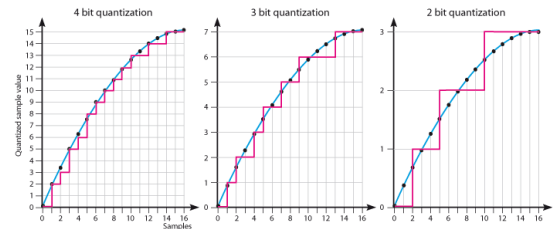
Processamento Digital de Sinais

Quantização

- Valores da função também são contínuos
 - Apesar de amostrados de forma discreta
- Discretização do sinal na amplitude
 - Arredondamento → Perda de informação
- Processo realizado por um quantizador
 - Software/Hardware

Processamento Digital de Sinais

Quantização



Interface de Sensoriamento

Arduino

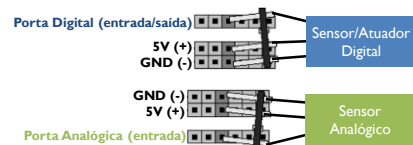


- 14 Portas **Digitais** (Entradas/Saídas)
 - Portas 23-35 e 41-53 (ímpares)
- 8 Portas **Analógicas** (Entradas)
 - Portas 8-15

Interface de Sensoriamento

Arduino

- Cada porta é composta por 3 pinos
 - Sinal de 0V a 5V (barra simples)
 - Tensão de +5V (pino do meio)
 - Terra (GND)



Interface de Sensoriamento

Arduino – Lógica digital

- Valores de tensão → Níveis lógicos
 - O valor da tensão é uma referência
- ALTO (HIGH) ou LIGADO (ON): 5V
- BAIXO (LOW) ou DESLIGADO (OFF): 0V
- Níveis lógicos (entrada)
 - VCC: Sempre fornece nível lógico HIGH
 - GND: Sempre fornece nível lógico LOW

Interface de Sensoriamento

Arduino – Portas digitais

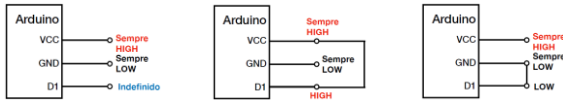
- Configuráveis como Entrada/Saída
 - Por padrão iniciadas como Entrada
- Alta impedância
 - Pequena corrente consegue mudar o estado
- Conversão
 - Lógico 1: $V_{\text{sens}} \geq 3,0V$
 - Lógico 0: $V_{\text{sens}} \leq 1,5V$



Interface de Sensoriamento

Arduino – Portas digitais

- Níveis lógicos sem conexão são indefinidos
 - $1,5V < V_{sens} < 3,0V$
- Garantia de nível lógico estável
 - Resistores PULLUP ou PULLDOWN



<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/DigitalPins>



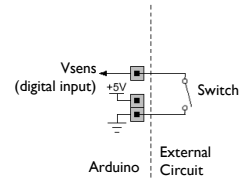
Introdução à Robótica - Sensores

19

Interface de Sensoriamento

Arduino – Portas digitais (entrada)

- Exemplo: Switch
- Como garantir um valor estável (Lógica 1) quando a chave não está pressionada?



Switch State	V_{sens}	Hardware Reading
Open (not pressed)	?? Volts	Lógica indeterminada
Closed (pressed)	0 Volts	Lógica 0



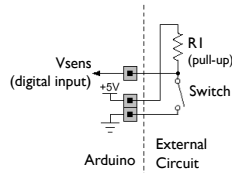
Introdução à Robótica - Sensores

20

Interface de Sensoriamento

Arduino – Portas digitais (entrada)

- Exemplo: Switch
- Utilizando Pull-up
 - Lógica é garantida pela conexão elétrica do resistor R_1 no pino de +5V!



Switch State	V_{sens}	Hardware Reading
Open (not pressed)	5 Volts	Lógica 1
Closed (pressed)	0 Volts	Lógica 0

- `int valor = digitalRead(pino)`

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/digital-io/digitalread/>



Introdução à Robótica - Sensores

21

Interface de Sensoriamento

Arduino – Portas digitais (saída)

- `pinMode(pin, mode)`
 - INPUT: Entrada digital;
 - OUTPUT: Saída digital;
 - INPUT_PULLUP: Entrada digital com resistor de pull-up (ligado ao VCC) interno habilitado.
- `digitalWrite(pino, valor)`
 - Observar os limites de corrente! (~40mA)

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/digital-io/pinmode/>



Introdução à Robótica - Sensores

22

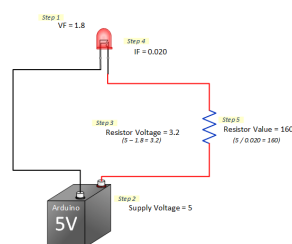
Interface de Sensoriamento

Arduino – Portas digitais (saída)

```
void setup() {
  pinMode(23, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(23, HIGH);
  delay(1000);

  digitalWrite(23, LOW);
  delay(1000);
}
```



Introdução à Robótica - Sensores

23

Interface de Sensoriamento

Arduino – Portas analógicas (entrada)

- Medem valores de variação contínua
 - O valor de V_{sens} (0V – 5V) é convertido (A/D) para um valor quantizado (V_q) de 10 bits (0 – 1023)
- Exemplo
 - $V_{sens} \cong 5V \rightarrow V_q \cong 1023$
 - $V_{sens} \cong 3,5V \rightarrow V_q \cong 716$
 - $V_{sens} \cong 1,5V \rightarrow V_q \cong 306$
 - $V_{sens} \cong 0V \rightarrow V_q \cong 0$

$$V_q = V_{sens} \cdot \frac{1023}{5}$$



<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/AnalogInputPins>



Introdução à Robótica - Sensores

24

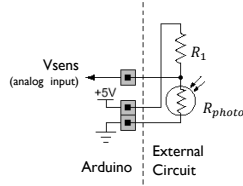
Interface de Sensoriamento

Arduino – Portas analógicas (entrada)

▪ LDR (Light-Dependent Resistor)

$$V_{sens} = V_{CC} \cdot \frac{R_{photo}}{R_1 + R_{photo}}$$

- $R_{photo} \gg R_1, V_{sens} \cong 5V$
- $R_{photo} = R_1, V_{sens} \cong 2,5V$
- $R_{photo} \ll R_1, V_{sens} \cong GND$



Interface de Sensoriamento

Arduino – Portas analógicas (entrada)

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

int sensorPin = A5; // Porta Analógica

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop()
{
  int sensor_val = analogRead(sensorPin);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("["); lcd.print(sensor_val); lcd.print("]");
}
```

Sensores

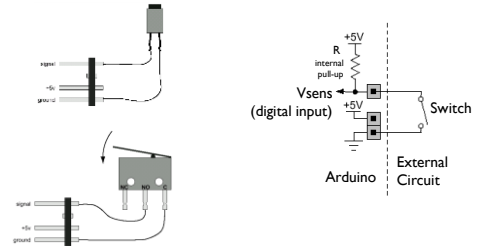
Toque (switch)

- Indicam se ocorreu um contato físico
 - Ex: O bumper pode ser utilizado para alterar a direção de movimento após uma colisão
- Sensoriamento limitado
 - Maior quantidade → Mais informações
 - É melhor prevenir do que remediar!
- Pode ser utilizado como odometria

Sensores

Toque (switch)

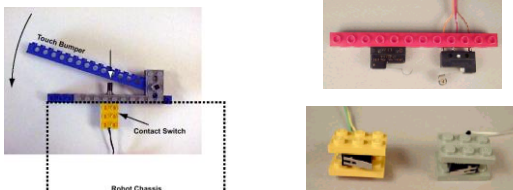
▪ Exemplos de conexão



Sensores

Toque (switch)

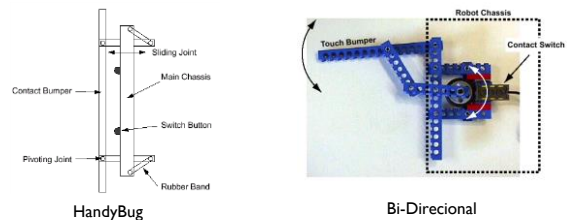
▪ Exemplos de utilização (Lego)



Sensores

Toque (switch)

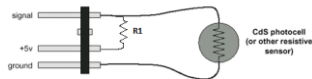
▪ Exemplos de utilização (Lego)



Sensores

LDR (Light-Dependent Resistor)

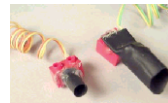
- Mede a intensidade da luz no ambiente
 - Valores pequenos com muita luz
 - Resistência pequena ($V_{sens} \cong 0V$)
 - Valores grandes com pouca luz
 - Resistência grande ($V_{sens} \cong +5V$)



Sensores

LDR (Light-Dependent Resistor)

- Utilizando o sensor
 - Proteção permite uma detecção direcionada



```
while (1) {
  printf("%d\n", digitalRead(0));
  delay(100);
}
```

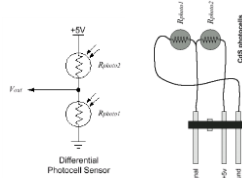
```
int light(int port) {
  return 1023 - digitalRead(port);
}
```

Sensores

LDR (Light-Dependent Resistor)

- LDR Diferencial
 - Permite fazer uma interpretação de qual lado está recebendo mais luz e de quanto mais

$$V_{out} = \frac{R_{photo2}}{R_{photo1} + R_{photo2}} \cdot V_{CC}$$



Sensores

LDR (Light-Dependent Resistor)

- LDR Diferencial
 - $R_2 = R_1, V_{out} = 2.5V$
 - $R_2 \ll R_1, V_{out} \cong GND$
 - Mais luz em R_2
 - $R_2 \gg R_1, V_{out} \cong 5V$
- Considerações
 - Utilizar LDRs com $R \cong 10K\Omega$ ⚠
 - Barreira: Projetar sombra na direção contrária



Sensores

LDR (Light-Dependent Resistor)

```
int LEFT_MOTOR= 0;
int RIGHT_MOTOR= 3;
int DIFF_EYE= 0;

void main()
{
  while (1) {
    if (analog(DIFF_EYE) < 512) {
      /* turn to left */
      motor(RIGHT_MOTOR, 100); delay(100); off(RIGHT_MOTOR);
    } else {
      /* turn to right */
      motor(LEFT_MOTOR, 100); delay(100); off(LEFT_MOTOR);
    }
  }
}
```

Sensores

LDR (Light-Dependent Resistor)

- Luz polarizada
 - Possui apenas uma "direção de movimento"
 - Geralmente é obtida utilizando-se um filtro

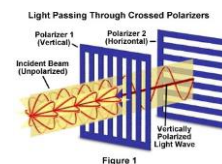
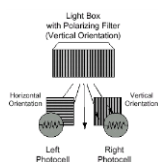


Figure 1

Sensores

LDR (Light-Dependent Resistor)

- LDR Diferencial Polarizado
 - Pode ser utilizado para localização
- Considerando fontes polarizadas
 - Valores acima do valor médio representam uma fonte, abaixo representam outra fonte



Sensores

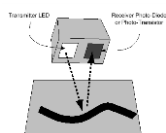
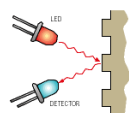
Óptico-Reflexivo

- Sensor ativo
- Feixe de luz emitido pelo sensor é refletido no ambiente e captado por um receptor
- De acordo com a reflectância da superfície, mais ou menos luz é refletida de volta
- Essa quantidade de luz é medida e informada

Sensores

Óptico-Reflexivo

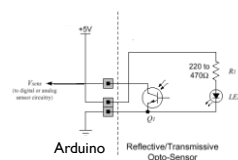
- Emissor
 - LED infravermelho
- Receptor
 - Fotodiodo
 - Fototransistor



Sensores

Óptico-Reflexivo

- Circuitos separados
 - Emissor/Receptor
- Emissor
 - Conectado a +5V
 - Resistor entre $220\Omega - 470\Omega$ ⚠
- Receptor
 - Conectado ao LS e GND, como um LDR



Sensores

Óptico-Reflexivo

- Principais aplicações
 - Detecção de objetos
 - Ex: Distância para uma parede
 - Detecção de características
 - Ex: Uma parte que difere do restante da superfície

Sensores

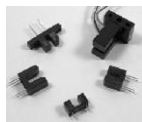
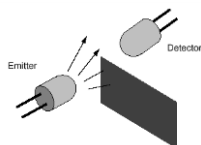
Óptico-Reflexivo vs. LDR

- LDR
 - Fáceis de trabalhar (resistor)
 - Tempo de resposta mais lento
- Óptico-Reflexivo
 - Mais sensível a pequenas variações
 - Tempo de resposta mais rápido

Sensores

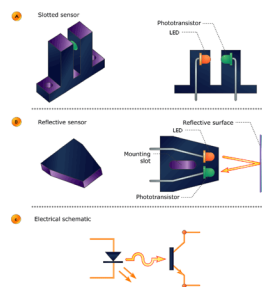
Break-Beam

- Sensor ativo
- Emissor/Receptor direcionados um ao outro
 - Detecta se o feixe de luz foi interrompido



Sensores

Break-Beam



Sensores

Break-Beam

- Não necessariamente um sensor fechado
 - Qualquer par de Emissor/Receptor
 - Ex: LED e Fotodiodo/Fototransistor



Sensores

Break-Beam

- *Shaft-Encoding*
 - Medir a variação (rotação) do eixo da roda
- Velocidade
 - Quão rápido as rodas estão girando
- Odômetro
 - Número total de rotações

