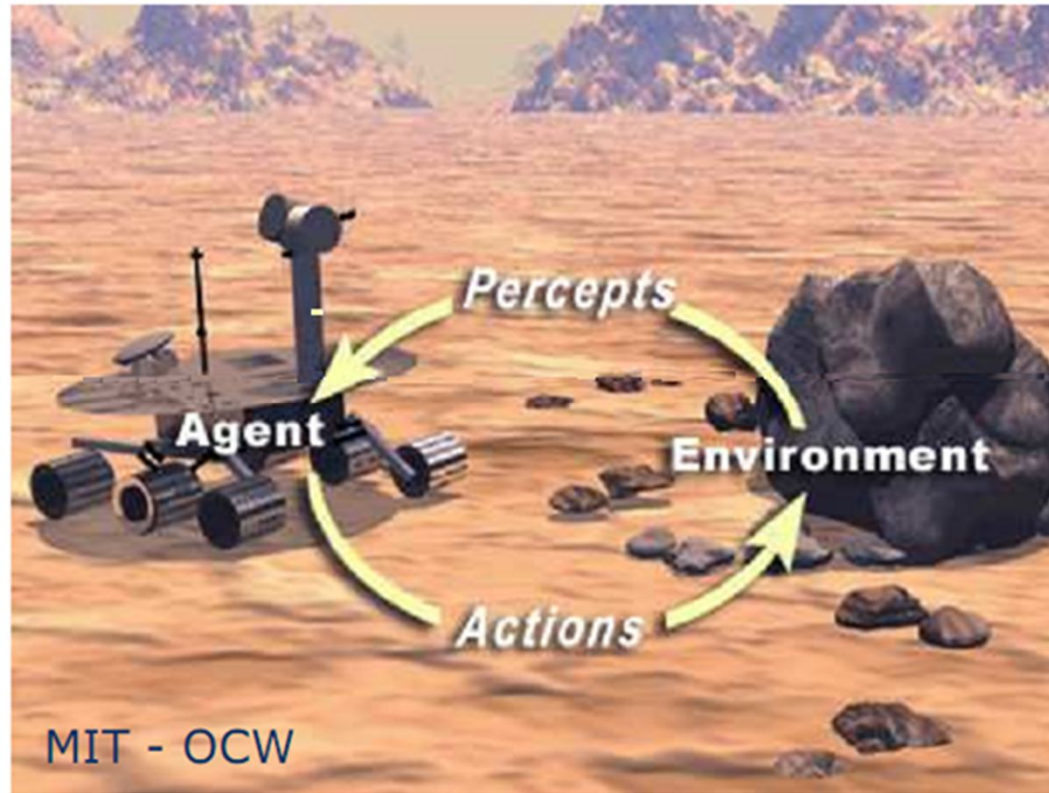


Sensores e Atuadores

Um robô autônomo necessita de sensores e atuadores para interagir com o meio ambiente.



Baseado nos sensores e atuadores o robô deve interpretar os sinais provenientes dos sensores para tomada de decisão. A seguir serão apresentados os tipos mais comuns de sensores e atuadores.

Tipos de sensores (1)

Os tipos mais comuns de sensores são baseados na detecção de luz, som, Ondas eletromagnéticas e contato.

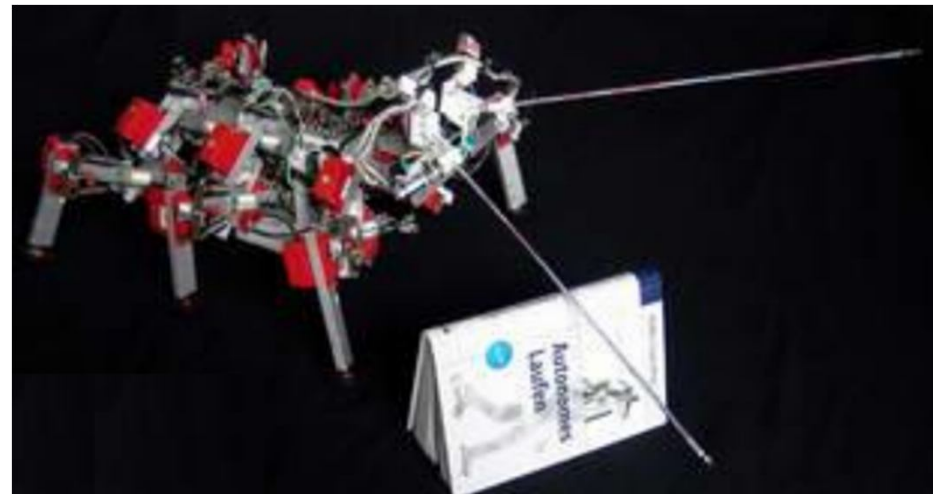
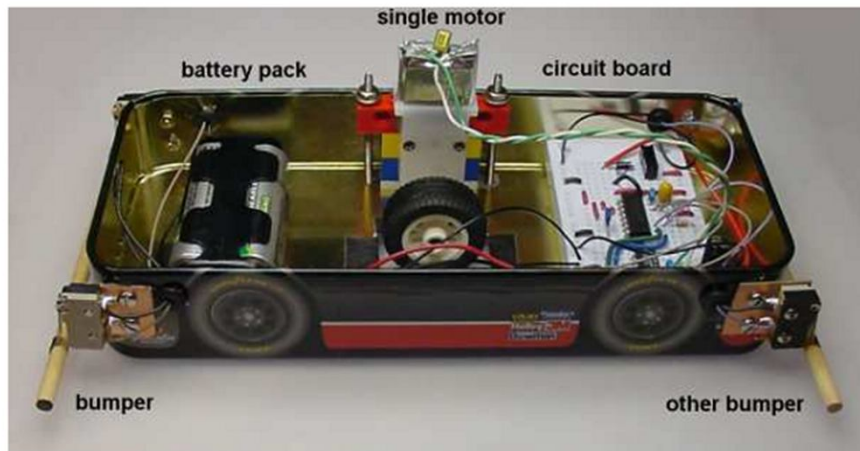
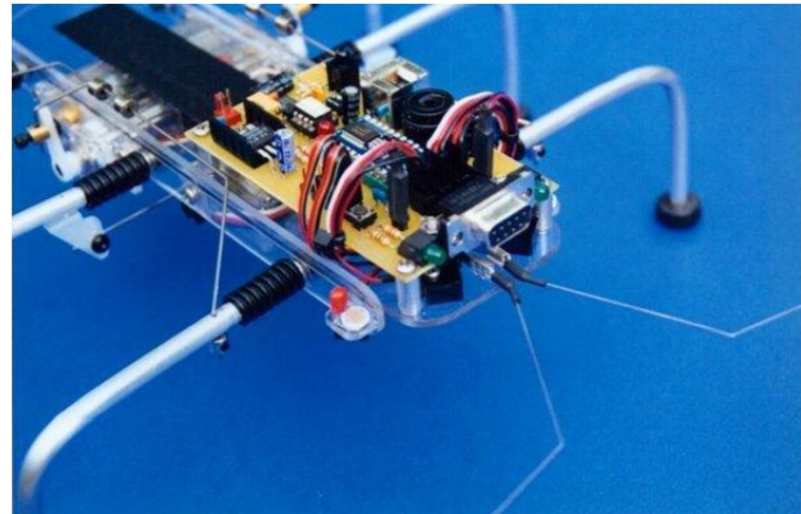
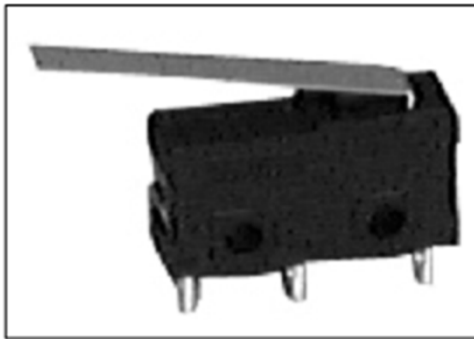
- *Bumpers*
- Odômetros;
- Sensores de Infravermelho (IR);
- Sensores ultrasônicos (SONAR);
- Sensores utilizando Laser (LIDAR- Laser Detection and Ranging);
- Bússola;
- Sistema de GPS (Global Positioning System)
- Sistemas Inerciais (Acelerômetros, Giroscópio)
- Sistema de Visão; Câmeras de Vídeo.

Tipos de sensores (2)

Sensor	Principal Função	Exemplos
De Posição e Orientação	Determinar a posição absoluta ou direção de orientação do robô	GPS (Sistema de Posicionamento Global)
		Bússola [Compass]
		Inclinômetro
		Triangulação usando marcas (Beacons)
De Obstáculos	Determinar a distância até um objeto ou obstáculo	Sensor Infra-Vermelho (IR - Infrared)
		Ultrassom (Sonar)
		Radar
		Sensor Laser (Laser rangefinder)
De Contato	Determinar o contato com um objeto ou posição de contato com marcação	Sistemas de Visão Estéreo (Stereo Vision)
		Sensores de Contato (Bumpers, Switches)
		Antenas e "bigodes" (Animal whiskers)
		Marcações (barreiras óticas e magnéticas)
De Deslocamento e Velocidade	Medir o deslocamento do robô Medidas relativas da posição e orientação do robô	Inercial (Giroscópio, Acelerômetros)
		Odômetro (Encoders: Optical, Brush)
		Potenciômetros (Angular)
		Sensores baseados em Visão
Para Comunicação	Envio e recepção de dados e sinais externos (troca de informação)	Sistemas de Visão e Sensores Óticos
		Sistemas de Comunicação (RF)
Outros tipos	Sensores magnéticos, indutivos, capacitivos, reflexivos	
	Sensores de temperatura, carga (bateria), pressão e força, etc.	
	Detectores: detector de movimento, de marcações, de gás/odores	

Tipos de sensores (3)

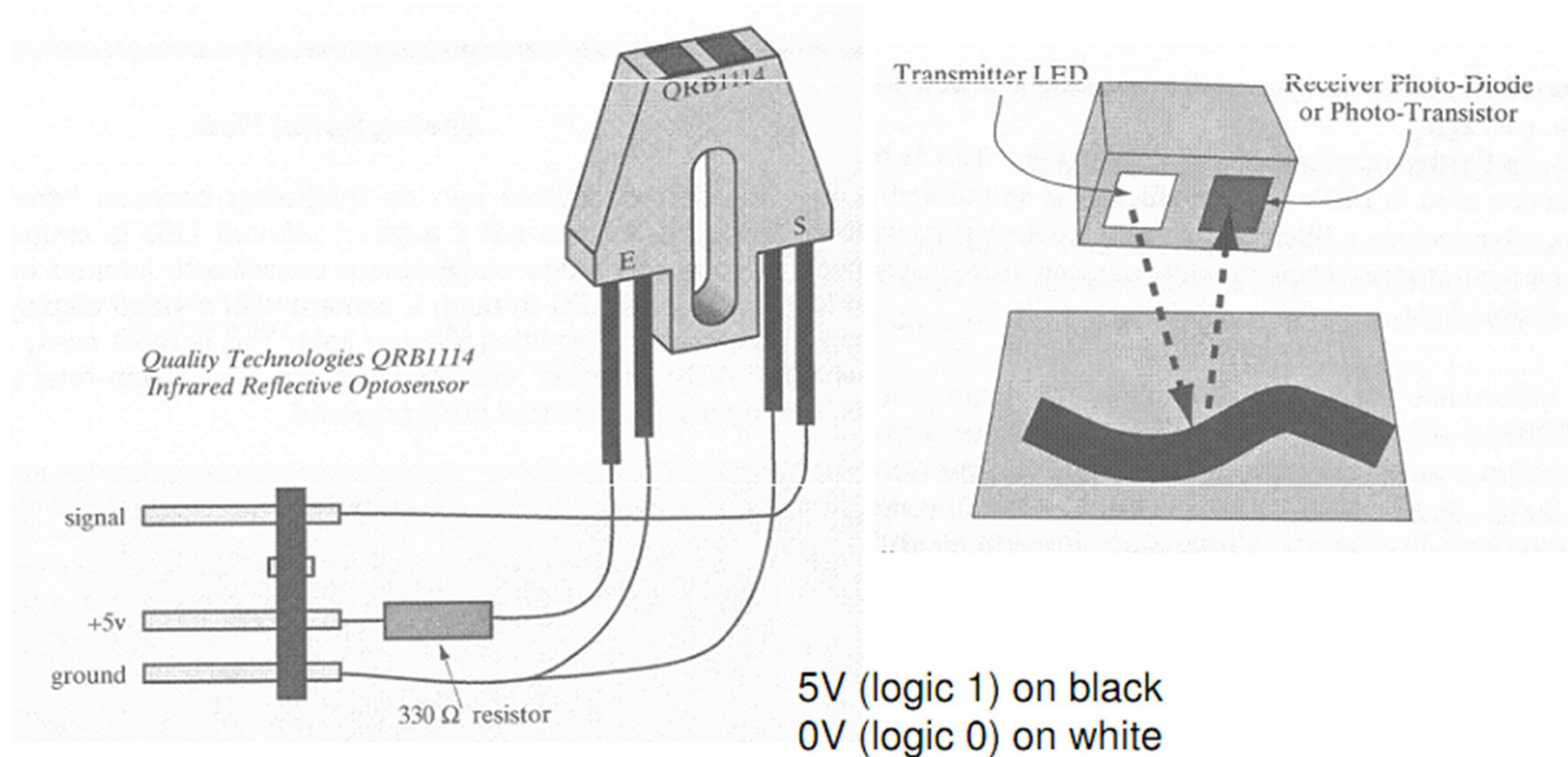
Sensores de contato (bumpers e whiskers)



Tipos de sensores (4)

Sensor Reflexivo

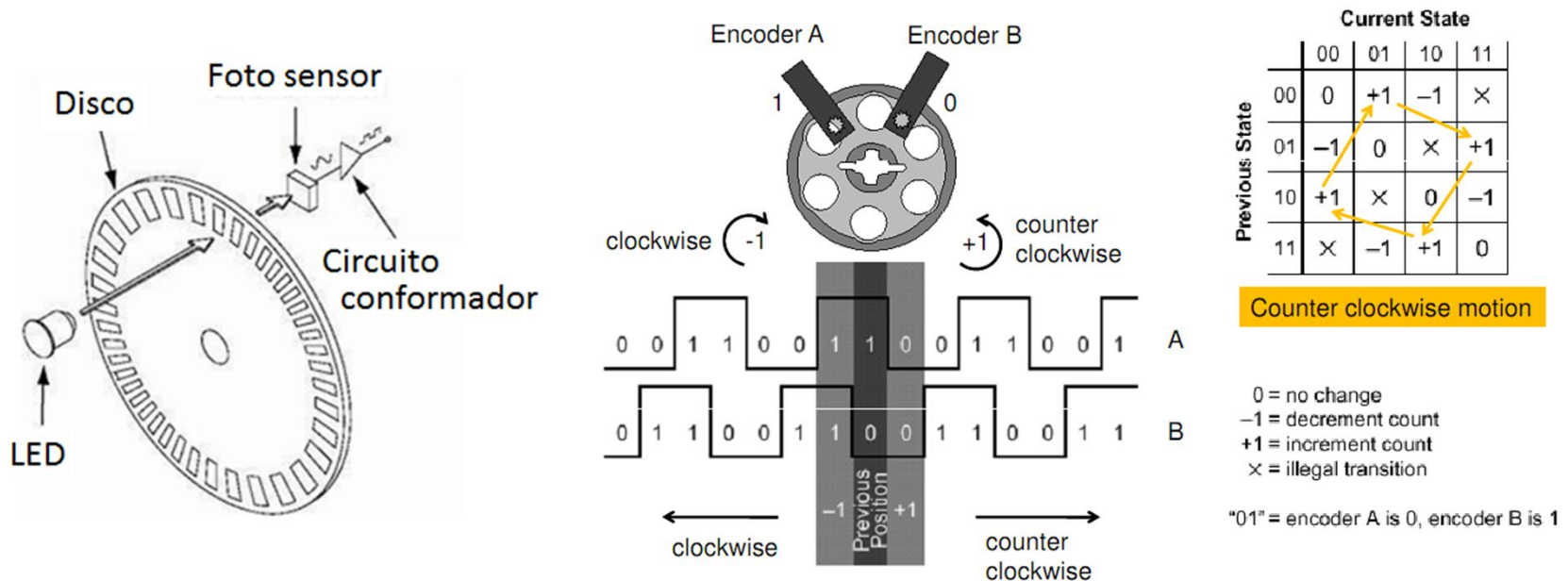
- **Digital IR Sensors**
 - Whether you are in very close proximity of an obstacle

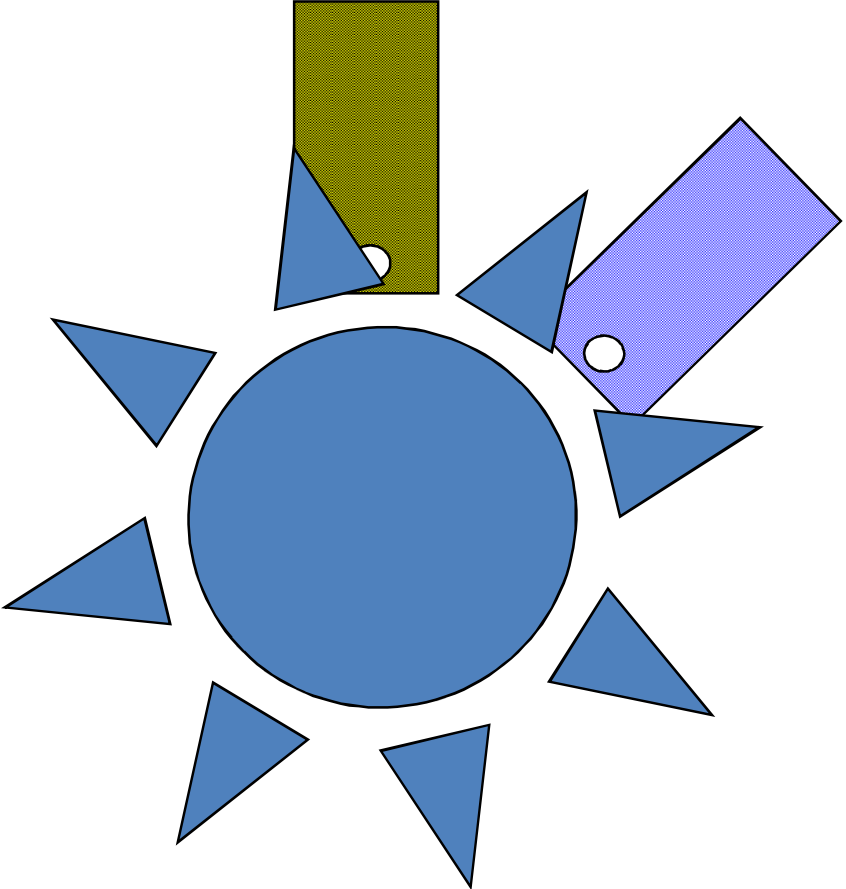


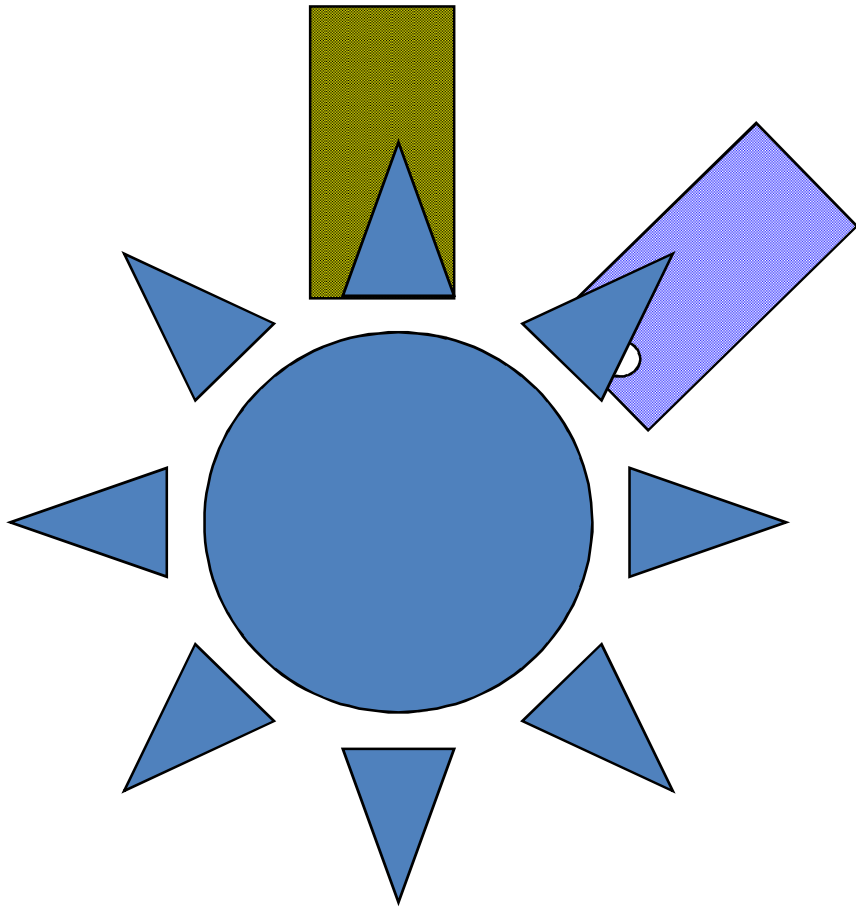
Tipos de sensores (5)

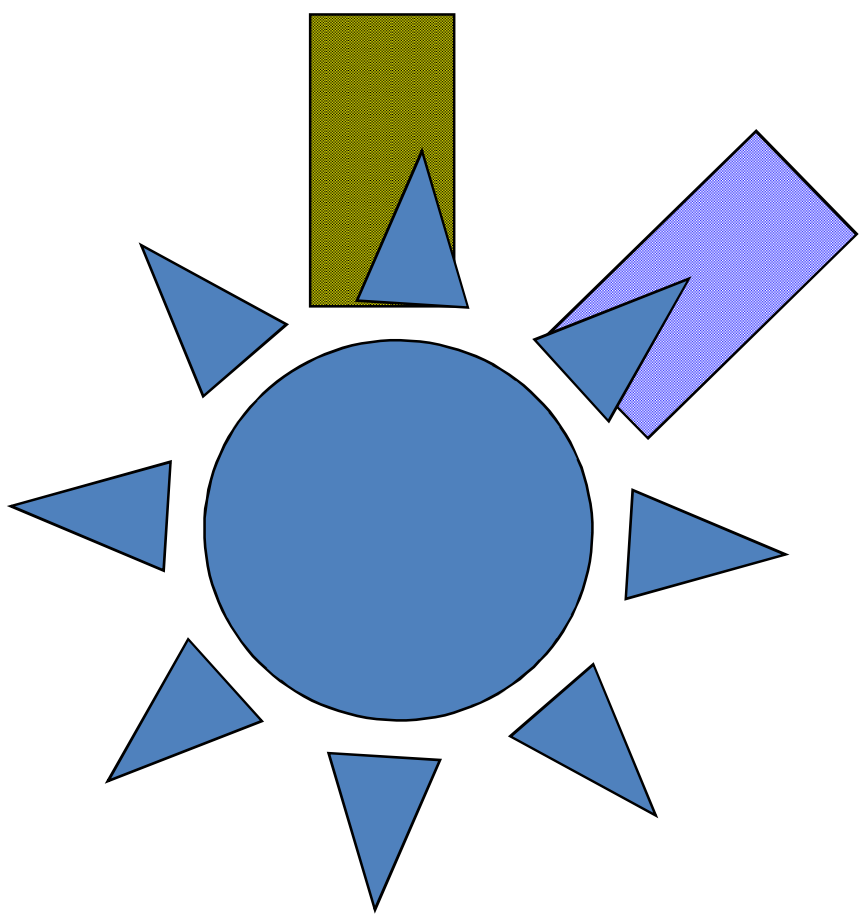
Sensores Odômetros

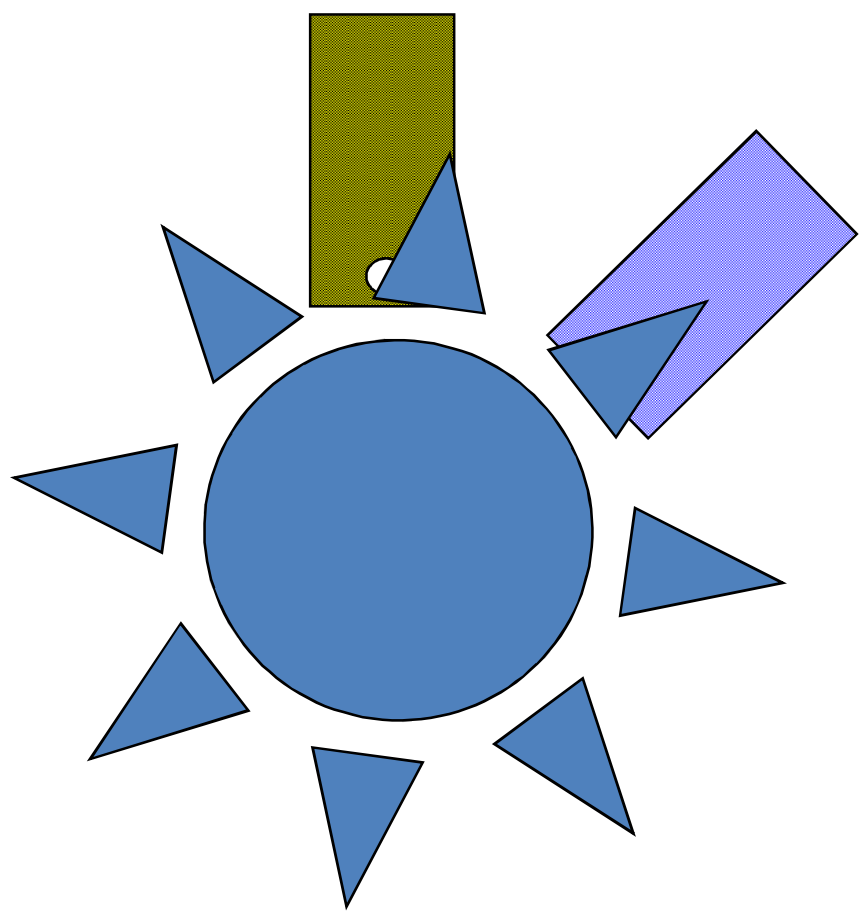
- *Encoder Incremental* – este tipo de *encoder* não permite determinar o sentido de giro. Para isso é necessário o uso de um segundo sensor.

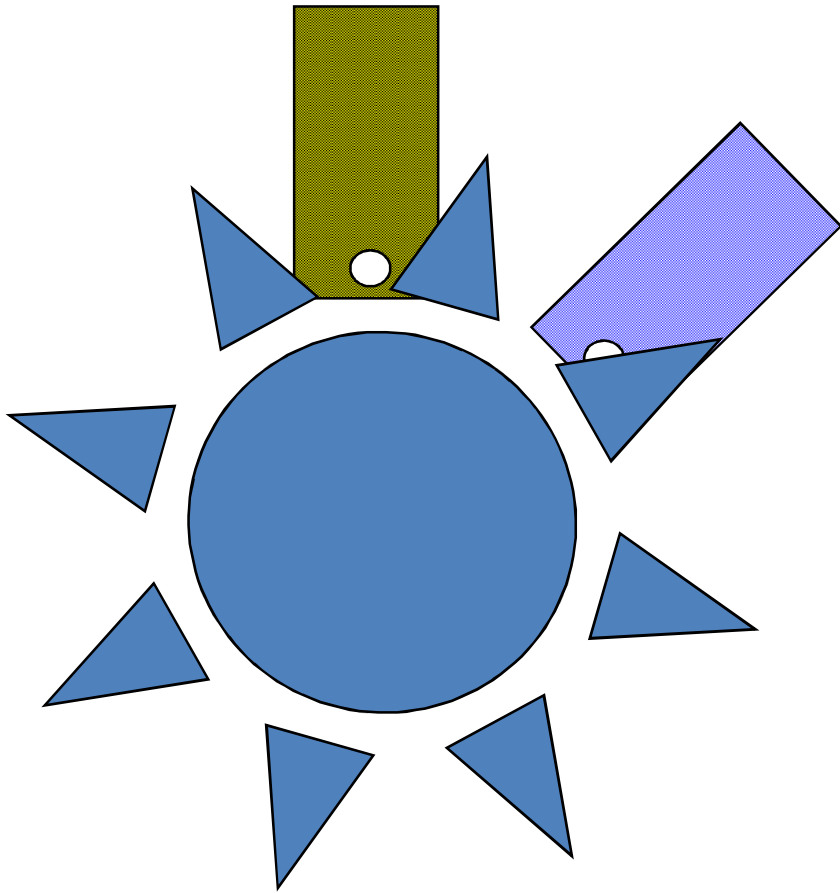


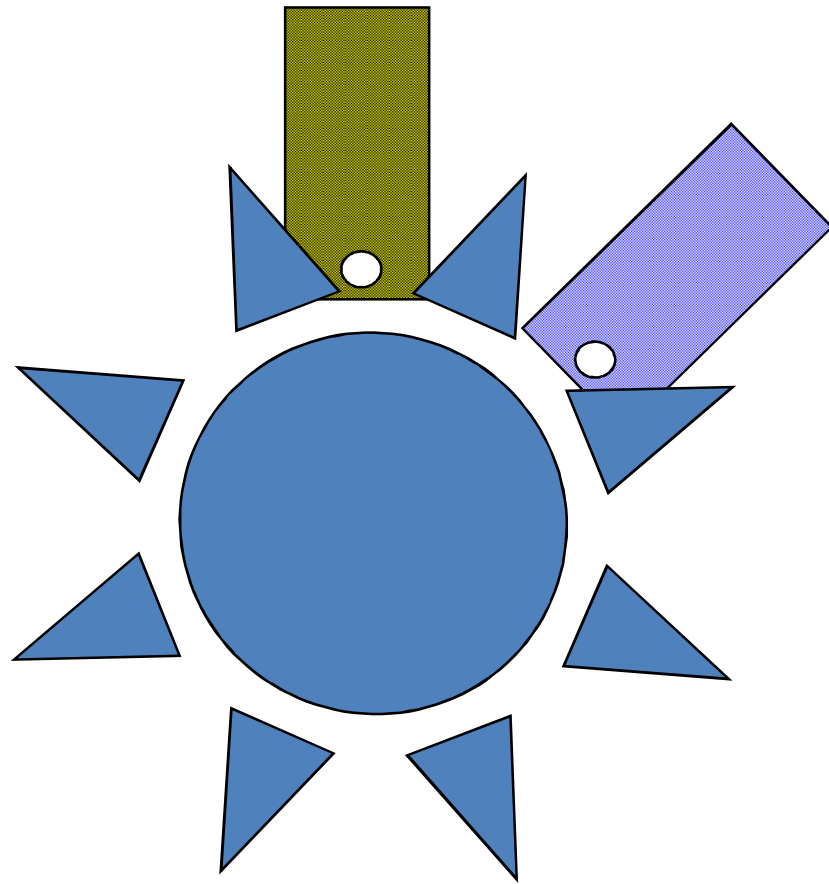


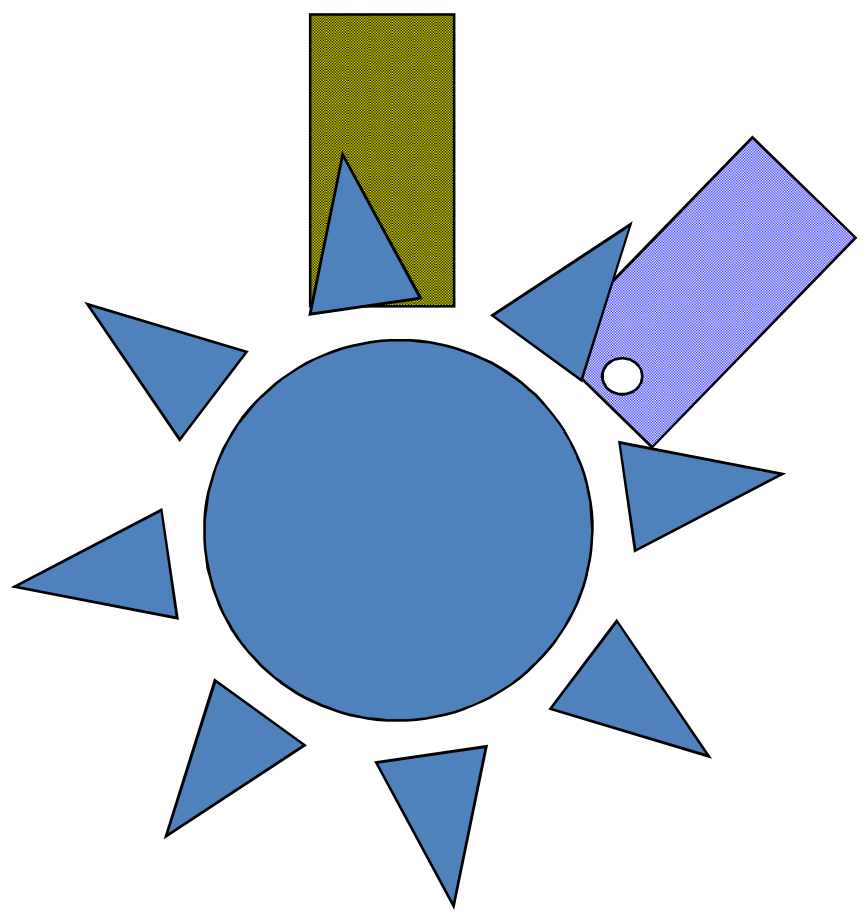


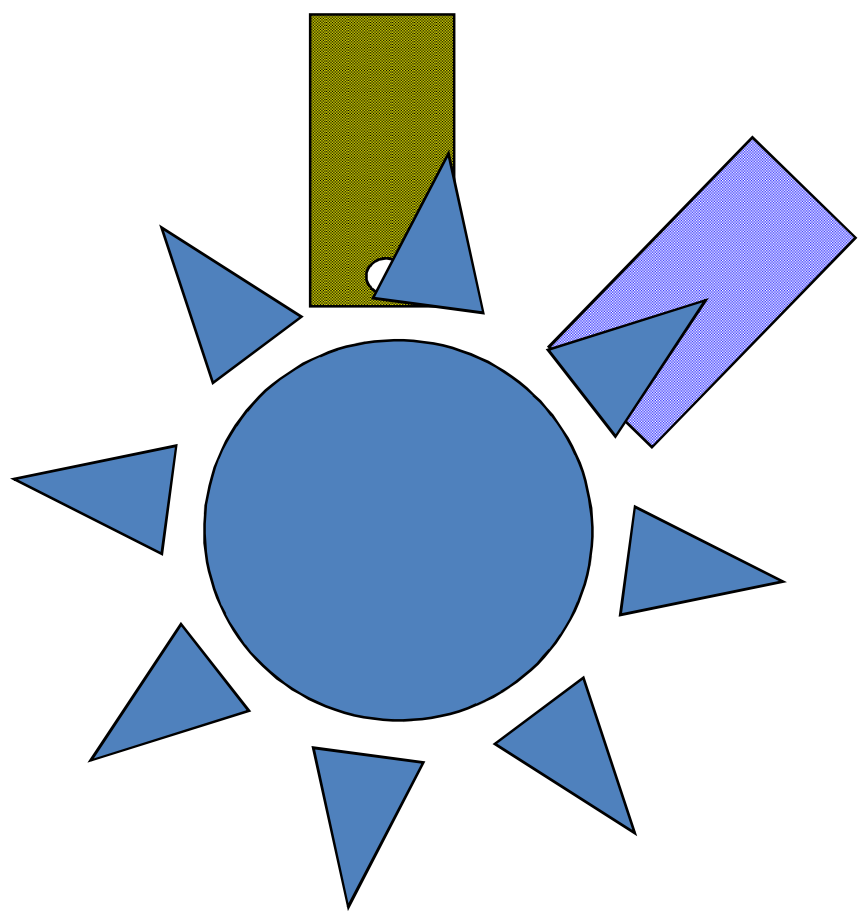




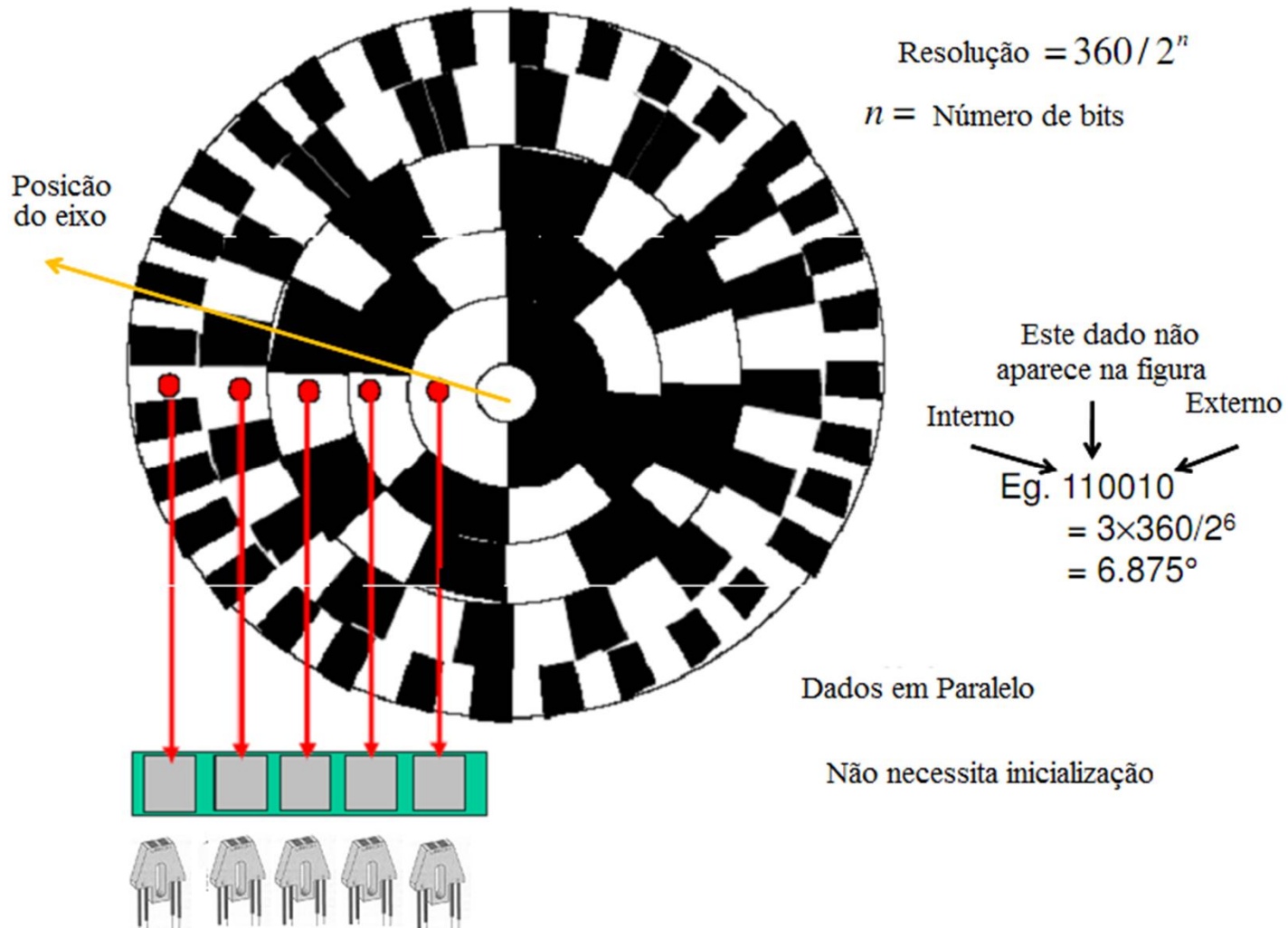






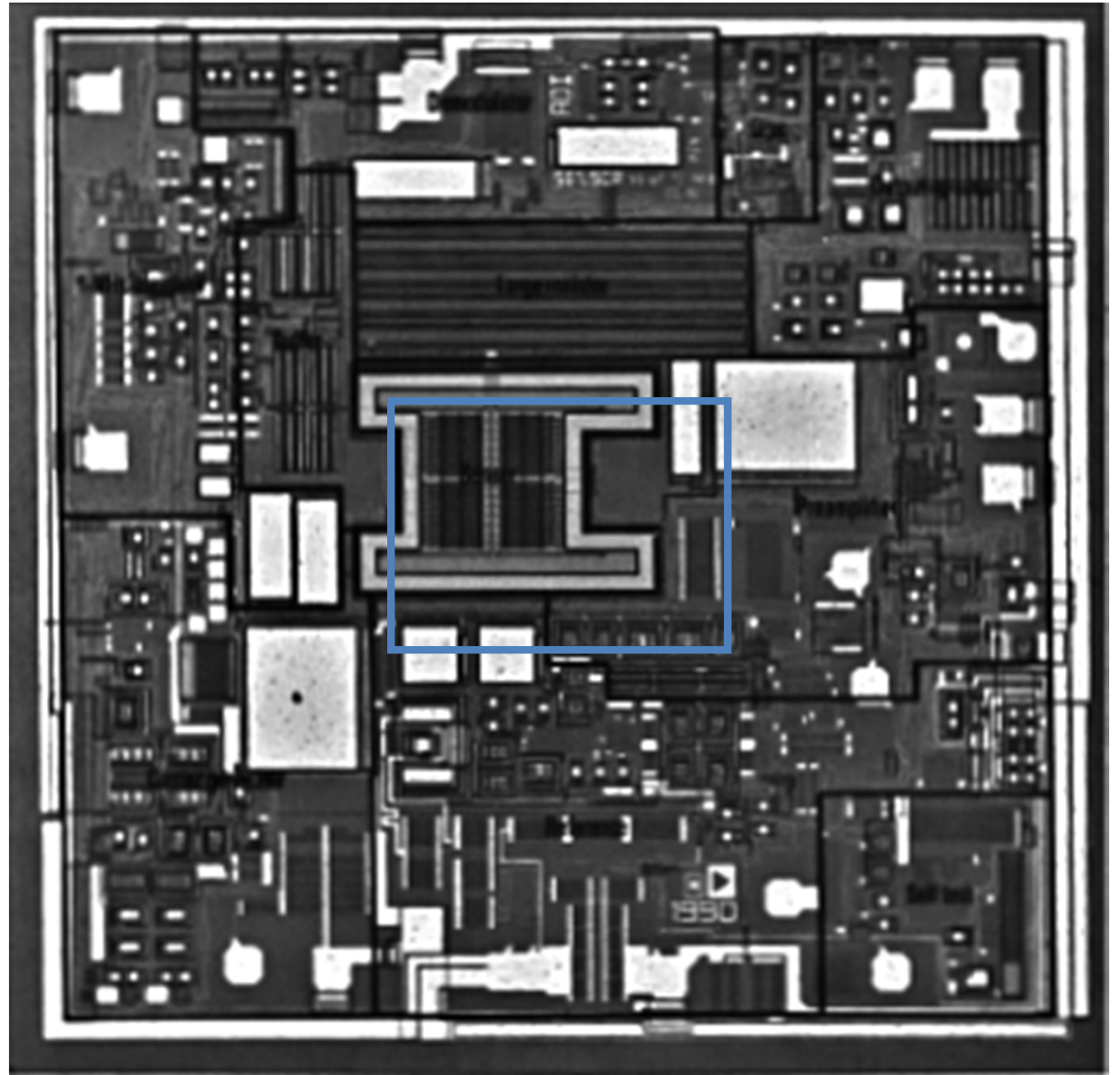


Encoder Absoluto



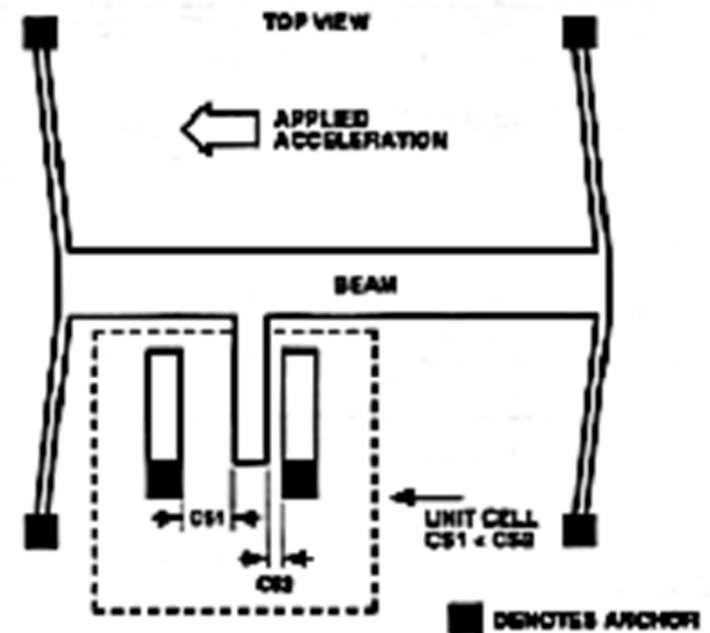
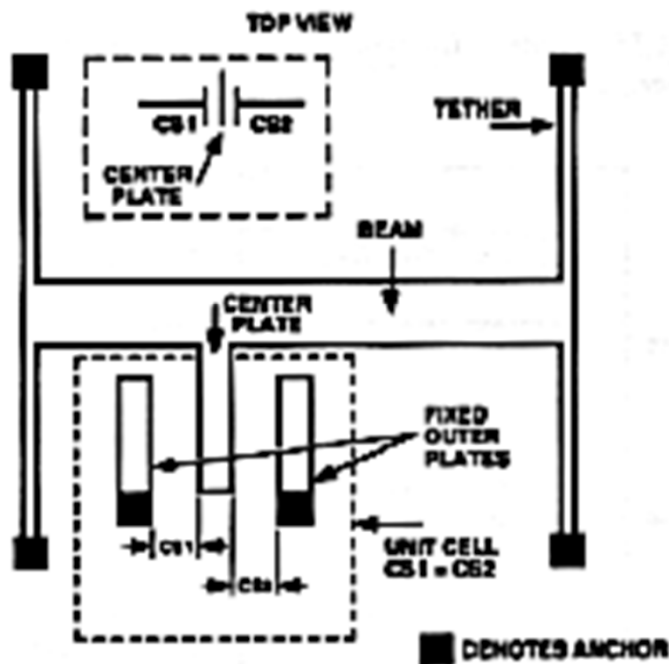
ADXL50 Accelerometer

- $\pm 50g$
- Polysilicon MEMS & BiCMOS
- 3x3mm die

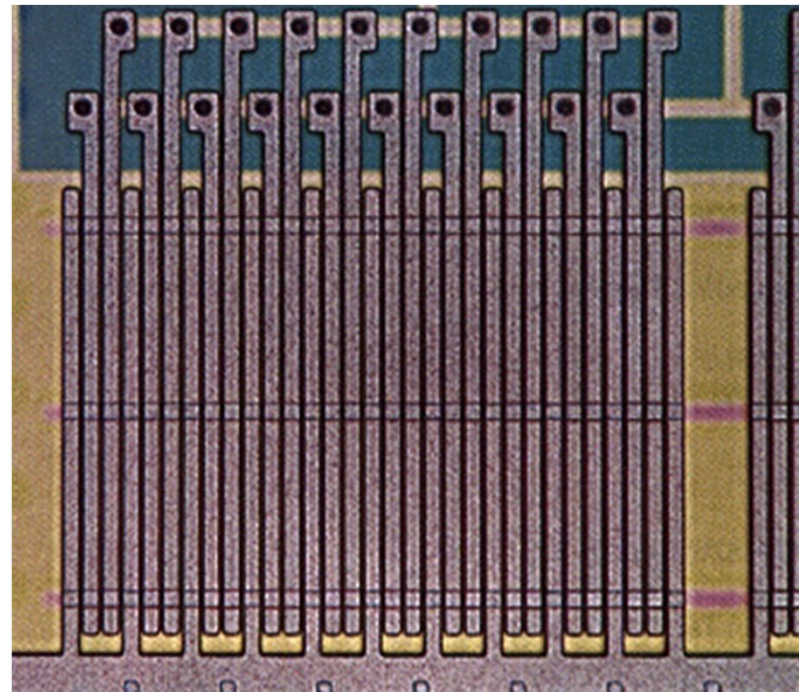
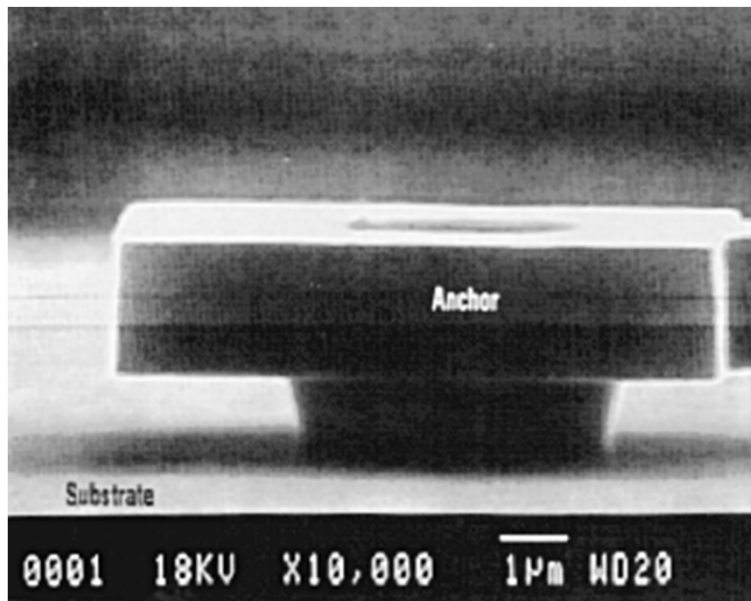


ADXL50 Sensing Mechanism

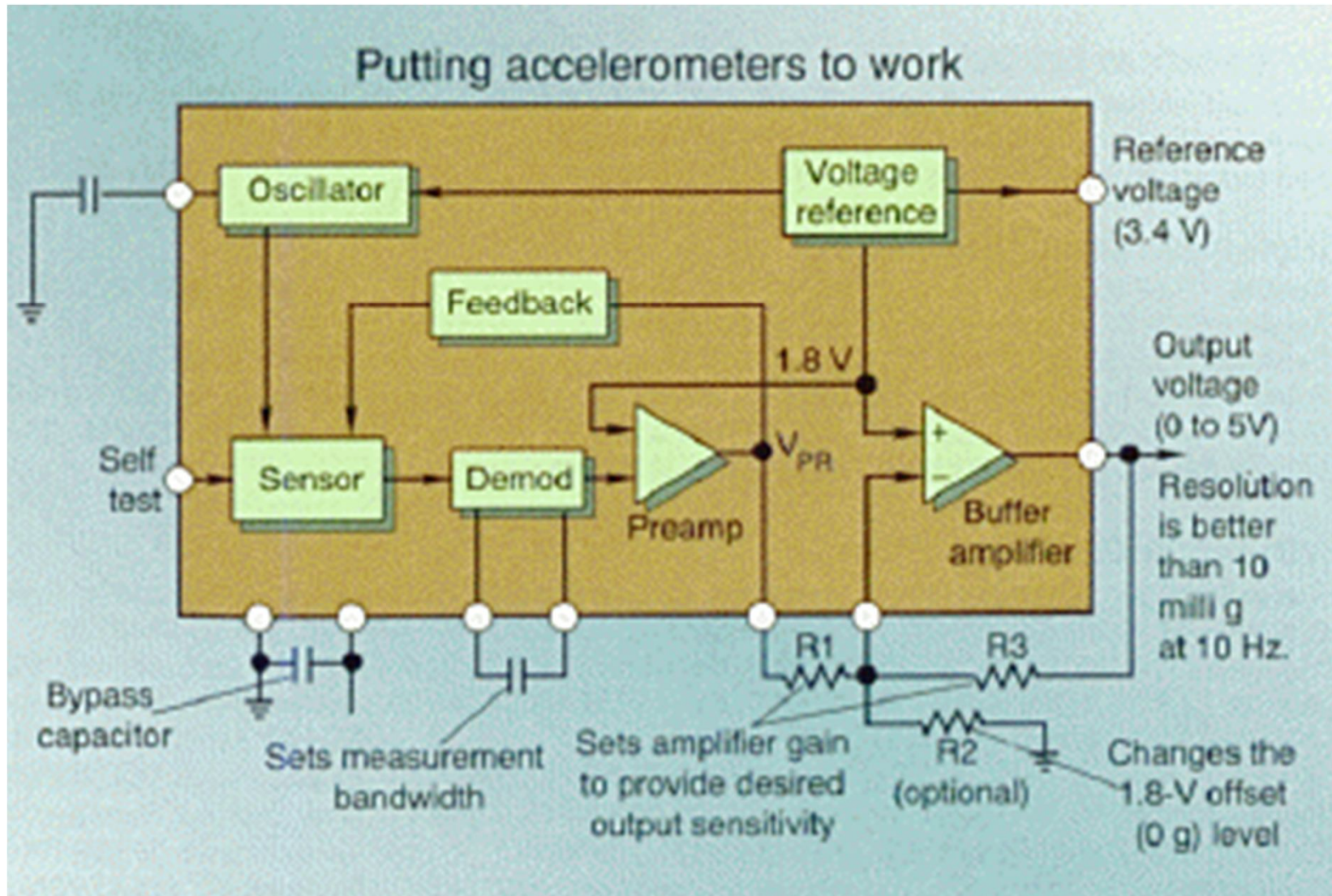
- Balanced differential capacitor output
- Under acceleration, capacitor plates move changing capacitance and hence output voltage
- On-chip feedback circuit drives on-chip force-feedback to re-center capacitor plates.



Analog Devices Polysilicon MEMS



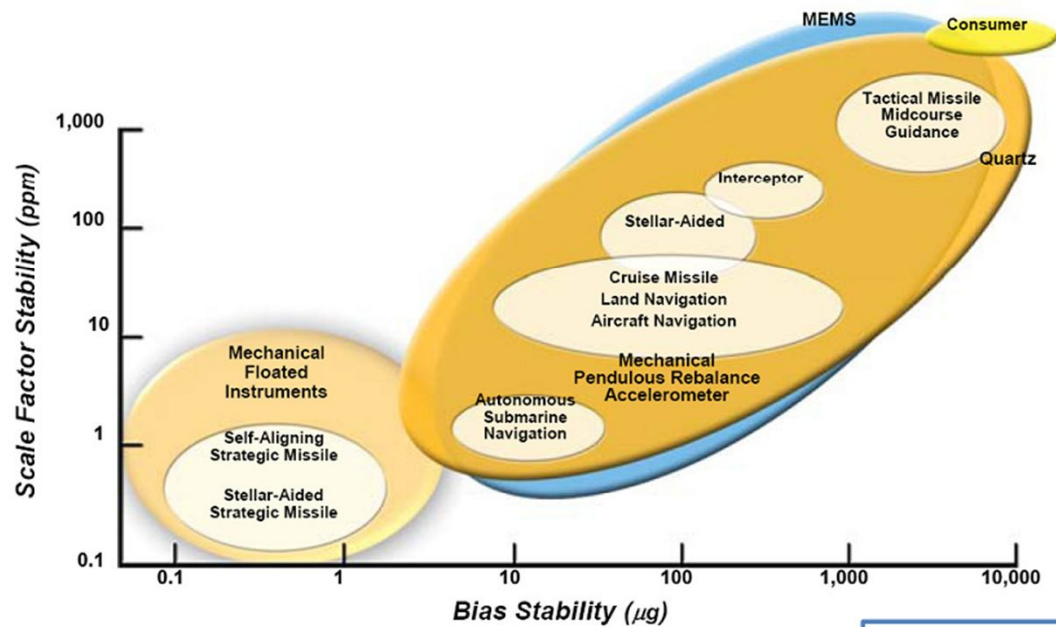
ADXL50 – block diagram



Giroscópio

Os giroscópio são sensores capazes de medição das variações angulares.

- Current Accelerometer Application Areas

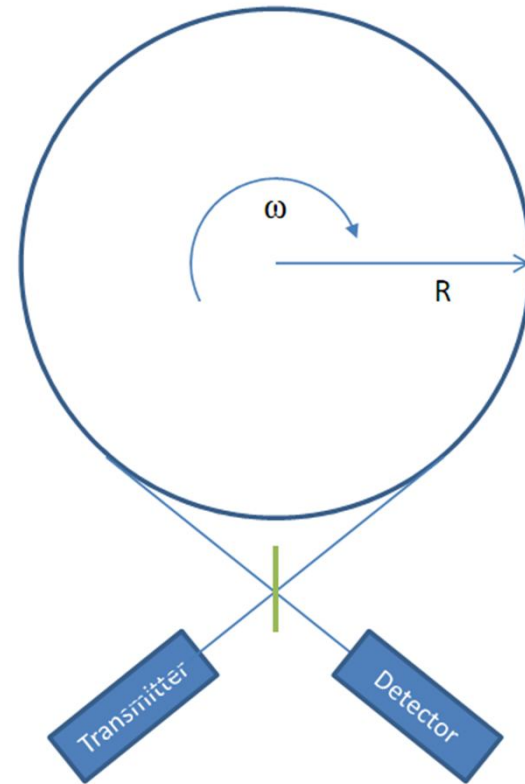


Ref: "INS/GPS Technology Trends" by George T. Schmidt RTO-EN-SET-116(2010)

Giroscópio

Giroscópio Óptico (1)

- A ideia básica é que a luz se propaga a uma velocidade constante.
- Se houver uma rotação (ortogonal ao plano) um dos comprimentos será mais longo que o outro.
- Isto é conhecido como efeito Sagnac.
- Medida da variação deste comprimento Permite determinar w .

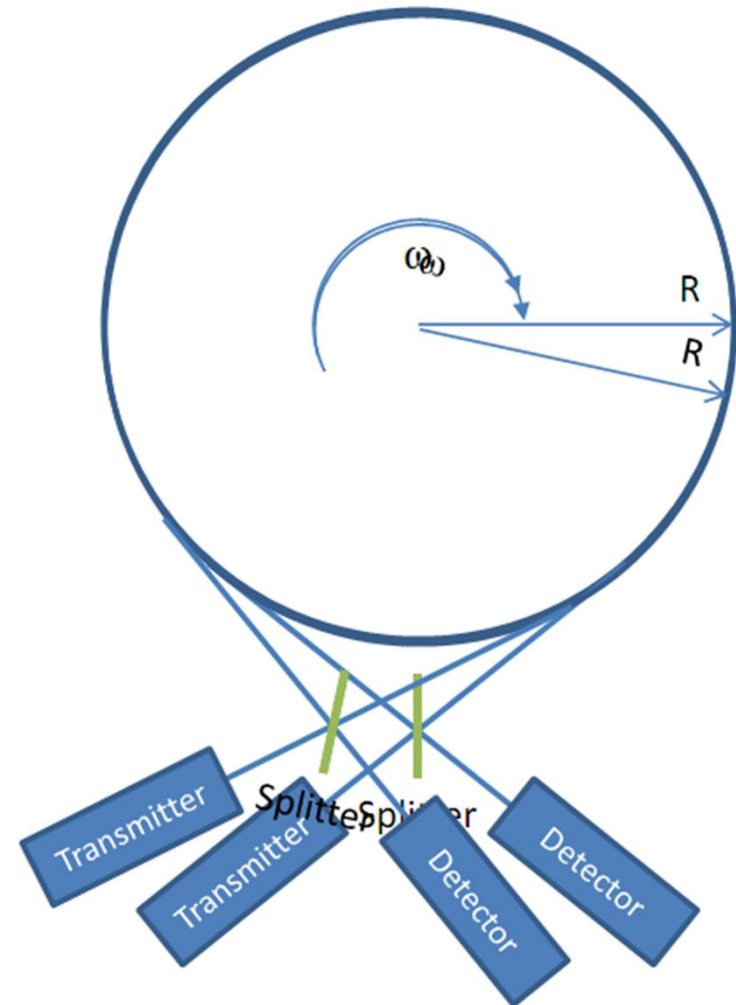


Giroscópio Óptico (2)

- Medindo-se a diferença de tempo entre os caminhos CW e CCW
- CW transit time = t_{CW}
- CCW transit time = t_{CCW}
- $L_{CW} = 2\pi R + R\omega t_{CW} = ct_{CW}$
- $L_{CCW} = 2\pi R - R\omega t_{CCW} = ct_{CCW}$
- $t_{CW} = 2\pi R / (c - R\omega)$
- $t_{CCW} = 2\pi R / (c + R\omega)$
- With N turns $\Delta t \approx \frac{N4A\omega}{c^2}$
- Phase

$$\Rightarrow \Delta t \approx \frac{4\pi R^2 \omega}{c^2}$$

$$\phi_c \approx 2\pi \Delta t f_c = 2\pi \Delta t c / \lambda_0 = \frac{8\pi N A \omega}{c \lambda_0}$$

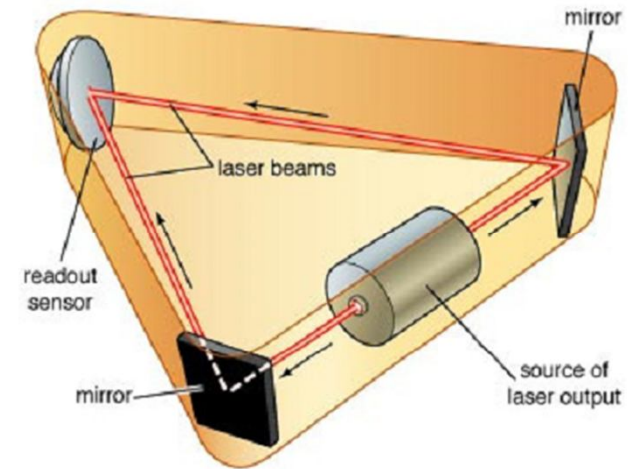


Giroscópio Óptico (3)

- Ring Laser Gyro

- A helium-neon laser produces two light beams, one traveling in the CW direction and the other in the CCW direction
- When rotating
 - The wavelength in dir of rotation increases (decrease in freq)
 - The wavelength in opposite dir decreases (decrease in freq)
 - Similarly, it can be shown that

$$\Delta f \approx \frac{4A\omega}{\lambda_0}$$

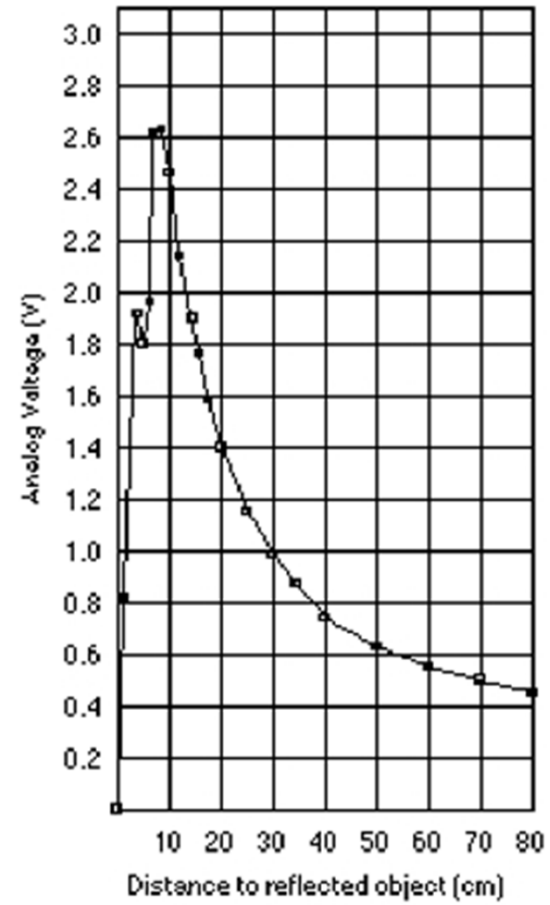
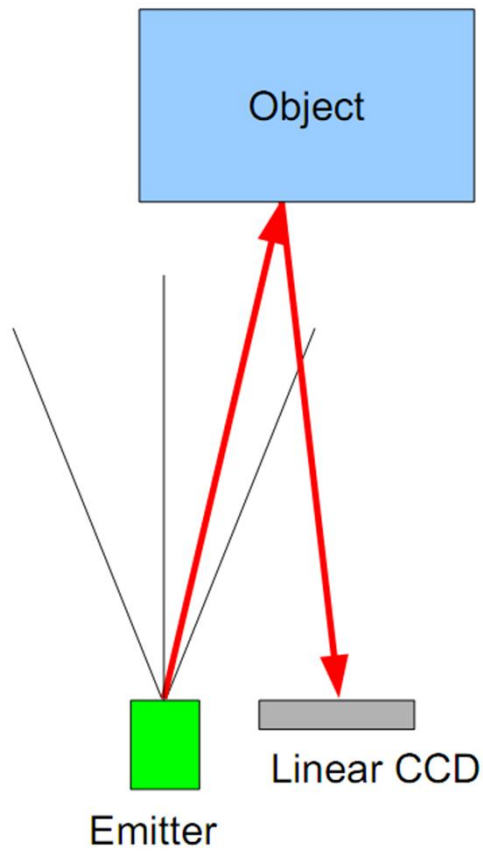


© 2004 Encyclopædia Britannica, Inc.

Medidor de Distância

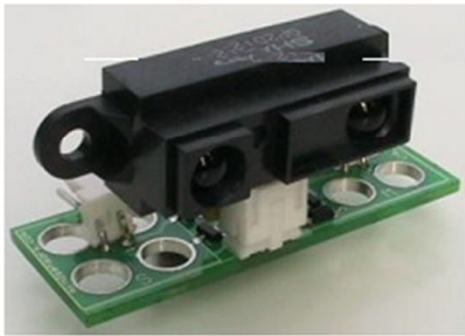
Medidor de distância Infravermelho (IR)

Princípio de funcionamento)

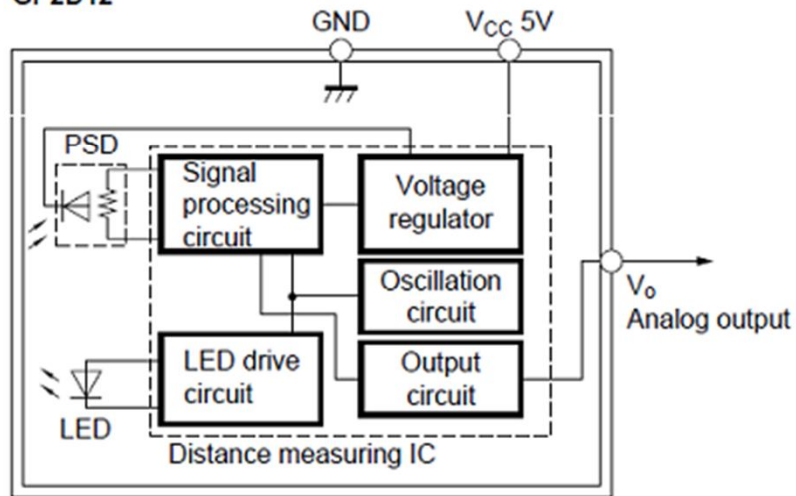


Medidor de Distância (2)

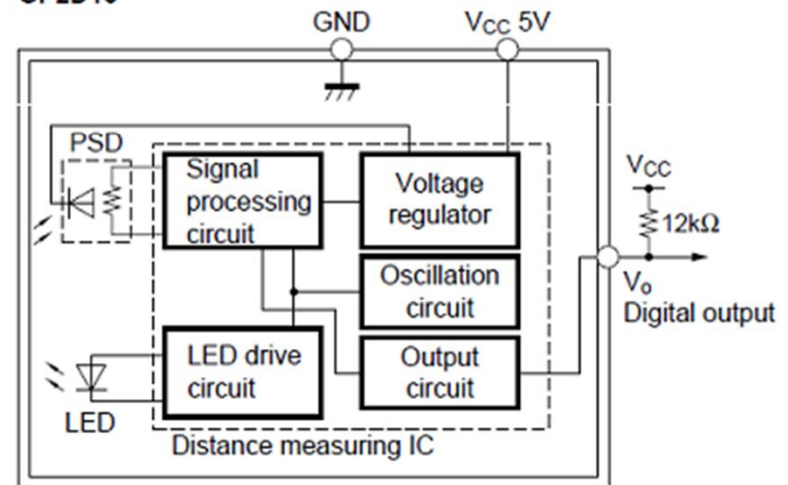
- Usa a intensidade de recepção como medida da distância
- SHARP GP2D12: Distância (10cm~80cm) type (10cm~80cm)
- SHARP GP2D12: Julgamento da distância (24cm)



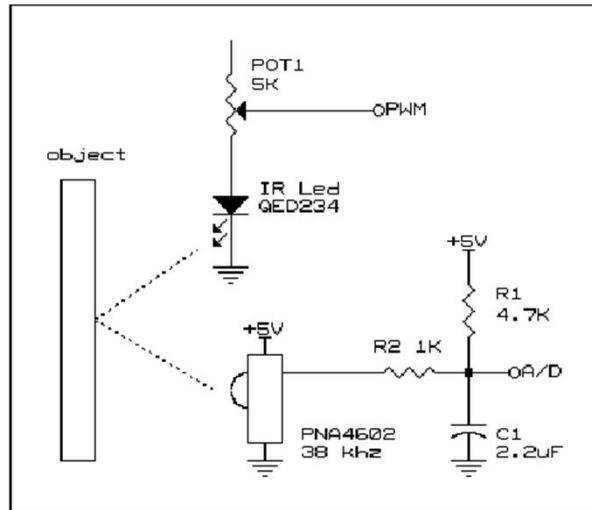
GP2D12



GP2D15

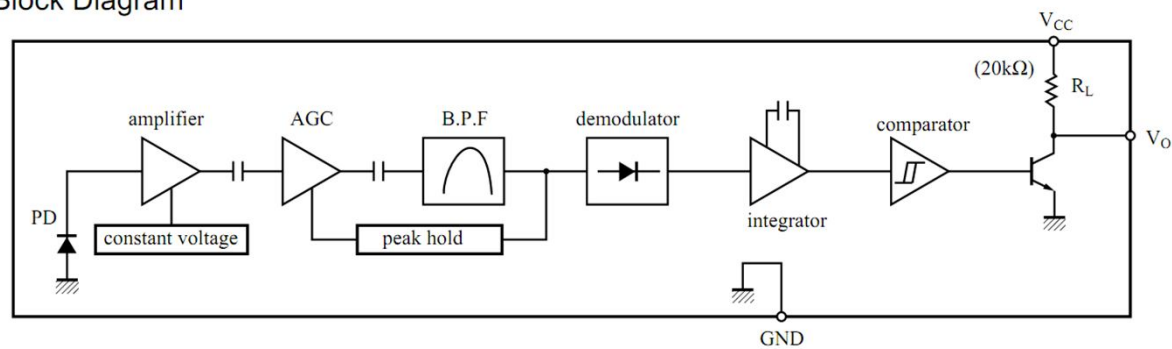


- **Módulo receptor IR (p.e. PNA4602)**
- **LED IR pulsado em 38 kHz**

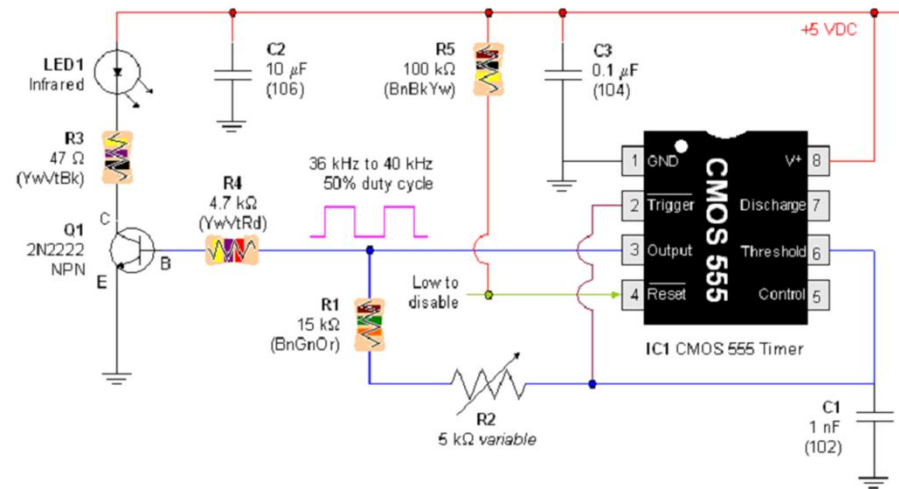


PNA4602 por dentro

■ Block Diagram

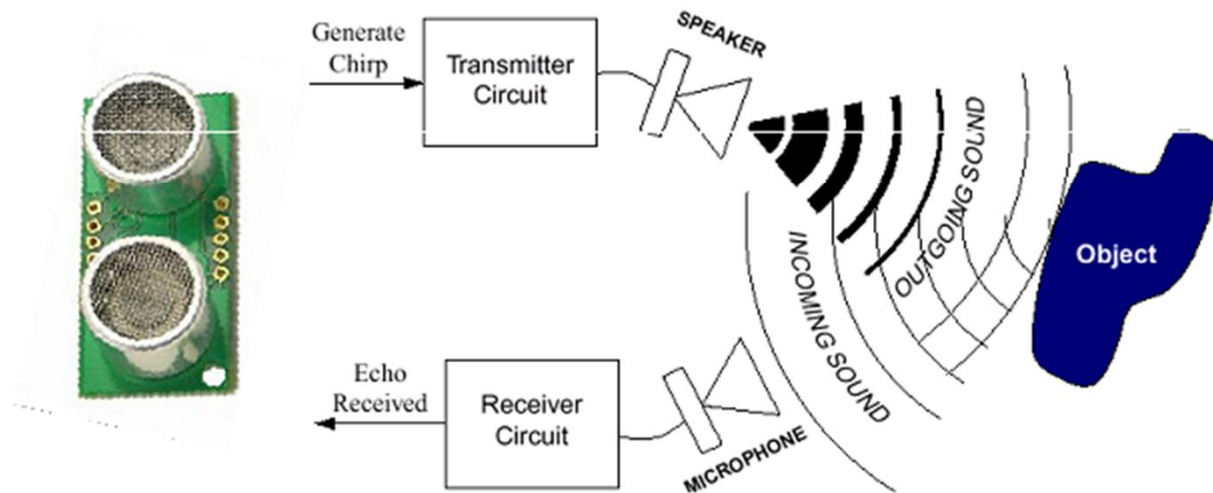


- Vantagem de ter sinal pulsado?



Medidor de distância ultra-sônico

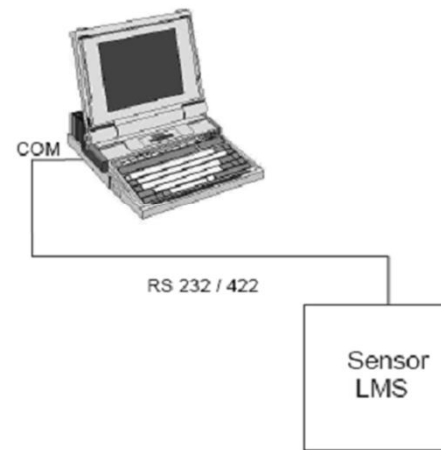
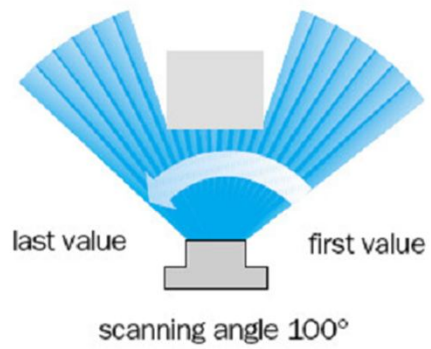
- 3cm ~4m, 40~60kHz
- É emitido um pulso ultra-sônico e verificado o eco.
tempo de retorno $\times 0,5 \times$ velocidade do som = distância do osbtáculo
- Problemas
 - Campo largo de recepção: onde o osbtáculo se encontra exatamente?
 - Ecos Falsos: reflexão na terra, etc...
 - Não é muito preciso: a velocidade do som muda com a temperatura e umidade



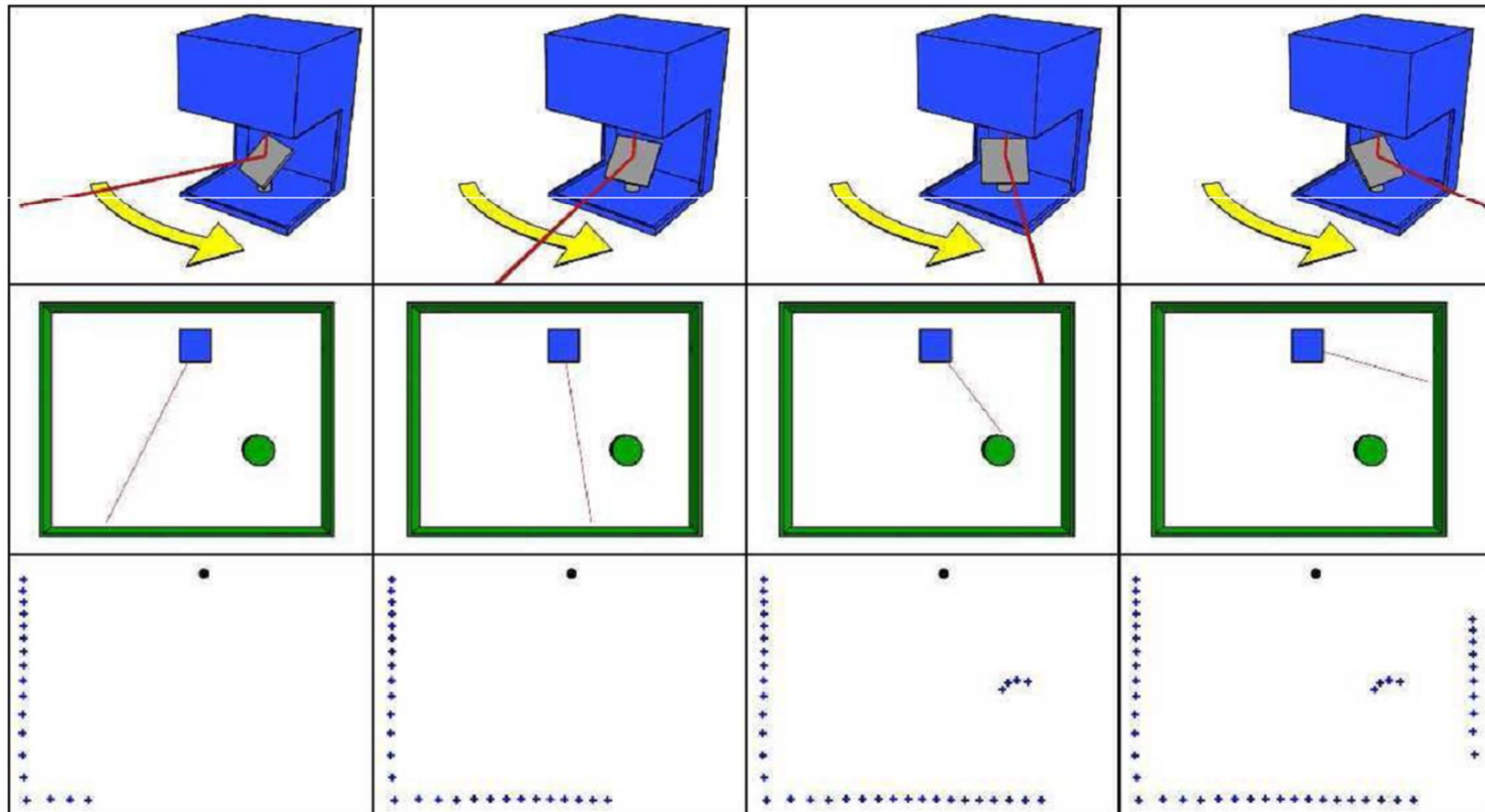
Com arranjos de sistemas como este pode-se construir um SONAR

LIDAR

Sistema de Detecção usando LASER



Sensores LASER (Lidar - Light Detection and Ranging)



LIDAR



LMS 291-S05 2D LADAR Scanner; Cost:
\$3,014

Data Specifications

- Data Interface RS 232 / RS 422 (configurable)
- Transfer Rate 9.6 / 19.2 / 38.4 / 500 kBd

Sensing Specifications

- Scanning Speed: 75 Hz
- Angular View: 100°, 180°
- Angular Resolution: 0.25° / 0.50° / 1.00°
- Measurement Resolution 10 mm

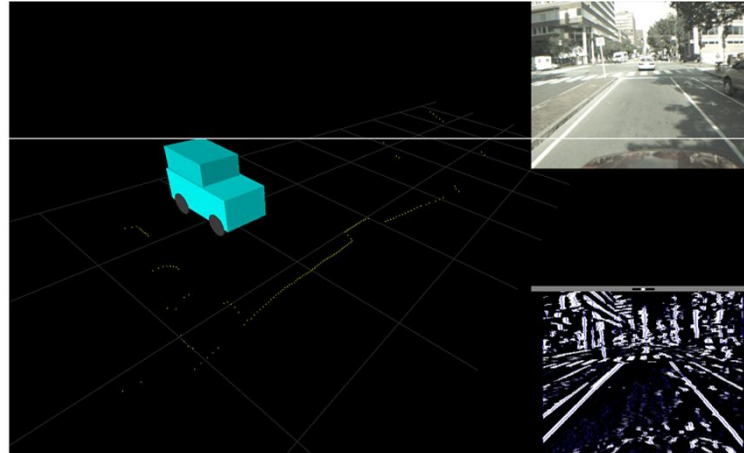
Physical Specifications

- Weight: approx. 19.8 lb
- Environment: Outdoor (Fog Correction)

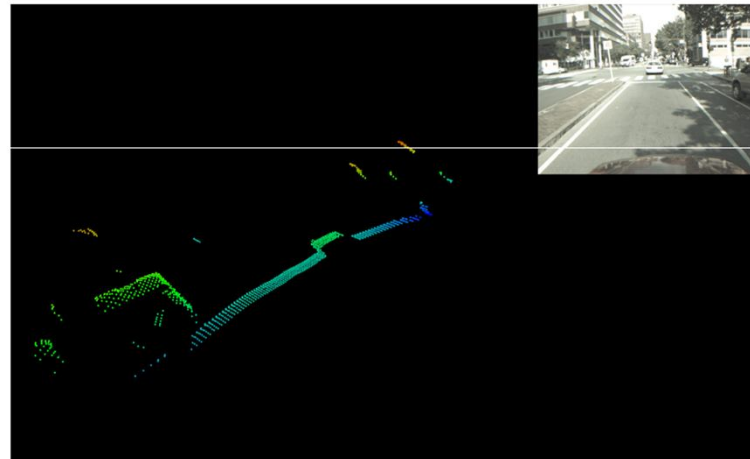
Electrical Specifications

- Supply Voltage: 24 V DC \pm 15%

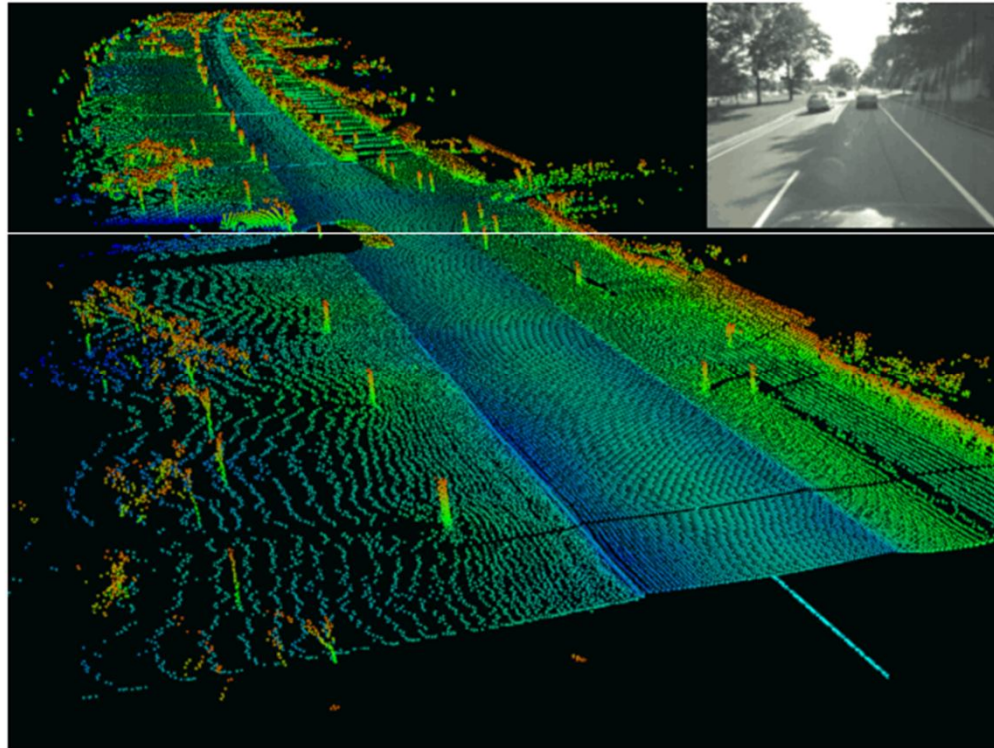
Um escaneamento



Vários escaneamentos



Após processamento



LIDAR versus SONAR

Vantagens:

- boa resolução angular;
- alta taxa de amostragem;
- comprimento de onda curto.

Desvantagens:

- grande e pesado;
- complexo e caro.

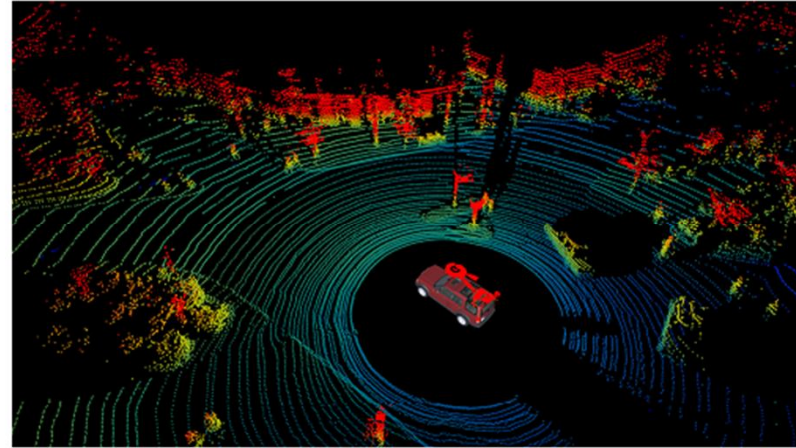
MIT Vehicle: Talos (Land Rover LR3)

- Approach: Perception-based navigation and planning
- Power: 6 kW gas-fueled generator
- Computation: blade cluster (40 processing cores)
- Sensing: 13 lidars, 15 radars, 5 cameras
- Planning and control: rapidly-exploring random tree (RRT), pure-pursuit
- Software: powerful new UDP messaging, visualization architecture



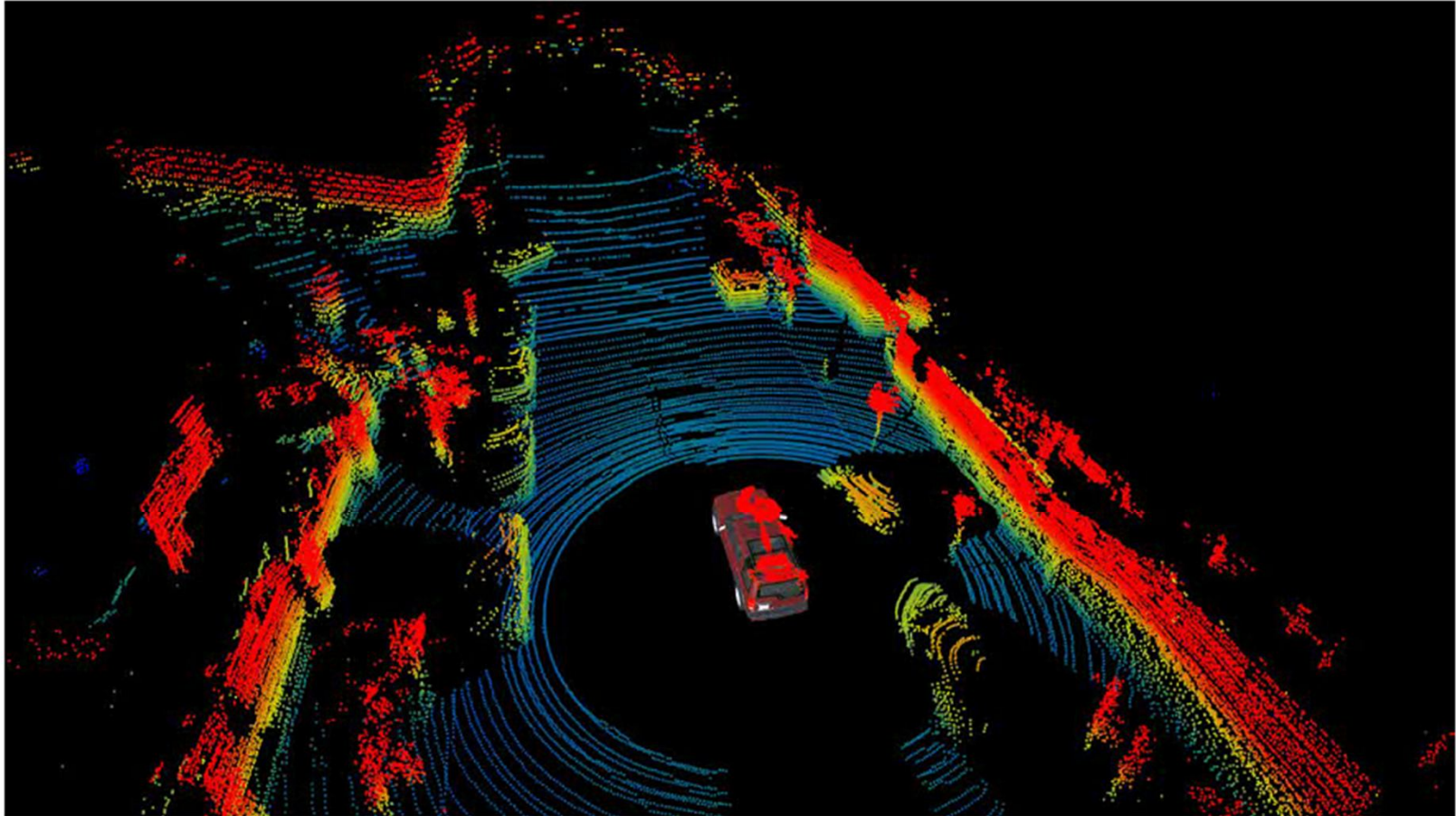
One (64x) Velodyne Lidar

- 64 lasers, 360° HFOV
- Unit spins at 15 Hz
- Vertical FOV
-24° , +2°
- Redundant (albeit relatively noisy) lidar



Sample Velodyne Data

False colored by height



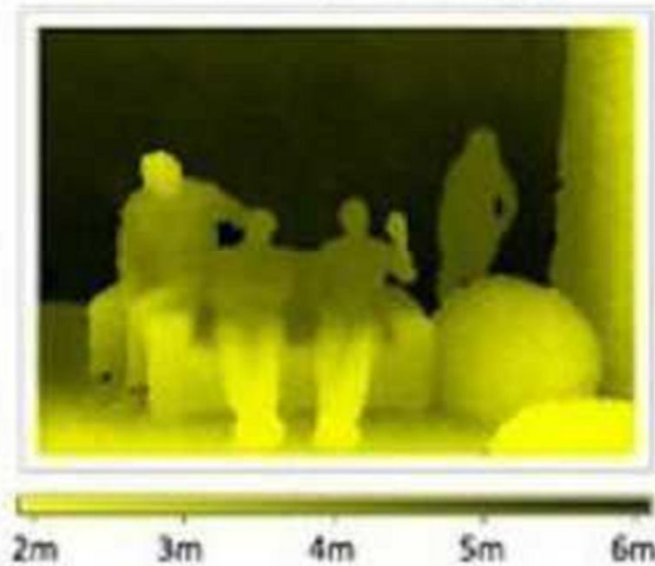
Sistema Kinect

O sensor *Kinect* é um equipamento que mensura a profundidade dos elementos de uma cena utilizando um emissor de infravermelho próximo e um sensor CCD da mesma faixa do espectro eletromagnético. Além desses componentes, o *Kinect* ainda possui um sensor RGB de alta resolução e um motor que auxilia a leitura vertical da cena.

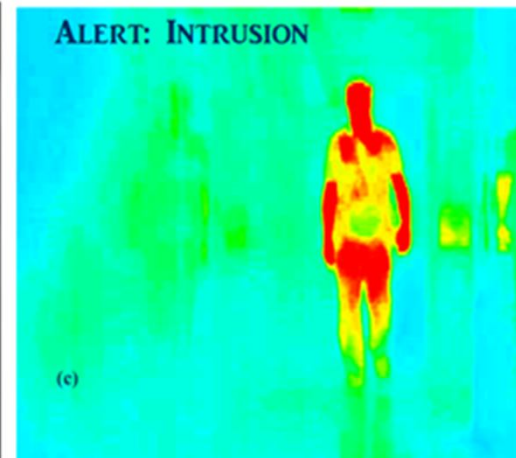
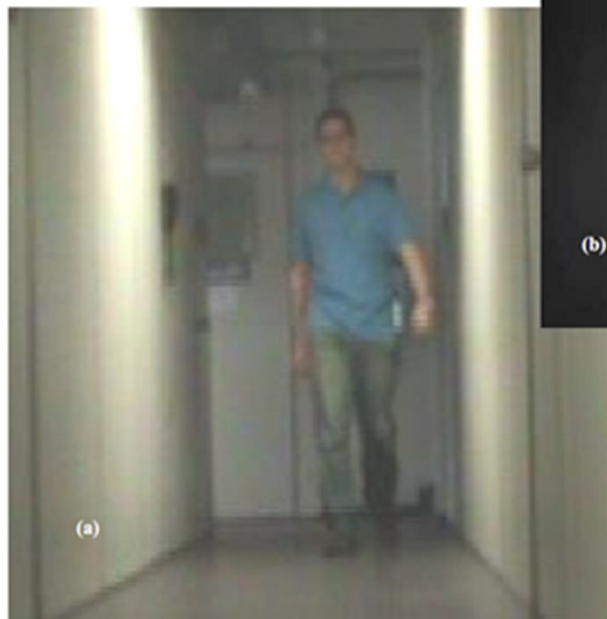
Scene



Scene Depth Image

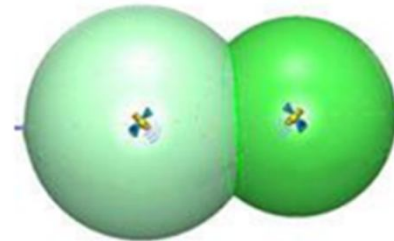
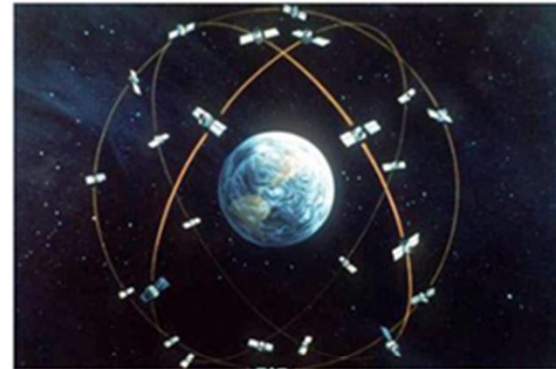


Sistema de Visão usando Câmera de Infravermelho (Térmica)



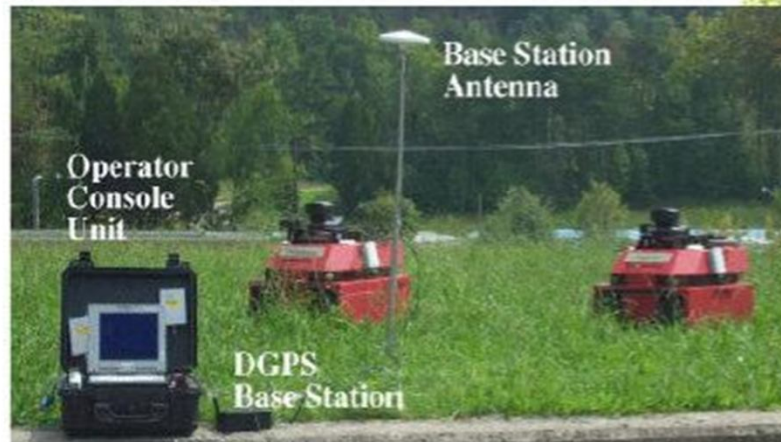
Sistema de Posicionamento Global (GPS)

- 1 satélite = distância
 - 2 satélites = intersecção de duas esferas
 - 3 satélites = círculo
 - ≥ 4 satélites = posição única
-
- Precisão menor que poucos metros.



Sistema de Posicionamento Global Diferencial

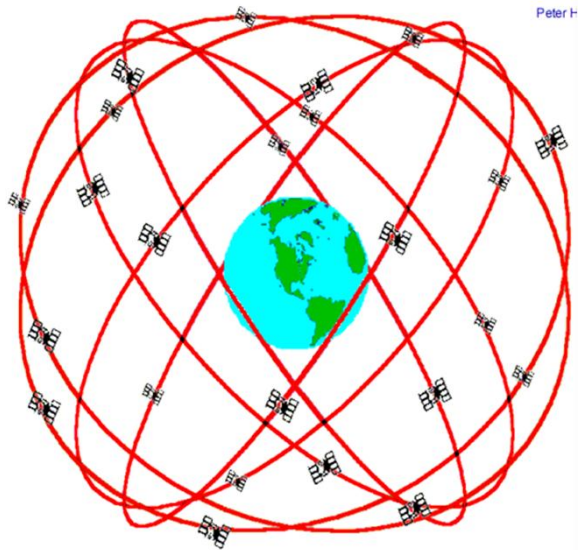
- Precisão abaixo de poucos centímetros.



- GPS e (GPS diferencial)

- Vantagens:

- absoluto;



- Desvantagens:

- caro;

- pouco preciso

- militar - 22 metros precisão horizontal e 27.7 metros precisão vertical;

- civil - 100 metros e 156 metros.