

IIC2685 Robótica Móvil I – 2022

Capítulo 2

Conceptos Básicos de Percepción Robótica

Profesor: Gabriel Sepúlveda V.
grsepulveda@ing.puc.cl

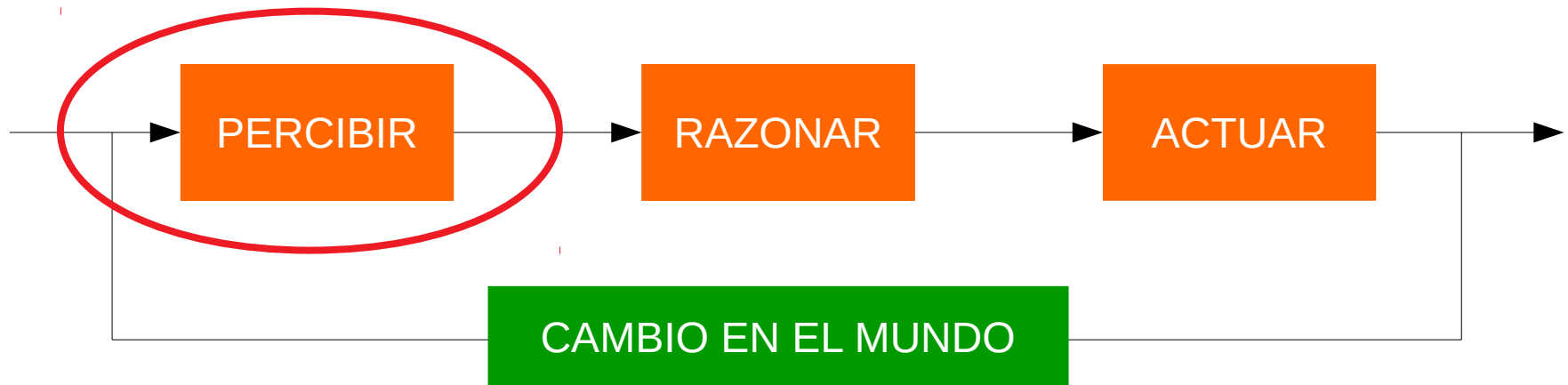
Agenda

- Conceptos básicos
- Tipos de sensores y funcionamiento básico

Percepción

- Volviendo a nuestra definición de ROBOT:

Una máquina **AUTÓNOMA** capaz de **PERCIBIR**, **RAZONAR** y **ACTUAR** en forma **ADAPTIVA**



Percepción

- Un robot autónomo necesita la habilidad de percibir su entorno
 - Localización 6 DoF en mundo 3D
 - Navegación, evasión de obstáculos
 - Interacción con objetos
 - Análisis de elementos de interés en el entorno
- Se usan **sensores** de muchos tipos
 - Encoders
 - Profundidad (cámara, laser, sonar)
 - Imagen (cámara)
 - GPS



Sensores

- Localización y Pose
 - Outdoor: GPS, DGPS
 - Indoor: Encoders, sensores de profundidad, cámaras



DGPS



Encoder



Sonar



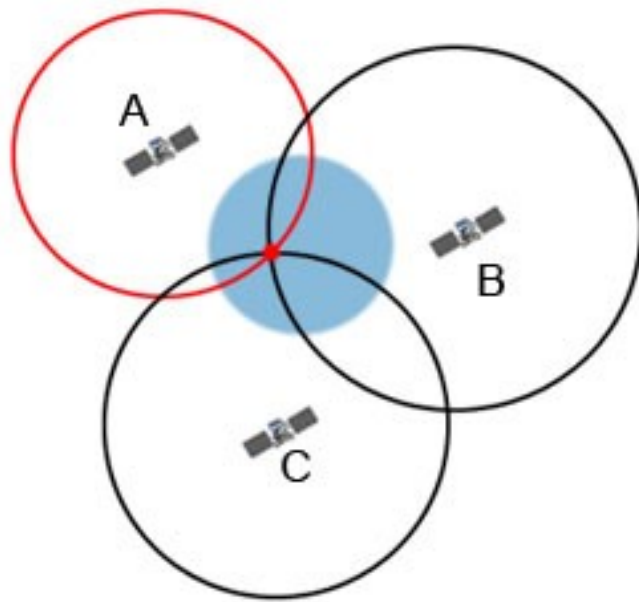
Kinect



Cámara Stereo

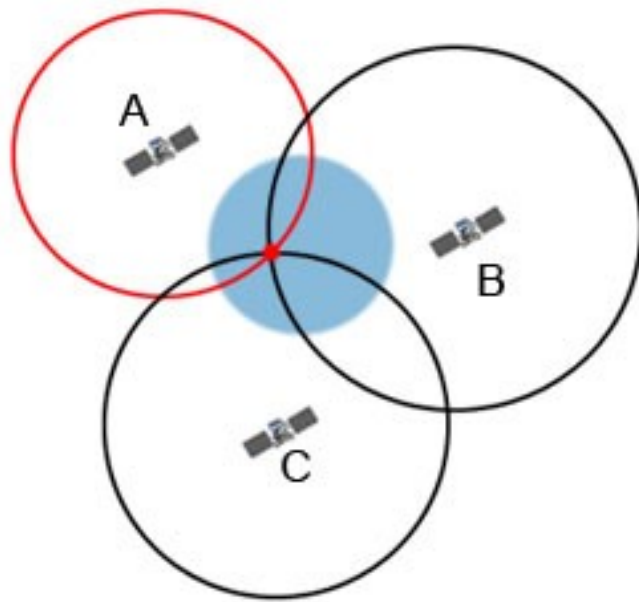
Global Positioning System (GPS)

- Red de aproximadamente 30 satélites
- Altitud 20.000 [km]
- Para determinar la posición en tierra, se utiliza método de **trilateración**



Global Positioning System (GPS)

- Red de aproximadamente 30 satélites
- Altitud 20.000 [km]
- Para determinar la posición en tierra, se utiliza método de **trilateración**
- “Solo” necesitamos conocer la distancia hacia cada satélite !



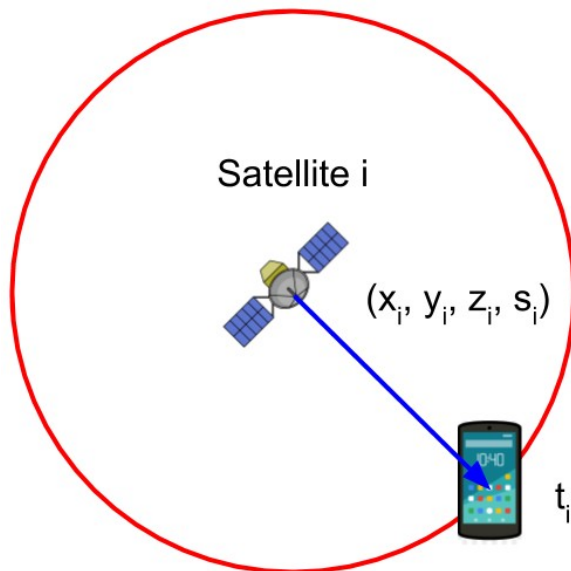
$$x^2 + y^2 = r_A^2$$

$$x^2 + y^2 = r_B^2$$

$$x^2 + y^2 = r_C^2$$

Global Positioning System (GPS)

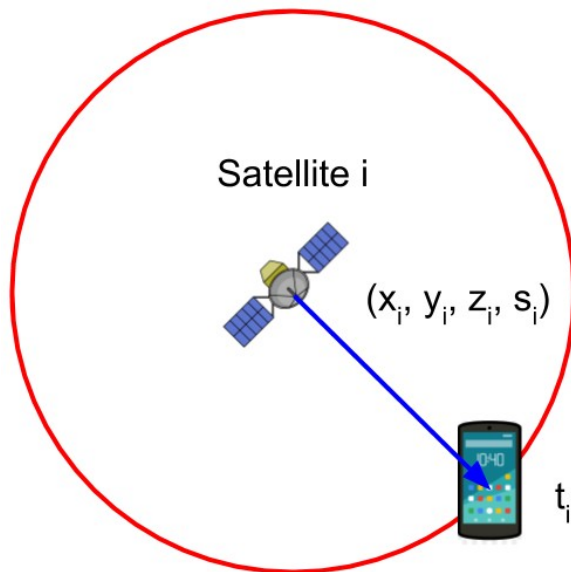
- Cada satélite transmite información sobre su **posición** y **reloj interno**



$$r = (t_i - s_i - b) \cdot c$$

Global Positioning System (GPS)

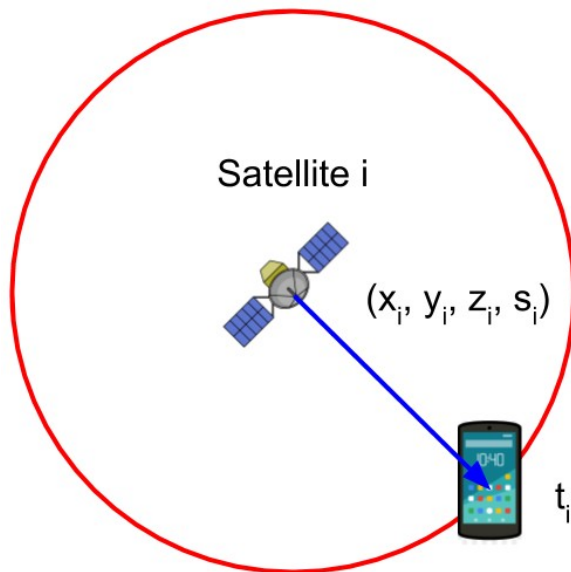
- Cada satélite transmite información sobre su **posición** y **reloj interno**
- La **distancia "r"** a cada satélite es deducida por el tiempo que demora en llegar la onda electromagnética al dispositivo en tierra



$$r = (t_i - s_i - b) \cdot c$$

Global Positioning System (GPS)

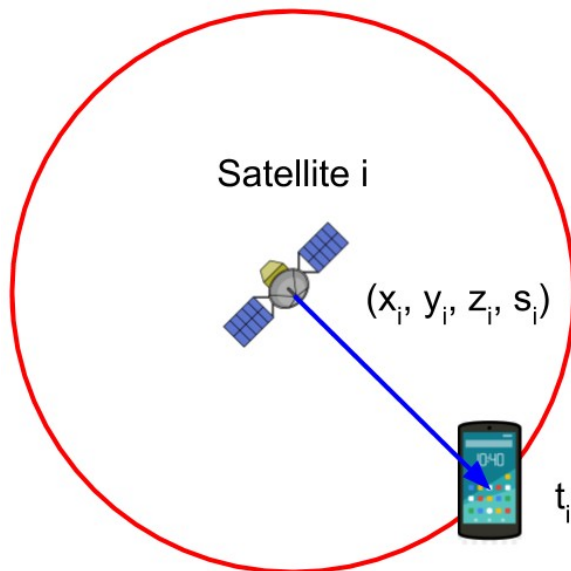
- Cada satélite transmite información sobre su **posición** y **reloj interno**
- La **distancia "r"** a cada satélite es deducida por el tiempo que demora en llegar la onda electromagnética al dispositivo en tierra
- El reloj del satélite y del receptor deben encontrarse en sincronía



$$r = (t_i - s_i - b) \cdot c$$

Global Positioning System (GPS)

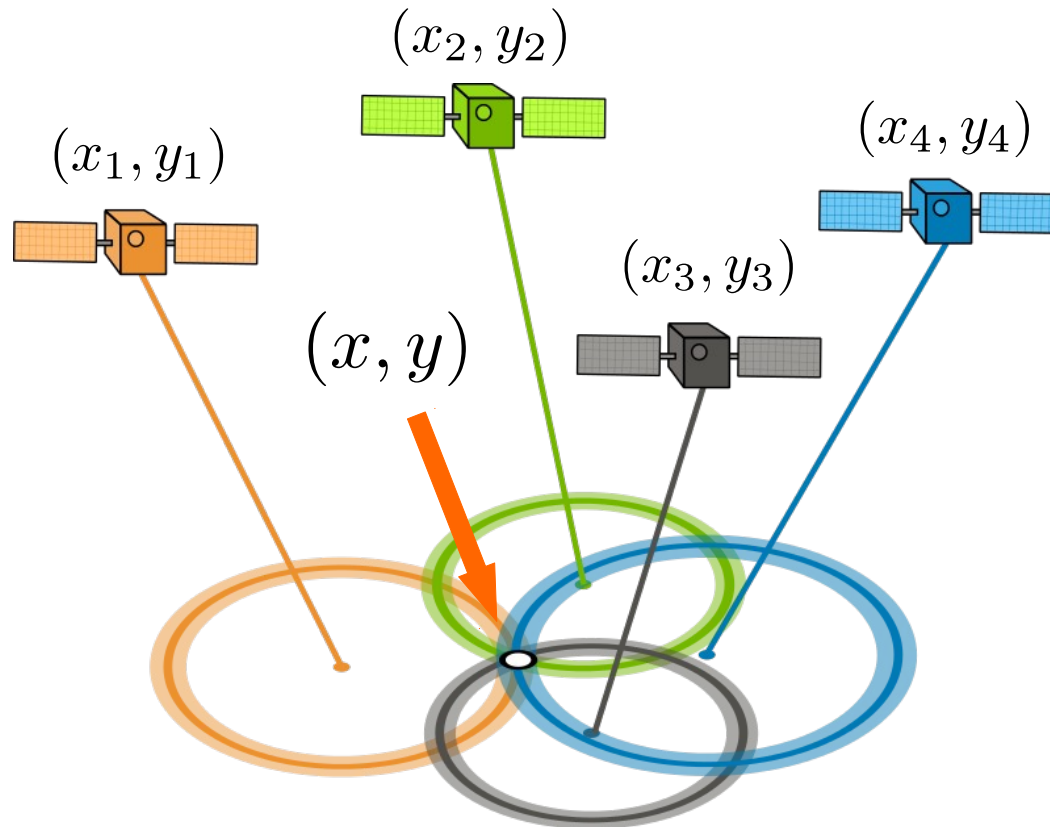
- Cada satélite transmite información sobre su **posición** y **reloj interno**
- La **distancia "r"** a cada satélite es deducida por el tiempo que demora en llegar la onda electromagnética al dispositivo en tierra
- El reloj del satélite y del receptor deben encontrarse en sincronía
- A pesar de esta sincronía, existe **error remanente**: b [s]



$$r = (t_i - s_i - b) \cdot c$$

Global Positioning System (GPS)

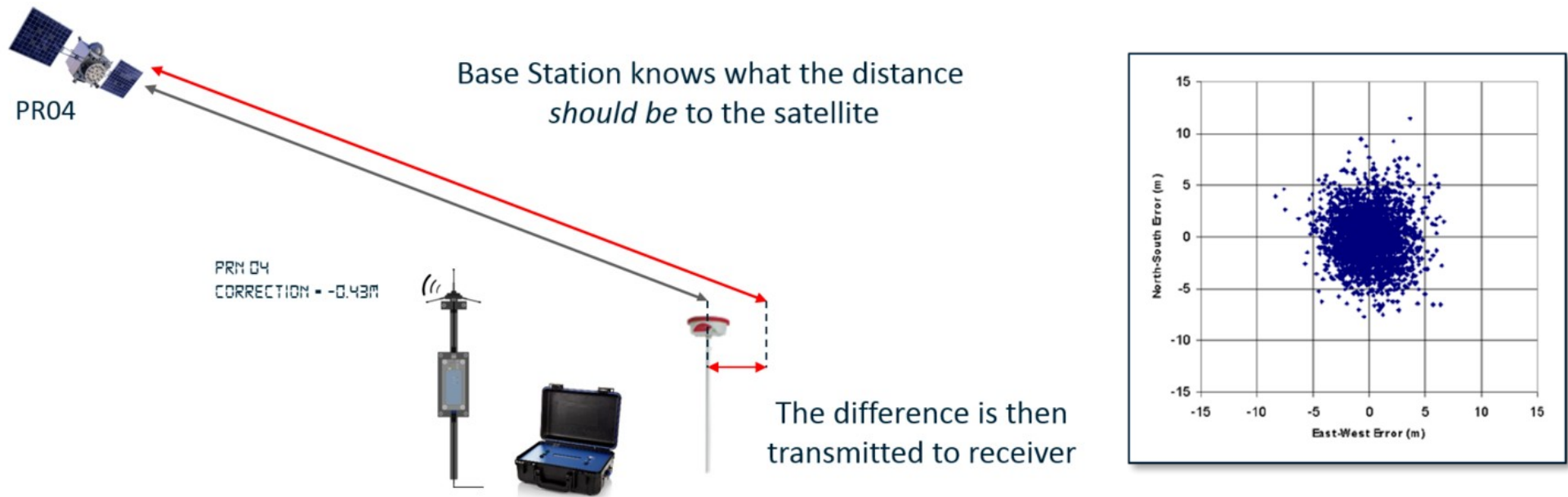
- Para localización, se necesitan al menos 4 satélites



$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = ((t_i - s_i - b) \cdot c)^2$$

Differential Global Positioning System (DGPS)

- La posición entregada por GPS no es exacta ya que la velocidad de transmisión de la onda se ve afectada por la ionosfera y tropósfera
- Solución: Cuantificar el error y transmitirlo a cada receptor desde estaciones base



Encoders

- ¿ Cómo se realiza la odometría ?
- Mediante **encoders** o generador de pulsos
 - Transductor de **energía cinética** a **energía eléctrica**
 - Codifica movimiento mecánico en impulsos eléctricos



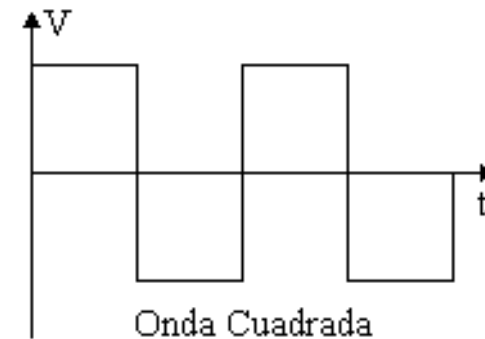
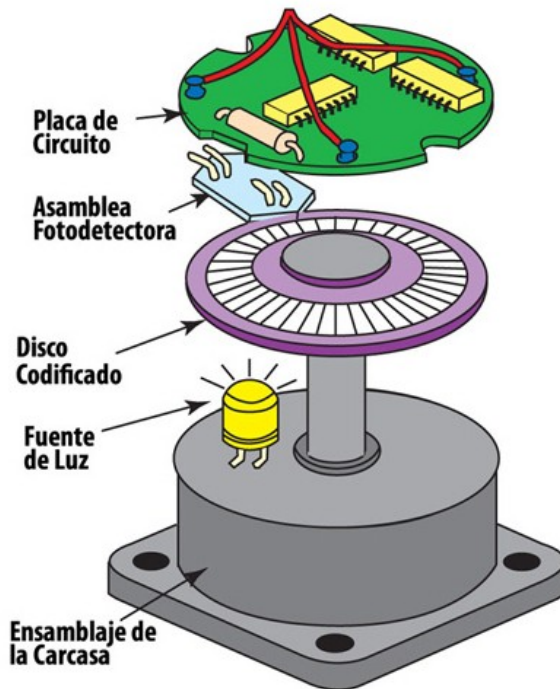
Encoders

- Tipos de encoders:
 - Encoders magnéticos
 - Encoders capacitivos
 - Encoders inductivos
 - Potenciómetros
 - Encoders ópticos
 - Incrementales
 - Absolutos



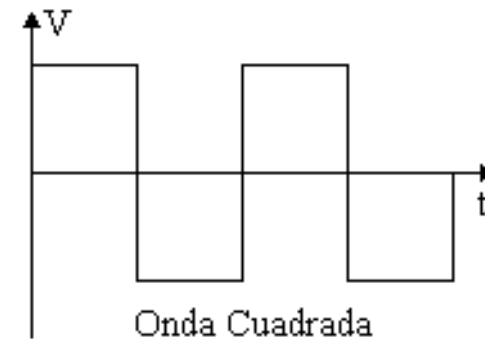
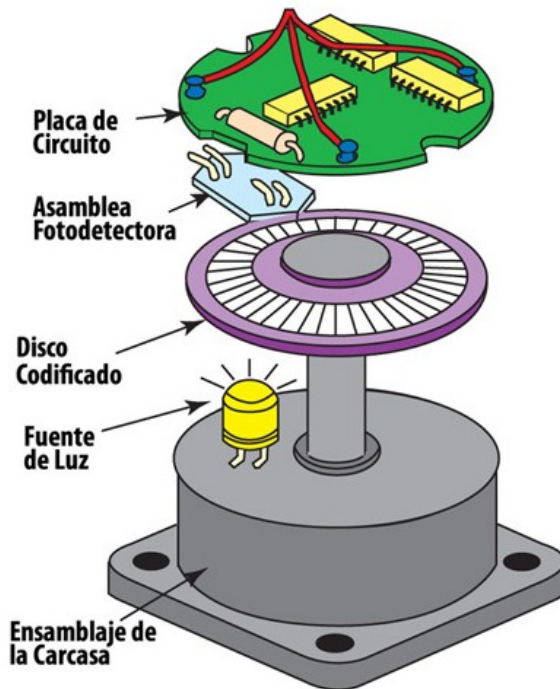
Encoders Ópticos Incrementales

- Encoder incremental (básico): cuenta cantidad de ciclos (pulsos eléctricos) por revolución
- Parámetro relevante: *Cycles Per Revolution* (CPR): 2.000 – 10.000



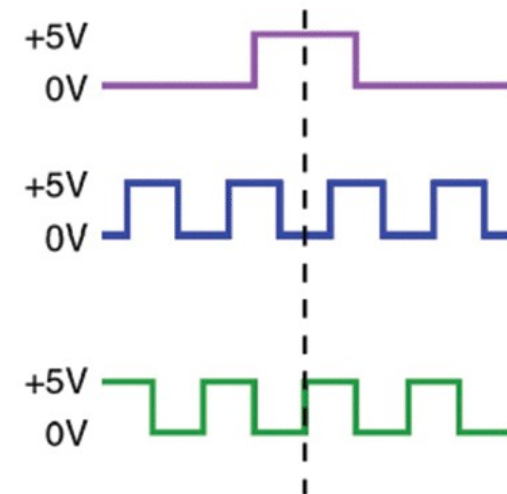
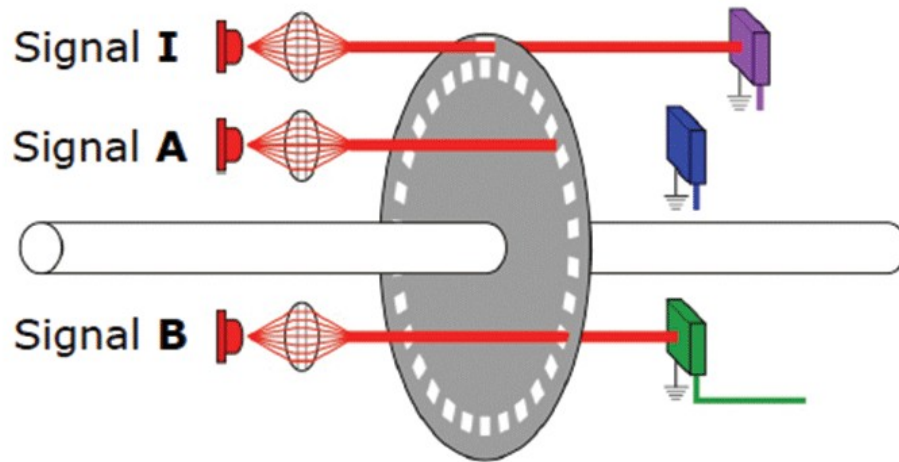
Encoders Ópticos Incrementales

- Encoder incremental (básico): cuenta cantidad de ciclos (pulsos eléctricos) por revolución
- Parámetro relevante: *Cycles Per Revolution* (CPR): 2.000 – 10.000
- ¿Podemos saber la dirección de giro ?



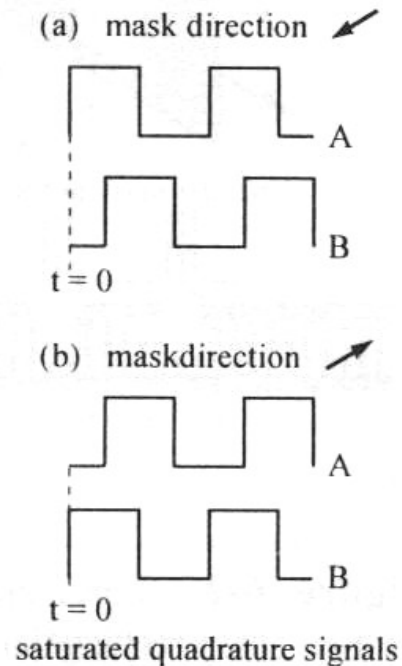
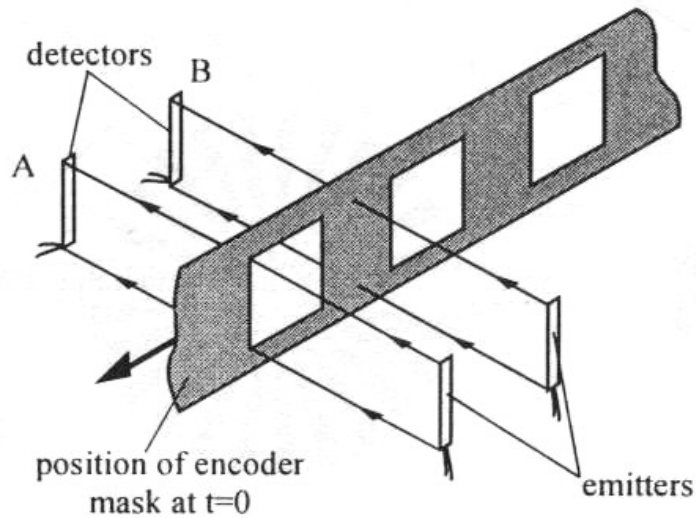
Encoders Ópticos Incrementales

- Encoder en cuadratura (desfase de 90°)
 - Entrega información sobre la dirección de giro
 - Resolución: incremento de 4x

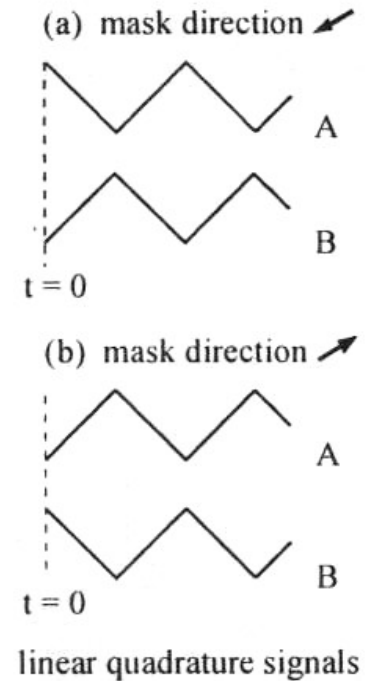


Encoders Ópticos Incrementales

- Encoder en cuadratura



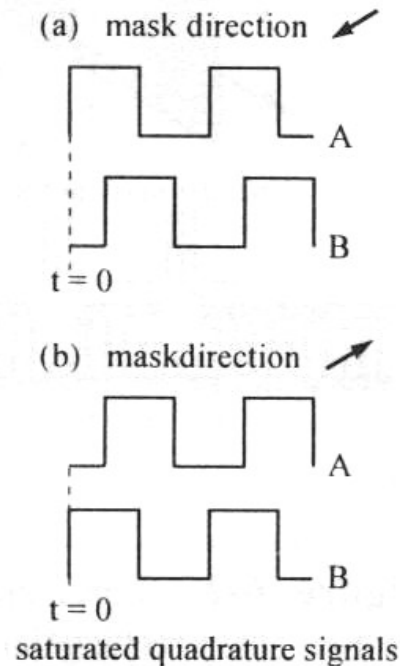
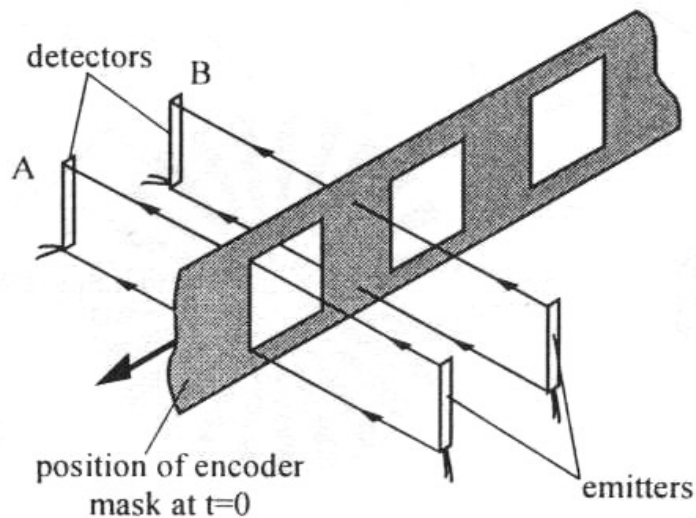
Ideal



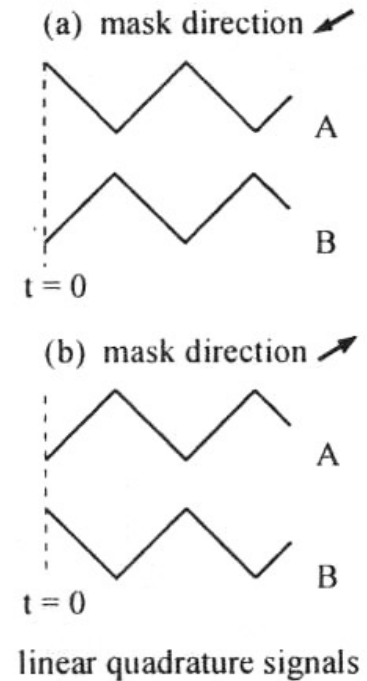
Real

Encoders Ópticos Incrementales

- Encoder en cuadratura



Ideal

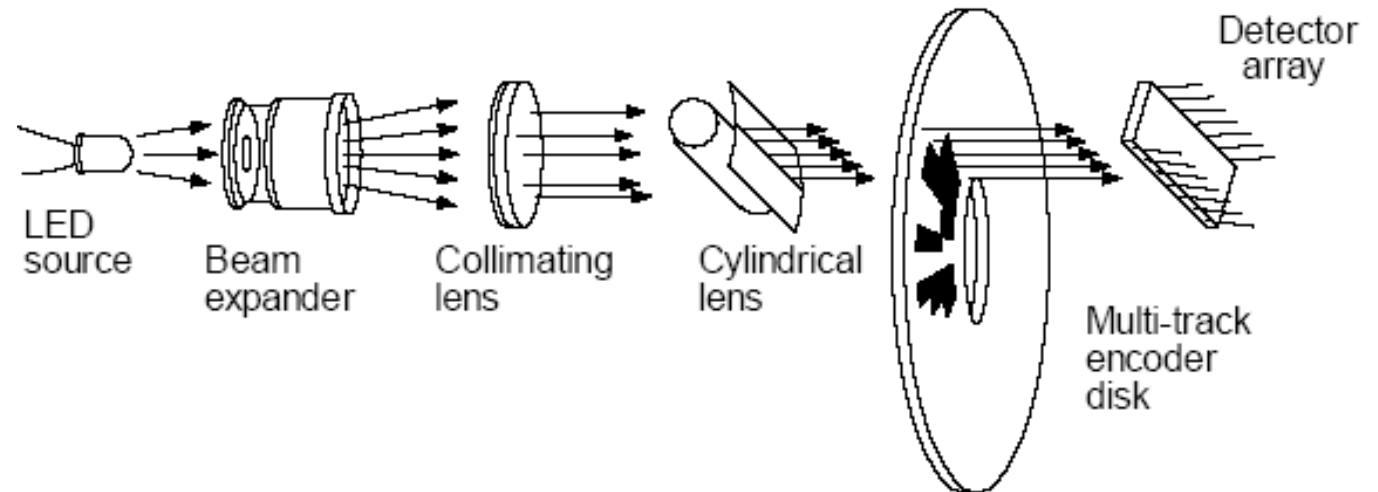
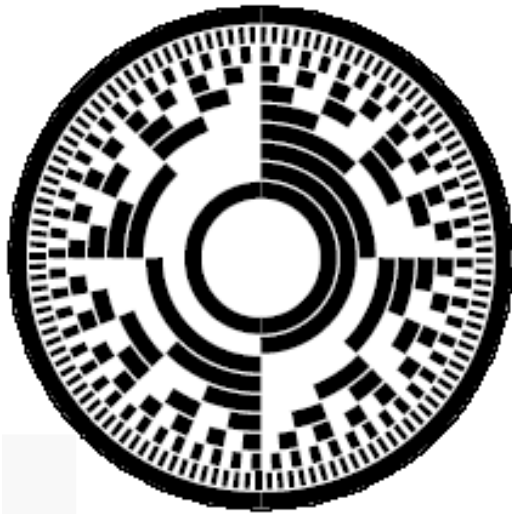


Real

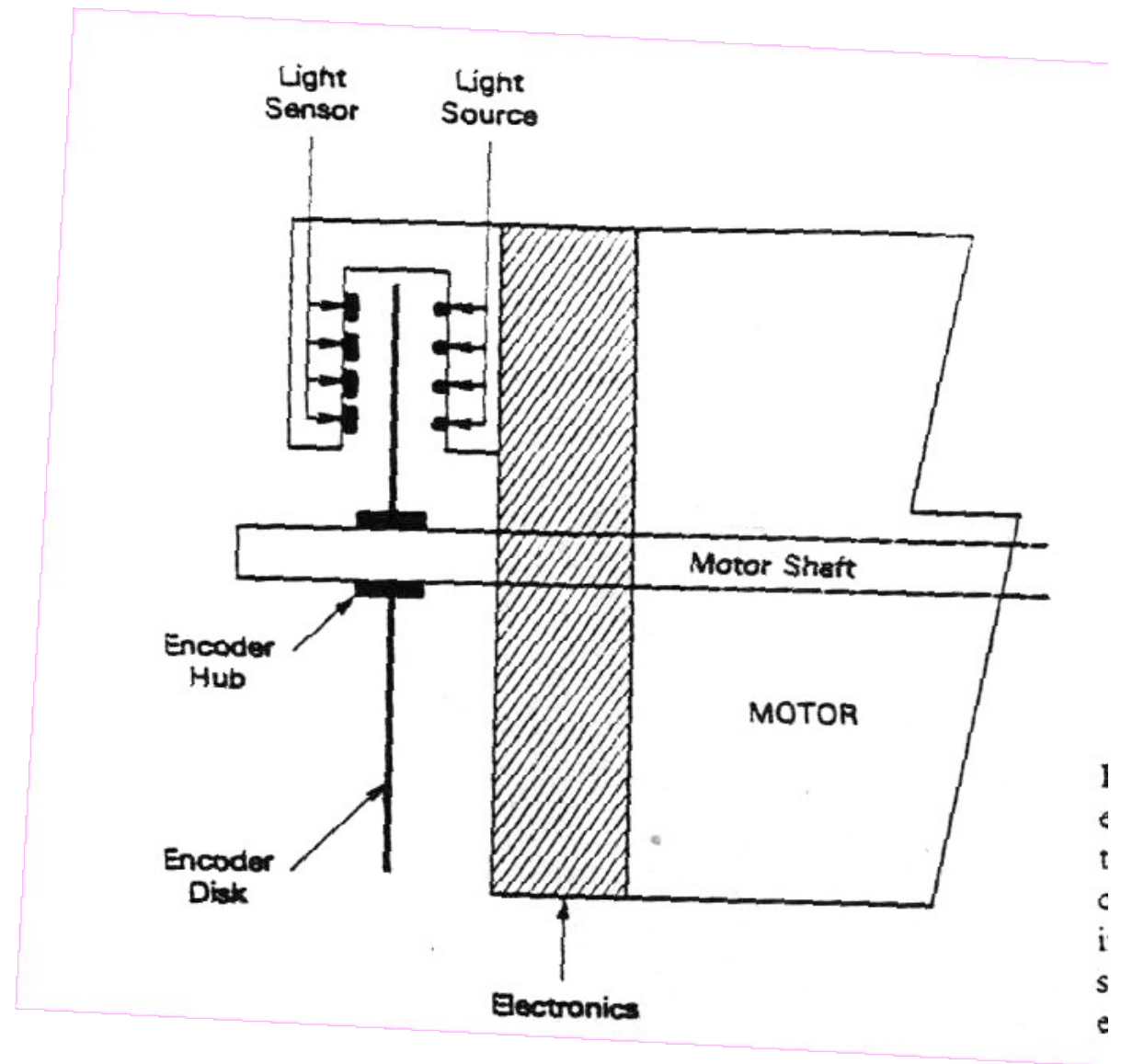
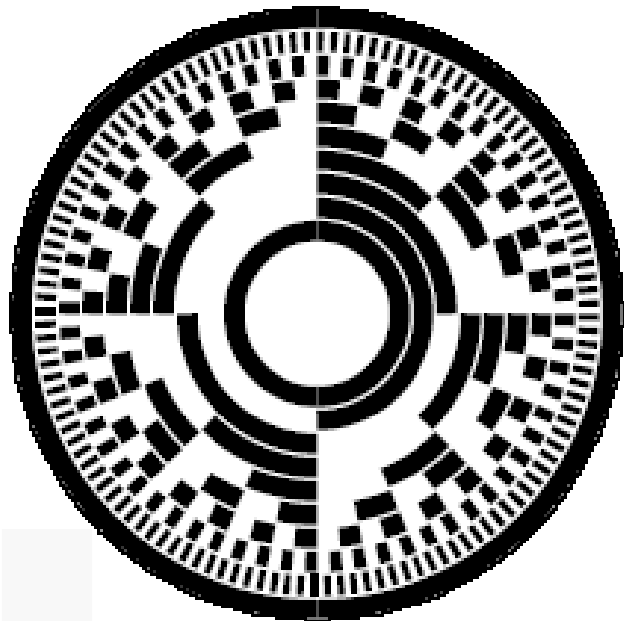
- ¿ Podemos conocer la posición rotacional del eje ?

Encoders Ópticos Absolutos

- Con un encoder incremental es necesario almacenar información para saber la posición y velocidad de las ruedas.
- En un absoluto la posición siempre estará disponible.
- La configuración es más compleja



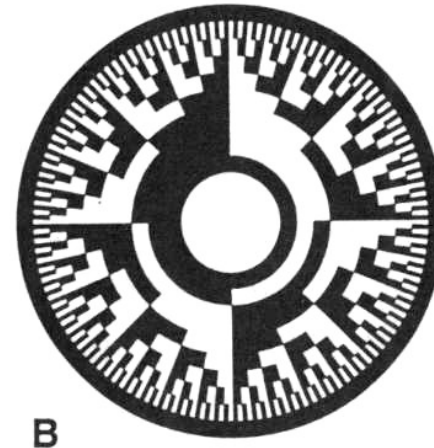
Encoders Ópticos Absolutos



Encoders Ópticos Absolutos

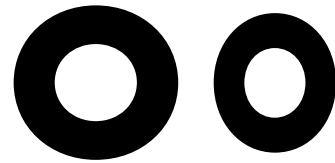
- Para reducir errores: código Gray

#	Binary (B)	Gray (A)
0	0	0000
1	1	0001
2	10	0011
3	11	0010
4	100	0110
5	101	0111
6	110	0101
7	111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101



Problemas Con Odometría

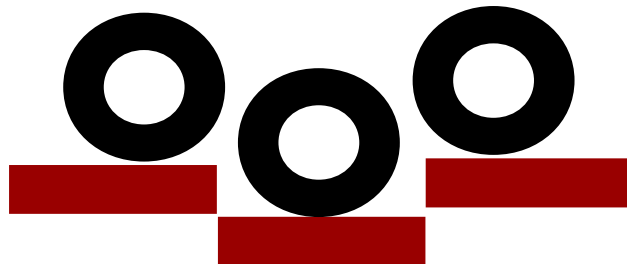
- Ruedas distintas



- Obstáculo



- Hoyo

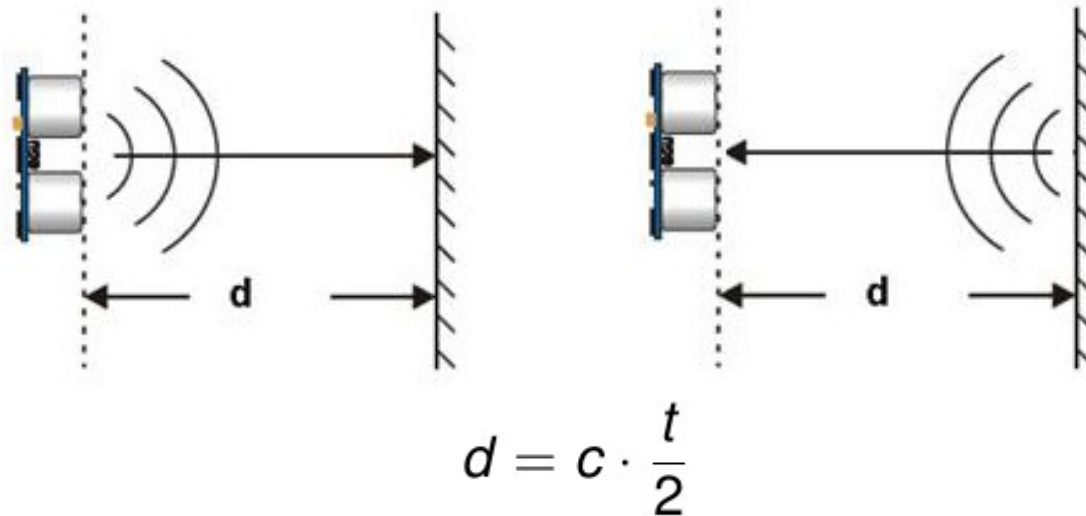


Sensores

- Percepción: **profundidad** es clave
 - Sonar
 - Cámara stereo
 - Cámara luz estructurada (Kinect)
 - Rangefinder (2D), Velodyne (3D)

Sonar

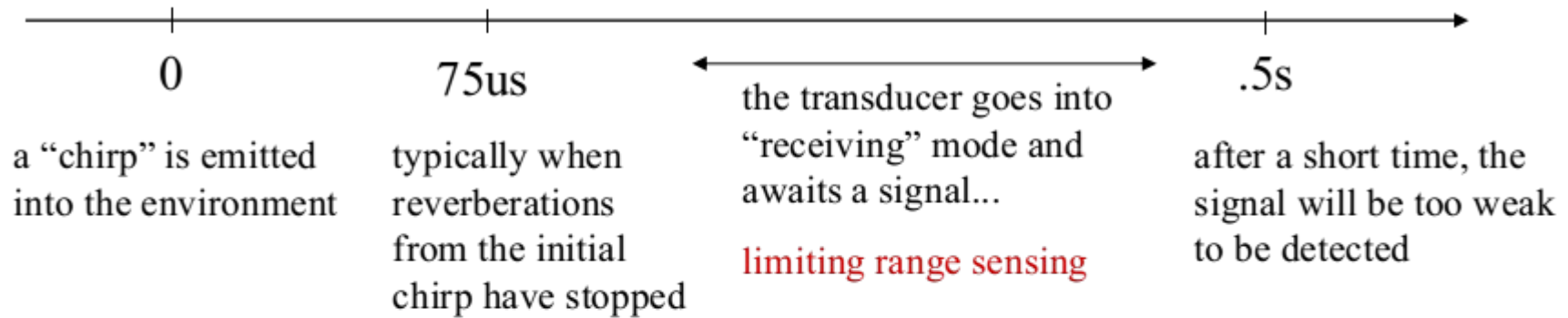
- Dispositivo capaz de medir el alcance (*range*) hasta objetos utilizando pulsos de **ultrasonido**
- Utiliza principio de ***Time of Flight***



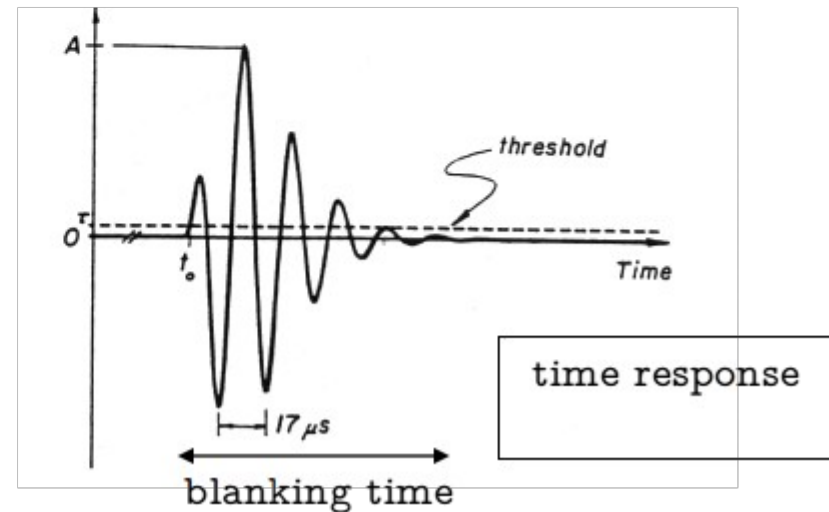
- *d: distancia hacia objeto*
- *c: velocidad de propagación de la onda*
- *t: tiempo de vuelo*

Sonar

single-transducer sonar timeline

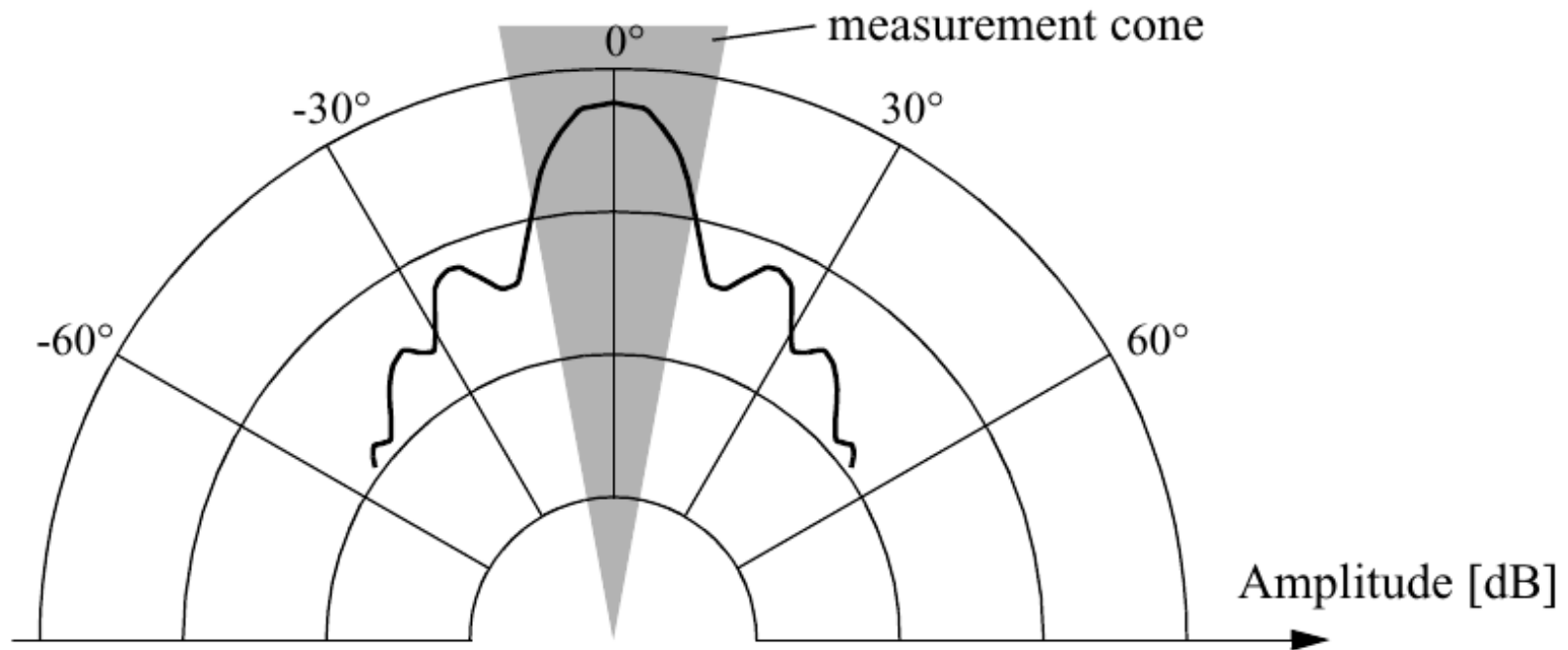


Polaroid sonar emitter/receivers

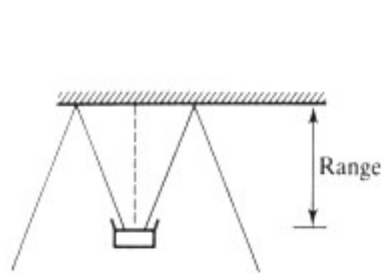


Sonar

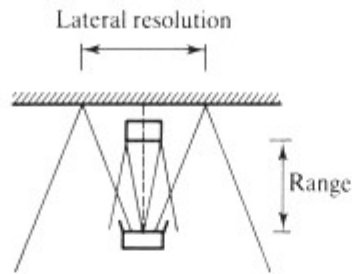
- Distribución de intensidad de un sensor ultrasónico



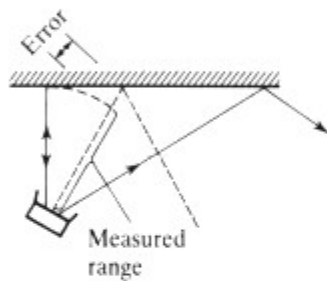
Sonar



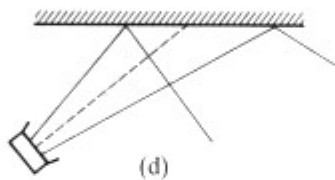
(a)



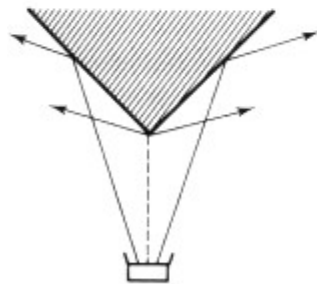
(b)



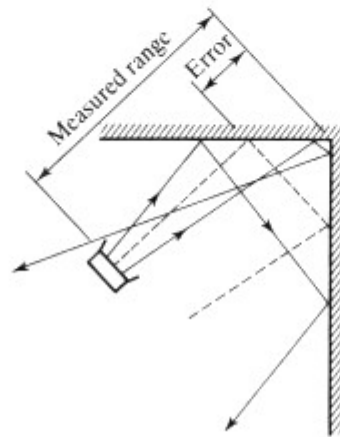
(c)



(d)



(e)



(f)

(a) Sonar providing an accurate range measurement

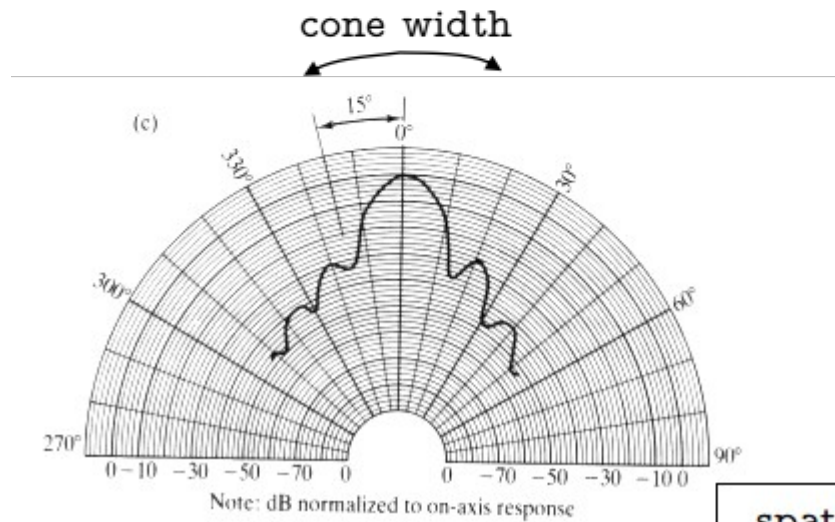
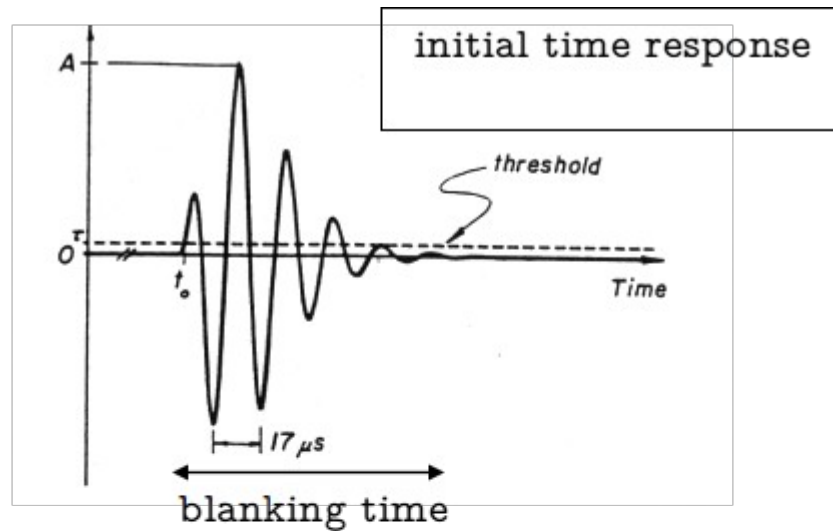
(b-c) Lateral resolution is not very precise; the closest object in the beam's cone provides the response

(d) Specular reflections cause walls to disappear

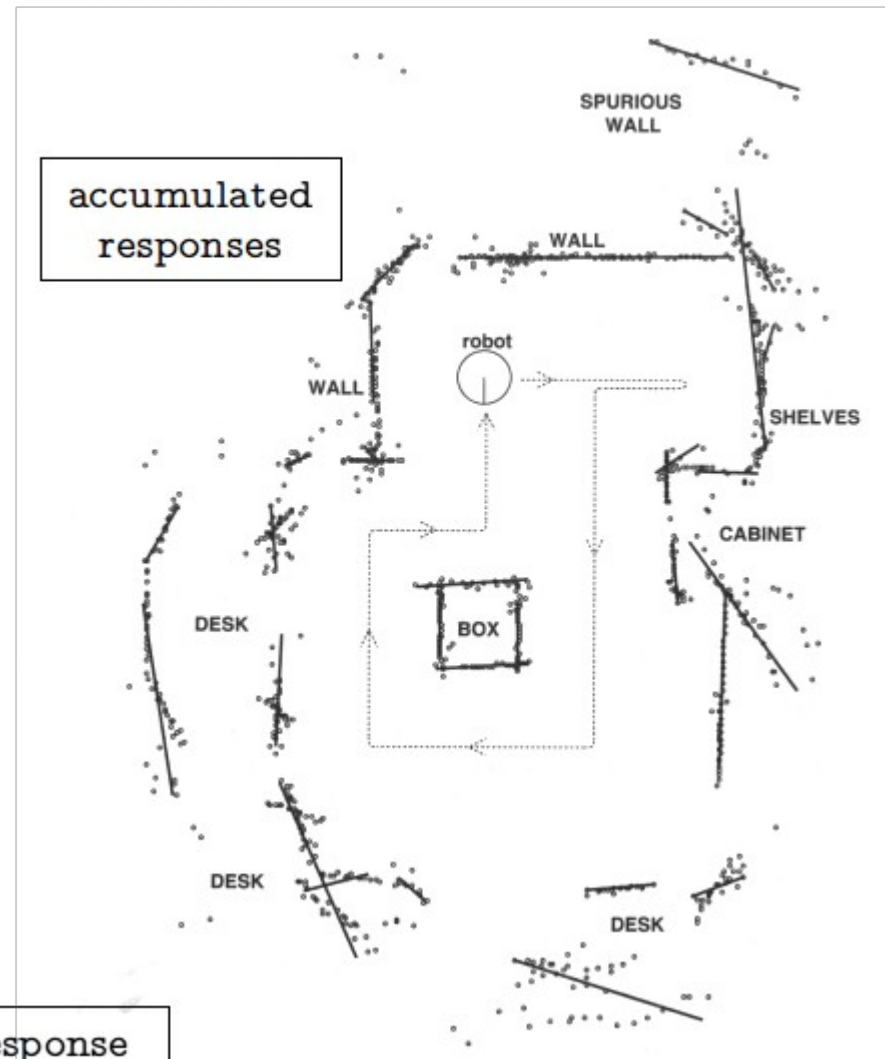
(e) Open corners produce a weak spherical wavefront

(f) Closed corners measure to the corner itself because of multiple reflections --> sonar ray tracing

Sonar

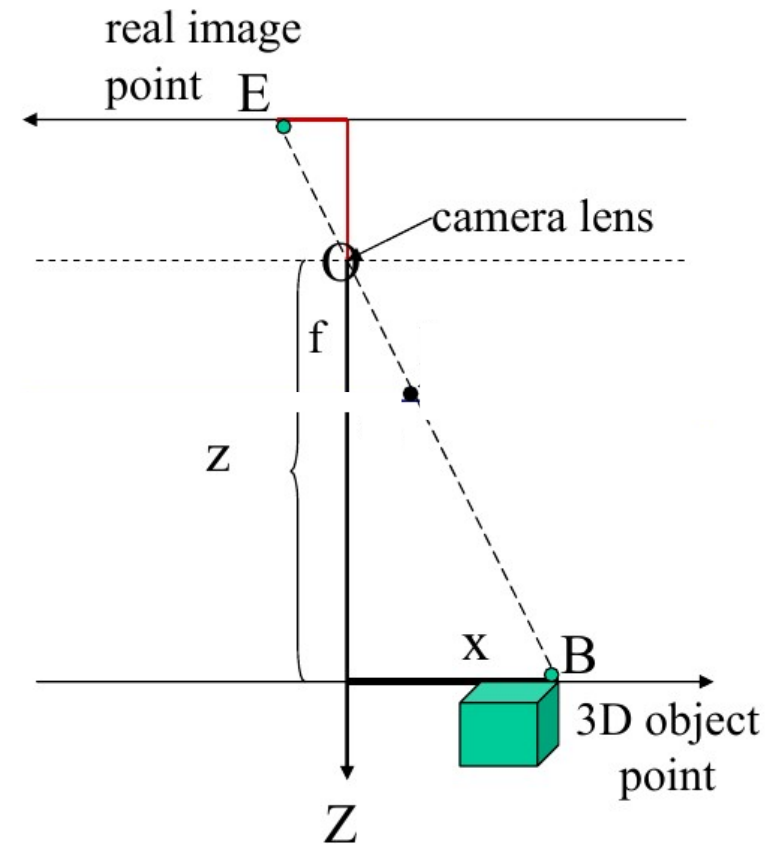
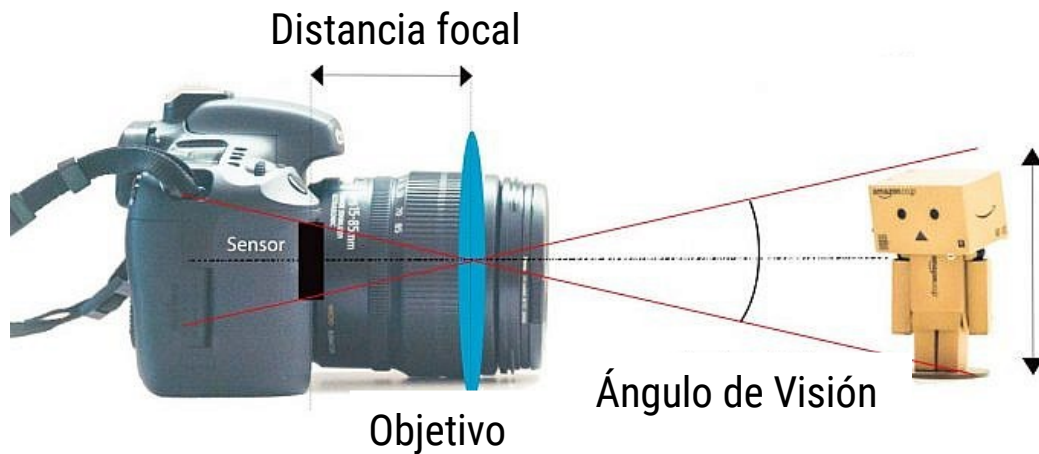


spatial response



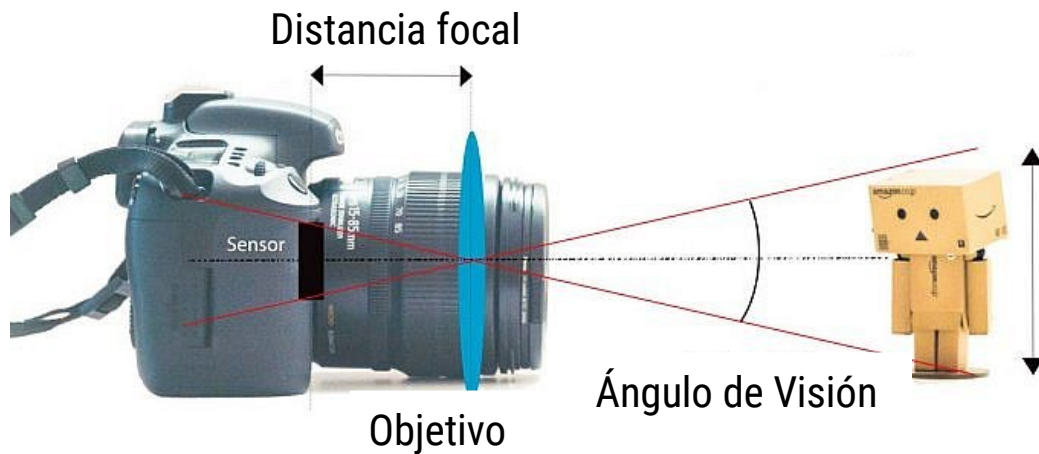
Cámara Stereo

- Óptica de una cámara RGB

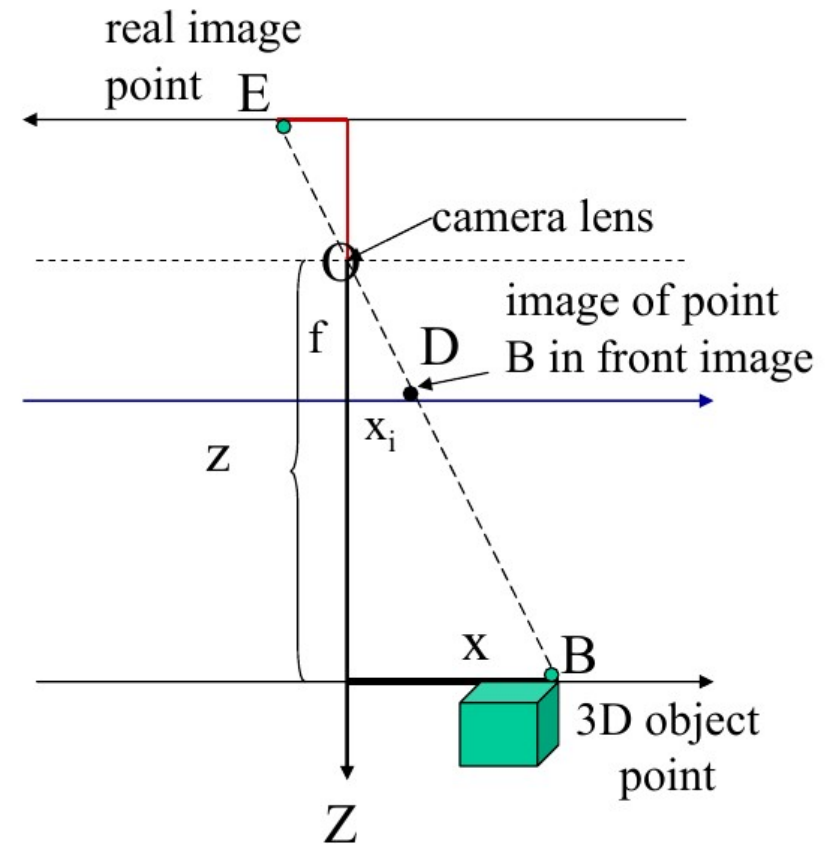


Cámara Stereo

- Óptica de una cámara RGB



$$\frac{x_i}{f} = \frac{X}{Z}$$



Cámara Stereo

- Cámara Stereo consta de dos cámaras RGB



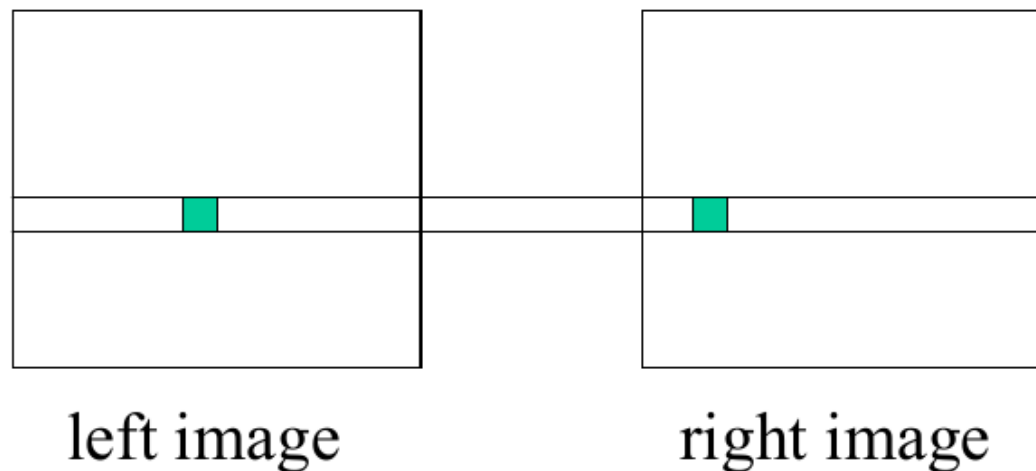
Cámara Stereo

- Cámara Stereo consta de dos cámaras RGB
- Cada cámara “ve” una imagen distinta (dispar)



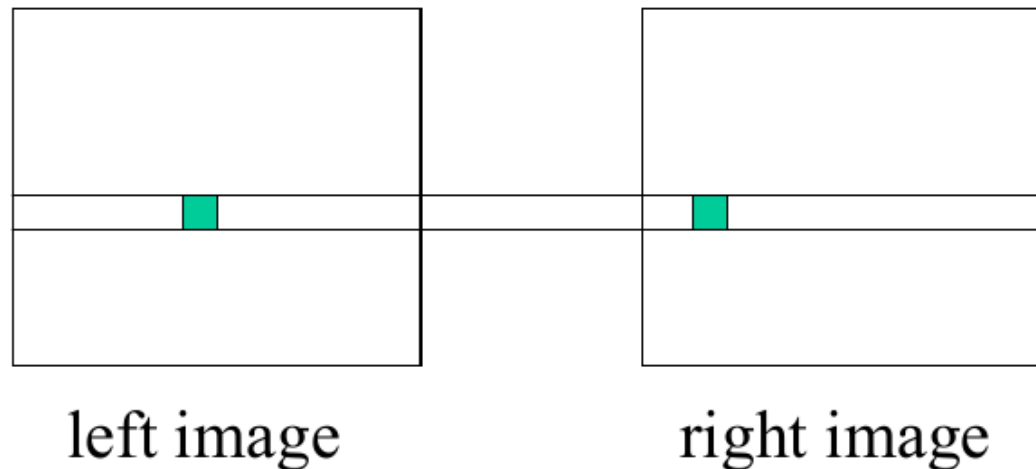
Cámara Stereo

- Cámara Stereo consta de dos cámaras RGB
- Cada cámara “ve” una imagen distinta (dispar)
- Se calcula la **correspondencia** entre ambas imágenes



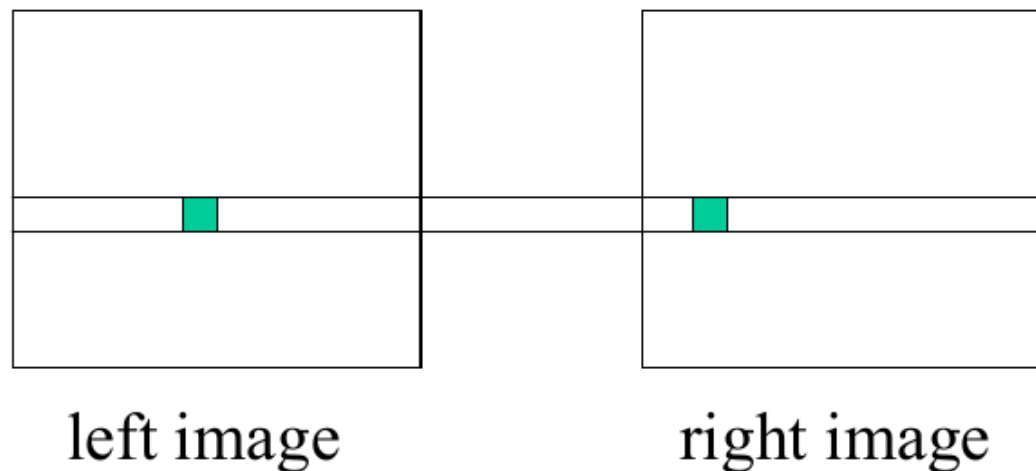
Cámara Stereo

- Cámara Stereo consta de dos cámaras RGB
- Cada cámara “ve” una imagen distinta (dispar)
- Se calcula la **correspondencia** entre ambas imágenes
- Se calcula la **disparidad** (diferencia de posición) para todos los puntos en correspondencia



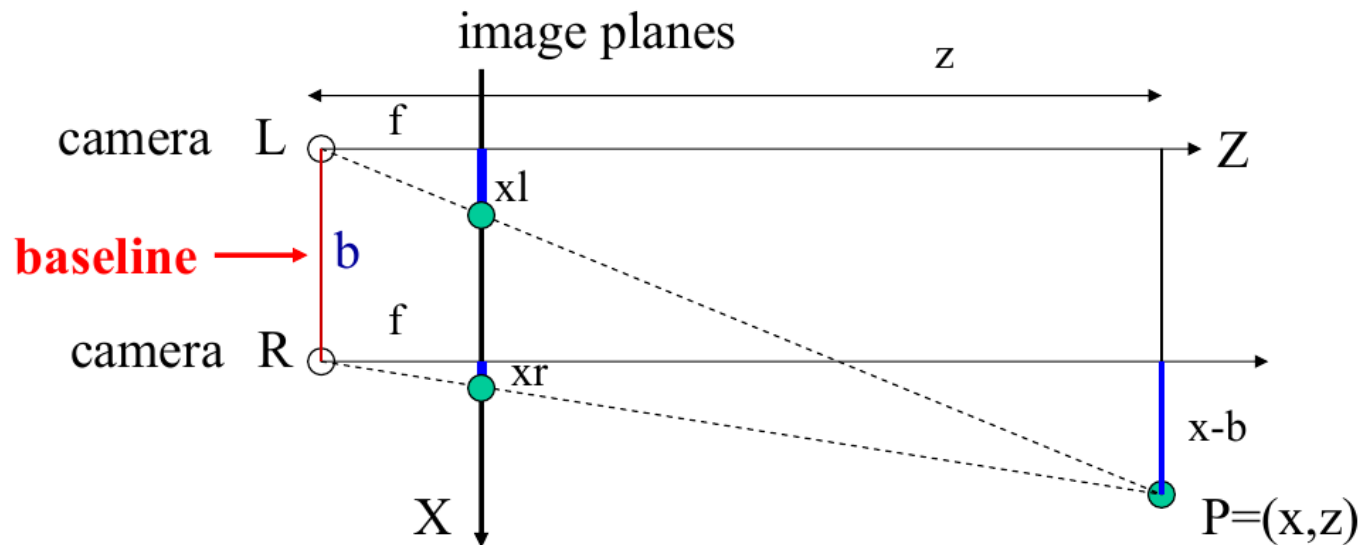
Cámara Stereo

- Cámara Stereo consta de dos cámaras RGB
- Cada cámara “ve” una imagen distinta (dispar)
- Se calcula la **correspondencia** entre ambas imágenes
- Se calcula la **disparidad** (diferencia de posición) para todos los puntos en correspondencia
- Mapa de disparidad **inversamente proporcional** a la profundidad



Cámara Stereo

- Óptica de una cámara stereo



$$\frac{x_l}{f} = \frac{X}{Z}$$
$$\frac{x_r}{f} = \frac{X - b}{Z}$$



$$\frac{x_l}{f} \cdot Z = \frac{x_r}{f} \cdot Z + b$$
$$Z = \frac{b \cdot f}{x_l - x_r}$$

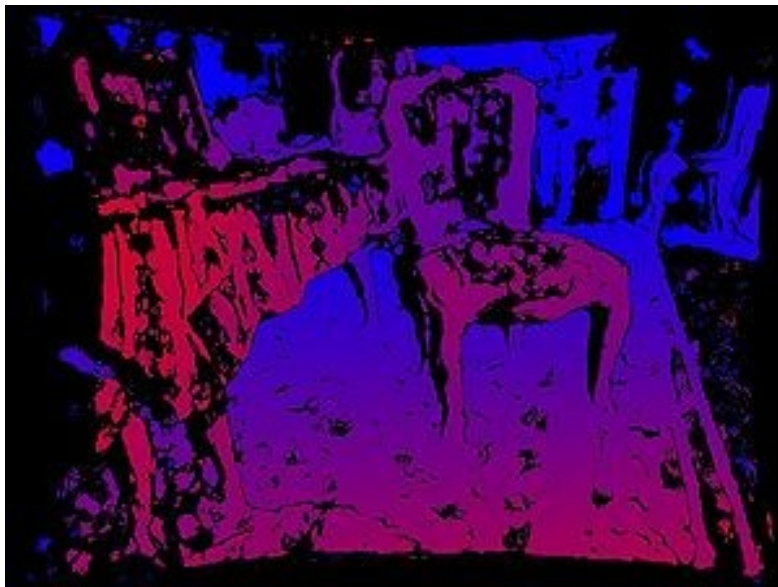
Cámara Stereo

- A partir de Z y las ecuaciones anteriores, es posible encontrar una expresión para la posición vertical y horizontal medida en **metros**

$$\begin{aligned} X &= \frac{Z}{f} \cdot x_l = \frac{Z}{f} \cdot x_r + b \\ Y &= \frac{Z}{f} \cdot y_l = \frac{Z}{f} \cdot y_r \end{aligned}$$

Cámara Stereo

- Uso outdoor/indoor
- Problemas
 - Imagen de disparidad ruidosa
 - Sectores “planos” u homogéneos de la imagen no aportan
 - Depende de luminosidad externa



http://boofcv.org/index.php?title=Example_Stereo_Disparity

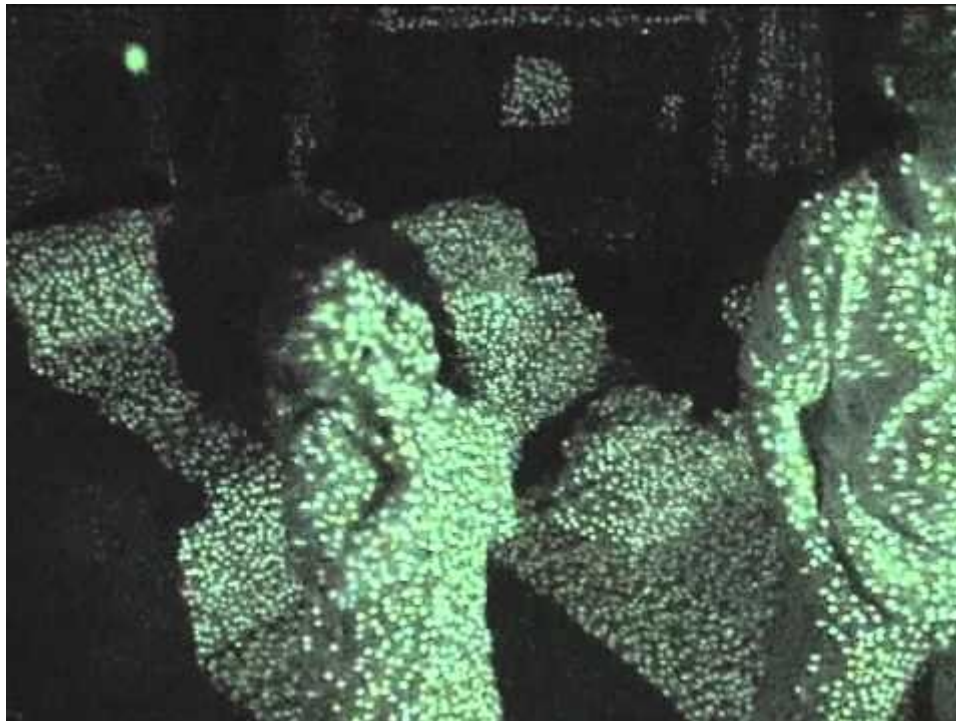
Kinect

EMISOR LUZ ESTRUCTURADA IR



Kinect

- Depth: proyección de luz estructurada IR es capturada por cámara IR y procesada
- Función de intensidad, densidad, etc.
- Salida: profundidad estimada (eje Z kinect)

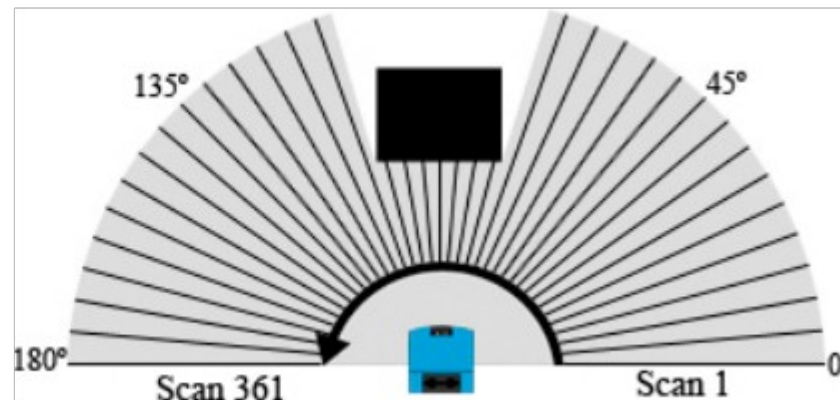
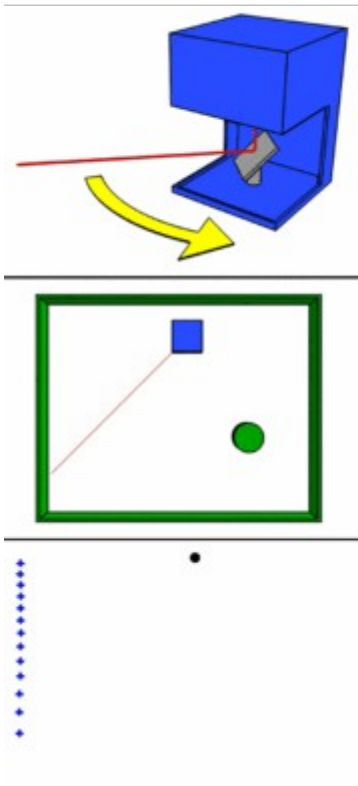


Kinect

- Ventajas
 - Mejor mapa de profundidad que cámara stereo
 - No necesita de fuente de luz externa
- Problemas
 - Sólo indoor
 - Sombras dada por posición de emisor/sensor IR
- En en futuro será habitual en laptops, smartphones, etc.
 - Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR)
 - Detección de objetos es más simple que con sólo imagen RGB

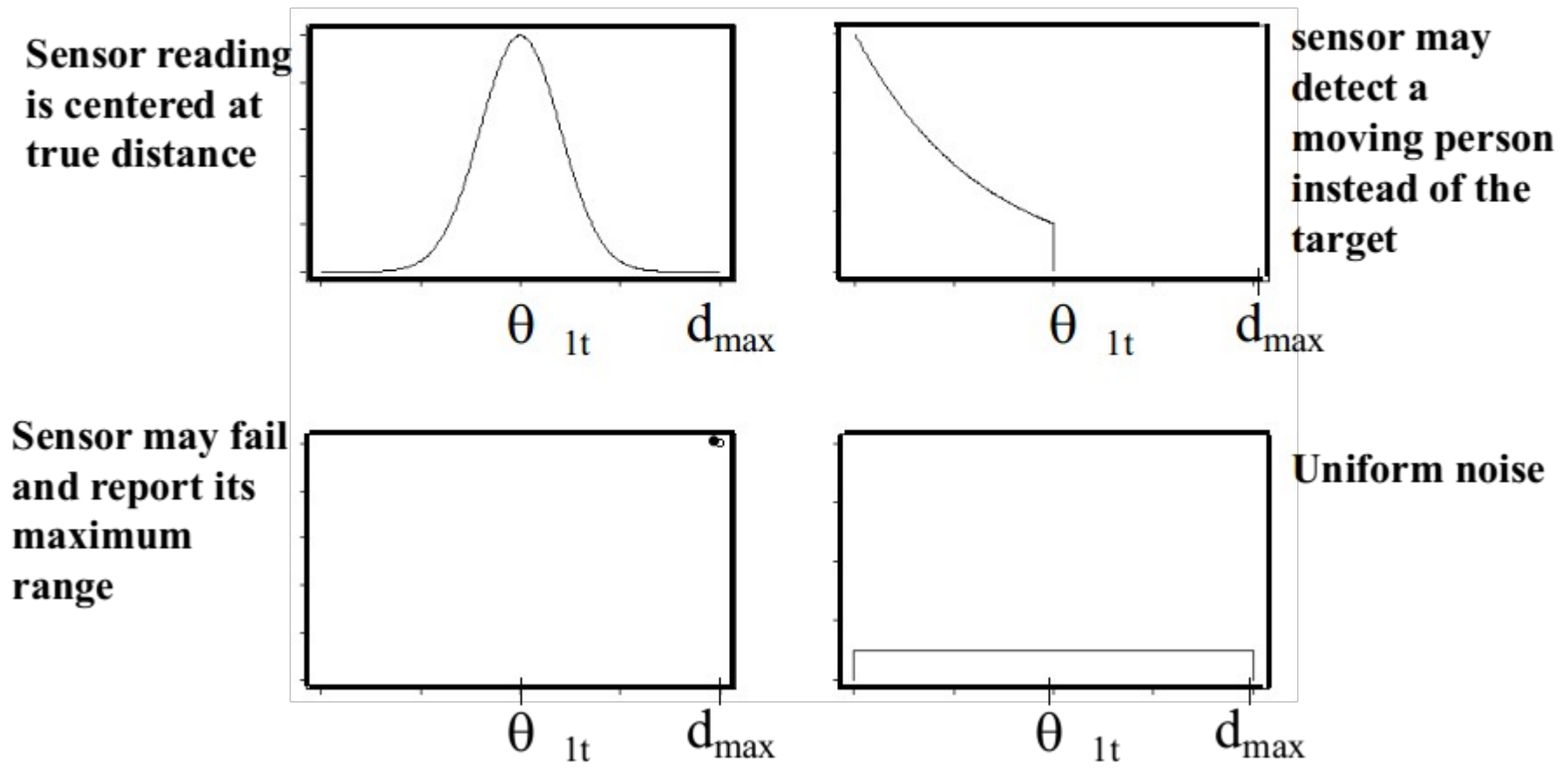
Laser Rangefinder

- Light Detection And Ranging (LIDAR)
- Basados en láser 2D
- Utiliza principio de *Time of Flight*



Rangefinder model (Thrun, 2004)

Assumption: range finder readings combine four sources of error around the true distance to obstacles

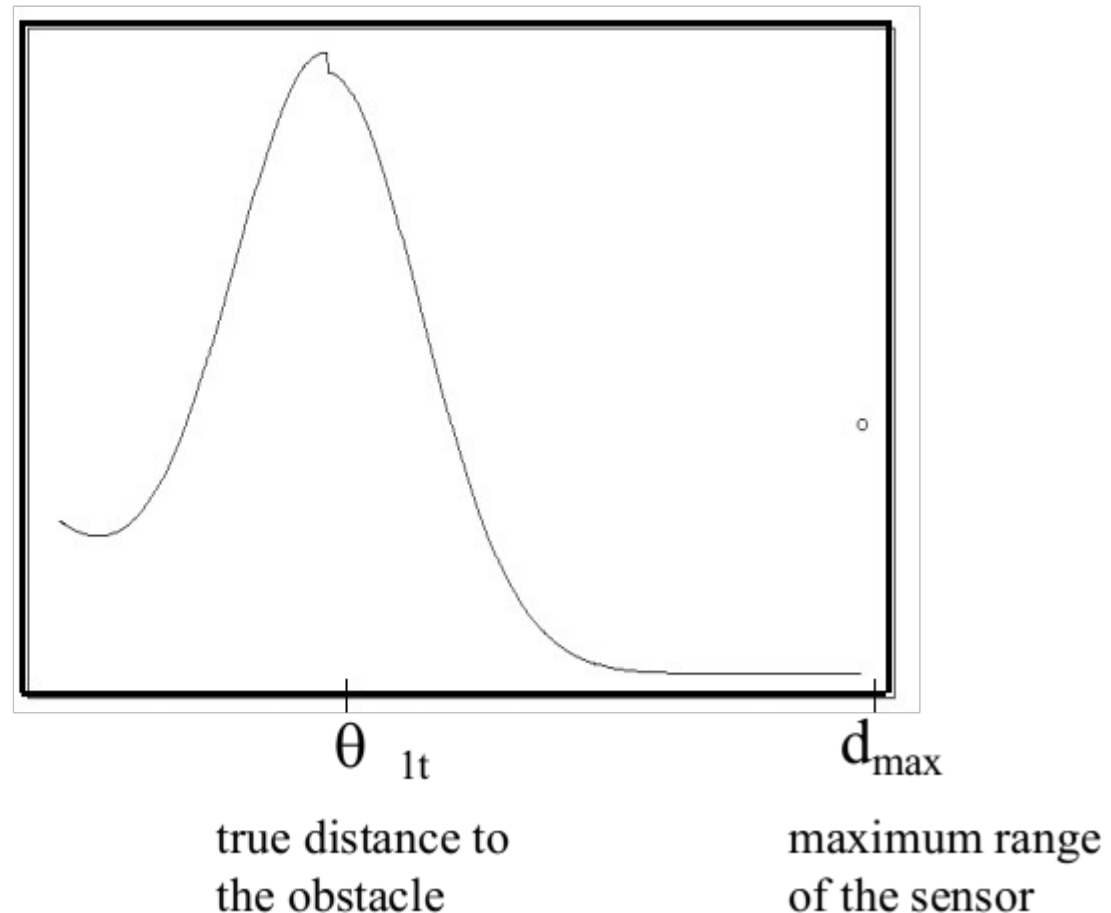


Rangefinder model (Thrun, 2004)

A weighted average of the four sources gives the following distribution for the range finder:

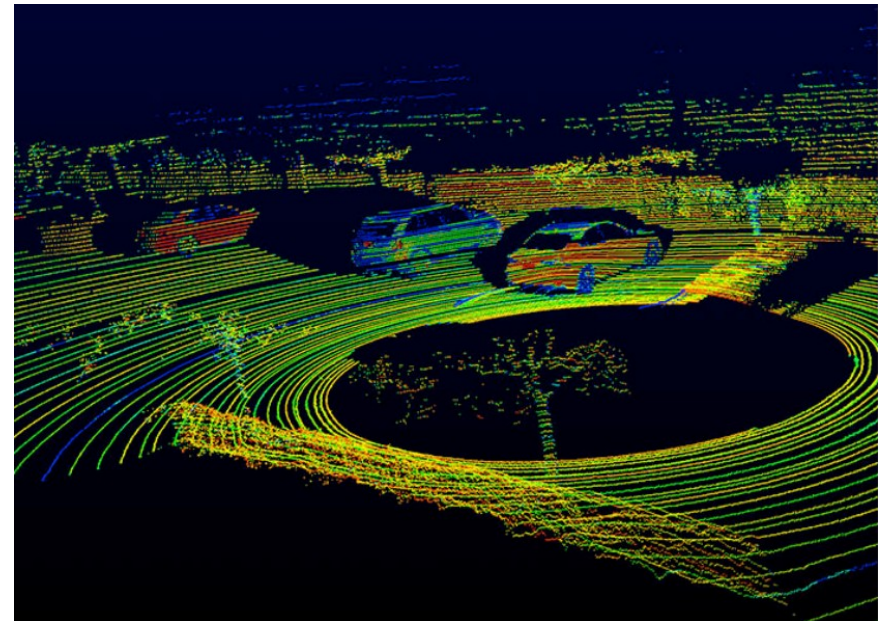
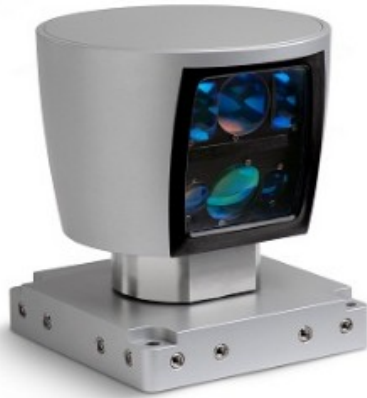
sensor reading
is non normal
but somewhat
centered at the
true distance

In this case, weights
equal to 0.85, 0.05, 0.025
and 0.075, respectively.

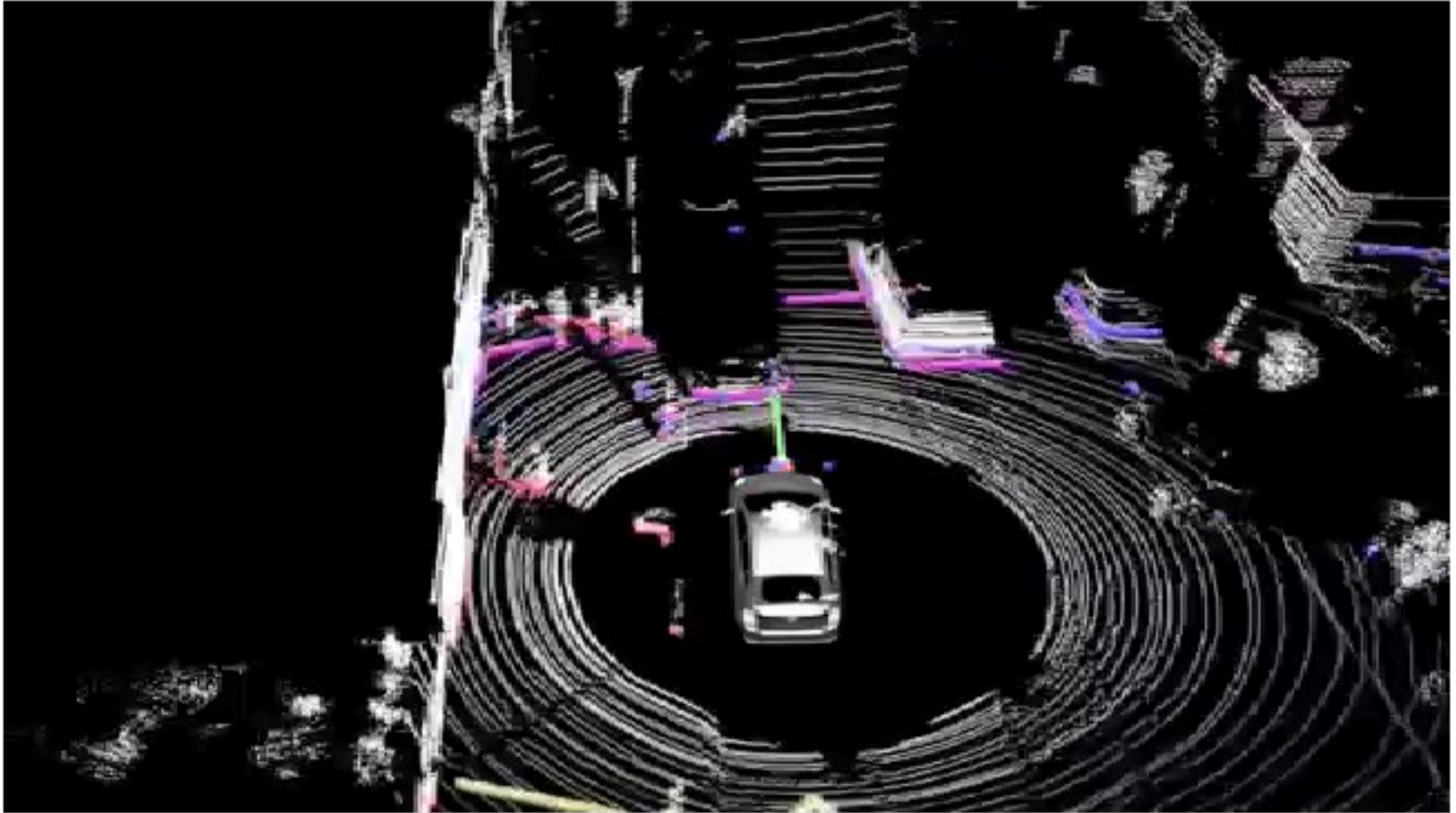


Velodyne

- Versión 3D de rangefinder
- En la práctica son varios Rangefinders a distintos ángulos



Velodyne



Sensores

- Percepción de objetos: cámara RGB
 - Webcam
 - Cámaras industriales
- Ventaja: Permite obtener información **semántica** del mundo
- Imágenes tienen desafíos propios
 - Iluminación
 - Escala
 - Perspectiva
 - Deformaciones
 - Background clutter

Cámara RGB

- Obtener la imagen es fácil
- Interpretación/análisis difícil
 - Extracción de puntos/regiones de interés
 - Análisis de puntos/regiones de interés
 - En general un problema abierto hoy
 - Grandes avances en el área de *Machine Learning*

Cámara RGB

- Identificación de objetos: problema de **clasificación**



SixthStreetPhoto_cropped_KenKwong.jpg

Road	94%
Lane	92%
Street	87%
Pedestrian	87%
City	82%
Town	80%
Neighbourhood	80%
Human Settlement	77%
Coastline	76%

Cámara RGB

- Lectura de textos en imagen
 - Identificación de regiones de interés
 - Lectura de textos



SixthStreetPhoto_croppe_KenKwong.jpg

" Pranzo Pizza E 431-199 25 RITE BE
LIQUO CIGA SOR H TEL EASONABLE
RATES SHOW TULAN Vietnamese Fo
FAST FOOD TO HOTEL LEARE Onisiana
and C "

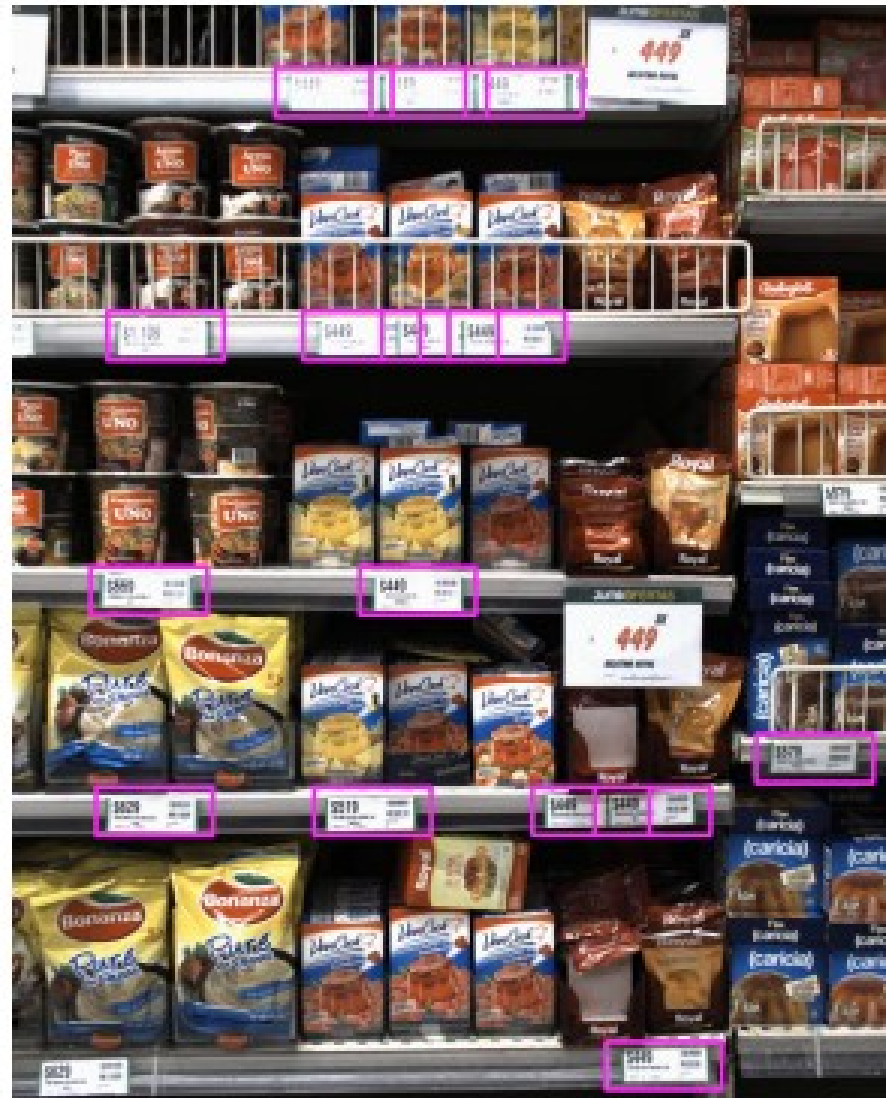
[TRY NATURAL LANGUAGE API](#)

Cámara RGB

- Fundamental en la obtención de una correcta percepción del entorno



Cámaras RGB



Resumen

- Percepción: sensores para obtener información del mundo que rodea al robot
- Prácticamente todas las tareas de un robot autónomo involucran algún grado de percepción
- GPS en robots outdoor
- Sensores de profundidad y RGB son los más usados
- Reconocimiento/detección de elementos en la imagen aún un campo abierto, aunque se ha avanzado bastante

Bibliografía

- ***Introduction to Autonomous Mobile Robots***, Siegwart, Roland and Nourbakhsh, Illah R.