

# Robótica embebida

Sensores

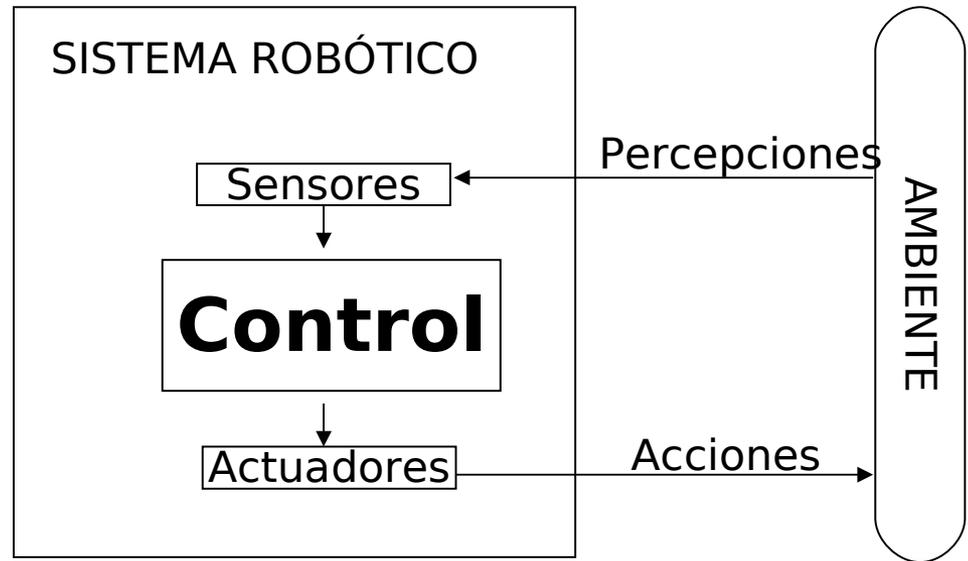
Facultad de Ingeniería  
Instituto de Computación

# Contenido

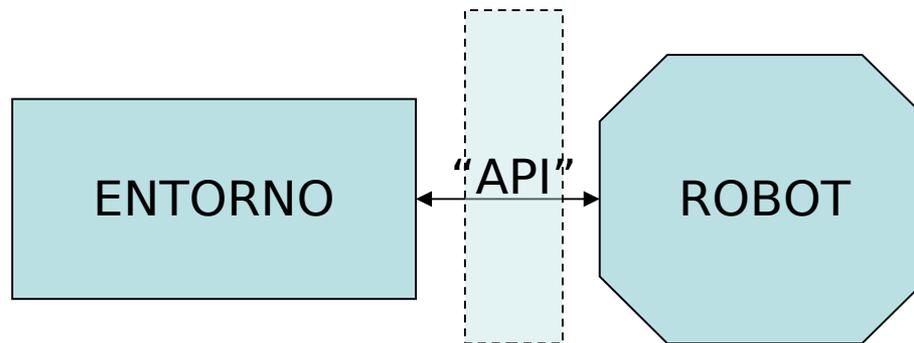
- Introducción
- Definición
- Clasificación
- Proceso de adquisición y acondicionamiento
- Descripción de sensores
- Ejemplos

# Introducción (1/5)

Un robot recibe información sensorial a través de sus sensores y actúa sobre el medio utilizando sus actuadores o efectores.



El entorno influye sobre el robot → sensores



Son la “operación de lectura” de la API robot-entorno

# Introducción (2/5)

- Dispositivo que detecta, o **sensa** manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc.
- Es un tipo de **transductor** que transforma la magnitud que se quiere medir, en otra, que facilita su medida

# Introducción (3/5)

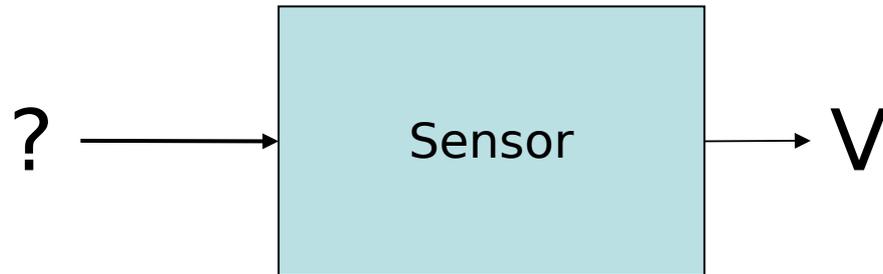
- Permiten obtener información del entorno.
- Encontrar el sensor correcto para una aplicación en particular involucra:
  - La técnica de medición que utiliza el sensor
    - Rango de temperatura
    - Longitud de onda de la luz incidente
    - Frecuencias de los sonidos a escuchar
  - Dimensionamiento (tamaño y peso)
  - Rango de temperatura de operación y consumo eléctrico
  - iii Ruido !!!
  - Tecnología de la interfaz
  - Precisión vs. Precio y Disponibilidad

# Introducción (4/5)

- Magnitudes/fenómenos físicos interesantes de sensor:
  - Temperatura
  - Intensidad lumínica
  - Sonido
  - Deformación
  - Proximidad
  - Presión
  - Orientación
  - Inclinación
  - Humedad
  - Aceleración
  - Velocidad angular
  - Etc.

# Introducción (5/5)

- Como trabajamos con sistemas electrónicos, nos van a interesar los sensores cuyas salidas sean magnitudes eléctricas (por lo general, voltaje).

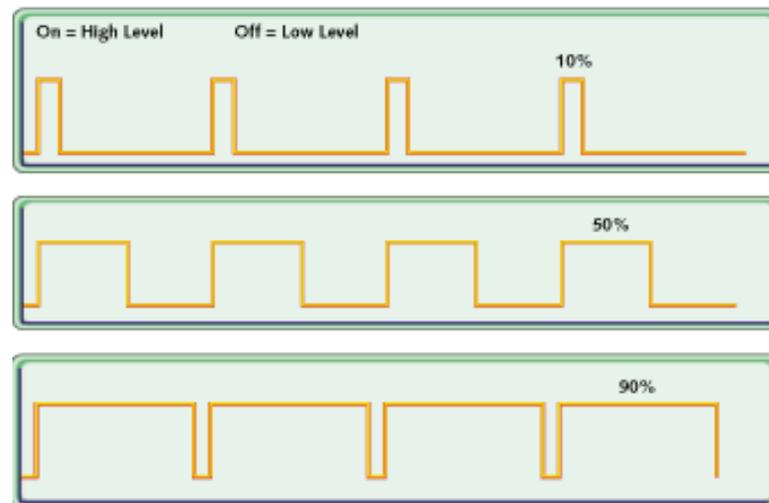


# Convertido A/D

- Un convertidor A/D traduce un señal analógica a un valor digital
- Las características de un convertidor A/D incluyen:
  - **Precisión**  
Expresada en el número de dígitos que produce por valor de entrada (Ej.: 10 bits)
  - **Velocidad**  
Expresado en la # máxima de conversiones por segundo (Ej.: 500 conversiones por segundo)
  - **Rango de medición**  
Expresada en voltios (Ej.: 0 .. 5 V)
- Formato de salida
  - Intefase Paralela (8 bits de presición a través de 8 líneas de datos)
  - Interfase Serial Síncrona (no impone limitación en el número de bits por medida)

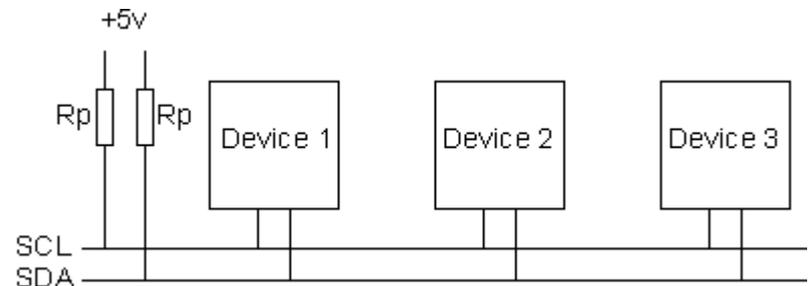
# PWM

- Pulse-width modulation.
- El término duty cycle se refiere a la porción en que la señal permanece alta respecto del período (%).
- Aplicaciones:
  - Comunicación de datos codificados en el ancho del pulso alto.
  - Alimentación (pe: regular la velocidad de un motor o dimmer)
  - Regulador de voltaje.



# I2C

- Inter-Integrated Circuit.
- Es un protocolo serial multi-master diseñado por Philips.
- Permite la conexión de dispositivos lentos separados por algunos metros.
- Usan dos líneas bidireccionales para comunicación (Serial Data Line (SDA) y Serial Clock (SCL)).
- Maneja un espacio de 7 bits o 10 bits para direcciones.
- Las velocidades típicas son 100 kbit/s y 10 kbit/s, pero pueden ajustarse en valores intermedios, llegando en las versiones actuales a 3.4 Mbit/s
- El protocolo además de la carga útil incluye: dirección del esclavo y posiblemente el registro a acceder, además de bits de NACK y ACK por cada byte enviado.
- TWI (Two Wire Interface) o TWSI (Two-Wire Serial Interface) es en esencia el mismo bus implementado en varios SOCs desarrollados por Atmel y otros vendedores.



# Clasificación (1/4)

- Clasificación en base a la salida (Output)

Salida del Sensor	Ejemplo
Binaria (0 ó 1)	Sensor de tacto
Señal Analógica (Ej. 0..5 V)	Inclinometro
Señal de tiempo (Ej. PWM)	Giroscopio
Serial (RS232 o USB)	GPS
Paralelo	Cámara digital

A tener en cuenta al conectar con un sistema embebido.

# Clasificación (2/4)

- Desde el punto de vista del robot:
  - **Local o Sensores on-board**  
Son los sensores montados en el robot
  - **Sensores Globales**  
Sensores montados fuera del robot, en el propio ambiente de forma tal que puedan transmitir los valores sensados al robot.
- Para sistemas de robots:
  - **Internos**  
Sensores que monitorean el propio estado del robot
  - **Externos**  
Sensores que monitorean el ambiente donde se encuentra el robot.

# Clasificación (3/4)

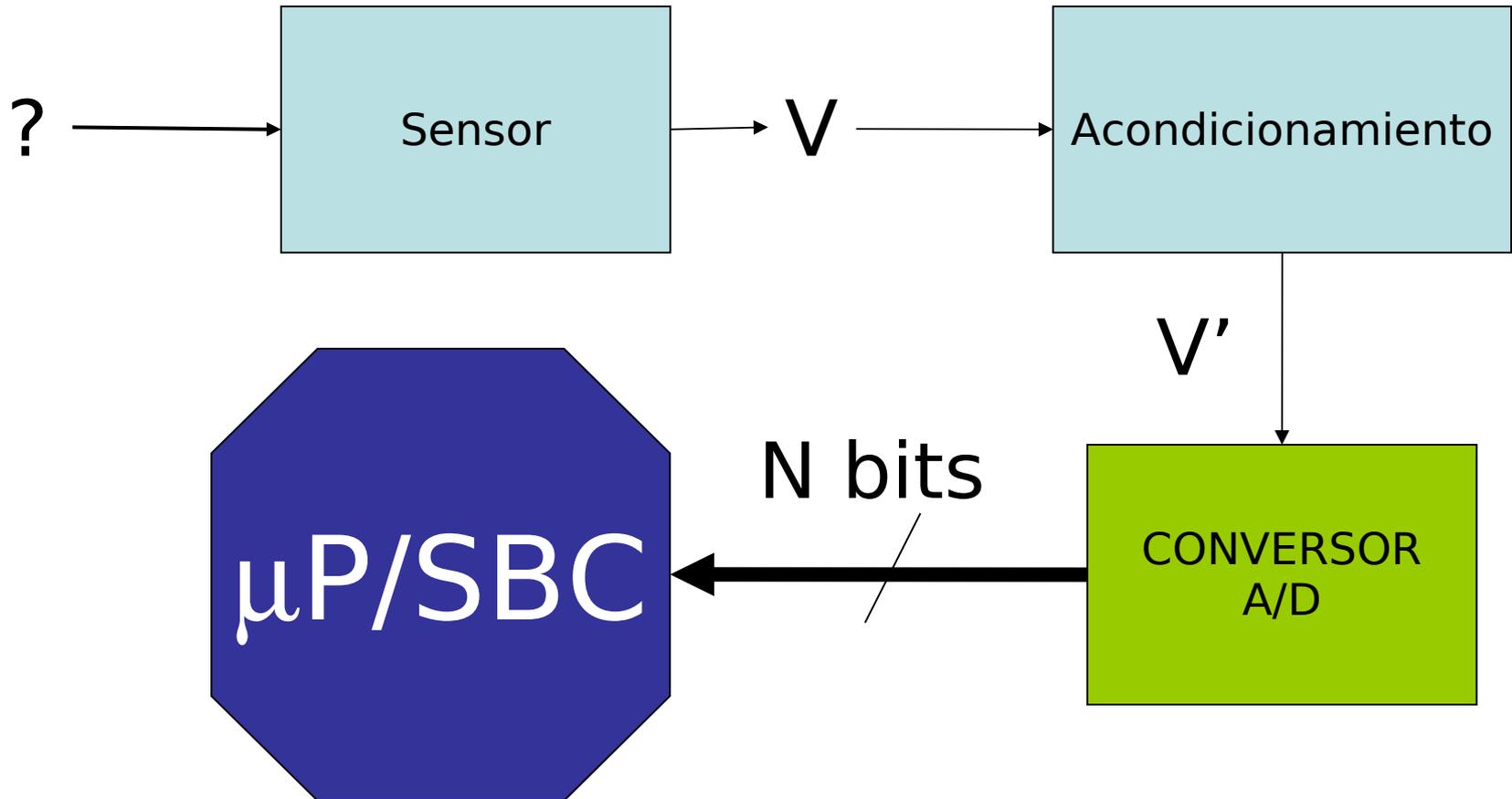
- Otra clasificación en cuanto a la influencia del sensor en el ambiente:
  - **Pasivos**  
Sensores que monitorean el ambiente sin perturbarlo.  
Ej.: cámara digital, giroscopio
  - **Activos**  
Sensores que estimulan/perturban el ambiente para tomar las medidas correspondientes.  
Ej.: sonar, laser escanear, sensor infrarrojo
- Por más información: [Everett 1995]

# Clasificación (4/4)

- Clasificación desde el punto de vista de la aplicación

	Local	Global
Interno	<b>Pasivo</b> Carga de la batería, chip-temperatura, shaft encoders, acelerómetros, giroscopio, inclinómetro, Compas / brújula <b>Activo –</b>	<b>Pasivo</b>         <b>Activo –</b>
Externo	<b>Pasivo</b> Cámara on-board  <b>Activo</b> Sonar/ultrasonido, Sensor de distancia infrarrojo, Escáner Laser	<b>Pasivo</b> Cámara Global, GPS  <b>Activo</b> sonar (u otro) sistema de posicionamiento global

# Proceso de adquisición

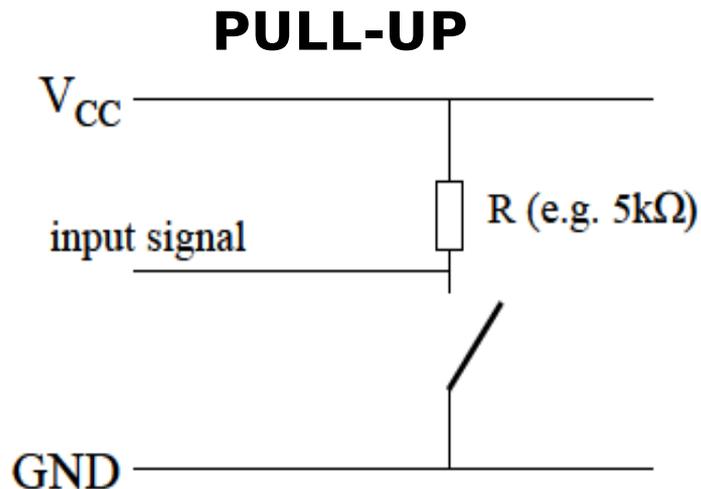


# Acondicionamiento

- Dependiendo de la aplicación, la señal a la salida del sensor puede no estar lista para ser procesada
- Causas:
  - Rango de la señal mayor al rango del ADC:  
Produce saturación del ADC
  - Se quiere sensor una función de la salida del sensor:  
Por ejemplo, para sensor de manera similar que los humanos (sonido, luz)
  - Filtrar ruido o señales extrañas

# Sensor Binario

- Son el tipo más simple de los sensores.
- Sólo devuelven un solo bit de información: 0 o 1.
- Un ejemplo típico es un sensor táctil en un robot
- Interfaz con una SBC o un microcontrolador muy simple por ejemplo utilizando una entrada digital



La resistencia esta conectada en forma pull-up, generando una señal ALTA a menos que sea activado el interruptor: "activar a la baja"

# Sensores Analógicos vs Digitales

## (1/2)

- Los sensores analógicos (S.A.) son los que producen salidas analógicas:
  - 0 a 5 V
  - 10 a 20 mA
- Los S.A. necesitan convertidores A/D
  - Pueden estar incorporados en la SBC o microcontrolador ( $\mu$ c)
  - Pueden estar incorporados en el propio sensor
  - Pueden ser necesario agregarlos entre el sensor y la SBC o  $\mu$ c

Ej: Microfono, Barometro,  
Compas analógico

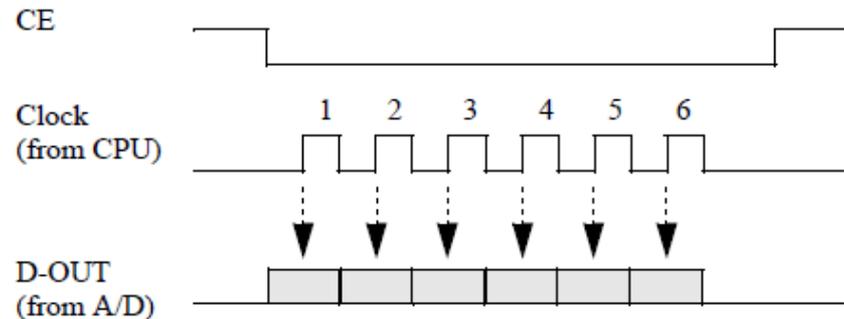
# Sensores Analógicos vs Digitales

## (2/2)

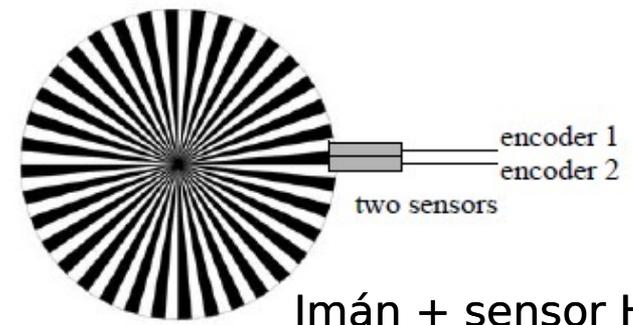
- Los sensores digitales (S.D.) normalmente son más complejos y “a veces más precisos”.

**S.D. = S.A. + Conversor A/D**

- Los S.D. Tienen diferentes formas de presentar su salida:
  - Interfase paralela (8 o 16 líneas digitales de salida)
  - Interfase serial (RS232)
  - Interfase serial síncrona (bit x bit)

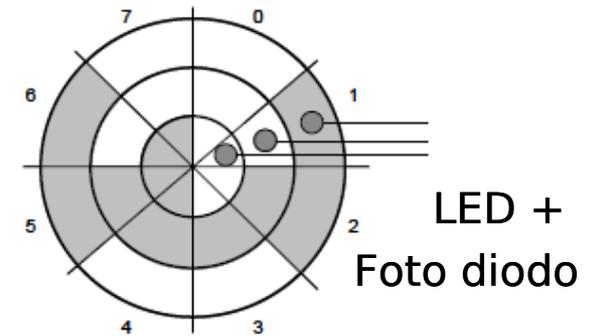


# Shaft Encoder (1/2)



Imán + sensor Hall

- Los encoders se utilizan para obtener feedback de la rotación/posición de motores.
- Existe varias técnicas para construirlos
  - Encoders magnéticos (efecto Hall)
  - Encoders ópticos

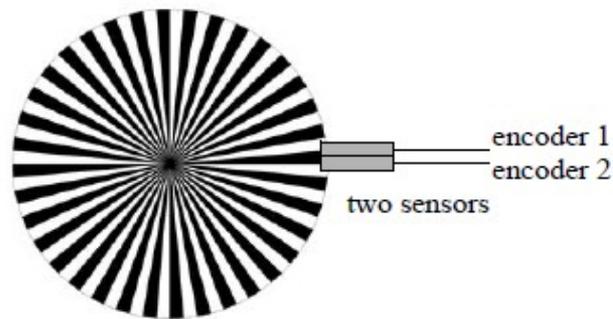


- Disco montado sobre el eje del **motor**, antes de la caja de cambios, para que tengan la máxima resolución en comparación con las velocidades más lentas.

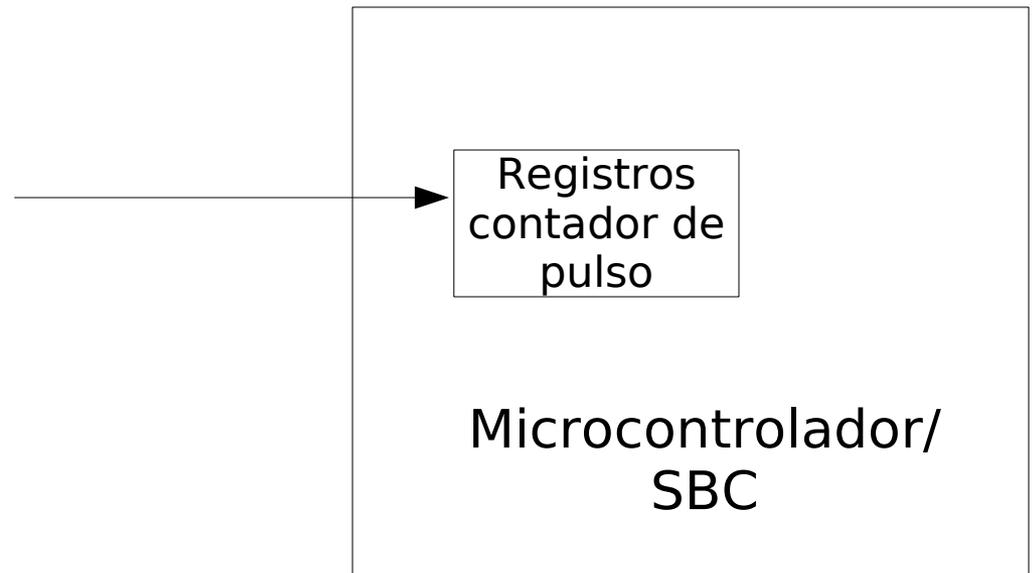
16 ticks x vuelta del motor + caja con ratio de 100:1 = resolución de 1,600 ticks por vuelta de rueda

# Shaft Encoder (2/2)

- Tipos:
  - Incremental (cuentan pasadas)
  - Posición absoluta (Disco con código de gray + varios sensores)
- ¿Cómo determinar el sentido de rotación?
  - 2 Sensores desfasados (encoder 1, encoder 2)



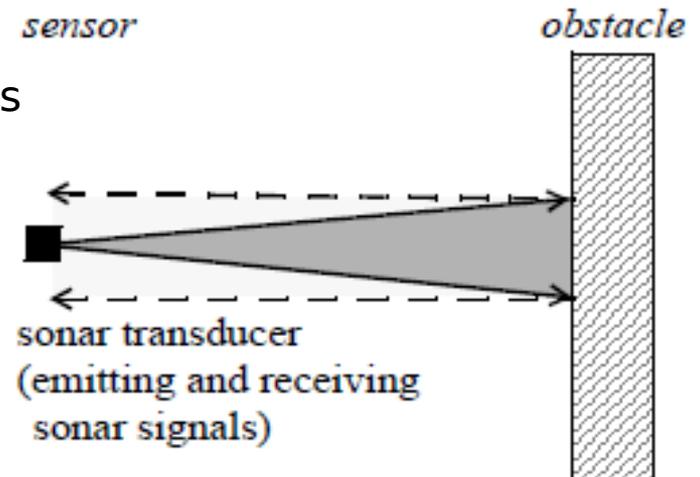
Imán + sensor Hall



# Dispositivos sensibles a la posición

(1/3)

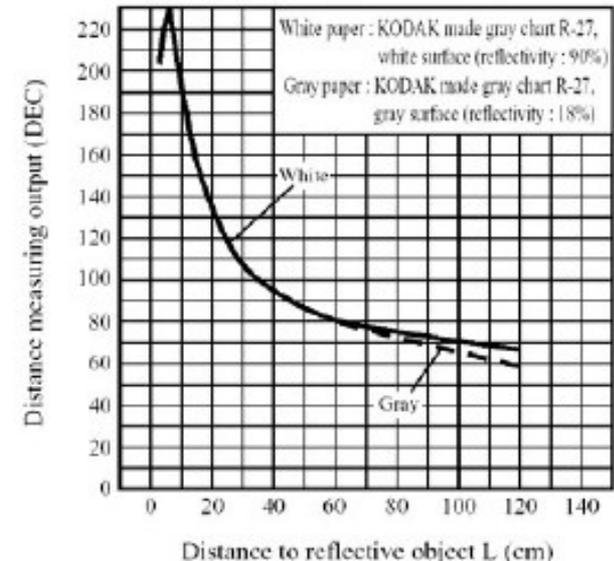
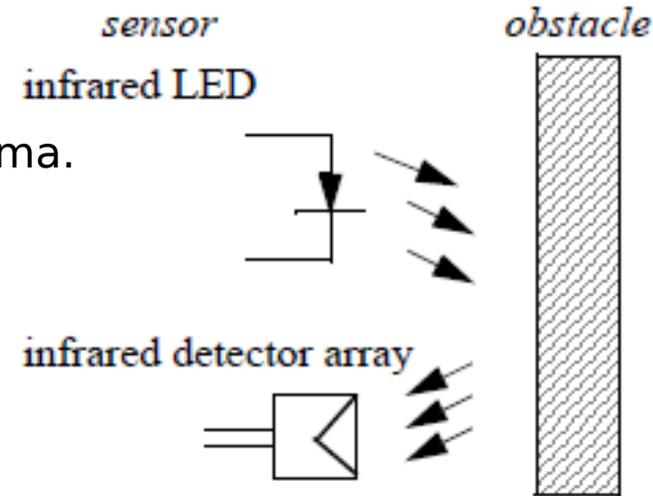
- Los sensores para medir distancias son muy utilizados en robótica móvil para poder “navegar” entre obstáculos.
- Sonar / Ultrasonido (US)
  - Cono de 15° aprox.
  - Emite una señal acústica de 1ms entre 50 - 250 kHz , tomando el tiempo en la cual rebota (eco). El tiempo “de vuelo de la señal” es proporcional a dos veces la distancia del objeto más cercano.
  - 20 mediciones por segundo
  - Problemas de reflexiones e interferenciasAlgunas soluciones pueden ser codificar la señal acústica.



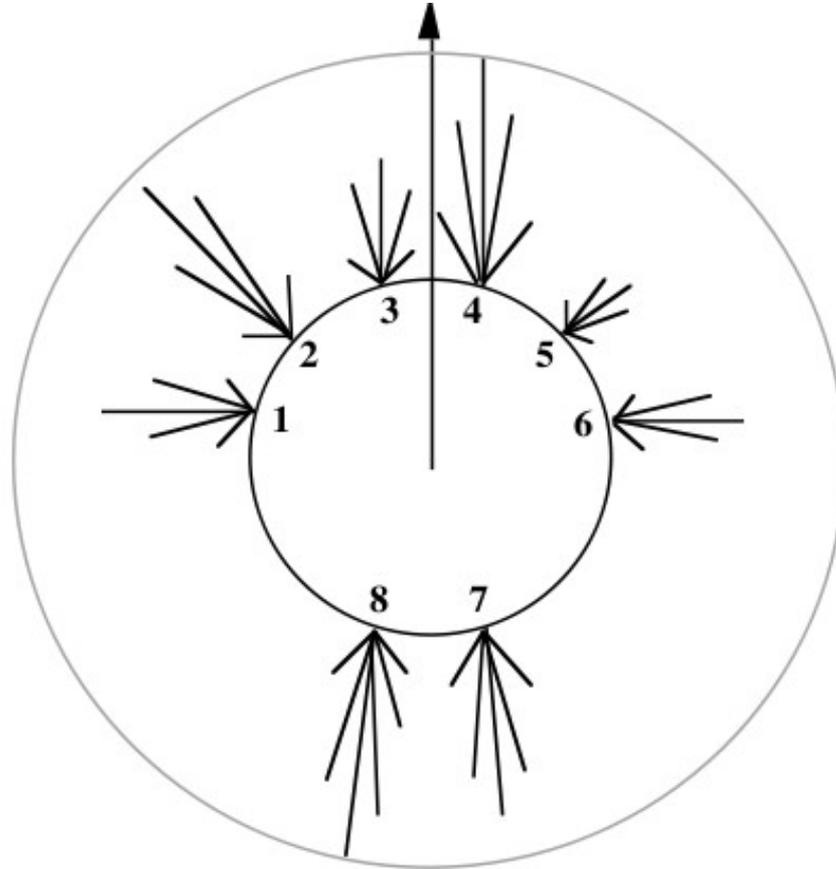
# Dispositivos sensibles a la posición

(2/3)

- Sensor Laser
  - Estándar actual para robots móviles de alta gama.
  - Retornan un mapa local casi perfecto en 2D desde el punto de vista del robot.
  - Pesados, grandes y muy costosos
- Sensor Infrarrojo (IR) de distancia
  - LED infrarrojo genera un pulso de aprox. 40KHz mientras un array de LEDs detectan en que ángulo es reflejado el haz y lo utiliza para calcular la distancia.
  - Salida analógica (no lineal/proporcional)
  - Salida digita
  - ¿D < 6cm? o ¿D > 120cm?
  - IR de proximidad / US
  - Superficies reflectivas / color

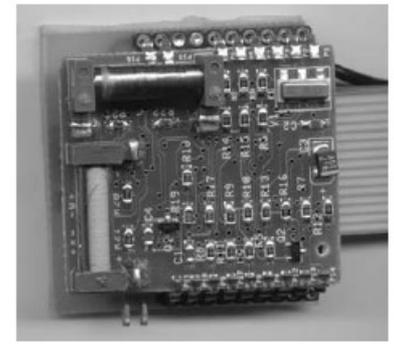


# Ruido en el robot Khepera



Claude Touzet, Neural reinforcement learning for behaviour synthesis, Robotics and Autonomous Systems, 1997.

# Compás o brújula



- Un robot autónomo móvil debe confiar en sus propios sensores para para conocer su posición y orientación actual.

Una forma de saberlo es utilizando una técnica llamada “dead reckoning” junto con shaft encoders en cada rueda...

- Deslizamiento + movimientos externos + error
- El error es acumulativo (crece con el tiempo)
- Un compás determina la orientación absoluta
- Compás analógico simple:
  - Distingue 8 direcciones representados por 8 voltajes diferentes
- Comás digital
  - Son más complejos pero con una mejor resolución ( $1^\circ$  o  $2^\circ$ )
  - Poseen líneas de control (reset, calibración, etc.)

# Giroscopio, Acelerometro, Inclinometro (1/3)

- 3 Categorías de sensores:

- **Acelerómetros**

Miden la aceleración en un eje

Salida Analógica (para 1 o 2 ejes) o PWM

Desventaja: Sensibles a la vibración -> Filtros por software/hardware

- **Giroscopios**

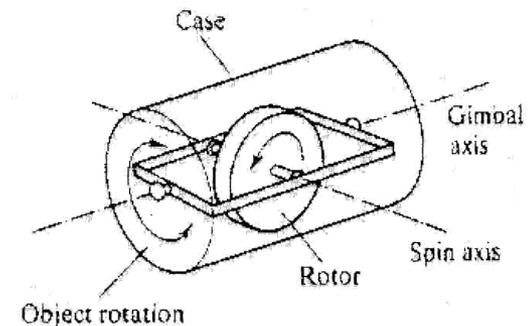
Son dispositivos que permiten medir el ángulo de giro de un objeto basados en las propiedades inerciales

- **Inclinómetro**

Miden el ángulo de inclinación absoluto dentro de un rango específico. Son muy utilizados en la marina, aviación y automovilismo.

Salida Analógica o PWM

Desventaja: Lentos y propensos a la oscilación en ambientes con vibración.



# Giroscopio, Acelerometro, Inclinometro (1/3)

- **Giroscopio**

El giróscopo o giroscopio está basado en un fenómeno físico: una rueda girando se resiste a que se le cambie el plano de giro (o lo que es lo mismo, la dirección del eje de rotación). Esto se debe a lo que en física se llama "principio de conservación del momento angular".

El **sensor giroscopio** normalmente detecta rotaciones en uno o varios ejes y devuelve el o los valor(es) en grados/segundo de rotación. Es decir, una velocidad angular.

# Giroscopio, Acelerometro, Inclinometro (1/3)

- **Inclinómetro**

Se pueden encontrar diferentes tecnologías dentro de un inclinometro: electrónica, gas y diseño en péndulo.

- **Inclinometro electrónico:**

Es capaz de medir ángulos con muy buena precisión. Internamente usa un giroscopio para medir la dirección de la fuerza de gravedad. (El giroscopio se mantiene en una posición sin importar la orientación). Cuando se coloca junto a un objeto, el inclinometro compara en ángulo del objeto con el del giroscopio y muestra el resultado.

Los inclinómetros de mercurio trabajan de una forma similar, donde en lugar de un giroscopio, tienen mercurio líquido puesto a nivel y como el mercurio es conductor, se puede detectar el ángulo dependiendo del nivel del líquido.

- **Inclinometro manual:**

Burbuja de gas en un líquido (nivel), que muestra en ángulo en una escala.

Otro ejemplo es un péndulo.

# Giroscopio, Acelerometro, Inclinometro (2/3)

- Normalmente se utiliza una combinación para lograr recalibrar, obtener una mejor medición, eliminar ruido, etc.

Inclinometro + Giroscopio + Acelerometro

- Si bien la mayoría de los sensores de bajo costo y complejidad son sólo capaces de medir una sola dimensión / eje. Dos o tres sensores del mismo modelo se pueden combinar para obtener mediciones de dos o tres ejes de orientación.

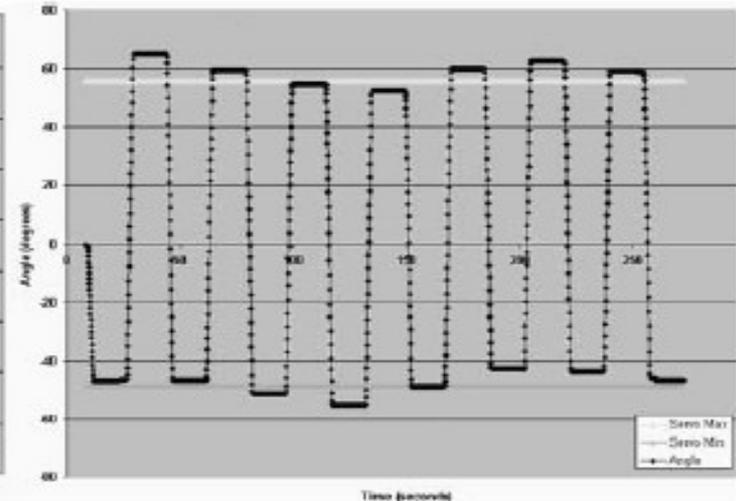
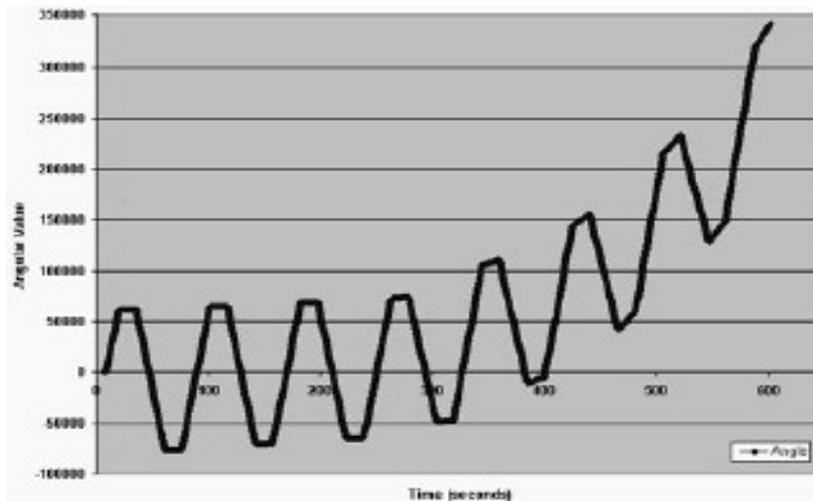
- Técnica conocida como FUSION de SENSORES (sensor fusion)

La fusión de sensores es la combinación de los datos sensoriales o los datos obtenidos a partir de datos sensoriales que provienen de fuentes tan dispares que la información resultante es, en cierto sentido mejor de lo que sería posible cuando estas fuentes fueron utilizadas de forma individual. (Más precisa, más completa, más confiable, etc.)

También se puede referir al resultado de una visión emergentes, tales como la visión estereoscópica (cálculo de la profundidad de la información mediante la combinación de imágenes de dos dimensiones a partir de dos cámaras en puntos de vista ligeramente diferente.

# Giroscopio, Acelerometro, Inclinometro (3/3)

- Acondicionamiento de señal:
  - La reducción de ruido por eliminación de valores atípicos
  - Reducción de ruido mediante la aplicación del método de promedio-móvil (moving-average)
  - La aplicación de factores de escala a los ángulos de incremento / decremento absoluto
  - Re-calibración del sensor a través de muestreo y diferentes técnicas según el tipo y alcance.





# Cámara Digital

- Las cámaras digitales son uno de los sensores más complejos utilizados en robótica.
- Altos requerimientos de procesador y memoria para el procesamiento de imágenes.
- Para robots móviles se necesitan cámaras con alto “frameing” (cuadros/seg) Ej.: 25 o 30 fps
- Alto Frameing vs Alta resolución.
- Escala de Grises vs Color
- Nuevas cámaras vienen con mayor resolución lo que puede terminar siendo un problema para sistemas de visión embebidos.
- Interfaces típicas:
  - Paralelo de 16 bits, 8 bits en paralelo, 4 bits en paralelo
  - Serie

Pequeños robots móviles -> 60x80 píxeles x 3 bytes de color = 14400 bytes

# Ejemplos

- Fotorresistencia: poseen la capacidad de variar su valor acorde a la cantidad de luz que incide sobre ellos.
- Potenciómetros: Los potenciómetros son muy útiles para medir movimientos y determinar la posición de un mecanismo determinado.
- Switch o llaves.
- Infrarrojos optoacoplados: se basan en un conjunto formado por un fototransistor (transistor activado por luz) y un LED infrarrojo.

# Más sensores

- Velocidad de un motor
  - Shaft Encoder (mouse)
- Posición de un motor
  - Shaft encoder (posición relativa)
  - Potenciómetro
- Presión, fuerza, aceleración
  - Sensor Piezoeléctrico (cristal de cuarzo) → Efecto piezoeléctrico
- Sensores ópticos
  - Fotorresistores
  - Fotodiodo
  - Fototransistor
- Sonido
  - Micrófono



# Sensores del curso

**SHARP IR**



**Webcam C210 - Logitech**



**Asus Xtion Pro Live**



<http://www.robotshop.com/productinfo.aspx?pc=RB-Dem-03&lang=en-US>

<http://www.robotshop.com/productinfo.aspx?pc=RB-Dem-02&lang=en-US>

<http://www.acroname.com/robotics/info/articles/sharp/sharp.html>

[http://www.asus.com/Multimedia/Xtion\\_PRO\\_LIVE/#overview](http://www.asus.com/Multimedia/Xtion_PRO_LIVE/#overview)

# Bibliografía

- **Embedded Robotics**, Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems, Second Edition, Bräunl, Springer, 3540034366, 2003, 2006.
- **[Everett 1995]** - EVERETT, H.R. Sensors for Mobile Robots, AK Peters, Wellesley MA, 1995
- Claude Touzet, Neural reinforcement learning for behaviour synthesis, Robotics and Autonomous Systems, 1997.
- [www.seeedstudio.com](http://www.seeedstudio.com), visitada en Marzo del 2014
- [www.dfrobot.com](http://www.dfrobot.com), visitada en Marzo del 2014

# ¿Preguntas?

