

Fundamentos en Robótica

Unidad 2.1

Elementos estructurales

Temario

- Chasis
- Sensores
- Articulaciones
- Actuadores
- Plataformas de cómputo
- Suministro de Energía
- Comunicaciones

Materiales de construcción

- Metales: acero, aluminio, titanio...
- Plásticos: acrílicos, PVC, ABS, Nylon...
- Materiales compuestos: fibra de vidrio, de carbono...
- Madera
- Cerámica
- ...

Materiales de construcción

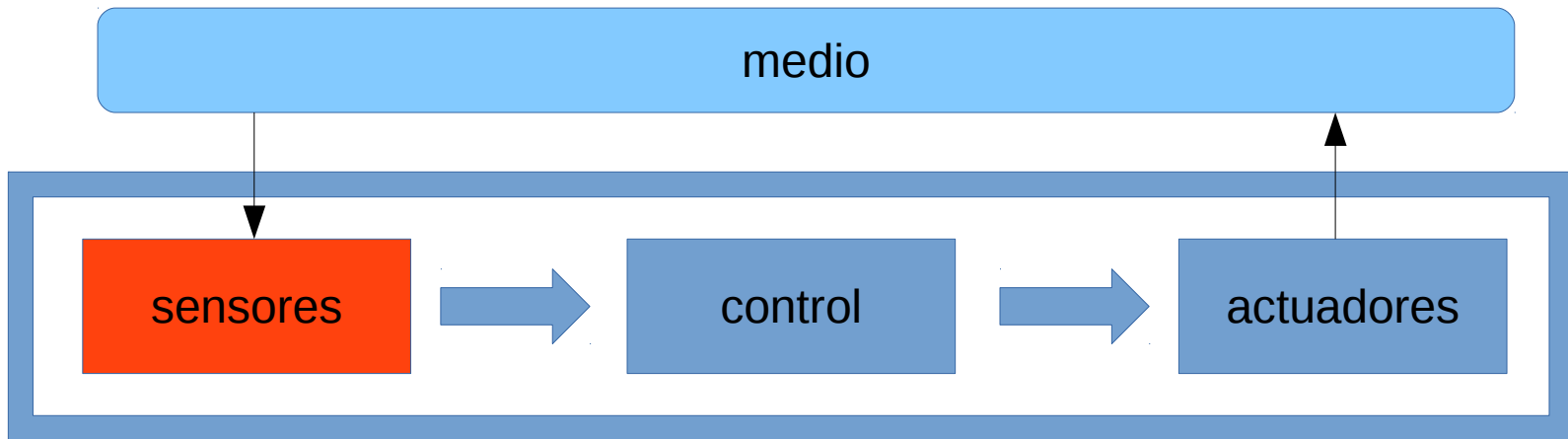
Características principales:

- Peso específico
- Resistencia (absoluta y específica):
 - Dureza / plasticidad
 - Rigidez / elasticidad
- Estabilidad en el medio ambiente
- Métodos de construcción
- Costo y disponibilidad

Chasis y articulaciones

- “Cuerpo”
 - Integridad estructural
 - Puede ser articulado...
- Miembros
 - Partes móviles
 - Brazos, piernas, cabezas...
- Articulaciones
 - Unen cuerpo y miembros y sus subpartes

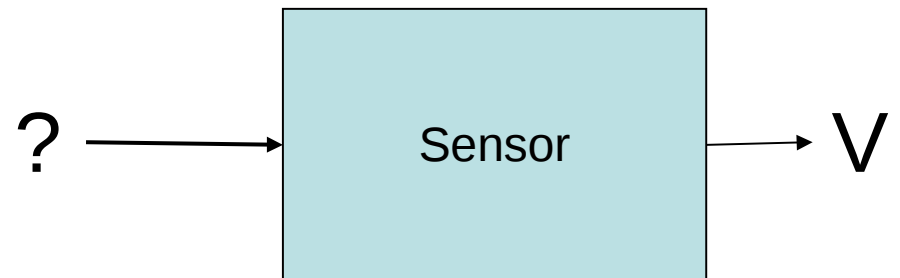
Sensores



Sensores

Transductores: transforman una **magnitud física** en otra, procesable.

- Para varios niveles de procesamiento
 - reflejo, control, alto nivel
- Introceptivos / extroceptivos
- Locales / globales
- Activos / pasivos
- Interfaz de lectura



Sensores

Introceptivos

Miden el estado interno del robot

- Temperatura de un motor
- Ángulo de una articulación
- Carga de la batería

Extroceptivos

Miden características del entorno externos al robot

- Humedad ambiente
- Distancia a un obstáculo
- Orientación

Sensores

Locales

Sensores montados en el robot

- Termómetro
- Cámara *on-board*
- Brújula

Globales

Sensores externos que transmiten datos al robot

- Cámara global
- Estación meteorológica

Sensores

Pasivos

Toman medidas sin perturbar el entorno

- Termómetro
- Cámara de vídeo
- Brújula

Activos

Perturban el ambiente para medir la reacción

- Radar
- Sonar
- Telémetro láser

Sensores

Características:

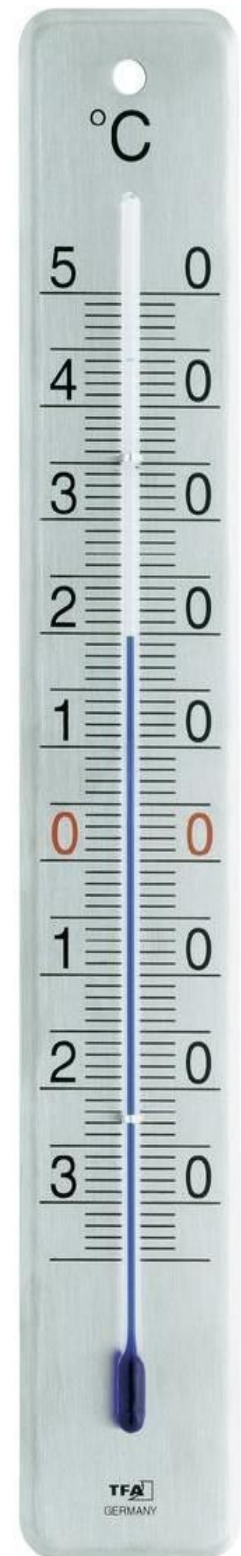
- Magnitud medida
- Rango
- Exactitud
- Precisión (Ruido)
- Resolución (Apreciación)
- Tiempo de medida



Sensores

Características:

- Magnitud medida
- Rango: -35°C $+50^{\circ}\text{C}$
- Exactitud: $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- Precisión (Ruido): ?
- Resolución (Apreciación): 0.5°C
- Tiempo de medida: 5min



Ruido

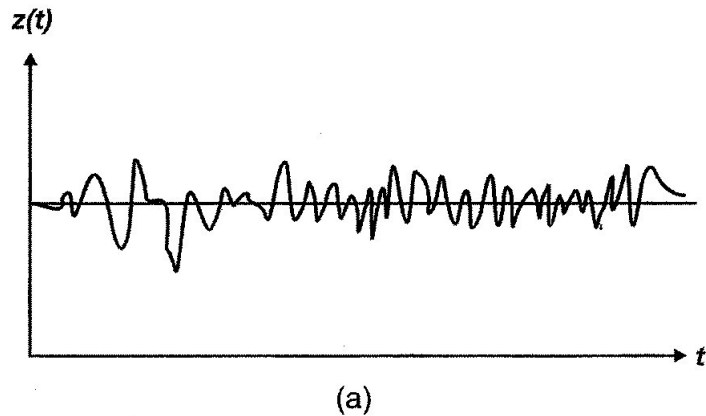
Diferencia entre las medidas y el valor real

- Modelo del sensado incompleto...
- Ruido térmico...
- Interferencia cruzada...
- Fallos al adquirir un valor...
- Tiene asociada una función de probabilidad

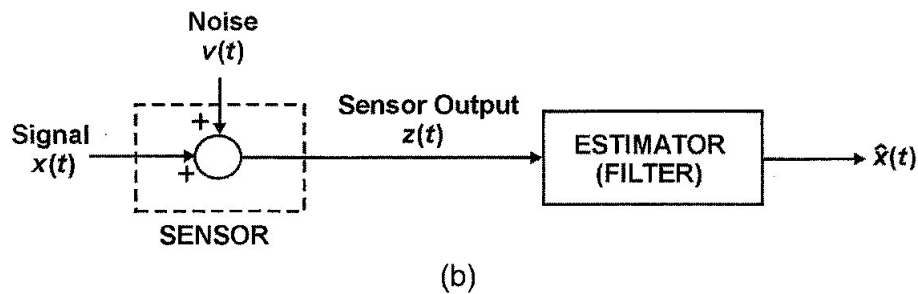
Herramientas para manejar el error:

- Filtros, promediar, por corte de frecuencia
- Filtros Kalman

Filtros: promediar



$$\hat{x} = \frac{1}{t} \int_{t=0}^t z(t) dt$$



$$\hat{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z(t_i)$$

Filtros: promediar

Se puede promediar incrementalmente:

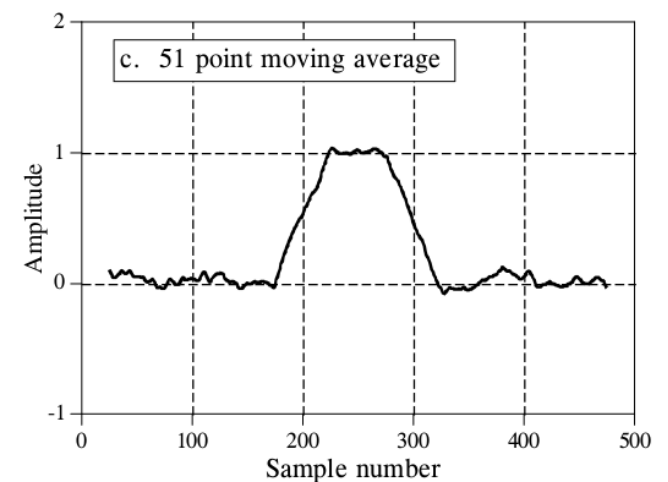
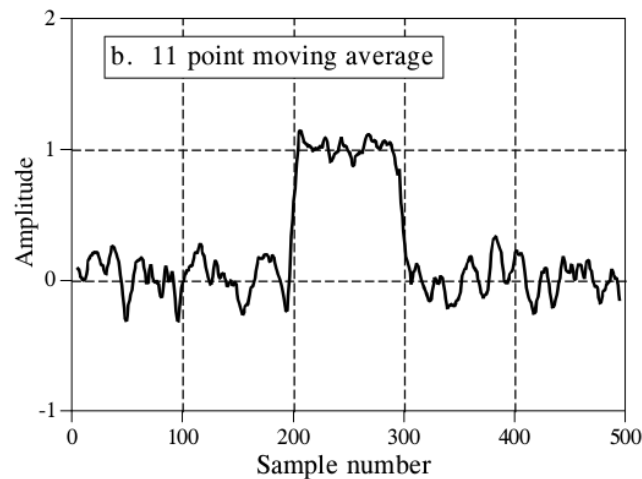
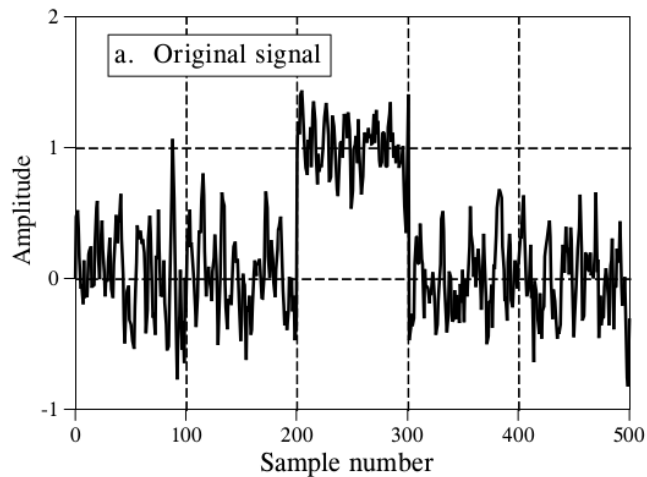
$$\hat{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z(t_i)$$

$$x_{N+1}^{\hat{}} = x_N^{\hat{}} + \frac{x_{N+1} - x_N^{\hat{}}}{N+1}$$

Filtros: promediar

Se puede promediar una porción de tiempo (ventana móvil)

- Número de muestras: balance entre suavidad del filtrado y velocidad de respuesta

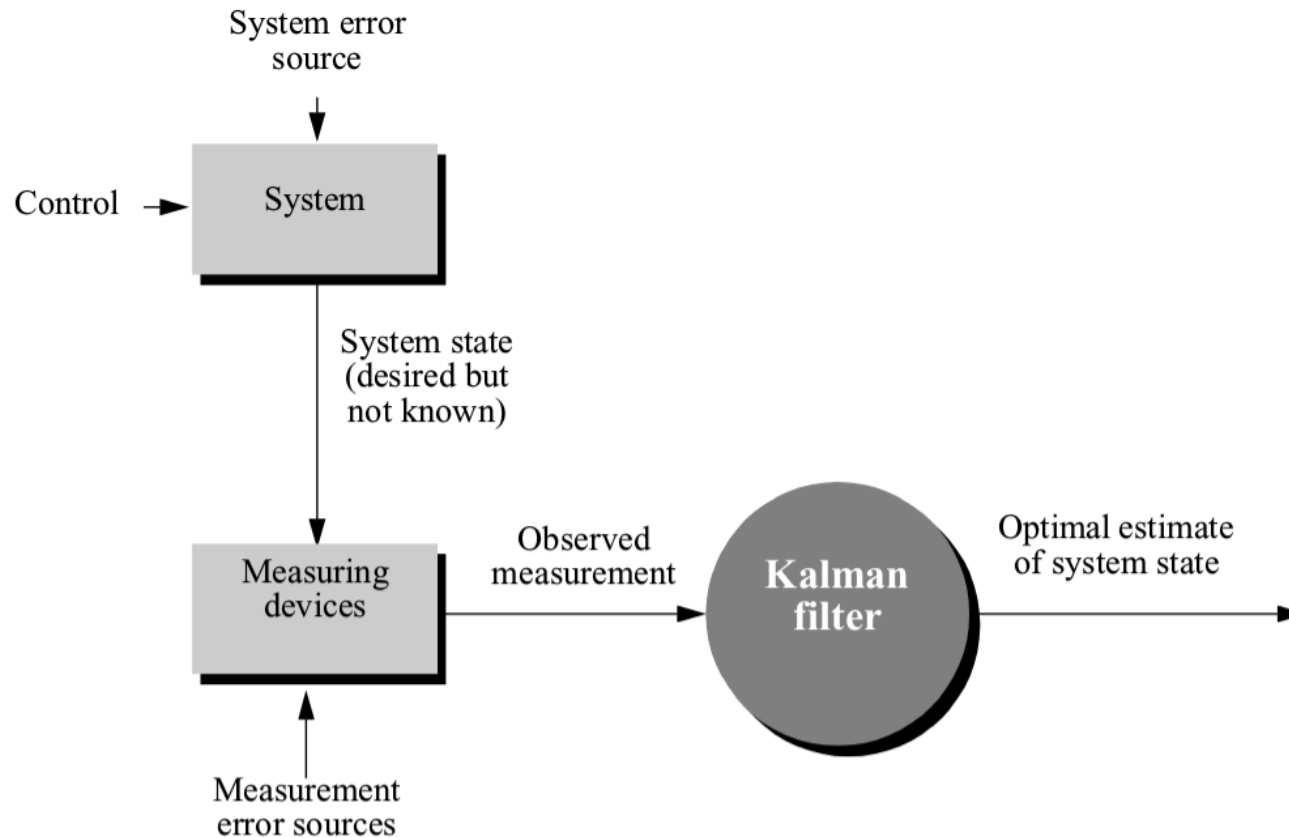


Filtros: pasabajos

- Los distintos componentes de una señal tienen distintas frecuencias: varían a distintas velocidades
- El ruido tiende a ser de frecuencias muy altas.
Ejemplo: cada *sample* es independiente del anterior.
- Si eliminamos las frecuencias más altas, filtramos el ruido.
- Idea: limitar la velocidad a la que varía la señal:

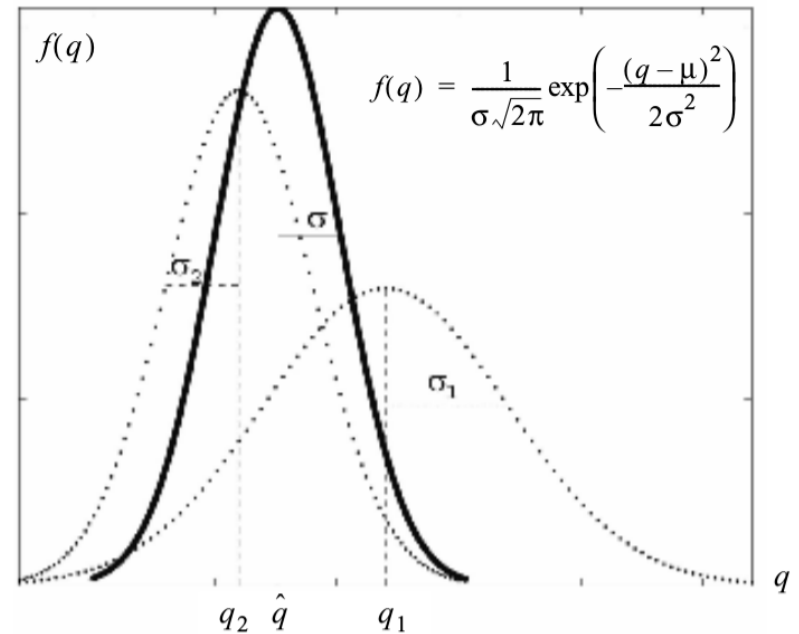
$$Out_i = Out_{i-1} + \alpha * (Sensor_i - Out_{i-1})$$

Filtros de Kalman



Filtros de Kalman

- Dos sensores independientes para la misma magnitud
- Obtengo dos muestras, asumo ruidos gaussianos $(0, \sigma)$ independientes
- Obtengo una estimación con una desviación menor que las originales

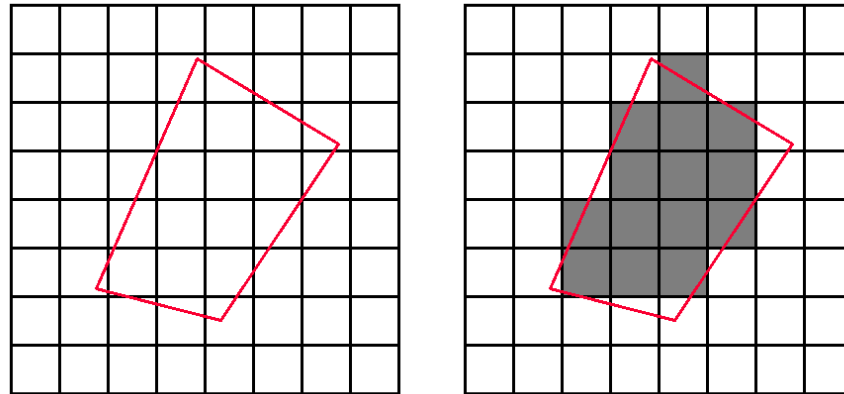


$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{q}_1 = q_1 \text{ with variance } \sigma_1^2 \\ \hat{q}_2 = q_2 \text{ with variance } \sigma_2^2. \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \hat{q} = q_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}(q_2 - q_1) \\ \sigma^2 = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_2^2 + \sigma_1^2} \end{array} \right.$$

Aliasing

El muestreo de dos señales distintas pueden ser idénticas

- No puedo distinguirlas.

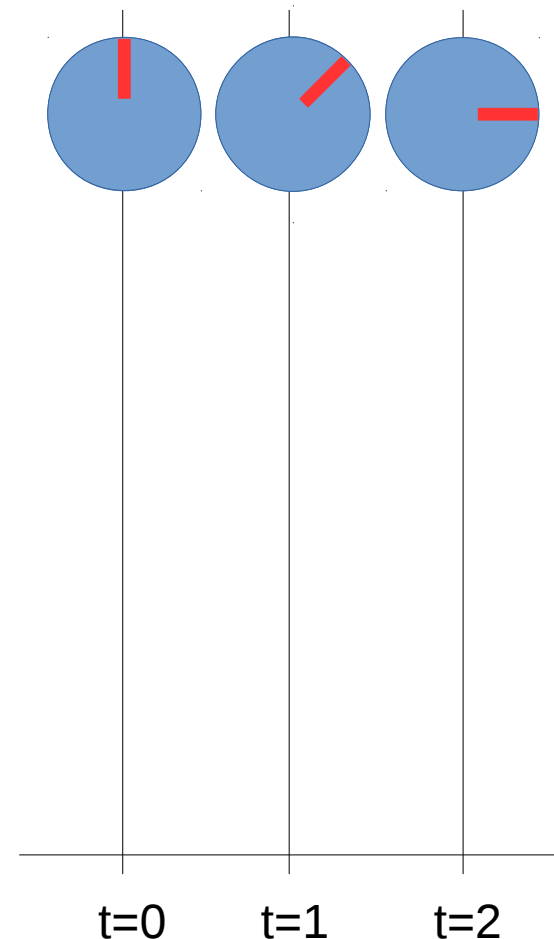


Aliasing

El muestreo de dos señales distintas pueden ser idénticas

- No puedo distinguirlas.
- Dado un muestreo, puedo “inventar” una señal que la explica

$P = 8s$

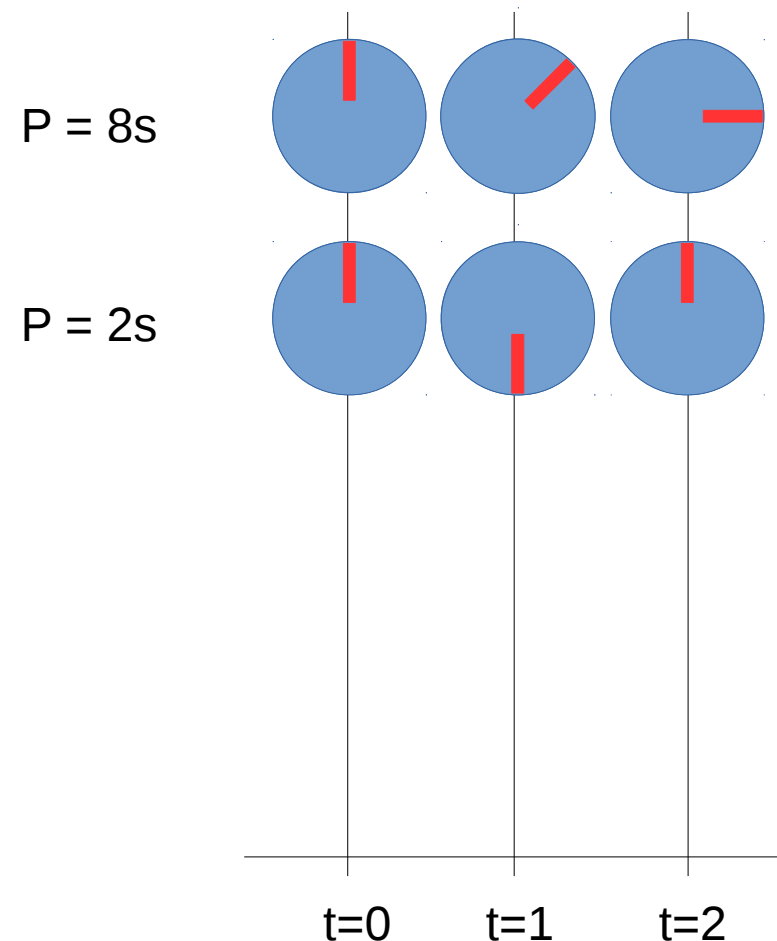


Sensado: a 1 muestra por segundo

Aliasing

El muestreo de dos señales distintas pueden ser idénticas

- No puedo distinguirlas.
- Dado un muestreo, puedo “inventar” una señal que la explica

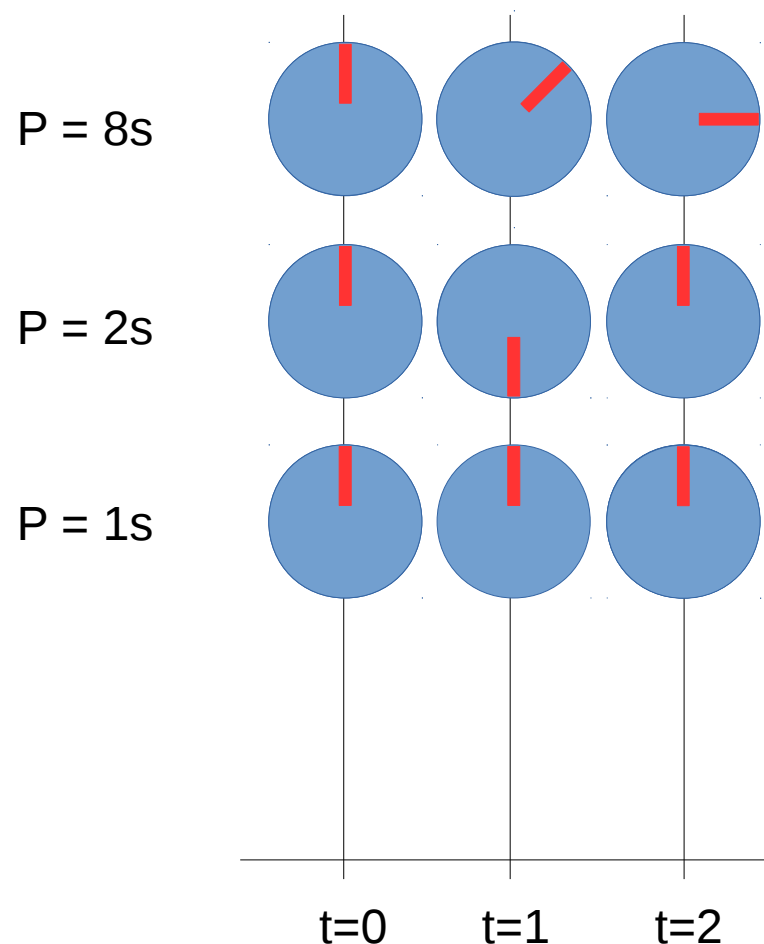


Sensado: a 1 muestra por segundo

Aliasing

El muestreo de dos señales distintas pueden ser idénticas

- No puedo distinguirlas.
- Dado un muestreo, puedo “inventar” una señal que la explica



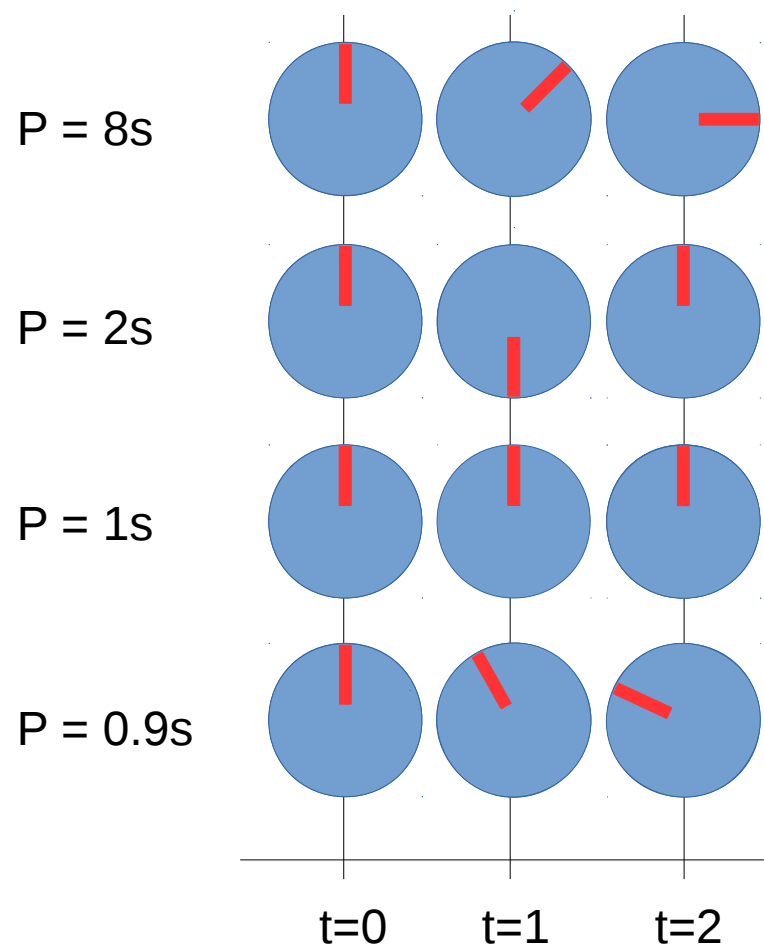
Sensado: a 1 muestra por segundo

Aliasing

El muestreo de dos señales distintas pueden ser idénticas

- No puedo distinguirlas.
- Dado un muestreo, puedo “inventar” una señal que la explica

Sensado: a 1 muestra por segundo

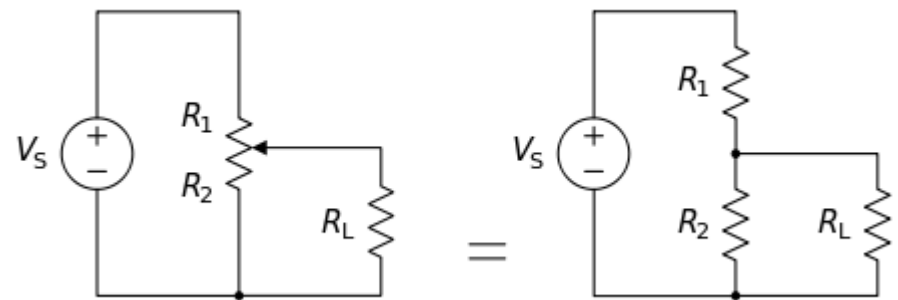
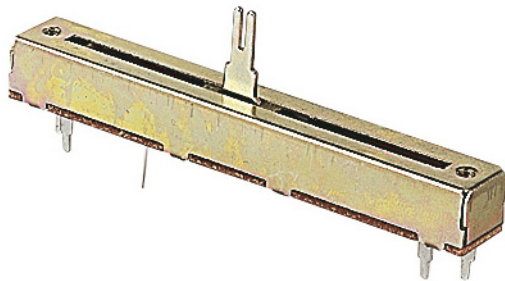
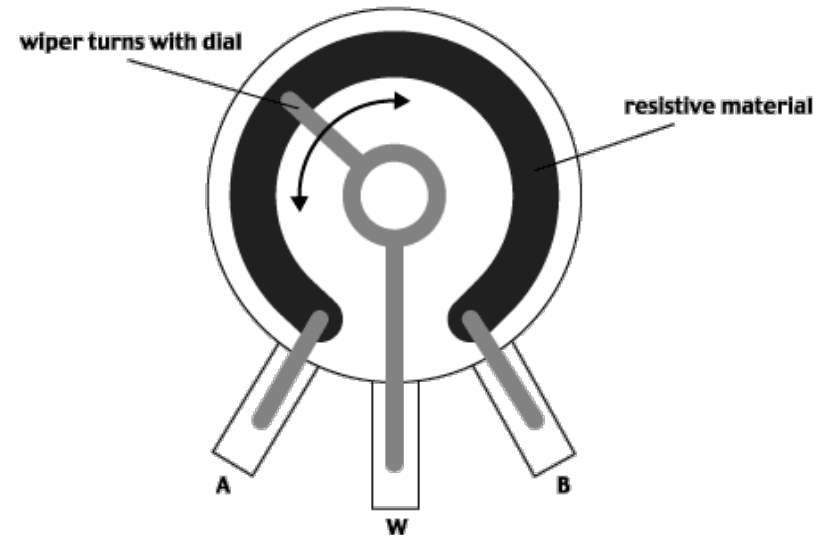


Sensores introceptivos

- Posición
 - Potenciómetros, encoders
- Velocidad
 - $\frac{\partial x}{\partial t}$, tacómetros
- Aceleración
 - $\frac{\partial v}{\partial t}$, acelerómetros
- Fuerza
 - Celdas de carga

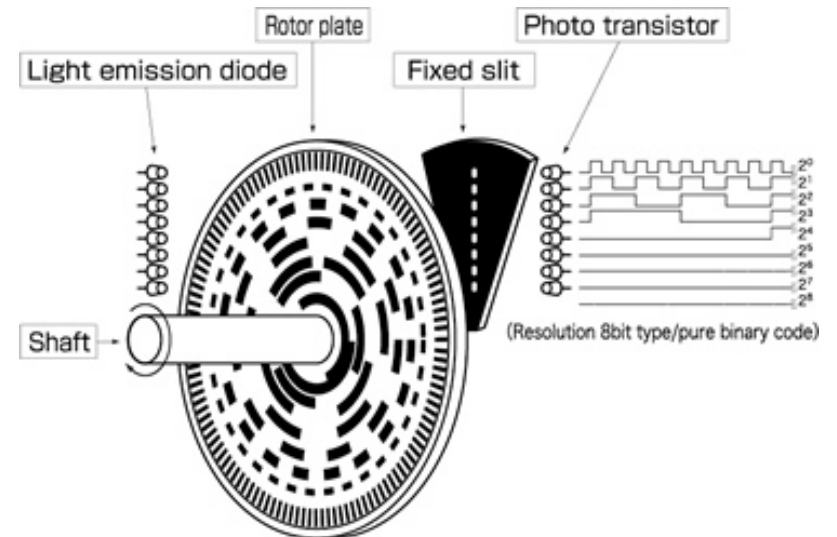
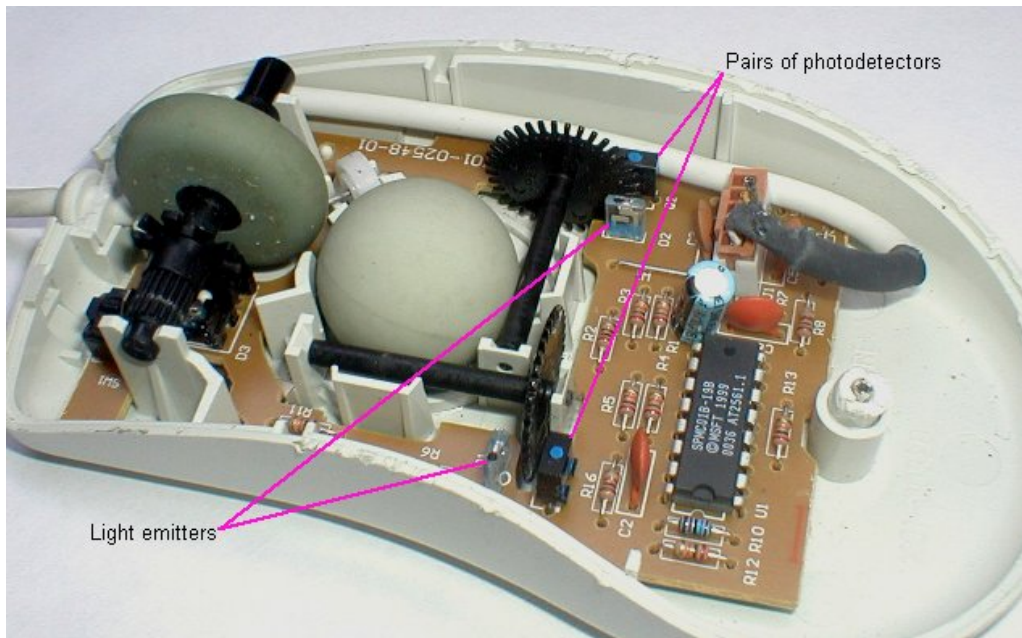
Sensores de posición

Potenciómetros

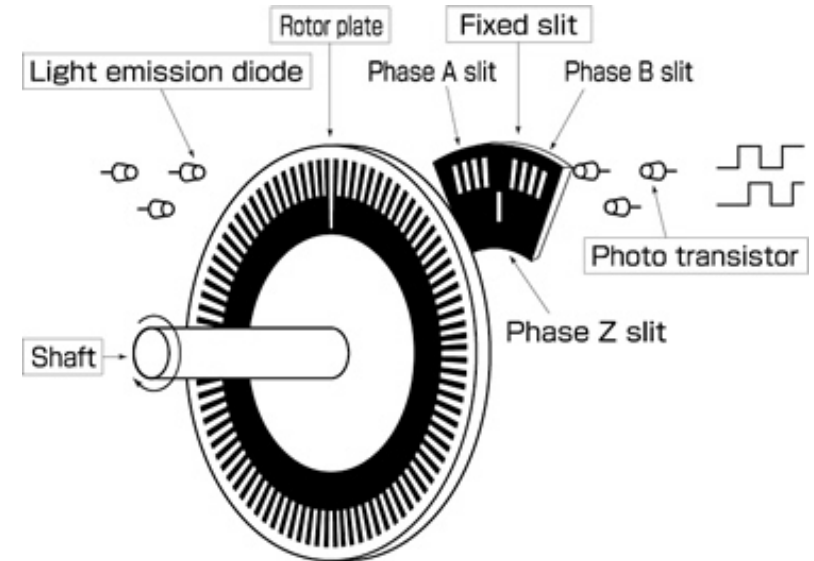


Sensores de posición

Encoders (absolutos y relativos)



Absolute Encoder Simplified Structure



Incremental Encoder Simplified Structure

Sensores de velocidad

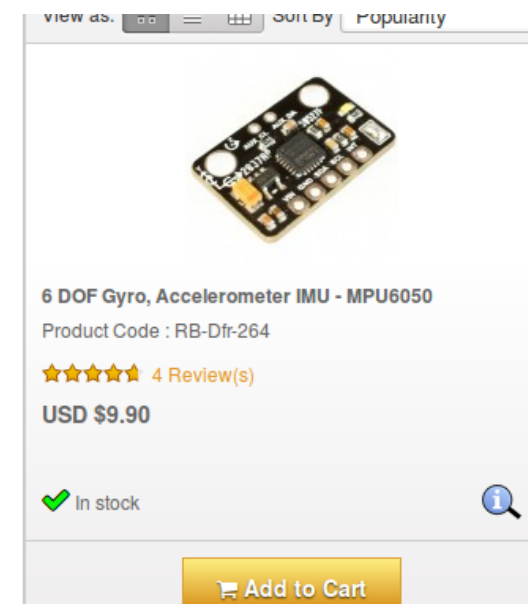
- Derivamos datos de posición...
 - Puede ser que ya tengamos datos de posición
 - Operación discreta, no es la velocidad instantánea
 - Puede requerir filtrado, lo que enlentece la adquisición
- ...o usamos un sensor que la mida directamente (puede ser que derive internamente)
 - Girar un dínamo y ver el voltaje que genera
 - Medir la presión del aire (tubo Pitot)
 - Medir el efecto Doppler de una onda

Sensores de fuerzas

- Un resorte y un sensor de posición.
- Sensor binario: botón.
- Celdas de carga: hay materiales que al comprimirse cambian su conductividad.
- Piezoeléctricos: hay materiales que al comprimirse generan un potencial eléctrico.
 - Hay uno en cada micrófono de celular
- Fuerzas lineales y torques.

Sensores de aceleración

- Un resorte, una masa y un sensor de posición
- Acelerómetros integrados de estado sólido (MEMS)
 - Muy bajo costo, tamaño, y consumo; muy difundidos
 - En ciertas condiciones pueden dar la orientación (midiendo la aceleración gravitatoria)
- Para aceleraciones angulares, se usan giroscopios
- IMU: Inertial Measurement Unit



Sensores introceptivos

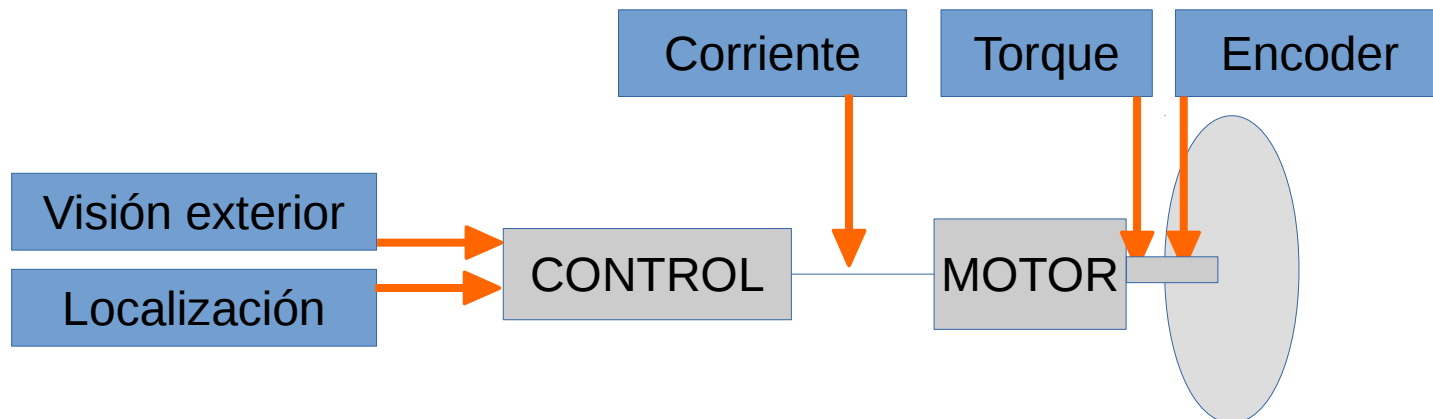
Otros sensores:

- Carga de baterías
- Consumo de energía
- Temperatura
- Detección de fallos
 - Sensores específicos para modos de fallo
 - Validación cruzada de sensores

Detección de fallos

Validación cruzada de sensores

- Se pueden cruzar datos con sensores externos
- Pueden fallar la estructura, los actuadores, controladores o sensores

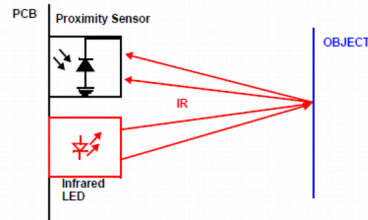
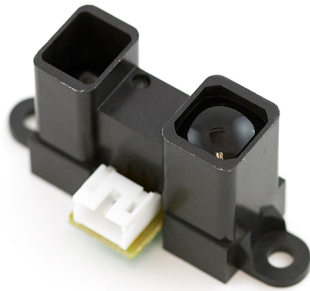


Sensores extroceptivos

- De contacto y distancia
 - Interruptores y sensores de carga (“distancia 0”)
 - Sensores IR
 - Ultrasonido
 - Telémetro Laser
 - Luz estructurada
- Ambientales
 - Temperatura, presión atmosférica, campo magnético
- De formación de imágenes
 - En luz visible, IR, imagen térmica...
 - Cámaras, barrido óptico

Sensores de distancia

- Basados en tiempo de retorno de señal (TOF)



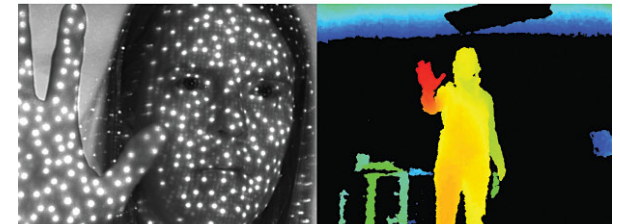
- Basados en nivel de retorno



- Interferometría laser (LIDAR)



- Luz estructurada



Sensores de imagen

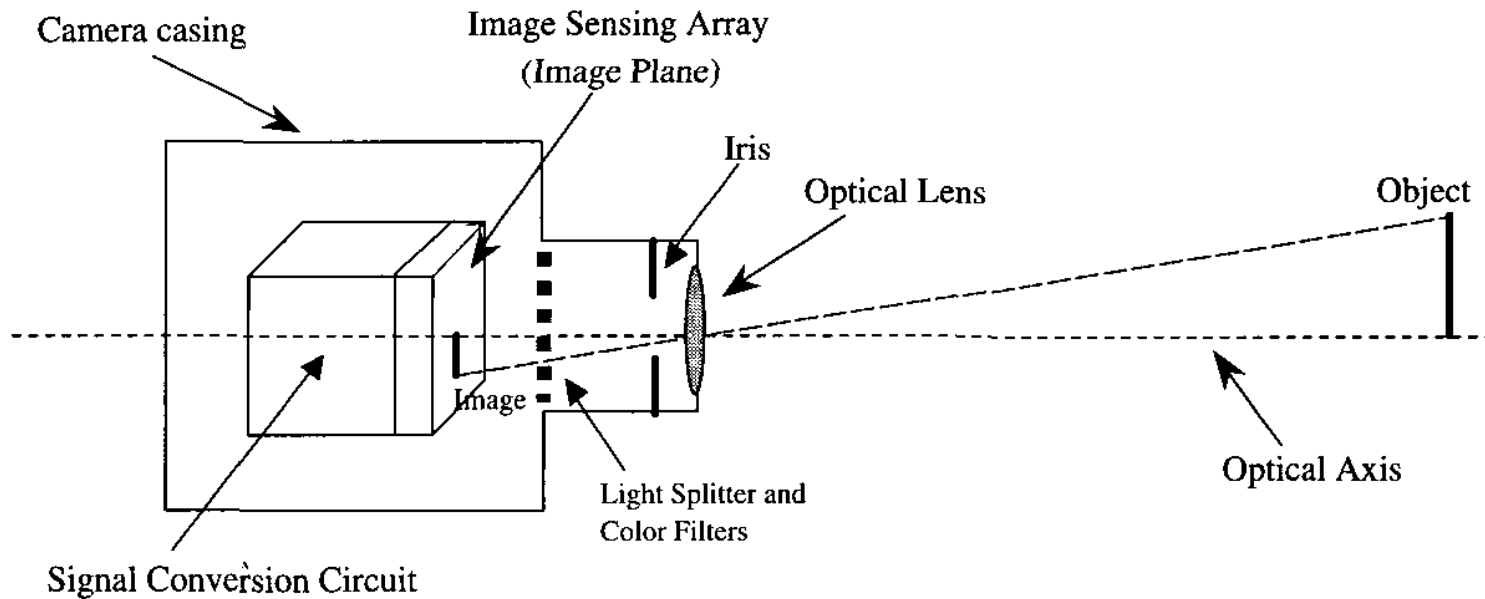


Fig. 7.10 Generic structure of an electronic camera.

Sensores de imagen

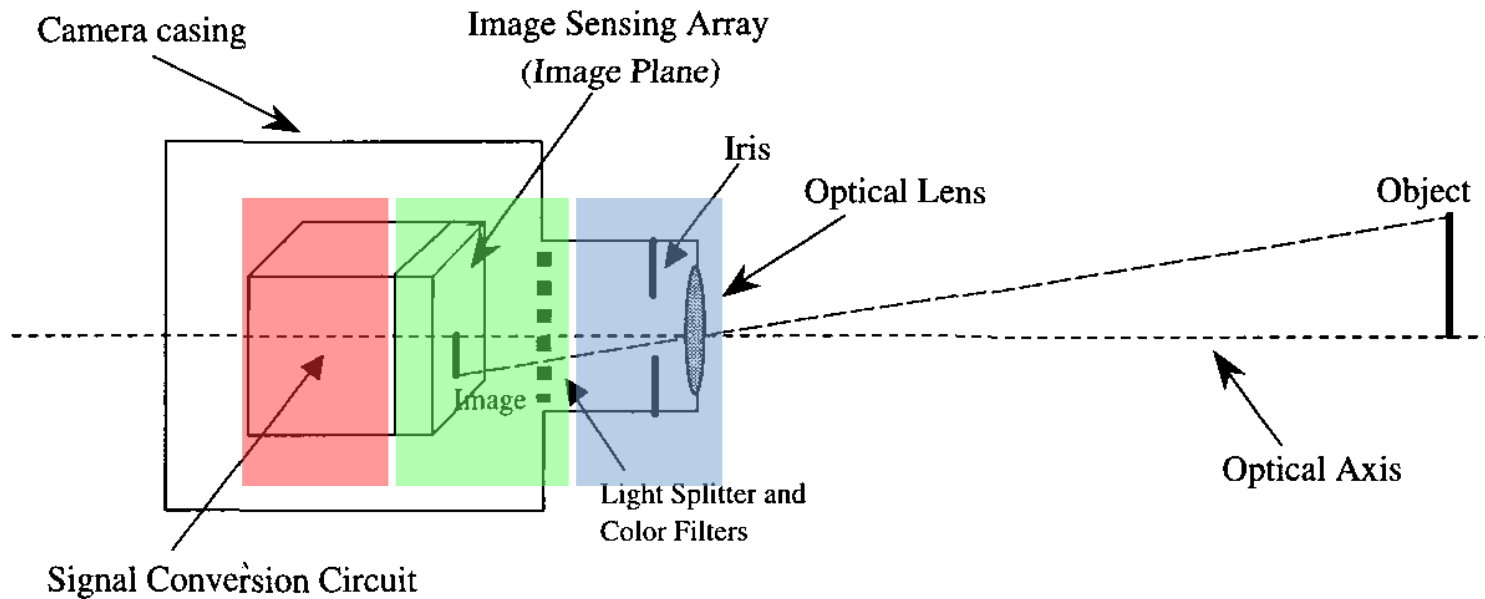


Fig. 7.10 Generic structure of an electronic camera.

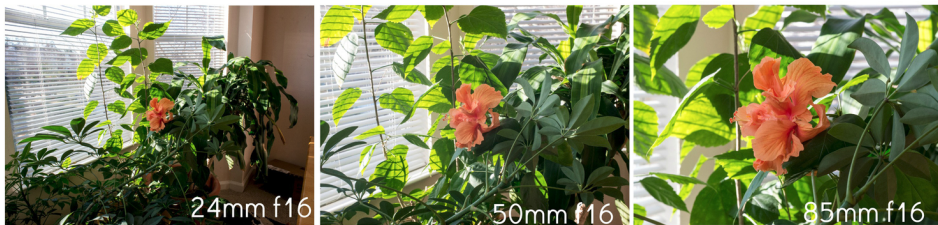
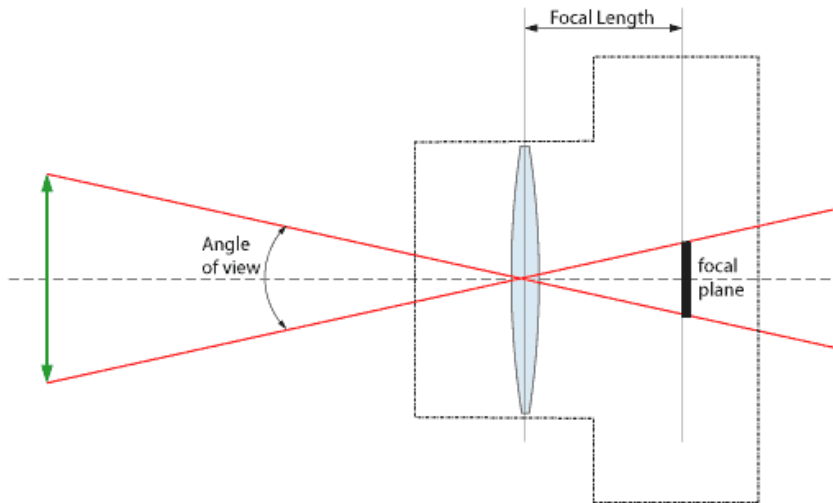
Conversión de señales

Adquisición

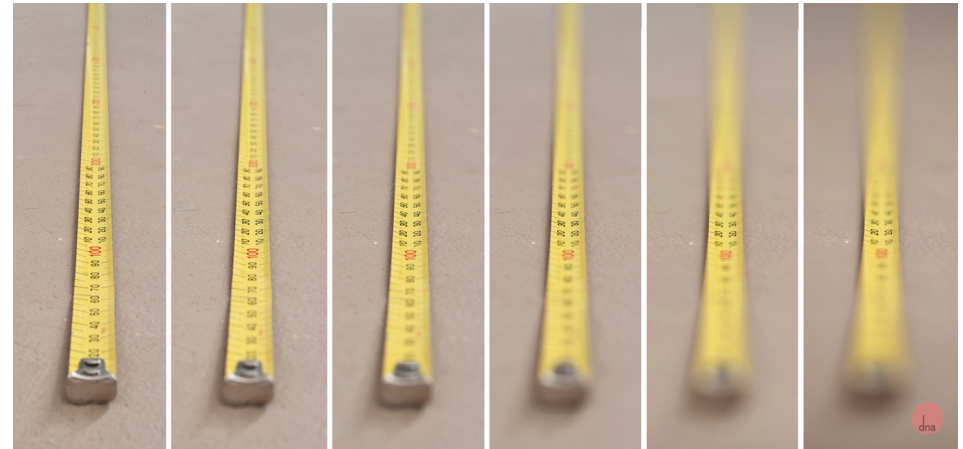
Sistema óptico

Sistema óptico

Distancia focal (“nivel de zoom”)



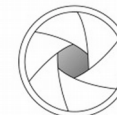
Apertura (claridad, profundidad de campo)



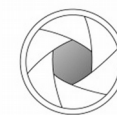
F16



F10



F6.3



F3.5



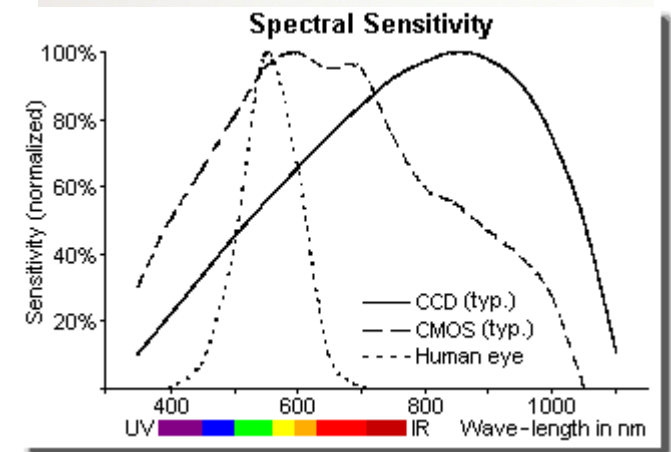
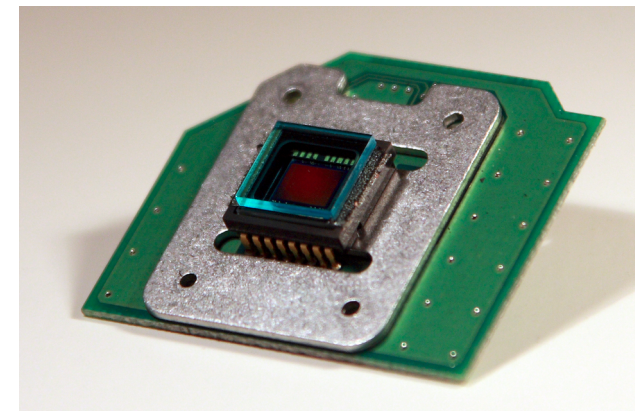
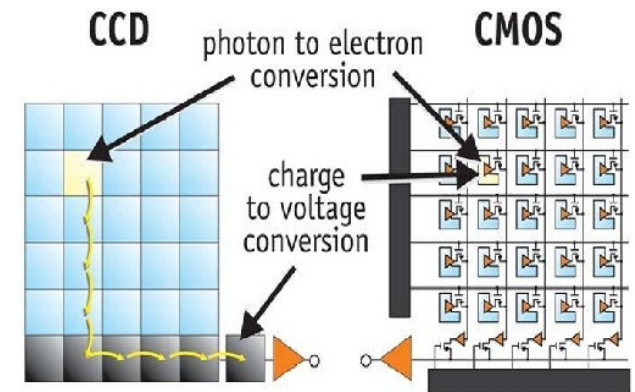
F2



F1.4

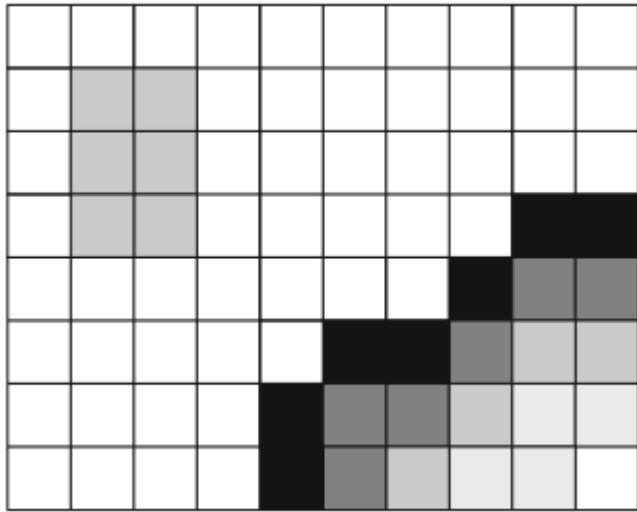
Adquisición óptica

- Tecnología CMOS (y CCD)
- Características:
 - Color o grises
 - Resolución
 - Velocidad de adquisición
 - Sensibilidad y respuesta en frecuencias
 - Ruido y respuesta a saturación
 - Costo y consumo

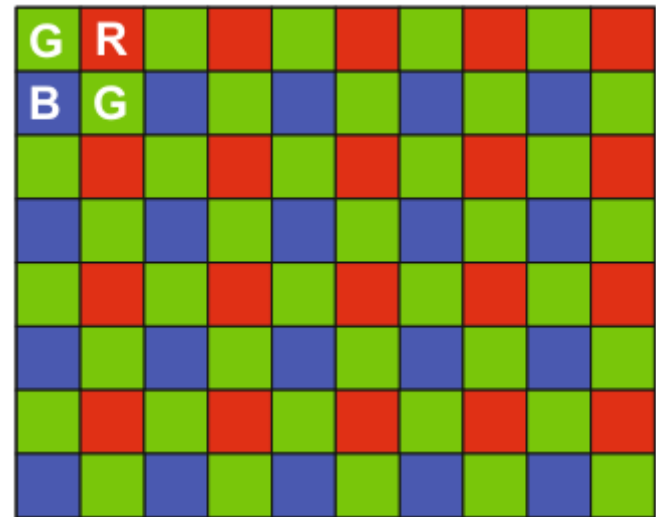


Adquisición óptica

Sensor blanco y negro



Filtro Bayer para color



Conversión de señales

- Acondicionamiento
 - Corrección de colores (balance de blanco)
 - *Demosaicing*, reducción de ruido
 - Ajuste de ganancia
- Codificación en un modelo de color
 - RGB: rojo + verde + azul
 - YUV: luminancia + cromaticidad
- Compresión y transmisión
 - Ajuste de resolución
 - ¿Qué *bitrate*? ¿Compresión con pérdida?

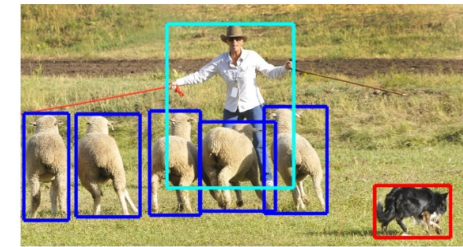
Visión por computadora

Reconocimiento de patrones

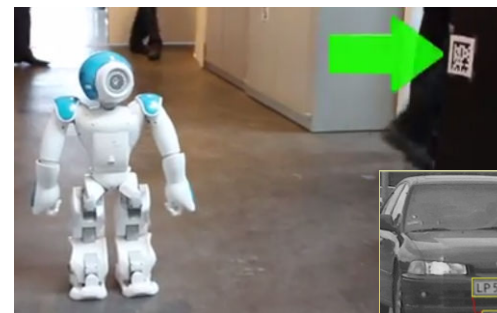
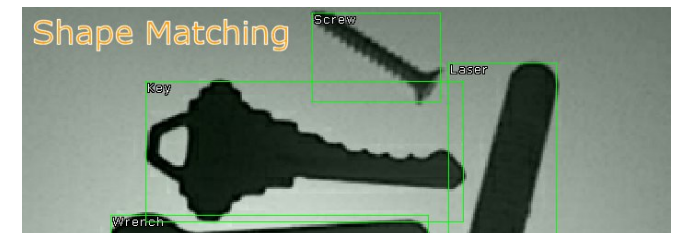
- Reconocer objetos conocidos
 - Buscar características conocidas (manchas de colores, líneas rectas)
 - Marcas artificiales
 - Objetos naturales
- Reconocer objetos a partir de su comportamiento
- Puede necesitar asistencia de un modelo de la realidad



(a) Image classification



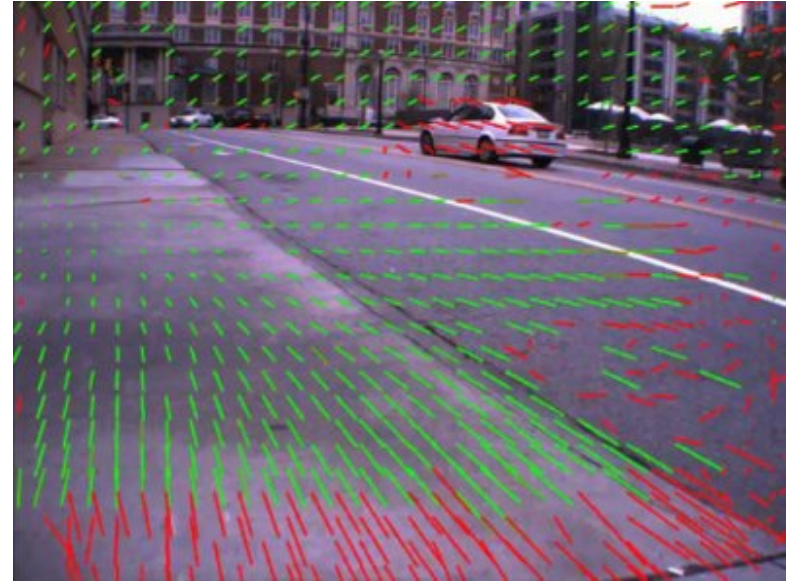
(b) Object localization



Visión por computadora

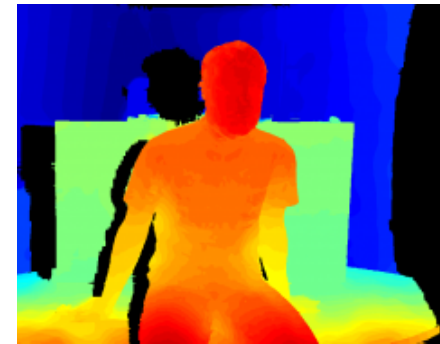
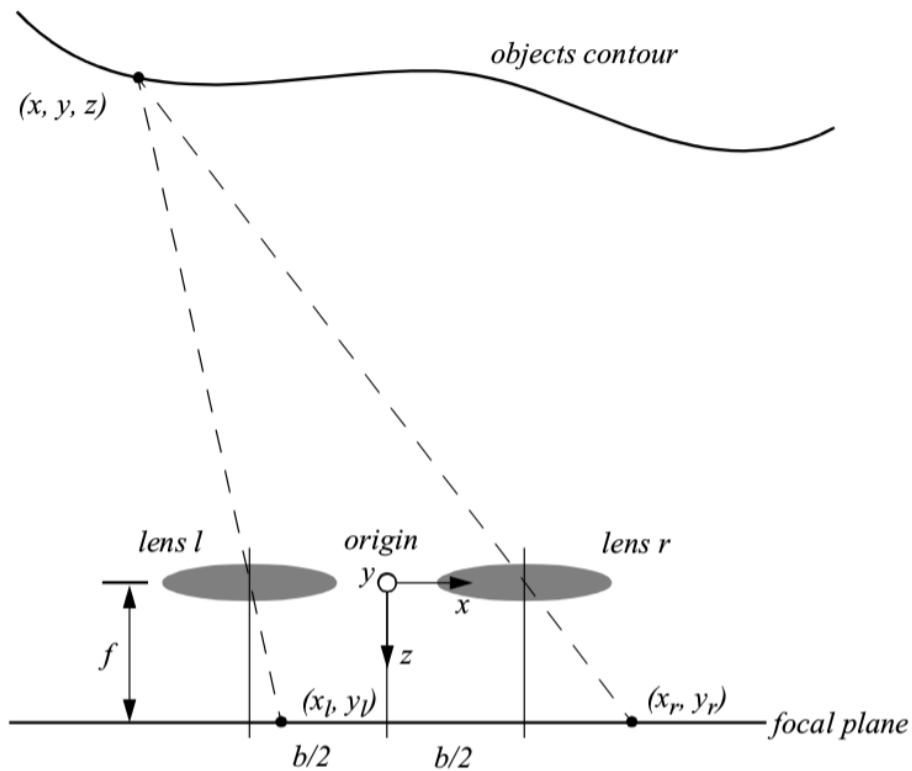
Flujo óptico: extracción de movimientos en secuencias de imágenes

- Navegación: cómo me estoy moviendo
- Segmentación: extraer entidades independientes
- Puede ser implementada en hardware



Visión por computadora

Reconstrucción 3D: visión binocular



Visión por computadora

Reconstrucción 3D, métodos monoculares

- Basados en movimiento (paralaje y oclusión)
- Control de foco
- Gradientes de texturas
- Análisis de escena (reconocer objetos, perspectiva, sombras...)



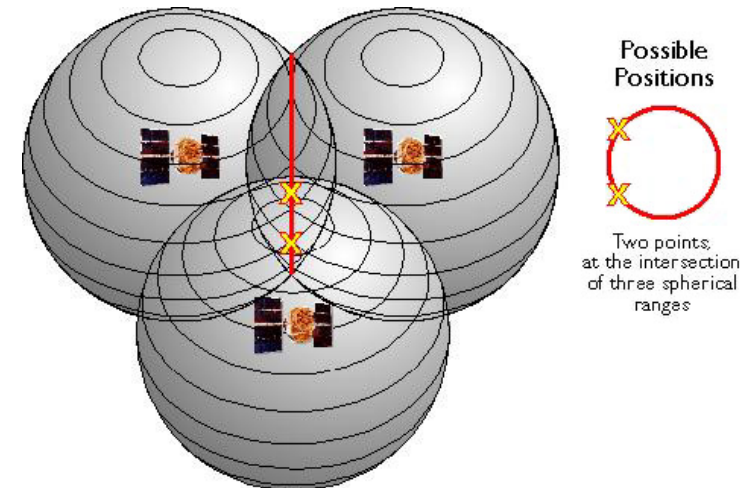
Localización

Usando referencias externas:

- Radiobases terrestres
 - Técnica: Nivel de recepción, triangulación
 - Bases: WiFi, bases celulares, estaciones dedicadas
- Posicionamiento satelital
 - Sistemas LOS, de exterior
 - GPS
 - Glonass

GPS

- Constelación de satelites
 - 24 satélites en 6 planos orbitales,
 $h=20.190\text{km}$ (órbita media),
 $P=12h$
 - Poseen relojes sincronizados
 - Transmiten pulsos de reloj +
parámetros de órbita
- Receptor
 - Recibe por lo menos 4 satélites
 - Posee un modelo de las órbitas
 - Mide diferencias de tiempos ($\sim\text{ns}$)



GPS

- Limitado por la recepción de transmisiones muy débiles: en interiores, zonas con edificios, en bosques
 - La precisión puede degradarse debido a *multipath*, malas geometrías de los satélites visibles.
- Precisión ~5m
- Muestreo de 1Hz (hay sistemas más rápidos)
- Se puede asistir para lograr precisiones de centímetros.
 - Differential GPS: usa referencia fija para corregir errores sistémicos
- Chips combinados GPS+GLONASS cada vez más comunes (el doble de satélites, error ~2m)

GPS: gpsd

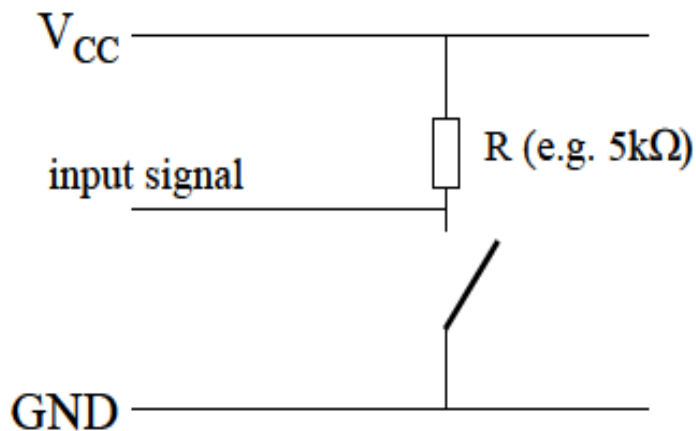
- Estándar de acceso a GPS: protocolo NMEA sobre serial – muchas variaciones propietarias
- gpsd: demonio que normaliza el acceso al hardware
 - Se accede en TCP/IP:2947 con mensajes JSON
 - Para habilitar monitoreo, enviamos:
`?WATCH={"enable":true,"json":true}`
 - Leemos mensajes desde gpsd:
`{"class":"TPV","mode":3,
"time":"2010-04-30T11:48:20.10Z", "ept":0.005,
"lat":46.498204497,"lon":7.568061439,
"epx":15.31, "epy":17.054,
"alt":1327.689,"epv":124.484,
"track":10.379,
"speed":0.091, "climb":-0.085, "eps":34.11}`

Interfaces con sensores

- Digitales
 - On-off: contacto, presencia o ausencia
 - Conteo de pulsos, PWM
 - Paralelos
- Analógicos
 - Distancia, temperatura, fuerzas...
 - Un voltaje en un rango, a ser digitalizado
- Protocolos de comunicación

Sensores binarios

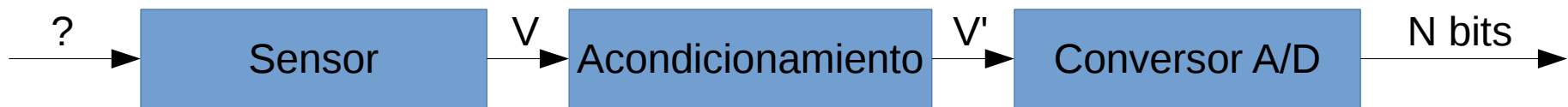
- Son el tipo más simple de los sensores.
- Sólo devuelven un solo bit de información: 0 o 1.
- ¿Está tocando? ¿Hay algo? ¿Supera un umbral?
- Interfaz con el sistema de control muy simple, por ejemplo utilizando una entrada digital



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

- Accedidos mediante un convertidor A/D
 - Rango de medición (p.ej. 0..5V)
 - Precisión: número de bits destino (p.ej. 10 bits)
 - Velocidad: #conversiones por segundo (p.ej. 500)
- La señal puede tener que ser acondicionada:
 - Rango de la señal mayor al rango del ADC (saturación)
 - Se quiere sensar una función de la salida del sensor
 - Filtrar ruido o señales extrañas



Protocolos para sensores

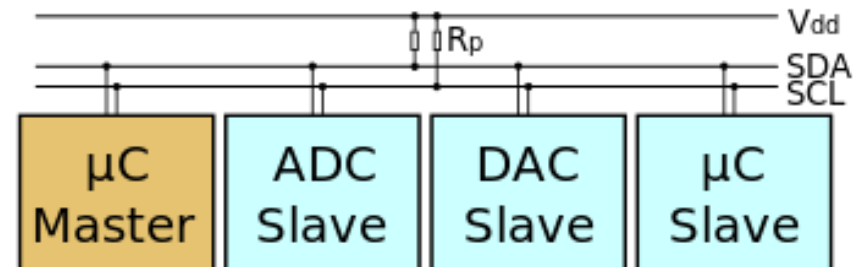
Protocolos de comunicación

- Serial, UART (GPS, Cámaras, IMU)
 - Baudrate fijo, punto a punto, duplex
- I2C (sensores de distancia, acelerómetros, ambientales...)
 - Múltiples dispositivos en un bus, distancias cortas
- SPI (como I2C, cámaras)
 - Maestro/esclavo, mayor velocidad que I2C
- CAN bus
 - Estándar en la industria automotriz, robusto, rápido

Ejemplo: I2C

Inter-Integrated Circuit.

- Es un protocolo serial multi-master diseñado por Philips, para la conexión de dispositivos lentos separados por algunos metros.
- Usa 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.
- Cada sensor especifica sus mensajes



Fin

Referencias

- Thomas Bräunl, Embedded Robotics, Springer - 2008
- George A. Bekey, Autonomous Robots, MIT Press - 2005
- F. Torres, J. Pomares et al, Robots y Sistemas Sensoriales, Prentice Hall – 2002
- Hojas de datos:
 - Sensor de distancia de ultrasonido
<http://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2013/07/HCSR04-datasheet-version-1.pdf>
 - Sensor IR de distancia
http://www.sharpsma.com/webfm_send/1208
 - Scanner Laser 2D
https://www.sick.com/media/pdf/2/42/842/dataSheet_LMS111-10100_1041114_en.pdf
 - Acelerómetro MEMS de 3 ejes
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Accelerometer/LIS331HH.pdf>