

Sensores en robótica

Verónica E. Arriola-Rios

Robótica móvil

21 de agosto de 2025

Temas

1 Definiciones

2 Clasificación

- Por forma de interacción
- Variables internas / variables del ambiente

3 Sensores de proximidad (rango)

- Sensor ultrasónico
- Ejercicio: uso del sonar

Definiciones

Transductor: Mecanismo que transforma la energía asociada a lo que se está midiendo a otro tipo de energía (mecánica, eléctrica, óptica, etc.). Habitualmente se confunde con sensor.

Sensor: Transductor que se utiliza para medir cualquier atributo (variable física) del entorno.



Figura: Sensor Flexiforce. Su resistencia cambia dependiendo de la presión ejercida sobre él.

Agentes (sensores → actuadores)

- 1 Los sensores son utilizados en el proceso de tratamiento de la información de forma que habitualmente una cantidad o magnitud física es captada por un transductor que convierte dicha magnitud física en señal eléctrica.
- 2 Esta señal se digitaliza con un conversor A/D con el propósito de procesar la señal, típicamente con filtros y/o extracción de ciertas características inherentes en la señal.
- 3 Finalmente, se puede llegar a implementar una etapa de interpretación de la señal, que requiere de un proceso cognitivo que permita alcanzar una toma de decisiones que culmina en una actuación.

Temas

1 Definiciones

2 Clasificación

- Por forma de interacción
- Variables internas / variables del ambiente

3 Sensores de proximidad (rango)

- Sensor ultrasónico
- Ejercicio: uso del sonar

Temas

1 Definiciones

2 Clasificación

- Por forma de interacción
- Variables internas / variables del ambiente

3 Sensores de proximidad (rango)

- Sensor ultrasónico
- Ejercicio: uso del sonar

Sensor pasivo: Se capta la energía del entorno, no añade ninguna energía.

Sensor activo: Sensor que añade energía al entorno y captura la respuesta del entorno de dicha energía.



Figura: Sensor activo: Patrón infrarrojo emitido por el Kinect.

<https://www.youtube.com/watch?v=dTKINGSH9Po>

Sensorización Activa (Active Sensing): Sistema que dispone de un mecanismo de posicionamiento del sensor para dinámicamente modificar la posición del sensor con el fin de mejorar la captación.

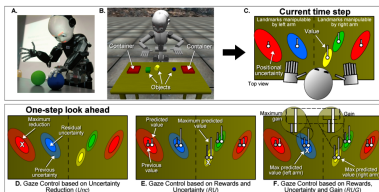


Figura: El robot voltea para minimizar la incertidumbre sobre la posición del objeto de interés. http://ciep.ing.uaslp.mx/jnunez/docs/papers/tap2013_nunez.pdf

Sensorización Inteligente: Sensor al que se le añaden, típicamente con microprocesadores, características propias del pre-procesado de la señal e incluso interpretación de la misma. Suelen transmitir la información a través de un bus de datos.



Figura: El Kinect ©Microsoft incorpora procesamiento de visión en el mismo hardware, la señal que envía ya está preprocesada.

Temas

1 Definiciones

2 Clasificación

- Por forma de interacción
- Variables internas / variables del ambiente

3 Sensores de proximidad (rango)

- Sensor ultrasónico
- Ejercicio: uso del sonar

Sensores propioceptivos

- Miden variables internas del robot,
- están frecuentemente integrados en el sistema de control del robot para *cerrar lazos* internos.
- Incluyen:
 - a los *sensores odométricos* (encoders, acelerómetros, giróscopos, etc.), que permiten medir el camino (*odo* en griego quiere decir camino), es decir, la distancia recorrida por el robot.
 - otros como los indicadores de nivel de carga de la batería, etc.
- En inglés son conocidos como *dead-reckoning sensors* (muerte-cálculo o ajuste de cuentas).

Sensores exteroceptivos

- Miden variables del entorno del robot.
- Su nombre viene del griego *steros*, que quiere decir sólido, pues son sensores que permiten medir los sólidos u objetos del entorno.
- Dentro de este tipo de sensores esteroceptivos se encuentran los:
 - Sensores de rango, o *range sensors*, que permiten medir la distancia a los objetos.
 - infrarrojos,
 - ultrasonidos,
 - sensor láser, etc.
 - Sensores como los magnetómetros, para medir el campo magnético terrestre,
 - Cámaras, radar, sistemas de posicionamiento global (GPS), entre otros.

Temas

1 Definiciones

2 Clasificación

- Por forma de interacción
- Variables internas / variables del ambiente

3 Sensores de proximidad (rango)

- Sensor ultrasónico
- Ejercicio: uso del sonar

¿Qué son, qué miden y para qué sirven los sensores de rango?

- Los sensores de proximidad se utilizan en robótica para la detección de la presencia de objetos (u obstáculos) sin la necesidad de contacto, midiendo las distancias a los mismos.
- Esta información es necesaria especialmente en entornos no estructurados, donde se requiere construir mapas del entorno y evitar obstáculos cercanos.

Principios de funcionamiento

- Destacan los sensores:
 - infrarrojos, ultrasonidos, láser, efecto Hall, etc.
- Sensores que se basan en diferentes principios físicos:
 - sensores fotoeléctricos, electromagnéticos, acústicos, capacitivos, etc.
- Por lo general suelen tener una configuración en la que el sensor incluye un emisor y un receptor, tratándose de sensores activos (aportan energía al medio).

Característica de las mediciones

- Las distancias de detección dependen básicamente de la tecnología del sensor y del medio de transmisión, llegan desde pocos milímetros hasta varios metros.
- Para elegir un sensor se debe tomar en cuenta:
 - Tipos de haz: tipo rayo o tipo cono.
 - Forma en la que rebota la señal sobre los objetos: especular o no especular.
 - Influencia del color y/o materiales, repetitividad, precio, entre otros criterios adicionales.

Temas

1 Definiciones

2 Clasificación

- Por forma de interacción
- Variables internas / variables del ambiente

3 Sensores de proximidad (rango)

- Sensor ultrasónico
- Ejercicio: uso del sonar

¿Qué son y para qué sirven los sensores de ultrasonido?

- Los sensores de ultrasonido son muy frecuentes en los robots móviles (particularmente) y de forma significativa en los vehículos submarinos autónomos (AUVs), por sus buenas propiedades de medición en entornos acuáticos.

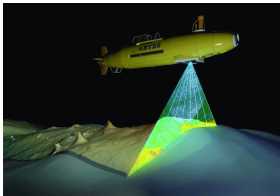


Figura: AUV reconstruyendo un mapa del fondo marino.

Tom Kwasnitschka/Nico Augustin, GEOMAR

- Sirven para detectar objetos y medir distancias.
- Se utilizan para construir mapas del entorno y evitar obstáculos.

Principio de funcionamiento:

- Se basa en las propiedades magnetoestrictivas de los materiales piezoeléctricos:
 - Los materiales *piezoeléctricos* son materiales que tienen la capacidad de concebir carga eléctrica interna a partir de la tensión mecánica aplicada.(Industrias GSL 2022)
 - Una lámina de material *magnetoestrictivo* o membrana tiene la propiedad de deformarse mecánicamente y generar ultrasonidos al ser excitada por una corriente eléctrica.
 - Una vibración mecánica de este material también produce una corriente eléctrica.
- Estos sensores emiten una radiación ultrasónica que rebota en los obstáculos del entorno y captan los ecos recibidos.

- Miden distancias a partir de la excitación de la membrana magnetostrictiva con una serie de impulsos eléctricos, que genera un tren de ondas ultrasónicas.
- También una membrana magnetostrictiva, recibe los ecos de las emisiones y las transforma en impulsos eléctricos.

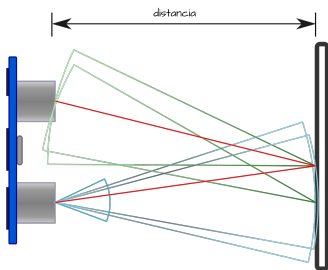


Figura: Sonar con emisor/receptor separados.

Velocidad del sonido:

$$v = 343.2\text{m/s} \quad v = 0.034\text{cm}/\mu\text{s}$$

De la fórmula:

$$v = \frac{d}{t}$$

Se despeja la mitad de la distancia:

$$d = \frac{t \cdot v}{2}$$

Configuraciones

Con sistema de emisor/receptor en el mismo transductor:

- Las ondas ultrasónicas se generan con una sola membrana.
- Esta es “bloqueada” tras emitir el tren de impulsos para poder “escuchar” el rebote de las ondas.
- Debido al bloqueo, esta configuración, por lo general, no es sensible a distancias muy cortas (típicamente pocos centímetros).

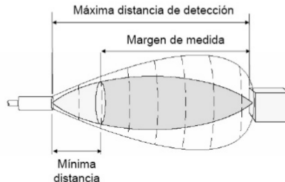


Figura: Distancia mínima medible debido al tiempo de espera.

Con sistema de emisor/receptor separados:

- Las ondas ultrasónicas se generan con una de las membranas, mientras que la otra membrana se utiliza para “escuchar” las ondas ultrasónicas.
- La membrana receptora está preparada para escuchar desde el mismo instante en el que se acaban de emitir las ondas y por tanto suele ser apropiada para medir distancias muy cortas, que la configuración de un emisor/receptor común no puede alcanzar.



Figura: Sonar HC-SR04

Técnicas de medición de distancias

- *Tiempo de vuelo:*

- Se emite un tren de impulsos y se pone un temporizador en marcha.
- Cuando se recibe el eco de los impulsos emitidos, el tiempo transcurrido t es proporcional al doble de la distancia al obstáculo (tiempo de impacto + tiempo de eco) $2d$.

$$d = \frac{v_{\text{sonido}} t}{2} \quad (1)$$

- Si en un determinado margen de tiempo no se ha recibido eco, se considera que no hay obstáculo.

Técnicas de medición de distancias

- *Cambio de fase:*
 - Se envía una onda periódica y se reciben los ecos de forma continua.
 - Se calcula la distancia según el desfase entre las ondas.
 - En este caso el entorno se puede modelar como la convolución entre la señal emitida y la señal de recepción.

Propiedades

- Frecuencias usadas comúnmente: 60Khz, 56Khz, 52.5Khz y 49Khz.
- La velocidad del sonido a unos 20°C es de 343.2m/s.
- El efecto de las interferencias acústicas es menor a altas frecuencias pero la atenuación de la onda es mayor.
- Al propagarse la radiación en un medio homogéneo, su intensidad sufre una atenuación exponencial de acuerdo a la ecuación:

$$I = I_0 e^{-2\alpha x} \quad (2)$$

donde:

- I_0 : intensidad incidente
- α : coeficiente de atenuación
- x : distancia recorrida

Propiedades del haz

- Para lograr un gran alcance y reducir las interferencias acústicas es importante que el haz emitido sea estrecho.

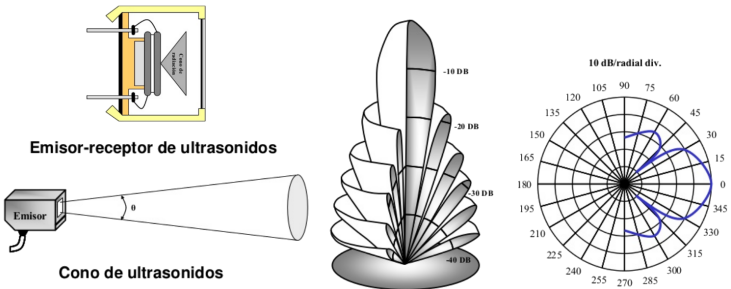


Figura: Una superficie de emisión grande con respecto a la longitud de onda del ultrasonido emitido genera haces estrechos con lóbulos secundarios en forma de anillos.

- La onda ultrasónica tiene un ángulo de detección en el cual es teóricamente sensible y por tanto toda onda que venga en un ángulo dentro del lóbulo principal será detectada.
- También existen lóbulos secundarios en los cuales el sensor es sensible, aunque en menor medida.
- La hoja de características del sensor nos indica la sensibilidad del mismo y la atenuación de la onda (en dBs) según el ángulo de incidencia.

- En teoría la onda rebota sobre los espejos de forma especular y por tanto si se inclina mucho un sensor con respecto a una superficie debería dejar de verla. Lo cierto es que dado que gran parte de las superficies no son completamente lisas o disponen de bordes u otros elementos próximos que pueden hacer rebotar la onda, el sensor suele detectar, en la gran mayoría de casos, objetos que tienen un ángulo de incidencia superior al ángulo de detección del sensor.
- Cristales y espejos son teóricamente detectados, pero puede que por su grosor no se detecten correctamente.
- Los colores no afectan a este sensor.

- Si el tamaño del objeto es menor que la longitud de onda, la radiación reflejada es débil, por lo que para objetos pequeños se debe trabajar a alta frecuencia.
- Los sensores tienen una distancia máxima de detección, que depende de
 - la frecuencia de la onda ultrasónica,
 - la "sensibilidad" de la electrónica y la membrana
 - el medio de transmisión.
- En aire, la onda se degrada rápidamente en comparación con medios acuáticos.
- En el aire podemos encontrar distancias máximas de 3 o 4 metros, los hay mayores a esto, pero por lo general menores de 10m.

Propiedades

- Otras variables como la temperatura suelen tener cierta influencia, pero se suelen despreciar en la mayoría de las ocasiones. Se sabe que tiene una dependencia de un 7 % con la temperatura para un rango entre 0 y 40°C.
- Tiene muy poca variación con la humedad y es independiente de la presión y la altitud.

Cross-talking

Si la onda de un sensor es recibida por otro sensor o el mismo sensor, puede recibir su propia onda de un disparo previo si los tiempos de espera entre disparo y disparo no son adecuados.

- Si tenemos varios sensores de ultrasonidos y queremos minimizar el efecto *cross-talking*, lo lógico es secuenciar los disparos, aún así será muy difícil distinguir entre los ecos recibidos por un robot u otro en el caso de que utilicen los mismos sensores, con lo que debéis asumir que la medición puede estar repleta de errores.

Temas

1 Definiciones

2 Clasificación

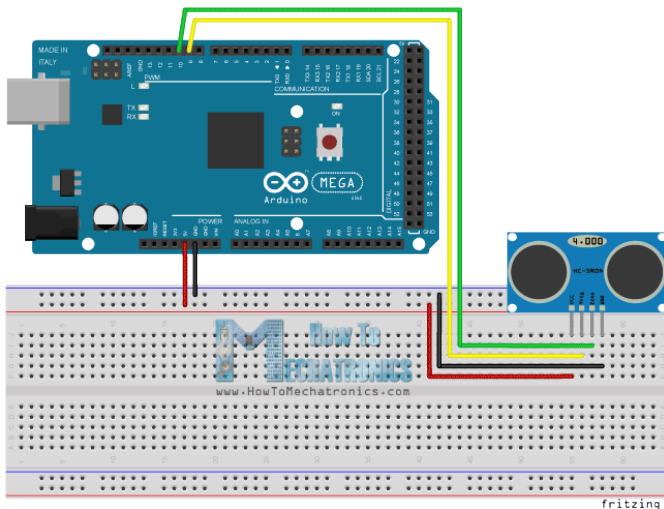
- Por forma de interacción
- Variables internas / variables del ambiente

3 Sensores de proximidad (rango)

- Sensor ultrasónico
- Ejercicio: uso del sonar

Circuito

<https://howtomechatronics.com>



Código para el Arduino

```

1  /* Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino Tutorial by Dejan Nedelkovski,
2  * www.HowToMechatronics.com */
3  const int TRIG_PIN = 9;           // elige los pins PWM a usar
4  const int ECHO_PIN = 10;          // definición de variables
5  long duration;
6  int distance;
7
8  void setup() {
9      pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);    // Asigna a TRIG_PIN como pin de salida
10     pinMode(ECHO_PIN, INPUT);      // Asigna a ECHO_PIN como pin de entrada
11     Serial.begin(9600);            // Inicia comunicación por el puerto serial
12 }
13
14 void loop() {
15     digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);    // Limpia al TRIG_PIN
16     delayMicroseconds(2);
17
18     // Pone al TRIG_PIN en HIGH por 10 micro segundos
19     digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
20     delayMicroseconds(10);
21     digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
22
23     // Calcula el tiempo de viaje de la onda sonora en microsegundos
24     duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH); // Lee el ECHO_PIN
25     distance = duration * 0.034/2;      // Cálculo de la distancia
26
27     // Imprime la distancia en el Serial Monitor
28     Serial.print("Distance: ");
29     Serial.println(distance);
30 }

```

Código para la PC I

Referencia: <https://electronics.stackexchange.com/questions/54/saving-arduino-sensor-data-to-a-text-file>

Listing: Leer del puerto serial y escribir en archivo

```
1  # Require pySerial:
2  # sudo -H pip3 install pyserial
3  import serial
4
5  serial_port = '/dev/ttyACM0';
6  baud_rate = 9600;                      #In arduino , Serial.begin(baud_rate)
7  SERIAL_DATA_FILE = "output.txt";
8
9  output_file = open(SERIAL_DATA_FILE, "w");      # Crea y escribe
10 #output_file = open(write_to_file_path, "w+"); # Para añadir
11 ser = serial.Serial(serial_port, baud_rate)
12
13 num_captures = 10
14 print(f"Inicia lectura de {num_captures} datos:")
15 while num_captures > 0:
16     line = ser.readline();
17     # ser.readline devuelve un valor binario , convertir a string
18     line = line.decode("utf-8", "strict")
19     print(line);
20
21 # a veces los datos no llegan completos
22     try:
23         num = float(line)
```

Código para la PC II

```
24         print(num)
25         numstr = str(num)
26         output_file.write(line)
27         num_captures -= 1
28     except:
29         pass
30
31 ser.close()
32 output_file.close()
33 ent = input("Presione una tecla para leer el archivo")
34
35 # leer el archivo
36 import numpy as np
37 from numpy import genfromtxt
38
39 data = np.genfromtxt(SERIAL_DATA_FILE)
40 print(data)
```

API de Arduino

Para mayor información sobre las funciones disponibles, puedes consultar la documentación oficial en:

<https://www.arduino.cc/reference/en/>

Referencias I



Industrias GSL (ene. de 2022). *Materiales piezoeléctricos*. URL:
[https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/
materiales-piezoelectricos](https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/materiales-piezoelectricos).