

Técnicas de los Sistemas Inteligentes

Curso 2015-16

Práctica1: Robótica.

Sesión1. Conceptos Básicos de Robótica

Presentación

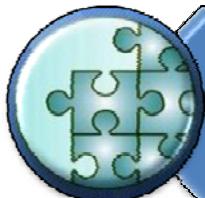


Juan Fernández Olivares

- faro@decsai.ugr.es
- Despacho D27, 4^a Planta ETSIIT
- Tutorías: Martes y Miércoles de 10 a 13.



Profesor Titular Dpto. Ciencias de la computación e I.A
<http://decsai.ugr.es>



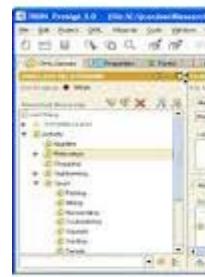
Miembro del grupo de investigación en Sistemas Inteligentes
<http://decsai.ugr.es/~faro/RecentPublications.html>



Co-fundador de IActive Intelligent Technologies
<http://www.iactiveit.com>

Research topics

Area: Cognitive Systems and Robotics.



Automated planning.

Multi agent systems. Multi agent planning



Learning to Planning

Integrated planning architectures. Transversal areas:



Research topics

Area: Cognitive Systems and Robotics.

Automated planning.

- Search and reasoning algorithms for planning.
- Knowledge Representation and Engineering.
- HTN planning

Multi agent systems. Multi agent planning

- Cooperative and collaborative problem solving
- Distributed search.

Learning to Planning

- Process Mining
- Learning of Automated Planning Domains

Integrated planning architectures. Transversal areas:

- Robotics and Manufacturing Control, Crisis action planning, e-learning, e-tourism, business process management, e-health (AI in Medicine)

Proyectos de Investigación

La mayoría de proyectos de I+D previos han dado lugar a productos comerciales de IActive.

OncoTheraper
(UGR+IActive+7
Hospitals)

- Proyecto de excelencia Junta de Andalucía: 2008-2013.
- Decision support for treatment planning (pediatrics oncology).
- IActive Product: Cognocare.
- <http://www.cognocare.com/>

Pelea
(UGR + UC3M + UPV)

- Proyecto Plan Nacional I+D: 2008-2012.
- Planning, Execution and learning architecture
- <http://servergrps.dsic.upv.es/pelea/>

PlanInteraction
(UGR + UC3M + UPV)

- Proyecto Plan Nacional I+D: 2011-2015.
- Multi agent planning (cooperative, collaborative planning).
- Cooperative treatment planning.
- <http://servergrps.dsic.upv.es/planinteraction/>

PlaM: Plan Miner (UGR)

- Proyecto Plan Nacional I+D: 2016-2018
- Analysis of event logs (plan traces)
- Process Mining + Machine Learning
- Discovery of planning knowledge.



“

IActive is a global company that was born in 2006 as an spin-off of the University of Granada and it is focused on developing **decision support software** systems by using its **award-winning Artificial Intelligence Technology**

”

International awards and recognitions



Past Ph.D. Students



Oscar J. García Pérez (2007)

- R&D Director and Co-founder IActive.



Lluvia C. Morales Reynaga (2011)

- Assistant Professor Technological University of Mixteca (Mexico)



Francisco Palao Reinés (2011)

- CEO and Co-founder of IActive



Arturo González Ferrer (2011)

- Post Doc researcher Information Systems Dept. University of Haifa.

Estudiantes en PFG

Eleuterio Risoto (2013-14)

- Técnicas de navegación y planificación sobre un robot Arduino

Jose Ángel Segura (2014-15)

- Integración de un planificador de tareas en ROS.

(idem) (2015-16) Trabajo Fin de Máster

- Descubrir modelos de procesos de un robot simulado aplicando técnicas de minería de procesos.

¿Alguien más?

- Si te gusta la IA y algún tema de los que vamos a ver en TSI, u otro que teatraiga en este campo, cuéntamelo.

Programa de Prácticas

- Práctica1: Programación de la navegación local y global de un robot en ROS. (hasta el 4/5 de Abril). **Práctica Grupal**
- Práctica2: Programación de restricciones (declarativa). (hasta el 9/10 de Mayo)
- Práctica3: Planificación automática. (hasta el 8 de Junio).

Práctica 1:Objetivo

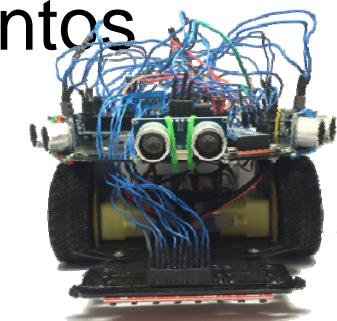
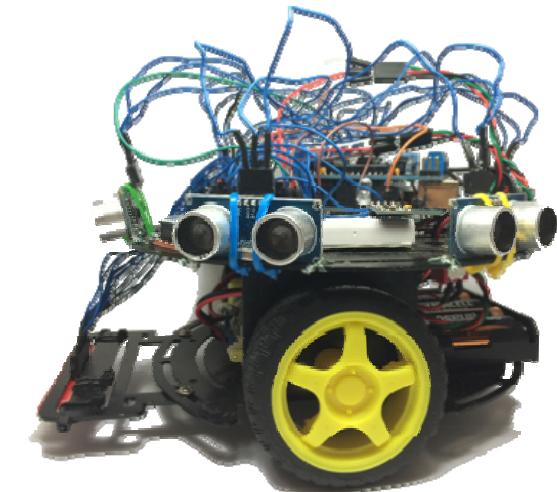
- Implementar el control de un robot móvil patrullador:
 - Capaz de moverse en un entorno simulado.
 - A partir de un mapa de su entorno y de varias ubicaciones conocidas en ese mapa.
 - Planificar rutas seguras entre las ubicaciones y navegar evitando obstáculos siguiendo las rutas planificadas
- Conocer terminología básica en robótica
- Conocer los problemas básicos en robótica y qué técnicas se emplean para su solución
- Conocer el entorno ROS (Robotic Operating System)
- Controlar robots móviles resolviendo algunos de los problemas básicos de la robótica
 - En un entorno de simulación de robots: Stage.
- Escribir programas en C++, basados en ROS, que implementen las soluciones.

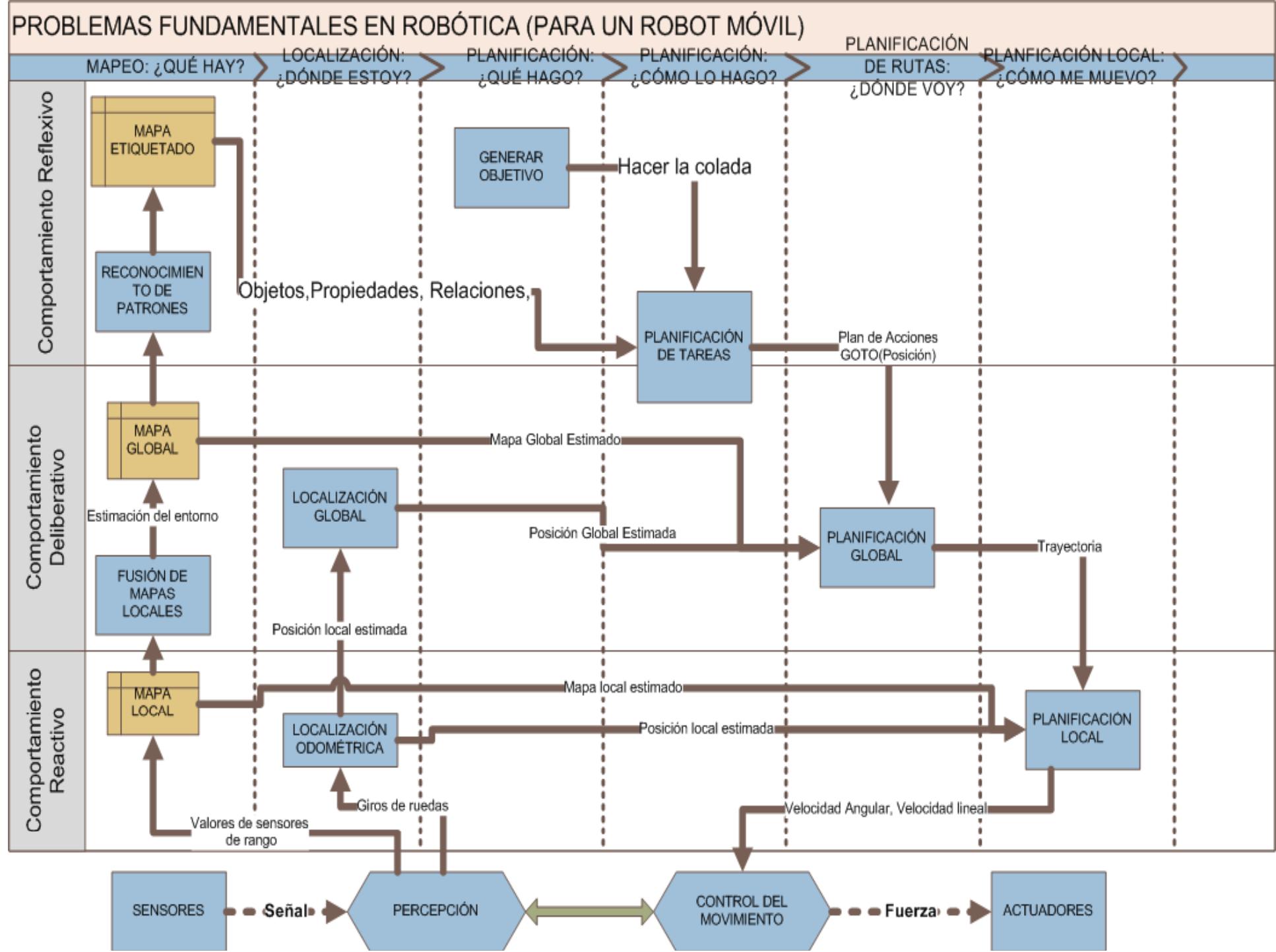
Bibliografía para esta práctica

- **Capítulo 25 del libro.** *Artificial Intelligence: A Modern Approach: Stuart Russell and Peter Norvig, (Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995);*. Elsevier, 1996. (En biblioteca)
- Fernández, Enrique, Luis Sánchez Crespo, Anil Mahtani, and Aaron Martinez. *Learning ROS for Robotics Programming - Second Edition*. 2nd ed. Packt Publishing, 2015.
 - (acceso biblioteca electrónica
[http://proquest.safaribooksonline.com/9781783987580. \)](http://proquest.safaribooksonline.com/9781783987580.)
- Goebel, R. Patrick. *ROS By Example INDIGO - Volume 1*, 2015 (En biblioteca)
- Robin R. Murphy, *Introduction to AI Robotics*, The MIT Press 2000 (En biblioteca)
- Wiki de ROS Documentation <http://www.ros.org/>

Problemas básicos de la robótica (robot móvil)

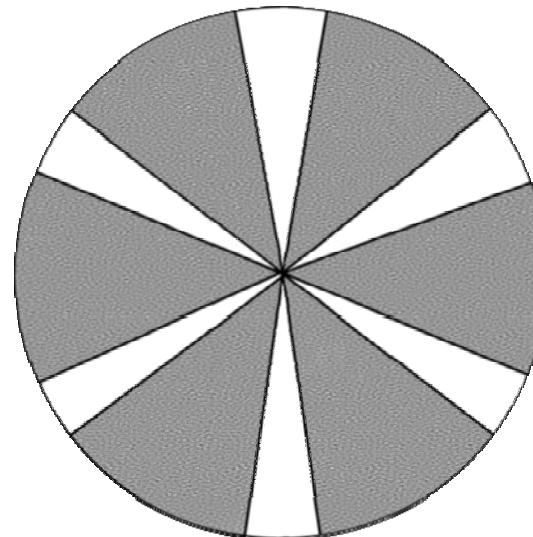
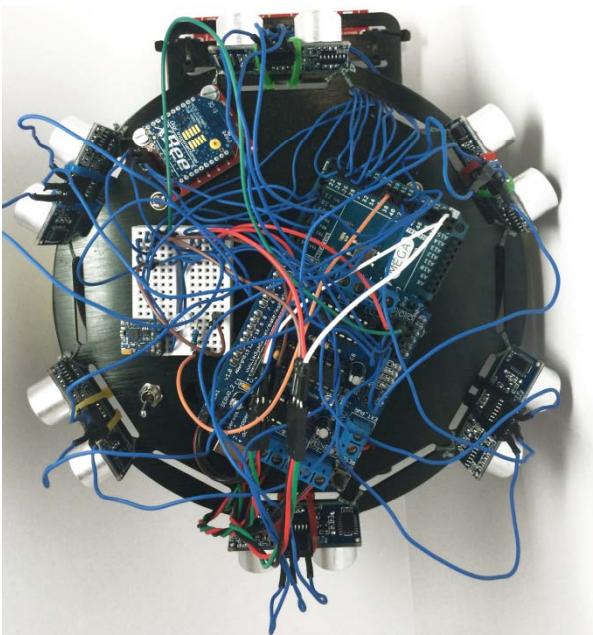
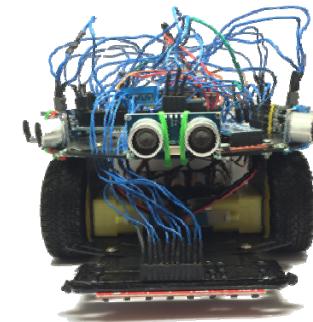
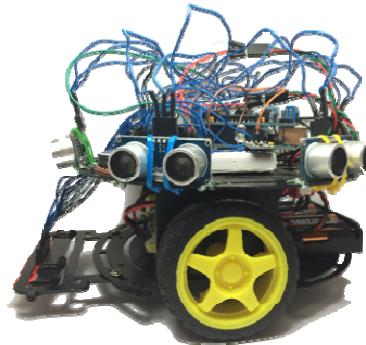
- Percepción
- Movimiento y Control
- Localización
- Mapeo
- Navegación
 - Planificación local de movimientos
 - Planificación global de movimientos
- Planificación de tareas





Percepción

- Proceso por el que un robot transforma medidas externas de sensores en una representación interna del entorno



- Ángulo de visión de 15º
- Problemas para percibir superficies diagonales
- Lectura costosa en tiempo
- Array de valores representando 360º con valores no válidos

Movimiento: Dinámica y control

Control PID

- Técnica estándar (industria) para mantener un sistema continuo cerca de un valor de consigna.
- Ejemplo: mantener la velocidad cte. a 1m/sg.

Control reactivo

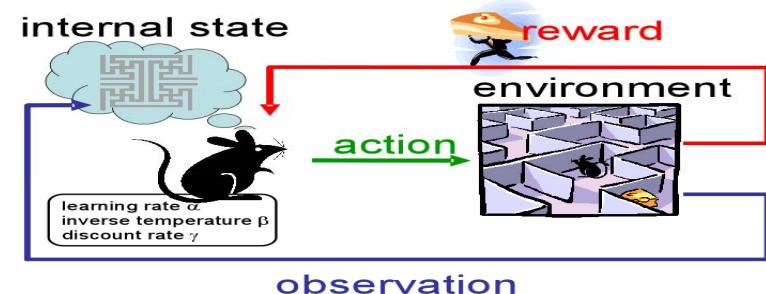
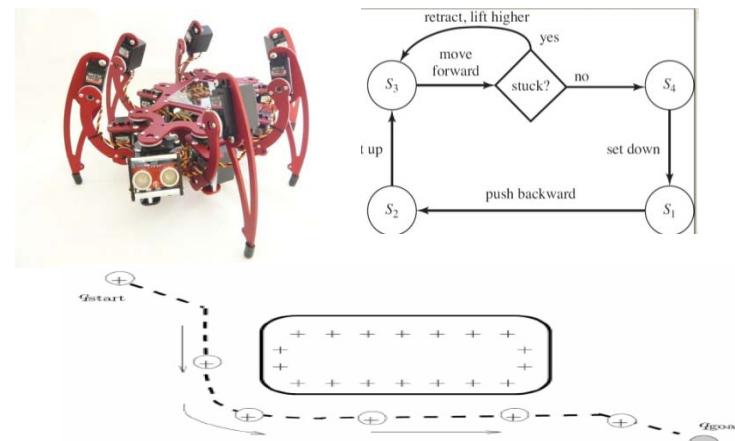
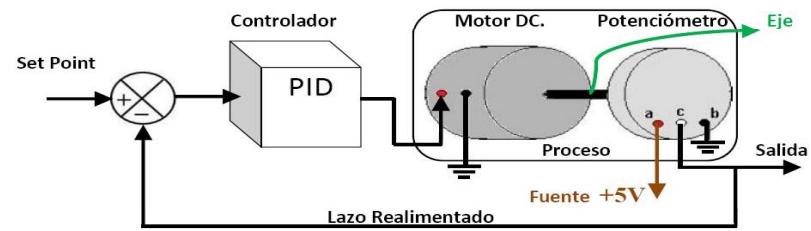
- Técnica basada en autómatas de estados (o en reglas) para controlar un sistema discreto.
- Ejemplo: Control de una pierna de un hexápedo.

Control de campo de potencial

- Técnica usada para mantener un sistema en la consecución de un objetivo.
- Ejemplo: consigue llegar a la posición (x,y).

Control por aprendizaje por refuerzo

- Técnica usada cuando el sistema es desestructurado y no hay un modelo previo.
- Ejemplo: encontrar las reglas de comportamiento para un robot bípedo.



Movimiento: Dinámica y control

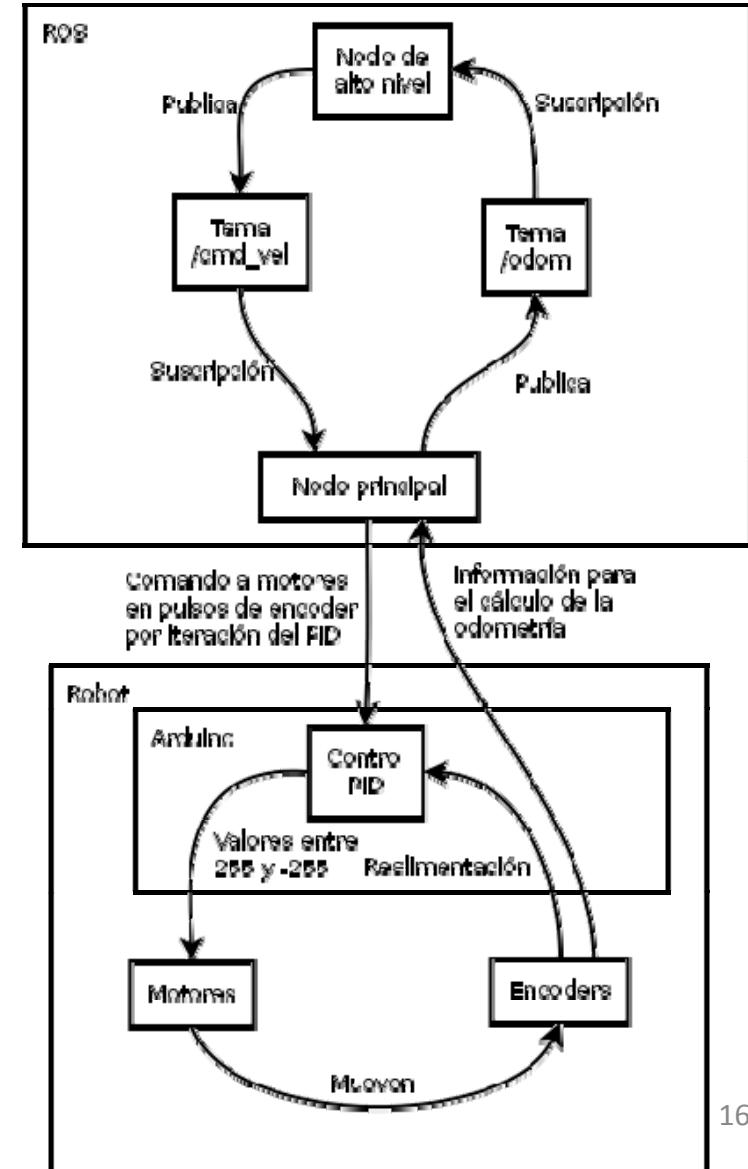
- Se usan los motores, los encoders y la brújula
- Resolución de los encoders: 20 pulsos por revolución. Unidireccionales
- Control PID en el robot
- El nodo de ROS recibe una velocidad lineal y una angular, y la convierte a una unidad que el robot pueda usar
- La odometría se calcula en el ordenador, combinando datos de los encoders y la brújula
- **El control de bajo nivel del robot se implementa en el lado del robot, pero ¿dónde implemento el comportamiento reactivo?**



Deambulación evitando obstáculos



Seguimiento de líneas en el suelo



Comunicación Robot-Alto Nivel

- El ordenador envía comandos sencillos al robot. Por ejemplo “m 0.3 0.3”
- El robot realiza la orden y devuelve los datos generados
- Se usan los módulos Xbee, que están configurados para crear un vínculo entre ellos
- Además, el robot tiene un LED que da feedback del punto de la ejecución en el que se encuentra
- **La latencia de la comunicación influye en la percepción y el control de movimientos**

```
//Processing Sketch
import processing.serial.*;

Serial port;           Make sure the serial port is the right one.

void setup() {
  String XBeePort = Serial.list()[0];
  port = new Serial(this, XBeePort, 9600);
}

void draw() {
  ...
  port.write(cs);
}

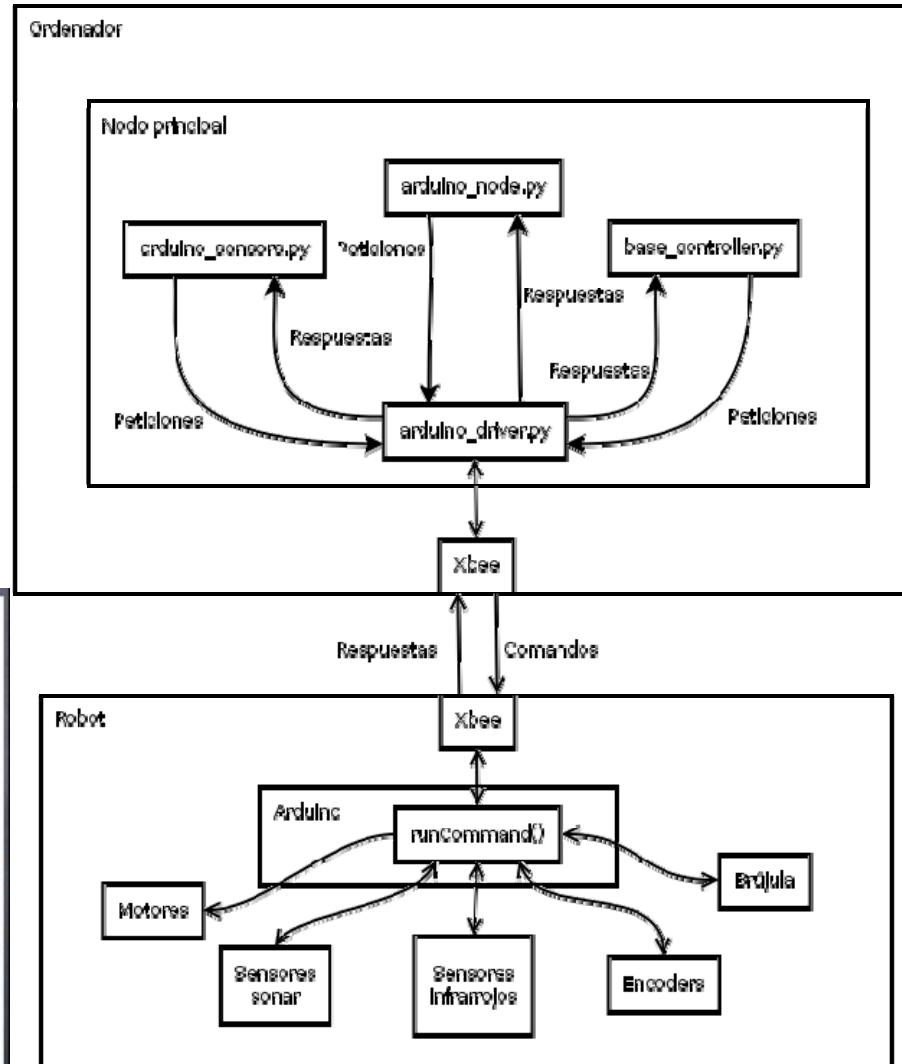
if(port.available() > 0)
  int inByte = port.read();
}
```

```
//Arduino Sketch
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial XBeeSerial = SoftwareSerial(10, 9);

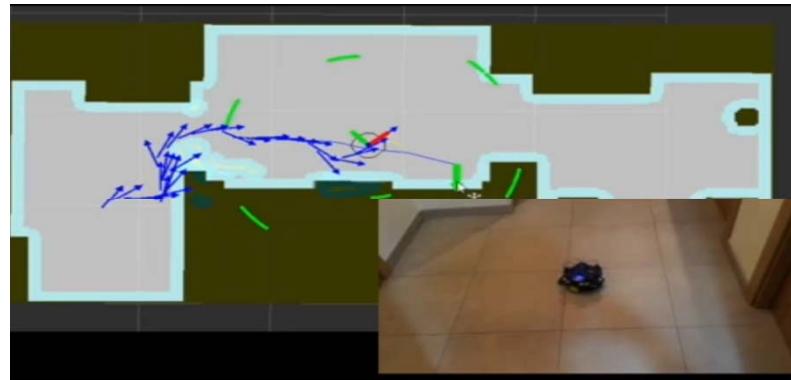
int i;
void setup() {
  XBeeSerial.begin(9600);
}

void loop()
{
  // listen for w if (XBeeSerial.available() > 0)
  ...
}
```



Localización

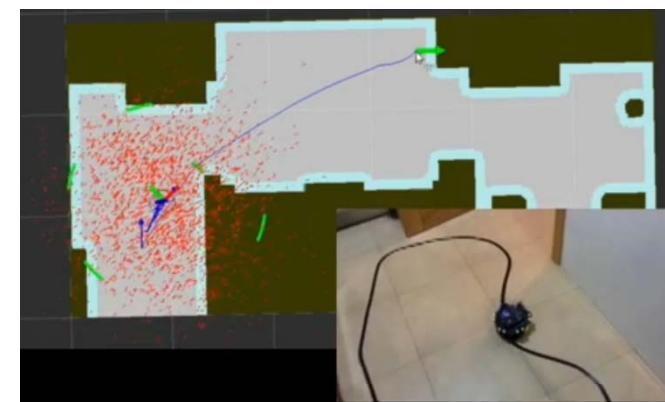
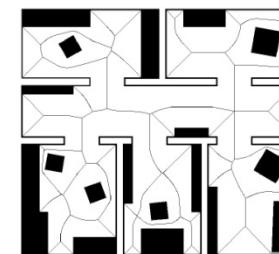
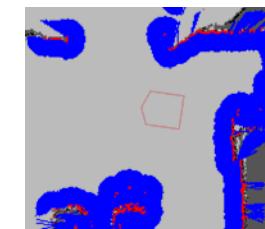
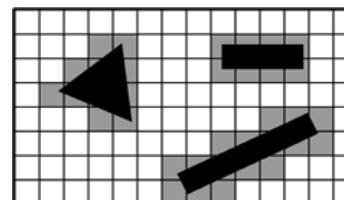
- El problema de encontrar donde están las cosas, incluido el robot mismo.
 - Localización sin mapa: usando la información de posición (odometría) que se calcula dentro del robot (sensores propioceptivos).
 - Sujeto a errores de estimación



Localización usando los datos de la odometría

Localización con mapa conocido

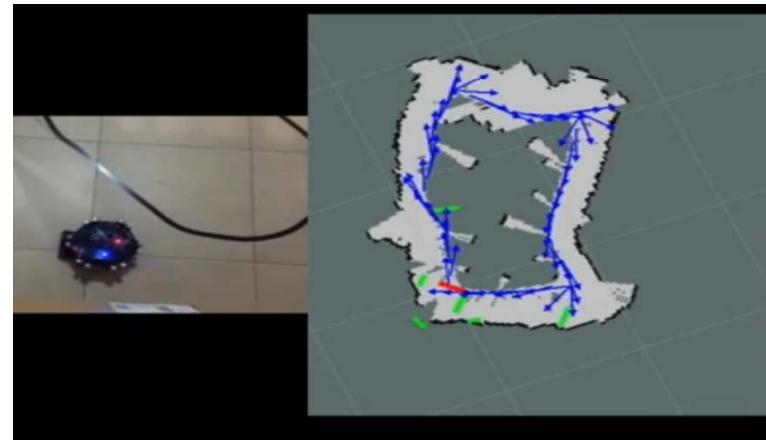
- Requiere dos etapas:
 1. Discretización del espacio
 - Descomposición en celdas
 - Matriz de ocupación.
 - Mapas de coste
 - Esqueletización
 - Grafo de Voronoi
 2. Localización a partir de un mapa conocido del entorno.
 - Localización con hitos (landmarks)
 - Localización con sensores de rango
 - AMCL: Adaptive Monte Carlo Localization



[Localización usando amcl](#)

Localización y Mapeo

- Localización sin mapa inicial
 - Mapeo
 - Detección del mapa del entorno, con localización conocida (irreal excepto en simulación)
 - SLAM
 - Simultaneous localization and Mapping
 - Etiquetado de mapas

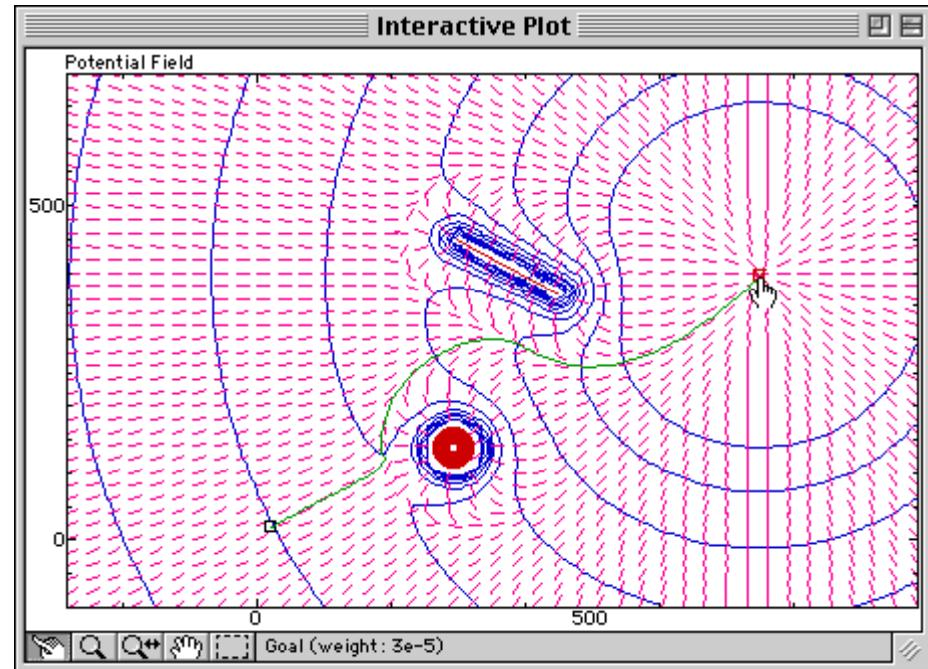


SLAM

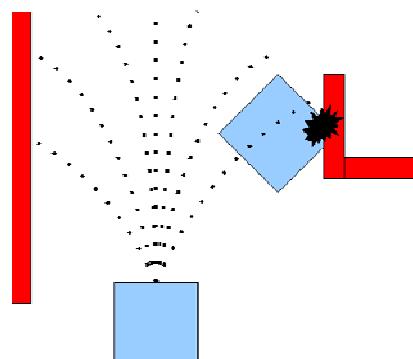


Planificación de movimientos

- Planificación local (punto a punto)
 - Enviar el robot desde su posición hasta una ubicación objetivo
 - Campos de potencial
 - Campo de fuerzas virtuales
 - Histograma de vectores de campo
 - Dynamic window approach
 - Trajectory Rollout

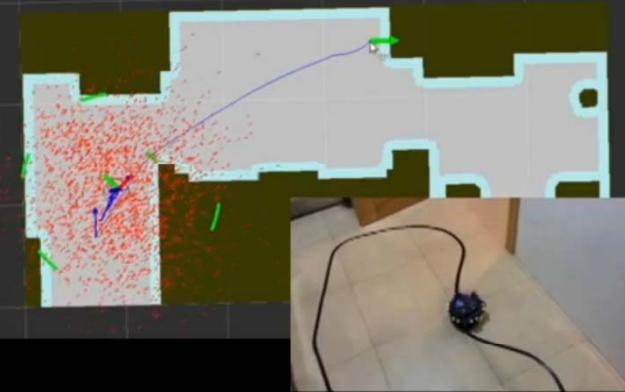


[Navegación local mediante campos de](#)

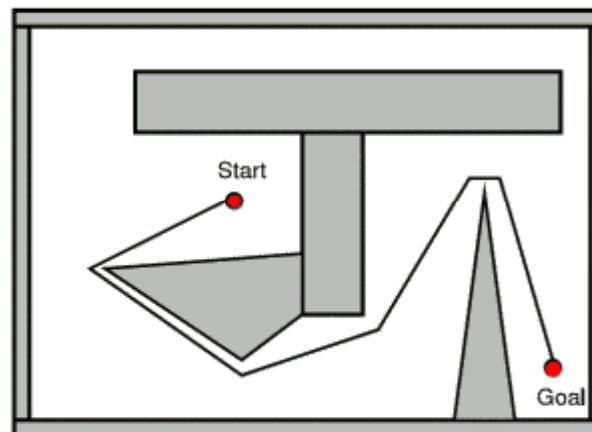


Planificación de movimientos

- Planificación de rutas
(path planning)
 - hacer que el robot siga una ruta especificada como un conjunto de puntos
 - Busqueda en grafos
 - A* y sus variantes



Navegación global (calculando ruta previa)



Temporización Practica 1

- Plan Sesiones
 - Sesión 1: 22, 23 Febrero
 - Introducción robótica. Introducción ROS.
 - Formación de los grupos de trabajo.
 - Sesión 2: 1 Marzo (**Sesión conjunta en Aula 0.7**)
 - Programación en ROS. Control básico en simulador STAGE
 - Sesión 3: 7,8 Marzo
 - Planificación local.
 - Sesión 4: 14, 15 Marzo
 - Planificación global.
 - Sesión 5: 29 Marzo (**Sesión conjunta en Aula 0.7**)
 - Resolución de dudas. Localización y mapeo simultáneos (SLAM).
 - Sesión 6: 4 Abril
 - Defensa de la práctica.
 - Entrega de la práctica: 3 de abril.

Sesion 1

- Seminario
 - Introducción
 - Definiciones básicas
 - Categorías de robots
 - Hardware de robots
 - Arquitecturas de agentes
 - Sensores
 - Tipos de sensores
 - Detectores de rango (range finders)
 - Sensores de ubicación
 - Sensores propioceptivos
 - Efectores
 - Grados de libertad en Manipuladores (Espacio tridimensional)
- Sesión Práctica
 - Introducción a ROS.

Seminario

- Introducción
- Hardware de robots
- Percepción robótica

Introducción

- Definiciones básicas
 - Robot
 - Sensor
 - Efecto
 - Actuador
- Categorías de robots
 - Manipulador o brazo-robot
 - Robot móvil
 - Manipulador móvil

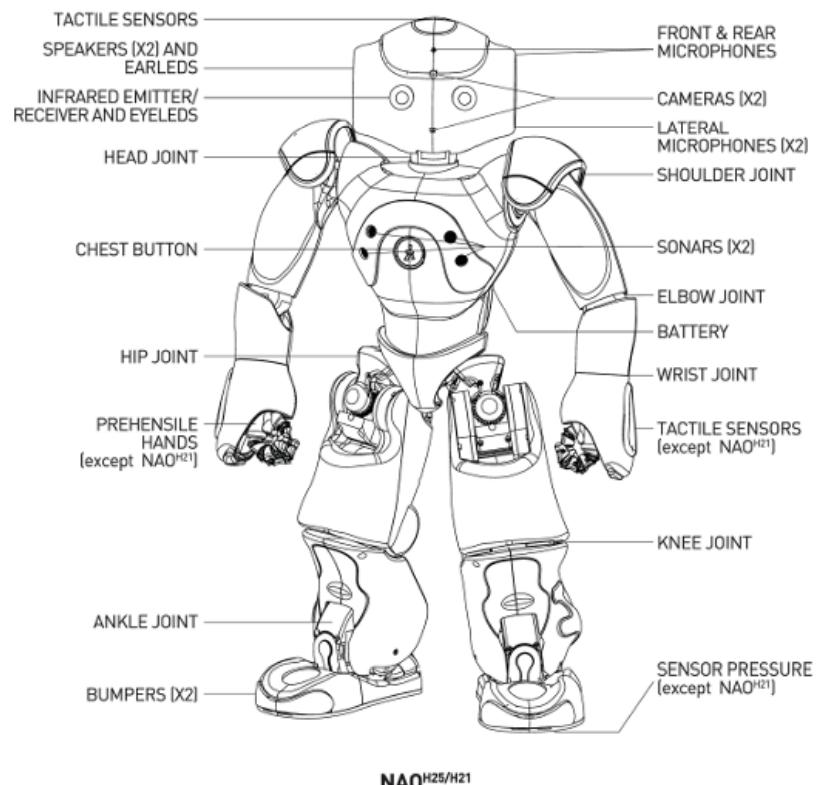
Definiciones básicas

- Robot
 - Agente físico que realiza tareas mediante la interactuación con el mundo físico: percepción y manipulación del mundo físico.
- Sensor
 - Dispositivo que permite a un robot percibir el entorno
 - En la actualidad un robot está dotado de varios conjuntos de sensores
 - Cámaras y lasers para medir el entorno
 - Giróscopos o acelerómetros para medir el movimiento propio del robot



Definiciones básicas (2)

- Efector
 - Dispositivo para manipular o modificar su entorno
 - Piernas, ruedas, articulaciones, pinzas,...
 - Propósito: hacer efectivas fuerzas físicas en el entorno.
- Actuador
 - Distinguirlo del efector: es la línea de control que comunica una orden al efector.
 - Aunque no es la única definición



NAO^{H25/H21}

Categorías de robots

- Manipulador o brazo-robot
- Robot móvil
- Manipulador móvil
 - Humanoides /antropomorfos
- Especial:
 - Hobby, semi-profesional.
 - Robots sociales.

Categorías de robots

- Manipulador o brazo-robot
 - Robots anclados físicamente en su espacio de trabajo
 - <https://www.youtube.com/watch?NR=1&v=oIpkRWnMH4&feature=fvwp>
 - Líneas de ensamblado
 - ISS
 - Movimiento involucra el control de una cadena de articulaciones controlables, habilitándolos a situar sus efectores en cualquier posición accesible desde el espacio de trabajo.
 - Tipo más común de robots industriales (más de un millón instalados)
 - Algunos manipuladores móviles asisten a cirujanos
 - [Primer curso de cirugía robótica Da Vinci en CMAT - YouTube](#)
 - [Woman Uses Her Thought to Control Robot to Feed Chocolate -Amazing New Technology news - YouTube](#)



Categorías de robots (2)

- Robot móvil
 - Se mueven en su entorno usando ruedas, piernas o mecanismos similares.
 - Distribuyen comida en hospitales
 - Mueven containers en muelles de carga
 - Laboratorios
- Subcategorías:
 - Vehículos Terrestres autotripulados
 - automóviles
 - rovers planetarios
 - Vehículos Aéreos autotripulados
 - Drones
 - Vehículos submarinos autoripulados



<http://www.ArmyRecognition.com> Army Recognition

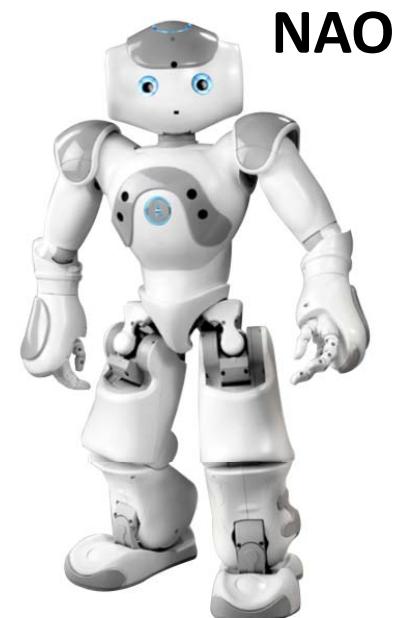


<http://www.ArmyRecognition.com> Army Recognition



Categorías de robots (3)

- Manipulador móvil
 - Robots humanoides



DARPA ROBOTICS CHALLENGE

Objetivo

Desarrollar robots semi-autónomos capaces de llevar a cabo tareas complejas en ambientes agresivos (como operaciones de rescate en catástrofes).

No hay previstas más ediciones a partir de 2015.

<http://www.theroboticschallenge.org/>

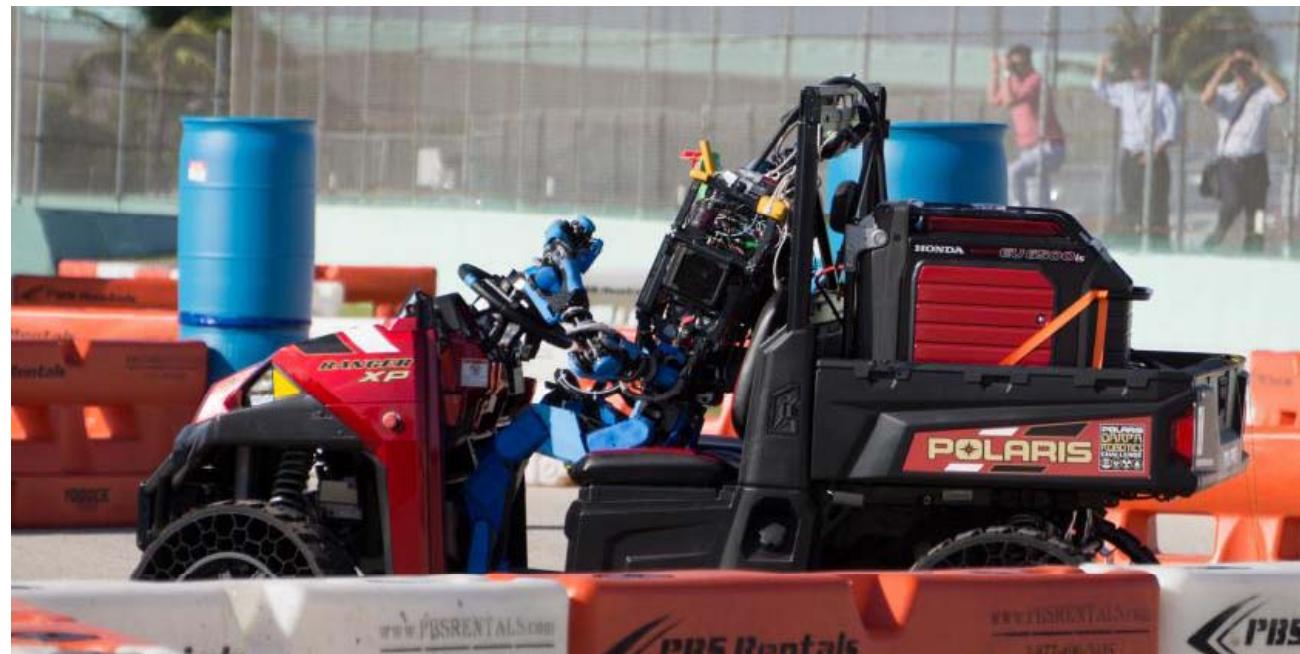
Robot campeón en 2015
<https://www.youtube.com/watch?v=4BL4BwRuG6o>

Humanoides

<https://www.youtube.com/watch?v=nlyuC7ceFH0>

Cheetah

https://www.youtube.com/watch?v=_luhn7TLfWU



Objetivo

Promover investigación en robótica e IA. Desafíos complejos pero atractivos al público general.
Iniciada en 1997.

<http://en.wikipedia.org/wiki/RoboCup>

<http://www.robocup.org/>



RoboCup

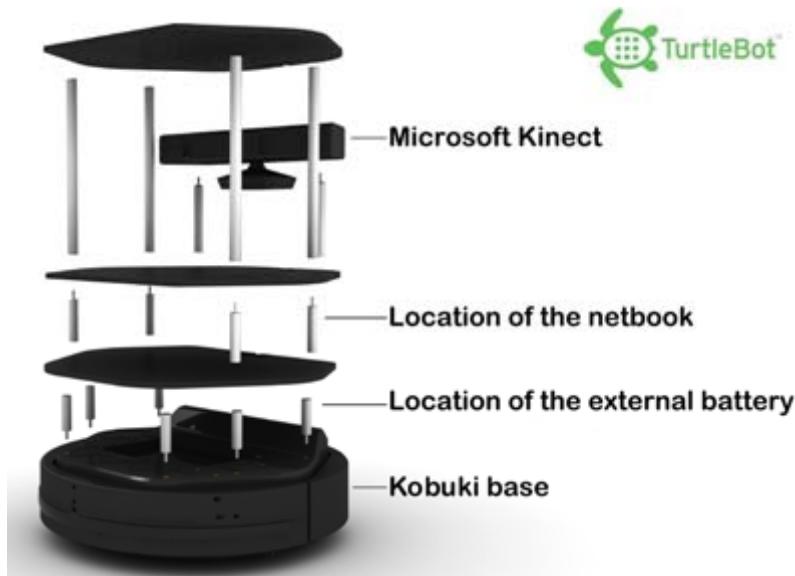
<http://www.robocup2014.org/>

Vídeo en youtube:

[RoboCup 2014 Some Best Goals an Moves Highlights ...](#)

Robots educación, investigación, lúdica, semi-profesional

- Educación:
 - Turtlebot (ROS)
 - <http://wiki.ros.org/Robots/TurtleBot>

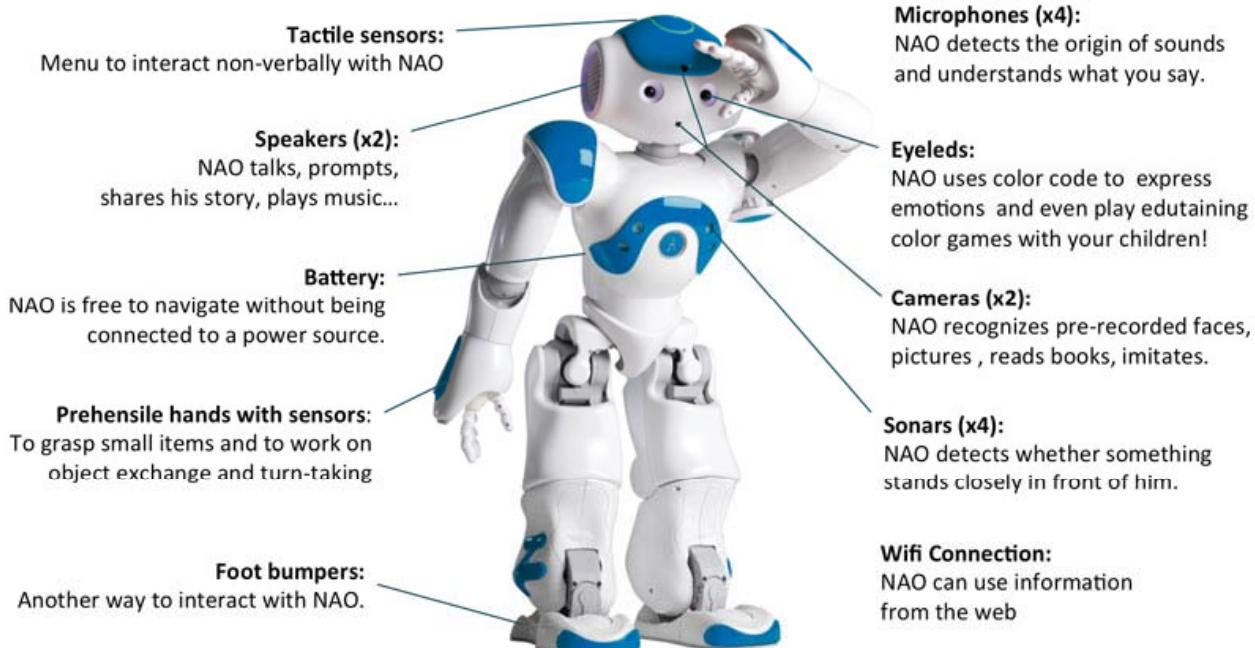


<http://turtlebot.com/>



Robots educación, investigación, lúdica, semi-profesional

- Investigación:
 - NAO
 - <http://wiki.ros.org/nao>

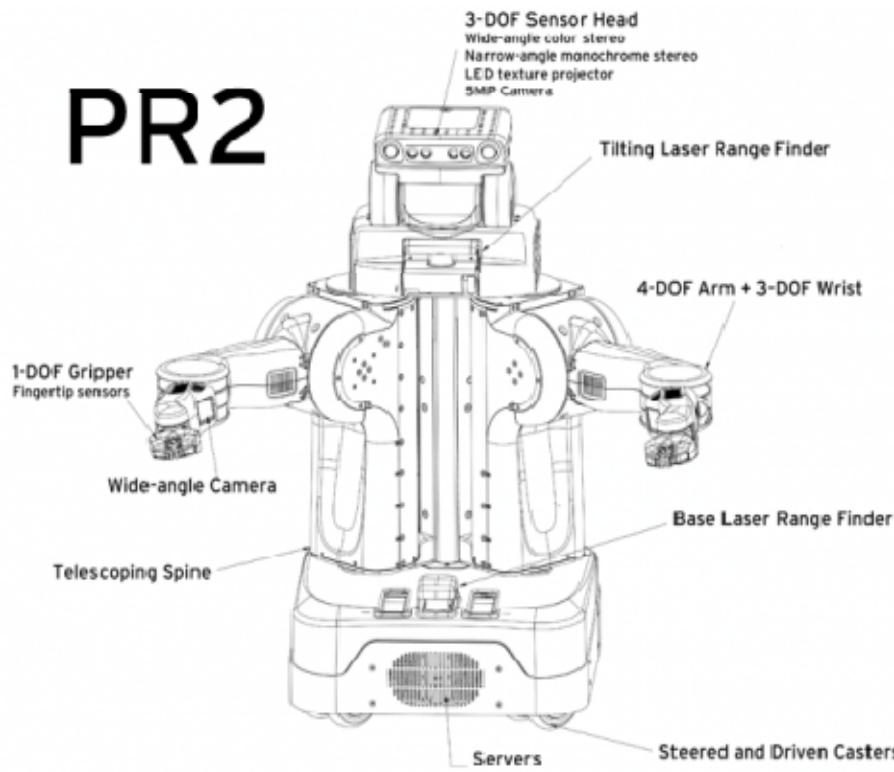


<https://www.aldebaran.com/en/humanoid-robot/nao-robot>

Robots educación, investigación, lúdica, semi-profesional

- Investigación:
 - PR2
 - <http://wiki.ros.org/Robots/PR2>

PR2



Robots educación, investigación, lúdica, semi-profesional

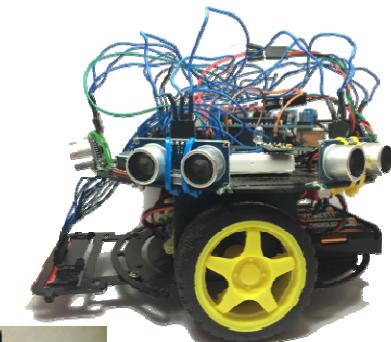
Lego MindStorms

- <http://www.lego.com/es-ar/mindstorms>



MakeBlocks

- <http://www.makeblock.es/>



Robots Arduino

- <http://arduino.cc/en/main/robot>



Robots Raspberry

- <http://www.raspberrypi.org/tag/robots>
- <http://wiki.ros.org/ROSberryPi>

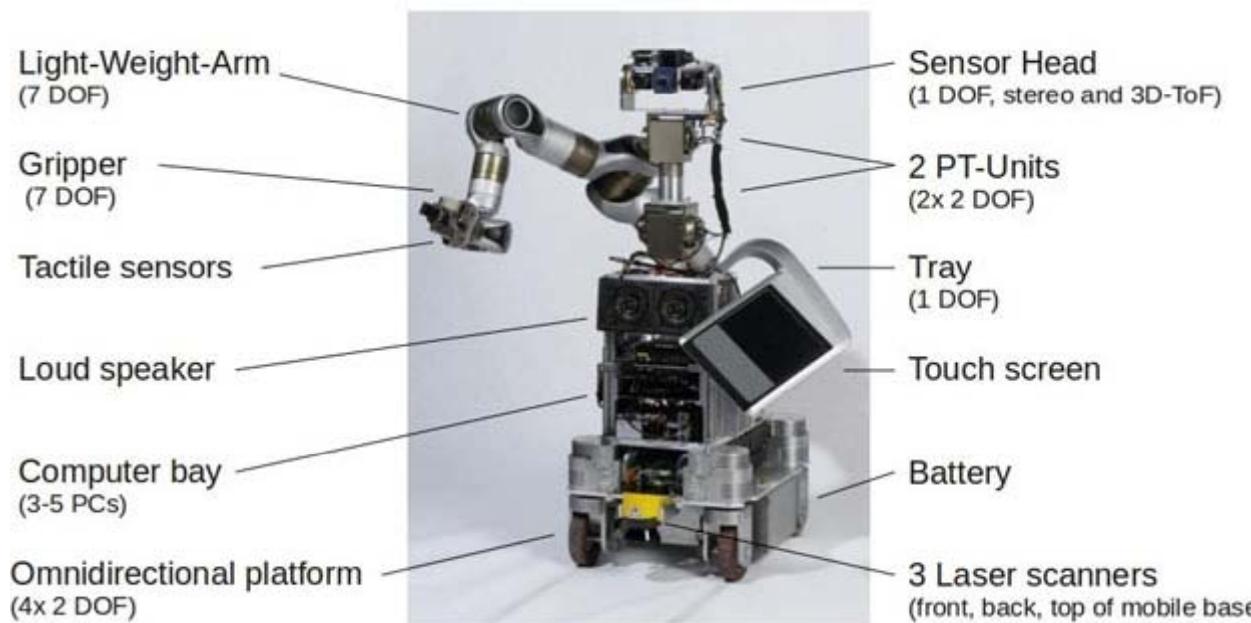


PI Robot

- <http://www.pirobot.org/wordpress/>

Robots educación, investigación, lúdica, semi-profesional

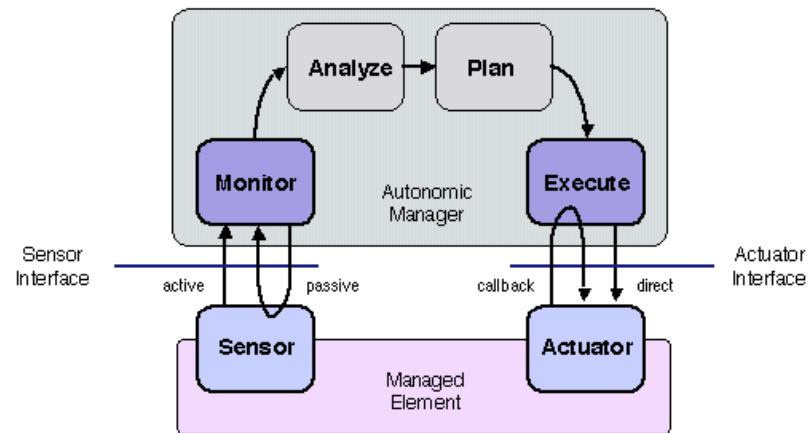
- Robots sociales
 - Kismet
 - de museo ...
 - Jibo
 - <http://www.myjibo.com/>
 - Care-O-bot
 - <http://wiki.ros.org/Robots/Care-O-bot>



SENSORES

Arquitecturas de agentes

1. Percibir con sensores
 2. Procesar con programas
 3. Actuar con efectores
-
- El éxito de un robot real depende mucho de sensores y efectores.
 - Es el principal obstáculo para la adopción generalizada de robots.



Sensores

- Sensor
 - Interfaz perceptual entre el robot y su entorno
- Sensor activo (p.ej: sonar,láser)
 - envía energía al entorno que se refleja y vuelve al sensor
- Sensor pasivo (p.ej: cámara)
 - captura señales generadas por fuentes externas
- Los sensores activos facilitan más información que los pasivos
 - A costa de más energía y peligro de interferencias

Tipos de sensores

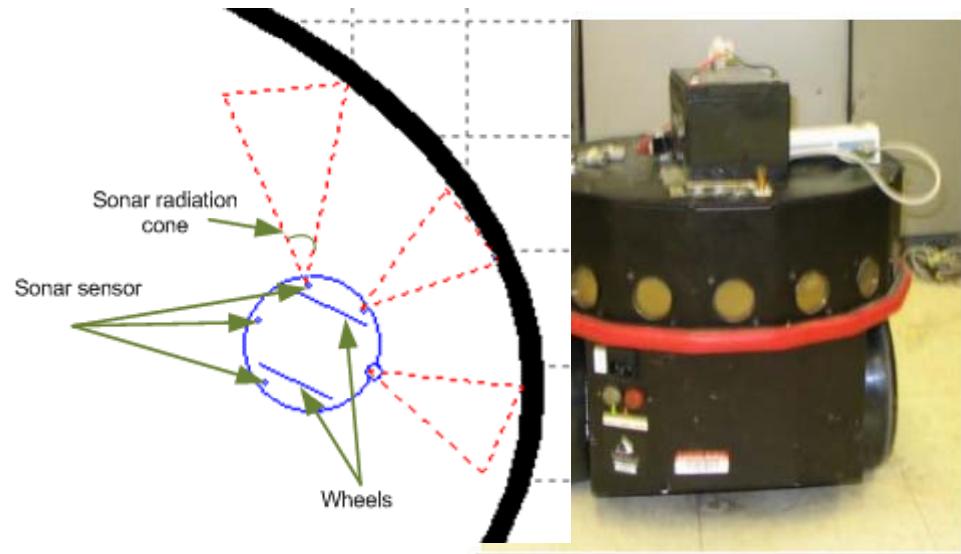
- clasificados en función de qué detectan
 - Sensores (o detectores) de rango: detectan objetos y su distancia en el entorno
 - Sensores de ubicación: detectan la posición o localización del robot
 - Sensores propioceptivos: informan sobre/detectan la configuración interna del robot

Detectores de rango (range finders)

- Sensores que miden la distancia (range) a objetos cercanos
 - Sonars
 - Infrarrojos
 - Camaras (estero visión)

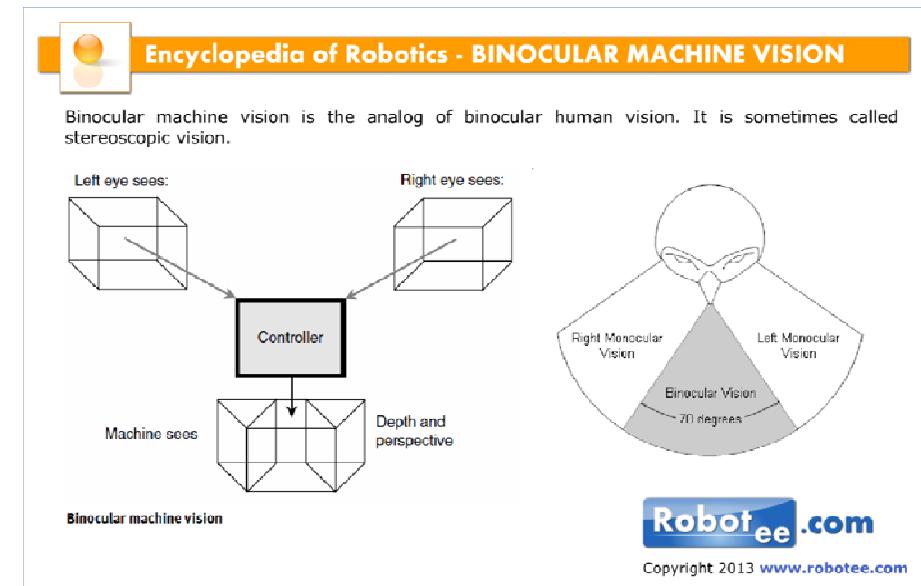
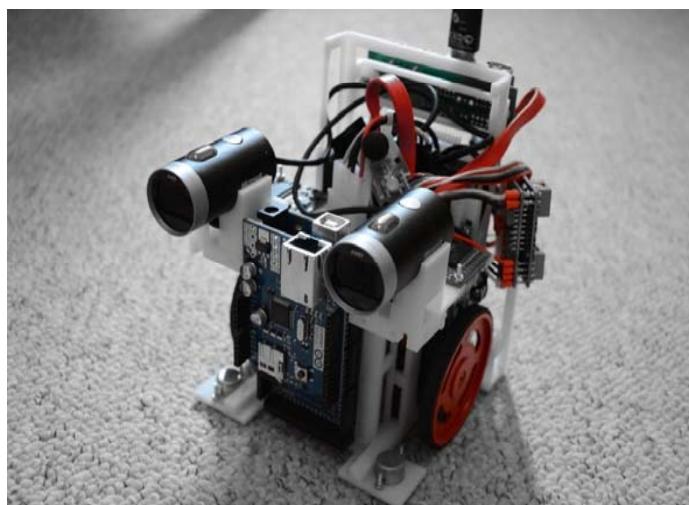
Range finders: Sensores sonar

- Emiten ondas de sonido dirigidas, reflejadas por objetos y recogidas por el sensor
- Distancia = $f(\text{tiempo retorno, intensidad señal})$
- Un amplio campo de visión = Varios sensores sonar distribuidos



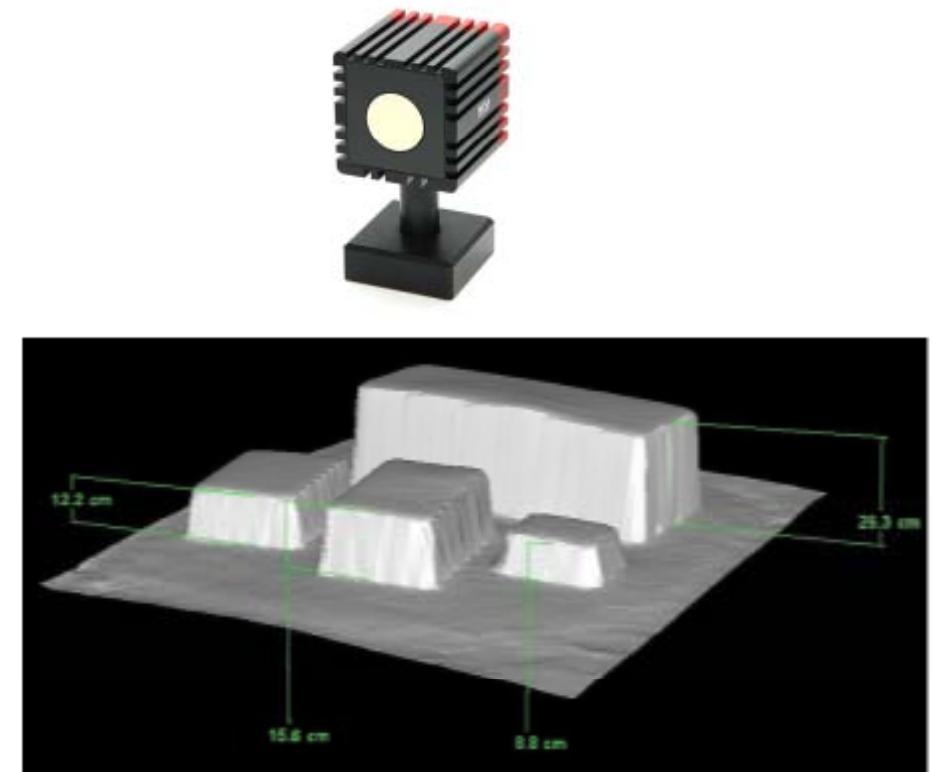
Cámaras digitales estéreo

- Usadas para visión estéreo
- Cálculo de la distancia de objetos a partir de distintos puntos de vista y analizando paralaje
- Actualmente sonar y visión estéreo son usados raramente por no ser fiables.



Detectores de rango ópticos (láser)

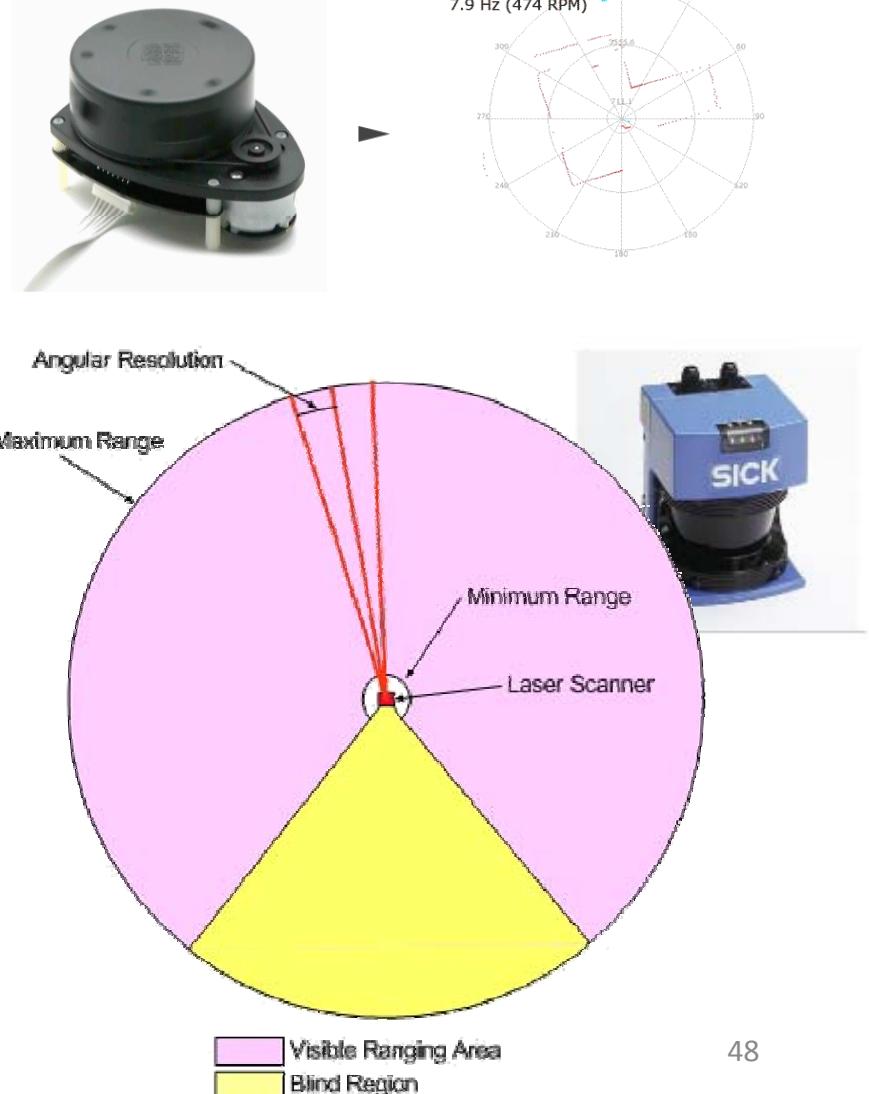
- Emiten señales de luz (láser normalmente). Calculan distancia a partir de la medida del tiempo de reflexión.
- Cámaras de tiempo de vuelo (time of flight cameras)
 - Obtienen imágenes de rango a unos 60 fps.



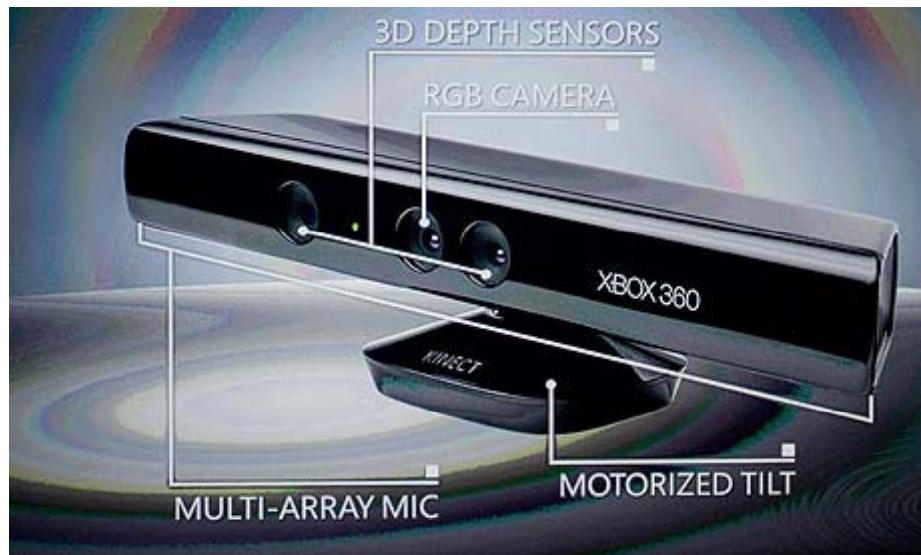
Sensores láser (LIDAR)

<http://www.robotshop.com/en/rplidar-360-laser-scanner.html>

- Usan haces láser y cámaras de un pixel que se orientan usando complejas configuraciones de espejos/rotaciones
- Obienen mayores rangos que las cámaras de tiempo de vuelo y funcionan mejor en luz natural.



Kinect



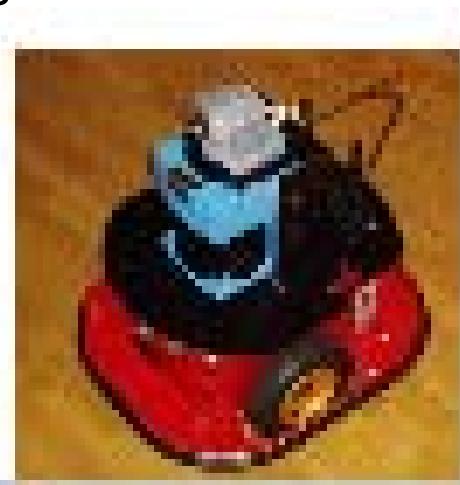
- Sensor asequible
 - Captura 3D en tiempo real
 - Un laser es más caro y captura 2D
 - Ok en interiores, mal en exterior

- Aplicaciones:
 - Navegación, reconocimiento, seguimiento, detección de rango, órdenes por voz.



Otros

- RADAR
 - Vehículos Aéreos no tripulados
- Sensores táctiles
 - basados en contacto físico, para objetos muy próximos
 - whiskers (pelos)
 - bumpers
 - piel sensible al contacto (touch-sensitive skin)

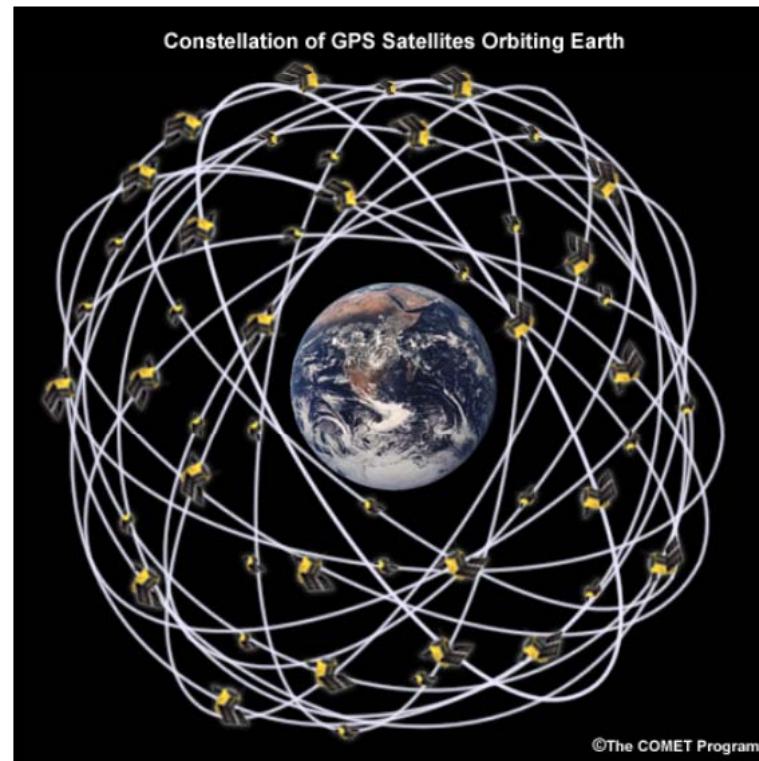


Sensores de ubicación

- Informan sobre la posición del robot.
- el problema de localización no es trivial.
 - En el interior muchos algoritmos parten de sensores de rango como un componente primario para determinar la localización
 - Usando algoritmos de localización.

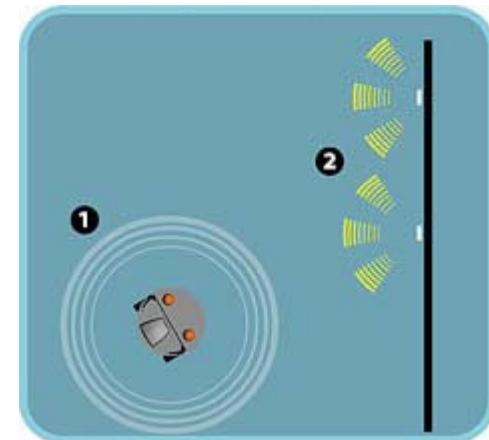
Sensores de ubicación (2)

- GPS
 - La solución más común para localización en el exterior
 - 31 satélites en órbita transmiten señales
 - Receptores GPS determinan distancia a cada satélite
 - Ubicación absoluta por :Triangulación de señales de múltiples satélites.
 - Error de pocos metros
 - GPS Diferencial
 - Involucra un segundo receptor en tierra, facilitando precisión milimétrica.



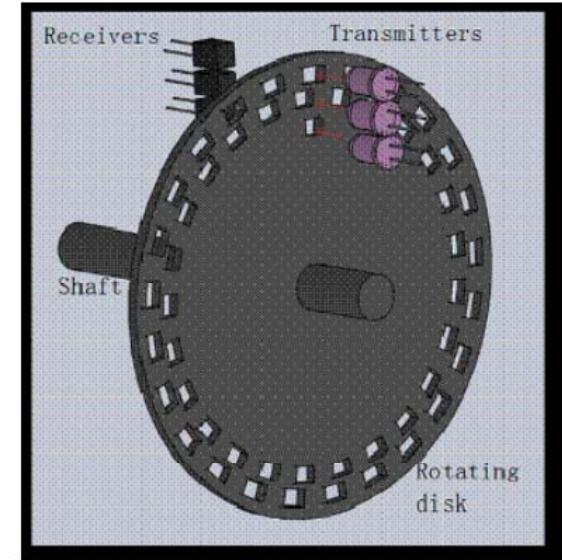
Sensores de ubicación (3)

- GPS no funciona en el interior ni en entornos submarinos
 - Uso de balizas de interior (p.ej.: landmarks en robocup).
 - Uso de repetidores wifi
 - Balizas sonar submarinas.



Sensores propioceptivos

- Informan al robot de su propio movimiento
- **Encoders:** cuentan las revoluciones de un motor en pequeños incrementos.
 - Manipuladores: conocer la posición de una articulación
 - Robots móviles: revoluciones de una rueda

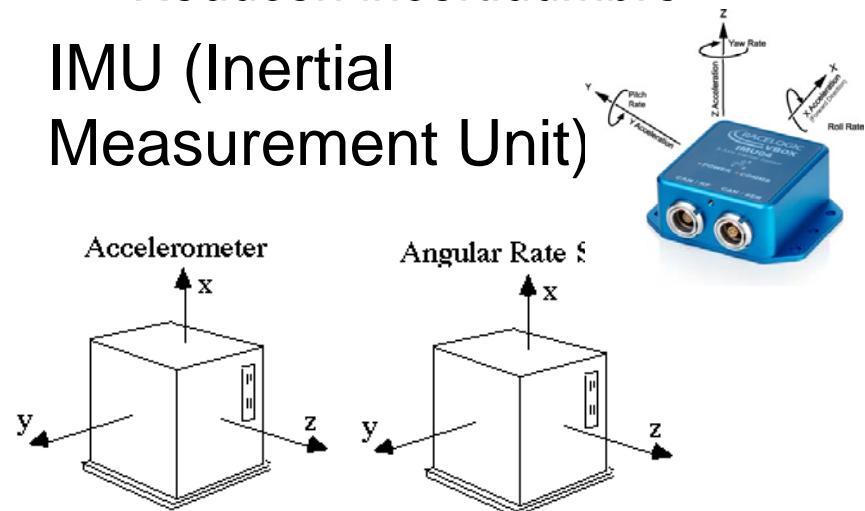


Odometría:

- Concepto esencial en robot móviles.
 - medida o estimación de la posición de vehículos con ruedas durante la navegación
 - hodos = viaje, trayecto
 - metron = medida
- Es la obtención de la **Pose** de un robot
 - Pose = (posición cartesiana, orientación) =
 $(x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$
- Odometría basada en encoders no es precisa, solo fiable para distancias cortas
 - Las ruedas patinan!

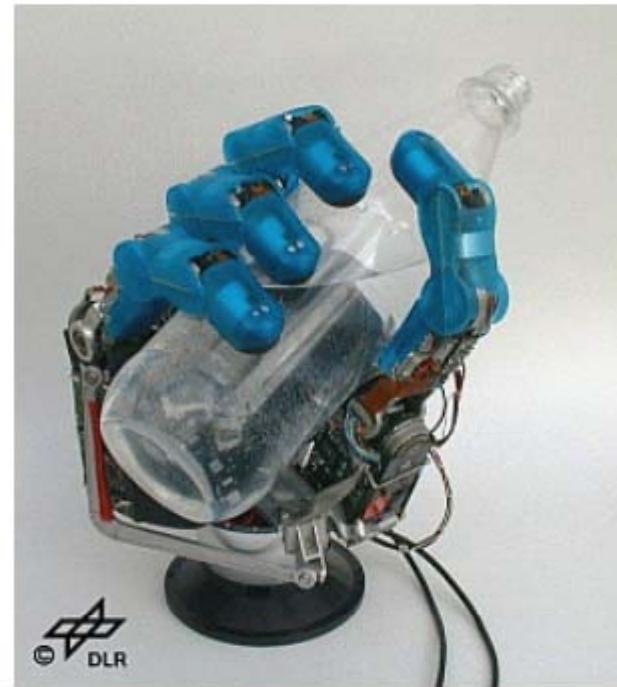
Incertidumbre en odometría

- La incertidumbre siempre está presente en la medida de posiciones
 - Encoders con poca resolución.
 - Patinaje de ruedas (en robots móviles)
 - Fuerzas externas en vehículos terrestres
 - El viento en vehículos aéreos.
- Solución parcial:
Sensores iniciales (giróscopos)
 - se basan en la resistencia de una masa al cambio de velocidad
 - Reducen incertidumbre.
- IMU (Inertial Measurement Unit)



Sensores de fuerza o de torque

- Convierten torsión mecánica en señales eléctricas
- Indispensables para manejar objetos frágiles



EFFECTORES

Efectores

- Los efectores son el medio por el que los robots se mueven y cambian la forma de su cuerpo
- Hablaremos sobre movimiento y forma a un nivel lógico, no físico.

Grado de Libertad (Degree of freedom: DOF).

- Cada una de las direcciones independientes (desplazamiento o rotación) en la que un robot (o uno de sus efectores) puede moverse.

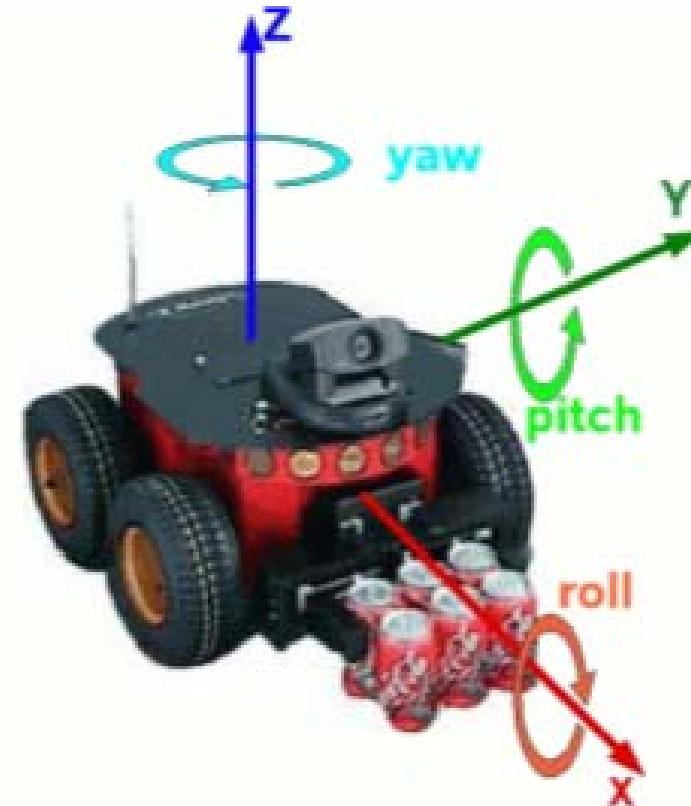
Ejemplo robot móvil aéreo:

- Espacio tridimensional:
6 grados de libertad
 - Posición espacio: x,y,z
 - Orientación (términos náuticos):
 - roll (inclinación) giro en eje X
 - pitch(cabeceo) giro en eje Y
 - yaw(viraje): giro en eje Z



Robot móvil estándar terrestre:

- Espacio bidimensional:
3 grados de libertad
 - Situación en el espacio:
 x,y,z (z normalmente 0)
 - Orientación: pitch = roll
 $= 0$
 - Pose = $(x,y,0,yaw)$
 - La imagen engaña: este robot puede tener “yaw”



Estado cinemático

- Los grados de libertad definen el estado cinemático o "pose" de un robot
 - Robot aéreo: (x,y,z, roll, pitch, yaw)
 - Robot móvil: (x,y,z,yaw)
- O de otra forma: los grados de libertad se corresponden con las coordenadas que necesitamos para definir el estado cinemático o "**pose**"

Estado dinámico

- Incluye información sobre
 - posición + movimiento
- Posición:
 - pose = (x, y, z, yaw)
- Una velocidad por cada parámetro del estado cinemático
 - velocidades = (v_x, v_y, v_z, w)

Grados de libertad en Robots móviles (Espacio bidimensional)

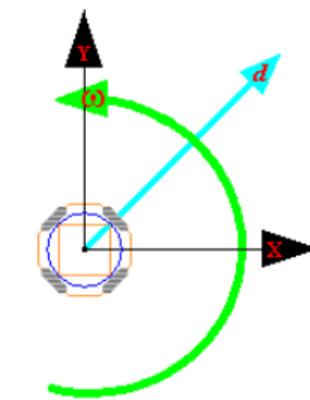
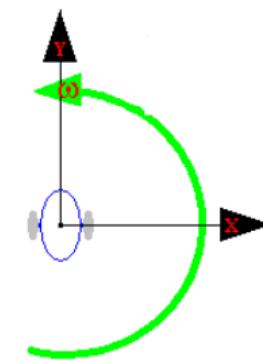
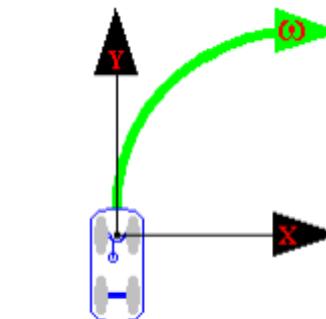
- No es necesario el mismo número de GDL que el número de elementos controlables
- Ejemplo: un coche estándar
 - Pose: $(x,y,0,yaw) = (x,y,yaw)$:: 3 dimensiones
 - Movimientos posibles:
 - Se mueve adelante/atrás
 - Puede girar un ángulo
- **Grados de libertad efectivos** = dimensiones de su estado cinemático
- **Grados de libertad controlables**: numero de componentes sobre las que se puede actuar

Holonómico vs No Holonómico

- Robot no holonómico
 - Grados de libertad efectivos > Grados de libertad controlables
 - Coche
- Robot holonómico
 - Grados efectivos = Grados controlables
 - Es más fácil controlar un robot holonómico que un no holonómico
 - Un robot holonómico es más complejo mecánicamente
- En general
 - Manipuladores son holonómicos
 - Robots móviles son no-holonómicos

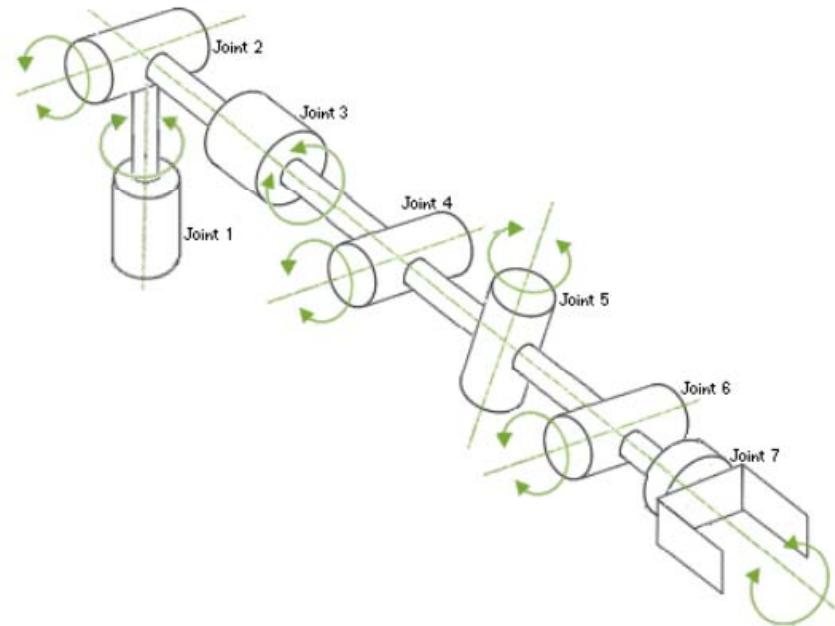
Conducción en Robot móviles

- Conducción tipo-coche (car-like drive)
 - Dirección: hacia delante, hacia atrás.
 - Ángulo de conducción
- Conducción diferencial (differential drive)
 - Dos ruedas actuadas independientemente (o cadenas como los tanques)
 - Puede girar sobre sí mismo
- Conducción sincronizada (omni drive)
 - Puede moverse en cualquier eje



Grados de libertad en Manipuladores (Espacio tridimensional)

- Los cuerpos no rígidos tienen articulaciones, cada una con uno o varios grados de libertad
 - Hombro humano: 2 grados de libertad
 - Muñeca humana: 3 grados de libertad



Grados de libertad en Manipuladores

- Lo mismo puede ocurrir con articulaciones robóticas
 - El estado cinemático de la mano de un manipulador está definido por 6 componentes.
 - (x,y,z ,roll,pitch, raw)
 - Se requieren 6 grados de libertad para situar un objeto (una mano) en un punto con una orientación particular
 - Manipulador con 5 articulaciones revolutivas y una prismática
 - Manipuladores con grados de libertad extra son más fáciles de controlar que los que solo tienen el mínimo número.
 - En la industria son habituales los de 7 grados de libertad

