

Robótica autónoma en entornos hostiles

Introducción

Facultad de Ingeniería
Instituto de Computación

Contenido

- Introducción y definiciones
- Paradigmas
- Navegación
- Aspecto de diseño de robots en entornos hostiles

Definición

- Un robot industrial es un manipulador multifuncional programable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas [RIA2004].
- Un robot inteligente es un robot del cual se espera que aprenda y ejecute tareas aún en ambientes cambiantes. Un robot inteligente es una máquina capaz de extraer información de su ambiente y usar ese conocimiento para moverse en forma segura cumpliendo un propósito y sentido [Arkin1998].
- Un robot inteligente es una criatura mecánica capaz de funcionar de manera autónoma [Murphy2000].

Evolución hacia la inteligencia

- Telemanipulador (1948).
- Manipulador industrial, Unimation (1956).
- Fábrica negra.
- Vehículos Planetarios.
- Vehículos Guiados Automáticamente.



Paradigmas

Existen tres paradigmas para organizar la inteligencia en un robot:

- Jerárquico

- Reactivo

- Híbrido Deliberativo/Reactivo

Existen tres funciones primitivas en robótica:

- Sensar (SENSE)

- Planificar (PLAN)

- Actuar (ACT)

Paradigmas

Primitivas robóticas

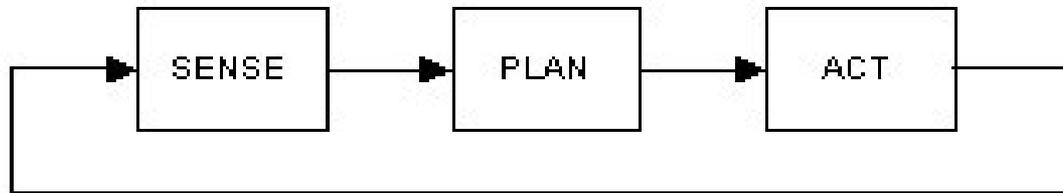
Primitiva robótica	Entrada	Salida
Sensar (SENSE)	Datos de los sensores	Información sensada
Planificar (PLAN)	Información (sensorial o cognitiva)	Directivas
Actuar (ACT)	Información sensada o directivas	Comandos a los actuadores

Jerárquico (1967-1990)

Esta basado en una visión introspectiva de cómo las personas piensan.

Secuencial y ordenado.

En cada paso se planifica que hacer.



Se arma un modelo global del mundo el cual es utilizado para planificar las acciones.

Modelo del mundo

Todas las observaciones se juntan para formar una estructura de datos global accedida por el planificador, esta estructura es denominada modelo del mundo.

El modelo del mundo típicamente contiene:

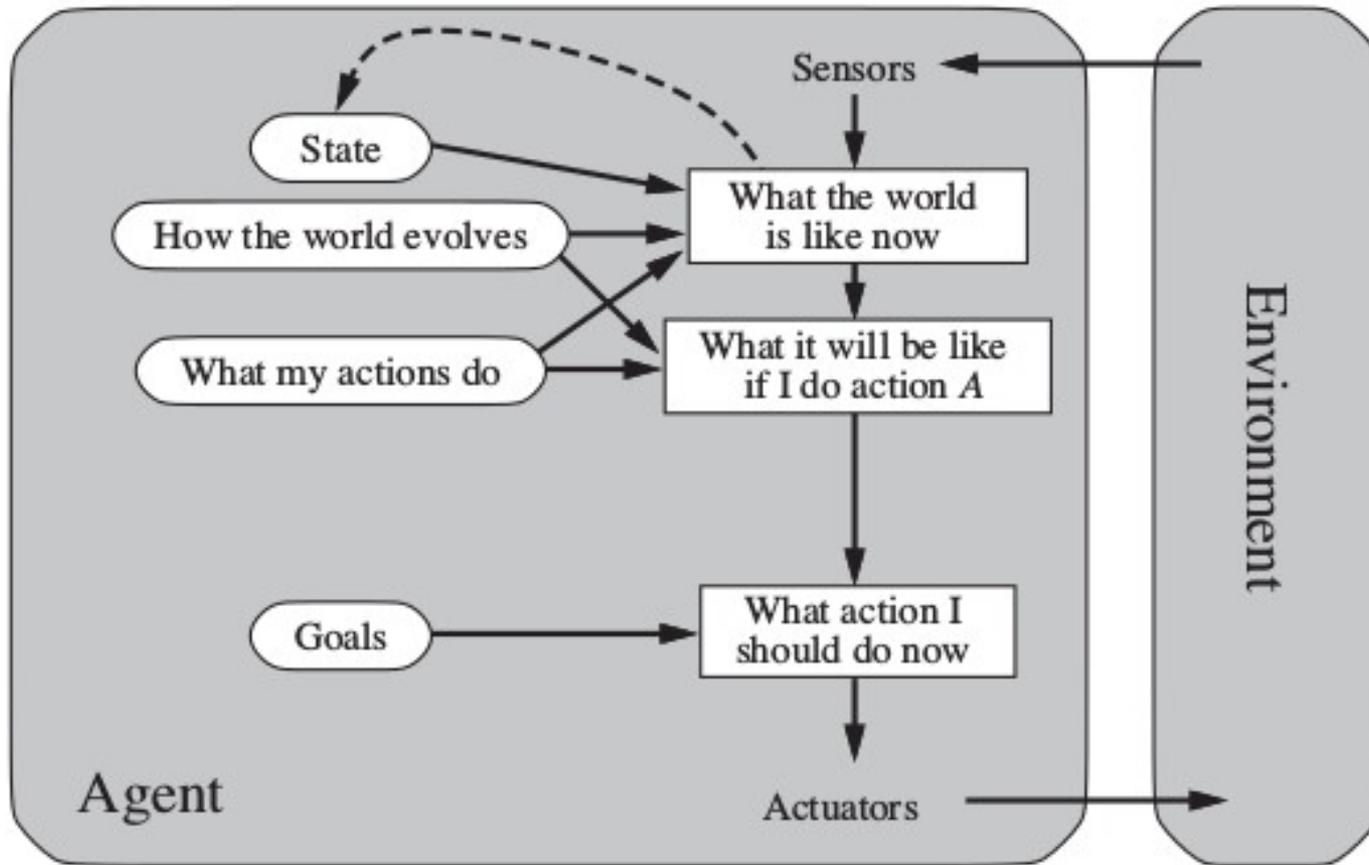
- Una representación a priori del entorno en el cual opera el robot.

- Información sensorial.

- Conocimiento necesario para realizar la tarea.

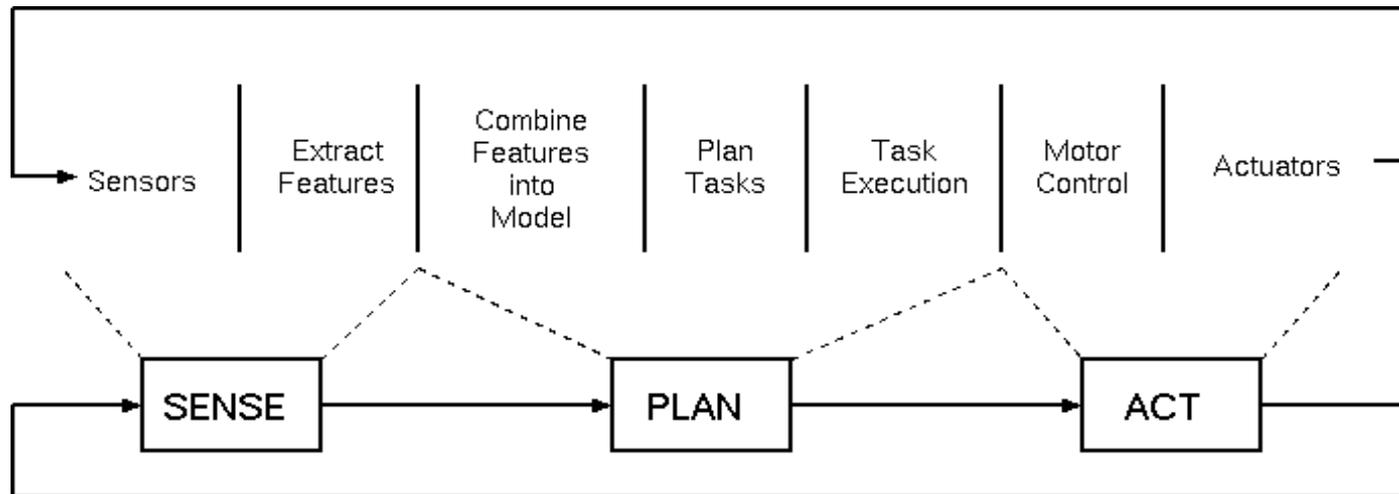
Todo lo relevante para el problema es representado por axiomas.

Agente basado en objetivos y modelo



Descomposición horizontal

Propuesta en los sistemas jerárquicos.



Shakey

Primer robot con IA.

Desarrollado por el Stanford Research Institute (SRI) para DARPA 1967-9.

Usa STRIP para determinar que acción tomar.

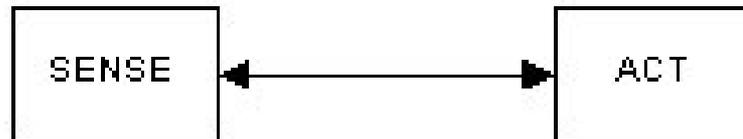
Costo u\$s 100.000.



Reactivo (1988-1992)

Nace a partir de las desventajas de los sistemas jerárquicos y bajo la influencia de la Etología y Psicología Cognitiva.

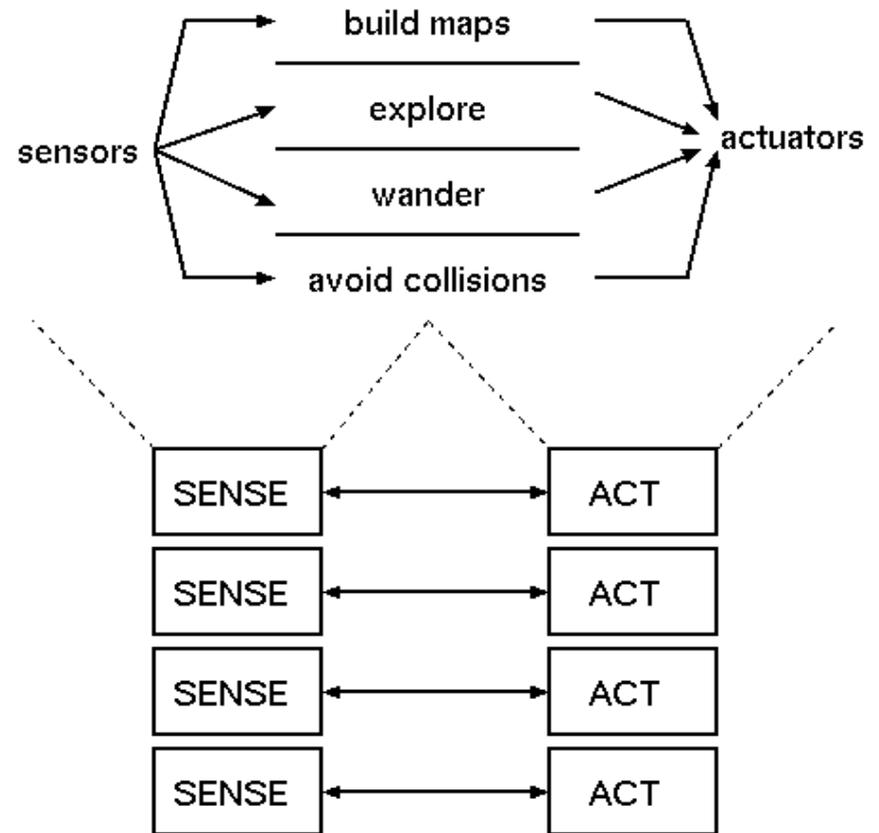
Elimina totalmente la planificación.



Forma la base para los sistemas híbridos.

Descomposición vertical

- Esta descomposición se asocia a los sistemas Reactivos.
- Comportamientos de bajo nivel asociados a instinto de supervivencia.
- Comportamientos de alto nivel para resolver tareas complejas.
- Es necesario definir un mecanismo para determinar la acción a tomar.



Campos de potencial (R. Arkin)

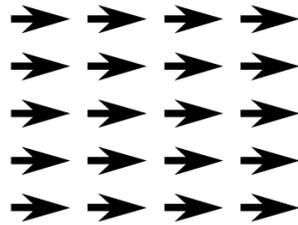
La acción a tomar debe representarse como un campo potencial.

El campo potencial puede verse como la fuerza que se realiza sobre el robot.

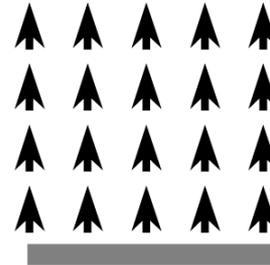
Un campo potencial es un array de vectores.

El array representa una región espacio.

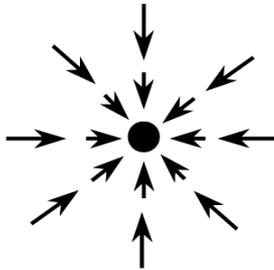
Cinco campos primitivos



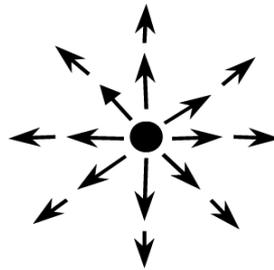
a



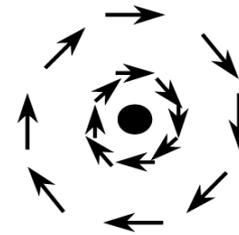
b



c



d

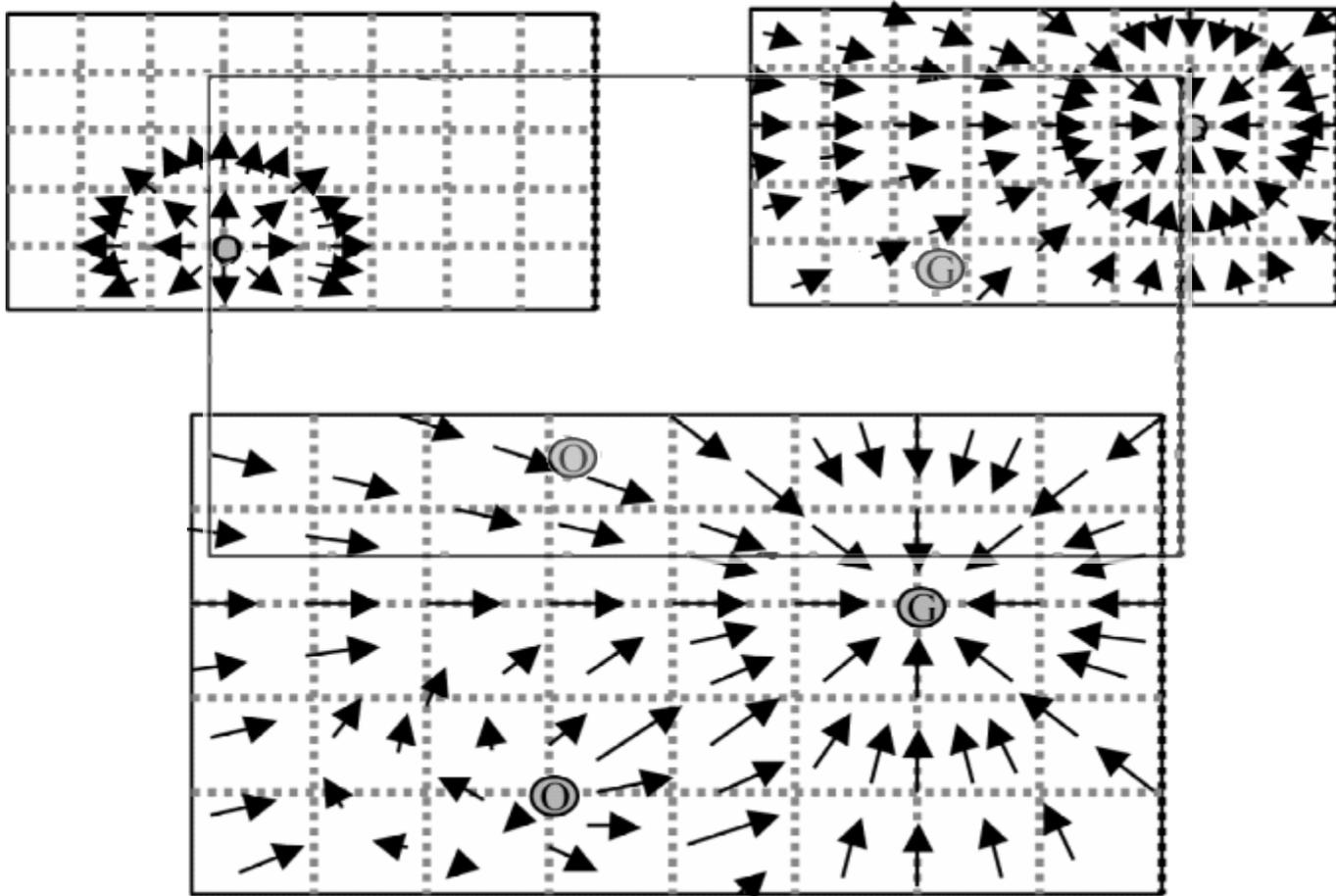


e

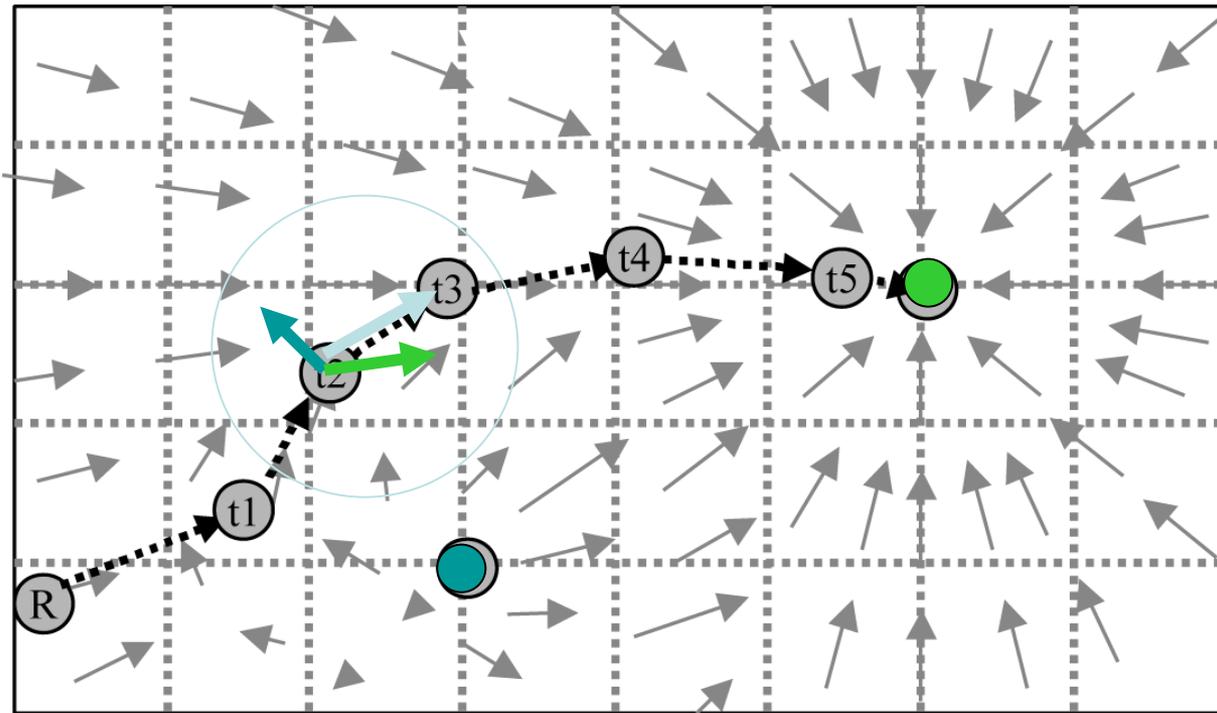
Cinco campos primitivos

- Uniforme
 - Moverse en una dirección particular, seguir un corredor.
- Perpendicular
 - Evitar paredes
- Atracción
 - Moverse hacia el objetivo
- Repulsión
 - Evitar obstáculos
- Tangencial
 - Moverse a través de una puerta
- Aleatorio

Ir a una posición (1/2)



Ir a una posición (2/2)



FSA: $M = \{K, \Sigma, \delta, q_0, F\}$

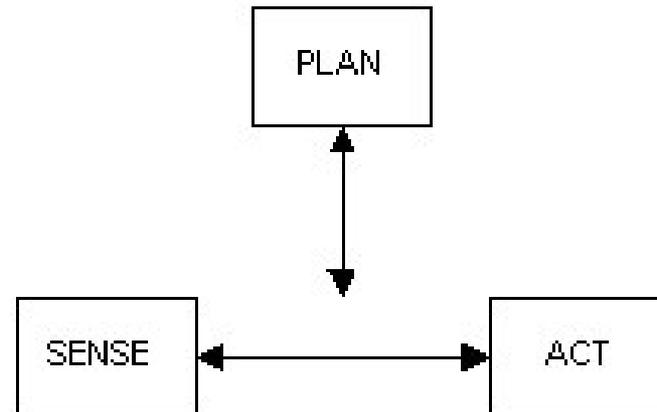
- K : conjunto de estados, cada estado hace referencia a un comportamiento.
- δ : función de transición (siguiente comportamiento).
- Σ : conjunto de entradas, estímulos/affordances.
- q_0 : estado inicial.
- F : conjunto de estados finales.



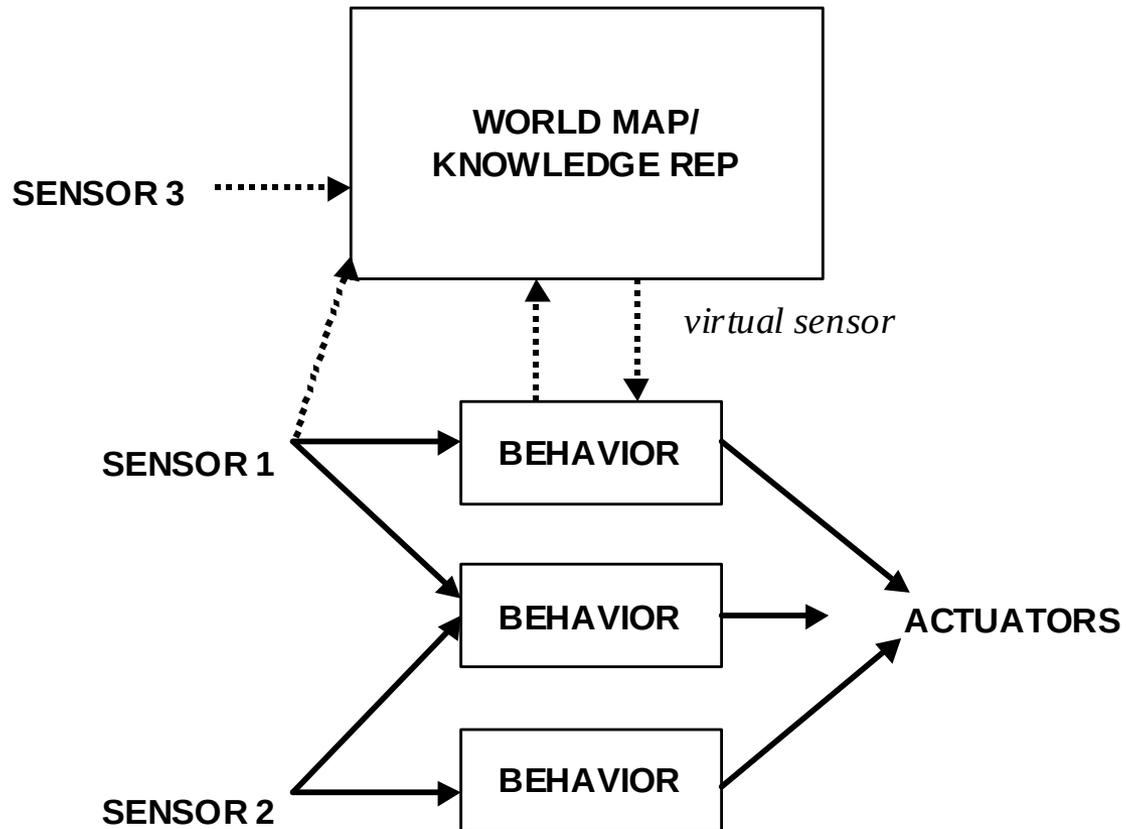
Híbrido (1990's)

Bajo este paradigma el robot primero planifica como descomponer la tarea en subtareas y luego cuales son los comportamientos adecuados para realizar las subtareas.

Luego se ejecutan los comportamientos adecuados para cada subtarea.



Organización



Navegación

Introducción (1/2)

- Habilidad crítica para robots móviles.
- Es la función que presenta más desafíos.
 - Sensado
 - Actuación
 - Planificación
 - Arquitectura
 - Hardware
 - Eficiencia computacional
 - Resolución de problemas

Introducción (2/2)

- Los robots reactivos pueden moverse en el mundo sin colisiones.
- La navegación requiere de deliberación.
- Técnicas:
 - Topológica o cualitativa.
 - Métrica o cuantitativa.

Definición

- Gallister (Gallistel, 1993) define a la navegación como la capacidad de **planificar** y **ejecutar caminos** dirigidos por **objetivo**, y es visto como la forma en que se enlazan posiciones distintivas generalmente etiquetadas por marcas.

Cuatro preguntas

- La navegación puede ser expresada por cuatro preguntas.
 - ¿A dónde debo ir?
 - ¿Cuál es la mejor forma de llegar?
 - ¿Dónde he estado?
 - ¿Dónde estoy?

¿A dónde debo ir?

- Determinado por un humano o un planificador de misión.
- En general no se incluye dentro del problema de navegación.

¿Cuál es la mejor forma de llegar?

- Este problema se conoce como planificación de trayectorias (path planning).
- Los métodos de planificación de trayectorias se clasifican en:
 - Topológica o cualitativa.
 - Métrica o cuantitativa.

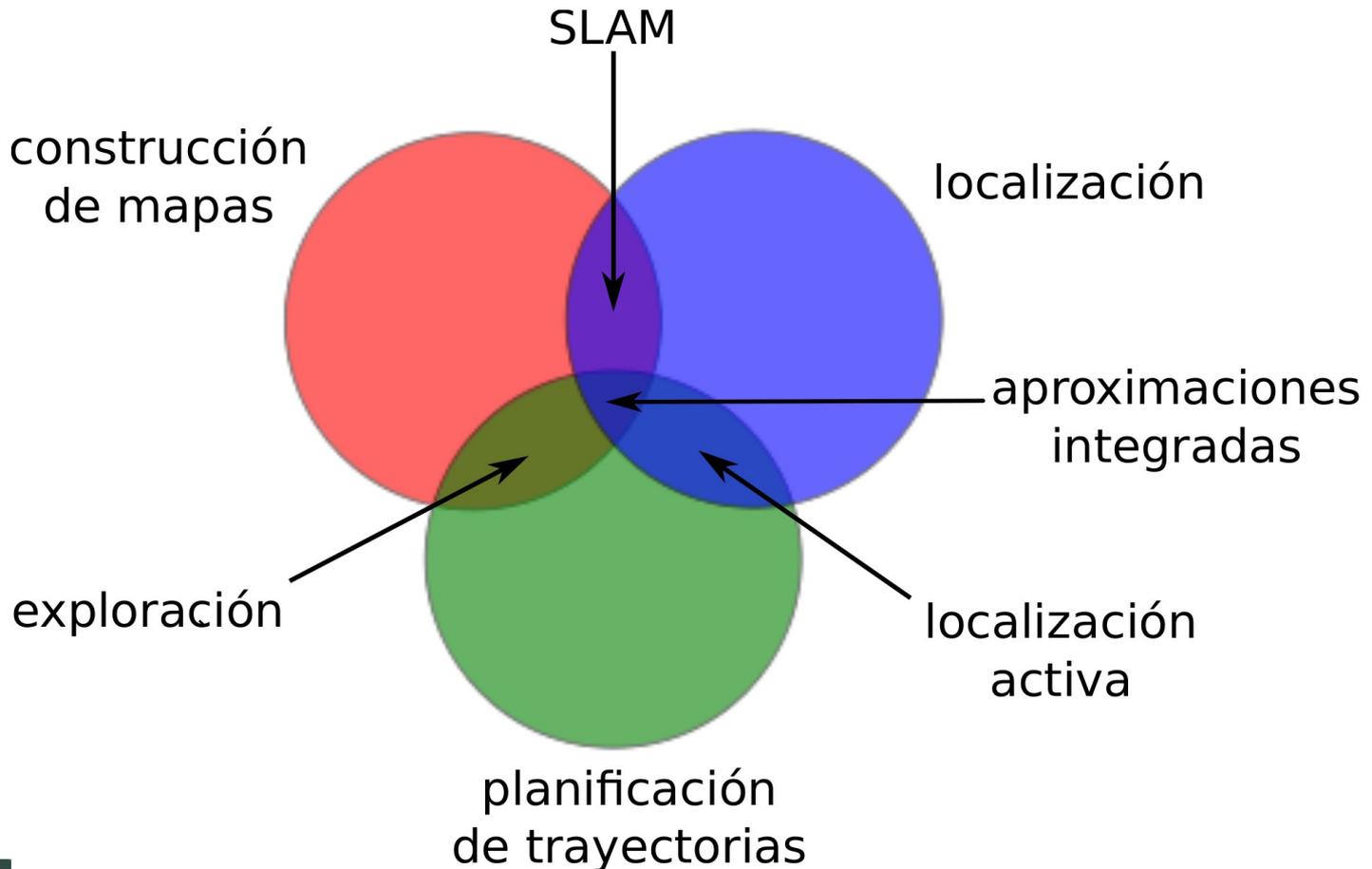
¿Dónde he estado?

- Construcción de mapas.
- Entornos no explorados.
- Mejorar el desempeño aún cuando no cambia el entorno.
 - Fin de una clase.
 - Hora del almuerzo.
- Adaptarse a cambios en el entorno
 - Nuevas paredes.
 - Movimiento de muebles.

¿Dónde estoy?

- Localización.
- Para poder seguir una trayectoria o construir un mapa es necesario saber donde se está.
- La localización puede ser:
 - relativa al entorno (en el centro del cuarto)
 - en coordenadas topológicas (en el cuarto 2)
 - en coordenadas absolutas (latitud, longitud y altitud)

Elementos de navegación



Landmarks y Gateways (1/2)

- Una marca (landmark) es una o más características de interés perceptualmente distintiva sobre un objeto o lugar de interés.
 - Puerta roja.
 - Centro comercial.
 - Monte de pinos.
- Si se encuentra una marca en el mundo y en el mapa entonces el robot se localiza en él.

Landmarks y Gateways (2/2)

- Si el robot planifica un camino formado por una lista de segmentos es necesario encontrar marcas para avanzar en los segmentos.
- Si el robot encuentra una marca debe agregarla a la memoria espacial, creando o extendiendo el mapa.
- Un gateway es una oportunidad donde el robot puede cambiar su dirección.
- Los gateway son oportunidades de navegación por lo que reconocerlos es crítico para la localización, planificación y construcción de mapas.

Tipos de marcas

- **Artificiales**
 - Conjunto de características agregadas a un objeto para soportar su reconocimiento u otra actividad sensorial.
- **Naturales**
 - Configuración de características existentes que son seleccionadas para el reconocimiento pero no fueron expresamente diseñadas para la actividad sensorial

Criterios para marcas

- Ser fácilmente identificables
 - Pasiva
 - Perceptible en el rango de acción del robot.
 - Características distintivas al menos en un entorno (vecindario).
- Perceptible para la tarea
 - Extraer la orientación relativa.
 - Marca el camino de manera no ambigua.
- Ser percibida desde distintos puntos de vista.

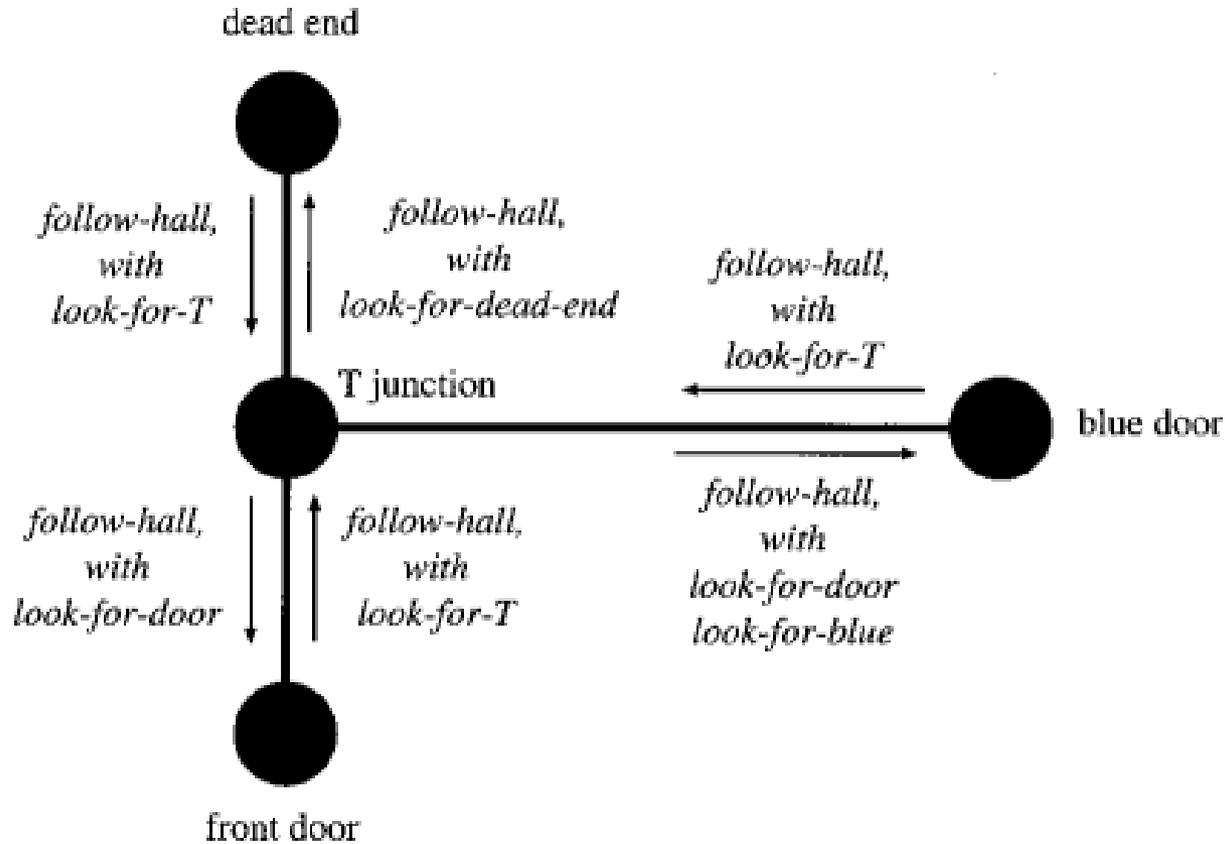
Entornos y marcas



Métodos topológicos

- Representan al mundo como un grafo donde los nodos son gateways, marcas o objetivos. Las aristas representan un camino navegable entre dos nodos y efectivamente estos tienen una relación espacial.
- Información en las aristas:
 - Orientación (N,S,E,O).
 - Distancia aproximada.
 - Tipo de terreno.
 - Comportamientos necesarios para navegarla.

Ejemplo relacional



Métodos métricos

- En general, los métodos métricos tratan de producir trayectorias óptimas.
- Los métodos topológicos se conforman con generar una trayectoria basada en marcas o gateways.
- Las trayectorias métricas se descomponen en waypoints ubicados en una posición fija o coordenada (x, y).
- Estos waypoints no se corresponden a un objeto o marca del mundo.
- Los planificadores de trayectorias primero particionan el mundo en una estructura manejable por los algoritmos.

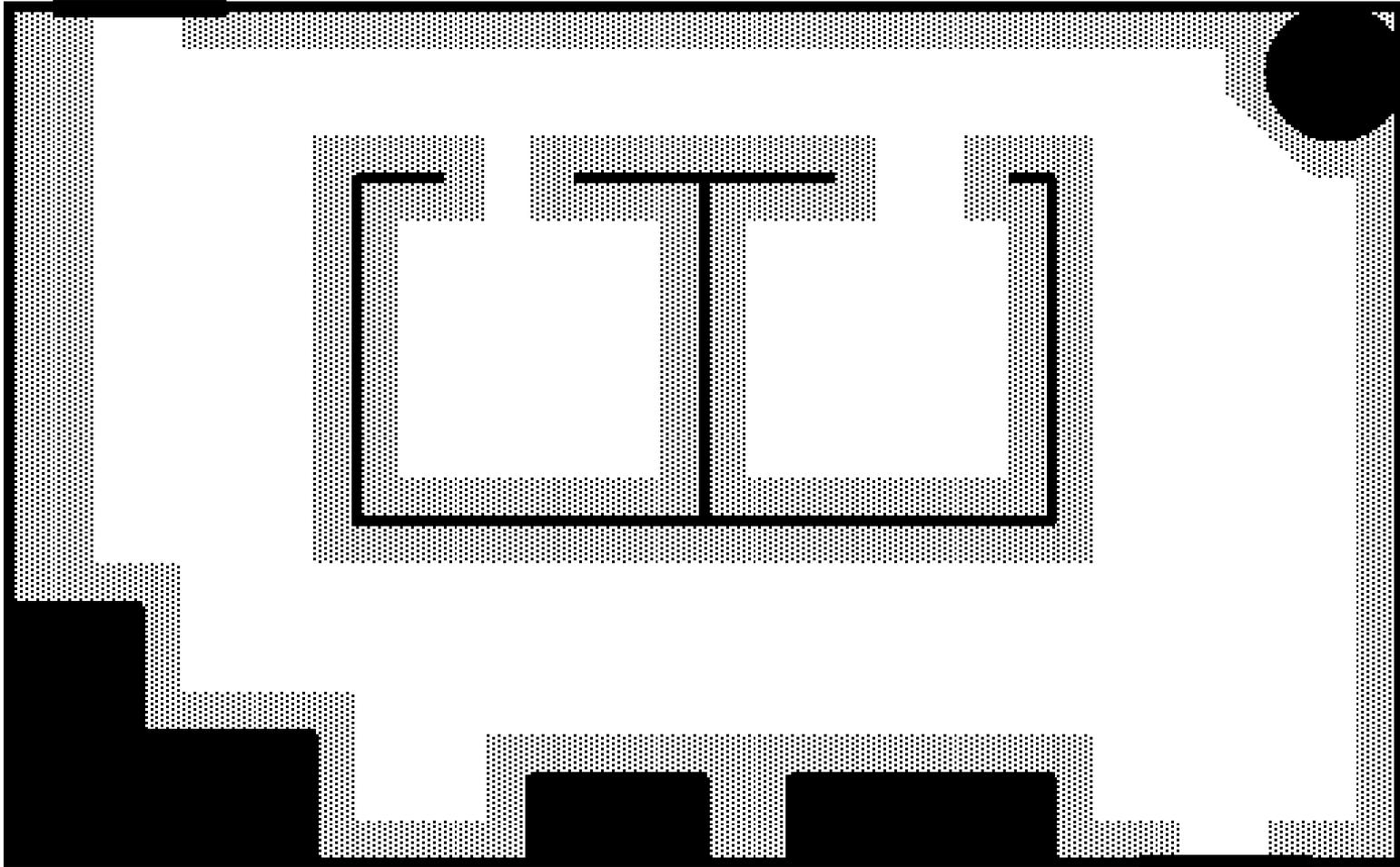
Espacio de configuración (1/2)

- Un espacio de configuración (Cspace) es una estructura de datos que permite al robot especificar la posición de los objetos y él mismo en el mundo.
- Típicamente los algoritmos trabajan con espacio de configuración de dos grados de libertad (en lugar de seis) y robots holonómicos.
- Ejemplos: diagramas de Voronoi, grillas regulares y Quadtrees.

Espacio de configuración (2/2)

- Cada espacio libre de objetos se denomina espacio libre.
- Las diferentes representaciones ofrecen formas distintas de particionar los espacio libres.
- En los espacios libres el robot puede moverse sin colisionar contra los objetos modelados.

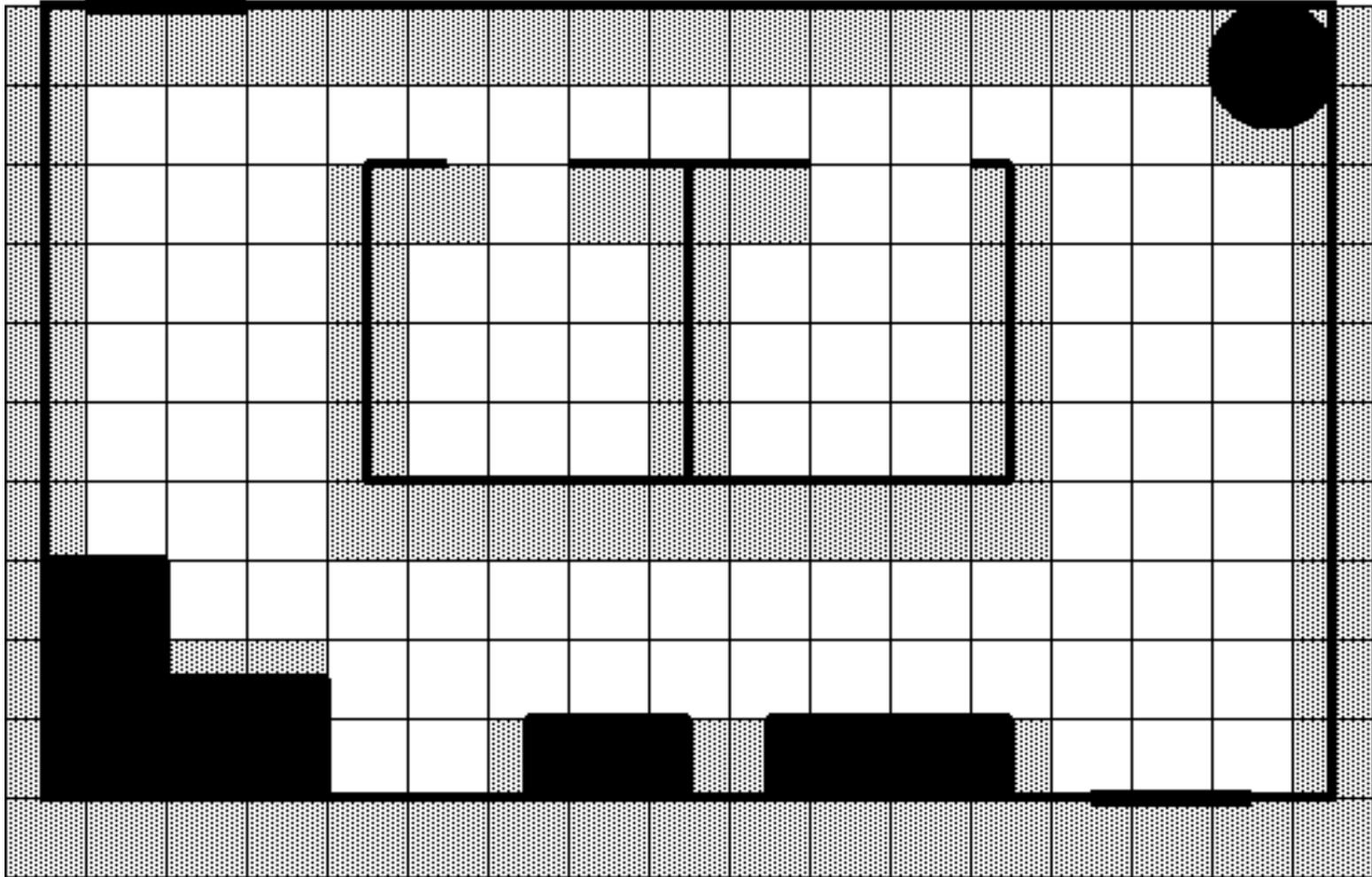
Expandir los obstáculos



Grillas regulares (1/2)

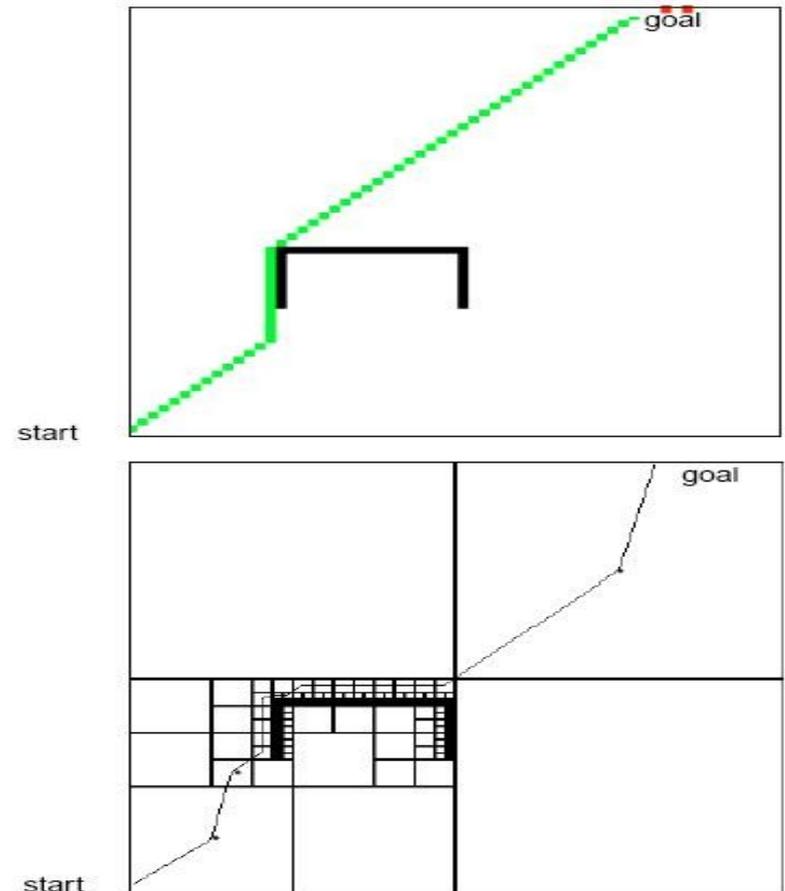
- Se particiona el entorno usando una grilla regular.
- Si algún objeto cae en una celda se marca a ésta como ocupada.
- Luego el centro de la grilla se transforma en un nodo y se consideran 4 u 8 conexiones.

Grillas regulares (2/2)



Quadtrees

- Para evitar el desperdicio de espacio cuando se usan grillas regulares y mantener la memoria y el cómputo manejable.
- Se comienza con celdas grandes y si se encuentra un objeto dentro de ella se parte la celda en cuatro. Esto se repite hasta alcanzar un tamaño de celda mínimo.



Planificadores basados en grafos

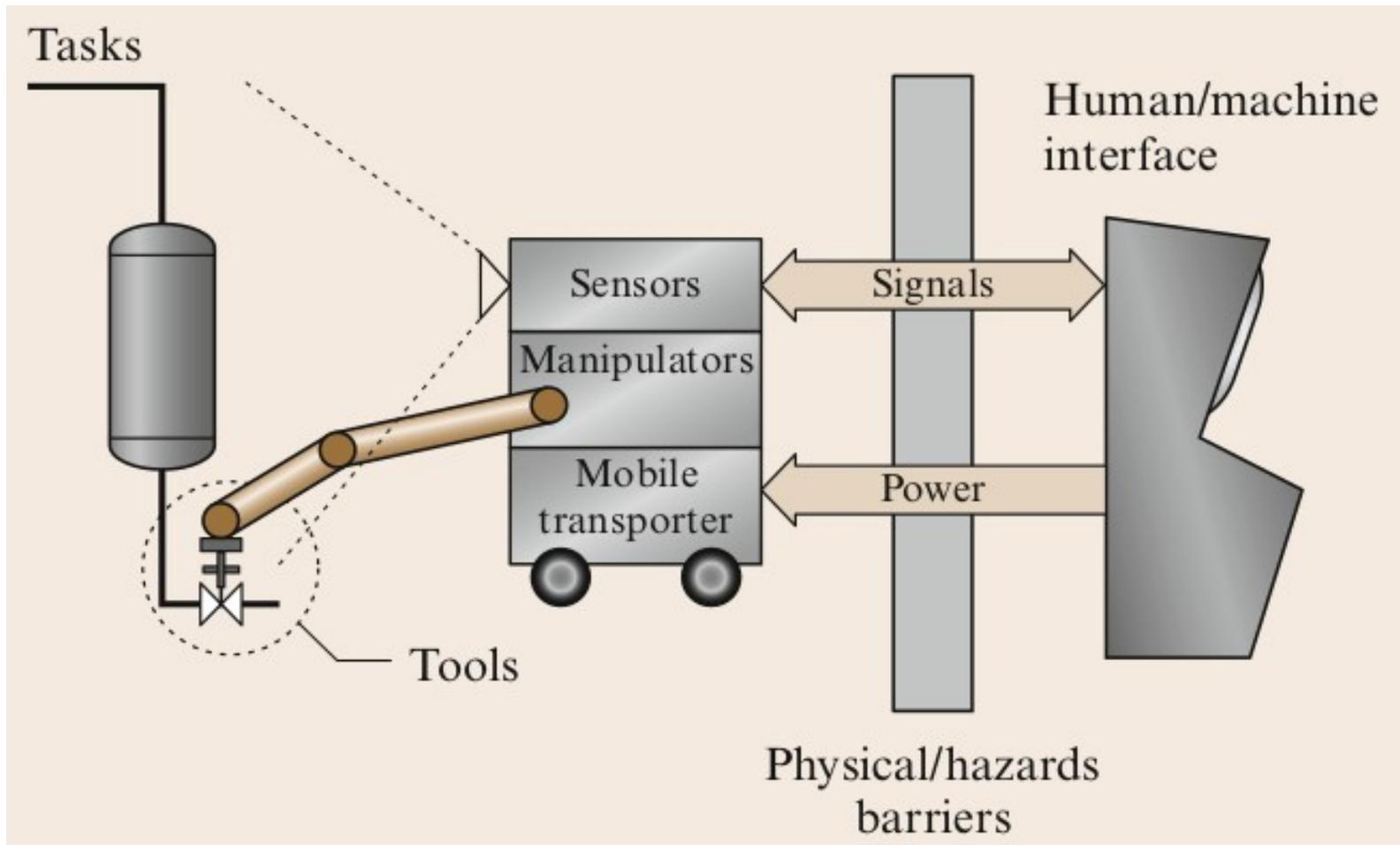
- Los CSpaces pueden ser convertidos a grafos.
- Algoritmos de búsqueda en grafos
 - Búsqueda primero en anchura
 - Búsqueda primero en profundidad
 - Búsqueda de profundidad limitada
 - Búsqueda primero en profundidad con profundidad iterativa
 - Búsqueda bidireccional.

Aspecto de diseño de robots en entornos hostiles (peligrosos)

Introducción

- Desafíos particulares dependiendo de la característica y magnitud del peligro.
- Tipos de peligros:
 - Radiológicos
 - Tóxicos
 - Explosión
 - Derrumbe
- El control o la gestión remota es uno de los primeros y principales métodos para resolver el problema, y ha sido aplicado exitosamente para la resolución de varios problemas.

Gestión remota



Aplicaciones

- No existen soluciones generales.
- Cada aplicación debe resolver los desafíos asociados a tarea particular principalmente asociados a la incertidumbre y no estructuración del entorno.
- Erradicar minas terrestres
 - Importancia humanitaria
 - Extremadamente difícil
 - Peligrosa
 - Exterior
- Operación de materiales peligrosos

Aspectos relevantes de diseño

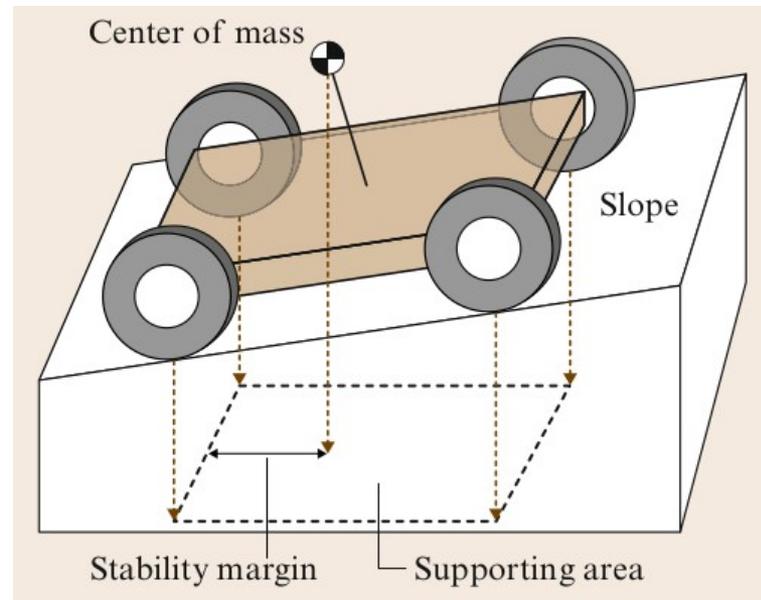
- Movilidad
- Manipulación
- Control
- Comunicaciones
- Alimentación

Aspectos de movilidad

- Entornos de interior y exterior irregular: elementos verticales y horizontales, y superficie y objetos con características desconocidas.
- Se utilizan normalmente vehículos terrestres.
- Es necesario que el mecanismo mecánico posea buen control en terrenos irregulares
- Clasificación:
 - Rueda
 - Oruga
 - Pierna
- Los diseños con ruedas u orugas requieren de elementos articulados para adaptarse a las irregularidades del terreno.
- Las articulaciones pueden ser pasivas o activas.

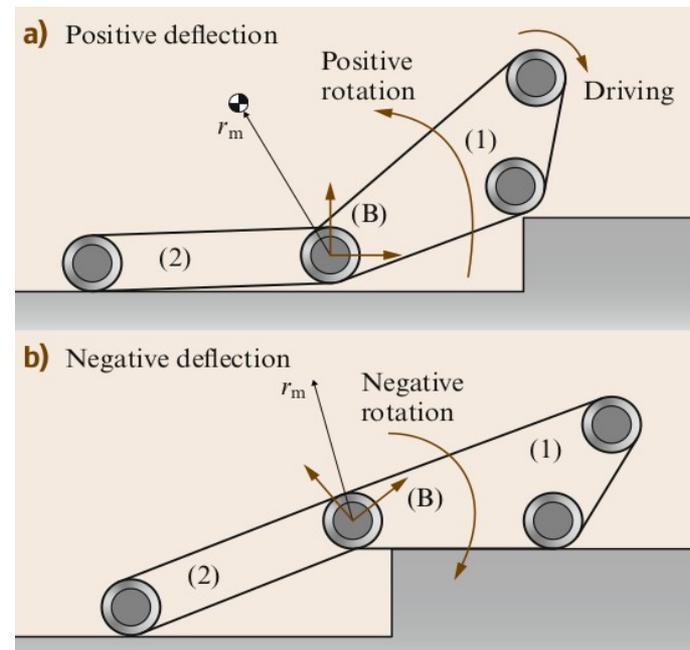
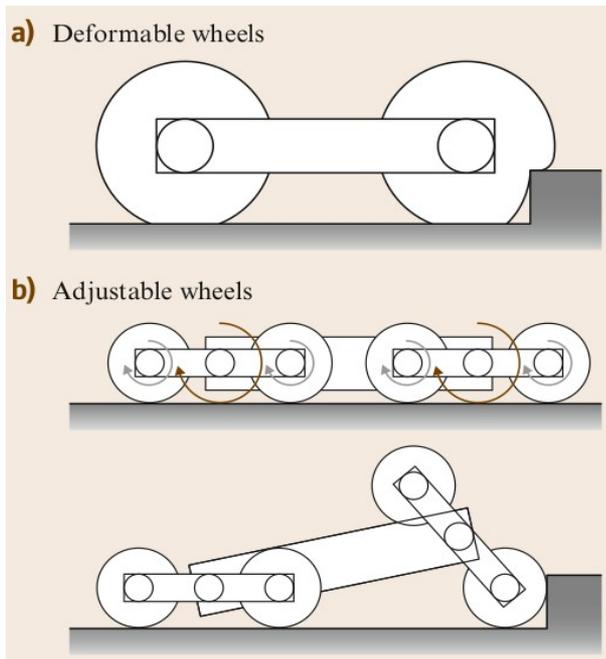
Aspectos de estabilidad

- Evitar volcar
- Escaleras, escalones y terrenos naturalmente irregulares.
- Involucra: centro de masa, polígono de sustentación y margen de estabilidad.



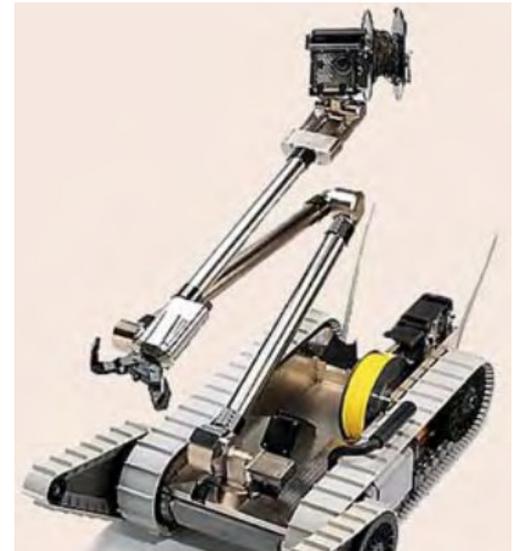
Mecanismos activos de adaptación

- Un mecanismo de adaptación activo utiliza un actuador adicional para generar el movimiento en la articulación para adaptarse a un terreno irregular.



Diseño y control del manipulador

- La manipulación es esencial en el caso de operación de materiales peligrosos
- Etapas: a. acercamiento, b. manipulación.
- Requerimientos:
 - Baja velocidad
 - Gran carga útil
 - Bajo peso
 - Compacto



Control

- El operador no tiene mucha información sobre el entorno.
- Se generan colisiones y atascos inesperados.
- El robot debe contar con un buen diseño y algoritmos de control para minimizar riesgos.
- Aspectos sensoriales
 - Sensores de distancia y contacto
 - Sensores de fuerza para los manipuladores
- La estabilidad y el ancho de banda del sistema de teleoperación son aspectos críticos.

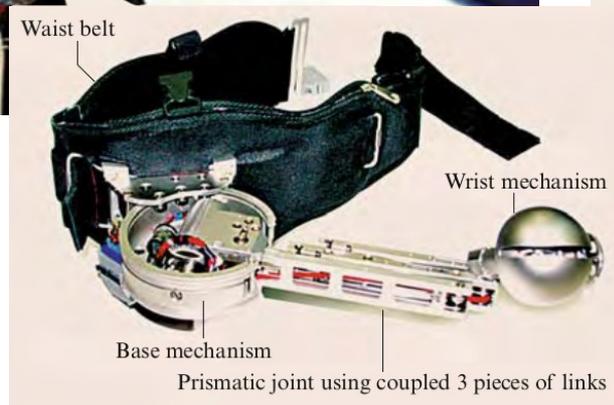
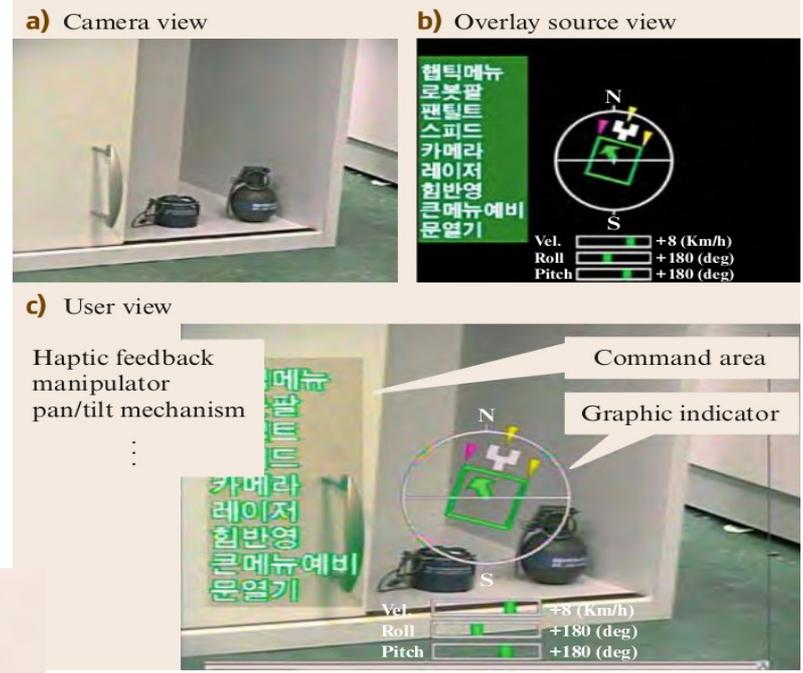
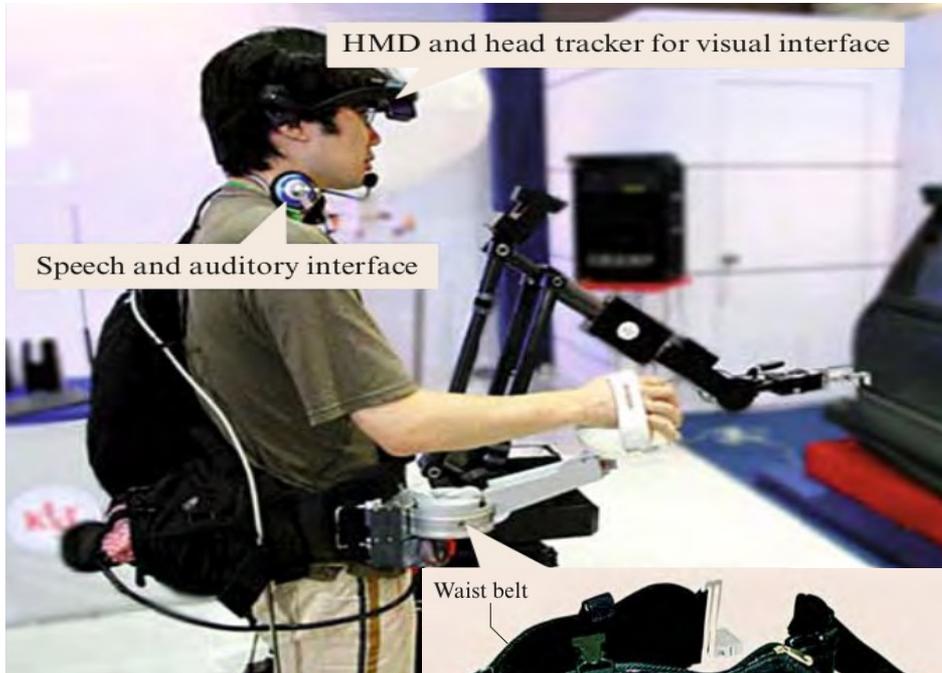
Control maestro

- El robot está diseñado para ser esclavo del operador remoto.
- El operador remoto controla al robot desde una posición segura.
- La interfaz debe proveer:
 - Enviar comandos a la plataforma móvil y al manipulador
 - Realimentación (contacto con objetos y reflexión de fuerzas)
- Uno de los objetivos de diseño de esta interfaz es que debe ser transparente.

Transparencia

- Simple
 - Toda la información debe estar integrada en una escena
 - Todos los botones y joystick deben estar integrados en un dispositivo háptico.
- Intuitivo
 - Controlado por voz
 - Realimentación amigable (visual y auditiva)
 - Concordancia entre los comandos hápticos y los realizados por el robot.
- Portable / vestible
 - Bajo peso
 - Confortable
 - Inalámbrico (sin cables de alimentación o datos)

Interfaz multi-modal vestibible



Teleoperación

Desventajas

- Fatiga cognitiva.
- Síndrome del simulador.
- Grandes retardos de tiempo
- Requiere gran ancho de banda
- Qué hacer cuando se cae el enlace.
- Heurística de teleoperación.
- Se necesita al menos una persona para teleoperar al robot.

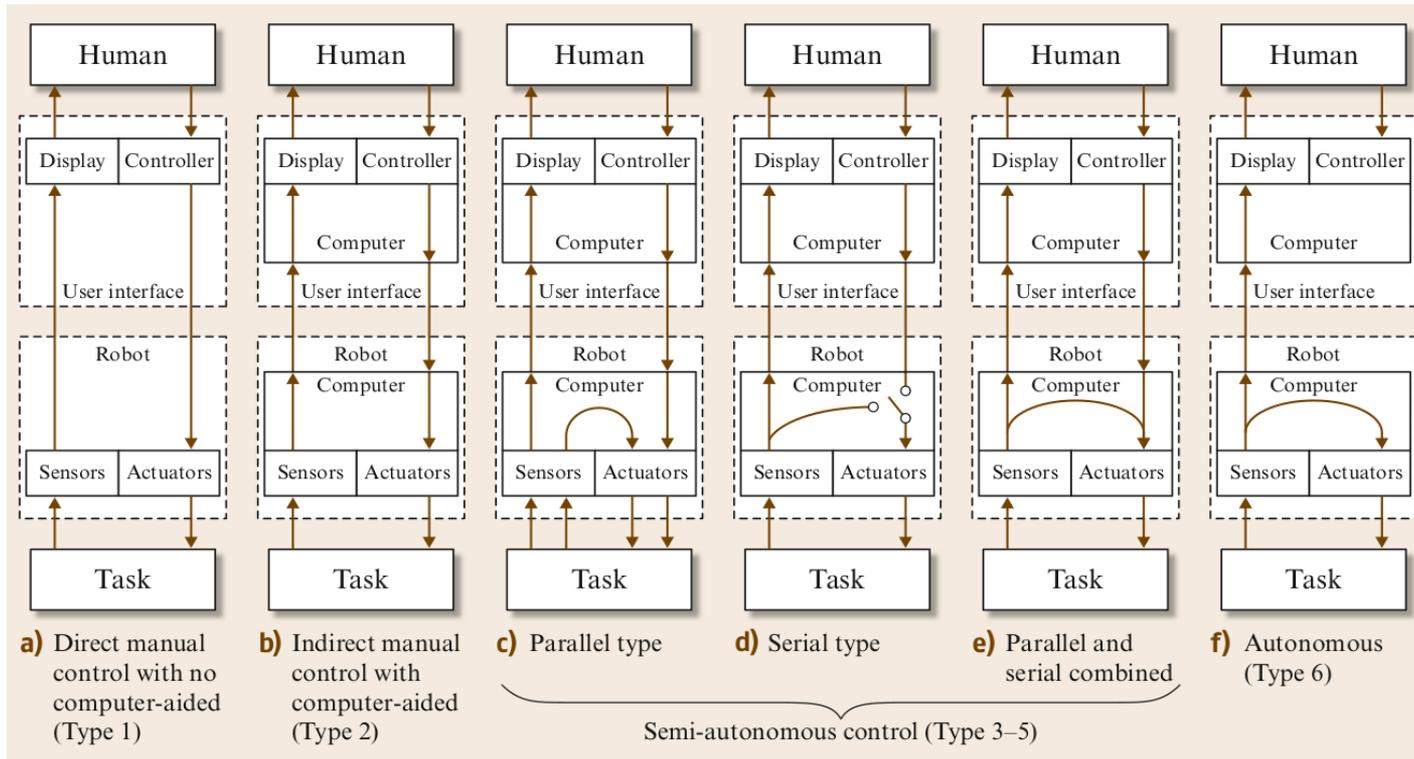
Teleoperación

Características de las tareas en las cuales se utiliza teleoperación:

- Tareas no estructuradas y no repetitivas.
- La tarea no puede ser realizada por un manipulador.
- La tarea requiere de gran destreza y coordinación.
- Parte de la tarea requiere de reconocimiento de objetos, conocimiento o percepción avanzada.
- Las necesidades del display no sobrepasan las limitaciones del enlace de comunicación.
- Es posible capacitar personal para el uso del sistema teleoperado.

Arquitectura de control

- Se utilizan arquitecturas con control compartido.
- El control puede variar entre tele-operación pura y la autonomía.



Comunicación de datos

- La comunicación de datos bi-direccional es necesaria para robots teleoperados.
- Problemas:
 - Propagación de la señal
 - Retardo
 - Atenuación
 - Throughput
- Cableado
- Inalámbrico

Type	Single channel	Typical system
Standard black-and-white remote television: 600×400 pixels 30 frames/s 12 bit gray scale	≈ 10 Mb/s per viewing channel	30–50 Mb/s for 3–5 channels
Color remote television: red, blue, and green = 3× black and white	≈ 30 Mb/s per viewing channel	90–150 Mb/s for 3–5 channels
Control 12 bit resolution input and output 200 Hz sampling rate	≈ 4.8 kb/s per control channel	48 kb/s - ten control servo channels
Audio feedback 15 kHz signal capture 12 bits resolution	≈ 180 kb/s per audio channel	540 kb/s - three remote microphones

Alimentación

- Desafíos:
 - Fuente de alimentación
 - Consumo
 - Conversiones
 - Gestión

Preguntas

¿?

Referencias

- Murphy R. R., An Introduction to AI Robotics, MIT Press, 2000.
- Siciliano, B. & O. Khatib, Springer Handbook of Robotics, Capitulo 48-50, 9783319325521, Springer Handbooks, 2016.