

# Robótica

## Arquitecturas de control

---

Javier de Lope Asiaín

Departamento de Inteligencia Artificial  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos  
Universidad Politécnica de Madrid

- **Percepción**

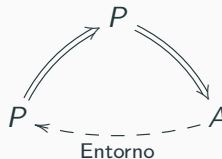
- Interpretación e integración sensorial
- Modelado del mundo
- Reconocimiento

- **Planificación**

- Planificación a nivel de tarea
- Gestión de recursos
- Monitorización de la actividad

- **Acción**

- Navegación
- Planificación a nivel de detalle
- Control de actuadores



## **Definición 1**

Metodología particular para construir agentes, típicamente incluye definiciones de estructuras de datos software y operaciones sobre esas estructuras (Wooldridge y Jennings).

## **Definición 2**

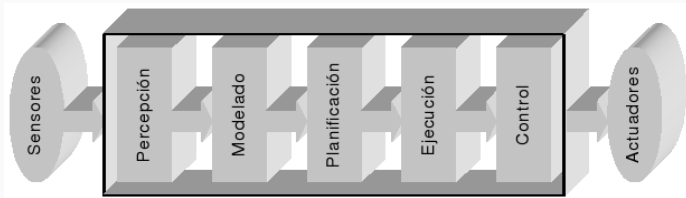
Sistema software que establece las acciones o movimientos que debe realizar el robot a partir de la adquisición y tratamiento de la información sensorial y del objetivo u objetivos que le hayan sido indicados.

# Características de las arquitecturas de control

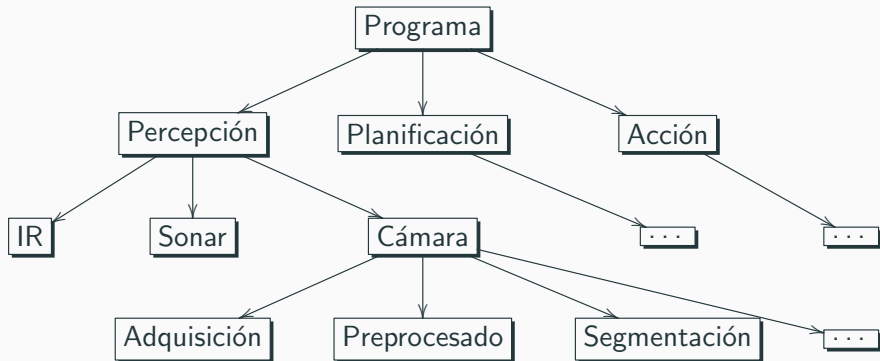
- Capacidad de abordar múltiples objetivos de forma simultánea.
- Capacidad de integración de la información de múltiples sensores de diferente procedencia.
- Robustez ante fallos en elementos del sistema.
- Adaptación ante nuevos entornos.
- Capacidad de extensión y modificación a lo largo de su vida.
- Capacidad para considerar posibilidades y valorar consecuencias.
- Interacción con el entorno para percibir cambios en él y responder adecuadamente.

# Enfoque tradicional

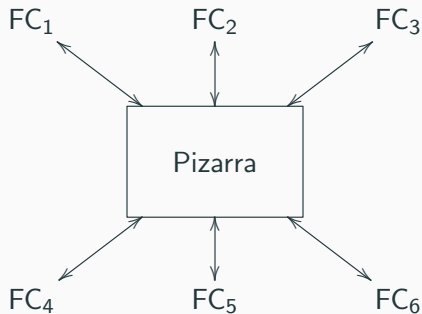
- También llamadas *arquitecturas de descomposición funcional*.
- Existen dos categorías principales:
  - Arquitecturas jerárquicas
    - Shakey (Nilsson 1969)
    - Meystel (1991)
  - Arquitecturas basadas en sistemas de pizarra
    - Giralt, Chatila y Vaisset (1984)
    - Elfes (1986)



# Arquitecturas jerárquicas



# Arquitecturas de pizarra



Las fuentes de conocimiento  $FC_i$  se comunican a través de la pizarra de forma similar a como procesos en sistemas concurrentes lo hacen mediante memoria compartida (regiones críticas, exclusión mutua, etc.).

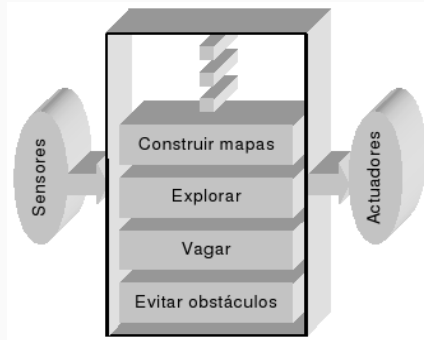
# Comentarios al enfoque tradicional

- **El mundo es dinámico.**
  - La descomposición funcional no favorece la actividad constante para dar respuesta a cada situación.
  - Niveles con mucha carga de proceso.
- **Las acciones requeridas son simples.**
  - La mayor parte de la actividad corresponde a reflejos, lo que contrasta con el tamaño del bucle de control.
  - Pocas acciones y concretas precisan de razonamiento, se da demasiada relevancia al modelo.
- **La validez del razonamiento está limitada.**
  - La información queda obsoleta, la actualización es costosa.
  - Los sensores utilizados no son perfectos.



# Enfoque reactivo

- Descomposición basada en comportamientos.
- Cada nivel realiza su propio ciclo de PPA.
- Cada nivel procesa las señales sensoriales que le son útiles.
- Todos los niveles funcionan simultáneamente.



# Arquitectura de Brooks

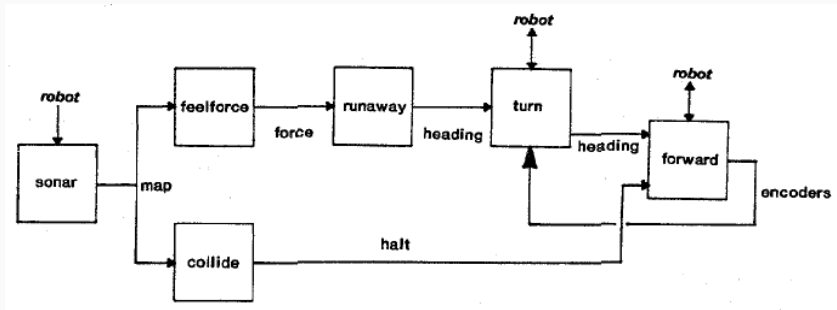
- Arquitectura organizada en niveles de competencia.
- Cada **Nivel de Competencia**:
  - Es un conjunto de comportamientos que cumplen un objetivo.
  - Se corresponde con un nivel de control.
  - Niveles de competencia superiores en la jerarquía (de más alto nivel) implican clases de comportamientos más específicos.
- Cada **Comportamiento**:
  - Es un conjunto de módulos que generan una acción observable.
- Cada **Módulo**:
  - Es un proceso elemental con ejecución en paralelo y comunicación asíncrona.

R.A. Brooks (1986) A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE J. Robotics Research*, 2(1):14-23.

## Arquitectura de Brooks (2)

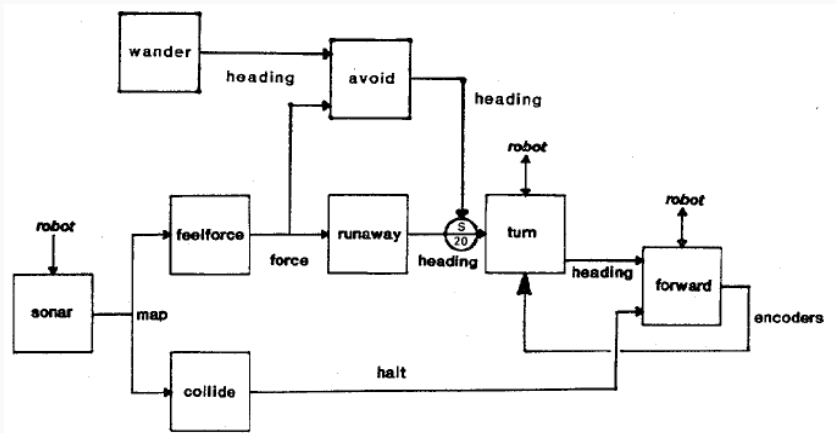
- Cada nivel de competencia *subsume* a los inferiores, aumenta la interacción entre ellos aprovechando los efectos.
- Mecanismo de arbitraje para evitar situaciones de bloqueo por las decisiones de dos o más módulos.
  - Inhibición: Eliminación temporal de la acción de un módulo.
  - Supresión: Alteración de una funcionalidad para fines propios.
- Extensibilidad: Añadir procesadores para nuevos módulos.
- Incrementalidad: Añadir comportamientos sin modificar los existentes.
- Modularidad: Cada nivel de competencia forma parte de los niveles superiores pero no los necesita para su funcionamiento.

## Arquitectura de Brooks (3)



Arquitectura de Subsunción - Nivel 0

## Arquitectura de Brooks (4)



Arquitectura de Subsunción - Niveles 0 y 1

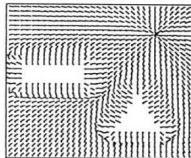
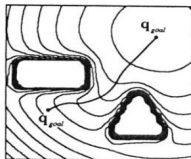
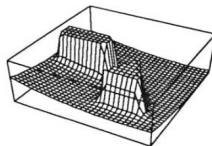
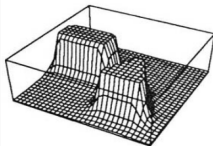
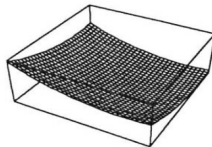
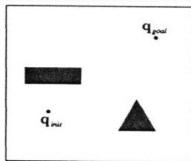
# Método del campo de potencial artificial

- Inicialmente estaba formulado para la planificación *off-line* de trayectorias en brazos robóticos.
- El robot se mueve en un campo de fuerzas calculadas a partir de cargas asociadas a obstáculos, el objetivo y el propio robot.
  - El objetivo genera una fuerza atractiva para el robot.
  - Los obstáculos generan fuerzas repulsivas.
- El sumatorio de estas fuerzas genera una fuerza resultante orientada al objetivo a partir de la que se calcula el movimiento a realizar eludiendo colisiones con los obstáculos que lo rodean.

# Método del campo de potencial artificial

- Inicialmente estaba formulado para la planificación *off-line* de trayectorias en brazos robóticos.
- El robot se mueve en un campo de fuerzas calculadas a partir de cargas asociadas a obstáculos, el objetivo y el propio robot.
  - El objetivo genera una fuerza atractiva para el robot.
  - Los obstáculos generan fuerzas repulsivas.
- El sumatorio de estas fuerzas genera una fuerza resultante orientada al objetivo a partir de la que se calcula el movimiento a realizar eludiendo colisiones con los obstáculos que lo rodean.
- Problemas:
  - Entrada en mínimos locales durante la navegación.
  - No atraviesa zonas si los objetos están relativamente cerca.
  - Oscilaciones en la trayectoria de avance con objetos.
  - Oscilaciones en la trayectoria en pasillos estrechos.

# Método del campo de potencial artificial







- Mejora de la arquitectura de Brooks.
- *Orden total versus Orden parcial e independencia total:*
  - Los módulos se insertan en el nivel que sean necesarios (ej. controladores de dispositivos).
  - Prohibición de *puentes* sobre los módulos en el mismo nivel y en niveles diferentes.
- Implementación de los módulos:
  - Predicado de aplicabilidad.
  - Función de transferencia.

# Arquitectura de Arkin

- Cada comportamiento se representa mediante esquemas motrices.
- Esquema motriz:
  - Unidad básica de comportamiento a partir de la que se forman acciones más complejas.
  - Recoge el conocimiento necesario para actuar y el proceso computacional a realizar.
  - Producen vectores de velocidad usando el método del campo de potencial artificial.
- Esquema de percepción:
  - Canalizan la información sensorial hacia los esquemas motrices que la requieren.
- Mecanismo de arbitraje:
  - Pesos asociados a los vectores de velocidad de los esquemas.

## Arquitectura de Arkin (2)

- **Move-ahead:** El robot se mueve en una dirección específica a una velocidad constante dada.
- **Move-to-goal:** El robot avanza hacia el objetivo.
  - Balística: Velocidad constante.
  - Controlada: Velocidad variable, menor a medida que se acerca al objetivo.
- **Avoid-static-obstacle:** Campos de repulsión que hacen que el robot se aleje de los obstáculos tanto fijos como móviles.
- **Noise:** Vector de velocidad aleatorio que es útil para la exploración de nuevas zonas y la salida de mínimos locales inherentes al uso del método del campo de potencial artificial.

# Arquitectura de Arkin (3)

- A. Stay-on-path(find-path(gravel))
- B. Move-ahead (NNE — 30 degrees)
- C. Move-to-goal(right(find-landmark(LAMPPOST-107),3))
- D. Move-to-goal(find-transition-zone(gravel,concrete))
- E. Find-landmark(HYDRANT-2)
- F. Find-landmark(GRC-TOWER(face-3))
- G. Avoid-obstacles

(c)

(d)

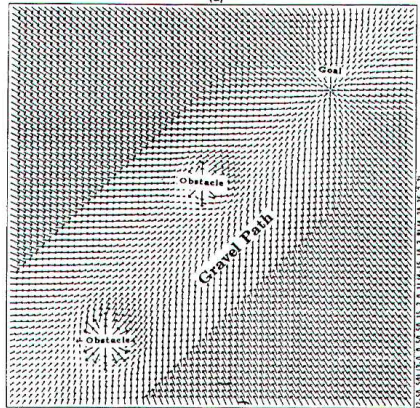
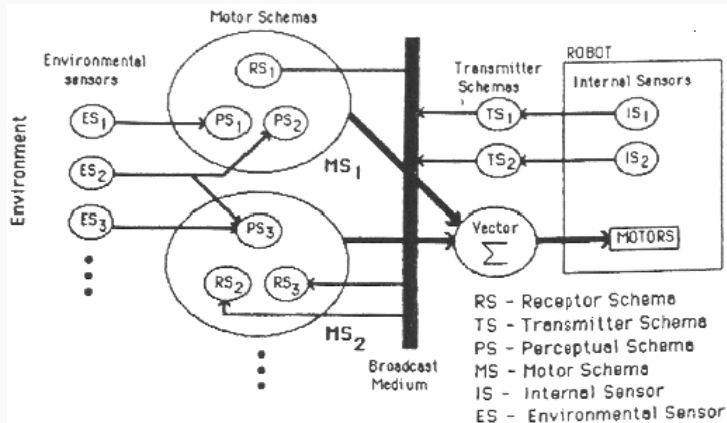


Fig. 4 (continued). (c) (top) Collection of behaviors to traverse leg 3 of Fig. 4b. (d) (bottom) Example of a potential field generated during path traversal where the robot is approaching the goal in the presence of unmodeled obstacles.

- Posteriormente introduce el control homeostático.
- *Homeostasis* (RAE, 22ª edición):
  - Conjunto de fenómenos de autorregulación, que conducen al mantenimiento de la constancia en la composición y propiedades del medio interno de un organismo.
  - Autorregulación de la constancia de las propiedades de otros sistemas influidos por agentes exteriores.

- Esquemas de señal:
  - Esquemas transmisores:
    - Monitorizan los dispositivos internos y envían información a los esquemas motrices.
    - Similares a los esquemas de percepción.
  - Esquemas receptores:
    - Están integrados en los esquemas motrices y efectúan el seguimiento de la información desde los transmisores.
    - Modifican los pesos de los vectores de velocidad.

## Arquitectura de Arkin (6)



- Métodos sencillos que permiten el control en tiempo real evitando colisiones con objetos del entorno.
- Fuerte crítica de los defensores del enfoque tradicional:
  - “Prototipos” que pueden vagar por el entorno.
  - No admiten la definición de objetivos.
  - Demasiado dependientes de la información sensorial.
- Algunas contestaciones desde la robótica reactiva:
  - R.A. Brooks (1990) Elephants don't play chess.  
*Robotics and Autonomous Systems*, 6(1–2):3–15.
  - R.A. Brooks (1991) Intelligence without representation.  
*Artificial Intelligence*, 47(1–3):139–159.



- Redefinición de los objetivos de la arquitectura de control.
  - ¿Qué se entiende por inteligencia?
  - ¿Qué se entiende por inteligencia de un robot móvil?
- Características de las arquitecturas híbridas:
  - Deberán ser lo “suficientemente” reactivas.
  - Deberán disponer de modelos (del entorno) para:
    - Planificar acciones (planificación “reactiva”).
    - Predecir situaciones.
    - Eliminar errores y ambigüedad de los sensores.

[www.dia.fi.upm.es/~jdlope](http://www.dia.fi.upm.es/~jdlope)