

# Robótica Basada en Comportamientos

## Paradigmas en Robótica

**Instituto de Computación  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República**

# Paradigmas <sup>1/3</sup>

- 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 <sup>2/3</sup>

- 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 |

# Paradigmas <sup>3/3</sup>

- Los paradigmas se describen de dos maneras:
  - Por la relación entre las primitivas SENSAR, PLANIFICAR y ACTUAR.
  - Por la manera en que los datos sensoriales son procesados y distribuidos en el sistema.

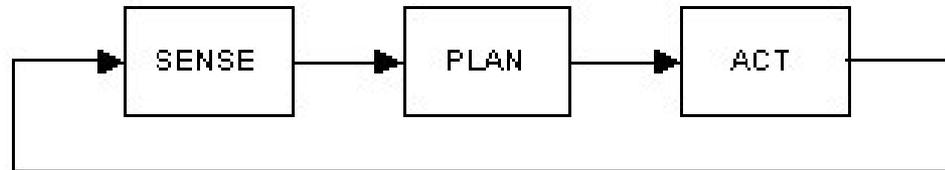
# Arquitecturas

- Las arquitecturas proporcionan la manera general de organizar un sistema de control.
- Describe un conjunto de componentes y la forma en que interactúan.
- Las características más importantes a tener en cuenta al momento de evaluar una arquitectura son:
  - Modularidad
  - Lugar de aplicación
  - Portabilidad
  - Robustez

# Paradigma Jerárquico

# Introducción <sup>1/2</sup>

- Jerárquico (1967-1990)
  - Esta basado en una visión introspectiva de cómo las personas piensan.
  - Secuencial y ordenado.
  - En cada paso se planifica que hacer.



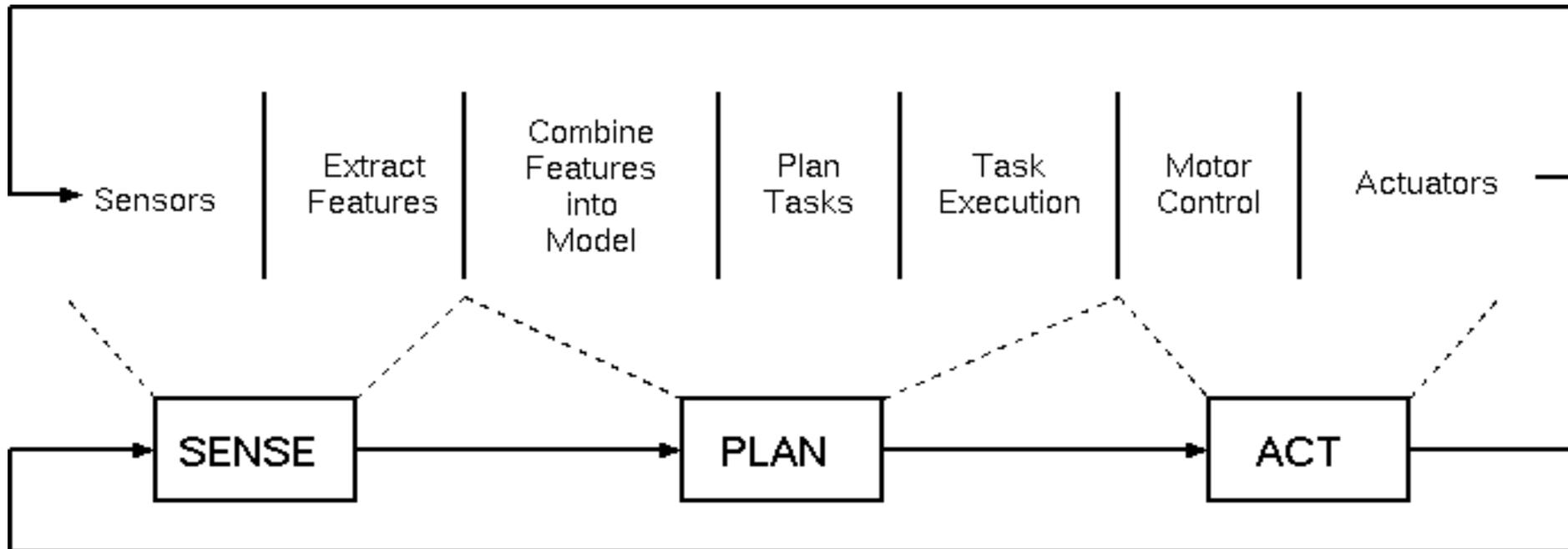
- Se arma un modelo global del mundo el cual es utilizado para planificar las acciones.

# Introducción <sup>2/2</sup>

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

The diagram illustrates the flow of information between the three rows of the table. In the 'Entrada' column, an arrow points from the 'Sensar (SENSE)' row to the 'Planificar (PLAN)' row. In the 'Salida' column, an arrow points from the 'Planificar (PLAN)' row to the 'Actuar (ACT)' row. Additionally, there are horizontal arrows pointing from the 'Entrada' column to the 'Salida' column for each row, indicating the output of each primitive.

# Descomposición horizontal



# Ideas centrales

- Razonamiento y planificación.
- Representaciones y construcción de modelos
  - Mapas
- Sistemas jerárquicos y descomposición funcional.
- Manipulación de símbolos.

# 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 cognitivo necesario para realizar la tarea.

# Closed World Assumption

- El modelo del mundo contiene todo lo que el robot necesita saber.
- Si esta condición no se cumple el robot no podrá realizar la tarea asignada.
- Lo opuesto a Closed World Assumption es conocido como Open World Assumption.

# Frame Problem

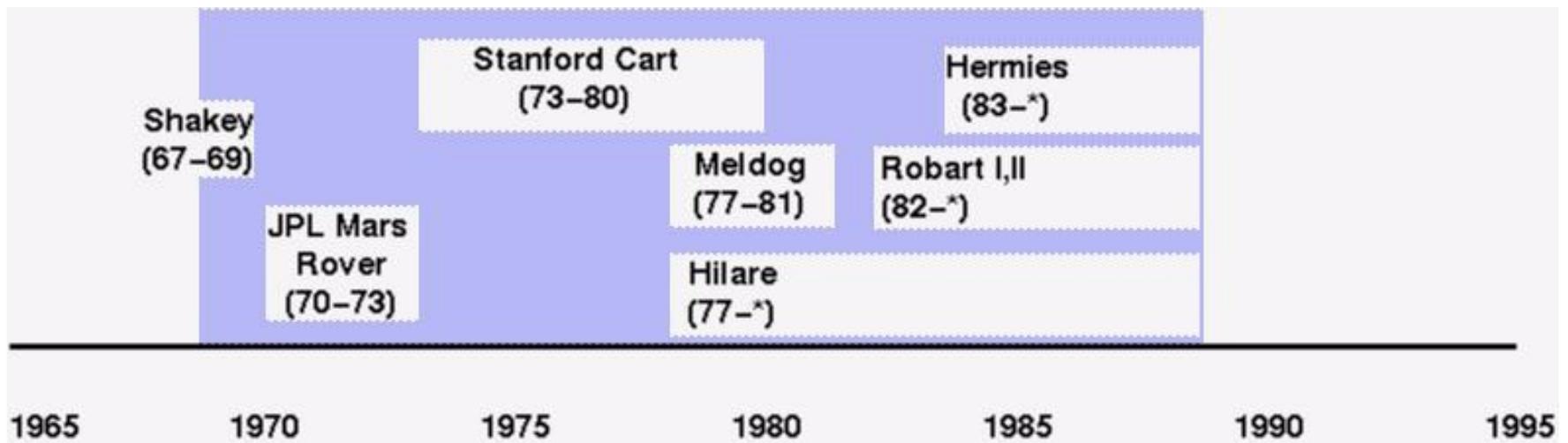
- El problema de representar una situación real del mundo de forma que sea computacionalmente tratable.
- Como determinar eficientemente que las cosas siguen siendo iguales en un mundo que cambia.

# Shakey

- Primer robot con IA.
- Desarrollado por el *Stanford Research Institute (SRI)* para DARPA 1967-9.
- Usa STRIP para determinar que acción tomar.
  - Asume closed world.
  - Sufre el problema del marco.
- Costo u\$s 100.000.



# Robots dentro del paradigma jerárquico



# Ventajas y Desventajas <sup>1/2</sup>

- Los robots construidos antes de los '90 presentaban una organización del software jerárquica.
- Se desarrollaban para aplicaciones específicas, en lugar de pensar en arquitecturas genéricas que puedan ser utilizadas en otras aplicaciones.
- La principal ventaja del paradigma jerárquico es que proporciona un orden entre las actividades de sensor, planificar y actuar.

# Ventajas y Desventajas <sup>2/2</sup>

- La presencia de un modelo global del mundo está relacionado al problema del marco. En STRIP, una tarea tan simple como abrir una puerta obliga a razonar sobre todo el modelo (incluyendo hechos irrelevantes).
- Incertidumbre:
  - Semántica.
  - Ruido en los sensores.
  - Error en los actuadores.
  - Al ejecutar una acción.

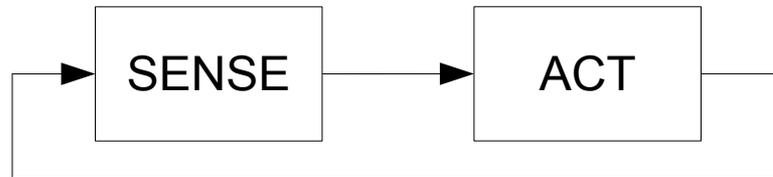
# Resumen

- La principal desventaja es la planificación. En cada ciclo de actualización el robot debe actualizar el modelo del mundo y planificar.
- Los algoritmos de planificación y sensado actuales son muy lentos (cuello de botella).
- Además, sensar y actuar están desconectados, lo cual elimina cualquier posibilidad de implementar acciones de tipo estímulo-respuesta -presentes en los seres vivos.

# Paradigma Reactivo

# Introducción <sup>1/3</sup>

- 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.



- Aún es muy utilizado en ciertos dominios.
- Forma la base para los sistemas híbridos.

# Introducción <sup>2/3</sup>

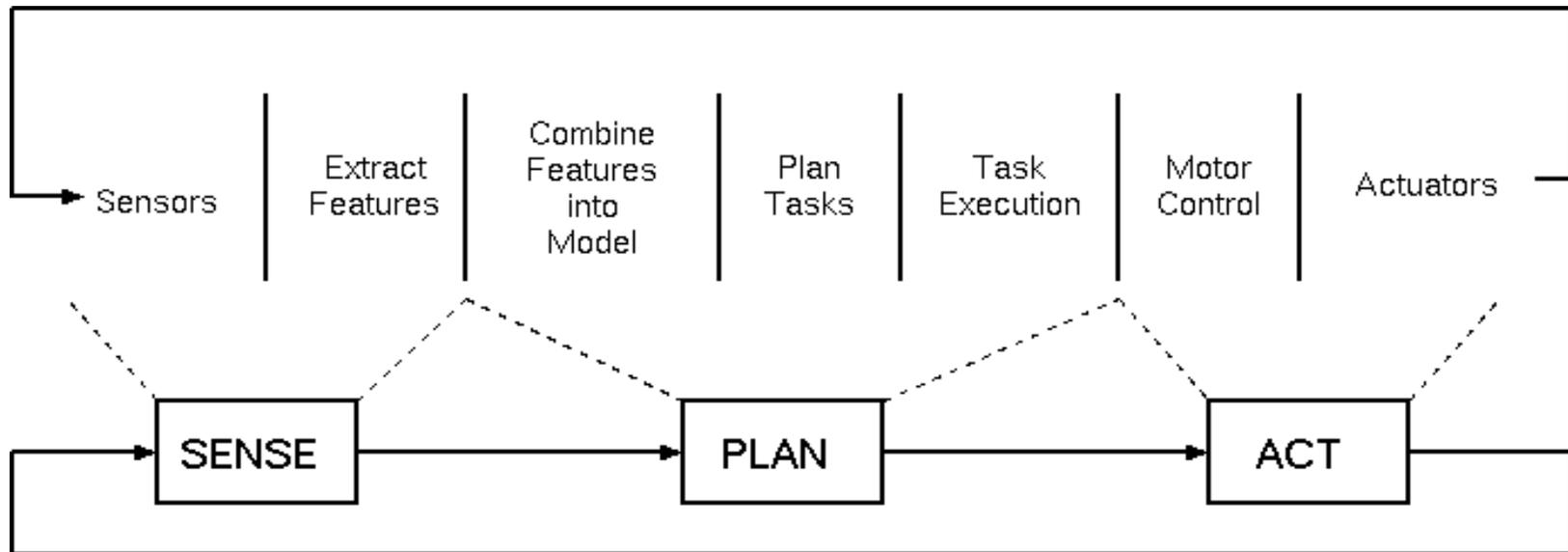
| Primitiva robótica | Entrada               | Salida                    |
|--------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sensar (SENSE)     | Datos de los sensores | Información sensada       |
| Actuar (ACT)       | Información sensada   | Comandos a los actuadores |

# Introducción <sup>3/3</sup>

- Brooks, Arkin y Payton trabajan en la definición de comportamientos y mecanismos de selección cuando se activan múltiples comportamientos en simultáneo.
- Fue rechazado inicialmente por los organismos militares y nucleares:
  - No es claro el mecanismo por el cual emerge el comportamiento.
  - Pruebas matemáticas de completitud y correctitud.
- Los buenos tiempos de ejecución fueron clave para su aceptación.

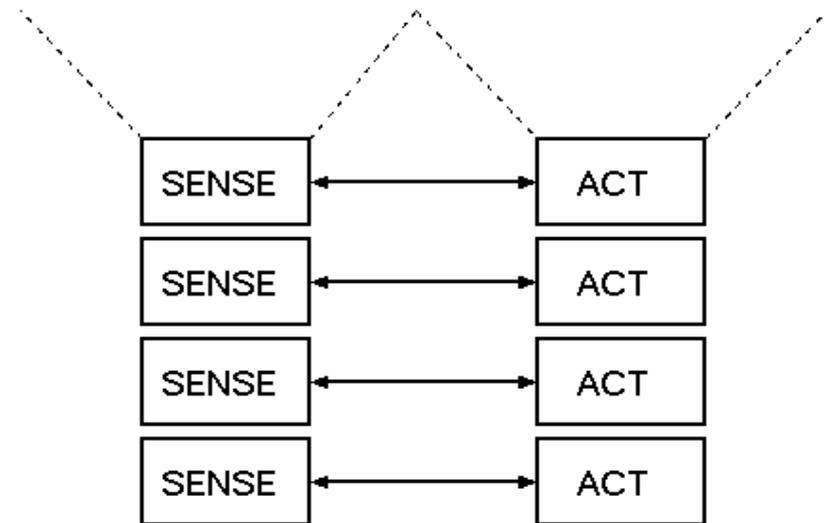
# Descomposición horizontal

- Propuesta en los sistemas jerárquicos.



# 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.



# Arquitecturas Reactivas

- Una arquitectura reactiva debe proveer mecanismos para resolver:
  - Cómo se activan los comportamientos.
  - Determinar cómo operar cuando se activan múltiples comportamientos.
- Las más conocidas y formalizadas son:
  - Subsumption.
  - Potential field.
  - Rule encoding (Europa y Japón).

# Ideas centrales

- Embodiment
  - Fuerte influencia del estado interno (emociones, deseos)
- Situatedness (Embeddedness)
  - Fuerte influencia del entorno (restricciones)
- Complejidad emergente.
- Sin planificación.

# Resumen

- Todas las acciones se realizan a través de comportamientos. Ejecución rápida.
- El sensado es local a cada comportamiento. No utilizan un modelo del mundo.
- El comportamiento global *emerge* a partir de la interacción entre comportamientos básicos y el entorno.
- No tienen memoria. Basados en estímulo-respuesta.
- Robots como agentes situados en un medio ecológico particular.
- Siguen buenos principios de desarrollo de software.
- Modelos animales son citados como base para el sistema o un comportamiento en particular.

# Resumen de Diferencias

- Pensar y razonar -> Comportamiento y acción
- Inteligencia en el “cerebro” -> Inteligencia en el organismo
- Inteligencia Artificial -> Vida Artificial
- Procesamiento de información -> Coordinación sensorial-motora
- Marcos de referencia cartesianos -> Egocéntrico

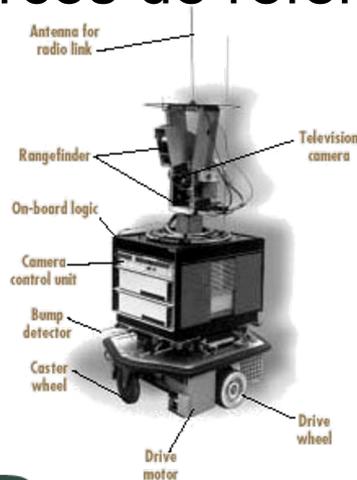


Photo courtesy of SRI International.

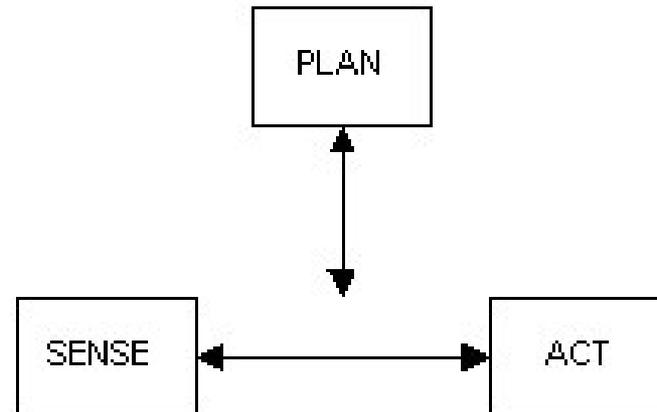
El diseño del software y hardware se ven afectados



# El Paradigma Híbrido

# Introducción <sup>1/3</sup>

- 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.



# Introducción <sup>2/3</sup>

- El paradigma Híbrido

| Primitiva robótica    | Entrada                             | Salida                    |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Planificar (PLAN)     | Información (sensorial o cognitiva) | Directivas                |
| Sensar - Actuar (S-A) | Datos de los sensores               | Comandos a los actuadores |



# Introducción <sup>3/3</sup>

- Permite controlar robots en tiempo real utilizando procesadores comerciales de bajo costo.
- En 1990 los diseñadores vuelven a poner a la planificación en los robots.
- En los sistemas reactivos la emergencia del comportamiento se ve como un arte y no como una ciencia.
- Las arquitecturas híbridas son la solución general por varias razones:
  - Usan técnicas de procesamiento asíncrono donde los módulos deliberativos funcionan independiente de los módulos reactivos.
  - La modularidad en la inclusión del paradigma reactivo le dan la posibilidad de utilizar sólo una porción de la arquitectura.

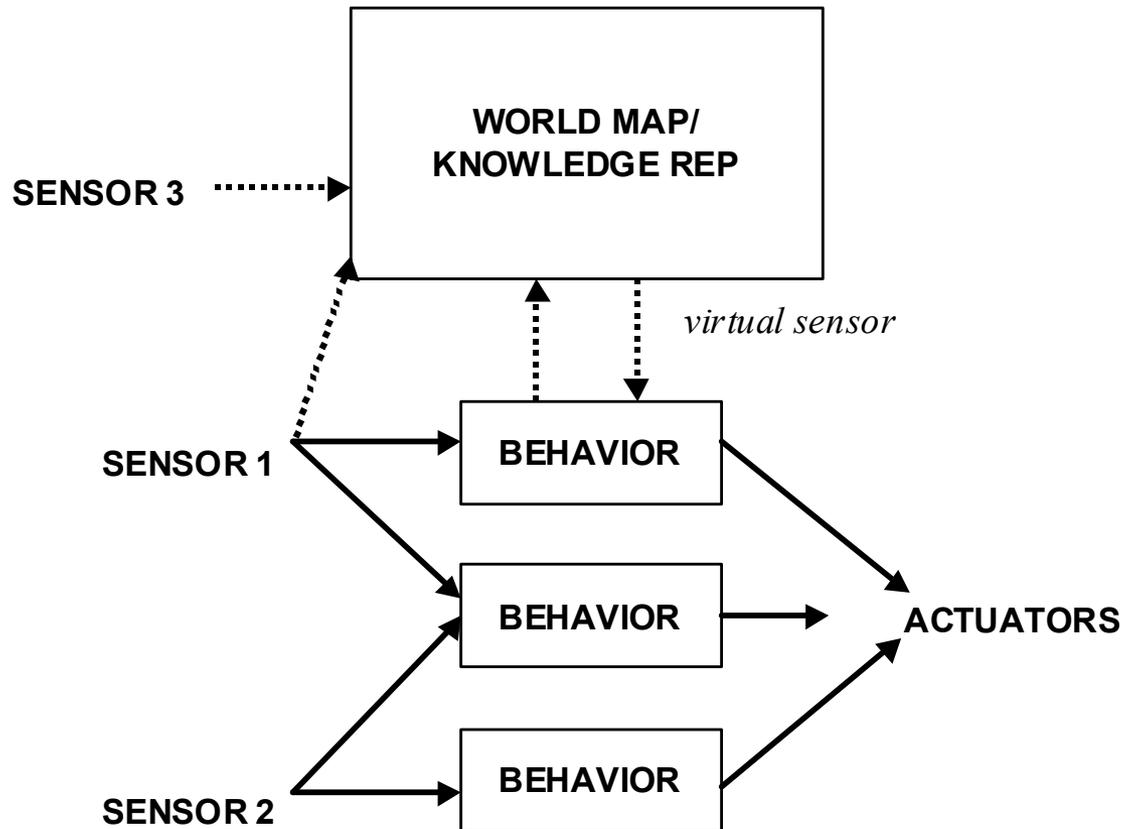
# Ideas centrales

- La planificación cubre un gran horizonte y requiere conocimiento global.
- Para planificar o mantener un modelo del mundo se utilizan algoritmos costosos computacionalmente.
- La organización se divide en:
  - Reactor.
  - Deliberador.

# Paradigmas en el tiempo

- Reactivo, existe en el presente.
- Deliberativo
  - Puede razonar sobre el pasado.
  - Puede proyectarse en el futuro.

# Organización



# Desafíos

- ¿Cómo distingue la arquitectura entre reacción y deliberación?
- ¿Cómo organiza las responsabilidades dentro de la parte deliberativa?
- ¿Cómo emerge el comportamiento global?

# Resumen

- P, S-A, la parte deliberativa usa modelos del mundo, la parte reactiva usa comportamientos.
- Generalmente incluyen módulos para planificación de misión, cartógrafo, secuenciador, gestión de comportamientos y monitor de performance.
- Ampliamente utilizado en los sistemas robóticos modernos.

# Referencias

- Murphy R. R., An Introduction to AI Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents), MIT Press, 2000.  
Capítulos 2, 4 y 7.
- Shakey the Robot,  
<http://www.sri.com/about/timeline/shakey.html>, Set 2010.