

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A ROBOTS

TEMA 3: COMPORTAMIENTOS Y ARQUITECTURAS PARA ROBOTS REACTIVOS

Sesiones 3 y 4

Huelva, Febrero-Marzo de 2023 V1.0



1



Comportamientos y Arquitecturas para RR

Tema 3: Comportamientos y Arquitecturas para Robots Reactivos

Objetivos:

- Conocer en detalle las posibilidades que ofrece el Paradigma Reactivo
- Saber distinguir entre una percepción y un esquema perceptual
- Comprender el alcance de los módulos de comportamiento
- Conocer las arquitecturas para implementar Robots Reactivos.

2



Comportamientos y Arquitecturas para RR

Tema 3: Comportamientos y Arquitecturas para Robots Reactivos

Índice:

3.1 Comportamientos para Robots Reactivos

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

3.2.2 Arquitectura de Campos de Potencial

3.3 Comparación de Arquitecturas

3.4 Bibliografía



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.1. Comportamientos para Robots Reactivos

- Un **módulo de comportamiento** es, como se ha visto anteriormente, un **módulo de actuación** (que incluye una pequeña decisión) en base al criterio de **percepción-actuación** dentro de una arquitectura reactiva o híbrida, donde existen otros módulos de comportamiento.
- Un **módulo de comportamiento** es pues un **bloque básico** en la arquitectura de acciones de un robot.
- Desde un **punto de vista matemático**, es simplemente una **función de transferencia** que transforma entradas de sensor, en comandos de actuación.



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.1. Comportamientos para Robots Reactivos

- Dentro de este modelo de comportamiento, están las **rutinas del sensor** y las **rutinas del actuador**, y cada una de ellas es código que se encargan de manejar los dispositivos, pero eso lo obviaremos como **tareas de bajo nivel**.
- En principio, y **desde el punto de vista teórico**, **no se necesita representación del conocimiento**, si bien es cierto que luego cuando se hacen las implementaciones, **pueden ser necesarias estructuras de datos para hacer las rutinas** de manejo de sensores y actuadores, para extraer información, o transformarla en acciones.

5



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.1. Comportamientos para Robots Reactivos

- La idea de “**un sensor, un comportamiento**”, funciona bien a nivel básico; pero **para comportamientos avanzados**, es más útil **fusionar** la salida de múltiples sensores en un **esquema perceptual** (ya que se obtiene mejor precisión del estímulo) y asociado a ese esquema, el comportamiento.

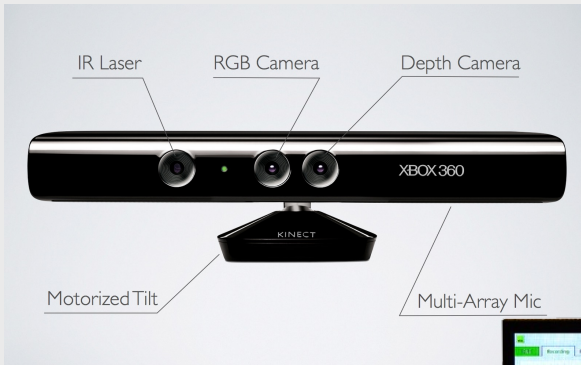
→ **Se admite la fusión sensorial que se estudiará en profundidad en un tema específico más adelante**

6



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.1. Comportamientos para Robots Reactivos



Ejemplo complejo de percepción combinando sensores

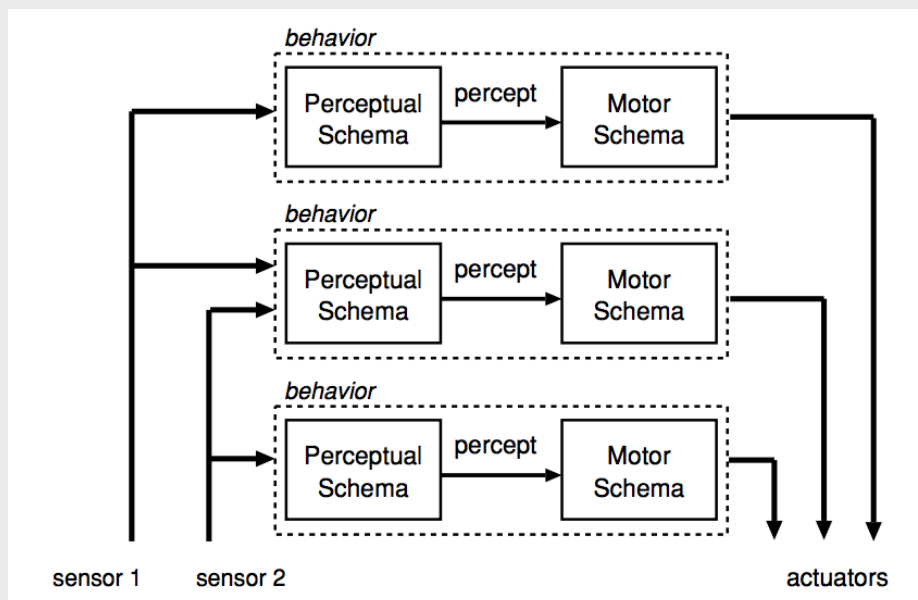


7



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.1. Comportamientos para Robots Reactivos



Los sensores pueden compartirse y fusionarse

8



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.1 Comportamientos para Robots Reactivos

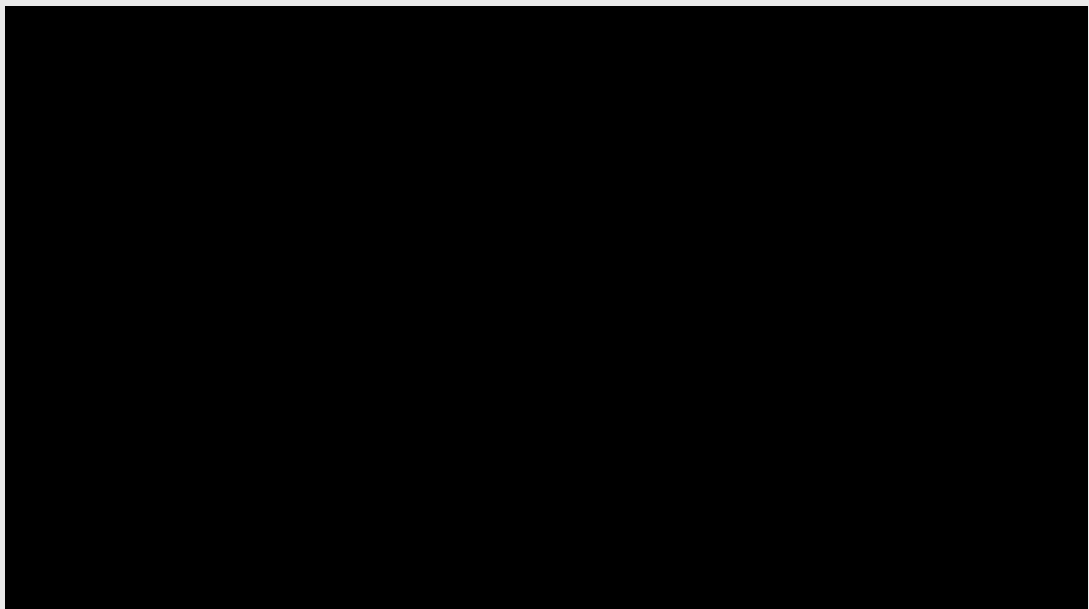
- Estos comportamientos son **inherentemente modulares** desde un punto de vista de producción de software.
- La **capacidad predictiva** de un módulo de comportamiento es **muy baja**.
- Su **velocidad de respuesta es alta**: muy próxima al **tiempo real**.



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.1 Comportamientos para Robots Reactivos





Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.1. Comportamientos para Robots Reactivos

Todas las arquitecturas del paradigma reactivo cumplen:

1. Los robots son agentes ubicados en un entorno *ecológico*. El robot percibe y actúa, y por tanto modifica su entorno.
2. Los comportamientos son los bloques básicos de las acciones del robot, y el comportamiento global del robot es por tanto emergente.
3. La *percepción sólo es local* y para el comportamiento, no para crear mapas del entorno. Ej: Coordenadas relativas al robot sólo.
4. Diseño modular: buenas prácticas de diseño de software.
5. Los modelos de animales para crear cada comportamiento son admitidos como base.



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.1 Comportamientos para Robots Reactivos

- Para diseñar módulos de comportamiento se usan los siguientes métodos:
 - Diseño con restricciones basado en comportamientos animales (*Ethologically Guided/Constrained Design*)
 - Diseño orientado a actividades (*Situated Activity Design*)
 - Diseño guiado por experimentación (*Experimentally Driven Design*)

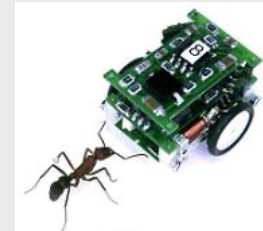


Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.1 Comportamientos para Robots Reactivos

- **Diseño con restricciones basado en comportamientos animales** (*Ethologically Guided/Constrained Design*):
 - Localizar comportamientos animales similares, y modelarlo para incorporarlo al robot, donde el modelo será testado y refinado.



13



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.1 Comportamientos para Robots Reactivos

- **Diseño orientado a actividades** (*Situated Activity Design*):
 - Se trata de intentar conocer la situación en la que se encuentra el robot (de entre varias previstas), para actuar según un catálogo de actuaciones para cada situación.
 - Pueden seleccionarse más de una actuación, ya que pueden observarse mezcla o grados de situaciones.
 - Requiere una profunda capacidad de interacción y reconocimiento entre el robot y el entorno.
 - Se complica si existen muchas posibles situaciones.

14



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.1 Comportamientos para Robots Reactivos

- **Diseño guiado por experimentación** (*Experimentally Driven Design*)
 - Partir de un **modelo sencillo que funcione rápido** del comportamiento que manifieste el robot en la práctica, e ir **refinándolo con la experimentación**
 - **Ejemplo: Genghis**: Diseñado en el Laboratorio de IA del MIT a finales de la década de los 80 por Rodney Brooks, empleó este modelo de diseño.

15



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.1 Comportamientos para Robots Reactivos

- **Diseño guiado por experimentación** (*Experimentally Driven Design*)



16



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

Se utilizan dos arquitecturas clásicas fundamentalmente:

- Arquitectura de Subsunción
- Arquitectura de Potenciales de Campo

También es *famosa* una tercera:

- Codificada con reglas: basada en combinar comportamientos con reglas lógicas creadas al efecto



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

- Propuesta por Rodney Brooks, 1986
- Es la más representativa y pura para RR
- El comportamiento tiene su mínima expresión de computación, muchas veces sólo un pequeño micro-controlador
- Son robots que evitan colisiones, superan obstáculos...
- Los módulos estímulo-respuesta están coordinados por máquinas de estados finitos aumentadas (con contadores, variables...), pero sin un verdadero programa coordinador.





Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Aspectos relevantes:

1. Los **comportamientos son clasificados en capas** organizadas jerárquicamente llamadas **capas de competencia**.
 - Las **capas de competencia más bajas** tienen **comportamientos más básicos**, tales como evitar colisiones.
 - Las **capas de competencia más altas** tienen **comportamientos orientados conseguir los objetivos**.
2. Un módulo de una capa superior pueden **anular o “subsumir” (englobar o incluir)** la salida de las conductas de la capa inferior inmediata. Como todo ocurre concurrentemente, hay que gestionar ese acceso simultaneo apropiadamente.



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Aspectos relevantes:

3. **No se emplea modelización alguna del mundo**, para evitar necesitar hacerlo con precisión.
4. En teoría, **las tareas se llevan a cabo activando, de arriba hacia abajo, las capas apropiadas inferiores por parte de las superiores**. En la práctica esto requiere reprogramar... por lo que aquí pueden aparecer dificultades.



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

Supongamos un robot *holónimo* (omnidireccional) cuyo objetivo es *avanzar paseando por un pasillo evitando colisiones*.

A nivel sensores/actuadores disponemos de:

- Un cinturón de varios sonares apuntando en distintas direcciones alrededor
- Dos actuadores para los motores de tracción (derecho e izquierdo)



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Su arquitectura se organizará en tres niveles (Nivel 0 a Nivel 2) de cada uno de los cuales describiremos sus funciones principales a continuación empezando por la capa más baja, 0.
 - Nivel 0: Avanzar evitando obstáculos
 - Nivel 1: Dirección en la que pasear
 - Nivel 2: Seguir un pasillo (no tiene porqué ser recto)





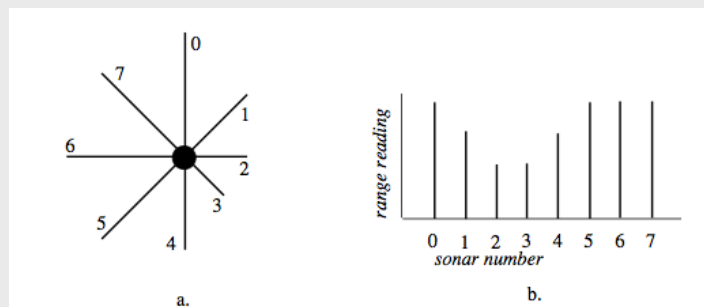
Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 0:
 - El robot mide distancia con los (8) sensores, filtra el posible ruido, y obtiene una *representación polar* (distancia y ángulo) desde él mismo, que es el centro:



23



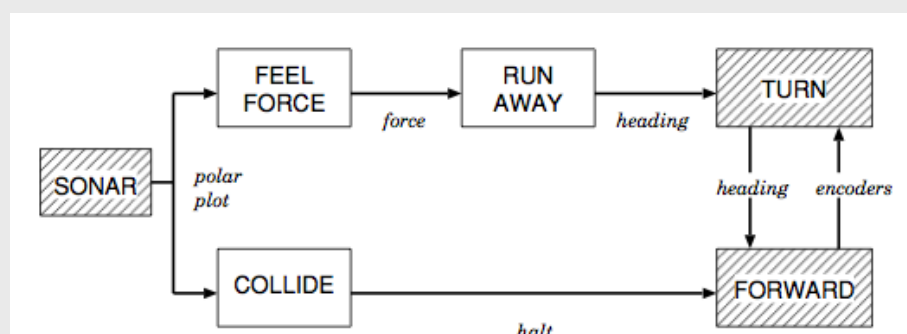
Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 0:
 - Contará con dos módulos de comportamiento, *FEELFORCE* y *COLLIDE*, que conectarán con sendos actuadores: girar, e ir adelante respectivamente



24



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 0:
 - Si la medida de distancia en alguna dirección es inferior a un umbral, el módulo de COLISIONES (COLLIDE) declara colisión y se detiene (*halt*) el actuador ADELANTE (FORWARD), de modo que se para de inmediato.
 - Al mismo tiempo, las medidas son enviadas al módulo FEELFORCE que observa cada medida del sonar como un conjunto de fuerzas repulsivas entre sí, representables como un vector, y que al combinarlas ofrecen un *feeling* de fuerzas repulsivas entre sí único: *engloba* lo que dice cada sensor para crear un resultado...



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 0:
 - ... el resultado de FEELFORCE se envía al módulo RUN AWAY que crea el nuevo vector de dirección a seguir.
 - Su resultado se envía al módulo TURN, que junto con FORWARD producen de modo *realimentado* (mediante los *encoders*) el giro necesario.
 - Por tanto, el robot se mueve y gira en la zona cercana al obstáculo para esquivarlo, pero sólo en la zona cercana a él porque sólo está reaccionando a los obstáculos detectados.



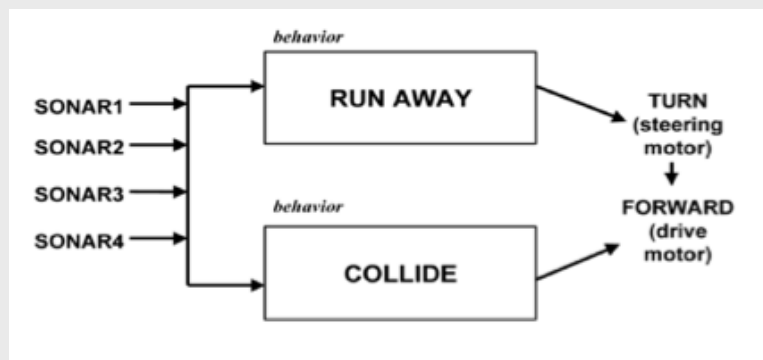
Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 0:
 - Expresado en forma de comportamientos:



27



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 1:
 - Dado que el robot “pasea”, añadimos en este nivel superior de competencia un módulo “pasear” (WANDER) que genera una nueva dirección cada x segundos.
 - Esta salida, debe ser adecuadamente insertada, a través de un módulo que esquive los choques, AVOID, partiendo también del resultado del “feeling” de los sensores de distancia.

28



Comportamientos y Arquitecturas para RR

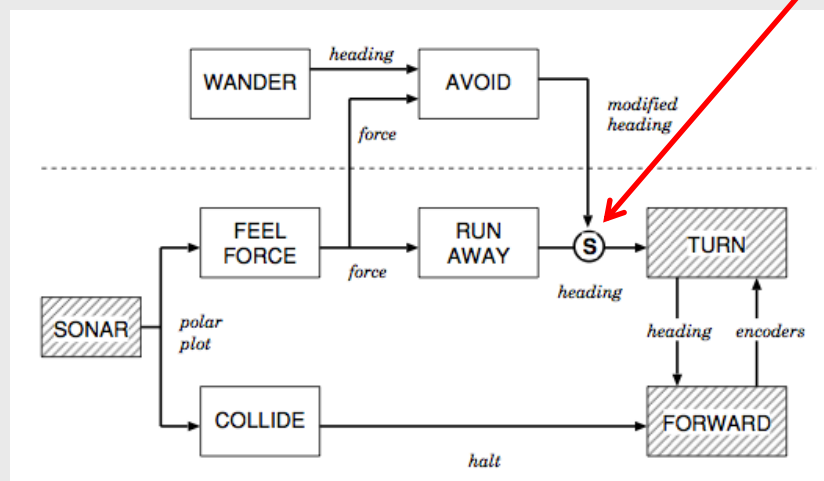
3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 1:

Subsunción



29



Comportamientos y Arquitecturas para RR

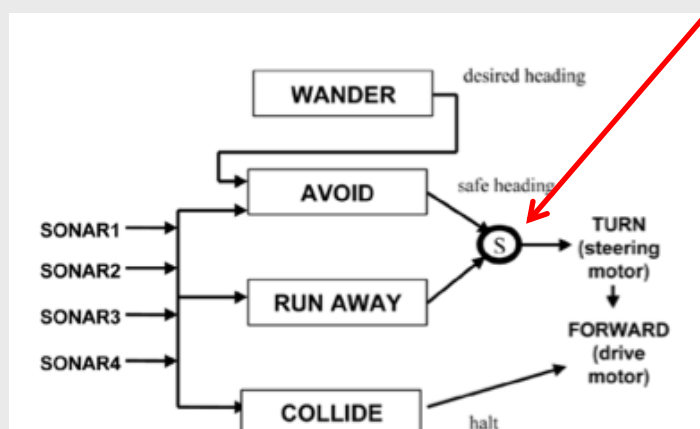
3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 1:

Subsunción



30



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 1:
 - El mecanismo de **Subsunción** puede:
 - Inhibir, la salida del módulo inferior
 - Suprimir, y suplantar la salida de RUNAWAY por la salida de AVOID, pero sin detenerla propiamente

31



Comportamientos y Arquitecturas para RR

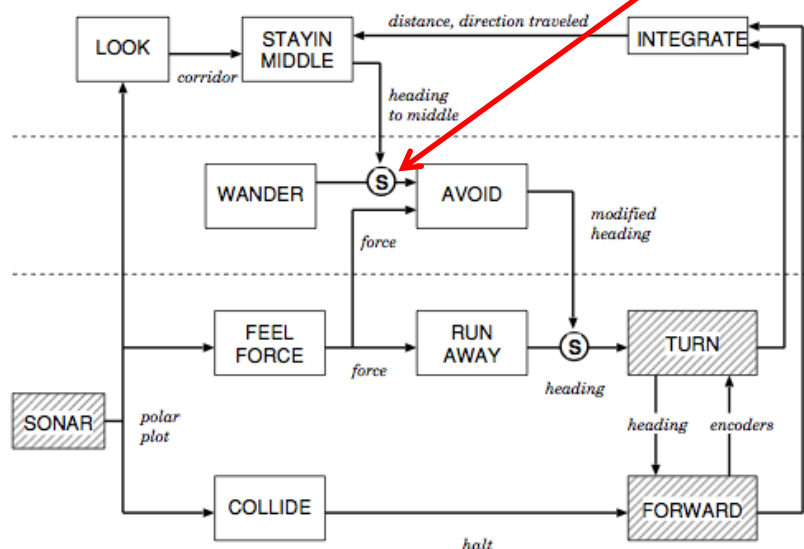
3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

Ejemplo:

- Nivel 2:
Seguir pasillos

Subsunción



32



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción

En resumen:

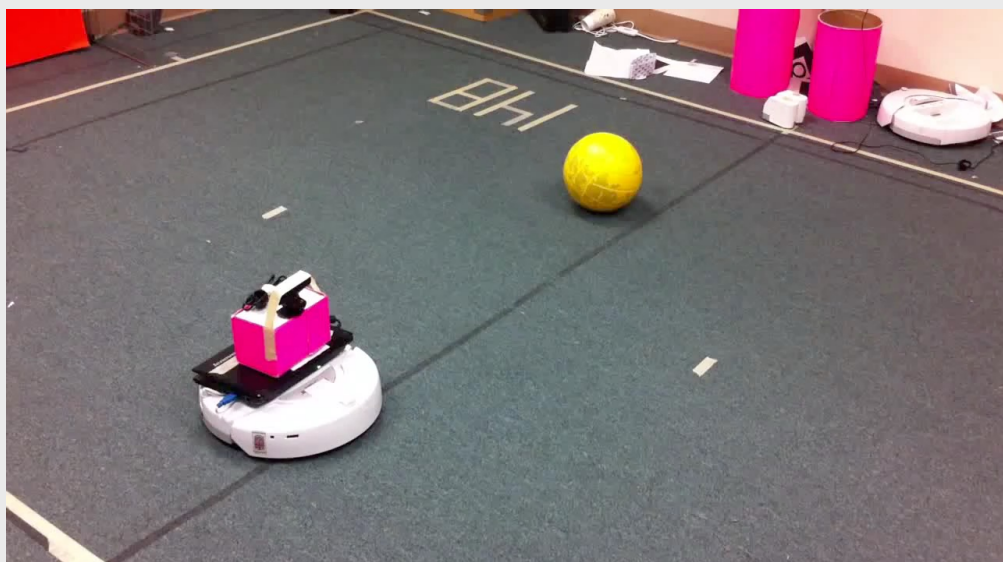
- Las capas superiores pueden **inhibir** o **subsumir** a las inferiores, pero no las modifican, por tanto, es fácil añadir niveles progresivamente
- Construir capas de comportamientos no siempre es fácil: *se complica con la complejidad del objetivo y sus posibles diversos componentes*
- No hay planificación... los comportamientos responden a estímulos en su lugar... y no hay modelos del mundo.
- La percepción es egocéntrica



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción (Video: Brown University)





Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.1 Arquitectura de Subsunción (Collision Free Navigation. Video: Brown University)



35

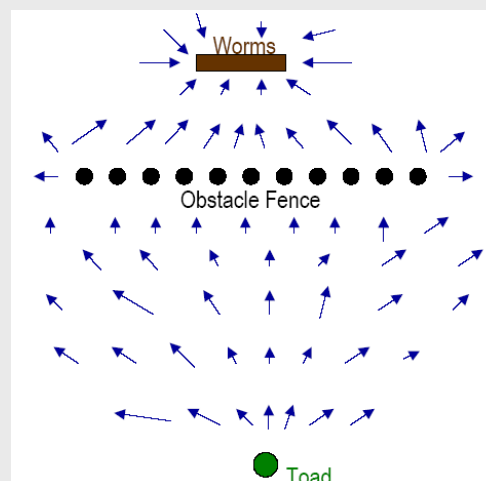


Comportamientos y Arquitecturas para RR

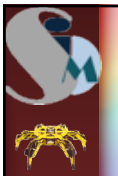
3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

- Algunos comportamientos animales inspiran comportamientos para robots. Un ejemplo es la navegación de un sapo, en el campo generado por un conjunto de gusanos. Este modelo ha inspirado la navegación de robots con un *modelo de campos de fuerza o potencial*.



36



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

- Hay diversas variantes basadas en la misma idea.
- El robot es como una partícula sometida a la influencia de campos de potencial.
- Los campos dependen de los obstáculos (*repelen*), direcciones deseadas y objetivos (*atraen*).
- En estos modelos basados en Potenciales de Campo:
 - Se utilizan **vectores** para representar los comportamientos, y **suma de vectores** para combinarlos para producir el **comportamiento emergente**.
 - La potencia de un campo puede **cambiar con la distancia** al obstáculo o al objetivo. (Es una cuestión de gradientes).

37

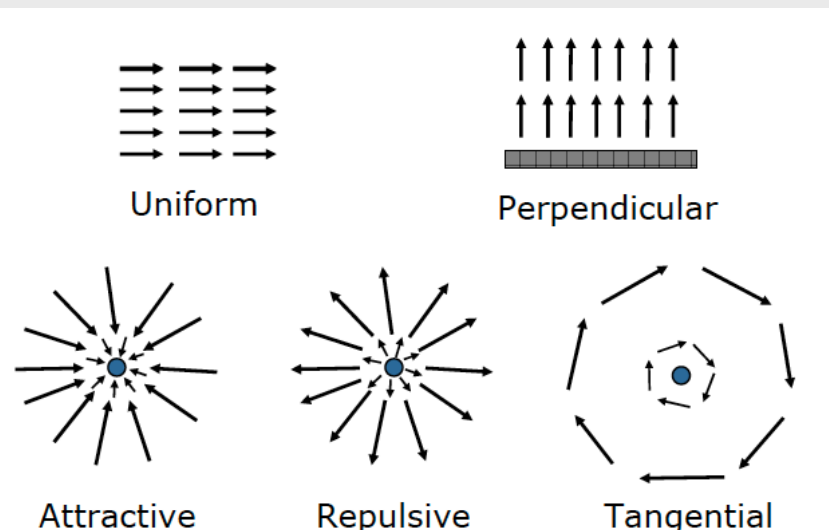


Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Tipos básicos de potenciales de campo:



38



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Parámetros:

- Los campos tienen **magnitud** y **dirección** en cada punto.
- La **magnitud** de los campos es un elemento configurable, constante o variable, y se puede usar para:
 - **Manejar la velocidad** del robot en la maniobra que debe realizar en esa zona.
 - **Que el robot responda con la intensidad proporcional** a la intensidad del estímulo



Comportamientos y Arquitecturas para RR



3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Seguimiento de un pasillo mediante esta técnica:

- **Nivel 0** (evitar colisiones):
 - Campos repulsivos de los obstáculos detectados
- **Nivel 1** (pasear)
 - Campo uniforme (para que avance)
- **Nivel 2** (seguir el pasillo)
 - Sustituye el campo uniforme del paseo por tres campos, dos perpendiculares (de las paredes, para que vaya por el centro) y uno uniforme (para que avance)



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Características:

- No hay preferencias por capas como en subsunción
- Fácil de entender
- Combinar campos es fácil
- Precisa de altas tasas de actualización
- Los parámetros deben estar bien ajustados



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Implementación de las funciones de Potencial de Campo (I/VIII):

```
vector runaway( ){
    double reading;
    reading=readSonar();//perceptual schema
    vector=repulsive (reading, MAX_DISTANCE); //motor schema
    return Voutput;
}
while (robot==ON)
{
    Vrunaway=runaway(reading); // motor schema
    turn(Vrunaway.direction);
    forward(Vrunaway.magnitude*MAX_VELOCITY);
}
```



Comportamientos y Arquitecturas para RR

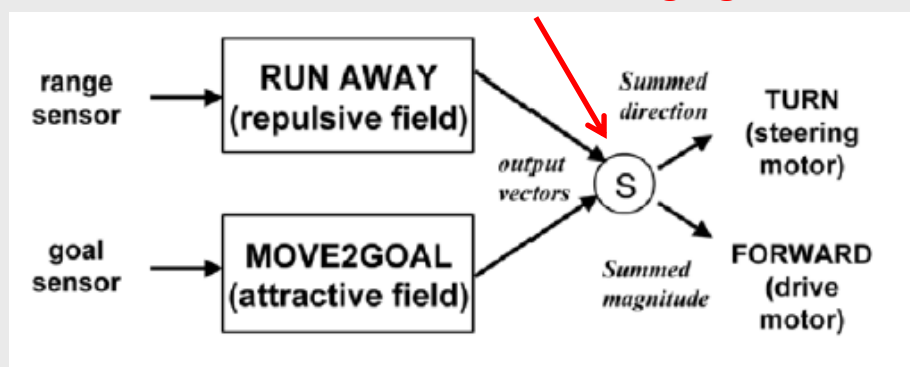
3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Implementación de las funciones de Potencial de Campo (II/VIII):

- Los comportamientos se implementan como potenciales de campo.
- La combinación de comportamientos es el resultado de la suma de vectores.

Suma o agregación



43

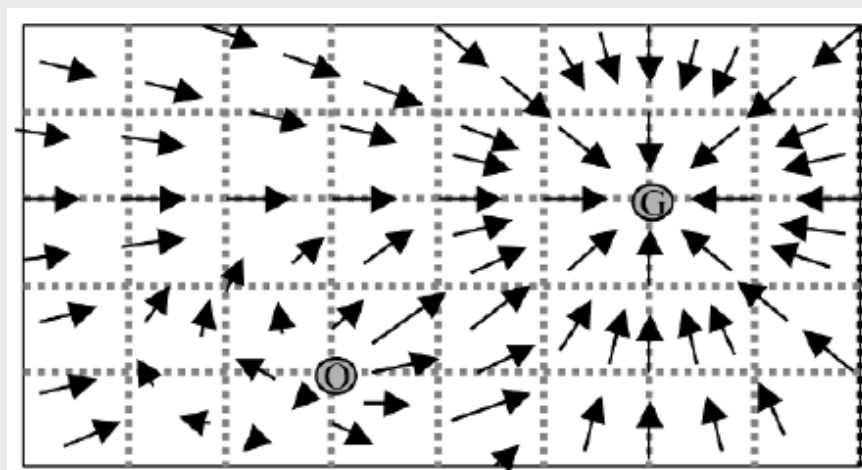


Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Implementación de las funciones de Potencial de Campo (III/VIII):



44



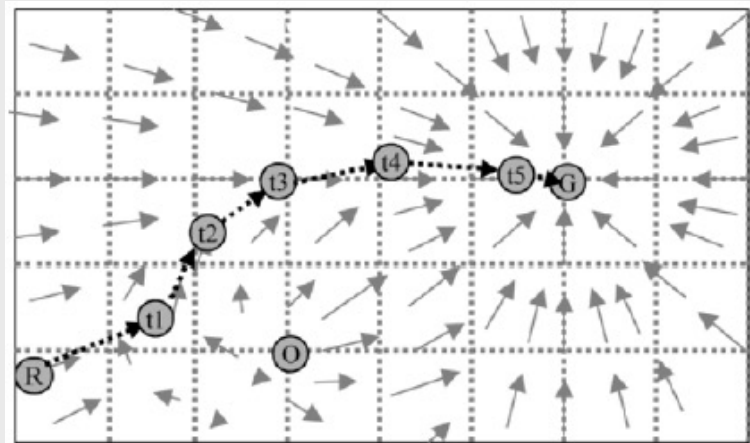
Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Implementación de las funciones de Potencial de Campo (IV/VIII):

- Ruta seguida por el robot:



45



Comportamientos y Arquitecturas para RR

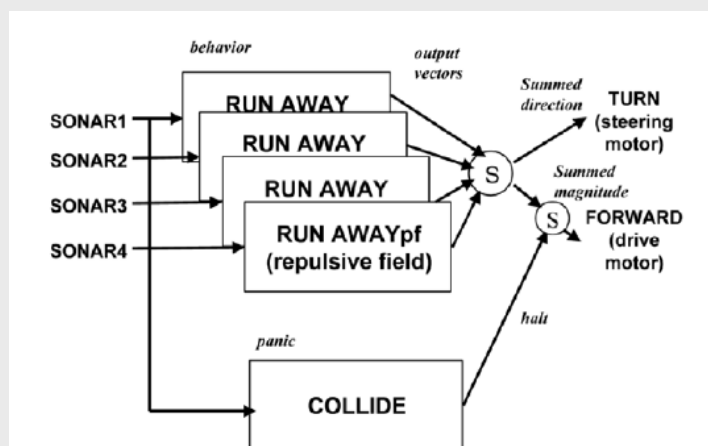
3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Implementación de las funciones de Potencial de Campo (V/VIII):

- Evitar obstáculos:

Nivel 0



46



Comportamientos y Arquitecturas para RR

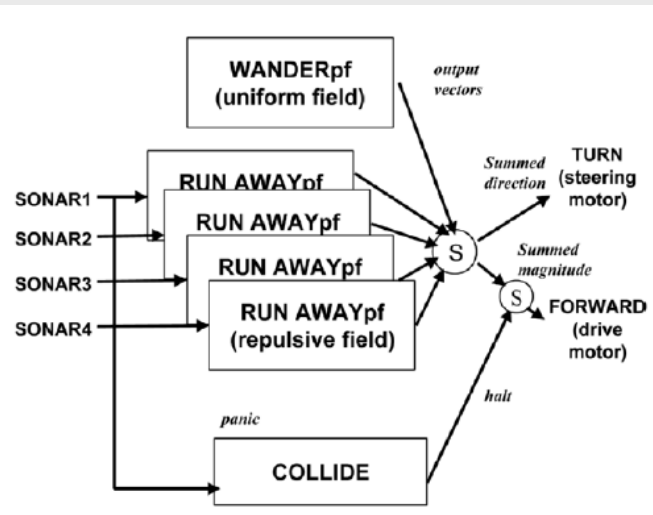
3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Implementación de las funciones de Potencial de Campo (VI/VIII):

- Pasear:

Nivel 0+1



47



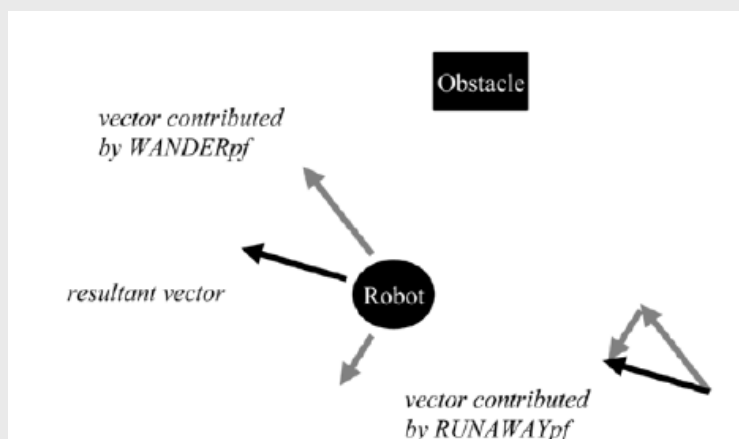
Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Implementación de las funciones de Potencial de Campo (VII/VIII):

- Resultado de la agregación de pasear y esquivar:



48



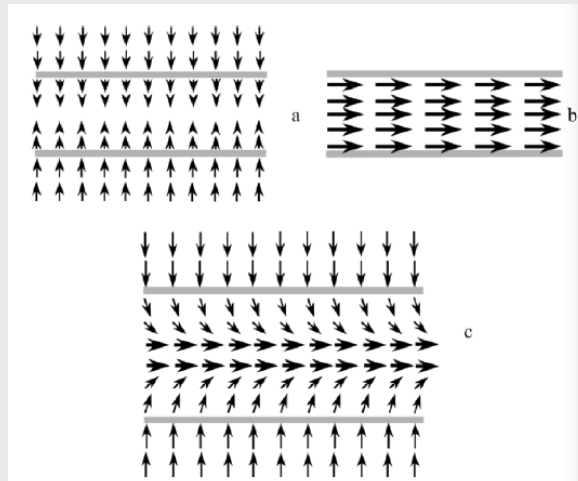
Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos

3.2.2 Arquitectura basada en Potenciales de Campo

Implementación de las funciones de Potencial de Campo (y VIII/VIII):

- Campos por un pasillo:



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos: 3.2.2 Potenciales de C.

Ejemplo:

University at Buffalo,
SUNY.
Mechanical and
Aerospace
Engineering Dept.
(USA)

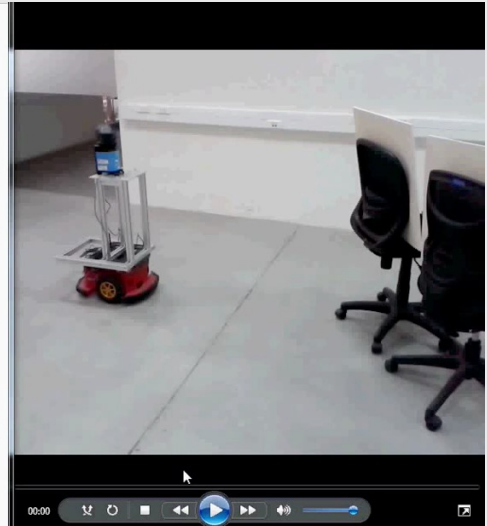
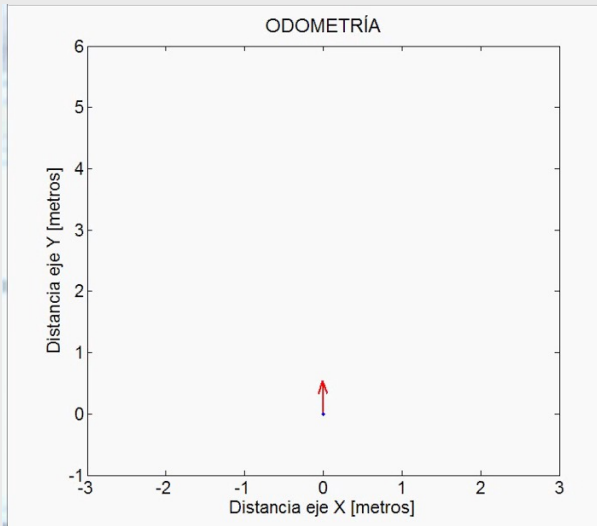




Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.2 Arquitecturas para Robots Reactivos: 3.2.2 Potenciales de C.

Ej: Repulsive constant force



51



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.3 Comparación de Arquitecturas

- **Ventajas de los potenciales de campo:**
 - Fáciles de ver y manejar en áreas grandes
 - Fácil de combinar campos (fácil de implementar en bibliotecas).
 - Los campos se pueden parametrizar y gestionar sus magnitudes
 - Se puede extender el modelo 2D al 3D

52

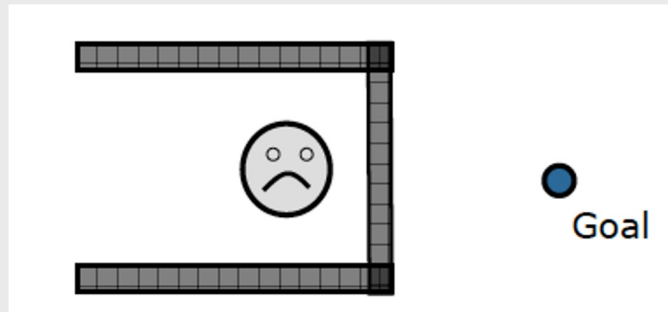


Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.3 Comparación de arquitecturas

Inconveniente de los Potenciales de Campo:

- Mínimos locales !!



- Soluciones posibles:

- *Backtracking*
- Movimientos aleatorios temporalmente
- Uso de un planificador temporal para seguir la pared
- Incrementar el potencial de las regiones visitadas (para que sean más repulsivas)

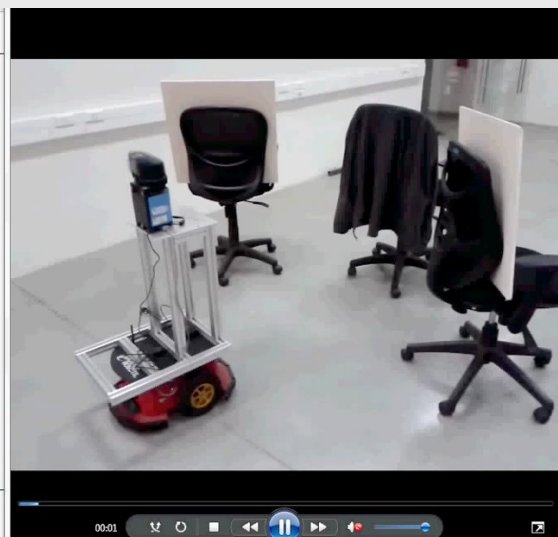
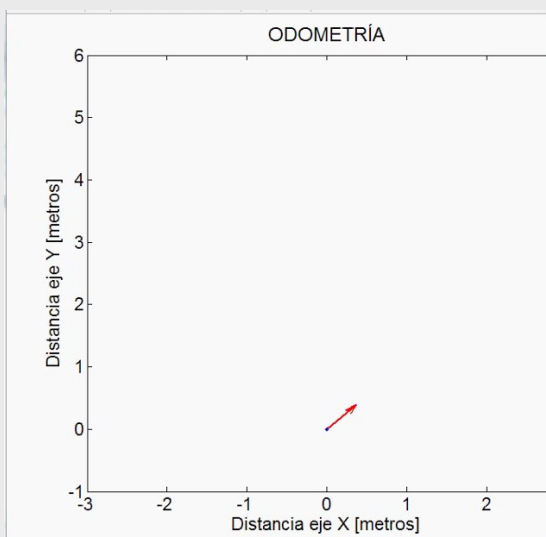
53



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.3 Comparación de arquitecturas

Ejemplo del Problema del Mínimo Local



54



Comportamientos y Arquitecturas para RR

3.5 Bibliografía

- Introduction to AI Robotics, The MIT Press. R.R. Murphy.
- Cambrian Intelligence: The Early History of the New AI, Rodney Allen Brooks
- Behaviour based Robotics, The MIT Press, R.C. Arkin.
- Inteligencia Artificial, Un enfoque moderno, Prentice Hall. Russell y Norvig.

