

Sistemas Robóticos

Arquitecturas de Control

Prof. Carlos Carreto

Arquitecturas de Controlo

- Definem como estão organizados os módulos de software que formam o sistema de controlo do robô.
- São um conjunto de princípios para organizar o sistema de controlo do robô.
- Têm a ver com software e não com hardware.
- Servem de guião para a estruturação dos programas de controlo do robô.

Classes de Arquitecturas de Controlo

- Existem 4 tipos de arquitecturas:
 - **Arquitectura Deliberativa**
 - Pensar, planear e depois actuar.
 - **Arquitectura Reactiva**
 - Não pensar nem planear, reagir!
 - **Arquitectura Híbrida**
 - Pensar e planear, mas reagir rápido se necessário.
 - **Arquitectura Baseada em Comportamentos**
 - Pensar e actuar de forma distribuída.

Classes de Architecturas de Controlo

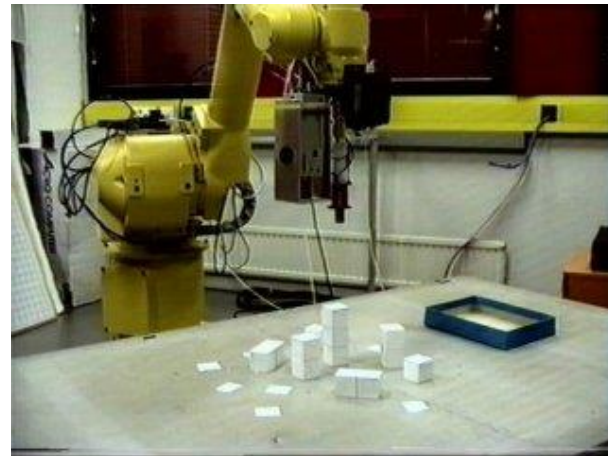
- Classificação em relação à escala temporal
 - **Arquitectura Deliberativa**
 - Escala de tempo longa, pois é necessário planeamento.
 - **Arquitectura Reactiva**
 - Escala de tempo muito curta, pois baseia-se em respostas imediatas aos estímulos do ambiente.
 - **Arquitectura Híbrida**
 - Combina as duas escalas de tempo, pois há planeamento, mas também há resposta imediata a estímulos.
 - **Arquitectura Baseada em Comportamentos**
 - Combina ambas as escalas de tempo, pois o controlo é distribuído por uma rede de comportamentos pelo que a escala de tempo é longa, mas localmente, ao nível de cada comportamento, a resposta é tipicamente rápida.

Arquitecturas de Controlo

- Não existe um tipo de arquitectura que seja melhor do que os outros. Cada um tem a suas vantagens e desvantagens.
- A escolha do tipo de arquitectura deve ser feita com base nas características da tarefa que o robô deve executar e na capacidade de processamento do próprio robô.



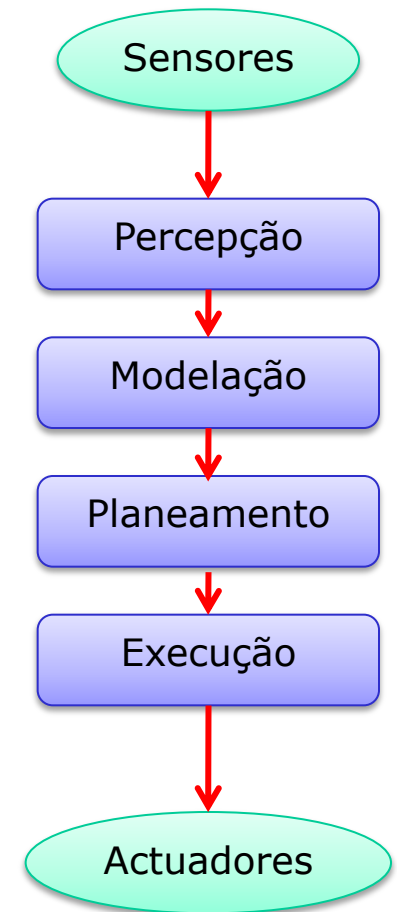
Os robôs futebolistas necessitam de actuar rapidamente, pelo que não têm muito tempo para pensar, planejar e só depois actuar.



Um robô manipulador planeia a melhor maneira para recolher um conjunto de peças. O mundo é muito estruturado e o robô tem tempo para planejar a melhor estratégia.

Arquitetura Deliberativa

- O sistema de controlo do robô é dividido em módulos com funcionalidades distintas que são executados numa sequência hierárquica.
- Ideia geral:
 - Aperceber-se de dados relevantes do ambiente;
 - Construir um modelo do ambiente;
 - Usar esse modelo para planear as tarefas;
 - Executar as tarefas de acordo com o plano.

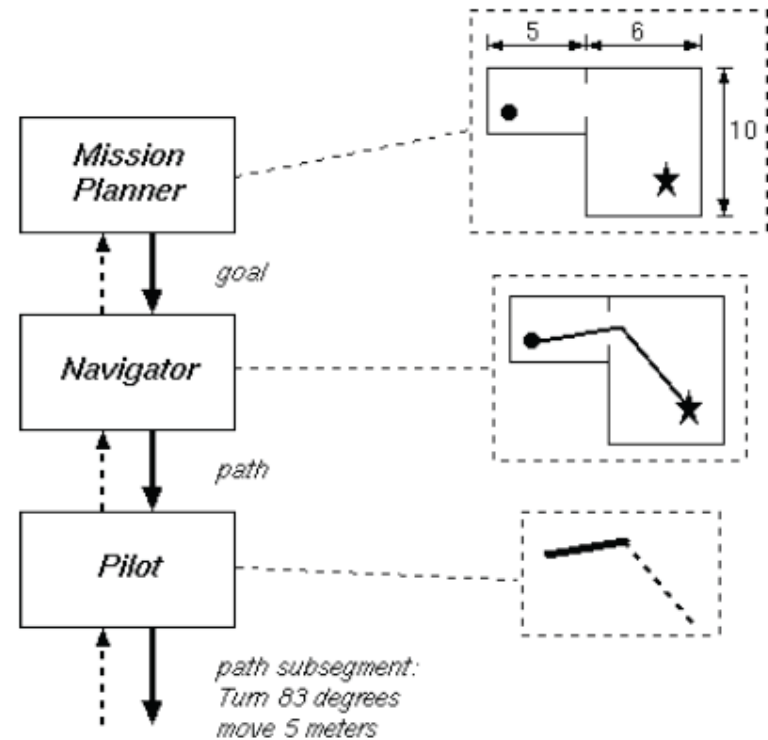
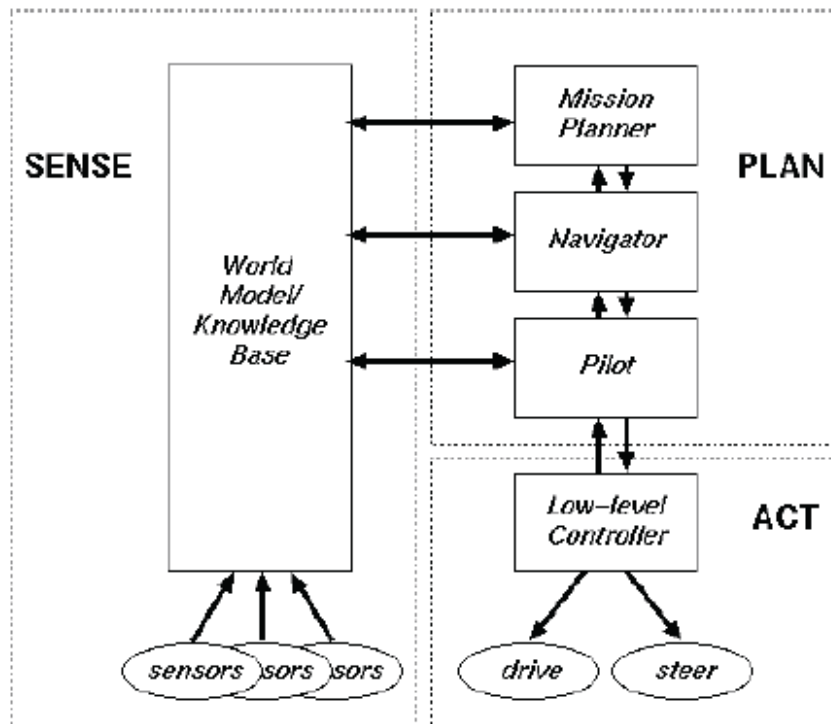


Arquitectura Deliberativa

- As funcionalidade são atribuídas a módulos distintos que comunicam entre si de uma forma hierárquica e predeterminada.
- É capaz de planeamentos complexos, mas necessita de um modelo do ambiente (mapa), que exige capacidade de processamento elevada.
- Enquanto o sistema de controlo está a planear a próxima série de acções, este pode não se aperceber de mudanças que entretanto ocorreram no ambiente.

Arquitetura Deliberativa

Controlo Hierárquico Aninhado (Meystel)



Arquitectura Deliberativa

Arquitectura NASREM/RCS (*NASA Standard Reference Model for Telerobot Control System Architectures / Real-time Control System*)

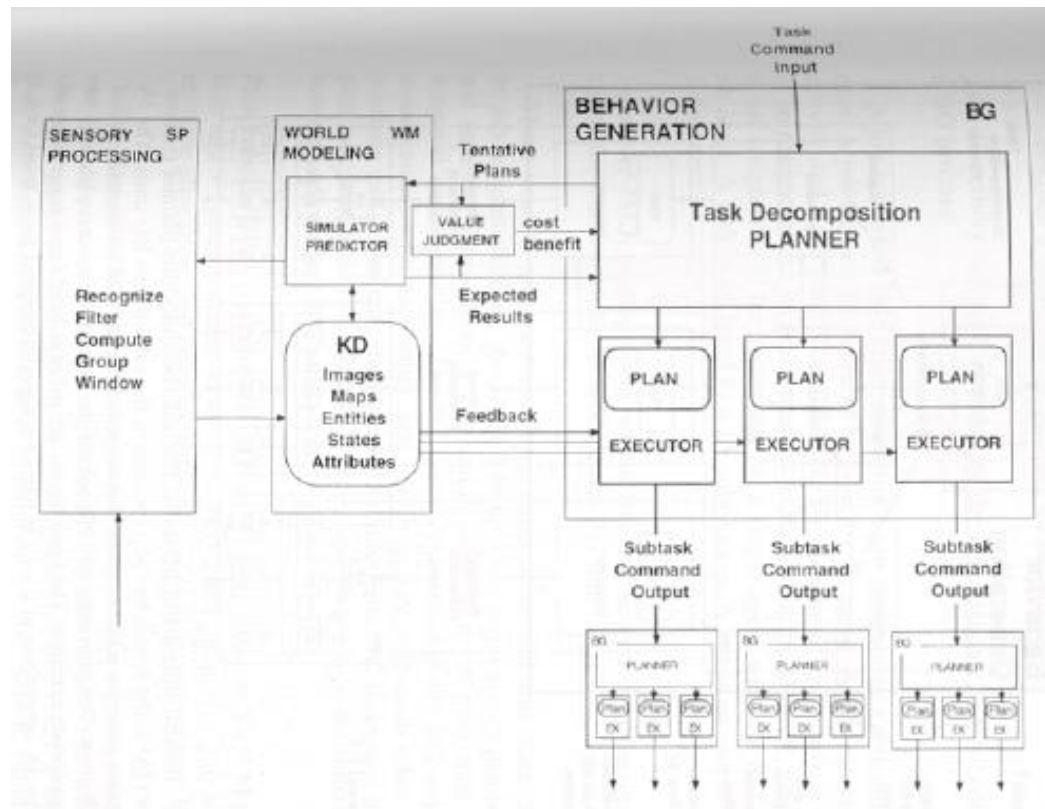
Apresentada por Albus em 1989 para descrever sistemas inteligentes, tanto naturais como artificiais.

O modelo é hierárquico definido em níveis com 4 elementos de inteligência:

- **Geração de Comportamentos:** selecciona os objectivos, planeia e executa tarefas. As tarefas são recursivamente decompostas em sub-tarefas.
- **Modelo de Mundo:** contém uma estimativa do estado do ambiente. O modelo de mundo também contém capacidades de simulação e gera expectativas e previsões.
- **Processamento Sensorial:** processa as entradas sensoriais e as previsões do modelo de mundo, actualizando o modelo de mundo de acordo.
- **Julgamento de Valor:** calcula os custos e riscos e avalia tanto os estados observados como os estados previstos pelos planos hipotéticos.

Arquitetura Deliberativa

NASREM/RCS foi utilizado em um grande número de veículos tele-operados ou semi-autónomos em missões espaciais e subaquáticos.

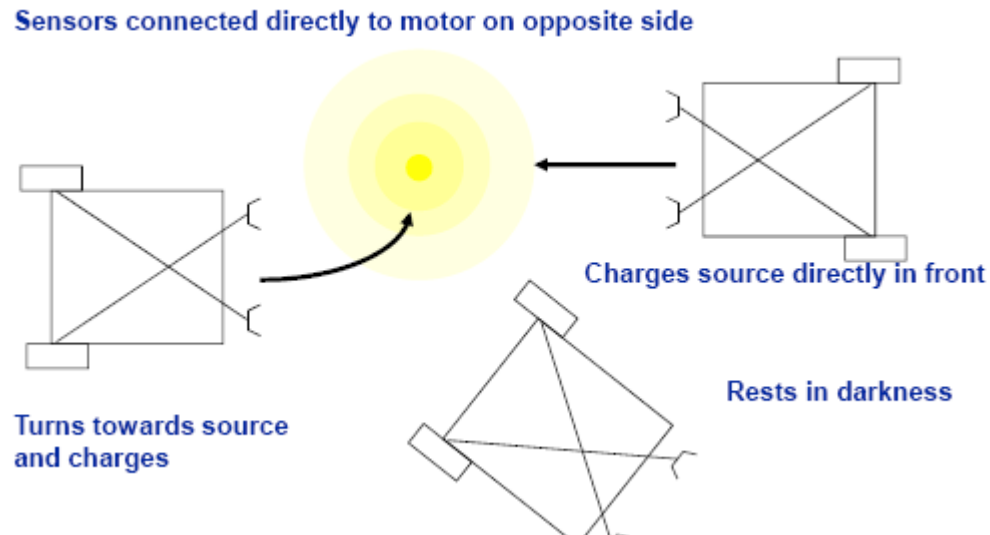
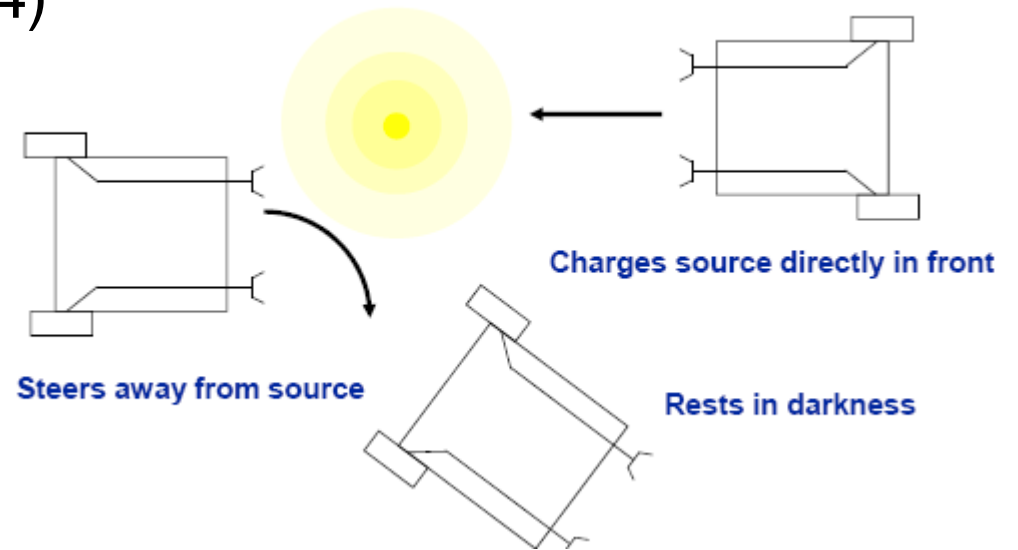


Arquitectura Reactiva

- O sistema de controlo do robô é baseado numa ligação “directa” entre os seus sensores e os seus actuadores.
- Não existe qualquer representação interna do mundo; o sistema de controlo apenas reage à informação sensorial do momento.
- Baseada num conjunto de regras que mapeiam situações em acções.
 - Forma simples de implementação:
 - Dividir o mundo num conjunto de situações mutuamente exclusivas;
 - Reconhecer a situação onde nos encontramos;
 - Reagir a essa situação.

Arquitectura Reactiva

- Veículos de Braitenberg (1984)



Arquitetura Híbrida

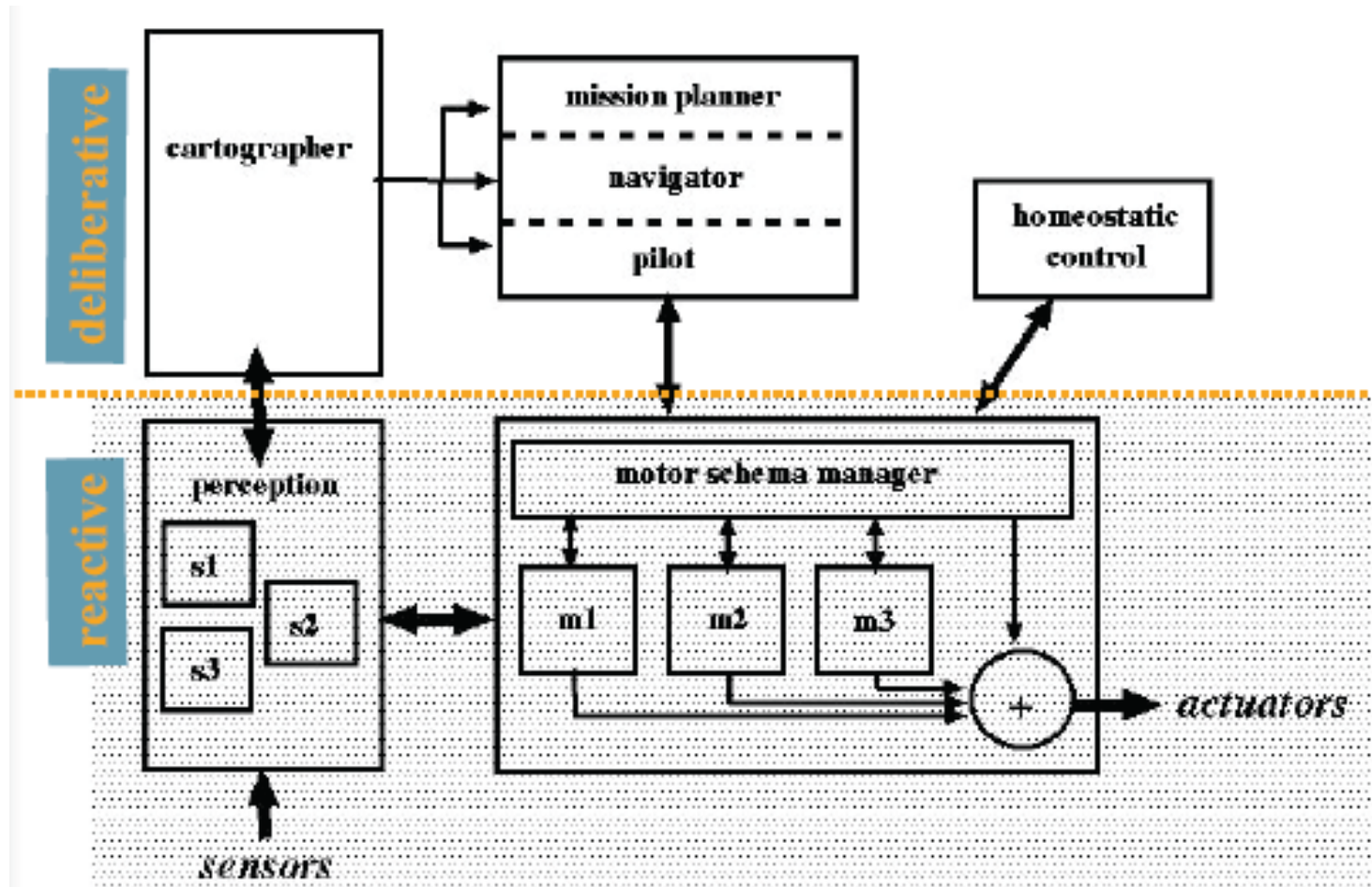
- Combina aspectos da Arquitetura Deliberativa e da Arquitetura Reactiva.
- Tipicamente integra uma componente deliberativa para o planeamento a longo prazo, com uma componente reactiva para o controlo em tempo real.
- Pode também ser vista como uma arquitectura diferente por mérito próprio:
 - De acordo com a abordagem híbrida, nenhuma das arquitecturas anteriores é adequada, por si só, para o controlo de um robô.

Arquitetura Híbrida

- Num sistema de controlo híbrido o objectivo é combinar o melhor dos sistemas de controle deliberativo e reactivo.
- Um módulo é responsável por executar o planeamento a longo prazo, enquanto outro tem a responsabilidade de lidar com situações de reacção imediata, como por exemplo evitar obstáculos.
- A principal dificuldade deste tipo de sistema de controle é integrar estes dois módulos e resolver os conflitos que surgem desta união.
 - Geralmente existe um terceiro módulo que faz a gestão da comunicação entre o módulo planeador e o módulo reactivo.

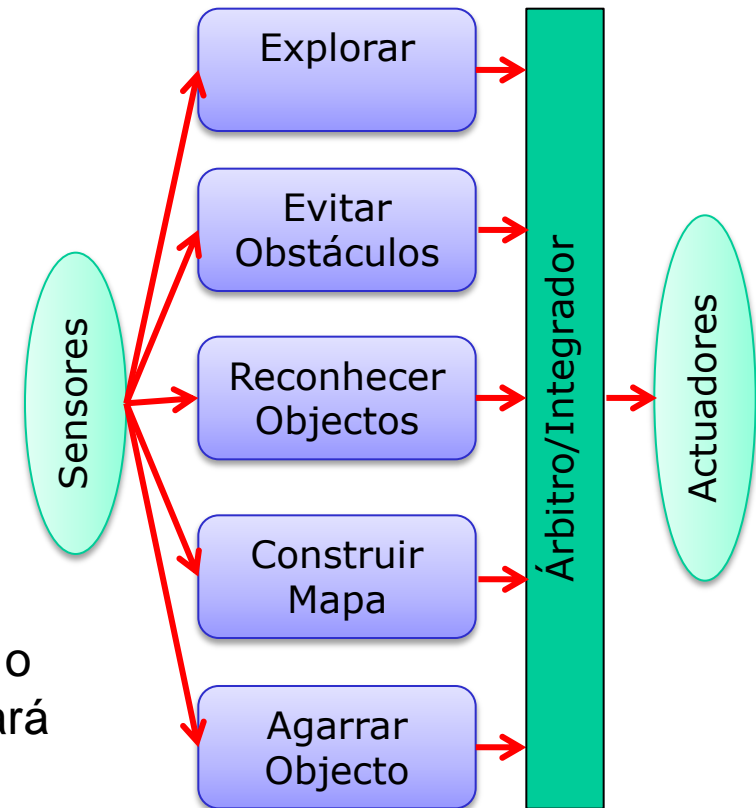
Arquitetura Híbrida

AuRA (*Autonomous Robot Architecture*), proposta por Arkin em 1987.



Arquitectura Baseada em Comportamentos

- O sistema de controlo do robô é dividido em comportamentos ou estados, cada um deles capaz de controlar o robô na execução de determinada subtarefa.
- Ideia geral:
 - Cada comportamento, tem uma condição de activação relacionada com a percepção do ambiente;
 - Se determinada condição de activação ocorrer, o respectivo comportamento é activado e controlará o robô;
 - Se for activado mais do que um comportamento, um módulo com a função de árbitro escolhe um dos comportamentos, ou integra a saída dos vários comportamentos, para controlar o robô.



Arquitetura Baseada em Comportamentos

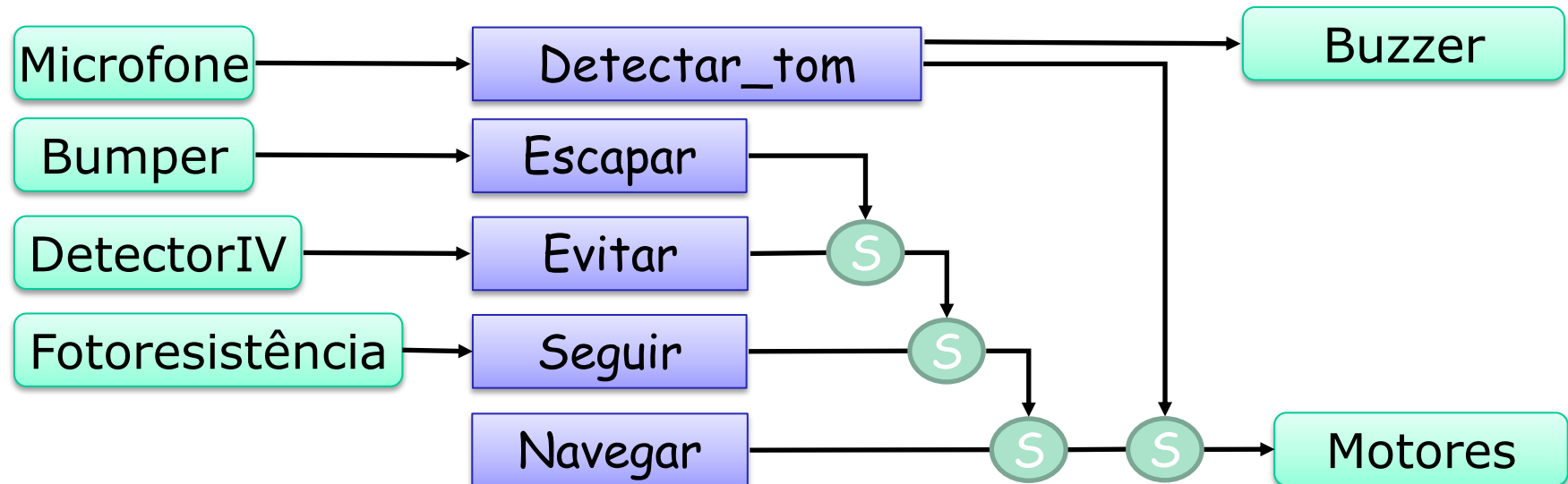
- Uma entrada sensorial já não precisa de passar por uma série de camadas de processamento antes de se transformar numa saída para os actuadores.
- Cada comportamento é auto-contido e independente dos outros, utilizando apenas as entradas sensoriais relevantes para a tarefa que executa.
- Pode ser difícil coordenar os comportamentos para executar tarefas muito complexas.

Arquitetura Baseada em Comportamentos

- Pode ou não haver uma representação interna do modelo do ambiente, mas tipicamente não é realizado qualquer planeamento de acções.
- Está relacionada com a Arquitetura Reactiva, pois é baseada no princípio da reactivada, ou seja, na suposição de que comportamentos inteligentes podem ser gerados sem nenhuma representação simbólica explícita e de que a inteligência é uma propriedade que emerge de certos sistemas complexos.

Arquitetura Baseada em Comportamentos

- Arquitectura Subsumption, proposta por Brooks em 1986.
 - O controlo é dividido numa série de processos que concorrem entre si.
 - Cada um dos processos é ligado com as suas próprias entradas sensoriais e com as saídas actuadoras.
 - Tipicamente os processos têm a capacidade de inibir as entradas ou saídas de outros processos, dependendo das prioridades de cada um.

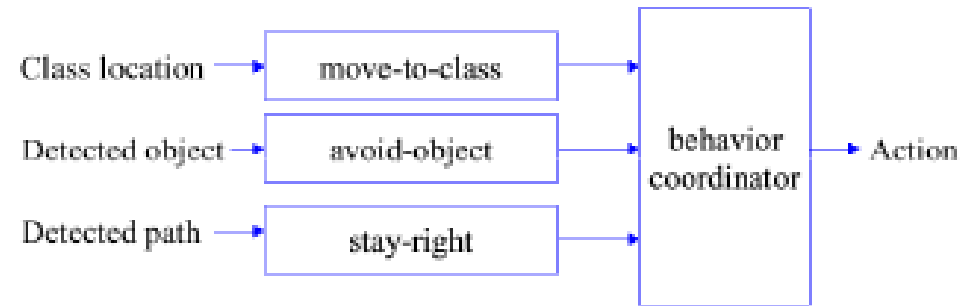


Arquitectura Baseada em Comportamentos

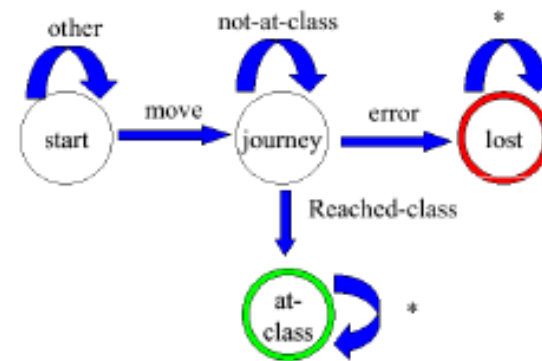
- Os sistemas de controlo baseados em comportamentos são inspirados na biologia e tentam modelar os processos cognitivos dos animais para lidar com problemas complexos.
- Possuem diferentes processos que representam comportamentos, os quais respondem a estímulos gerados pelos sensores e que os fazem executar acções, ou dar lugar a outros comportamentos.
- O controlo do robô é executado numa rede de comportamentos que “conversam” entre si (ver exercício a seguir).

Arquitetura Baseada em Comportamentos

- Tipos de representação:
 - Diagramas de estímulo-resposta



- Diagramas de estados finitos

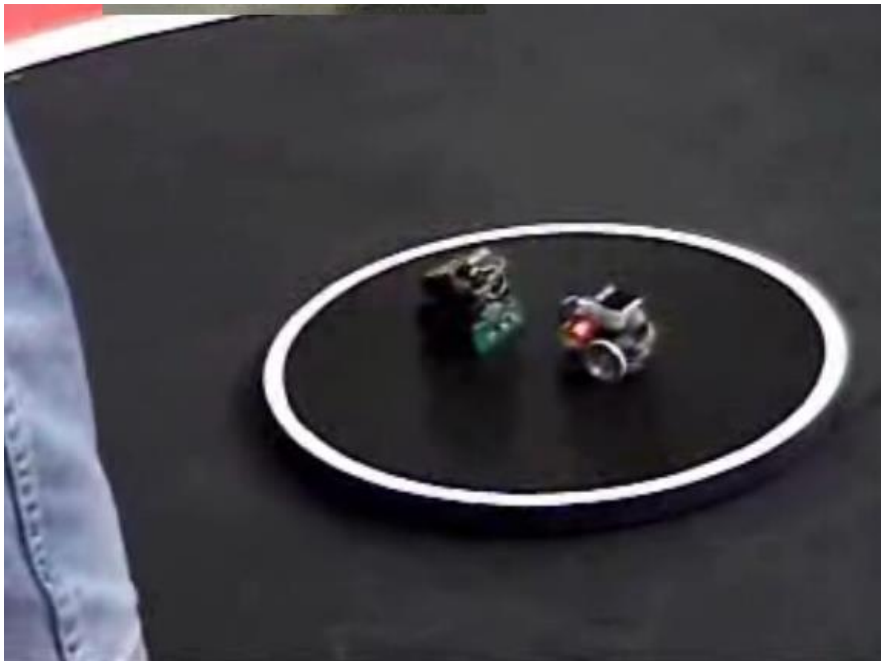


- Notação funcional de comportamentos

```
coordinate-behaviors [  
  move-to-classroom (detect-classroom-location),  
  avoid-objects (detect-objects),  
  dodge-students ( detect-students ),  
  stay-to-right-on-path ( detect-path ),  
  defer-to-elders ( detect-elders )  
] = motor-response
```

Exercício

Definição de uma Arquitectura Baseada em Comportamentos
para um robô lutador de Sumo



Exercício

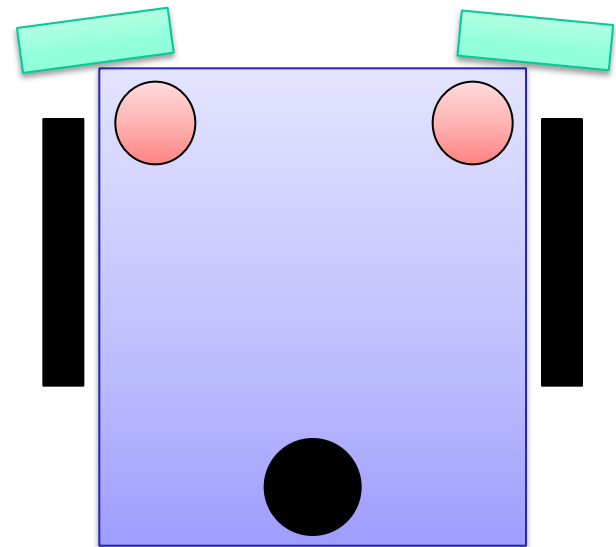
Arquitetura Baseada em Comportamentos para um robô lutador de Sumo

Robô:

- Condução diferencial
- **Dois sensores de linha branca**
- **Dois sensores de obstáculos**

Estados:

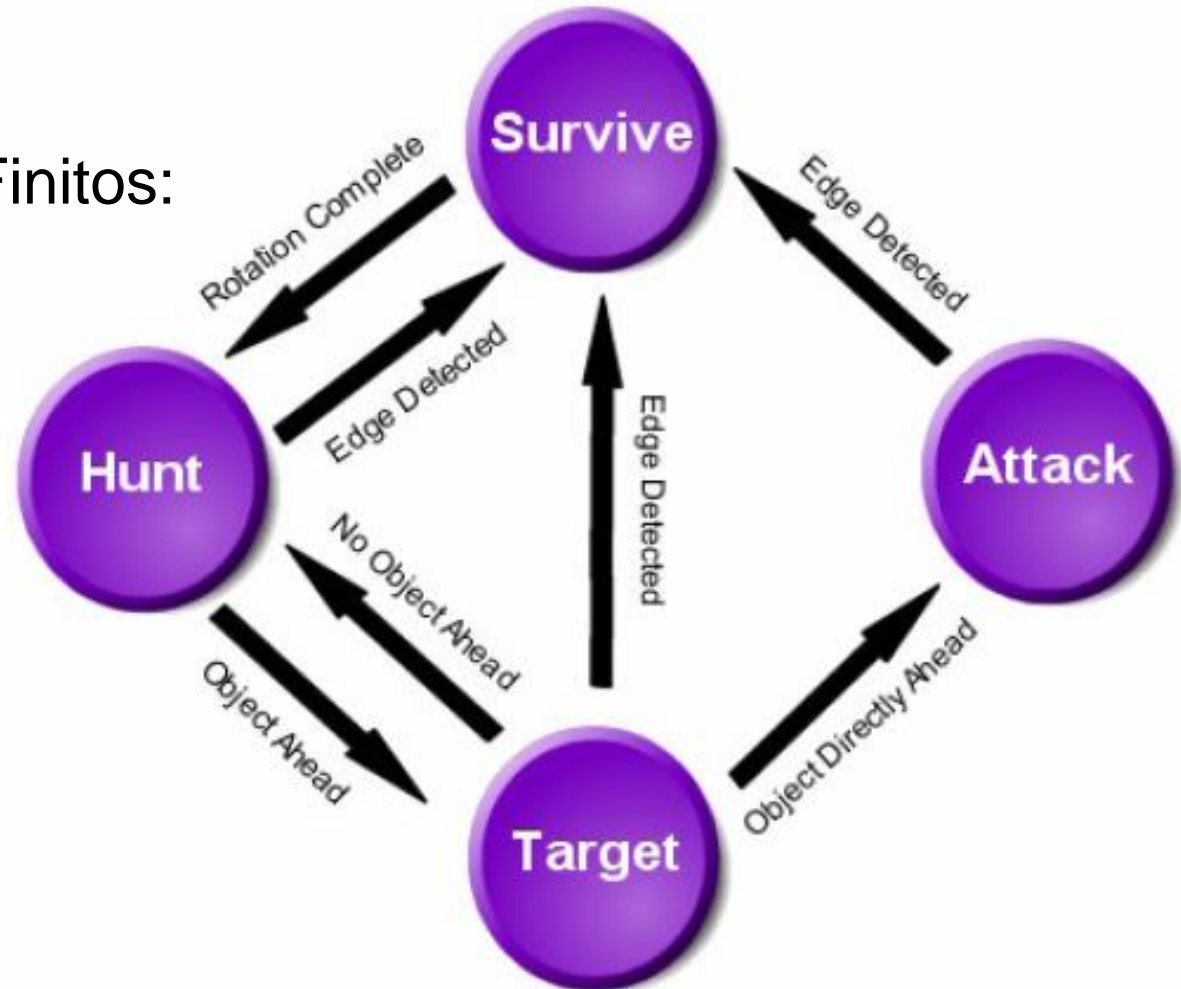
- Survive
- Hunt
- Target
- Attack



Exercício

Arquitetura Baseada em Comportamentos para um robô lutador de Sumo

Máquina de Estados Finitos:



Exercício

Implementação no IntelliBrain de sistemas de controlo baseados em comportamentos.

Tutoriais:

- *Building a Mini-Sumo Robot (máquina de estados finitos)*
- *RidgeWarrior II (comportamentos concorrentes com arbitragem)*

<http://www.ridgesoft.com/buildingbots.htm>

Próximo laboratório:

- *Programação de um controlador baseado em comportamentos para um robô bombeiro.*