

**USP - ICMC - SSC
SSC 0714 (RMA) - 1o. Semestre 2010**

**Disciplina de
Robôs Móveis Autônomos
SSC-0714**

Prof. Fernando Santos Osório

Email: fosorio [at] { icmc. usp. br , gmail. com }

Estagiário PAE: Maurício Acconcia Dias - maccddias [at] gmail.com

Web: <http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>

Wiki ICMC: <http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC-714>

Aula 04 – Arquiteturas de Controle

Agenda:

Arquiteturas de Controle de Robôs Autônomos

1. Controle Reativo e Deliberativo [Puro]

2. Controle Hierárquico

Arquitetura Subsumption (Brooks), SMPA

3. Controle Híbrido e Localização

Arquitetura COHBRA

Arquitetura SLAM

4. Exemplos de Sistemas com Arquitetura Híbrida

Arquitetura de Controle Reativo Puro

Controle Reativo Puro

Controle: Percepção $\Rightarrow$ ~~Decisão~~ $\Rightarrow$ Ação

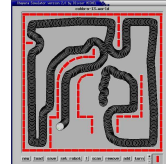
Reativo: Percepção $\Rightarrow$ Ação

- Reage diretamente aos estímulos externos;
- Esquema sensorio-motor;

Comportamentos e Tarefas típicas: *Reactive Behaviour*

- Vagar pelo ambiente, evitando colisões e obstáculos;
- Acompanhar uma parede ou corredor;
- Comportamento direcionado pela luz;
- Ir em direção a uma determinada orientação

Composição de Comportamentos: Direção x Obstáculo



Arquitetura de Controle Deliberativo

Controle Deliberativo

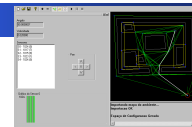
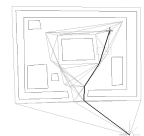
Controle: Percepção $\Rightarrow$ [Conhecimento e Decisão] $\Rightarrow$ Ação

Deliberativo: Percepção $\Rightarrow$ Planeja, Delibera $\Rightarrow$ Ação

- Possui *conhecimento* sobre a situação do robô e do ambiente;
- Usualmente baseado no uso de mapas e planejamento de trajetórias.

Tarefas típicas: *Behaviour : Task Planning, Action Sequence*

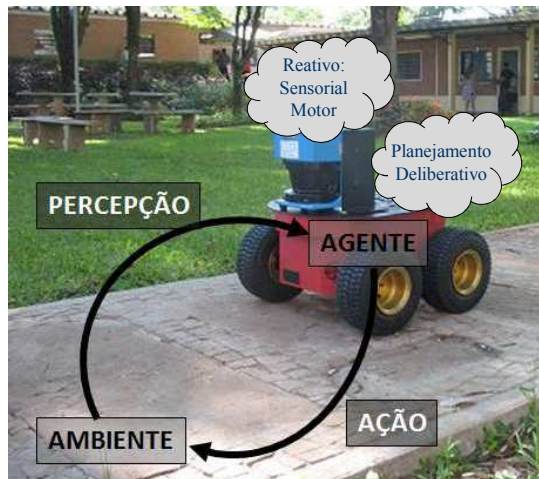
- Execução de scripts de ações planejadas previamente;
- Executar uma sequência de ações previamente determinada;
- Seguir trajetórias especificadas com uso de mapas;
- Execução de Tarefas de Alto Nível;



Arquiteturas de Controle

Arquitetura de Controle: Reativo Percebe => Age
 Deliberativo Planeja/Decide => Age

Agentes Autônomos dotados de SENSORES e ATUADORES



5

Abril 2010

Arquiteturas de Controle

Controle e Autonomia

Arquiteturas de Controle Robótico

- Arquitetura Reativa
- Arquitetura Deliberativa
- Arquitetura Hierárquica
- Arquitetura Híbrida

Controle => Tomada de Decisão para Realizar Ações

Arquitetura => Modelo de Tomada de Decisão

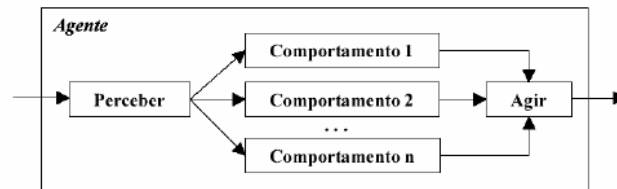
Autonomia => Independência e Robustez na Tomada de Decisões

6

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Hierárquico



Hierarquia de Comportamentos:

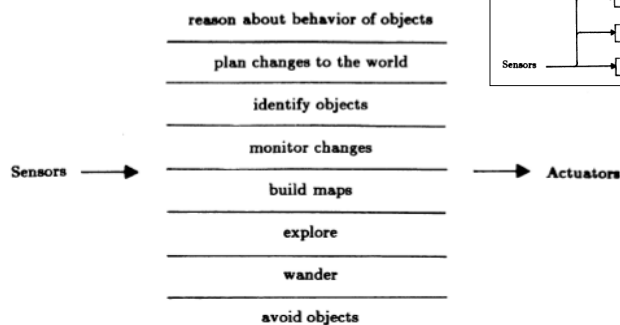
- Evitar/Desviar de obstáculos
- Seguir em uma determinada direção
- Seguir uma determinada rota

7

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Hierárquico



Brooks - Arquitetura Subsumption

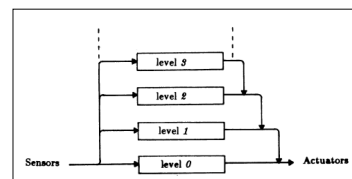


Figure 2. A decomposition of a mobile robot control system based on task achieving behaviors.

Figures From:
 Brooks, R. A.
 MIT A.I. Memo 864
 Sept. 1985

8

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Hierárquico

Arquiteturas Hierárquicas

Brooks-Subsumption

SMPA

“Sense” – “Model” – “Plan” – “Act”



Figure 1. A traditional decomposition of a mobile robot control system into functional modules.

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Hierárquico

Arquiteturas Hierárquicas

Brooks-Subsumption

SMPA

“Sense” – “Model” – “Plan” – “Act”

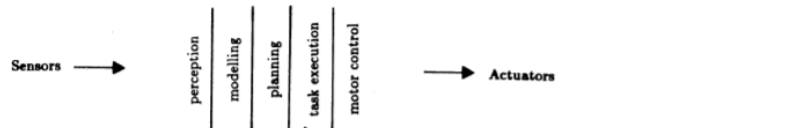
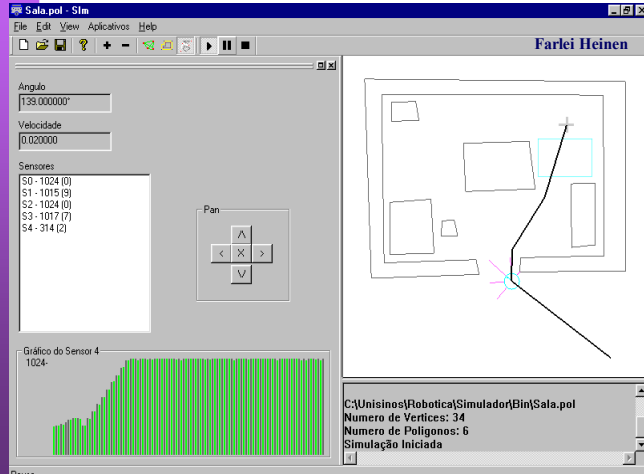
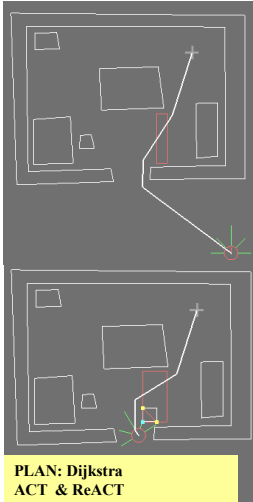


Figure 1. A traditional decomposition of a mobile robot control system into functional modules.

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Hierárquico/Híbrido: SMPA

Controle Híbrido



11

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Hierárquico/Híbrido: SMPA

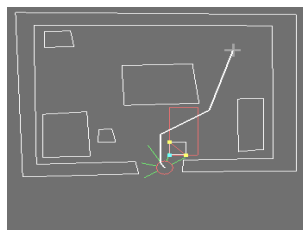
Sense – MODEL – Plan – Act

Conflito Cognitivo:

- Valor Esperado
- Valor Real
- (lido pelos sensores)

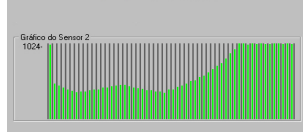
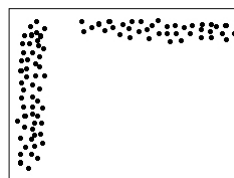
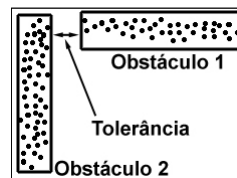
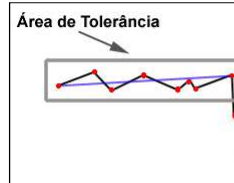
Mapeamento:

- Nuvem de pontos
- Extração de contorno



Valor Esperado

Valor Real



Linha Simplificada

Linha Normal

Método de Douglas-Peucker

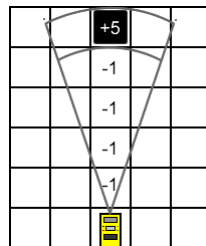
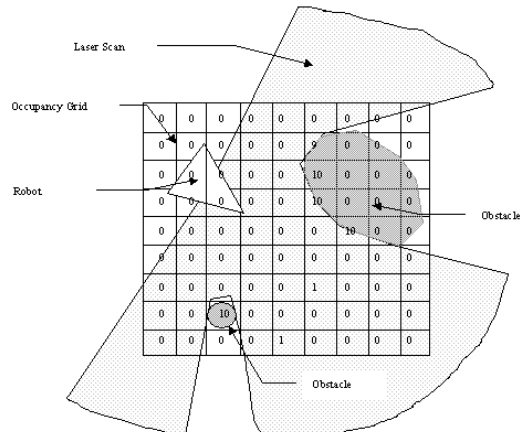
12

Abril 2010

Controle Hierárquico/Híbrido: SMPA

Sense – MODEL – Plan – Act

Environment Map:
Occupancy Grid



13

Abril 2010

http://cgi.cse.unsw.edu.au/~cs4411/wiki/index.php?title=Occupancy_Grid

Controle Hierárquico/Híbrido: SMPA

Sense – MODEL – Plan – Act

Environment Map:
Occupancy Grid

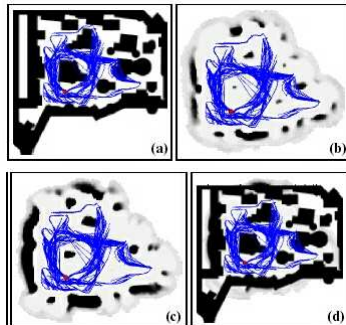
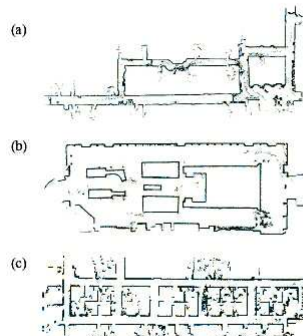


Figure 5: Maps generated in other large-scale environments of sizes (a) 75m, (b) 45m, and (c) 50m. In some of these runs, the cumulative odometric error exceeds 30 meters and 90 degrees.

Fig. 9. Integrating multiple maps: (a) CAD map of the museum ($21 \times 20m^2$) modeling only the static obstacles, (b) laser map, (c) sonar map, and (d) the integrated map used for path planning.

14

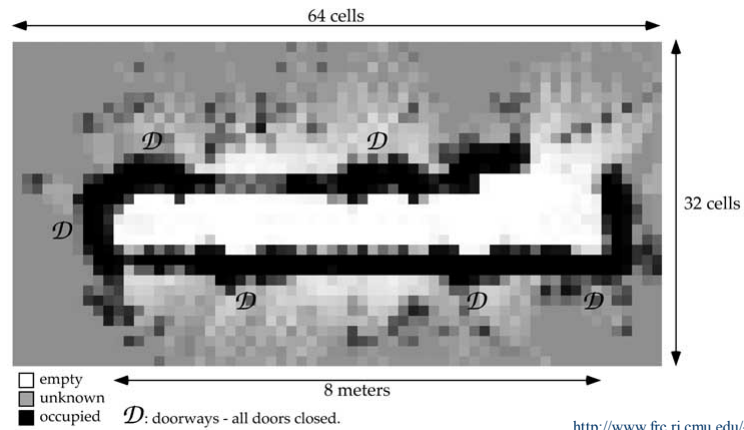
Abril 2010

Sebastian Thrun / CMU

Controle Hierárquico/Híbrido: SMPA

Sense – MODEL – Plan - Act

Environment Map:



15

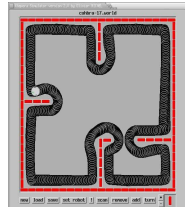
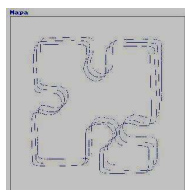
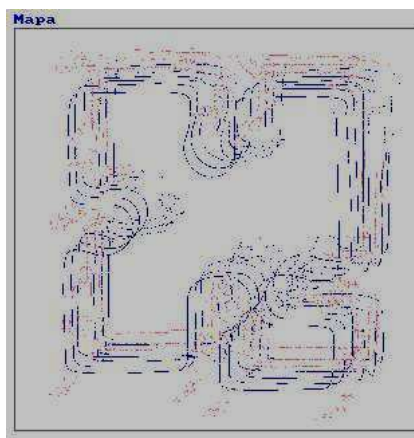
Abril 2010

<http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/talks/>

Controle Hierárquico/Híbrido: SMPA

Sense – MODEL – Plan - Act

Environment Map:
 Occupancy Grid



16

Abril 2010

Flávio Alves

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Hierárquico/Híbrido:

MAPAS:

- Construção - Exemplo: SMPA
- Utilização - Exemplo: A*

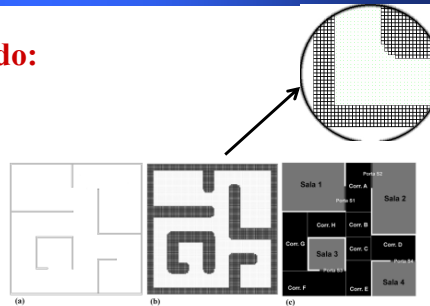
PROBLEMA:

➤ LOCALIZAÇÃO!

- Para poder construir um mapa precisamos controlar a posição e o deslocamento do robô;
- Para poder navegar usando um mapa precisamos saber onde está o robô.

Where am I? [Borenstein 1996]

<http://www-personal.umich.edu/~johannb/position.htm>



17

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Hierárquico/Híbrido:

➤ POSE

Posição (X, Y [Z])

Orientação θ ou $\theta_x, \theta_y, \theta_z$

POSE 2D = X, Y, θ

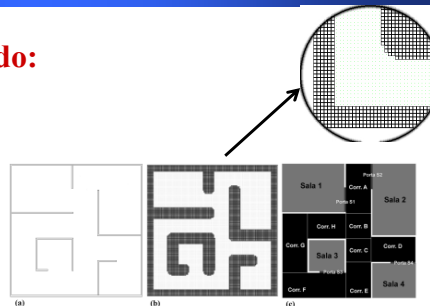
POSE 3D = X, Y, Z, $\theta_x, \theta_y, \theta_z$

➤ LOCALIZAÇÃO!

- Para poder construir um mapa precisamos controlar a posição e o deslocamento do robô;
- Para poder navegar usando um mapa precisamos saber onde está o robô.

Where am I? [Borenstein 1996]

<http://www-personal.umich.edu/~johannb/position.htm>



18

Abril 2010

Controle Hierárquico/Híbrido:

>> Estimativa da Posição <<

Posição Inicial + Deslocamentos => Posição Final

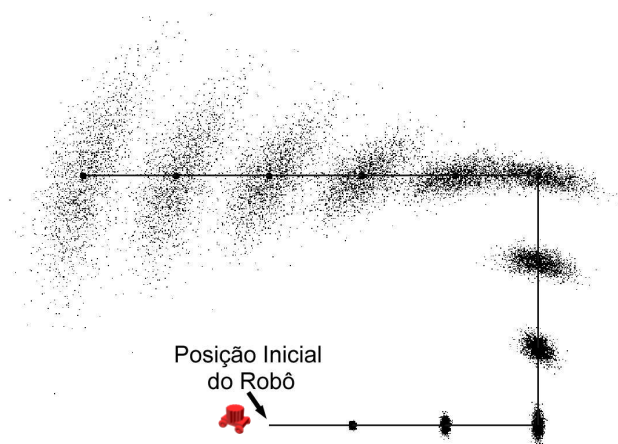
Integração dos deslocamentos no tempo: Odometria

PROBLEMAS:

- Como determinar a posição inicial?
- Como medir precisamente os deslocamentos:
 - * Avanço em linha reta
 - * Giro para os lados

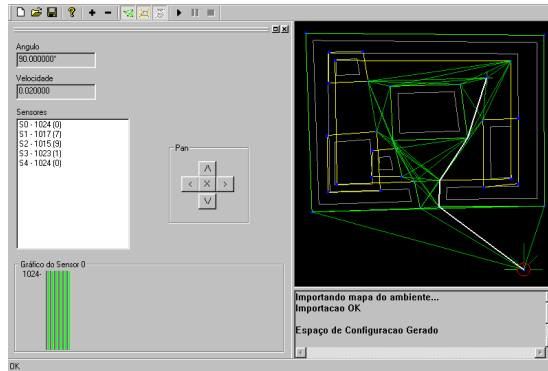
Controle Hierárquico/Híbrido:

Erro de Odometria...



Arquiteturas de Controle Híbridas

PROBLEMA: Erro de Localização => IMPACTO no Algoritmo de Navegação e Detecção de Obstáculos



O que ocorre se a posição estimada estiver incorreta ?

Farlei Heinen, 2000

Planejando a Trajetória do Robo com o uso do Mapa

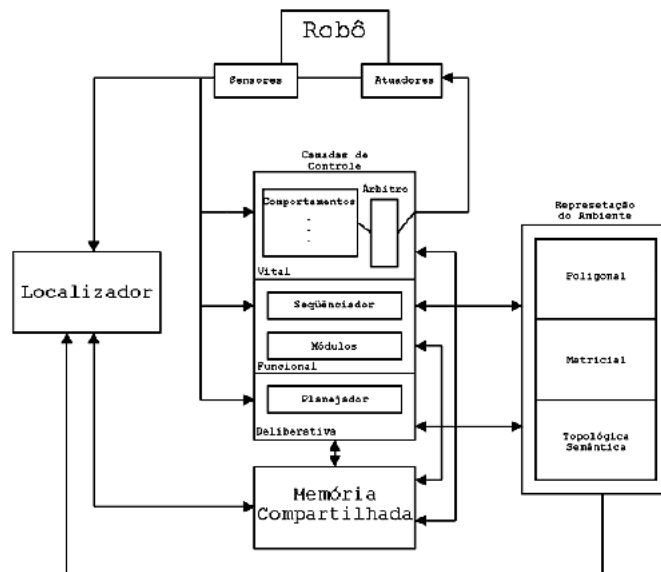
1. Determinar a área onde o robô pode navegar: Espaço de Configuração
2. Gerar o conjunto de rotas possíveis: Grafo de Visibilidade
3. Obter a melhor trajetória dentro das rotas possíveis: Algoritmo de Dijkstra

21

Março 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

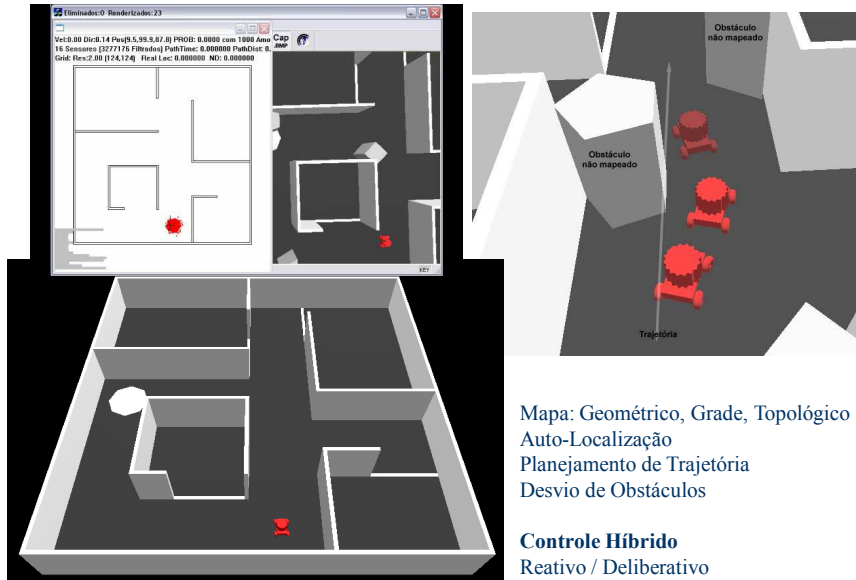


22

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D



Mapa: Geométrico, Grade, Topológico
Auto-Localização
Planejamento de Trajetória
Desvio de Obstáculos

Controle Híbrido
Reativo / Deliberativo

23

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

SLAM

Controle Híbrido: Arquitetura SLAM

SLAM = Simultaneous localization and mapping

Refs:

SLAM

http://en.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_localization_and_mapping

OpenSLAM

<http://openslam.org/>

MATLAB SLAM

<http://eia.udg.es/~qsalvi/Slam.zip>

Book: Probabilistic Robotics - The MIT Press (2005)
by Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, Dieter Fox

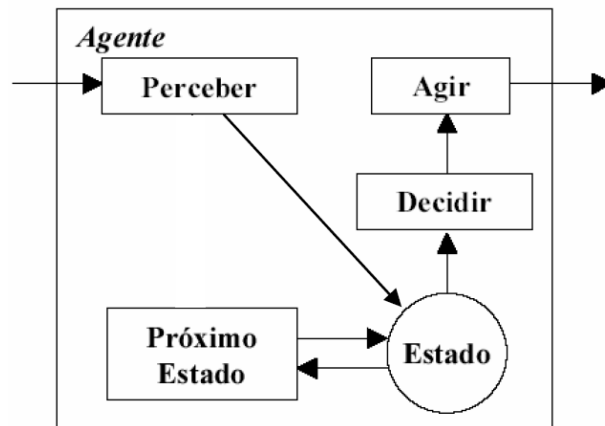
24

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Arquiteturas Híbridas

Controle Híbrido: Arquitetura com Estados Internos (Autômato)



Arquitetura com Estado Interno

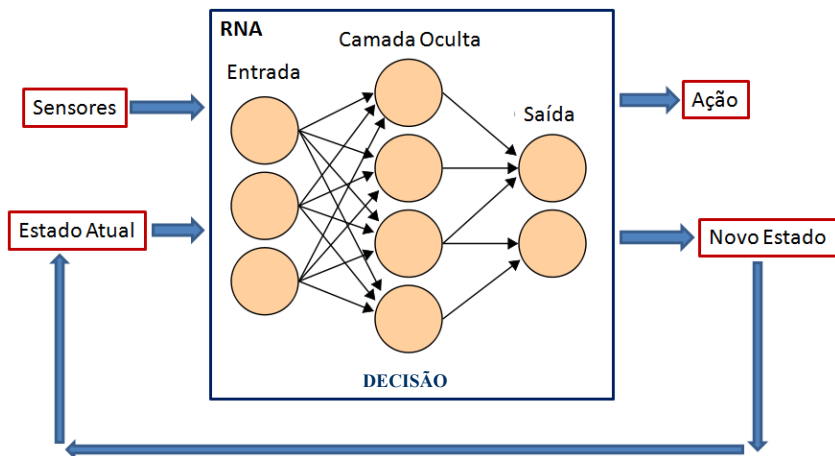
25

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Arquiteturas Híbridas

Controle Híbrido: Arquitetura com Estados Internos (Autômato + Rede Neural)



26

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

SEVA 3D – Sistema de Estacionamento de Veículos

Virtual Environment: 3D Realistic Environment



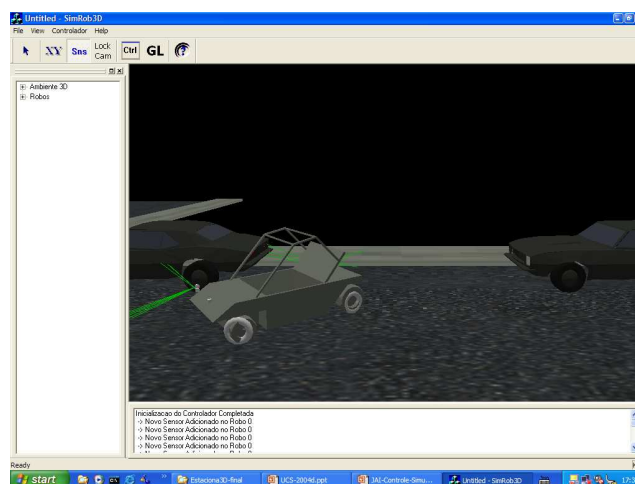
SEVA 3D
Simulation
Tool

27

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

SEVA 3D – Sistema de Estacionamento de Veículos



SEVA 3D
Simulation
Tool

28

Abril 2010

Arquiteturas de Controle Híbridas

Arquiteturas de AGENTES AUTÔNOMOS

AGENTES AUTÔNOMOS:

- Reativos
- Deliberativos
- Hierárquicos
- Híbridos

- Agentes Cognitivos
- BDI = Belief / Desire / Intention
- MAS Architectures (Multi-Agent)
- Agentes Adaptativos (Machine Learning)
- Agentes Evolutivos (Genetic Algorithms)

Conceitos de Agentes:

- Corpo (Agente é um ente físico)
- Percepção (Múltiplos “canais” de percepção)
- Cognição: Raciocínio, Aprendizado, Adaptação,
- Ação (Múltiplas “formas” de interação com o mundo)
- Comunicação - Interação

29

Abril 2010



INFORMAÇÕES SOBRE A DISCIPLINA

USP - Universidade de São Paulo - São Carlos, SP
ICMC - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
SSC - Departamento de Sistemas de Computação

Prof. Fernando Santos OSÓRIO

PAE Maurício Acconcia Dias

Web institucional: [Http://www.icmc.usp.br/ssc/](http://www.icmc.usp.br/ssc/)

Página pessoal: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)

E-mail: fosorio[at]{ icmc.usp.br, gmail.com } # maccddias[at]gmail.com

Disciplina de Robôs Móveis Autônomos

Web Disciplinas: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)

Wiki ICMC: <http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC-714>

> Programa, Material de Aulas, Critérios de Avaliação,

> Material de Apoio, Trabalhos Práticos

30

Abril 2010