

**USP - ICMC - SSC / PG-CCMC
SSC 5887 (ISR) - 1o. Semestre 2009**

**Disciplina de
Introdução aos Sistemas Robóticos
SSC-5887**

Prof. Fernando Santos Osório - Grupo SEER
Email: fosorio [at] { icmc. usp. br , gmail. com }
Web: <http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>
<http://www.icmc.usp.br/~lrm/>
http://www.icmc.usp.br/~posgrad/sistemas_embarcados.html

**Disciplina ISR
Pesquisas em Robótica Móvel - Prof. Osório**

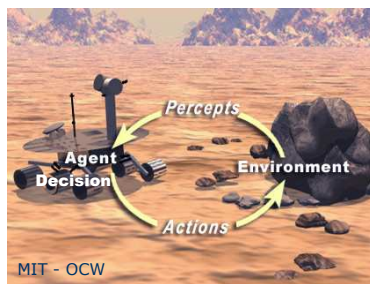
Agenda:

- 1. Controle Robótico Inteligente**
- 2. Controle REATIVO: Evitar Obstáculos, Seguir Paredes**
Simulador Khepera-SIM
- 3. Controle DELIBERATIVO: Planejamento de Trajetórias**
Simulador SimRob2D
Planejamento com o A*
- 4. Controle HÍBRIDO: Mapas, Obstáculos desconhecidos**
Simulador Seva2D
Simulador SimRob3D - Arquitetura COHBRA
Simulador Seva3D
- 5. Aprendizado de Máquina (Machine Learning)**
Redes Neurais, Algoritmos Genéticos + Simulação Física
Simulador Seva3D, LegGen, RoBombeiros
- 6. Visão Computacional: Navegação Visual**

Controle Robótico Inteligente

Arquiteturas de Controle Robótico

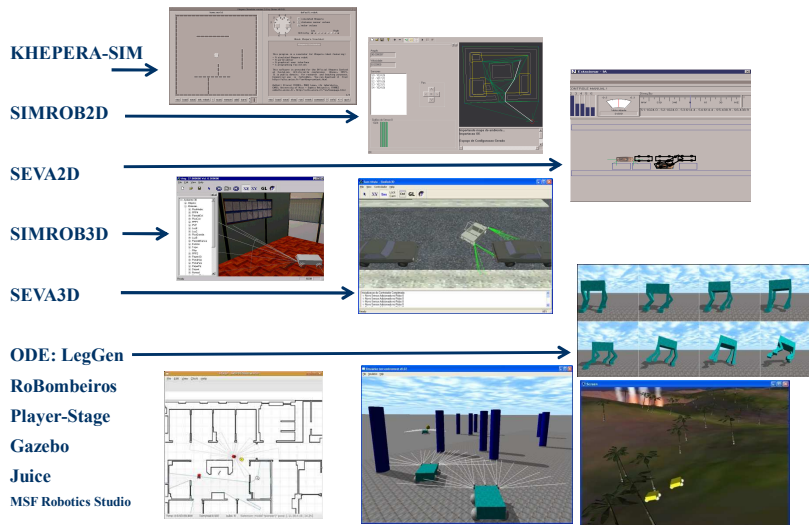
- Controle Reativo
- Controle Deliberativo
- Controle Hierárquico
- Controle Híbrido



Mapas, Localização
 Planejamento, Execução da Navegação
 Desvio de Obstáculos Conhecidos e Desconhecidos

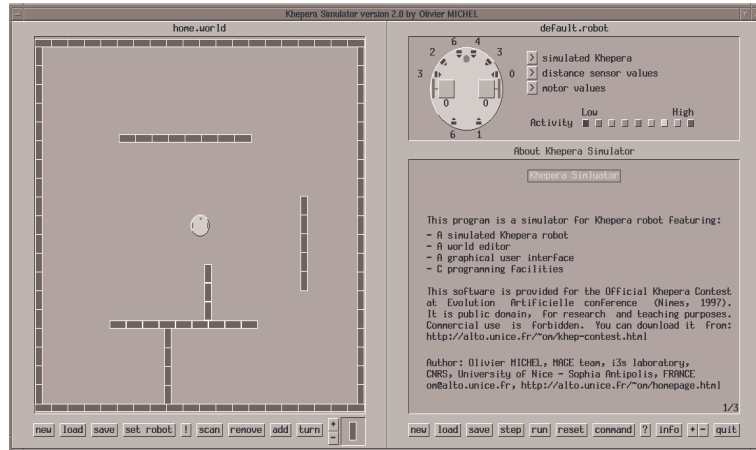
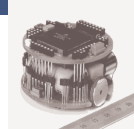
Controle Robótico Inteligente

Simuladores: Modelos Sensoriais, de Atuadores e de Controle



Robótica Autônoma Inteligente Simuladores [Clássicos]

Simulador do Khepera / SIM 2.0 Unix / Olivier Mitchell / INRIA Sophia Antipolis



1997/98

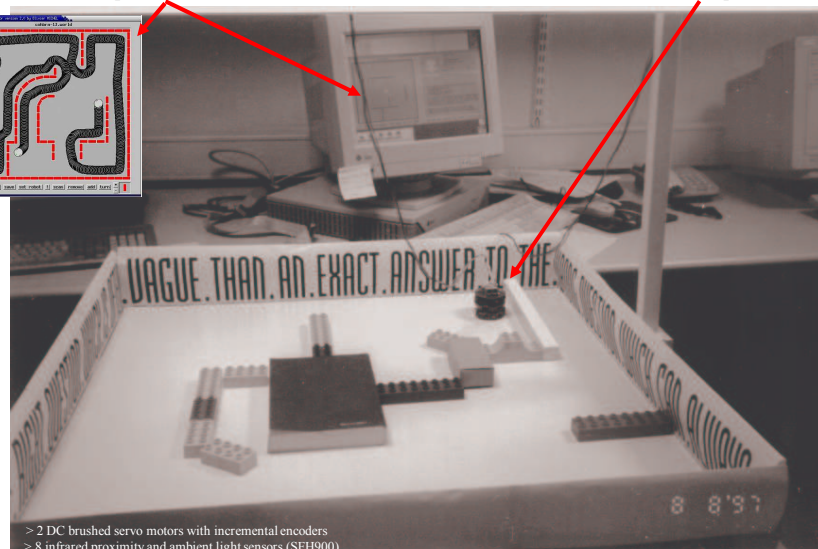
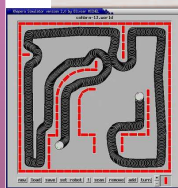
5

Agosto 2008

Sensores: 8 IR / Atuadores: 2 motores com cinemática diferencial / Mapas Editáveis

Simulador do Khepera

Robô Khepera



6

Agosto 2008

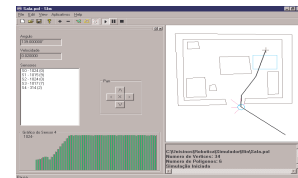
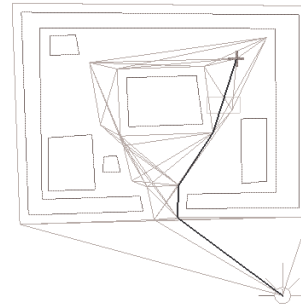
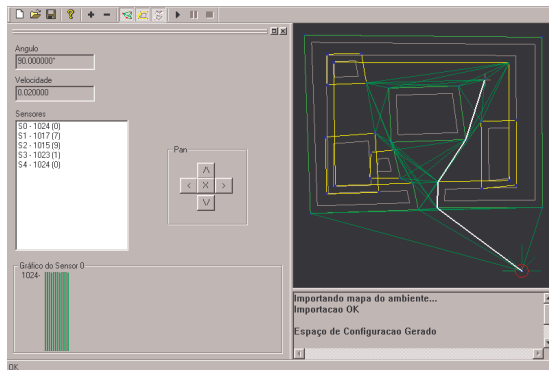
> 2 DC brushed servo motors with incremental encoders
> 8 infrared proximity and ambient light sensors (SFH900)

SIMROB2D – Planejamento de Trajetórias

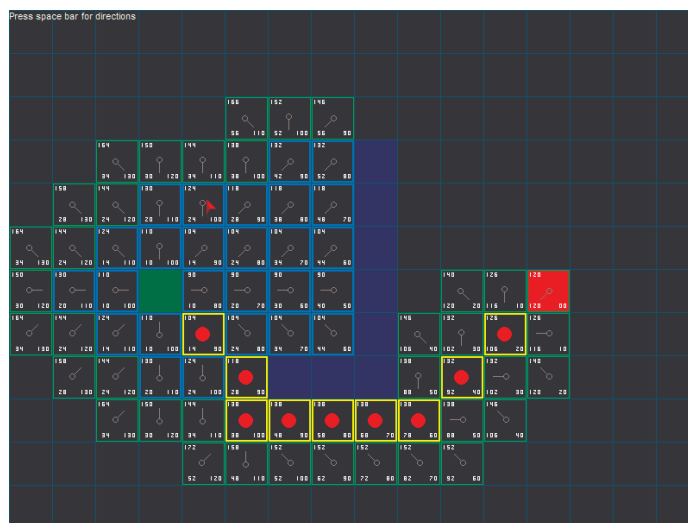
Referência:

Farlei Heinen (Orientador: Fernando Osório)
Robótica Autônoma: A integração entre planificação e comportamento reativo. 2000.

Sensores: 5 IR / Atuadores: 2 motores (diferencial)



A* – Planejamento de Trajetórias [Tutorial SBGames 2007]



Controle Robótico Inteligente: Híbrido

SEVA2D - Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos 2D

Sensores: 6 sensores de proximidade
Atuadores: atuador de direção (steering) e de aceleração (gas pedal) + frente/ré
Cinemática do tipo Ackerman (veículo) / Sem simulação da dinâmica do veículo

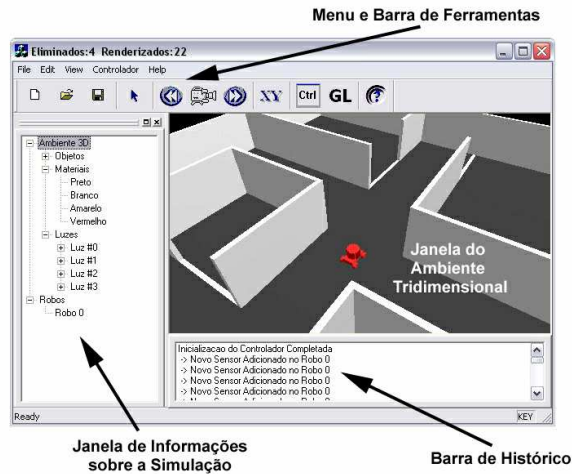
Controle Robótico Inteligente: Híbrido

SIMROB3D - Simulador de Robôs 3D / Controle Híbrido COHBRA

Sensores: Bumper, IR ou Sonar (configurável pelo usuário)
Atuadores: Cinemática diferencial ou Ackerman (configurável pelo usuário)

Controle Robótico Inteligente: Híbrido

SIMROB3D – Simulador de Robôs 3D / Controle Híbrido COHBRA

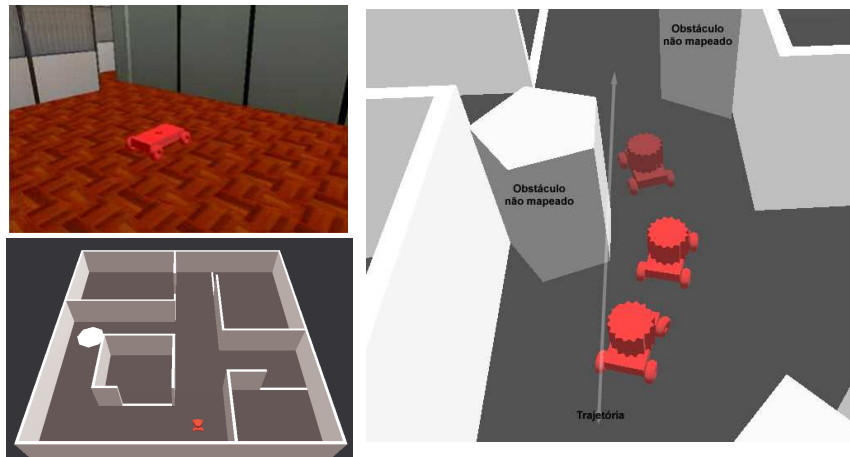


11
Agosto 2008

Sensores: Bumper, IR ou Sonar (configurável pelo usuário)
Atuadores: Cinemática diferencial ou Ackerman (configurável pelo usuário)

Controle Robótico Inteligente: Híbrido

SIMROB3D – Simulador de Robôs 3D / Controle Híbrido COHBRA



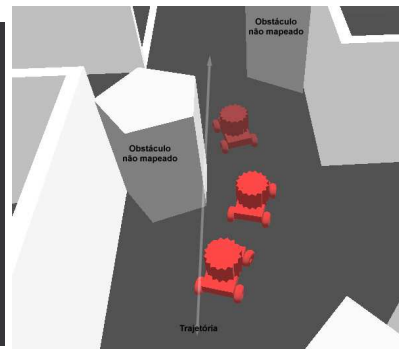
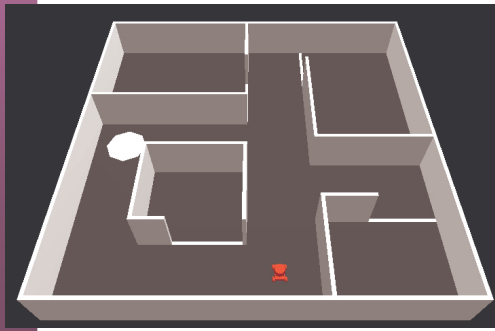
12
Agosto 2008

Sensores: Bumper, IR ou Sonar (configurável pelo usuário)
Atuadores: Cinemática Diferencial ou Ackerman (configurável pelo usuário)

PROBLEMAS:

* Desvio de Obstáculos

- Obstáculos conhecidos
- Obstáculos desconhecidos (parados)
- Obstáculos desconhecidos (em movimento)



PROBLEMAS:

* Posicionamento

- Qual a posição atual do robô?
- Como garantir que após me deslocar ainda sei onde o robô está?
- Erro e Imprecisão: Translação / Rotação

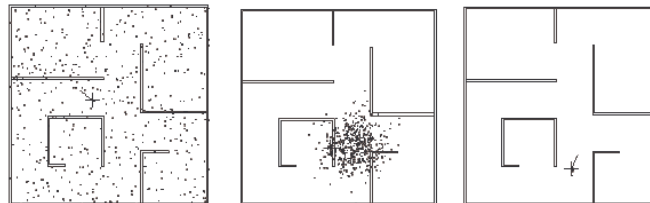
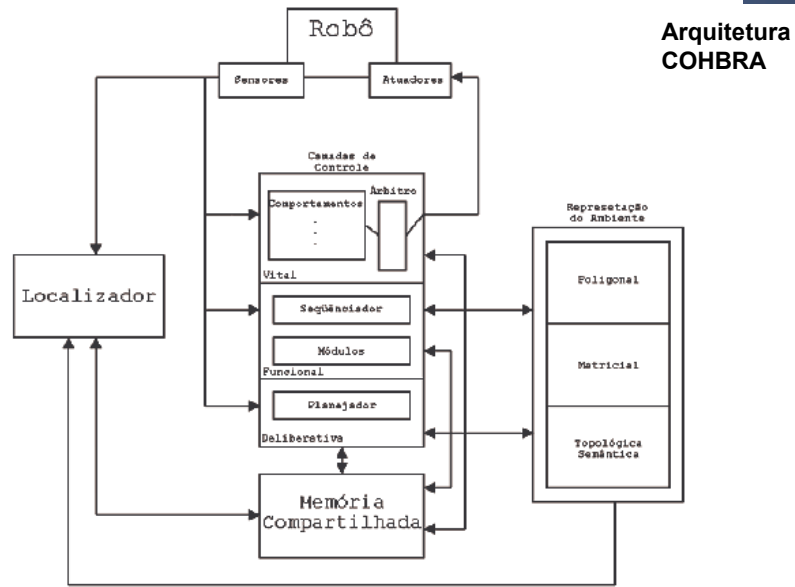


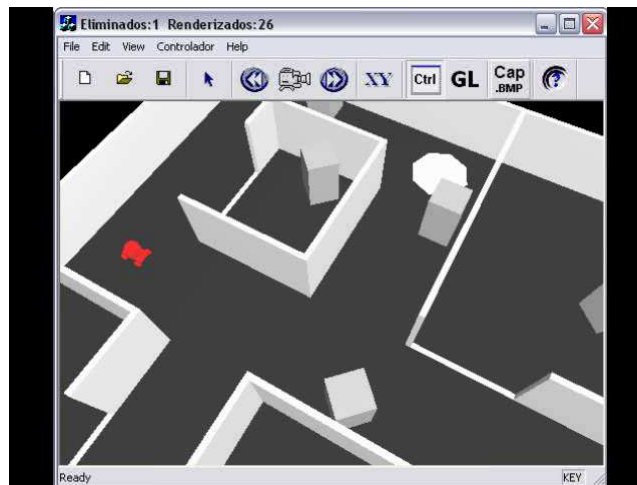
Fig. 2. Seqüência de imagens mostrando a evolução da distribuição das partículas durante a localização do robô móvel utilizando o algoritmo Monte Carlo.

Controle Robótico Inteligente: Híbrido

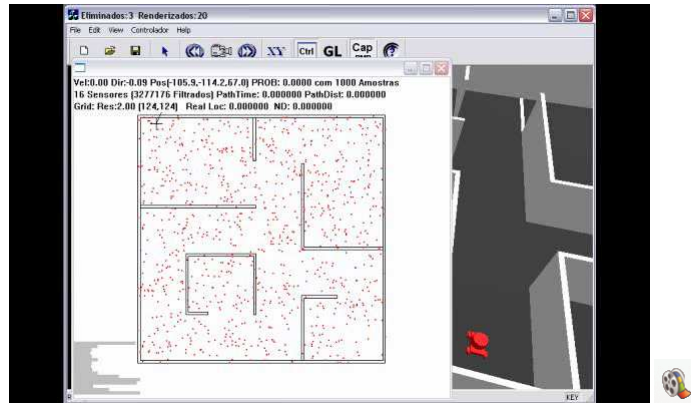


Controle Robótico Inteligente: Híbrido

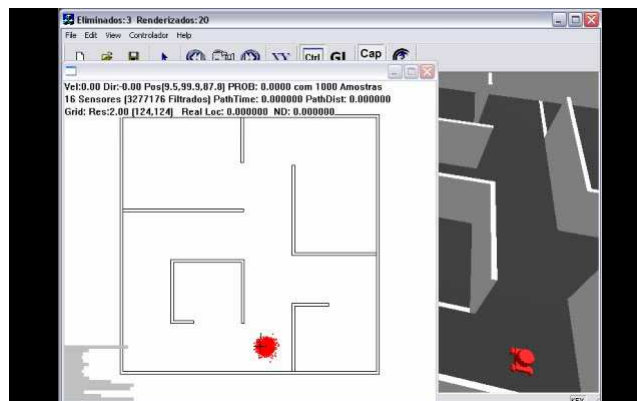
Simulação com o SimRob3D



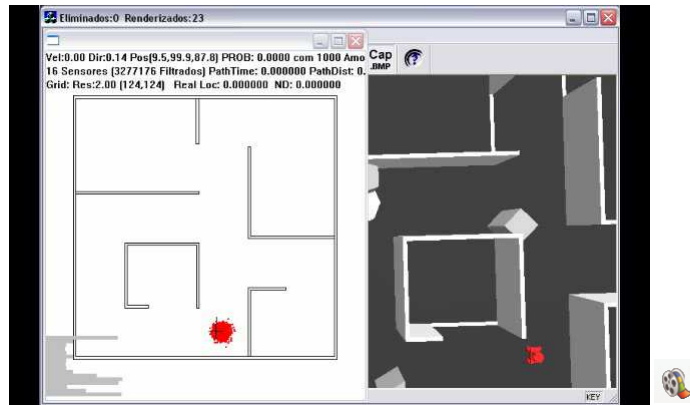
Simulação em Ambiente Estático com Localização Monte Carlo



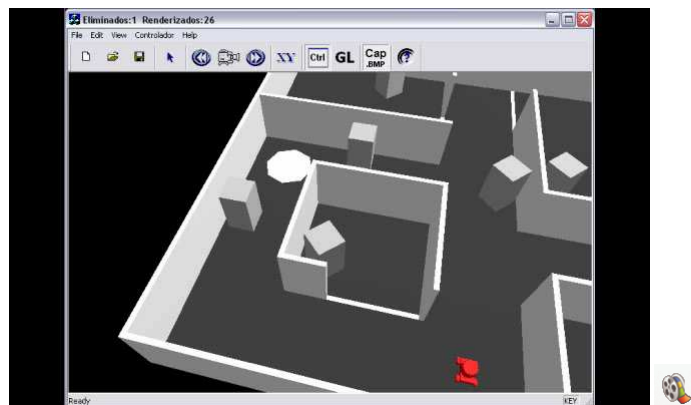
Simulação em Ambiente Estático com Localização Monte Carlo



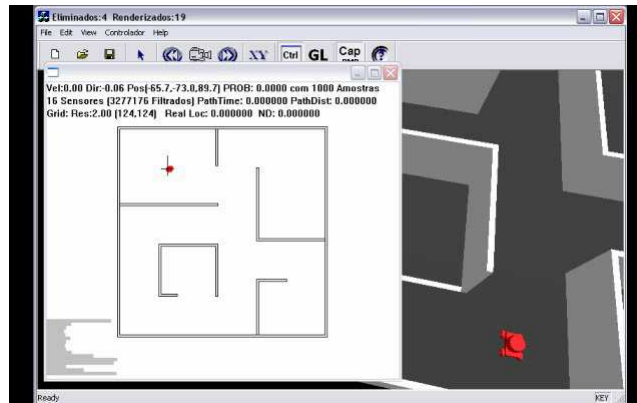
Simulação em Ambiente Alterado em Relação a Representação Interna



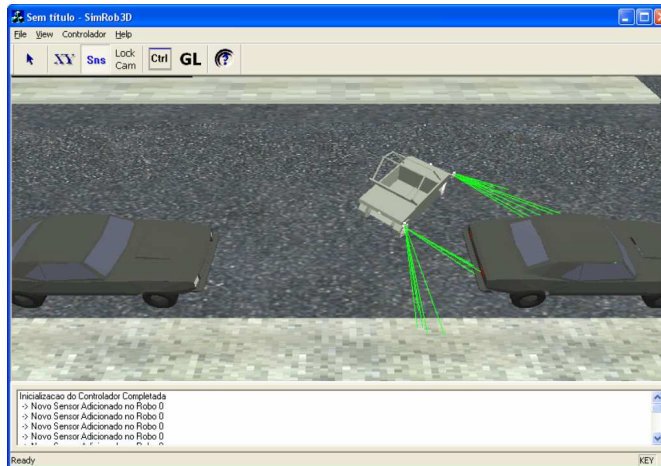
Simulação em Ambiente com Obstáculos Móveis



Relocalização com Monte Carlo



SEVA3D – Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos 3D

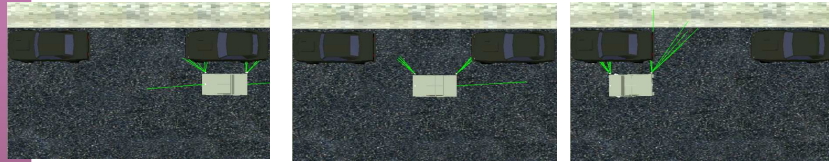


Sensores: Sonar (configurável pelo usuário) e Odômetro
 Atuadores: Cinemática Ackerman

Usual: 6 sonares com posições específicas, odômetro, controle de velocidade e de giro da direção

Controle Robótico Inteligente: **Híbrido**

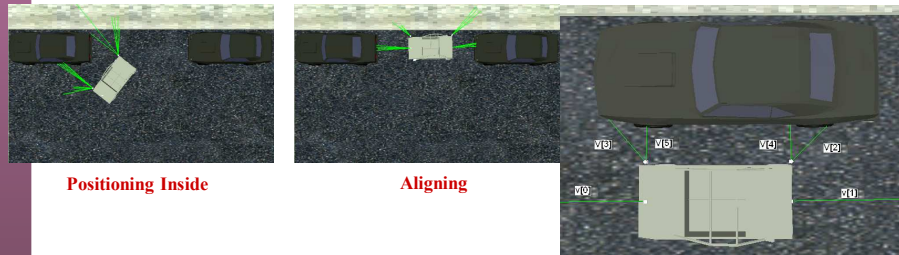
SEVA3D – Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos 3D



Searching Parking Space

Positioning Outside

Entering



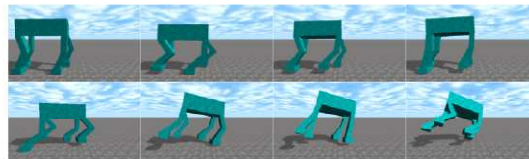
Positioning Inside

Aligning

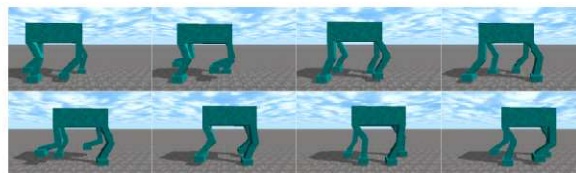
Sensores: **Sonar** (configurável pelo usuário) e Odômetro
Atuadores: Cinemática **Ackerman** (velocidade e giro da direção)

Controle Robótico Inteligente: **Aprendizado de Máquina**

LegGen – Simulador Robôs Articulados com Patas



Simulação Física usando a ODE

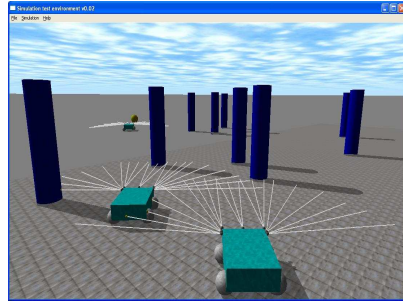


Milton Heinen

Sensores: Acelerômetro (XYZ), Bumper (nas patas), Odômetro
Atuadores: Controle dos Motores das Juntas
Simulação: Cinemática e Dinâmica do Movimento (gravidade, inércia, fricção, colisão, torque, etc)

Controle Robótico Inteligente: Aprendizado de Máquina

RoBombeiros - Simulador Robôs para Combate à Incêndios



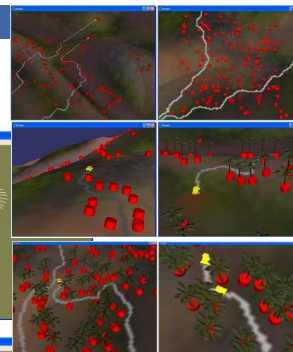
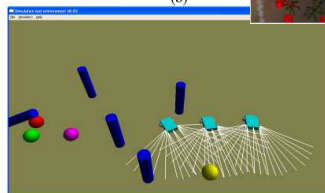
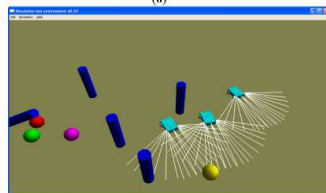
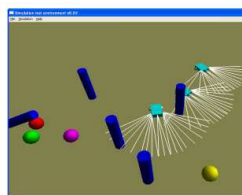
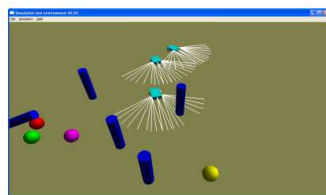
25
Agosto 2008

Simulação Física usando a ODE

Gustavo Pessin

Controle Robótico Inteligente: Aprendizado de Máquina

RoBombeiros - Simulador Robôs para Combate à Incêndios



26
Agosto 2008

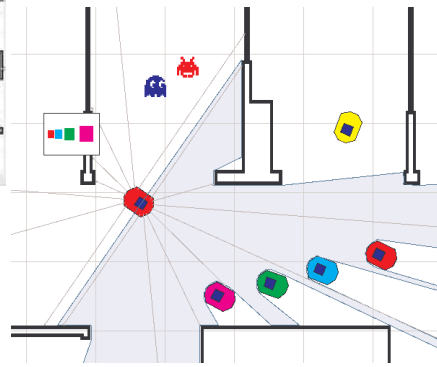
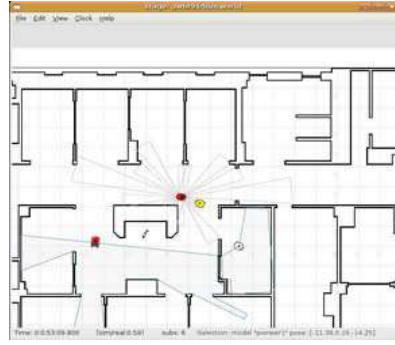
Seqüências de uma simulação com navegação e desvio satisfatórios

Simulação Física usando a ODE

Gustavo Pessin

Controle Robótico Inteligente: Aprendizado de Máquina

Player - Stage - Gazebo

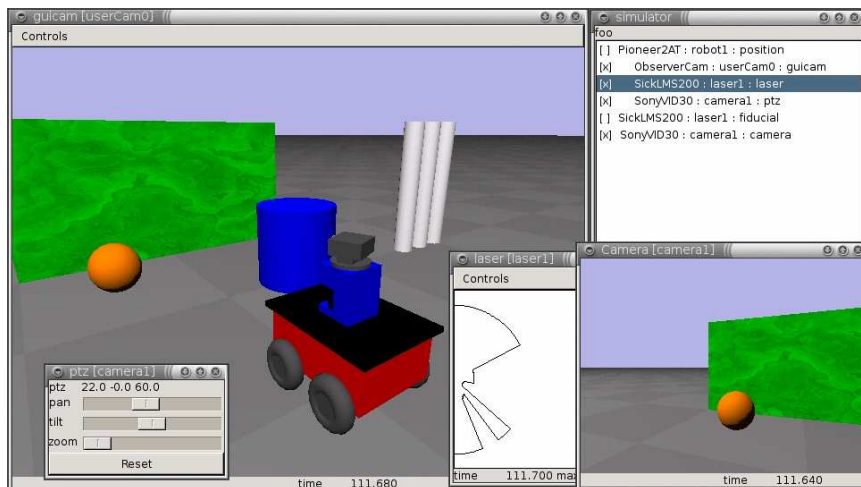


27

Agosto 2008

Controle Robótico Inteligente: Aprendizado de Máquina

Player - Stage - Gazebo



28

Agosto 2008

Navegação Visual

Correlação entre Imagens do BI e ICR
 Geração de Comando (*set-point*):
 Esquerda, Direita ou Avançar



Jones, Laugier

Banco de Imagens (BI)



Próximo IR

Match



ICR

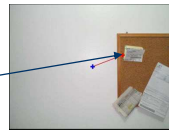
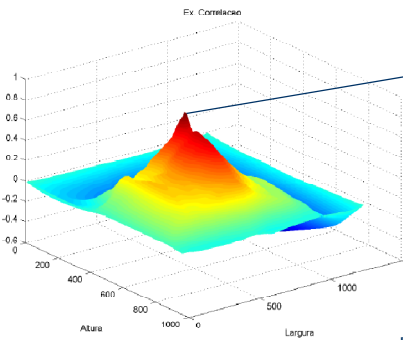
Seqüência de Imagens previamente Armazenadas
 Rota de Navegação Visual: Banco de Imagens (BI)
 IR = Imagem de Referência // ICR = Imagem Capturada pelo Robô

Navegação Visual: NCC - Norm. Cross-Correlation

[Matsumoto et al. 1996]

Matlab Code

```
>> img1 = imread('ir\b021r08.jpg');
>> img2 = imread('icr\b021cr08.jpg');
>> ncc = normxcorr2( img2(:, : , 1), img1(:, : , 1) );
>> figure, surf(ncc), shading interp, axis ij, view(3);
>> title('Ex. Correlacao'), ylabel('Altura'), xlabel('Largura');
```



IR:
 Imagem de Referência

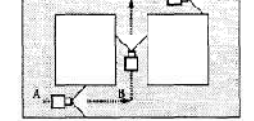


ICR:
 Imagem Capturada
 Pelo Robô

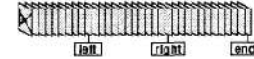
[Righes 2004, 2005]

(1) Recording Run

Measuring views along the route



View-Sequenced Route Representation (VSRR):



(2) Autonomous Run

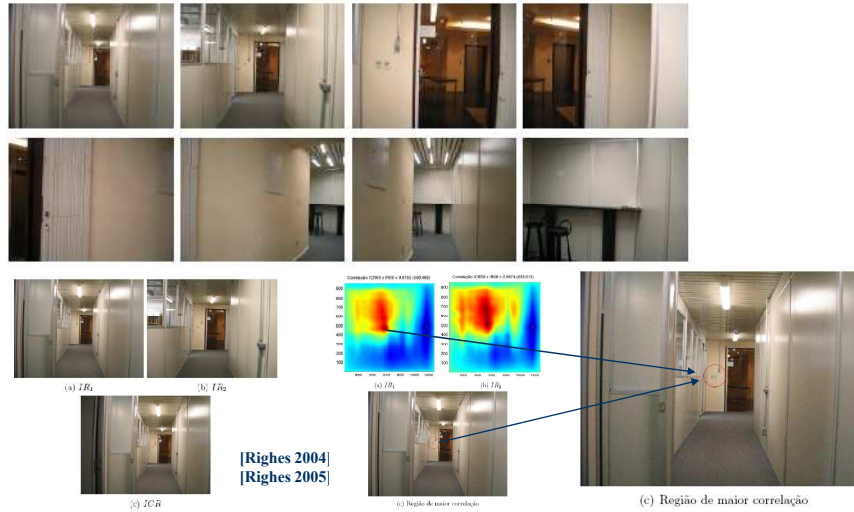
VSRR



1. Localization
 2. Steering Angle Determination
 3. Obstacle Detection

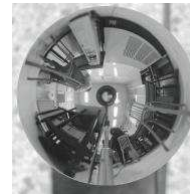
Action

Navegação Visual: NCC - Norm. Cross-Correlation



Navegação Visual: Image Match

Omnidirectional Cameras



Navegação Visual

**Mobile Robot Localization
and Mapping with Uncertainty
using Scale-Invariant
Visual Landmarks**

**Stephen Se,
David Lowe,
Jim Little
(UBC, CA)**

OpenCV

**Algoritmo:
SIFT**

**Reference
Int. Journal of Robotics Research
Vol. 21, No. 8, August 2002,
pp. 735-758,**

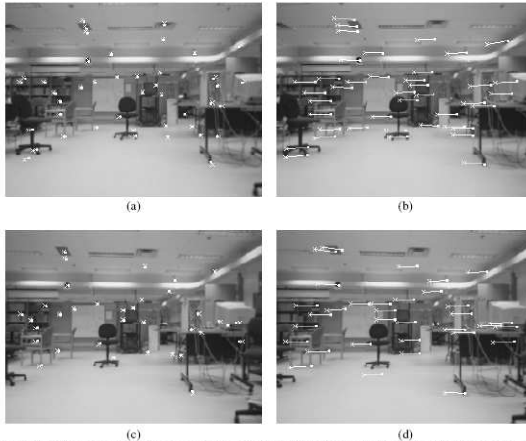
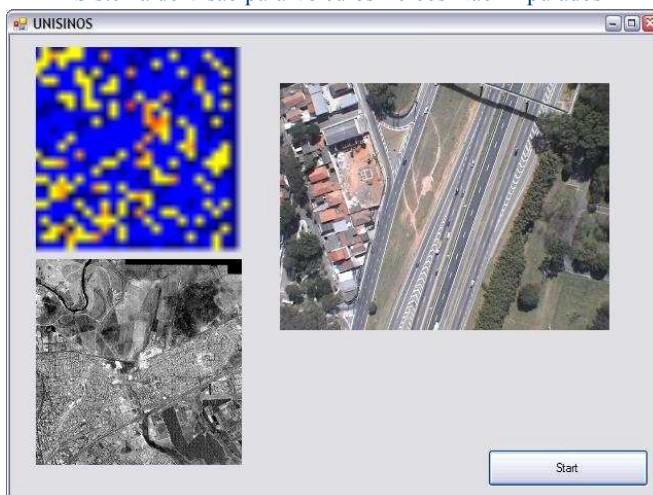


Fig. 3. The SIFT feature matches between consecutive frames: (a) between Figures 2(a) and (b) for a 10 cm forward movement; (b) between Figures 2(b) and (c) for a 5° clockwise rotation; (c) between Figures 2(c) and (d) for a 10 cm forward movement; (d) between Figures 2(d) and (e) for a 5° clockwise rotation.

Navegação Visual

Sistema de Visão para Veículos Aéreos Não Tripulados



Correlação entre
imagem de satélite
e imagem aérea
(helicóptero)

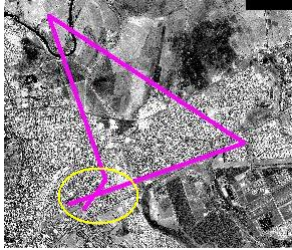
Resultados
não foram bons !

Mas...

Navegação Visual

Sistema de Visão
para Veículos Aéreos
Não Tripulados

Correlação entre imagens
do helicóptero
(cruzamento da rota)



Referencial

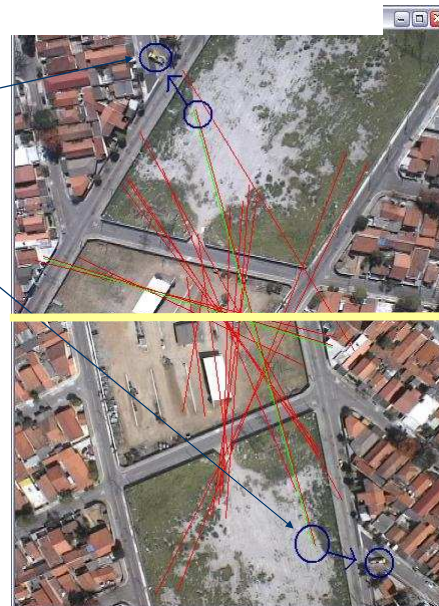
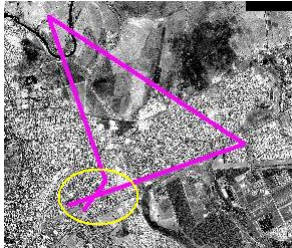


Navegação Visual

Sistema de Visão
para Veículos Aéreos
Não Tripulados

Referencial e
Deslocamento

Correlação entre imagens
do helicóptero
(cruzamento da rota)

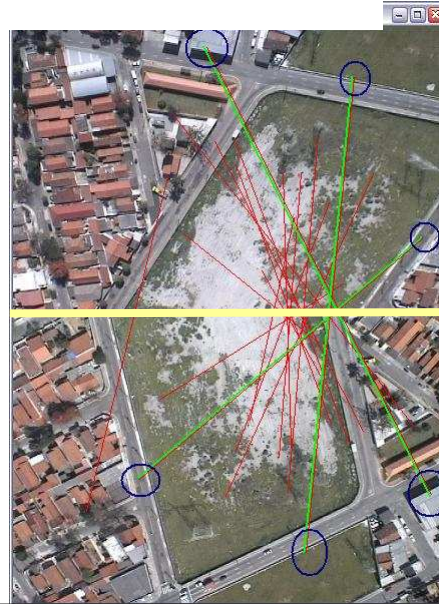
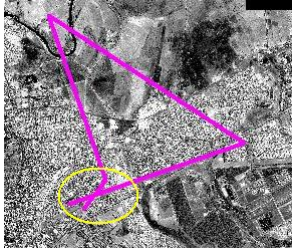


Navegação Visual

Sistema de Visão
para Veículos Aéreos
Não Tripulados

Referencial e
Deslocamento

Correlação entre imagens
do helicóptero
(cruzamento da rota)

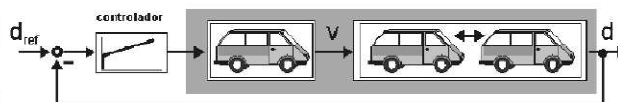


37

Agosto 2008

Comboio de Veículos (Follow Me)

C.R.Jung, F.Heinen, C.Kelber

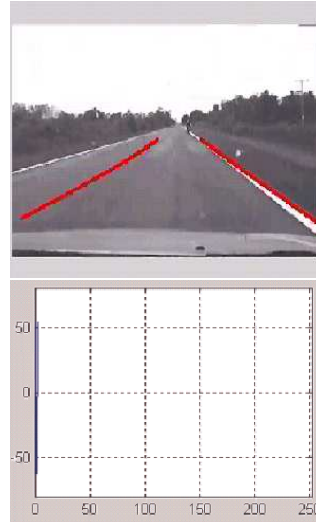


Veículos em Comboio

38

Agosto 2008

Detecção das Bordas da Pista - Prof. Cláudio Jung



Lane Follow

39

Agosto 2008

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

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](mailto:fosorio@icmc.usp.br) ou [fosorio \[at\] gmail. com](mailto:fosorio@gmail.com)

Disciplina de Robôs Móveis Autônomos

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

Web CoTeia: [Http://coteia.icmc.usp.br/mostra.php?ident=575](http://coteia.icmc.usp.br/mostra.php?ident=575)

> Programa, Material de Aulas, Critérios de Avaliação,

> Material de Apoio, Trabalhos Práticos

40

Agosto 2008