



SSC5887

Introdução aos Sistemas Robóticos

Denis Fernando Wolf
1º semestre 2011

Grupo de Sistemas Embarcados Evolutivos e Robóticos - SEER

Áreas de atuação:

- **Sistemas embarcados**
 - Computação reconfigurável
 - Co-projeto de hardware/software
- **Sistemas evolutivos**
 - Sistemas elétricos de potência
 - Bioinformática
 - Scheduling (roteamento e escalonamento)
 - Inteligência em jogos
- **Sistemas robóticos**
 - Controle inteligente de robôs móveis
 - Estimação de estado
 - Integração e projeto de sistemas eletrônicos e robôs

Grupo de Sistemas Embarcados Evolutivos e Robóticos - SEER

Laboratórios:

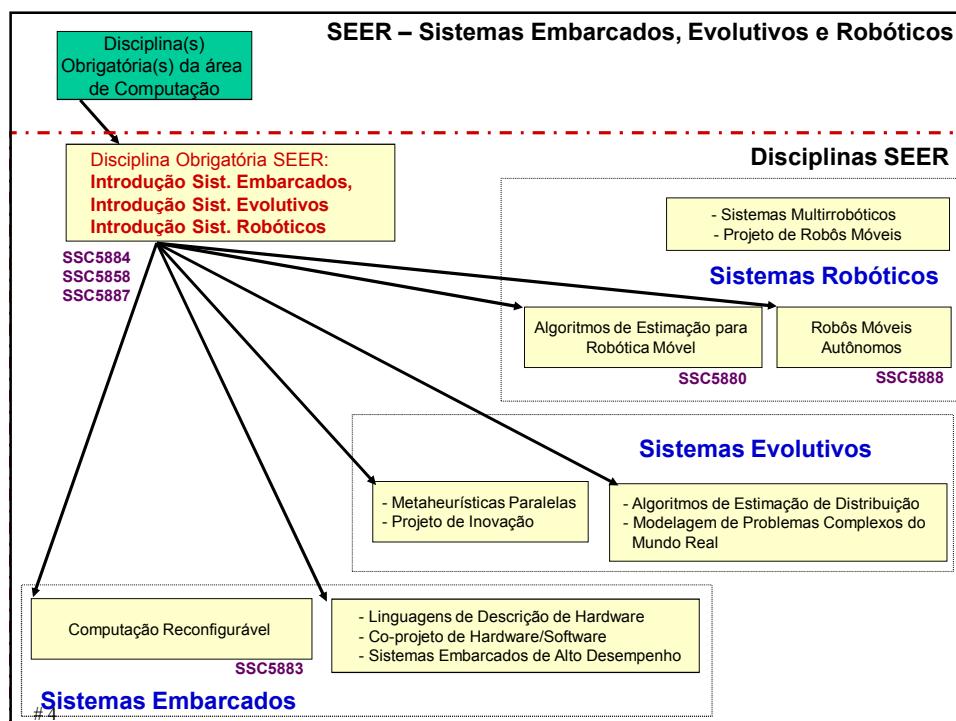


LRM
Laboratório de Robótica Móvel



LCR

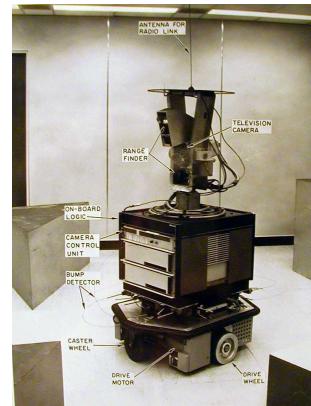
3



Histórico



Unimate (1961)
Primeiro robô industrial



Shakey (1968)
Primeiro robô móvel

5

Robótica Móvel

Um robô móvel é uma máquina capaz de extrair informação do ambiente e usar seu conhecimento sobre o mesmo para se locomover com um propósito definido.

Ronald Arkin

Principais características:

- Mobilidade
- Capacidade de percepção
- Autonomia
- Inteligência



A robot in every home...
Bill Gates

6

Histórico

Anos 70 (arquiteturas deliberativas):

- Modelos determinísticos do ambiente
- Sem capacidade de percepção

Anos 80 (arquiteturas reativas):

- Ausência de modelos do ambiente
- Alta dependência da capacidade de percepção

Início dos anos 90 (arquiteturas híbridas):

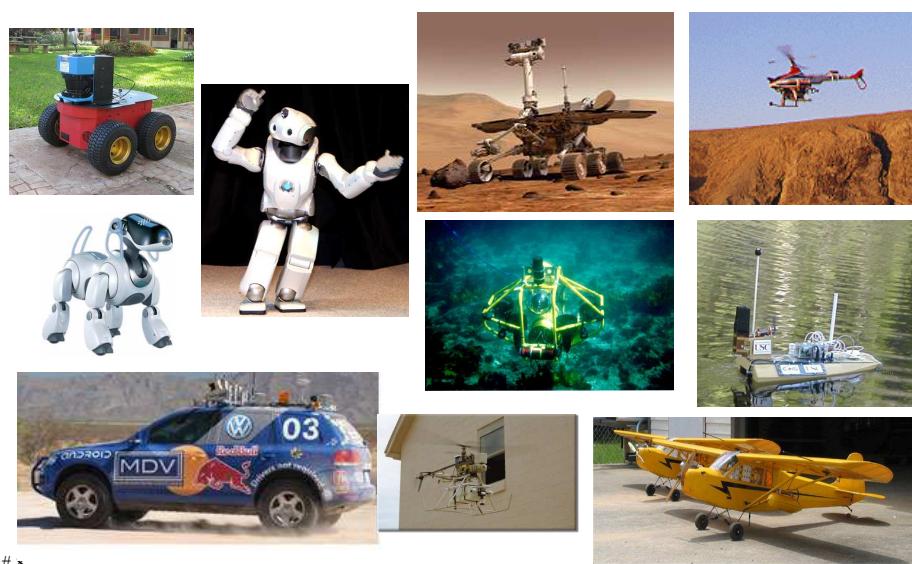
- Combinação de arquiteturas reativas e deliberativas

Metade/Fim dos anos 90 (abordagem probabilística):

- Integração de modelos complexos e percepção
- Representação de incerteza nos modelos

7

Robótica Móvel Hoje



8

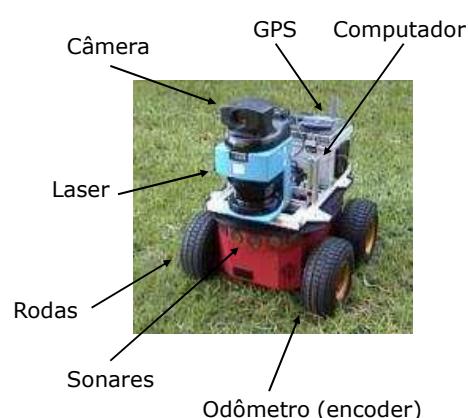
Modelo Básico



9

Robô Móvel - Componentes

- **Sensores:** câmeras, lasers, sonares, odômetros, GPS e etc
- **Atuadores:** rodas, pernas, garras e etc.
- **Sistema computacional:** CPU, memória, disco e etc



10

Sensores e Robôs - LRM



11

Robótica Móvel - Problemas

- Sensores são **limitados** e **imprecisos**.
- Atuadores são **limitados** e **imprecisos**.
- O ambiente e o estado interno do robô são **parcialmente observáveis**.
- Ambientes reais são **dinâmicos** e **imprevisíveis**.
- Os modelos do ambiente e do robô são **imprecisos** e **incompletos**.

12

Robótica Móvel

• Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes

• Localização

- Mapeamento
- Navegação

13

Localização

Estimar a posição do robô em um **ambiente previamente conhecido**, utilizando informações obtidas por **sensores**.



14

Robôs Móveis - Aplicações



Guia de museu



Mapeamento de minas



Verificação da qualidade da água

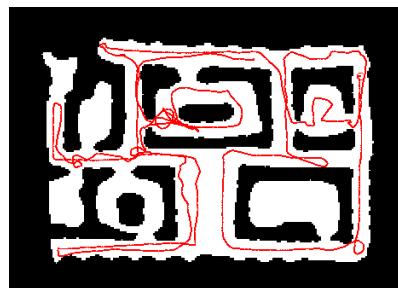


Navegação autônoma

15

Localização - Problemas

Efeito da **imprecisão** das informações dos sensores:



Trajeto real

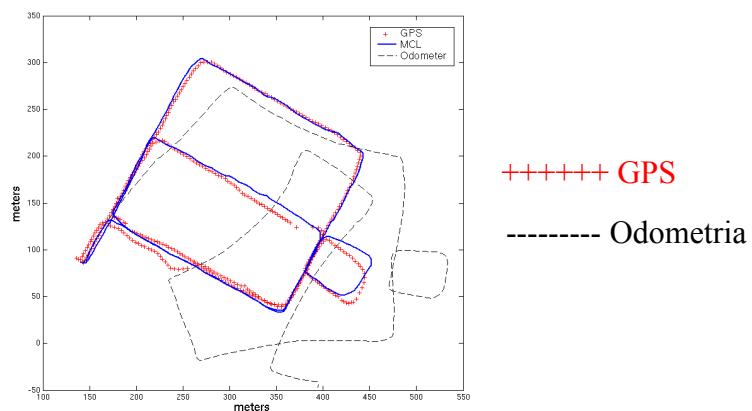


Odometria

16

Localização - Problemas

Efeito da **imprecisão** das informações dos sensores:



17

Localização – Tipos de problemas

Tracking

- Posição inicial é conhecida
- Busca local (correção de odometria)

Localização global

- Posição inicial não é conhecida
- Busca global

18

Localização - Soluções

Framework básico: Filtro de Bayes

Representação da posição do robô

- Distribuição Normal (Filtro de Kalman)
- Malha de células (Grid / Markov)
- Partículas/Amostras (Monte Carlo)

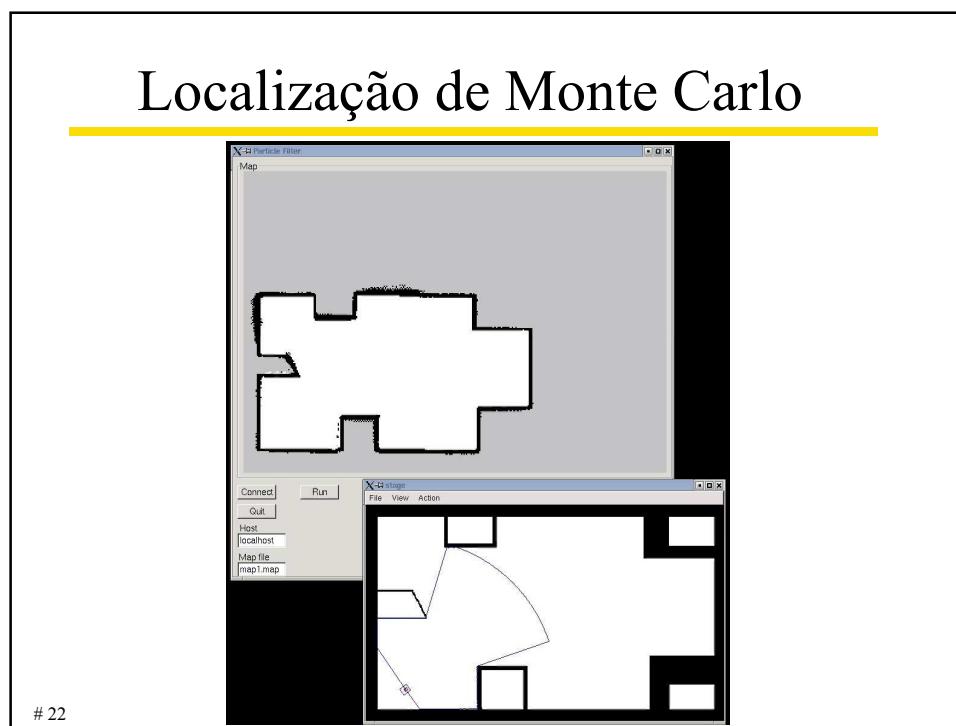
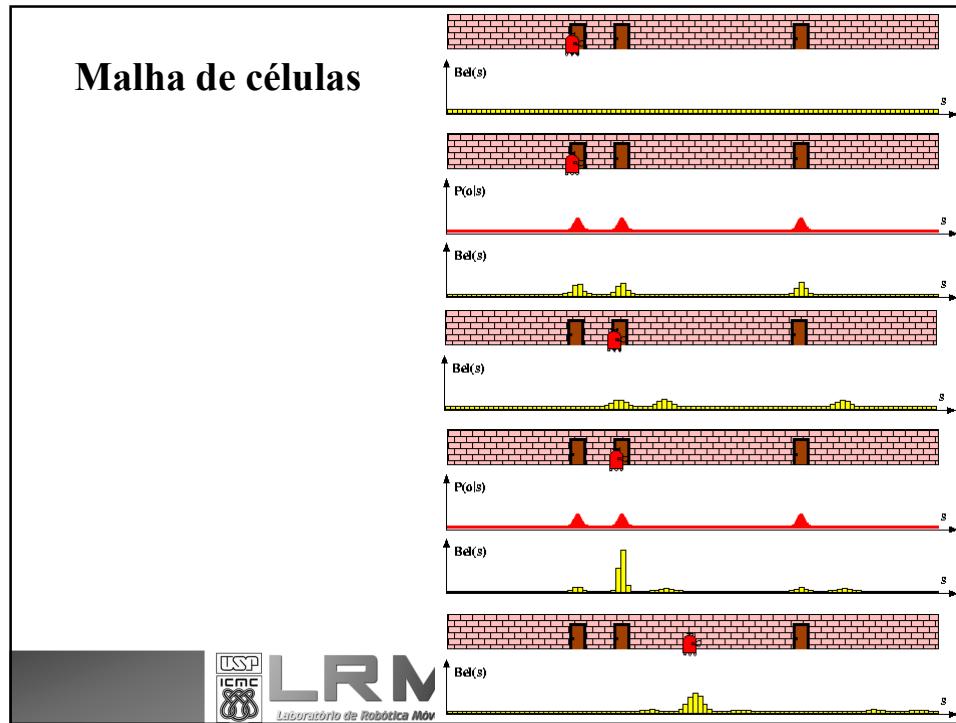
19

Filtro de Bayes

| | | | |
|-----------------|--|---|---------------------|
| Nova estimativa | Observação (diminuição de incerteza) | Deslocamento do robô (aumento de incerteza) | Estimativa anterior |
|-----------------|--|---|---------------------|

$$Bel(x_t) = \eta p(o_t|x_t) \int p(x_t|x_{t-1}, a_{t-1}) Bel(x_{t-1}) dx_{t-1}$$

20



Robótica Móvel

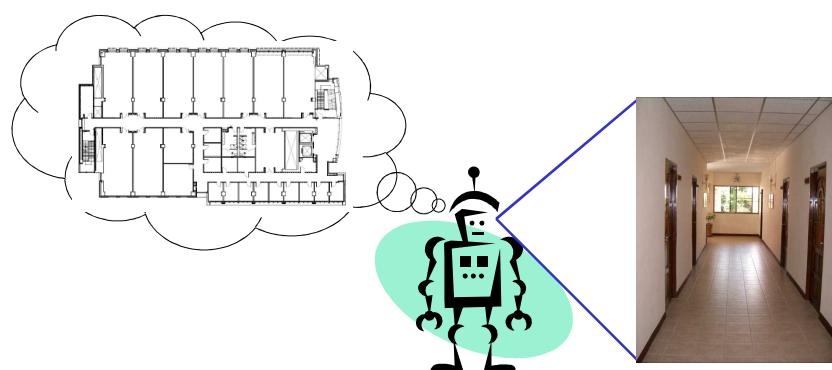
•Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes

- Localização
- **Mapeamento**
- Navegação

23

Mapeamento

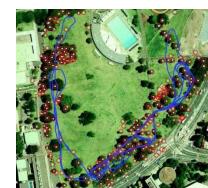
Criar um **modelo do ambiente** a partir da **localização** do robô e das **informações obtidas por sensores**.



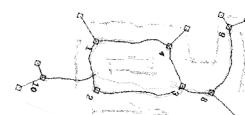
24

Tipos de Mapas

- **Mapas métricos:** representam propriedades geométricas do ambiente de forma quantitativa.



- **Mapas topológicos:** representam a conectividade entre determinados locais do ambiente. Normalmente são utilizados grafos nessa representação.

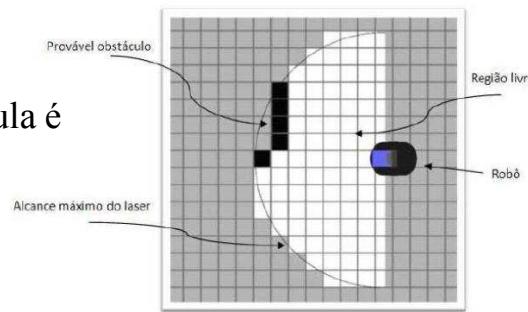


25

Mapeamento Métrico – Grade de ocupação

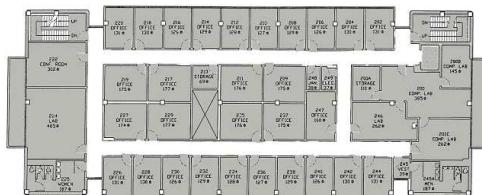
- Dividir o espaço em células e estimar a probabilidade de ocupação de cada célula individualmente baseado na informação obtida pelos sensores.

- Ao final, cada célula é classificada como ocupada, livre ou indefinido.



26

Grade de Ocupação

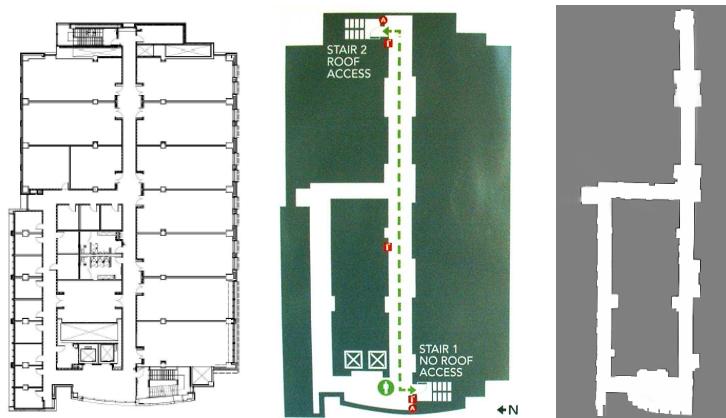


Mapa: occupancy grid



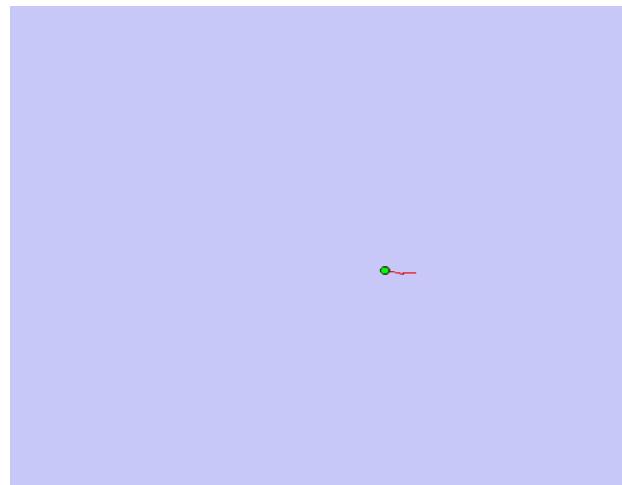
27

Grade de Ocupação



28

Mapa baseado somente na odometria



29

Robótica Móvel

- Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes
- Localização
- Mapeamento
- **SLAM (Localização e Mapeamento Simultâneos)**
- Navegação

30

Localização e Mapeamento Simultâneos

O SLAM é um dos maiores desafios da robótica móvel.

Dados:

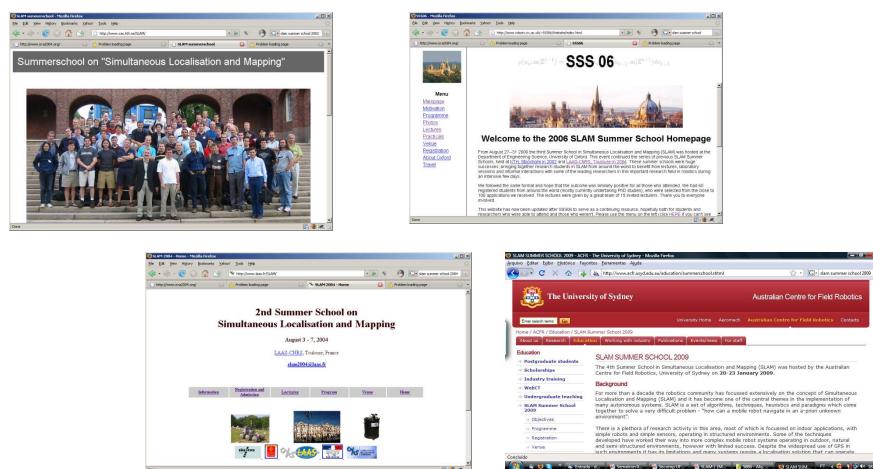
- Deslocamento do robô
- Informações obtidas pelos sensores

Deve-se estimar:

- O mapa do ambiente
- A localização/trajetória do robô

31

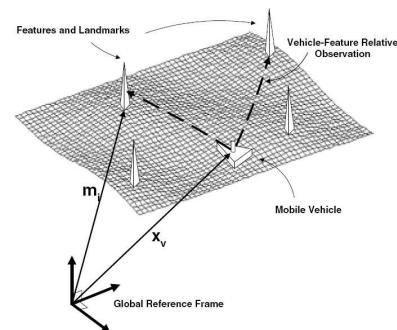
Slam Summer School



32

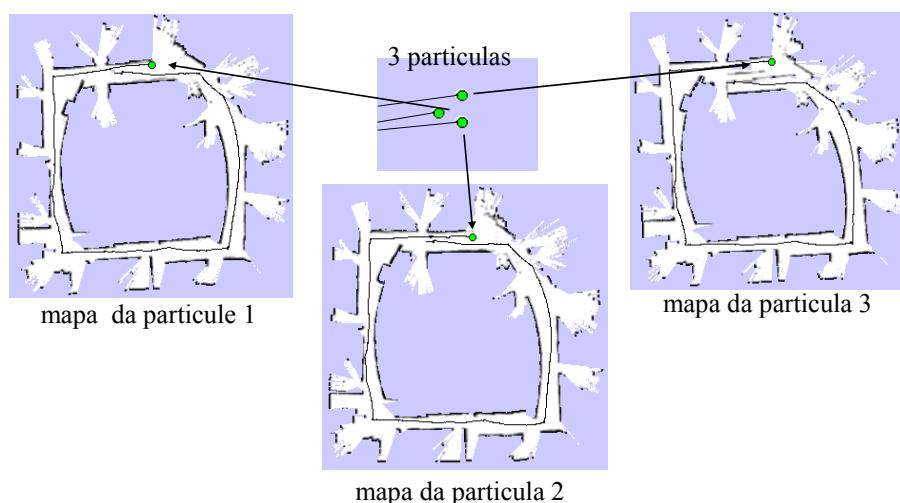
SLAM – Filtro de Kalman

- Consiste em estimar a posição do robô e dos landmarks com o filtro de Kalman.
- As posição do robô e dos landmarks são correlacionadas através da matriz de covariância



33

FastSLAM



CSBC 2009 - JAI

34

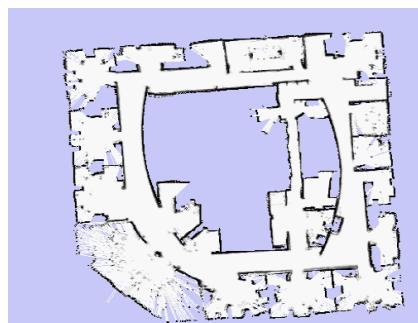
34 Fundamentos

FastSLAM



35

FastSLAM - Resultados



FastSLAM



Odometria

36

SLAM - Multirrobô



Posição inicial **desconhecida**.

37

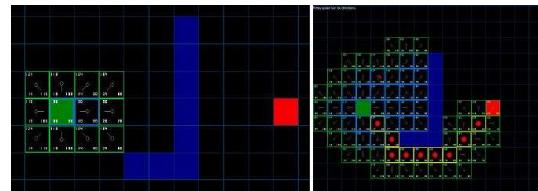
Robótica Móvel

•Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes

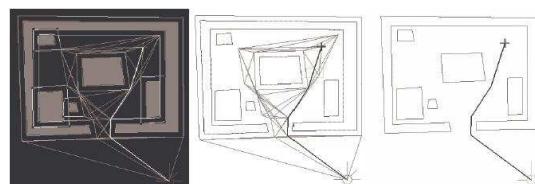
- Localização
- Mapeamento
- **Navegação**

38

Planejamento de Trajetória



A*: mapas métricos (grid)

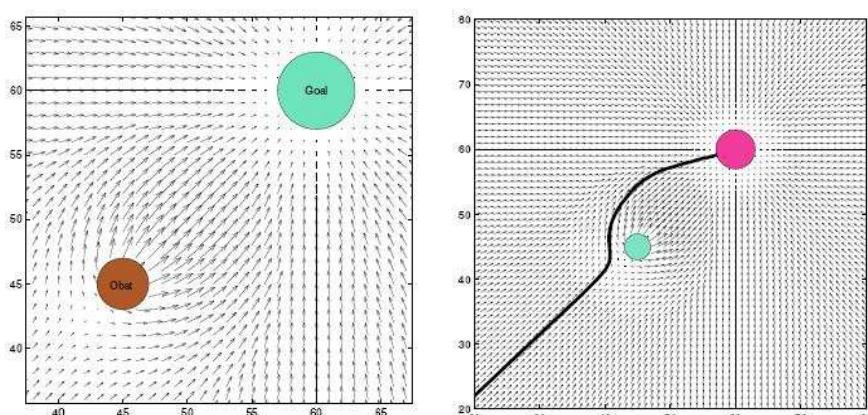


Dijkstra: mapas métricos/topológicos (grafos)

CSBC 2009 - JAI

39 Fundamentos

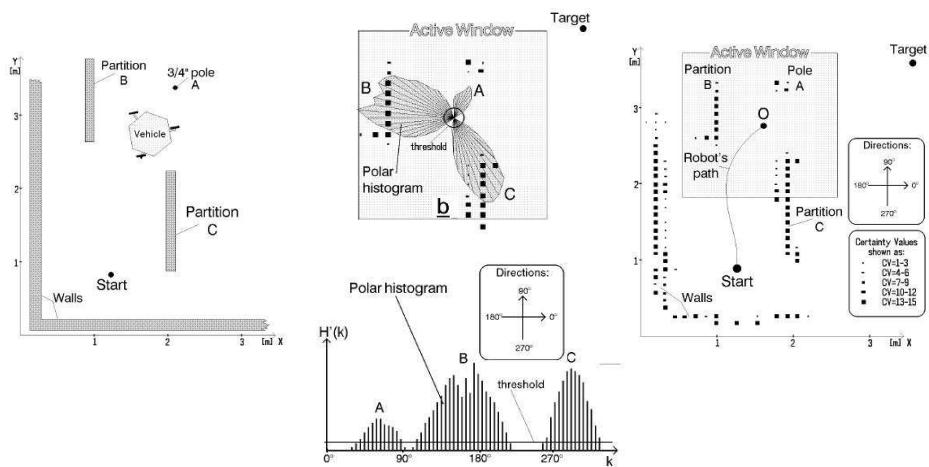
Campos Potencias



CSBC 2009 - JAI

40 Fundamentos

Vector Field Histogram - VFH



CSBC 2009 - JAI

41 Fundamentos

Localização e Mapeamento – Robô Guia de Museu



42

Localização e Mapeamento em Ambientes Urbanos

Problemas:

- Complexidade
- Escala
- Irregularidade do terreno
- Difícil representação



43

Plataforma Experimental

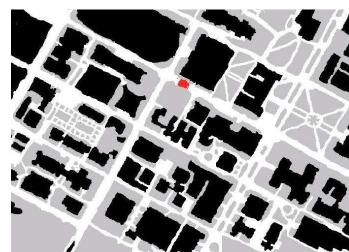
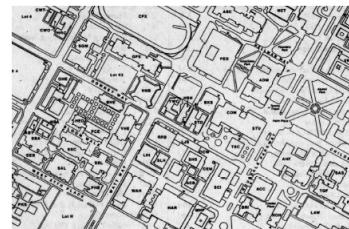


44

Localização – Monte Carlo

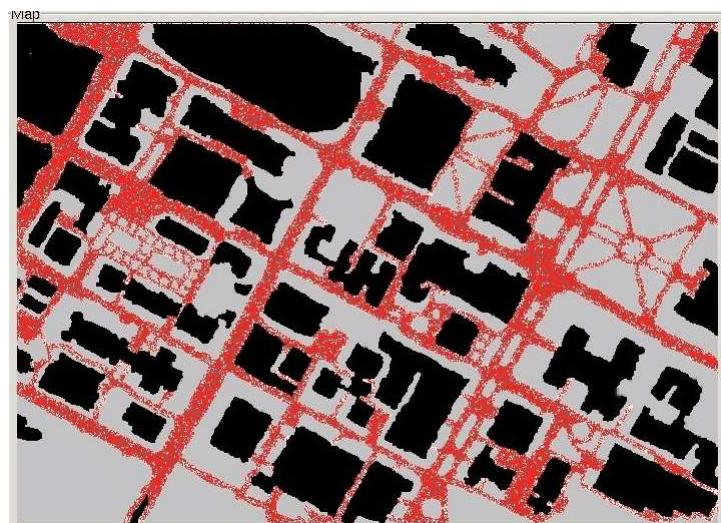
Solução:

- Grande número de partículas
- Criação de áreas semi-ocupadas.
- Obtenção de pitch e roll por uma unidade de medida inercial
- Depois de localizar o robô, estima-se a trajetória utilizando o filtro de partículas no sentido contrário.



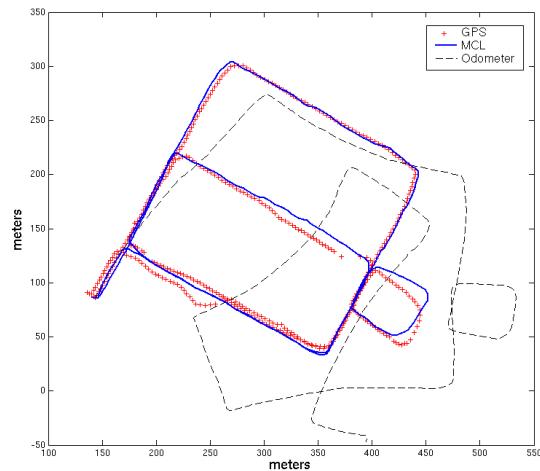
45

Localização – Monte Carlo



46

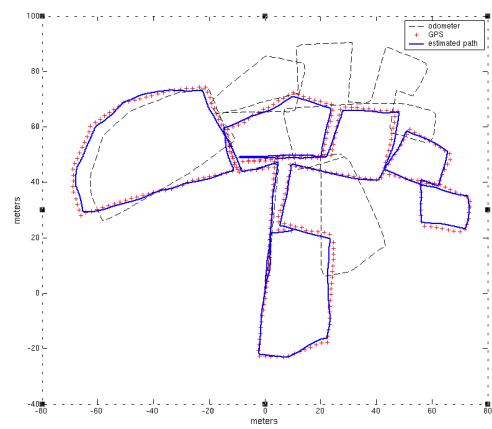
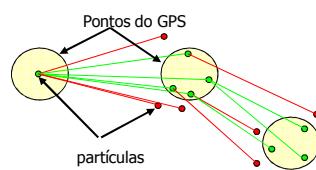
Localização - Resultados



47

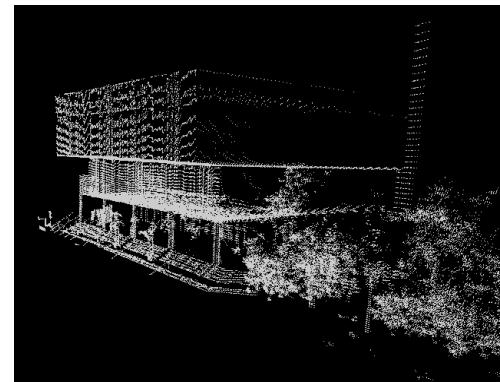
Localização – Filtro de Partículas e GPS

- Cada partícula representa uma possível trajetória completa do robô
- É atribuído um peso a cada partícula de acordo com sua proximidade do GPS.
- Partículas que divergem do GPS recebem peso baixo e são eliminadas.



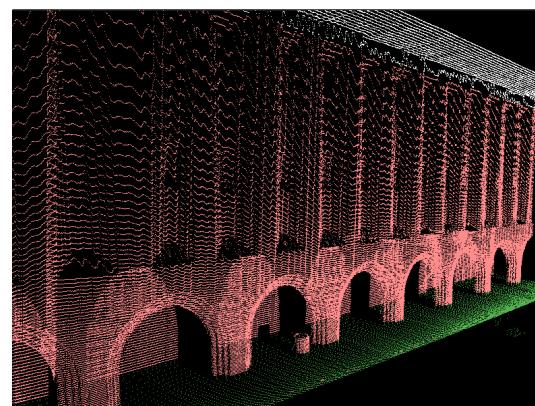
48

Mapeamento - Resultados



49

Mapeamento - Resultados



50

Mapeamento - Resultados

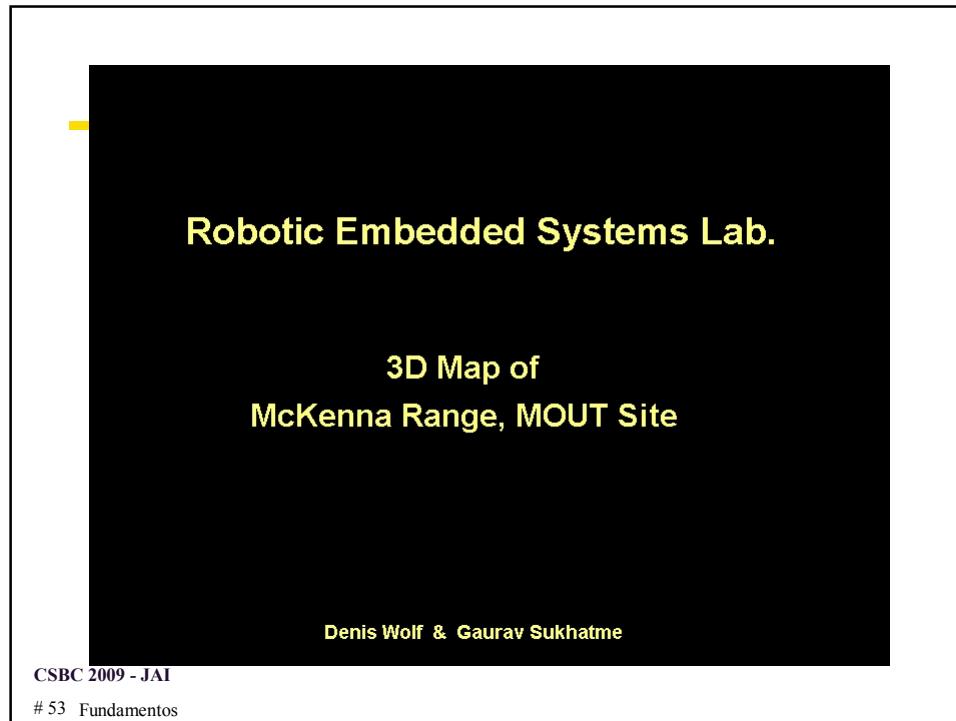


51

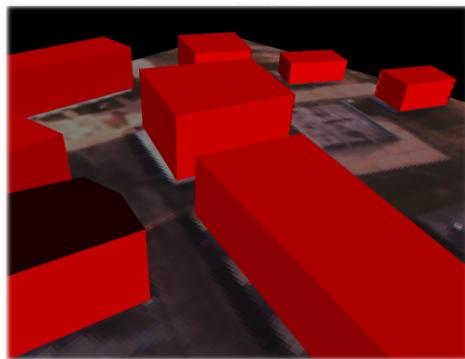
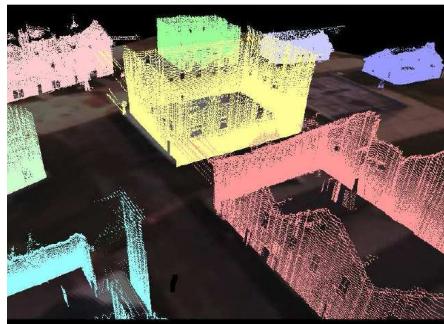
Mapeamento – Aquisição de dados



52



Mapas 3D



55

Veículos Autônomos

56

DARPA Grand Challenge 2004

Premio de **US\$1.000.000,00**

**Desafio: Percorrer 224km
no deserto de forma autônoma**

106 equipes inscritas e 25 finalistas



Melhor resultado: Red team (12km)

“Nobody won. Nobody even came close” - CNN



57

Veículos Autônomos - Desafios

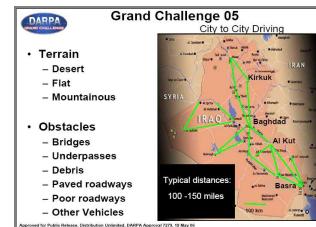


58

DARPA Grand Challenge 2005

Premio de **US\$2.000.000,00**

195 equipes inscritas,
23 finalistas
5 terminaram o percurso



Vencedor:
Stanley
(Stanford University)
6h 53m



59

DARPA Urban Challenge 2007



60

DARPA 2007 - Resultados

“**none** of the winning teams had taken **any demerits** for **traffic violations**, and that the winners had all been selected based on their finishing times “

“Tartan's vehicle averaged about 14 miles per hour throughout the course, which covered about 55 miles. Stanford averaged about 13 miles per hour, and Virginia Tech averaged a bit less than that “

61

DARPA 2007 - Vencedor

[Junior](#)
[NOVA](#)



Equipe campeã – TARTAN Racing

62

Veículo Autônomo - LRM



Veículo instrumentado para aquisição de dados

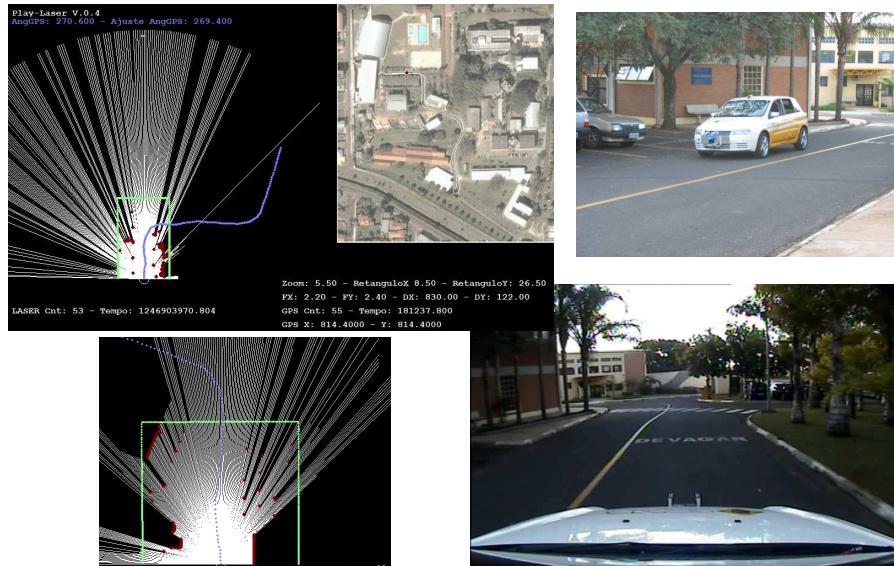
63

Veículo Autônomo – USP/SC



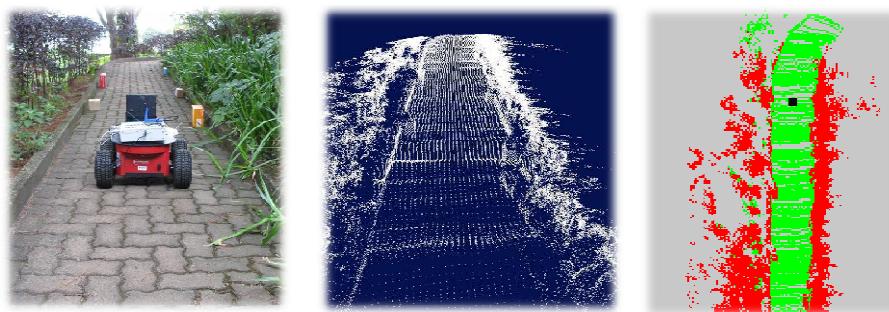
64

Veículo Autônomo – USP/SC



65

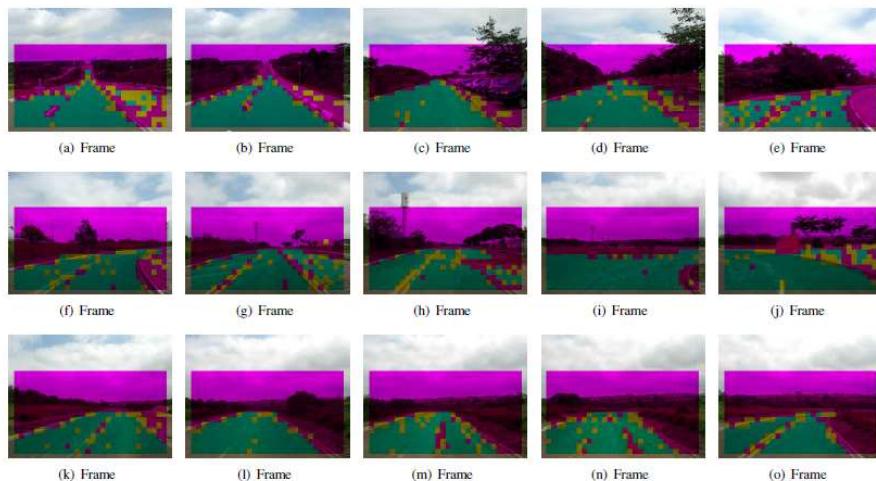
Veículo Autônomo - LRM



Navegação baseada em mapeamento a laser

66

Veículo Autônomo - LRM



Navegação Visual

67

Veículo Autônomo - LRM



Sensors

Camera
GPS, IMU, and compass
Laser Range Finders

INCT-SEC
Autonomous
Electric Vehicle

Actuators

DC Motor
Encoder
Motor Controller
Acceleration Control

Specifications

Engine: electric 48v
Autonomy: 8-10hs
Max speed: 32km/h
Payload: 363kg

68

Veículo Autônomo - LRM

Autonomous Navigation *



Vision-based
obstacle avoidance



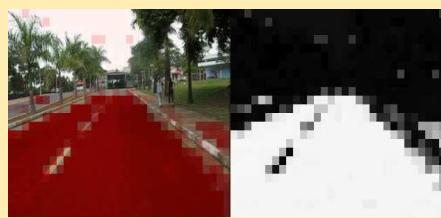
GPS-based
Autonomous navigation

69

* J. Souza, D. Sales, P. Shinzato, F. Osório and D. Wolf, Template-based autonomous navigation in urban environments,
In ACM Applied Computing Symposium, 2011

Veículo Autônomo - LRM

Autonomous Navigation *



Vision-based
obstacle avoidance



GPS-based
Autonomous navigation

Vídeos: <http://www.youtube.com/lrmicmc>

70

* J. Souza, D. Sales, P. Shinzato, F. Osório and D. Wolf, Template-based autonomous navigation in urban environments,
In ACM Applied Computing Symposium, 2011