



**XXIX CONGRESSO DA SOCIEDADE
BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO**

Os Grandes Desafios Científicos e os
Impactos da Computação na
Sociedade

20 A 24 DE JULHO DE 2009
BENTO GONÇALVES - RS

**Robótica Móvel Inteligente:
Da Simulação às Aplicações no
Mundo Real**

Denis Fernando Wolf	Universidade de São Paulo – USP - ICMC
Eduardo do Valle Simões	Grupo de Sist. Embarcados, Evolutivos e Robóticos
Fernando Santos Osório	LRM – Laboratório de Robótica Móvel
Onofre Trindade Junior	INCT – Sistemas Embarcados Críticos

INCT_{SEC} Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**



**Robótica Móvel Inteligente:
Da Simulação às Aplicações no
Mundo Real**

Denis Fernando Wolf	Universidade de São Paulo – USP - ICMC
Eduardo do Valle Simões	Grupo de Sist. Embarcados, Evolutivos e Robóticos
Fernando Santos Osório	LRM – Laboratório de Robótica Móvel
Onofre Trindade Junior	INCT – Sistemas Embarcados Críticos

INCT_{SEC} Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robótica Móvel

- Simuladores de Robôs Móveis
 - Player/Stage/Gazebo
- Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes
 - Localização
 - Mapeamento
 - SLAM
 - Navegação

CSBC 2009 - JAI
3 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robótica Móvel - Simuladores

Por que usar simuladores?

- Economia de recursos financeiros
- Economia de tempo
- Evitar danos aos robôs e sensores
- Evitar acidentes
- Aperfeiçoamento de hardware e software

CSBC 2009 - JAI
4 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Simuladores de Robôs Móveis

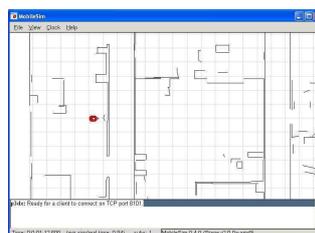
Carmen

- Desenvolvido na CMU
- Simula e controla robôs móveis
- Gratuito e código aberto
- SO: Linux



Aria/Saphira

- Desenvolvido pela MobileRobots
- Simula e controla robôs Pioneer
- Exige licença
- SO: Linux e Windows



CSBC 2009 - JAI
5 Fundamentos

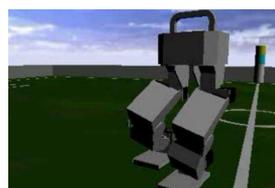


Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Simuladores de Robôs Móveis

Microsoft Robotics Studio

- Desenvolvido pela Microsoft
- Simula e controla robôs móveis
- Simulação física (3D)
- 3 tipos de licença
- SO: Windows



Webots

- Desenvolvido pela Cyberbotics
- Simula e controla robôs móveis
- Simulação física (3D)
- Exige licença
- SO: Linux, Windows e Mac.



CSBC 2009 - JAI
6 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Player/Stage/Gazebo

- **Player**

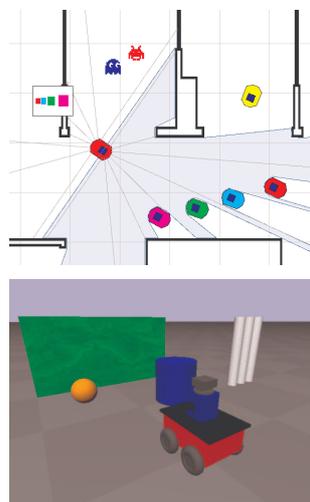
- Sistema para controle de robôs móveis
- Suporta diversos tipos de robôs e sensores

- **Stage**

- Simulador de robôs móveis e sensores
- Ambientes bidimensionais
- Compatível com Player

- **Gazebo**

- Simulador de alta fidelidade
- Ambientes em 3 dimensões
- Compatível com Player



CSBC 2009 - JAI
7 Fundamentos



INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

História do Player

- Projeto iniciado em 2000 na University of Southern California.
- Hoje em dia, seu core básico continua sendo desenvolvido pelos autores originais, apesar de diversos pesquisadores de diferentes instituições contribuem para o projeto.
- Atualmente, o Player é utilizado por diversas empresas e universidades em 5 continentes.

+ 3.000 downloads por mês.

CSBC 2009 - JAI
8 Fundamentos



INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Características do Player

- Software livre
- Modelo Cliente/Servidor
- Desenvolvido para sistemas Linux/Unix
- Comunicação baseada em sockets
- Clientes em: C, C++, Java, Python etc
- Interface de alto nível para acesso ao hardware
- Suporta grande quantidade de plataformas robóticas e sensores comerciais

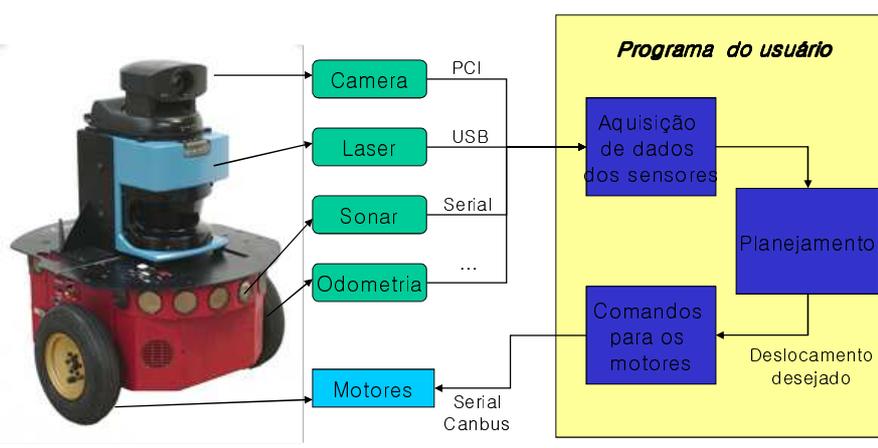
CSBC 2009 - JAI
9 Fundamentos



INCT SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Programa de controle

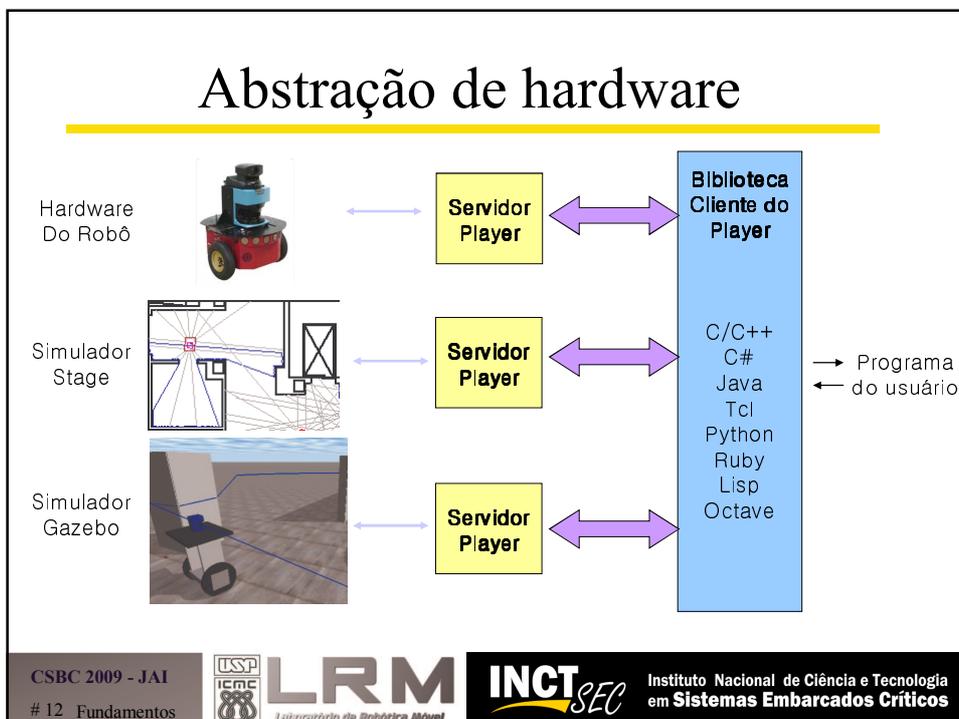
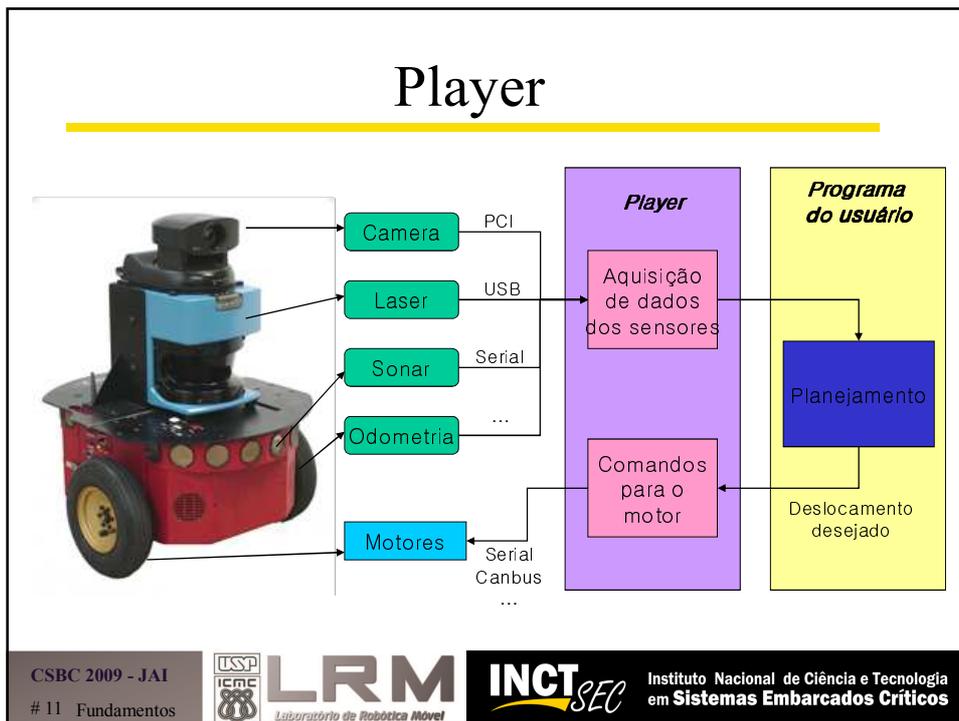


CSBC 2009 - JAI
10 Fundamentos

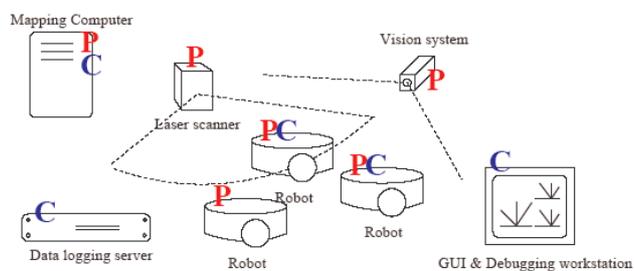


INCT SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**



Modelo Cliente/Servidor



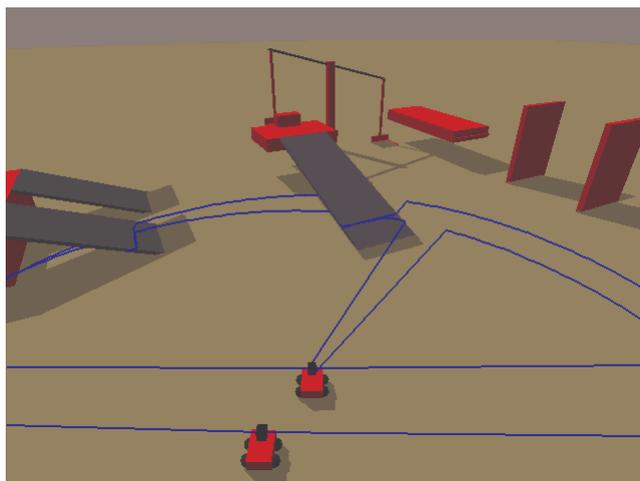
- Clientes podem se conectar a múltiplos servidores
- Servidores aceitam conexão de múltiplos clientes
- Diferentes programas/processos/threads podem processar dados de diferentes sensores do mesmo servidor.
- Operação remota

CSBC 2009 - JAI
13 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Gazebo - Simulação 3D

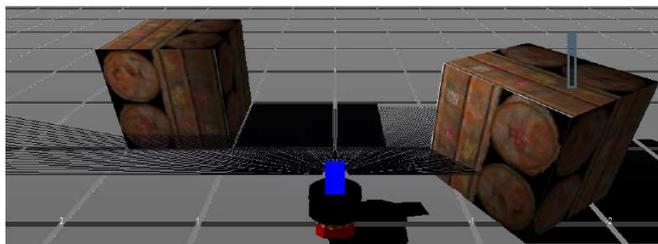


CSBC 2009 - JAI
14 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Gazebo v0.8



CSBC 2009 - JAI
15 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Player/Stage

CSBC 2009 - JAI
16 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robótica Móvel

- Simuladores de Robôs Móveis
 - Player/Stage/Gazebo
- **Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes**
 - Localização
 - Mapeamento
 - SLAM
 - Navegação

CSBC 2009 - JAI
17 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robôs Móveis - Características

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

CSBC 2009 - JAI
18 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robôs Móveis - Aplicações



Guia de museu



Mapeamento de minas



Verificação da qualidade da água



Navegação autônoma

CSBC 2009 - JAI
19 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

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**.

CSBC 2009 - JAI
20 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Modelo Básico



CSBC 2009 - JAI
21 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robótica Móvel

- **Simuladores de Robôs Móveis**
 - Player/Stage/Gazebo
- **Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes**
 - **Localização**
 - Mapeamento
 - SLAM
 - Navegação

CSBC 2009 - JAI
22 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização

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



CSBC 2009 - JAI
23 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robôs Móveis - Aplicações



Guia de museu



Mapeamento de minas



Verificação da qualidade da água



Navegação autônoma

CSBC 2009 - JAI
24 Fundamentos



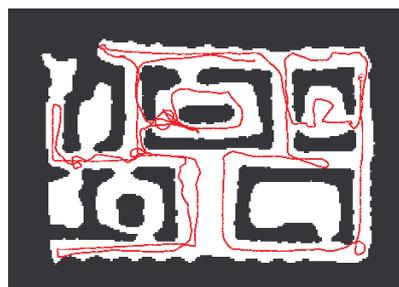
LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização - Problemas

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



Trajeto real



Odometria

CSBC 2009 - JAI
25 Fundamentos



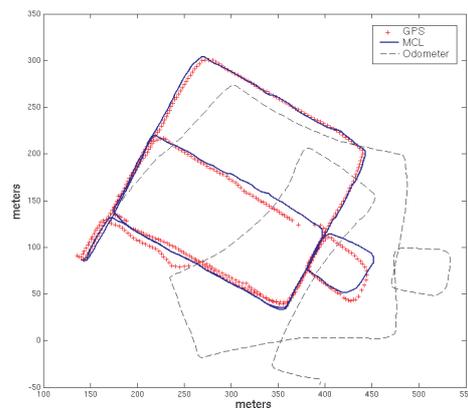
LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização - Problemas

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



+++++ GPS

----- Odometria

CSBC 2009 - JAI
26 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização – Tipos de problemas

Tracking

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

Localização global

- Posição inicial não é conhecida
- Busca global

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)

Filtro de Bayes

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

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

CSBC 2009 - JAI
29 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Filtro de Kalman

- Uma das primeiras implementações práticas do filtro de Bayes (1960).
- Hipóteses para utilização do filtro:
 - Erro médio de cada variável igual a zero;
 - Erro independente para cada variável;
 - Modelo linear de evolução do sistema;
 - Relacionamento linear entre variáveis de estado e variáveis medidas.
- Se as hipóteses acima não forem cumpridas, a optimalidade **não** é assegurada.

CSBC 2009 - JAI
30 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Filtro de Kalman

Algoritmo filtro de Kalman ($\mu_{t-1}, \Sigma_{t-1}, u_t, z_t$):

Predição:

1. $\bar{\mu}_t = A_t \mu_{t-1} + B_t u_t$
2. $\bar{\Sigma}_t = A_t \Sigma_{t-1} A_t^T + R_t$

Correção:

1. $K_t = \bar{\Sigma}_t C_t^T (C_t \bar{\Sigma}_t C_t^T + Q_t)^{-1}$
2. $\mu_t = \bar{\mu}_t + K_t (z_t - C_t \bar{\mu}_t)$
3. $\Sigma_t = (I - K_t C_t) \bar{\Sigma}_t$
4. **Return** μ_t, Σ_t

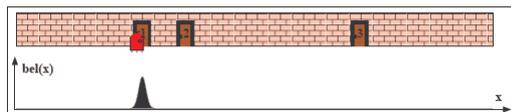
CSBC 2009 - JAI
31 Fundamentos



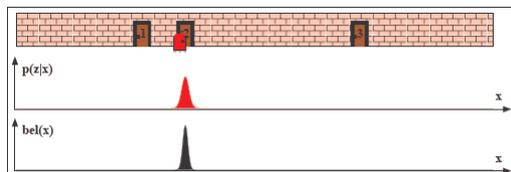
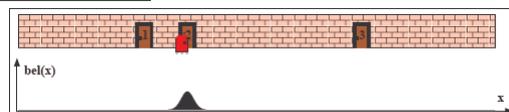
INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

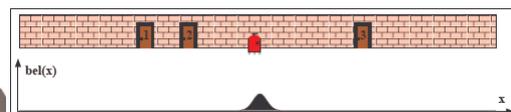
Localização – Filtro de Kalman (EKF)



Atuação (movimento do robô):
aumento de incerteza



Percepção (sensores):
diminuição da incerteza



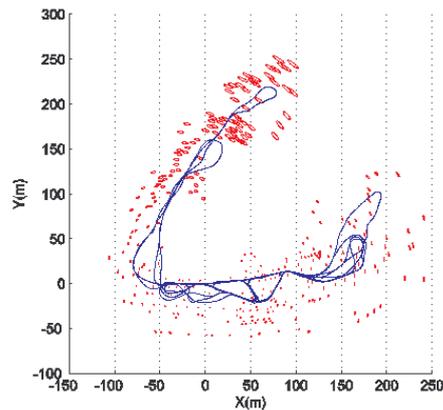
CSBC 2009 - JAI
32 Fundamentos



INCT
SEC

em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização - Filtro de Kalman



CSBC 2009 - JAI
33 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Filtro de Kalman - Avaliação

- **Não** é ótimo.
- **Pode divergir** de acordo a não-linearidade.
- **Altamente Eficiente**: complexidade polinomial com as dimensões de medição k e de estado n : $O(k^{2.376} + n^2)$
- Funciona **surpreendentemente bem**, mesmo quando as suposições básicas são violadas!
- Adequado para tracking (busca local)

CSBC 2009 - JAI
34 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel

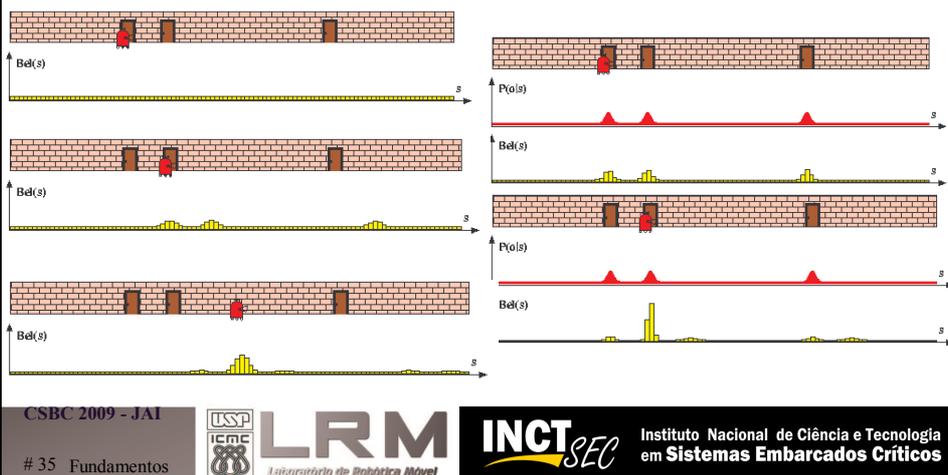


Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização – Malha de células

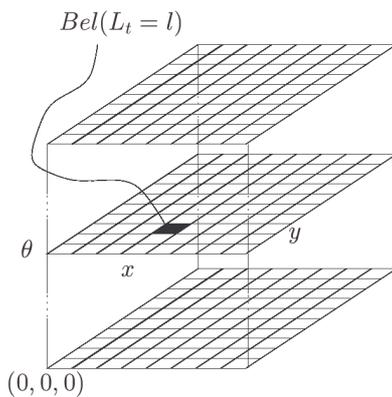
Atuação (movimento do robô): **aumento de incerteza**

Percepção (sensores): **diminuição da incerteza**



Localização – Malha de células

Posição do robô: (x, y, θ)



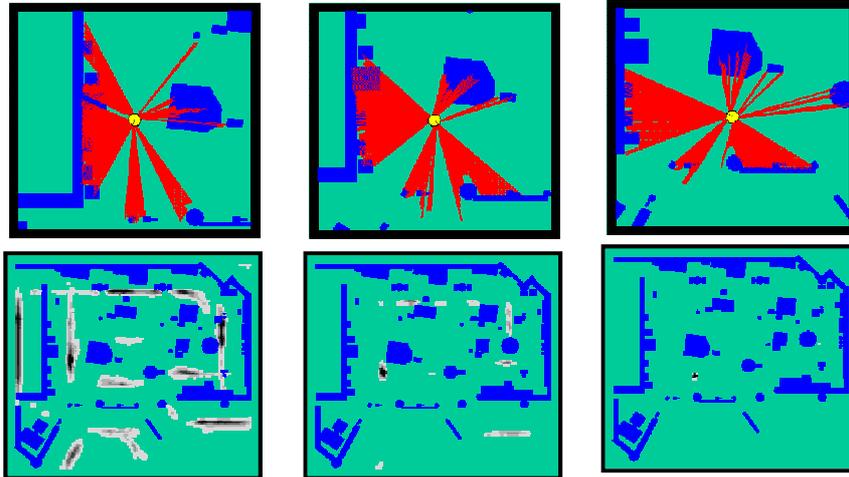
CSBC 2009 - JAI # 36 Fundamentos

USP ICMC LRM Laboratório de Robótica Móvel

INCT SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos

Localização - Exemplo



CSBC 2009 - JAI
37 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Malha de Células - Avaliação

- Possibilita localização **global**.
- Precisão depende das dimensões das células
- **Altíssima** demanda computacional

CSBC 2009 - JAI
38 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização – Partículas (Monte Carlo)

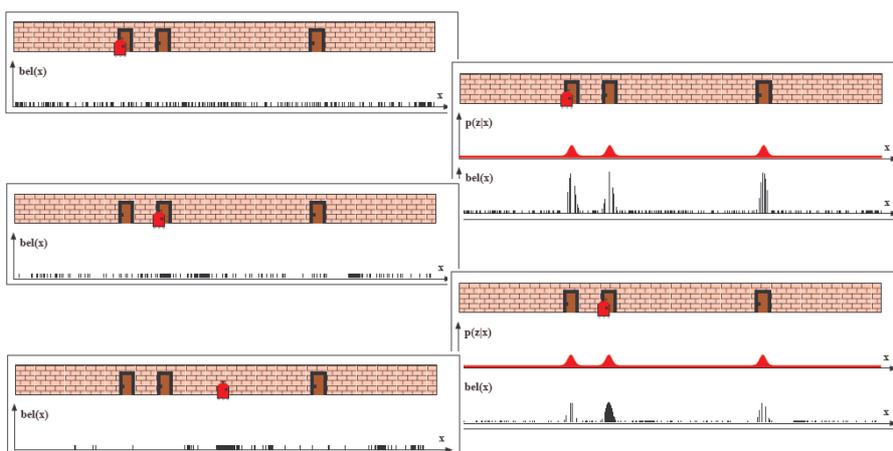
- Cada partícula representa a possibilidade do robô estar naquela posição específica.
- É atribuído um peso a cada partícula proporcional a sua chance de representar a posição do robô.
- Partículas com peso baixo são excluídas.
- Dado número suficiente de partículas, é provado que o método converge.

CSBC 2009 - JAI
39 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Filtro de Partículas

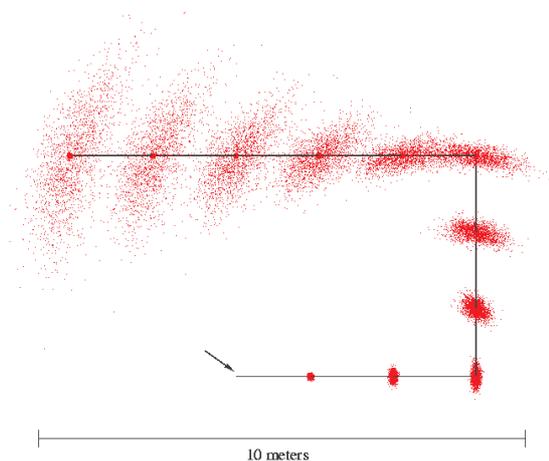


CSBC 2009 - JAI
40 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Propagação das Partículas



CSBC 2009 - JAI
41 Fundamentos

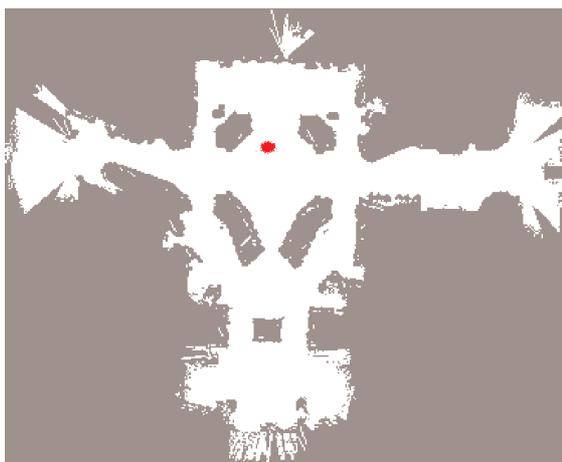


LRM
Laboratório de Robótica Móvel

INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Filtro de Partículas - Exemplo



CSBC 2009 - JAI
42 Fundamentos

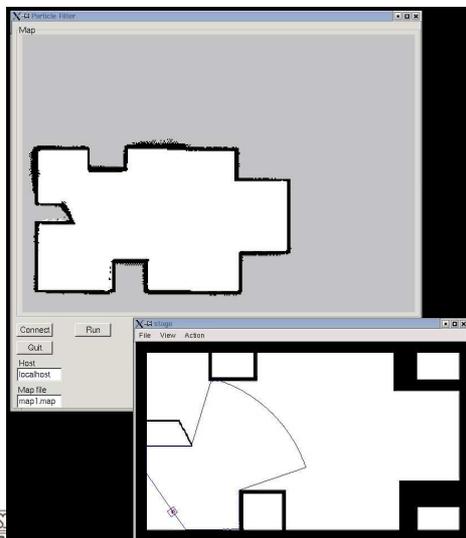


LRM
Laboratório de Robótica Móvel

INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Filtro de Partículas - Simulação



CSBC 2009 - JAI
43 Fundamentos



Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em Sistemas Embarcados Críticos

Filtro de Partículas

- Algoritmo **bastante eficiente** computacionalmente
- Possibilita **localização global**
- Implementação relativamente **simples**

CSBC 2009 - JAI
44 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em Sistemas Embarcados Críticos

Robótica Móvel

- Simuladores de Robôs Móveis
 - Player/Stage/Gazebo
- **Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes**
 - Localização
 - **Mapeamento**
 - SLAM
 - Navegação

CSBC 2009 - JAI
45 Fundamentos

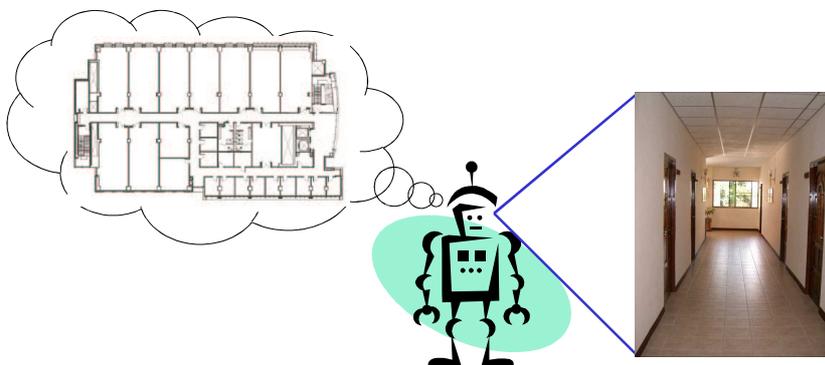


INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Mapeamento

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



CSBC 2009 - JAI
46 Fundamentos



INCT
SEC

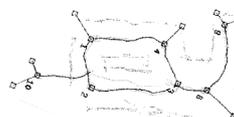
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

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.



CSBC 2009 - JAI
47 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel

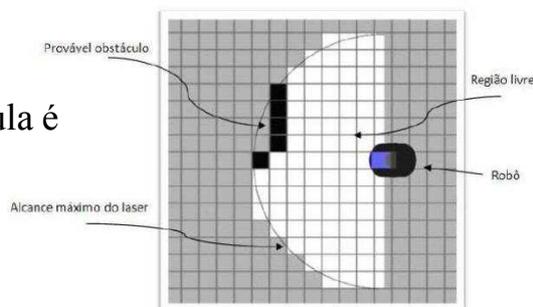
INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

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.



CSBC 2009 - JAI
48 Fundamentos

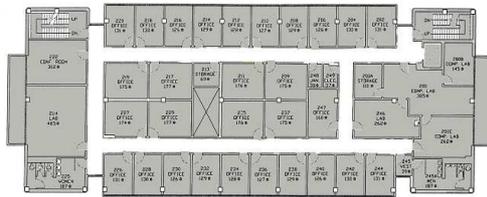


LRM
Laboratório de Robótica Móvel

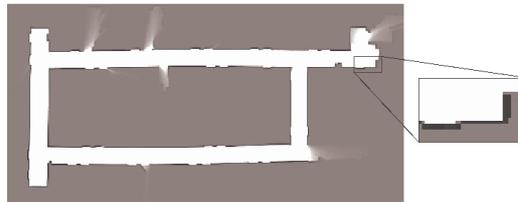
INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Grade de Ocupação



Mapa: occupancy grid

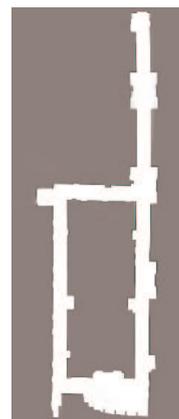
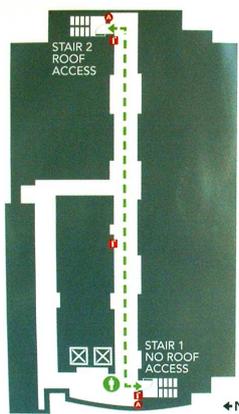
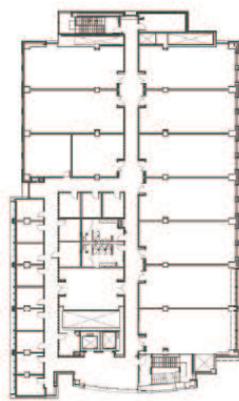


CSBC 2009 - JAI
49 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Grade de Ocupação

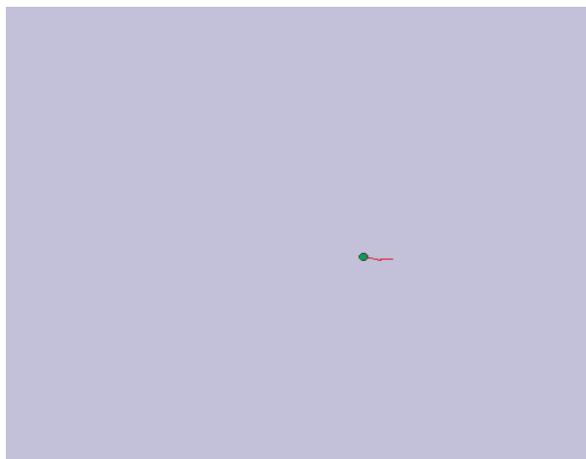


CSBC 2009 - JAI
50 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Mapa baseado somente na odometria



CSBC 2009 - JAI
51 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel

INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robótica Móvel

- Simuladores de Robôs Móveis
 - Player/Stage/Gazebo

- **Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes**
 - Localização
 - Mapeamento
 - **SLAM**
 - Navegação

CSBC 2009 - JAI
52 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel

INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

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:

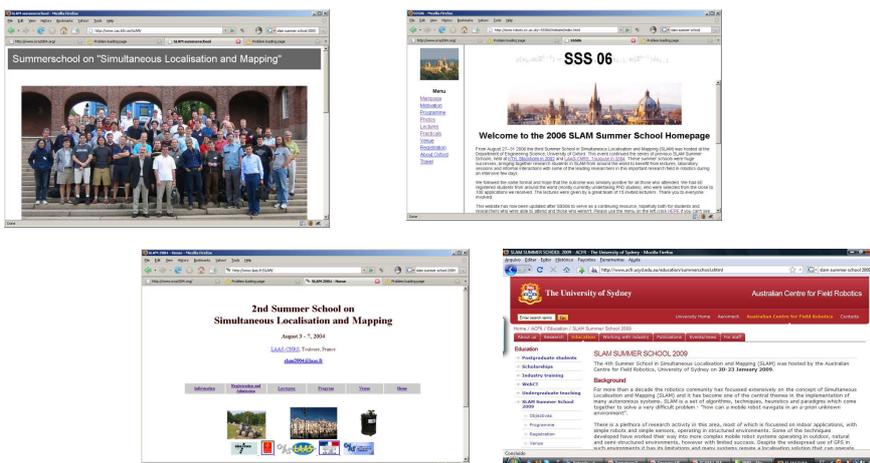
- O mapa do ambiente
- A localização/trajetória do robô

CSBC 2009 - JAI
53 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em Sistemas Embarcados Críticos

Slam Summer School



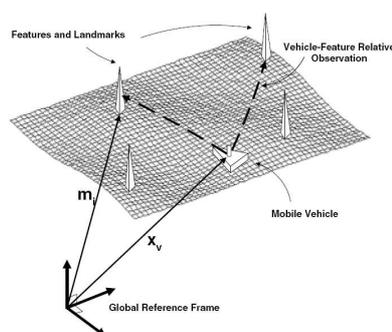
CSBC 2009 - JAI
54 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em Sistemas Embarcados Críticos

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

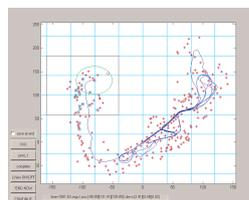
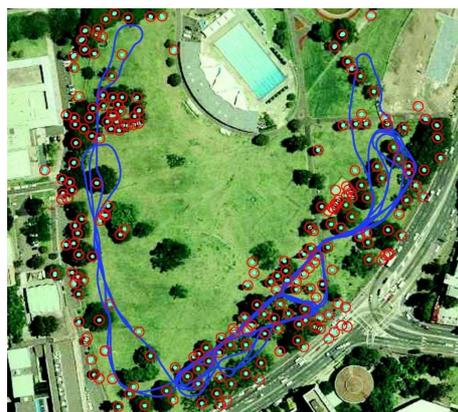


CSBC 2009 - JAI
55 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em Sistemas Embarcados Críticos

SLAM – Filtro de Kalman



CSBC 2009 - JAI
56 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em Sistemas Embarcados Críticos

SLAM – EKF - Complexidade

$$Be(x_t, m_t) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \\ l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_N \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{x\theta} & \sigma_{xl_1} & \sigma_{xl_2} & \cdots & \sigma_{xl_N} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_{y\theta} & \sigma_{yl_1} & \sigma_{yl_2} & \cdots & \sigma_{yl_N} \\ \sigma_{x\theta} & \sigma_{y\theta} & \sigma_\theta^2 & \sigma_{\theta l_1} & \sigma_{\theta l_2} & \cdots & \sigma_{\theta l_N} \\ \sigma_{xl_1} & \sigma_{yl_1} & \sigma_{\theta l_1} & \sigma_{l_1}^2 & \sigma_{l_1 l_2} & \cdots & \sigma_{l_1 l_N} \\ \sigma_{xl_2} & \sigma_{yl_2} & \sigma_{\theta l_2} & \sigma_{l_1 l_2} & \sigma_{l_2}^2 & \cdots & \sigma_{l_2 l_N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{xl_N} & \sigma_{yl_N} & \sigma_{\theta l_N} & \sigma_{l_1 l_N} & \sigma_{l_2 l_N} & \cdots & \sigma_{l_N}^2 \end{pmatrix}$$

Um mapa com N landmarks estimará **2N+3 variáveis** e terá uma matriz de covariância de **2N+3 x 2N+3 elementos**.

CSBC 2009 - JAI
57 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

FastSLAM

Idéia básica: utilizar um **filtro de partículas** para estimar a **posição do robô** e o **mapa do ambiente**.

Vantagens:

- Modelos de percepção e controle **não-lineares** 😊
- Permite **diferentes associações de dados** em paralelo 😊
- Estima **toda a trajetória** do robô **on-line** 😊

Desvantagem:

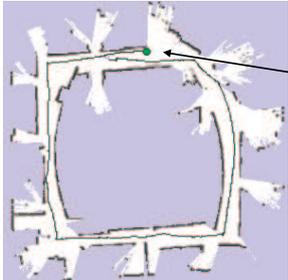
- Número de partículas necessário cresce **exponencialmente** com o número de variáveis. ☹️☹️☹️

CSBC 2009 - JAI
58 Fundamentos

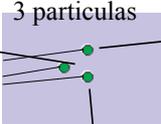


Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

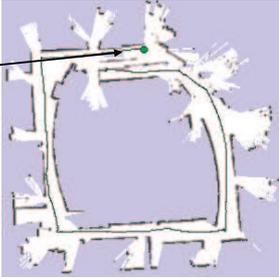
FastSLAM



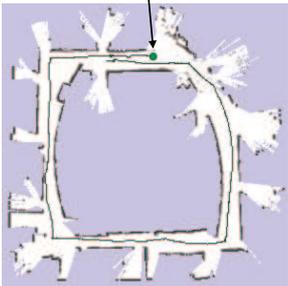
mapa da partucle 1



3 particulas



mapa da particula 3



mapa da particula 2

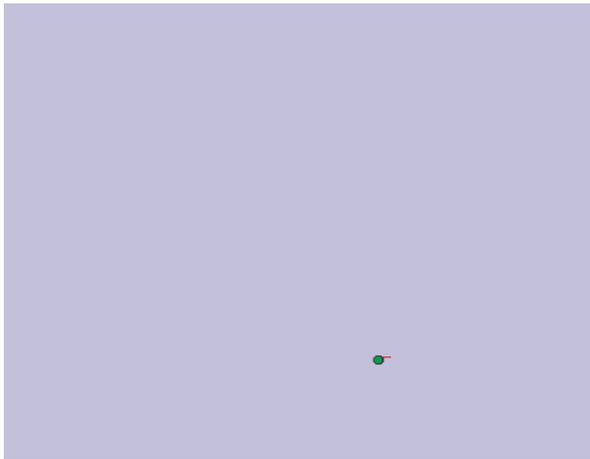
CSBC 2009 - JAI
59 Fundamentos

**LRM**
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

FastSLAM



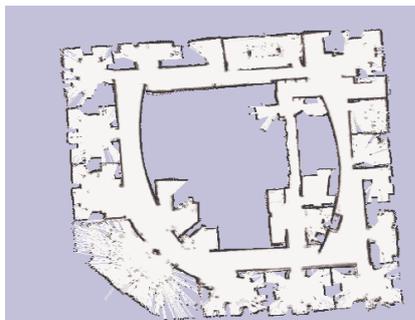
CSBC 2009 - JAI
60 Fundamentos

**LRM**
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

FastSLAM - Resultados



FastSLAM



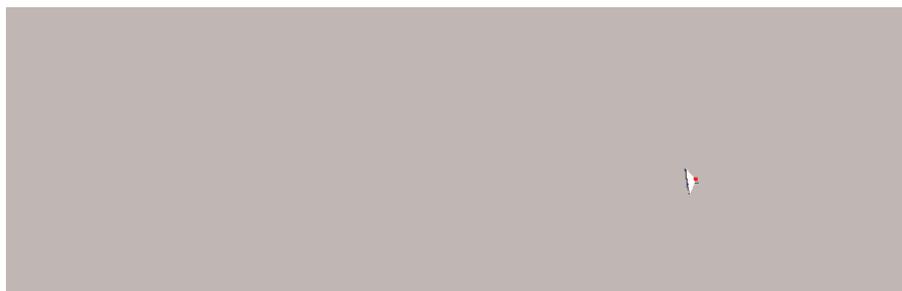
Odometria

CSBC 2009 - JAI
61 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

SLAM - Multirrobo



Posição inicial **desconhecida.**

CSBC 2009 - JAI
62 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização e Mapeamento – Robô Guia de Museu



CSBC 2009 - JAI
63 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel

INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização e Mapeamento em Ambientes Urbanos

Problemas:

- Complexidade
- Escala
- Irregularidade do terreno
- Difícil representação



CSBC 2009 - JAI
64 Fundamentos

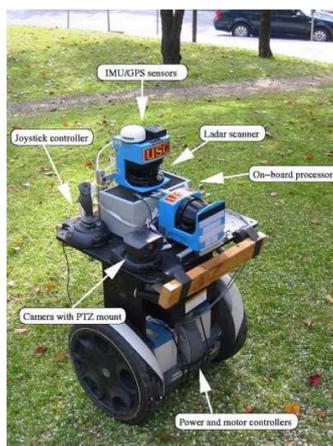


LRM
Laboratório de Robótica Móvel

INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Plataforma Experimental



CSBC 2009 - JAI
65 Fundamentos

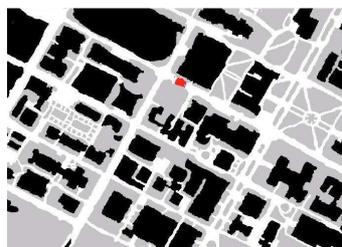


Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

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.

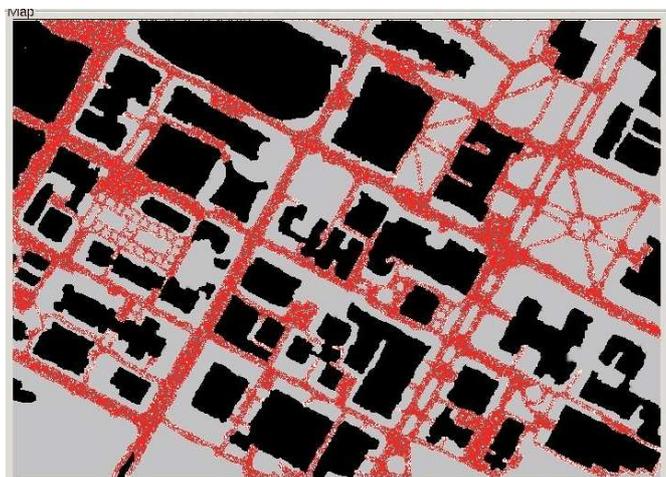


CSBC 2009 - JAI
66 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização – Monte Carlo



CSBC 2009 - JAI
67 Fundamentos

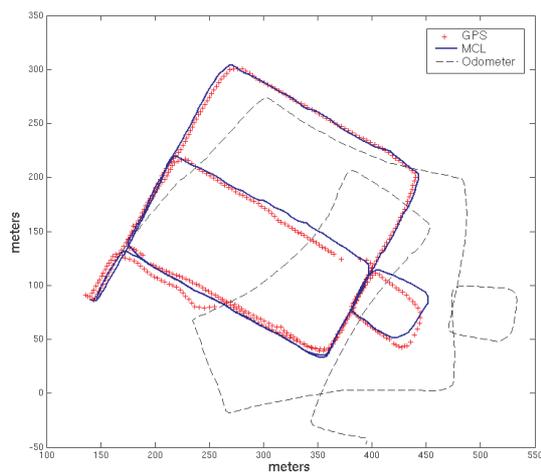


LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Localização - Resultados



CSBC 2009 - JAI
68 Fundamentos



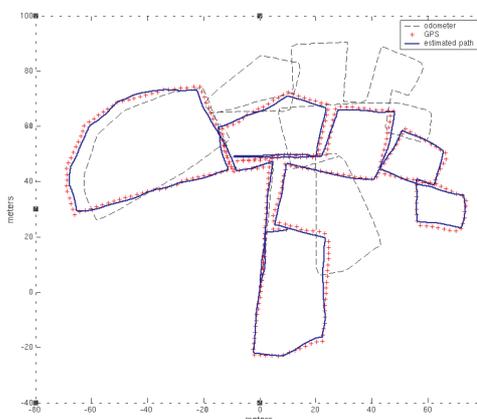
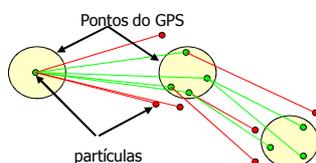
LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

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.



CSBC 2009 - JAI
69 Fundamentos



INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Mapeamento - Resultados



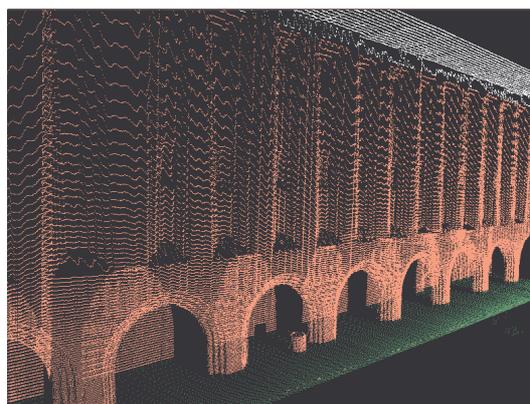
CSBC 2009 - JAI
70 Fundamentos



INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Mapeamento - Resultados



CSBC 2009 - JAI
71 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Mapeamento - Resultados



CSBC 2009 - JAI
72 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Mapeamento – Aquisição de dados



CSBC 2009 - JAI
73 Fundamentos



LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robotic Embedded Systems Lab.

3D Map of
McKenna Range, MOUT Site

Denis Wolf & Gaurav Sukhatme

CSBC 2009 - JAI
74 Fundamentos

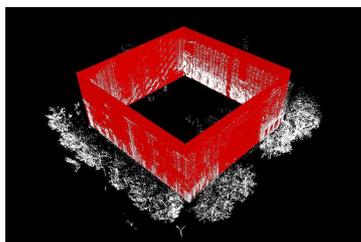
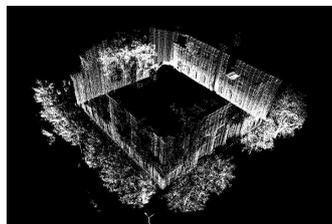


LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Outras Representações para Mapas 3D

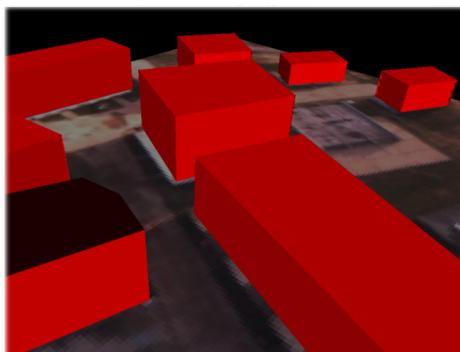
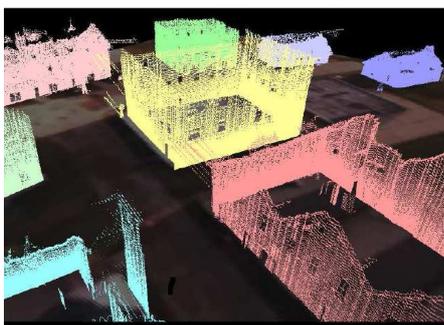


CSBC 2009 - JAI
75 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Mapas 3D



CSBC 2009 - JAI
76 Fundamentos

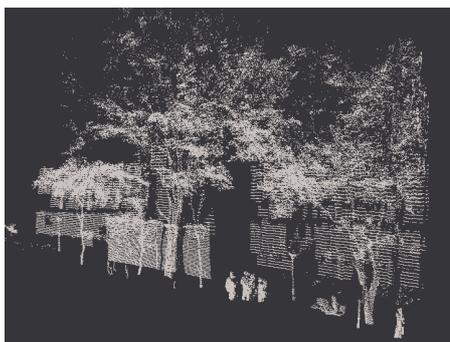


Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Mapeamento 3D – ICMC/USP



ICMC – Bloco 1



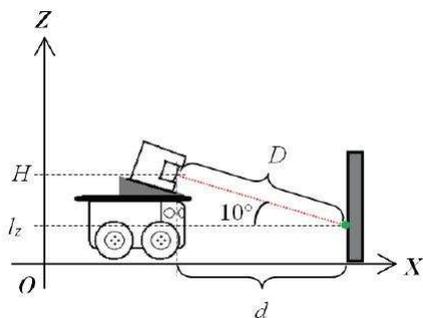
CSBC 2009 - JAI
77 Fundamentos



INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Mapeamento de Terreno



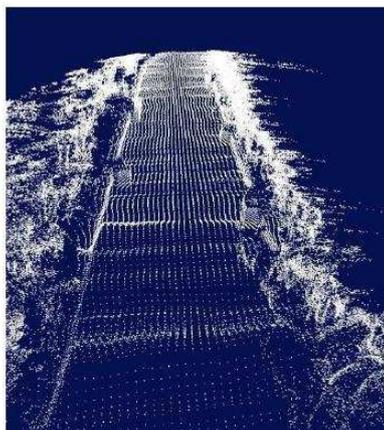
CSBC 2009 - JAI
78 Fundamentos



INCT
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

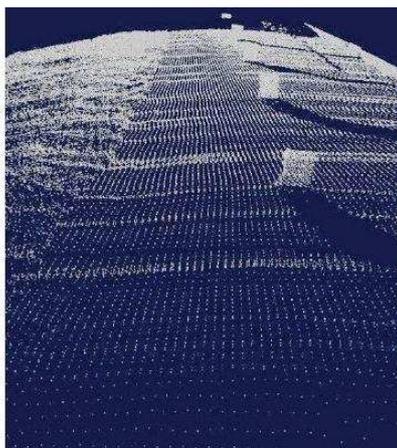
Mapeamento de Terreno



CSBC 2009 - JAI
79 Fundamentos



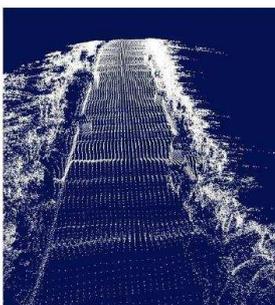
Mapeamento de Terreno



CSBC 2009 - JAI
80 Fundamentos



Classificação de Terreno – Redes Neurais

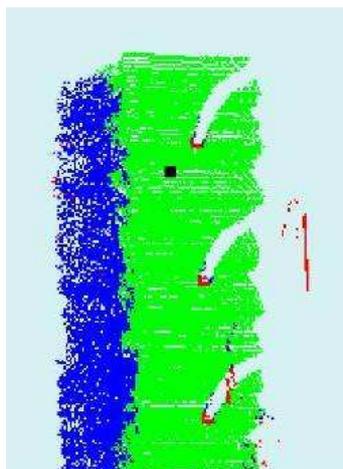
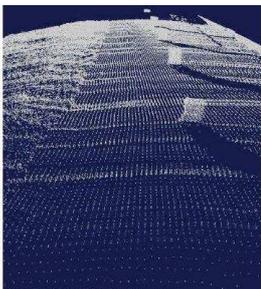


CSBC 2009 - JAI
81 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Classificação de Terreno – Redes Neurais



CSBC 2009 - JAI
82 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Projeto – Veículo Autônomo



CSBC 2009 - JAI
83 Fundamentos



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Robótica Móvel

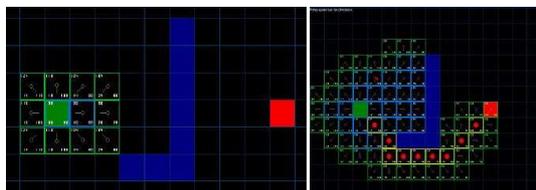
- Simuladores de Robôs Móveis
 - Player/Stage/Gazebo
- **Sistemas Robóticos Móveis Inteligentes**
 - Localização
 - Mapeamento
 - SLAM
 - **Navegação**

CSBC 2009 - JAI
84 Fundamentos

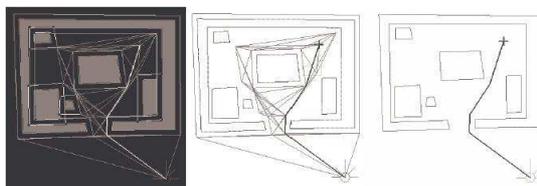


Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Planejamento de Trajetória



A*: mapas métricos (grid)



Dijkstra: mapas métricos/topológicos (grafos)

CSBC 2009 - JAI
85 Fundamentos

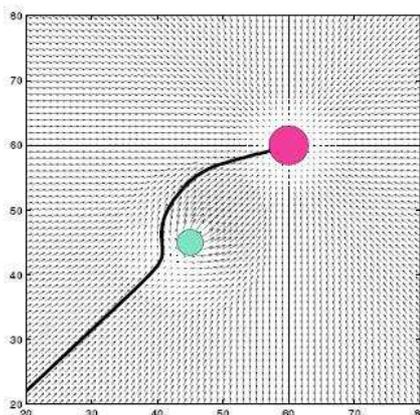
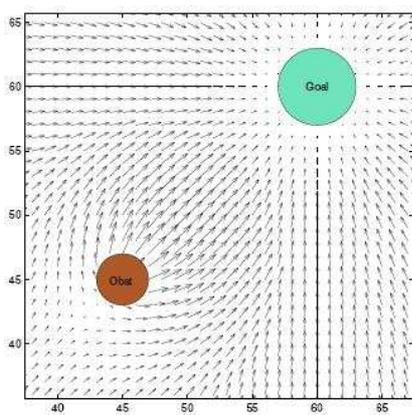


LRM
Laboratório de Robótica Móvel



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Campos Potencias



CSBC 2009 - JAI
86 Fundamentos

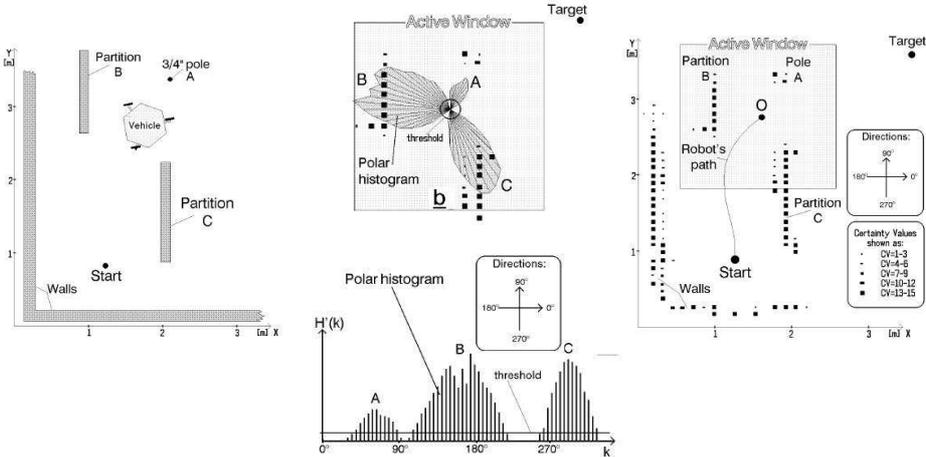


LRM
Laboratório de Robótica Móvel



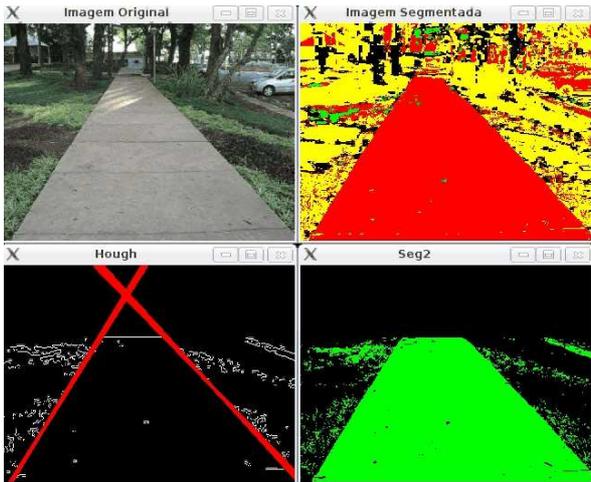
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**

Vector Field Histogram - VFH



CSBC 2009 - JAI # 87 Fundamentos  **LRM** Laboratório de Robótica Móvel  Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em **Sistemas Embarcados Críticos**

Navegação Visual



CSBC 2009 - JAI # 88 Fundamentos  **LRM** Laboratório de Robótica Móvel  Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em **Sistemas Embarcados Críticos**

OBRIGADO!



LRM

Laboratório de Robótica Móvel

[Http://www.icmc.usp.br/~lrm](http://www.icmc.usp.br/~lrm)

Denis Fernando Wolf - denis@icmc.usp.br
Eduardo do Valle Simões - simoes@icmc.usp.br
Fernando Santos Osório - fosorio@icmc.usp.br
Onofre Trindade Junior - otjunior@icmc.usp.br

CSBC 2009 - JAI
89 FINAL



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
em **Sistemas Embarcados Críticos**