

**USP - ICMC - SSC – Pós-Grad. CCMC
SSC 5888 (RMA) - 1o. Semestre 2009**

**Disciplina de
Robôs Móveis Autônomos
SSC-5888**

Prof. Fernando Santos Osório
Email: fosorio [at] { icmc. usp. br , gmail. com }
Web: <http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>

Aula 02: Auto-Localização em RMAs

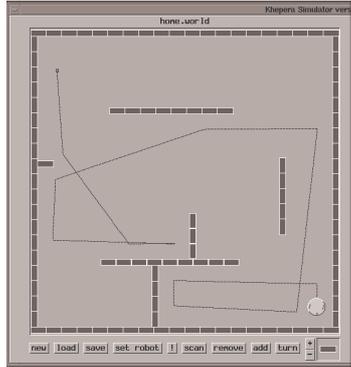
Agenda:

Auto-Localização

- 1. Conceitos: Posição e Orientação no Ambiente**
- 2. Estimativa de Posição/Orientação: “Pose Maintenance”**
Sensores e Medidas: Encoders, Bússola, GPS, Tracking (externo)
Dead Reckoning: deslocamento relativo (odômetro)
Imprecisão da Estimativa de Posição/Orientação
- 3. Marcadores de Posição:**
Pontos e Sinais de Referência: Landmarks, Beacons
Triangulação, Correlação e Servo-Controle, Localização Topológica
- 4. Métodos de Auto-Localização**
Localização baseada no Filtro de Kalman
Localização baseada em Modelos de Markov
Localização baseada em Técnicas de Monto Carlo

Auto-Localização: Conceitos

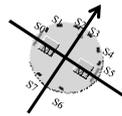
Conceitos: Posição e Orientação do RMA no Ambiente



Deslocamento do Robô:
Estimativa de Posição
“Pose maintenance”

Pose 2D: Sequência
Posição no Plano X, Y
Ângulo de Orientação

Pose 3D:
Posição no Espaço X, Y, Z (altura)
Orientação em 3D ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)

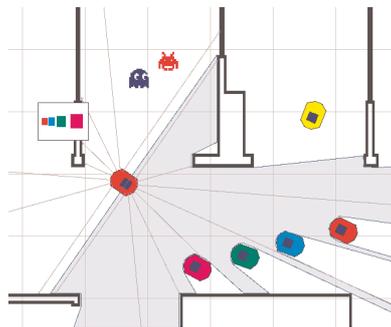


Posição X, Y
Orientação θ

Importância:
- Onde estou?
- Para onde vou?

Auto-Localização: Conceitos

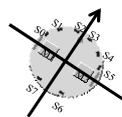
Conceitos: Posição e Orientação do RMA no Ambiente



Deslocamento do Robô:
Estimativa de Posição
“Pose maintenance”

Pose 2D: Sequência
Posição no Plano X, Y
Ângulo de Orientação

Pose 3D:
Posição no Espaço X, Y, Z (altura)
Orientação em 3D ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)



Posição X, Y
Orientação θ

Importância:
- Onde estou?
- Para onde vou?
> Interpretação do AMBIENTE

MAPAS

Localização: Conceitos

Conceitos: Posição e Orientação do RMA no Ambiente



Pose 3D:

Posição no Espaço X, Y, Z (altura)
orientação em 3D ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)

Importância:

- Onde estou?
- Para onde vou?
- > Interpretação do AMBIENTE

MAPAS



5

Maio 2009

Localização: Estimativa

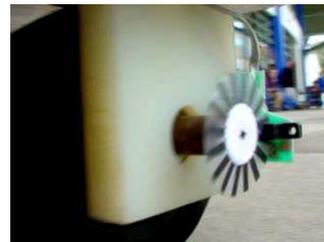
Estimativa de Posição e Orientação

Sensores e Medidas

- Encoders
- Compass (bússola)
- GPS
- Tracking (externo)

ERRO
DE
ESTIMATIVA

ENCODER: Registra o giro da roda.
Permite estimar o deslocamento do robô
> Odômetro [Medida Relativa de Deslocamento]



6

Maio 2009

Localização: Estimativa

Estimativa de Posição e Orientação

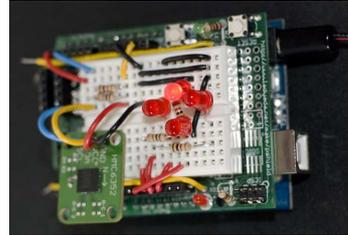
Sensores e Medidas

- Encoders
- Compass (bússola)
- GPS
- Tracking (externo)

ERRO
DE
ESTIMATIVA

COMPASS: Orientação do robô em relação ao “norte magnético”

> Bussola [Medida Absoluta de Orientação]



7

Maio 2009

Localização: Estimativa

Estimativa de Posição e Orientação

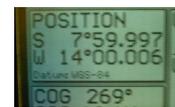
Sensores e Medidas

- Encoders
- Compass (bússola)
- GPS
- Tracking (externo)

ERRO
DE
ESTIMATIVA

GPS: Posição (3D) e Orientação do robô com estimativa de velocidade de desloc.

[Medida Absoluta de Posição, Altura e Orientação]



8

Maio 2009

Localização: Estimativa

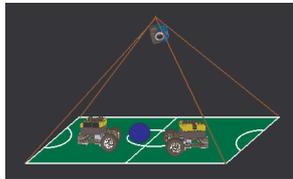
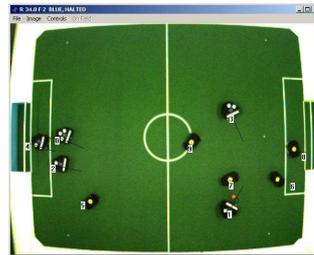
Estimativa de Posição e Orientação

Sensores e Medidas

- Encoders
- Compass (bússola)
- GPS
- Tracking (externo)

ERRO
DE
ESTIMATIVA

Tracking Externo: Usando Câmera (top view)
Estimativa de posição e orientação
[Medida Absoluta de Posição e Orientação]



Localização: Estimativa

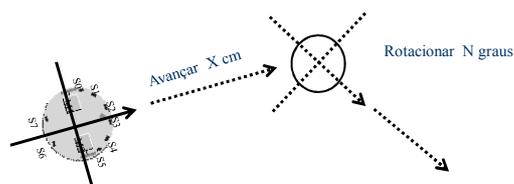
Dead Reckoning: Estimativa do deslocamento relativo

Implementando um Odômetro:

ERRO
DE
ESTIMATIVA

Através do acompanhamento dos comandos de avanço e giro, podemos estimar a posição do robô. Além disto, também é possível usar as informações provenientes de sensores como os encoders das rodas para estimar a posição.

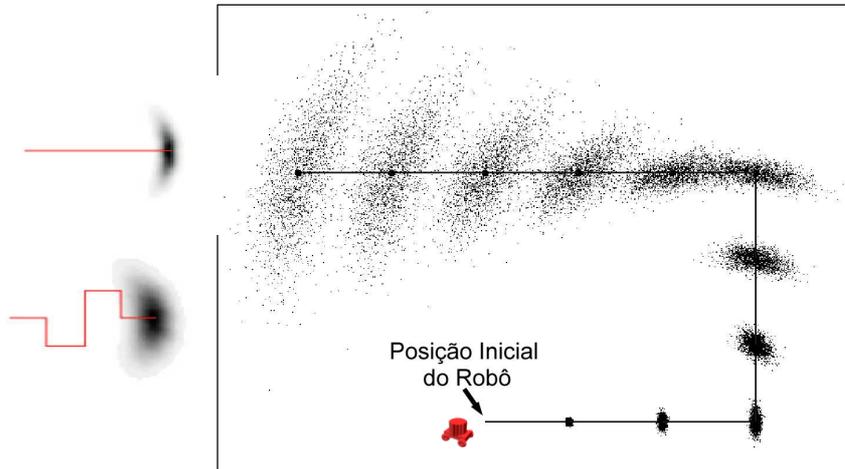
Dead Reckoning: Localização baseada em odometria, onde estimamos a posição e orientação do robô através da integração no tempo dos diversos deslocamentos e rotações realizados pelo robô.



- Avançar durante X seg
- Rotacionar para esquerda durante X seg

Localização: Estimativa e Erro

Dead Reckoning: ERRO de Estimativa do deslocamento



11

Maio 2009

Localização: Marcadores de Posição

Marcadores de Posição: Pontos e Sinais de Referência

LandMarks: Pontos de Referência

Podemos inserir no ambiente marcações passivas que permitam que o robô determine sua posição aproximada.

Beacons: Sinais de Referência ou “faróis”

Podemos inserir no ambiente marcações ativas que permitam que o robô determine sua posição aproximada.

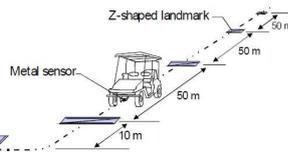


Figure 7.7: Komatsu's Z-shaped landmarks are located at 50-meter (164 ft) intervals along the planned path of the autonomous vehicle. (Courtesy of [Matsuda and Yoshikawa, 1988].)

Borenstein 1996

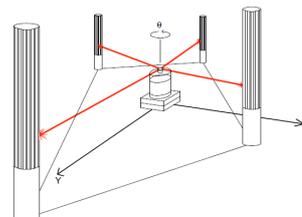


Figure 6.16: The TRC Beacon Navigation System calculates position and heading based on ranges and bearings to two of four passive beacons defining a quadrilateral operating area. (Courtesy of TRC.)

Borenstein 1996

12

Maio 2009

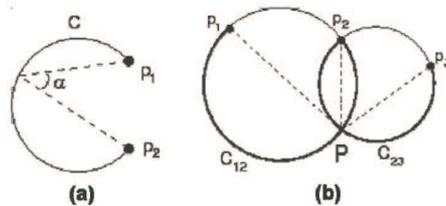
Localização: Marcadores de Posição

Marcadores de Posição: Triangulação

Os métodos de triangulação para a localização de robôs móveis se baseiam nos métodos tradicionais da cartografia e navegação, que utilizam os ângulos observados entre pontos de referência do ambiente para calcular a posição relativa do observador.

Fica claro que com apenas o ângulo entre 2 pontos de referência, a posição do observador é delimitada pelo arco de um círculo.

No caso com 3 pontos de referência, a localização do observador se encontra em um único ponto, que é a intersecção entre dois círculos, desde que os pontos de referência não sejam coincidentes.



Ângulo: 2, 3 ou mais marcas
Distância das Marcações

13

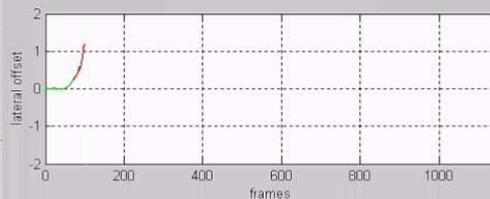
Maio 2009

Localização: Marcadores de Posição

Marcadores de Posição: Servo-Motor / Visual



Jung 2004, 2005



14

Maio 2009

Localização: Marcadores de Posição

Marcadores de Posição: Servo-Motor / Visual / Marcações



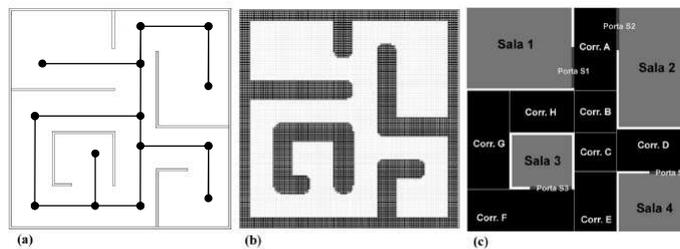
15

Maio 2009

Localização: Marcadores de Posição

Marcadores de Posição: Localização Topológica

- Identificando: Corredores, Cruzamentos e Portas



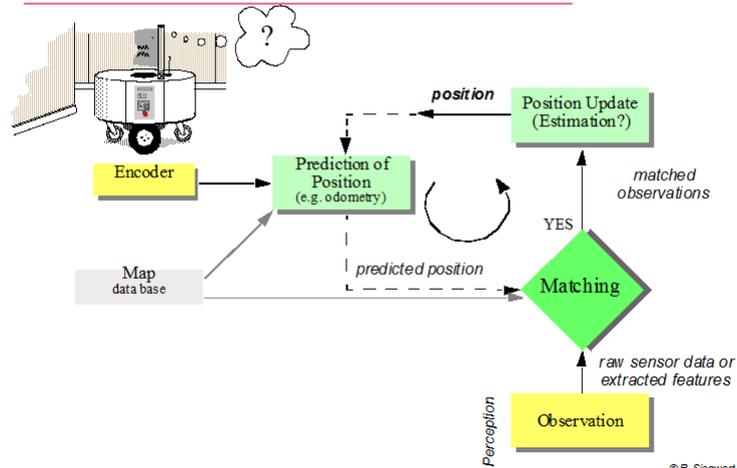
MAPAS Geométrico (a); Baseado em Grade (b); Topológico/semântico (c);

Mapa Topológico: Identifica as regiões do mapa e sua conectividade.

16

Maio 2009

Localization, Where am I?

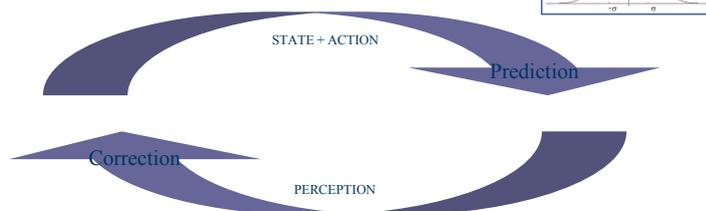


Localização baseada no **Filtro de Kalman**

Este método aplica uma técnica de filtragem usando o filtro de Kalman para, uma vez conhecida a localização corrente aproximada do robô, estimar a sua próxima localização, considerando seu deslocamento e usando as informações imprecisas obtidas pelos seus sensores

Localização: Posição Estimada + Dead-Reackoning + Sensorial

The Prediction-Correction-Cycle



Discrete Kalman Filter

Estimates the state x of a discrete-time controlled process that is governed by the linear stochastic difference equation

$$x_t = A_t x_{t-1} + B_t u_t + \varepsilon_t$$

with a measurement

$$z_t = C_t x_t + \delta_t$$

Components of a Kalman Filter

$$A_t$$

Matrix (nxn) that describes how the state evolves from t to $t-1$ without controls or noise.

$$B_t$$

Matrix (nx1) that describes how the control u_t changes the state from t to $t-1$.

$$C_t$$

Matrix (kxn) that describes how to map the state x_t to an observation z_t .

$$\varepsilon_t$$

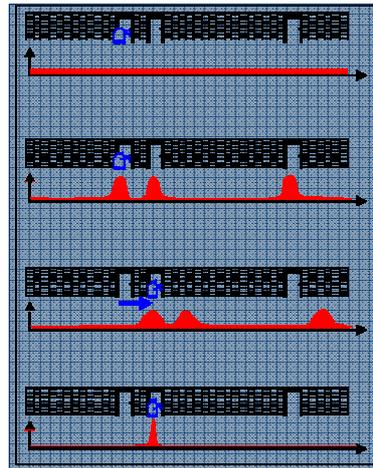
Random variables representing the process and measurement noise that are assumed to be independent and normally distributed with covariance R_t and Q_t respectively.

$$\delta_t$$

Métodos de Auto-Localização

Localização baseada em Modelos de Markov

- * Concept – to compute a probability distribution over all possible locations in a particular environment
- * Addresses the problem of state estimation from sensor data
- * Can be used to solve the localization problem in both the single and multi-robot scenarios

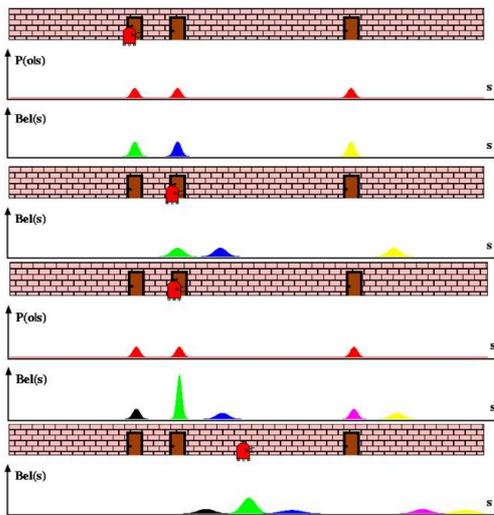


21

Maio 2009

Métodos de Auto-Localização

Localização baseada em Modelos de Markov



The 1D case

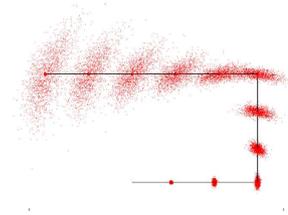
1. Start
 - > No knowledge at start, thus we have an uniform probability distribution.
2. Robot perceives first door
 - > Seeing only one door, the probability being at door 1, 2 or 3 is equal.
3. Robot moves
 - > Action model enables to estimate the new probability distribution based on the previous one and the motion.
4. Robot perceives second door
 - > Base on all prior knowledge the probability being at door 2 becomes dominant

22

Maio 2009

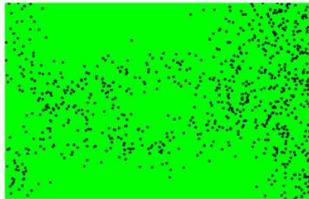
Métodos de Auto-Localização

Localização baseada em Técnicas de Monte Carlo



MCL - Monte Carlo Localization Method

- Particles: Position/Orientation (pose) estimation ;
- Dead-reckoning: Estimate new position after move;
- Particle filter: Use sensorial information to select the "best particles" (most probable / correct poses);
- Particle resampling: Generate new particles centered around the "best particle".



Weighted samples



After resampling

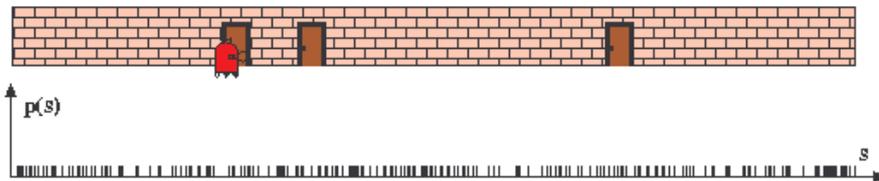
23

Maio 2009

Métodos de Auto-Localização

Localização baseada em Técnicas de Monte Carlo

Particles: Uniform probability distribution along ALL the possible robot positions



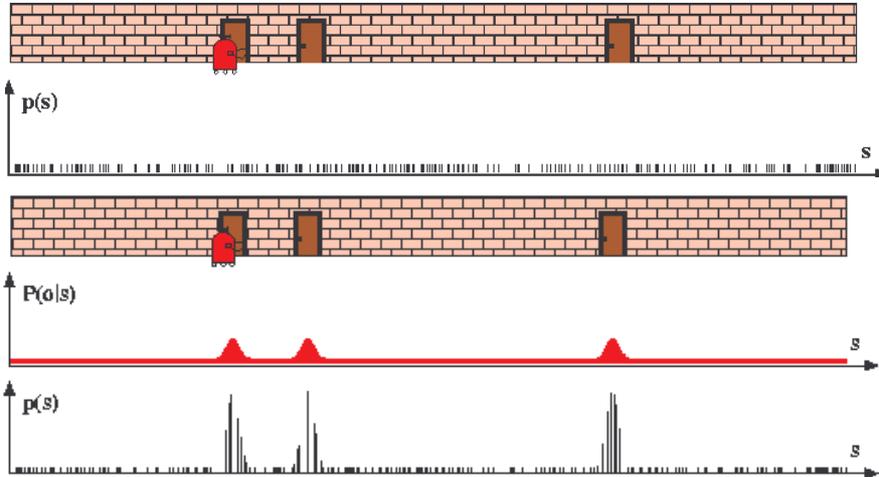
- Book: Probabilistic Robotics
- Authors:
 - Sebastian Thrun
 - Wolfram Burgard
 - Dieter Fox
- Publisher:
 - MIT Press, 2005.
- Web site for the book & more slides:
<http://www.probablistic-robotics.org/>

24

Maio 2009

Métodos de Auto-Localização

Localização baseada em Técnicas de Monte Carlo



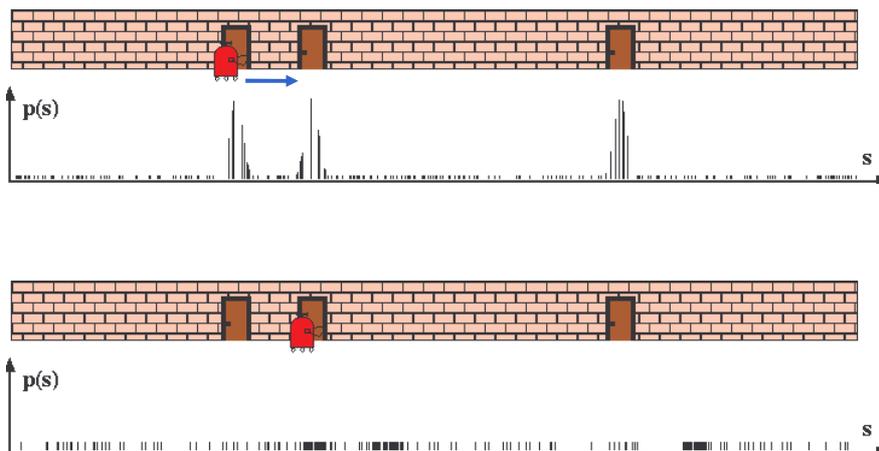
Particles: Sensor Information => Importance Sampling

25

Maio 2009

Métodos de Auto-Localização

Localização baseada em Técnicas de Monte Carlo



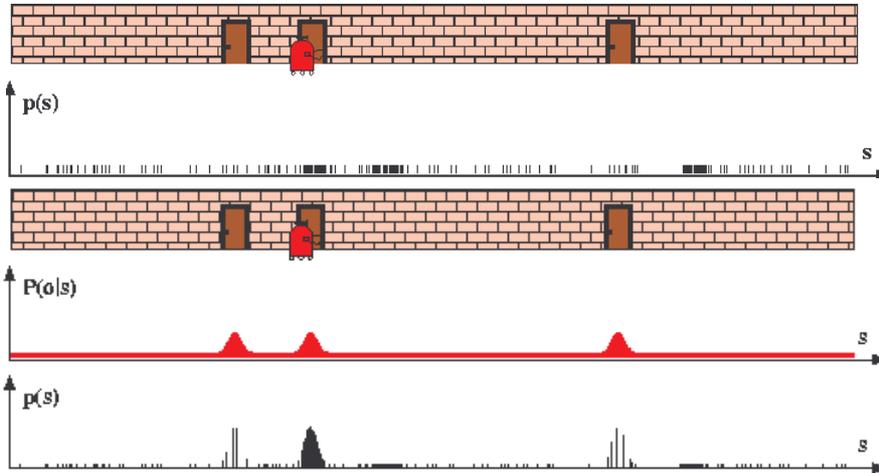
Particles: Robot Motion

26

Maio 2009

Métodos de Auto-Localização

Localização baseada em Técnicas de Monte Carlo



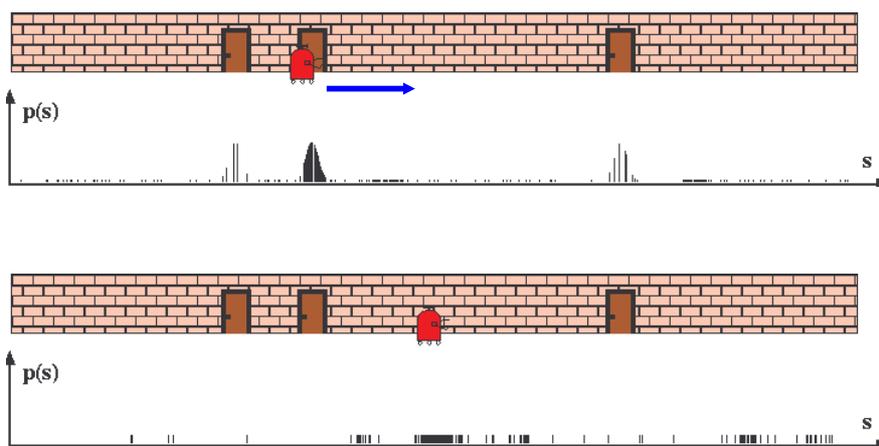
Particles: Sensor Information => Importance Sampling

27

Maio 2009

Métodos de Auto-Localização

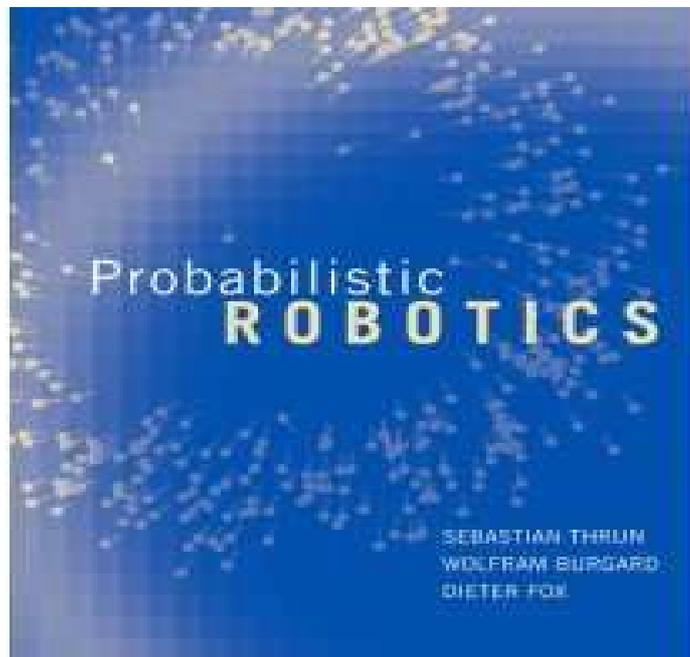
Localização baseada em Técnicas de Monte Carlo



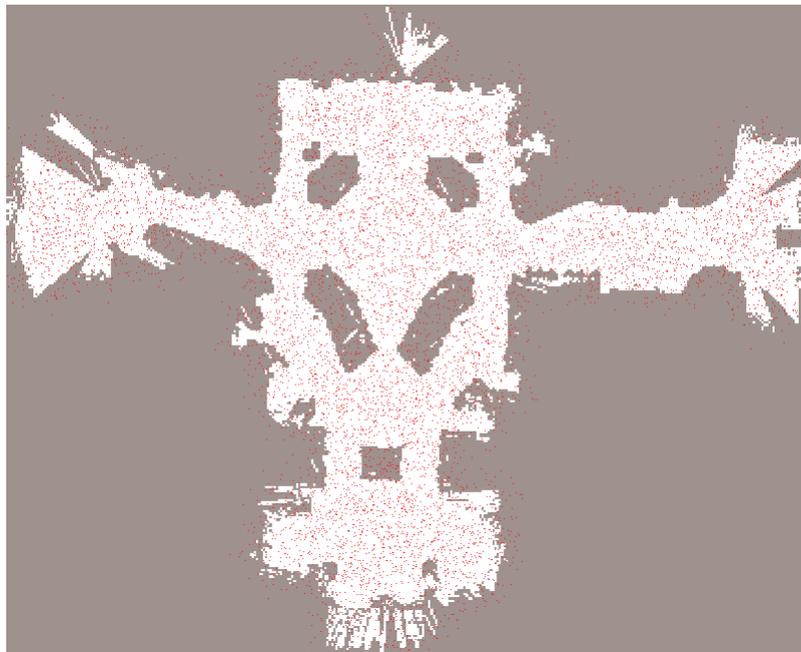
Particles: Robot Motion

28

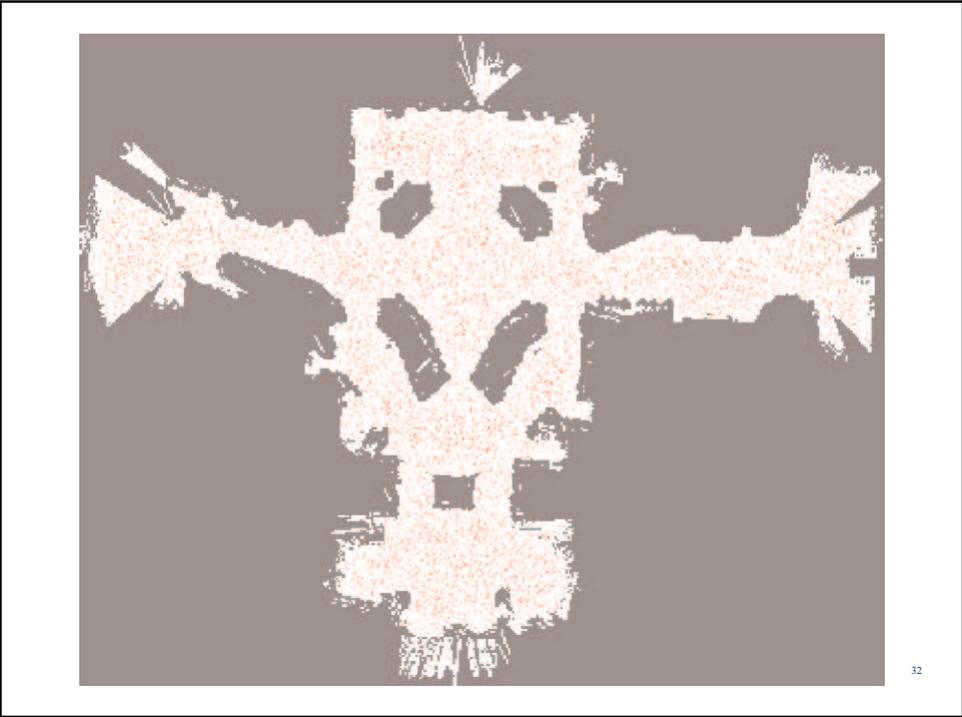
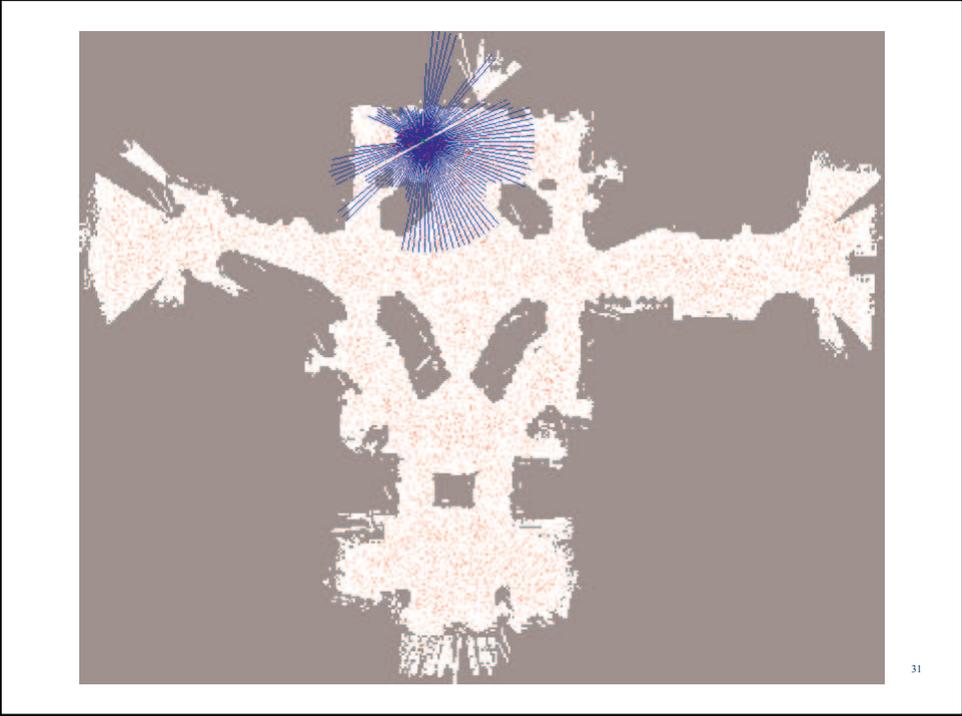
Maio 2009

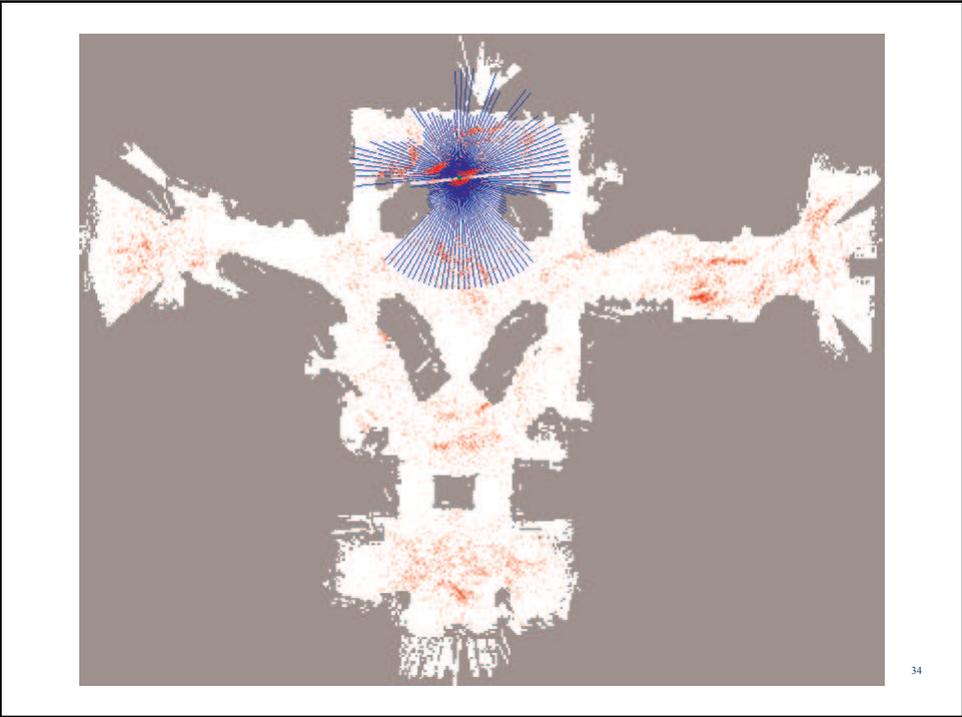
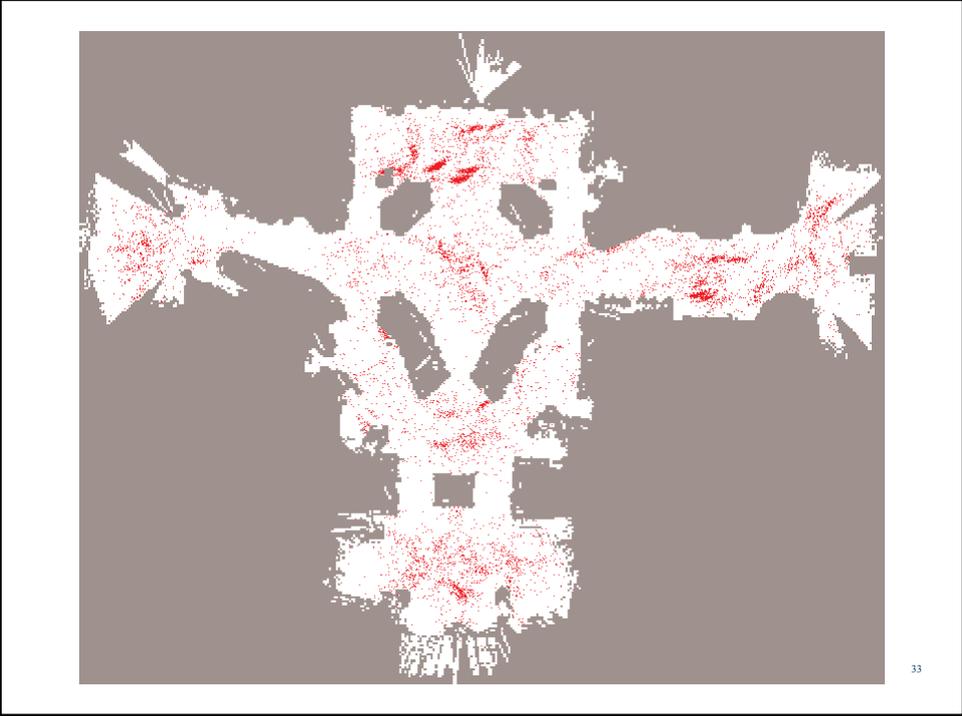


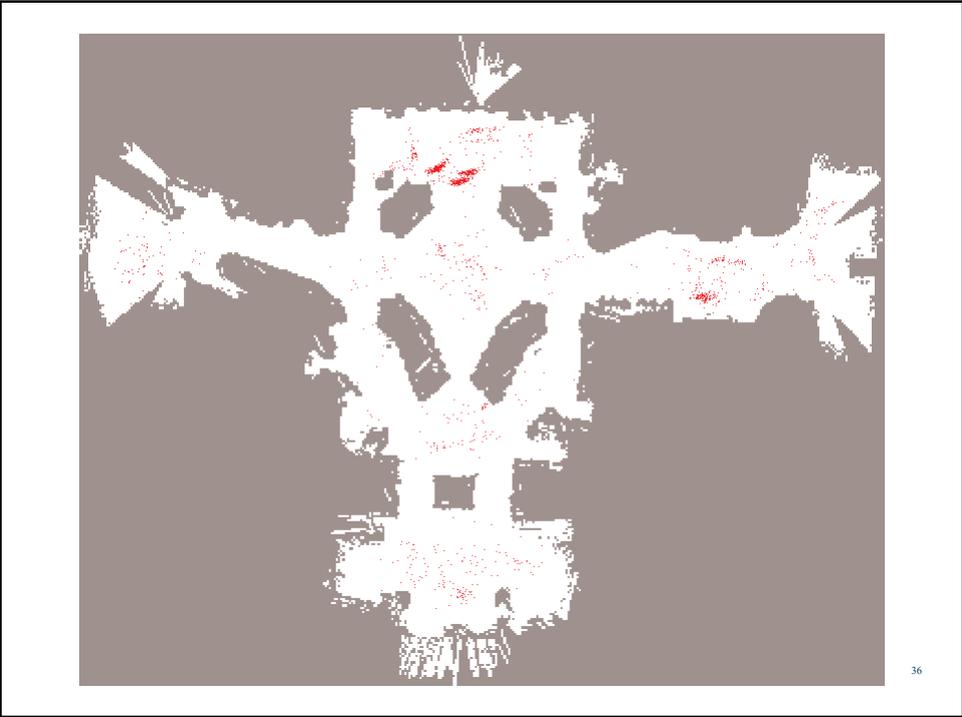
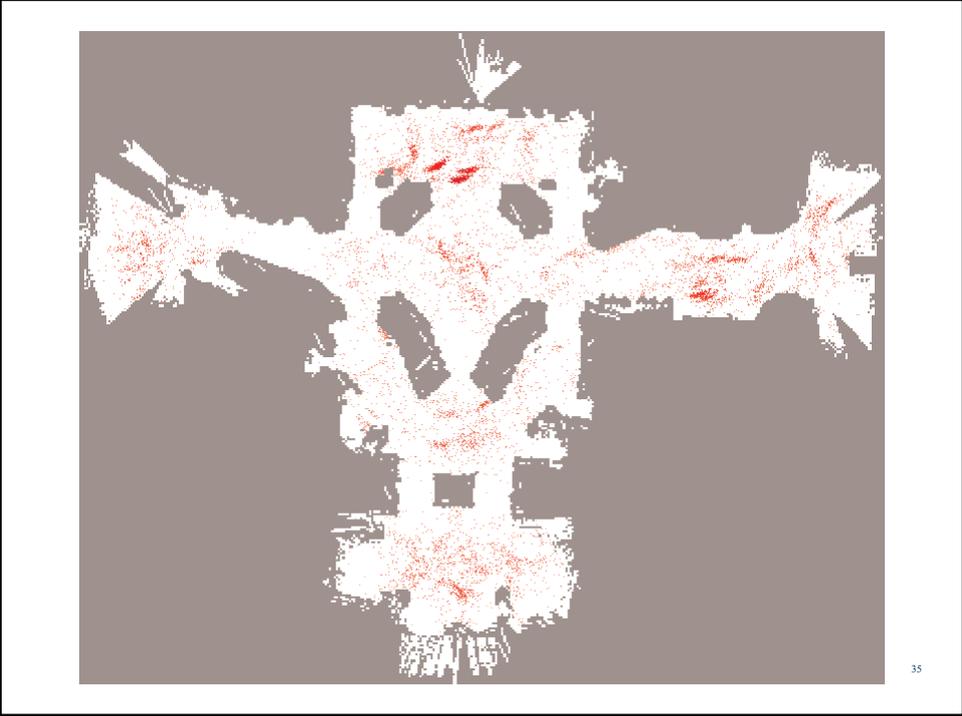
29

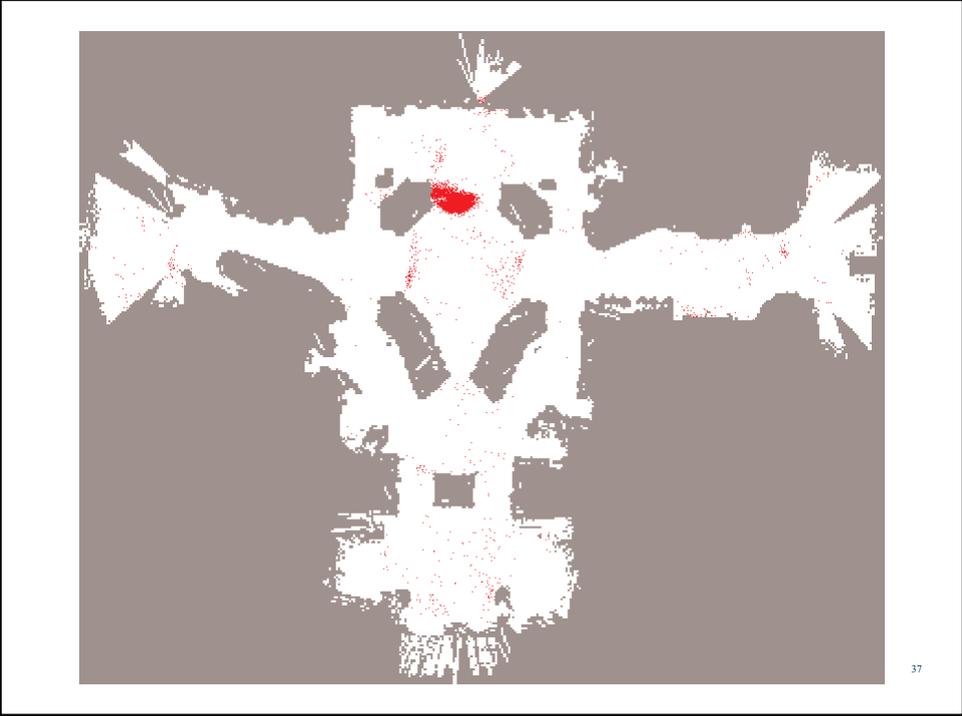


30

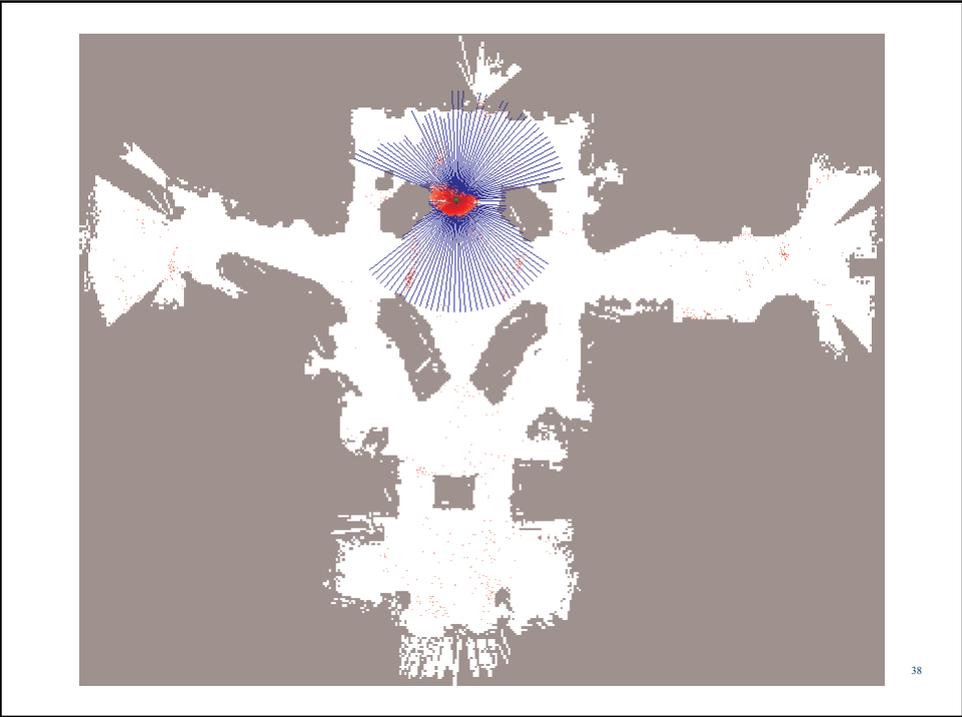




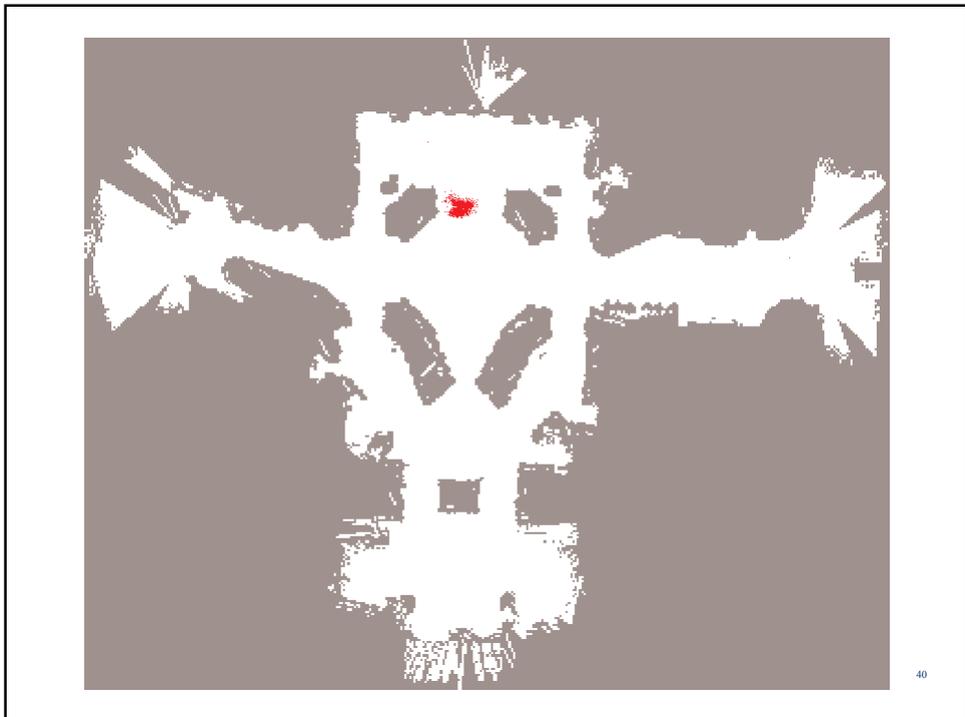
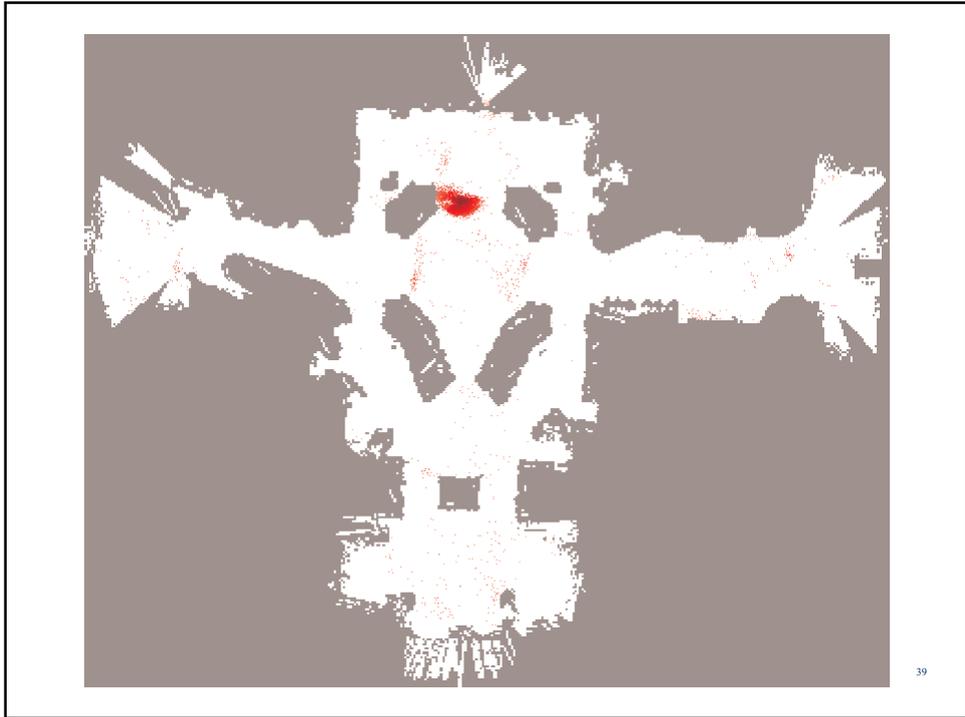


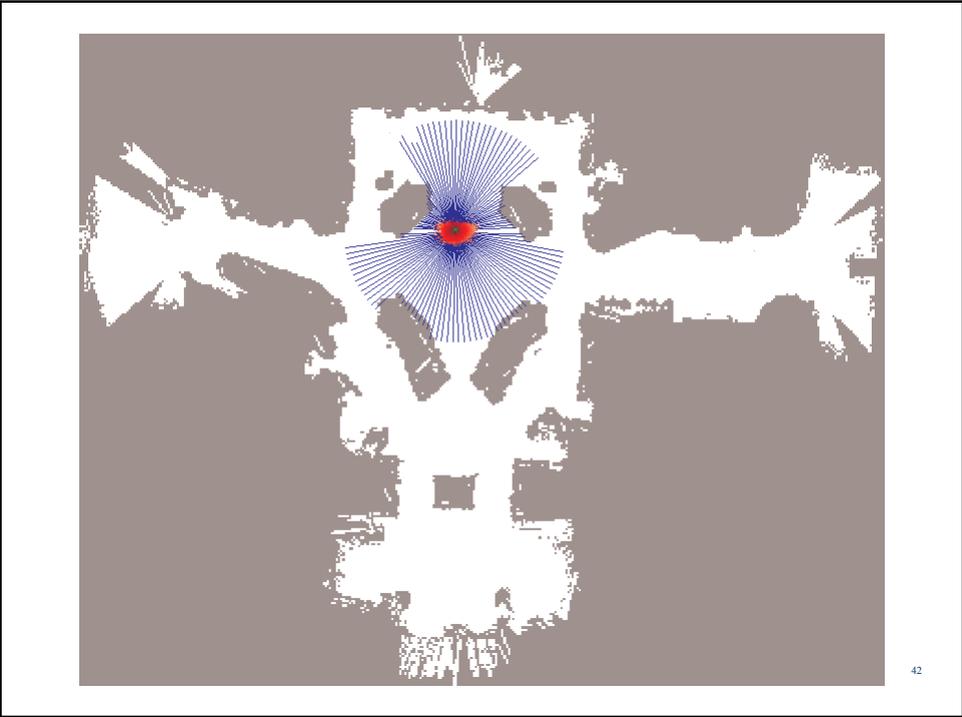
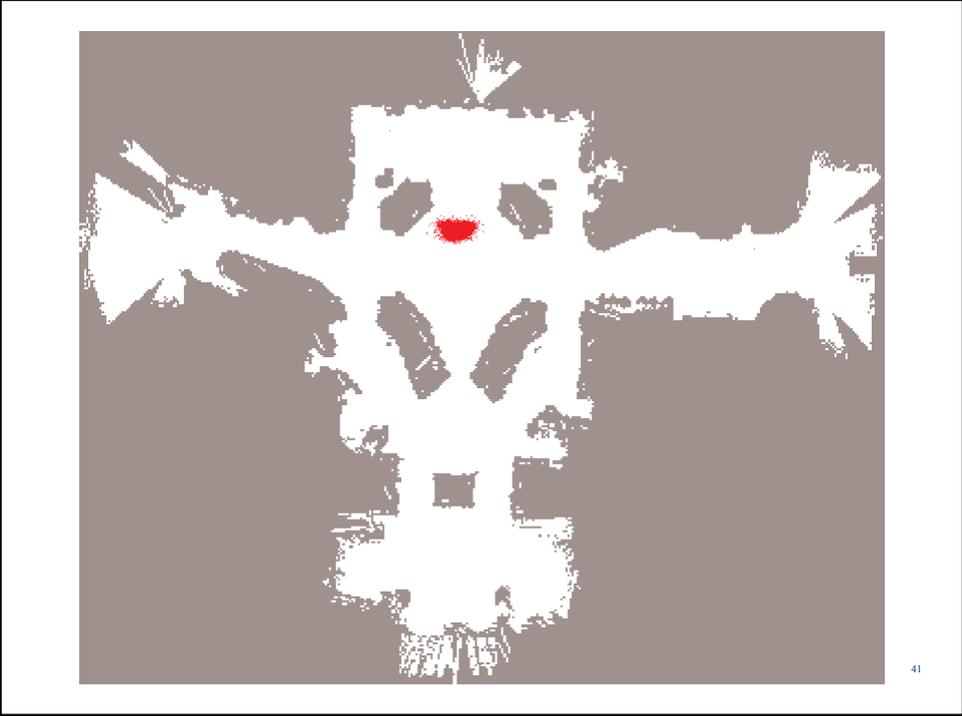


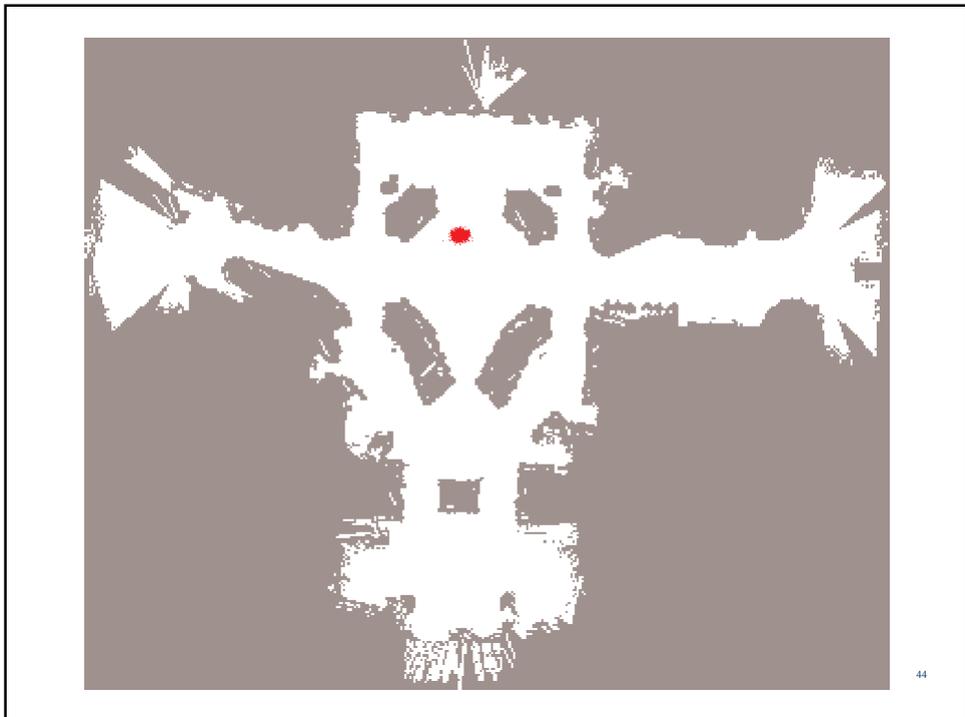
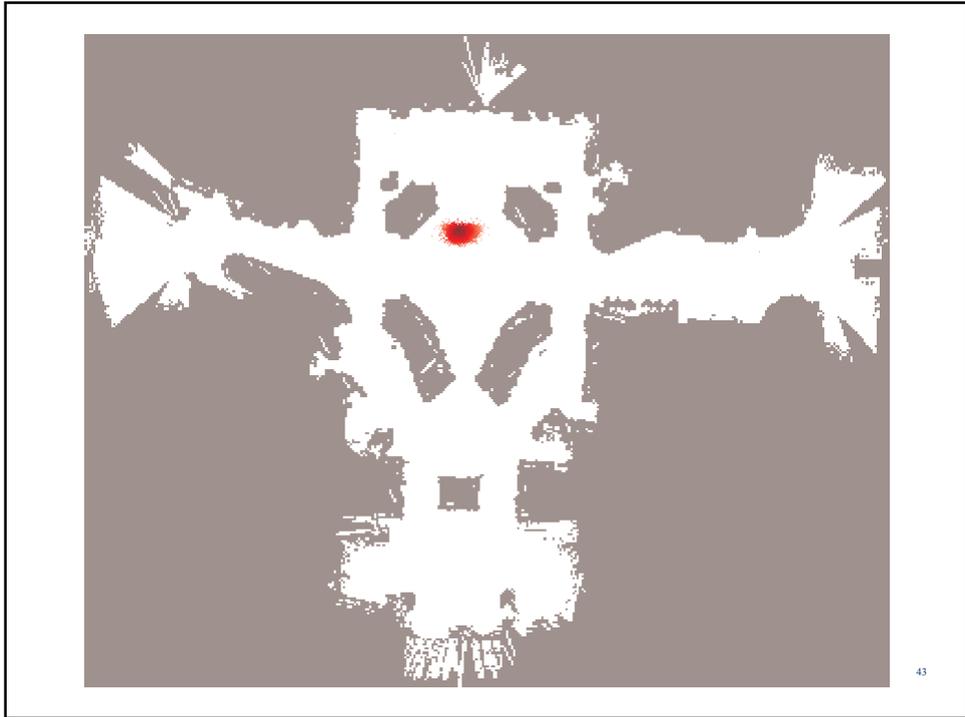
37

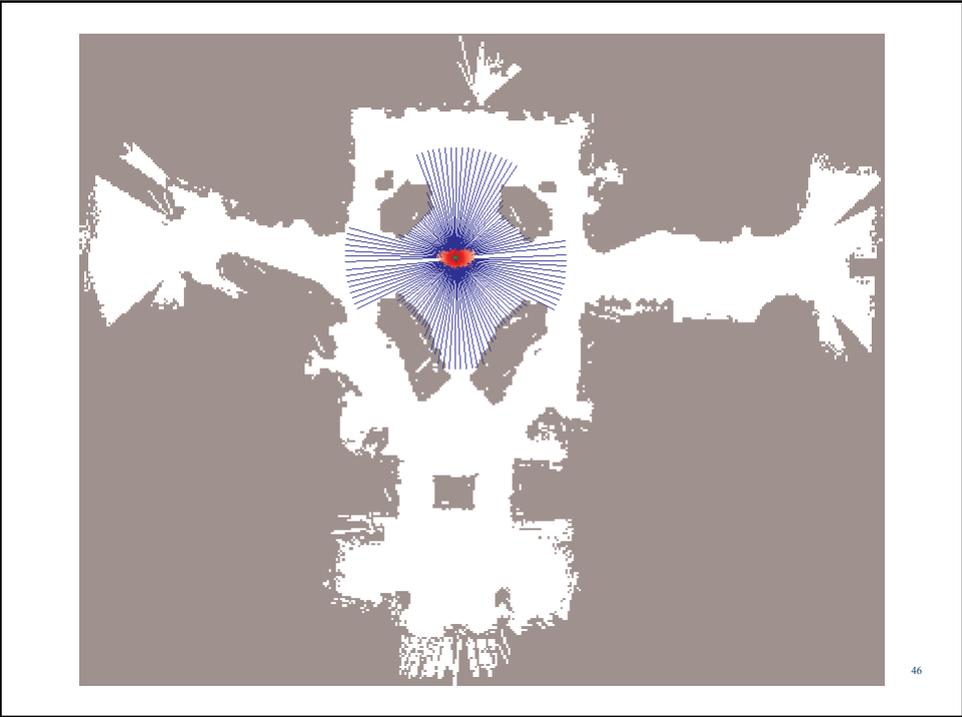
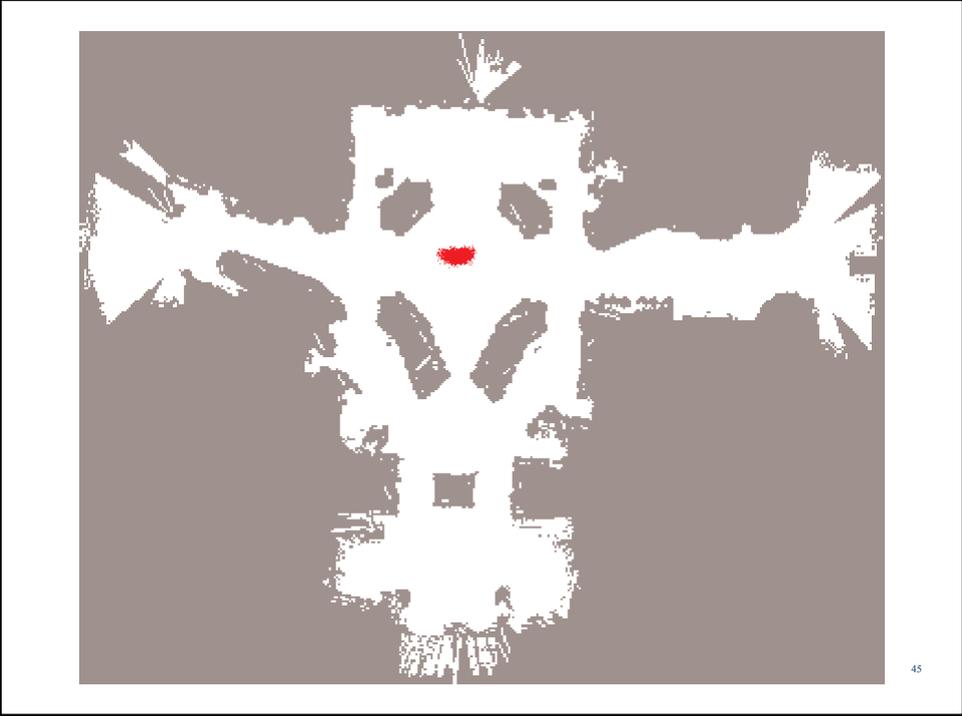


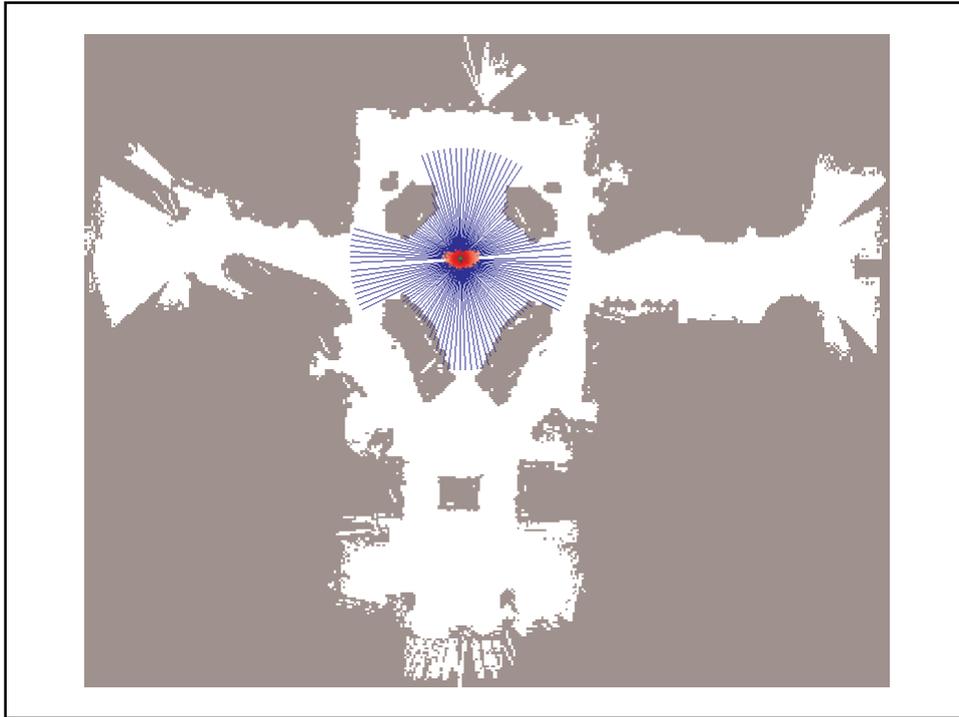
38











USP - ICMC - SSC5888 - Turma 2009/1
 Robôs Móveis Autônomos (PG_CCMC)
 Prof. Fernando Osório

Métodos de Auto-Localização

a) Continuous map
with *single hypothesis*

b) Continuous map
with *multiple hypothesis*

d) Discretized map
with probability distribution

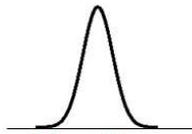
d) Discretized topological
map with probability
distribution

The figure contains four sub-graphs labeled a, b, c, and d. Each graph plots 'probability P' on the vertical axis against a horizontal axis representing position or topological nodes.

- Graph a:** Shows a single, smooth, bell-shaped curve centered on the horizontal axis, representing a single hypothesis in a continuous map.
- Graph b:** Shows multiple overlapping bell-shaped curves along the horizontal axis, representing multiple hypotheses in a continuous map.
- Graph c:** Shows a histogram with many narrow bars, representing a discretized map with a probability distribution.
- Graph d:** Shows a histogram with a few wide bars over nodes labeled A, B, C, D, E, F, and G, representing a discretized topological map with a probability distribution.

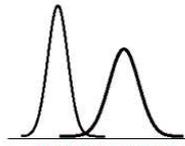
48
Maio 2009

What is the Right Representation?



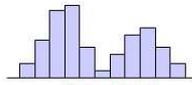
Kalman filter

[Schiele et al. 94], [Weiß et al. 94], [Borenstein 96],
[Gutmann et al. 96, 98], [Arras 98]



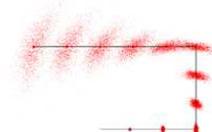
Multi-hypothesis

[Weckesser et al. 98], [Jensfelt et al. 99]



**Histograms
(metric, topological)**

[Nourbakhsh et al. 95], [Simmons et al. 95], [Kaelbling et al. 96],
[Burgard et al. 96], [Konolige et al. 99]



Particles

[Kanazawa et al 95] [de Freitas 98]
[Isard Blake 98] [Doucet 98]

SLAM

Modelo 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

Livros/Slides:

- * Probabilistic Robotics - The MIT Press (2005)
Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, Dieter Fox
- * Introduction to Autonomous Mobile Robots (2004)
Roland Siegwart and Illah Nourbakhsh
- * Computational Principles of Mobile Robotics (2000)
Gregory Dudek, Michael Jenkin

Material Complementar:

Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos (2002)
Farlei Heinen (Orientador: F.Osório), Unisinos - Mestrado em
Computação Aplicada. Disponível on-line em: <http://bdt.unisinos.br/>



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
SEER – LRM – Lab. de Robótica Móvel: <http://www.icmc.usp.br/~lrm/>

Prof. Fernando Santos OSÓRIO
Web institucional: <Http://www.icmc.usp.br/ssc/>
Página pessoal: <Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>
E-mail: [fosorio \[at\] icmc.usp.br](mailto:fosorio[at]icmc.usp.br) ou [fosorio \[at\] gmail.com](mailto:fosorio[at]gmail.com)

Disciplina de Robôs Móveis Autônomos (PG-CCMC)
Web Disciplinas: <Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>
> Programa, Material de Aulas, Critérios de Avaliação,
> Material de Apoio, Trabalhos Práticos