



**Lucas Pinto Teixeira**

## **Local SLAM**

### **Localização de Câmera e Mapeamento Local de Ambientes Simultâneos**

#### **Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio

Orientador : Prof. Marcelo Gattass  
Co-Orientador: Prof. Alberto Barbosa Raposo

Rio de Janeiro  
março de 2010



**Lucas Pinto Teixeira**

## **Local SLAM**

### **Localização de Câmera e Mapeamento Local de Ambientes Simultâneos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela comissão examinadora abaixo assinada.

**Prof. Marcelo Gattass**

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Alberto Barbosa Raposo**

Co-Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Waldemar Celes Filho**

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Doutor Manuel Eduardo Loiza Fernandez**

Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica — PUC-Rio

**Prof. Raul Queiroz Feitosa**

Departamento de Eng. Elétrica — PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 25 de março de 2010

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### Lucas Pinto Teixeira

Graduou-se em Engenharia de Computação na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, onde deu continuidade a seus estudos no curso de mestrado do departamento de Informática. Durante seu tempo na PUC-Rio, atuou em diversos projetos no laboratório Tecgraf, no departamento de Informática.

#### Ficha Catalográfica

Teixeira, Lucas P.

Local SLAM / Lucas Pinto Teixeira; orientador: Marcelo Gattass; co-orientador: Alberto Barbosa Raposo. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2010.

v., 66 f: il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (Mestrado em Informática) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Tese. 2. SLAM. 3. Rastreamento. 4. Visão Computacional. 5. Reconhecimento de Padrões. I. Gattass, Marcelo. II. Raposo, Alberto B.. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

## Agradecimentos

Aos meus orientadores, pelo apoio, pelos comentários e pela confiança em mim depositada.

À CAPES, FAPERJ e à PUC-Rio, pelo apoio financeiro, sem o qual este trabalho não seria possível.

À Fabíola pelo apoio, ajuda, compreensão e amor em todos os momentos.

Aos meus pais, avos, irmã e família pelo carinho, amor e apoio incondicional em tudo.

Aos meus amigos pelo apoio e ajuda ao longo do processo.

Ao Michael Loesler, pelo ajuda na parte de geomensura.

Ao Daniel Pustka, por tem ensinado tudo sobre a competição de rastreamento.

## Resumo

Teixeira, Lucas P.; Gattass, Marcelo; Raposo, Alberto B.. **Local SLAM**. Rio de Janeiro, 2010. 66p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Atualmente, sistemas de visão computacional em computadores portáteis estão se tornando uma importante ferramenta de uso pessoal. Sistemas de visão para localização de objetos é uma área de pesquisa muito ativa. Essa dissertação propõe um algoritmo para localizar posições no espaço e objetos em ambientes não instrumentados com o uso de uma câmera web e um computador pessoal. Para isso, são usados dois algoritmos de rastreamento de marcadores para reinicializar frequentemente um algoritmo de Visual Simultaneous Localisation and Mapping. Essa dissertação também apresenta uma implementação e um conjunto de testes para validar o algoritmo proposto.

## Palavras-chave

SLAM. Rastreamento. Visão Computacional. Reconhecimento de Padrões.

## Abstract

Teixeira, Lucas P.; Gattass, Marcelo; Raposo, Alberto B.. **Local SLAM**. Rio de Janeiro, 2010. 66p. MsC Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nowadays, vision systems in portable computers are becoming an important tool for personal use. Vision systems for object localization are an active area of research. This dissertation proposes an algorithm to locate position and objects in a regular environment with the use of a simple webcam and a personal computer. To that end, we use two algorithms of marker tracking to reboot often a Visual Simultaneous Localisation and Mapping algorithm. This dissertation also presents an implementation and a set of tests that validate the proposed algorithm.

### Keywords

SLAM. Tracking. Computer Vision. Pattern Recognition.

# Sumário

1	Introdução	<b>12</b>
1.1	Motivação e Objetivo	13
1.2	Abordagem	14
1.3	Organização	15
2	Trabalhos Relacionados	<b>16</b>
2.1	Posicionamento desse trabalho	23
3	Local SLAM	<b>24</b>
3.1	Marcadores fiduciais	25
3.2	Marcadores Naturais	26
3.3	Mapeamento do ambiente	32
3.4	Algoritmo de rastreamento usando SLAM	36
3.5	Heurísticas de reinicialização	38
3.6	Processamento geral	39
4	Testes e Análise dos resultados	<b>41</b>
4.1	Hardware	41
4.2	Implementação	42
4.3	Estação Total	45
4.4	Precisão na indicação de pontos 3D - Teste Qualitativo	48
4.5	Precisão na indicação de pontos 3D - Teste Quantitativo	51
4.6	Inicialização com marcadores naturais	53
5	Conclusão e Trabalhos Futuros	<b>55</b>
	Referências Bibliográficas	<b>57</b>
A	Videos	<b>62</b>
B	Estimação dos parâmetros extrínsecos a partir da Homografia e dos parâmetros intrínsecos	<b>63</b>
C	Cálculo da Transformação de Corpo Rígido	<b>65</b>

## Lista de figuras

1.1	Sistemas de rastreamento	13
1.1(a)	Braço articulado da FARO. Fonte: [25]	13
1.1(b)	Sistema Vicon. Fonte: Laboratorio de Robótica de Briston	13
1.2	Exemplos de ambientes onde é difícil localizar um objeto	14
1.2(a)	Câmara principal da biblioteca do Trinity College Dublin. Fonte: Flickr	14
1.2(b)	Estoque do site de vendas eletrônica Amazon. Fonte: The Guardian, fotógrafo Gareth Phillips	14
2.1	Sistema de localização de dutos sob o chão. Fonte: [30]	16
2.1(a)	Equipamento para visualização	16
2.1(b)	Imagem visualizada pelo usuário.	16
2.2	Sistema de RA de Wagner e Schmalstieg. Fonte: [38]	17
2.2(a)	Sistema PDA e marcadores para localização	17
2.2(b)	Aplicação de RA sendo apresentada ao usuário	17
2.3	Sistema de RA Phone Guide. Fonte: [18]	18
2.3(a)	Mapa dos objetos dentro do museu passíveis de serem reconhecidos pelo sistema	18
2.3(b)	Aplicação de RA sendo apresentada ao usuário	18
3.1	Uma montagem clássica de robôs para usar técnicas de SLAM. Fonte: [28]	25
3.2	Fluxo de processamento de uma aplicação de RA usando mar- cadores fiduciais. Fonte: [37]	26
3.3	Número de pontos reconhecidos corretamente por segundo do SURF em diversas situações. Fonte: [3]	27
3.4	A esquerda derivada de segunda ordem da convolução gaussiana( $L_{yy}$ e $L_{xy}$ ) e a direita as correspondentes aproximações usando filtros caixa( $D_{yy}$ e $D_{xy}$ ). Fonte: [6]	28
3.5	Para construir o descritor, o retalho orientado é subdividido numa grade de 4x4 sub-retalhos. Dentro de cada um as respostas ao wavelet foram calculadas de 5 x 5 amostras (por questões ilustrati- vas, só tem 2x2). Fonte: [6]	30
3.6	Estação Total. Fonte: Sokkia Corp.	33
3.7	Configuração dos pontos medidos no marcador fiducial	34
3.8	Configuração dos pontos medidos no marcador natural	35
3.9	Configuração padrão de inicialização do algoritmo de Davison	37
4.1	Equipamento utilizado.	41
4.2	Arquitetura resumida da implementação do algoritmo proposto.	42
4.3	Sistema de coordenada do ArToolKitPlus, no meio, do SurfTracking e do OpenGL e, ao final, do SLAM de Davison	45
4.4	Condições de teste	46
4.4(a)	Marcador de referência	46

4.4(b)Mapa topográfico da sala de teste, em preto as mesas, em vermelho as posições da estação total e as linhas coloridas são as medidas feitas a partir da estação, apenas duas estações foram demonstradas	46
4.5 Teste para medida do erro do mapeamento em pequena escala	47
4.5(a)Pontos medidos na grade	47
4.5(b)Foto da folha A3 onde a grade foi impressa e medida	47
4.6 Da esquerda para direita as matrizes de distância das medidas à 20m, 12m, 8m e 9m. A unidade do gráfico está em metros.A matriz tem tamanho 18x18 já que foram 18 pontos medidos de cada distância	48
4.7 Parede de teste em perspectiva	49
4.8 Mosaico de fotos da parede maior com as figuras medidas marcadas com um 'X'. Na parede ortogonal foi medido apenas o triângulo e o trapézio.	49
4.9 Diferença no mapeamento gerado pelas diferentes políticas de reinicialização. Em cima à esquerda, a reprojeção das quinas dos objetos conhecidos na parede pelo algoritmo LSLAM-QP e à direita o mapa de características acompanhadas pelo SLAM correspondente. Abaixo, o mesmo para o algoritmo LSLAM-MC.	50
4.10 Gráfico do erro em cada retalho mapeado pelo SLAM pela distância ao marcador inicial.	52
4.11 Projeção da trajetória da câmera	52
4.11(a)Plano XZ	52
4.11(b)Plano YZ	52
4.12 Marcadores usados no teste.	53
A.1 Imagem que explica como interpretar os vídeos	62
C.1(a)O sistema de coordenada A sobre a grade e B flutuando	65
C.1(b)Em amarelo o plano YZ da base B	65

## Lista de tabelas

4.1 Tabela de resultados de medida para sala

47

*O primeiro dever da inteligência é desconfiar  
dela mesma.*

**Albert Einstein, .**