

Gabriel Takaoka Nishimura

## ***SLAM 3D e RGB-D: Uma abordagem com FPGA***

Plano de Pesquisa apresentado ao Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para processo de seleção de Mestrado do segundo semestre de 2017

Universidade de São Paulo - USP

Escola Politécnica

Engenharia Elétrica com ênfase em Computação

Orientador: Prof. Dr. Bruno Carvalho de Albertini

São Paulo

2016

# Resumo

Localização e Mapeamento 3D (SLAM 3D) tem diversas aplicações, como carros autônomos, veículos aéreos não tripulados, robôs domésticos, agricultores e até dentro do corpo humano. Para implementá-la, existem diversos sensores que medem uma multitude de parâmetros. No trabalho, escolheu-se o Kinect, que é um sensor RGB-D, capaz de medir a distância entre pontos capturados, devido a existência de uma biblioteca para geração e manipulação de nuvem de pontos (CPL). Como essa biblioteca é computacionalmente exigente, será criado um co-processador para auxiliar o processamento da nuvem de pontos gerada pelo sensor RGB-D. A saída detectada deve informar o sistema da distância percorrida e do ângulo de giro, possibilitando o robô a detectar e eliminar ervas daninhas em uma plantação orgânica.

**Palavras-chave:** Nuvem de pontos, Localização e Mapeamento Simultâneos, RGB-D, FPGA, Agricultura

# Sumário

	<b>Introdução</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>CRONOGRAMA</b>	<b>8</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>9</b>

# Introdução

Na área da Robótica, a Localização e Mapeamento Simultâneo (SLAM) se refere ao mapeamento de um ambiente desconhecido e localização de um robô nesse local - ambos processos realizados de forma simultânea - por meio de sensores.

A adição do contexto de localização ao robô (ou sistema) tem uma gama de aplicações, como carros autônomos, veículos aéreos não tripulados, robôs domésticos, agricultores e até dentro do corpo humano (BAO, 2014). Os usos citados tem um fator em comum: esses sistemas são predominantemente autônomos, ou seja, funcionam sem o auxílio de um operador.

Entretanto, para que sua operação seja verdadeiramente autônoma, é necessário que a capacidade de localização e mapeamento seja integrada a seu sistema (NIKOLIC et al., 2014). O robô ainda deve considerar controle, planejamento de caminho e tomada de decisão como processos imprescindíveis para seu funcionamento. Esse paralelismo é ainda mais restringido pelo poder computacional e energia disponível ao sistema.

A literatura apresenta diversas formas de tentar resolver a Localização e Mapeamento Simultâneo em tempo real. Uma das soluções comumente utilizadas por carros autônomos é o sensor chamado LIDAR, que escaneia seu ambiente por meio da emissão de luz e análise de sua reflexão. Ele é muito utilizado devido a sua alta taxa de amostragem e precisão (WOLCOTT; EUSTICE, 2017). Seu custo, no entanto, é muito proibitivo, dificultando sua pesquisa. Uma alternativa mais barata ao LIDAR é o sensor RGB-D (STURM et al., 2012), que é basicamente uma câmera que identifica cor e distância dos pontos gravados. Sua precisão não é tão alta, nem ele funciona com ausência de luz, mas é objeto de pesquisa frequentemente visto - devido a seu baixo custo e grande comunidade.

O sensor RGB-D gera como saída uma Nuvem de Pontos (NP), que, dependendo da análise aplicada, torna possível a resolução do problema SLAM tridimensional (HENRY et al., 2012).

A NP se refere a um conjunto de pontos no sistema de coordenadas do sensor, com intuito de representar a face exterior do objeto escaneado. Com certos algoritmos, como EKF-SLAM ou FastSLAM (DURRANT-WHYTE; BAILEY, 2006), é possível posicionar o robô dentro de um sistemas de coordenadas tridimensional independente do criado pelo sensor. A solução de uma CP é atualmente aprimorada por um conjunto de empresas (como a Intel, Toyota, nVIDIA), que disponibiliza uma biblioteca para resolver problemas de nuvem de pontos em três dimensões (RUSU; COUSINS, 2011). Mas mesmo com a disponibilidade da biblioteca, esses problemas computacionais requerem um processamento com alta vazão para solucioná-los em tempo real (CLIPP et al., 2010).

Para resolver o problema de desempenho tanto em software quando em hardware, existem algumas abordagens tomadas, como por exemplo o uso de Unidade de Processamento Gráfico de Propósito Geral (GPGPU) (LEE; KIM; MYUNG, 2012) e o uso de FPGAs (NIKOLIC et al., 2014).

No caso de GPGPUs, existe um alto consumo de energia e de processamento, pois essas placas gráficas são feitas para processar um volume de dados de Gigabits/s devido à sua arquitetura com alto nível de paralelismo. As suas desvantagens são o alto consumo de energia e o fato de que não são específicas para resolver nuvens de pontos.

FPGAs são utilizadas para atender a restrições de tempo real (TERTEI; PIAT; DEVY, 2014) de aplicações atuais com um algoritmo altamente específico para o problema. Com seu consumo energético reduzido e sua poderosa capacidade de processamento paralelo, as FPGAs se tornam um hardware interessante para implementar em sistemas embarcados complexos com restrições energéticas.

É comum a área de engenharia se associar com outras áreas de conhecimento. É o caso desse projeto, que tem como aplicação a agricultura. O robô desenvolvido no projeto identificará ervas daninhas em uma plantação e as elimina através de um choque elétrico. Dessa forma, não é necessário o uso de agrotóxicos. Trabalhos anteriores referentes a agricultura também foram vistos (CHEEIN et al., 2011), mas não com o intuito de otimizar culturas orgânicas.

# 1 Objetivos

O objetivo desse projeto é a realização do estudo de técnicas e algoritmos para obter componentes relevantes a SLAM 3D (distância percorrida e ângulo de giro), analisando Núvens de Pontos geradas por sensores RGB-D em co-processador usando arquitetura FPGA. Por fim, o trabalho deve criar um sistema SLAM 3D com baixo consumo energético e computacional - utilizando as técnicas estudadas anteriormente - para implementação e testes em ambiente físico com robô.

Esse robô deverá precisamente identificar a posição de uma erva daninha e eliminá-la por meio de um choque elétrico.

## 2 Metodologia

Com o intuito de implementar um sistema de navegação robótica utilizando SLAM 3D, propõe-se um método que é dividido em duas etapas. A primeira etapa é a pesquisa bibliográfica, que consistirá no estudo de algoritmos para nuvens de pontos utilizando uma FPGA. A pesquisa também deverá incluir os conceitos de SLAM 3D, RGB-D e CP. A segunda etapa será a implementação e testes de algoritmos escolhidos na FPGA, bem como a construção de um encapsulamento que atuará como co-processador.

Para o desenvolvimento do co-processador, será necessário principalmente o uso de uma FPGA com o software de programação Altera Quartus. A nuvem de pontos será obtida com o periférico Kinect, e as salas usadas serão o Laboratório de Automação Agrícola e o Laboratório de Sistemas Digitais. Adicionalmente, o robô será adquirido por meio da professora Anna Reali.

### 3 Cronograma

Para a execução do projeto de pesquisa, serão realizadas as atividades abaixo, de acordo com a [Tabela 1](#)

1. Especificação do algoritmo para análise de nuvem de pontos em FPGA.
2. Transformação da FPGA em co-processador do robô.
3. Testes de funcionamento do algoritmo implementado no robô em ambiente real.
4. Estudo do consumo energético e processamento computacional da FPGA.
5. Escrita de artigo para publicação para divulgar os resultados obtidos.
6. Escrita da monografia.

Tabela 1 – Planejamento de atividades

Atividade / Semestre	1	2	3	4
1	X			
2		X		
3			X	
4			X	
5				X
6				X



# Referências

- BAO, G. *On Simultaneous Localization and Mapping inside the Human Body (Body-SLAM)*. Tese (Doutorado) — WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE, 2014. Citado na página 4.
- CHEEIN, F. A. et al. Optimized eif-slam algorithm for precision agriculture mapping based on stems detection. *Computers and electronics in agriculture*, Elsevier, v. 78, n. 2, p. 195–207, 2011. Citado na página 5.
- CLIPP, B. et al. Parallel, real-time visual slam. In: IEEE. *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 3961–3968. Citado na página 4.
- DURRANT-WHYTE, H.; BAILEY, T. Simultaneous localization and mapping: part i. *IEEE robotics & automation magazine*, IEEE, v. 13, n. 2, p. 99–110, 2006. Citado na página 4.
- HENRY, P. et al. Rgb-d mapping: Using kinect-style depth cameras for dense 3d modeling of indoor environments. *The International Journal of Robotics Research*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 31, n. 5, p. 647–663, 2012. Citado na página 4.
- LEE, D.; KIM, H.; MYUNG, H. Gpu-based real-time rgb-d 3d slam. In: IEEE. *Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2012 9th International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 46–48. Citado na página 5.
- NIKOLIC, J. et al. A synchronized visual-inertial sensor system with fpga pre-processing for accurate real-time slam. In: IEEE. *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 431–437. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 5.
- RUSU, R. B.; COUSINS, S. 3D is here: Point Cloud Library (PCL). In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. Shanghai, China: [s.n.], 2011. Citado na página 4.
- STURM, J. et al. A benchmark for the evaluation of rgb-d slam systems. In: IEEE. *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 573–580. Citado na página 4.
- TERTEI, D. T.; PIAT, J.; DEVY, M. Fpga design and implementation of a matrix multiplier based accelerator for 3d ekf slam. In: IEEE. *ReConFigurable Computing and FPGAs (ReConFig), 2014 International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 1–6. Citado na página 5.
- WOLCOTT, R. W.; EUSTICE, R. M. Robust lidar localization using multiresolution gaussian mixture maps for autonomous driving. *The International Journal of Robotics Research*, SAGE Publications Sage UK: London, England, p. 0278364917696568, 2017. Citado na página 4.