

# Sistemas SLAM

COMPARAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS DE CADA SISTEMA.

Marcella Giovanna <[marcellagiovannass@gmail.com](mailto:marcellagiovannass@gmail.com)>

Orientador: Marco A. dos Reis

Robótica e Sistemas Autônomos, Senai Cimatec

Abril de 2022

Sistema FIEB



PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

# Introdução

---

Um dos pontos importantes na área da robótica móvel é a localização e mapeamento de locais desconhecidos, através dos sistemas SLAM é possível construir um mapa do ambiente e, ao mesmo tempo, usar esse mapa para calcular sua localização. A comparação é feita através dos seguintes sensores:

1. Lidar 2D;
2. Câmera monocular;
3. Câmera stéreo.



[Filipenko e Afanasyev 2018]

# Objetivo

---

Comparar as trajetórias de cada sistema SLAM

# Lidar 2D

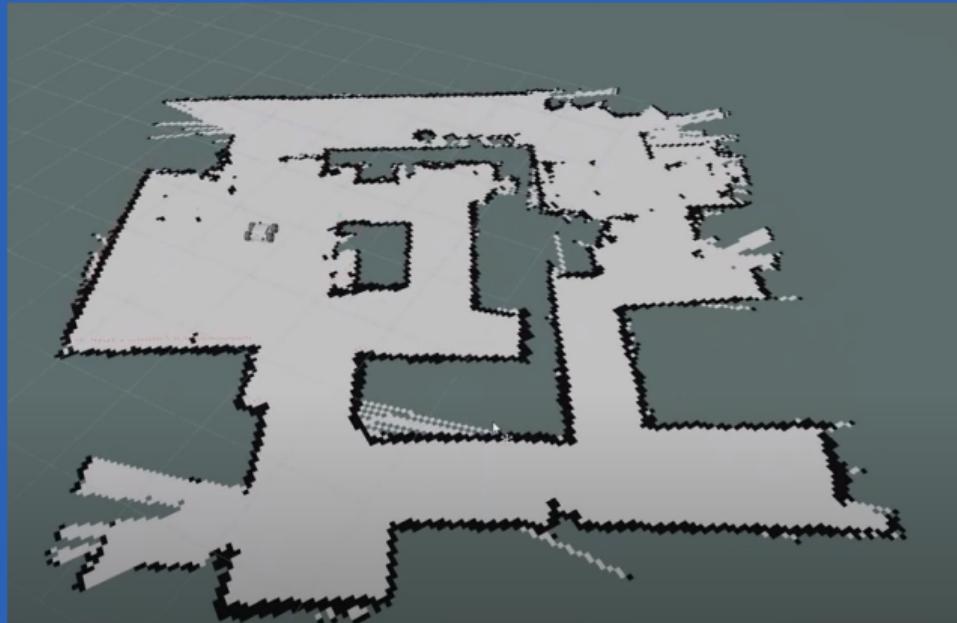
---



1. GMAPPING;
2. Hector SLAM;
3. Cartographer;

[Sensores 2D-LiDAR — TiM1xx — SICK]

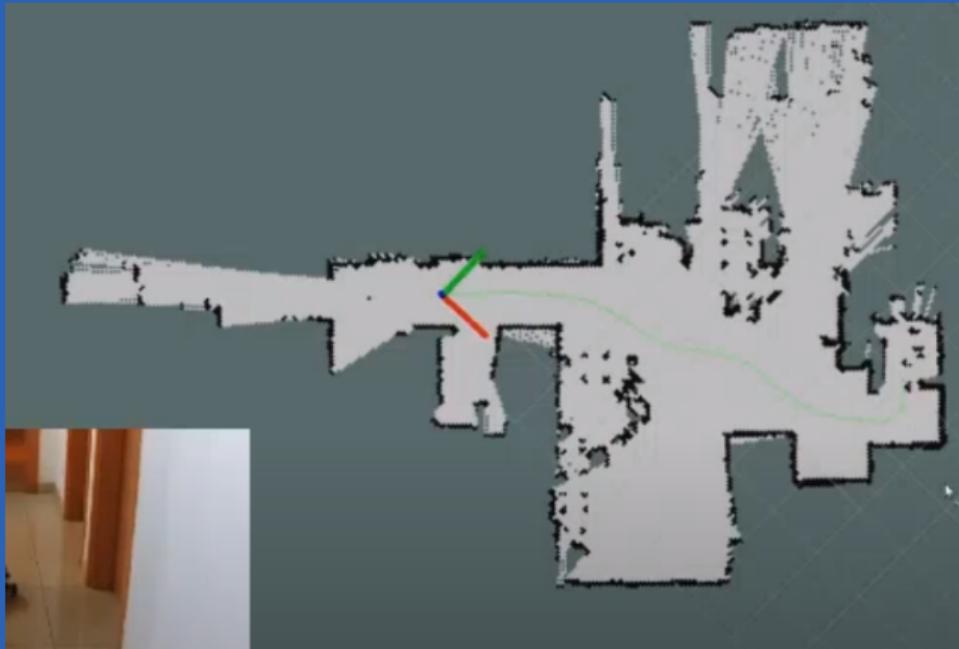
# Gmapping



1. É um dos mais usados para aplicações em robôs;
2. Usa filtro de partículas;
3. Cria o grid-based map;

[Robotics Weekends: Gmapping, Google Cartographer, Octomap]

# HECTOR SLAM

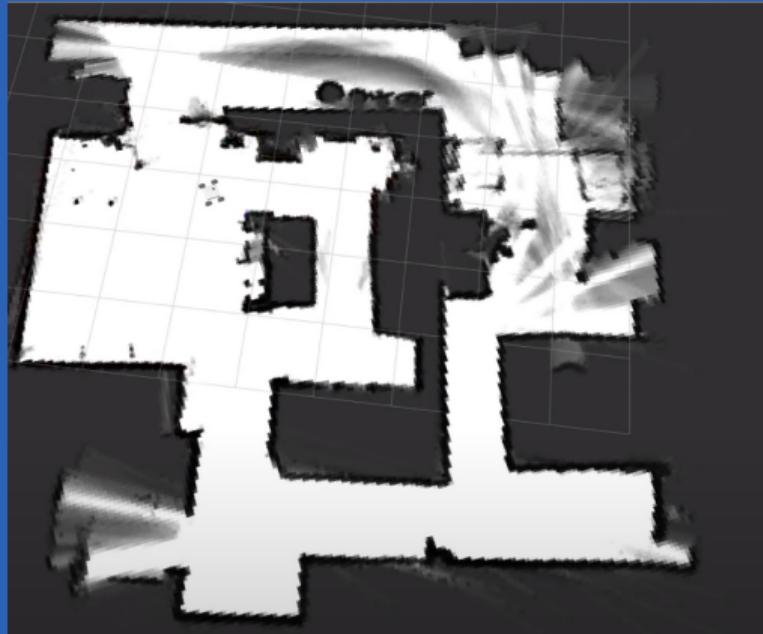


[Hector SLAM Mapping with LIDAR]

1. Produz um mapa bastante preciso;
2. Combina o método robusto de digitalização e o uso de sistemas de detecção inercial;
3. Não precisa de hodômetro;
4. é possível usa-lo em drones e veículos terrestres operem em locais irregulares.

# CARTOGRAPHER

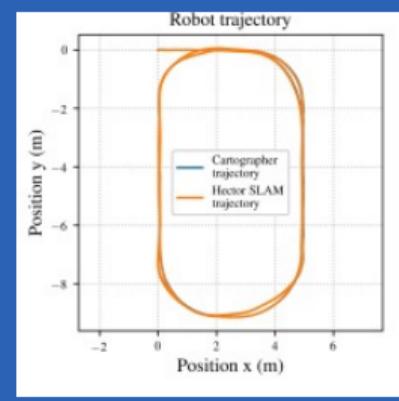
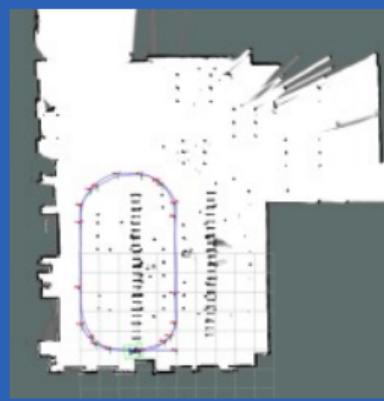
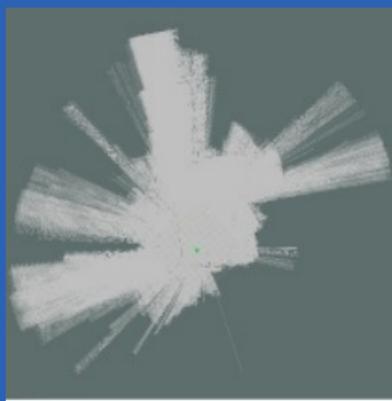
---



[Cartographer 3D SLAM Demo]

1. Possui um mapeamento interno em tempo real;
2. Utiliza mapeamento baseado em grade;
3. Pode ser usados em varias plataformas como Turtlebot, PR 2, Toyota HSR por causa da integração com o ROS.

# Comparação

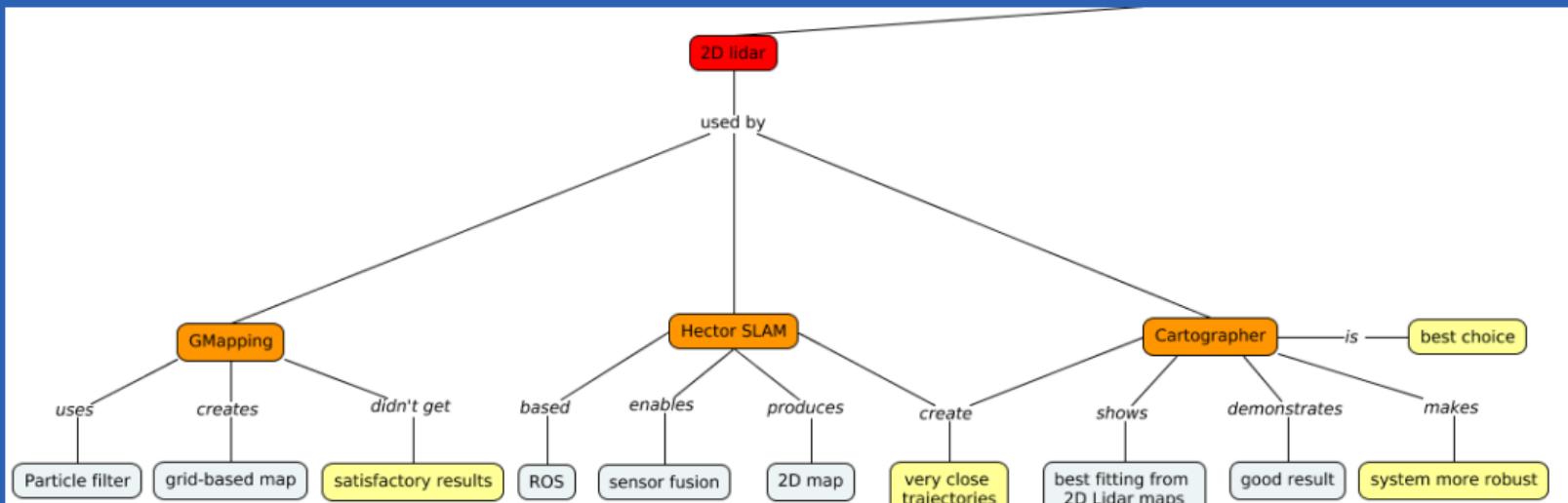


# Comparação De Resultados

---

1. GMMPING - Não apresentou um mapa real do ambiente, a trajetória não pode ser computada pois não existe um mapa robusto do ambiente. Por conta disso não apresentou resultados confiáveis.;
2. HECTOR SLAM - Produz medições precisas e inclusive pode ser usado para validar a trajetória de outros sistemas SLAM. Utiliza mapeamento baseado em grade;
3. CARTOGRAPHER - Mostra melhor ajuste dos mapas 2D , demonstra um bom resultado.

# Lidar



# Monocular

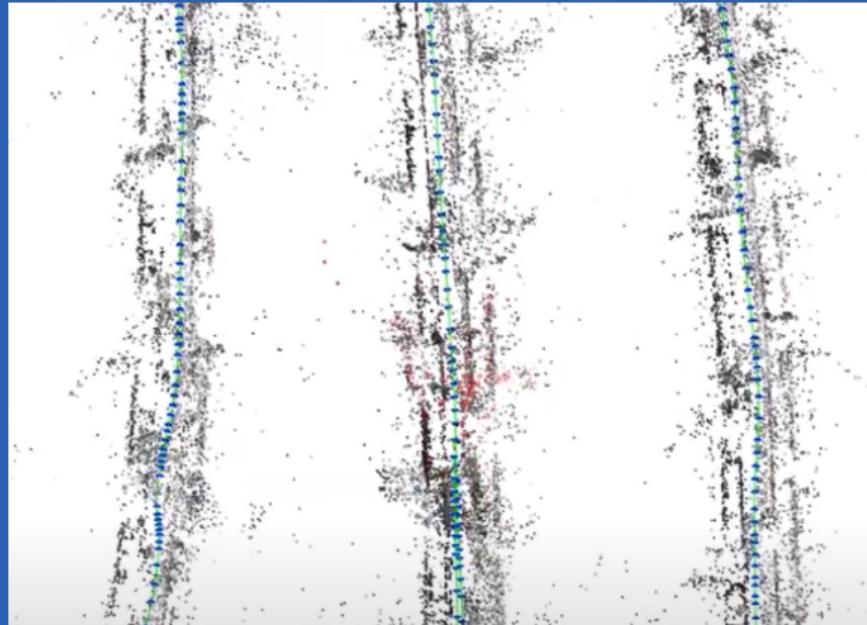
---



1. Parallel Tracking and Mapping (PTAM);
2. Semi-direct Visual Odometry (SVO);
3. Dense Piecewise Parallel Tracking and Mapping (DPP-TAM);
4. Large Scale Direct monocular SLAM (LSD SLAM);
5. ORB SLAM (mono);
6. Direct Sparse Odometry (DSO).

[Basler camera ace USB3 acA1300-200um.]

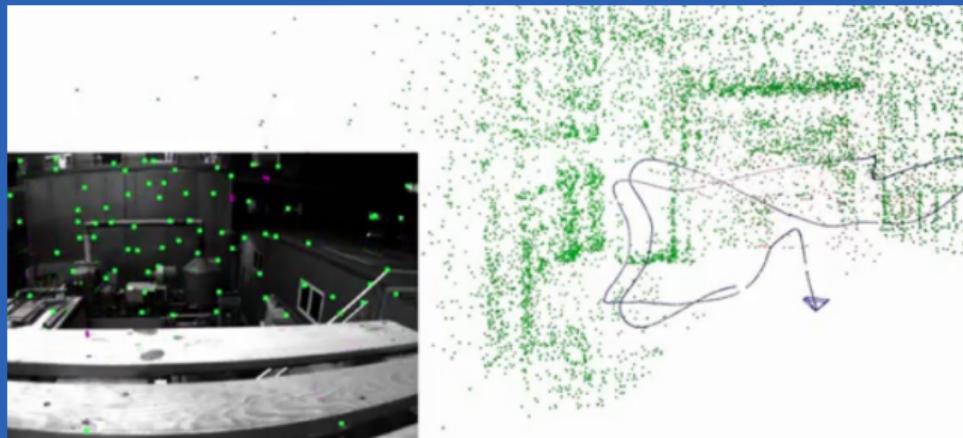
# Parallel Tracking and Mapping (PTAM):



1. Baseado em quadro-chave;
2. Permite estimar a pose do robô;
3. Construir o mapa rastreando características;
4. Não produz um para para o ambiente do ROS.

[Mönnig 2016]

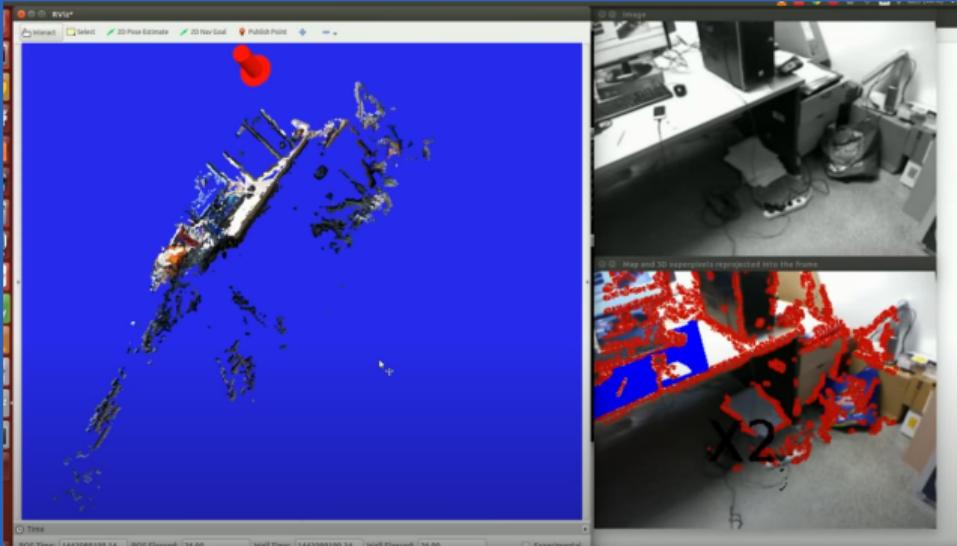
# Semi-direct Visual Odometry (SVO):



1. Usa um paradigma semi-direto;
2. Estimar o movimento a partir da intensidade dos pixels;
3. Não houve um resultado satisfatório.

[SVO:Fast Semi-Direct Monocular Visual Odometry]

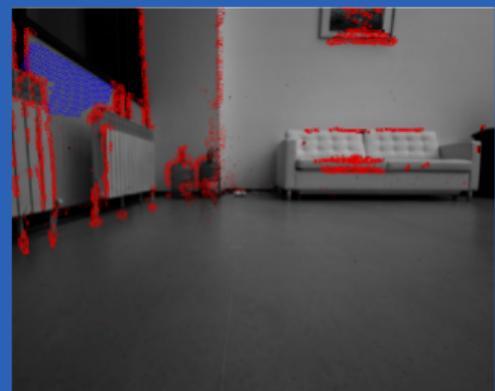
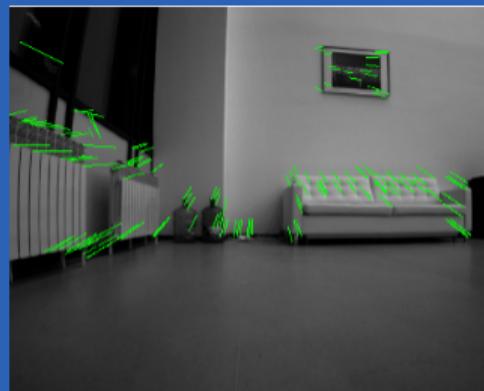
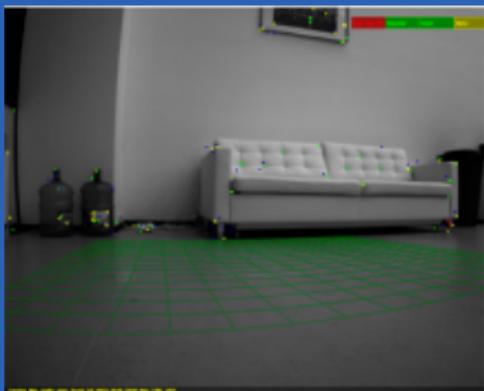
# Dense Piecewise Parallel Tracking and Mapping(DPP- TAM)



1. utiliza uma hipótese de que as regioes com a mesma cor pertencem a proximidade do mesmo planoUsa um paradigma semi-direto;

[Dense Piecewise Planar Tracking and Mapping from a Monocular Sequence]

# Comparação

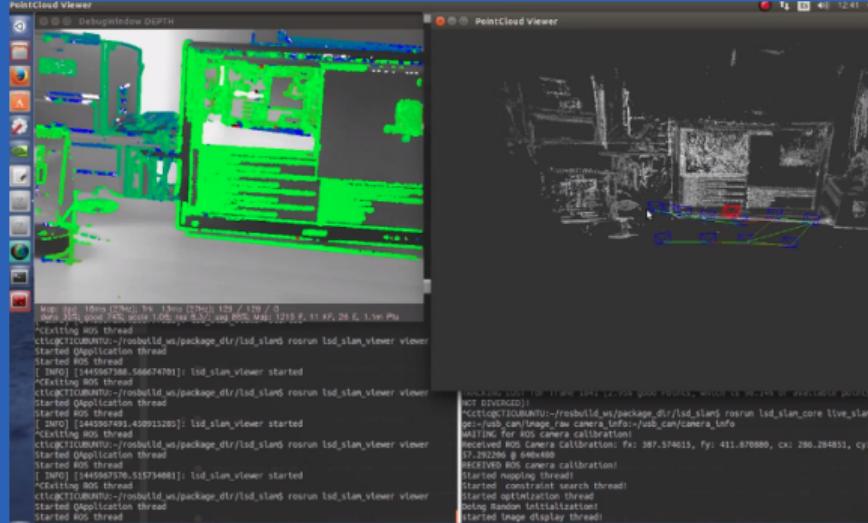


# Comparação De Resultados

---

1. PTAM - Os resultados não foram confiaveis, o sistema perdeu a pista quando o robô teve uma virada, dessa forma não é muito robusto nas manobras laterais;
2. SVO - O sistema não é robusto para esta aplicação já que o robô perde a pista nas curvas, mas pode ser usado para obter informações dos segmentos de movimentos;
3. DPP-TAM - o sistema não é suficientemente robusto para rastreamento em curvas robotizadas.

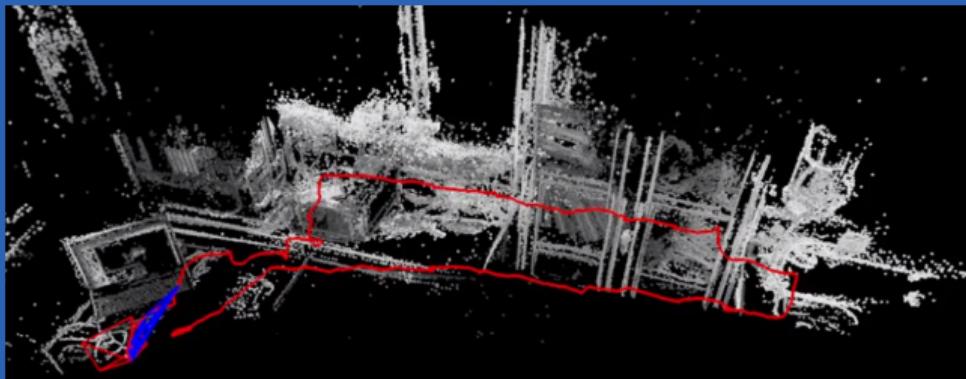
# Large Scale Direct monocular SLAM (LSD SLAM)



1. Utiliza uma imagem local fornecendo uma previsão de pose;
2. Constrói mapas densos;
3. Tem fechamento de loop;
4. Vantagem nos erros de compensação de deriva.

[Large-Scale Direct SLAM for Omnidirectional Cameras]

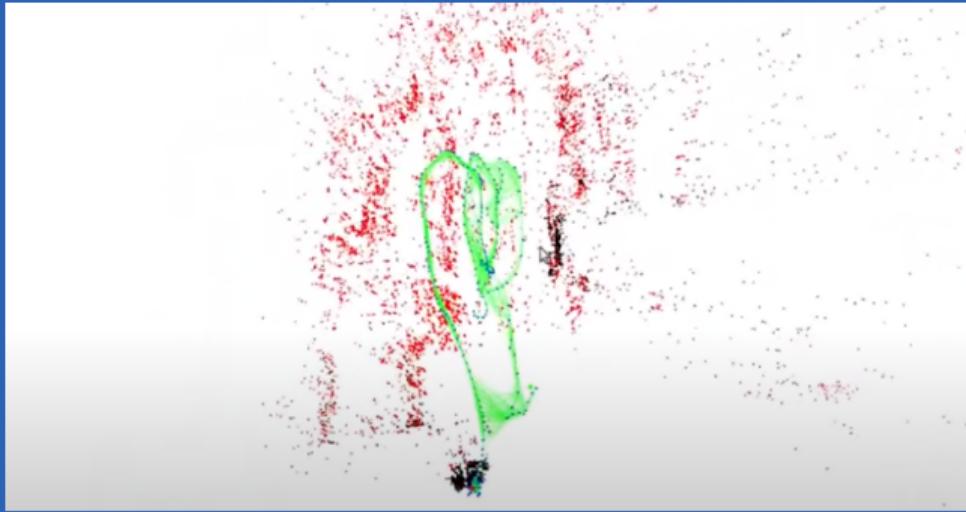
# Direct Sparse Odometry



[DSO: Direct Sparse Odometry]

1. Precisa de um desenvolvimento adicional para implementação da robótica;
2. Mapa denso;
3. sem o fechamento de loop a pose foi acumulada na 1 volta e na 2 ele duplicou os objetos podendo levar a erros adicionais.

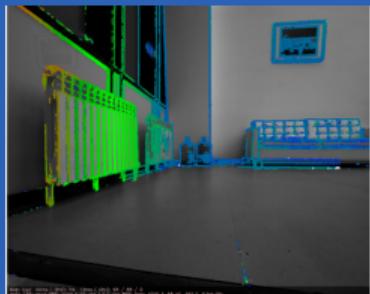
# ORB SLAM



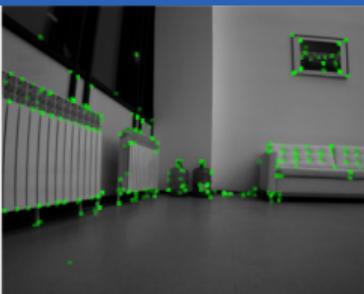
[ORB-SLAM3: a Visual]

1. Rastreia as características ORB para estimar a pose do robô;
2. Cria uma nuvem de pontos como o mapa;
3. Possui o fechamento de loop para detecção;
4. Precisa de um desenvolvimento adicional para ser utilizado no ROS.

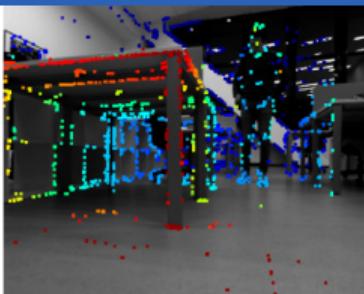
# Comparação



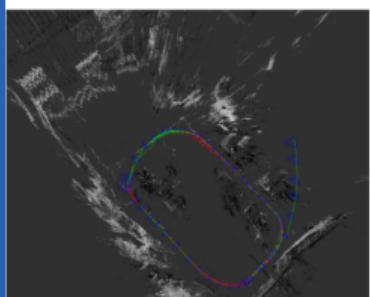
(a) LSD features



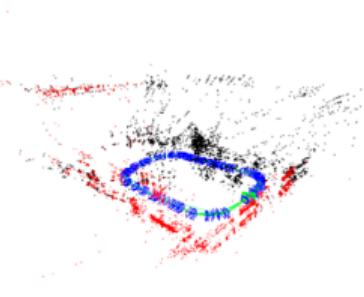
(b) ORB features



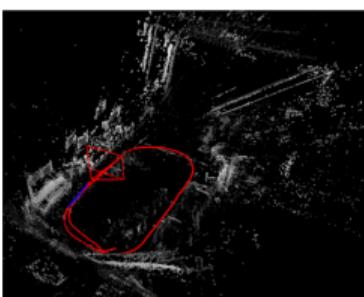
(c) DSO features



(d) LSD point cloud

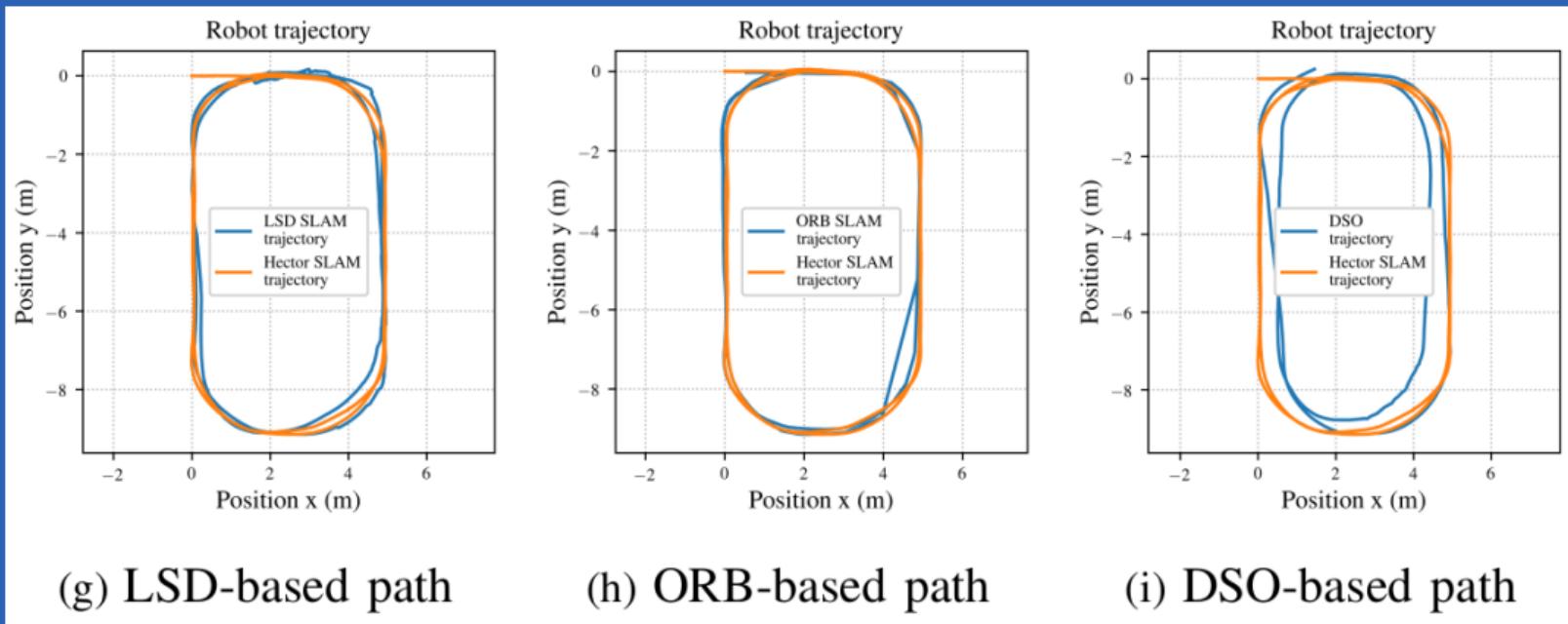


(e) ORB point cloud



(f) DSO point cloud

# Comparação

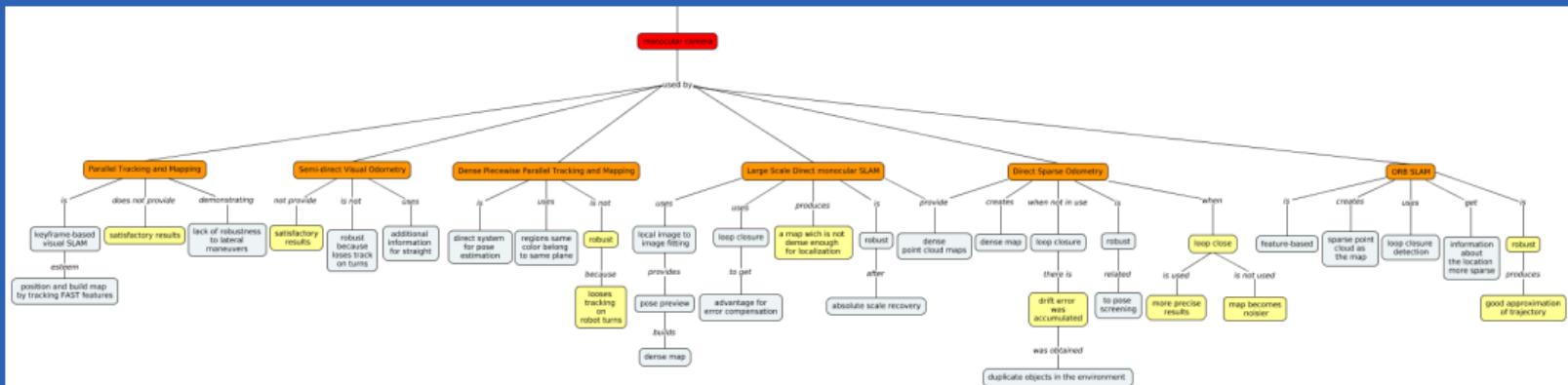


# Comparação De Resultados

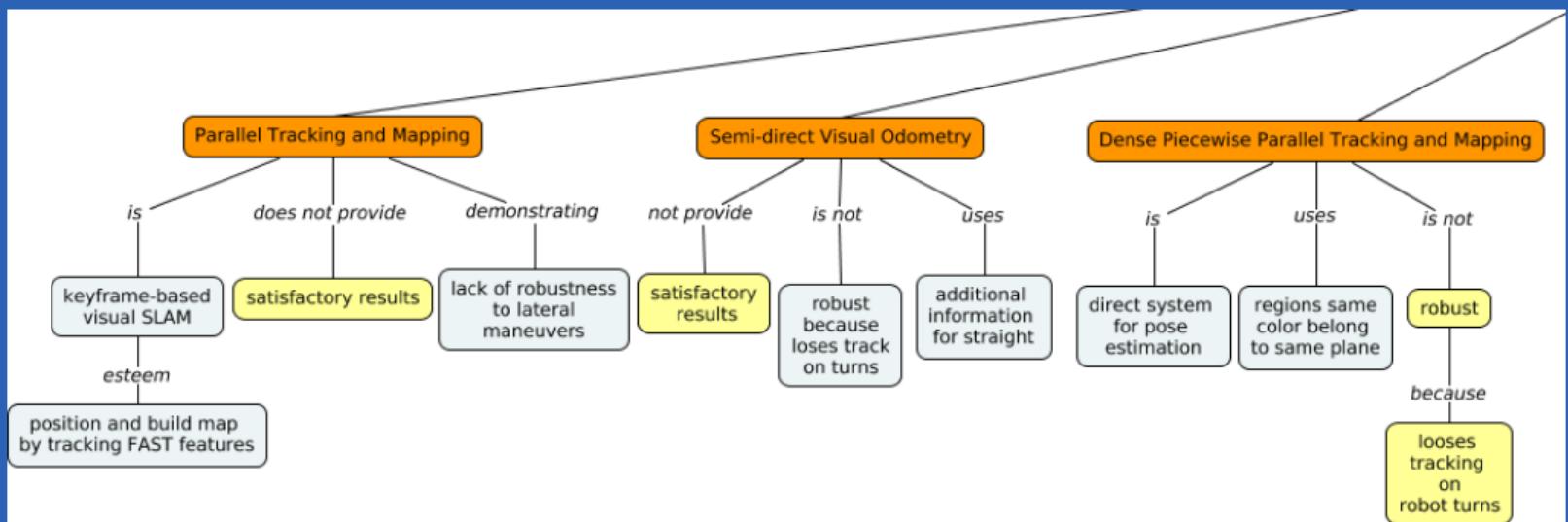
---

1. LSD - Mapa não é suficientemente denso para localização , isso pode ser filtrado com um modelo de movimento robotizado. após a recuperação em escala absoluta pode ser usado para a pose estimada e construção de mapas.
2. DSO - Cria um mapa denso e é robusto para rastreio de pose mas a falta do fechamento de loop torna o mapa ruidoso, quando adicionado torna o mapa mais preciso.
3. ORB - Mapa é uma boa aproximação do ambiente, a informação da localização da camera é mais esparsa, é muito robusto e proporciona uma boa aproximação da trajetória.

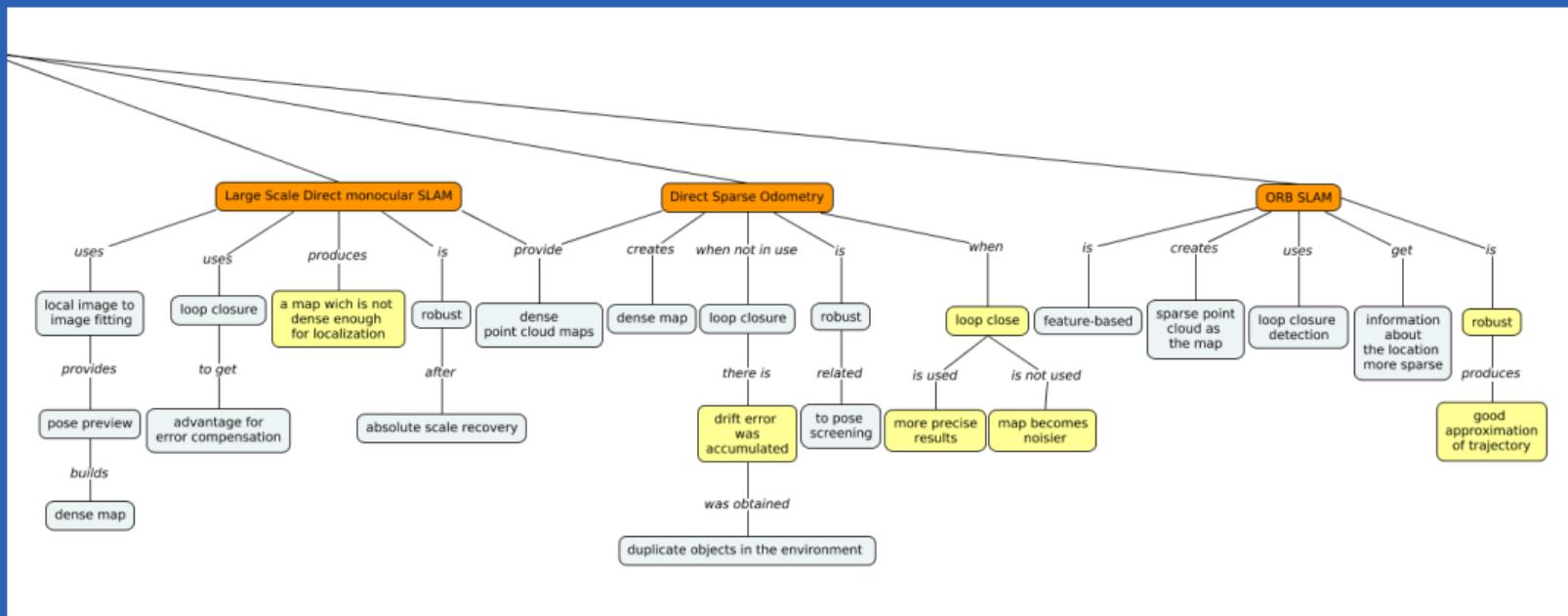
# Camera monocular



# Camera monocular



# Camera monocular



# Câmera stéreo

---



1. ZEDfu;
2. Real-Time Appearance-Based Mapping;
3. ORB SLAM;
4. Stereo Parallel Tracking and Mapping.

[Visual Odometry with the zed stereo camera]

# ZEDfu

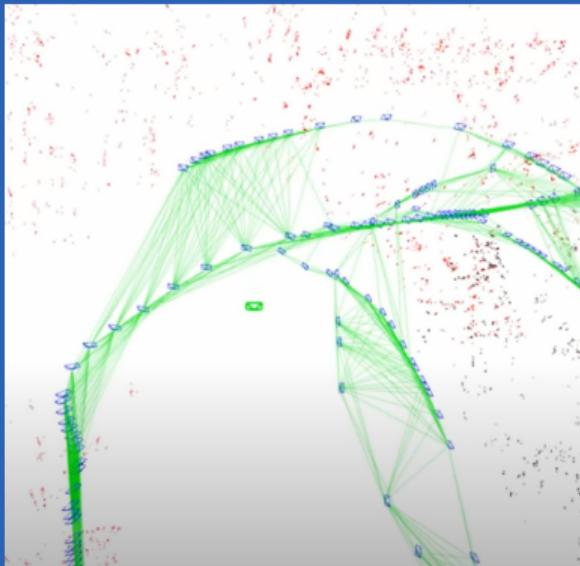
---



[ZEDfu - Real-time 3D Mapping using ZED stereo camera]

1. A trajetória é calculada a bordo usando GPU;

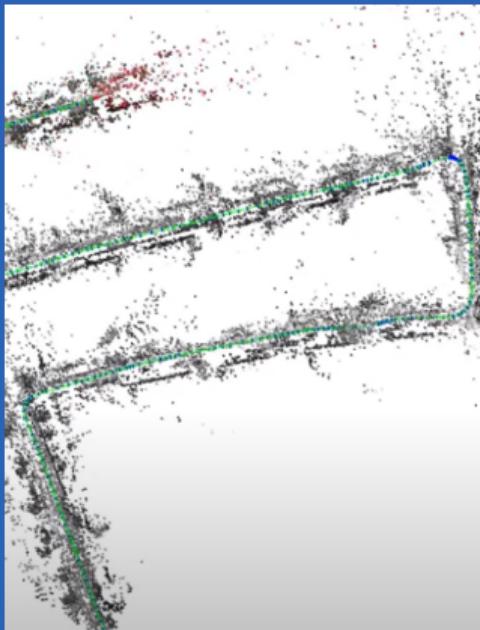
# ORB SLAM



1. Pode ser mono ou stéreo;
2. Fornece escalas absolutas.

[ORB-SLAM2: an Open-Source SLAM for Monocular]

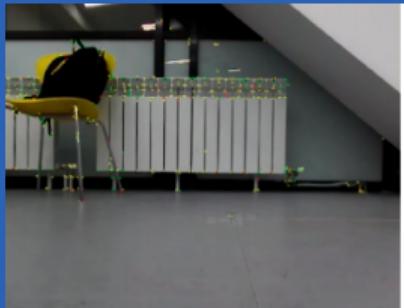
# Stereo Parallel Tracking and Mapping



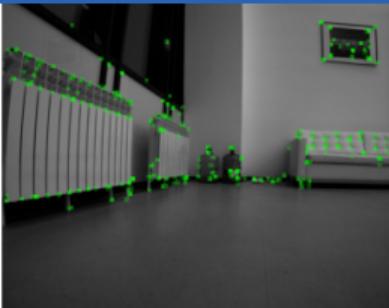
1. Baseado em características;
2. Tem uma estrutura com detecção de fechamento de loop;
3. Pode escolher qualquer detector de pontos-chaves disponível no openCV;
4. Foi testado com e sem fechamento de laço.

[S-PTAM: Stereo Parallel Tracking and Mapping]

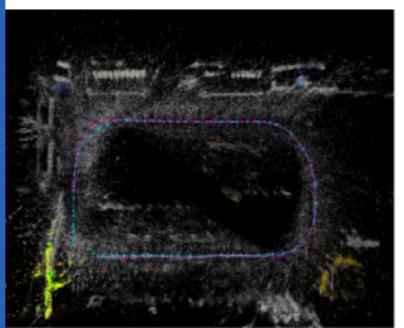
# Comparação



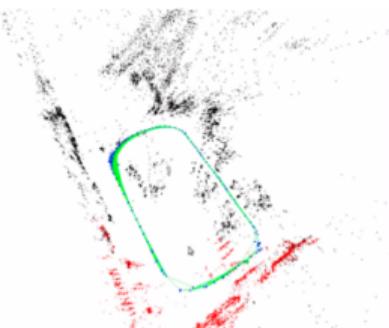
(a) RTAB map features



(b) ORB features

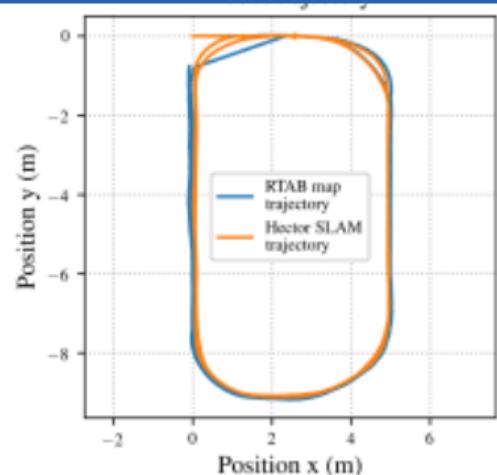


(c) RTAB map point cloud

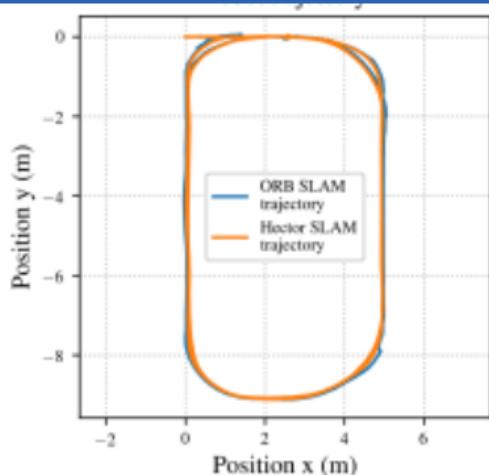


(d) ORB point cloud

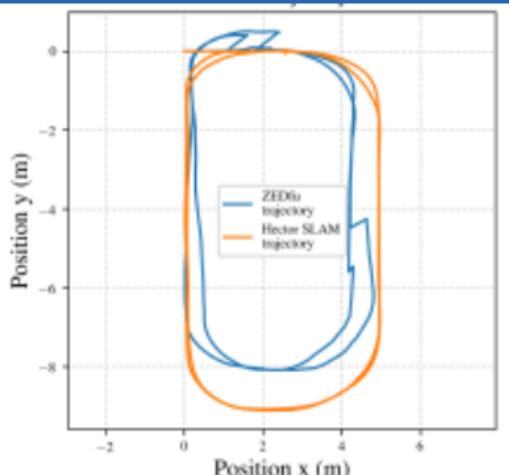
# Comparação



(e) RTAB map path

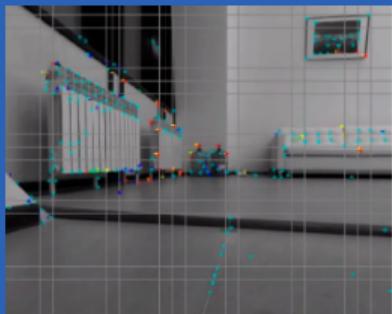


(f) Stereo ORB path

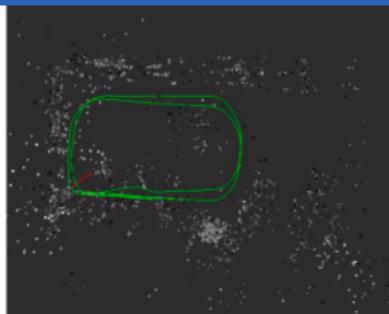


(g) ZEDfu path

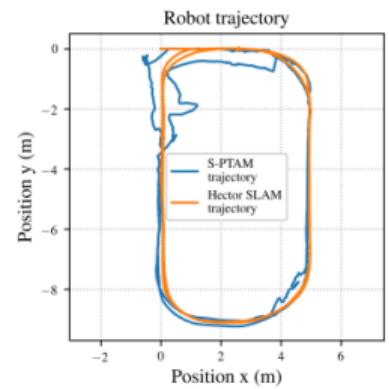
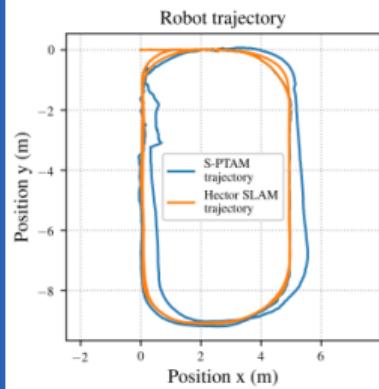
# Comparação



(a) Feature detection



(b) Point cloud and trajectory

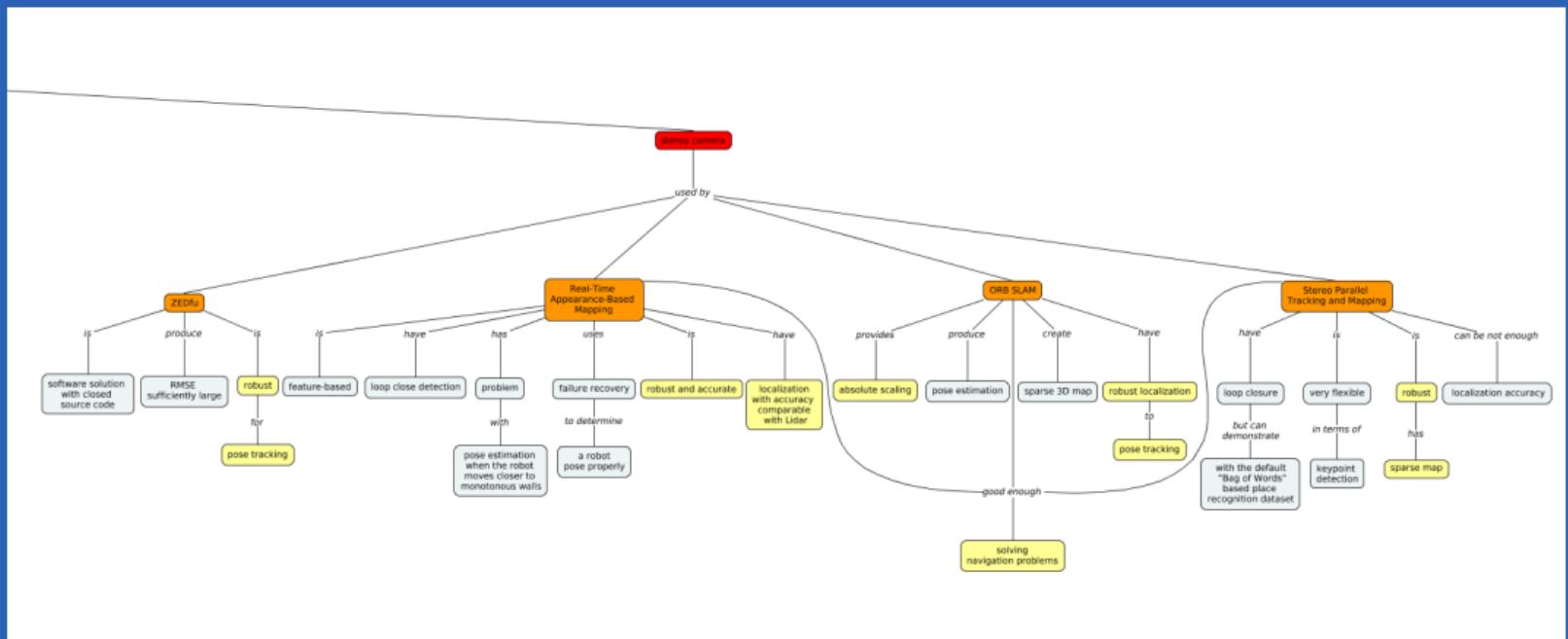


# Comparação De Resultados

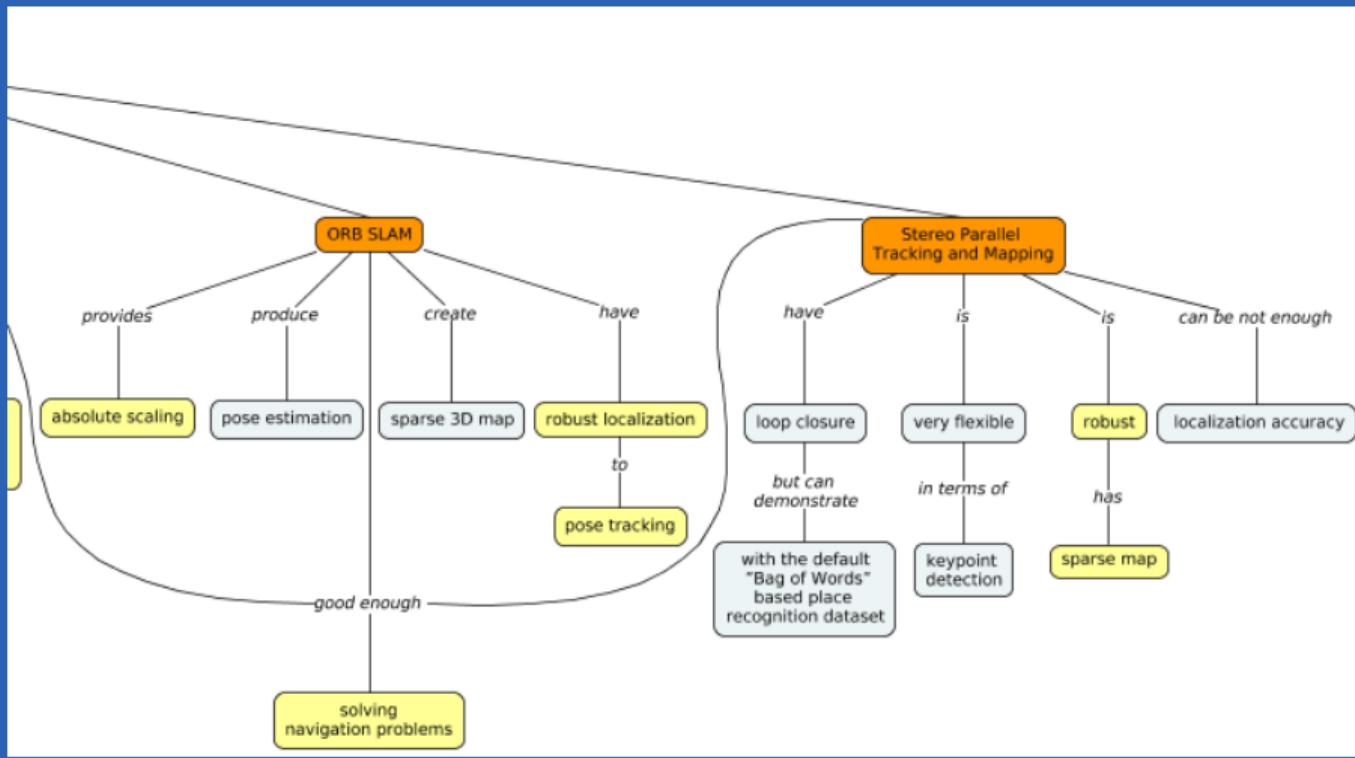
---

1. ZEDfu - Para a experiência forneceu RMSE grande, o sistema é robusto em termo de rastreamento de pose mas a trajetória não é exata para tal tipo de navegação.
2. RTAB - Tem problema com a pose quando o robô se aproxima das paredes, mas o sistema de detecção de falha é capaz de detectar a falha e determinar a pose correta do robô. É robusto e preciso, tem precisão comparável com os métodos do lidar.
3. ORB - Estimativa boa e cria mapas 3D esparso, localização robusta.
4. PTAM - É robusto em termos de rastreio de pose e tem o mapa esparso, mas a precisão não é suficiente.

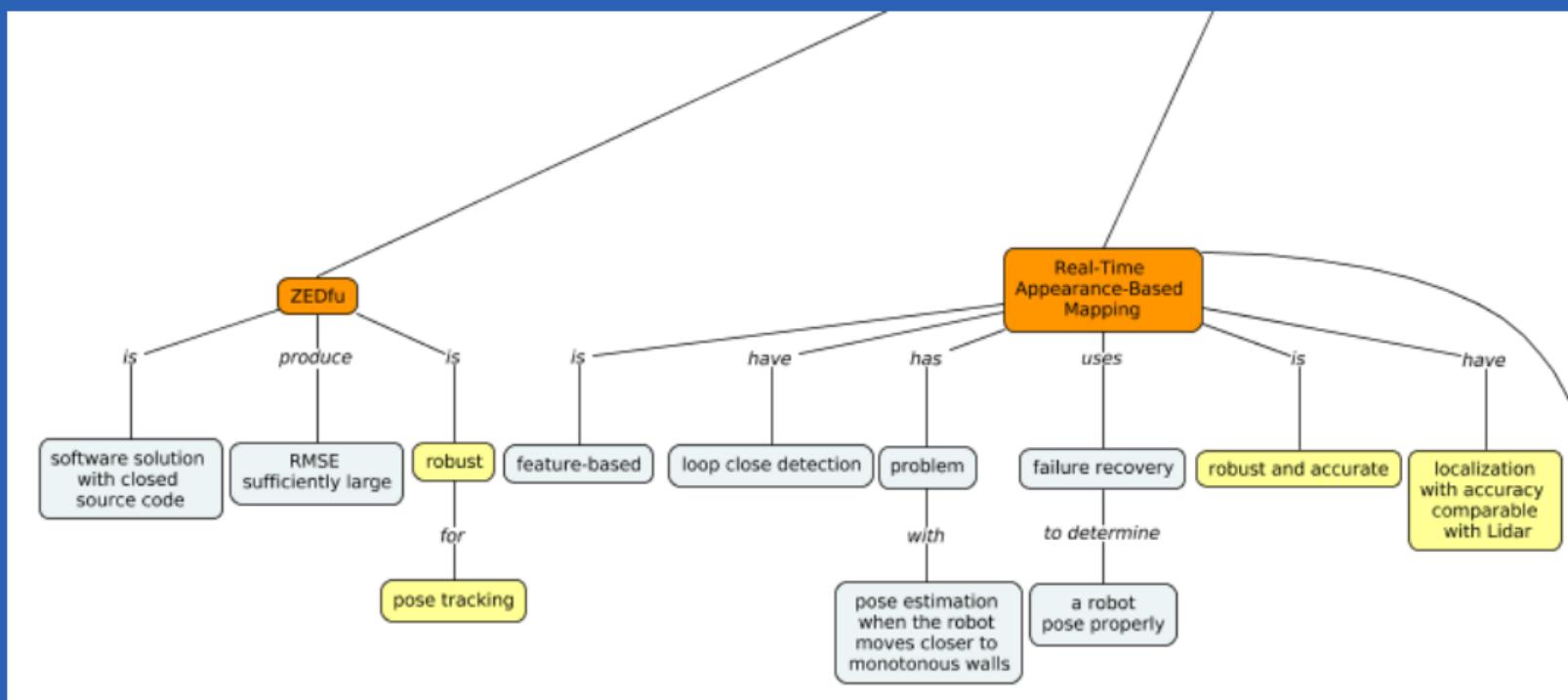
# Camera stéréo



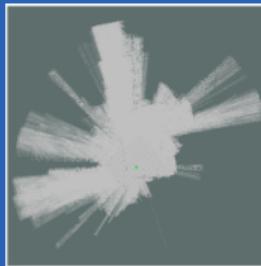
# Camera stéréo



# Camera stéréo



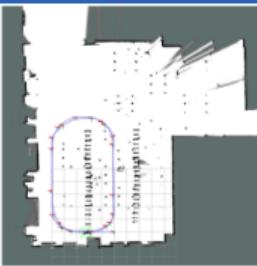
# Comparação



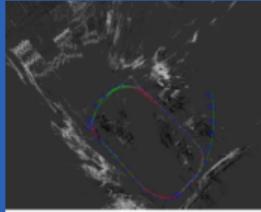
(a) GMapping



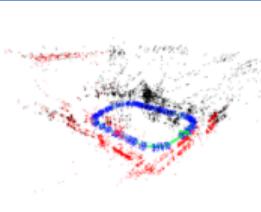
(b) Hector SLAM



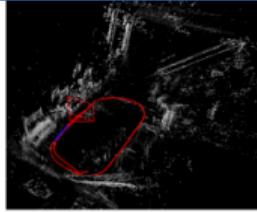
(c) Cartographer



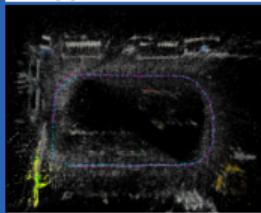
(d) LSD SLAM



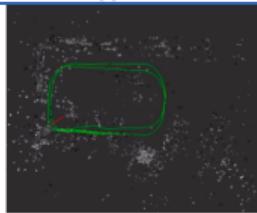
(e) ORB (mono)



(f) DSO



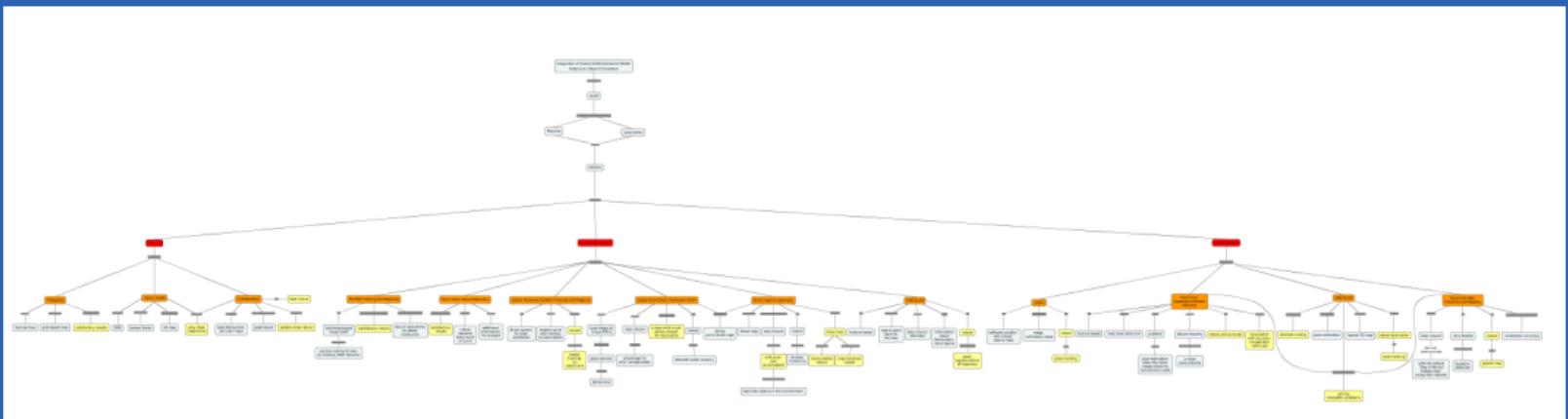
Sistemas SLAM : Marcella Giovanna



# RESULTADO FILNAL

System	RMSE (m)	Mean (m)	Median (m)	Std. (m)	Min (m)	Max (m)
Cartographer	0.024	0.017	0.013	0.021	0.001	0.07
LSD SLAM	0.301	0.277	0.262	0.117	0.08	0.553
ORB SLAM (mono)	0.166	0.159	0.164	0.047	0.047	0.257
DSO	0.459	0.403	0.419	0.219	0.007	0.764
ZEDfu	0.726	0.631	0.692	0.358	0.002	1.323
RTAB map	0.163	0.138	0.110	0.085	0.004	0.349
ORB SLAM (stereo)	0.190	0.151	0.102	0.115	0.004	0.414
S-PTAM (no loop cl.)	0.338	0.268	0.244	0.206	0.001	0.768
S-PTAM (loop cl.)	0.295	0.257	0.242	0.145	0.006	1.119

# RESULTADO FILNAL



# References (1)

---

[Basler camera ace USB3 acA1300-200um.] BASLER camera ace USB3 acA1300-200um.

<http://www.controlvision.co.nz/basler-camera-ace-usb3-ac1300-200um>.  
(Accessed on 04/25/2022).

[Cartographer 3D SLAM Demo] CARTOGRAPHER 3D SLAM Demo.

<https://www.youtube.com/watch?v=DM0dpHLhtX0>. (Accessed on 04/29/2022).

[Dense Piecewise Planar Tracking and Mapping from a Monocular Sequence] DENSE Piecewise Planar Tracking and Mapping from a Monocular Sequence.

[https://www.researchgate.net/publication/281841763\\_DPPTAM\\_Dense\\_Piecewise\\_Planar\\_Tracking\\_and\\_Mapping\\_from\\_a\\_Monocular\\_Sequence](https://www.researchgate.net/publication/281841763_DPPTAM_Dense_Piecewise_Planar_Tracking_and_Mapping_from_a_Monocular_Sequence).  
(Accessed on 04/29/2022).

# References (2)

---

[DSO: Direct Sparse Odometry] DSO: Direct Sparse Odometry.

<https://www.youtube.com/watch?v=C6-xwS00dqQ>. (Accessed on 04/29/2022).

[Filipenko e Afanasyev 2018] FILIPENKO, M.; AFANASYEV, I. Comparison of various slam systems for mobile robot in an indoor environment. In: IEEE. **2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)**. [S.I.], 2018. p. 400–407.

[Hector SLAM Mapping with LIDAR] HECTOR SLAM Mapping with LIDAR.

<https://www.youtube.com/watch?v=J-X6wK1y0bU>. (Accessed on 04/25/2022).

[Large-Scale Direct SLAM for Omnidirectional Cameras] LARGE-SCALE Direct SLAM for Omnidirectional Cameras. <https://www.youtube.com/watch?v=v0NqMm7Q6S8>. (Accessed on 04/29/2022).

# References (3)

---

[Mönnig 2016] MöNNIG, J. **How to Cite a Website with BibTeX**. 2016. Disponível em: <<https://jonas-moennig.de/how-to-cite-a-website-with-bibtex/>>.

[ORB-SLAM2: an Open-Source SLAM for Monocular] ORB-SLAM2: an Open-Source SLAM for Monocular. <https://www.youtube.com/watch?v=ufvPS5wJAx0&t=29s>. (Accessed on 04/29/2022).

[ORB-SLAM3: a Visual] ORB-SLAM3: a Visual.  
<https://www.youtube.com/watch?v=UVb3AFgabu8>. (Accessed on 04/26/2022).

[Robotics Weekends: Gmapping, Google Cartographer, Octomap] ROBOTICS Weekends: Gmapping, Google Cartographer, Octomap.  
<https://www.youtube.com/watch?v=EU6X1AYEksc>. (Accessed on 04/25/2022).

# References (4)

---

[S-PTAM: Stereo Parallel Tracking and Mapping] S-PTAM: Stereo Parallel Tracking and Mapping. <https://www.youtube.com/watch?v=gtJBb9fS4FQ>. (Accessed on 04/29/2022).

[Sensores 2D-LiDAR — TiM1xx — SICK] SENsoRES 2D-LiDAR — TiM1xx — SICK. <https://www.sick.com/br/pt/solucoes-de-medicao-e-deteccao/sensores-2d-lidar/tim1xx/c/g413152>. (Accessed on 04/25/2022).

[SVO:Fast Semi-Direct Monocular Visual Odometry] SVO:FAST Semi-Direct Monocular Visual Odometry.

<https://www.youtube.com/watch?v=2YnIMfw6bJY&t=90s>. (Accessed on 04/26/2022).

# References (5)

---

[Visual Odometry with the zed stereo camera] VISUAL Odometry with the zed stereo camera.

<https://kapernikov.com/visual-odometry-with-the-zed-stereo-camera/>.  
(Accessed on 04/26/2022).

[ZEDfu - Real-time 3D Mapping using ZED stereo camera] ZEDFU - Real-time 3D Mapping using ZED stereo camera.

<https://www.youtube.com/watch?v=AFH2yN3rM78>. (Accessed on 04/29/2022).



# Questions?

marco.a.reis@google.com