

基于Rao-Blackwellized粒子滤波器的同时构建二维和三维地图的SLAM方法



答辩人：姚利

指导老师：范衡





研究背景

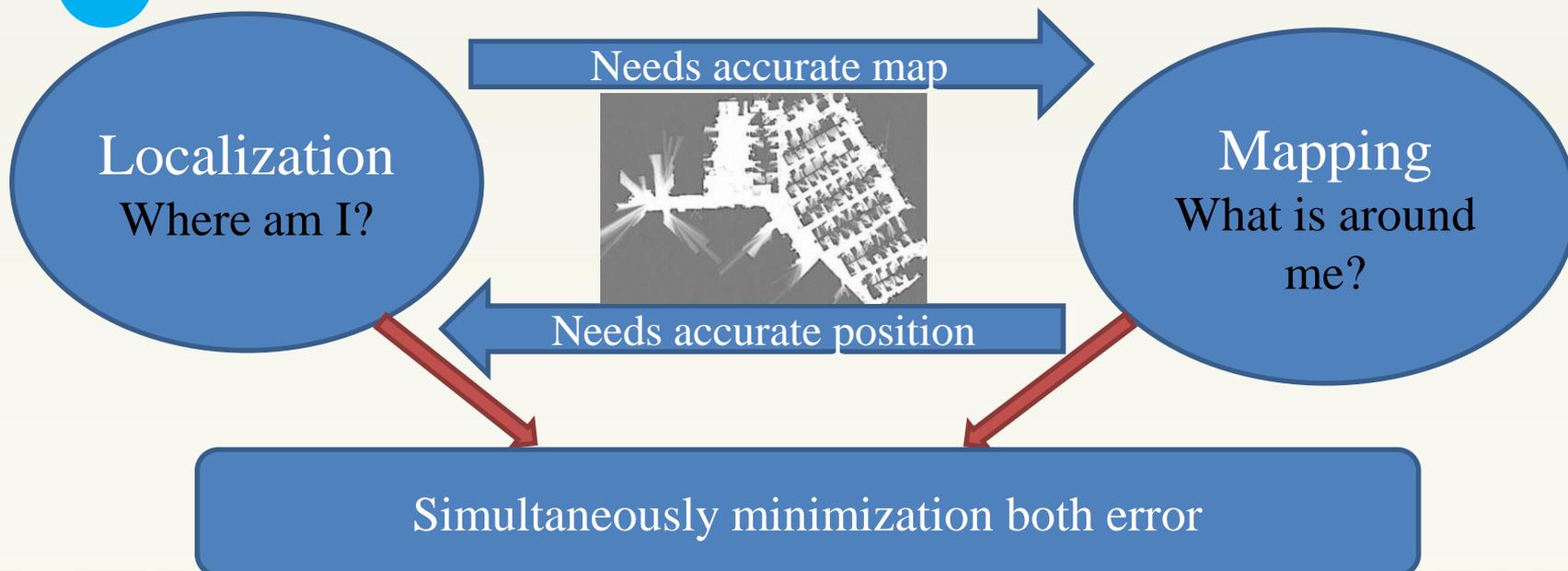
Rao-Blackwellized粒子滤波器定位与构图

场景实验与对比

总结

同时定位与地图构建 (Simulation Localization and Mapping, SLAM) 是实现移动机器人完全自治的一个基础且关键的核心问题。机器人从未知环境的未知地点出发, 在运动过程中完成以下两方面的工作:

- 1 运行过程中能够完成对自身位置与姿态的辨识。
- 2 通过不断的重复探测环境定位自身的位置同时构建周围环境地图。



1 自从上世纪80年代SLAM概念的提出到现在，SLAM技术已经走过了30多年的历史。一直以来都是机器人领域研究的热点问题。目前，SLAM技术已广泛应用于家用机器人、AR/VR、无人驾驶汽车等领域。



Robotics



AR/VR



Self-driving car



测量精确

高刷新率

较长的研究历史

较重

较昂贵

便宜的

轻量化

丰富信息

高计算成本

在假设下工作



SICK



Velodyne,



Rplidar



Monocular



stereo



RGBD

2

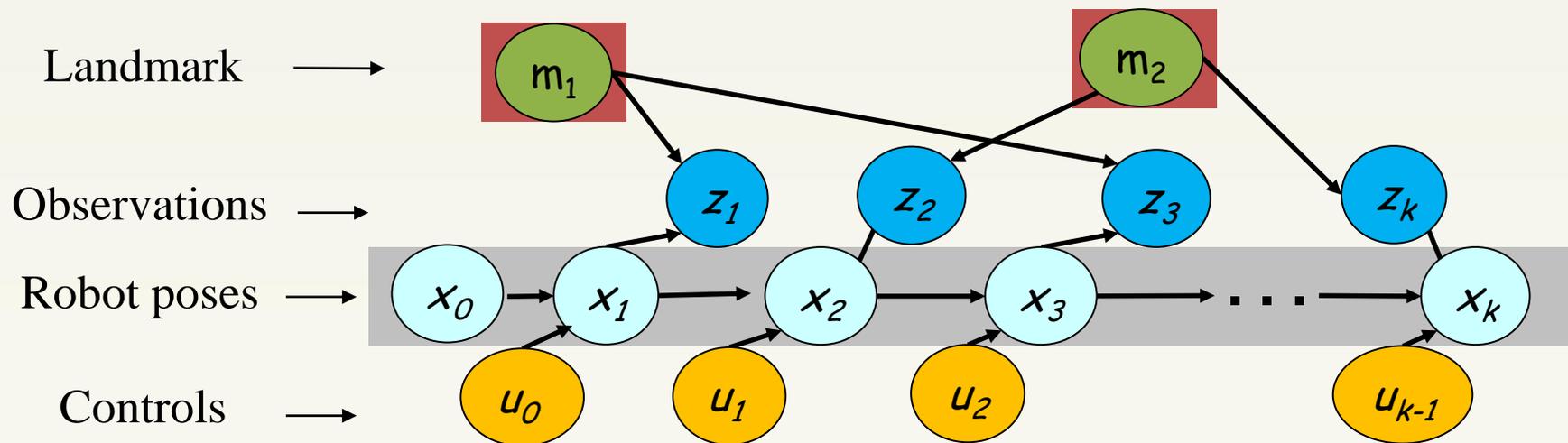
Rao-Blackwellized 粒子滤波器定位与构图

SLAM posterior

Robot path posterior

Landmark positions

$$p(x_{1:k}, m | z_{1:k}, u_{1:k-1}) = p(m | x_{1:k}, z_{1:k}) * p(x_{1:k} | z_{1:k}, u_{1:k-1})$$



2

Rao-Blackwellized粒子滤波器定位与构图

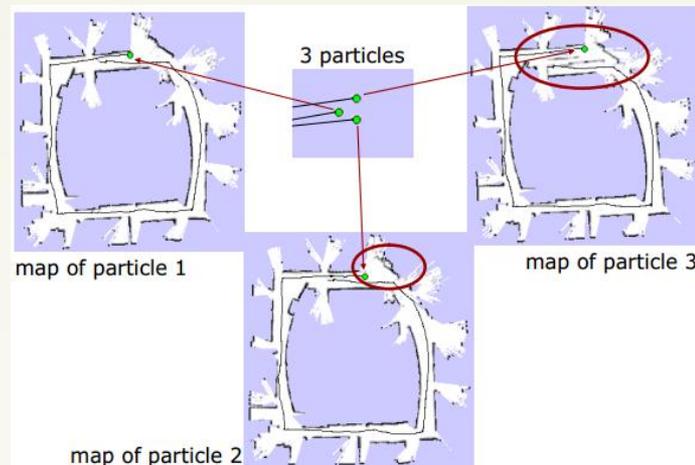
$$p(x_{1:k}, m | z_{1:k}, u_{1:k-1}) = p(m | x_{1:k}, z_{1:k}) * p(x_{1:k} | z_{1:k}, u_{1:k-1})$$

通过因子分解表示 Rao-BlackWellized 滤波器:

- $p(x_{1:k} | z_{1:k}, u_{1:k-1})$ 通过粒子滤波方法解决定位问题.
- $p(m | x_{1:k}, z_{1:k})$ 结合定位信息通过EKF算法计算地图特征估计.

$$p(m | x_{1:k}, z_{1:k}) = \prod_{i=1}^M p(m_i | x_{1:k}, z_{1:k})$$

由于分解, 每个网格单元的占用概率的估计现在是一个具有静态状态的二进制估计问题。



2

Rao-Blackwellized粒子滤波器定位与构图

定位

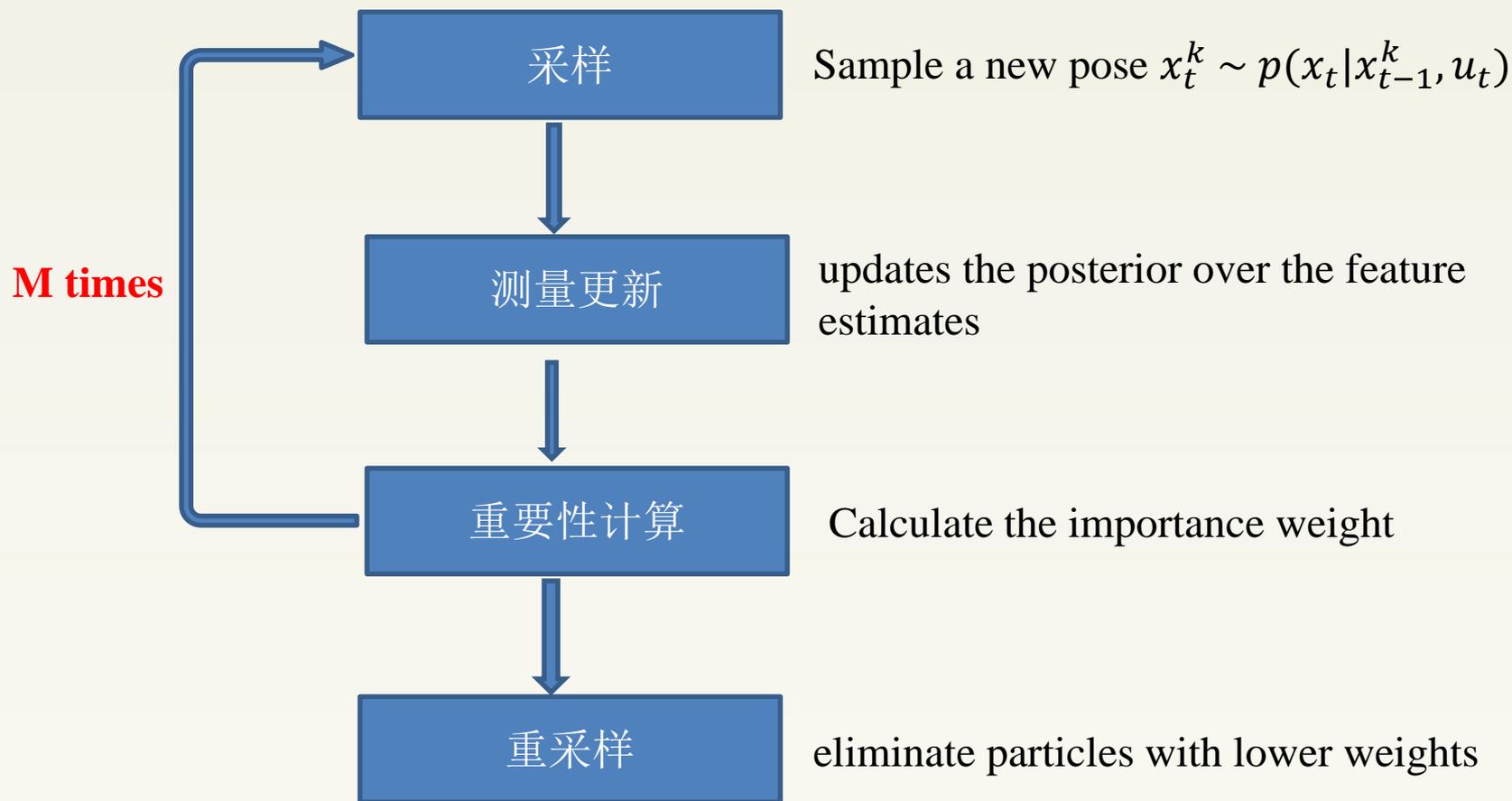
- 每个粒子 k : 估计每个粒子的路径、特征点的均值和协方差。

	robot path	feature 1	feature 2	...	feature N
Particle $k = 1$	$x_{1:t}^{[1]} = \{(x \ y \ \theta)^T\}_{1:t}^{[1]}$	$\mu_1^{[1]}, \Sigma_1^{[1]}$	$\mu_2^{[1]}, \Sigma_2^{[1]}$...	$\mu_N^{[1]}, \Sigma_N^{[1]}$
Particle $k = 2$	$x_{1:t}^{[2]} = \{(x \ y \ \theta)^T\}_{1:t}^{[2]}$	$\mu_1^{[2]}, \Sigma_1^{[2]}$	$\mu_2^{[2]}, \Sigma_2^{[2]}$...	$\mu_N^{[2]}, \Sigma_N^{[2]}$
		\vdots			
Particle $k = M$	$x_{1:t}^{[M]} = \{(x \ y \ \theta)^T\}_{1:t}^{[M]}$	$\mu_1^{[M]}, \Sigma_1^{[M]}$	$\mu_2^{[M]}, \Sigma_2^{[M]}$...	$\mu_N^{[M]}, \Sigma_N^{[M]}$

- Rao-Blackwellized particle filters 是基于特征路标的方法。
- 每个特征路标有EKF计算得来。
- 每个粒子有 M 个EKF来表示

2

Rao-Blackwellized粒子滤波器定位与构图



2

Rao-Blackwellized粒子滤波器定位与构图

构图

- Rao-Blackwellized 粒子滤波的SLAM方法是 “*a mapping with known poses*”.
- 利用激光雷达的定位信息，深度相机辅助构建三维栅格地图。

占用栅格算法

- Calculate the posterior over maps given the data:

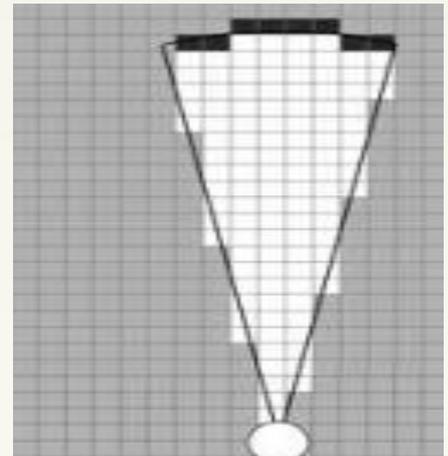
(1) The occupancy grid map is used to divide the space into finite grid cells.

$$m = \{m_1, m_2, m_3 \dots m_i\}$$

(2) estimate the occupancy probability of each grid cell.

$$p(m_i | z_{1:t}, x_{1:t}) = 1 - \frac{1}{1 + \exp\{l_{t,i}\}}, \quad l_{t,i} = \log \frac{p(m_i | z_{1:t}, x_{1:t})}{1 - p(m_i | z_{1:t}, x_{1:t})}$$

- This model is 2-D grid map..

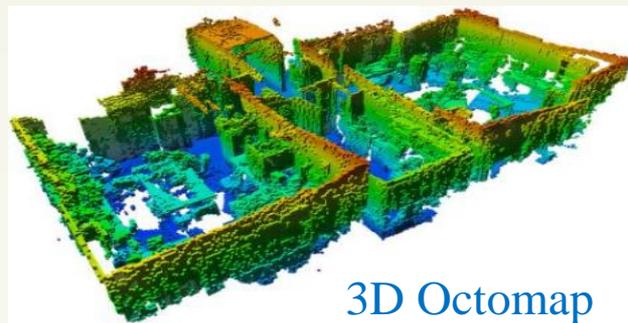
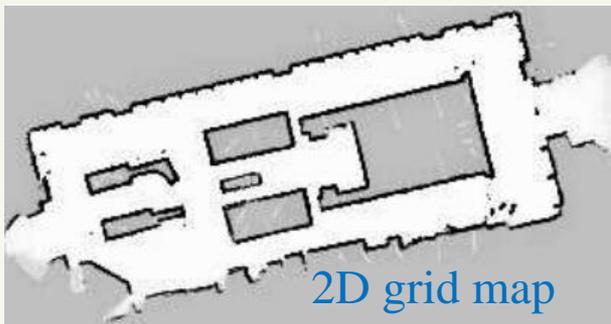


2

Rao-Blackwellized粒子滤波器定位与构图

栅格地图

- 2D grid map :适用于在平面上移动机器人的导航。
- 3D Octomap: 基于八叉树的高效开源三维地图表示方法，一般适用于在三维空间中运动的机器人。



2

Rao-Blackwellized粒子滤波器定位与构图

1

采样

从建议分布中采样： $x_{k+1}^{(i)} \sim q(x_{k+1} | x_k^{(i)}, z_{k+1})$ $i=1, \dots, N$ ，建议分布一般根据运动模型结合当前观测值给出

2

粒子权值计算

计算粒子的非正则权值： $w_{k+1}^i(x) \propto w_k^i(x_{k-1}) \frac{p(z_{k+1} | x_{k+1}^i) p(x_{k+1}^i | x_k^i)}{q_k(x_{k+1}^i | x_{0:k}^i, z_{1:k+1})}$

3

重采样

计算粒子集的 N_{eff} ，如果 N_{eff} 小于给定阈值，则对粒子集 $\{x_{1:k+1}^{(i)}, w_{k+1}^{(i)}\}_{i=1}^N$ 进行重采样，得到新的粒子集 $\{x_{1:k+1}^{(i)}, \frac{1}{N}\}_{i=1}^N$ ，否则粒子集保持不变。

第1~3步是估计机器人路径轨迹 $p(x_{1:k} | z_{1:k}, u_{1:k-1})$ ，第4步是更新地图 $p(m | x_{1:k}, z_{1:k})$

4

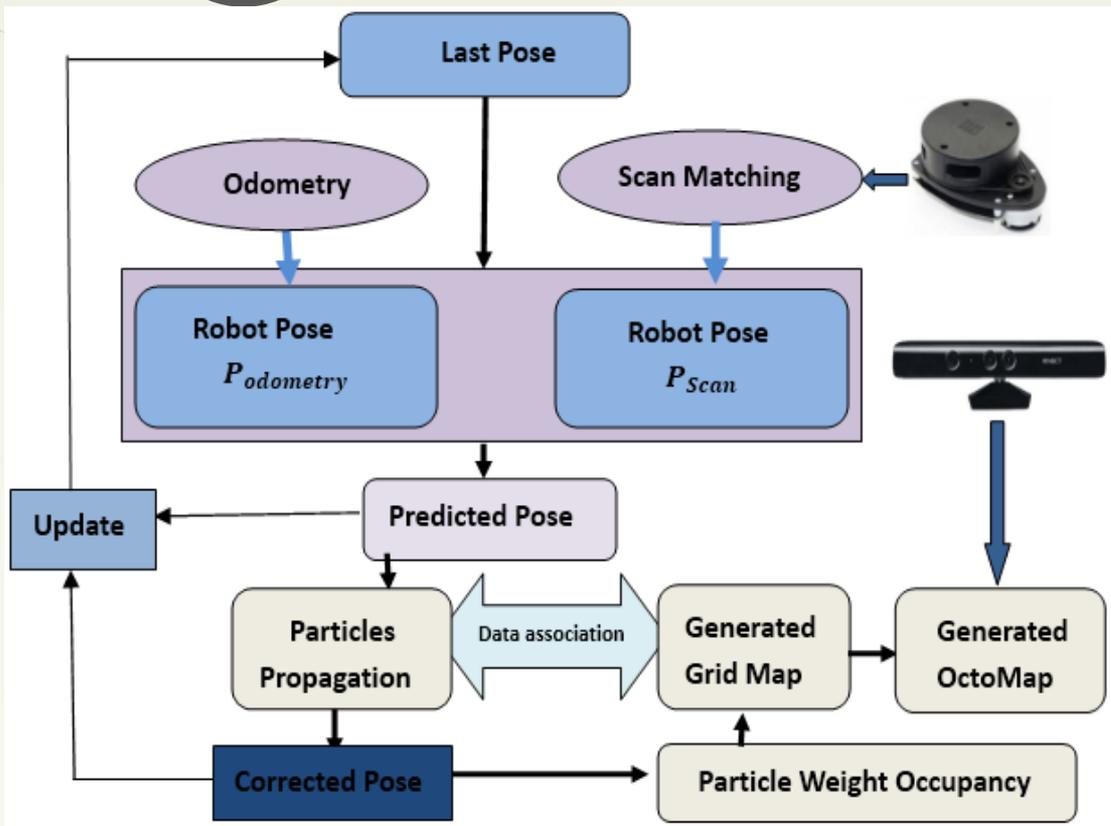
更新地图

根据公式 $p(m | x_{1:k}, z_{1:k}) = \prod_{i=1}^M p(m_i | x_{1:k}, z_{1:k})$ 环境地图的估计已经被分解为M个独立的特征估计问题，而对于每个独立的特征估计，EKF既可以满足精度要求并在效率上有一定的优势。



3

场景验证与对比



该图是该系统的整体框架，主要利用激光雷达的精确定位和深度相机对周围环境丰富信息获取，同时构建二维与三维的占用栅格地图

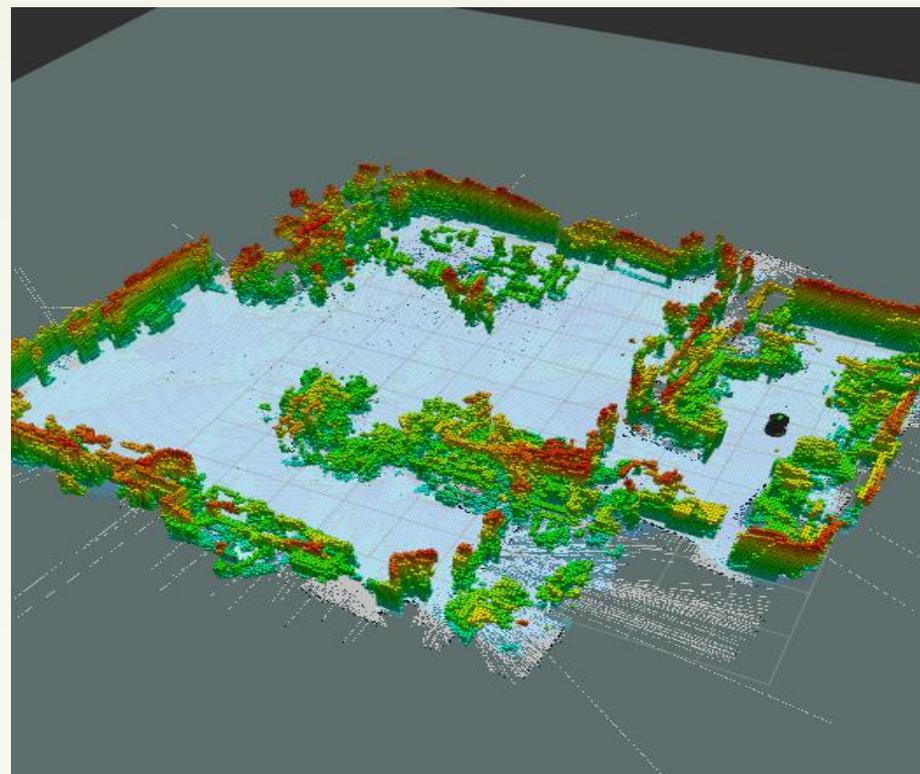
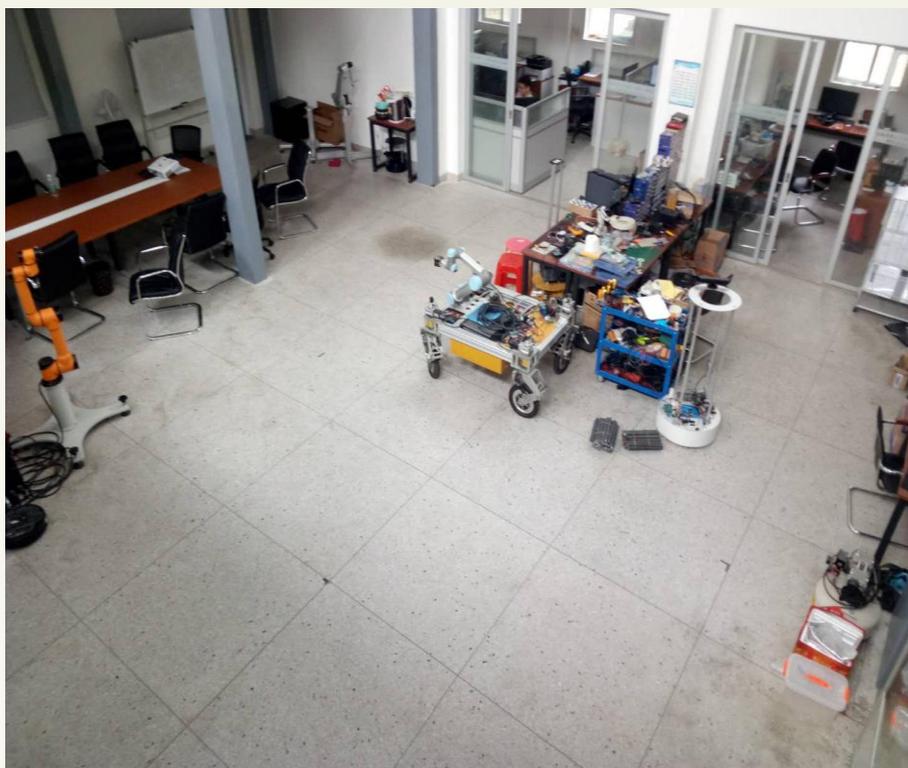


3

场景验证与对比



实验室复杂场景实景图与构建的二维和三维占用栅格地图

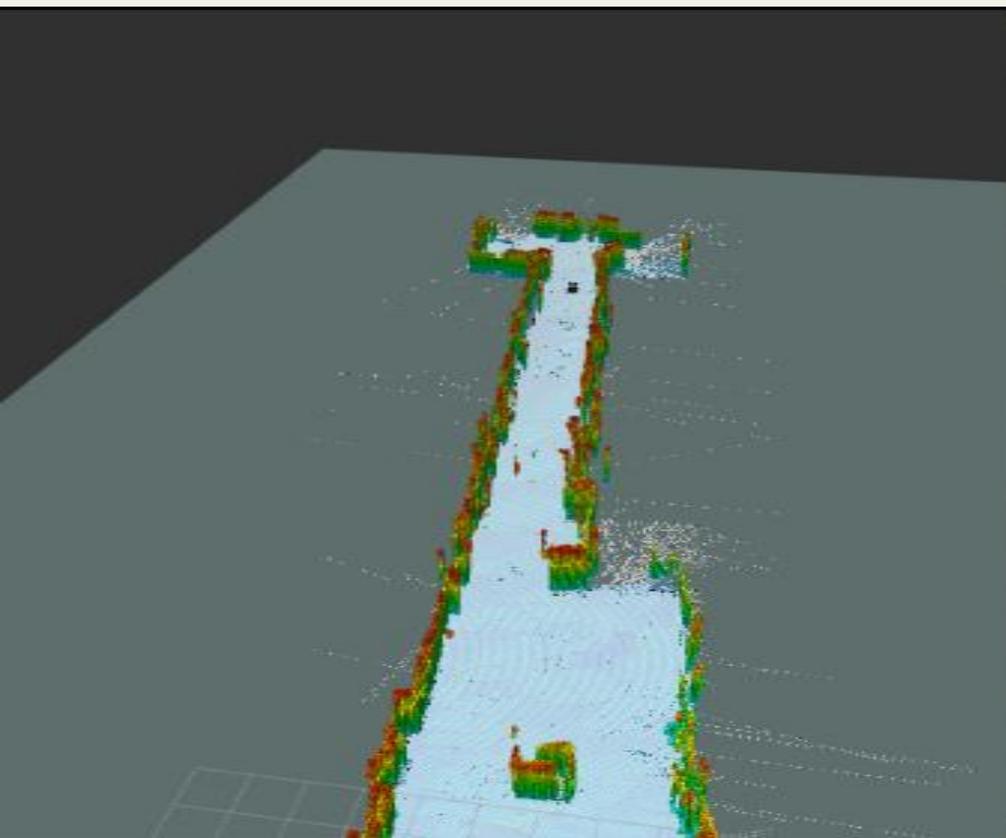


3

场景验证与对比



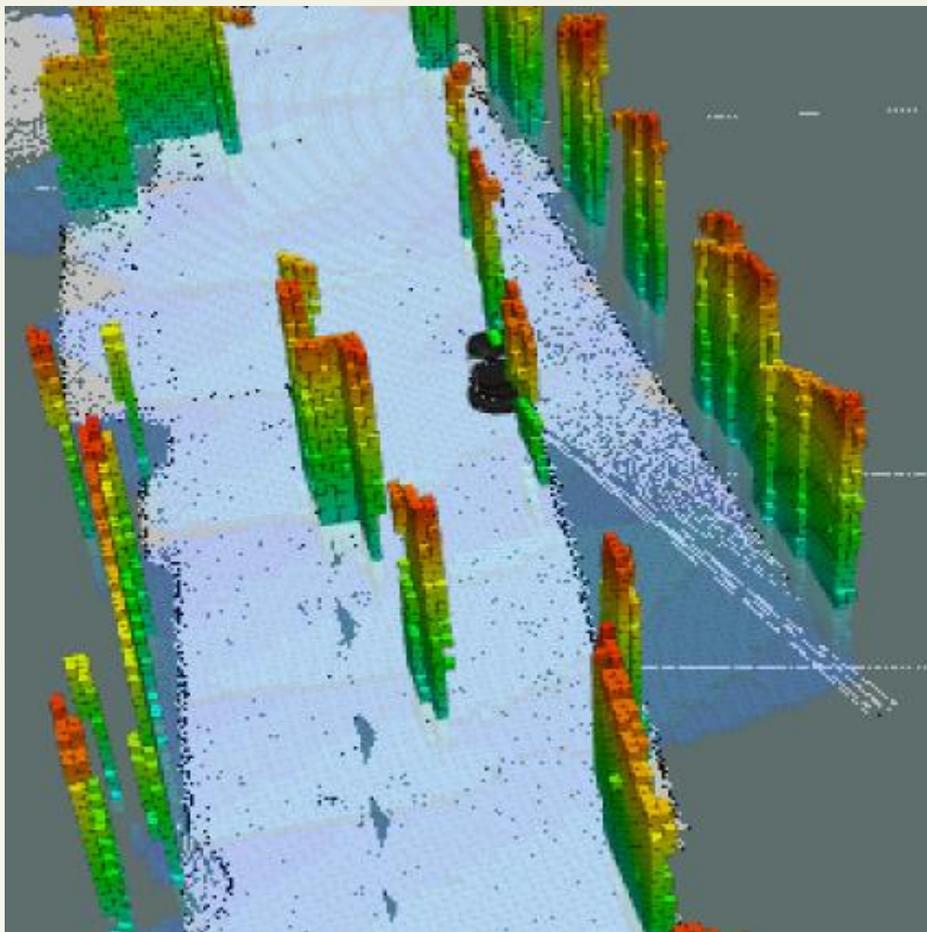
对科技楼四楼大场景同时构建地图的效果



3

场景验证与对比

错误案例



粒子滤波在大场景中，随着构建地图的增减，特征点的增加，系统的运算的复杂负荷呈指数增加，所以这就容易系统的运算速度导致，定位失败，如左图是在科技楼四楼的长廊中，由于长时间的运行，导致机器人定位失败，该系统不具有重定位功能，所以构建的地图将会完全失效。



4

总结



本课题不仅发挥了激光雷达用于机器人定位的优势，构建二维栅格地图的同时，并结合深度相机获取的点云实时的生成三维八叉树地图，二维地图用于机器人在地面环境上的导航，八叉树地图可在三维空间中运行的机械臂机器人的碰撞检测以及路径规划。

A SLAM with Simultaneous Construction of 2D and 3D maps Based on Rao-Blackwellized Particle Filters
(Accepted by *The 10th International Conference on Advanced Computational Intelligence 2018*)

THANK YOU

毕业答辩
dissertation defence



Contact 姚利

Email: 15lyao@stu.edu.cn