待解决问题：

* 激光雷达是否存在超声波在斜面不反射的问题
* 激光的特征点以及根据特征点估计里程计信息，hetor
* scan to scan ，scan to sub-map，sub-map to sub-map匹配
* 没有电子罗盘，所以yaw无法修补

激光slam总结

博客：<https://blog.csdn.net/zhu751191958/article/details/78969825>

<https://blog.csdn.net/zhu751191958/article/details/78970567>

<https://blog.csdn.net/qq_29230261/article/details/83146147>

泡泡机器人slam课程链接：

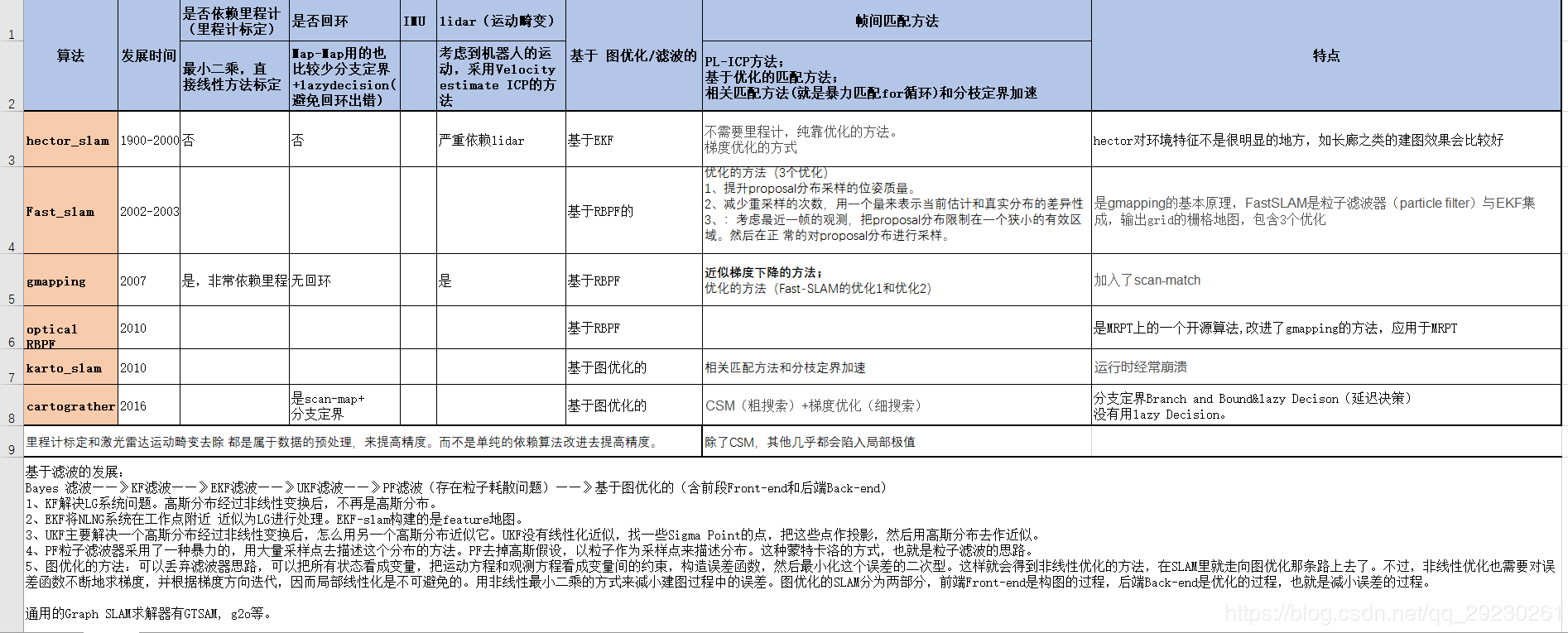
<https://blog.csdn.net/qq_34622997/article/details/88085884>

书籍：[1]《概率机器人》、[2]tutlebot3中文电子版

1. 自己总结

* 激光是距离方位传感器，《概率机器人》p133，激光slam路标点：距离（r）、方位（可直接由激光雷达获得，这样知道路标点或机器人中一个位置，就能求出两者相对位置）、
* 激光slam通过运动模型（xt=f（xt-1,ut）+噪声）和观测模型(zt=g(xt,m)+噪声,其中zt为观测值（r、），m（r、）为路标，两者需是一致的)都是可以计算出机器人位姿的
* 激光slam分类：loam slam、谷歌系（Cartographer SLAM） ndt正态分布变换（Normal Distribution Transformation , NDT系、深度学习系
* Hector SLAM(1900-2000年)：是基于EKF的方法，不依赖里程计，只根据激光信息便可建图。帧间匹配也不需要里程计，纯靠优化的方法，使用梯度优化方式。可以很好的在空中机器人、手持构图设备及特种机器人中使用，基于深度数据估计里程计信息，建图的稳定性没那么好。在特征不太明显的地方容易出现长廊效应。
* Fast SLAM（2002-2003年）：是基于RBPF的方法，同时集成了EKF方法。帧间匹配使用了3种优化方法：提升建议分布采样的质量；减少重采样次数，用一个量来表示当前估计和目标分布的差异性；考虑最近一帧的观测，把建议分布限制在一个狭小的有效区域，然后正常的对建议分布进行采样。
* Gmapping（2007年）：是基于RBPF的方法，依赖里程计，需要深度信息、IMU信息，打滑会造成里程计数据有错，从而使建图效果不好。帧间匹配使用Fast SLAM帧间匹配的前两种方法，加入了scan-match，是一种近似梯度下降的方法。

<https://blog.csdn.net/liuyanpeng12333/article/details/81946841>

* Optical RBPF（2010年）:是一种基于RBPF的方法。是MRPT（Mobile Robot Programming Toolkit，移动机器人编程工具箱）上的一个开源算法，改进了gmapping的方法。
* Karto SLAM（2010年）：是基于图优化的方法。帧间匹配使用相关匹配方法和分枝定界加速。运行时容易崩溃。
* Cartographer（2016年）：是谷歌发布的基于图优化的方法，带有回环检测，适用2D/3D建图。帧间匹配使用CSM（粗搜索）和梯度优化（细搜索）结合的方法。目的是在计算资源有限的情况下，实时获取相对较高精度的2D地图。考虑到基于模拟策略的粒子滤波方法在较大环境下对内存和计算资源需求较高，其采用基于图网络的优化方法。
* 语义slam：<https://mp.weixin.qq.com/s/-3Qojk72EYnLqQa7oTRY5Q>
* 激光点云信息本身也仍有潜力可挖。在高端的远距离多线激光雷达上，返回的点云除了包含方向和距离信息，还可以加入目标点的反射率信息。当线数较多较密时，由反射率信息构成的数据可以视为一种纹理信息，因此可以在一定程度上享受视觉算法和纹理信息带来的重定位等方面的优势。这些信息一旦融入到高精度地图中，高精度地图就可以在点云\纹理两种形式间无缝切换，使得利用高精度地图的定位可以被只拥有廉价摄像头的自动驾驶汽车分享。这也是目前国外一些团队的研究方向
* 激光雷达是研究最多、使用最成熟的深度传感器，可以提供机器人本体与环境障碍物之间的距离信息。具有距离测量比较准确、误差模型简单、在强光直射以外的环境中运行稳定、点云的处理也比较容易等优点。与基于视觉的SLAM技术相比，激光SLAM理论研究也相对成熟，落地产品更丰富。激光 SLAM 由于定位的稳健性成为国内外研究热点，广泛应用在无人驾驶、室内外机器人导航以及三维重建等领域。

<https://mp.weixin.qq.com/s/pmr35Lx3nWhpFRk467-tow>

* 在连续帧匹配上，有ICP[2]、NDT[3]、暴力匹配[4]等算法。如目前主流的激光SLAM-cartographer采用暴力匹配作为前端方法，即使用激光扫描匹配，在机器人运动中，通过匹配前后两帧的激光变化，求得机器人的相对运动。

通过非线性优化将运动过程中的误差分散到参与优化的每个pose中，从而消除误差累积。图优化的核心是构造误差函数。

通过对比图优化和滤波器SLAM，两者的本质是统一的，都是通过输入观测，修正预测量，求解最大后验概率，图优化的方式只是将最大后验通过计算负对数的形式，转换成最小化带有误差项的二次型。而两者区别是，图优化技术采用了批处理方式，引入了更强的约束（闭环约束），修正了滤波器基于一阶马尔科夫假设的状态递归估计错误累积。

最后需要补充的是，由于激光SLAM算法框架较为固定，大同小异，那么决定一个SLAM算法的好坏就落在了对具体工程问题的处理上，如笔者在日常开发中，处理并解决了以下的问题：

A.如何有效的对激光噪点进行去噪？

B.如何克服动态环境下的定位漂移问题？

C.几何结构相似的环境如何避免闭环错误？

D.里程计初始值异常跳变如何检测？如何处理？

E.如何克服重复扫图导致的地图分辨率下降？

F.码盘里程计与激光数据时间戳虽然一致，但实际上存在延迟，如何解决？

<https://mp.weixin.qq.com/s/VVp5xDavZYLwrbtpElJ5_Q>

* 激光是直接用icp得到pcd地图，纯激光的SLAM，目前就了解过LOAM LeGO-LOAM；八叉树应该是比较低数据量；vins也有两个方案；如果是高速方案，要128线的话，那就是几十万；无人机搭载激光雷达的全息slam
* rplidar a1相关资料比较多，rplidar包里有个串口类
* cartographer里程计imu都可以不要，效果还很好，但是大地图回环就不行了
* 论文：Towards Learning-Based LiDAR Localization for Autonomous Driving

1. 谷歌Cartographer SLAM

<https://blog.csdn.net/weixin_36976685/article/details/84994701>

1. 激光雷达(Light detection and range)分类：
2. 激光雷达品牌：Velodyne、EAI、rplidar
3. 里程计根据传感器获取的数据来估计机器人随时间发生的位置变化
4. 激光slam特征点提取：

<https://blog.csdn.net/renshengrumenglibing/article/details/8604245>

主要分两步

* 区域分割：将点云按两点直线距离自适应阈值分成不同区域
* 特征提取：提取撕裂点、角点、直线、圆弧

1. 激光距离传感器（Laser Distance Sensor，LDS）有多种名称，比如激光雷

达（LIDAR）、激光测距仪（Laser Range Finder，LRF）和激光扫描仪（Laser

Scanner）。

1. 作为参考，价格高达数万美元或更多的Velodyne公司的HDL系列使用的激光器少则16个，多达64个。除此之外大多只使用一个激光器。为了克服这个问题，典型的LDS由一个激光器、一个反射镜和电机组成。
2. [2]P351不适合使用gmapping的场景：没有任何障碍物的方形环境。 由两个长长而平行的墙壁形成的走廊。 无法反射激光或红外线的玻璃窗。 散射镜。由于传感器的特性，无法获取障碍物信息的环境，如湖泊或海边等
3. 1