1. 引言

同步进行机器人自身定位和地图创建（Simultaneous localization and mapping，SLAM），作为机器人学中最为关键的一项应用技术，对移动机器人自身定位在精准度上有着很高的要求，在早期文章中被重点的探讨过(1)。但由于移动机器人本身运动产生的误差存在积累，单机器人创建地图往往只适用于小、中型环境。要创建大型环境地图，多机器人联合建图系统从效率、精准度、鲁棒性等方面来说，是一个更好的选择，然而一个可以使多机器人实时协作的系统十分复杂，其中十分关键的一点是，在两台机器人相对位置不确定时，将二者创建的地图进行拼接，完成地图合并，这不仅可以重新校正两台机器人的相对位置。还是大规模地图拼接的第一步。

机器人学中的地图根据不同环境表示方式可以分为3种类型：特征地图、栅格地图和拓扑地图。其中栅格地图是一种障碍概率地图，不同于其他两者，创建栅格地图不需要从环境中提取特殊的环境特征就能较好得为多数环境建模。因此，在机器人学中栅格地图是十分主流的环境表示方法，多机器人系统中栅格地图的拼接也就不可或缺了。目前这类拼接问题的主流解决办法是通过特征点匹配算法SIFT及其衍生SURF特征匹配算法[1]。然而，由于SIFT特征提取出的描述子维度较高，当需要进行拼接的栅格地图结构单一纹理过于简单时，难以对特征点生成有效的描述子。虽然在之前，Sajad等人提出了基于哈夫变换的栅格地图拼接方法[3]，这种方法无需从栅格地图中提取特征就能完成拼接，但由于参数离散化现象的存在，这类算法的拼接结果在精度上仍有不足。2015年，Matthias等人将ASD（环形统计描述子）中的径向描述应用于栅格地图拼接[2]，这种方法对噪声十分健壮，适用于激光雷达创建的栅格地图，使用某点周围环形范围内，栅格地图指定半径的区域内占据率的均值，方差，中位数等统计量作为特殊点的描述子，然后通过匹配描述子完成地图拼接。然而，此方法的配准依据是统计量，没有考虑关键点周围结构，易造成误匹配。故需要一种不过度依赖栅格地图纹理复杂度的，更加鲁棒，精确并且高效的方法。

因此，本文从多角度出发，将栅格地图拼接问题看作图像配准问题与二维点云匹配问题的结合，在借鉴ASD(环形统计描述子)中，多尺度径向描述的基础上，以不依赖于小区域内复杂结构的图像Harris角点为兴趣点，分析兴趣点的结构关系，生成描述子。其次，通过兴趣点的传播扩展，建立可靠的匹配对集，完成栅格地图的拼接。

本文的结构为：首先分析定义了在栅格地图拼接中的问题。接下来，提出了基于传播扩展的地图拼接方法，在第三部分，详细叙述了算法的实现细节。在第四节将该方法与现有相关方法进行了实验对比，证明本文方法的可行性与有效性。最后，给出本文的关于该方法对栅格地图拼接问题的结论。

1. 裁剪迭代最近点算法
2. 基于匹配对扩展的栅格地图拼接方法
   1. 问题定义
      1. 将栅格地图的拼接问题在图像拼接中的目标问题

地图拼接是创建大型环境模型的主流方法，对于多移动机器人系统，要解决此类问题，其实就是要通过两张栅格地图的共有部分，找到刚体变换T，通过T对给出的地图P进行旋转，平移变换，使栅格地图P与Q可以准确重合。一般的，在栅格地图具有相同尺度时，变换T由旋转矩阵R，以及关于x,y轴的平移分量 , 组成，即就是 ，其中由地图绕其平面法线旋转的旋转角 的度数所决定，而 则是由平移距离决定，如式（1）：



* + 1. 栅格地图拼接的数学模型

栅格地图是障碍概率地图，对于实际环境中的某一位置状态，表示为地图中某一栅格的灰度值，灰度越大，该点为障碍物占据点可能性越大。因此，我们可以将栅格地图中每一个像素点对应实际环境中的一个点，通过边缘提取算法提取像素点，将待拼接的栅格地图转化为二维点云。从而可以通过对两帧二维点云进行匹配来完成栅格地图拼接。分别将提取出的点云集称为数据点集 ，模型点集，通过变换数据点集来和模型点集进行匹配，对于可进行拼接的两幅栅格地图一定含有部分重叠区域，在提取的得到的边缘点集上，可表述为，其中为数据点集 的子集，且可在模型点集Q中找到其对应部分。由此可以将图像拼接问题转化为如下的匹配误差最小化问题：



其中R, t分别为刚体变换的旋转与平移， 为重叠百分比， 代表模型点云Q中的每一个点，为集合的势，代表集合的元素个数，在这里即就是对应点数量， 表示向量的二范数， 此处为求取匹配点对间的误差距离。该最小化目标函数即就是两帧地图匹配的均方误差。要解决该问题，可采用迭代最近点（ICP）算法。

* 1. 裁剪ICP算法

原始的迭代最近点算法[4]

* 1. 拼接初值的分析

为确保裁剪ICP算法能获得图像配准最优解，需要有接近正确变换运动的变换初始参数。因此，需要为两幅地图的特征点建立对应关系，要想建立正确关系，需要满足以下两个要求：(1) 在两幅地图的重叠区域提取出一定数量的共同特征点。（2）对于应建立联系的特征点，可以计算出相同或接近的描述子，且不同于或不接近于其他位置的特征点描述子。

对于条件（1）可以选取具有快速检测角点的Harris算法[5]，通过滑动窗口检测灰度值的变化，寻找出所有窗口变化梯度高于阈值的角点，而后均匀地选取所有区域内梯度变化最大的角点。以在需要拼接的两幅栅格地图中的相同部分，找到相同的角点。如图3-1，其中黑色与蓝色点阵分别代表将要进行拼接的两张栅格地图，红色与紫色分别代表两帧地图中提取得到的角点，由于噪声的存在，以及激光雷达会因检测距离，对同一区域的扫描结果产生差异的现象存在，故即使通过Harris检测算法提取角点，也会在两帧栅格地图部分相同位置提取出不同的角点。因此，需要根据角点检测的强度结果高低，即各个角点周遭的灰度变化梯度，来选取可靠的兴趣点，才可以更多得筛选出，类似图中由红色圆圈标注的两帧栅格图共有的角点。

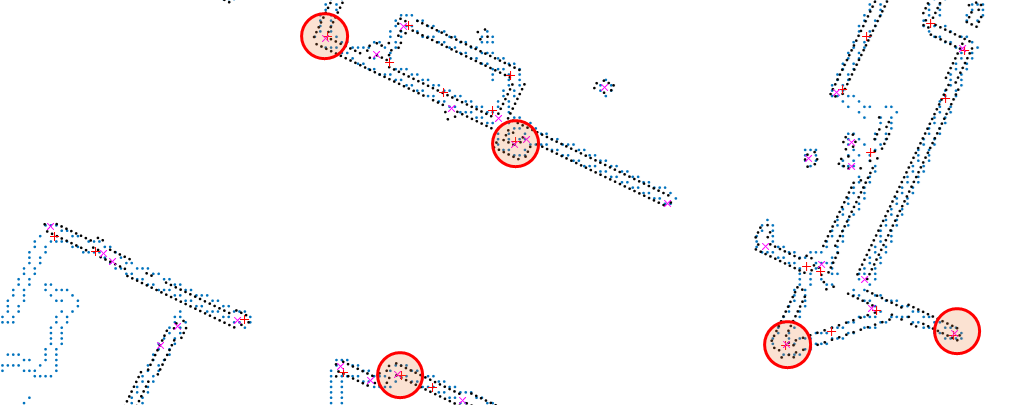
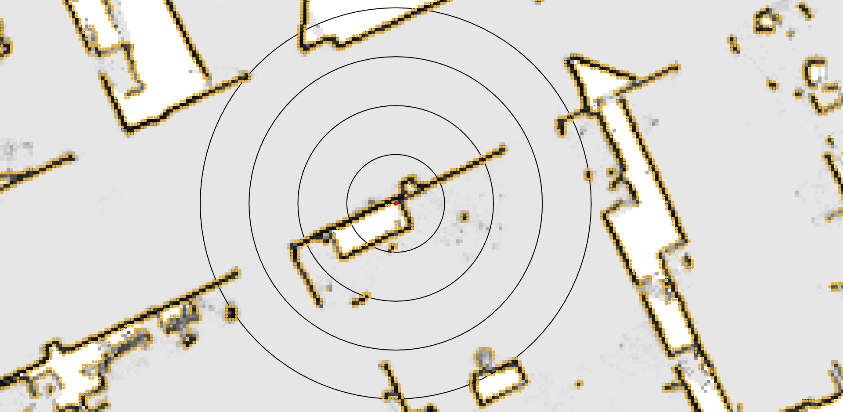
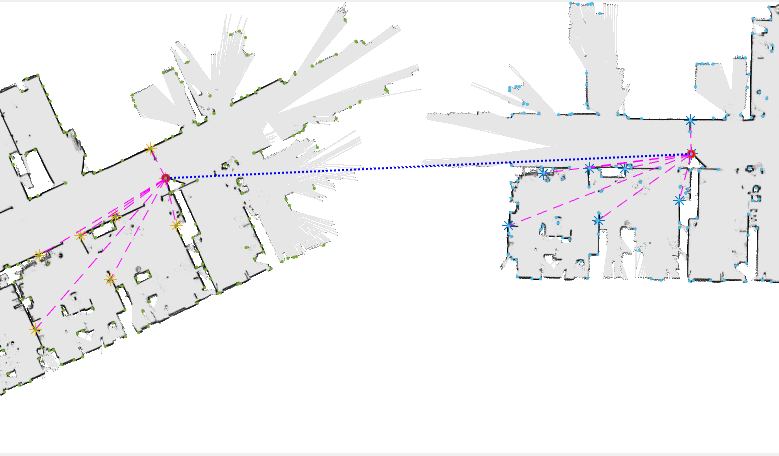


图3-1 同一位置的Harris角点

对于条件（2），为生成有标志性的描述子，目前国内外的做法通常是使用SIFT描述子作为兴趣点的特征[~]，然而SIFT算法要在多个尺度建立128维描述子，对于纹理单一的栅格地图拼接问题描述过于冗余，过多的计算与匹配问题会提高问题的复杂度。因此本文采用[6]中提出的多尺度快速描述子来描述兴趣点，这种特征基于当前兴趣点和周遭兴趣点！！！！的整体位置关系，而不是对全部周遭环境取某种统计量，对当前兴趣点进行描述。因此当合理选取兴趣点，即上述采用的均匀选取高强度Harris角点方法时，可以减少了一对栅格地图中因噪声和距离，造成同一位置上地图却有差别的影响。

（here!）

* 1. 算法实现



匹配对扩展

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

1. 实验
2. 结论
3. Reference
4. 祝继华, 周颐, 王晓春,等. 基于图像配准的栅格地图拼接方法[J]. 自动化学报, 2015, 41(2):285-294.
5. Rapp M, Giese T, Hahn M, et al. A Feature-Based Approach for Group-Wise Grid Map Registration[C]// IEEE, International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2015:511-516.
6. Saeedi S, Paull L, Trentini M, et al. Map merging using hough peak matching[C]// Ieee/rsj International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2012:4683-4688.
7. Chetverikov D, Svirko D, Stepanov D, et al. The Trimmed Iterative Closest Point algorithm[C]// 16 Th International Conference on Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2002:30545.
8. Harris, C., & Stephens, M. (1988, August). A combined corner and edge detector. In Alvey vision conference (Vol. 15, No. 50, pp. 10-5244).
9. Lei H, Jiang G, Long Q. Fast Descriptors and Correspondence Propagation for Robust Global Point Cloud Registration[J]. IEEE Trans Image Process, 2017, PP(99):1-1.