

巡逻机器人同步定位与地图导航研究

哈尔滨工程大学本科学生学位论文答辩

学生姓名：田雅夫¹ 指导教师：周卫东¹

哈尔滨工程大学，自动化学院¹
学号：2012041423

2016 年 6 月 13 日

课题概述

- 研究背景：服务机器人与巡逻机器人的自主环境构建
- 研究目的：
 - 机器人自主环境探索与地图构建
 - 机器人工作环境的自主切分
 - 机器人路径规划
- 研究重点：
 - 机器人环境构建的精准度，抑制累积误差的能力
 - 算法时间，空间复杂度与问题规模
 - 机器人实际测试与人机交互
- 研究背景：
 - 作为国家自然科学基金项目（No.61305103, No.61473103, 空间语义地图机器人自主在线构建方法研究），高等学校博士学科点专项科研基金（No.20122302120039），黑龙江省自然科学基金 (QC2014C072) 的底层技术支持，为机器人地图语义学分析提供基础。
 - 为智能服务机器人，巡逻机器人提供技术支持

研究思路与论文框架

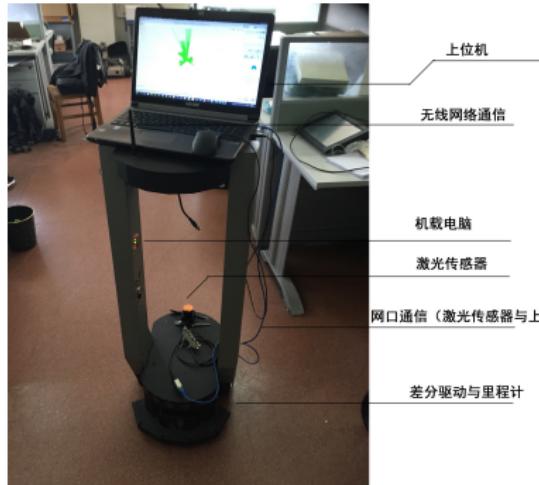
- 使用激光扫描仪 -里程计混合定位方式实现同步定位与地图构建（第二章）
- 将扫描结果与已知地图进行匹配，通过匹配结果修正机器人位姿，减少累积误差（第二章）
- 利用空间索引树，几何地图等方式减少地图存储空间，利用“空间换时间”的思路减少算法时间复杂度（第三章）
- 利用谱分割进行地图自主切分，利用轮廓系数评价切分结果（第四章）
- 使用启发式路径规划算法减少机器人寻路时间（第五章）
- 第六章对系统的设计与实现思路进行简述，第七章给出测试与试验结果

国内外研究成果

- 机器人 SLAM (Simultaneous Localization And Mapping, 同步定位与地图构建) 的数据来源通常为机器视觉或多传感器的融合。
- SLAM 算法的研究热点已经从基于扩展卡尔曼滤波 (EKF) 的算法转移到基于图优化算法的方向
- 环境分割方法能够极大的消减 SLAM 问题的时间复杂度，利用环境分割方法已经能够达到线性时间复杂度的，近似最优解的方法。
- 灰色系统理论，隐马尔科夫模型等方法在 SLAM 问题中的应用为当下 SLAM 领域的热点问题
- 自主环境构建的热点研究方向包括多智能体 (Multi-Agent)，语义学，闭环检测，特征识别等方向。

机器人与传感器

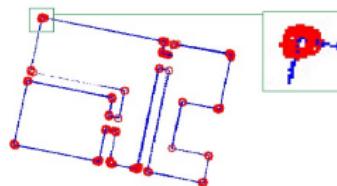
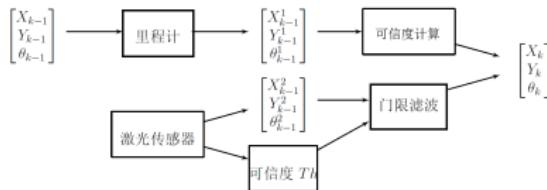
- 机器人：PeopleBot-sh (Aria Mobile Robot 公司生产)
 - 驱动方式：差分驱动
 - 里程计：光电码盘，与轮子同轴
 - 激光传感器：Hokuyo UST-10LX 传感器（第三方传感器）
 - 机载电脑：英文 win7 系统
 - 上位机：神舟战神 K660E-i7，中文 win7 系统



图：机器人外形图

地图构建算法

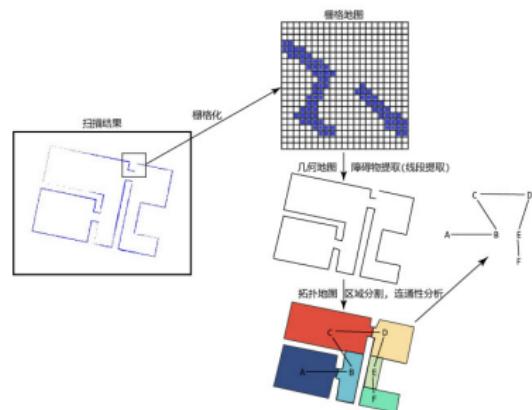
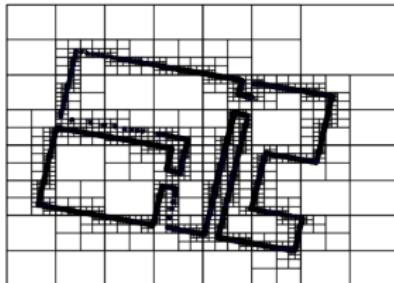
- 里程计 - 激光传感器混合定位，激光传感器构建地图
- 里程计主要定位，激光传感器矫正误差
- 扫描结果与已知地图匹配方法：
 - 角点匹配
 - 线段匹配
 - 帧间连续性判别



图：左图：机器人地图构建示意图，右图：全局地图中的角点识别

地图存储方式

- 栅格地图：矩阵存储，空间索引树存储
- 几何地图：基于线段的几何地图构建
- 拓扑地图：拓扑地图构建（地图分割）



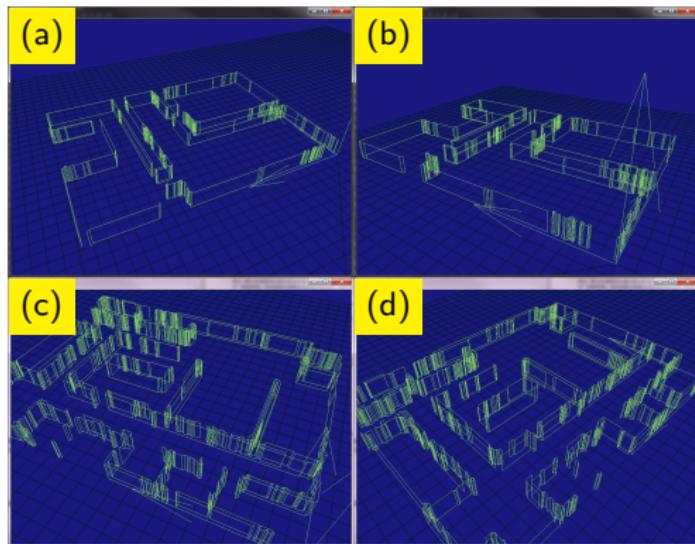
图：地图构建流程示意图

自主地图分割

- 基于谱聚类算法进行地图分割
- 谱聚类算法流程：
 - 构建相似度矩阵
 - 计算归一化拉普拉斯矩阵
 - 求取归一化拉普拉斯矩阵前 K 小的特征值与特征向量
 - 对特征向量构成的矩阵进行聚类
- 针对聚类数目不确定的问题，利用轮廓系数进行自适应聚类
- 针对激光传感器扫描范围有限，获取信息不完全的问题，使用虚拟路标进行聚类

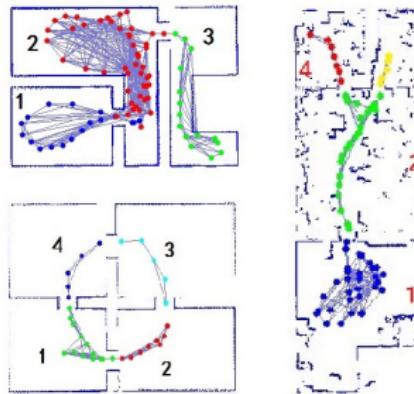
地图的显示

- 利用 openCV 动态显示已知地图，包括栅格地图与几何地图的显示
- 实现了简单的人机交互界面，可用于控制机器人运动
- 利用 OpenGL 实现了几何地图的三维显示，更加直观的展示机器人工作空间
- 三维显示下可使用鼠标，键盘与地图进行交互（更改视角）

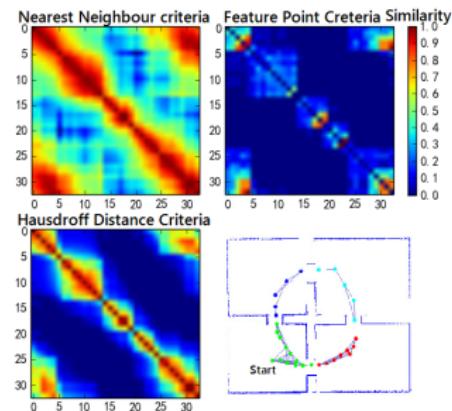


图：OpenGL 下三维地图显示效果图

自主地图分割



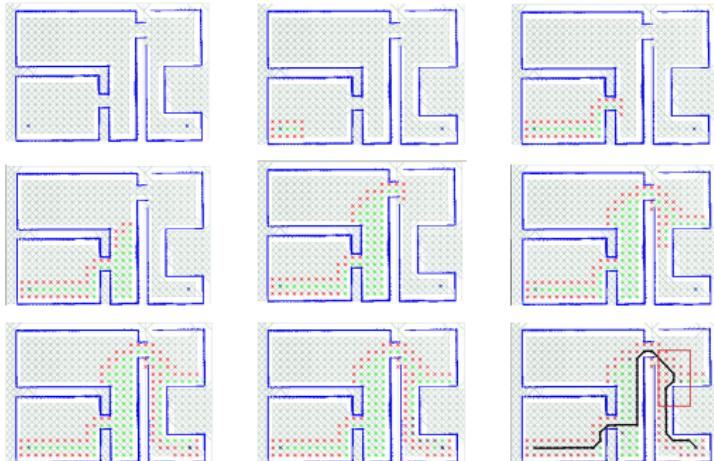
图：自适应聚类算法效果



图：不同相似度判别准则效果图

启发式路径规划

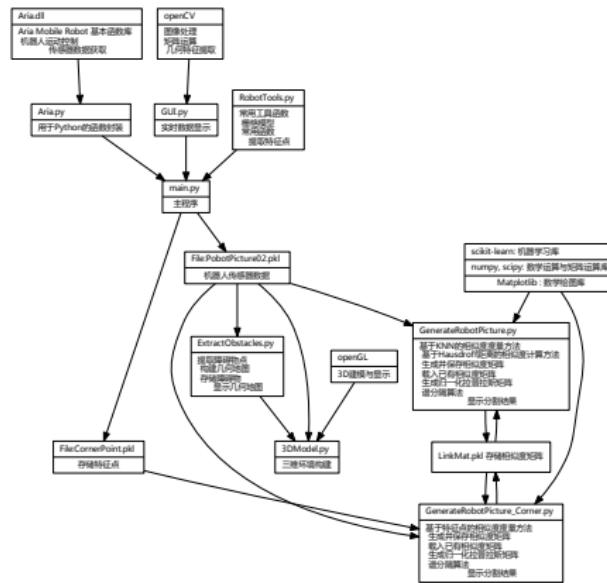
- 在给定地图上生成导航拓扑图
- 利用 Astar 启发式算法进行路径规划
- 采用汉明距离作为启发函数，减小计算量 (避免大量开方运算带来的性能损失)



图：基于 Astar 的导航算法测试图

程序结构

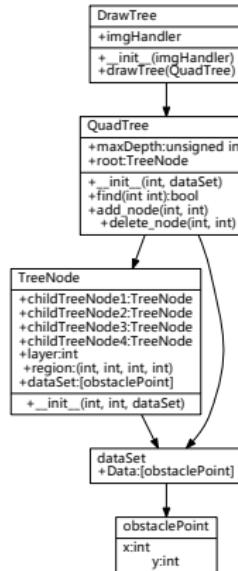
各模块调用关系示意图



图：各模块调用关系示意图

程序结构

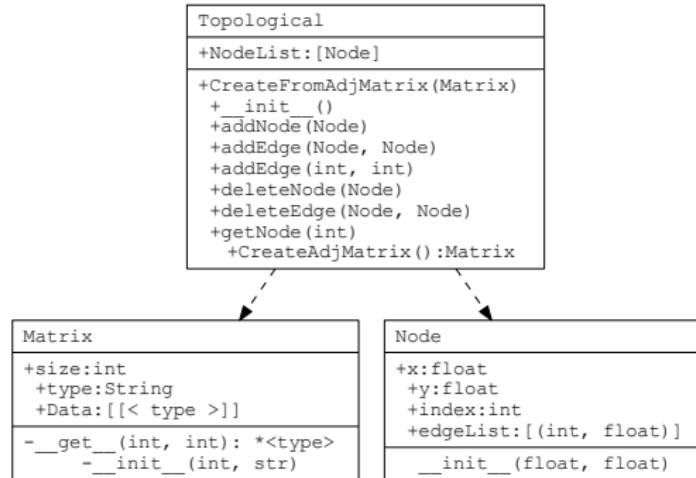
栅格地图四叉树化模块



图：栅格地图四叉树化模块

程序结构

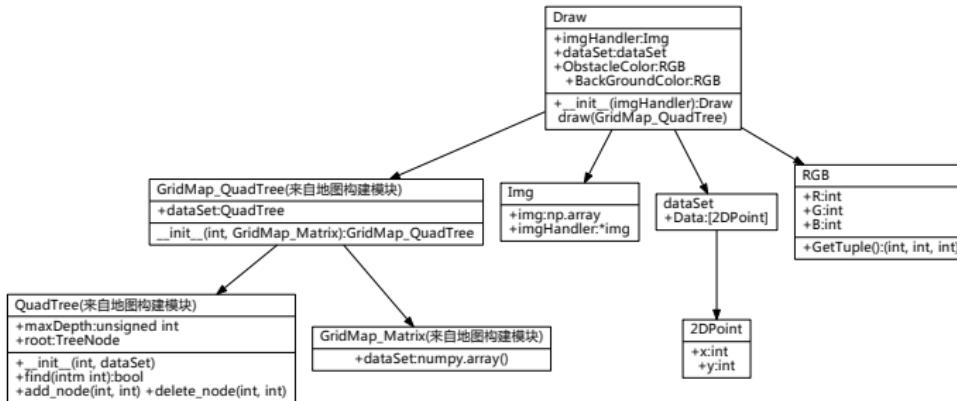
拓扑地图存储模块示意图



图：拓扑地图存储模块示意图

程序结构

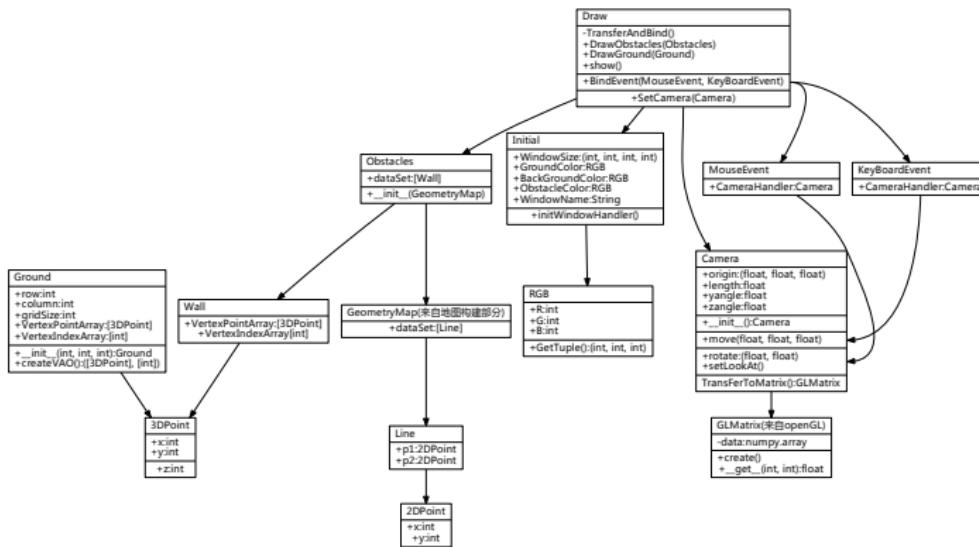
二维地图显示模块



图：二维地图显示模块

程序结构

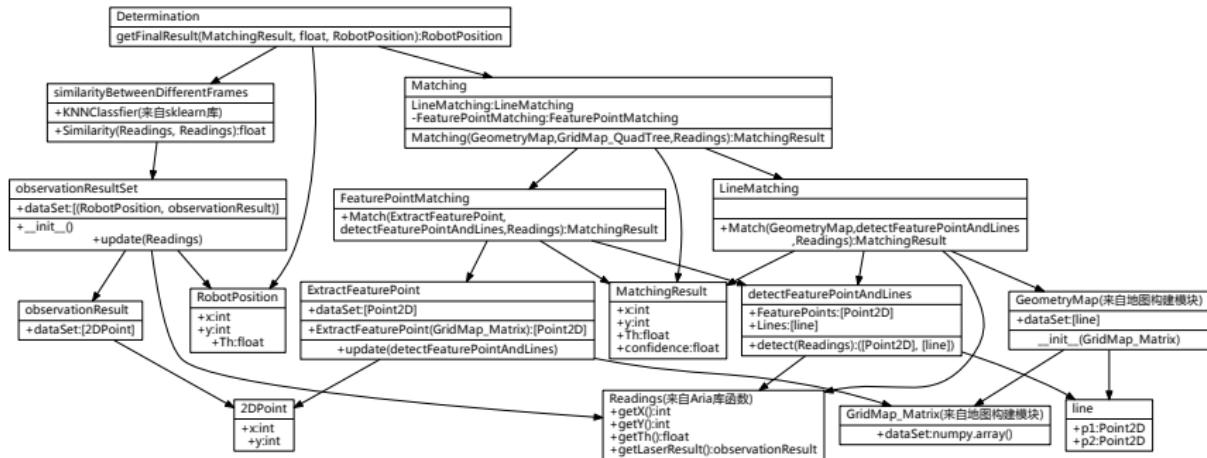
三维地图显示模块



图：三维地图显示模块

程序结构

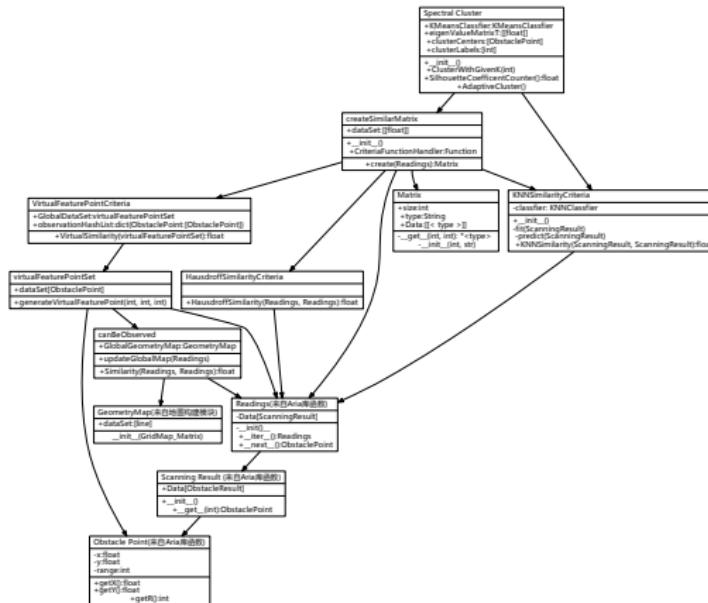
机器人 SLAM 模块



图：机器人 SLAM 模块

程序结构

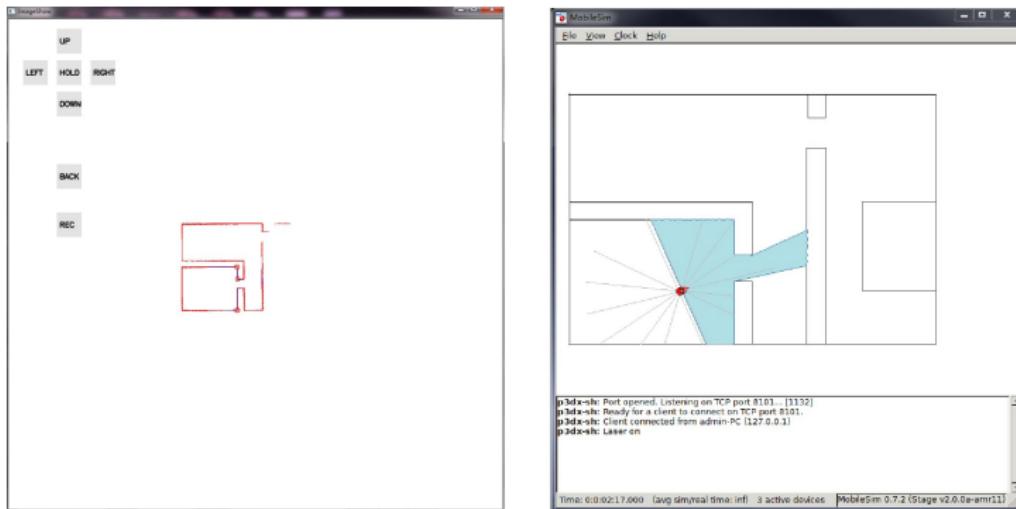
机器人自主地图分割模块示意图



图：机器人自主地图分割模块示意图

模拟平台测试结果

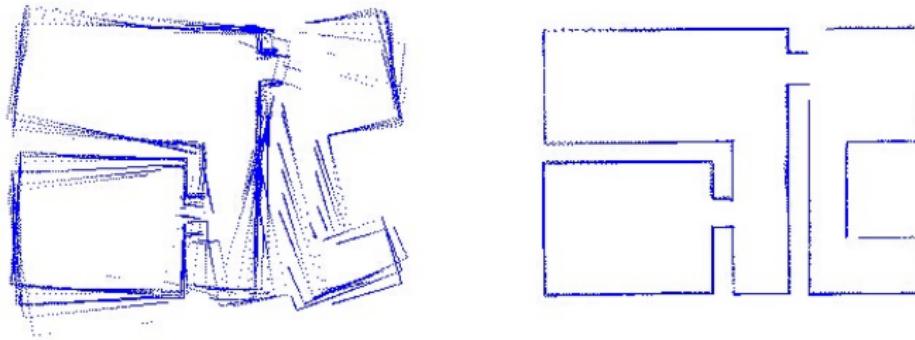
用户界面（主界面）



图：左图为机器人 SLAM 平台的用户界面，右图为 mobileSim 仿真平台界面

模拟平台测试结果

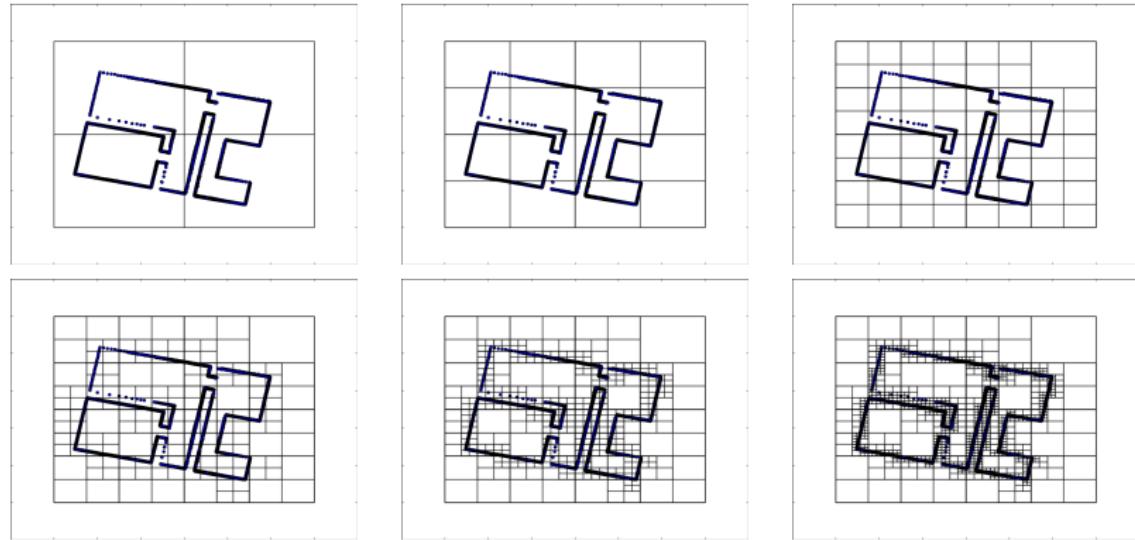
同步定位地图构建



图：左图显示了单纯依靠里程计进行 SLAM 带来的累计误差，在该模式下，不利用激光传感器进行里程计校正。右图显示了利用激光传感器进行里程计误差矫正的结果，与左图结果相比减少了累计误差

模拟平台测试结果

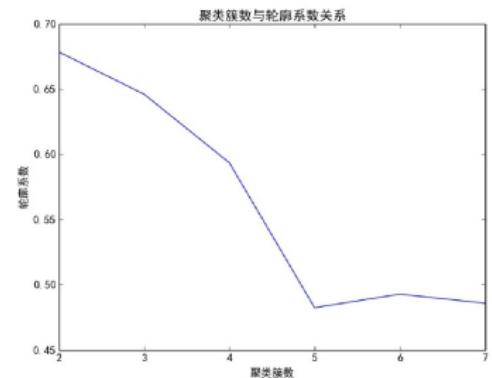
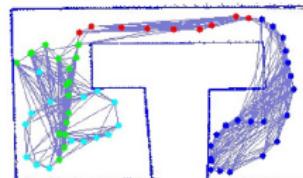
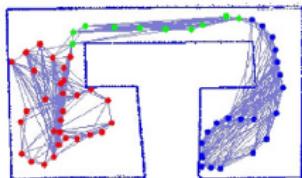
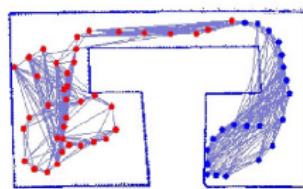
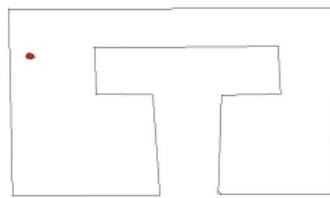
同步定位与地图构建测试



图：对于给定地图的四叉树表示，图中分别给出了四叉树深度为 1,2,3,4,5,6 时的四叉树

模拟平台测试结果

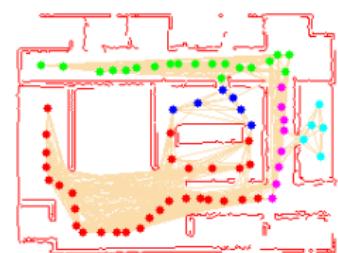
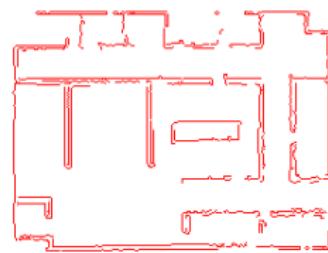
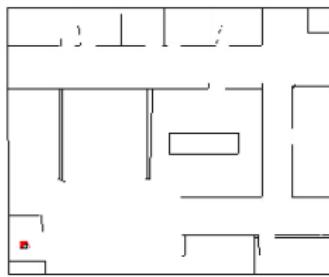
自适应地图分割算法测试



图：聚类簇数与轮廓系数关系

模拟平台测试结果

几何地图的构建与地图分割



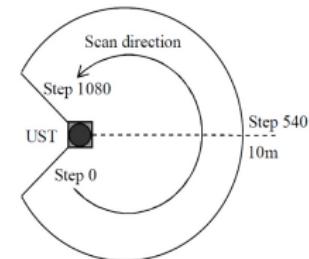
图：左图为模拟环境，中图为构建出的几何地图，右图中利用几何地图进行环境的切分。
在房间特征不明显的情况下，算法依然将环境且分为比较有代表性的各个部分

实际测试结果

传感器



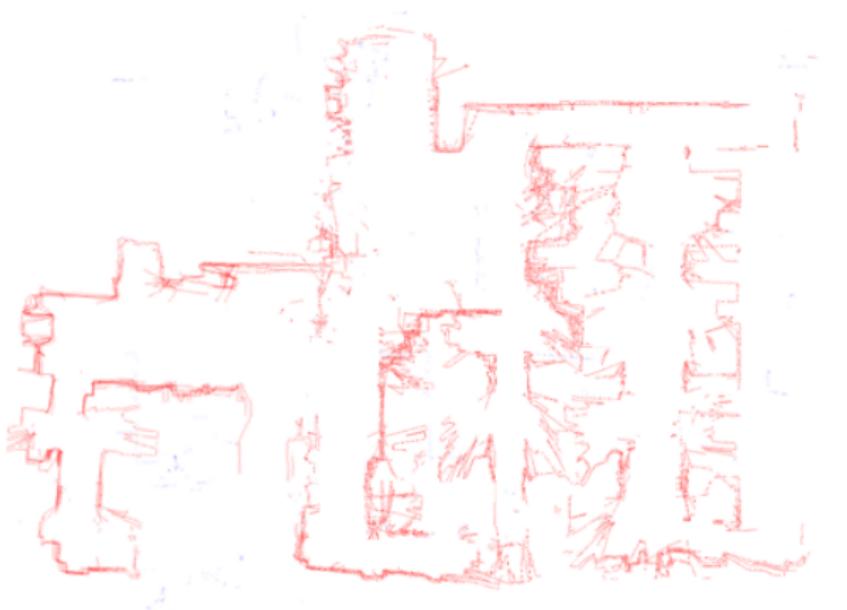
Measurement steps 1081
Detection angle 270°
Angular resolution 0.25°



图：HOKUYO 激光传感器照片与性能参数

实际测试结果

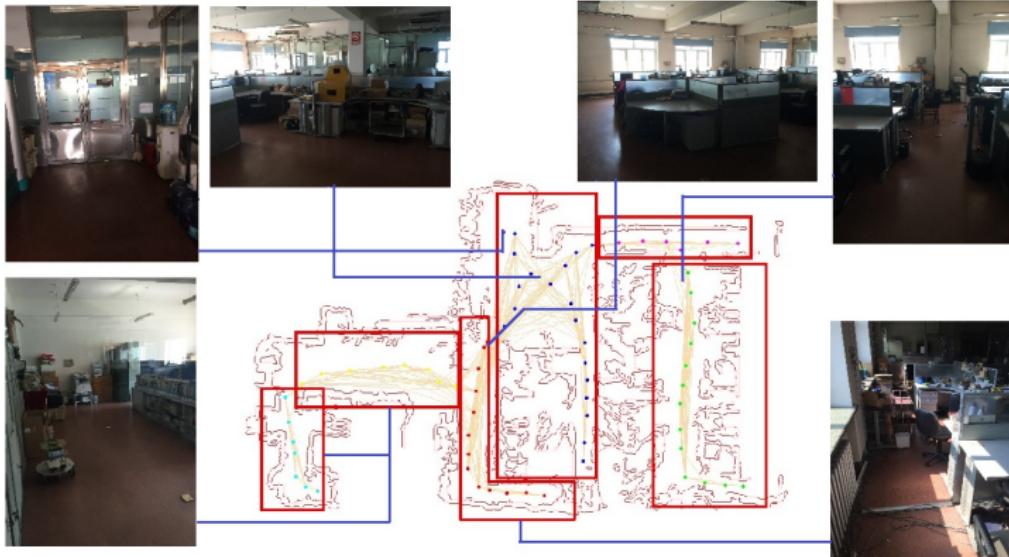
机器人自主环境构建



图：实际环境地图构建结果，测试地点为哈尔滨工业大学机器人研究所 305 室

实际测试结果

机器人自主环境构建



图：实际环境地图分割结果，采用虚拟路标可视性相似判据进行地图分割。分割的结果（各个子图）均包含一定的语义学含义

总结

主要成果

- 实现了基于激光传感器的中小范围 SLAM 算法. 并根据 SLAM 环节收集数据, 进行了多种地图形式的构造.
- 实现了机器人自主地图分割算法, 提出了基于轮廓系数的自适应谱聚类方法
- 在地图分割部分, 提出并实现了多种相似度度量方式
- 在构建地图的基础上, 本文还实现了地图的实施绘制与更新.
- 实现了基于 Astar 算法的机器人导航算法, 可实现地图内任意点对点的最优路径规划.
- 实现了一个相对高效的, 基于有限自动机的机器人避障探索方法,

本人作为第一作者, 基于本毕业论文第四章谱分割部分的研究成果完成了会议论文: Fast Map Segmentation Method Based On Spectral Partition For Robot Semantic Navigation, 被 ICMA2016 接受并被 EI 检索。

致谢

本课题选题与研究过程中得到了哈尔滨工程大学与哈尔滨工业大学许多老师的帮助与支持. 在此对各位给予我帮助的老师致以真诚谢意.

- 在选题与研究阶段, 哈尔滨工程大学自动化学院的周卫东老师为我进行了指导与把关, 作为毕设指导老师详细的指出了我研究过程中存在的不足及改进方法.
- 在选题与研究阶段, 哈尔滨工业大学机电学院机器人研究所的李瑞峰老师, 王珂老师对我的研究提供了极大的支持.
- 在选题与研究阶段, 哈尔滨工业大学计算机学院的臧天仪老师提供了宝贵的研究思路与发展方向.

向以上帮助了我的老师, 与大学四年间教育我的老师们致以最诚挚的谢意! 向所有关心并支持我的人们表示衷心的感谢!