**基于RGB\_D信息的室内机器人SLAM和路径规划研究**

孙弋 张笑笑

（西安科技大学 通信与信息工程学院，陕西 西安 710121）

**摘要：**针对我国煤矿事故频发，且救援水平较低的现状，研究适用于井下发生灾难后无电、无通信信号的环境下煤矿救援机器人系统，使机器人能够从安全区自主的到达灾难现场取得环境信息，并且能自主的返回到安全区。在完成该任务时需具备自主定位、建图、路径规划与运动控制的能力。本文通过机器人搭载的 RGB-D 传感器，在ROS环境下，对传感器获取的室内环境的RGB图与RGB\_D图，进行特征提取与匹配，获取机器人当前实时位姿并结合环境点云数据通过GMapping 算法建立环境栅格地图。在环境地图上，利用蚁群路径搜索算法，对机器人进行路径规划。实现了移动机器人室内环境下的同时定位与建图（SLAM），并在生成的环境地图中进行路径规划。

**关键词：**RGB-D传感器，SLAM，Gmapping，环境地图，路径规划

Research on indoor robot SLAM and path planning based on RGB\_D information

Yi Sun Xiaoxiao Zhang

(School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710121, China)

**Abstract：**Mobile robots need to have the ability of autonomous positioning, mapping, path planning and motion control in various auxiliary tasks. In this paper, the RGB-D information acquired by the depth sensor kincet and the SLAM algorithm are used for autonomous positioning. The point cloud data and the GMapping algorithm are used to establish the environment raster map. On the environment map, the ant colony path search algorithm is used to path the robot. Simultaneous positioning and mapping (SLAM) in the indoor environment of mobile robots is realized, and path planning is performed in the generated environment map.

**Keywords:** Kincet sensor, SLAM, environmental map, ant colony algorithm, path planning

引言

近年来，智能移动机器人技术得到飞速发展，已经应用到矿井、安防、家庭服务等领域，在煤炭资源的开采过程中，由于机械化程度低、煤层地质结构复杂、高瓦斯矿井多等原因煤层瓦斯爆炸、透水等矿难发生。事故发生后事故现场可能存在各种情况，包括垮塌、高温高湿、电力中断、通信中断、火灾等。一旦出现事故，矿工们的人身安全面临危险。如何及时、迅速地开展救援工作、发现被困矿工是减少矿难人员和降低财产损失的有效途径。但灾后井下救援环境不稳定，很可能随时可能发生二次灾难，救护人员直接进入灾区，人身安全得不到保障。研发一系列能够替代或部分替代人工快速进入事故现场，迅速准确获取事故现场环境信息以及进行辅助救援的自主行为救援机器人具有极其重要的现实意义。解决该问题的主要关键点在于如何实现机器人的自主定位和自主路径规划。包括三个任务：定位、建图和路径规划。前两个任务被称为实时定位与建图（Simultaneous Localization and Mapping，SLAM），第三个任务是路径规划，即根据已知的地图规划出一条到达目标的最佳路径。智能机器人要实现地图构建与导航，需要搭载激光雷达，声呐、GPS、单目、双目摄像机等传感器来获得环境信息，然而搭载大量的传感器会导致成本的增加，限制了智能机器人的发展。因此设计一款结构简单、经济性和通用性良好的机器人系统成为亟待解决的问题。

基于视觉的建图与定位导航方法是现在移动机器人研究的一大热点。周兆英等人提出通过特征提取、特征匹配等图像处理技术实现小车的建图与导航。沈俊等人提出了激光雷达和深度相机融合的定位与建图方法，通过信息融合的方式降低机器人在复杂环境下的不确定性。本文使用基础硬件底盘，搭建深度传感器通过开发整合相应算法，建立了一个硬件结构简单、易开发维护的自主移动机器人系统，在前人的基础上，通过RGB\_D传感器提供的彩色和深度图片，利用SLAM算法进行自身地位，然后通过 Gmapping算法进行地图构建，并在地图上进行路径规划研究。实验表明本文所述方法能够实现自身定位和构建环境地图并且能够有效进行路径规划。

1 硬件平台与系统框架

1.1系统结构

本文使用的硬件平台是由一个运动底盘，一个RGB\_D传感器以及移动运算平台构成。所使用的linux计算机安装配置了ROS。ROS（robot operating system）是一个开源的机器人操作系统。它提供了很多关于机器人的硬件抽象、以及常用功能的实现。它是一种分布式的处理框架，ROS 中提供给了大量的功能级软件包，包括用于移动机器人在室内环境下定位与建图的Gmapping 软件包、用于导航和避障的 Navigation 包、处理激光雷达点云的软件包等。在这个环境下，可方便地开发后续的移动机器人自主定位、障碍物检测规避与运动控制等算法。完成的功能有：SLAM算法、二维栅格地图构建、机器人路径规划。

系统的软件结构如图1所示：



图1 系统软件结构

系统主要包括以下功能模块：

1) 实时定位：根据机器人搭载的RGB\_D传感器获取的环境深度数据，利用SLAM 算法计算出机器人当前位姿。

2) 环境地图创建：通过融合不同帧之间的RGB和RGB\_D 数据，得到三维环境的点云数据，通过对点云信息降维生成激光类型数据，并结合机器人当前位姿，利用GMapping 建立二维栅格地图。

3) 路径点生成：根据建立的栅格地图，结合定位信息，通过改进A\*算法规划运动路径点。

1.2 RGB\_D传感器

单目SLAM估计的轨迹和地图，将与真实的轨迹地图，相差一个因子，也就是所谓的尺度。由于单目SLAM无法仅凭图像确定这个真实尺寸，所以又称为尺度不确定性。 本质原因是通过单张图像无法确定深度。 双目相机由两个单目相机组成，但这两个相机之间的距离（称为基线）是已知的。我们通过这个基线来估计每个像素的空间位置，基线距离越大，能够测量到的就越远，双目与多目的缺点是配置与标定均较为复杂，其深度量程和精度受双目的基线与分辨率的限制，而且视觉计算非常消耗计算资源，需要使用GPU和FPGA设备加速后，才能实时输出整张图像的距离信息。因此在现有的条件下，计算量是双目的主要问题之一。

与单目和双目相机相比，RGB-D 相机可以很方便地获得深度信息，给 SLAM带来了很大的方便。本文采用的 RGB-D 相机是微软在2014年发布的 Kinect V2。

Kinect传感器是一种基于RGB\_D传感器的图像采集设备，即可以同时获得图像的RGB彩色信息以及深度信息。Kinect总共有3个摄像头，中间的一个就是RGB摄像头，可以获取彩色图像，跟普通的摄像头一样，彩色图像数据流以一系列静态图像的形式传送给应用程序，两边的深度传感器会产生并接受随机分布的红外光线，用以确定物体距离Kinect传感器的距离并计算出深度图像。深度数据是指Kinect视野范围内的物体到Kinect的三维空间距离。深度图像是16为灰度图像并且包含了每个像素点的深度信息，结合RGB和深度数据可以得到控制机器人运动所需的三维距离信息。

2 主要研究方法

2.1 基于RGB-D SLAM的实时定位

一般情况下，基于图像的 SLAM 系统可以分为三个部分：前端处理，后端处理和地图表示，RGB-D SLAM 算法也是按照这个框架构建的。前端主要通过传感器数据来获得环境的空间几何关系，如不同时间点机器人和路标间的关系。对于RGB-D相机视觉里程计，可以直接将获取的彩色图像和深度图像进行对齐特征点，可以直接获得深度信息得到3D-2D的特征对齐并依此来估计相机的运动。本文基于采用的移动机器人系统软硬件平台，实现了如图2所示的ORB-SLAM 算法。

对两张RGB图像，提取 RGB-D 数据中彩色图像的 ORB 图像特征，对图像特征点做初始匹配，得到初始点对，同时利用深度信息进行尺度判断。通过特征提取和匹配，两帧图像特征点之间的关系得以确定，再利用两个彩色图像对应特征点的深度信息，得到两幅图像之间的3D-2D关系，进而利用 ICP算法进行当前帧位姿优化，获得当前帧位姿等信息，然后判断是否为新的关键帧，用于进行局部建图。在此基础上针对图像特征匹配存在较大误差致使位姿估计精度低的问题，采用随机抽样一致性（RANSAC）算法消除误匹配点作为位姿估计的策略，提高了系统的鲁棒性。由于不同帧之间的对应位姿估计不一定是全局一致的,所以需要在后端对获取的位姿利用g2o进行优化,得到RGB-D传感器相对于初始位姿的当前位姿。同时，融合不同帧之间的数据，得到融合后的三维环境点云数据。



图3 基于RGB\_D信息的ORB\_SLAM算法流程

2.2 基于GMapping 的二维栅格地图创建

栅格地图用于表示二维平面坐标点存在障碍物的概率值，具有构建速度快、存储空间小、易扩展等优势。为实现路径规划，有必要建立二维栅格地图，对此 GMapping 算法具有良好性能。Gmapping 算法基于 Rao-Blackwellized粒子滤波器（Rao-Blackwellized ParticleFilter，RBPF），其建立的栅格地图具有良好的性能。该算法的核心思想是: 在当前环境中，将随机给定的初始坐标作为起点开始建图，该部分建图完成后，移动机器人，将上一时刻新建的地图与采集到的激光数据进行匹配，进而确定机器人位置，进一步根据深度传感器相对机器人的位置完成建图。

GMapping 算法的输入为当前位姿及二维激光类型观测数据，输出为二维栅格地图。当前实时位姿通过ORB-SLAM 获取，而二维激光类型观测数据由RGB-D 数据生成。利用获取的点云信息，根据移动机器人高度、RGB-D 的实际观测视角及深度范围添加采样约束，取约束范围内离移动机器人最近的点集，降维生成在指定坐标系平面 (移动机器人基坐标系平面) 的激光类型数据。这种方法保留了环境立体信息，有利于自主移动机器人系统及时根据环境变化进行响应。

建图过程中，GMapping 把订阅ORB-SLAM 生成的移动机器人实时位姿作为里程计信息，通过RGB-D 点云生成的激光类型数据，实时建立环境的二维栅格地图。基于建图环节的优化，ORB-SLAM 提供的实时位姿具有较好的稳定性与精确性，且位姿更新频率能达到 20 Hz，满足需求；同时，根据移动机器人高度约束，取符合高度范围内的 RGB-D 点云用于地图构建。

Gmapping 算法的主要过程如下：

（1）输入 t-1 时刻的里程计信息 ut-1， 粒子集合 St-1， 以及 t时刻的观测值 zt。

（2）表示粒子集合中的粒子 ，x 表示位置，w 表示粒子权重，m 表示地图信息。

（3）For all ，do

（4）进行运动更新，根据里程计模型更新粒子位置。

（5）进行观测更新 ，用观测模型进行更新，并结合运动更新后的粒子的位置、上一时刻粒子权值计算当前时刻粒子权值

（6）计算相对应的高斯分布，根据以及计算均值与协方差矩阵，形成高斯分布，从高斯分布中获取 t 时刻粒子位置。

（7）根据观测信息及计算的最佳粒子位置，更新地图。

（8）更新粒子集

（9）End for。

（10）从 St中进行重采样。

由于GMapping 栅格地图构建的方式实时性较好，在本平台上能达到最少 5 Hz 的更新频率，为自主移动机器人平台实时进行路径规划与控制提供了保证。使用ROS实现Gmapping 算法的流程如图4所示，数据包重放节点发布里程计消息、激光扫描消息、坐标变换消息，Gmapping 节点订阅以上消息，并结合机器人模型的静态坐标消息构建二维栅格地图，并发布地图消息。



图4 GMapping算法ROS节点关系图

2.3 基于\*\*算法的路径点生成

3 实验结果与分析

3.1 实时定位与地图构建实验结果

3.2 路径规划仿真结果

4 结束语

5 参考文献