

doi: 10.7690/bgzd.2024.06.021

# 一种基于 ROS 的分布式安防巡逻机器人系统

丁林祥<sup>1</sup>, 陶卫军<sup>2</sup>, 黄潇<sup>1</sup>

(1. 东南大学成贤学院, 南京 210088; 2. 南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

**摘要:** 针对目前安防巡逻机器人系统中对机器人主控机负载能力要求较高的问题, 设计一种基于机器人操作系统(robot operating system, ROS)的分布式安防巡逻机器人系统。将同时定位与建图(simultaneous localization and mapping, SLAM)节点以及视觉识别节点分布于局部 ROS 网络中的机器人主控机和远程监控端, SLAM 方面采用 gmapping 算法实现动态环境中的地图构建以及机器人的定位; 视觉识别方面采用 TensorFlow 深度学习框架, 利用 TensorFlow Object Detection API 实现场景里多个物体的识别。结果表明, 该系统为基于 ROS 的分布式安防巡逻机器人系统的设计提供了参考。

**关键词:** 安防巡逻机器人系统; ROS; 分布式系统; SLAM; 视觉识别

**中图分类号:** TP242.6 **文献标志码:** A

## A Distributed Security Patrol Robot System Based on ROS

Ding Linxiang<sup>1</sup>, Tao Weijun<sup>2</sup>, Huang Xiao<sup>1</sup>

(1. Chengxian College, Southeast University, Nanjing 210088, China;

2. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the current security patrol robot system has a high requirement for the load capacity of the robot master controller, a distributed security patrol robot system based on robot operating system (ROS) is designed. The simultaneous Localization and mapping (SLAM) nodes and the vision recognition nodes are distributed in the robot host and the remote monitor in the local ROS network. On the SLAM side, the gmapping algorithm is used to realize the mapping in the dynamic environment and the localization of the robot; In the aspect of visual recognition, TensorFlow deep learning framework is used to recognize multiple objects in the scene by using TensorFlow Object Detection API. The results show that the system provides a reference for the design of ROS-based distributed security patrol robot system.

**Keywords:** security patrol robot system; ROS; distributed system; SLAM; vision recognition

## 0 引言

随着我国城市化发展, 人民生活水平与安防意识的不断提高, 越来越多的安防产品逐渐出现在人们的生活之中。尤其是“十三五”以来, 国家推出智慧新防控、智慧公安等政策极大推动了我国安防产业的发展<sup>[1-2]</sup>。安防系统也进入了社会的各方面, 特别是大型工厂以及对人体有害的场所, 安防系统的建立尤为重要。传统的安防系统为布点式, 将监控设备固定在监控区域的各个位置<sup>[2-3]</sup>。该方式能够节省人力资源, 但由于监控装备覆盖范围有限, 会出现监测盲区, 存在较大隐患。

可移动式安防巡逻机器人可以弥补布点式安防系统的不足。近年来, 国内外的可移动式安防巡逻机器人发展迅速, 2013年, 美国安防公司生产的一款室外自主导航式机器人 Knightscope K5 能够进行 360° 的视频监控, 具备多种传感器, 能够进行车牌

识别、高温检测等<sup>[4]</sup>。2016年, 中国万为智能机器人技术有限公司开发的 ANBOT 安防巡逻机器人, 采用 2 维激光同时定位与建图 (SLAM) 技术, 能够进行自主避障, 通过人脸识别技术能够对特定危险人员进行识别。2017年, 中国大陆智源开发的 ANDI 安防巡检机器人采用六轮独立悬架底盘, 可在草地、山地等复杂环境中移动。2017年, 中国大道智创开发的“e 巡”机器警长具备夜间探测能力, 采用视觉 SLAM 进行定位和导航。2019年, 日本 ALSOK 公司生产的 Reborg-Z 安防巡逻机器人具备人脸识别功能, 并能够实时监测空气中有害气体浓度<sup>[5]</sup>。

当前的安防巡逻机器人大多都具有多种功能, 对机器人主控机的负载能力要求较高<sup>[3,6]</sup>。笔者利用机器人操作系统 (ROS) 分布式软件框架, 将安防巡逻机器人的 SLAM 节点和视觉识别节点分别置于机器人主控机和远程监控计算机上。由远程监控计算

收稿日期: 2024-01-23; 修回日期: 2024-03-05

基金项目: 2021 年度东南大学成贤学院青年教师科研发展基金项目 (z0024)

第一作者: 丁林祥 (1992—), 男, 湖北人, 硕士。

机来承担视觉识别运算，降低系统对安防巡逻机器人主控机负载能力的要求。

### 1 安防巡逻机器人系统

#### 1.1 系统框架设计

安防巡逻机器人系统主要由安防巡逻机器人本体、局部 ROS 网络和远程监控平台组成。系统总体框架如图 1 所示。

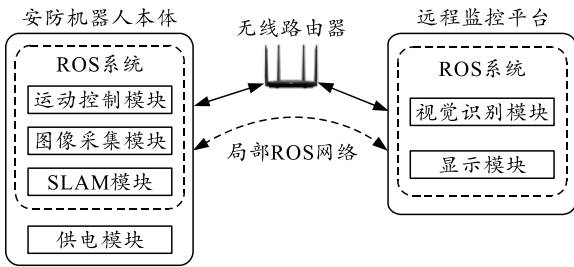


图 1 安防巡逻机器人总体框架

安防巡逻机器人本体中运动控制模块负责机器人本体的运动控制；图像采集模块用于机器人对外界环境进行图像信息收集，其与运动模块配合来实现不同方位的图像采集；SLAM 模块用于在变化的外部环境中实时构建地图、避障和路径规划；供电模块用于给各个模块供电。

局部 ROS 网络中安防巡逻机器人本体和远程监控平台共享相同的调制解调器，主要用于建立安防巡逻机器人和远程监控平台的可靠通信。局部 ROS 网络中的节点之间通过松耦合的方式进行组合，通过 Topic、Service 进行通信。

远程监控平台负责接收和显示安防巡逻机器人发布的地图和环境图像信息，并通过视觉识别模块对环境图像信息进行识别。

#### 1.2 安防巡逻机器人本体硬件设计

安防巡逻机器人本体控制器由上位机 Raspberry 和下位机 STM32F103RCT6 构成。上位机接收激光雷达和相机数据并通过 wifi 模块连接到局部 ROS 网络中，同时通过串口与下位机通信。下位机接收上位机发送的运动控制指令，采用 PID 算法实现对左右轮电机的精准控制。其硬件结构设计如图 2 所示。

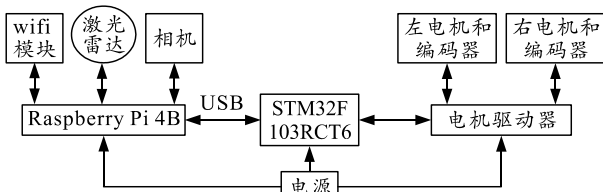


图 2 安防巡逻机器人硬件结构设计

### 1.3 系统软件布局与功能实现

#### 1.3.1 SLAM 软件布局与功能实现

如图 3 所示，系统 SLAM 软件布置于机器人本体，机器人本体负责实现地图构建、定位、导航和运动控制的功能。远程监控端主要通过节点 /rviz 订阅机器人本体发布的话题 /map 和话题 /robot\_pose 显示环境地图以及机器人位姿，同时可以发布话题 /goal\_pose 到 /move\_base 节点控制机器人本体移动。

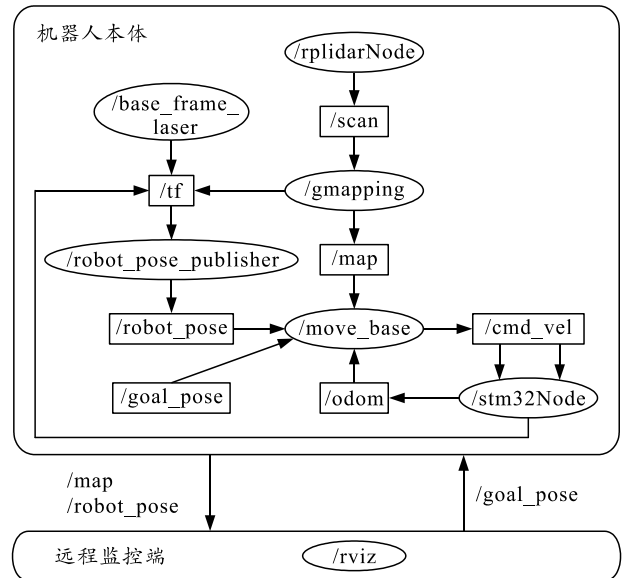


图 3 SLAM 软件布局

安防巡逻机器人的地图构建与定位功能实现使用的 gmapping 算法<sup>[7-11]</sup>。传统粒子滤波算法中使用里程计运动模型作为建议分布给每个粒子分配权重，但系统使用的四轮移动机器人本体存在轮子打滑的现象，基于激光雷达数据比基于里程数据进行运动估计更为精确。所以在将最新激光雷达数据  $z_k$  整合到建议分布中<sup>[11]</sup>，建议分布进行如下变换：

$$p(x_k | x_{k-1}^i, u_k) \rightarrow p(x_k | m_{k-1}^i, x_{k-1}^i, z_k, u_k) \tag{1}$$

式中： $x_{k-1}^i$  为第  $i$  个粒子  $k-1$  时刻的位姿； $m_{k-1}^i$  为第  $i$  个粒子  $k-1$  时刻对应的地图信息； $z_k$  为  $k$  时刻的激光雷达数据； $u_k$  为  $k$  时刻给的控制速度。

粒子权重递推公式则变为：

$$\omega_k^i = \omega_{k-1}^i \frac{\eta p(z_k | m_{k-1}^i, x_k^i) p(x_k^i | u_k)}{p(x_k | m_{k-1}^i, x_{k-1}^i, z_k, u_k)} \propto \omega_{k-1}^i \frac{p(z_k | m_{k-1}^i, x_k^i) p(x_k^i | x_{k-1}^i, u_k)}{\left( \frac{p(z_k | m_{k-1}^i, x_k^i) p(x_k^i | x_{k-1}^i, u_k)}{p(z_k | m_{k-1}^i, x_{k-1}^i, u_k)} \right)} \propto \omega_{k-1}^i p(z_k | m_{k-1}^i, x_{k-1}^i, u_k) \tag{2}$$

式中： $\omega_k^i$ 、 $\omega_{k-1}^i$  分别为第  $i$  个粒子  $k$ 、 $k-1$  时刻的权重。节点/gmapping 订阅激光雷达节点/rplidarNode 发布的激光数据话题/scan，处理后发布环境地图话题/map。安防巡逻机器人导航功能实现使用/move\_base 节点实现，该节点通过 Dijkstra 算法<sup>[12]</sup> 计算全局路径上的最小花费实现最优全局路径规划，通过 Dynamic Window approaches 算法<sup>[13]</sup> 计算机器人每个周期内应该移动的线速度和角速度/cmd\_vel 实现局部路径规划。下位机/stm32Node 节点订阅/cmd\_vel 话题并控制机器人的移动。机器人运行过程中多个坐标系的变换通过 TF 功能包实现，机器人位姿发布节点/robot\_pose\_publisher 订阅激光雷达坐标节点/base\_frame\_laser 和节点/gmapping 以及节点/stm32Node 发布的/tf 话题进行坐标变换的计算，同时发布机器人位姿话题/robot\_pose 给/move\_base 节点。

### 1.3.2 视觉识别软件布局与功能实现

如图 4 所示，系统视觉识别软件分布于机器人本体和远程监控端，机器人本体负责图像数据的采集；远程监控端接收图像信息，识别图像中的物体并进行标注。

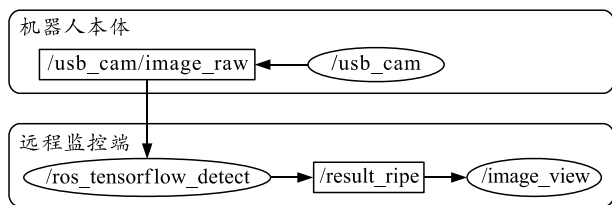


图 4 视觉识别软件布局

视觉识别采用 TensorFlow 机器学习算法框架<sup>[14-17]</sup>，通过节点/ros\_tensorflow\_detect 实现，能够在同一张图片中定位和识别多种物体，其对硬件运算能力有较高的要求。将其分布于远程监控平台，能有效提高机器人本体的负载能力并降低功耗。

机器人本体中的摄像头节点/usb\_cam 通过话题/usb\_cam/image\_raw 发布图像信息，远程监控端的视觉识别节点/ros\_tensorflow\_detect 订阅/usb\_cam/image\_raw 话题并识别图像中的物体，识别结果包含物体标注及概率并以话题/result\_ripe 发布，节点/image\_view 订阅话题/result\_ripe 将识别结果在远程终端上显示。

## 2 实验与分析

### 2.1 SLAM 验证实验

安防巡逻机器人如图 5 所示，机身使用亚克力

板，具有较好的强度和抗腐蚀能力，同时能够减轻机器人的重量。整体为四轮结构，机身顶部安装有激光雷达用于采集地图信息，安装有摄像头用于采集环境图像信息。

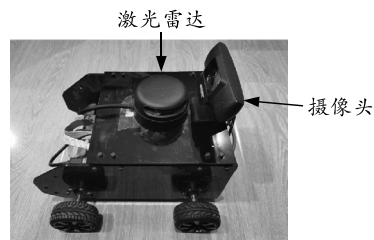


图 5 安防巡逻机器人本体

图 6 为远程监控端设置目标点位姿/goal\_pose，安防巡逻机器人进行路径规划的情况。所规划的轨迹能够合理避开环境中的障碍物，并且基本能够满足路径最短的要求。

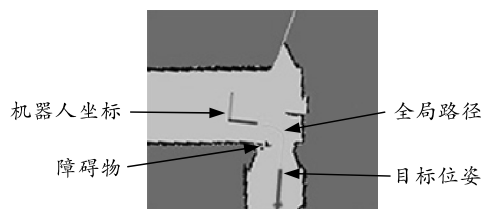


图 6 路径规划

机器人在按规划路径进行移动的过程中，增量式地构建环境地图如图 7 所示，gmapping 算法实时更新地图上的障碍物信息使安防巡逻机器人能够在动态变化的环境中安全移动。ROS 局部网络中的远程监控端订阅地图话题和机器人位姿话题并实时进行显示，方便监控人员远程了解情况。

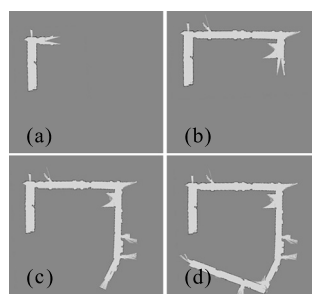


图 7 增量式构建环境地图

### 2.2 视觉识别验证实验

机器人本体使用摄像头采集图像信息通过话题/usb\_cam/image\_raw 发布到局部 ROS 网络中，远程监控端通过节点/ros\_tensorflow\_detect 订阅/usb\_cam/image\_raw 话题并识别图像中的物体。图 8 为安防巡逻机器人采集到的实验场地走道环境图像，并由远程监控端识别显示结果。图中多个物体能够被识别并通过远程监控端显示。

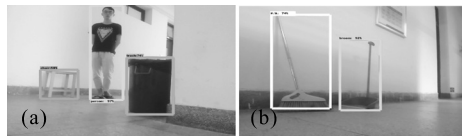


图 8 视觉识别

### 2.3 机器人主控机 CPU 负载分析

使用主控机 CPU 等待进程的平均个数来衡量机器人主控机 CPU 的负载。统计对象分别是笔者设计的系统 A, 以及将 SLAM 和视觉识别功能都集成在笔者设计的机器人主控机的系统 B, 系统 B 的显示终端不分担视觉识别运算任务。每隔 3 min 统计两系统相应时间段内主控机中等待进程的平均个数。如表 1 所示。

表 1 机器人主控机 CPU 负载对比

时间段/min	主控机中等待进程平均个数	
	系统 A	系统 B
1~3	0.96	2.70
4~6	0.89	2.64
7~9	1.06	2.54
10~12	0.97	2.53
13~15	0.97	2.45
16~18	0.82	2.43
19~21	0.84	2.25
22~24	1.01	2.30
25~27	1.01	2.24

由上表可知, 基于 ROS 的分布式安防巡逻机器人系统中, 机器人主控机等待进程的平均个数要小于将 SLAM 和视觉识别功能都集成在机器人主控机中的系统。该系统能够降低系统对安防巡逻机器人主控机负载能力的要求。

## 3 结束语

笔者设计一种基于 ROS 的分布式安防巡逻机器人系统, 由机器人本体、局部 ROS 网络和远程监控端构成。机器人本体负责实现地图构建、定位、导航和运动控制以及图像信息采集的功能; 远程监控端显示环境地图和机器人位姿, 对机器人本体采集的图像进行识别和标注, 同时可发布目标位姿控制机器人本体移动; 局部 ROS 网络保证机器人本体和远程监控平台的可靠通信。通过实验分别验证了系统功能, 机器人本体能够根据远程监控平台发布的位姿进行合理的路径规划, 增量式构建环境地图; 远程监控平台能够订阅机器人本体发布的图像信息进行多物体识别。该系统将 SLAM 节点和视觉识别节点分布于局部 ROS 网络中的机器人主控机和远程监控端, 由远程监控端负责视觉识别任务, 降低系统对机器人负载能力的要求, 可为基于 ROS 的分布式安防机器人系统的设计提供参考。

## 参考文献:

- [1] 魏一. 从科技创新角度看“十三五”安防行业的发展变化[J]. 中国安防, 2020(9): 23-26.
- [2] 徐玉波. “十三五”安防领域机器视觉发展回顾与展望[J]. 中国安防, 2020(9): 27-30.
- [3] 颜颀欣, 张洋. 面向安防的移动机器人控制系统设计[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2019, 24(5): 88-92.
- [4] KEIJSERS M, KAZMI H, EYSSEL F, et al. Teaching Robots a Lesson: Determinants of Robot Punishment[J]. International Journal of Social Robotics, 2021, 13(1): 41-54.
- [5] BASILICO N. Recent Trends in Robotic Patrolling[J]. Curr Robot Rep, 2022, 3: 65-76.
- [6] 田佳, 刘泓滨, 王宇, 等. 一种机器视觉的安防巡逻机器人系统设计[J]. 机械设计与制造, 2020(11): 254-257.
- [7] 丁林祥, 陶卫军. 未知环境下室内移动机器人定位导航设计与实现[J]. 兵工自动化, 2018, 37(3): 12-17.
- [8] LI B, WANG Y, ZHANG Y, et al. GP-SLAM: laser-based SLAM approach based on regionalized Gaussian process map reconstruction[J]. Autonomous Robots, 2020, 44(6): 947-967.
- [9] ZHANG H, LIU K, JIN F, et al. A scalable indoor localization algorithm based on distance fitting and fingerprint mapping in Wi-Fi environments[J]. Neural Comput&Applic, 2020, 32: 5131-5145.
- [10] WANG X, MIZUKAMI Y, TADA M, et al. Navigation of a mobile robot in a dynamic environment using a point cloud map[J]. Artif Life Robotics, 2021, 26: 10-20.
- [11] 徐本连, 鲁明丽, 从金亮, 等. 机器人 SLAM 技术及其 ROS 系统应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021: 92-94.
- [12] 金云, 周苗, 黄仁欢, 等. 一种基于 Dijkstra 算法的动态进路规划方法[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(1): 20-23.
- [13] 姚进鑫, 刘丽桑, 何栋炜. 融合优化 A\*算法与动态窗口法的动态路径规划算法研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2022, 36(7): 197-207.
- [14] 邢艳芳, 段红秀, 何光威. TensorFlow 在图像识别系统中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2019, 29(5): 192-196.
- [15] ZHANG H, LU Z, KE X, et al. Artificial Intelligence Platform for Mobile Service Computing[J]. Journal of Signal Processing Systems, 2019, 91: 1179-1189.
- [16] MARTINEZ-ALPISTE I, GOLCARENARENJI G, WANG Q, et al. Smartphone-based real-time object recognition architecture for portable and constrained systems[J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2022, 19(1): 103-115.
- [17] LOZANO E, BECERRA I, RUIZ U, et al. A visibility-based pursuit-evasion game between two nonholonomic robots in environments with obstacles[J]. Auton Robot, 2022, 46: 349-371.