

基于激光slam的医疗巡检机器人

黄彬 陈宏枢 李有洪

重庆交通大学 重庆 400000

摘要: 老龄化群体的快速增长和国民对医疗服务要求的提高,产生了巨大的医疗市场需求,针对这一现象,本文针对这一问题拟设计一种具有自主导航功能的医疗巡检机器人,在装载生命体征测量传感器、AMR底盘、无畸变摄像头、视频通话装置、高清液晶屏和智能机械臂的情况下实现自主导航、智能避障、床位识别、药品条码识别、药品精确摆放、音视频传输、获取病人的血压、心率、体温等生命体征信息等功能,可以协助医生完成远程查房巡诊任务和协助护士完成送药任务。

关键词: 自主导航; 激光SLAM; 人机交互

Medical inspection robot based on laser slam

Bin Huang, Hongshu Chen, Youhong Li

Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400000

Abstract: The rapid growth of the aging population and the improvement of the national demand for medical services have brought about a huge demand in the medical market. Aiming at this phenomenon, this paper plans to design a medical inspection robot with autonomous navigation function. The functions of autonomous navigation, intelligent obstacle avoidance, bed identification, drug barcode identification, accurate placement of drugs, audio and video transmission, and acquisition of vital signs such as blood pressure, heart rate, and body temperature of patients can be realized by loading vital signs measuring sensor, AMR chassis, distortion-free camera, video call device, high-definition LCD screen, and intelligent mechanical arm, which can assist doctors to complete remote rounds and nurses to complete drug delivery.

Keywords: autonomous navigation; Laser SLAM; Man-machine interaction

一、工作原理及过程

机器人AMR底盘设计以装有ROS功能包的树莓派4b作为主控,STM32RCT6作为底层驱动控制器,底盘上搭建激光雷达,上层机械臂采用STM32RCT6作为主控。树莓派主机通过串口通信控制底盘及其装载的各种传感器模块及上层机械臂的执行动作,在提前建好病房地图的情况下,激光雷达结合SLAM算法实现同步定位,自主导航和结合TEB局部路径规划算法保持智能避障功

能。给病人送药时,机械臂下方装载的自动变焦摄像头能准确识别病床旁边的条码,条形码记录着病人所需要的药品,药盒转动选出对应的药物,升降台会将药品推给机械臂使其夹住,之后步进云台转动,再配合无畸变摄像头和自主设计的控制算法达到精准放药,同时机器人语音播报,通知病人取药,平台上装载的生命体征测量模块能时刻检测病人心率、血氧浓度和体温等生命体征,视频交流平台让医生及时了解到病人的情况。

二、技术方案

2.1 硬件设计

2.1.1 结构

机器人结构图如下图1-1所示:

药箱主要构件为带开口的上、下两个夹板和一个带6个圆柱孔的旋转架,每个圆柱孔与上、下夹板共同构成一个药箱,则可以形成6个相互独立、密封的药箱;旋

作者简介:

黄彬(2002-),男,汉族,安徽安庆人,重庆交通大学本科,研究方向:电气工程及其自动化;

陈宏枢(2001-),男,汉族,重庆人,重庆交通大学,本科,研究方向:电气工程及其自动化;

李有洪(1998-)男,汉族,重庆人,重庆交通大学,本科,研究方向:电气工程及其自动化。



图 1-1

转架可以绕中心轴旋转，当旋转架的一个药箱旋转至上、下夹板开口处时，则该药箱处于开启状态，其余药箱处于关闭状态。

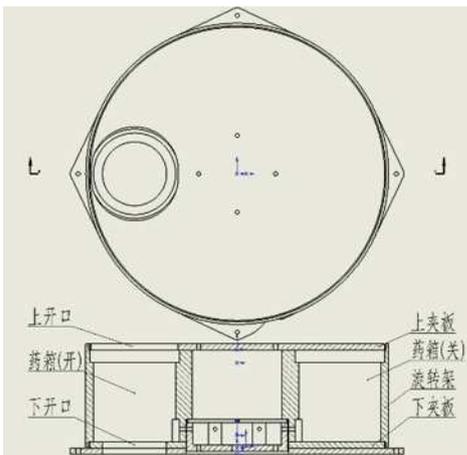


图 1-2 药箱内部细节图

三、传感器

3.1 生命体征测量传感器

本装置采用 MAX30102 模块，该模块使用光电容积法 (PPG) 实现心率、血氧等生命体征的精确测量。

将 RED/IR 光射向皮肤，透过皮肤组织反射回的光被光敏传感器接受并转换成电信号，提取其中的 AC 信号，就能反应出血液流动的特点。

3.1.1 心率计算

由于脉搏是随心脏的搏动而周期性变化的信号，动脉血管容积也周期性变化，因此光电变换器的电信号变化周期就是脉搏率。通过计算 ACsignal 两个波峰的时间 (图中两条竖着的黑色虚线)，我们就能计算出心率。

3.1.2 灌注指数 (PI)

临床上，交流分量与直流分量的幅值之比反映了人体的血流灌注能力，称为血流灌注指数 (Perfusion Index, PI)，其表达式为：

$$PI = AC/DC * 100\%$$

3.1.3 血氧浓度计算

MAX30102 是一路红光，一路红外。只分别算出红光的交流除以红光的直流即：ACred/DCred，和红外的交流除以红外的直流分量即：ACired/DCired。然后两者再相除得到 R：

$$R = \frac{AC_{red}/DC_{red}}{AC_{ired}/DC_{ired}}$$

得到 R 然后查表即可得到血氧值，也可以通过下面拟合的公式计算：

$$SPO_2 = -45.060 * R * R + 30.354 * R + 94.845$$

3.2 MLX90164 红外测温模块

红外热电堆传感器输出的温度信号经过内部低噪声、低失调的运算放大器 (OPA) 放大后经过 A/D 转换器 (ADC) 转换为 17 位数字信号通过可编程 FIR 及 IIR 低通数字滤波器 (即 DSP) 处理后输出，输出结果存储在其内部 RAM 存储单元中，分辨率为 0.01℃。

3.2.1 测温原理

测温方式可分为接触式和非接触式，接触式测温只能在达到热平衡后测量被测物体和温度传感器的温度，响应时间长，且周围环境温度对其测量干扰较严重；而红外测温是根据被测物体的红外辐射能量来确定物体的温度，不需要与被测物体直接接触，温度分辨率高、响应速度及时、测温范围大、不受测温上限的限制、具有更高的稳定性等特点。所以选择 MLX90614 作为测温模块连接在上层单片机上，并通过一定的拟合算法实现高精度测量。

3.3 激光雷达传感器

Ros 操作系统是基于激光雷达返回的点云数据，利用 GMapping 建图算法实现地图构建。

3.4 自动变焦摄像头、无畸变 130 摄像头

自动变焦镜头内置驱动，自动马达对焦 800 万像素。无论是远距离或者近距离都能准确拍摄出物体，这可以在一定程度上弥补机械臂的定位误差，通过 OpenCV 算法准确识别到条形码。无畸变广角镜头内置算法消除畸变，可以在一定高度准确病床床头柜位置，从而实现机械臂的精准放药。

3.5 里程计传感器

通过带有编码器的直流电机的反馈回来的编码器数据，结合采样频率、轮子周长的计算，最终得到机器人实际速度。记录轮子转动圈速得到移动路程，再结合 imu

姿态数据得到机器人移动的准确位移。

3.6 imu惯性测量单元

在ROS的导航系统中需要用到IMU传感器，在我们的ROS机器人系统中，机器人主板上集成了一个IMU传感器，由STM32控制器采集IMU数据后，再发送给ROS。STM32运动底盘上使用的IMU是MPU6050，该IMU集成了三轴角速度计和三轴加速度计。陀螺仪不可避免的存在零点漂移的问题，因此在程序中设定了零点漂移消除机制。

在上电的前10秒时间内，陀螺仪读取角速度值但不去除零漂值。在10秒内，程序读取当前角速度值作为漂移值。10秒后读取的陀螺仪数据会从零偏中减去，此时LED灯会由常亮变为闪烁，后续读取过程中读取的角速度值会从零漂值中减去，从而获得消除零漂的角速度。在10秒时，程序读取当前的角速度值作为漂移值。10秒后读取的陀螺仪数据会减去这个值，此时LED灯从常亮变成闪烁，后续的读取过程中，读取到的角速度值会自动减去之前存储的零点漂移值，得到的就是消除零点漂移的角速度。

四、操作系统与算法

4.1 ROS机器人操作系统

ROS是一个开源的机器人元操作系统。它提供操作系统应提供的服务，包括硬件抽象、底层设备控制、通用功能的实现、进程间消息传递和包管理。它还提供了跨计算机获取、编译、编写和运行代码所需的工具和库函数。

4.1.1 建图与导航

Ros开源社区汇集了各种可以直接使用或重新开发的slam算法。Gmapping是一种基于过滤slam框架的常用开源slam算法，是目前最常用和成熟的特征包。Gmapping可以实时生成室内地图，在生成小场景地图时计算量小，精度高。与hectorslam相比，gmapping需要更少的激光雷达频率，并且具有更高的鲁棒性。与制图员相比，gmapping在构建小场景地图时不需要太多的粒子，也不需要回环检测。因此，计算量小于制图员，精度也不差。Gmapping充分利用了车轮里程表的信息，这就是gmapping对激光雷达频率要求较低的原因：里程表可以提供机器人姿态的先验信息，所以我们选择了这个算法。

ROS提供move_base和AMCL功能包作为解决方案。move_base可以实现机器人导航中的最优路径规划，AMCL可以实现二维地图中的机器人定位。我们只需要在地图中设置机器人的目标姿态，机器人就可以按照地图按照最优路径到达。

4.2 工作流程及调试方法

本项目基于ROS操作系统完成了室内建图、同步定位、通讯、图像识别、自主移动、智能避障等功能。首先启动建图节点的launch文件，使用gmapping建图算法构建室内地图，运行之后，在虚拟机中打开rviz，将建图过程可视化出来，采用先小闭环、后大闭环的绘图方法，这可能会导致累积错误，这可能会导致闭环的开始和结束之间有很大的误差。地图建好保存后，机器人底层和机器人导航的相关节点同时打开，导航目标可以通过编程设置，也可以通过rviz直接设定，还可以通过命令行设定，这里为了更加直观，我们直接使用rviz通过鼠标拖拽设定目标。

在机器人运动过程中利用开源的TEB、A*算法结合激光雷达点云数据完成路径规划、智能避障。在机器人到达病床前的时候，摄像头基于OpenCV库函数完成了条形码识别，推杆推出相应药盒后此时通知上层STM32单片机开始控制机械臂配合摄像头实现精确放药。

4.3 运动学分析

在运动建模之前，为简化运动学数学模型，做下列几种理想化假设：

- (1) 全向轮不与地面打滑，同时地面有足够摩擦力；
- (2) 电机轴线中心正是底盘重心；
- (3) 各轮之间是绝对的互成120°安装。通过简单的速度分解，可以得到以下公式：

$$V_A = V_Y + L_w$$

$$V_B = -\cos 30^\circ V_x - \sin 30^\circ V_y + L_w$$

$$V_C = \cos 30^\circ V_x - \sin 30^\circ V_y + L_w$$

4.4 PID运动控制算法

4.4.1 底层控制

树莓派上位机发送目标速度指令给底盘STM32，底盘STM32根据设定的目标速度在经过运动学分析函数计算，得到每个电机的应该赋予的实际速度，该机器人使用全向轮运动学算法，每个轮子的速度值最后通过PID控制器（PID速度控制函数）来实现速度控制。

4.5 基于OpenCV的图像识别算法

4.5.1 自动聚焦镜头像素运算

采用基于Linux系统的800万像素免驱自动变焦摄像头，对镜头内的画面持续记录，通过OpenCV代码提取图像并对图像进行层层像素运算，根据条形码像素规律提取条形码区域图像，最后运用OpenCV框架中的zbar库进行条形码解码。最后通过串口通信将条形码数值传输给上层STM32控制板。

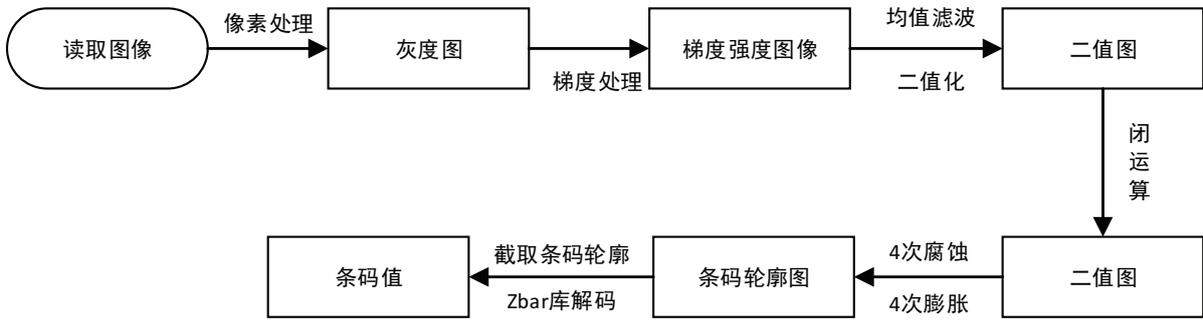


图 1-3 算法流程图

4.5.2 无畸变广角霍夫变换

基于Linux的200万无畸变广角免驱摄像头，对镜头内画面持续记录，通过OpenCV库中提供的代码实现提取图像并对图像先进行灰度图转换，再进行高斯滤波算法去除图像噪点，最后通过霍夫变换算法进行放药区域的识别并且返还像素坐标值，从而作为坐标差值传输给上层控制器进行机械臂的精准定位。



图 1-4 算法流程图

五、程序系统设计

5.1 上层控制逻辑

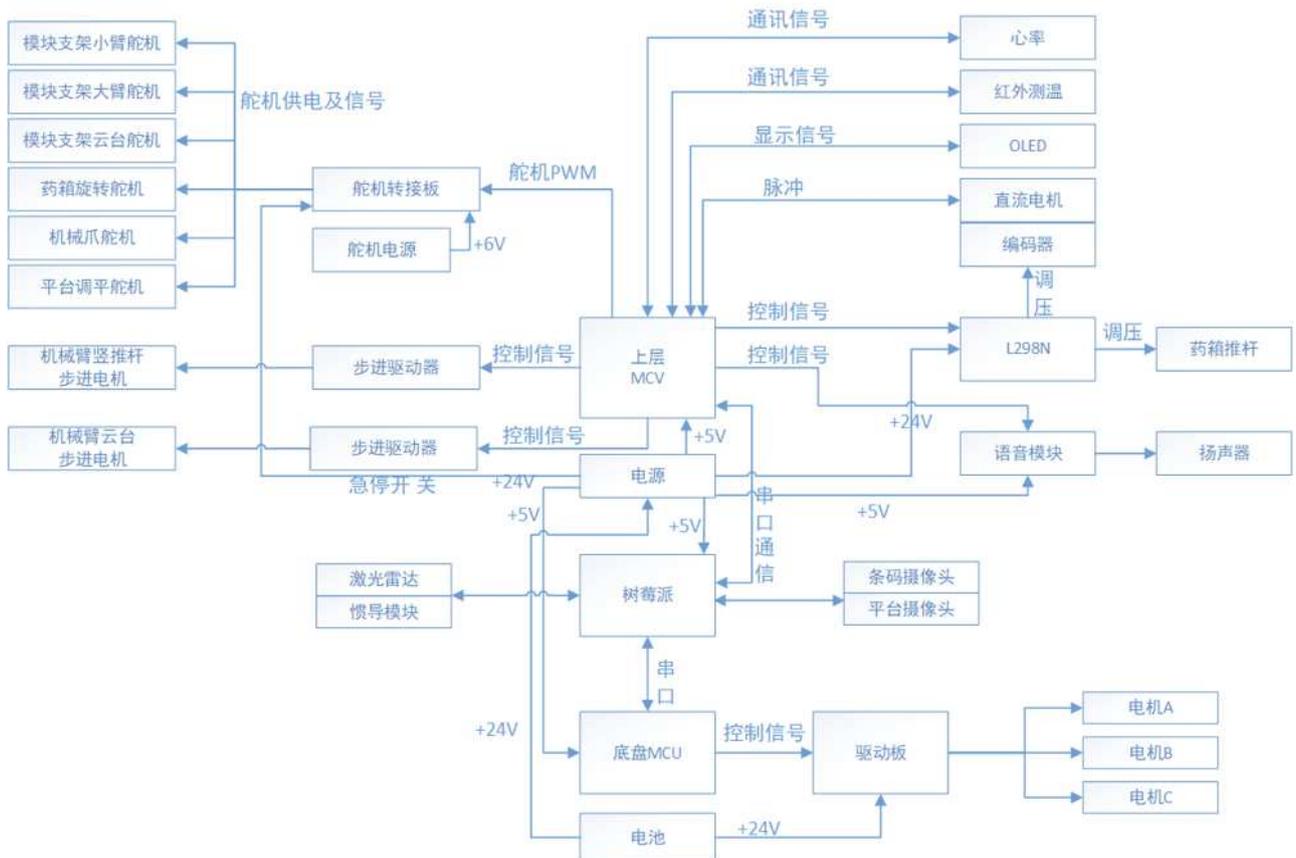


图 1-5 上层控制逻辑

5.2 下层控制逻辑

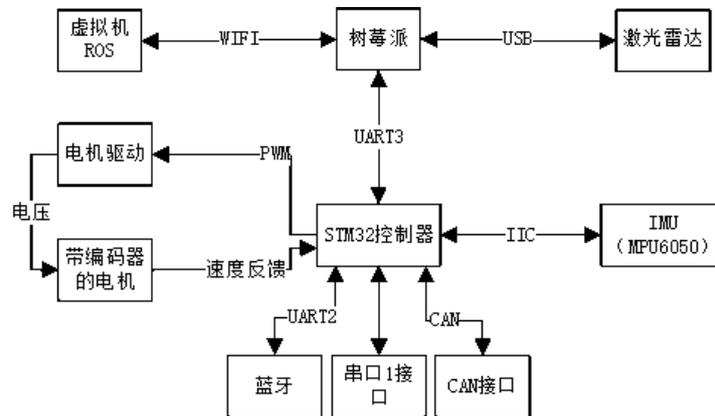


图 1-6 下层底盘控制逻辑

六、程序优化

6.1 调试部分

6.1.1 机器人定位存在一定误差

解决办法：可以通过更换精度更高的 IMU 惯性测量单元和精度更高的激光雷达。进行定位，可以使定位控制更为精准。

6.1.2 机器人规划路径容易失败

解决办法：根据现有的路径规划算法进行优化、调参。不断调整找到适合的参数。

6.1.3 机械臂实现坐标定位

在上层建立一个柱坐标系，通过控制算法，进行 PID 控制，使其能够保持 Z 坐标不变的情况下实现变 R 坐标移动，在保持 R 坐标不变的情况下实现变 Z 坐标移动，使用上位机进行调试，达到坐标跟随的效果。

6.2 主要程序

6.2.1 底盘

底盘 STM32 采用 FREERTO 内核实现“多线程”操作，通过创建任务列表，比直接使用裸机开发更具有条理性。

6.2.2 上层控制

上层 STM32 使用裸机开发，通过设置任务标志来实现机器人状态控制。

参考文献：

[1]赵靖华, 王建森, 鲁铮, 孙宏宇. 基于改进双向探索 A-* 算法的医疗巡检机器人路径规划研究[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2022, 43(01): 121-127. DOI: 10.16862/j.cnki.issn1674-3873.2022.01.020.