

# 基于 Android 的小型移动机器人远程控制系统设计

张 琪 宋爱国

(东南大学仪器科学与工程学院 南京 210096)

**摘要:** 针对传统机器人控制终端灵活性不足的问题,结合飞速发展中的 Android 移动平台,设计了一种基于 Android 的小型移动机器人远程控制系统。该系统由小型移动机器人、无线通信模块和 Android 平台 3 部分组成,通过无线局域网实现下位机与上位机之间的视频传输以及数据通信。给出了控制系统的总体架构,并具体阐述了系统硬件及软件两方面的实现。最后对系统进行了实验测试,测试结果表明,Android 移动终端可远程控制移动机器人的运动状态,并实时获取机器人传回的视频,视频播放流畅,整个系统有着较好的稳定性和可靠性。

**关键词:** Android;移动机器人;远程控制

**中图分类号:** TP24    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.8050

## Design of remote control system for small mobile robot based on Android

Zhang Qi Song Aiguo

(School of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** While the Android mobile platform is developing rapidly, a remote control system for small mobile robot based on Android is designed to solve the problem of the lack of flexibility of traditional robot control terminal. The system is composed of three parts: small mobile robot, wireless communication module and Android platform. The video transmission and data communication are realized through the LAN between the upper terminal and slave machine. The overall control architecture is given, and the realization of the system hardware and software is illustrated in two aspects. System tests show that the Android mobile terminal can control the state of the robot remotely, and successfully receive the real-time video returned from robot, which is displayed smoothly. The system has a good stability and reliability.

**Keywords:** Android; mobile robot; remote control

## 0 引 言

移动机器人是机器人研究领域的重要分支<sup>[1]</sup>,可代替人类进入到危险或未知环境中进行探测和开发<sup>[2-3]</sup>,在军事、工业、航空航天等领域有着广泛的应用前景<sup>[4]</sup>。随着机器人相关技术的发展和移动智能终端的普及,小型移动机器人的研发过程具有了更多的灵活性和丰富性。传统的移动机器人远程控制系统主要有基于 WLAN 的 PC 端控制<sup>[5-6]</sup>、基于无线电台的工控机控制<sup>[7-8]</sup>等,其中大多数控制方式在应用范围和便携性上有所限制<sup>[9]</sup>。理想的移动机器人远程控制系统应当具备易扩展、易操作、人机交互接口友好等特点<sup>[10]</sup>,而近年来 Android、IOS 等移动终端平台的出现和发展恰好满足了机器人控制系统在这方面的需求。其中,Android 移动终端以其强大的计算通信能力以及良好的开源特性,得到了越来越多研发者的认可。

本文设计了一种基于 Android 的小型移动机器人远程控制系统,以 Android 平台为远程控制软件载体,通过 WiFi 局域网连接控制终端与下位机机器人,实时传输上位机控制指令和机器人返回的图像数据,测试表明整个系统具有较好的实时性和稳定性。

## 1 系统结构设计

基于 Android 的移动机器人远程控制系统结构包括 3 部分:小型移动机器人硬件平台、无线通信模块和 Android 移动终端平台及其上位机软件。图 1 所示为整体结构框图。移动机器人的硬件平台包括主控板、电源模块、电机驱动模块、履带电机和 USB 摄像头等。无线通信模块采用小型无线路由器 WR703N,为上位机和下位机之间提供用于通信的 WiFi 信道。该无线路由器移植了 OpenWrt 开源系统,并安装有 Ser2net 和 Mjpg-Streamer 两个必要软件,其

中, Mjpg-streamer 从 USB 口获取机器人摄像头图像并传输到上位机。Ser2net 则用于将 TCP/IP 网络数据转换为串口数据以供机器人下位机主控板接收, 方便控制指令数据的收发。Android 端控制软件为用户提供人机交互界面, 实时接收和播放机器人返回的视频图像, 并通过界面相关控件向机器人发送指令, 从而实现对机器人的远程控制。

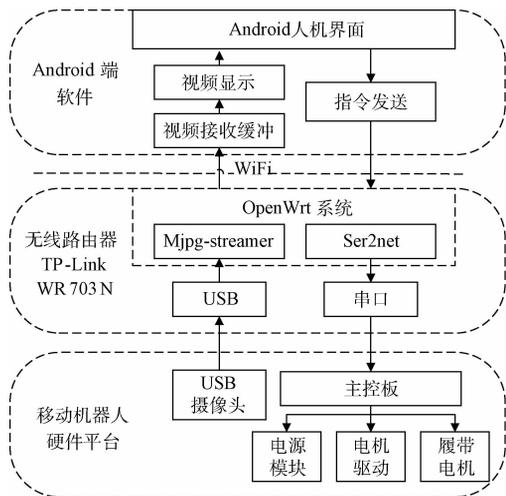


图 1 基于 Android 的移动机器人远程控制系统框图

## 2 系统硬件设计

### 2.1 机器人硬件平台

小型移动机器人硬件部分主要包括主控板、电源系统、电机及其驱动、USB 摄像头以及机器人机械结构等部分。图 2 所示为移动机器人硬件平台的结构示意图。

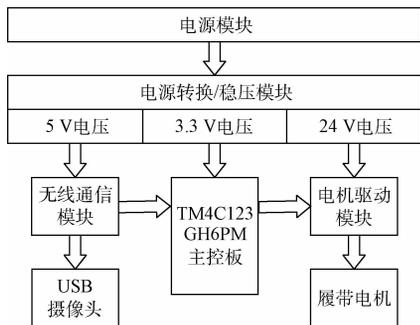


图 2 移动机器人硬件平台结构

本系统设计选用 TI 公司生产的 TM4C123GH6PM 主控芯片, 该芯片采用基于 ARM® Cortex™-M 的结构, 最高可达到 80 MHz 的运行速度, 是一款高性能具有复杂集成功能的微控制器, 在智能控制方面有着相对出色的表现。该芯片资源包括 256 KB 单周期 Flash 存储器, 8 个 UART, 41 个可配置 GPIO 口, 多达 40 路 PWM 输出和足够的串行通信外设。主控板通过串口从无线通信模块获取并解析上位机指令, 并根据指令意图控制机器人相应电

机的工作。

小型移动机器人的机械结构采用履带式运动机构, 该结构与地面接触面积大, 具有良好的越野能力和地面适应性<sup>[11]</sup>。履带电机的型号为驰卡沙 24 V 直流减速电机, 电机工作稳定, 能够很好得驱动机器人工作。主控板通过 L298 电机驱动实现对电机的控制, L298 内部包含 4 路逻辑驱动电路, 是 2 相和 4 相电机的专用驱动芯片<sup>[12-13]</sup>。考虑到 24 V 直流驱动电路容易对控制电路产生信号干扰, 驱动模块采用 TLP521-4 及 HCPL-2630 光耦器件隔离控制信号和驱动电压。控制接口通过光耦共阳极接法使得控制端的地形成回路, 以此实现隔离功能, 从而减小电机启动时的瞬时电压对控制电路造成的干扰。

此外, 机器人硬件平台搭载了 USB 摄像头, 用于实时获取机器人的视觉信息, 并返回到上位机。

### 2.2 无线通信模块

无线通信模块为上位机控制软件和下位机机器人之间建立稳定有效的通信连接, 是实现远程控制系统的键之一。考虑到视频传输的实时性需求以及在控制范围上的要求, 本系统选择小型无线路由器为无线通信模块, 并移植了开源 OpenWrt 系统, 在 WiFi 局域网中完成机器人与控制端间的数据交换与通信。

小型无线路由器的型号为 TP-Link 公司生产的 WR703N 路由器, 其无线传输速率可达 150 Mbps, 基本满足应用需求。原装的 WR703N 路由器无法直接实现视频的网络传输以及网口数据向串口数据的转换等功能, 因此需要对路由器进行硬件及软件上的改造。硬件改造包括: 扩大内存到 64 M 以改善路由器性能, 引出 TTL 串口到 Micro USB 接口以方便与机器人主控板的连接。软件上改造主要包括为路由器重新刷入 OpenWrt 系统固件以及安装相关功能软件。

OpenWrt 系统是一种开源的嵌入式 Linux 系统<sup>[14]</sup>, 专门为路由器的硬件条件进行了优化设计, 不仅具备基本的路由功能, 同时还可以扩展出多种网络功能。本系统中无线传输模块主要完成 2 部分功能: 传输摄像头图像和转换 TCP/IP 网络数据为串口数据, 因此在 OpenWrt 系统中需要安装 Mjpg-streamer 和 Ser2net 2 个软件。Mjpg-streamer 软件从网络摄像头获取图像, 将图像以数据流的形式发送到 IP 网络中去。Mjpg-streamer 最大的优点是具有较小的 CPU 和内存占用率, 因此非常适用于性能有限的路由器系统。Ser2net 软件是一个通用的 Socket 转串口的软件, 能够实现 TCP/IP 格式的数据与串口数据的互转。本系统中 Android 上位机的控制指令就是经由 Ser2net 转换发送到移动机器人的。

## 3 系统软件设计

### 3.1 下位机程序设计

机器人下位机程序整体流程图如图 3 所示。机器人下

位机程序为指令执行程序,主要完成指令的获取及解析、机器人运动状态控制等功能。程序开始时需要进行时钟、I/O口、PWM 以及串口初始化,并使能中断。当串口有指令数据传来时,会产生相应的 UART 中断,在中断程序中处理所接收到的数据,判断指令意图,并执行相应的动作。程序中主要通过调节 PWM 输出的占空比实现电机转速的控制,通过 I/O 口逻辑电平实现电机转向的控制。

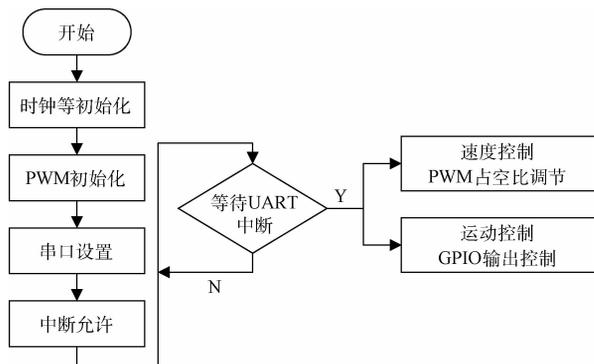


图 3 下位机软件程序流程

为了保证下位机与上位机之间的有效通信,提高指令接收的正确率,程序中制定了相关通信协议。通信格式定义如表 1 所示,每一条指令包含 5 个字节,其基本格式为: {0xFF,0x00,0x0\*,0x00,0xEF},第 3 位为有效命令位。下位机程序按组接收数据,当接收到一组数据后,会首先检查数据的第一位和最后一位是否为 0xFF、0xEF,以确保接收到的是一组完整有效的指令,然后根据第 3 位有效位解析出指令意图。如果检查数据时发现不符合通信格式,则丢弃该组数据。

表 1 客户端与下位机移动机器人之间通信格式定义

指令	数组定义	通信格式
前进	CMD_FORWARD	0xFF,0x00,0x01,0x00,0xEF
后退	CMD_BACK	0xFF,0x00,0x02,0x00,0xEF
停止	CMD_STOP	0xFF,0x00,0x00,0x00,0xEF
左转	CMD_LEFT	0xFF,0x00,0x03,0x00,0xEF
右转	CMD_RIGHT	0xFF,0x00,0x04,0x00,0xEF
高速	CMD_HSPEED	0xFF,0x00,0x07,0x00,0xEF
中速	CMD_MSPEED	0xFF,0x00,0x08,0x00,0xEF
低速	CMD_LSPEED	0xFF,0x00,0x09,0x00,0xEF

## 3.2 Android 控制软件设计

### 3.2.1 Android 系统

Android 系统是由 Google 所支持的基于 Linux 内核的开源移动智能终端操作系统,它为业界提供了优秀的内核封装到整合的多层架构的整个操作系统解决方案<sup>[15]</sup>。Android 系统采用分层架构,从高到低为应用程序层、应用程序框架层、系统运行库层和 Linux 内核层。4 层架构协

同工作,封装底层驱动,为上层应用程序提供完善的服务支持。Android 应用程序采用 Java 语言编写,每一个 Android 应用程序均可高效地运行在自己的进程中。

### 3.2.2 Android 控制软件整体设计

如图 4 所示 Android 控制软件程序流程,程序采用多线程的设计模式。程序开始时进入主界面,用户需要设置相关参数以建立上位机与机器人之间的网络连接。UI 线程为主线程,2 个子线程分别为视频处理线程和指令发送线程。UI 线程主要用于 UI 交互和更新操作,程序为 UI 组件添加了监听器,当产生用户触摸事件时,程序会响应并执行相应的操作。在视频处理子线程中,程序从视频流地址中读取数据并放入视频缓冲区,通过 SurfaceView 类绘制并实时显示视频。在指令发送子线程中,程序将用户的指令意图转换为指令数组数据,通过 Socket 机制发送到下位机机器人。

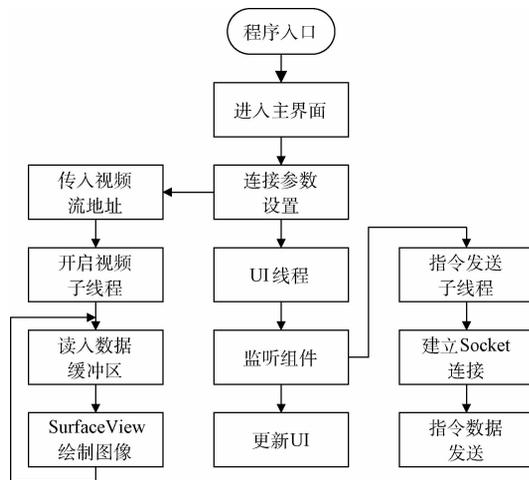


图 4 Android 控制软件程序流程

### 3.2.3 视频获取与显示的实现

视频处理子线程中,程序从视频流地址读取数据。该视频流地址是由 Mjpg-streamer 的发送地址所决定的。Mjpg-streamer 将摄像头图像以流的形式发送到 IP 网络中,视频地址一般为 (IP:8080/? action=stream),其中 IP 地址可更改。为了获取流视频,Android 程序中创建了 HttpClient 对象访问流地址,读取数据到视频缓冲区。此外需要注意的是,Mjpg-streamer 所发送的每一帧图像都是 JPEG 格式的,因此程序获取到一帧图像后需要根据 JPEG 文件标记解析并提取有效数据创建位图图像。

位图图像需要更新并实时显示在屏幕上,该操作因其耗时性而不能放在 UI 线程中完成,否则会导致线程的堵塞和界面的停滞,通常该类 View 的更新操作通过 SurfaceView 类来实现。

SurfaceView 类继承自 View 类,内嵌了用于绘制的 Surface,可直接从内存读取数据写入 Surface 并迅速地显示在屏幕上。SurfaceView 拥有独立的图像绘制线程,不会

干扰到主线程的程序运行, SurfaceView 采用双缓冲机制, 分别为 front buffer 和 back buffer, 该机制下在同一时间对两张图片进行渲染操作, 两个 buffer 交替显示, 使得视频的刷新和播放更为流畅。本程序中自定义一个 SurfaceView, 实现了 SurfaceHolder.Callback 接口, 通过 SurfaceHolder 对 Surface 进行控制, 建立 Canvas 画布对象, 传入读入的位图数据, 在缓存中完成图像绘制, 并显示在屏幕上。

### 3.2.4 远程控制实现

Android 上位机对机器人的远程控制是建立在 TCP/IP 协议之上, 通过无线局域网将指令发送到无线通信模块, Ser2net 作为中间软件实现 TCP/IP 数据向串口数据的转换。在 Android 上位机程序中, 当用户需要对机器人发送指令时, 会根据机器人的 IP 地址和端口号在子线程中建立一个稳定的 Socket 连接, 将指令信息以输出流的形式发送出去, 完成数据发送后即结束该线程, 直到下一次控制事件的产生。此外, 上位机可在子线程中根据需要接收来自移动机器人的反馈信息。

## 4 实验测试

为了验证所设计系统的可行性及无线视频传输的稳定性, 本文对系统进行了实验测试。图 5 所示为 Android 上位机软件的人机交互界面和机器人的实物图。上位机界面包括地址端口设置区、机器人控制区和视频显示区等 3 部分。在设置区, 用户需要设置 Android 端与 WR703N 路由器之间的连接参数, 需要设置的参数包括: 机器人 IP 地址、控制端口、视频地址等。如果不进行设置, 程序使用默认参数进行连接。在控制区, 界面提供了相关指令按键以供用户实现对机器人的操控。控制区域的左侧为视频显示区, 用于实时显示机器人摄像头传回的数据。



图 5 Android 端界面及机器人实物

系统测试选用的 Android 平台为台电科技平板电脑, 操作系统为 Android 3.2.2。Android 端操作实物图如图 6 所示。用户通过触摸屏幕控制机器人的运动, 可选择高低速 3 种速度模式, 并实时观察小型移动机器人返回的视频。Android 控制端触屏灵敏, 轻便易携带, 具有较好的用户体验。



图 6 Android 端操作实物

系统相关测试结果在表 2 中列出。在视频传输测试中, 视频图像清晰稳定, 播放流畅, 网络延时不超过 250 ms, 具有良好的实时性。在指令控制测试中, 最大控制距离可达 75 m, 其实际控制距离与路由器的功率相关。在控制距离范围内, 指令通信稳定有效, 在接近最大控制距离时存在一定数据丢包情况, 控制成功率略有下降。

表 2 系统测试结果表

视频测试	图像分辨率	640×480
	帧率	10 fps
	网络延时	约 250 ms
控制测试	最大控制距离	>75 m
	控制成功率	90%~100%

## 5 结 论

Android 移动平台具有开发周期短、更新快、操作方便、人机界面友好等优点, 可大大弥补传统机器人控制终端在灵活性和便携性方面的不足。本文设计并实现了基于 Android 的小型移动机器人远程控制系统, 在完成机器人系统硬件设计的基础上进行下位机、上位机软件的开发, 最后对系统进行了测试。测试表明, 该机器人远程控制系统具有良好的实时性和稳定性, 可在此基础上进行进一步功能上的开发与扩展, 也可考虑将控制范围由局域网迁移到广域 Internet 网, 以满足更广泛的应用需求。

## 参考文献

- [1] 王志凌, 闻凯, 陈杰. 基于 Android 的小型移动机器人控制系统[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(9): 4-7.
- [2] 李朕阳, 朗朗, 陈梦元. 基于 SR-CKF 的移动机器人动态目标跟踪算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8): 1198-1205.
- [3] 邓伟, 刘平, 李贻斌. 基于模型预测控制的排爆机器人轨迹跟踪算法研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(S): 1-6.
- [4] 黄刚. 实时修正偏移量的循迹机器人控制系统研究与实现[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(11): 2538-2547.

- [5] 王提升. 基于 ARM 和 WLAN 的移动机器人远程监控系统研究[D]. 广州:华南理工大学, 2014.
- [6] 燕飞, 李晓明, 涂波. 基于 Android 平台的移动机器人远程控制系统[J]. 机电工程, 2014, 31(2): 261-264.
- [7] 曹宇. 危险复杂环境遥操作机器人测控系统研究[D]. 南京:东南大学, 2016.
- [8] 何宏, 赵磊, 张志宏. 基于 ARM-Linux 的爬壁机器人远程自动控制系统[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(12): 56-60.
- [9] 车明玮, 童金, 王明宝, 等. 基于网络的小车远程监控系统的设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(3): 20-23, 41.
- [10] 李瑞. 基于 Android 的小型移动机器人系统设计[D]. 杭州:浙江理工大学, 2013.
- [11] 高健, 王建中, 施家栋. 小型履带式移动机器人控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(8): 2716-2718.
- [12] 张传真, 张莉, 江建军. Android 平台无线视频监控小
- 车的设计[J]. 电子测量技术, 2013, 36(10): 19-22.
- [13] 张锴, 李世光, 朱晓莉, 等. 基于 STM32 的智能巡线小车[J]. 电子测量技术, 2012, 35(2): 105-107.
- [14] 孙华. 移动机器人无线局域网控制系统[J]. 微型机与应用, 2016, 35(14): 52-54.
- [15] 王跃. 移动智能终端操作系统技术发展[J]. 中兴通讯技术, 2014, 20(2): 45-48.

## 作者简介

**张琪**, 在读硕士, 主要研究为测控技术与智能系统、移动探测机器人等。

E-mail: zzzqjianyuexiao@163.com

**宋爱国**(通信作者), 教授, 博士生导师, 主要研究方向为机器人感知与遥操作机器人技术、力触觉人机交互与虚拟现实技术、脑-计算机接口技术、康复医学工程与康复机器人技术、微弱信号检测与处理。

E-mail: a. g. song@seu. edu. cn