

基于 ROS 与 Contiki 的物联网环境下数据采集机器人设计^①



张美平^{1,2}, 张毅韬¹, 郭旭城¹, 王志宇¹

¹(福建师范大学 数学与信息学院, 福州 350007)

²(福建师范大学 福建省网络安全与密码技术重点实验室, 福州 350007)

通讯作者: 张美平, E-mail: mpjason@fjnu.edu.cn

摘要: 提出了一种基于 ROS 与 OpenWrt、Contiki 的新型物联网系统方案 ROS-IOT. 分为两个部分: 物联网系统的搭建与此系统下数据采集机器人的设计. 感知层传感节点采用 Contiki 协议栈实现传感节点的组网与数据传递; 接入网关采用运行 Openwrt 操作系统的无线路由器, 网关接入模块实现协议动态转换, 设置转换地址池、数据汇聚、处理, 并基于 `rosterial_embeddedLinux` 上递至 ROS 网络等功能, 实现各层数据流通; 应用层基于 `websocket` 技术设计了与 ROS 网络数据交互的 web 服务, 可实现与感知层、机器人的双向交互. 机器人采用运行 ROS 环境的树莓派作为主控设备, 电机驱动板采用 `stm32` 单片机. 机器人的软件设计采用基于 ROS Topic 与 ROS_bridge 的通讯机制, 使得机器人更加容易地融入物联网系统, 并且在此基础上拓展更多服务.

关键词: ROS; Contiki; 物联网; 机器人

引用格式: 张美平, 张毅韬, 郭旭城, 王志宇. 基于 ROS 与 Contiki 的物联网环境下数据采集机器人设计. 计算机系统应用, 2019, 28(2): 75-80. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6735.html>

Design of Internet of Things Data Acquisition Robot Based on ROS and Contiki

ZHANG Mei-Ping^{1,2}, ZHANG Yi-Tao¹, GUO Xu-Cheng¹, WANG Zhi-Yu¹

¹(College of Mathematics and Informatics, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

²(Fujian Provincial Key Lab of Network Security & Cryptology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: ROS-IOT, as a new scheme of the Internet of Things system based on ROS and OpenWrt and Contiki, is put forward. It is divided into two parts: the construction of the system of the Internet of Things and the design of data acquisition robot under this system. In the perceptive layer, the sensor node uses Contiki protocol stack to realize the networking and data transmission of sensor nodes. In the access layer, access gateway adopts wireless routers running OpenWrt operating system, connection module of gateway realizes the dynamic transformation of the protocol, and it sets the functions of conversion address pool, data aggregation, and processing and forwarding to ROS network based on `rosterial_embeddedLinux`, which realizes the data circulation of each layer. In the application layer, a web service that interacts with ROS network data based on `websocket` technology is designed to achieve two-way interaction with the perception layer and the robot. The motor-driver board of the robot adopts STM32 singlechip, and the robot uses raspberry pi that running ROS environment as main control device. The software design of the robot adopts the communication mechanism based on ROS Topic and ROS_bridge to achieve the purpose of the robot are more easily

① 基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (61771140); 福建省科技厅高校产学研合作项目 (2017H6005); 福建省 2018 年省级大学生创新训练项目 (201810394053)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (61771140); Higher Educations' Industry-University Cooperation Project of Science and Technology Bureau, Fujian Province (2017H6005); Year 2018 Provincial Students Innovation Training Program of Fujian Province (201810394053)

收稿时间: 2018-07-11; 修改时间: 2018-08-09; 采用时间: 2018-08-21; csa 在线出版时间: 2019-01-28

integrated into the system of the Internet of Things, which is the base of expanding more services.

Key words: ROS; Contiki; Internet of Things (IoT); robot

引言

随着物联网相关技术的飞速发展,物联网的概念逐渐深入人心,相关应用辐射至各行各业.据统计,国内物联网连接数已达16亿个,预计2020年将超过70亿个,市场规模达到2.5万亿元,物联网发展潜力巨大.物联网是新一轮产业变革的重要方向和推动力量,对于深化供给侧结构性改革、推动产业转型升级具有重要意义.现如今,全球各国无不积极推动机器人产业,近期人工智能与深度学习等技术发展热度增温,更是成为推动智能机器人发展的重要动能.据工研院IEK研究报告预估,全球智能机器人的市场规模预计在2021年将成长至336亿美元,而亚洲将是成长最多的地区.

通信连接只是物联网的第一步,在此基础之上的应用才是物联网重要的核心,智能机器人可作为物联网智能终端提供这种作用.机器人在智能家居、家庭安防等物联网应用方向上得到了充分的利用,尤其是机器人装载感知设备而具有的环境感知能力,为家居生活、仓库管理、无人区监测等应用场景提供了极大的便捷和助力.

国内外对于物联网与智能机器人结合的研究已经展开,国外如IBM公司、日本国际电气通信先进技术研究所等. Grieco 等人^[1]提出了物联网辅助机器人应用方向,归纳了各行业领域机器人的模型参数和具体硬件平台,以及相关的物联网技术,为物联网与机器人结合的研究提供了不错的方案基础.国内,孔令富等人^[2]提出构建物联网机器人系统的指导思想,分析该系统的研究现状,同时剖析了物联网机器人系统存在的客观问题;汤莉莉等人^[3]提供了一套较为具体的物联网智能机器人设计的解决方案,实现视频监控,机器人状态自检与监控、太阳能充电等功能.

在各类物联网应用方向蓬勃发展的影响下,物联网系统下,与感知数据交互的智能机器人的作用与地位逐渐变得不可或缺.但市场上智能机器人平台众多,设计方案不同,导致大量代码冗余、移植性通用性较差等问题,造成了其与物联网系统数据的交互需要更繁杂的数据协议等客观现实问题,增加了智能机器人融入物联网系统的难度.

本文针对以上问题,一方面利用 ROS 的通讯框架和 OpenWrt、Contiki 搭建了一款完整的三层结构的物联网系统;另一方面设计了一套基于 ROS 的移动机器人平台,不仅做到物联网系统下环境数据的采集上递与反馈,且提供充足优良的机器人开发接口,为物联网下智能机器人的智能化程度不断提高打下基础.

1 系统框架

本文选择的整体系统框架类似于物联网的三层结构,智能机器人作为应用层的物联网终端,与感知数据进行交互.如图1所示.

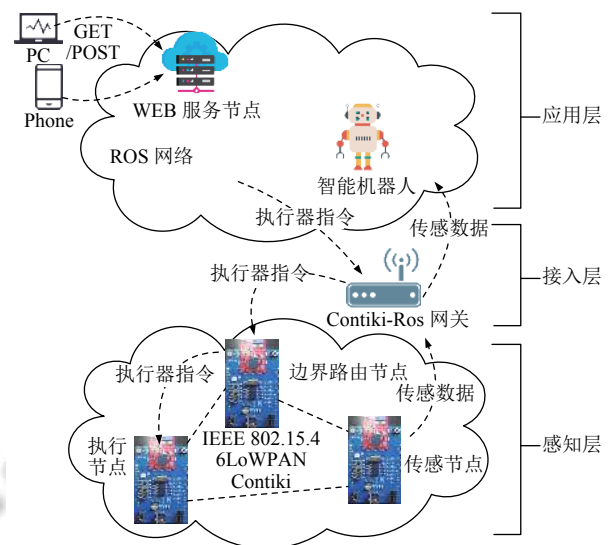


图1 整体系统框架

(1) 感知层

传感数据通过开源物联网操作系统 Contiki 提供的 TCP/IP 堆栈,将数据打包为 UDP 数据报上传至 ROS-Contiki 网关.

(2) 接入层

ROS-Contiki 网关实现协议 IPv6 与 IPv4 之间的动态转换,设置转换地址池、地址比对、数据汇聚处理的功能,并以 ROS 规范进行转换,实现感知层数据与 ROS 网络的双向流动.

(3) 应用层

提供针对感知层的数据监控与节点反向控制、机

机器人基本控制的 Web 服务. 同时智能机器人可在物联网系统环境下, 与感知数据实现双向交互.

2 系统的设计

2.1 感知层

在指定区域部署传感节点与执行节点, 如图 2 所示, 通过无线传感网络传递数据实现感知层功能. 无线传感网络的组建采用了近几年发展迅速的基于 IPv6 的 Contiki 物联网操作系统. 感知层节点由 STM32W108 处理器, 各类传感器或执行模块构成. 感知层节点运行由 Contiki 协议栈提供的 TCP/IP 堆栈, 将数据打包为 UDP 数据报递交至 ROS-Contiki 网关.

感知层部署节点分为两类:

(1) 传感节点. 传感节点负责上报所采集数据.

(2) 执行节点. 执行器负责监听执行指令, 控制相关外设.

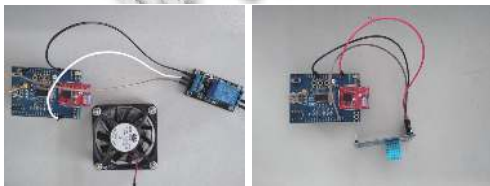


图 2 执行节点(左)、传感节点(右)

节点间组网与通讯如图 3.

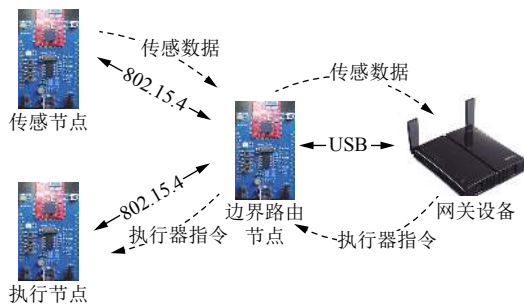


图 3 节点间组网通讯

底层数据需要约定数据上报与反向控制指令的格式协议 (见表 1 和表 2), 以便网关接入模块和应用层应用解析数据和生成指令.

2.2 接入层

接入层主要涉及 ROS-Contiki 网关设备的选择与接入模块的设计^[4], 如图 4. ROS-Contiki 网关设备选用运行 Linux 开源无线路由器操作系统 OpenWrt 的巴法络路由器, 参数设置见表 3. OpenWrt 是嵌入式设备上

运行的 Linux 系统, 为 Linux 下的开发提供了良好环境. 同时网关需要一个 Contiki IPv6 接入模块, 实现 IPv6 和 IPv4 的动态转换, 设置转换地址池、数据汇聚、处理, 并且以 ROS 规范进行转换, 并将感知层数据递交至 ROS 网络.

表 1 数据上报协议

参数	说明	
数据上报格式	传感器类型=右值	
数据上报类型	字符串	
传感器类型	右值	备注
light	1333	光照值 1333
temp	26	温度 26 °C
hum	40	湿度 40
soil	52	土壤湿度 52%
举例	light=1333	

表 2 反向控制指令协议

反向控制指令格式	执行节点指令
反向控制指令类型	字符串
执行节点	备注
1	指定风扇节点
2	指定灯泡节点
指令	备注
3	开启
4	关闭
指令举例	13(风扇节点开启)



图 4 网关内部结构

表 3 巴法络路由器参数

网关设备	参数
CPU	AR9132@400 MHz
RAM	64 MB
Flash	32 MB
Radio	AR9103 3×3 MIMO
Switch	RTL8366SR
USB	2.0×1

为非 ROS 系统的网关设备满足 ROS 规范与 ROS 网络通讯, 我们使用 roserial_embeddedLinux 库进行开发. roserial_embeddedLinux 提供了 ROS 通信协议, 可用于嵌入式 Linux 系统的串行 UART, 或其无线或网络连接. 它允许嵌入式 Linux 系统运行完整的 ROS 节点, 而我们只需拥有目标设备的开发编译链.

ROS-Contiki 网关运行 tunslip6 程序. 该程序建立

一个名为“tun0”的虚拟网卡. 直接用程序读写该设备, tun0 建立在数据链路层, 接入模块将边界路由节点上递的数据, 通过 slip 串口与 IP 协议, 将其封装为 IP 数据包, 再递交至 UDP 服务端. UDP 服务端将执行节点的最新 IP 地址存入地址池, 为反向控制做好准备, 同时将传感数据封装为 ros 消息, 以规定的话题发布至 ROS 网络.

反之, 接入模块 (见图 5) 通过 ros_node 订阅规定话题, 接收 ROS 网络传来的数据 (多为控制指令). 通过比对地址池, 匹配目标执行节点, tunslip6 程序将数据转换为串口数据通过串口递交至边界路由设备.

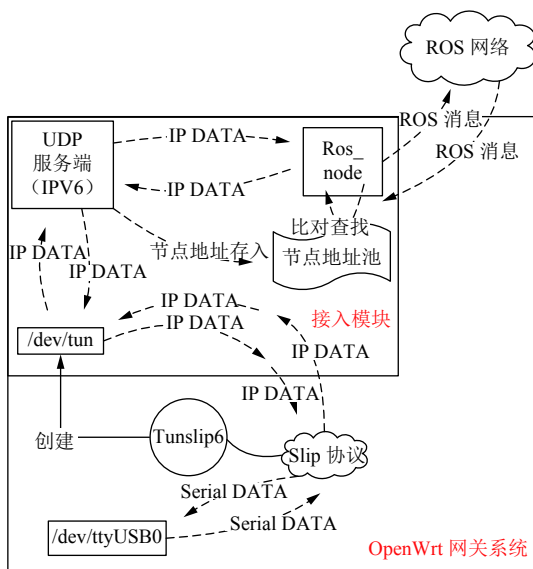


图 5 接入模块结构设计

2.3 应用层

提供针对感知层数据监控与反向控制和针对机器人控制的 web 前端页面. web 服务与 ROS 网络的通讯, 采用 rosbridge 协议规范下的 rosbridge_suite 软件包进行 web 服务端与客户端的开发.

rosbridge 主要包含两个部分, Rosbridge Protocol 和 Rosbridge Implementation. 其中 Protocol 部分提供了非 ROS 系统和 ROS 系统通信的具体格式, 包括话题的订阅, 消息的发布等. Implementation 部分是 rosbridge 的具体实现, 包含 rosbridge_server 等包. rosbridge_server 负责通信的传输层, 包括 websocket, tcp, udp 等格式.

用户使用 PC 或移动终端采取相关操作, 将 UI 操作绑定为一种指定话题下消息的发布或订阅, 以 websocket 的方式与 rosbridge 节点通讯, 该节点将收到的数据封装为 ROS 规范的 ROS 消息, 并递交至 ROS 网络, 实

现 Web 服务与 ROS 网络的结合, 如图 6.

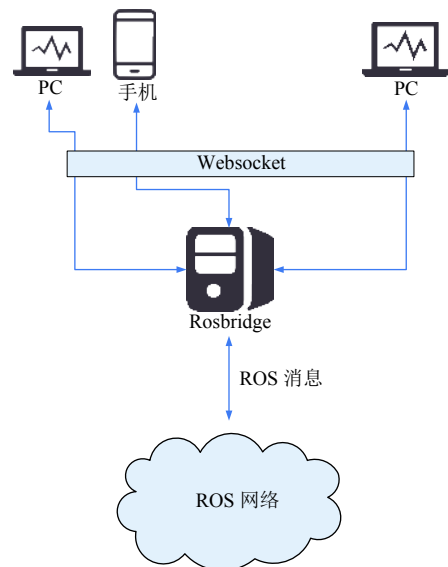


图 6 Web 服务与 ROS 网络

3 机器人设计

3.1 硬件设计

机器人硬件框架如图 7 所示.

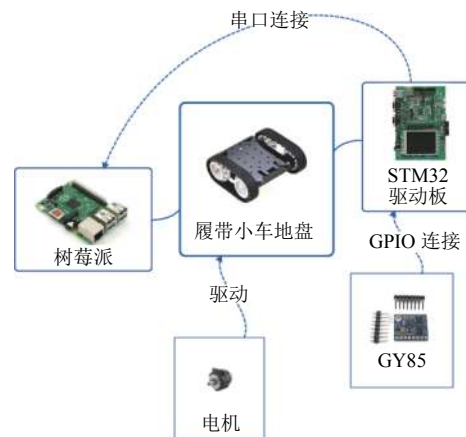


图 7 机器人硬件部件与架构

履带小车底盘作为机器人移动的基本部件, 通过装载的电机实现驱动. 底盘搭载了 STM32 核心驱动板和作为主控设备的树莓派. 核心驱动板上连接了三轴陀螺仪 GY-85, 如图 8.

- (1) STM32 核心驱动板
运行一个基本的 ROS 节点.
- (2) 树莓派
运行 ROS-Master, 承担 ROS 网络的牵头组建的功

能.同时可协同多个 ROS 节点.同时提供多个外设接口,为机器人的服务拓展提供硬件条件.



图8 机器人实物图

3.2 软件设计

机器人的软件设计主要基于 ROS 规范的 ROS 节点开发.机器人运行的 ROS 节点如图9所示.

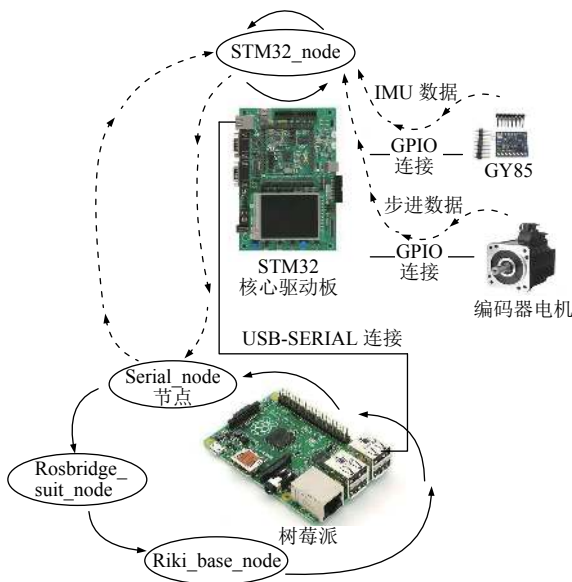


图9 机器人运行节点

STM32_node: 读取机器人的电机里程数、电量、速度、Imu 数据等机器人状态数据并以 ROS 规范封装,上递至 ROS 网络;同时可监控传感数据,并监听用户执行指令.

serial_node: 将 STM32 核心驱动板通过串口连接至 ROS 网络.

riki_base_node: 描述机器人基本信息的节点,接受来自驱动板经过过滤的 imu 融合数据,速度数据等,同时可与本文物联网系统下数据实现交互.

rosbridge_suit_node: 实现 ROS 网络与非 ROS 网络的应用层应用之间的通信.

4 系统运作

系统整体运作形式下,感知层部署感知节点和执行节点,执行节点集成相应的执行器,感知节点将感知数据递交至边界路由节点,由边界路由节点上传至 ROS-Contiki 网关.网关记录节点所分配地址,并将数据封装为 ROS 消息,发布至指定的话题,供机器人与应用层服务节点订阅.机器人时刻订阅机器人指令话题,监听机器人指令,作出反馈.

同时,web 页面提供了反向控制的接口,将其和规定的 ROS 消息绑定,发送至约定好的 ROS 话题,ROS-Contiki 网关订阅该话题,解析 ROS 消息获取命令,并根据地址池将控制指令下发至执行节点.

5 测试效果

(1) 启动机器人

为机器人上电,通过远程登录软件进入树莓派.输入如下命令:

```
roslaunch rikirobot bringup.launch
roslaunch rosbridge_suit rosbridge_websocket.launch
```

(2) 部署节点,启动网关

将边界路由节点通过 USB 线接入巴法络路由器.输入如下指令:

```
tunslip6 -s /dev/ttyUSB0 aaaa::1/64 &
再执行接入模块程序:
./pc-server /dev/USB0
```

(3) 打开浏览器,进入 Web 服务(如图10).



图10 Web 服务页面

6 总结

本文分为两个方面: 基于 ROS 的物联网系统的三层设计和该系统下机器人的设计.

物联网系统分为三层: 感知层、接入层、应用层. 本文中感知层节点运行 Contiki 操作系统, 被分配不同的 IPv6 地址, 以 mesh 的方式组建传感网络. ROS-Contiki 网关则基于 OpenWrt 与 Rosserial 协议, 将底层上报的数据以 ROS 消息规范封装上递至 ROS 网络. 应用层服务节点通过 ros_bridge 进行 Web 前端的服务集成, 搭建一套基于 ROS 网络的物联网系统.

机器人以树莓派做主控, STM32 核心驱动板作为硬件驱动. 机器人的核心系统框架采用当下流行的开源的机器人操作系统——ROS. 并结合当下优秀的嵌入式系统 OpenWrt 项目, 依托优秀的 ROS 通讯框架,

用较低的成本, 开发出本文物联网系统下智能机器人.

参考文献

- 1 Grieco LA, Rizzo A, Colucci S, *et al.* IoT-aided robotics applications: Technological implications, target domains and open issues. *Computer Communications*, 2014, 54: 32–47. [doi: [10.1016/j.comcom.2014.07.013](https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.07.013)]
- 2 孔令富, 吴培良. 物联网机器人系统研究进展. *燕山大学学报*, 2013, 37(6): 471–479. [doi: [10.3969/j.issn.1007-791X.2013.06.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-791X.2013.06.001)]
- 3 汤莉莉, 王金勇, 黄伟. 物联网智能机器人设计. *现代电子技术*, 2017, 40(8): 73–76.
- 4 张美平, 丁文才, 许友泽. IPv6 物联网接入网关的设计实践. *计算机系统应用*, 2018, 27(2): 112–116. [doi: [10.3969/j.issn.1003-3254.2018.02.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-3254.2018.02.019)]