

基于 NB-IoT 模块的机器人监控系统移动应用开发

吴泽枫,李成刚,宋勇,储亚东,陈飞翔,吴树景

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘 要:机器人监控系统利用单片机经串口获取机器人的状态信息(角位移、角速度、角加速度、力/力矩)。基于 NB-IoT 模块,机器人监控系统通过低功率广域网络技术将数据发送至云服务器,完成数据的存储和处理;基于 C#语言开发手机移动应用,利用数据库访问技术远程获取云服务器中的机器人数据。在手机 APP 中实现机器人运动复现、历史数据查询和超值报警、多机器人监测切换等功能。该系统硬件监测终端具有成本低、功耗低和寿命长等优势;手机移动应用还可以远程同时监测多个机器人,具有便捷、响应快等优势。

关键词:NB-IoT;机器人;云服务器;手机 APP;运动复现

中图分类号:TP242 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)01-0161-03

Mobile Application Development of Robot Monitoring System Based on NB-IoT Module

WU Zefeng, LI Chenggang, SONG Yong, CHU Yadong, CHEN Feixiang, WU Shujing

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and

Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: The microcontrollers was used to acquire data(angle, angular velocity, angular acceleration, force or torque) of the robot during motion process in the robot monitoring system. Based on NB-IoT module, the data was transmitted to the cloud server through LPWAN technology by the robot monitoring system to complete the data storage and processing. By adopting the database access technology, mobile-phone APP was developed on the basis of C sharp and the remote data of the robot was gained. In the mobile-phone APP, the functions such as movement reproduction of the robot, historical data query and overvalue alarm, multi-robot monitoring switch etc. could be implemented. The hardware monitoring terminal boasts the advantages of low cost, low power consumption and long life. In addition, mobile-phone APP can remotely monitor multiple robots simutaniously entitled with advantages of convenient APP and swift response.

Keywords: NB-IoT; robot; cloud server; mobile-phone APP; movement reproduction

0 引言

随着国内“机器换人”战略的全面推进和发展,机器人在生产制造方面的投入力度逐步加大,出现了数量骤升的现象。虽然机器人具备重复劳动、无需停机的优势,但是在夜以继日的工作过程中,易发生由于零件磨损或机械疲劳等原因导致的机器故障,从而造成机器停机或维修不及时严重局面,这势必会严重影响到机器人应用企业的生产效益。因此,对本地机器人进行远程监控显得尤为重要,通过机器人监控系统来远程监控机器人的状态参量(关节的角位移、角速度、角加速度、力/力矩等),对数据进行处理分析,一旦发现数据异常,用户可在手机 APP 中通过机器人运动复现、历史数据查询和超值报警等功能,快速甄别问题所在,从而及时指派维修工程师到本地对机器人进行维护修理,确保机器人稳定运行。

ABB 公司研发了机器人远程服务系统^[1],该系统通过在机器人终端安装带有 GPRS 无线通信网络功能的服

务箱,远程传输数据。该系统可对机器人进行远程监控、故障诊断和报警。朱心科等人^[2]设计了一种水下滑翔机器人监控系统,利用 GPRS 模块传输数据,实现现场及远程对水下滑翔机器人的监控。以上基于 GPRS 模块开发的监控系统,大多存在高功耗、高资费等不足。李毅等人^[3-4]开发了一套飞行吸附机器人无线监控系统,该机器人的核心处理器利用 ZigBee 无线通信模块将各种姿态数据发送到客户端 PC 机上,进行实时显示和控制机器人飞行。但由于 ZigBee 模块需要通过集中器和网关连入网络,存在现场部署复杂的缺点。随着物联网技术的快速发展,NB-IoT 低速率窄带作为 IoT(物联网)领域一种新兴的物联网通信技术^[5],支持低功耗设备在广域网的蜂窝数据连接。廉小亲等人^[6-7]开发了一种基于 NB-IoT 的空调远程控制系统,该系统采用 STM32 作为主控制器、NB-IoT 技术为核心进行网络传输,并基于华为公司的 OceanConnect 云平台进行开发,用户通过 Web 客户端或手机移动端便可对空调进行远程控制。董玉荣等人^[8-9]提出一种基于 NB-IoT 的智慧停车系统,该系统利用

基金项目:南京航空航天大学研究生创新基地(实验室)开放基金项目(kfj20180505)

第一作者简介:吴泽枫(1995—),男,广东普宁人,硕士研究生,研究方向为基于云平台的协作机器人路径规划与性能优化。

NB-IoT模块与地磁传感器采集停车位状态信息,并将信息传输到云端服务器中,用户通过手机APP即可实时查看城市停车位的状态信息,并可进行在线预订、在线支付和车位导航。以上利用NB-IoT模块开发的远程监控系统,既简化了现场安装部署,又同时具有低功耗、低成本、广覆盖、大连接等优势。本文研究一种基于NB-IoT模块的机器人监控系统,具有如下优势:

1)采用NB-IoT模块作为网络数据传输模块,通过采集数据后直接传入网络,简化了现场部署,降低了实施成本,并且可同时连接多个机器人进行监控;

2)云服务器拥有强大计算和海量存储等优点,可对机器人大量的历史状态参量进行存储和处理,有利于维护工程师对其数据进行深入分析和分析;

3)通过使用手机APP可对多个机器人进行远程监控,更加方便快捷;同时对机器人的三维模型进行运动复现(回放机器人的工作过程),使得用户监控机器人更加直观清晰。

1 机器人监控系统架构

整套机器人监控系统架构如图1所示,其工作过程为:

1)机器人控制系统中的硬件终端(51单片机系统和NB-IoT模块)通过串口获取本地机器人的状态参量数据(各关节的角位移、角速度、角加速度、力/力矩等)后,先对数据分析处理,若数据异常则本地直接报警,并进行数据打包;

2)51单片机系统将其数据经串口传到NB-IoT物联网通信模块;机器人监控系统基于TCP/IP网络传输协议和NB-IoT模块,通过LPWAN(低功率广域网络)技术创建Socket通信接口,建立与云服务器的连接,成功后上传数据包;

3)云服务器接收数据包并进行解析,将数据分别插入到MySQL数据库中表格相应的位置;

4)通过移动监测系统,用户可在手机APP中对机器人进行远程监控,实现机器人运动复现、历史数据查询和超值报警、多机器人监测切换等功能。

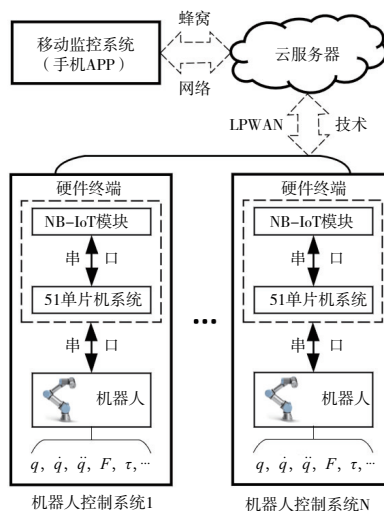


图1 基于NB-IoT模块的机器人监控系统框架

2 监控系统设计

2.1 机器人控制系统硬件终端电路设计

机器人控制系统的硬件终端电路如图2所示,主要实现将本地机器人状态参量数据打包,经串口UART由NB-IoT模块发送到云服务器的功能。该硬件终端主要包括51单片机、复位电路、晶振电路、NB-IoT模块、蜂鸣器报警电路。其中,51单片机是一种低功耗、高性能的8位微控制器,同时拥有8K字节系统可编程Flash存储器;该硬件电路配有复位电路和晶振电路,其复位电路用于单片机上电复位和手动按键复位,晶振电路用来产生单片机工作所需的时钟频率,本文中采用11.0592MHz的石英晶振,故其一个机器周期约为1.085μs;NB-IoT模块用于远程数据传输,本文使用的M5310-A是一种工作在频段Band3/Band5/Band8的工业级NB-IoT模块;蜂鸣器报警电路用于现场报警。51单片机、复位电路和晶振电路构成了单片机最小系统板,可以保证单片机系统正常稳定地工作。

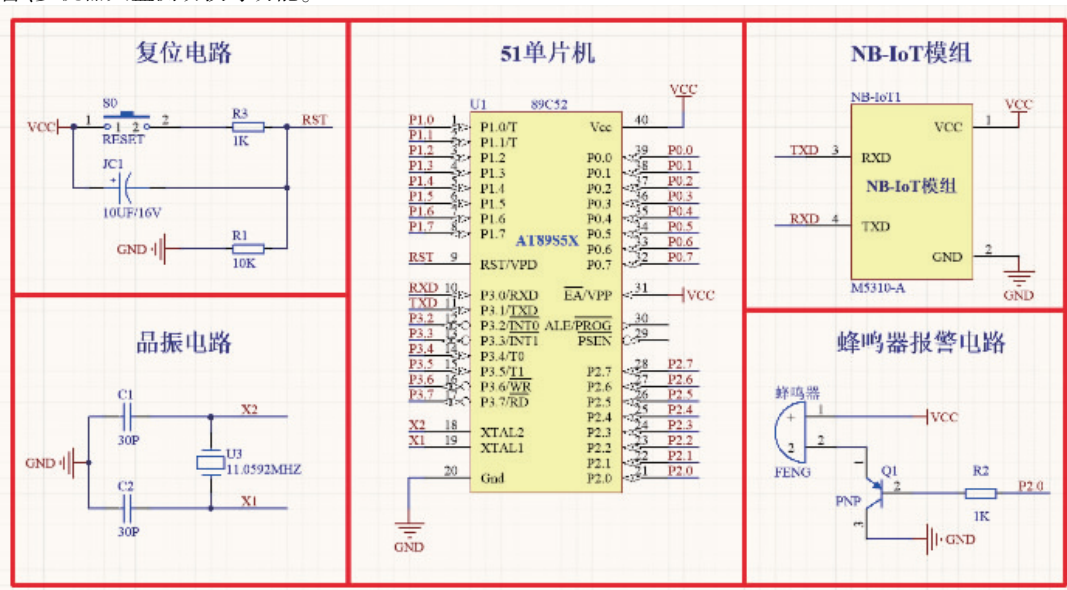


图2 硬件终端电路原理图

机器人控制系统中硬件终端电路的设计和实现过程如下:

1) 利用 C 语言在 Keil 软件中开发 51 单片机的程序,实现通过异步串口通信获取本地机器人的状态参量数据的功能。本文中设置串行口工作方式 10 位异步收发(8 个数据位,无奇偶校验,1 个停止位),波特率为 9 600 bps;

2) 硬件终端中装有蜂鸣器报警电路,51 单片机对获取的机器人数据进行判断分析,若数据出现超值等异常情况,机器人控制系统通过控制单片机 IO 口(P2.0)输出低电平导通三极管 PNP,蜂鸣器直接报警,现场提醒维修工程师及时排查问题;

3) 51 单片机将机器人数据打包后,由串口 UART 传输到 NB-IoT 模块,基于 TCP/IP 网络传输协议,NB-IoT 模块利用 LPWAN 技术通过 AT 指令连接移动蜂窝网络,经创建 Socket 通信接口并提出连接云服务器的公网 IP 和端口 Port 的连接请求 Connect(),通过 TCP 3 次握手获得云服务器的接收请求 Accept()后,便可实现远程连接,最后通过 Send()将数据包发送至云服务器,发送完成后,关闭 Socket。

2.2 云服务器设计

云服务器系统框架图如图 3 所示,主要实现接收来自机器人控制系统的机器人状态参量数据,并将数据存储到 MySQL 数据库中的功能。

云服务器的设计和实现过程如下:

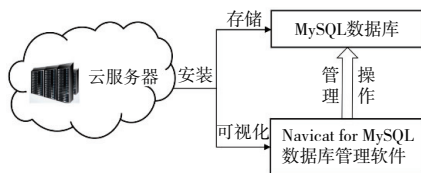


图 3 云服务器系统框架图

1) 本文的云服务器是基于阿里云公司的服务器进行开发,基于 TCP/IP 网络传输协议,使用 C#语言在 Visual

Studio 软件中编程。先在云服务器中创建 Socket 通信接口(图 4),然后利用 Bind()方法绑定云服务器本地 IP 和端口号 Port(3306),并进行监听 Listen(),一旦接收到来自硬件终端的连接请求 Connect(),由 TCP 3 次握手成功后,建立与机器人控制系统的数据通道;

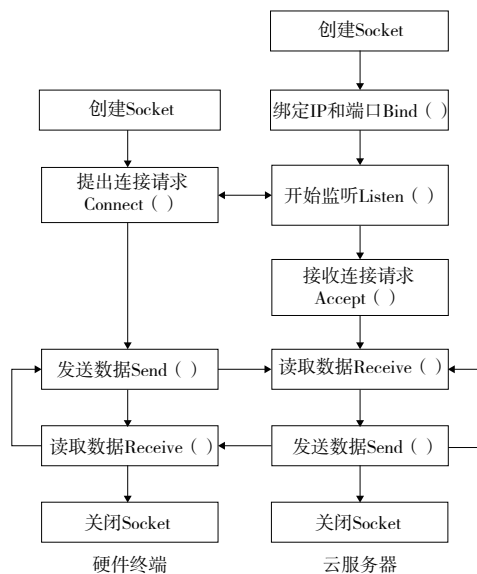


图 4 Socket 通信流程

2) 在云服务器中安装 MySQL 数据库和 Navicat for MySQL 数据库管理软件,利用数据库管理软件对 MySQL 数据库进行可视化管理,在数据库中建立机器人的状态参量表(tb_robot1_q, tb_robot1_qd, tb_robot1_qdd, tb_robot1_torque(图 5)),分别用来存放机器人控制系统 1 的角位移 q 、角速度 $\dot{q}$ 、角加速度 $\ddot{q}$ 和力矩 τ 信息;

3) 在机器人控制系统与云服务器实现数据对接后,云服务器通过 Receive()接收来自机器人控制系统的机器人状态参量数据(各关节的角位移 q 、角速度 $\dot{q}$ 、角加速度 $\ddot{q}$ 和力矩 τ 等),并利用数据库访问技术(SQL 语句),将数据插入到数据库内表格的对应列中存储,接收完毕后,关闭 Socket,结束通信。

[表] tb_robot1_torque @db_robotapp (阿里云)						
datetime	torque1	torque2	torque3	torque4	torque5	torque6
2019-08-19 09:00:00	0	37.4836666	0.24892875	0	0	0
2019-08-19 09:00:05	29.3630997	23.1559587	7.51225687	1.29544714	-1.2421548	0.45046296
2019-08-19 09:00:10	33.4263950	17.1833204	7.75736069	1.69282129	-1.4221802	0.57819917

图 5 MySQL 数据库中的 tb_robot1_torque 表格

2.3 移动监控系统设计

移动监控系统即手机 APP(图 6),主要对机器人进行远程监控,实现运动复现、历史数据查询和超值报警、多机器人监测切换等功能。

手机 APP 的设计和实现过程如下:

1) 将机器人模型导入 Unity 中。在 SolidWorks 中将机器人三维模型(UR5 协作机器人)转成 IGS 格式,接着导入 3d Max 软件中,设置尺寸单位和坐标系等参数后,输出为 FBX 格式,再导入 Unity 中完成三维模型的可视化。

2) 利用 C#语言在 Unity 中开发手机移动应用,利用 UI 控件设计机器人模型窗口、历史数据查询和超值报警窗口、多机器人监测切换等窗口实现人机交互,并在 Visual Studio 编辑器编写脚本功能。

3) 通过数据库访问技术(SQL 语句)对云服务器中 MySQL 数据库进行操作(如增、删、改、查),实现远程获取本地机器人的状态参量数据。

4) 通过选定日期,在机器人模型窗口中可观察机器人三维模型的运动情况,点击“启动”按钮即可实现运动

(下转第 197 页)

- and its simulation in the wind tunnel part2: Experimental studies [C]. NASA, CR-11495, 1972.
- [4] 黄勇, 胡卜元, 张卫国, 等. 8 m×6 m 风洞 TPS 反推力试验技术[J]. 空气动力学报, 2016, 34(3): 346-353.
- [5] LABAN M, SOEMARWOTO B, KOOI J. Reshaping engine nacelles for testing in wind tunnels with turbofan propulsion simulators[C]//41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. Tucson, Arizona. Reston, Virginia: AIAA, 2005.
- [6] DE Andrade F O, FERREIRA S B, DA Silva L F F, et al. Study of the influence of aircraft geometry on the computed flowfield during thrust reversers operation[C]//24th AIAA Applied Aerodynamics Conference. San Francisco, California. Reston, Virginia: AIAA, 2006.
- [7] SCHETZ J A, HARSHA P T. Injection and mixing in turbulent flow (progress in aeronautics and astronautics, vol. 68) [J]. Journal of Fluids Engineering, 1980, 102(4): 525.
- [8] 左志成, 钱瑞战. 民机反推力装置非稳态数值模拟与分析[C]. 贵阳: 中国航空学会第7届动力年会, 2010.
- [9] 陈著, 单勇, 沈锡钢, 等. 着陆滑跑状态下的反推力装置重吸入特性数值模拟[J]. 航空动力学报, 2016, 31(3): 733-739.
- [10] 王志强. 反推状态下大涵道比涡扇发动机气动稳定性预测与评估[J]. 航空学报, 2017, 38(2): 151-161.
- [11] 陈功, 胡切与. 民用飞机反推装置气动特性分析与验证[J]. 航空发动机, 2017, 43(2): 56-61.
- [12] EPSTEIN A H. Active suppression of compressor instabilities [J]. AIAA Paper, 1994: 86.
- [13] JOHN H P, Summary of scale-model thrust-reverser investigation[R]. NACA TN-3664, 1956.
- [14] HEGEN G H, KOOI J W. Investigation of aircraft performance with deployed thrust reversers in DNW [C]//41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. Tucson, Arizona. Reston, Virginia: AIAA, 2005.
- [15] 宋圣申, 周正贵, 邓瑜真. 超高载荷大涵道比齿轮驱动风扇气动设计[J]. 机械制造与自动化, 2019, 48(6): 67-71.

收稿日期: 2020-01-06

(上接第 163 页)



图 6 移动监控系统
(手机 APP) 界面

复现,对机器人的运动过程进行回放,通过“复位”按钮可使机器人回到初始位置;通过历史数据查询和超值报警窗口,可查看机器人各关节在不同时刻对应的状态参量(如力矩),同时,设定力矩阈值,对超值的力矩数据进行标红显示,实现超值报警功能,提醒用户及时处理;另外,通过设计多机器人监测切换窗口,可同时多个机器人进行监控,并随时切换。

3 结语

基于 NB-IoT 模块的机器人监控系统利用 51 单片机经串口获取机器人的状态参量数据,同时对数据进行综合分析处理,若出现异常数据则本地蜂鸣器直接报警,现场提醒本地工程师及时对机器人维护;然后,51 单片机通过

NB-IoT 模块将数据发送到云服务器中的数据库进行存储处理。用户可通过手机 APP 对机器人进行远程监控,实现机器人运动复现、历史数据查询和超值报警、多机器人监测切换等功能。整套系统硬件终端使用 NB-IoT 模块具有功耗低、成本低及现场部署简单等优势;手机 APP 对机器人三维模型进行监控和对多个机器人同时进行监控切换具有可视化效果好、便捷的优点,且该系统结构简单易实施,非常适合各种机器人用户对机器人的远程监控。

参考文献:

- [1] ABB Inc. ABB robot care service agreements with remote service [M]. [S. l: s. n]: 2013.
- [2] 朱心科, 公丕亮, 王长涛, 等. 基于 GPRS 的水下滑翔机器人监控系统设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(34): 90-91, 121.
- [3] 李毅, 刘永. 基于 ZigBee 技术的飞行吸附机器人无线监控系统[J]. 机械制造与自动化, 2017, 46(1): 160-163.
- [4] 蒋志敏, 陈丽安, 丁明珠. 基于 ZigBee 技术的电量数据传输系统[J]. 物联网技术, 2014, 4(1): 37-40, 43.
- [5] 黄文超. NB-IoT 低速率窄带物联网通信技术现状及发展趋势[J]. 电子测试, 2017(6): 58, 29.
- [6] 廉小亲, 周栋, 成开元, 等. 基于 NB-IoT 的空调远程控制系统设计及实现[J]. 测控技术, 2018, 37(5): 51-55.
- [7] WANG Y P E, LIN X Q, ADHIKARY A, et al. A primer on 3GPP narrowband Internet of Things[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(3): 117-123.
- [8] 董玉荣, 聂云峰. 基于 NB-IoT 的智慧停车系统研究与设计[J]. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2017, 31(3): 95-99.
- [9] 王明浩, 吴韶波. 基于智慧城市建设的 NB-IoT 应用研究[J]. 物联网技术, 2017, 7(7): 79-82.

收稿日期: 2019-09-16