

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802213

基于 ZigBee 技术的带压作业监测系统设计*

刘勇 陈佳 戴向阳 罗严 王楠

(武汉第二船舶设计研究所 武汉 430064)

摘要: 针对目前带压作业有线监测系统存在的布线复杂、安全性差以及难以维护等缺点,设计了一种基于 ZigBee 技术的带压作业监测系统。该系统包含一个汇聚节点和多个用于参数终端采集的传感器节点,可在无线情况下安全有效地采集带压作业运行过程中的各种数据。数值模拟结果表明,通信距离小于 150 m 时,丢包率为 0;通信距离为 200 m 时,丢包率为 0.4%,系统可满足实际应用中传输距离为 50 m 的要求。实际应用结果表明,该系统克服了传统物理布线的束缚,方便高效地实现了数据信息的采集,实现了带压作业的无线监控,在带压作业中具有广阔的应用前景。

关键词: 带压作业; ZigBee; 无线传输; 数据监控

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Design of monitoring system of snubbing operation based on ZigBee technology

Liu Yong Chen Jia Dai Xiangyang Luo Yan Wang Nan

(Wuhan Second Ship Design Institute, Wuhan 430064, China)

Abstract: Aiming at the defects existing in the current wired monitoring system for snubbing operation, including complicated wiring, poor anti-interference and difficult maintenance, in this paper, we design a monitoring system of snubbing operation based on ZigBee technology. The system comprises a data base station and several multi-parameter terminal collection nodes, which can safely and effectively collect various data during the operation of snubbing operation equipment under wireless conditions. The numerical simulation results show that the packet loss rate is 0 when the communication distance is less than 150 m, and the packet loss rate is 0.4% when the communication distance reaches 200 m, which shows the system can fully meet the requirements of 50 m transmission distance in practical applications. The practical application results demonstrate that the system overcomes the constraints of traditional physical wiring, facilitates the efficient collection of data information, realizes wireless monitoring of snubbing operation and has wide application prospects in the snubbing operation system.

Keywords: snubbing operation; ZigBee; wireless transmission; data monitoring

0 引言

带压作业技术是一种新型的井下作业工艺技术,在井口有压力的情况下能够实现管柱的安全、无污染起下作业^[1]。带压作业设备可避免油层污染,缩短作业占井时间,节约施工费用,提高日注水量和产油量^[2],目前该设备已经在国内的各大油田得到广泛应用。在带压作业夹持油管举升/下降过程中,需要完成卡瓦打开/关闭状态监测、防喷器打开/关闭状态监测、平衡阀、放喷阀的平衡放喷开关状态监测以及对卡瓦载荷的监测等^[3-5]。在传统的带压作业监测系统中,

信息的采集主要依靠人工或者传感器采集信息的有线传输,这种传统物理布线式的传感器数据采集监测系统具有布线繁琐、安全性差、难以维护、功耗大等缺点^[6-7]。

近些年,无线传输技术的快速发展为解决传统传感器有线传输存在的问题提供了一种行之有效的技术手段。无线传感器网络是一种新技术,已开始应用于工业控制、智能家居自动化和医疗系统等许多领域。它从介质中与网关节点收集数据并通过协调节点无线传送这些数据的框架,是一种用户友好的技术,没有电线的成本和混乱,并且易于使用而脱颖而出^[8]。无线传感器网络系统通常包括传感器节

收稿日期:2018-10-22

* 基金项目:国家重大科技专项(2016ZX05038-003)资助

点、汇聚节点和用户界面。大量的传感器节点布置在要监测的区域附近,定时将监测到的数据通过天线发送到下一节点,然后通过多跳路由到汇聚节点。最后,通过串行通信,数据被传输到地面控制中心进行处理^[9]。

无线通信技术是无线传感网络的核心,目前,比较受关注的短距离无线通信技术包括蓝牙、WLAN、ZigBee、超宽带(ultra-wideband, UWB)和近场通信(near field communication, NFC)等^[10],这些技术各有特点,分别能够满足基于覆盖范围、传输速度、功耗等特殊要求。在带压作业设备运行过程中,控制系统对操作流程的先后顺序及响应时间有较高要求,系统需要同时接受多个传感器发送的信息,对整个举升设备状态进行监控。因此,无线通信必须要在目标通信范围内短时间做出响应,且数据传输可靠性要求高,设备接入容量足够多。由于卡瓦举升工作周期长,为了避免频繁更换电池,需要通信功耗尽可能低。考虑到带压作业的实际应用特点,这里选择 ZigBee 通信技术,与其他通信技术相比,ZigBee 技术功耗低、协议简单、网络容量大、覆盖范围广、时延短、响应速度快,更适合作为卡瓦举升控制系统无线传感通信技术。

为此,本文针对传统有线式数据采集监测系统存在的布线复杂、功耗大、安全性差以及难以维护等缺点,设计了一种基于 ZigBee 的无线传感器数据采集监测系统。该系统包含一个汇聚节点和多个采集参数的传感器节点,利用 ZigBee 技术实现各节点间的自组网,完成节点的多种数据采集,并将采集的数据通过 ZigBee 无线通信技术传输到汇聚节点,最终通过串口通信传输到监测控制中心,摆脱了在带压作业监测现场因采用物理布线方式带来的束缚和安全性性能差等问题,给用户带来方便。

1 系统总体设计

监测系统主要由工作参数的检测与处理模块和 PC 机监控中心两部分组成。工作参数的检测与处理模块主要负责数据采集、处理和发送。传感器将采集到的卡瓦、防喷器、放喷阀和平衡阀的状态以及卡瓦载荷等信息送入主控制器进行数据处理,然后将处理后的数据按照通信协议封装后通过 ZigBee 节点传送到汇聚节点,最后通过串口将采集的信息发送至上位机,上位机会及时对收到的数据进行处理并显示。PC 机监控中心负责解析现场发出的数据,并分析数据。一旦设备工作参数出现异常,监控系统界面会发出警告提示,监控中心将会提醒现场人员停机维修。监测系统的整体结构如图 1 所示。

带压作业设备的无线监测采用的是星型网络拓扑结构以及点对点的发送模式。现场数据采集端 ZigBee 模块节点类型设置为中继路由,监控中心端 ZigBee 模块节点类型设置为中心节点。采用点对点的发送模式,使现场各子节点之间不能相互通信,只能与中心节点进行通信,提高了数据传输的高效性和稳定性。

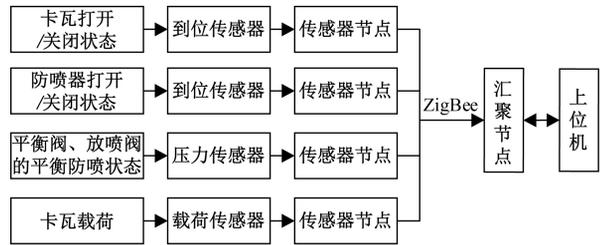


图 1 系统总体结构

2 系统硬件设计

带压作业监测系统的硬件设计主要包括数据处理模块电路、电源模块电路、天线模块电路、SD 卡外围电路和汇聚节点硬件电路设计。其中数据处理模块主要负责采集各传感器检测到的数据,并把最终数据经过天线发送至汇聚节点,由汇聚节点进行存储和上传工作;汇聚节点是带压作业监测系统的核心单元,主要负责整个系统的协调,建立整个网络,分配地址,添加和删除节点,维护节点设备数据和数据传输表,不引起混淆通信;电源模块为整个电路系统提供稳压电源,确保系统稳定安全的运行;SD 卡外围电路用于系统故障时的数据保存。

2.1 数据处理模块电路设计

数据处理模块电路采用 TI 公司推出的第 2 代支持 IEEE 802.15.4/ZigBee 协议系统的芯片 CC2530,其内部集成了高性能射频收发器,工业标准增强型 8051 MCU 内核,256 KB Flash ROM 和 8 KB RAM,芯片正常工作电压为 3.3 V,可以通过少量外围元件实现数据的接收和发送^[11-12]。它支持 5 种工作模式,可以更好地满足低功耗系统的需求,免去经常更换电池的困扰。在接收和发送模式下,电流消耗仅为 24 和 29 mA。由于其功耗低,硬件设计相对简单、封装小,因此已广泛应用于各种无线传感器网络^[13]。

传感器节点由多功能传感器和 CC2530 芯片组成。特殊功能传感器部分的电路比较简单,通常传感器直接连接到放大电路。将传感器采集到的模拟信号放大后可以很好地适应 CC2530 芯片中 A/D 模块的输入电压值。通过 A/D 转换,模拟信号转换为数字信号,经 CC2530 芯片内的 8051 MCU 内核简单处理后,数据被传输到 Z-stack 协议栈,然后无线发送。CC2530 的外部电路设计如图 2 所示。

2.2 电源模块电路设计

对于一个有源系统来说,电源模块电路的设计必不可少。电源供电在带压作业监测系统设计中至关重要,稳定的电源才能够确保数据的完整传输,因此电源模块的性能在很大程度上对带压作业监测系统的性能造成影响^[14]。作为无线节点,一般数量较多,且分布松散,所以通常使用电池供电。结合该系统的实际需求和特点,这里使用的是锂电池 ER34615,它的额定输出电压为 3.6 V,自放电率非

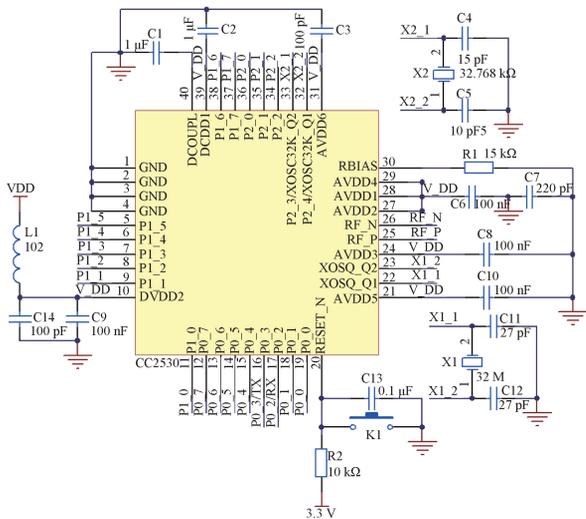


图 2 CC2530 数据处理模块

常低,每年在 1%左右,储存寿命超过 10 年^[15],因此不需要经常性地为传感器节点更换新电池,正常使用的情况下,一块电池能够为每个节点供电 1 年以上。CC2530 芯片正常工作的电压是 3.3 V,为了供电的安全,需要对锂电池的输出电压进行降压,具体的降压电路如图 3 所示。

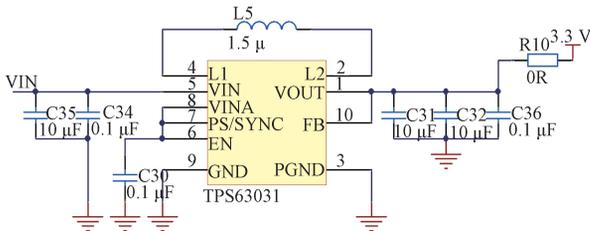


图 3 电源模块

2.3 天线模块电路设计

天线作为节点的发射和接收设备是影响信号强度和质量的设备,设计优秀的天线系统对于提高无线传感器网络节点的性能有着重大影响。天线输出端阻抗的正确选择也是数据得到最大传输的前提,阻抗匹配主要用于传输线上,以达到所有高频的微波信号皆能传至负载点的目的,而不会有信号反射回源点,在本系统的设计中,依据传输线理论计算得出天线的阻抗匹配约为 51 Ω,在该阻抗下,数据能够稳定高效地传输。天线传输模块电路如图 4 所示。

2.4 SD 卡外围电路设计

一般的无线传输系统在发生断电或损坏等故障时,会丢失数据,而这些数据对于系统的维修至关重要,为此,在该系统的设计中增加了一个断电故障存储器,这里采用简单高效的 Micro SD 卡,可将及时保存到的数据拷贝到计算机上并进行分析,方便系统的维修和升级。SD 卡接口设计电路如图 5 所示。

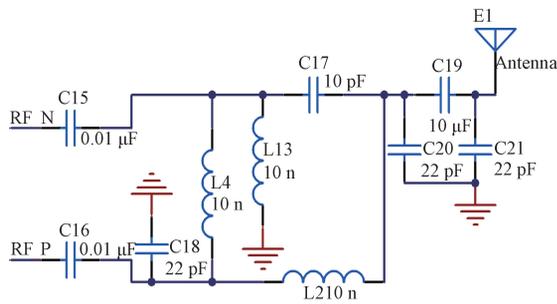


图 4 天线传输模块

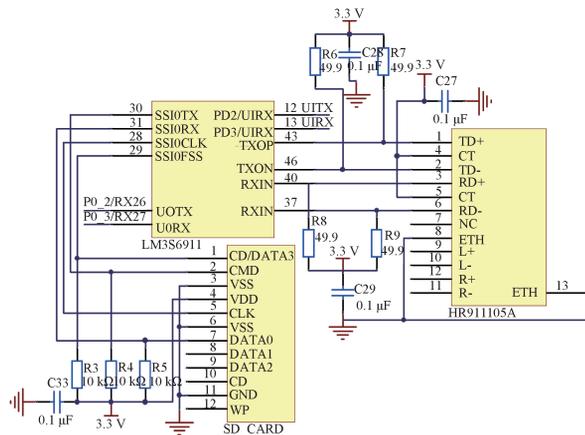


图 5 SD 卡硬件接口电路

2.5 汇聚节点硬件设计

汇聚节点为监测系统中的核心设备,一方面负责建设和管理 ZigBee 网络;另一方面,连接 ZigBee 网络和监控中心,起到数据中继和传输的作用。这里以高性能的控制器为核心,设计的汇聚节点可以动态配置 ZigBee 网络,监控带压作业运行过程中的各种参数。如图 6 所示,设计的汇聚节点由数据处理模块、供电模块、天线模块、以及串口转换电路 4 部分组成。

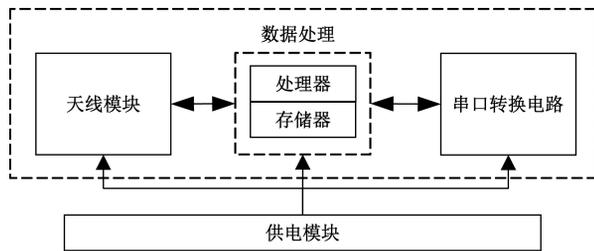


图 6 汇聚节点组成

计算机的串行通信接口是 RS-232 的标准接口,而 CC2530 单片机的 UART 接口则是 TTL 电平,因为数据处理模块与上位机接口电平的差异,为了实现汇集节点与上位机之间数据的传输,必须进行电平的转换,就需要借助接口芯片在两者之间进行电平转换,常用的有 MAX232。设

计的串口转换电路如图 7 所示,通过该电路将 ZigBee 无线通信模块的串口转换成 USB 完成与 PC 机的通信。由于汇聚节点通常需要一直运行,耗电量较大,为了避免经常性的更换电池以及确保系统运行的稳定性,这里采用上位机的 USB 端口供电。

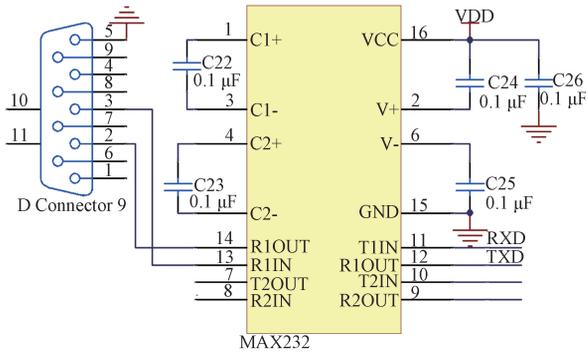


图 7 串口转换电路

3 系统软件设计

系统软件主要包括传感器节点软件设计、汇聚节点软件设计和上位机软件设计 3 部分。传感器节点主要实现数据的采集和发送;汇聚节点一方面负责网络的配置和管理,另一方面收集各个传感器节点发送的数据,将数据处理后转发给上位机;上位机主要实现数据的储存、实时显示及数据分析与管理等功能。

3.1 传感器节点软件设计

在本系统中,传感器节点由 Zigbee 传感器模块、处理器模块、无线收发模块和电源模块组成,通过布置在带压作业设备上的一系列传感器可以准确捕获设备运行时的参数值并进行初始处理,危险报警,从监控中心接收数据请求命令,并将收集的数据发送到监控中心。传感器节点的软件设计流程如图 8 所示。

3.2 汇聚节点软件设计

实际上汇聚节点作为网络服务器,主要负责整个系统的协调,建立整个网络、分配地址、添加和删除节点、维护节点设备数据和数据传输表,不引起混淆通信。在该系统中,汇聚节点程序的特定功能是接收来自传感器节点发送的数据,同时需要将处理后的数据发送至上位机。同时,在接收到信号时,需要判断此信号是传感器上传信号还是节点的入网信号,根据不同信号的类型来对执行不同的操作。由于 ZigBee 是一种自组织网络技术,当某些或其他从属终端节点请求连接到网络或无法正常工作时,服务器主机可以发现这种变化,汇聚节点软件的具体实现流程如图 9 所示。

3.3 上位机软件设计

考虑到带压作业设备工作的特殊性,设计的上位机应该具有以下功能:显示信息,输入控制命令,自动完成一些特定任务。当上位机启动时,首先完成硬件启动,初始化连

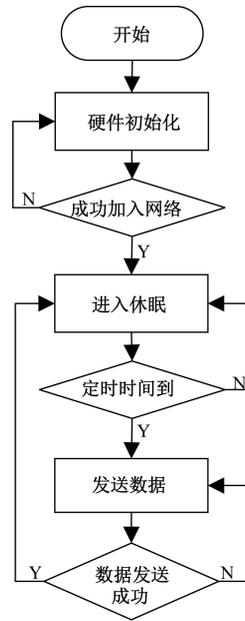


图 8 传感器节点程序设计流程

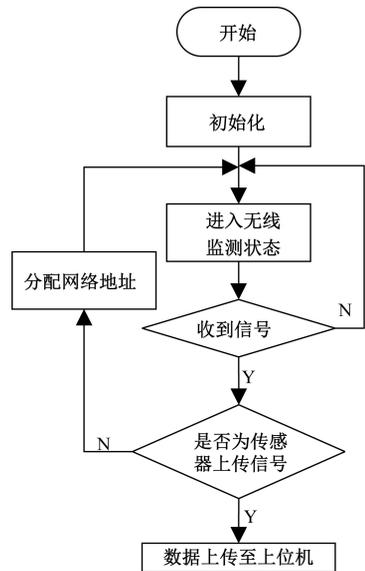


图 9 汇聚节点程序设计流程

接串口以及 ZigBee 模块,然后机器搜索网络并请求连接到网络,之后汇集节点将发送应答信号,只有当传感器节点收到应答信号时,它才能添加到网络。上位机的主要功能是从汇聚节点接收数据,扫描键盘,解析键盘输入命令并完成相应的操作(如控制开关、监控和数据采集)。系统上位机的软件设计流程如图 10 所示。

4 系统测试与应用

4.1 系统测试

为验证系统的准确性和可靠性,在投入使用之前进行

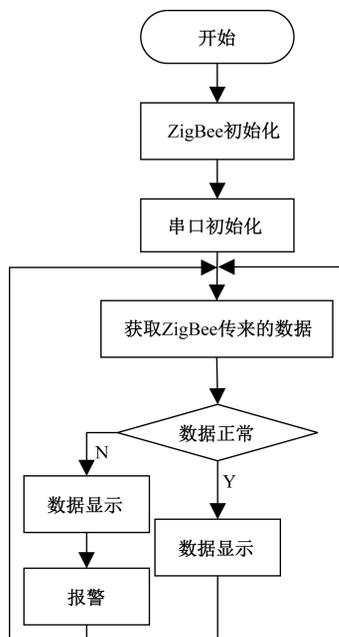


图 10 上位机软件设计流程

了相关测试。无线网络传输的稳定性主要体现在数据的丢包率上^[16],为此,本文模拟带压作业的工作过程,将采集到的信息进行无线传输,测试不同距离时该系统的丢包率,ZigBee 无线传输测试结果如表 1 所示。

表 1 有效通信距离测试表

通信距离/m	发送次数	接收次数	丢包率/%
50	1 000	1 000	0
100	1 000	1 000	0
150	1 000	1 000	0
200	1 000	996	0.4
250	1 000	989	1.1
300	1 000	974	2.6

从表 1 可以看出,当两设备之间的通信距离 ≤ 150 m 时,接收数据量与发送数据量相同,即丢包率为 0,说明两设备间数据传输稳定;当通信距离 > 250 m 时,随着距离的增加,丢包率快速增大,此时两设备间数据的传输不稳定,存在一些丢包现象。造成这种现象的原因如下:1) ZigBee 是一种适用于近距离传输的无线通信技术,且在保证低功耗的前提下,不宜过大的增加发射功率;2) 随着距离的增加,空气中水分子会吸收、反射更多的射频信号,建筑物、树木、车辆、人群等都会对信号有更大的遮挡影响,另外同频信号(WiFi、蓝牙等 2.4 GHz 信号)的影响也很大。在带压作业实际监测中,通常要求的数据传输距离为 50 m 左右,因此本文设计的基于 ZigBee 技术的无线监测系统能够满足带压作业监测现场的实际应用需求。

4.2 现场应用

在现场试验时,该系统能够在井下作业恶劣的施工环境中完成上述参数的监测,布置在带压作业设备上的传感器节点能够准确可靠的采集到设备运行时的相关数据,并通过 ZigBee 无线网络稳定高效地传输到上位机,并进行显示保存。系统通过实际操作证明,本文设计的基于 ZigBee 技术的带压作业监测系统具有以下优点。

1) 先进的技术。由于采用了最新的 ZigBee 技术,覆盖范围广,使设备的所有部件都有明确的分工,同时减少了布线,设备工作更安全高效,设计清晰的人机界面使操作更为简便。

2) 低功耗低成本。在低功耗待机模式下,一个节点上的锂电池可以支持 12~24 个月甚至更长时间的工作。这是 ZigBee 的一个突出优势。相比之下,蓝牙只能工作几周。更重要的是,ZigBee 价格偏低,每个芯片的价格约为 8 元,成本非常低。

3) 可扩展性好。ZigBee 可以是 Stellate, Flake 和 mesh 网络结构,由主节点管理多个子节点,一个节点最多可以管理 254 个子节点。同时,主节点也来自一个网络节点管理器,它可以扩展组成 65 000 个节点网络。

5 结 论

本文设计了一种基于 ZigBee 技术的带压作业监测系统。该系统采用无线的数据传输方式,可克服传统物理布线的束缚,方便高效地实现数据信息的采集,既减少了人力物力,又保证了采集的安全可靠性,便于对带压作业系统的实时监控。实际应用的结果表明,该系统实现了带压作业运行过程中一系列参数的监测,覆盖范围广,能够抵抗现场干扰,很好地适应现场应用环境,达到了减少人力、安全高效作业的目标,可有效实现对带压作业设备的实时监控。另外,在未来的研究中,计划通过将 ZigBee 技术与 GPRS 技术结合,弥补该监测系统通信距离有限的缺陷,同时设计有效的抗干扰算法保证数据的稳定传输,以实现对整个油田所有设备的无线监测。

参考文献

- [1] 杨永刚, 田育红, 张红岗. 注水井带压作业工艺技术研究及应用[J]. 石油化工应用, 2010, 29(8):95-96.
- [2] 李瑞萍. 带压作业设备结构与问题改进[J]. 中国石油石化, 2016(S1):200.
- [3] 马卫国, 陈婷, 王炜, 等. 带压作业闸板防喷器胶芯失效机理研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(2):148-152.
- [4] 苗治军, 全兆盘, 王群章, 等. 新型带压作业修井机研制[J]. 河南科技, 2017(11):67-69.
- [5] 高加索, 涂学洋, 唐纯洁, 等. 一种新型带压作业设备的研制[J]. 石油机械, 2012, 40(7):93-96.
- [6] 谢冰, 刘海刚, 高世卿, 等. 带压作业可视化监控装置研制[J]. 石油矿场机械, 2015, 44(10):82-84.

- [7] 曹庆, 刘博, 赵鸣. 基于物联网的结构施工监测技术应用[J]. 电子测量技术, 2016, 39(4):169-172.
- [8] 吕雪. 无线传感器网络技术发展现状[J]. 信息通信, 2015(10):169-170.
- [9] 徐碧赢, 孙慧. 基于 ZigBee 的终端采集设备的研究与实现[J]. 电子设计工程, 2018, 26(4):150-153.
- [10] 曾园园. 无线传感器网络技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2014.
- [11] 蔡利婷, 陈平华, 罗彬, 等. 基于 CC2530 的 ZigBee 数据采集系统设计[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(11):197-200.
- [12] 龚文超, 吴猛猛, 刘双双. 基于 CC2530 的无线监控系统设计与实现[J]. 电子测量技术, 2012, 35(6):33-36, 49.
- [13] 德州仪器. CC2530 Datasheet [EB/OL]. [2011-05-26]. <https://wenku.baidu.com/view/ableccd180eb6294dd886c0a.html>.
- [14] 何宏, 高艳因, 张志宏. 基于压电自供电的无线传感网络网关节点设计[J]. 中国测试, 2016, 42(9):67-71.
- [15] 杨志勇, 王卫星. 无线传感器网络节点电源系统设计[J]. 通信电源技术, 2008, 25(6):63-64.
- [16] 丁垒, 朱欣华, 周同, 等. 多参数无线传感器网络监测系统[J]. 自动化仪表, 2018, 39(4):51-54.

作者简介

刘勇, 硕士, 主要研究方向为通信工程。

E-mail: bill_liuyong@163.com

戴向阳(通信作者), 硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器应用技术。

E-mail: 2485952510@qq.com