

基于低轨卫星和窄带物联网的智能冷链运输终端系统^①



聂健波¹, 吕洁印^{1,2,3,4}, 周受钦^{1,3,4}, 黄瑞雪³

¹(深圳中集智能科技有限公司, 深圳 518067)

²(长安大学, 西安 710064)

³(东莞中集智能科技有限公司, 东莞 523808)

⁴(中国国际海运集装箱集团(股份)有限公司, 深圳 518067)

通讯作者: 吕洁印, E-mail: jieyinlv@163.com

摘要: 针对目前全球范围冷链运输智能系统功耗高、全球覆盖能力差、效率低等问题, 以智能冷藏集装箱为研究对象, 介绍了一种基于低轨卫星和窄带物联网 (NB-IoT) 通信技术的智能冷链运输终端系统, 并给出了该智能终端系统的系统方案、硬件设计、软件设计、低功耗设计及测试结果. 运输终端系统以 STM32 作为主控制器, 集成了温湿度和位置信息等传感器, 兼容低轨卫星和 NB-IoT 两种通信方式, 可以实现全球范围内装有该智能终端的冷藏集装箱位置、状态和安全等信息监测控制. 通过实际运行表明, 该方案可靠, 数据传输稳定, 具有一定的推广和应用价值.

关键词: 低轨卫星; NB-IoT; 冷链运输; 运输终端; 低功耗

引用格式: 聂健波, 吕洁印, 周受钦, 黄瑞雪. 基于低轨卫星和窄带物联网的智能冷链运输终端系统. 计算机系统应用, 2019, 28(4): 119-124. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6846.html>

Intelligent Cold Chain Transportation Terminal System Based on LEO Satellite and Narrow-Band Internet of Things

NIE Jian-Bo¹, LYU Jie-Yin^{1,2,3,4}, ZHOU Shou-Qin^{1,3,4}, HUANG Rui-Xue³

¹(Shenzhen CIMC Intelligent Technology Co. Ltd., Shenzhen 518067, China)

²(Chang'an University, Xi'an 710064, China)

³(Dongguan CIMC Intelligent Technology Co. Ltd., Dongguan 523808, China)

⁴(China International Marine Containers (Group) Ltd., Shenzhen 518067, China)

Abstract: Aiming at the problems of high power consumption, poor global coverage and low efficiency of intelligent cold chain transportation system in the whole world, taking intelligent refrigerated container as the research object, this paper introduces an intelligent cold chain transportation terminal system based on LEO satellite and NB-IoT communication technology, and gives the system design, hardware design, software design, low power consumption design and test results of the intelligent cold chain transportation terminal system. The transport terminal system uses STM32 as the main controller and integrates temperature, humidity and location information sensors. It is compatible with LEO satellite and NB-IoT communication modes. The system can globally monitor the position, status and safety of refrigerated containers equipped with the intelligent terminal. Practical operation shows that the scheme is reliable and has certain popularization

① 基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFB0503702); 深圳市技术攻关项目 (JSGG20170414114406355); 东莞市引进创新科研团队计划 (201636000200039); 深圳星基装备物联网技术工程实验室 (深发改【2016】724号)

Foundation item: National Key Research and Development Program of China (2017YFB0503702); Technology Program of Shenzhen Municipality (JSGG20170414114406355); Introducing Innovative Scientific Research Team Plan of Dongguan City (201636000200039); Shenzhen Satellites Based Equipment IoT Technology Engineering Laboratory ([2016]724)

收稿时间: 2018-10-09; 修改时间: 2018-10-30; 采用时间: 2018-11-14; csa 在线出版时间: 2019-03-28

and application value.

Key words: LEO satellite; NB-IoT; cold chain transport; transport terminal; low power

冷藏集装箱(冷藏箱)是一种具有良好气密性、隔热性且能保证一定低温要求和适用于各类易腐食品的贮存、运输的特殊功能集装箱^[1]. 冷链运输是指在运输全过程中,无论是装卸搬运、变更运输方式、更换包装设备等环节,都使所运输货物始终保持一定温度. 冷链运输方式大多数都是以冷藏集装箱作为运输载体,但是,如果在运输中突然发生车辆抛锚、冷冻系统瘫痪等事故,都会大大影响冷链产品的质量. 温度是冷链运输的关键点,目前,冷链物流温控管理最大的技术瓶颈是温度监测技术手段滞后,无统一数据系统支持,实时性差、无法进行预警等. 要解决这一瓶颈,就需要先引入现代的温度监测方法. 因此,在冷链运输过程中,对车辆的实时状态进行监控是很有必要的^[2-5].

然而,传统大多数冷链监控类设备终端存在功耗大,链路建立时间长以及数据传输效率低等缺陷,基本不具备全球定位追踪功能. 目前低轨卫星与地面移动通信的结合是未来通信的主要特征之一,使用时隙控制机制、动态时隙管理等数据通信技术,可为数据传输提供了可靠保障^[6,7]. NB-IoT在标准体系统一、扩展能力上具有巨大优势,必将成为物联网技术及产业链发展、物联网应用在全球部署的有力推动者^[8]. 因此,开发一种集成低轨卫星、NB-IoT通信和GPS/北斗定位等相关技术的智能终端,通过网络构造资源共享,实现对货物运输过程中车辆的运行路线、实时运行位置、人员的安全情况以及车厢内的温湿度进行监控. 一方面便于车辆的指挥调度;另一方面在出现突发事件时,可迅速做出决策^[9,10],为冷链运输提供安全的保障服务.

1 系统方案

智能冷链运输终端系统主要有三个组成部分,智能终端,无线通信和远程监控平台.

智能终端搭载在冷藏集装箱上,是数据采集中心,主要负责采集冷藏集装箱的地理位置,运动状态和箱内温湿度等数据. 无线通信是智能终端和远程监控平台进行数据交换的桥梁,负责将智能终端打包好的数据报文上传到服务器. 该智能冷链运输终端系统的无

线通信包括了低轨卫星通信和 NB-IoT 通信,两种通信方式之间可以相互智能切换,由于 NB-IoT 在通信方面有着强链接,高覆盖,功耗低等优势,因此,优先使用该通信方式. 在窄带蜂窝网没有覆盖到的城市、峡谷、山区、丛林等区域,智能终端将启动低轨卫星发送数据. 远程监控平台一方面可以从服务器中提取出智能终端发送上来的原始数据报文,经过协议解析将采集到的数据以界面的方式展示给用户,包括冷藏箱内外的温湿度,运动状态,位置和报警信息等;另一方面用户也可通过平台向智能终端发送数据,如报警处理,远程升级终端等. 智能终端系统架构见图 1.

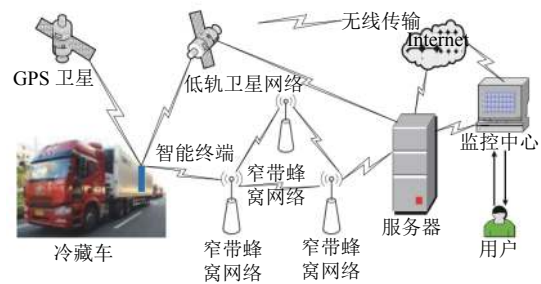


图1 智能终端系统架构图

2 硬件设计

智能终端的硬件由主板、天线、电池等组成. 其中,主板部分包含MCU、存储模块、通信模块、定位模块、传感器模块以及电源管理模块和看门狗等模块. 智能终端的硬件组成框图见图 2.

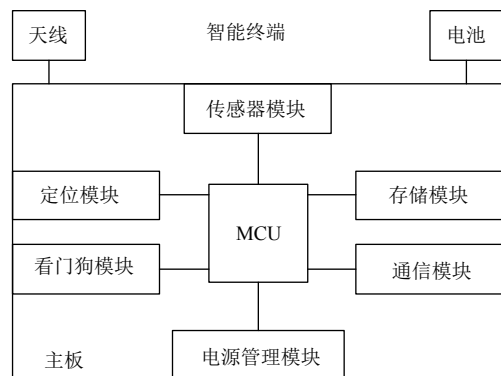


图2 智能终端的硬件组成框图

2.1 微处理器模块

智能终端搭载在冷藏集装箱上,需长期处于实时检测的工作模式。因此,低功耗是终端关键器件选型的一个重要参数。设计选用 STM32L1 系列芯片作为主控制器,该系列芯片具有超低功耗,睡眠功耗仅有 2 uA,硬件资源丰富,主时钟频率达到 32 MHz,能满足整个智能终端系统响应速度和运算控制需求。

2.2 定位模块

智能终端采用上海移远公司 L76C 系列 GNSS 模块,与单一的 GPS 模块相比 L76C 模块集成了多卫星定位系统使得可见和可用卫星数目大幅度增加,同时,内置有 LNA 确保在弱信号环境下能有更好的性能,此外, L76C 模块还可接入加速度传感器进行融合定位,即使是在复杂的城市环境下也能实现更高的定位精度和准确度,并显著降低平均运行功耗,平均功耗在 25 mA 左右,满足终端对低功耗的高要求。可通过 UART 接口与 MCU 进行通信,实现定位数据采集。

2.3 传感器模块

智能终端的传感器模块包括温湿度传感器和加速度传感器。选用 Sensirion 公司 SHT30 温湿度传感器,该传感器具有封装小,测量精度高,功耗低等特点,平均工作电流只有 2 uA。该模块增加了一个报警输出引脚,在温度与湿度超过或低于一定阈值时,会输出高电平直接唤醒 MCU,不再需要由 MCU 主动发送指令去轮询数据,可长时间停留在低功耗睡眠模式,从而减少终端的功耗。可通过 I2C 接口与 MCU 进行通信,实现温湿度数据采集。

选用 ADI 公司 ADXL345 加速度传感器,该传感器功耗低,分辨率高,测量范围可达 ± 16 g,在 2.5 V 电压工作时,测量模式下功耗低至 23 uA,在待机模式下功耗只有 0.1 uA。可通过 SPI 接口与 MCU 进行通信,实现加速度数据采集。

2.4 看门狗模块

在电池供电的系统中,使用看门狗功能的微控制器定时器来唤醒系统,可以降低整个系统在休眠模式下的功耗。因此,选用 TI 公司一款具有看门狗功能的 TPL5010 低功耗定时器。该芯片可通过外部电阻配置 100 ms 至 7200 s 的定时时间,定时器精度达到 1%,电流消耗为 35 nA。只需连接 MCU 的复位引脚和一个 I/O 口即可完成唤醒系统功能。

2.5 存储模块

智能终端选用 W25Q64 芯片作为存储器,容量为

64 Mb,采用标准的 SPI 协议,支持双输出/四输出的 SPI 接口与 MCU 进行通信,实现智能终端的数据存储。

2.6 通信模块

通信模块由 NB-IoT 模块和卫星模块组成。硬件上将两个通信模块设计于同一个串口,构成双模的通信方式。NB-IoT 模块选用上海移远 BC35-G 模块,该模块是一款高性能、低功耗、多频段的 NB-IoT 通信模块,支持 B1/B3/B8/B5/B20/B28 共 6 个频段,适合全球范围使用。数据传输方面支持 25.2 kbps 的下行速率和 15.625 kbps 的上行速率。模块在不同频段下发送和接收数据的电流均会不同,其中,最大发射电流不超过 280 mA,接收状态下电流约为 60 mA。因此,NB-IoT 模块在功耗方面相比较传统的 2G、3G、4G 等通信模块有较大的优势。

卫星模块选用 ORBCOMM 公司的 OGi 低轨卫星通信模块,该模块支持 AT 和 OG 两种命令模式,适用于通信量不大的监控终端,实现短报文双向卫星通信。支持 5 V~15 VDC 宽电压供电,卫星模块分别在 5 V、8 V、12 V 电压工作的发送和接收电流如表 1 所示^[11]。

表 1 卫星模块不同电压工作的发送和接收电流

模式	电压		
	5 V	8 V	12 V
发送模式	2000 mA	1050 mA	750 mA
接收模式	170 mA	110 mA	80 mA

由上表 1 可知,当模块工作在 5 V~8 V 时,发送电流达到 1 A 以上,接收电流也大于 100 mA,对智能终端的负载能力要求较高。因此,选择 12 V 电压作为卫星模块供电电压,一方面可以减小智能终端总电流,另一方面降低电源设计难度。

2.7 电源管理模块

智能终端的电源管理有外部供电和内置电池供电两种方案。其中,外部可使用冷藏箱自带柴油发电机提供的电源,经过内部变压在冷机上预留有用于外接使用的 AC24V 电源。内置选用可充电的 DC12V 锂电池电源。经过整流降压得到各模块所需的直流电压。通过 MCU 的 I/O 口控制由 NPN 型三极管和 P 型 MOS 管组成的开关电路,可以实现各模块电源的开启或关闭。终端电源供电模型见图 3。

3 软件设计

3.1 主程序设计

智能终端的软件系统流程共划分为数据采集、数

据处理、数据通信以及数据解析四个部分. 以主控制器为核心对各模块进行数据采集和处理, 并将经过MCU处理后的数据信息通过窄带蜂窝网或低轨卫星的无线链路传输到服务器, 最终在监控中心实现远程监控. 系统主程序流程见图4.

智能终端在上电后, MCU先完成对NB模块、卫星模块、定位模块、温湿度模块、加速度模块、存储模块和看门狗等模块的初始化, 然后开始进入等待开机模式, 此时整个终端会进入睡眠状态, 一直在检测有无开机信号. 在开机完成后, 智能终端将开始进入正常的工作模式. 先开始监测温湿度和运动状态, 判断选择开启GPS模块或NB模块, 如选择打开GPS则将采集到的GPS数据信息通过串口发送给MCU处理并将检测到的温湿度值和运动状态值通过相关协议打包成原始数据报文. 如果不需要启动GPS定位, 则直接打开NB模块. 打开NB模块后进行信号查询并尝试入网连接, 确认入网成功之后将MCU打包好的原始数据报文发送到服务器. 如遇到尝试三次NB模块连网均不成功, 则切换到卫星发送模式, 启动卫星模块搜索卫星, 如果卫星模块对接成功, 开始将原始数据报文发送至ORBCOMM网关进行数据处理. 如超过三次对接不成功, 则把原始报文保存在存储器, 在下次发送数据时再补报之前保存的历史报文. 在完成整个工作流程后进入睡眠模式.

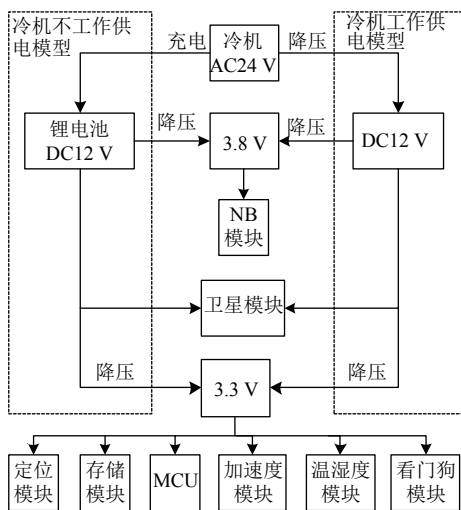


图3 终端电源供电模型图

进入睡眠模式后, 温湿度和加速度模块仍一直在监听状态, 如果检测到超过预警值, 将自动唤醒终端, 此时判断子函数先判断是温湿度触发还是延时触

发, 若是在无运动状态下由温湿度触发, 则不需开启定位模块, 只上传报警信息; 若是在运动状态下由温湿度触发, 将打开定位模块采集事发位置并上报. 同理, 如果是延时时间到引起触发, 将先进行温湿度和加速度检测, 然后再判断是否有运动, 若无便不开启GPS定位, 只上报温湿度、运动状态和电池电压等信息^[12,13]. 判断子函数流程见图5.

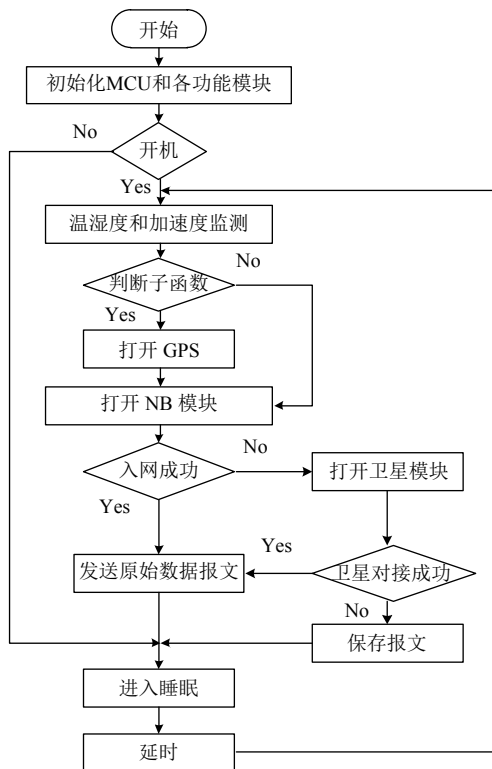


图4 系统主程序流程图

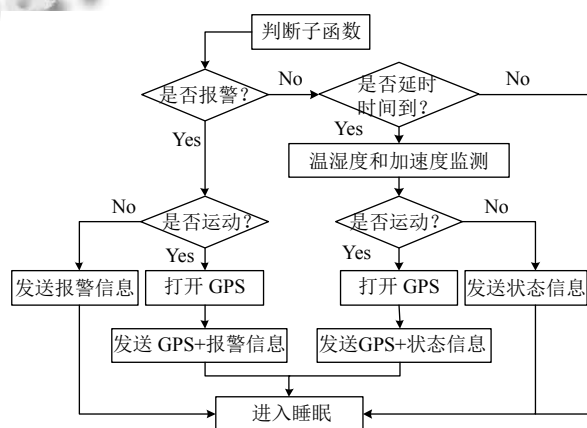


图5 判断子函数流程图

3.2 通信数据校验设计

冷链运输过程中遇到通信信号在较弱的情况时有

可能会导致原始数据信息容易出现乱码. 因此, 设计采用 CRC 的校验方式, 智能终端根据要传送的 k 位二进制码序列, 以一定的规则产生一个校验用的 r 位监督码, 附在原始数据信息后边, 构成一个新的二进制码序列数共 $k+r$ 位, 然后发送出去. 在接收端, 根据信息码和 CRC 码之间所遵循的规则进行检验, 以确定传送中是否出错^[14,15].

4 低功耗设计及测试结果

4.1 低功耗设计

由于在冷链运输的过程中会存在区域跨度大, 时间较长和维护不方便等问题. 因此, 要求智能终端的使用寿命要足够长, 需进行低功耗设计.

在硬件上选用低功耗的关键元器件, 且各模块供电设计可关断模式. 在软件上, 设定智能终端从数据采集到数据发送的时间不超过 5 分钟, 如在 5 分钟内不能发送数据成功则将数据保存并进入睡眠模式, 在下次发送再将历史数据补报. 另外, 用户可根据需求通过远程配置智能终端的上报周期, 如在冷藏集装箱不工作时可设置一天上报一次, 在用于运输货物时可设置每小时上报一次. 在 MCU 进入睡眠后彻底关断模块的电源, 将用不到的 I/O 口设置成输入模式, 使整机睡眠功耗做到最小化. 增加智能终端的使用寿命.

4.2 测试结果

智能终端需安装到冷藏集装箱的冷机上进行测试. 安装包括智能终端主机, CPS 天线, NB-IoT 模块天线和卫星天线, 选用冷机电源供电. 智能终端现场安装测试实物见图 6.

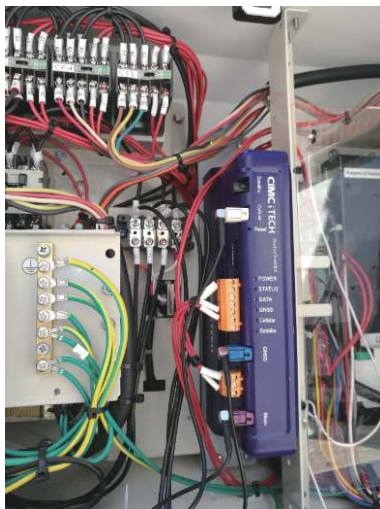


图 6 智能终端现场安装测试实物图

通过上电测试, 设置智能终端的上报时间为每 10 分上报一次数据. 在监控平台上显示监控到的冷藏集装箱内温度和湿度值曲线见图 7.

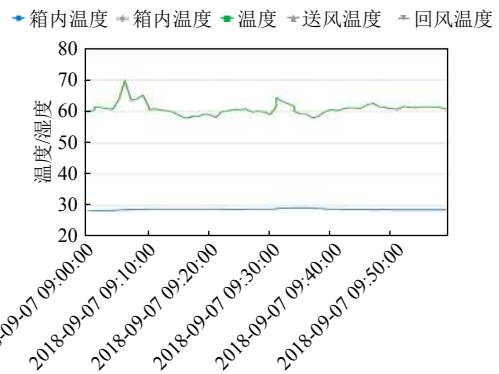


图 7 冷藏集装箱内温湿度值曲线图

5 结束语

本文给出的智能冷链运输终端系统方案, 不仅能够实时监测冷链运输过程中冷藏箱内的状态信息, 而且可以通过远程操作对突发的事件进行实时监控, 大大节约了运营成本. 利用低轨卫星通信信号在全球范围内覆盖的优势, 有效地解决了冷链运输全球监控的难题, 为冷链运输提供了更高的安全性和效率性保障. 经过实际应用和测试结果表明选用低轨卫星和 NB-IoT 两种智能切换的通信方案可行, 能够保证冷藏箱的地理位置, 运动状态及箱内温湿度等信息安全, 稳定的上报到服务器. 此外, 该终端具备加速度监测和远程监控等功能, 对于极为讲究时效性和安全性的冷链运输来说, 具有重要的参考价值 and 良好的发展前景.

参考文献

- 吕洁印, 周受钦, 曹广忠. 面向冷藏箱箱温的智能化监控系统研究. 自动化与信息工程, 2013, 34(2): 28-32. [doi: 10.3969/j.issn.1674-2605.2013.02.007]
- 党超群, 张锁平, 齐占辉, 等. 基于北斗卫星系统的深远海 GPS 波浪浮标数据传输研究. 传感器与微系统, 2016, 35(1): 46-48.
- 欧郁强, 张飞, 郭小龙, 等. 北斗通信在智能电网状态监测中的应用. 中国电力, 2015, 48(12): 39-42.
- Hara T. ORBCOMM low Earth orbit mobile satellite communication system. Proceedings of Tactical Communications Conference. Fort Wayne, IN, USA. 1994. 299-310.

- 5 赵卫东,周尚晨,孙一鸣. 基于离群点挖掘的 RFID 冷链温控研究. 计算机系统应用, 2010, 19(11): 166–170, 175. [doi: [10.3969/j.issn.1003-3254.2010.11.037](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-3254.2010.11.037)]
- 6 Korsak V F, Lipatov A A, Maksimenco J L, *et al.* Low orbital satellite system “ORBCOMM” for urgent message transmission and data collection. Proceedings of IEEE 1999 9th International Crimean Microwave Conference ‘Microwave and Telecommunication Technology’. Sevastopol, Crimea, Ukraine. 1999. 37–39. [doi: [10.1109/CRMICO.1999.815137](https://doi.org/10.1109/CRMICO.1999.815137)]
- 7 焦蓉,徐卫军,刘经纬. 面向连接的无线窄带信道传输协议. 计算机系统应用, 2015, 24(3): 133–138. [doi: [10.3969/j.issn.1003-3254.2015.03.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-3254.2015.03.022)]
- 8 张万春,陆婷,高音. NB-IoT 系统现状与发展. 中兴通讯技术, 2017, 23(1): 10–14. [doi: [10.3969/j.issn.1009-6868.2017.01.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6868.2017.01.003)]
- 9 Meinecke G, Ratmeyer V, Wefer G. Bi-directional communication into the deep ocean based on ORBCOMM satellite transmission and acoustic underwater communication. Proceedings of the Oceans ’99. MTS/IEEE. Riding the Crest into the 21st Century. Conference and Exhibition. Seattle, WA, USA. 1999. 1405–1409. [doi: [10.1109/OCEANS.1999.800199](https://doi.org/10.1109/OCEANS.1999.800199)]
- 10 陈雄华,张旭,张雪芹,等. Digi M10 卫星通信模块在林业传感器网络中的应用. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(3): 144–148.
- 11 T401 OGi Modem hardware guide. ORBCOMM, 2016.
- 12 高金龙. 基于 SGP4 模型的集装箱低轨卫星监控终端研发[硕士学位论文]. 深圳: 深圳大学, 2017.
- 13 高金龙,周受钦,曹广忠,等. 解决实时调度的智能装备及其物联网系统设计. 计算机技术与发展, 2017, 27(5): 149–153. [doi: [10.3969/j.issn.1673-629X.2017.05.031](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-629X.2017.05.031)]
- 14 万娟. 嵌入式串行数据通信系统中差错控制技术的研究与实现[硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- 15 马苗苗. 无线传感器网络在油田中的应用研究[硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2010.