

王明军, 陈新欣, 吴婷, 等. 基于 LoRa 的无线电气象参数集成监测系统设计[J]. 电波科学学报, 2020, 35(6): 943-948. DOI: 10.13443/j.cjors.2020060201

WANG M J, CHEN X X, WU T, et al. Design of integrated radio meteorological parameter monitoring system based on LoRa[J]. Chinese journal of radio science, 2020, 35(6): 943-948. (in Chinese). DOI: 10.13443/j.cjors.2020060201

基于 LoRa 的无线电气象参数集成监测系统设计

王明军^{1,2} 陈新欣¹ 吴婷¹ 思黛蓉¹ 翟治珠¹

(1. 西安理工大学自动化与信息工程学院, 西安 710048; 2. 陕西省智能协同网络军民共建重点实验室, 西安 710126)

摘要 通过无线电气象参数可以获得影响无线电波变化的气象参数变化规律. 为研究各种气象变化对无线电波的影响, 对无线电气象参数进行准确测量和数据的远程传输与管理, 提出了一种基于 LoRa 的无线电气象参数集成监测系统. 系统以 LoRa 技术为核心进行自组网设计, 采用北斗短报文技术进行远距离通信. 气象监测节点采用低功耗的 STM32 微处理器, 通过移植 uCOS-III 实时操作系统来实现多传感器集成模块的多任务调度, 远程终端采用 Qt 设计了配套的上位机软件进行无线电气象参数实时处理分析. 实测结果表明, 在通信距离小于 2 km 时, LoRa 数据传输丢包率小于 10%, 上位机软件可准确显示并存储无线电气象数据. 系统具有稳定可靠、集成度高、组网便捷、通信距离远等特点, 可以实现对复杂环境中无线电气象参数的实时采集和远程管理, 这为气象学研究提供了有效的无线电气象参数数据.

关键词 无线电气象; LoRa; 实时监测; 气象参数; 远程终端

中图分类号 TN98

文献标志码 A

文章编号 1005-0388(2020)06-0943-06

DOI 10.13443/j.cjors.2020060201

Design of integrated radio meteorological parameter monitoring system based on LoRa

WANG Mingjun^{1,2} CHEN Xinxin¹ WU Ting¹ SI Dairong¹ ZHAI Zhizhu¹

(1. School of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Shaanxi Civil-Military Integration Key Laboratory of Intelligence Collaborative Networks, Xi'an 710126, China)

Abstract The meteorological parameters can characterize the law of change and characteristics of radio waves. In order to study the impact of various meteorological changes on radio waves, it is necessary to accurately measure and remotely manage radio meteorological parameters, thus we propose the design and implementation of an integrated monitoring system for radio meteorological parameters based on LoRa. The specific design and implementation scheme are as follows: using LoRa as a wireless communication transceiver device, long-distance communication using Beidou short message technology, using low-power STM32 microprocessor at the meteorological monitoring node, which is transplanted with uCOS-III real-time operating system to realize multi-task scheduling of multi-sensor integrated system, using Qt to design the matching host computer software for real-time processing, analysis and display of weather data at the remote terminal. The measured results show that the data transmission packet loss rate is less than 10%, and the host computer software can accurately display and store weather data when the communica-

收稿日期: 2020-06-02

资助项目: 国家自然科学基金(61771385); 陕西省杰出青年科学基金(2020JC-42); 固体激光技术重点实验室开放基金(6142404180301); 西安市高校人才服务企业工程(GXYD14.26)

联系人: 陈新欣 E-mail: 781336503@qq.com

tion distance is less than 2 km. The system has the characteristics of stability, reliability, high integration, network convenient, and long communication distance. It can realize real-time collection and remote management of radio meteorological parameters in complex environments, which provides effective meteorological parameter data for radio meteorology research.

Keywords radio meteorology; LoRa; real-time monitoring; meteorology parameter; remote terminal

引言

影响无线电传播的气象参数称为无线电气象参数,包括温度、湿度和降雨量等。此外,无线电气象参数还包括折射率等,由于大气的温度、密度、电性质、湿度及所含杂质浓度不同,引起在其中传播的无线电波的折射、反射、散射和吸收作用也不相同^[1]。无线电气象参数的变化反映出无线电波的变化规律,因此通过对无线电气象参数的测量和统计规律的研究,可以为电波传播预测提供基础数据^[2]。对于无线电气象参数的测量来说,通常存在测量背景环境复杂、待采集节点多而分散、气象参数种类需求多等困难。

随着物联网时代的快速发展和应用,越来越多的设备接入网络,将无线通信技术应用到无线电气象参数的集成监测中成为必然。目前无线通信组网主要以 Wi-Fi、ZigBee 和蓝牙为主,但是这些技术传输距离相对较短、易受干扰,无法满足大范围的组网需求^[3-5]。LoRa 作为低功耗广域网 LPWAN 技术中的一种远距离通信技术,解决了传统无线通信技术无法兼顾的传输距离、功耗和抗干扰难题^[6-7]。作为一种新型无线通信技术,LoRa 利用先进的扩频调制技术和编码方案,增加了链路预算和抗干扰性^[8]。具有通信距离远、组网便携、超低功耗和抗干扰能力强等特点^[9]。

本文将物联网技术中的 LoRa 技术应用到无线电气象参数集成监测系统的设计中,采用 LoRa 无线通信技术进行组网监测,利用北斗短报文通信技术和高级精简指令集计算机(advanced RISC machine, ARM)嵌入式技术进行数据采集和传输,有效解决了无线电气象集成监测过程中采集节点多而散、组网困难等问题,提高了系统的集成度、无线传输的距离及传输时的抗干扰性。

1 系统方案设计

本文提出的解决方案是利用现有远距离无线 LoRa 作为核心组网技术,通过气象监测节点实现对复杂环境中多种无线电参数进行组网采集^[9]。系

统总体设计如图 1 所示,由感知终端、北斗通信系统和远程监测终端组成。其中感知终端包括 N 个气象监测节点和汇聚节点,气象监测节点和汇聚节点采用一对多的传输方式进行组网^[10]。气象监测节点可根据复杂环境下气象参数的多样性,对环境中温湿度、风速、风向、降雨量、太阳总辐射、PM2.5、PM10、光照强度和大气压强等十多种气象参数进行实时采集,并将获取的气象参数按照固定协议格式打包,通过 LoRa 无线模块将数据报传输至汇聚节点。汇聚节点负责数据收发,通过北斗通信系统与远程监测终端进行通信。其中远程监测终端包括数据接收节点和无线电气象参数监测集成上位机软件。

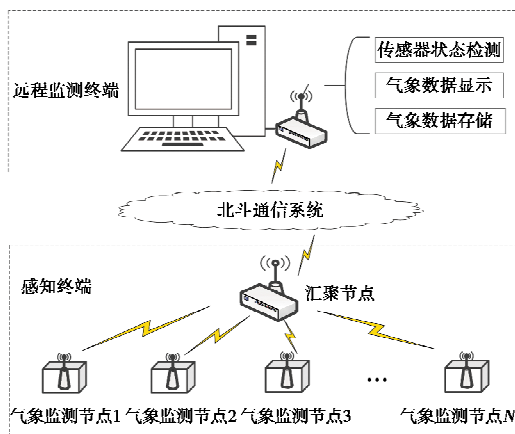


图 1 系统方案设计

Fig. 1 System scheme design

2 系统硬件设计

2.1 气象监测节点硬件设计

气象监测节点主要由 ARM 微处理器、多传感器采集电路、LoRa 无线模块、LED 显示模块、电源模块构成,硬件设计如图 2 所示。ARM 微处理器采用 STM32F103 系列芯片作为主处理器,该芯片为基于 ARM32 位的 Cortex-M3 内核构架,最高工作频率可达 72 MHz,工作模式有待机、停止和睡眠三种,方便了系统的低功耗设计^[11]。

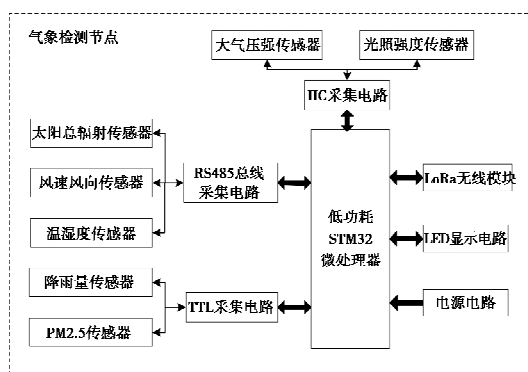


图2 气象监测节点硬件框图

Fig. 2 Block diagram of meteorological monitoring node

LoRa无线模块硬件设计采用基于SX1278射频芯片的低功耗、小功率、高稳定性工业级ATK-LoRa-01模块,采用串口通信,具有传输距离远、抗干扰性强和数据收发稳定的特点。设计中无线模块通过串口与ARM微处理器相连进行通信。

根据系统对复杂背景下无线电气象参数的数据需求,多传感器采集电路包括温湿度传感器、风速风向传感器、降雨量传感器、PM2.5/PM10传感器、太阳总辐射传感器、光照强度传感器、大气压强传感器。多传感器采集电路融合了集成电路总线(integrated circuit, IIC)技术、RS485总线技术和逻辑门电路(transistor-transistor logic, TTL)技术进行硬件电路设计,实现了对以上七种传感器的集成。

温湿度传感器采用高精度低功耗的TH10S传感器;风速风向传感器采用高精度一体式ZZ-WIND传感器;降雨量传感器采用的是RS-100光学雨量传感器;PM2.5传感器采用的是能测空气中0.3~0.5 μm 悬浮物浓度的SDS011传感器;太阳总辐射传感器采用高精度感光元件的JXBS-3001-ZFS传感器;光照强度传感器采用具有接近视觉灵敏度、光谱灵敏度特性的BH1750光照强度传感器;大气压强传感器采用的是一款高精度的BMF280气压传感器^[12]。

2.2 汇聚节点硬件设计

汇聚节点负责数据接收和上传,并进行远距离数据传输,硬件设计如图3所示。由LoRa无线模块、STM32微处理器、北斗通信模块和电源模块组成。其中北斗通信模块采用FB3154北斗短报文芯片,汇聚节点接收到各个气象监测节点数据后进行数据整理和分包,通过北斗通信模块的短报文功能发送至远程监测终端。

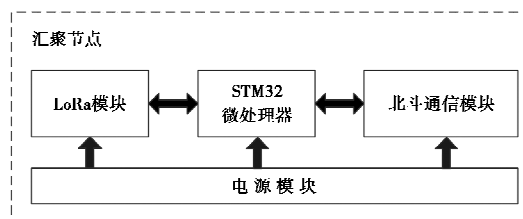


图3 汇聚节点硬件框图

Fig. 3 Sink node block hardware diagram

3 系统软件设计

3.1 气象监测节点软件设计

气象监测节点ARM微处理器移植了uCOS-III实时操作系统,该操作系统以任务调度机制为核心,实现多个任务在uCOS-III系统上并行执行^[13]。软件设计流程如图4所示,系统首先调用初始化函数初始化操作系统,创建空闲任务,然后进行各个模块初始化和硬件资源初始化。通过OSTaskCreate()函数创建多传感器的采集命令任务,最后执行OSStart,进行任务调度。

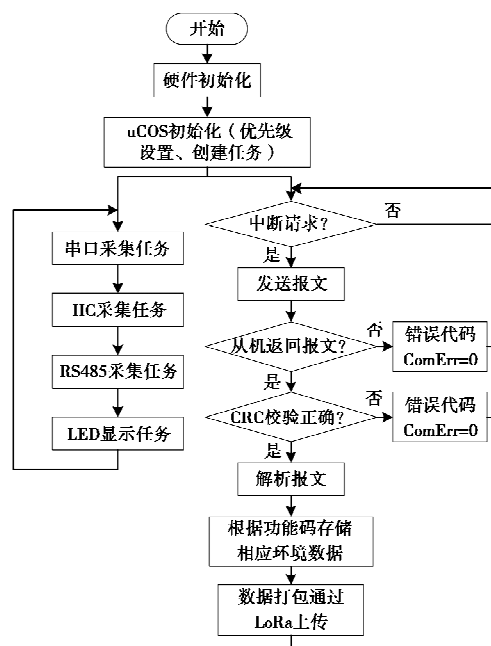


图4 ARM微处理器软件设计流程

Fig. 4 Software design process of ARM

气象监测节点软件设计分为多传感器采集端软件设计和数据发送软件端设计。多传感器采集端进行实时气象数据的采集,其中光照强度传感器和大气压强传感器通过IIC总线与主控方通信,本系统中使用通用输入/输出(general purpose input

output, GPIO)模拟 IIC 总线,实现双向传输. 风向风速传感器、温湿度传感器和太阳总辐射传感器采用 RS485+ModBus 协议与主控方通信,系统采用一主多从模式进行通信,每个从机都有自己的设备地址,ModBus-RTU 报文数据格式为:地址域+功能码+数据+差错校验,其中差错校验采用循环冗余校验码(cyclic redundancy check, CRC),格式如表 1 所示.

表 1 ModBus-RTU 数据格式
Tab. 1 ModBus-RTU data format

地址码	功能码	寄存器 起始地址	读取寄存 器个数	CRC 验位
0x01	0x03	0x2A	0x02	E5F0

数据发送端采用 LoRa 一对多的透明传输模式进行通信,透明传输模式是专为远距离应用设计的. 透明传输要求地址相同、信道相同、无线通信频率相同,用户数据可以是 16 进制数据或者字符数据.

3.2 远程终端软件设计

远程终端软件采用无线电气象参数监测集成的上位机软件设计,上位机软件采用 Qt 跨平台开发库设计^[14],对汇聚节点发送气象数据的接收处理、分析和存储以及可视化显示. 根据系统设计,上位机软件包括注册登录、端口连接、传感器状态监测、监测数据实时显示、监测数据动态曲线绘制和数据存储记录等功能,上位机软件构架如图 5 所示.

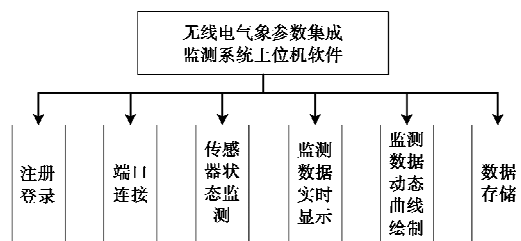


图 5 上位机软件框架设计

Fig. 5 Upper computer software frame design

Qt 在消息处理方面使用的机制是信号与槽,用 Qt 中内嵌绘图工具 QCustomPlot 创建 custom-Plot,将各个参数实时绘制成曲线并显示. 端口连接包括端口的波特率、奇偶校验和停止位属性设置等. 在数据处理分析中,湿项采用气象监测节点测得的温度、湿度、气压值,无线电折射率采用国际电联无线电通信部门建议书给出的无线电折射率公式^[15-16]. 其软件设计流程如图 6 所示.

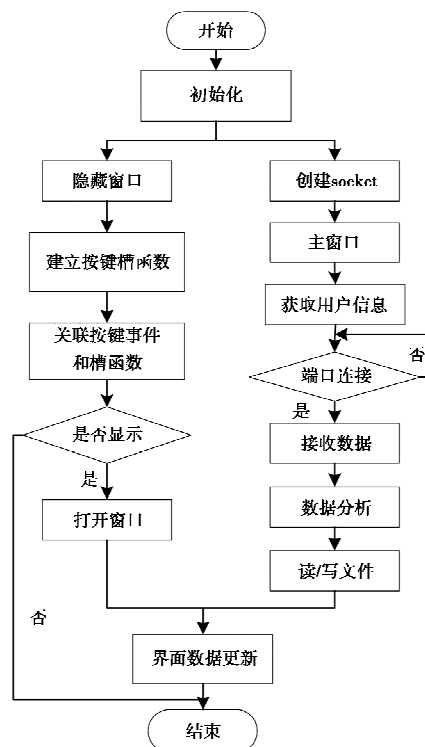


图 6 上位机软件设计流程

Fig. 6 Upper computer software design process

3.3 汇聚节点软件设计

汇聚节点通过 LoRa 无线模块接收到各气象监测节点数据报后,通过 STM32 微处理器对报文进行处理和重打包. 因北斗短报文通信报文长度的局限性,需要对数据进行压缩和分包,每个子包的报头加入两个字节信息来进行标记,实现数据分包. 传输数据接口协议遵循北斗接口协议 2.1 版.

4 系统测试与分析

搭建系统测试环境来验证系统的实际运行效果. 模拟复杂环境无线电气象监测节点,选取一个气象监测节点进行 LoRa 组网的通信质量测试和上位机软件测试. 在通信质量测试中,ZigBee 模块选用目前常用的 CC2530 无线模块进行点对点的通信测试,其发射频率为 4.5 dBm,传输速率为 3.3 kbps. 气象监测节点 LoRa 无线模块的空中速率为 62.5 kbps,发射功率为 22 dBm,连续发 500 个数据包^[15]. 通信质量测试以监测节点距汇聚节点的距离为变化量,以丢包率为通信质量指标,其测试结果如表 2 所示.

表 2 通信质量测试结果

Tab. 2 Test result of communication quality

组数	距离/m	LoRa 接收数 数据包	LoRa 丢包率/%	ZigBee 接收数 数据包	ZigBee 丢包率/%
1	100	500	0	306	38.8
2	150	500	0	124	75.2
3	200	500	0	46	90.8
4	600	500	0	0	100
5	800	492	1.6	0	100
6	1 000	480	3.1	0	100
7	1 400	464	6.2	0	100
8	1 800	436	8.8	0	100
9	2 000	409	8.1	0	100

由表 1 可看出:LoRa 相比较 ZigBee 具有明显优势,在通信距离小于 800 m 时基本无数据报丢失;随着通信距离的增加,LoRa 丢包率逐渐增加,但当通信距离小于 2 000 m 时,数据丢包率仍小于 10%。

表 3 上位机软件数据存储表

Tab. 3 Upper computer software data storage

时间	无线电 折射率 N	无线电折 射率湿项	光照强 度/ lx	风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	风向/ $(^\circ)$	降雨量/ mm	PM2.5	PM10	太阳 总辐射
2020-05-15 T 11:07	303.57	58.16	1 077.5	1.0	225	10	30	50	0
2020-05-15 T 11:17	311.58	66.11	522.6	0.8	180	10	30	52	0
2020-05-15 T 11:27	315.81	70.78	1 623.0	0.9	180	11	32	53	0
2020-05-15 T 11:37	321.15	76.90	1 567.5	1.3	225	11	32	56	0
2020-05-15 T 11:47	320.95	77.06	1 602.3	0.9	180	11	33	55	0
2020-05-15 T 11:57	325.32	81.97	1 601.0	1.3	225	12	33	55	0
2020-05-15 T 12:07	322.22	78.77	1 577.5	1.2	225	12	33	59	0
2020-05-15 T 12:17	322.64	79.50	1 627.5	1.5	225	12	33	59	0

结合图 7 和表 3 可知,12:17 宝鸡某小区操场温度为 21.2° ,湿度为 68.6%,大气压强为 940 hpa,无线电折射率 N 为 322.64,无线电折射率湿项 N_{wet} 为 79.50,西南风二级,小雨,截止 12:17 降雨量为 12 mm。折线图反应了光照强度数据一段时间内的变化趋势。

测试结果表明,采用 LoRa 无线通信技术的系统通信质量高、通信距离远、抗干扰性强,并具有较高的稳定性。系统可以稳定准确地测量无线电折射率、无线电折射率湿项、光照强度、风速、风向、降雨量、PM2.5、PM10 和太阳总辐射等多个气象参数。

5 结 论

本文将低功耗广域网技术应用于无线电气象参

上位机软件测试中为测试上位机软件传感器状态监测功能,气象监测节点的太阳总辐射传感器未连接。测试时间为 2020-05-15,选取陕西省宝鸡市某小区操场为监测节点,上位机软件测试结果如图 7 所示。

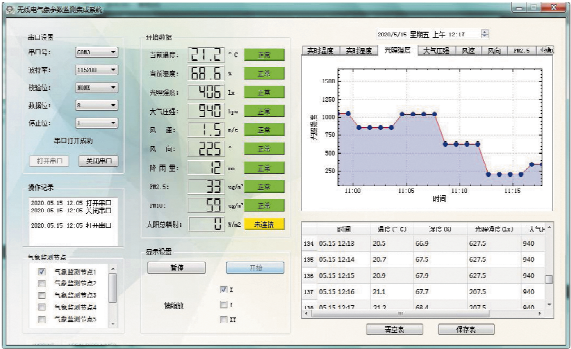


图 7 上位机软件测试

Fig. 7 Upper computer software testing

上位机软件数据存储表如表 3 所示。

数集成监测系统中,采用 ARM 嵌入式技术和 uCOS-III 实时操作进行多传感器集成采集,有效提高了系统的集成度,保证了系统的稳定和低功耗。采用 LoRa 无线通信技术克服了传统监测设备远距离无线组网的局限性。系统配套设计了上位机软件,可有效监测气象监测终端状态,实时显示和存储气象数据,实现远程管理。文中对系统的整体构架、硬件实现及软件设计进行了详细的分析,并进行了系统测试。测试结果表明该系统性能稳定、通信距离远,能够适应无线电气象参数监测需求,可为电波传播预测提供基础数据。

参考文献

[1] 仇盛柏. 无线电气象学研究概述[J]. 电波与天线,

- 1997 (3): 7-16.
- CHOU S B. Overview of radio meteorology research [J]. Radio waves and antennas, 1997(3): 7-16. (in Chinese)
- [2] 陈浩君, 王勤典. 气象探测中的无线电技术应用[J]. 上海信息化, 2013(11): 70-75.
- CHEN H J, WANG Q D. Application of radio technology in meteorological detection [J]. Shanghai informatization, 2013(11): 70-75. (in Chinese)
- [3] ALIAI M, AGHABI S, WEISS C. A portable meteorological station plus nuclear radiation monitoring system using a BASIC-8052 micro-controller[J]. Meteorological applications, 2002, 9(1): 1-7.
- [4] 解维志. 基于 ZigBee 的气象监测系统设计与实现[D]. 北京: 北京工业大学, 2016.
- JIE W Z. Design and implementation of the meteorological monitoring system based on ZigBee protocol [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [5] 禹忠, 晁美静, 秦婷, 等. 一种用于 LoRa 可穿戴设备的小型化双频段天线[J]. 电波科学学报, 2019, 34(5): 582-588.
- YU Z, CHAO M J, QIN T, et al. Miniaturized dual band antenna for LoRa wearable devices[J]. Chinese journal of radio science, 2019, 34(5): 582-588. (in Chinese)
- [6] RASGMI S, WEI Y Q. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT[J]. ICT express, 2017, 3(1): 14-21.
- [7] CARDENAS A M, NAKAMUAR M K, PIETROSEMOI E, et al. A low-cost and low-power messaging system based on the lora wireless technology[J]. Mobile networks and applications, 2019(12): 1-8.
- [8] AREF M, SIKORA A. Free space range measurements with Semtech Lora™ technology[C]//The 2nd International Symposium on Technology and Applications (IDAACS-SWS). IEEE, 2014: 19-23.
- [9] QUERALT T N, GIA Z, ZOU Z. Comparative study of LPWAN technologies on unlicensed bands for M2M communication in the IoT: beyond LoRa and LoRaWAN[J]. Procedia computer science, 2019, 155(1): 343-350.
- [10] WIXRED A J, KINNAIRD P, LARIGANI H, et al. Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks[C]//2016 IEEE Sensors. Orlando: IEEE, 2016.
- [11] LI H. Design of micro automatic weather station for modern power grid based on STM32[J]. Journal of engineering, 2017(13): 16-29.
- [12] BENGHANEM M. Measurement of meteorological data based on wireless data acquisition system monitoring[J]. Applied energy, 2009, 86(12): 2651-2660.
- [13] 刘森, 王田苗, 魏洪兴, 等. 基于 uCOS-II 的嵌入式数控系统实时性分析[J]. 计算机工程, 2006, 32(22): 222-224+226.
- LIU M, WANG T M, WEI H X, et al. Real-time analysis of embedded CNC system based on uCOS-II [J]. Computer engineering, 2006, 32(22): 222-224+226. (in Chinese)
- [14] 李超, 程小劲. 基于 Qt 的室内环境监测系统设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2019, 29(4): 210-213.
- LI C, CHEN X J. Design and implementation of indoor environment monitoring system based on Qt[J]. Computer technology and development, 2019, 29(4): 210-213. (in Chinese)
- [15] 胡冉冉, 赵振维, 孙树计, 等. 大气折射对我国近地面无线电视距的影响分析[J]. 电波科学学报, 2018, 33(1): 18-24.
- HU R R, ZHAO Z W, SUN S J, et al. Effects of the atmospheric refraction on radio line-of-sight distance near the ground in China [J]. Chinese journal of radio science, 2018, 33(1): 18-24. (in Chinese)
- [16] 程显海, 张玉生. 基于气象探空数据计算的大气折射率误差分析[J]. 电波科学学报, 2014, 29(5): 951-956.
- CHEN X H, ZHANG Y S. Effects of the atmospheric refraction on radio line-of-sight distance near the ground in China [J]. Chinese journal of radio science, 2014, 29(5): 951-956. (in Chinese)

作者简介

王明军 (1979—), 男, 陕西人, 博士, 西安理工大学自动化与信息工程学院博导, 教授, 主要从事激光散射与传输、激光雷达和光电信号检测等方面的研究。

陈新欣 (1995—), 女, 陕西人, 硕士研究生, 主要研究方向为无线电气象参数监测集成技术。

吴婷 (1987—), 女, 陕西人, 西安理工大学自动化与信息工程学院讲师, 博士, 主要研究方向为射频通信及天线设计。