

物联网与自动气象站深度融合方法研究

黄飞龙, 谭晗凌, 霍 亚

(广东省气象探测数据中心, 广州 510699)

摘要: 为了提高传统自动气象站的安装灵活性、隔离性和智能化水平, 并且发展数据服务的即时性、本地化和多样性功能, 以自动气象站数据流传输特点和多种无线组网技术特点为研究对象, 提出了物联网技术与智能化自动气象站的融合方法; 采用 ZigBee 自动连接功能, 融合站点管理和观测自组网技术可提高传感器安装位置的灵活性和观测扩展的能力; 采用低时延的 5 G 网络传输实现实时的数据质量闭环控制, 集成的 WiFi 热点与订阅式数据 Web 访问架构结合, 为用户智能终端即时应用提供便捷的方式; 基于本方法制作了样机进行实验验证, 结果表明, 融合方法合理地利用了不同无线网络类型和带宽, 实现 10 s 内快速组网和 20 m 内多连接的稳定 WiFi 服务, 且在 1 min 内完成数据远程闭环质量控制; 物联网化自动气象站在复杂的城市观测环境中具有很强的适应能力和应用价值, 其融合方法可以为传统设备的更新换代提供参考。

关键词: 自动气象站; 物联化; 自组网; 闭环质控

Research on Deep Fusion Method of Internet of Things and Automatic Weather Station

HUANG Feilong, TAN Hanling, HUO Ya

(Guangdong Meteorological Observation Data Center, Guangzhou 510699, China)

Abstract: In order to improve the installation flexibility, isolation and intelligence of traditional Automatic Weather Station (AWS), and the real-time, localization and diversity functions of data services and develop the real-time by taking the data stream transmission in AWS and the various wireless networking technologies as research objects, a fusion method of Internet of things technology and intelligent AWS is proposed. Using the automatic connection of ZigBee, site management method and observation network technology, flexibility of sensor installation position and expansibility of AWS can be improved. 5G network with low delay is adopted to realize real-time closed-loop control of data quality. Built-in WiFi hotspot and subscription data access architecture provide a convenient way for real-time application by web in user's intelligent terminal. A prototype is made for the experimental verification, the results show that the fusion method makes rational use of IOT network types and bandwidths, realizes rapid networking within 10 s and stable WiFi service with multiple connections within 20 m, and completes remote closed-loop data quality control within 1 min. IOT Automatic Weather Station has strong adaptability and application value in complex urban observation environment. This fusion method can provide reference for the renewal for the traditional equipment.

Keywords: automatic weather station; internet of things; ad hoc network; closed-loop quality control

0 引言

全国自动气象站数量超过 55 000 个^[1], 覆盖了天气和气候关键区域、沿海和山地灾害多发区、水陆交通要道和人口密集区域, 为台风、暴雨等气象灾害的防灾减灾提供准确可靠的观测数据, 为季风、热带海洋和大城市群等气候研究提供了连续稳定的观测数据, 也为重大政治经济活动、公众集体活动和生产生活的气象服务提供了坚实的基础数据。随着城市群的发展和气象服务多样性需求增加, 充分利用城市群先进的物联网基础设施构建智能泛在的气象信息感知网是自动气象站的发展趋势。通过连接周边用户的智能终端, 物联化自动气象站可以让用户获取身边的实时气象数据, 形成“观测即服务”能力。地面气象观测技

术发展必然与物联网技术和智能技术结合, 并且同时满足专业观测与大众服务要求^[2]。

物联网技术在各个行业得到了普遍的应用^[3-6], 但与自动气象站的融合未得到深入的研究。文献 [7] 通过 NB-IoT 网络把数据传输到云端, 实现了数据交互与网络控制。文献 [8] 在分布式自动气象站现场核查系统中应用了无线远程通信网络, 文献 [9] 验证了无线接入的多要素智能传感器设计的可行性。自动气象站只是部分利用了无线网络作为传输, 没有以物联网为基础结合自身特点实现观测方法和服务模式的转变, 没有达到质的飞跃, 难以满足智慧城市智能综合观测网的建设需求。本文以自动气象站信号特点、数据传输要求和智能服务要求为研究对象, 结合物

收稿日期: 2021-09-08; 修回日期: 2021-11-02。

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2020B0101130021); 广东省气象局科学技术研究重点项目(GRMC2020Z04)。

作者简介: 黄飞龙(1980-), 男, 广东郁南人, 硕士, 高级工程师, 主要从事气象与环境探测技术、探测方法和仪器方向的研究。

引用格式: 黄飞龙, 谭晗凌, 霍 亚. 物联网与自动气象站深度融合方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(3): 217-221.

联网无线技术，提出物联网与自动气象站深度融合方法，一方面促进自动气象站观测领域在信息化、智能化方面的发展，另一方面也为物联网技术在不同的领域深度的垂直应用提供一个参考方法。

1 物联需求研究

1.1 设备传输特点分析

传统自动气象站各部件的连接方式和数据特点分析如下。如图 1 所示，风向、风速、雨量、气压、气温、湿度、能见度和蒸发等气象要素传感器通过几米到几十米不等的双绞线把电压或者电流信号直接与主机接线板相连^[10]。由于连接距离较远而且野外运行环境复杂，双绞线的两端都需要进行抗干扰和防雷保护。信号传输特点是距离远、信号弱、易受干扰。采集器按照设定的频率和采样窗口长度，对各种要素进行数据采样：每个要素每分钟约 30 个样本（风速需要 240 个样本）^[11]，采样特点是时钟精度要求高，时间一致性强。采集器对采样数据进行质量控制、异常判定和统计处理之后，每分钟通过几十米到一百米不等的双绞线发送一份统计数据（约 1 kb）到电脑，传输特点是数据量少，但连续性和及时性要求高，再通过局域网将数据进行本地应用和远程共享。自动气象站是一个有线连接的整体，各个传感器由采集器统一连接和管理，仅仅发挥了感应的作用。

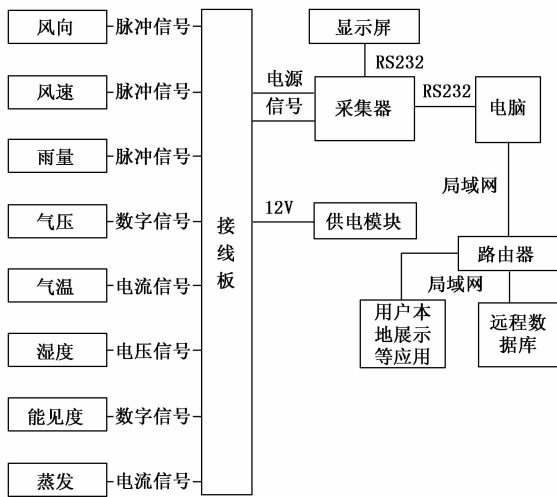


图 1 传统连接架构

1.2 物联化目标

自动气象站物联化的目标架构如图 2 所示。传感器与采集器之间不再通过易受干扰的模拟信号连接，而是采用一种可靠的无线连接组网，发送实时短数据流，解决复杂环境下传感器安装布设的走线和干扰问题，这种无线网络要求具有低功耗、可多点相互连接、可便于节点管理且在几十米范围内可快速传输。采集器和本地化应用之间采用另一种无线网络传输准实时服务信息，这种网络要求易于接入用户现有的智能终端，能同时向多个用户提供数据服务，但实时性要求不高，允许一定的延迟，甚至允许重新

加载。当采集器将数据传输至数十公里乃至数百公里外的数据中心，需要借助远程传输公用网络，为了提高远程数据的及时率和实现更多智能交互功能，要求该网络具有低时延和高可靠的特点。

硬件方面，传感器之间、传感器与采集器之间相互独立，互不干扰，提高了系统整体的可靠性，并且安装和布线更为灵活；软件方面，传感器与传感器之间可相互通信，相互校验测量准确性，还可以把复杂的边缘计算功能放在采集器上，提高自动气象站的智慧能力和多元服务的能力，提高远程中心与设备的交互能力。通过与物联网技术融合，自动气象站能增强自身的场景适应能力、观测能力和应用便利性，拓展了数据共享的渠道和空间，使得它自身不仅仅是一个传统的、孤立的测量节点，而能够利用无处不在的城市物联网组成一个更大的监测网络，发挥更大的数据影响力。

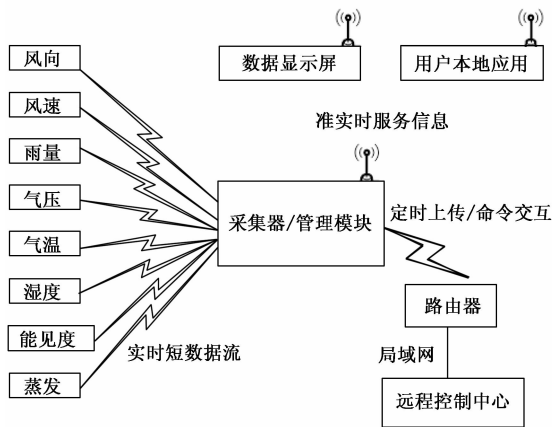


图 2 物联化架构

通过自动气象站信号特点、数据传输和数据服务需求的深入分析，对比常用无线网络的性能特点^[12-14]，研究结果显示 ZigBee 技术适用于传感器与采集器之间组成内部实时采集网络，WiFi 技术适用于提供本地化的数据传输和应用服务，而 5 G 技术适用于定时数据或者实时交互命令的远程传输^[15]，下面阐述具体的融合方法。

2 传感器自组网

自组网技术是物联网智能化的重要特征^[16]。为便于构建智能泛在的观测网，在城市复杂环境下安装建设，融合 ZigBee 组网技术实现传感器之间、传感器与采集器之间的智能化连接，建立传感器探测网络，提升自动气象站智能观测范围、密度、种类和时效等性能。

2.1 ZigBee 模块集成

ZigBee 无线通信技术是基于蜜蜂相互间联系的方式而研发生成的一项应用于互联网通信的网络技术^[17]。相较于传统网络通信技术，ZigBee 无线通信技术表现出更为高效、便捷的特征。作为一项近距离、低成本、低功耗的无线网络技术，ZigBee 无线通信技术关于组网、安全及应用软件方面的技术是基于 IEEE 批准的 802.15.4 无线标准。

本设计选择无线频率为 2.4 GHz 的 ZigBee 模块, 3.3 V 供电下平均工作电流不超过 25 mA, 传输距离达 1 km。采集器和智能传感器的 MCU 通过 TTL 电平的 UART 与模块相连, 并配置 2 个 I/O 端口分别控制模块的自动搜寻网络功能和重启功能, 2 个 LED 灯用于显示 ZigBee 模块通电状态和传输数据状态。

2.2 自组网观测

由于城市建筑环境复杂和安装空间有限, 归属同一个自动气象站管理的传感器很可能需要安装在不同的建筑物上, 彼此之间直线距离很短但是难以通过线缆连接。通过内置的 ZigBee 模组, 传感器可以与采集器在 1 km 范围内实时通信, 经过自动的站号分配、采集器节点管理和传感器节点管理等程序处理, 传感器所采集到的气象数据将被解析和读取, 与采集器自身采集的数据融合为一个整体, 便于数据一体化存储和调用。因此附近的传感器和采集器通过 ZigBee 物联网技术可以自动组成一个智能自动气象站, 便于站点设备的管理、数据的统一采集和数据比对等应用。

根据 ZigBee 模块通信架构, 采集器的 ZigBee 节点可配置为协调器模式或路由器模式。自组网流程如图 3 所示, 包括通信组网和站点组网两部分。在采集器 MCU 发布搜寻已有网络的指令之后, ZigBee 模块根据无线频段和协议搜寻网络, 并在协调器分配节点号, 即可与原有网络的其他节点通信, 完成通信组网。通过用户配置站点号和工作模式, 采集器可设置为主设备或者从设备, 从设备将测量到的数据通过 ZigBee 网络实时发送到主设备, 主设备将所有节点数据统一处理, 完成多种观测要素数据的同步计算、数据融合、整体存储和远程传输。

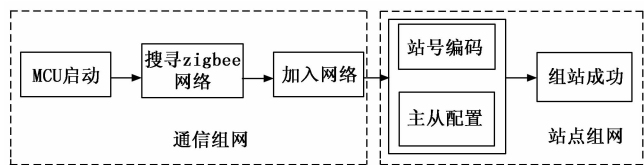


图 3 ZigBee 组网流程

3 本地物联服务

3.1 模块集成

通过内置的 WiFi 模组, 采集器可采用 AP 方式提供实时数据的 web 服务, 方便多个本地用户同时查看数据或者将数据发送到智能电视等对公众展示的显示屏上^[18], 实现观测数据即时服务。具体方案如下: 选择支持 802.11 b/g/n 无线标准且通过 CE/FCC/ROHS 标准认证的模块, 采用工业级高性能嵌入式结构, 运行在 AP 模式的时候最多可容纳 24 个智能终端同时连接, 也可以同时容纳 24 个 TCP 客户端。利用模块的 AP 工作模式, 实现无线物联网接入的 web 页面配置和自动气象站数据服务和设备控制管理。

硬件集成最小电路原理如图 4 所示, 左边为气象站主采集器 MCU, 右边为 WiFi 模块, 两者通过接收端和发送端交叉连接的 UART 端口进行通信, 将 MCU 复用 I/O 端

口的 PC8、PA15 与模块的 Reload 和 Reset 端口连接, 实现 MCU 对模块的参数复位和电气复位功能, 使用 LED1、LED2 灯连接模块的 Ready 和 Link 端口, 显示模块的工作状态和联网状态。为满足 WiFi 模块发送时功耗需求, 其电源输入端配置 100 μ F 以上的电容。

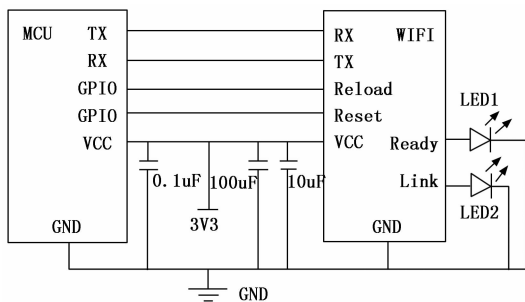


图 4 WiFi 模块连接图

3.2 工作流程

当智能终端连接上采集器的 WiFi 网络, 可在简洁的 web 配置界面使用无线组网 AT 命令和 Socket 命令对 WiFi 自身的参数进行配置, 包括操作模式、SSID、登录密码、加密模式、网络 IP、UART 的波特率和数据位等。测量数据从采集器 MCU 通过 UART 实时传输到 WiFi 模块之后, 按每日一个文件存在 WiFi 缓存 TF 卡中, 在智能终端打开数据界面的时候即调用 TF 卡数据进行表格显示和趋势绘图。采用缓存的方式降低了 WiFi 多用户同时连接并请求历史数据时产生的拥堵现象, 提高了数据展示的用户体验。采用 HTML5 框架开发美观和个性化的 web 服务界面, 展示数据和设备状态信息。

3.3 WiFi 交互设计

采集器 MCU、WiFi 模块和智能终端三者之间采用异步的松耦合交互方式, 在不影响采集器实时采集任务的同时满足智能终端多用户的交互需要。如图 5 所示, 采集器主动发送的数据包含每个气象要素实时的观测值以及采集器工作状态值, 在接收到 WiFi 参数命令之后, 采集器 MCU 根据中断处理程序马上响应, 完成实时交互。而智能终端与 WiFi 模块之间则采用多用户轮询的异步方式, 请求数据和返回数据并不需要很强的实时性, WiFi 环节起到数据缓冲和管理用户的作用。通过命令系统和格式化数据协议, 智能终端可通过 WiFi 网络对自动气象站进行系列操作, 所能查询和设置的参数主要包括: 台站编号、时间日期、要素开关、传感器类型、传感器灵敏度、采集器主动传输的频率、通信端口使能和模拟端口配置等。

4 远程智能控制

自动气象站作为一个专业的测量设备, 需要对测量数据的数据质量进行控制^[1], 提高数据的可靠性。传感器或者采集器将模拟电压、模拟电流信号进行模数转换采样之后, 首先要根据质控规则和阈值参数对采样数据进行初级的测量极值范围检查和采样变化率检查。检查异常的采样

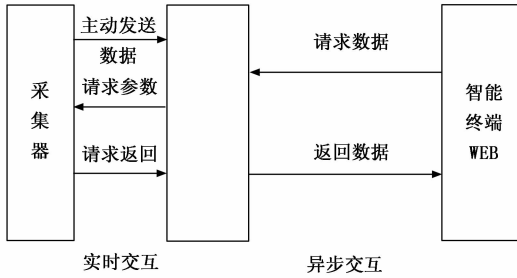


图 5 WiFi 交互原理

数据被标记了之后，不参与下一步的计算。合格的采样数据用于计算气象瞬时值时，还需要根据质控规则和阈值参数进行二级质控，包括气候极值和气象瞬时值的变化率检查。检查结果通过质控码和传感器状态码的形式，在实时报文中与数据一起通过 5 G 网络发送到云端的数据中心以便提供数据共享和产品服务。自动气象站配置 5 G-IoT 通信模块，可通过移动通信网络与云中心服务器进行数据双向传输，实现自动气象站数据质量控制、远程管理和数据共享。

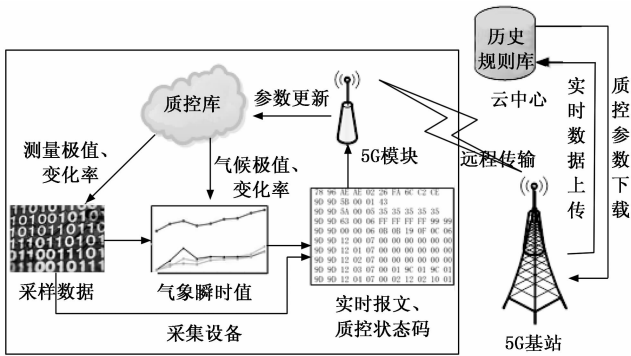


图 6 闭环质控流程

由于自动气象站是长期工作的野外设备，而数据质量控制所需要的参数（采样变化率、气候极值和气象瞬时值变化率），与工作地点、季节和服务类型有关。由于设备安装地理位置和地区气候的不同，质控参数也会发生变化。同一个设备在同一个地点的不同季节，气候极值和变化速率也不同。如果设备使用地点没有发生变化，但设备服务类型被修改，气象要素的最大允许误差也可能发生变化，因此相应的质量控制参数也应该智能地变更。本设计中自动气象站通过 5 G 网络持续从云中心搜索本地区、本季节的历史极值和变化率质控规则，并将参数保存在自身的质控规则库中，实时地改进本设备的观测数据质量。而本设备对某些极端天气的实时观测数据经过质控，在质控码提出可疑告警之后，云中心将会根据附近其他自动气象站或者天气雷达等多源数据对可疑数据进行对比验证，确认无误之后用于更新云中心历史规则库。通过 5 G 物联网实时数据的上传和历史规则的下载，实现了观测数据闭环质控的智能化，持续改进自动气象站的观测质量。

5 实验结果与分析

为验证本设计方法，采用气象业务在用的 DZZ1-2 型自动气象站^[19]作为原型机进行物联化，关键部件如下：ARM 芯片 STM32F207，FLASH 芯片 K9LBG08，模数转换芯片 AD7792，WiFi 模组 ESP32-S，ZigBee 芯片 CC2630，SL2-1 型雨量传感器，HMP155 型温湿度传感器，XFY9-1 型螺旋桨风向风速传感器以及 SETRA270 型气压传感器。

主采集器如图 7 所示，前面板上的插座用于连接部分传感器、12 VDC 供电以及通信线缆，后面板上安装 ZigBee 天线。通过 ZigBee 自组网，物联化的风传感器和雨量传感器可与主采集器组成一个局部探测网络，通过主采集器的 5 G 传输功能将分钟数据集中发送到远程服务器上。在空间距离为 25 m 的距离内，智能传感器上电 10 s 内即可连接上采集器，满足专业气象观测场范围（25 m×25 m）站^[20]内的快速连接组网，在自动路由由状态下，智能传感器可以布设到更远的位置。



图 7 仪器实现

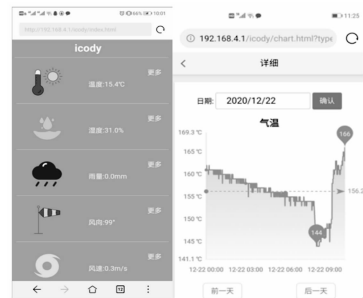


图 8 WiFi 功能展示

自动气象站附近 20 m 范围内的公众可以使用手机、平板或者室内智能电视机连接到气象站 WiFi 的 AP 热点，打开浏览器比较流畅的查看实时的气象站观测数据。当查看某一个气象要素一天的发展趋势的时候，历史数据从 TF 卡缓存直接调用，手机浏览器 2 s 内绘制曲线，无卡顿的感觉，且不影响自动气象站实时采集系统正常工作。在用于社会化观测的时候，自动气象站的 WiFi 也可以设置为 STA 模式连接到附近的公众网络，向云服务器发送观测数据。

通过 5 G 公众网络发送的远程数据，数据需要经过 5G 基站、骨干网和虚拟专网等复杂的路由，也能在 1 s 之内传输到远程数据中心，在不需要人工干预审核情况下，经过云中心数据库审核更新的质控参数，确保在 1 min 之内回传

到采集器, 参与下一分钟的数据质控运算。

6 结束语

自动气象站是地面气象观测中建设规模最大的自动化设备, 但传统的设备无法为复杂的大城市微气候环境和智慧城市气象服务提供高可用性的数据。本研究将 ZigBee、WiFi 和 5 G 等物联网技术与自动气象站深度融合, 实现传统观测设备的更新换代, 既充分利用智慧城市的网络资源增强了自动气象站在城市复杂环境的自适应能力和扩展能力, 也通过闭环反馈方法提高了实时观测网络的数据质量。在综合运用多种无线传输技术的基础上, 根据设备自身的特点和需求开展智能控制和智慧服务, 可以深度挖掘物联网技术在气象观测智能化上的价值。由于物联网应用的是无线传输的公开频段, 在个别场合可能会由于用户太多或者其他同类设备造成频段拥塞和信号干扰, 进一步将研究无线通信频段的自动探测、自动选择方法, 提高传输性能和用户体验。

参考文献:

- [1] 任芝花, 张志富, 孙超. 全国自动气象站实时观测资料三级质量控制系统设计 [J]. 气象, 2015, 41 (10): 1268-1277.
- [2] 行鸿彦, 张金玉, 徐伟. 地面自动气象观测的技术发展与展望 [J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31 (10): 1534-1542.
- [3] 杨大鹏, 张丕状, 姚金. 基于物联网的高压电缆远程监测系统 [J]. 国外电子测量技术, 2020, 39 (9): 85-89.
- [4] 蒋帅, 沈冰, 李仲青. 5G 通信技术在配电网保护中的应用探讨 [J]. 电力信息与通信技术, 2021, 19 (5): 39-44.
- [5] 吴化柱, 王洪亮, 冯祥雨. 基于 ZigBee 自组网机场助航灯通信功能测试 [J]. 电子测量技术, 2018, 41 (15): 91-95.
- [6] 周新淳, 张瞳, 吕宏强. 基于物联网的精准化智慧农业大棚系统设计 [J]. 国外电子测量技术, 2016, 35 (12): 44-49.

(上接第 210 页)

- [5] 刘继平, 常皓, 李德阳. 基于 FPGA 的 SDIO 信号差分传输系统的实现 [J]. 通信技术, 2019, 52 (1): 246-249.
- [6] 刘衡祁. WiFi 芯片的高速 SDIO 接口设计与验证 [J]. 无线互联科技, 2020, 17 (1): 14-16, 61.
- [7] 梁书娟. 基于 FFT 的数字回波信号时域波形优化研究 [J]. 火力与指挥控制, 2021, 46 (1): 73-77.
- [8] 陈放, 田建宇, 孙兆牛, 等. 基于信号完整性与电源完整性的 PCB 电磁兼容协同仿真方法研究 [J]. 航天控制, 2017, 35 (4): 90-94.
- [9] 缙新科, 王妮儿, 任崇玉. PCB 参数对 USB3.0 信号完整性的影响 [J]. 兰州理工大学学报, 2017, 43 (6): 85-89.
- [10] 谢锐, 裴东兴, 姚琴琴. 高频信号动态测试中的信号完整性分析 [J]. 仪器仪表学报, 2017, 38 (3): 773-779.
- [11] 纪成光, 秦典成, 陈正清, 等. 差分过孔焊环及反焊环对高速信号完整性影响的实验研究 [J]. 电子器件, 2020, 43 (2): 456-461.

- [7] 张李元, 左少华, 江锦春. 基于 NB-IoT 技术的小型自动气象站监测系统 [J]. 气象科技, 2020, 48 (6): 816-822.
- [8] 邹超, 张正, 赵泉钦. 基于物联网的分布式自动气象站现场核查技术研究 [J]. 气象水文海洋仪器, 2018, 35 (3): 20-24.
- [9] 马赛飞, 刘钧. 多要素智能主控制器嵌入式软件设计 [J]. 计算机应用与软件, 2019, 36 (7): 273-276.
- [10] 吕玉嫦, 黄海莹, 黄飞龙. 新型自动气象站与 II 型自动气象站的对比分析 [J]. 广东气象, 2018, 40 (5): 68-72.
- [11] GB/T 35237-2017, 地面气象观测规范 自动观测 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 12.
- [12] 严朝阳, 方飞, 曹宾, 等. 基于 LoRa 的物联网数据传输系统研究与设计 [J]. 重庆邮电大学学报 (自然科学版), 2021, 33 (3): 354-363.
- [13] 梁旭. ZigBee 技术的特点及其在无线网络中的应用 [J]. 信息通信, 2014, (11): 186.
- [14] 王磊. 5G 物联网场景下的 SPN 网络建设策略探讨 [J]. 物联网技术, 2021, 11 (6): 35-36.
- [15] 鄢林. 物联网中有线与无线通信接入选择研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [16] 冯驰, 吴丽莎, 丁蕾, 等. 基于 LoRa 自组网无线传输技术实现用电信息采集系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (4): 175-179.
- [17] 饶珂萌. 基于 GPRS 和 Zigbee 的无线心电信号监测系统 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (2): 20-24.
- [18] 张一鸣, 肖晓萍. 基于 ARM 和 WIFI 通信的智能开关控制器设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (8): 83-87.
- [19] 黄飞龙, 黄海莹, 何艳丽. 基于 STM32 的气象数据在线监测仪设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (11): 288-292.
- [20] GB/T 35221-2017, 地面气象观测规范 总则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 12.
- [12] 罗必露, 杨昭荣. 基于 Cadence 的接收机信号完整性设计 [J]. 微波学报, 2016, 32 (S2): 498-500.
- [13] 郭建设, 曹睿, 谢亚军. 高速线缆组件插入损耗优化技术研究 [J]. 通信技术, 2020, 53 (11): 2838-2846.
- [14] 周文渊, 呼义翔, 罗维熙, 等. 基于 IBIS 模型的多路脉冲信号源 ADS 仿真 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (10): 270-274.
- [15] 崔斌, 王文炎, 王喆, 等. 基于 IBIS 模型的 FPGA 信号完整性仿真验证方法 [J]. 电子技术应用, 2019, 45 (6): 54-57.
- [16] 朱繁, 谢楷. 双冗余机制下的传输线特征阻抗分析 [J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43 (8): 2303-2310.
- [17] 李俊峰, 杨贵锋, 黄辉. 一种端接负载的同轴传输线特性阻抗时域测量方法 [J]. 计量学报, 2020, 41 (8): 997-1001.
- [18] 徐越, 范红, 金浩. 分析影响 PCB 阻抗主要因素及影响差异对比 [J]. 印制电路信息, 2021, 29 (S2): 1-10.