

DOI:10.16652/j.issn.1004-373x.2022.03.026

引用格式:朱圣杰,王腾龙,孔智勇,等.基于物联网技术的光伏阵列数据管理系统设计[J].现代电子技术,2022,45(3):142-147.

基于物联网技术的光伏阵列数据管理系统设计

朱圣杰^{1,2}, 王腾龙³, 孔智勇⁴, 熊文卓¹

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2.中国科学院大学, 北京 100049;
3.中国电力工程顾问集团东北电力设计院有限公司, 吉林 长春 130021;
4.北京智海润华科技有限公司, 北京 100070)

摘要:为实时在线自动获取光伏阵列各分支的电压、电流、温湿度、水平照度和有效照度等精确值,便于在不影响发电的情况下自动实现对光伏阵列的在线周期性精细检测,以提高光伏电站对发电效率的预测和对异常状况的维护,设计了一种智能光伏电站数据汇聚管理系统。系统采用模块化设计,可根据实际需要灵活配置传感器,以窄带物联网(NB-IoT)和LoRa为通信方式,采用UCOS III嵌入式系统和消息队列遥测传输协议(MQTT)云服务器进行数据传输和存储。系统在配置要求极低的情况下,能保证可靠的数据传输,使多平台的客户端实时查看当前各光伏子阵列的运行情况,优化数据传输及采集速度,实现对各种数据的实时监控,并及时发出预警信息。整体系统易于组装配,成本低,具有较好的工程指导意义。

关键词: 光伏阵列; 数据融合管理; 模块化; 实时状态; NB-IoT; LoRa

中图分类号: TN919.2-34; TM615

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2022)03-0142-06

Design of photovoltaic array data management system based on the Internet of Things technology

ZHU Shengjie^{1,2}, WANG Tenglong³, KONG Zhiyong⁴, XIONG Wenzhuo¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Northeast Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Changchun 130021, China;
4. Beijing Zhihai Runhua Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: In order to automatically obtain the accurate values of voltage, current, temperature and humidity, horizontal illuminance and effective illuminance of each branch of the photovoltaic (PV) array in real time and online, so as to automatically realize the online periodic fine detection of the PV array without affecting the power generation, and improve the prediction of power generation efficiency and the maintenance of abnormal conditions in PV power stations, an intelligent PV power station data aggregation management system is designed. In the system, the modular design is adopted, which can flexibly configure sensors according to actual needs. The Narrowband Internet of Things (NB-IoT) and LoRa are taken as the communication means. The UCOS III embedded system and message queuing telemetry transport (MQTT) cloud server are used for data transmission and storage. Under the condition of extremely low configuration requirements, the system can guarantee reliable data transmission, enable multi-platform clients to view the current operating conditions of each PV sub-array in real time, optimize the data transmission and collection speed, realize real-time monitoring of various data, and issue earlywarning information in time. The overall system is easy to assemble and configure. In addition, the cost of the system is low. Therefore, it has good project guidance significance.

Keywords: PV array; data fusion management; modularization; real-time state; NB-IoT; LoRa

0 引言

为了降低光伏阵列、逆变器之间连接的复杂性,太阳能发电系统通过一定数量相同的光伏组件按规范串

联连接,构成一个子光伏阵列,然后各个子阵列接入光伏电站汇流箱并连接逆变器^[1],构成了一个可以并入电网的光伏发电系统。

近年来,光伏发电系统规模在不断扩大,但太阳能具有受季节、天气、昼夜影响大和随机性强的特点,不利于电网的安全稳定运行,有学者研究指出,当光伏发电

收稿日期:2021-07-02

修回日期:2021-07-20

占比超过15%时,有造成电网瘫痪^[2]的风险。光伏功率预测作为一种缓解该问题的方案被提出,光伏数据的收集和管理也成为研究的重点。此外,市场占有率约70%的多晶硅太阳能电池的使用寿命约为25年^[1],但通常实际工作环境较为恶劣,易发生材料老化等故障,对光伏阵列各类数据的监测也有利于在线诊断与故障定位。

目前提出的多种光伏电站数据管理系统,主要设计为针对汇流箱电路的监测,包括输出总电流、总电压、系统避雷器状态、系统断路器状态显示。有研究提出将ARM Cortex-M3处理器用于控制器设备^[3],并使用小型的TCP/IP协议栈(LwIP)监视数据^[4],从而可以实现系统各种环境参数的测量、数据分类和故障识别,但是系统部署复杂,可拓展性较差,部署完成后较难对其改进,无法实现模块化拼接,这些问题都使得系统难以方便的安装配置。也有研究提出一种以ZigBee为核心通信方式的无线传感器网络数据管理系统^[5],可以监控光伏电站系统的环境参数,实时将数据上传并收集到系统中,但是受限于ZigBee传输特性^[6],所处频段衍射能力弱,数据无法远程传输,且实际工程应用时设备安装位置固定,自组网的优点不复存在,但其自组网耗时间与资源的问题却依然存在。文献[7]提出使用DSP作为数据管理系统设计的主控制芯片,通过CAN总线的方式准确记录光伏设施的不同参数读数,然后将其通过局域网传输到本地计算机,该系统旨在连接多个设备,如果发生故障,则系统将向连接的设备发送警报,但系统设计无法准确提供光伏子阵列的具体情况,无法有效地对光伏阵列进行故障检测。以上的多种光伏阵列汇流箱管理系统的设计仅是检测汇合输出后的电能状态,无法达到对光伏阵列发电系统的维护要求。此外,现有的在线故障监测方法仍以电路测试为主,较为先进的利用人工智能算法检测方法^[8],因需要大量的实测数据,未能进一步推广。

针对现有光伏电站数据汇聚管理系统技术的不足,本文提出了一种基于物联网技术的光伏阵列智能光伏电站数据汇聚管理系统。该系统利用模块化设计的多传感器采集实时电气和气象数据,并利用UCOS III嵌入式系统和MQTT协议确保可靠的数据发布,各平台的客户端可以实时查看汇总输出的电能数据及每个子光伏阵列的运行状态。与现有的光伏电站数据汇聚管理系统相比,该系统能够实时监控数据,可以科学地监控光伏发电系统,在短时间内发现故障及时发出预警信息,方便维修维护。同时,系统采集数据更加完整,能够更有效地为超短期电网发电量预测提供数据支持,从而更好地对光伏电站系统的输出功率进行科学调节。

1 系统结构组成

该系统主要由环境参数检测子系统、汇流箱子系统、MQTT消息队列服务器、多平台客户端等四部分组成。系统总体框架如图1所示。

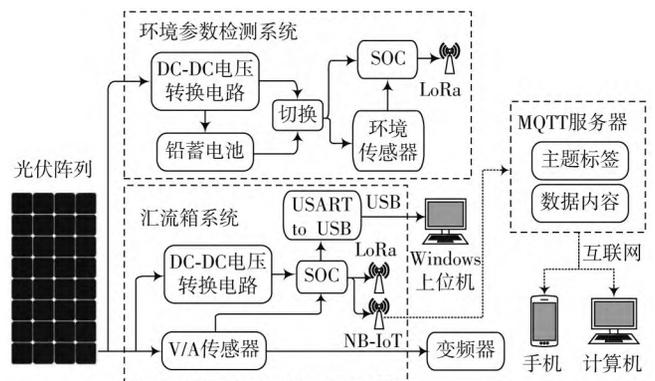


图1 系统总体框架

其中环境参数检测子系统通过各类传感器测量每个光伏子阵列的电压、电流参数,以及所处环境的温度、湿度、水平照度和有效照度参数;传感器采用标准接口连接,可按需连接并初始化;该子系统再通过板载的LoRa模块将数据无线传输到汇流箱子系统中。汇流箱子系统将进一步采集光伏阵列汇流后输出的电流和电压值,以此计算,还可以得出光伏的相应输出功率。然后该子系统对采集到的数据进一步汇总并对其编码,再通过NB-IoT模块上传到MQTT消息队列服务器,结构如图2所示。

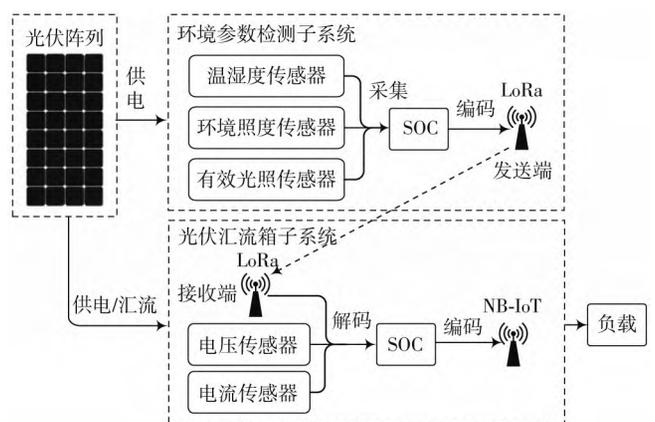


图2 环境参数检测子系统与汇流箱子系统结构图

在实际应用环境下各个模块的距离较远,因此环境参数检测子系统采用LoRa的方式与汇流箱子系统通信。LoRa网络易于建设和部署,可以通过配置信道等方式灵活组网。有研究表明,覆盖面积约100 km²,仅需部署6个LoRa网关,可支持终端规模3 000个,部署时间仅需两周^[9],足以覆盖光伏阵列的范围。环境参数检

测子系统配置有多种传感器接口,相互独立的程序设计使得传感器可按需连接并初始化,易于多点部署在不同的光伏阵列位置,按需组网。

多平台订阅客户端包括手机和电脑两个部分,只需要将设备连接到数据网络,连接并登录系统服务器后订阅相关主题,服务器便会自动将订阅主题的数据内容发送到客户端应用程序上显示。而电脑端监控软件除网络连接外,还有本地连接方式。本地连接是指在系统维护期间执行的本地操作,如发生意外情况(例如网络异常),可直接通过数据线连接汇流箱子系统以读取所需的数据内容。

系统云端服务器为基于MQTT协议的EMQ平台^[10]。EMQ平台可以很好地加载拓展插件,并且作为百万级别的消息队列服务器,能确保在系统中高效安全地传输数据^[11]。MQTT协议是一种基于发布订阅模型的轻量级通信协议,工作模式和服务质量可自由选择配置,数据内容能按需到达接收端,适用于在不稳定工作状态下的网络传输需求。EMQ平台需要的资源非常少,在实际应用中,网络带宽等资源数量较小。由于设备是实时推送的,系统不必保证每个数据都是完全正确的,因此采用Qos0的方式^[12]进行传输。服务器通过解析数据将编码的压缩数据解译为多个传感器参数,并执行队列发布功能。MQTT通信结构如图3所示。

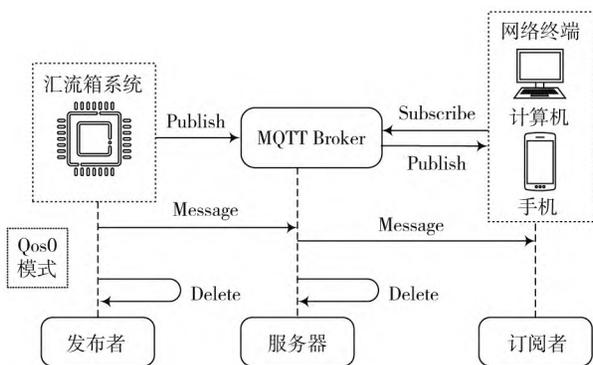


图3 网络通信框图

2 硬件设计

环境参数检测子系统及汇流箱子系统的硬件电路均采用STM32F103系列芯片作为核心处理器,拥有较低的功耗及充足的资源运行。

在环境参数监测子系统中,主要由STM32最小系统、温湿度光照度监测模块、INA219电流模块、LoRa通信模块、短路电流测试模块、电源稳压电路六大部分构成。由于设计装置安装环境相对恶劣,系统采用了较稳定的铅酸电池进行供电。为尽量减少维护工作,使系统能独自长时间运行,所以需要系统在白天太阳能面板有

充足光照的情况下使用太阳能面板供电,并同时能够对铅蓄电池进行充电,而在阴雨天气或是夜晚缺少阳光的情况下电源自动切换到使用铅蓄电池供电。如图4所示,电源供电系统在该流程下能够保证稳定运行,铅酸电池的容量按照光伏阵列处于无光情况下能够稳定供电7天以上的需求进行设计。

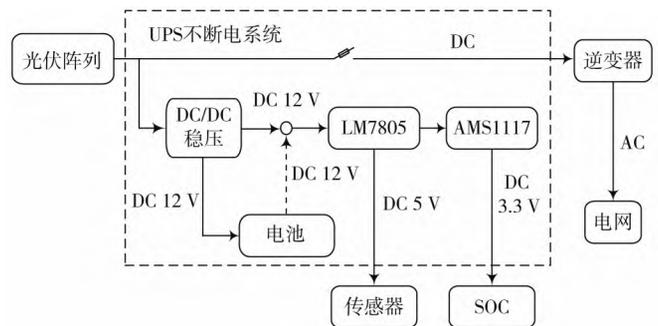


图4 环境参数监测系统供电过程

集成的温湿度照度传感器硬件连接结构图如图5所示,可以直接读取周围环境的温度、湿度和照度,但由于照度并不能充分代表光伏阵列的发电能力,所以该系统增加了对光阵列样板短路电流的测量。经过实际调试发现,如果太阳能光伏板在强光下长时间短路,会导致电池板发热,损坏太阳能板。因此,系统设计采用继电器控制减少太阳能电池板的短路时间,从而提高检测的太阳能电池板的使用寿命。该系统实物图如图6所示。

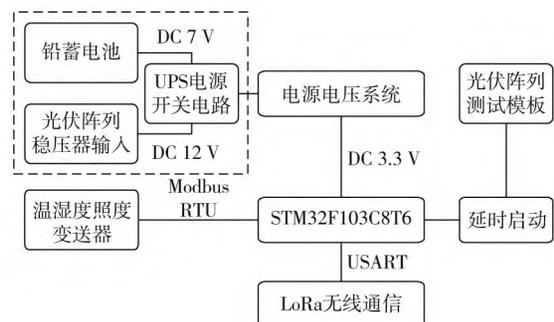


图5 环境参数监测子系统硬件电路原理图



图6 环境参数检测子系统实物图

汇流箱子系统是整个系统的数据采集部分,硬件结构如图7所示。通过LoRa模块接收环境参数检测子系统发送的相关环境数据,并进一步对汇流后的电能进行

总电压、总电流的测量。完成所有的数据采集工作后,再对数据进行编码,然后通过窄带物联网模块(NB-IoT)传输到云服务器^[13]。在窄带物联网模块部分,采用具备MQTT协议的芯片M5310-A,直接与系统构建的EMQ服务器通信。该芯片在PSM模式下的工作电流只有9 μA,拥有极低的功耗。计算机串口部分采用CH340芯片设计,可以将TTL电平数据转换为USB电平数据。计算机只需要安装驱动程序就可以与系统进行通信。汇流箱子系统的实物设计图如图8所示。

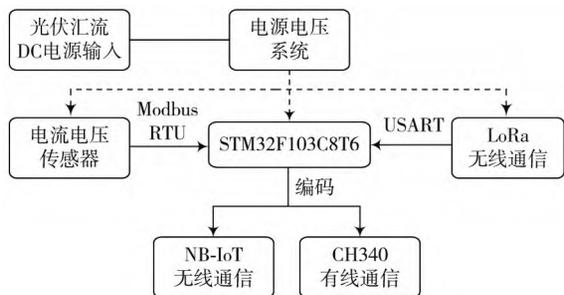


图7 汇流箱子系统硬件电路原理图

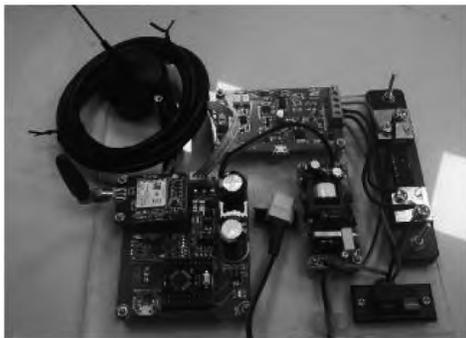


图8 汇流箱子系统实物图

此外,针对不同应用场景所需要的传感器类型也有不同的问题,硬件设计方面采取了模块化插件设计,环境参数检测子系统与汇流箱子系统的传感器模块均设计为接插件方式,仅保留通信接口的模式极大地提升了硬件电路的灵活性。

3 软件设计

光伏电站智能数据汇聚管理系统的软件程序部分主要是环境参数监测子系统和汇流箱子系统。

对于光伏阵列环境参数的实时测量部分,在初始化所有传感器驱动后,单片机将向温湿度照度传感器发送一个读取数据的命令,传感器将以Modbus-RTU协议的格式返回所需数据,通过对校验位的验证,可以保证接收到数据的有效性。对于有效照度的数据采集,光伏板长时间被太阳加热后短路电流不稳定,因此,继电器模块通过继电器编程控制短路时间,程序设置每30 s短

路1 s,检测短路电流。具体程序流程图如图9所示。

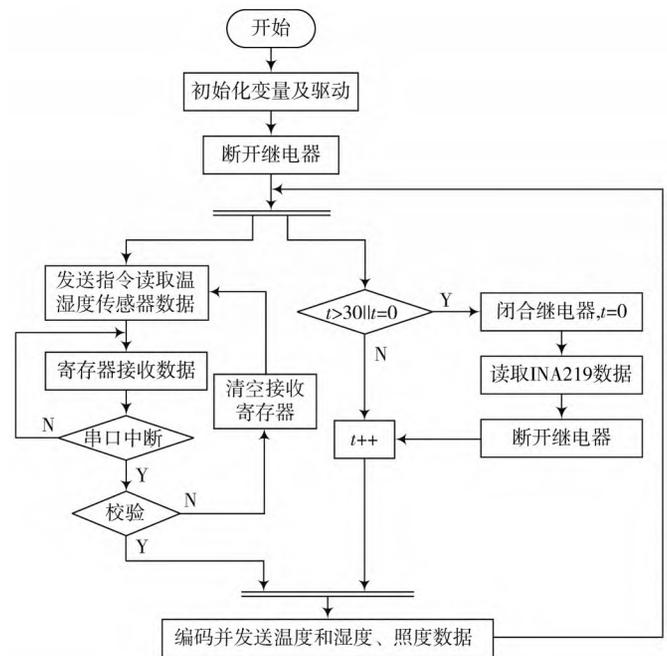


图9 环境参数监测系统流程图

路汇合箱子系统运用LoRa模块通过USART协议接收环境参数等数据,然后与自身测量得到的数据汇总编码并上传服务器端。数据编码时,各个数据都具有采集来源的标签,此时通过服务器的分析即可分辨出数据是否异常,如若出现异常数据即可通过标签推送至各个平台的客户端,这对光伏系统的维护具有重要意义。

汇流箱子系统程序运行在UCOS III嵌入式系统上,UCOS III是一种基于ROM、抢占式的实时多任务内核,具有高度便携的单片机系统,通过中断服务管理任务调度用户的任务,以适应不同条件下的组合箱环境。同样,所有传感器和通信模块都具有独立的驱动功能,使得程序也按照模块化的需求进行设计,进一步保证系统的稳定。在实际应用中,如有额外需求,模块化的设计也便于后续的开发。UCOS III系统任务运行流程如图10所示。

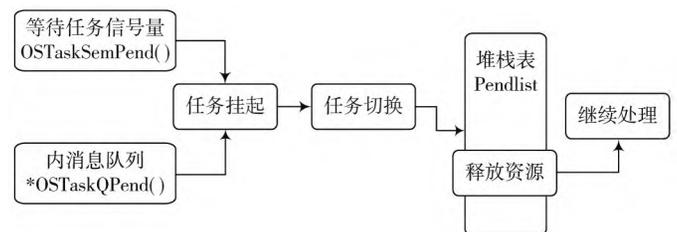


图10 UCOS III系统任务运行流程图

此外,Windows上位机采用LabVIEW编写。图形化程序主要分为两个部分:接收区和发送区。整个工程软件设计采用图形化编程操作,使用图形化编辑语言编写程序,产生的程序为框图的形式,如图11所示。

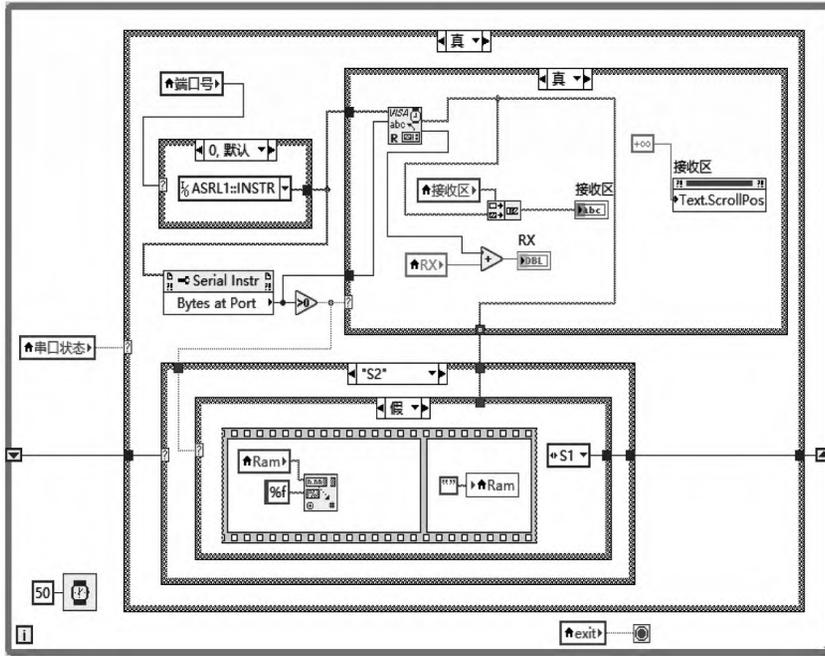


图 11 LabVIEW 程序逻辑图

4 系统测试实验

本设计通过在实验光伏阵列上进行环境参数及电气数据的采集测试。光伏阵列采用3个主串组成,环境参数检测子系统安装于光伏阵列旁,调节样板角度与光伏阵列角度相同,将子系统与光伏阵列输出节点相连进行供电。汇流箱子系统安装于实验室内,接入各个组串输出及汇流装置,并对上位机进行相应的初始化配置。实验数据采集及故障定位效果如图 12 所示。

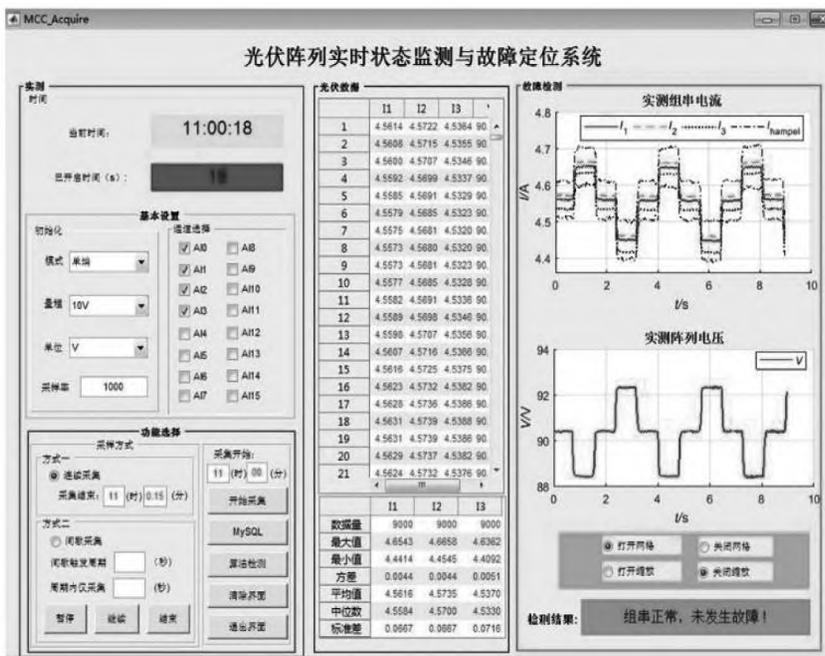


图 12 监控页面效果图

实验证明本文设计的数据汇聚管理系统能够有效地采集光伏阵列的相关数据,完成故障定位,并为超短期预测提供了准确的原始数据。

5 系统功能与优点

本文设计的智能光伏电站数据汇聚管理系统在功能上可以实时测量周围环境的温度、湿度、水平照度等参数,设计的短路电流测量更能准确地反映太阳能光伏阵列运行时的有效照度信息。汇流箱子系统可以采集相关数据并编码,实现对光伏电站相关数据的科学监测,对光伏电站的运行维护起到很大的作用。云服务器采用 MQTT 协议,已实现数据的传输、储存、发布,并实时监控光伏阵列,当子光伏阵列出现异常时,即可向各个平台的客户端发送异常提示,对光伏阵列的维护有着重要意义。

本地客户端能够直接连接硬件访问数据,了解光伏电站系统设备的运行情况,防止网络异常等突发情况对系统的影响。对于联网客户端,只需连接服务器,即可远程接收光伏电站系统数据,进一步对光伏阵列运行状态进行分析。

本文的数据融合管理系统可以实时采集光伏阵列多种数据,通过采集的数据能够实现对光伏电量的超短期预测,预测电站的功率大小,为电站管理者调配电网提供数据依据^[14],通过增减光伏发电与其他发电形式在电网中所占的比例,达到稳定电网的目的,降低光伏发电的随机性对电网的冲击。模块化的软硬件设计使得该系统具有极强的工程实用性,在不同需求的环境下,只需要装配不同的系统组件即可实现组网运行。若有其他环境数据需要采集,该系统也具有较好的拓展性,便于进一步开发。该设计的数据传输方式多,充分发挥了 LoRa 传输距离远节点多的特点,能够很好地覆盖光伏阵列范围,汇流箱子系统利用 NB-IoT 连接蜂窝网络的特点,上传云端,多平台数据共享。多级传输过程中充分发挥不同传输网络的优势。综上所述,该系统对提高光伏电站系统的管理和运行维护起到了重要作用。

6 结 论

本文设计了一种基于物联网技术的光伏阵列智能光伏电站数据融合管理系统,将窄带物联网应用到光伏电站的数据管理系统中。与其他数据管理系统相比,本设计功能完整,分阶段灵活采用不同的通信方式,达到远距离接收和处理检测到的数据的目的,不受空间限制。系统的数据传输更加稳定高效,设备功耗低,与云服务器的连接能力强。此外,系统还可以灵活配置传感器模块,易于大规模组网使用,成本较低。

本文的设计具有广阔的应用前景,系统的设计理念与特点还可以广泛应用于其他领域,可以通过与大数据、人工智能结合^[15],在智能家居领域、公用事业领域、医疗卫生等领域发挥重要作用。

参 考 文 献

- [1] 韩婷婷,吴洪坤,张瑾,等.并网光伏发电系统的发电原理及设计[J].轻工科技,2014,30(8):72-74.
- [2] 李安寿,陈琦,王子才,等.光伏发电系统功率预测方法综述[J].电气传动,2016,46(6):93-96.
- [3] LIN C M, JIE G S, WU Z X, et al. Design of networked monitoring system of PV grid-connected power plant [C]// Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology. Harbin, China: IEEE, 2011: 1169-1172.
- [4] HU M Q, LIU G X, LIU X H, et al. Design and implementation of the LwIP in embedded system [C]// Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Information Sciences (EEEIS 2016). Atlantis: Atlantis Press, 2016: 175-180.
- [5] LOPEZ M E A, MANTINAN F J G, MOLINA M G. Implementation of wireless remote monitoring and control of solar photovoltaic (PV) system [C]// 2012 Sixth IEEE/PES Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition. Montevideo, Uruguay: IEEE, 2012: 1-6.
- [6] 蒲泓全,贾军营,张小娇,等.ZigBee网络技术研究综述[J].计算机系统应用,2013,22(9):6-11.
- [7] 叶琴瑜,胡天友,何耀.基于CAN总线的光伏电站监控系统[J].仪表技术与传感器,2012(3):76-78.
- [8] 彭雅兰,李志刚.太阳能光伏阵列在线故障诊断方法综述[J].电器与能效管理技术,2019(11):1-7.
- [9] 赵文妍.LoRa物理层和MAC层技术综述[J].移动通信,2017,41(17):66-72.
- [10] SADIO O, NGOM I, LISHOU C. Lightweight security scheme for MQTT/MQTT-SN protocol [C]// 2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS). Granada, Spain: [s.n.], 2019: 119-123.
- [11] SU W T, CHEN W C, CHEN C C. An extensible and transparent thing-to-thing security enhancement for MQTT protocol in IoT environment [C]// 2019 Global IoT Summit (GIoTS). Aarhus: [s.n.], 2019: 1-4.
- [12] MUKHERJEE A, DEY N, DE D. EdgeDrone: QoS aware MQTT middleware for mobile edge computing in opportunistic Internet of Drone Things [J]. Computer communications, 2020, 152(C): 93-108.
- [13] CHENG J M, KAORU O, WANG L, et al. Guest editorial special issue on theories and applications of NB-IoT [J]. IEEE Internet of Things journal, 2018, 5(3): 1435.
- [14] SANJARI M J, GOOI H B, NAIR N K C. Power generation forecast of hybrid PV-Wind system [J]. IEEE transactions on sustainable energy, 2020, 11(2): 703-712.
- [15] 朱红军,吴惠惠.NB-IoT物联网技术的应用与建设分析[J].现代信息科技,2017,1(6):115-116.

作者简介:朱圣杰(1997—),男,浙江衢州人,博士研究生,主要从事深度学习、光伏物联网的研究。

王腾龙(1988—),男,山东潍坊人,硕士,工程师,从事智能电网规划与设计工作。

孔智勇(1969—),男,吉林榆树人,博士,主要从事光电位置位移传感器、惯性技术、人工智能的研究工作。

熊文卓(1967—),男,吉林长春人,硕士,研究员,主要从事光电信息技术的研究。