

DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.06.005

# 蓝牙 5.0 mesh 组网技术及其在光伏电站中的应用

唐孝舟<sup>1</sup>, 翟剑华<sup>1</sup>, 王建锋<sup>1</sup>, 杨毅<sup>2</sup>

(1. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102;

2. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

**摘要:**传统光伏电站光伏阵列内一般采用 RS485 总线通信方式组网, 存在施工量大、组网困难、不易维护等弊端。Wifi、Zigbee、4G 这 3 种无线通信技术较为成熟, 已经在光伏发电领域取得了应用, 但分别存在技术复杂、通信速率低、成本过高的问题。为了解决上述问题, 文中引进了全新的蓝牙 5.0 技术, 该技术具有实现简单、通信速率高、经济性好的特点。在分析了现有蓝牙组网技术的基础上, 提出了一种光伏电站蓝牙网格网(mesh)组网方案, 给出了具体的组网过程和简单可行的路由算法, 通过分析计算论证了该方案具有较小的通信延时、良好的抗干扰性和较高的安全性, 为光伏电站组网提供了新思路。

**关键词:** 蓝牙 5.0; mesh 组网; 无线网络; 光伏电站; 光伏阵列

**中图分类号:** TM769; TP393

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2096-3203(2019)06-0031-06

## 0 引言

近年来新能源光伏发电项目发展十分迅速, 根据国家能源局统计数据, 截至 2018 年底, 全国光伏发电装机容量达到 1.74 亿 kW, 较上年度同比增长 34%。光伏电站一般包含多个光伏阵列, 每个光伏阵列又包含若干逆变器和汇流箱, 监控光伏阵列里的诸多设备尤为重要。传统做法是将逆变器、汇流箱等发电设备通过有线组网, 以 RS485 总线通信方式接入, 再以发电阵列为单位通过以太网接入光伏电站监控系统。这种方式存在施工量大、组网困难、不易维护、可靠性低等诸多弊端。为此, 不断有学者提出将无线通信引入到光伏电站监控中, 并取得不少成果。文献[1—2]采用 Wifi 通信的方式来实现光伏电站的监控, 但 Wifi 技术复杂、功耗较高。文献[3—4]采用 Zigbee 技术实现了光伏电站监控, 不过 Zigbee 传输速率较低。文献[5—6]采用 GPRS 的方式实现了无线监控, 文献[7—8]采用了 4G 网络来实现, 这 2 种方案采用运营商网络, 成本较高。

为了解决上述问题, 文中引入蓝牙 5.0 技术, 该技术于 2016 年 6 月 16 日由蓝牙技术联盟在伦敦正式发布。蓝牙 5.0 同上一代低功耗蓝牙 (bluetooth low energy, BLE) 4.2 相比, 加入了许多新特性:

(1) 吞吐率提升。更新了蓝牙协议的物理层 (PHY), 新增 2 Mbps 的 PHY 带来了 2 倍的数据吞吐率, 同时对于 BLE4.2 的 1 Mbps 的 PHY 增加了 LE Coded 调制解调方式;

(2) 传输距离提升。在保持功耗不变的同时提升 4 倍通信距离, 允许的发射功率达到 100 mW;

(3) 广播能力提升。提升了广播包数据容量, 广播包最大长度由 BLE4.2 的 31 字节提升到 255 字节。另外还增加了第二广播通道, 由 BLE4.2 中的 3 个广播通道扩展至 37 个广播通道, 同时新增了通道选择算法, 提高了通道效率。

这些新的特性使蓝牙 5.0 在工业控制、智能家居、传感器网络方面具有大规模推广使用的可能。文中使用蓝牙 5.0 网格网 (mesh) 组网技术接入光伏电站发电阵列, 并对这种方案进行详细的研究讨论。

## 1 蓝牙 5.0 及 mesh 组网技术

### 1.1 无线传输方式比较

为了分析蓝牙 5.0 与其他无线通信方式之间的优缺点, 首先给出其与 Zigbee、Wifi、4G、红外、NFC 无线通信的性能对比, 如表 1 所示。可以看出, NFC 无线传输距离极短、速率低、安全性高, 常用于门禁、公交、手机支付等领域; 红外传输距离也短, 不能穿透障碍物, 常用于医疗、检测等领域; Zigbee 传输速率较低, 不支持移动设备, 目前多用于工业控制领域; Wifi 传输距离较长、速率很快, 但是技术非常复杂, 同时功耗很高<sup>[9-10]</sup>; 4G 性能比 Wifi 更为优越, 但由于是运营商网络, 成本很高。总体来看, 蓝牙 5.0 技术各项性能参数均衡, 无明显短板, 除了用于传统的穿戴设备领域, 在工业控制领域也非常合适。另外, 由于文中应用场景是光伏电站, 因此蓝牙模块可以直接从发电设备取电。若是应用在移动设备领域, 也可以选择纽扣电源或电池供电。

收稿日期: 2019-05-29; 修回日期: 2019-07-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61602251)

表 1 无线传输方式比较

Table 1 Comparison between different wireless transmission mode

项目	蓝牙 5.0	Zigbee	Wifi	红外	NFC	4G
传输距离/m	10~300	10~100	100~300	1	0.2	400~1 000
传输速率/Mbps	2	0.256	54	4	0.424	100
工作频率/GHz	2.4	2.4	2.4		0.013	1.88~2.66
传输方式	点到多点	点到多点	点到多点	点到点	点到点	点到多点
安全性	高	较高	较低	高	高	高
复杂性	较复杂	简单	非常复杂	简单	简单	非常复杂
功耗	低	低	高	低	极低	高
移动设备	支持	不支持	支持	支持	部分支持	支持
经济性	较高	高	较低	高	高	非常低

## 1.2 蓝牙组网方案分析

蓝牙组网的方式有 3 种:微微网、散射网和网格网。蓝牙组网最简单的情况是 1 个主设备和 1 个从设备建立点对点连接。多个蓝牙设备之间可以组成微微网,网内包括主设备和从设备,1 个主设备最多可以和 7 个从设备建立连接。而且这些蓝牙设备具有相同的调频序列和时序。如果有更多的蓝牙设备需要组网,则需要更加复杂的网络结构。这时可以通过多个微微网组合成散射网,如图 1 所示。散射网里不同微微网之间的蓝牙设备通过时分复用技术来实现相互通信,其调度策略比较复杂。

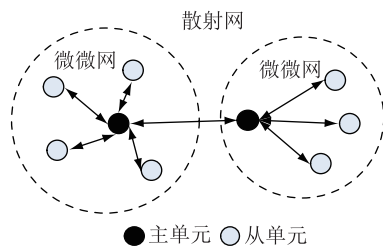


图 1 蓝牙微微网和散射网

Fig.1 Bluetooth piconet and scatternet

2017 年 7 月,蓝牙技术联盟正式推出了可选的蓝牙 mesh 组网。这是一种基于低功耗蓝牙通信协议并且进一步改进的无线通信技术。蓝牙 mesh 组网可以在大型物理区域内构建 1 个多对多网络,并且摒弃了主设备和从设备的概念,每个节点都类似于 1 个路由,能实现数据接收与转发,任何非直连蓝牙节点都可以通过中间节点桥接的方式实现间接通信<sup>[11]</sup>。这种通信极大拓宽了系统内数据交互的通道,同时大大提高了无线网络的覆盖范围。理论上来说,蓝牙 mesh 网络能够连接多达 65 535 个设备节点。不过实际应用中受限于蓝牙设备 CPU 和内存等因素限制,其数量一般为 200 多个<sup>[12]</sup>。如果节点过多,可以通过多个 mesh 网络互联。蓝牙 mesh 网络如图 2 所示。

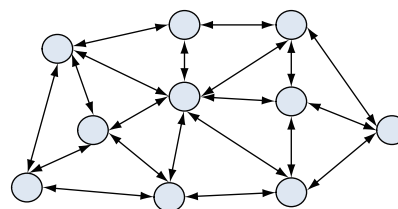


图 2 蓝牙 mesh 网

Fig.2 Bluetooth mesh net

## 2 光伏电站蓝牙 mesh 组网方案

### 2.1 组网结构

光伏电站分为集中式和分布式,其中,集中式占比高,单站容量大,文中组网以集中式光伏电站为例进行说明,分布式光伏类似。集中式光伏电站装机容量一般在几十兆瓦以上,由若干个光伏发电阵列组成,每个阵列包含若干光伏逆变器和汇流箱等设备<sup>[13-16]</sup>。以某 49.5 MW 的光伏电站为例,该站包含有 33 个光伏阵列,每个光伏阵列容量为 1.5 MW,每个光伏阵列包含 25 kW 的组串式逆变器 60 台,汇流箱 8 台,二者总共 68 台,因此一个蓝牙 mesh 网络 200 的容量完全可以容纳。考虑到每个光伏阵列之间的设备彼此相隔较近,蓝牙组网比较方便,文中提出如下组网方案:

以光伏阵列为单位组建蓝牙 mesh 网络,每个 mesh 网络都是一个纵横交错的矩形网格网络。光伏阵列内每一个逆变器、汇流箱都是网格中的一个节点,这些节点通过 mesh 网络与蓝牙规约转换装置建立连接,然后通过有线网络连接到光伏监控系统,从而实现对全站发电设备的监视。其网络结构如图 3 所示。

### 2.2 组网过程

网络结构设计好之后需要将所有设备逐步加入到蓝牙网络中来,这里对每个光伏阵列的组网过程进行说明。由于带蓝牙 5.0 模块的规约转换装置

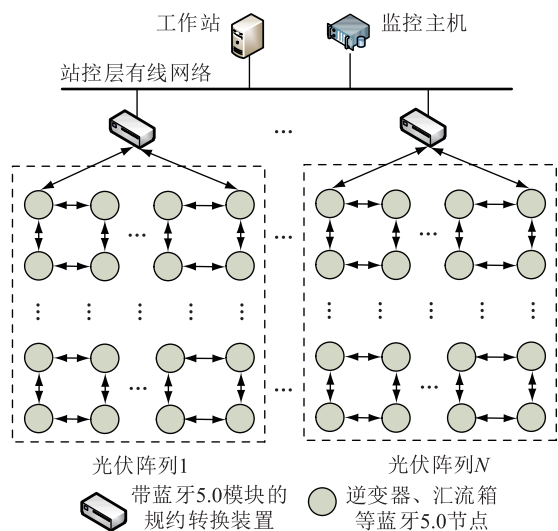


图3 光伏电站蓝牙 mesh 组网结构

Fig.3 Bluetooth mesh structure of photovoltaic power station

是无线与有线网络的桥接点,因此是最重要的节点,为方便叙述称其为汇聚节点。组网过程由该节点首先发起,组网的主要步骤如下:

(1) 所有待组网蓝牙设备上电,由汇聚节点开始扫描周围的蓝牙设备并发出入网邀请数据包,该数据包中包含有目的设备源地址和唯一的入网邀请标志;

(2) 被扫描到的设备收到组网邀请之后,向汇聚节点反馈一个入网邀请响应,该响应包含自身地址;

(3) 汇聚节点收到反馈之后,根据反馈中的源地址判断是否需要将其加入 mesh 网络。如需要则将其加入,同时标记其入网状态为已入网,否则直接丢弃该信息;

(4) 已加入 mesh 网络的设备充当汇聚节点的角色,开始扫描周围设备,对需要组网的设备发送入网邀请,跳转到(2)。直到所有设备的入网状态都是已入网则该步骤结束,组网完成。

设备组网的具体流程如图4所示。

### 2.3 路由算法

蓝牙 mesh 网络内部消息的传送一般采用泛洪(flooding)算法实现。这种路由算法的优势在于无需特别的设备扮演集中路由的角色,每一个节点都承担着消息的发布和中继,每一次中继即为“跳”,最多可进行127跳。因此不会出现由于集中路由故障而导致网络崩溃的现象,但有可能出现消息爆炸、消息重叠等问题。蓝牙 mesh 网络采取了有力的措施来避免这些问题,其所有数据包都包含一个称为生存时间(time to live, TTL)的字段,它可用

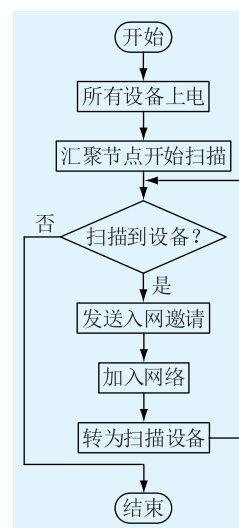


图4 组网流程

Fig.4 Network flow chart

于限制消息中继的跳数。不同网络可以根据各自的合理设置每个消息的TTL值,以及TTL在中继时的变化策略,从而避免消息爆炸。这里直接给出文中的方法:

(1) 初始TTL值。由设备间歇性发送心跳消息, mesh 网络记录其传到其他设备之间的跳数。该跳数即为该设备发送消息的初始TTL值。光伏电站蓝牙 mesh 网络中,每个设备都需要和汇聚节点通信,非汇聚节点之间一般无需通信。因此每个设备只需要确定其与汇聚节点间的跳数即可;

(2) 传输过程中的TTL值。由于TTL初始值设置为设备间消息通信的跳数,因此TTL值在经过节点中继时直接减1,这样就可以保证每个消息都能通过中继到达目标节点。

考虑到目前 mesh 网络设备容量一般为200,文中每个 mesh 网络设备只有68,数量较小,网络中的消息爆炸、重叠等问题不是很严重,因此路由设计采用这种简单易行的方法就能够满足要求。对于复杂的大型网络,则宜探索其他更高效的路由算法。

### 2.4 通信性能分析

光伏电站组网方案性能如何、是否能够满足现场的实际应用需求,目前尚无完整统一的评价体系。但是任何一个方案在应用中必须要满足通信时延要求。除此以外,无线通信还应该确保其抗干扰性和安全性<sup>[17-20]</sup>。因此文中也选取这3个因素来对组网方案的性能展开讨论。

#### 2.4.1 通信延时

根据前文所述,单个光伏阵列蓝牙网络如图5所示。其基本形状是一个 $m \times n$ 的矩形网络。根据文中路由算法可知,汇聚节点与任意矩阵网格节点

$P(i, j)$  通信的中继跳数为:

$$T(i, j) = 1 + i + \min(j, n - j) \quad (1)$$

式中:  $i, j$  均为整数, 且  $i \leq m, j \leq n$ 。

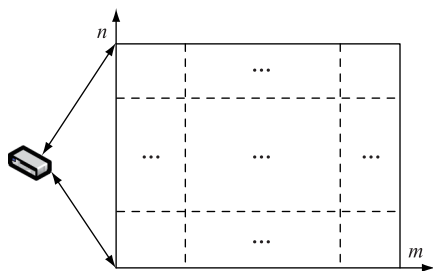


图5 单个光伏阵列网络

Fig.5 Single photovoltaic array network

根据简单的数学推导可知, 当  $i = m, j = n/2$  时网络的跳数将达到最大值:

$$T = 1 + m + n/2 \quad (2)$$

显而易见, 该最大值由网格矩阵长宽决定。

假设共有  $D$  个组网设备, 则将这些设备都容纳进来, 需要满足:

$$mn \geq D \quad (3)$$

$$T = 1 + m + n/2 \geq 1 + 2\sqrt{mn/2} \geq 1 + \sqrt{2D} \quad (4)$$

即该网络通信的最大跳数为  $1 + \sqrt{2D}$ 。

文中单个光伏阵列网络设备  $D = 68$ , 则该网络的最大跳数  $T \geq 1 + \sqrt{2 \times 68}$ , 取整后等于 13, 矩阵可以在  $4 \times 17, 5 \times 14, 6 \times 12, 7 \times 10, 8 \times 9$  中选择。

为了得到该蓝牙 mesh 网络的通信性能, 选取某公司支持蓝牙 5.0 的芯片来计算该网络通信的最大延迟。根据官网资料显示, 该芯片在实际使用中的延迟为 25 ms, 因此文中光伏阵列 mesh 网络的最大延迟为 325 ms, 远远小于国家电网企业标准《继电保护和自动装置的 DL/T 860 通信测试方案》中关于制造报文规范 (manufacturing message specification, MMS) 通信性能的具体要求<sup>[17]</sup>, 见表 2。即便 mesh 网络设备达到现阶段最大值 200, 其跳数也只是 21 跳, 最大延迟为 525 ms, 仍然满足表 2 的要求。由此可见, 文中提出的蓝牙组网方式及其路由算法完全能满足光伏电站信息传输的要求。

表 2 MMS 通信性能要求

Table 2 MMS communication performance requirement

服务类型	延时要求
报告	包含动作、变位、告警等信息在 1 s 送到主站
遥控	延时不大于 1 s
定值区切换	延时不大于 1 s
定值修改	延时不大于 1 s

### 2.4.2 抗干扰性

光伏电站在运行过程中会产生各种干扰, 比如雷电干扰、设备操作干扰和电磁干扰等。对于无线通信来说, 影响最大的是电磁干扰。光伏电站电磁干扰按照频率可以分为低频干扰和高频干扰两类, 其频率量级和主要干扰源如表 3 所示。

表 3 光伏电站电磁干扰

Table 3 Electromagnetic interference of photovoltaic power station

	低频干扰	高频干扰
频率量级	百兆赫兹及以下	百兆赫兹以上
主要干扰源	工频电磁场、变压器铁芯产生的感应电流、静电放电、局部放电、空气击穿放电等	SF <sub>6</sub> 间隙击穿燃弧、真空间隙击穿燃弧等

蓝牙主要有 2 种手段来应对上述干扰:

(1) 采用 2.4 GHz 高频段进行通信, 工作在更高数量级的频段上, 确保不受低频干扰的影响;

(2) 采用扩频跳频技术, 可以在 2.4 GHz 的频段内, 以 1 MHz 为间隔分成多个跳频点, 即使一个频道上遇到了干扰, 蓝牙通信可以迅速跳到另一个没有干扰的频段工作, 这样的频段多达 79 个, 在面对频率相近的高频干扰时依然可以稳定工作。

蓝牙的抗干扰性能也经过了不少学者的试验验证<sup>[21-22]</sup>, 结论证明其完全适用于光伏电站等复杂电磁环境。

### 2.4.3 安全性

光伏电站组网涉及到大量生产运行数据传输, 网络安全尤为重要。无线传输解决了有线组网的各种弊端, 但是也带来了安全风险。所幸蓝牙技术联盟在推出蓝牙 mesh 组网时便充分考虑到了安全的因素, 并为此制定了严格的规范。文中光伏电站蓝牙 mesh 网络采取的安全保障措施如图 6 所示。

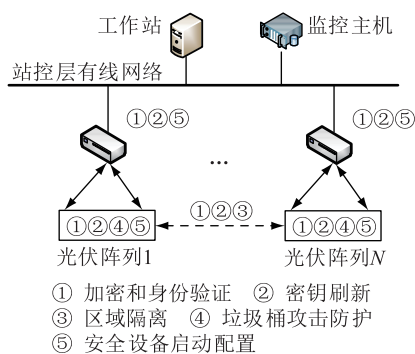


图 6 安全防护

Fig.6 Safety diagram

图中每种防护措施解释如下:

(1) 加密和身份验证。每一条消息都经过 AES

算法加密,每一个发电设备都需要身份验证;

(2) 密钥刷新。光伏电站 mesh 网络中的密钥不定期刷新更改;

(3) 区域隔离。多个光伏子阵组成的蓝牙网络中,每个子网密钥都不相同;

(4) 垃圾桶攻击防护。在有需要时,将任意发电设备从网络中安全地移除,避免产生网络垃圾;

(5) 安全设备启动配置。可以在安全的过程中将新节点添加到蓝牙 mesh 网络。

### 3 结语

蓝牙 5.0 技术相比以前版本具有 2 倍传输速率、4 倍传输距离、8 倍传输容量的优势,蓝牙 mesh 组网技术则具有容纳设备数量多、扩展性强、覆盖范围广的特点。二者在光伏电站光伏阵列组网通信应用中具有无需布线、组网快捷、维护简单等优势,可以弥补传统 RS485 有线组网的诸多弊端。

经过分析论证,文中提出的蓝牙 5.0 mesh 组网方案及其路由算法,具有复杂度低、操作简单、网络延时小、抗干扰性强的特点,再加上采取了各种安全保障措施,光伏电站网络也具备了较高的安全性。因此,该方案在光伏电站组网中具备工程实施和推广条件,可以为光伏电站组网提供一种新思路。

#### 参考文献:

- [1] 薛家祥,龚普,吴坚. 基于无线通信和 Android 手机的光伏监控系统的实现[J]. 自动化与仪表,2016,31(10):28-31.  
XUE Jiexiang,GONG Pu,WU Jian. Photovoltaic monitoring system based on wireless communication and android phone[J]. Automation and Instrumentation, 2016,31(10):28-31.
- [2] 王刚,徐园. 分布式光伏电站的无线监控解决方案[J]. 电力信息与通信技术,2016,14(6):69-73.  
WANG Gang,XU Yuan. Wireless monitoring scheme of distributed PV plant[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2016,14(6):69-73.
- [3] 柏杨. ZigBee 在集中式光伏电站光伏阵列组网中的应用[J]. 中国高新技术企业,2015(26):52-54.  
BAI Yang. Application of ZigBee in photovoltaic array network of centralized photovoltaic power station[J]. China High-Tech Enterprises, 2015(26):52-54.
- [4] 夏鲲,付夏乐,李正荣,等. ZigBee 技术在分布式光伏发电系统中的应用[J]. 电源技术,2019,43(4):650-653.  
XIA Kun,FU Xiaole,LI Zhengrong, et al. Application of ZigBee technology in distributed photovoltaic power generation system[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2019,43(4):650-653.
- [5] 鲍云峰,田茂,孙军,等. 分布式光伏数据采集器的设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2018,26(8):308-314.  
BAO Yunfeng, TIAN Mao, SUN Jun, et al. Design and implementation of a distributed photovoltaic data collector[J]. Computer Measurement & Control, 2018,26(8):308-314.
- [6] 樊庆亚. 光伏阵列无线监测系统的设计[J]. 信息技术,2016(2):174-176.  
FAN Qinya. Wireless monitoring system design for photovoltaic array[J]. Information Technology, 2016(2):174-176.
- [7] 邸亮. 基于 4G LTE 的光伏电站无线监控系统的研究[J]. 中国新通信,2016,18(4):104-106.  
DI Liang. Research on wireless monitoring system of photovoltaic power station based on 4G LTE[J]. China New Telecommunications, 2016,18(4):104-106.
- [8] 徐长福,陶风波,龚雁峰,等. 基于谷歌眼镜的智能变电站实时数据展示与智能分析技术[J]. 电力工程技术,2017,36(1):91-94.  
XU Changfu, TAO Fengbo, GONG Yanfeng, et al. Real-time data demonstration and intelligent analysis technology for smart substation inspection based on google glass[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(1):91-94.
- [9] 曹晶,卞宇翔,冯宝,等. 电力无线专网通信终端接入工勘测试体系研究[J]. 电力工程技术,2018,37(3):97-101.  
CAO Jing, BIAN Yuxiang, FENG Bao, et al. Research on access engineering exploration test system of power wireless private network communication terminal[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018,37(3):97-101.
- [10] 修荣堃,叶军旭,温渤婴. 智能型线路故障检测器的研制[J]. 电力自动化设备,2009,29(2):132-135.  
XIU Rongkun, YE Junxu, WEN Boying. Intelligent fault detector for transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009,29(2):132-135.
- [11] 万光耀. 一种应用于物联网的低功耗蓝牙 Mesh 组网设计方案[D]. 西安:西安电子科技大学,2018.  
WAN Guangyao. Design of a bluetooth low energy mesh networks scheme for internet of things[D]. Xi'an: Xidian University, 2018.
- [12] 杨望卓. 基于蓝牙 Mesh 智能设备控制技术研究[D]. 宁波:宁波大学,2017.  
YANG Wangzhuo. Research on control technologies based on bluetooth mesh for intelligent devices[D]. Ningbo: Ningbo University, 2017.
- [13] 韩平平,林子豪,夏雨,等. 大型光伏电站等值建模综述[J]. 电力系统及其自动化学报,2019,31(4):39-47.  
HAN Pingping, LIN Zihao, XIA Yu, et al. Review on equivalent modeling of large-scale photovoltaic power plant[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2019,31(4):39-47.
- [14] 赵伟然,汪海蛟,李光辉,等. 分布式光伏并网电压和功率因数协调控制策略[J]. 电力工程技术,2017,36(6):20-26.  
ZHAO Weiran, WANG Haijiao, LI Guanghui, et al. Voltage and power factor coordination control for distributed photovoltaic integration[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(6):20-26.
- [15] 王磊,武小龙,侯俊贤,等. 光伏经多端柔性直流输电并网的控制研究[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(4):65-72.  
WANG Lei, WU Xiaolong, HOU Junxian, et al. Control of pho-

- photovoltaic power integration based on multi-terminal VSC HVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(4):65-72.
- [16] 李召兄,吴丽,吴兴全,等. 含光伏电站的并网系统线路故障测距研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(22):104-108.
- LI Zhaoxiong, WU Li, WU Xingquan, et al. Line fault location of the grid-connected system with photovoltaic plant[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(22):104-108.
- [17] 陶士全,王自成,李广华,等. 基于 IEC 62351 的安全通信对站控层通信性能的影响[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(23):155-158.
- TAO Shiquan, WANG Zicheng, LI Guanghua, et al. Effect of IEC 62351 based security communication on communication performance of station level[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(23):155-158.
- [18] 陈昊,廖英祺,张连芹,等. 基于自适应滤波的信号分离与窄带干扰抑制[J]. 电力工程技术, 2019, 38(2):129-134.
- CHEN Hao, LIAO Yingqi, ZHANG Lianqin, et al. A method of signal separation and narrowband interference suppression based on adaptive filter[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(2):129-134.
- [19] 李洪峰,李红霞,陈志刚,等. 一种新型电动汽车充电桩技术方案探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6):142-147.
- LI Hongfeng, LI Hongxia, CHEN Zhigang, et al. Discussion on technology scheme of a new EV charging pile[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(6):142-147.
- [20] 陈皓勇,陈永波,王晓娟,等. 基于 LPWAN 的泛在电力物联网[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(8):1-8.
- CHEN Haoyong, CHEN Yongbo, WANG Xiaojuan, et al. Ubiquitous power internet of things based on LPWAN[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(8):1-8.
- [21] 杨光松,石江宏,孙建民. 蓝牙抗干扰技术及 2.4 GHz 无线网络频率共存分析[J]. 信息技术, 2003, 27(9):8-12.
- YANG Guangsong, SHI Jianghong, SUN Jianming. Anti-jamming technology of the bluetooth and analysis for the mechanism of coexistence is the wireless network in 2.4 GHz frequency band[J]. Information Technology, 2003, 27(9):8-12.
- [22] 李维佳. 蓝牙抗干扰能力的分析与改进[D]. 西安:西安电子科技大学, 2007.
- LI Weijia. Analysis and improvement of bluetooth anti-jamming ability [D]. Xi'an: Xidian University, 2007.

#### 作者简介:



唐孝舟

唐孝舟(1986),男,硕士,工程师,从事变电站自动化监控、新能源发电相关工作(E-mail:tangxz@nrec.com);

翟剑华(1986),男,硕士,工程师,从事新能源发电相关工作;

王建锋(1988),男,硕士,工程师,从事变电站自动化监控相关工作。

## Bluetooth 5.0 mesh technology and its application in photovoltaic power station

TANG Xiaozhou<sup>1</sup>, ZHAI Jianhua<sup>1</sup>, WANG Jianfeng<sup>1</sup>, YANG Yi<sup>2</sup>

(1. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** Traditional photovoltaic power station photovoltaic array generally adopts RS485 bus communication network, there are many disadvantages such as large construction workload, network difficulty, and difficult maintenance. Wifi, Zigbee and 4G are mature wireless communication technologies, which have been applied in the field of photovoltaic power generation. However, there are problems such as complicated technology, low communication rate and high cost respectively. In order to solve these problems, a new bluetooth 5.0 technology is introduced, which has the characteristics of simple implementation, high communication rate and good economy. On the basis of the analysis of the existing bluetooth network, this paper puts forward a PV power station wireless mesh network scheme, gives the detailed specific networking process and feasible routing algorithm. The analysis and calculation demonstrate the scheme has smaller communication time delay, good anti-interference and high safety, provides a new solution for photovoltaic power station network.

**Keywords:** bluetooth 5.0; mesh networking; wireless network; photovoltaic power station; photovoltaic array

(编辑 陈静)