

基于 AMI 的智慧用能多模汇聚网关装置研究

肖 勇¹ 金 鑫¹ 王立博² 罗鸿轩¹

1 南方电网科学研究院 广州 510663

2 电子科技大学航空航天学院 成都 611731

(xiaoyong@csg.cn)

摘 要 随着智能电网的发展和客户用电质量需求的提高,现今有多种通信技术适用于电网系统的自动抄表体系,并且不同的通信技术各有优劣,因此其分别支撑着电网的各大主流业务,导致电网系统中存在着不同的通信体制之间很难形成相互通信,且不方便进行统一管理和资源调度的问题。针对这一问题,文中基于 AMI(高级计量架构)的智能量测体系进行多业务多模汇聚网关装置的研究,首先介绍融合通信网关的硬件及接口设计,通过通用接口实现不同通信体制各类模块的统一接入,其次分析融合网关协议体系,设计 L2 层以下的协议解析和 L2 层以上的统一网络传输协议,最后在典型的应用场景下进行设备实现和相关的网络测试。

关键词: 智能电网;多业务;自动抄表;高级计量架构;智能量测体系;汇聚网关

中图法分类号 TN8

Research on Intelligent Multi-mode Converged Gateway Device Based on AMI

XIAO Yong¹, JIN Xin¹, WANG Li-bo² and LUO Hong-xuan¹

1 Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510663, China

2 School of Aeronautics & Astronautics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China

Abstract With the development of smart grid and the improvement of customer's demand for power quality requirements, nowadays, a variety of communication technologies are suitable for automatic meter reading systems of power grid systems, and different communication technologies have their own advantages and disadvantages, so they respectively support mainstream services of the power grid. This leads to problems that it is difficult to form mutual communication between different communication systems in the power grid system, and it is inconvenient for unified management and resource scheduling. In response to these problems, this paper studied the multi-service multi-mode converged gateway device based on AMI (Advanced Metering Infrastructure) intelligent measurement system. Firstly, it introduces the hardware and interface design of the converged gateway, and realizes unified access of various modules in different communication system through common interfaces. Secondly, the fusion gateway protocol system is analyzed, and the protocol parsing below layer L2 and the unified network transport protocol above layer L2 are designed. Finally, device implementation and related network testing are performed in typical application scenarios.

Keywords Smart grid, Multi-service, Automatic meter reading, Advanced metering infrastructure, Intelligent measurement system, Converged gateway

1 引言

目前,中国电力系统的电网规模和调度控制通信系统规模都达到了世界最高水平,然而电力系统量测架构的自动化、智能化还在发展中。

国家电网提出“泛在电力物联网”的概念,旨在打造全面、高效、灵活的泛在电力物联网。以信息化、数字化、现代化手段为传统电网赋能,实现能源生产、传输、存储、交易、消费各环节设备及客户的状态全面感知、信息交互和数据共享、需求快速响应^[1]。在这样的背景下,结合发展需求,开展基于 AMI 的智慧用能进行多模汇聚网关装置的研究。

目前以电力载波、DL/T645 等为代表的电力通信协议和通信机制在兼容性、通信效率、适应能力等方面存在优化的空间^[2]。同时,在电网中应用的诸多通信技术特点不同,分别适

合在不同的场景使用,然而遵守不同协议的通信技术无法直接互通。针对 AMI(高级计量架构)^[3]结合能源物联网对多种水、电、气、热等主流能源信息的量测需求^[4],有必要开展适用于智能电网的多模网关的研究,完成多种通信技术的融合,实现多业务灵活接入^[5]。

本文首先介绍融合通信网关的硬件及接口设计,通过通用接口实现不同通信体制各类模块的统一接入,然后分析融合网关协议体系,设计 L2 层以下的协议解析和 L2 层以上的统一网络传输协议,最后在典型的应用场景下进行设备实现和相关的网络测试。

2 多业务融合网关技术方案

2.1 整体架构

本文所设计的电力集中抄表多业务融合网关装置的整体

架构如图 1 和图 2 所示,该融合网关装置包括一块核心板模块、多块通信扩展板模块、统一封装的通信扩展板驱动程序模块、路由通信模块、接口模块;主板与通信扩展板之间的接口模块统一采用 USB 接口;通信扩展板包括但不限于电力线载波、NB-IoT、LoRa、IEEE 802. 15. 4g、IEEE 802. 11ah 等多种制式。该网关可以实现多种适用于电力系统集中抄表业务的通信体制的融合通信。

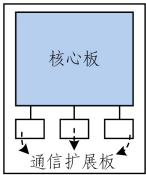


图 1 多业务融合网关的整体架构

Fig. 1 Overall architecture of multi-service converged gateway

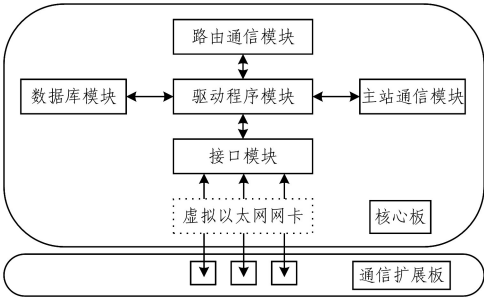


图 2 模块组成及逻辑关系

Fig. 2 Module composition and logical relationship

2.2 设计原理

通信扩展板模块能够分别与不同通信制式的终端设备进行数据的接收与发送,通信扩展板模块将接收到的物理信号转换为数字信号;接口模块采用统一的 USB 接口,实现通信扩展板模块和核心板模块之间的数据传递;驱动程序模块封装在 Linux 系统中,驱动程序模块将不同类型的通信扩展板模块收到的数据帧进行解析和转换,把不同格式的链路层帧转化为标准以太网帧,实现链路层帧格式的统一;路由通信模块调动驱动程序模块的底层收发功能,实现不同通信制式通信扩展板模块之间的路由转发。

驱动程序模块和路由通信模块所进行的操作,能够将不同类型的通信扩展板模块映射为虚拟的以太网网卡模块,把不同的通信扩展板模块统一当作虚拟的以太网网卡模块来进行操作。数据库模块包含了地址转换映射表、路由表,与驱动程序模块和路由通信模块连接。驱动程序模块在进行数据帧的解析和转换时可向数据库模块查询数据,路由通信模块在进行路由转发操作时可向数据库模块查询数据。在进行不同制式的物理地址转换时,例如将 IEEE 802. 15. 4g 的物理地址转换为以太网地址,需涉及转换算法和地址转换映射表。

3 硬件平台设计

3.1 平台总体

根据多模汇聚网关可以接入不同的物联网模式要求,硬件平台至少需要支持的功能和接口有电力载波、Lora、RS485;结合多模汇聚网关可以接入不同的通信网模式需求,网关至少需要支持以太网、4G-LTE 接入;结合多模汇聚网关具有完整的协议栈转换功能需求,网关应具有多核架构,大容

量存储,具备较强的处理能力,能够满足多种协议转换和边缘计算的要求。

选用通用处理器进行全新开发,需要投入的工作量较大,耗时较长;目前市面上有很多稳定的核心板、配套成熟的开发环境、驱动软件等。采用成熟的核心板加扩展板方式,可以减少问题发散,聚焦核心问题,快速实现平台设计。

在本智能网关中,已经指定华为的 Core-L-1 为系统核心板,结合该核心板已有的接口资源、外围需要的功能,来确定本网关的总体架构,如图 3 所示。

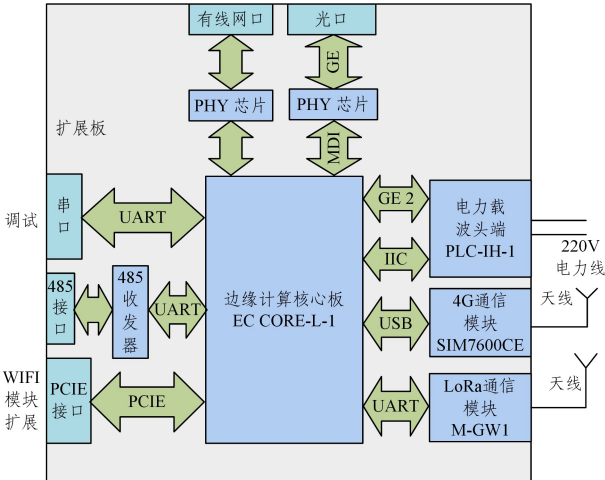


图 3 网关硬件平台框图

Fig. 3 Block diagram of gateway hardware platform

3.2 核心板介绍

本文采用华为边缘计算核心板 EC Core-L-1 作为多业务融合网关核心板,它是一个集成控制、管理、计算和通信等功能的基础开放平台。核心板内置容器,支持开发及安装第三方应用,并提供丰富的总线接口,包括 GE、UART、SPI、IIC 等,支撑 RS485、RS232、LTE、PLC-IoT 等接口扩展,可广泛应用于电力、交通、工业制造等领域。

核心板上有一对 B2B 连接器,在扩展板上选用相应的母座与之对接,将核心板上的信号引出到扩展板上,接入不同的通信模块,即可实现对多模的支持。

EC CORE-L-1 的硬件参数如表 1 所列。

表 1 CORE-L-1 的硬件规格表	
Table 1 Hardware specification of CORE-L-1	
参数	描述
处理器	ARM 2 CORE@700 MHz
内存/MB	512
Flash/GB	1
RTC	支持 RTC 时钟
温度检测	支持系统内的温度检测
DyingGasp	支持掉电检测
插紧检测(物理安全)	支持两个核心板插紧信号的检测
硬件接口	GE/UART/USB2. 0/SPI/IIC/GPIO
调试接口	UART
功耗要求/W	最大功耗<6 静态功耗<4
PCB 尺寸(高×宽×深)/mm ³	13.9 * 92.6 * 80
工作温度/℃	-40~70
整机 EMC 辐射发射要求	ClassA

3.3 扩展板硬件设计

由于核心板只有部分核心功能,智能网关所需的外围功能并没有设计出来,需要在扩展板上增加外围硬件接口,给各

个模块及核心板提供了必要的电源。外围模块尽量采用标准接口设计,在有不同厂家模块兼容时方便进行更换,不能兼容的接口采用插针设计,可以通过二次转接设计来达到接口兼容。

针对不同应用场景,网关还需要相应的终端与之配合通信,即需要相应的通信模块嵌入到终端,将终端的信息发送至网关。

(1)PLC 模块设计

电力载波通信 PLC(Power Line Communication),是一种利用电力线传输数据和媒体信号的通信方式^[6-7]。本文采用的 PLC-IoT(电力载波物联网)典型组网方式如图 4 所示。

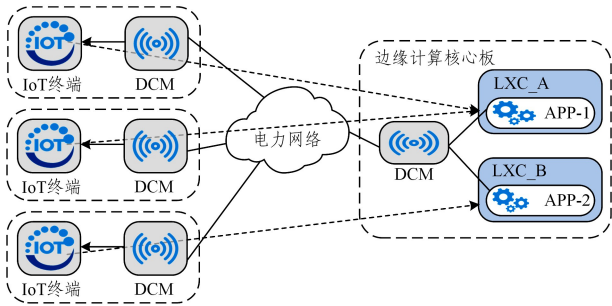


图 4 PLC-IoT 网络典型组网
Fig. 4 Typical networking of PLC-IoT Network

在 PLC 实际应用中,主控端(头端)需要与多个 IoT 终端(尾端)进行通信,所采用的头端和尾端通讯模块有所不同。华为 PLC-IoT 方案在宽带 PLC 技术的基础上,将 PLC 网络 IP 化,增加基于 IPv6 的 UDP 传输层,支持开放 PLC 通道给第三方应用,满足多应用访问 PLC-IoT 网络的需求。

方案选用的 PLC-IH-1 作为头端模块,可以满足三相通讯要求;模块可在 $-40^{\circ}\text{C}\sim-70^{\circ}\text{C}$ 的条件下工作;采用标准 3.3V 和 12V 供电;通过 IIC 总线实现下电控制和读取信息;载波数据在模块中 IP 化,通过网口与核心板进行通信,以后可以很方便地与核心板对接。与 PLC-IH-1 头端模块配套的尾端模块为 PLC-IS-1,PLC-HS-1 和 PLC-IS-1 为华为边缘计算 inside 方案配套模块,硬件模块经过实际测试验证,配套软件齐全,能够满足本设计的需求。

(2)LoRa 模块设计

LoRa 网络架构是一个典型的星形拓扑结构。在典型的抄表应用中,扩展板中的 LoRa 模块是该星型拓扑的中心,需要与成千上百个 LoRa 电表终端进行通信^[8]。

本设计选用的 M-GW1 是一款全双工 LoRa 网关通信模块,工业级标准设计,串口透传,无需二次开发即可快速部署 LoRa 网络,能实现远距离低功耗的控制和数据采集的目的。网关支持标准 LoRaWAN 协议^[9],可以与市面其他支持该标准的 LoRa 模块互通,同时将该协议固化在模块中,减少了核心板的负荷。其典型参数如表 2 所列。

如图 5 所示,模块主要由 LoRaTM 控制器与 ST 处理器、RF 片内 Boost 射频功率放大器,以及串口 UART、PWM 控制器、ADC 模数转换器组成。模块采用 SX1301 进行设计,具备更高的接收灵敏度,视距覆盖半径可达 5 km。其包含 8 个接收通道、1 个发射通道,其中 8 个接收通道可同时接收数据。其最大发射功率为 20 dBm,可以满足复杂的智能楼宇环境,借助 LoRaWAN 基站可以进行复杂的城市广域网覆盖。

表 2 M-GW1 典型参数
Table 2 Typical parameters of M-GW1

参数	规格
电源电压/V	$-0.5\sim5.5$
接收灵敏度/dBm	-142
射频输入功率	10 dBm 最大
发射功率/dBm	20
功耗	睡眠模式:2uA Typ.
	接收模式:450mA Typ.
	发射模式:550mA Typ
温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	$-40\sim85$

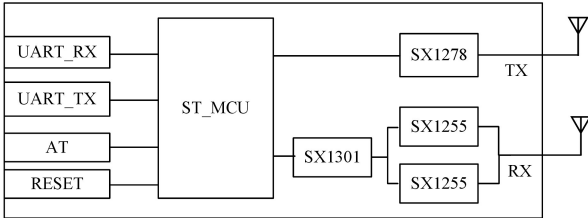


图 5 M-GW1 模块架构
Fig. 5 M-GW1 module architecture

(3)4G 接口设计

网关的 4G 功能选用商用成熟的 4G 模块实现。本设计选用的是 SIM7600CE-L,支持 LTE-TDD/LTE-FDD/HSPA+/TD-SCDMA/EVDO 和 GSM/GPRS/EDGE 等频段,支持 LTE CAT4。其性能稳定,外观小巧,性价比高,可以低功耗实现 SMS 和数据信息的传输。SIM7600CE-L 是一款 SMT 封装的模块,尺寸仅为 $30\times30\times2.9\text{ mm}$,能适用于各种紧凑型产品的设计需求。

4 协议体系设计

4.1 网关协议模型

多模汇聚网关的协议体系如图 6 所示。网关的北向接口连接通信网,南向接口连接物联网。链路层可完成北向通信网链路层协议和南向物联网链路层协议的相互转换。其中,北向接口数据链路层支持光端机链路层帧格式、4G-LTE 链路层帧格式、无线自组网链路层帧格式;网络层可完成北向通信网 IP 层协议和南向物联网 IP 层协议的相互转换;传输层可作为主站到物联网终端节点之间端到端控制功能的代理;应用层则作为主站对物联网终端节点完成业务运行的功能代理。



图 6 网关协议模型
Fig. 6 Gateway protocol model

4.2 L2 层以下的协议

模汇聚网关需具有完整的协议栈转换功能。此部分工作主要在软件驱动设计中完成。多模网关软件驱动主要包涵扩展板硬件接口驱动设计、协议转换。

(1)扩展板驱动

扩展板驱动的主要功能是完成各外设总线接口的初始化和配置。同时根据具体扩展模块(LoRa,电力载波模块)完成

控制逻辑,在扩展模块与协议转换模块之间提供收发数据的标准接口。

(2)协议转换

根据扩展板驱动提供的数据收发标准接口,进行数据协议转换。数据发送流程中,L3层的TCP/IP数据将被转换成扩展模块所支持的数据格式,然后由扩展板驱动通过总线接口进行发送。在数据接收流程中扩展模块数据,按照规则添加MAC头、IP头等信息,将其转换成IP数据。

4.3 L2层以上协议

多模汇聚网关IP层可支持IPv4和IPv6两种协议;传输层可采用TCP或者UDP协议;应用层可选择DLMS或者DL/T645两种抄表协议。

(1)IPv6协议

为解决基于IPv4的TCP/IP协议簇遇到的IP地址资源不足等问题,IETF(互联网工程任务组)研究讨论并推出了下一代IP协议,即IPv6协议。IPv4协议提供32bit的地址,而IPv6协议能够提供128bit的地址,地址空间在理论上扩大了 2^{96} 倍。

(2)DLMS

传统的远程抄表系统通信规约通常采用线性结构,因此在兼容性、互操作性等方面有明显的缺陷,仅能在单一领域使用,无法满足新一代的智能量测体系的需求。鉴于此,DLMS UA制定了一套具有互操作性的通信协议;设备语言报文规范DLMS和能源计量配套协议COSEM。

为了实现协议的兼容性、独特性以及可扩展性,DLMS协议通过采用一个规范的方式来统一响应量测系统中所有量测表计和远程抄表系统的需求。该协议针对水、电、气、热等多种主流能源进行设计,实现多种能源数据间的数据交互。从通信系统的角度切入,根据通信的概念建立了统一的通信接口、数据标识和服务模型。该协议基于应用层协议,不依赖于底层通信介质,方便移植维护,因此具备较强的适用性。

(3)DL/T645

DL/T645协议是我国电力工业部批准并实施的《多功能电能表通信规约》,是针对电表通信而制定的通信协议。该协议物理层采用的是RS485总线协议。该协议应用层包含了多种应用程序请求帧,例如广播帧、查询帧、链接帧、时间帧、写信息请求帧、通信速率改变请求帧等。服务器接收到从客户端发来的请求帧,根据请求帧类型,做出对应的处理,从而能够实现多种功能。

表3列出了该协议的帧数据格式,包含起始帧、结束帧、地址帧、发送地址帧、长度帧、数据帧、控制帧、校验帧。

表3 DL/T规约标准帧格式

Table 3 Standard frame format of DL/T protocol							
帧头	地址域	帧头	控制码	数据长度	数据域	校验	帧尾
68H	A0-A5	68H	C	L	DATA	CS	16H
1字节	6字节	1字节	1字节	不定	1字节	1字节	1字节

5 网络体系设计

多模汇聚网关具有完整的协议栈转换功能,网关的北向接口连接通信网,南向接口连接物联网,其网络架构如图7所示。通过协议转换,使多模汇聚网关可以支持接入不同的物联网组网模式。例如:采用有线传输方式的电力线载波模式,该模式遵循IEEE1901.1协议,网络拓扑为链状网络。无线

传输方式有多种^[10],如图8所示,覆盖范围由近及远:最近的是BLE,该模式遵循IEEE802.15.1协议,网络拓扑为星形主从网络;覆盖范围稍远一些的是IEEE802.15.4g协议,使用该协议的网络包括ZigBee网络,网络拓扑为MESH;由于IEEE802.15.4g协议只定义了网络的物理层和数据链路层,为了使该网络能够传输IPv6协议,出现了6LoWPAN网络,该网络可以传输IPv6包。该网络具有IP层,使得网络具有双层形态,即上层的路由节点组成MESH网络,下层的接入节点与路由节点之间形成星形网络;覆盖范围更远一些的是采用室外节点的Wi-Fi网络(功率通常为500mw),遵循协议为802.11a/b/g/n/ac/ax。若采用AP模式,则网络拓扑为星形,若采用对等模式,则网络的拓扑为MESH;覆盖范围较远的是IEEE802.11ah网络和LoRa网络。其中,IEEE802.11ah网络的拓扑为MESH;LoRa网络的拓扑为星形。网关设备原理图如图9所示。

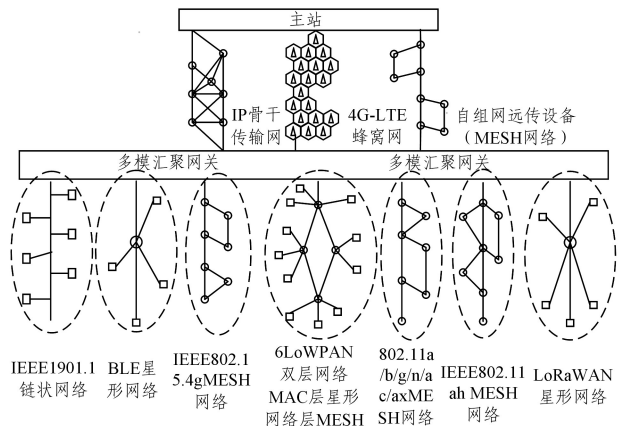


图7 多模汇聚网关的网络架构

Fig. 7 Network architecture of multimode converged gateway

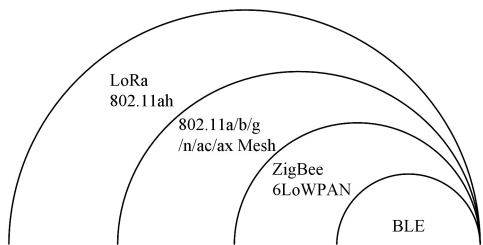


图8 不同物联网协议的覆盖范围

Fig. 8 Coverage of different IoT protocols

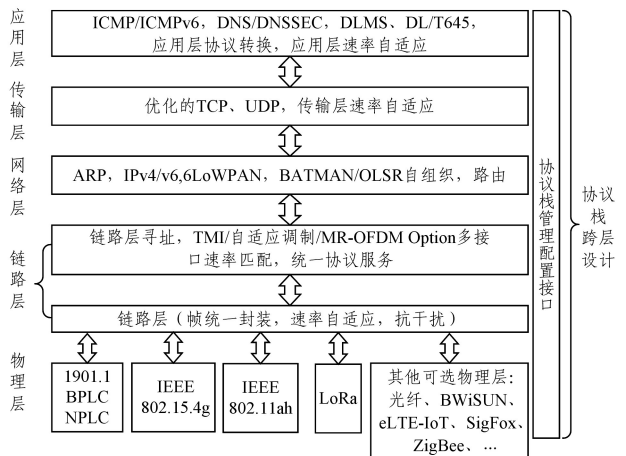


图9 网关设备原理图

Fig. 9 Schematic diagram of gateway device schematic

6 网关应用测试

如图 10 所示,使用智能电表、网关原型机、电源以及带有调试环境的计算机等设备搭建网关应用测试环境。将集抄中心作为数据的发送端,智能电表作为数据的接收端,采用本方案设计的网关原型机连接 4G 网络、电力线载波和 LoRa,实现电力集中抄表的多业务融合。

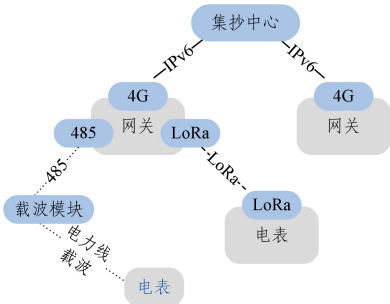


图 10 网络测试架构
Fig. 10 Network test architecture

为了验证网关设备功能的有效性,设置网络的测试时长为 20 min,在整个过程中,集抄中心随机选择每分钟向智能电表发送的数据量,智能电表统计它所接收到的数据包数目,进而计算丢包率。图 11 和图 12 分别给出了发送端和接收端的通信情况。

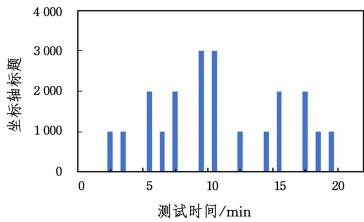


图 11 发送端数据量分布图

Fig. 11 Data volume distribution map at the transmitting end

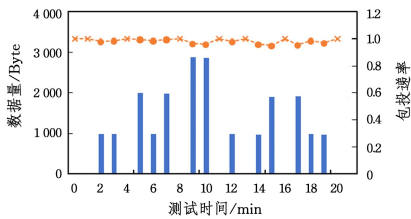


图 12 接收端数据量分布图和包投递率

Fig. 12 Data volume distribution map and packet delivery rate at the receiving end

由图可知,二者的数据发送/接收分布直方图基本相同,说明集抄中心发出的数据包基本能够被智能电表所接收,可知本文所设计的电力集中抄表多业务融合网关装置能够实现不同网络制式的互联互通。

结束语 本文提出了一种电力集中抄表多业务融合网关装置的设计方案,从硬件接口和网络协议两个方面对网关设计进行了详细的描述,并分析了多种应用场景,最后通过实验验证了网关对异构网络的连通性。

参 考 文 献

[1] HOU X Z, LIU X Z, ZHENG K. Technical prospect of a new generation smart meter in the ubiquitous power internet of things environment[J/OL]. Electrical Measurement & Instrumentation:1-4[2019-08-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20190719.1435.008.html>.

[2] XIAO Y, ZHANG J, DANG S L. Design of Power Line Carrier Communication Testing System for Smart Metering[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014, 51(13):14-20.

[3] MARIMUTHU K P, DURAIRAJ D, SRINIVASAN S K. Development and implementation of advanced metering infrastructure for efficient energy utilization in smart grid environment[J]. International Transactions on Electrical Energy Systems, 2018, 28(3).

[4] RODRIGUEZ-CALVO A, COSSENT R, FRÍAS P. Integration of PV and EVs in unbalanced residential LV networks and implications for the smart grid and advanced metering infrastructure deployment[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2017, 91.

[5] MAO X J, ZHENG G H, WU R Q. Research on Mobile Multi-protocol Fusion Gateway Technology[J]. Computer Engineering, 2013, 39(10):110-115.

[6] LI J Q, AN C Y, LI X. Research on Virtual MAC-based Power Lines and Wireless Communication Network Fusion and Traffic Allocation Strategy[J]. High Voltage Engineering, 2019, 45(6):1689-1696.

[7] LIU Z, OU Q H. Research on Power Line Carrier and Wireless Integrated Communication for Smart Distribution Network[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2016, 14(2):1-6.

[8] SUN Y Z, HU J S, LIU Y N. Research on Power Communication Network Based on LORA[J]. Information & Communications, 2018(2):218-220.

[9] LI D, YANG Z, LIU H X. Design of LoRaWAN Integrated Gateway System Based on Embedded Linux[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2019, 19(7):10-14.

[10] WANG H. Research on Application of Wireless Communication Technology in Intelligent Distribution Network[J]. Electronic Test, 2019(11):92-93, 87.



XIAO Yong, Ph.D, senior engineer. His main research interests include electric energy measurement, and intelligent electricity.



WANG Li-bo, postgraduate. His main research interests include heterogeneous integrated network.