

多协议融合 LPWAN 能源物联网云平台的设计

白若琛 庞成鑫 贾 佳 邱曙光 邵 嘉 卢小姣
(上海电力学院电子与信息工程学院 上海 200090)

摘 要 能源物联网存在多类型数据,如发电到配电侧设备运行情境数据、用户侧能源数据、能源新技术及业务类数据等。为解决多协议中间件、多源异构数据接入等问题,文中基于“云管端一体化”思想提出构建 LPWAN 能源物联网云平台,同时基于 LoRa 和 NB-IoT 网络协议进行高并发数据接入及融合,为能源物联网云平台的设计提供技术参考。相关性能测试表明,该云平台运行稳定且具有实用性。
关键词 能源物联网,云管端一体化,LPWAN,LoRa,NB-IoT,云平台
中图法分类号 TM732 **文献标识码** A

Design of Cloud Platform for Energy Internet of Things Based on LPWAN Multi-protocol

BAI Ruo-chen PANG Chen-xin JIA Jia QIU Shu-guang SHAO Jia LU Xiao-jiao
(School of Electronic and Information Engineering,Shanghai University of Electric Power,Shanghai 200090,China)

Abstract The Energy Internet of Things has a large number of types of data,such as power generation to distribution side equipment operating situation data,user side energy data,energy new technologies and business data. In order to solve the problems of multi-protocol middleware and multi-source heterogeneous data access,based on the idea of “cloud-side integration”,the LPWAN energy IoT cloud platform was proposed. In the meantime,based on LoRa and NB-IoT network protocols,high concurrent data access and integration has conducted and provided technical reference for the design of energy IoT cloud platform. Relevant performance tests show that the cloud platform has operational stability and practicality.
Keywords Energy Internet of Things,Cloud-end integration,LPWAN,LoRa,NB-IoT,Cloud platform

1 引言

在电力网、可再生能源及电气化交通网的紧密耦合下,能源互联网着力提升基础设施及能耗监测网络的运行水平,并将先进电力电子技术、需求响应及标准化技术纳入能源管理系统^[1]。网络及设备技术的优化促进了数字信号处理设备、储能设备及传感设备的更新,对数据在网络内的传输质量也有更高的要求,现在有线的通信光缆和电力专网覆盖范围低、通信方式单一、维护费用高,不满足能源数据传输的可行性。基于全双工及大规模 MIMO 技术的 5G 网络的数据传输速率较 4G 网络有显著提升,但在实现大规模用户数据通信及海量智能设备接入时仍存有技术瓶颈^[2]。而随着低功耗通信技术的普及,物联网可将能源局域网中的海量终端数据应用至各能源场景中^[3]。

为实现万物互联,可依托低功耗广域网(LPWAN)技术组建能源物联网,LPWAN 相比短距离数据接入网的优势是其支持终端远距离连接,该技术分为非授权频段技术和授权频段技术,非授权频段和授权频段分别以 LoRa 和 NB-IoT 为代表。

LoRa 工作在 Sub-GHz 频段,具备 3 点优势:1)线性扩频

调制技术使 LoRa 具备高覆盖范围(几公里至十几公里),而跳频技术支持其选择无干扰频段进行数据连接^[4];2)自适应数据速率调节(ADR)机制使 LoRa 数据速率可动态调整,因此相同频段不同扩频序列的终端同时发送数据时互不干扰;3)LoRa 终端可根据响应需求选择 CLASS A/B/C 3 种工作模式。A/B 模式终端在打开接收时隙窗口时才能接收下行数据,功耗较低,C 模式终端可不断接收数据,但功耗较大。

NB-IoT 数据的连接特点:1)NB-IoT 的宽解调频谱同时满足多个上行链路的传输要求,网关可在频率未知的情况下同时对多个窄带信道解码;2)NB-IoT 将室内最小耦合损耗提升为 164dB,实现深度覆盖、低速率终端设备的接入^[5];3)NB-IoT 具备 3 种部署场景,即独立部署、保护带部署及带内部署,可权衡实际的频段及频谱利用率选择部署方式。

本文第 1 节介绍 LPWAN 能源物联网的技术特点;第 2 节基于 NB-IoT 和 LoRa 两种技术阐述 LPWAN 能源物联网云平台体系架构;第 3 节设计云平台各服务器的功能模块,主要包含多协议数据并发、融合、存储及管理模块;第 4 节给出云平台的性能测试,总结云平台的技术特点和可行性;最后总

本文受上海市青年东方学者基金(QD2015044)资助。

白若琛(1993—),男,硕士生,主要研究方向为多协议数据融合的 LPWAN 能源物联网云平台架构设计、云平台数据融合;庞成鑫(1979—),男,教授,硕士生导师,主要研究方向为低功耗物联网技术、基于低功耗物联网的能源互联网、智能光网络、硅基光学集成器件设计等,E-mail:chengxin.pang@shiep.edu.cn(通信作者);贾 佳(1995—),女,硕士生,主要研究方向为基于 LPWAN 平台的 LoRa 组网关键技术研究及在电力领域应用;邱曙光(1994—),男,硕士生,主要研究方向为低功耗物联网技术、边缘计算、能源物联网;邵 嘉(1993—),男,硕士生,主要研究方向为低功耗物联网、智慧能源网络。

结全文。

2 LPWAN 能源物联网

LoRa 组网遵循 LoRaWAN 协议标准。LoRaWAN 是 LoRa Alliance 推出的基于开源 MAC 层协议的 LPWAN 标准;中国 LoRa 应用联盟 CLAA 对 LoRaWAN 协议进行了优化,发布了组建 LoRa 物联网及数据连接的协议标准。由 3GPP 支持的 NB-IoT 组网依靠 LTE 已有的全球广覆盖的蜂窝网络,实现在窄带宽内的低功耗数据通信。

2.1 LPWAN 能源物联网架构

本文基于物联网框架及“云管端一体化”的思想设计能源物联网,网络架构分为 4 层:能源设备层、数据传输层、云平台层及数据应用层,如图 1 所示。能源设备层通过智能传感器、物联终端实现大范围数据采集,从而动态监测现场设备状态。数据传输层中 LoRa 物联网通过即装即用的无线基站实现随时随地部署和网络扩展;NB-IoT 无需架设网关和基站,只需交付运营商少许费用即可接入物联终端,实现数据的一步到云。云平台层根据数据规约对传输层的数据进行解析,并基于分布式存储及数据融合技术处理数据。能源管理层通过指令控制物联终端的数据传输,并与用户进行数据交互。



图 1 能源物联网概念架构

2.2 LPWAN 能源物联网管理需求

在源网荷友好互动体系中,LPWAN 终端控制器被用于光伏和风能等分布式发电系统、微电网、储能电站及智慧渔业、智慧家庭等负荷端的互动连接业务,实现能源资源最大化利用的运营模式。此外,LPWAN 技术可用于多个运营场景,实现一张网、多场景数据共同上传至云平台。应用包括发电侧运行监测,输电侧线路电场数值分析与传送,变电侧设备故障分析,配电侧的电缆测温、设备绝缘监测、电气设施运行情境监测等,用电侧的漏电监测、充电桩管理等。

本文基于一网共平台^[6]的应用及 LPWAN 能源物联网的结构特性设计云平台,选取阿里云服务器(ECS)作为云服务器,ECS 作为数据中心实现了云平台对终端数据的访问,其包含 4 个模块:采集服务器、存储服务器、运算服务器及应用服务器。云平台对“云—端”通信的快速性和准确性有以下要求:

1)支持数据高并发及快速响应

云平台需及时响应和快速处理同时上传的海量数据或能源管理层下发的指令。

2)支持海量数据存储

为实现便捷管理海量数据,云平台需科学存储数据,方便实际应用。

3)支持智能分析与决策

云端数据需合理分配,在构建能源知识库的同时,实现数据的智能分析和决策。

3 LPWAN 能源物联网云平台

针对上述要求,设计多协议 LPWAN 能源物联网云平台

框架(如图 2),此平台对接阿里云物联网接口,包括 4 类服务器。采集服务器用于不同协议数据的接入及并发处理,运算服务器提供多协议融合数据分类及处理功能模块,存储服务器主要依据应用分类存储数据,应用服务器给出数据管理及应用功能模块。

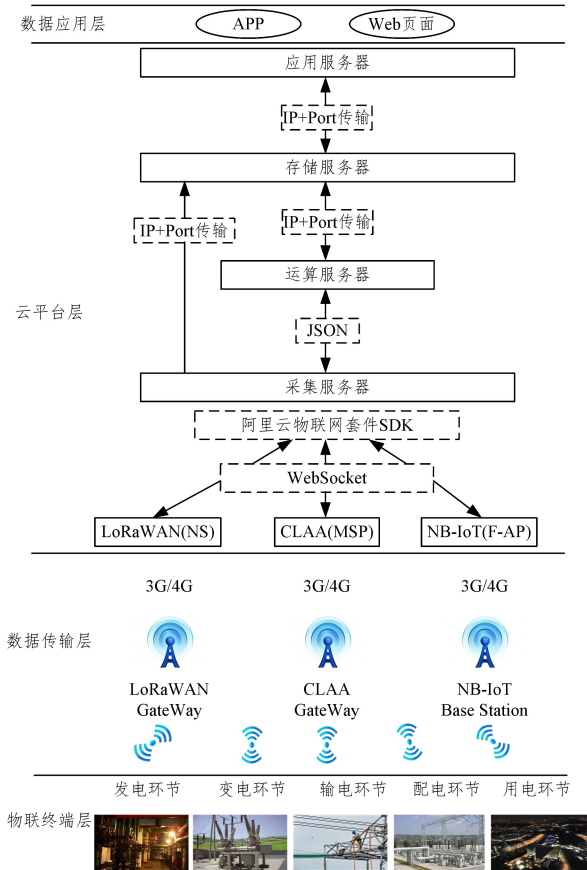


图 2 多协议 LPWAN 能源物联网架构

3.1 采集服务器

采集服务器是连接前端物联网络和后端运算服务器的中间环节,因此其性能要求满足以下两点:1)性能一,响应不同网络接入请求,按照数据协议接收 JSON 数据并解析;2)性能二,迅速处理大量前端的连接和数据并发请求。

3.1.1 数据中间件的构建

性能一的处理主要是在采集服务器部署数据中间件,在此之前需利用 MQTT 协议和 LPWAN 网络层协议传输和解析物联网和云平台间的数据^[7]。ECS 作为 MQTT 消息代理方,物联终端和云平台用户既是订阅方也是发布方。

基于 LoRaWAN 协议的网络服务器(NS)和 CLAA 协议的多业务平台(MSP)皆开放私有云平台的数据接入点,并提供类似 WebSocket 的数据接口;NB-IoT 网络在云平台 and 物联终端间开放数据接入层,各接入点(F-AP)利用雾计算处理“云—端”的数据^[8]。通过 Java Socket 技术融合 ECS 物联网套件 SDK 数据收发程序和 LoRa 及 NB-IoT 网络提供的接口程序组成数据中间件,利用 JSON 包搭载 LPWAN 数据传输层和应用层的数据信息。

如表 1 所列,JSON 包的消息内容包含 MSG 属性(上行或下行)、物联终端 ID、网关 ID、各类网络覆盖质量参数值、加密负载 PayLoad 及其形成时间、MQTT 消息属性等。PayLoad 承载的数据长度可变,包含终端硬件参数、多种进制表达的能源物联网传感数据及 CRC 校验值。

表 1 JSON 包及 Payload 结构

MSG 属性	物联终端 ID	网关 ID	覆盖参数值	Payload			TIME	MQTT 属性
				终端硬件参数	传感数据	CRC 校验值		

3.1.2 数据并发处理

在性能二的处理方面,采集服务器通过构建数据连接和数据管理模块,并依靠 NIO 非阻塞异步传输技术^[9]、线程池缓存技术,实现数据的高并发。

数据连接模块的功能是初始化 MAC 层的 JSON 数据、接收线程、利用 Socket 监听物联终端连接请求、创建收发线程并将其写入连接信号。

数据管理模块具有两点功能:功能 1 是收发线程与连接线程通信管道的构建,并发机制中 Selector 事件管理器跟踪连接请求,通过创建 API 接口和定义类文件实现 LoRa 或 NB-IoT 网络接口和 ECS 的数据连接,NIO 主控线程向缓存读写线程池提交读写事件,事件处理器通过 ComHandler 类读写缓存线程池的线程,并通过 Socket 及数据上报接口管理终端和云平台间的通信状态;功能 2 是重组数据传输层的 JSON 数据,将 JSON 各字段数据解码或解密(如 LoRaWAN 或 CLAA 对字段进行 base64 解码),再添加 MQTT 消息属性及线程 ID 等组成新的 JSON 包,并将数据缓冲中的新 JSON 包发送至内部消息服务器。

3.2 运算服务器

3.2.1 服务器功能设计方案

该模块为运算服务器的数据处理提供了设计方案,其功能定义为构建数据处理方法库,以融合采集服务器解析后的多协议数据,并构建数据库接口,完成与数据库的数据交互。

能源物联网以电力网为主干,集成了新能源发电、微电网、先进储能及远距离输配电等先进技术,促使现有电网向智能化方向改造^[10]。分布式电源及储能元件的有效利用、新能源配额交易服务、需求响应及电动汽车充放电业务的开展改变了电网各个系统的运行格局,形成了能源物联网多源能源供应体系。该体系的数据包括设备状态类、运行情境类、运行计量及调控类数据。设备状态数据涵盖各类能源设备运行的状态值,比如:电网中电压、电流及功率数值的动态变化,开关状态中断路器、刀闸的位置信号及开合状态量,发电或变电系统回路故障及继电保护动作状态类数据,配网系统设施的充、放、换电类数据,分布式网络中各类现场机软件对负荷的管理数据或自动控制开关产生的控制设备状态切换类数据。运行情境数据包含:电气设备内外的温度、湿度、气压、酸碱度、形变、空间位置等环境数据,电气或非电气参量超限报警状态参量值,运行人员对设备的操作记录(巡查检修、故障排查及预防等),能源市场中居民和商业用户的用能体验日志等。运行计量及调控数据记录电、热、水、气、光、磁等计量信息,能源生产运营中控制管理、以氢能源和冷热电资源为代表的多元市场零售交易及节能服务类信息,输配电网、微电网及分布式电源等设备档位状态及换挡操作信息。

上述多源数据特征有以下特征:1)基于不同物联网络接入协议的数据包格式存在差异,这些差异造成了数据冗余;2)通信模式及物联终端皆存在多样性,不利于云平台的存储及决策者对 LPWAN 网络状态的综合判断,而且数据在云平台的传输会过度消耗网络能量;3)智能高效电能变换装置及电压电流互感器等设备的更新会导致云平台数据结构趋向多样化。以智慧城市能源物联网为例,居住区、工厂及大型楼宇的供电供气系统、分布式电源监测系统及充电桩运维系统皆

定时上报设备状态和能源使用数据至云平台。鉴于这些数据特征,需对多源数据进行融合处理。

3.2.2 数据融合功能架构

数据融合功能架构分为 3 层,即基础数据层、数据特征层及数据需求层^[11],如图 3 所示。

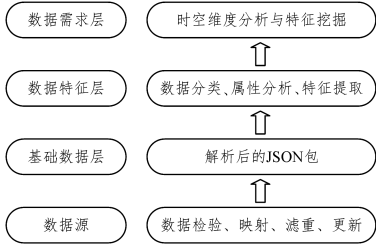


图 3 数据融合功能架构示意图

基础数据层对采集服务器的数据进行清洗和初级整理,包括数据冲突检验、补充关键数据信息等。云平台的控制命令下发至故障设备,网关存在硬件故障,终端和网关间的信道通信受外界干扰等,皆会导致数据传输层形成错误的 JSON 包,基础数据层需通过平滑滤波等技术对错误数据进行去噪及过滤处理,通过内插等技术恢复丢失数据^[12],同时由于终端设备数据存在动态变化性等特征,基础数据层需不断更新数据包。

数据特征层的工作是对基础数据层的数据进行属性分析及特征提取。在融合能源数据、采集设备信息、网络覆盖信息前,需通过维规约等方法精简数据特征。可利用主成分分析(PCA)将高维数据映射至低维,用最少的综合特征量表述原始数据信息。算法处理时,可通过 BP 神经网络将设备采集到的电压、电流或功率参量作为输入进行特征融合,预测输出该设备电能的质量变化趋势;将基于 D-S 证据理论的融合算法应用到变压器油中溶解的各类气体体积分数的监测数据分析,判断设备存在的过热或放电故障状态;通过贝叶斯方法对电厂运行车间内采集到的温度、CO 浓度及烟浓度参量进行特征融合,输出火灾发生的概率;利用卡尔曼滤波算法处理环境因素干扰导致的能耗监测系统数据参数分布不均的问题^[13]等。对此,运算服务器需要设计相关文件系统来存储大量的数据集以及各类算法的运算统计结果,并且通过 I/O 流解析和统计数据,而后设置算法参数,完成数据融合,并将融合后的数据通过数据库接口传输至云平台存储服务器。

数据需求层基于时空两个维度分析特征层处理后的数据特征,从而形成能源数据知识库,描绘出不同能源利用场景的多维度信息需求视图。从时间维度分析,将同类应用场景数据在各个时间段的特征进行融合可进一步掌握用户的需求变化及行为特征变化趋势;利用各个时间段现场设备运行情境数据的特征融合结果,判断物联终端数据在不同时间段的波动情况,从而服务于能源利用方案的决策。从空间维度分析,通过统计采集数据上传时 LoRa 和 NB-IoT 网络的覆盖参量值,发掘网关节点的运行状况;通过统计和融合电力生产及营销工作中产生的现场人员操作日志及交易数据,判断和预测工作人员的行为特征信息。

3.3 存储服务器

运算服务器处理后的数据依靠云平台的分布式存储系统进行存储。与云平台进行数据连接的 LPWAN 能源物联终

端数量随数据采集频率的增加而增加,必须要求存储服务器并行操作能力及读写数据吞吐量有较高的水平^[14]。针对大容量能源数据的异构性和高并发性,提出数据库集群的解决方案,利用网络设备连接集群系统。云平台存储文件类数据采用的是分布式数据库中的 MongoDB 数据库,该数据库属于面向集合的非关系型数据库,存储用户及设备信息数据、传感数据时采用关系型数据库存储如 MySQL,存储其他各类非结构化数据时采用非关系型数据库存储来提高存储效率和读写吞吐量。

3.4 应用服务器

应用服务器为用户的不同需求提供应用模块。本文设计了两个模块:统计分析、数据展示。统计分析模块汇总融合后的应用场景数据,并加以统计运算,以统计图表或图标的形式^[15]反应各类场景数据的变化趋势和关联性等。展示模块与存储系统实时连接获取的数据,实时展示算法对能源使用及供应量预测的结果,便于管理人员的决策分析。

4 云平台性能测试

鉴于融合 LoRaWAN,CLAA 及 NB-IoT 3 种数据的功能需求,本团队基于 J2EE 标准设计 LPWAN 物联网云平台,以保证云平台实时接收传感数据。利用阿里云物联网套件将网上传送的 JSON 数据传输至采集服务器,该套件提供不同环境下的 SDK,从而为各类设备提供接入云平台的双向通道,本次开发利用其与消息服务功能的结合实现物联终端和云平台数据的双向传输。

同时,基于 SSM 框架开发分布式处理软件系统,利用可视化页面为用户提供数据操作的便利。团队人员将温度、气压、光照及湿度传感器应用至本校各重点实验室智能电表运行环境中,并利用物联终端传输传感数据。测试包括以下两点:

1)连通性测试。利用 Java Socket 处理 SDK 程序和 WebSocket 程序,载有传感数据的 JSON 包被采集服务器和存储服务器处理后在前端页面分类展示,如图 4 所示。由测试结果可以看出,设计的云平台具备数据展示模块的管理功能,并且可实时接收终端设备的上行传感数据,具备连通性能。

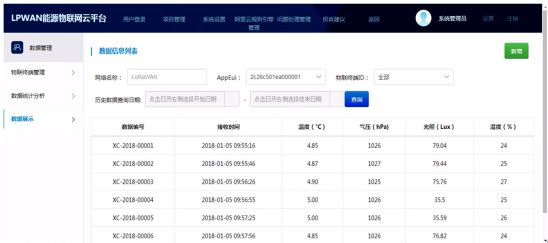


图 4 云平台数据展示

2)稳定性测试。除了上述测试外,还对云平台服务器的丢包率进行测试,以保证运行的稳定性^[16],观察指标表示平台数据收发数量的情况。Web 端设置间隔 30 s 循环发送采集 4 类数据的命令,程序后台命令下发及数据上传无误的情况下,在 5 h 内连续采集上述 4 类传感数据,分别在有无 NIO+线程池缓存机制环境下测试丢包情况,统计结果如表 2 所列。测试结果显示:具备缓存机制的云平台的丢包率(5%)比无缓存机制的云平台丢包率小(19.8%),原因在于 NIO+线程池缓存机制允许各工作线程分离,提高了系

统的吞吐量和处理效率。

表 2 有无并发机制的丢包数测试结果
(单位:个)

	无缓存机制	有缓存机制	应收数据
温度	125	140	150
气压	120	143	150
光照	121	142	150
湿度	115	145	150

结束语 本文基于“云管端一体化”思想设计了多协议 LPWAN 能源物联网云平台,针对云端接入数据的需求,参考 LoRa 和 NB-IoT 网络的数据通信协议以及 MQTT 数据的传输机制,借助阿里云服务器实现“云一端”数据的双向传输,并通过 NIO 非阻塞异步传输技术保证了数据高并发输入及快速响应的高效性,利用运算服务器分类处理各类能源数据。

目前,云平台最多可处理数千级别的终端数据,实现万级别甚至更多海量终端数据的高并发仍存有技术瓶颈,因此团队下一步的工作是在云平台现有技术的基础上,优化 LoRa 和 NB-IoT 数据通信协议,提高数据约束能力,加快数据处理速度,从而改进云平台的数据处理性能。

参 考 文 献

[1] 田世明,栾文鹏,张东霞,等. 能源互联网技术形态与关键技术[J]. 中国电机工程学报,2015,35(14):3482-3494.

[2] 程锦堃,陈巍,石远明. 5G 室内密集立体覆盖的计算通信:架构、方法与增益[J]. 电信科学,2017,33(6):41-53.

[3] 宋永华,林今,唐明,等. 基于广域低功耗网络的能源物联网[J]. Engineering,2017,3(4):67-82.

[4] AUGUSTIN A, YI J Z, CLAUSEN T, et al. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2016, 16(9):1466.

[5] ZHANG G G, YAO C F, LI X L. Research on joint planning method of NB-IoT and LTE[J]. Procedia Computer Science, 2018, 131:985-991.

[6] 陈永波,汤奕,艾鑫伟,等. 基于 LPWAN 技术的能源电力物联专网[J]. 电信科学,2017,33(5):143-152.

[7] KASHYAP M, SHARMA V, GUPTA N. Taking MQTT and NodeMcu to IOT: Communication in Internet of Things. [J]. Procedia Computer Science, 2018, 132:1611-1618.

[8] 庞强. 面向物联网监控系统的高性能通信服务设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学,2014.

[9] 张红,王玉峰. 基于雾计算的 NB-IoT 框架、关键技术及应用[J]. 中兴通讯技术,2017,23(1):32-36.

[10] 宁晓静,张毅,林湘宁,等. 基于物理-信息-价值的能源区块链分析[J]. 电网技术,42(7):2312-2323.

[11] 曾子明,陈贝贝. 融合情境的智慧图书馆个性化服务研究[J]. 图书馆论坛,2016,36(2):57-63.

[12] 曹军威,袁仲达,明阳阳,等. 能源互联网大数据分析技术综述[J]. 南方电网技术,2015,9(11):1-12.

[13] 王振,白星振,马梦白,等. 一种基于数据预处理和卡尔曼滤波的温室监测数据融合算法[J]. 传感技术学报,2017,30(10):1525-1530.

[14] 马文娟,刘坚,蔡寅,等. 大数据时代基于物联网和云计算的地震信息化研究[J]. 地球物理学进展,2018,33(2):835-841.

[15] 刘勇,闫鲁杰. 基于物联网、云计算和大数据的工业能源管理系统[J]. 供用电,2014(12):28-32.

[16] 唐姝妮. 面向物流车辆的网络高并发 I/O 系统的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2016.