

[配电物联终端]

配电物联终端工程联调技术

文/肖俊阳 罗金阁 马伟哲 吴新 曾通
深圳供电局有限公司

配电物联终端包括了智能网关、配电终端和智能传感器。配电物联终端全生命周期不同阶段的质量把控需要有相应的调测设备。研究的物联终端联调技术应用场景是工程联调，联调系统整体采用“云+分布式”架构设计，由云端平台和“1+N+M”分布式调试台体组成。为提升联调系统的技术能力，提出调试案例同步技术，实现联调系统调试案例的自动同步，提升调试的全局质量管控能力；提出调试错误识别技术，自动识别错误位置，辅助人工排查，大幅提升调试效率；提出虚拟智能网关调试技术，提升智能传感器规约一致性调试能力和灵活性。上述技术在实际应用中得到验证，达到设计目标。

为实现传统配电网向数字配电网转型升级，提出配电物联网，以促进电网物理信息系统的深度融合以及“源网荷储”设备的互联互通^[1]。作为配电物联网的关键设备，配电物联终端是当前大量设备厂商研究的热点之一，包括配电智能网关(以下简称：智能网关)、配电终端和智能传感器(以下简称：传感器)等设备。其中，智能网关是一种新型智能设备，属于配电物联网架构中的边缘设备，采用全新的技术架构，实现软件定义硬件功能，功能强大、扩展灵活^[2]。由于各厂家技术积累、研发能力和质量把控能力等参差不齐，导致其可靠性无法得到保障，可能影响配电网的安全运行。因此，对配电物联终端全生命周期的质量进行把控势在必行。

配电物联终端全生命周期不同阶段的质量把控需要有相应的调测设备。文献[3]面向配电物联网终端现场调试技术的研究，提出智能网关基于就地模拟云的调试方法，实现物联终端的现场调试。该文研究的应用场景是物联终端的现场调试。文献[4]研究智能网关批量化测试的相关技术。设计批量化检测系统的架构，架构包括三层两网，可以完全仿真

配电智能网关的运行环境，实现边端、边云、边端云等场景的测试需求。该文研究的应用场景是智能网关型式试验和到货检测。文献[5]面向配电物联网智能终端的工程联调技术开展研究，应用场景是仓库联调，提出智能终端联调系统架构，与云端的生产运行支持系统构建自动闭环联调，并设计相应的软硬件实现方案。

本文基于文献[5]的成果，为进一步提升联调系统的技术能力，继续研究配电物联终端工程联调技术，包括调试案例同步、调试错误识别和物联终端规约一致性调试灵活性提升等。

异构分布式联调系统

调试台体是安装在联调仓库的调试执行单元^[5]。考虑到智能网关、配电终端对调试装置的要求各不相同^[4-5]，调试台体由不同的智能网关调试屏和配电终端调试屏组成，采用“1+N+M”的架构，“1”表示1面控制屏，“N”表示配电终端调试屏的数量，“M”表示智能网关调试屏的数量，为异构台体，如图1所示。

基金项目：南方电网公司科技项目（090000KK52222150，SZKJXM20222148）。

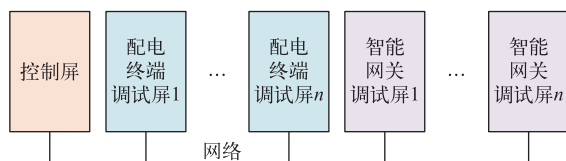


图1 异构调试台体

为保证联调系统实用性，还原真实业务场景，联调时需将智能网关接入以全域物联网平台为数据平台的运行支持系统。设计基于云管边端架构的联调系统，如图2所示。调试流程是调试台体根据调试案例，下发指令到功率源或仿真终端；功率源信号注入传感器，完成触发；智能网关采集传感器的数据，并上送至全域物联网平台；生产运行支持系统采集全域物联网平台的数据，并转发至该台体；调试台体收到该转发数据后，与指令数据进行对比，得到调试结果。

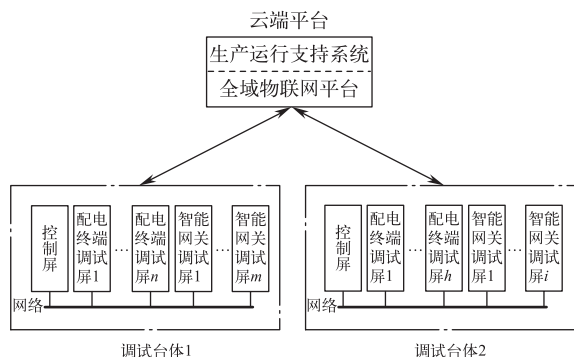


图2 联调系统组成

本文所设计联调系统采用“云+分布式”架构，具有异构分布式特征。其中，云端平台可以同时接入多个异构调试台体，每个台体可以独立完成调试工作。

调试案例同步技术

接入联调系统的每个调试台体都有一套存储于本地的调试案例，如果调试台体的调试案例不一致，会造成台体间对物联终端的质量把控标准各不相同。为此，研究实现调试案例在不同调试台体间同步的技术方法，为不同调试台体间物联终端统一调试标准。

1. 调试案例建模

构建调试案例模型如图3所示，每种待调设备类型有多个调试方案，且都有一个版本号，版本号用

于记录当前调试案例的版本，每个调试方案包含多个调试项目，每个调试项目包含多个状态序列。

调试项目就是多个状态序列的集合，并给每个集合命名，比如采集准确度，则该项目就是调试采集准确度的状态序列集合。

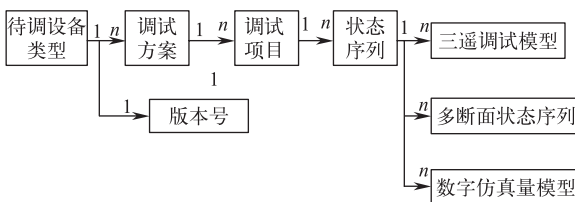


图3 调试案例模型

2. 状态序列建模

物联终端的调试项目由诸如电流、电压的状态序列组成。针对物联终端基本功能调试需求，设计了普通三遥调试模型、基于多个断面数据的状态序列调试模型、数字仿真量模型。

3. 版本号管理

图3中版本号设计为三段数字：A，B，C，其中A、B、C都为非负整数，恒增不减。

若对调试项目的状态序列进行了增删改操作，则C在当前的数字上加1。当调试项目的数量增加或减少时，B在当前的数字上加1。当调试方案的数量增加或减少时，A在当前的数字上加1。

4. 调试案例的同步方法

调试案例同时存储于云端平台和调试台体，其中，调试案例的编辑功能和权限位于台体侧。为确保同一设备调试标准的统一，使联调系统中不同调试台体的调试案例保持一致，采取如下技术方法。

1) 新建调试系统，调试案例的版本号初始化为0.0.0。

2) 编辑调试案例时，调试台体要向云端平台申请锁定权限，以确保全系统同时只有一个调试台体能编辑调试案例。

3) 云端平台收到锁定权限申请时，会检查权限唯一性，若无其他调试台体编辑调试案例或无编辑标志，则权限受理成功，并返回给申请的调试台体。同时，云端平台相应的调试案例设置编辑标志。

4) 完成调试案例编辑后，调试案例的版本号会按规则改变。调试案例版本号及调试案例内容保存至该调试台体。

5) 调试案例自台体同步到云端平台, 云端平台接收后, 更新调试案例。更新完成后, 将调试案例正在编辑的标志进行复位。若云端平台接收调试案例失败或更新失败, 则保持调试案例的编辑标志不变, 需人工同步调试案例后再进行复位。

6) 调试台体启动时, 会和云端平台比较调试案例版本, 若调试案例版本低于相应版本, 则从云端平台更新调试案例至本地, 更新完成后再调试。

调试错误识别技术

物联终端联调过程中出现不合格时, 当前的研

究成果都只能报告错误, 而不能识别错误位置, 需要人工排查定位错误, 效率有待进一步提高。本节研究物联终端调试过程中出现错误后, 如何识别错误位置的技术。

为识别调试错位位置, 提出的技术措施是增加调试台体通过本地网络与智能网关链接, 从智能网关直接采集传感器的实时数据, 如图4所示。如此, 调试台体每一个调试值就有3个数据来源, 分别是信号注入值、智能网关直采值和生产运行支持系统转发的数据值。

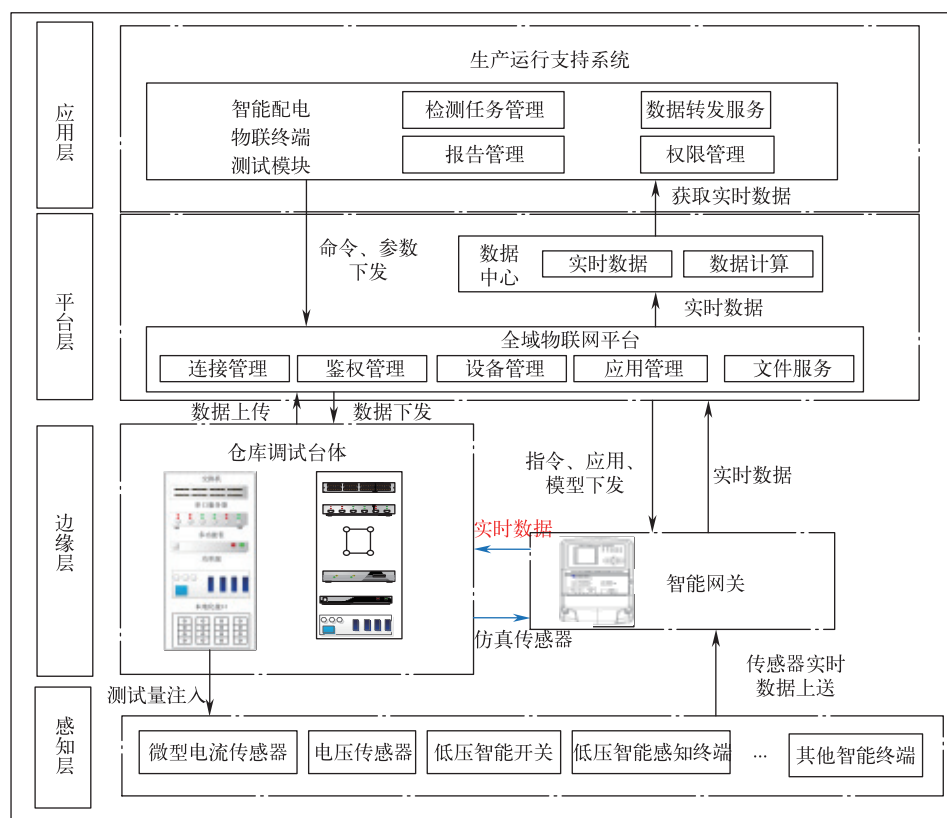


图4 物联终端联调系统架构

调试台体分析判定算法为上述3个数据一致时, 判定调试合格; 3个数据都不一致, 判定调试不合格, 需要人工查找错误; 当云端平台转发的数据值与其他2个不一致时, 定位为云端平台应用层数据错误, 需要检查云端平台的模型设置; 当云端平台转发的数据与智能网关的数据一致, 但与注入值不一致时, 则用仿真传感器数据注入到智能网关, 若此时智能网关与仿真传感器的数据一致, 错误定位为传感器, 否则错误定位为智能网关。

虚拟智能网关调试技术

传感器有很多类型, 包括局部放电传感器、温湿度传感器、水浸传感器、烟雾传感器、微型电流传感器和低压测控终端等。随着数字化、智能化的快速发展, 传感器的类型还会增加。传感器进行规约一致性调试时, 需要接入智能网关, 且规约通信有正向、反向调试案例。因为通信双方规约的对等性, 所以当调试反向调试案例, 有一些案例需要智能网关发出特殊的数据和指令, 比如发出错误的规

约指令和超过传感器限值的数据，以验证传感器通信处理的容错性。这些数据和指令都有定制要求，因此，需要智能网关具备调试案例定制的灵活性。受制于产品变更相关管理要求，实物智能网关无法满足规约定制快速响应的需求，因此提出虚拟智能网关的测试技术。

1. 虚拟智能网关调试技术

物联终端调试屏如图5所示。

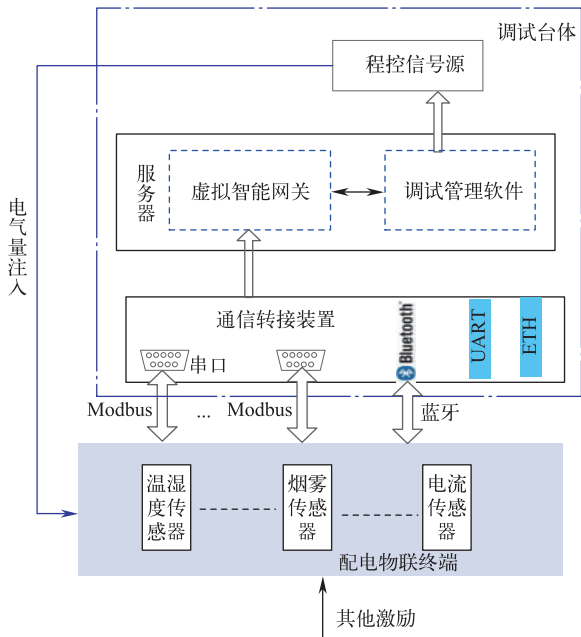


图5 含虚拟智能网关的物联终端调试屏组成

调试台体包含有通信转接装置、程控信号源、服务器。通信转接装置一端有多种通信接口，包括串口、蓝牙、网口和UART等，接入各种传感器；另一端是以太网口，接入到服务器；服务器是商用计算机，用于部署虚拟智能网关、调试管理软件。虚拟智能网关是用软件模拟智能网关的功能，实现传感器通信协议一致性调试。调试管理软件的功能包括调试案例的编辑、执行、调试结果的分析，以及调试报告的生成。

2. 虚拟智能网关的设计

虚拟智能网关用于调试传感器的协议一致性，要能适应传感器的多样性，并支持对调试案例的灵活扩展。虚拟智能网关不是真实的智能网关，只要能够实现传感器规约一致性功能调试，其架构可以与实际智能网关的架构不同。实际智能网关软件功能架构如图6所示。架构复杂，采用了应用APP化的

技术。虚拟智能网关的软件功能架构设计如图7所示。其架构和功能都比智能网关更加简单，以满足规约快速定制的需求。

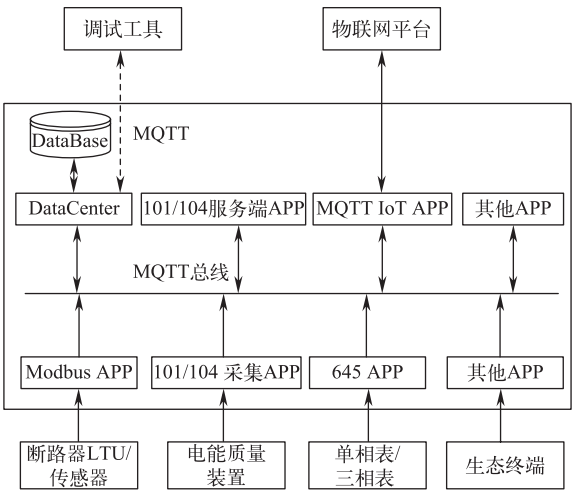


图6 智能网关功能架构

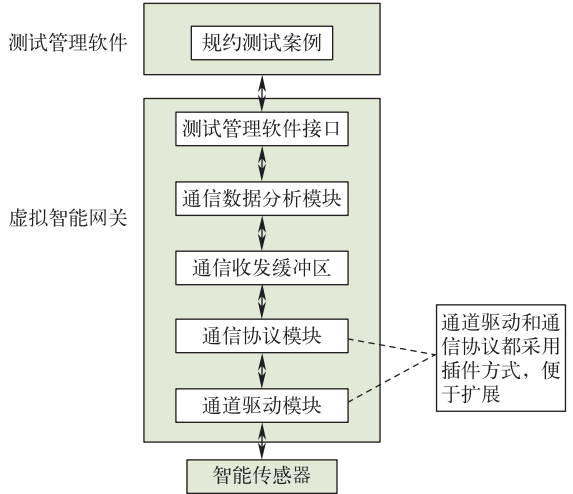


图7 虚拟智能网关功能架构

为实现规约测试案例灵活定制的目标，构建虚拟智能网关，首先要进行功能解耦。架构最底层是通道驱动模块，针对不同的通信方式，实现相应的驱动，比如串口、网口和蓝牙等。通道驱动模块用插件方式实现，当有新的通信方式时，增加插件即可，扩展方便。

通信协议模块与通道驱动模块解耦。每一个通信协议对象动态绑定一个通信通道，通信通道包含了通道驱动模块。通信协议采用插件方式实现，扩展方便。通信收发缓冲区作为虚拟智能网关与传感器通信时的规约收发缓冲区，通过内存共享方式实

现。缓冲区按通信对象分区，每个传感器都有一个独立分区；每个分区边界清晰，数据互不干涉。通信数据分析模块根据通信协议，分析智能网关的收发数据，评价数据是否满足协议规定。测试管理软件接口，实现与测试管理软件的交互。采用虚拟智能网关技术后，可以根据传感器的不同，定制相应的规约一致性调试案例，实现特殊指令和数据的调试，灵活方便。

应用验证

南方电网某地级市部署了基于上述技术的联调系统，系统组成如图8所示。

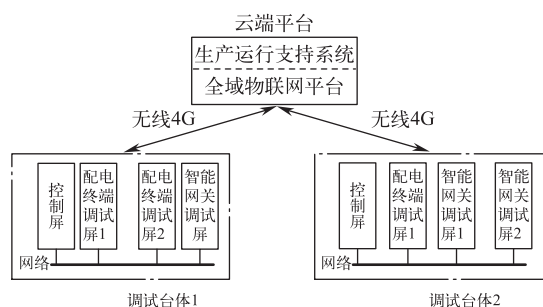


图8 联调系统组成

联调系统由2套调试台体组成。图8中调试台体1是由2面配电终端调试屏、1面智能网关调试屏和1面控制屏组成的异构系统；调试台体2是由1面配电终端调试屏、2面智能网关调试屏和1面控制屏组成的异构系统；调试台体都通过4G接入全域物联网平台。联调系统符合本文描述的分布式异构联调系统的特征。经验证这2套调试台体能各自独立进行闭环调试，云端平台能监视调试台体的状态、接收调试台体的各种数据，表明云端平台能管理异构分布式调试台体。测试案例同步技术方面，当在调试台体1修改调试案例后，调试台体2能同步修改后的调试案例。反之，调试台体1能自动同步调试台体2修改的案例。

识别调试错误位置的技术和虚拟智能网关调试的技术在联调系统上都一一得到了验证。

结束语

为实现配电物联网终端的工程联调，构建异构分布式联调系统。该系统能满足物联网终端工程联调的功能，为提升系统的性能和功能，本文研究调试案例同步技术。通过对调试案例建模，构建状态序列，

并提出调试案例同步方法，以此实现案例统一化管理，使得分布在不同地点的调试台体，只要接入云端平台统一管理，就能实现调试案例自动统一，达到调试标准统一的效果，提升质量管控水平。

本文提出调试错误识别技术，当物联终端调试过程中出现不合格时，主动识别错误发生的位置，辅助人工排查，大幅提升效率。

传感器规约一致性调试有正向、反向调试案例，随着配电网数字化的快速发展，传感器类型也越来越多，为提高传感器规约一致性调试的灵活性，满足特殊数据和指令调试的要求，提出虚拟智能网关的调试技术。虚拟智能网关是智能网关功能的子集，专为传感器的规约一致性调试设计，具有简单、灵活的优点。

上述技术得到现场验证，达到设计目标。EA

(收稿日期：2024-11-12)

参考文献

- [1] 吕军, 栾文鹏, 刘日亮, 等. 基于全面感知和软件定义的配电物联网体系架构[J]. 电网技术, 2018, 42(10): 3108-3115.
- [2] 张冀川, 陈 蕾, 张明宇, 等. 配电物联网智能终端的概念及应用[J]. 高电压技术, 2019, 45(6): 1729-1736.
- [3] 林俊宏, 吴旦, 韩利群, 等. 配电物联智能终端现场调试技术的研究与应用[J]. 机械与电子, 2023, 41(12): 48-52.
- [4] HUANG Runhong, LIU Yang, WEI Chengzhi, et al. The research and application of the batch testing technology for the power distribution IOT Intelligence[C]. 2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI), 2023: 85-92.
- [5] XIAO Junyang, LUO Jing, WU Xin, et al. Research and application of engineering interconnection technology for intelligent gateway of power distribution IoT[C]. 2024 IEEE 4th International Conference on Power, Electronics and Computer Applications (ICPECA), 2024: 427-433.