

电力物联网关键设备研究与应用

李 涛，李霖元，刘 瑞

(北京南瑞智芯微电子科技有限公司，北京 102200)

摘 要：电力物联网是物联网技术在智能电网中的应用，是智能电网建设必不可少的重要技术手段。本文首先介绍了电力物联网的总体架构，在此基础上提出了无线智能传感器和监测装置两种关键设备。文章重点阐述了上述设备的研制，以 IEEE1451 和 IEC61850 作为统一编码和统一信息模型设计的指导思想。最后结合电力物联网实际试点项目，介绍了设备在配电线路监测中的使用情况。实践证明，通过对电力物联网关键设备的研发应用，可以解决智能电网各关键环节的数据获取、数据传输和数据处理问题，有效提高电力系统的智能化和信息化水平。

关键词：无线智能传感器；监测装置；统一编码；统一信息模型

0 引言

物联网技术与智能电网先后被列入国家战略，其同步协调发展能产生巨大社会效益。电力物联网是智能电网的重要技术支撑，其在电网建设、电网安全生产管理、运行维护、信息采集、安全监控、计量及用户交互等方面发挥巨大作用。电力物联网具有的全面协同感知、互联互通、智能处理以及标准化统一应用及服务，是实现电网智能化的根本保障。

电力物联网技术涵盖了大量的先进技术，但至今各种应用技术尚未建立统一标准规范体系，电力物联网的标准化程度严重滞后，导致公用性和互联互通性较弱，标准化互换性程度低，不利于信息的共享和综合使用，各式的通信技术和设备没有统一的规约来规范，信息传递未能高效传送。随着电力物联网的发展，对电力物联网架构的统一规划和关键设备标准化研究显得尤其重要

根据电力系统各个环节的信息通信需求和电网企业管理需求的实际出发，研究电力物联网的技术框架和关键设备，有效整合通信基础设施资源和电力系统基础设施资源，提高电力系统信息化水平、安全运行水平、可靠供电及优质服务水平，提高电能传输效率和使用效率，带动智能终端、智能传感器、信息通信设备、物联网芯片、软件以及运行维护产业的发展，提升自主创新能力、市场竞争力和技术支撑能力。通过示范项目验证技术架构和关键设备，为电力物联网推广提供可复制、可操作的现实借鉴经验，为智能电网的建设提供强力支撑^[1]。

1 电力物联网总体架构

电力物联网总体架构主要包括感知层、网络层和应用层三个层次，如图 1 所示。

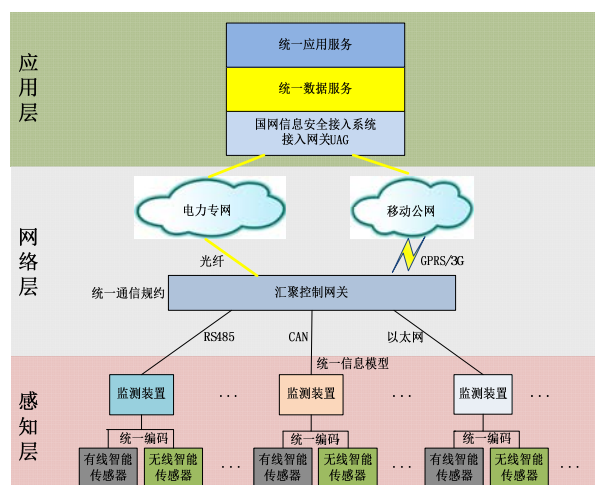


图 1 电力物联网架构图

1.1 感知层

感知层主要利用各种传感识别设备实现信息的采集、识别和汇集，无线传感器网络技术为物联网的核心支撑技术之一，具有部署方便、成本低、高鲁棒性和抗毁性等优点，网络一经部署便自动组网，其节点可以根据需要配置各类不同传感器设备^[2]。感知层是物联网的基石，是整个物联网系统数据来源的渠道，无线智能传感器、监测装置、基于 IEEE1451 标准的统一编码和基于 IEC61850 标准的统一信息模型是本文的研究重点。

1.2 网络层

网络层主要负责感知层获取信息的传输和承载。网络层旨在多种融合通信技术的引入，在丰富的通信方式的基础上研发汇聚控制网关设备并制定规范化的通信规约。应用中监测装置与汇聚控制网关间多通过 RS485、以太网和光纤等介质互联，解决信息采集覆盖及灵活性问题，汇聚控制网关与国网安全接入网关之间通过光网络、无线宽带 (GPRS/3G) 等技术互联，解决信息远距离传输及可靠性问题。

1.3 应用层

应用层基于国网公司 SG-ERP 架构建立数据中心，研究电力物联网的统一数据模型，实现发布统一的数据服务，为现有业务系统及集成各类应用的统一应用服务提供支撑,利于消除信息壁垒，共享数据资源。

2 无线智能传感器设计

2.1 硬件设计

无线智能传感器采用电池供电，设计以超低功耗为准则，选用 Microchip 公司 PIC24F16KA 系列微控制器为主控芯片，内置 AD 转换器，典型休眠电流小于 20nA^[3]，射频芯片选用 Nordic 公司的 nRF24L01+，具体电路设计不在此赘述，无线智能传感器硬件原理性框图如图 2 所示。

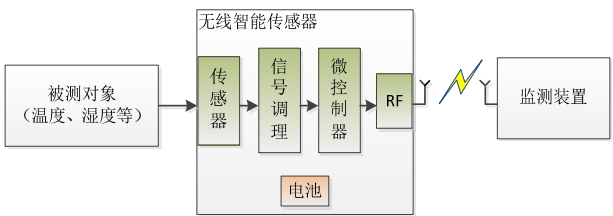


图 2 无线智能传感器硬件原理性框图

2.2 统一编码

无线智能传感器统一编码遵循 IEEE1451 中电子数据表单 TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) 的定义和格式。TEDS 是 IEEE 1451.2 最重要的技术革新之一，它是一个通用传感器编码模型，可以支持很多种类的传感器，使传感器具有了自我描述能力和自我识别能力。它可以充分描述传感器的类型、行为、性能属性和相关的参数，例如，传感器生产商的名称、传感器的类型和序列号等^[4]。TEDS 由一些数据域组成，它们被嵌入传感器，和传感器一起移动，使用一个传感器所需的所有信息总是随时可得。

由于传感器是用于对运行设备、设备工作环境和物资身份标识等进行相关数据采样，采样数据量较小自身资源有限。通常只在传感器上保存有限的必要数据。这些必要的数数据用精简 TEDS 来描述。主要包括：传感器逻辑节点地址、逻辑节点采集的数据、时间和保留字节等，保留字节可作为系统扩充或用户自定义的数据位。表 1 中描述了精简 TEDS 的定义。

表 1 精简 TEDS 定义

属性		数据长度(bytes)
传感器逻辑节点 ID 号	厂商代码	14 bits
	型号	15 bits
	版本标签	5bits
	版本号	6 bits
	产品序列号	24 bits
传感器实时数据		24bytes

2.3 软件设计

如图 3 所示，软件系统可以分为三个层次：射频驱动层、网络层、应用层。射频驱动层提供网络层操作硬件的接口，网络层即无线自组网协议栈，应用层包括信号的采集和处理、统一编码实现等内容。



图 3 无线智能传感器软件结构图

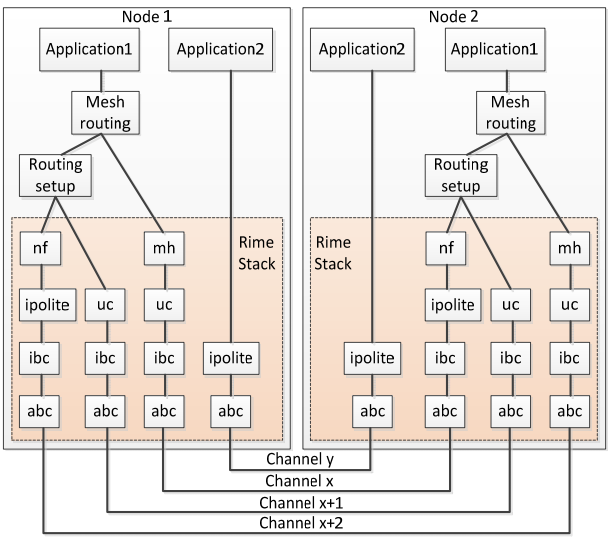


图 4 统一信息模型示意图

软件的难点为无线自组网协议栈，设计采用之前项目成功应用的 Rime 开源协议栈，Rime 是针对传感器网络轻量级、层次型协议栈，也是低功耗、无线网络协议栈，旨在简化传感器网络协议及代码重用。图4描述了应用程序如何使用 Rime 协议栈^[5]。第一种方式使用 mesh 路由协议（基于 Rime 协议栈之上），而第二种方式则直接使用 Rime 协议栈，每个通信路径使用自己的逻辑信道进行数据传输。

3 监测装置设计

3.1 硬件设计

监测装置微控制器选用工业级基于 ARM Cortex-M4 内核的 STM32F407，该 MCU 具有高性能低功耗的特点，具备 UART、以太网 MAC 和 CAN 等通信接口^[6]，监测装置所有对外接口采取隔离保护措施。硬件设计框图如图 5 所示。

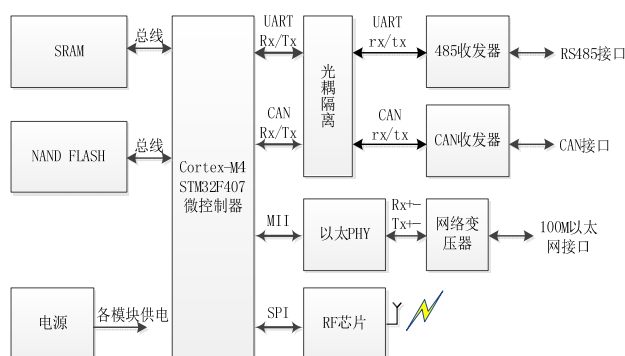


图 5 监测装置硬件框图

3.2 统一信息模型

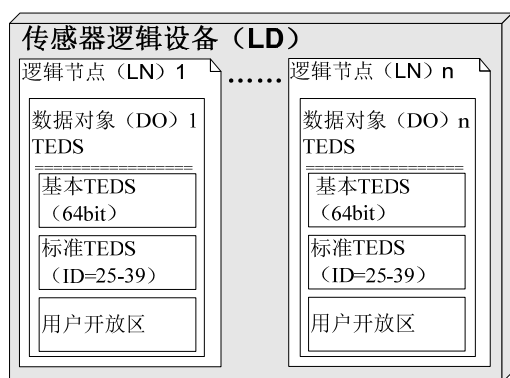


图 6 统一信息模型示意图

统一信息模型的建立参考 IEC 61850 标准，该标准在整个电力系统中具有普遍的适用性。按照 IEC 61850 统一标准的方法，将待建模设备的应用功能分解为与之交换信息的最小实体，这些实体称为逻辑节点 LN^[7-8]。若干逻辑节点组成一个逻辑设备 LD。依据 IEC61850-7-4 标准中的设计原则，将

用逻辑设备 LD、逻辑节点 LN、数据对象 DO 描述的抽象模型作为信息模型架构，重点结合 IEEE1451 的 TEDS 思想，图 6 是传感器设备统一信息模型的示意图。

统一信息模型建模流程图如图7所示。

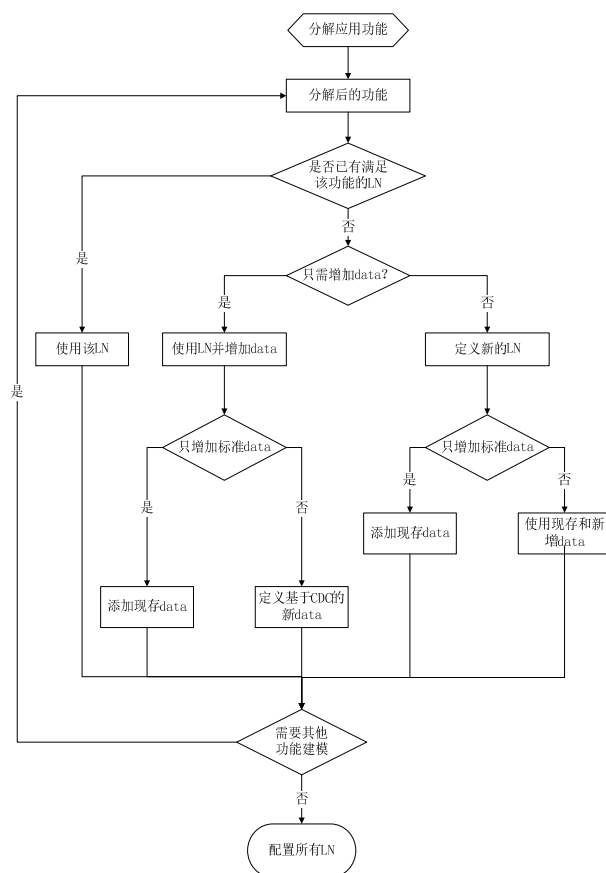


图 7 统一信息模型建模流程图

实现步骤如下：

- （1）建立分解后的功能单位，即逻辑节点LN：
 - a) 如果现有的逻辑节点满足要求，那么直接选取需要的逻辑节点。
 - b) 如果现有的逻辑节点基本满足要求，但是有些数据对象不满足要求，那么这个逻辑节点可以使用，可以新建所需的数据对象。
 - c) 如果逻辑节点本身不能满足要求，就要定义一个新的逻辑节点了。
 - d) 如果需要，可以给特定的逻辑节点实例添加前缀或是实例ID。
- （2）对于建立的逻辑节点LN，确定数据对象DO：
 - a) 如果一个逻辑节点除了强制类型的数据对象以外，可选数据对象也适合功能模型，那么这些可选数据对象也要使用。

b)如果数据对象在某个逻辑节点中要多次重复使用，而定义中只规定了使用一次的情况，那么，对于增加的相同数据对象要用数字进行扩充。

c) 如果标准中定义的数据对象没有符合要求的，就要新建数据对象。

(3) 观察系统，确定是否需要其他功能建模，如不需要，则建模结束，如需要，返回第一步。

3.3 软件设计

监测装置采集各传感器数据，统一信息模型建立，将信息模型映射到统一通信规约后，通过不同介质(RS485、CAN、以太网)将数据发送给汇聚控制器，由汇聚控制器发送给上层主机进行数据存储，数据挖掘。装置监测软件设计引入 RTOS，采用多任务的软件设计方法，使设计过程变得更加简单，方便后续功能扩展，软件的实时性、稳定性和可靠性都有很高的保障，开发周期也会相应地缩短。软件设计流程图如图 8 所示。

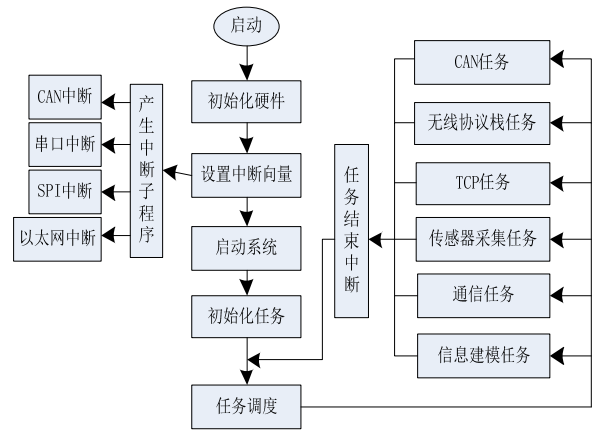


图 8 监测装置软件设计流程图

4 配电线路状态监测及预警

配电线路状态监测及预警遵循电力物联网架构设计，针对多类型无线传感检测装置进行统一信息建模。通过变电站、(有宽带通信能力的)开闭所或环网柜的有线、光纤通信网络传输到中心的标准接入网关进行规约转换，中心应用主机对信息进行处理、存储与分发，提供给用户友好的交互显示，同时对外提供线路监测、报警事件上送、数据综合查询等服务。

系统的整体功能结构图如图 9 所示。

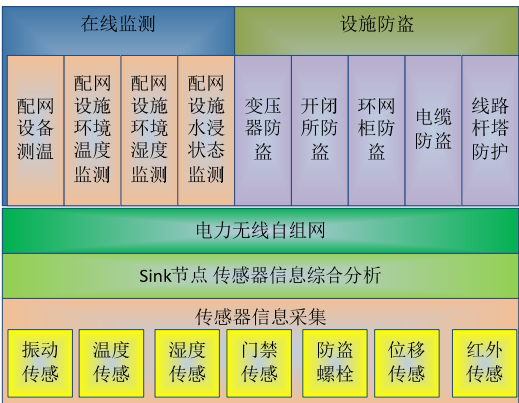


图 9 配电线路状态监测及预警系统功能图

系统实现的功能模块主要为在线监测和设施防盗，其中在线监测包括配网设备测温、配网设施环境温湿度监测和配网设施水浸状态监测；设施防盗模块实现变压器防盗、开闭所防盗、环网柜防盗、电缆防盗和线路杆塔防护^[9]。系统基于这两部分实现四个主要功能：传感器信息采集、传感器信息展示、传感器信息综合分析和报警信息处理。

(1) 配网设施在线监测

在需要进行温度监测的配网设备上安装温度传感器，达到设备温度监测的目的，对于对运行环境状态有要求的设备，在室内安装温湿度传感器，监测环境温湿度变化情况，达到预警值，就发出报警信息。

(2) 配变测温

在配变上方悬挂无线红外温度传感器阵列节点，当配变局部发热时会被传感器感知到其温度升高，并将检测到的温升值通过无线传感器网络传输到后台处理系统进行处理、展示、告警与信息分发共享。

(3) 配变防盗

在配网变压器设备上选择合适位置安装防盗螺栓传感器节点、电子围栏一张力传感器和配变参数采集(骨干)节点，故障电流采集(骨干)节点。如果发生人员靠近，杆塔上的红外传感器会监测到此事件，该信息会被传输到电子围栏一张力传感器(骨干)节点，告警灯自动点亮。如果进一步有敲击、拆卸防盗螺栓、触碰电子围栏、拉扯电子围栏的事件发生，将会触发高响度告警喇叭，发出现场告警信号，同时该告警事件也会被传输到控制中心，交由操作人员进一步处理。

(4) 开闭所、环网柜防盗

开闭所、环网柜盗窃事件主要是通过撬门窗的

方式进行,所以必须对门窗进行监视,通过在每个门窗上布设无线门窗开关传感器节点,在室内布设一个被动红外传感器(骨干)节点来完成开闭所的防盗告警任务。

(5) 电缆沟防盗

电缆沟与电缆井盗窃事件主要是通过掀开井盖,进入井、沟内进行偷盗行为,所以必须对电缆盖和电缆沟内情况进行监测,通过在电缆盖在安装门磁传感器,监测电缆盖是否有异常打开的行为,另外通过在电缆沟内安装红外测温传感器和振动传感器,实时监测沟内的点阵温度变化,根据温度成像,判断是否有可疑人员进入,再根据振动传感器,判断是否有异常情况发生。

(6) 配网线路、杆塔防护功能

配网线路、杆塔发生导线被盗情况时有发生,此类设备被盗后将造成较大面积的停电,同时恢复配电网供电所需时间较长,需要研究相应技术手段解决 10kV 线路防盗、报警问题。

利用电压测量传感器、杆塔倾斜传感器和相对位移传感器等,构建监测网络,及时有效发现可疑行为,进行现场声、光告警,并向监控中心发出预警信号。

5 结论

本文介绍一种电力物联网总体技术架构,详细阐述了该架构中无线智能传感器、监测装置软硬件设计方法,提出了统一编码和统一信息模型的设计思想,支持最广泛的接入能力,具备可管理和灵活的部署能力。实践证明,通过对无线智能传感器、监测终端、统一编码和统一信息模型的研究,可以解决智能电网各关键环节的数据获取、数据传输和

数据处理问题,有效提高电力系统的智能化、信息化水平,提高电力系统的安全性、可靠性和使用效率。

参考文献:

- [1] 李祥珍. 借助物联网构建坚强智能电网[J].世界电信, 2010(6):10-12.
- [2] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社, 2005.
- [3] Microchip Inc. PIC24F16KA user's manual[R]. 2010.
- [4] 童利标,徐科军,梅涛. IEEE 1451 网络化智能传感器标准的发展及应用探讨[J]. 传感器世界, 2012, 8(6):25-32.
- [5] Rime 协议概述 .
<http://blog.chinaunix.net/uid-9112803-id-3263428.html>.
- [6] 王永虹,徐炜,郝立平. STM32 系列 ARM Cortex™-M4 微控制器原理与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2010.
- [7] 何磊.IEC61850 应用入门[M].北京:中国电力出版社, 2012.
- [8] 浙江省电力公司. IEC61850 在变电站中的工程应用[M]. 北京:中国电力出版社,2012.
- [9] 杜宾.物联网技术及其在智能电网建设中的应用研究[J]. 电力系统, 2012(4):41-45.

作者简介:

- 李 涛 (1979-), 男, 北京人, 工程师, 从事智能用电、电力物联网、智能传感网方面的应用研究;
- 李零元 (1982-), 男, 北京人, 工程师, 从事电力物联网、智能传感网方面的应用研究;
- 刘 瑞 (1984-), 男, 北京人, 工程师, 从事智能用电、数据监测方面的应用研究。