

微功率无线组网 AMI技术的探讨

◆ 秦毅

(深圳市天智系统技术有限公司, 广东省深圳市 518057)

智能电网首先需要在传统物理电网的基础上建立先进电网信息架构,它是与物理电网相生相辅的。它包括各种电网监测控制系统和电网业务系统(PMS/CIS/ERP),以及建立在先进电网信息架构之上的运营管理集成和智能决策系统。

2009年8月7日,温家宝总理发表重要讲话中指出:加快推进传感网发展;尽快建立“感知中国”中心。作为一种新兴的网络通信技术,传感网利用微功率无线组网技术构建先进电网信息架构在世界各国的电网公司中异军突起,受到广泛的关注。微功率无线组网技术是指使用频率为433MHz/470MHz/780MHz/2.4GHz、发射功率小于等于50mW的无线射频通信组网的技术。在中国,微功率无线组网技术、无线传感网络技术和小无线技术所包括的基本内涵是一致的。9月20日工信部副部长奚国华表示,传感网和物联网是两个名字一个概念,传感网是官方用名,物联网可作为小名使用。本文为了论述方便,先就微功率无线组网技术、无线传感网络技术、物联网技术和小无线技术在概念方面做一个解析:

无线传感网络技术凸现的是一种利用无线技术感知物理世界的设备组网技术,是学术界通用的称谓,本文称之为学名(官方用名);小无线技术是一种用于区分电信运营商提供的商业无线通信网络技术的技术,是电工仪器仪表产业界的称谓,本文称之为俗名;物联网技术是用人与人之间的互联网来比喻通过无线组网技术组成的设备网络,本文称之为小名;微功率无线组网技术用于区分传统水电行业使用的230MHz无线电台的强功率和点对点通信技术的技术,是国家电网公司定义的用电信息采集与管理系统采用的一种通信技术称谓,本文称之为大名。

1 先进量测信息架构(AMI)

1.1 先进电网信息架构(AGI)

智能电网的核心在于构建具备智能判断与自适应调节能力的多种功能统一入网和分布式管理的智能化网络系统,采用最经济与最安全的输配电方式将电能输送给终端用户,实现对电能的最优配置与利用,提高电网运营的可靠性和能源利用效率。实现这些功能所需要的数据主要依靠先进电网信息架构(AGI)来提供。

智能电网是开放式的网络系统,可以实现各种清洁能源的即插即用,可以进行用户与电网之间的互动。用户根据电网即时发布的费率电价信息,可以合理安排用电设备的工作,以最大限度地节约能源,同时也为电网带来削峰填谷的效益,实现供需双赢的目标。这些功能只有在AGI的支持之下才能实现。

从世界各国的实践经验看,AGI最早的实践是从电能计量表计的远程抄表开始的,随后逐渐扩展到支持多种业务、双向通信的先进量测信息架构(AMI)。而AMI的建立可以方便地扩展到智能电网的发电、输电、变电、配电和用电的电网各个环节,形成包括表计、智能断路器、故障指示仪、各种传感器以及智能电力设备(IED)等传感、测量和控制的二次设备的集成通信系统,即AGI。

1.2 AMI的概念和组成部分

AMI实际上是对自动远程抄表(AMR)从横向和纵向进行延伸。在横向上,作为AMI的基础建筑物,自动抄表在功能上进行了极大的扩展,将原先单一的电能读取,延伸为包括电能在内的多个数据的实时测量、实时传送、数据分析等多个功能,并将结果应用于更上一层的控制。其重点体现在3方

面：实时、多方面数据以及馈受。在纵向上，AMI以自动抄表作为建筑基础，不但包含“抄表”这一基本要素，并更加向上进行延伸，将抄表获得的基础数据进行闭环回馈应用于系统的管理运行，以显著提高系统的可靠性、高效性、可管理性，并以降低损耗、提升客户服务等作为核心目标。

AMI主要由智能电表、信息采集终端设备（采集器和集中器）、通信网络和主站组成。智能电表实现双向电能（用户用电量和自有电源向电网的馈电量）、电网运行状态参数的测量与存储、事件记录（故障或异常事件、操作事件、窃电事件等）、最大功率需量记录、电能质量数据记录以及负荷曲线记录等功能。智能电表具有多费率或预付费计量功能，具备多种方式的通信能力，以实现自动抄表或接收和执行主站的控制指令。采集器用于就地对多台智能电表的用电信息进行采集并向集中器传输数据，或转发主站的控制指令。集中器用于将采集器转发的用电信息向主站传输，并接收和转发主站对电表的控制指令。通信网络完成采集系统各成员设备之间的数据通信任务。主站是采集系统的指挥部，对系统内所有用户的用电信息进行统计、分析、加工，为决策层提供依据，同时向智能电表发出各种控制指令，保障采集系统正常运转。

国家电网公司正在进行的用电电能信息采集与管理系统是“SG186工程”的一部分，计划对公司属下的所有电力用户的用电信息进行集中采集和管理。国家电网用电信息采集与采集系统的实

施内容属于AMI的技术范畴。

2 无线传感网络 (WSN)

IBM提出“智慧的地球”有3大基石：更透彻的感知 (instrumented)、更全面的互联 (interconnected)、更深入的智能化 (intelligent)。作为智能电网的基础设施，传感网络对于传统电网来说不是新的概念。传感网络是通过各种现场总线在发电厂、变电站实现的测控网络。电力系统的三遥、五遥系统都属于传感网络。无线传感网络是一种随着无线通信技术、信息处理技术和网络技术的成熟而新兴的传感网络。无线传感网络是通过在有限区域内部署大量的微功率、低成本的传感器节点，通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统。其目的是协同感知、采集和处理网络覆盖区域内感知对象的信息，形成综合信息网络系统，是人类的远程神经末梢。

2.1 无线传感网络的体系架构

无线传感网络的体系架构由传感节点 (sensor node)、汇聚节点 (sink node)、接入节点 (access node)、常规管理 (general management) 和应用子集 (application profile) 组成，如图1所示。

大量传感节点随机部署在监测区域 (sensor field) 内部或附近，能够通过自组织方式构成网络。传感节点监测的数据沿着其它传感节点逐跳进行传输，在传输过程中监测数据可能被多个节点处

理，经过多跳后路由到汇聚节点，最后通过互联网或其它通信网络到达接入节点。传感网络包括常规管理对无线传感网络进行网络管理。更为重要的是，无线传感网络是面向应用的，对于不同应用领域有特殊的应用子集规范，特别是对

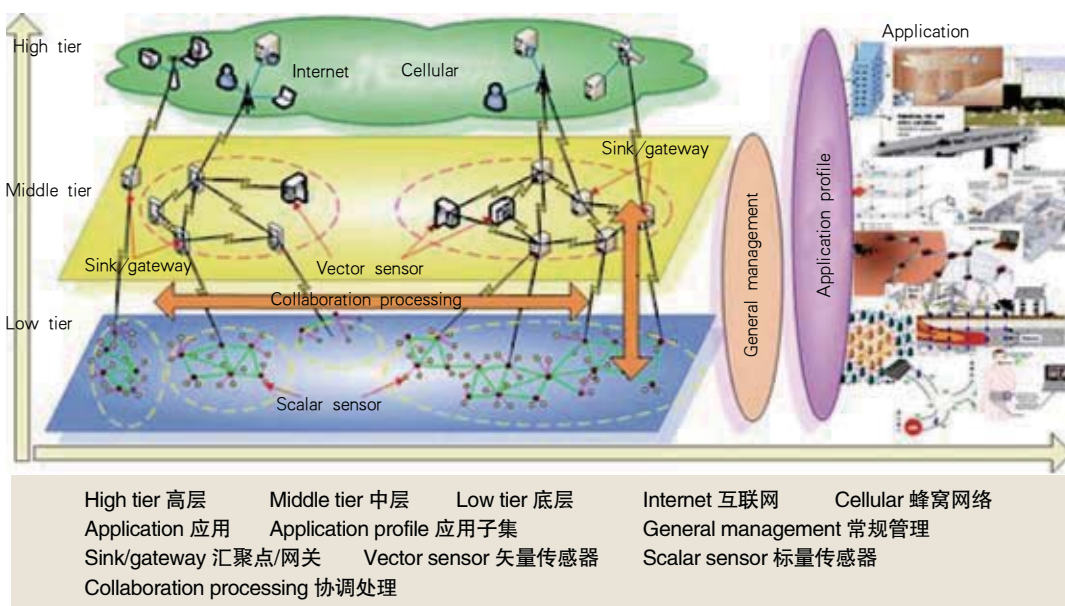


图1 无线传感网络的体系架构

于智能电网。

2.2 无线传感网络标准体系框架

无线传感网络的本质是通信网络。根据OSI 7层协议模型, IEC/ISO JTC1 SGSC提出了标准体系框架。如图2所示, 标准体系框架大致可分为:

(1) 物理层: 提供简单但健壮的信号调制和无线收发等。

(2) 数据链路层: 负责数据成帧、帧检测、媒体访问、差错控制等。

(3) 网络层: 负责路由生成、路由管理和拓扑管理等。

(4) 应用中间件层: 负责时间同步、定位、软件在线升级等。

(5) 应用池: 负责任务调度、应用子集等。

(6) 硬件抽象层: 负责对硬件平台的抽象描述和调度等。

(7) 网络管理中间件层: 负责能量管理、安全管理、移动管理等。

2.3 无线传感网络的标准化

从2000年12月IEEE成立IEEE 802.15.4工作组, 致力于定义一种低复杂度、低成本和低功耗的低速率无线连接技术开始, Zigbee/IEEE 15.4、IETF 6LoWPAN、ISA100.11a和IEEE 1451等标准组织分别从通信、网络、IPv6、传感器接口等不同的角度制定传感器网络的部分标准, 但均未建立完整的标准体系和系统架构。2008年2月, ITU-T初步提出基于5层的泛在传感器网络体系结构框架。2008年6月, ISO/IEC JTC1 SGSN启动传感器网络标准体系(由中国代表团主要完成)、系统参考架构、参考模型(中国代表团与国外代表合作完成)等的论证工作。

在中国, 部分研究机构、大学、企业、运营商、行业用户等已就传感器网络标准体系、系统架构等开展了多次讨论, 部分单位建立了应用示范。2006年国家信标委成立无线个域网标准组, 主要制定低层通信标准。IEEE 802.15.4C根据中国无

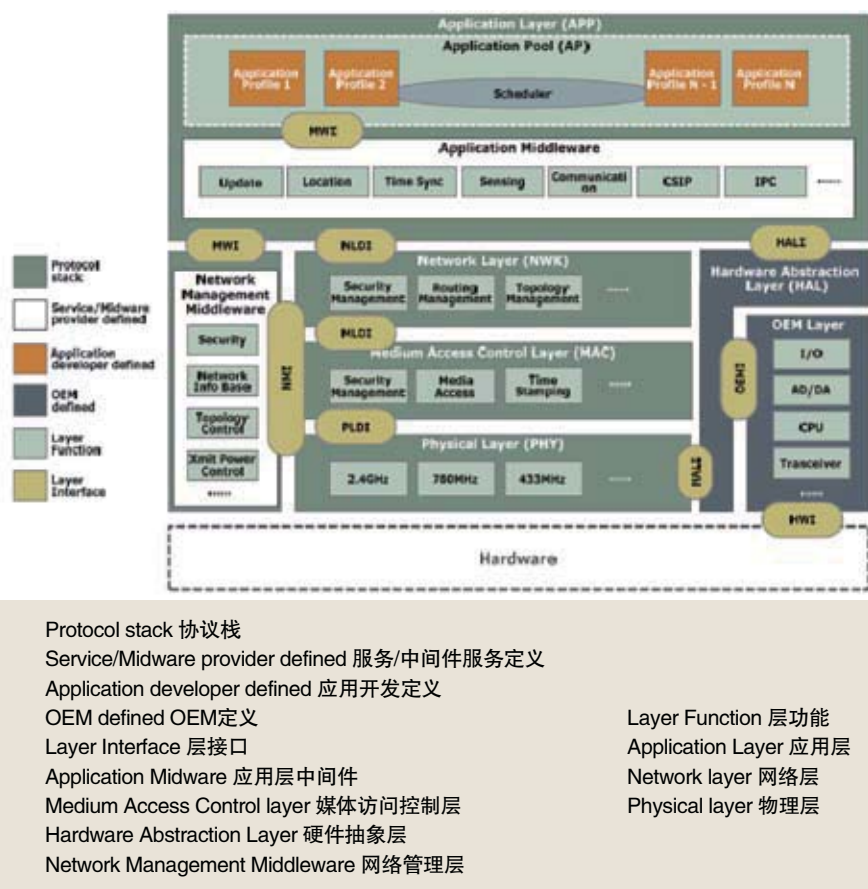


图2 标准体系框架建议

线电管理委员会的规定增加了314M~316MHz、430M~434MHz、779M~787MHz无线信道和MPSK的调制方式, 是继“闪联”又一同成为国际和国家的新标准。2009年国家信标委正式成立无线传感网络标准组, 主要制定高层信息标准, 面向行业应用。首批成立8个小组: 标准体系与系统架构、通信与信息交互、协同信息处理、标识、安全、接口、电力行业、国际标准化。

无线传感网络的发展也得到了中国国家领导人的重视。2009年8月7日, 温家宝总理在中科院考察时提出: 在国家重大科技专项中, 加快推进传感网发展。“新一代宽带无线移动通信网”重大专项已部署传感器网络总体课题, 开展相关研究工作。而无线传感网络的首个成熟的产业应用就出现在微功率无线组网AMI产业。

3 微功率无线组网AMI

国家电网用电电能信息采集与管理系统中把利用无线传感网络技术的通信组网方式叫做微功率无线组网。微功率无线通信的优点是低功耗、自

组网、双向实时通信、标准化、安全性好、便于移动、适合嵌入式安装,可方便地嵌入抄表设备、电能表以及用电电器。缺点是点对点传输距离较短,无线信号易受障碍物阻挡。

微功率无线组网AMI如图3所示。该通信方式适用于电能表位置集中、用电负荷特性变化较大的台区,如城市居民小区、电能表集中的农村等。

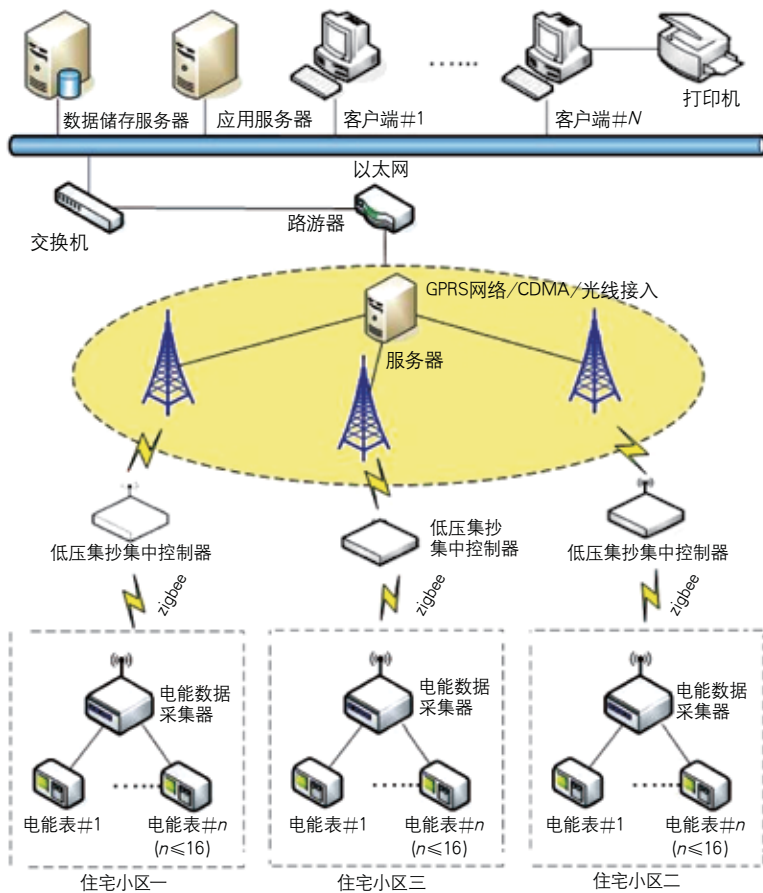


图3 微功率无线组网AMI

3.1 微功率无线组网的关键技术

微功率无线组网的设计和应用涉及多项关键技术的研究,包括新型软硬件体系结构,有效的低耗节能及实时并发模型,可靠的安全机制的设计理论与方法,可信的传输通信协议栈和路由算法,在分布范围广、采集点多的情况下高可靠、实时性的通信技术等。

微功率无线组网技术融合了先进的自组织网络技术,不需要中央控制设施。网络中的节点既是路由器又是主机,作为对等实体连接在一起。非相邻的两两节点间的通信必须通过网络中的其它节点进行转发才能实现,从而组成一个多跳无线网络。自组织网络具有如下4个特点:

①自组织。网络中节点之间发送信标,知晓相互的状态信息和网络拓扑结构。任何两节点之间可能存在多条冗余通信路径。

②自路由。网络中的节点通过分布式计算,实时地选择最优的路由路径。该路径具有最佳的数据可靠性和最小的功率消耗。

③自恢复。网络因为自身故障或外部障碍发生解列后,能够自动恢复组网。

④自愈合。现实应用中会不断遇到新的障碍,如脚手架、新设备或流动性车辆等,网络可以围绕这些设备重新组织。所有这一切均是自动发生的,用户无需干预。网络会选择当前最优的路由路径。

网络中节点与节点之间采用全双工通信方式,不但支持上行通信,同时也支持下行通信。

网络遵循OSI 7层协议规范,面向电能信息采集与管理应用时,特别支持安全机制(AES, ECC, MQV, SS3...)的实现,对电能计量信息、MAC层数据帧、NWL层数据包、应用层数据等进行安全管理,同时提供RNG密码生成机制、SKKE密码交换机制和安全认证。

微功率无线组网的灵活组网方式可以扩展到智能用电领域。通过支持无线组网的电能表、采集设备和用电电器,可以方便地给用户提供实时的负荷曲线,分时电价,各电器实时的每日、每月耗电量(电费)的显示;还可以远方设定时段、电价、定时控制方案;更可以提供语音、数据、视频的信息。

3.2 ZigBee AMI

ZigBee、ISA100和 RF4CE等都是无线传感网络(微功率无线组网)领域的标准化组织或产业联盟。其底层都是基于IEEE组织的IEEE802.15.4标准,以保证底层数据帧可以通信。其中基于IEEE 802.15.4的ZigBee技术是商业运作最成功的,目前ZigBee产业链(芯片、通信模块、协议栈软件、通信设备、系统软件等)日趋成熟,为微功率无线组网AMI的实施提供了条件。

ZigBee有自己的无线电标准,使数千个微小

的传感器之间相互协调实现通信。这些传感器只需要很少的能量，便可以组成网状网络的方式通过无线电波将数据从一个传感器传到另一个传感器，所以它们的通信效率非常高。最后，这些数据就可以进入计算机用于分析或者被另外一种无线技术（如GPRS、CDMA、WiMax）收集。

在标准规范制定方面，主要由IEEE 802.15.4与ZigBee Alliance两个组织负责。它们分别负责制定媒体存取控制层(MAC)和物理层(PHY)的规范与网络层(NWL)、应用层(APL)和安全层(SEC)的软体标准，如图4所示。两者之角色与分工就如同IEEE 802.11小组与Wi-Fi的关系。

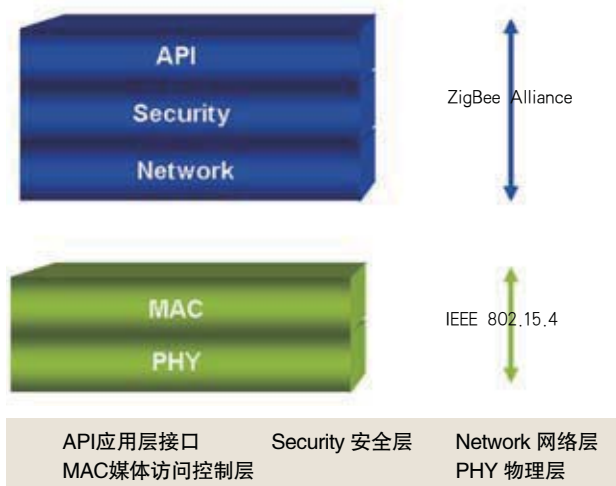


图4 ZigBee标准分层示意图

ZigBee的核心在于Mesh Network网络层提供的自组织、自路由、自冗余、自恢复和ZigBee安全层提供的数据和网络的高度安全。

ZigBee联盟还特别制定了smart energy（智能能源）应用子集，这凝聚了北美大多数电网公司的智慧。ZigBee Smart Energy Profile最初叫做AMR Profile，2007年更名为AMI，其原因在于AMR的初衷在于减少人力成本的耗费，而AMI关系的是提供实时双向的通信平台，为电网企业加快现金回笼、监测服务质量、降低故障发生率等提供保障。还为电网公司提供一个基于标准的方法，方便电网公司推进需求侧管理(DMS)和预付费业务(Pro-Pay)。2008年再次更名为smart energy，目的在于由为电网公司服务升级成为全社会普遍关注的节约能源和能源有效利用服务。

ZigBee的技术规范指出：如何让智能电表（电能终端）与ZigBee网络联网，关键在于是否符合ZigBee Smart Energy Profile协议集。ZigBee联盟

成员为了将消费者和电子设备与电网公司连接起来，提供了SE Profile这一具有互操作性的协议集和开放的互操作标准。参与ZigBee SE profile制定的包括电网公司（如CenterPoint Energy、Southern California Edison、Sempra Utilities）及供应商（如Cellnet、Eaton、Itron、Phillips、Schneider Electric、Siemens）等。

对于ZigBee电表设备而言，当加入到一个AMR后，应用层的ZDO会发动一系列初始化的动作。先通过APS做设备搜寻(device discovery)及服务搜寻(service discovery)，然后根据事先定义好的描述信息(description)，将与自己相关的设备或服务记录在APS里的绑定表(binding table)中。之后，所有服务的使用，都要通过这个绑定表来查询设备的资料或行规。而AMI Profile则是根据不同的产品而设计出不同的描述信息(description)以及ZigBee各层协议的参数设定。ZigBee电表设备采用应用对象进行建模。这些应用对象通过交换类对象和它们的属性实现与其它设备的通信。

ZigBee SE Profile协议集从不同厂家的ZigBee电表互操作性出发，分别制定了：①启动属性集（启动、加入网络、安全、线路状况、传输、绑定、电表、集中器等）；②电表ZDO及设备描述；③安全机制；④ZigBee Cluster Library；⑤Cluster List；⑥广播和组播规则；⑦信道选择和频率闪烁；⑧常量、错误代码和报警；⑨Commissioning启用。其中Commissioning启用对于不同厂商的电表在同一AMR系统里工作至关重要。ZigBee SE Profile规约对：ZigBee电表的启用过程、集中器的启用过程、设备寻找网络的过程、设备加入网络的过程、地址分配与管理等互操作过程作了约定，同时对指示灯、液晶图形、文字显示、麦克风、蜂鸣器等的设置作了约定，比如闪动的绿灯表示网络正常通信。

ZigBee SE Profile为智能电表到现有的ZigBee家庭网络及商用建筑网络和电网公司的智能互动连接提供了最后的关键一步。

4 结束语

我国电工仪器仪表行业经过50多年的发展，已经形成了门类齐全、科研实力较强的全球规模最大的产业集群。现有骨干企业700余家，员工16万

(下转第44页)