

电力光载无线宽带接入及安全防护技术研究

徐永卫, 李雪平, 钱赤忠

(江苏省电力公司扬州供电公司信息通信公司, 江苏 扬州 225009)

摘要: 光载无线技术结合光纤通信和无线移动通信的技术优势^[1], 较好的解决了带宽, 灵活性、信息安全和电磁干扰问题, 其相关技术的研究已在国内外引起了广泛关注。随着我国智能电网建设的展开, 电力系统对通信带宽、稳定性和接入可靠性的要求越来越高, 针对电力通信的现状和特点, 合理地移植光载无线宽带接入技术, 将光和无线两者的优势结合^[2], 实现宽带灵活的信息接入, 可以在满足通信可靠安全需求的同时减少成本。本文对混合光载无线宽带接入技术在电力通信系统中的应用结构进行探讨, 并进行相应的性能和功能的测试, 证明电力光载无线接入技术将有着广泛的应用前景。

关键词: 电力通信; 光载无线; 安全; 接入; EPON

0 引言

目前, 我国智能配用电通信系统接入网广泛采用无源光EPON技术^[3], 但是, 它要求铺设大量的光纤, 才能直接连接数目众多的终端用户, 基础实施建设成本较高, 在无线接入网方面, 无线局域网Wi-Fi技术 (IEEE802.11 系列国际标准) 和WiMAX 技术 (IEEE802.16d/e 系列国际标准) 发展迅速。Wi-Fi和WiMAX技术都存在两种模式, 一种是具有基础实施的“点对多点”组网通信模式, 另一种是基于多跳转发的Mesh模式^{[1][4]}。无线接入网的单用户平均成本相对较低, 而且可为终端用户提供灵活的, 无处不在的接入。

但无线接入网系统中的众多接入点/基站通常需要建设一个宽带的光纤网络来连接到核心网络^{[5][6]}, 这一点仍不能有效地节省初期投资成本。

在电力通信系统中, 光纤通信存在着投资大、道路开挖工程施工复杂的缺点; 而无线通信存在着对网络广域覆盖以及安全性无法保障的缺点, 而以上这些缺点严重约束了这些技术在电力通信系统中的应用。因此可以考虑到将光纤网络和无线通信的发展结合起来, 用技术成熟的 EPON 来回程通过无线节点汇聚来的各种无线业务, 这样既可以在 EPON 的基础上升级改造, 还可以节省去对光纤实施的重复投资, 同时由于干线采用光纤专网通信, 安全性也有着较好的保障。

1 技术原理

光载无线通信技术在电力通信系统中也有着广泛应用前景, 光载无线通信技术在配用电通信系统中的应用可以解决光缆铺设和开挖难题, 同时也将能克服无线多基站转跳的传输延时和带宽不足问题^[7]。作为光与无线的专网通信方式, 能够很好解决信息通信安全难题, 可以作为无线公网通信的一种可靠有效的替换解决方案。

与传统的无线通信网络不同, 光载无线通信系统并不强调组成连续覆盖广大区域的广域网络, 而是可以根据实际需要, 灵活地构建由单个基站或者少量基站组成的小型局域网络^[8]。利用这些小型局域网络, 可以形成连续或者不连续的覆盖区域, 并为用户提供不同的服务^[5]。

在电力系统采用的光接入技术里, 当前占绝对优势的当属无源光网络(PON)技术^[3]。基于当前的技术标准, 从OLT到ONU能实现最大 20km的传输距离。以商用最广泛的时分复用TDM-PON为例, 可以实现 64 个用户, 1-10Gb/s的带宽。而对无线通信而言, 已存在的主要有无线保真(WiFi), 微波存取全球互通(WiMAX)和蜂窝网络(2G/3G)三种技术。

在目前, 最普遍的无线数据通信技术应用当属基于 IEEE802.11a/b/g 标准的 WiFi 技术, 而基于 IEEE802.16 标准的 WiMAX 技术由于扩展了最大可工作距离而成为最具潜力的无线通信技术。3G 技术的逐步推广, 为包括数据、语音及视频在内的多媒体业务提供很好的通信平台。

光载无线接入就是结合光和无线两者的优势,

在OLT到ONU的主干网络部分，采用PON的组网形式。而在ONU到目标用户这一层次，则采用无线通信中最普遍采用的“网关路由”技术^[1]。网络结构如图1所示。

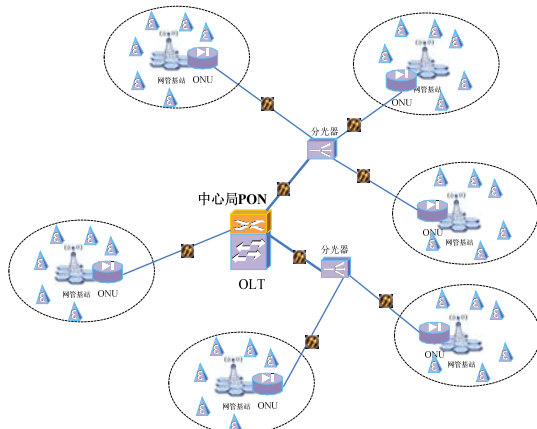


图1 网络结构

从图1中可看到，一个光载无线接入系统由前端的无线网络和由后端支持的光网络组成^{[1][6]}。光网络采用标准的PON结构，当前是TDM-PON，不久的将来是WDM-PON或WDM/TDM-PON。PON部分由OLT，分光器(光功率分路器或波长分路器)，ONU及互连的光纤组成。在系统中，ONU将直接连到无线部分的无线基站(BS)。

直连 ONU 的基站用作无线网关路由器，因为它是无线和光部分之间的网关。除网关外，前端的无线部分由其余的无线路由器/基站组成并有效地管理网络。光载无线接入系统前端无线部分本质上是一个具有若干无线路由器和少数网关(连到ONU，再通过 OLT 连到因特网)的多跳无线格状(Mesh)网。无线部分采用标准化的技术。由于 ONU 远离中心局，可以预料到，通过无线基站(BS)在很小的范围内进行有效的频谱再利用，能具有很高带宽。于是，光载无线方式能支持大量用户高带宽的需求。

电力通信网络的发展将是基于 IP 的端到端网络，可以提供多种宽带能力和可靠的安全性保证，能够提供综合业务，独立的接入方式，无论是固定接入还是移动接入都可以为不同的终端用户提供综合业务。光载无线接入满足这一要求，并支持终端 IP 层的移动性。

光载无线接入网络的优势主要有：

(1) 继承了光网络的优势：由于系统内以大

容量的光纤网络为主干，因此将具有比无线网络大得多的容量；

(2) 秉承了无线网络的优势：在系统内的无线部分无缝地互连。因此，光载无线具有比光网络更高的灵活性，真正实现任何时间、任何地方的用户接入；

(3) 性价比优势：与光纤网络比较而言，混合接入的性价比优势明显。如果要实现FTTH，高昂的安装和维护成本通常让普通用户难以承受。在光载无线的结构中不需要昂贵的FTTH连接^[9]，因此采用混合接入方式可以在利用光通信技术优势的同时，也获得了无线通信的成本优势；

(4) “自组织”生存优势：如图1所示，如果采取光网络的模式，一旦从某个分路器到 ONU 的光纤线路发生断裂，则该 ONU 用户将无法与 OLT 通信。最坏情况是从 OLT 到某个分路器的线路发生断裂，则 OLT 所连的全部 ONU 无法工作。但在光载无线系统里，一旦该环节断裂，用户有能力自组织多跳的 Mesh 拓扑，自适应的无线连接与相邻的其它 ONU 取得联系，继续维持通信。同时无线终端能与其相邻的任一 ONU 通信，如果某一个 ONU 中断或阻塞，系统将“自组织”调节网络负荷。

2 技术实现

2.1 电力光载无线技术实现

电力光载无线宽带接入技术解决了光缆铺设和开挖难题，同时也克服了无线多基站转跳的传输延时和带宽不足问题。作为光与无线的专网通信方式，能够很好解决信息通信安全难题，可以作为公网无线通信的一种替换解决方案，它在配电系统的实现架构图如图2所示。

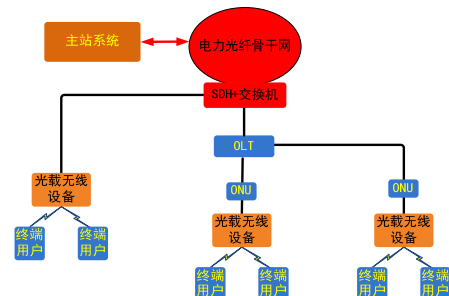


图2 电力光载无线接入结构图

从图2可知，光载无线系统的接入方式主要有两种^[4]，一种是直接在核心交换机上连接光载无线基站，为终端用户提供空中接口服务；另一种是在

xPON网络的ONU设备上连接光载无线基站，为终端用户提供空中接口服务。具体的连接方式可以根据需要进行灵活选择。

在典型的电力光载无线接入网络结构中，用户终端的无线设备发送分组数据到一个它相邻的无线路由器^[4]，然后该路由器将分组数据注入光载无线通信系统的无线Mesh网中。该分组通过Mesh网传送，可能经过多跳到一个网关/ONU并最终通过光载无线系统的光部分到OLT（中心局）。

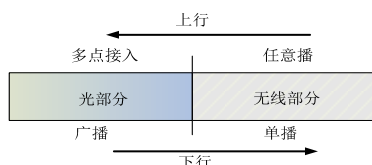


图3 基于xPON的光载无线上下行的传输协议

在基于xPON的光载无线系统中，无线部分的上行方向(从无线用户终端到一个网关/ONU)，是一个任意播的网络，即一个端用户能提供它的分组到任一个网关。而光载无线系统光部分的上行方向(从ONU到OLT)是多点接入网络，通过采用多点控制协议来避免冲突，并共享上行资源。在无线部分的下行方向(从网关/ONU到一个无线终端)，是一个单播的网络，即网关发送分组数据仅到达一个目的地(或用户)^[2]。而光载无线通信系统光部分的下行方向(从OLT到ONU)是广播网络，发送到特定ONU的分组是通过广播到全部ONU，仅由目的ONU选择处理。图3描述了基于xPON的光载无线系统上下行的传输协议。

电力光载无线宽带接入系统可以提供的覆盖方式^[1]：

- a) 单基站覆盖：适用于覆盖独立存在的区域，如单独住宅或者单独的小区。
- b) 多基站但不连续覆盖：适用于覆盖多个独立存在的区域，如小区中的多栋住宅或者多个单独的小区。
- c) 多基站连续覆盖：适用于覆盖较为连续的区域，并提供连续覆盖条件下的增值服务。
- d) 混合覆盖：综合上述3种覆盖方式，根据需要灵活覆盖。

2.2 载无线的无线网络规划

与其他无线网络一样，光载无线网络在建设前需要进行网络和频率规划，确定设计目标。其内容

主要包括所要覆盖的区域、每个区域所支持的业务类型、每个区域内每种业务所要达到的覆盖率等。此外，还要收集各种业务量的密度分布图、地形地貌数据资料、客户初选的站址信息和网络增长规划等信息。设计目标应综合考虑市场需求和成本因素，这些因素将极大地影响所需要的基站数目和配置。然后，根据所收集的信息进行初步设计。包括建立传播模型和制定链路预算表，评估客户站点并建议新站点，以及计算机辅助的网络覆盖及干扰分析等。初步设计要根据各区域的具体情况制定出相应的业务量规划和链路预算，分别从容量和覆盖的角度估算基站数量，将两者平衡，并结合客户提供的初选站址信息，得出基站的初始布局。

无线网络规划的整体流程如图4所示。

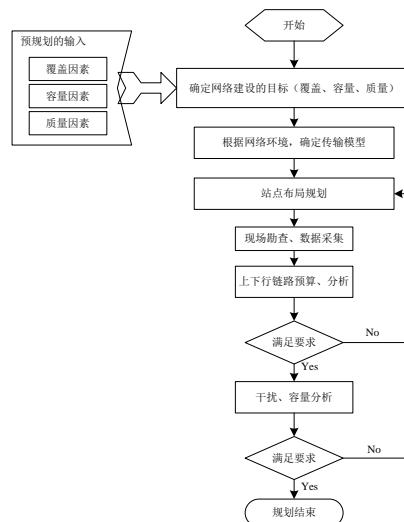


图4 电力光载无线网络规划流程示意图

无线网络规划及建设流程可分为6个步骤：

- (1) 规划目标的定义：包括对不同区域（密集市区、一般市区、郊区和农村等）覆盖、容量和服务的要求（数据业务速率和QoS等）；
- (2) 传播模型选择：为了使规划软件中的覆盖预测与实际网络更接近，必须对规划软件的传播模型进行调校，建立相应的数据库；
- (3) 小区规划：基于规划软件，进行小区规划，以满足输入的设计要求。规划的结果是基站数量、站址规划、基站技术条件要求和设备配置等；
- (4) 基站选择及站址勘察：根据规划结果，进行基站选择和站址勘察。大致确定基站参数，包括经纬度，天线高度，天线方向，天线倾角，站址的无线环境（如其它系统的干扰）等；

(5) 小区上下行链路预算和覆盖分析；根据实际站址和环境，对原规划进行调整；在进行无线网络的覆盖预算时，主要是根据系统的参数以及无线电波传播的基本模型对链路衰减和覆盖进行预算。不同的电波传播模型可能适用于不同的传播环境，并且由于各个规划区的实际地理环境不同，需要根据各地的实际测试结果对传播模型进行修正。无线绿洲的无线宽带广域网由于使用了多天线技术，在覆盖面积和覆盖概率上有很大的提高。

(6) 小区的干扰和容量分析。最终确定小区规划是能够满足业务容量和质量的要求。

3 安全防护

光载无线系统可能面对的主要安全风险有：

- a) 无线接入可能被非法接入；
- b) 采集终端用户身份被冒用；
- c) 内网被非法接入；
- d) 传输数据被窃取。

因光载无线传输骨干为光纤专网，安全程度较高，因此应针对应用类型，主要考虑在接入边界及光载无线通道加强安全防护。主要方法有：

- a) 在边界处部署安全接入平台，对接入终端进行身份认证及建立加密通道确保数据传输的安全；
- b) 采用 PKM 技术对接入终端进行身份认证；
- c) 建立加密通道确保数据传输的安全。

4 现场应用测试

为验证电力光载无线接入技术的实用性，在扬州供电公司下辖 110kV 开发变进行了性能测试，性能测试是指对系统无线性能方面的测试，其具体测试内容包括：不同地形条件下基站覆盖距离、信号强度、终端接入峰值速率、平均速率、接入稳定性等相关技术参数。

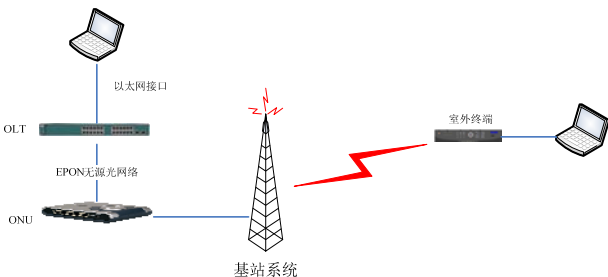


图 4 性能测试结构示意图

利用笔记本电脑连接室外终端，运行无线测试

软件，对室外接入终端在距离基站不同的距离条件下接收的无线信号参数进行测试及记录，需测试的参数包括信号强度、终端接入峰值速率、平均速率等，并通过定位经纬度测算距基站距离，无线基站功率 1W，形成表 1 所示记录表格。

表 1 光载无线性能测试结果

序号	距离	信号强度	信噪比	上行最大速率	下行最大速率
1	300m	-55DB	29DB	2.2Mbps	5Mbps
2	500m	-67DB	23DB	2.3Mbps	5.09Mbps
3	900m	-89DB	20DB	1.85Mbps	4.18Mbps
4	1200m	-90DB	19DB	1.71Mbps	4.01Mbps

测试结果表明，在无线基站发射功率为 1W 时，电力光载无线宽带接入无线可靠覆盖半径约为 1.2km。

在相同条件下，如果采用单一光纤通信方式，将需要开挖敷设多条光纤线路，工程量很大。但采用光载无线方式，可以在较短的时间内完成通信的建设。实际应用时，可以采用通过 EPON 骨干连接多个分散的基站，实现覆盖多个区域，以解决传统无线通信需要大覆盖网络及安全性问题。

5 结论

混合光载无线宽带接入网，是下一代接入网最佳的结构之一，也是构建电力通信接入网的最佳选择。由于不需要光纤到达每个用户，该结构能节约 FTTH 网络的开发成本^[9]，并能扩展光接入(如 PON)和无线接入的有效距离。

电力光载无线宽带接入技术可以提供的服务对象主要有：

- (1) 馈线自动化；
- (2) 故障自动定位；
- (3) 配变运行状态多参数监测；
- (4) 高故障设备监控及事故隔离；
- (5) 数据采集服务；
- (6) 配网调度一体化指挥通讯：以专用的光纤无线联合通信网络为支撑，建立配网调度一体化指挥通讯平台，提高整个网络的应急能力，提升网络安全性及可靠性。（需要连续覆盖网络）；
- (7) 为宽带增值业务（如移动办公系统等）提供网络服务基础。（需要连续覆盖网络）。

传统电力通信接入网的研究工作为光载无线混合设计提供很好的起点，然而，建设一个电力光

载无线接入系统比单一的光或无线接入网更具挑战性，这是因为整个系统要设计相互影响的两种完全不同的接入技术，目前，电力光载无线接入技术还需在网络建立、网络连接性及故障容限等方面进行深入探讨研究。

参考文献：

- [1] 徐坤,李建强.面向宽带无线接入的光载无线系统[M].北京: 电子工业出版社,2009.
- [2] Suman Sarkar, etc. “Hybrid Wireless Optical Broadband Access Network(WOBAN): A Review of Relevant Challenges”[J]. Journal of Light wave Technology, 2007, 25(11).
- [3] 张浩,卜宪德,郭经红. EPON 技术在用电信息采集系统中的应用[J].电力系统通信,2010(07).
- [4] 徐坤,殷杰,李建强.超宽带光载无线系统及其关键技术研究[J]. 中兴通讯技术, 2009(03).
- [5] PIZZINAT A, LOURIKI I, CHARBONNIER B, et al. Low cost transparent radio-over-fiber system for UWB based home network [C]// Proceedings of 34th European Conference on Optical Communication (ECOC'08), Sep 21-25, 2008, Brussels, Belgium. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008.
- [6] NGOMA A, SAUER M, GEORGE J, et al. Bit-rate doubling in multi-Gbps wideband ASK-modulated 60 GHz RoF links using linear feed-forward equalisation and direct conversion transceivers[C]//Proceedings of 34th European Conference on Optical Communication (ECOC'08), Sep 21-25, 2008, Brussels, Belgium. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008.
- [7] 李伟,邱景辉,鲁国林,等.一种带状加载宽缝超宽带天线设计研究[J].宇航学报,2009(02).
- [8] 谢畅,张宝富,赖先主,等.光载无线系统中多路高纯度本振的远程传送[J].中国激光,2009(04).
- [9] 步旻,陈有珍. 于以 FTTx 实现三网融合的探讨[J].电信网技术,2010(3).