

基于G3的高速窄带载波应用研究

随着智能电网建设的持续深入及智能双向互动概念的提出，本地信道将承载更多的数据量，基于传统的单频窄带载波通信速率相对较低，已不能满足日益增长的网络数据需求以及传输可靠性的要求。更快速、更可靠、更安全的载波技术是将来发展方向。基于G3-PLC的国际高速窄带标准进行研究，为适应国内的用户数量庞大、台区拓扑相当复杂、信号干扰大的载波环境对G3-PLC的适配层进行了修改，用洪泛组网算法代替6LOWPAN(IPv6 over Low power Wireless personal Area Network,基于IPv6的低功耗无线个域网)。在国内进行了实际台区测试，验证了基于OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)的高速窄带载波具有通信速率高、突发性干扰能力强、通信可靠性高、并行传输纠错性能强等优点。

营利彬 刘永春/国电南瑞科技股份有限公司



营利彬/工程师

关键词/Keywords

- OFDM ·
- 高速窄带 ·
- 洪泛 ·

0 引言

本地通信信道作为用电信息采集系统中间传输的关键环节，其可靠性、实时性、保密性决定了它是否能够满足国家电网用电信息采集的未来发展目标。基于传统的单频窄带载波通信速率大约在数百比特每秒左右，其速率相对较低，某些应用的抄收成功率不尽理想；对于要求快速响应的需求更不能满足，实际应用中还存在抗干扰性能差、可靠性低等限制。因此，选择一套成熟、可靠、先进的技术来进行保障，基于OFDM的G3高速窄带载波通信技术，完全可以满足需求。

G3的OFDM载波通信技术利用多路正交的子载波进行并行传输，具有传输速率快、占用频带资源小的优点，可以

进行数据的高速传输，然后通过信道均衡、信道编码、信道自适应等技术，在频率、时间上交错数据传输提高了通信的可靠性，多路子载波并行传输，结合前向纠错编码、数据交织等手段，可以有效应对国内电网负载重、信号干扰大的难题。

1 G3-PLC技术概述

G3-PLC规范^[1]是由法国配电网络公司和美信半导体公司联合公布的技术规范，该规范采用了基于正交频分复用(OFDM)的多载波调制技术。当前G3以其全开放的标准体系、无电磁兼容问题、具备窄带高速优势、纠错能力强而得到了联盟的众多支持。国际G3联盟组织如图1所示。



图1 国际G3联盟组织

G3-PLC规范中结合了强健的物理层和基于IEEE 802.15.4标准的介质访问控制层以及传输层、网络层和COSEM体系兼容的应用层^[1-3]。

现场实际应用时应用层选择Q/GDW 376.2标准(适应国内抄表协议)、适配层用洪泛组网算法代替原G3的6LOWPAN

组网，使之抄表效果达到最佳。改进的G3-PLC规范应用模型如图2所示。

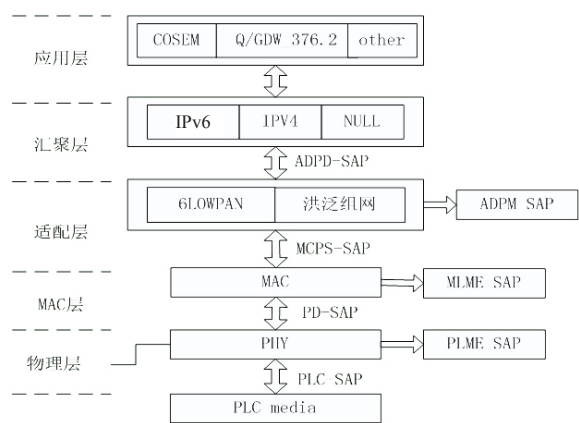


图2 国内G3-PLC 规范应用模型

1.1 G3-PLC物理层

物理层的设计，目标在于能在异常恶劣的载波环境中保证数据传输的正确，分别在CENELEC-A频段和FCC频段中使用了36个和72个子载波，加入了更多的纠正措施比如纠错编码和鲁棒性措施^[4-5]，使之传输数据能达到更可靠、更好的效果。物理层整体架构框图如图3所示。

图3中，在发射端物理层接收来自MAC层的输入，采用两个分开的链路分别处理FCH（帧控制头）、载荷数据的编码。载荷数据经过扰码、RS编码和扰码后的FCH数据一起进入卷积码、交织和星座点映射，再经过IFFT算法^[6]转换到时域信号后，添加循环前缀和前导，并进行加窗处理，最终生成的OFDM信号进入模拟前端。

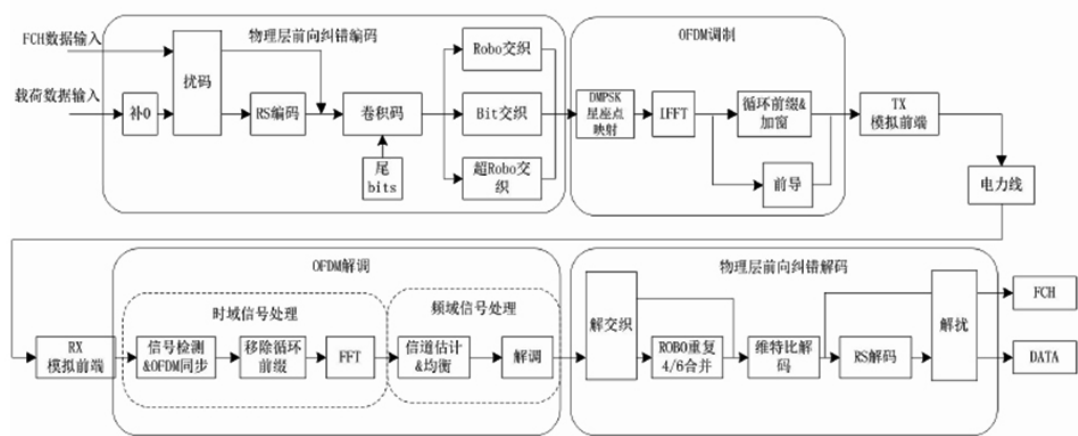


图3 物理层整体架构框图

在接收端，从接收端AFE(模拟前端)接收到数据，送入时域信号处理模块，再经过频域信号处理模块，最后送入前向纠错解码模块，最终恢复出原始的数据。

1.2 G3-PLC介质访问控制层及应用层

在国内实际应用中，把G3的MAC层分为两部分，一个是基于IEEE 802.15.4类型的MAC子层和洪泛网络的适配子层。MAC层总体框架如图4所示。

(1) MAC子层

本系统MAC层分为两部分，即MAC层通用交互接口（MCPS）和MAC层管理模块（MLME）。MCPS负责邻居节点间信息交互；

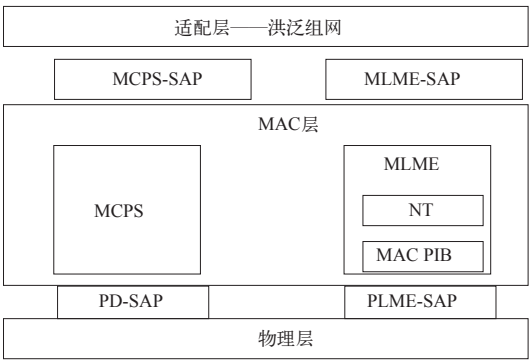


图4 MAC层总体框架

MAC层管理模块负责管理MAC子层，维护MAC层基础信息表（MAC PIB）。MAC PIB主要参数为邻居表（NT），邻居表存储邻居节点双向直接

通信需要的MAC层和物理层所有参数。

(2) 洪泛组网适配子层

洪泛路由组网示意图如图5所示，其基本思想是每个节点使用广播方式转发临近的数据包，源节点想发送给目标节点，则源节点通过形成的网络将数据副本传送给它的相邻的每个节点，每个相邻的节点再将数据传送给自身的除发送数据外的其他的邻居节点，一直循环下去，直到源节点发送的数据传送给最终的目标节点或者设定的生命周期。此组网算法是不依赖于网络拓扑结构的一种分布式组网方式。在源节点发出指令的瞬间开始真正的组网，不依赖历史数据，有效冲突避让，实现有序的路由中继，全网设备协调互动，以最快的速度找到目标节点。



图5 洪泛路由示意图

所有节点都具有路由功能，路由功能与地址识别功能彼此合作，共同实现当前信息的网络路径控制。当节点接收到匹配的网络标识符PANID（Personal Area Network ID）的广播报文，节点不仅将信息传递到应用层，而且启动本节点的信息转发功能；当节点接收到匹配PANID的非本节点的广播报文，节点将启动本节点的信息转发功能。

2 G3-PLC技术在国内现场的应用

根据中国电力科学研究院在千人计划专项项目“新一代智能电力线载波通信关键技术研究”项目中的研究数据“AMI系统的通信速率要求为20 Kbit/s，根据配用电网建设和智能化发展需求，低压端可预测的电力线载波速率需求为100~500 Kbit/s”。单频载波与G3的PLC性能参

数对比如表1所示。无论在抗干扰噪声、调制方式、传输速率和自适应方面G3的性能都优于传统的单频窄带载波。

表1 单频窄带与G3窄带性能比较

	FSK	G3-FCC
频段/kHz	42~88.9	10~490
子载波个数	1或2	128 (72)
子载波间距/kHz	大于10	4.6875
调制方式	FSK	差分调制、相干调制
信道编码	无	卷积码 (1/2) + RS 码+重复码 (可选)
最大数据传输速率/(Kbti/s)	2.4	250
Tone Mask	无	有
自适应Tone Map	无	有
抗噪声、干扰	弱	强
安全性	无	AES-128

2.1 单频窄带与G3实验室数据对比

针对单频窄带、基于洪泛组网的G3的高速窄带的载波方案进行实验室测试，测试数据如图6所示。显然从图6中可以看出，相对于单频窄带而言，基于G3的OFDM窄带的通信速率有明显的提升。G3在设计中特别针对电网的干扰特点，提出纠错性能强大的纠错码及加扰、交织等技术手段，可以很好地应对电网随机性、周期性等干扰，相比之下原单频窄带只通过简单的编码或扩



	T3速率/字节数	T2速率/字节数	T1速率/字节数	T3传输时间	T2传输时间	T1传输时间	总传输时间
窄带	2400 /100	500bps /100	9600 /100	458ms	2200ms	114 ms	2772 ms
高速窄带	2400 /100	45kbps /100	9600 /100	458ms	18ms	114 ms	590ms

图6 单频窄带与OFDM窄带通信速率比较

频的手段，然后通过补抄重传来提高成功率。

2.2 单频窄带与G3现场应用对比

为更加深入的评估基于洪泛组网的G3的窄带OFDM载波实际运行情况，在蒙东呼伦贝尔及通辽地区，特意选取采用单频点窄带载波抄收效果不好的4个台区进行试点，试点效果如表2所示。

表2 单频窄带与G3窄带现场对比抄表效果

台区名称	总数	台区特点	单频点抄收成功率(%)	OFDM抄收成功率(%)
工人新村十四道街(呼伦贝尔)	213	线路长(台区供电半径超过3 km)	86	100
小屯医院(呼伦贝尔)	292	线路长(台区供电半径超过4 km)	65	100
青山花园台区(通辽)	670	线路长(台区供电半径大, 用户多)	70	100
光明二村(通辽)	92	线路长、供电量大(台区供电半径超过3 km)	82	100

OFDM载波方案的改造提升了这些台区的抄表成功率，由更换前较低的抄表成功率提高到目前100%，也大大提升了抄表效率，仅需原先1/10左右的抄表时间便完成了对全部电表的冻结任务。

此OFDM载波方案的改造采用先进的自适应检测洪泛组网的算法，能够根据电网的噪声及衰减情况，调整多种运行制式(ROBO、DBPSK、DQPSK、D8PSK)，既能有效利用信道带宽，又能应对各种恶劣信道，提高可靠性；并采用对称信道设计手段，能够很好地实现紧急事件实时上报。

3 结束语

本文提出的采用改进的基于G3的窄带OFDM载波通信方案采用正交频分复用技术，多载波调制技术，结合动态洪泛组网、智能中继等先进技术，系统抗干扰能力强，抄表成功率及稳定性。通过几个台区的现场实际应用，根据对试点台区

前后抄表效果的比对，窄带OFDM载波通信方案相对单频点载波方案有明显优势。

参考文献

[1] Electricite Reseau Distribution France. G3-PLC-profile-specification[EB/OL]. (2009-8-26)[2012-2-10]. <http://www.maxim-ic.com/products/powerline/pdfs/G3-PLC-Profile-Specification.pdf>.

[2] Electricite Reseau Distribution France. G3-PLC-physical-layer-specification[EB/OL]. (2009-8-26)[2012-2-10]. <http://www.maxim-ic.com/products/powerline/pdfs/G3-PLC-Physical-Layer-Specification.pdf>.

[3] Electricite Reseau Distribution France. G3-PLC-MAC-layer-specification[EB/OL]. (2009-8-26)[2012-2-10]. <http://www.maxim-ic.com/products/powerline/pdfs/G3-PLC-MAC-Layer-Specification.pdf>.

[4] Razazian K, Kamalizad A, Umari M, et al. G3-PLC field trials in U. S. distribution grid:initial results and requir-rements[C]. 2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, USA: Razazian, 2011: 153-158.

[5] Razazian K, Kamalizad A, Umari M, et al. G3-PLC specification for powerline communication: overview, system simulation and field trial results[C]. 2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, USA: Razazian, 2010: 313-318.

[6] 樊昌信, 曹丽娜, 等. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.

作者简介

菅利彬(1985-), 男, 工程师, 主要研究方向为用电信息采集系统。

刘永春(1987-), 男, 工程师, 主要研究方向为用电信息采集系统。

(收稿日期: 2015-12-10) **EA**

(编辑: 鞠佳)