

载波聚合技术在电力无线通信系统中的应用

从载波聚合的基本概念入手，分析了LTE-A载波聚合的基本概念以及聚合方式，并针对230MHz频段的特点，分析了LTE230系统中载波聚合技术应用的必要性和特殊性，并对具体的聚合方式进行了说明。最后，对LTE230系统中载波聚合的性能进行了分析和说明，从而有助于全面了解载波聚合及其在LTE230系统中的应用特点。

徐光年 王奇 褚建新 汪泽州/国网浙江海盐县供电公司



徐光年/高级工程师

关键词/Keywords

- LTE-A •
- 载波聚合 •
- LTE-230 •
- MAC层聚合 •
- 物理层聚 •

0 引言

随着无线技术的大量应用，连续的大带宽频谱越来越难以得到，这为大带宽的无线传输带来了困难，为了解决这一问题，3GPP于R10版本中提出了载波聚合技术。通过多个连续或离散载波间的协同作用，利用更大的带宽来增强系统容量，提高单用户吞吐量，降低小区干扰。

目前电力系统应用的LTE230技术中，授权使用40个频点（每频点25 kHz）进行电力负荷监控。由于单个载波的带宽较小、且频段较为离散，因此采用载波聚合提升LTE230系统的性能更为紧迫。

本文从载波聚合的概念和原理入手，结合LTE230系统的特点，分析载波聚合技术在LTE230系统中的应用策略，为未来LTE230系统的性能提升工作提供参考和借鉴作用。

1 LTE-A载波聚合原理

1.1 基本概念

移动通信系统中，带宽越大，所能提供的吞吐量越高。LTE R8版本中，支持的最小带宽为5 MHz，最大宽度为20 MHz。R10版本中提出了LTE-A载波聚合技术，它能实现不同系统（FDD以及TDD）、不同频段、不同带宽间的载波聚合，从而既方便频带的灵活使用，还可以利用更大的带宽来提升系统性能，也满足了R8/R9的版本兼容性要求。

载波聚合技术中，频带内（连续和分散载波）或者频带间的带宽可以灵活进行组合，3GPP规定的最大聚合载波数为5个，所提供的最大聚合宽度为100 MHz。目前R10版本只支持下行载波间的聚合，最大聚合载波数为2个；而R12版本下行可支持3载波间的组合，上行支持2个载波间的聚合，且支持FDD/TDD系统间的聚合。未来的版本中，还可能提供下行4个载波间的聚合，从而可以更加有效地利用2/3/4G中的零散频带，提升系统性能。FDD中，上行载波聚合数小于下行聚合载波数，而TDD中，上下行聚合载波数则相等。

多个载波进行聚合时，采用带宽级别来进行定义，它包括2个要素：①最大累计带宽（ATBC），即聚合后所有PRB的总和，有时也可采用频带宽度直接表示。②最大载波数，参与聚合的单个载波也称为分量载波（CC），CA的最大载波数就是指参与聚合的分量载波的数目。

目前常用的CA带宽级别分为3类。其中，级别A包含1个分量载波，对应的PRB数目为100个，即最大带宽为20 MHz；级别B包含2个连续的分量载

波，聚合后最大PRB数目为25~100个，对应的聚合带宽为为5~20 MHz；级别C则包含2个连续的分量载波，聚合后最大PRB数目为100~200个，对应的聚合带宽为20~40 MHz。

实际系统中，载波聚合只在部分频段上使用，载波聚合的组合类型也有限。为了便于区分，3GPP TS36.101定义了不同载波聚合配置的命名规则，以及不同组合下所允许的带宽以及最大累计带宽。举例说明：CA_1C：LTE频段1上2个连续分量载波进行聚合，最大聚合带宽40 MHz。CA_1A-5A：LTE频段1和频段5上的不同分量载波进行组合，最大聚合带宽40 MHz。CA_25A-25A：LTE频段25上不连续的2个分量载波进行组合，最大聚合带宽40 MHz。

同一频段上的CA配置示例如表1所示。

表1 同一频段上的CA配置示例

CA配置	载波带宽/ MHz	载波带宽/ MHz	最大累计带 宽/MHz
CA_1C	15	15	40
	20	20	
CA_2A-2A	5,10,15,20	5,10,15,20	40

不同频段上的聚合示例如下。表中存在2种组合集，组合集0对应的最大累计带宽为20 MHz，它是2个频段上10+10 MHz的聚合结果。组合集1下，频带1上5/10/15/20 MHz均可参与聚合，频带5上只可使用5/10 MHz参与聚合，最大累计带宽30 MHz可由频带1上的20 MHz和频带5上的10 MHz聚合产生，如表 2所示。

1.2 聚合方式

成员载波之间数据流的聚合方案可以在MAC层或者物理层来实现。①采用MAC层进行聚合时，每个子载波分配一个独立的传输块，各个子载波都能使用独立的链路自适应技术，聚合子载波可以根据实际链路状况使用不同的调制编码方案。每个子载波都有独立的HARQ进程和相应的CK/NAK 反馈，每个RLC实体可以使用LTE系统

表2 不同频段上的CA配置示例

CA配置	LTE 频段	5/ MHz	10/ MHz	15/ MHz	20/ MHz	最大 累计 带宽/ MHz	带宽 组合 集
CA_1A-5A	1		Yes			20	0
	5		Yes				
	1	Yes	Yes	Yes	Yes	30	1
	5	Yes	Yes				

中定义的PDU。②采用物理层进行聚合时，所有子载波共用一个传输块，所有子载波需要统一进行调制编码，并且共用一个HARQ 进程和相应的ACK/NAK反馈。这种方式下与LTE 系统原有的物理层、MAC层及RLC层结构有冲突，因此需要对RLC层、MAC层以及物理层进行重新设计。

为了便于与LTE系统进行兼容，且保证HARQ得效率，LTE-A中采用MAC层聚合的方式，它对LTE各协议层的影响各异，简述如下。

NAS层和PDCP层没有影响和变化。RRC重配置消息用于进行SCell的增删工作， UE特性信息（UE capability information）消息用来上报UE相关的CA特性，因此RRC层中这2个消息中的信息单元有所变化。RLC层采用CA后需要增大缓存，以适应吞吐量性能的变化。物理层上，每个分量载波独立完成物理层过程，采用独立的HARQ、功率控制和链路适配机制，因此物理层本身没有变化。但是从UE的角度讲，其物理层收发信单元和天线设计的难度有所增加，比如需要支持多频段的组合，还需要支持MIMO和多路收发等特性。

MAC层变化较大，多个载波共享MAC资源，在MAC层进行聚合，因此MAC层需要支持跨载波调度，控制载波间的时域和频域联合调度。

单小区调度过程中，MAC层负责下行信道

的优先级管理、缓存状态的管理、调度UE的选择以及PRB资源分配等工作。多载波调度过程中，PCell中CA UE的调度过程没有太大变化。但是，使用载波聚合的UE（即CA UE）在PCell中发起业务时，eNodeB需要考虑是否需要为UE分配SCell，以便提升容量和吞吐量。但是，小区中存在多个CA UE且服务小区可以添加多个SCell时，系统就需要考虑如何进行有效的调度，才有助于保持小区总体吞吐量和单用户吞吐量之间的均衡。CA系统中，多个载波时域和频域调度需要由MAC层予以协调和控制，如图 1所示。

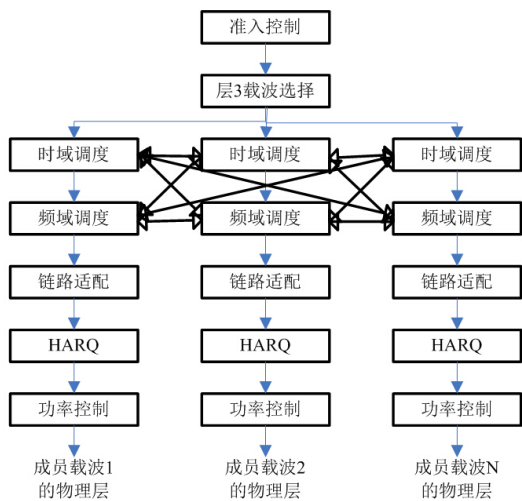


图1 LTE CA联合调度

2 载波聚合在LTE230系统中的应用

2.1 必要性

电力系统中所使用的230 MHz频段最初国家规划主要用于模拟数传电台，其信道带宽较窄，且相邻信道之间存在间隔。目前，LTE230系统中用于电力系统的总带宽为8.5 MHz，分为三簇，每簇之间保持一定的频率间隔。其中第一簇和第三簇频率的频带宽度分别为3.5 MHz，用于自组织网络组网和回传；第二簇A频率的频带宽度为1.5 MHz用于为各种网络终端接入提供覆盖。如图2所示。

采用这种离散的窄带频谱难以进行高速率的数据传输。现阶段230 MHz数传电台虽然面临淘汰但是依然局部存在的情况下，很难对已经分配的频谱资源进行重新划分。因此，为了应对日益增长的电力系统高速无线通信的需求，必须对这种

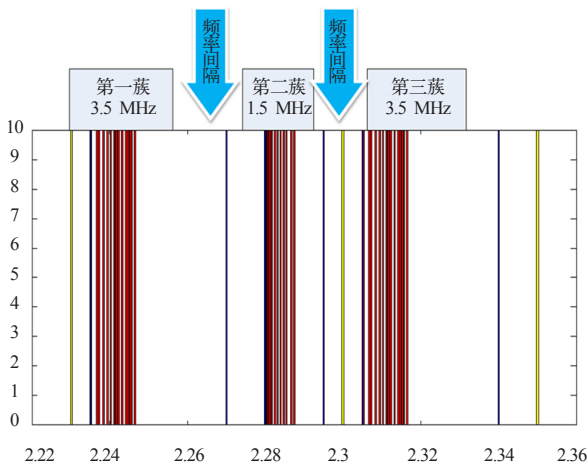


图2 LTE230系统频带分布及频宽分配

离散频谱进行整合，从而提高传输速率。

载波聚合可以实现多个连续或者离散载波间的聚合，从而提高系统容量和性能，因此非常适合应用到LTE230产品中来提高数据传输能力。

多个离散信道可以分别看做单个的成员载波，将多个成员载波进行聚合后，分配给一个用户使用，从而产生较大的传输带宽，提高传输效果。采用载波聚合技术后，结合高阶调制等其他通信技术，LTE230系统中单个UE在1 MHz带宽的最大上行速率可以达到1.76 Mbit/s。

2.2 聚合方式

LTE230系统中，单载波带宽为25 kHz，与3 GPP规范中所规定的多种带宽不同，因此LTE230系统中需要对物理层及其帧结构重新进行设计和定义。载波聚合技术采用物理层聚合较为方便，这是与标准LTE-A载波聚合不同的地方。

采用载波聚合技术时，LTE230物理层逻辑结构如图3所示。每个处理支路对应一个分量载波的生成。每一路分量载波在完成了串并转换、符号映射、资源映射、IFFT以及CP插入后，便完成了一个分量载波数据的处理，产生了每个子带的基带信号。接下来为了能够将多路数据合并为一，又做了上采样和数字混频，上采样的目的是将每个子带镜像干扰拉远，数字混频可以将每个子带的基带信号搬移到它对应的频点，通过合路形成最终的发射信号。

随着数字中频技术的成熟，整个聚合的过程也可以在中频通过数字电路来实现，进而使硬件成本得到控制，可靠性得到提高。

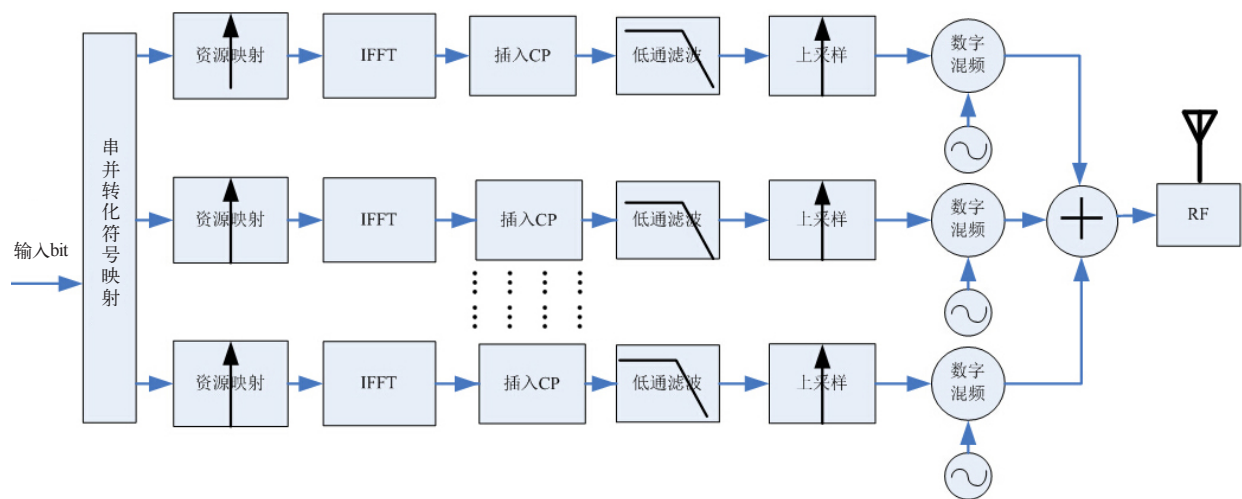


图3 LTE230系统载波聚合原理

3 LTE230系统中载波聚合性能分析

采用载波聚合技术有助于提高LTE230系统中终端速率以及小区速率，分析如下。

3.1 终端速率

LTE230系统中，终端分为单载波终端和多载波终端两类。采用多载波聚合终端时，终端速率为单载波终端速率与聚合的载波数目的乘积。

常规的用电信息采集和配变监测单个终端对数据速率需求较小，采用单载波的LTE终端，每个终端单向速率可达43.99 kbit/s，并且多个LTE终端可以通过时分复用技术共享一个载波。

视频传输和车载移动通信等业务对数据速率要求较高，采用多载波的LTE终端，每个LTE通信终端通过聚合技术应用17~40个不等的载波数目，终端最高速率可达1.76 Mbit/s（40个载波），基本满足电力各类宽带、窄带的应用。

3.2 小区速率

LTE230系统中采用8.5 MHz的带宽时，每个扇区可用频点为340个，单扇区传输速率最大可达14.96 Mbit/s。

终端速率与聚合载波数之间的关系举例如表3。

表3 LTE230系统中多载波终端的速率特性

终端类型	单载波终端		多载波终端（载波聚合）				
频点数目	1	2	3	……	339	340	
速率/(kbit/s)	43.99	87.98	131.97	……	14 912.6	1 4956.6	

4 结束语

载波聚合技术可以实现离散载波的组合应用，有效提高系统性能，适于解决LTE230系统中业务需求高、频点离散的问题。而针对LTE230系统的网络特点和物理层特性，采用物理层聚合的实现方式，既发挥了载波聚合的优势，又便于快速实现和部署，从而大力提升智能电网的容量和速率性能。

参考文献

[1] TD-LTE230MHz在配电线路全项在线监测系统的应用, 吴文焰, 北京国电网络技术有限公司, 电力系统通信, 2012, 33(10):55-59.

[2] [意] 塞西亚 (Stefania Sesia), 等著. 马霓, 夏斌译. LTE/LTE-Advanced:UMTS长期演进理论与实践.北京:人民邮电出版社 (第1版), 2012.

[3] TD-LTE电力无线宽带专网技术应用研究, 李文伟等. 电力系统通信, 2013, 33(11):82-87.

[4] 基于TD-LTE技术构建智能配用电通信无线宽带专网, 赵建保, 等. 通信电源技术, 2013, 30(05):78-80.

作者简介

徐光年（1970-），男，高级工程师，主要研究电力系统自动化及应用。

（收稿日期：2015-12-10）

（编辑：张万英）