RF转换器为下一代无线基站提供高效多频段无线电

John Oates
ADI公司

摘要

为了支持不断增长的无线数据需求，现代基站无线电设计支持多个E-UTRA频段以及载波聚合技术。这些多频段无线电采用新一代GSPS RF ADC和DAC，可实现频率捷变、直接RF信号合成和采样技术。为了应对RF无线频谱的稀疏特性，利用先进DSP来高效实现数据比特与RF的来回转换。本文描述了一个针对多频段应用的直接RF发射机例子，并考虑了DSP配置以及功耗与带宽的权衡。

简介 - 10年、10倍频段、100倍数据速率

智能电话革命开始于10年前，其标志事件是苹果公司于2007年发布初代iPhone®。10年后，历经两代无线标准，很多事情都发生了变化。也许不像作为消费电子的智能电话（称为用户设备(UE)）那样吸引眼球并常常占据新闻头条，但无线电接入网络(RAN)的基础设施基站 (eNodeB) 也历经嬗变，才成就了我们如今互连世界的数据洪流。蜂窝频段增加了10倍，而数据转换器采样速率增加了100倍。这使我们处于什么样的状况？

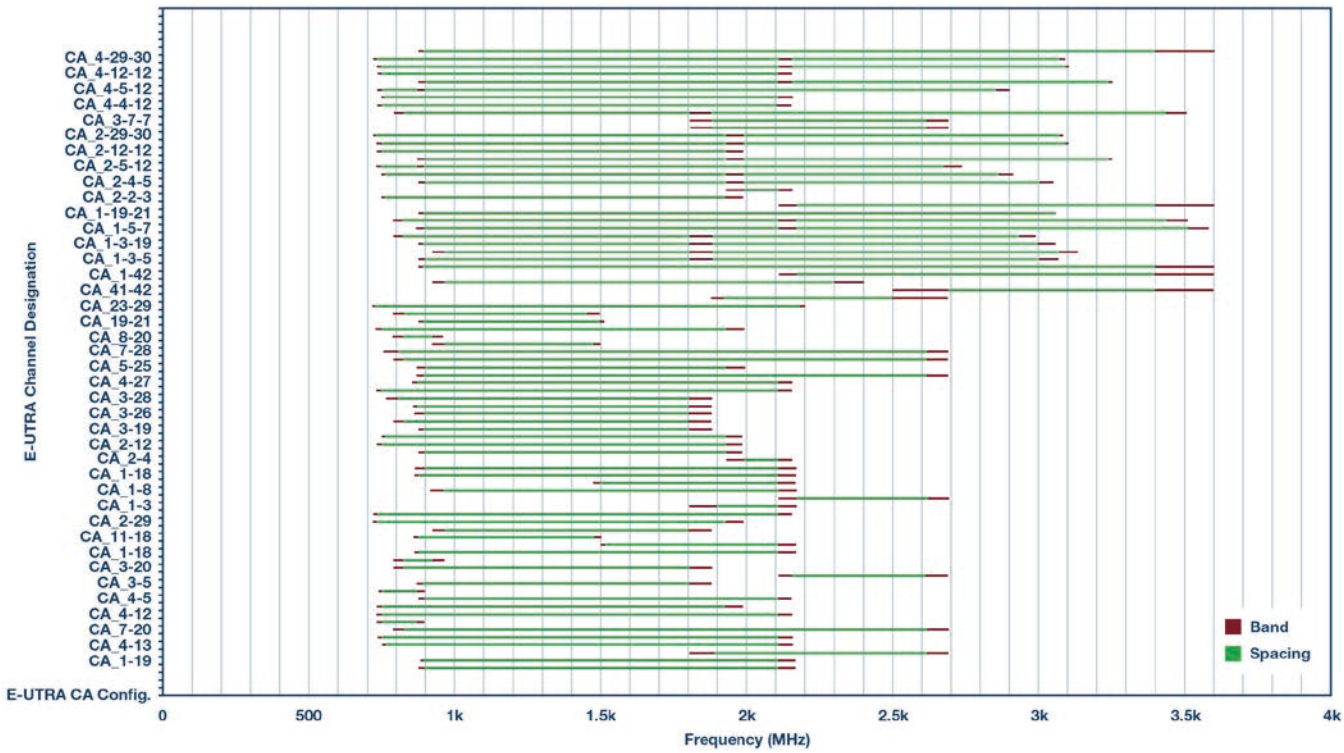

图1. 非连续频谱的载波聚合突出说明了频谱稀疏问题。红色表示许可频段。绿色表示是带间间隔。

多频段无线电和频谱的有效利用

从2G GSM到4G LTE，蜂窝频段的数量从4个增加到40个以上，暴增了10倍。随着LTE网络的出现，基站供应商发现无线电变化形式倍增。LTE-A提高了多频段无线电的要求，在混频中增加了载波聚合，同一频段或更可能是多频段的非连续频谱可以在基带调制解调器中聚合为单一数据流。

但是，RF频谱很稀疏。图1显示了几个载波聚合频段组合，突出说明了频谱稀疏问题。绿色是带间间隔，红色是目标频段。信息理论要求系统不应浪费功率去转换不需要的频谱。多频段无线电需要有效的手段来转换模拟和数字域之间的稀疏频谱。

基站发射机演变为直接RF

为帮助应对4G LTE网络数据消费的增加，广域基站的无线电架构已经发生了变化。带混频器和单通道数据转换器的超外差窄带IF采样无线电已被复中频(CIF)和零中频(ZIF)等带宽加倍的I/Q架构所取代。ZIF和CIF收发器需要模拟I/Q调制器/解调器，其采用双通道和四通道数据转换器。然而，此类带宽更宽的CIF/ZIF收发器也会遭受LO泄漏和正交误差镜像的影响，必须予以校正。

图2. 无线射频架构不断演变以适应日益增长的带宽需求，进而通过SDR技术变得更具频率捷变性。

幸运的是，过去10年中，数据转换器采样速率也增加了30倍到100倍，从2007年的100 MSPS提高到2017年的10 GSPS以上。采样速率的提高带来了超宽带宽的GSPS RF转换器，使得频率捷变软件定义无线电最终成为现实。

6 GHz以下BTS架构的终极形态或许一直就是直接RF采样和合成。直接RF架构不再需要模拟频率转换器件，例如混频器、I/Q调制器和I/Q解调器，这些器件本身就是许多干扰杂散信号的来源。相反，数据转换器直接与RF频率接口，任何混频均可通过集成数字上/下变频器(DUC/DDC)以数字方式完成。

多频段的高效率得益于复杂DSP处理，其包含在ADI的RF转换器中，可以仅对需要的频段进行数字通道化，同时支持使用全部RF带宽。利用集内插/抽取上/下采样器、半带滤波器和数控振荡器(NCO)于一体的并行DUC或DDC，可以在模拟和数字域相互转换之前对目标频段进行数字化重构和恢复。

并行数字上/下变频器架构允许用户对多个所需频段（图1中以红色显示）进行通道化，而不会浪费宝贵的周期时间去转换未使用的中间频段（图1中以绿色显示）。高效率多频段通道化具有降低数据转换器采样速率要求的效果，并能减少通过JESD204B数据总线传输所需的串行通道数量。降低系统采样速率可降低基带处理器的成本、功耗和散热管理要求，从而节省整个基站系统的成本支出(CAPEX)和运营支出(OPEX)。在高度优化的CMOS ASIC工艺中实现通道化DSP的功效比远高于通用FPGA结构中的实现方案，哪怕FPGA的尺寸较小也是如此。

带DPD接收机的直接RF发射机：示例

在新一代多频段BTS无线电中，RF DAC已成功取代了IF DAC。图3显示了一个带有16位12 GSPS RF DAC AD9172的直接RF发射机示例，其利用三个并行DUC支持三频段通道化，允许在1200 MHz带宽上灵活地放置子载波。在RF DAC之后，ADL5335 Tx VGA提供12 dB的增益和31.5 dB的衰减范围，最高支持4 GHz。根据eNodeB的输出功率要求，此DRF发射机的输出可以驱动所选功率放大器。

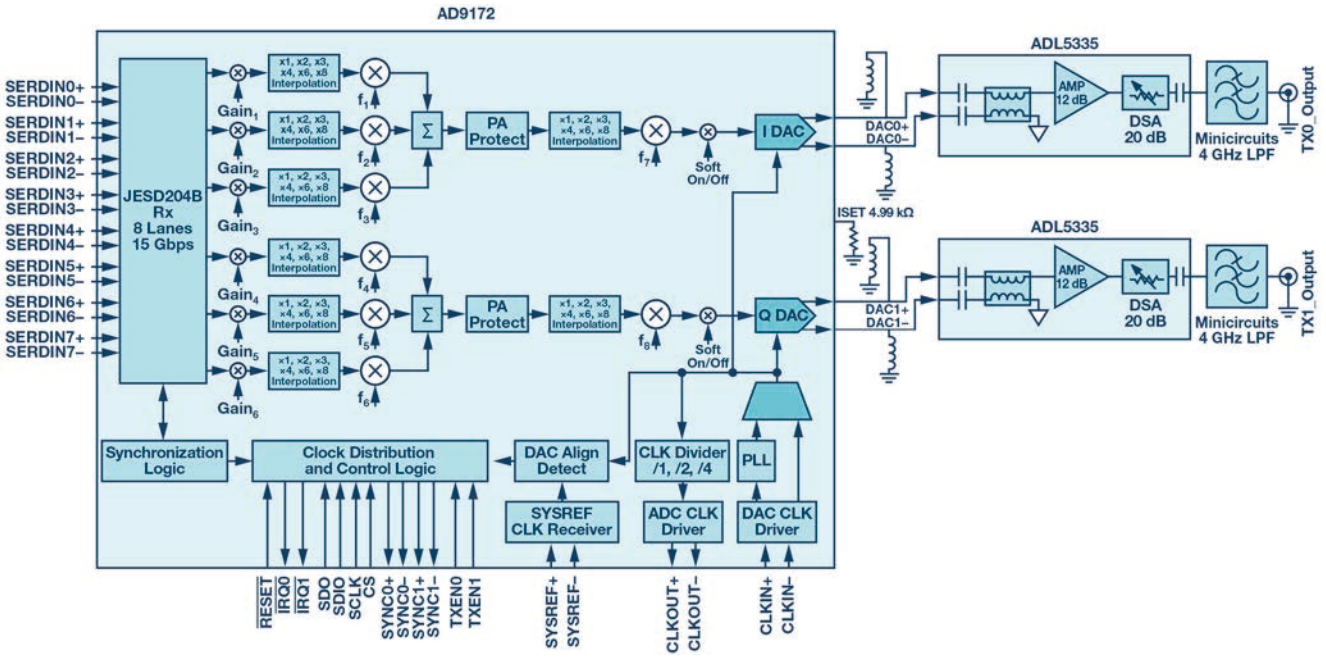

图3. 直接RF发射机。诸如AD9172之类的RF DAC包括复杂的DSP模块，其利用并行数字上变频通道化器来实现高效多频带传输。

考虑图4所示的频段3和频段7情形。有两种不同方法可用来将数据流直接转换为RF。第一种方法（宽带方法）是不经通道化而合成频段，要求1228.8 MHz的数据速率。允许DPD使用其中80%的带宽为983.04M，足以传输两个频带及其740 MHz的频带间隔。这种方法对DPD系统有好处，不仅可以对每个单独载波的带内IMD进行预失真，还能对所需频带之间的其他无用非线性发射进行预失真。

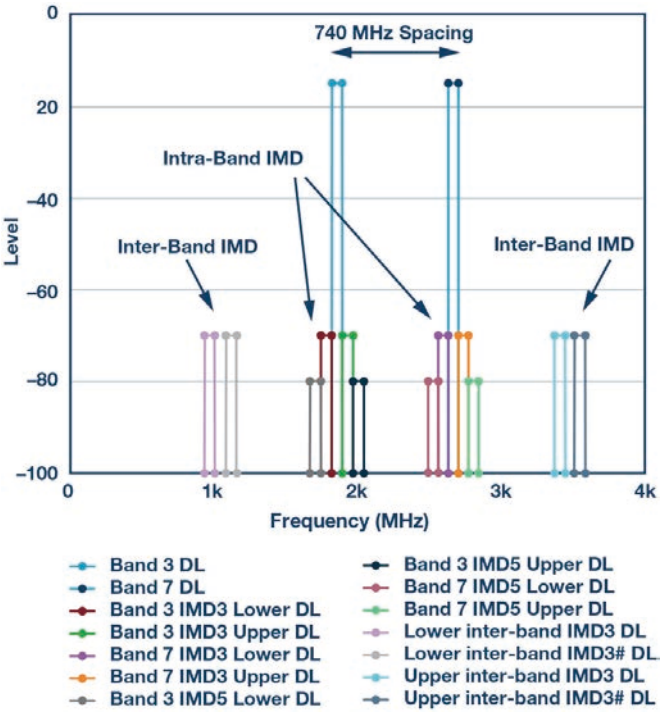

图4. 双频段情形：频段3（1805 MHz至1880 MHz）和频段7（2620 MHz至2690 MHz）。

第二种方法是通道化合成。由于每个频段分别只有60 MHz和70 MHz，并且运营商只有该带宽的一个子集的许可证，所以没有必要传输一切并因此招致高数据速率。相反，我们仅利用更合适、更低的153.6 MHz数据速率，80%的DPD带宽为122.88M。如果运营商拥有每个频段中的20 MHz的许可证，则对于每个频段的带内IMD，仍有足够的DPD带宽进行5阶校正。采用上述宽带方法，这种模式可以在DAC中节省高达250 mW的功耗，并在基带处理器中节省更多的功耗/热量，另外还能减少串行通道数量，实现更小、更低成本的FPGA/ASIC。

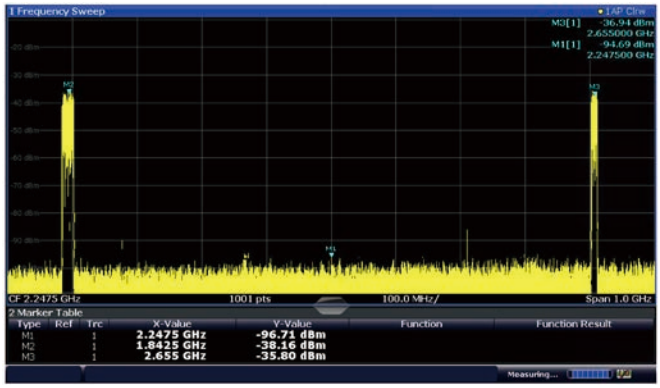

图5. 利用AD9172 RF DAC，通过直接RF发射机实现频段3和频段7 LTE传输。

DPD的观测接收机也已演变为DRF（直接射频）架构。AD9208 14位3 GSPS RF ADC还支持通过并行DDC进行多频段通道化。发射机DPD子系统中的RF DAC和RF ADC组合有许多优点，包括共享转换器时钟、相关相位噪声消除以及系统整体的简化。其中一个简化是，集成PLL的AD9172 RF DAC的能够从低频参考信号生成高达12 GHz的时钟，而无需在无线电电路板周围布设高频时钟。此外，RF DAC可以输出其时钟的相位相干分频版本供反馈ADC使用。此类系统特性支持创建优化的多频段发射机芯片组，从而真正增强BTS DPD系统。

结语

智能电话革命十年后，蜂窝业务全都与数据吞吐量有关。单频段无线电再也不能满足消费者的容量需求。为了增加数据吞吐量，必须通过多频段载波聚合来获得更多的频谱带宽。RF数据转换器可以使用全部6 GHz以下蜂窝频谱，并能快速重新配置以适应不同频段组合，从而使软件定义无线电成为现实。此类频率敏捷直接RF架构可缩减成本、尺寸、重量和功耗。这一事实使得RF DAC发射机和RF ADC DPD接收机成为6 GHz以下多频段基站的首选架构。

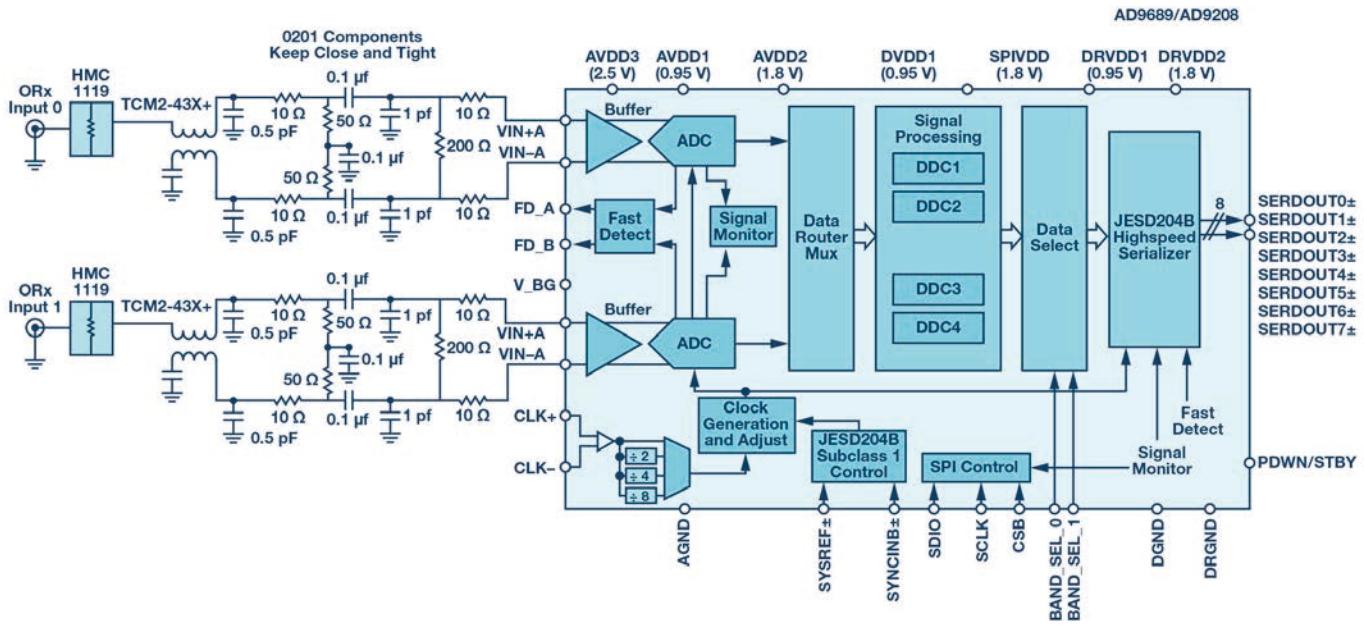

图6. 用于数字预失真的直接RF观测接收机。宽带RF ADC（例如AD9208）可以将5 GHz带宽上的多个频段高效数字化。

作者简介

John Oates是通信系统部门的系统工程师，致力于无线基站架构工作。最近，他的工作重点是用于直接RF发射机和观测的GSPS转换器。他于2008年加入ADI公司，拥有北卡罗来纳州立大学Cp.E.学士学位。联系方式：*john.oates@analog.com*。

在线支持社区

EngineerZone™
ANALOG DEVICES 中文技术论坛

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。
提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问*ezchina.analog.com*

全球总部
One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部
上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编 : 201203
电话 : (86 21) 2320 8000
传真 : (86 21) 2320 8222

深圳分公司
深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编 : 518048
电话 : (86 755) 8202 3200
传真 : (86 755) 8202 3222

北京分公司
北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编 : 100191
电话 : (86 10) 5987 1000
传真 : (86 10) 6298 3574

武汉分公司
湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编 : 430073
电话 : (86 27) 8715 9968
传真 : (86 27) 8715 9931

©2018 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices.
TA16601sc-0-2/18

analog.com/cn

ANALOG DEVICES
超越一切可能™