

# RRU 关键技术及创新

## Key Technologies and Innovations of RRU

王永贵/WANG Yonggui  
张国俊/ZHANG Guojun  
崔晓俊/CUI Xiaojun

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 03-0048-006

**摘要:** 认为远端射频模块(RRU)包含收发信机(TRX)、功放、射频(RF)算法、滤波器、天线五大专有关键技术方向。其中TRX主要聚焦高集成、低功耗、大带宽技术;功放及算法主要聚焦高效率低成本技术;滤波器主要聚焦小型化、轻量化技术;天线主要聚焦于天面简化、5G低频大规模多输入多输出(MIMO)、5G高频技术。同时详细说明了近十年来这些技术的发展趋势及创新。

**关键词:** RRU; TRX; 功放(PA); RF算法; 滤波器; 天线

**Abstract:** Radio remote unit (RRU) has 5 key technologies: transmission receiver unit (TRX), power amplifier, radio frequency (RF) algorithm, filter, and antenna. TRX mainly focuses on high integration, low power and wide band; power amplifier and RF algorithm mainly focus on high efficiency and low cost; filter mainly focuses on miniaturization and lightweight; antenna mainly focuses on simplification, 5G low frequency massive multi-input multi-output (MIMO), and 5G high frequency. At the same time, the development trend and innovation of these technologies during the past ten years are explained in detail.

**Key words:** RRU; TRX; power amplifier (PA); RF algorithm; filter; antenna

### 1 RRU 关键技术方向及重要性

远端射频模块(RRU)是无线基站中的核心子系统,主要完成基带到空口的发射信号处理、接收信号处理,主要功能见图1。

RRU系统由收发信机(TRX)、功放、滤波器、天线、电源、结构六大硬件子系统组成,包含TRX、功放、射频算法、滤波器、天线五大专有关键技术方向。

RRU关键技术所服务的RRU在无线网络各子系统中占有2项第一:主设备发货量占比第一(占比>70%);销售额占比第一(>45%)。因无线网络又是运营商网络中的销售额占比最高的部分,所以也可以说RRU在运营商网络各子系统中销售额占比第一。

基于RRU这样的位置,四大通信设备制造商都投入了大量的人力、物力来提升RRU产品关键竞争力,以期获得对应的市场回报。

RRU产品关键竞争力(强业务能

力、高效率、低成本、小体积、轻重量等)提升,要点之一是要做好RRU关键技术研发。中兴通讯深知这个要点,所以在该方向上持续投入了大量的人力、物力。通过数十年持续研究,中兴通讯在RRU关键技术上已从追随者成为行业领先者。

文章中,我们将细化介绍近十年来RRU关键技术方向细分、演进趋势及创新。

### 2 中兴通讯 RRU 关键技术创新

#### 2.1 TRX 关键技术创新

TRX主要分为数字、射频2部分,主要用来完成数字信号和射频小信号的转换。

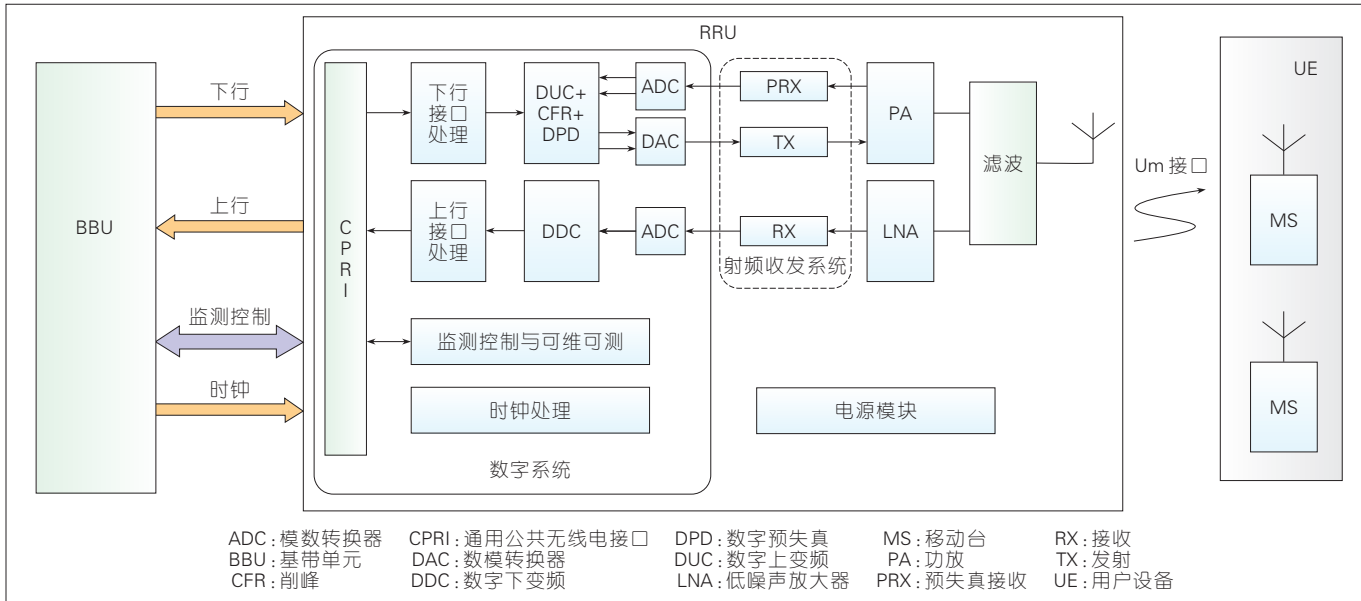
TRX关键技术集中体现在链路

方案及关键元器件的演进上。以小型化、大带宽、低功耗、低成本为驱动力,TRX数字中频部分形成了2种方案及对应的关键元器件演进路线(如图2所示),TRX射频部分形成了3种链路方案及对应的关键元器件演进路线(如图3所示)<sup>[1]</sup>。

现场可编程门阵列(FPGA)的特点是灵活可编程,可快速响应RRU产品所需的新特性。在这个方向上,中兴通讯RRU快速形成了FPGA平台方案,积累了基于FPGA的高效模块化设计方法,很好地支持了产品新特性的快速稳定交付。

专用集成电路(ASIC)相比FPGA,成本、功耗均降低约50%,对产品竞争力贡献突出。中兴通讯从2006年开始投入,已研发了若干代ASIC,很好地提升了RRU产品的热

收稿日期: 2018-01-16  
网络出版日期: 2018-02-07



▲ 图1 RRU 主要功能

	60 nm 工艺	28 nm 工艺	16 nm 或 14 nm 工艺	7 nm 工艺
FPGA	集成度: 单片 15 万逻辑单元, 支持 1T2R RRU 数字处理 SERDES: 3 Gbit/s	集成度: 单片 >15 万逻辑单元, 支持 1T2R RRU 数字处理 功耗: 相对于上一代单位逻辑降低 30% 以上 SERDES: 10 Gbit/s	功集成度: 单片 >50 万逻辑单元 + 内嵌多核 ARM, 支持 8T8R RRU 数字处理 功耗: 相对于上一代单位逻辑降低 30% 以上 SERDES: 28 Gbit/s	集成度: 单片 >80 万逻辑单元 + 内嵌多核 ARM, 支持 16T16R RRU 数字处理 功耗: 相对于上一代单位逻辑降低 20% 以上 SERDES: 56 Gbit/s
ASIC	V2.0	V3.0	V4.0	V5.0

2010—2020 年

ASIC: 专用集成电路    FPGA: 现场可编程门阵列    RRU: 远端射频模块    SERDES: 串行器/解串器

▲ 图2 TRX 数字中频部分演进路线

	65 nm 工艺	45 nm/65 nm 工艺	28 nm 工艺	
AD/DA + MCM	通道: 2T/2R TXFs: 800 M RXFs: 250 M 功耗: 0.5 W/CH 接口: LVDS	通道: 4T/4R TXFs: 2 G RXFs: 500 M 功耗: 0.8 W/ch 接口: JESD204B	通道: 4T/4R TXFs: 2 G RXFs: 1 000 M 功耗: 0.5 W/ch 接口: JESD20.4C	
	V2.0 射频 DVGA	V3.0 反馈单芯片 GSM、宽带化	V4.0 RXRFIC 高集成	V5.0 FEM 低功耗
TRX SOC	90 nm 工艺 通道: 2T/2R BW: 56 MHz 功耗: ~3 W	65 nm 工艺 通道: 2T/2R BW: 200 MHz 功耗: 5 W	28 nm 工艺 通道: 4T/4R BW: 100 MHz/100 MHz 功耗: ~4 W	14 nm/7 nm 工艺 通道: 4T/4R BW: >400 MHz 功耗: ~降低 50%
RFS		45 nm 工艺 通道: 2T/2R TXFs: 9 G RXFs: 3 G BW: 800 MHz 3.2 W/ch	28 nm 工艺 通道: 4T/4R TXFs: 12 G RXFs: 6 G 输入频率: ~10 GHz BW: >1 G; 1.2 W/ch	16 nm/7 nm 工艺 通道: 4T4R/8T8R TXFs: 20 G+ RXFs: 20 G+ 输入频率: 10 GHz BW: >3 GHz

2010—2020 年

AD: 模数  
DA: 数模  
DVGA: 数控可变增益放大器  
FEM: 前端模块  
GSM: 全球移动通信系统  
LVDS: 低电压差分信号  
MCM: 多芯片组件  
RFS: 射频采样  
RX RFIC: 接收射频芯片  
SOC: 系统级芯片  
TRX: 收发信机

▲ 图3 TRX 射频部分演进路线

耗、成本竞争力。

模数(AD)/数模(DA)+多芯片组件(MCM)方案聚焦于高性能,特别是全球移动通信系统(GSM)应用。演进路线的核心是器件高性能+多功能集成。中兴通讯从2008年开始投入,已研发了5代MCM,使得2T2R RRU的射频器件从30颗降低到8颗,功耗降低>30%,单板布局面积降低>5倍。

TRXSOC方案采用零中频,其显著特点高集成、低功耗。从2011年开始,中兴通讯已研发5代TRXSOC,零中频技术及器件已适用于越来越多的RRU产品形态,并特别适用于5G大规模MIMO有源天线单元(AAU)。

射频采样(RFS)方案采用转换速率(GSPS)高速AD/DA相关技术,对DC-6 GHz射频信号进行直接采样。特点是高性能(杂散性能好)、多频和大带宽,特别适用于多频RRU、5G高频等大带宽的RRU。从2014到现在,器件已演进5代,集成度和超带宽性能持续提升<sup>[1]</sup>。

近年来,数字中频射频单芯片方案及关键器件路线开始成为热点,后续大规模数模混合集成会持续演进和整合提供RRU独具优势的射频解决方案。

另在5G高频产品方向,中兴通讯整合行业资源集中力量较早地开始5G高频射频前端方案(如图4所示)和关键元器件研发。关键器件演进路线上,互补金属氧化物半导体(CMOS)、氮化镓(GaN)多工艺路线并行,预计在2022实现规模商用。

### 2.2 功放关键技术创新

功放位于发射通道的末级,通过将已调制的射频信号进行功率放大,从而得到足够大的射频输出功率(例如:100 W),然后馈送到天线上辐射出去。

功放关键技术主要包含高效率、大带宽、频段拓展几大方向,其演进路线见图5。

功放热耗占RRU总热耗的60%~70%,因此高效率是功放设计的最重要目标。功放效率的提升依托于功放器件效率提升、高效率电路架构设计2个方面。在功放器件方面,从2010—2017年末,主流功放厂家的横向扩散金属氧化物半导体(LDMOS)功放器件经过了3—4代的升级,其中高频段(1.8 GHz以上)上GaN已逐步取代LDMOS成为高效器件的首选。在高效率电路架构方面,目前主流商用的高效率电路架构为Doherty路线,在研发的为包络跟踪

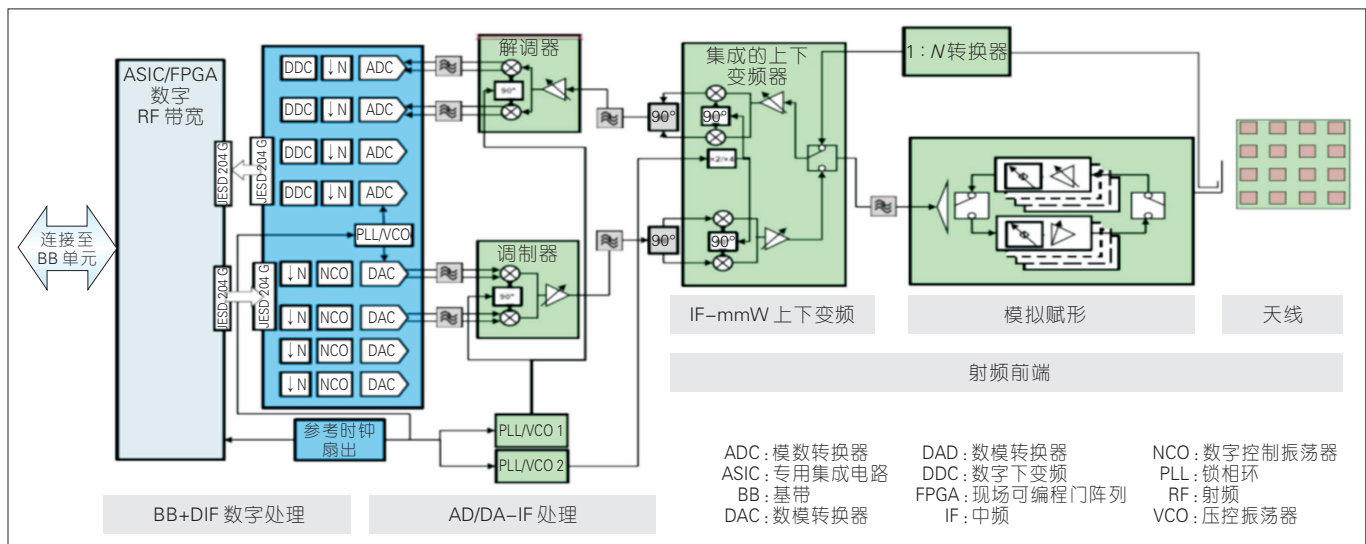
(ET)路线、Outphasing路线。中兴通讯从2008年开始投入高效率功放自研,已经过了8代研发,形成了独有的ZM、DM技术,使得RRU的功放效率始终保持在业界领先水平。在对产品的贡献方面,以正交频分多址(FDD)两发RRU为例,产品3代升级整机热耗降幅超过30%,其中PA热耗降幅超过80%。

随着运营商带宽的提升、高频段大带宽的主力商用,以及天面单元数的降低,功放的带宽已从单频30~75 MHz到多频,再到5G单频的200~400 MHz并持续增加。功放对应采用宽带电路方案、超宽带射频(UBR)电路方案来解决,同时GaN功放管的大宽带特性也很好地支持了功放带宽的持续增加<sup>[1]</sup>。

为获取更多的可用频谱资源,运营商频谱逐步向高频拓展,对应功放要支持的频段也逐步拓展。主力商用的频段,也已从早期的900/1 800/2 100 MHz,发展到2.6 GHz,及5G低频的3.5/4.5 GHz,再发展到5G高频的28/39 GHz。在器件方向GaN功放管的高频特性很好地支持了功放频段向高频的拓展。

### 2.3 算法关键技术创新

射频算法主要包括削峰(CFR)、



▲图4 5G高频链路方案



▲ 图5 功放关键技术演进路线

数字预失真(DPD)和无源互调抵消(PIMC)等多个关键技术方向。其中削峰、数字预失真方向的演进路线见图6。

削峰是通过信号的峰值采用适当的策略进行处理,从而达到降低信号峰均比(PAR),并兼顾误差向量幅度(EVM)和邻信道功率比(ACPR)指标恶化限制在允许范围内的目的。根据不同的峰值处理策略,削峰算法主要分为硬削峰、峰值窗削峰、脉冲抵消削峰几大类。其中脉冲抵消削峰算法(算法架构见图7)是系统中最常用的削峰算法,可以满足大多数系统的应用。

随着无线通信系统演进到5G,对于削峰而言要满足如下几个趋势:

(1)无线信号带宽越来越宽,目前的5G低频系统信号带宽100~400 MHz,而毫米波系统的信号带宽达到了1 GHz以上。这样,中频削峰将受限于速率的限制。

(2)5G系统对下行链路时延要求越来越高,因此低时延的需求越来越

迫切。

(3)5G系统通道多,对实现资源要求也越来越高。

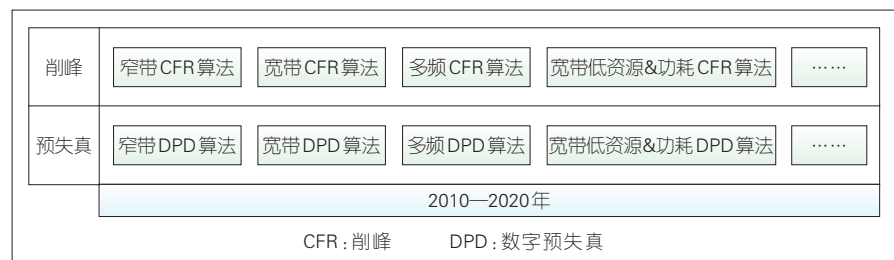
(4)5G系统支持高阶调制方式,对信号的EVM要求越来越高。

所以,削峰的发展趋势主要特点为低资源、高性能和低时延等。

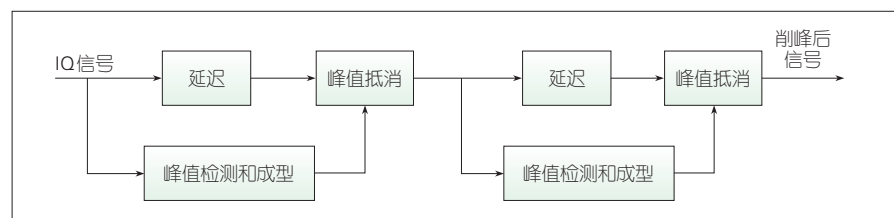
DPD是在射频功率放大器的输

入侧对信号作预先失真处理,其特性与功放失真特性相反,用于抵消功放的非线性失真。

随着无线通信系统演进到5G,DPD的发展趋势为低资源、高性能、超宽带的处理,这样也就触发了一些新的技术和架构的诞生,例如:适用于超宽带的降采样技术的研究。



▲ 图6 射频算法关键技术演进路线



▲ 图7 脉冲抵消削峰算法架构



中兴通讯从2006—2009年开始投入CFR和DPD算法自研,经过了6代以上的研发,带宽支持能力提升10倍,支持各类功放,实现资源降低30%,很好地支持了功放效率领先,且很好地支持了RRU多频多模宽带及频段拓展的演进。

### 2.4 滤波器关键技术创新

功放位于天线、功放与低噪声之间,用于滤除系统中使用频率以外的信号,避免本系统产生对其他系统的干扰,也避免其他系统干扰本系统。

滤波器关键技术演进的主要驱动力是小型化、轻量化,主要技术路线为滤波器腔体设计、结构工艺、结构材料。小型化演进路线见图8。

中兴通讯从2010年开始联合供应商投入滤波器小型化研发,在大功率方向上,笔记本滤波器(NF)经过3代研发,时分双工(TDD)8T RRU滤波器体积降低50%,重量降低40%;在小功率方向上,ZTE革新滤波器(ZRF)体积减至普通金属同轴方案滤波器的20%,给5G低频AAU整机带来体积降低>10%、重量降低>10%的收益。

中兴通讯同时展开新一代小型化滤波器技术研究,从材料更新、工艺进步、方案替换等维度推进滤波器极限小型化、轻量化。目前在全介质材料滤波器、低温共烧陶瓷(LTCC)、高通滤波器、体声波(BAW)、薄膜体声波谐振器(FBAR)等器件化滤波器方面都形成了一定的积累,并取得了一些阶段性的成果。

### 2.5 天线关键技术创新

无线基站中的天线技术演进如

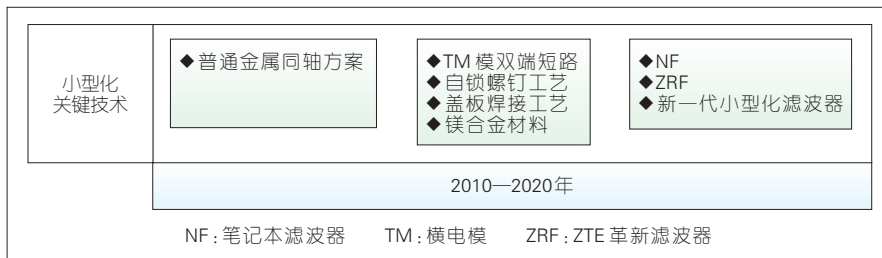
图9所示。

在4G、5G时代,天线演进有三大方向:

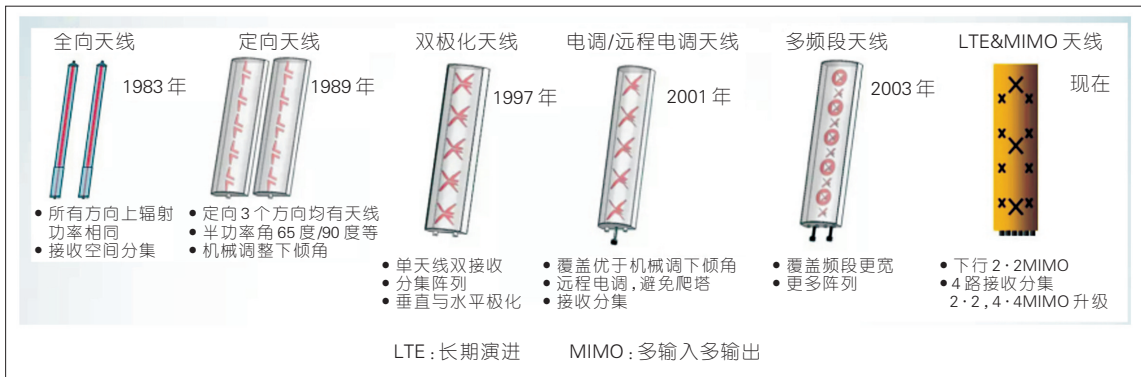
(1)方向1为天面简化,也是业界提出的“1+1”天线概念,即1根可以支持2/3/4G频段的无源多端口、多频段天线和1根5G有源大规模多输入多输出(MIMO)天线,对应解决方案为大规模多频段天线集成技术。此方向的核心要求是高性能、小尺寸、轻量化、低成本,是天线行业当下的热点技术之一,图10所示的“1+1”天线代表了此方向的演进。

(2)方向2为5G低频AAU的大规模MIMO阵列天线。由于天线阵面成指数级增加,所以小型化、轻量化就成为极为重要的需求。中兴通讯提出了低剖面天线的解决方案,成为这一需求的有效解决方案之一,目前能够实现天线剖面降低50%,能给整机带来体积降低>10%的收益。

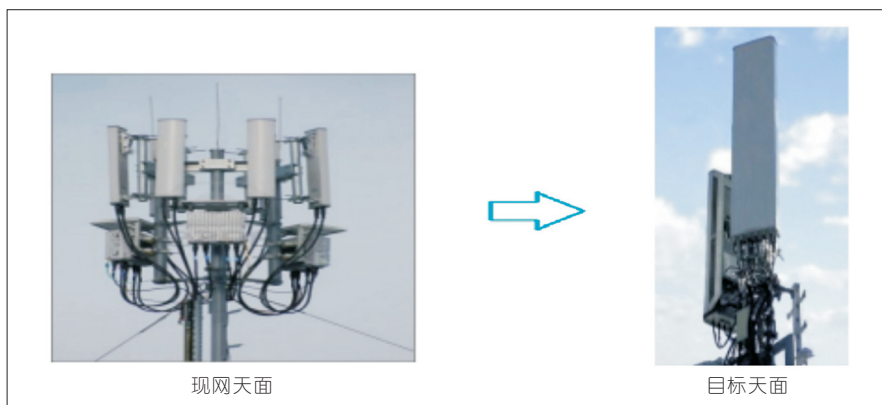
(3)方向3为5G高频AAU中的阵列天线与电路直接集成。天线与电路集成,其优点在于可以简化系统设计,有利于系统的小型化、低成本,是高频毫米波天线技术的重要发展



▲图8 滤波器关键技术演进路线



▲图9 无线基站中的天线技术演进



▲图10 天面简化：“1+1”天线

方向,也正有成为 5G 高频天线的热门技术之一。

### 3 结束语

关键技术进步直接作用于产品关键竞争力提升。以中心通讯 RRU 为例:

- FDD 两发 RRU,通过 3 代产品演进,体积减少 61%,热耗降低 32%,成本降低 27%。

- TDD 八发 RRU,通过 3 代产品演进,在机顶功率功率翻倍的前提下,体积减少 25%,成本降低 55%。

- 5G AAU,经过 3 代产品演进,在机顶功率提升 5 倍,带宽提升 5 倍前提下,体积减少 50%,重量减少 36%,热耗降低 37%。

关键技术领先能很好支撑产品关键竞争力领先,进而支撑产品市场份额提升、品牌塑造。以中兴通讯 RRU 为例:

- 2012 年推出的业界功率最大、效率最高、体积最小的 Magic RRU 系列产品。

- 2012 年推出的业界效率最高、体积最小的 TDD 8T RRU。

- 2014 年推出的业界多频支持

能力最多、功耗最小、体积最小的 Qcell pRRU。

- 2016 年世界移动通信大会,中兴通讯 Pre5G 大规模 MIMO 荣获全球移动“最佳移动技术突破奖”和“CTO 选择奖”双料大奖。

- 2017 年中国通信产业榜,中兴通讯 5G 低频 AAU 摘得“最具竞争力产品奖”。

5G 时代,大规模 MIMO 成为无线基站标配,RRU 在无线基站产品竞争力中的占比进一步提升。基于这个发展趋势,中兴通讯已在 RRU 关键技术研发上进一步加大投入力度,为继续保持 RRU 关键技术行业领先地位、为客户提供竞争力领先的 RRU 产品奠定了良好的基础。

#### 致谢

本文得到了中兴通讯 RRU 中心张作锋、沈楠、李香玲、段亚娟、赵娜、李从伟、段斌、别业楠的鼎力帮助,谨致谢意!

#### 参考文献

- [1] 张万春,崔丽,段晓伟. 无线网络与产品演进[J]. 中兴通讯技术,2017,23(3):53-57. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2017.03.012

[2] 皮和平. 面向 5G 通讯的射频关键技术研究[J]. 通讯世界,2017,(2): 24-28

[3] 朱雨薇,张敏,于鉴桐. 基于移动互联网环境的通讯基站天线发展影响研究[J]. 湖南职业技术学院学报,2017,(4):7-9

#### 作者简介



王永贵,中兴通讯股份有限公司 RRU 平台技术委员会主席;负责 RRU 产品方案论证、产品演进规划、关键技术规划,主持 RRU 产品整机方案论证 20 余次,具备丰富的电信行业知识及 RRU 关键技术规划经验。



张国俊,中兴通讯股份有限公司 RRU 平台 TRX 专业团队负责人;负责 TRX 链路方案、关键技术,为 RRU 定制多种架构和规格领先的射频器件。



崔晓俊,中兴通讯股份有限公司 RRU 平台高效率功放项目负责人;负责组织高效率功放技术的研究及商用,带领项目攻克多个技术瓶颈,功放效率一直在业界保持领先,所负责项目获得了“中兴通讯荣誉团队奖”。