



中兴通讯
技术丛书

HZ BOOKS
华章IT

RRU

设计原理与实现

THE DESIGN PRINCIPLE AND IMPLEMENTATION OF RRU

韦兆碧◎等著

作者来自中兴通讯，在无线通信领域工作10余年，具有数百万台RRU研发生产经验，从工程应用角度，详细讲解RRU的系统架构、功能组件和设计方法，深入解读RRU的设计原理及实现



机械工业出版社
China Machine Press

中兴通讯
技术丛书

RRU

设计原理与实现

THE DESIGN PRINCIPLE AND IMPLEMENTATION OF RRU

韦兆碧 侯建平 王 珊 宋 滨 赵 娜 李从伟 惠培智 著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

RRU 设计原理与实现 / 韦兆碧等著. —北京: 机械工业出版社, 2018.9
(中兴通讯技术丛书)

ISBN 978-7-111-60867-7

I.R… II. 韦… III. 无线射频识别—研究 IV. TP391.45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 211693 号

RRU 设计原理与实现

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 张锡鹏

责任校对: 李秋荣

印 刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版 次: 2018 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 186mm × 240mm 1/16

印 张: 18.25

书 号: ISBN 978-7-111-60867-7

定 价: 79.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有 · 侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

华章IT
HZBOOKS | Information Technology



随着科技的不断发展，信息通信技术已进入移动互联网络时代，将会给社会与生活带来深刻的改变。在现有的通信网络基础上，未来移动通信网络将融合多种技术和服务，并且展现出更高速、更高效、更智能的演进趋势，智能终端将推动应用服务的快速创新，集成电路产业也将在移动通信发展的带动下高速发展，进入“后摩尔时代”，移动、宽带、高效、智能的移动互联网络将引发信息通信新技术的变革，数据流量的持续爆发性增长将不断推动移动通信技术的持续演进。

目前已经出现了 5G 移动通信网络，从测试结果看，相比于现有的 3G/4G 网络，5G 移动通信网络在用户体验性、无线覆盖率、资源利用率、传输速率等方面，都具有更大的优势。射频拉远单元（RRU）作为 5G 移动通信系统射频空口收发功能的核心部件单元，其技术演进及性能指标都将深刻影响到 5G 移动通信网络的演进与发展。5G 系统容量飞速提升最终都要体现在射频空口性能的大幅提升上。在 4G 技术基础上，将 5G RRU 无线通信的频谱效率和功率效率进一步提升一个量级，将是 5G NR 技术的核心之一。掌握新的无线通信技术，学习 RRU 技术原理与发展，对于面向未来无线通信网络的从业者和初学者都有重要的作用。

本书是由多位中兴通讯从事 RRU 研发设计多年的资深专家联合创作，从工程实践的角度深入浅出地对 RRU 的组成、RRU 的设计以及 RRU 的各项技术指标进行较为详实的介绍，书中示例均为现网应用实例，参考价值较高。此书作为高校通信专业学生学习和通信企业用人实践之间的桥梁，缩短了学生与企业的距离。本书既可以作为通信企业员工培训教材，还可以作为高校相关专业学生和从业者的参考书目。

西安电子科技大学副校长 教授博士生导师 杨银堂

前言 Preface

为什么要写这本书

每年参加校园招聘会我都会有这样的感受：学生在学校里学习的理论知识跟用人单位的实际需求存在一定的差距。在过去的十几年中，这个差距一直没有减小。通信系统专业的学生不了解基站的组成；电磁场与微波技术专业的学生不知道什么叫RRU，更不清楚RRU的工作原理。另外，很多学生不知道自己在课堂上学到的专业知识是属于通信系统的哪一部分，如何将其应用到实际的通信系统之中。其实，和找工作的同学一样，从事通信系统研发多年的从业者当被问起通信系统相关的知识时，经常也是只知道自己所做的那一点，面对更多相关内容的问题往往都很难准确回答。

这一现象的出现并不能完全责怪学校教育与现实应用的脱节，也不能责怪员工没有用心学习相关知识。我认为其中有一个很重要的原因就是，科技发展到今天，社会分工越来越精细，对于专业的划分也越来越细致：一方面对于各个专业点的要求越来越深入，另一方面对系统宏观认识的机会越来越少。产品竞争越来越激烈，尤其是各个通信设备制造厂商之间的竞争，已经进入白热化，各项技术指标要求越来越高，很多指标要求已经接近理论极限。投入的精力和人力越多，厂家的指标越好，在市场的竞争中就越有利。然而，对于任何一个专业方向和技术点而言，我们所做的设计都是要服务于整个通信系统。如果在做设计时，没有从系统层面去考虑，就很难做出整体最优的方案。

正是由于上述的问题，我一直有编写一本关于RRU设计类书籍的冲动，这样一方面能够自上而下把RRU整个系统的结构讲清楚；另一方面，针对每个专业方向和技术点都能够深入浅出地讲明白。这本书的内容要不同于其他专业性教材，其不需要太多的理论公式，最主要

的是从工程应用出发，以信号流的方向，把 RRU 的组成及各部分功能详尽、专业地介绍明白。编写这本书，目的是架起学校教学与工程应用的桥梁，为无线通信从业者贡献一本高质量的入门级教材，同时也为我身边从事了十几年无线射频研发的朋友们做一个工作总结，为社会尽一点微薄之力。当我把我的想法告诉我的团队后，团队中的几位射频专家完全认同我的想法，而且都有着相似的愿望。所以从 2016 年下半年开始，我们就着手编写这本书，历经一年半的努力，书稿终于成型。当我第一次汇总出完整的书稿时，我很兴奋，它确实符合了我当初的设想。本书从工程应用出发，深入浅出，既能展示技术全貌，又能把每个技术点讲得很透彻。本书各个章节的内容都是多年研发经验的浓缩和沉淀，所以实用性和应用性毋庸置疑。

读者对象

- 无线通信专业的高年级本科生和研究生
- 无线通信相关企业和研究机构的员工
- 有志于学习现代无线通信射频子系统的初学者

本书特色

本书以信号流为方向，自上而下对 RRU 系统的组成及原理进行了详尽说明，各部分内容均为业界主流应用的技术，具有较强的时效性和实用性，对各部分的设计方法都有详尽说明和相关举例，方便初学者加深印象。本书面向本科生和研究生的教学和课程体系改革，旨在从工程应用和实际设计角度提高通信和电子信息类相关课程的教学效果，提高学生的设计能力，成为学校和企业应用之间的桥梁，希望结合业界通信系统的设计来提高学生的实践能力。

如何阅读本书

作为一本科技应用类图书，本书以信号流向为顺序，详细介绍了 RRU 单元中各子系统的设计方法。从实用性出发，阐述了“学以致用”的理念。

本书一共分为 9 章：第 1 章系统地介绍了 RRU 的架构、组网方式以及关键指标参数等内容；第 2 章介绍了 RRU 的数字中频链路系统、数字混频、多速率信号处理、对外接口等内容；

第3章介绍了无线射频的核心算法模块 CFR 和 DPD 的原理与实现；第4章介绍了数模和模数转换模块的作用、基本指标、选型以及评估方法，此外还对目前业界主流的 AD/DA 技术做了相应介绍；第5章对时钟处理模块的作用、时钟处理模块相关的性能指标、时钟芯片的选型和性能评估以及时钟的设计等几个方面进行了细致介绍；第6章对收发信机的系统指标及指标分解、收发信机的设计架构及测试等几个维度进行了说明。第7章主要介绍了功率放大器的指标与设计，以及无源模块双工和天线的设计；第8章概括性介绍了 RRU 产品的可靠性设计以及电源设计的主要特点；第9章介绍了移动通信和 RRU 技术演进的趋势以及未来 5G RRU 关键无线技术等内容。

勘误和支持

由于笔者水平有限，编写时间仓促，书中难免会出现一些错误或者不准确的地方，恳请读者批评指正。为此，笔者特意创建了一个在线支持与应急方案的二级站点 <http://book.blendercn.org>。你可以将书中的错误发布在 Bug 勘误表页面中。如果你遇到任何问题，也可以访问该网站下的 Q&A 页面，笔者将尽量为你在线上提供解答。书中的全部源文件可以从华章网站（www.hzbook.com）下载。如果你有更多的宝贵意见，也欢迎发送邮件至邮箱 superw1999@139.com，期望能够得到你们的真挚反馈。

致谢

首先要感谢参与本书编写的侯建平、王珊、宋滨、赵娜、李从伟、惠培智等专家，大家牺牲了一年的业余时间，经过不懈努力才能完成这本书的编写。感谢中兴通讯 IT 技术学院闫林副院长的大力支持和帮助，因为有了他，才有本书在机械工业出版社出版的机会。

感谢机械工业出版社华章公司的杨福川老师，在本书的审核、编辑以及出版过程中，给予我们很多鼓励和帮助，指导我们顺利完成全部书稿，并提出了很多中肯的意见。

本书的作者长期从事通信基站 RRU 的研发工作，参与本书编写的人员均为该领域的资深专家。

谨以本书献给和我们一起并肩战斗的各位 RRU 的兄弟们！

Contents 目 录

序

前 言

第1章 RRU概述 1

1.1 现代移动通信系统的发展历程 1

1.2 RRU 系统 5

1.3 分布式基站 5

1.4 RRU 系统架构 7

1.4.1 RRU 硬件子系统 8

1.4.2 RRU 软件子系统 10

1.5 RRU 组网形式 10

1.6 RRU 关键指标参数 11

第2章 中频数字链路 16

2.1 RRU 的数字中频链路系统 16

2.2 数字混频 19

2.2.1 数字控制振荡器工作原理
(NCO) 19

2.2.2 数字控制振荡器的性能
分析 21

2.2.3 CORDIC 算法 22

2.3 多速率信号处理 25

2.3.1 数字滤波器 26

2.3.2 有限脉冲响应滤波器的设计与
实现 28

2.4 对外接口 46

2.4.1 光口子系统 46

2.4.2 204B 接口 54

第3章 数据处理模块 65

3.1 CFR 算法 65

3.1.1 削峰算法的基本原理 66

3.1.2 硬削峰 67

3.1.3 峰值窗削峰 67

3.1.4 脉冲抵消削峰 68

3.1.5 脉冲抵消削峰的实现 69

3.1.6 级联削峰技术 69

3.2 DPD 算法 70

3.2.1 功放的线性化校准 70

3.2.2 DPD 的基本原理 72

3.2.3 DPD 的整体架构和流程 74

3.2.4 反馈信号处理 76

3.2.5	DPD 的数据预处理	79	5.1.1	时钟处理在无线网络中的 作用	140
3.2.6	数据预处理的主要流程框图	79	5.1.2	时钟处理在 RRU 产品中的 作用	141
3.2.7	预失真模型建立技术	82	5.2	时钟处理模块相关的性能指标	142
3.2.8	预失真参数求解技术	84	5.2.1	时钟抖动基础知识	142
3.2.9	预失真流程和策略技术	86	5.2.2	时钟的相位噪声	151
3.2.10	开环 DPD 技术	89	5.3	时钟芯片的选型	156
第4章	数模/模数转换模块	91	5.4	时钟芯片性能的评估	158
4.1	概述	91	5.5	时钟的设计	162
4.2	数模转换模块的设计	92	5.5.1	时钟的仿真和配置	162
4.2.1	数模转换模块的作用	92	5.5.2	时钟的电源设计	168
4.2.2	DAC 器件基本指标	92	5.5.3	时钟的 PCB 设计	172
4.2.3	DAC 的选型	97	第6章	收发信机射频系统设计	181
4.2.4	DAC 的评估方法	98	6.1	概述	181
4.2.5	DAC 的设计	101	6.2	收发信机系统指标	184
4.3	模数转换模块的设计	121	6.2.1	发射机系统指标	184
4.3.1	模数转换模块的作用	121	6.2.2	接收机系统指标	185
4.3.2	ADC 器件基本指标	122	6.3	收发信机指标分解	188
4.3.3	ADC 的选型	123	6.3.1	发射机指标分解	188
4.3.4	ADC 器件的评估方法	126	6.3.2	反馈指标分解	193
4.3.5	ADC 的设计	128	6.3.3	接收机指标分解	195
4.4	目前业界主流的 ADC 技术	136	6.4	收发信机设计实现	204
4.4.1	CTSD ADC	136	6.4.1	发射机架构	204
4.4.2	Pipeline ADC	137	6.4.2	接收机架构	213
4.4.3	Pipelined-SAR ADC	138	6.5	收发信机测试	221
4.4.4	时间交织 (Time-interleaved) 技术介绍	139	6.5.1	发射机测试	221
第5章	时钟处理模块	140	6.5.2	接收机测试	222
5.1	时钟处理的作用	140			

第7章 射频前端 225

7.1 功率放大器模块 225

7.2 功率放大器的指标 227

7.3 功率放大器的设计 231

7.3.1 末级电路 232

7.3.2 驱动级电路 238

7.3.3 激励级电路 239

7.3.4 功率信号取样电路 240

7.3.5 功率放大器保护电路 240

7.4 无源模块 240

7.4.1 双工器 240

7.4.2 天线单元 247

第8章 可靠性及电源设计 257

8.1 可靠性设计 257

8.1.1 系统的可靠性模型 257

8.1.2 可靠性指标分配 258

8.1.3 可靠性初步预计 258

8.1.4 器件的可靠性 259

8.1.5 系统存储环境的考虑 261

8.1.6 系统使用环境的考虑 261

8.1.7 减震缓冲设计的考虑 262

8.2 电源 262

第9章 RRU未来展望 266

9.1 移动通信及 RRU 技术演进 266

9.2 5G RRU 关键无线技术 268

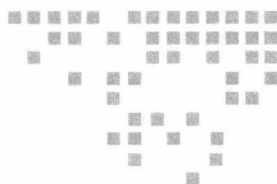
9.2.1 mm Wave 技术 268

9.2.2 全双工技术 270

9.2.3 Massive MIMO 多天线技术 271

9.2.4 全新散热技术 276

9.2.5 高效 PA 技术 277



第 1 章 Chapter 1

RRU 概述

射频拉远单元 (Radio Remote Unit, RRU) 是移动通信系统中基站部分的重要组成单元, 主要完成射频前端收发处理工作, 是移动通信系统的核心组件之一。作为无线基站系统的最前端, RRU 系统主要实现数字基带信号与射频信号的相互转换, 即通过天馈系统向空间特定区域发射和从空间特定区域接收射频无线电波信号, 从而实现终端之间的收发处理。

本章先从移动通信系统的发展历程开始, 对 RRU 出现的大背景做一个介绍; 然后对 RRU 的发展及 RRU 系统总体情况 (包括系统构架、组网模式及工作过程等) 做简要说明; 最后对 RRU 的关键指标参数含义做一些介绍。读者通过对本章的阅读可以对 RRU 有一个初步的认识, 后边章节会陆续针对 RRU 涉及的关键技术原理及设计方法进行详细论述。

1.1 现代移动通信系统的发展历程

现代移动通信的历史可以追溯到 19 世纪, 英国伟大的科学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦总结和發展了前人对电磁现象的研究成果, 从理论上证明了电磁波在空间中是以近似于光的速度传播的, 而光的本质也是电磁波, 从而建立了电磁理论、发现电磁波并建立了电磁场理论, 为后续移动通信采用电磁波传输提供了理论依据。19 世纪末意大利科学家马可尼首次通过无线电磁波成功完成了信息传输及接收, 从而开启了人类社会对移动通信技术的研究。到了 20 世纪, 随着集成电路技术与计算机技术的飞速发展, 以及移动通信技术理

论的研究不断深入，移动通信技术逐渐从实验室走向大众社会，实现了民用，并取得了伟大的成功，极大地推动了人类社会的进步与发展。

现代移动通信系统进入普通大众领域始于美国贝尔实验室首次研制出来的第一代蜂窝模拟移动通信系统网络。第一代移动通信系统网络我们习惯上简称其为 1G。而移动通信网络得到大规模普及则是从第二代数字蜂窝移动通信系统开始的，第二代移动通信系统的普及使得移动通信系统产业得到了突飞猛进的发展，第二代移动通信系统网络简称为 2G。第三代移动通信系统采用扩频通信技术，其在第二代移动通信系统的基础上大幅提升了数据业务，为移动互联网的普及奠定了基础，这一代移动通信系统网络简称为 3G。第四代移动通信系统采用 OFDM 宽带技术，使得移动宽带数据业务得到了普及，成就了移动互联网产业，我们称之为 4G。当前国际移动通信标准组织正在制定的第五代移动通信系统（简称为 5G）标准是为应对万物互联时代的到来，进一步扩展移动通信的应用领域。图 1-1 所示为现代移动通信系统的演进过程，从 1G 到 2G，直到 5G，随时间的演进过程可以看出，现代通信系统每 10 年左右就会完成新一代通信系统的创新，以应对不断增长和扩展的移动市场对移动通信技术的需求。

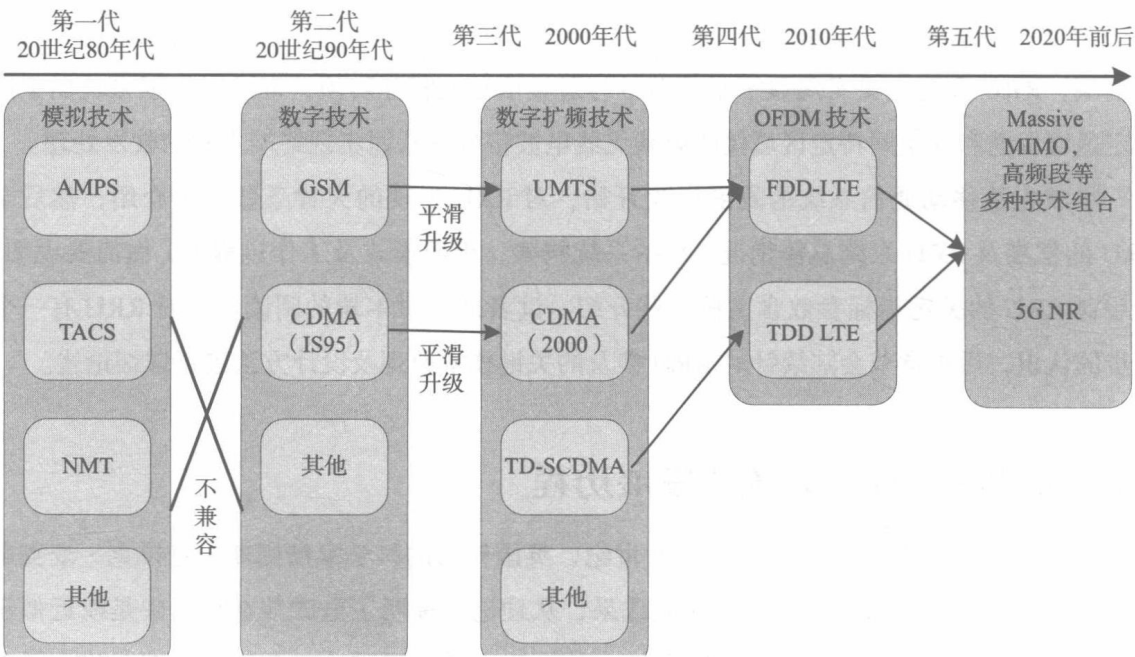


图 1-1 移动通信系统的演进

1. 第一代蜂窝模拟移动通信系统

随着 20 世纪 70 年代中期美国贝尔实验室研制的蜂窝模拟移动通信网络的成功应用，

欧洲及日本也相继跟进分别研制出了各自的蜂窝模拟移动通信网络系统并大规模商用，从而极大地推动了移动通信网络的发展。这个时期的系统都采用纯模拟无线电技术，统称为第一代移动通信系统。第一代移动通信系统具有代表性的有美国的 AMPS (Advanced Mobile Phone System) 系统、英国的 TACS 系统、瑞典等北欧四国的 NMT 系统、日本的 NAMTS 系统等。这一阶段的特点是蜂窝状移动通信网络成为实用系统，并在世界各地迅速发展。移动通信大发展的原因，除了用户需求迅猛增加这一主要推动力之外，还有几方面技术进步为其提供了条件。第一，微电子技术在这一时期得到长足发展，使得通信设备的小型化、微型化有了可能性，各种轻便电台被不断推出。第二，提出并形成了移动通信新体制。随着用户数量增加，大区制所能提供的容量很快饱和，这就要求必须探索新体制。在这方面最重要的突破是贝尔试验室在 20 世纪 70 年代提出的蜂窝网的概念。蜂窝网，即所谓小区制，由于实现了频率再用，大大提高了系统容量。可以说，蜂窝网的概念真正解决了公用移动通信系统要求容量大与频率资源有限的矛盾。第三，随着大规模集成电路的发展，微处理器技术日趋成熟，同时计算机技术也迅猛发展，从而为大型通信网的管理与控制提供了技术手段。

2. 第二代数字蜂窝移动通信系统

从 20 世纪 80 年代中期开始，由于第一代纯模拟系统性能及容量限制已经无法满足日益增长的移动用户通信需求，终端的体积过大且通话性能很差。同时，由于第一代移动通信系统标准各个国家都不兼容，因此手机用户无法在使用其他标准网络的国家漫游，这给人们的生活带来了极大的不便。基于以上原因，欧洲国家制定了全欧洲统一标准的蜂窝移动通信系统标准，以解决欧洲各国在 1G 系统中采用多种不同系统造成的互不兼容、无法漫游等问题。第二代移动通信系统的标准之一 GSM 标准就是在这样的背景下应运而生的。GSM 网络系统得到了全世界大部分国家支持并成功应用部署。GSM 诞生几年后美国高通公司基于第二代移动通信系统采用的扩频通信理论制定了一套 CDMA-IS95 系统标准，并在美国、韩国及我国等多个国家得到了应用。GSM 与 CDMA-IS95 系统是第二代移动通信系统的代表，都采用了数字蜂窝 (Digital Cellular) 技术，即采用数字调制技术的蜂窝系统，可以极大地提高系统的容量和性能。随着第二代系统在世界范围内的广泛应用，移动通信发展到了一个新的高度，成为带动国家经济发展的新动力。

3. 第三代数字蜂窝移动通信系统

第二代移动通信系统主要为支持语音和低速率数据业务设计，但随着移动用户对通信

业务范围和业务数量要求的不断提高,已有的第二代移动通信系统逐渐无法满足移动用户对快速增长的移动宽带业务的需求。随之第三代移动通信系统标准以移动宽带为目标开始制定并部署。第三代移动通信系统标准采用的核心技术为码分多址(CDMA)技术,该技术是在扩频通信技术的基础上发展起来的一种崭新而成熟的移动通信技术。CDMA技术的原理是基于扩频技术,即将需传送的具有一定信号带宽的信息数据,用一个带宽远大于信号带宽的高速伪随机码进行调制,使原数据信号的带宽被扩展,再经载波调制并发送出去。接收端使用完全相同的伪随机码,对接收的带宽信号做相关处理,把宽带信号转换成原信息数据的窄带信号,即解扩,以实现信息通信。欧洲主导的UMTS、美国主导的CDMA2000、中国主导的TD-SCDMA成为第三代移动通信系统标准。在3G系统发展初期,一种新的基站架构诞生了,基站从以前的基带子系统与射频子系统集中在一起演变成了基带集中放置的基带资源池(BBU)加射频拉远单元RRU两个独立的设备。BBU与RRU之间采用光纤连接,进行基带数据和控制告警信息传输、接收。这种新架构的出现使得网络性能及建网难度大幅降低,极大地推动了第二代和第三代移动通信系统网络的发展。在此阶段RRU也从刚出现时只支持单制式演进为支持多制式的混模射频单元,并有一定向后兼容的能力,为运营商网络平滑升级提供了便利并带来成本优势。

4. 第四代数字蜂窝移动通信系统

随着2G及3G移动通信系统的广泛应用,更多的移动互联网业务开始兴起,人们开始习惯使用移动设备上网,基于互联网的服务也开始向移动设备上转移。由于2G及3G系统单位频率上的数据速率(频谱效率)较低且频谱资源有限,使得移动系统容量受限,移动互联网成为终端用户的体验瓶颈。大容量宽带移动互联网需求不仅要通过向第四代数字蜂窝移动通信技术演进来满足用户需求,同时还需要更多的频谱资源来扩展容量。第四代数字蜂窝移动通信技术被命名为LTE,它以OFDM技术和MIMO技术为核心,相对于3G系统,其频谱效率得到了大幅提升,系统的峰值数据速率也随着LTE标准的不断演进得到了极大提升。这一代系统被简称为4G。3G系统由于制式众多且互不兼容,各制式之间的网络同样无法进行互通互联,同时为通信设备及终端设备设计也带来更大的成本支出。4G统一到了LTE制式上,并按复用方式分为TDD及FDD两种制式。随着4G的广泛应用,移动互联网业务得到了飞速发展,影响到了人类社会的方方面面,深刻改变了人们的生活习惯。在这个阶段,RRU也出现了各种各样的形态来应对移动用户对移动网络系统容量的爆发式需求,比如集成度更高的多天线RRU和超宽带RRU,在降低建网成本的同时提升网

络容量；用于热点覆盖或盲点覆盖的小型 Small Cell RRU 满足了室内或室外立体覆盖需求；天线一体化的 AAU 可以灵活利用现有的市政设施进行灵活布网；基于 Massive MIMO 技术的 AAU 大幅提升了 LTE 系统的容量及频谱效率，为热点区域覆盖提供了新的解决方案。

1.2 RRU 系统

RRU 是基站系统中的射频处理单元，由于一般外挂在室外环境中进行工作，因此与一般室内设备相比，RRU 对散热及防水有更高的要求，这些特点可以从 RRU 的外观看出来。在介绍 RRU 系统之前，我们先给读者直观展示一下 RRU 的外观，如图 1-2 所示。从外观上看，RRU 有很多条形的齿，这些齿的存在是为了增大 RRU 的散热面积以提升 RRU 的散热能力。由于 RRU 一般都是大功率发射，但其整机能耗效率由于受限于器件特性一般都不会超过 50%，有超过一半的能耗都转化成了热量，同时由于 RRU 通常挂于室外直接受到太阳直射且环境温度非常高不利于散热，因此对 RRU 自身散热的要求就非常苛刻，RRU 的结构在散热的设计就显得格外重要。由于水和尘土对于电子器件工作都有破坏作用，而 RRU 内部都是由电子器件组成的，因此 RRU 要设计成一个完全密封的系统，对外接口部分也做了密封处理，这样做的目的就是防水防尘以应对室外恶劣的自然环境。

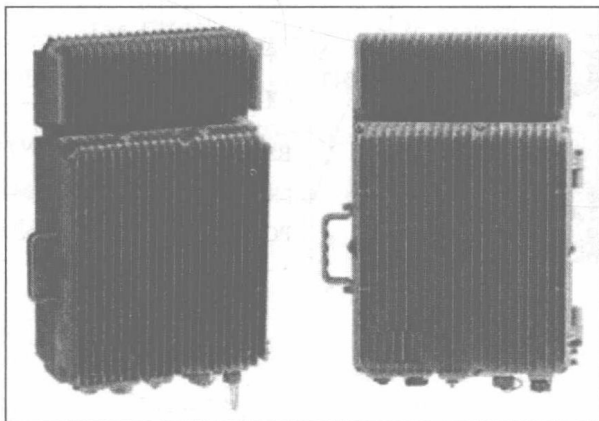


图 1-2 RRU 外观

1.3 分布式基站

早期的基站收发信台（BTS）分为基带子系统（BDS）和射频子系统（RFS），还有其他

一些功能模块：风机、GPS 时钟、与基站控制器（BSC）接口、烟雾 / 水淹 / 门禁监测等。把这些模块装配在一个室内机柜里，作为一个独立网元设备（称为宏站）。这种基站虽然可划分出基带子系统和射频子系统，但是这两个子系统在物理上并不是完全独立的。

随着通信技术的不断发展，网络容量要求越来越高，这种宏站布网成本及难度越来越大，因此通信设备厂商提出了一种新的网络结构——把 BDS 和 RFS 两个子系统独立出来，形成两个独立网元。比如目前通信设备制造商制造的射频拉远单元（RRU）、射频系统单元（Radio System Unit, RSU）、基带单元（Base Band Unit, BBU）。其中 RRU 和 RSU 是独立的射频子系统, BBU 是独立的基带子系统，由（RRU+BBU）构成的基站，称为分布式基站，分布式基站组网示意图如图 1-3 所示，BBU 集中放置，多个 RRU 通过光纤从 BBU 拉远到室外各个网点上构成一个分布式网络进行无线覆盖。

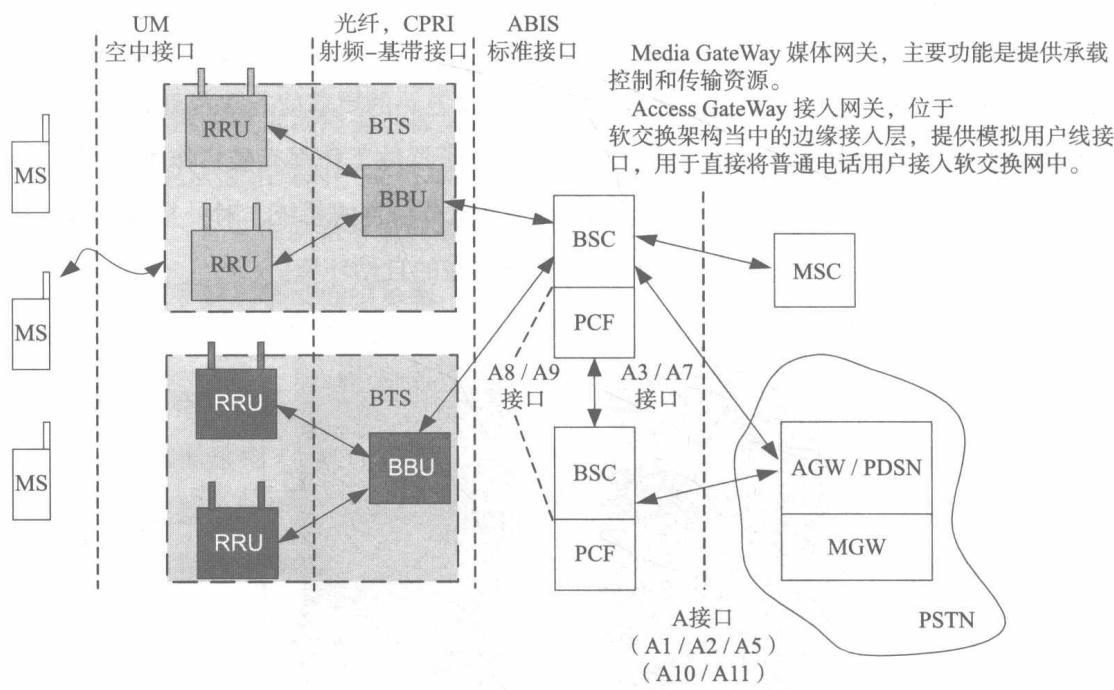


图 1-3 分布式基站组网示意图

RRU 作为一种新型的分布式网络覆盖模式，其核心思想是将基带处理部分与射频单元分离，以基带池来集中完成基带数据处理，射频单元单独外挂在天线端，基带池与射频单元通过光纤进行基带信号的发送接收，从而构成一个分布式覆盖网络。在网络建设时将大容量的基带部分集中放置在中心机房，用光纤连接 RRU，RRU 分置于网络规划所确定的室外站点上，从而节省了常规解决方案所需要的大量机房。研究表明，同等规模的网络建设，