

Deployment and Application of Small Cell in NGMN **小基站 (Small Cell)** **在新一代移动通信网络中的 部署与应用**



广州杰赛通信规划设计院◎编著



中国工信出版集团



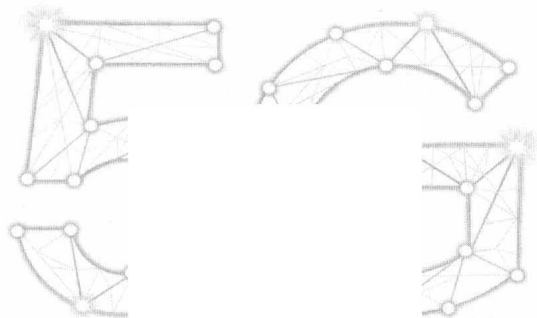
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

科学技术学术专著项目资金资助出版

Deployment and Application of Small Cell in NGMN
D小基站 (Small Cell)
在新一代移动通信网络中的
部署与应用



广州杰赛通信规划设计院◎编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

小基站 (Small Cell) 在新一代移动通信网络中的部署与应用 / 广州杰赛通信规划设计院编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2019. 3
ISBN 978-7-115-50764-8

I. ①小… II. ①广… III. ①移动网—研究 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第026046号

内 容 提 要

本书首先对小基站的标准演进及网络架构和关键技术进行了概要分析, 然后介绍了小基站产品形态和应用场景及电波传播特性, 接着对小基站无线网络规划、仿真、传输设计、干扰及优化等进行了阐述, 最后结合具体的典型案例进行分析和说明。

本书共分 10 章, 第 1 章为概述; 第 2 章介绍网络结构与关键技术; 第 3 章讲述小基站产品形态及应用场景; 第 4 章阐述电波传播与天线; 第 5 章介绍小基站无线网络设计; 第 6 章是室内外联合精细化仿真; 第 7 章为小基站传输; 第 8 章介绍小基站干扰分析与辐射安全; 第 9 章讲解小基站优化, 第 10 章是典型案例。

本书内容翔实、深入浅出、系统全面, 适合从事小基站规划设计、优化维护以及工程管理的技术人员使用, 同时也可以作为通信及电子类专业的大学生或者其他相关工程技术人员的参考书。

-
- ◆ 编 著 广州杰赛通信规划设计院
责任编辑 李 强
责任印制 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京市艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17.5
字数: 323 千字
-

定价: 98.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

编辑委员会

编辑委员会主任：沈文明

编辑委员会副主任：程 敏 李建中 孟新予

唐开华 吴志斌 詹益旺

杨 旭 熊 珊

编辑委员会委员：张 昕 朱李光 刘仲明

张 振 丁 超

1. 移动通信发展历程回顾

纵观移动通信的发展历程，从 1986 年第一套模拟移动通信系统在美国芝加哥诞生，到如今 4G 如火如荼、5G 方兴未艾，短短的 30 多年间，移动通信已从简单的替代有线电话到现在成为人们工作、生活和娱乐不可或缺的信息通信手段。为了满足覆盖和容量的需要，移动通信网络的基站布局结构也经历了 3 个主要阶段：大区制、蜂窝制和宏微协同异构制。

(1) 大区制。第一代模拟移动通信系统采用大区制的基站布局结构，一般在较大的服务区内设置一个基站，负责移动通信的联络与控制。单基站覆盖范围半径一般为数十千米，天线高度约为几十米至百余米；发射机输出功率通常也较高。一个大区制系统仅提供一个到数个无线电信道，用户容量约为几十个到几百个。另外，基站与市话网络间通过有线连接，移动用户与市话用户之间可以进行通信。这种大区制的移动通信系统，网络结构简单、所需频道数少、无须交换设备、投资少、见效快，适合于用户数较少的场景。但是其缺点也非常明显——容量非常有限。

(2) 蜂窝制。随着移动通信的迅速普及，大区制的局限也越来越突出，容量问题成为制约移动通信系统发展的重要因素。由于频谱资源的有限性，单个站点的容量扩展空间非常有限。为了提高覆盖区域的系统容量，贝尔实验室创造性地提出了小区制蜂窝网络的概念，即将一个大区制覆盖的区域划分成多个小区，每个小区中设立一个基站，采用较小的功率实现双向通信，在一定覆盖距离之外，相同的频率可以复用，从而为容量扩展提供了巨大的空间。蜂窝网络被广泛采用的原因源于一个数学结论，即以相同半径的圆形覆盖平面，当圆心处于正六边形网格的各正六边形中心，也就是当圆心处于正三角网格的格点时所用圆的数量最少。因此，出于减少重叠覆盖控制干扰和节约建网成本的考虑，正三角网格或者也称为简单六角网格是最好的选择。这样形成的网络覆盖在一起，形状非常像蜂窝，因此，被称为蜂窝

网络。

(3) 宏微协同异构制。随着移动互联网和物联网业务的迅速兴起和发展,移动用户的业务类型越来越丰富,卓越的移动宽带体验对移动通信网络的覆盖范围、覆盖深度、系统容量及数据速率等提出了更加严苛的要求。同构网络按照“均匀”的网络拓扑,所有基站采用相似的信号发射机制为所有移动用户提供无差别的接入策略,在加强网络覆盖、提升网络等方面表现乏力。因此,以立体分层为标志的异构网络架构被提出,以期从根本上解决网络建设中存在的热点容量、覆盖盲区、站址获取等一系列难题。异构网的核心是灵活运用宏基站及各类小基站,构建立体分层网络,实现“宏微协同”。异构网主要分为多点协同、内外协同、高低协同、网络和业务协同、运营商和业务协同等几个方面。宏基站作为底层网络用以构建移动接入网的基础骨架,实现广域连续覆盖;小基站作为叠加补充,覆盖小范围网络弱区与盲区,加强室内深度覆盖,同时提升局部网络容量。

2. 小基站应用现状

相对于宏基站而言,小基站凭借体积小、选址灵活、部署灵活等优势,在宏微协同异构网络中日益扮演重要的角色,成为扩容、深度覆盖的首选,可以很好地解决局部热点对覆盖和容量的需求。

小基站设备的主要特征包括小型化、低功率、组网灵活、智能化等。

(1) 在小型化方面,从质量上看,一般在 $2 \sim 10 \text{ kg}$,从体积上看,一般在 10 dm^3 以内;

(2) 在发射功率方面,一般在 $50 \text{ mW} \sim 5 \text{ W}$;

(3) 在组网方式方面,通常支持网线、光纤、WLAN 及蜂窝技术等多种回传手段,可实现灵活组网;

(4) 在智能化方面,具备自配置、自动邻区识别等 SON 功能,可简化设备的部署调测。

相对于宏基站而言,小基站体积小、部署灵活,可以灵活地部署在人群、建筑密集的地方,可以有针对性地补充宏基站信号弱覆盖区域和盲区,保证信号质量;在热点区域,小基站由于功率小,可以在更小的范围内实行频率复用,提升容量,有效实行容量分流。

相对于 Wi-Fi 而言，小基站能与宏网协调，支持高速移动场景，支持语音业务，更适合人口密集，或者人流量大的大中型会所、场馆，如飞机场、火车站、会展中心等。

相对于传统室分而言，小基站网络结构简单、施工容易，整个系统在网管监控范围内不存在盲区，扩容方便，小区可远程分裂，在一些高话务、高价值的区域相对于传统室分具有很大优势，符合网络演进的趋势，有望在 5G 时代成为室内覆盖的主流技术。

在国外，小基站市场自 3G 中崛起，快速增长，全面超越宏基站。在国内，小基站在 3G 中并未如国外一般得到规模发展，但是从 4G 时代开始，小基站已成为必要的补充建设方式。目前，4G 广覆盖进入尾声，移动数据业务流量也迎来爆炸式增长，主要业务流量来自于室内，深度覆盖和容量建设逐渐成为运营商的重点战略之一，但室内覆盖又恰恰是运营商网络覆盖的短板，因此，加大室内覆盖力度成为当下运营商的工作重点之一。小基站由于在室内覆盖方面具有独特的优势，开始进入快速发展的通道，建设量已经开始赶超宏基站，登上主流舞台。

3. 小基站未来发展

随着移动网络向 5G 的演进，无线网络覆盖从室外走向室内，精细化管理运营备受关注。随着高频的引入，“室外覆盖室内”的穿透方式将面临更多挑战。室外信号在穿透砖墙、玻璃和水泥等障碍物后只能提供浅层的室内覆盖，无法保证室内深度覆盖所需的良好体验。同样地，传统室分在面向 5G 演进时也存在工程实施、扩容、演进、管理和运维等方面的问题，业内人士普遍认为，数字化室分是室内覆盖面向 5G 演进的最佳途径。

5G 中的频谱资源分为高频、中频和低频。其中的中、低频资源主要用于连续广覆盖、低时延高可靠、低功耗大连接等应用场景，其主要载体是宏基站；而高频段资源则主要用于热点高容量。由于高频的覆盖能力非常有限，部署宏基站的成本过高，再加上宏基站部署困难，站址资源不易获取，因此，在 5G 中，高频段资源将不再使用宏基站，以小基站为主体进行超密集组网将成为主流。在 5G 超密集组网场景中，小基站之间的间距很小（10 ~ 20 m），对比宏基站最短间距一般也在 200 m 以上，可以测算出小基站要实现连续覆盖，其数量规模将远远高于宏基站。

短期来看，4G 后期室内覆盖将会拉动小基站市场的快速兴起。由于 5G 主要采用 3.5GHz 频段，原有的室内覆盖系统改造成本高和实施难度大，因此，5G 室分建设将主要采取新建系统方式。室内数字化架构以其头端有源化、线缆 IT 化和运维可视化的三大典型特征，以及所带来的体验提升和可管可控等价值已被全球运营商广泛认可。如今，不仅华为、爱立信等设备厂商大力推广室内数字化解决方案，国内外传统室分设备厂家也都转向了数字化室分阵营，纷纷推出了数字化的室内覆盖系统。室内覆盖数字化从 5G 开始，将促使小基站迎来一个发展高潮。

面对小基站如此广阔的应用前景，本书的推出恰逢其时。全书从小基站的基本概念出发，从网络结构与关键技术、产品形态及应用场景、电波传播与天线、无线网络设计、室内外联合精细化仿真、传送网、干扰分析与辐射安全、优化等多方面对小基站及其相关知识进行了较为详尽的介绍，最后给出了室内外综合覆盖网络规划及室外、室内小基站工程建设的典型案例。相信本书能够让移动通信网络建设人员比较全面地了解小基站的知识，尤其是小基站的部署应用，从而助力 5G 推广，促进我国的移动通信产业健康发展。

中国电子科技集团公司通信与传输领域首席科学家

中电网络通信集团有限公司总工程师

工业和信息化部 IMT-2020(5G) 推进组专家

“新一代宽带无线移动通信网” 国家科技重大专项总体组专家

新世纪“百千万人才工程” 国家级人选

宋峰

前言

随着 4G 网络覆盖的不断完善以及移动通信技术向 4G+ 和 5G 的不断升级演进，移动通信网络的高速数据业务承载能力也在不断提升，助力了移动互联网业务应用的蓬勃发展。广大移动用户的数据业务消费习惯已基本养成，单用户 DOU（平均每户每月上网流量）呈现快速增长态势，人们随时随地高速接入无线网络的要求也越来越高，但单用户平均收入并没有随着业务增长而同比例增长。另外，由于大众对自身健康关注度的增加出现“谈辐射色变”的情况，居民阻挠移动通信基站建设或者逼迁基站的事情时有发生，这无疑使得移动通信运营商面临越来越大的成本压力和建设难度。而小基站（Small Cell）以其小巧灵活、因地制宜、便于安装施工的特点成为解决网络建设难题的利器。

本书基于当前小基站规划设计与优化工作的实际情况，首先对小基站标准体系架构进行了描述，然后全面详细地分析了小基站规划设计相关的技术原理和思路方法，包括设备及应用场景、电波传播特性、小基站网络规划设计、室内外联合精细化仿真及干扰分析。最后对小基站优化的思路和问题排查的流程顺序进行了分析梳理，并结合具体的场景给出了规划和优化的案例。

全书分为 10 章。第 1 章全面概述了小基站的基本概念、产生背景，以及技术标准的进展和产业进展，并对其在 5G 时代的发展进行了展望。第 2 章介绍了小基站的网络结构和关键技术，包括网络架构及网元功能和系统结构，以及典型的小基站部署方式和物理层技术增强。第 3 章系统地梳理了目前主流厂家生产的各种小基站产品，参考现有的微基站、皮基站、飞基站的分类标准，分别对不同厂家设备的尺寸、功耗、安装方式进行了对比分析，并总结了不同形态基站的适用场景和应用条件。第 4 章介绍了电波频段的划分以及电波的传播方式，并对不同的传播方式和影响因素进行了仿真，然后介绍了室外及室内的电波传播经验模型，并重点分析了射线跟踪模型的原理和应用。第 5 章阐述了小基站无线网络规划设计的方法和流程，包括总体流程、问题定位分析、覆盖分析、容量分析以及天馈系统设计要点，其中覆盖分析部分特别介绍了编者在测试研究分析基础上总结出的一种简单实用的室内外联合传播模型。第 6 章介绍了常规的规划仿真软件和室内外联合精细化仿真软件的总

体流程及具体的操作环节和要点,重点针对精细化仿真和传统的宏基站室外仿真的差异化操作进行了细致说明,并特别介绍了多层立体仿真及结果 3D 呈现的方法。第 7 章对传输网络规划设计内容进行了论述,针对不同类型的小基站分别给出了传输解决方案建议,分析了无源波分、G.metro 等新技术变革对传输网络规划建设的影响,结合编者的经验对光纤等传输管线施工中存在的问题进行了提示。第 8 章聚焦小基站干扰和辐射安全,简明扼要地分析了小基站面临的各种干扰并给出了干扰隔离度建议,介绍了小基站干扰协调技术原理,最后对电磁辐射对人体健康的影响进行了分析并量化计算基站和手机的电磁辐射强度,有助于人们正确认识基站辐射的实际影响。第 9 章结合翔实、丰富的案例,对小基站优化的分析方法和思路进行了详细阐述,包括关键性能指标优化、干扰优化、载波聚合调优思路方法,以及覆盖、接入、重选等问题经典案例的深入剖析。第 10 章主要介绍了小基站规划设计的典型案例,从现网分析、环境勘查、可用资源勘查、多方案比选和效果预测等方面对室内外综合覆盖、室外小基站工程、室内小基站工程等场景的规划设计进行了具体论述。

本书由广州杰赛通信规划设计院的程敏、张昕、朱李光、刘仲明、张振、丁超等共同编写。程敏编写第 5、6(与张昕合著)、8 章,并对全书进行统稿和资料收集整理;张昕编写第 1、2、4、6 章;朱李光编写第 9 章;刘仲明编写第 7 章;张振编写第 3 章;丁超编写第 10 章。

本书的相关研究工作得到了广州市科创委产学研协同创新重大专项的资助。本书的出版还受到了广东省科技厅科技学术专著出版资助。此外,本书在编写过程中得到了杰赛设计院总工程师沈文明、总工办主任孟新予的大力支持。同时,李建中、方慧霆、唐开华等也为本书的编写提供了大量的素材和建设性的意见及指导。王二军、米洪伟、吴亚楠、吴福如、查中泉等为本书第 3 章和第 10 章的内容编写提供了丰富的素材,陈三龙、廖松泉、袁有余、赵雁等也为本书的编制出版工作的顺利推进提供了帮助。在此,对所有给予我们帮助和支持的单位和个人表示衷心的感谢和敬意。

书中相关内容和素材除了引自参考文献以外,还紧密结合实际工程问题和实地调研数据,提供了大量翔实的案例,以期理论联系实际,使读者能在较短的时间内快速、有效地了解和把握小基站的规划设计和优化工作重点,以及充分认识新技术、新理念。因此,本书适合从事室内外综合覆盖系统和小基站规划设计工作的工程师、通信电子专业大类的大学生以及相关工程技术人员阅读。

由于编者水平有限,编写时间仓促,加之技术发展日新月异,书中难免有疏漏、不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

Chapter 1

第1章 概述 / 1

- 1.1 Small Cell基本概念 / 2
- 1.2 Small Cell产生背景 / 3
 - 1.2.1 当前网络部署面临的挑战 / 3
 - 1.2.2 改善网络覆盖的手段 / 4
- 1.3 Small Cell技术进展 / 6
 - 1.3.1 Small Cell标准进展 / 6
 - 1.3.2 Small Cell面临的挑战 / 7
- 1.4 Small Cell产业进展 / 9
- 1.5 Small Cell在5G中的展望 / 11
 - 1.5.1 5G的应用场景与关键技术 / 11
 - 1.5.2 超密集组网技术与Small Cell / 14
- 参考文献 / 15

Chapter 2

第2章 网络结构与关键技术 / 17

- 2.1 网络架构 / 18
- 2.2 网元功能 / 19
 - 2.2.1 MME / 19
 - 2.2.2 S-GW / 20
 - 2.2.3 P-GW / 22
 - 2.2.4 PCRF / 23
 - 2.2.5 HSS / 24
 - 2.2.6 eNodeB (eNB) / 24

- 2.2.7 HeNB / 25
- 2.2.8 HeNB-GW / 26
- 2.2.9 X2-GW / 26
- 2.2.10 MME附加功能 / 27
- 2.3 系统接口 / 28
 - 2.3.1 S1接口 / 28
 - 2.3.2 X2接口 / 30
- 2.4 典型的HeNB部署方式 / 31
 - 2.4.1 配置HeNB-GW / 32
 - 2.4.2 不配置HeNB-GW / 33
 - 2.4.3 HeNB-GW用于控制面 / 35
- 2.5 Small Cell物理层技术增强 / 36
 - 2.5.1 高阶调制 / 36
 - 2.5.2 Small Cell的开关和小区发现 / 43
 - 2.5.3 同步技术 / 44
- 参考文献 / 44

Chapter 3

第3章 小基站产品形态及应用场景 / 45

- 3.1 小基站分类 / 46
- 3.2 小基站产品形态及主要参数 / 47
 - 3.2.1 微基站 / 47
 - 3.2.2 皮基站 / 52
 - 3.2.3 飞基站 / 54
- 3.3 小基站主要应用场景 / 55
 - 3.3.1 按覆盖场景面积 / 56
 - 3.3.2 按小基站类型 / 59
 - 3.3.3 小结 / 59

Chapter 4

第4章 电波传播与天线 / 61

- 4.1 电波频段划分 / 62

4.2	电波的传播方式 / 62
4.2.1	自由空间电波传播 / 63
4.2.2	反射与透射 / 63
4.2.3	绕射 / 68
4.3	电波传播模型 / 72
4.3.1	室外传播模型 / 73
4.3.2	室内传播模型 / 76
4.3.3	射线跟踪模型 / 77
4.4	天线 / 81
4.4.1	天线的基本原理 / 81
4.4.2	天线的主要技术指标 / 82
4.4.3	天线参数优化 / 84
	参考文献 / 86

Chapter 5

第5章 小基站无线网络设计 / 87

5.1	无线网络设计总体流程 / 88
5.2	问题定位分析 / 93
5.2.1	DT测试数据分析 / 94
5.2.2	MR数据分析 / 96
5.3	覆盖分析 / 99
5.3.1	链路预算 / 99
5.3.2	室内外联合传播模型 / 103
5.4	容量分析 / 105
5.5	天馈设计 / 108
5.5.1	站址选择 / 108
5.5.2	天线选型 / 109
5.5.3	挂高设计 / 112
5.5.4	倾角设计 / 115

Chapter 6

第6章 室内外联合精细化仿真 / 117

6.1 概述 / 118

6.2 常规规划仿真软件 / 119

6.2.1 总体流程 / 119

6.2.2 创建工程 / 120

6.2.3 导入地图 / 120

6.2.4 基站建模 / 122

6.2.5 传播模型设置 / 125

6.2.6 仿真计算 / 130

6.2.7 多层立体仿真 / 131

6.2.8 结果呈现 / 133

6.2.9 自动小区规划的应用 / 134

6.3 室内外联合仿真软件 / 140

6.3.1 操作流程 / 140

6.3.2 附加功能 / 144

6.3.3 建筑物三维建模 / 149

6.3.4 天线参数 / 151

Chapter 7

第7章 小基站传输 / 153

7.1 传送网概述 / 154

7.2 小基站传输概述 / 155

7.2.1 一体化小基站传输解决方案 / 156

7.2.2 拉远型小基站传输解决方案 / 156

7.2.3 Femto小基站传输 / 159

7.3 新技术带来变革 / 161

7.3.1 无源波分技术 / 161

7.3.2 G.metro技术 / 162

7.4 光缆光纤 / 163

7.4.1 特性 / 163

7.4.2 敷设 / 163

7.5 关注和提醒 / 164

Chapter 8

第8章 小基站干扰分析与辐射安全 / 165

8.1 干扰分类 / 166

8.1.1 噪声 / 166

8.1.2 系统内干扰 / 167

8.1.3 系统间干扰 / 169

8.2 小基站干扰协调 / 172

8.2.1 小基站开/关方案 / 173

8.2.2 增强的功率控制/自适应 / 176

8.2.3 多小区场景频域功率控制和/或ABS
增强 / 176

8.2.4 负载均衡/转移 / 178

8.3 电磁辐射与公众健康 / 178

8.3.1 基站电磁辐射 / 181

8.3.2 手机电磁辐射 / 182

8.4 小结 / 185

参考文献 / 185

Chapter 9

第9章 小基站优化 / 187

9.1 小基站优化概述 / 188

9.2 小基站关键性能指标优化 / 189

9.2.1 掉线率指标优化 / 189

9.2.2 接通率分析和优化思路 / 190

9.2.3 切换分析思路 / 191

9.3 小基站干扰优化 / 193

9.3.1 阻塞干扰分析和整治 / 193

9.3.2 互调干扰分析和整治 / 195

9.3.3 杂散干扰分析和整治 / 197

9.3.4 网内干扰分析和整治 / 200

9.3.5 外部干扰分析和整治 / 202

9.4 小基站载波聚合调优 / 204

9.4.1 载波聚合的要求 / 205

9.4.2 载波聚合状态迁移 / 206

9.4.3 载波聚合优化思路和主要参数 / 208

9.5 优化案例 / 211

9.5.1 同步问题 / 211

9.5.2 覆盖问题 / 213

9.5.3 接入类问题 / 215

9.5.4 重选及切换问题 / 220

9.5.5 速率问题 / 223

9.5.6 语音业务问题 / 231

Chapter 10

第10章 典型案例 / 237

10.1 室内外综合覆盖网络规划案例 / 239

10.1.1 苑中园综合覆盖规划案例 / 240

10.1.2 洪都四区综合覆盖规划案例 / 247

10.2 室外小基站工程建设案例 / 254

10.2.1 时代华城项目建设背景 / 254

10.2.2 时代华城项目建设方案 / 255

10.2.3 时代华城项目覆盖效果对比 / 256

10.3 室内小基站工程建设案例 / 257

缩略语 / 262

第1章

Chapter 1

概述