

信息与通信网络技术丛书

室内分布系统规划 设计手册

**Planning and Design of Indoor
Distribution System**

广州杰赛通信规划设计院 ◎ 主编

结合实际工程问题和实地调研数据,快速有效地了解和把握
室内分布系统的规划设计、优化维护和工程管理工作



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

信息与通信网络技术丛书

室内分布系统规划 设计手册

Planning and Design of Indoor
Distribution System

广州杰赛通信规划设计院◎主编



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

室内分布系统规划设计手册 / 广州杰赛通信规划设计院主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2016. 4
(信息与通信网络技术丛书)
ISBN 978-7-115-41513-4

I. ①室… II. ①广… III. ①码分多址移动通信—通信系统—技术手册 IV. ①TN929.533-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第022292号

-
- ◆ 主 编 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>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.25 2016 年 4 月第 1 版
字数: 376 千字 2016 年 4 月北京第 1 次印刷
-

定价: 59.00 元

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

本书编委会

主 任：孙义传

副主任：沈文明 朱南皓 程 敏 李建中

孟新予 唐开华 王 俊

委 员：徐永军 张艳芹 丁 超 吴学艳

杜 东 钱 林

内 容 提 要

本书首先对当前无线网络的室内覆盖进行了概要分析,然后介绍了室内分布系统的结构和使用器件,接着对室内分布系统的规划设计、优化维护、建设策略以及工程管理等进行了阐述,最后对室内分布系统新技术手段和趋势进行了分析和展望。

本书共分 10 章,第 1 章为室内无线通信规划设计概述,第 2 章介绍室内分布系统结构,第 3 章讲述室内分布系统器件,第 4 章阐述室内分布系统规划设计,第 5 章介绍面向 LTE 的室内分布系统建设,第 6 章是多系统共存室内分布系统设计,第 7 章为室内分布系统优化,第 8 章介绍室内分布系统典型场景的应用解决方案,第 9 章讲解室内分布系统的工程建设管理,第 10 章分析室内分布系统的新技术手段和发展趋势。

本书内容翔实、深入浅出、系统全面,适合从事室内分布系统规划设计、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。

一、室内覆盖发展历程

从1995年商用至今的二十余年,室内覆盖总体上可分为3个具有代表性的阶段,即初期补盲阶段、优化发展阶段以及协同规划阶段。

(1) 初期补盲阶段。国内的民用移动通信业务起步于1995年,网络建设当时的目标主要是实现室外的连续覆盖,网上移动用户数量很少,对系统负荷以及业务质量的要求也是偏低的。因此,在移动通信起步的初始阶段还没有对室内覆盖的具体需求。随着移动通信技术的发展,手机的普及以及移动用户数量的逐步增加,用户行为习惯从过去在室内使用固定电话,在室外使用手机,逐步转变为在室内外都使用手机。用户行为习惯的改变,使得建筑物室内的网络覆盖质量越来越受到关注,用户对网络的要求也在不断提升。为了实现各种室内场景下的信号覆盖,刚开始多是直接采用直放站的形式引入室外信源信号,在实际操作中缺乏统一的规划指导,建设方案简单,只要能达到补盲目标覆盖区域的目的并提供语音和短信业务即可,该种方式也一直是网络建设初级阶段的核心建设思路。

(2) 优化发展阶段。在2000—2009年近10年的发展中,随着移动通信技术的不断成熟,移动通信网络布局的逐步完善,移动用户数量获得了持续稳定的快速增长。同时,伴随着计算机、IT互联网技术的飞速发展,使得只提供语音和短信业务的室内覆盖已不能满足用户的需求。网络的建设不仅要满足不断增长的用户数量和业务需求,还需保障用户接入网络后的通信服务质量要求,并要提供一定的数据接入服务能力。这一阶段,室内网络覆盖建设的重要性逐步得到关注,对其建设的重视程度也逐渐达到与室外网络建设相同的级别。对于所建设的室内覆盖系统,其作用已经不仅仅是补盲,更加关注提升室内网络覆盖质量、有效地吸收话务量,从而分担室外基站的业务负荷。其间,室内覆盖系统开始使用基站(宏蜂窝、微蜂窝等)作为室内覆盖系统的信号源,并且引入监控系统,提升网络运行质量。另外,室内覆盖系统的新技术、新方法不断涌现,如覆盖收缩、小区分裂、多频段引入、新型

设备器件等，也逐步应用到室内覆盖系统的建设中。

(3) 协同规划阶段。2009 年 1 月，工业和信息化部（后面统称工信部）正式向中国移动、中国联通和中国电信三家运营商发放了 3G 牌照，中国正式进入 3G 时代。随后，在 2013 年 12 月工信部又向三家运营商发放了 4G 的 TD-LTE 牌照，并在 2015 年 2 月又向中国电信和中国联通发放了 FDD-LTE 的经营许可。这一阶段的特点是多种制式的通信网络并存，并且频段范围从 GSM 的 900MHz 到 TD-LTE 的 2.6GHz。这就要求在室内覆盖系统设计时需要考虑同时兼容各种制式、各种频段的通信系统。伴随着国家铁塔公司的成立，为深入贯彻国家对电信基础设施共建共享以及节能减排的要求，在提升网络性能的同时，室内覆盖系统逐步要求多制式网络共享合路的方式进行建设，以充分节约投资。与此同时，为提升网络整体效果，各电信运营商也越来越关注室内外网络的协同规划，以及多制式网络的统一规划设计，逐步将室内覆盖系统建设纳入室内外整体网络一并规划。

二、室内覆盖现状

现有的室内覆盖系统由于受到室外基站信号渗入室内的影响，大部分室内业务无法有效吸收，仍被室外宏站分担，所建设的室内覆盖系统利用率不高，进而引发室内覆盖系统建设投资回收周期长、投入产出比低的问题。另外，考虑到现阶段多网络制式的共同接入、共建共享和节能减排的要求，多网融合的室内覆盖建设势在必行。

经过多年对 2G/3G 网络的研究，当前的电信运营企业、科研院所及相关专业公司对传统的室内覆盖规划建设都有了较为深入的认识。但是，为了更好地适应现阶段的 LTE 室内覆盖建设需求和不久的将来的 5G 室内覆盖，就必须充分考虑到当前 LTE 网络以及未来 5G 网络的架构、技术、运行等特点，把现阶段的理论研究成果更多地用于工程实践，以起到良好的指导作用。

除此之外，当前室内覆盖还需要克服一系列的挑战，主要有：室内外无线信号传播预测、容量分析、泄漏控制、切换问题、监控维护以及室内外协同等。由于建设环境复杂，各种室内场景的结构、材料等对移动通信信号的传播会产生很大影响。在业务繁忙、人流密度大的各种大型室内场所，室内覆盖系统的容量可能不足以满足需求。泄漏和切换问题则要求对网络进行优质的规划设计，尽量避免信号的泄漏和频繁的切换。室内覆盖系统监控维护定位困难、实时性差以及物业协调难，导致室内覆盖系统的网络优化和维护工作难度均高于室外网络。室内外协同则要求使用灵活多样的技术手段，对室内外网络进行统一的规划设计。

总体上看，虽然现阶段的室内分布建设尚有不少问题有待解决，但是从未来趋势进行分析，室内覆盖的建设需求仍然迫切。技术手段的不断进步、建设策略的优

化以及管理的规范，都有助于形成更加高效且科学合理的室内覆盖建设体系，从而全面提升网络性能和用户感知。

三、室内覆盖未来发展

从中长期来看，建设室内覆盖系统是电信运营企业增强信号覆盖、提升用户体验感知、优化网络质量和性能的行之有效的手段，对于打造一张全方位综合覆盖的优质网络有重要的保障意义。同时，大力建设室内覆盖还有助于提升品牌效益、增加用户黏性、促进市场发展。但是，由于室内覆盖复杂多变的环境状况和条件限制，要求在控制好经济成本的情况下做好覆盖，同时也要求充分发挥新技术、新方法的优点，提高工程建设质量，产生良好的经济效益。

从室内覆盖的未来发展进一步来看，伴随着移动通信技术的持续发展和演进、移动用户数量的持续增长，海量的信息和数据流量将更为集中地发生在人们活动密集室内区域。网络负荷的加大以及业务需求井喷式的增长，使得室内场景不可避免地成为网络覆盖的热点区域，因此建设更加优质化的室内覆盖也成为必然趋势和要求。

在移动通信覆盖日益重要的大背景下，广州杰赛通信规划设计院在十多年从事室内覆盖系统规划设计所积累的丰富经验的基础上，及时编著了该本《室内分布系统规划设计手册》，将为移动通信网络建设同仁提供宝贵的参考借鉴。

中国电子学会广东分会天线与电波传播专业学会主任委员
广州杰赛科技股份有限公司总裁

 杨锦华 博士

前言

随着移动通信技术的不断发展,近年来呈现出移动网络制式不断演进、智能手机高度普及以及基于无线通信的应用程序大量涌现的趋势。人们不仅对室外无线通信有较高的用户体验要求,而且对室内环境中的无线通信质量也有了更高的要求,这是由于现代生活中的信息化程度越来越高,而与生产、交流及日常生活相关的活动大多数都已经是在室内环境中发生的。因此,室内无线覆盖的优劣正日益受到重视。国外领先的运营商基于大数据的研究结果表明,有70%以上的话务量和90%以上的数据业务量都是在室内场景发生的。因此,为了满足室内通信日益增长的需求和不断提升用户感知,搭建优质的室内覆盖环境、增强室内场景的无线覆盖质量具有非常重要的意义。

本书基于当前室内分布(简称室分)系统规划设计的实际工作情况,首先对室分系统的组成架构进行了描述,然后全面详细地分析了室分系统规划设计的整体思路和方法,并对面向LTE的室分系统规划设计及多制式室分系统设计进行了阐述。同时,还就室分的网络优化、室分典型应用场景解决方案、室分工程建设管理进行了深入的探讨。最后,通过对现代室分规划建设中采用的各种新技术手段的描述,展望了未来室分的发展趋势。

全书分为10章。第1章概述了当前室内无线通信的总体发展趋势和重要性,并对室内无线覆盖的现状和挑战进行了分析,同时介绍了适用于室内无线覆盖的基础规划设计理念。第2章立足于室内分布系统的结构特征,按照有无源分类、信源分类、传输媒介分类以及建设模式分类对室内分布系统进行了详细的描述。第3章系统地介绍了室内分布系统中所使用的器件,涵盖了室分信源、室分无源器件、室分有源器件以及室分天线。第4章阐述了室内分布系统方案的全过程规划设计思路,介绍了室分系统的规划设计原则和 workflows,并对室分系统的信源设计、容量设计、无线传播理论、天馈线规划、信号外泄控制、小区规划、电源设计以及先进设计工具的使用方法和特点进行了分析和探讨。第5章聚焦于面向LTE的室内分布系统

建设,就当前 LTE 室分覆盖所面临的挑战、LTE 室分的建设策略以及 LTE 室分网络性能的影响因素进行了详细的分析和说明。第 6 章重点梳理多制式共存的室内分布系统设计,具体分析了室分多系统的干扰原理,并进行了多系统共享时隔离度的计算,最后还对多系统合路的设计关注点和多系统共存的未来演进趋势进行了探讨。第 7 章针对室内分布系统的网络优化从室分优化原则、流程、评测标准、优化整改、优化改造、多系统协同优化以及室内外协同优化等方面进行了综合的分析说明。第 8 章详细描述了室分系统典型场景的应用解决方案,主要分析的场景包含交通枢纽类场景、大型场馆类场景、商务楼宇类场景、住宅小区类场景、学校学院类场景以及其他类常见场景。第 9 章主要是进行室内分布系统的工程建设管理分析,分别就室分工程造价成本分析、室分工程全过程管理以及室分工程施工建设要求三大内容进行了论述。第 10 章介绍了当前室内分布系统采用的新技术手段和发展趋势,并重点分析了新型 DAS 系统、Small Cell 技术、室内外综合覆盖、CATV 多网融合以及 Wi-Fi 技术对未来室分建设可能产生的影响。

本书由广州杰赛通信规划设计师院的朱南皓博士、吴学艳、丁超、张艳芹、徐永军、杜东、钱林共同编著。朱南皓博士编写第 1、2、8、9、10 章并对全书进行统稿和资料收集整理;吴学艳编写第 3 章;丁超编写第 4 章;张艳芹编写第 5 章;徐永军编写第 6 章;杜东、钱林编写第 7 章。

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,杰赛设计院的无线专业总工程师敏、李建中,以及网优专业总工唐开华还对本书章节进行了审阅并对本书的编写提供了指导。在此,对他们的支持和帮助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,达到理论联系实际的目的,使读者能在较短的时间内快速有效地了解和把握室分系统的规划设计、优化维护和工程管理工作,以及充分了解新技术、接触新理念。因此,本书适合从事室分系统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

目 录

第 1 章 室内无线通信规划设计概述	1
1.1 移动通信发展总体概述	1
1.2 室内覆盖的重要性	3
1.3 室内覆盖现状及策略分析	4
1.4 室内覆盖面临的挑战	7
1.4.1 室内传播问题	7
1.4.2 容量问题	8
1.4.3 泄漏问题	8
1.4.4 切换问题	8
1.4.5 高层问题	9
1.4.6 监控维护问题	9
1.4.7 室内外协同问题	9
1.4.8 LTE 室内覆盖问题	10
1.5 室内无线覆盖基础规划设计	11
参考文献	13
第 2 章 室内分布系统架构	14
2.1 室内分布系统简介	14
2.2 基于有无源分类的室内分布系统	15
2.2.1 无源室内分布系统	15
2.2.2 有源室内分布系统	16
2.3 基于信源分类的室内分布系统	17
2.3.1 宏蜂窝接入室内分布系统	17
2.3.2 微蜂窝接入室内分布系统	17
2.3.3 分布式接入室内分布系统	18

2.3.4	直放站接入室内分布系统	18
2.4	基于传输媒介分类的室内分布系统	19
2.4.1	同轴电缆室内分布系统	19
2.4.2	泄漏电缆室内分布系统	19
2.4.3	混合式光纤室内分布系统	20
2.4.4	混合式五类线室内分布系统	21
2.5	基于建设模式分类的室内分布系统	22
2.5.1	单通道室内分布系统	22
2.5.2	双通道室内分布系统	22
	参考文献	23
第3章	室内分布系统器件	24
3.1	室分系统器件概述	24
3.2	室内分布系统信源	25
3.2.1	宏蜂窝基站	25
3.2.2	微蜂窝基站	25
3.2.3	分布式基站	26
3.2.4	直放站信源	26
3.2.5	室内分布系统信源小结	27
3.3	室内分布系统无源器件	27
3.3.1	单位计算	28
3.3.2	功分器	29
3.3.3	耦合器	30
3.3.4	合路器	33
3.3.5	电桥	34
3.3.6	衰减器	35
3.3.7	馈线	36
3.3.8	接头	38
3.4	室内分布系统有源器件	40
3.4.1	POI	40
3.4.2	干放	41
3.5	室内分布系统天线	42
3.5.1	全向吸顶天线	44
3.5.2	定向吸顶天线	45
3.5.3	定向壁挂天线	45

3.5.4	对数周期天线	46
3.5.5	泄漏电缆	46
	参考文献	49
第4章	室内分布系统规划设计	50
4.1	室内分布系统设计总体原则	50
4.1.1	工程设计原则	50
4.1.2	各制式网络技术指标	51
4.2	室内分布系统设计总体流程	56
4.2.1	初勘	57
4.2.2	初审	57
4.2.3	精勘与方案设计	57
4.2.4	方案评审	58
4.2.5	设计变更	59
4.3	室内分布系统勘测设计	59
4.3.1	查勘阶段	60
4.3.2	设计阶段	62
4.4	信源规划设计	64
4.4.1	信源设计原则	64
4.4.2	信源选取分析	65
4.5	室内容量设计	66
4.6	室内无线传播	67
4.6.1	室内无线传播特点	67
4.6.2	室内无线传播模型	68
4.6.3	室内传播模型小结	73
4.7	天馈规划布局	73
4.7.1	天线口功率设置要求	73
4.7.2	天线布放要求	74
4.7.3	各场景天线点位设置建议	74
4.8	室内切换与外泄控制	75
4.8.1	泄漏控制	75
4.8.2	切换设置	76
4.9	室内分布系统小区规划	77
4.9.1	邻区规划	77
4.9.2	频率规划	77

4.9.3 扰码规划	78
4.10 室内分布系统电源设计	78
4.10.1 供电系统	79
4.10.2 接地与防雷	80
4.11 室内覆盖设计工具	81
4.11.1 室分设计软件	81
4.11.2 室分仿真软件	82
参考文献	86
第5章 面向LTE的室内分布系统建设	88
5.1 LTE室内覆盖挑战	89
5.1.1 LTE频段高	89
5.1.2 设计复杂	90
5.1.3 LTE室内分布系统建设施工难度大	90
5.1.4 现有室内分布系统的改造利旧	91
5.1.5 多系统建设	92
5.1.6 节能减排	92
5.2 面向LTE的室内分布系统	92
5.2.1 LTE室内分布系统建设目标	93
5.2.2 LTE室内分布系统设计原则	93
5.3 LTE室内分布系统建设策略	94
5.3.1 LTE室内分布系统单双通道建设模式	94
5.3.2 LTE室内分布系统新建及改造方案	95
5.3.3 LTE室内分布系统多场景覆盖方案	100
5.3.4 LTE室内分布系统运营维护策略	105
5.4 LTE室分系统网络性能影响因素	106
5.4.1 多系统合路影响	106
5.4.2 室分系统器件质量影响	106
5.4.3 LTE室分系统单双通道影响	107
5.4.4 LTE室分系统施工建设过程影响	112
参考文献	112
第6章 多系统共存的室内分布系统设计	113
6.1 室内分布系统共建共享	114
6.2 室内分布多系统干扰原理	115
6.2.1 噪声干扰	115

6.2.2	邻频干扰	116
6.2.3	杂散干扰	117
6.2.4	互调干扰	117
6.2.5	阻塞干扰	117
6.3	室内分布多系统隔离分析	117
6.3.1	移动通信系统频段	118
6.3.2	杂散干扰分析及隔离度计算	119
6.3.3	互调干扰分析及隔离度计算	122
6.3.4	阻塞干扰分析及隔离度计算	124
6.3.5	干扰隔离小结	125
6.4	多系统合路设计	126
6.4.1	路由方案	126
6.4.2	覆盖场强	129
6.4.3	干扰控制	130
6.4.4	设备器件	131
6.5	多系统共存未来演进	132
	参考文献	132
第7章	室内分布系统优化	133
7.1	室内分布系统优化原则和分类	133
7.1.1	工作内容	133
7.1.2	工作要求	134
7.1.3	测试要求	134
7.1.4	优化分类	135
7.2	室内分布系统优化流程	136
7.2.1	室内分布系统通用优化流程	136
7.2.2	室内分布系统专项整治流程	138
7.3	室内分布系统评测标准及方法	139
7.3.1	覆盖评估测试	139
7.3.2	业务性能测试	139
7.3.3	切换成功率测试	141
7.3.4	驻波比测试	142
7.3.5	无源器件抽检	143
7.3.6	天线口输出功率测试	144
7.3.7	双通道功率平衡性测试	144

7.3.8	上行干扰测试	145
7.4	室内分布系统优化问题及方案	145
7.4.1	覆盖问题分析及优化整改方案	146
7.4.2	高质差问题分析及优化整改方案	148
7.4.3	高干扰分析及优化整改方案	148
7.4.4	低接通分析及优化整改方案	148
7.4.5	超低和超高通话务量分析及优化整改方案	152
7.4.6	外泄问题分析及整改方案	152
7.4.7	切换问题分析及整改方案	155
7.4.8	掉话问题分析及整改方案	155
7.4.9	速率问题分析及整改方案	156
7.4.10	重定向问题分析及整改方案	159
7.4.11	CSFB 问题分析及整改方案	160
7.5	室内分布系统优化改造	161
7.5.1	天馈系统改造	162
7.5.2	信源改造与元器件选型	163
7.6	多系统间协同优化	164
7.6.1	多系统间协同部署原则	164
7.6.2	多系统间参数优化	164
7.6.3	多系统间话务优化	166
7.6.4	多系统间质量优化	167
7.7	室内外协同优化	168
7.7.1	室内外协同优化的原则和方法	168
7.7.2	协同提高覆盖率	168
7.7.3	协同提高连接成功率	169
7.7.4	协同降低掉线率	169
7.7.5	协同提高切换成功率	169
	参考文献	170
第 8 章	室内分布系统典型场景应用解决方案	171
8.1	室内场景分类	171
8.2	室内覆盖考虑因素	172
8.3	交通枢纽类场景	172
8.3.1	机场	173
8.3.2	火车站、汽车站	175

8.3.3 地铁及隧道	176
8.4 大型场馆类场景	178
8.4.1 体育场馆	179
8.4.2 会展中心	182
8.5 商务楼宇类场景	183
8.5.1 商务写字楼	184
8.5.2 大型酒店宾馆	186
8.6 住宅小区类场景	187
8.6.1 别墅等高档小区	187
8.6.2 多层小区	188
8.6.3 高层小区	189
8.7 学校校园类场景	190
8.8 其他类场景	192
8.8.1 独立休闲场所	192
8.8.2 沿街商铺	194
8.8.3 地下车库	194
8.9 各场景覆盖手段小结	195
参考文献	197
第9章 室内分布系统工程建设管理	198
9.1 室内分布系统工程造价成本分析	198
9.1.1 工程项目建设成本结构	199
9.1.2 信源设备费用分析	200
9.1.3 室内分布系统费用分析	201
9.1.4 成本分析小结	207
9.2 室内分布系统工程全过程管理	207
9.2.1 预规划阶段	208
9.2.2 需求确认阶段	209
9.2.3 立项阶段	210
9.2.4 设计阶段	211
9.2.5 施工阶段	213
9.2.6 验收交付阶段	214
9.3 室分工程施工建设要求	216
9.3.1 线缆类施工建设要求	217
9.3.2 器件设备类施工建设要求	219