

室内无线通信技术原理与工程实践

SHINEI WUXIAN TONGXIN JISHU YUANLI YU GONGCHENG SHIJIAN

赵 培 李 凯 张需溥 等/编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

室内无线通信技术原理与工程实践

赵 培 李 凯 张需溥 等/编著



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

本书全景式地介绍了室内无线通信技术原理及工程实践。全书共分 12 章,在选材上面向室内覆盖的整个生命周期,详细介绍了通信体制、技术原理、规划设计、工程建设和网络优化等重点环节的相关知识。

本书内容涵盖了 LTE、3G、2G、WLAN 等多种技术体制,并融入了室内多网协同、小基站(Nanocell、Lampsite 等)、无源器件质量、直放站调测、网络质量评估、室内自动路测等热点问题。本书各章中均备有一定的例题或案例,以便于读者理解关键知识点;书后还附有各章习题,可供作为教科书及技术培训使用。

本书强调技术与工程的结合,适合作为高等院校通信工程、电子信息工程、计算机科学与技术等专业本科生、工程硕士、专科生和高职高专生的专业基础课教材,也可供通信网络运营商、通信设备制造商、通信工程施工企业、室内网络优化企业、通信工程培训机构等单位内部培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

室内无线通信技术原理与工程实践 / 赵培等编著. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2015.1
ISBN 978-7-5635-3862-1

I. ①室… II. ①赵… III. ①无线电通信—通信技术—研究 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 243920 号

书 名:室内无线通信技术原理与工程实践

著作责任者:赵 培 李 凯 张需等编著

责任编辑:刘 颖

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283926

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京联兴华印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:27

字 数:688 千字

印 数:1—2 000 册

版 次:2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-3862-1

定 价:56.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

长期以来室内一直是无线通信业务量发生的主要场所,业界一直广为流传室内话务量占比至少 60% 的说法。随着移动互联网时代的到来,这种趋势更为明显。宋代大儒欧阳修曾言:“余平生所作文章,多在三上,乃马上、枕上、厕上也。”目前,微博、微信等数据业务的热点区域也往往产生于车站、地铁、写字楼、居室甚至卫生间等泛室内场景。

毋庸置疑,室内无线通信系统也已经成为移动通信产业链上的重要环节。随着 4G 网络大规模建设的到来,室内覆盖的设备制造、工程建设、运营维护等工作都面临着产业变迁,室内覆盖从业人员也需要不断更新知识。

本书编者分布在室内无线通信领域的高校教学、产品研发、规划设计和网络优化等不同领域,亲历了近年来室内无线通信产业界的种种变革和最新实践,为业界提供一本全景式的参考书是大家共同的愿望。本书部分内容曾经在编者各自所承担的高校教学、师资培训、专题内训和前沿讲座等场合使用过,并且根据多轮反馈进行了修订。本书一共有 12 章,可分为三个部分:

第一部分包含第 1~4 章,介绍室内无线覆盖工程实践中经常用到的通信理论和技术体制,包括无线频谱分配、室内电磁传播、无线组网基础概念以及 2G、3G、4G、WLAN 等常见无线通信系统的技术特点,这些知识是提升工程方案价值的依据和指南。

第二部分包含第 5~7 章,介绍组建室内无线组网所需硬件的技术原理和应用特点,包括以一体式基站、分布式基站和小基站为代表的信源设备,以数字光纤直放站、干放等为代表的有源放大设备,以天线、功分器、耦合器、电桥等为代表的无源器件,并特别给出了这些设备在实际应用过程中的注意事项。

第三部分包含第 8~12 章,介绍室内网络规划设计、工程建设和网络优化三个重要环节中的工程技术和典型案例,其中,LTE 室分网络设计、室内共建共享 POI 系统、不同制式的网络优化案例等问题均做了重点描述。

本书在每一章后面均配有一定量的习题,读者可以通过这些习题对所学知识进行巩固,加深理解;后续还将通过北京邮电大学出版社网站(<http://www.buptpress.com/>)提供教学幻灯片及实验辅导工具等配套资料。这些资料会形成一个完整的体系,为院校教学和企业内训提供便利。

本书既可作为大专院校通信工程、电子信息工程、计算机科学与技术等专业本科生、工程硕士、专科生和高职高专生的专业基础课教材,也可以作为通信网络运营商、通信设备制造商、通信工程施工企业、室内网络优化企业、通信工程培训机构等单位的内部培训资料,还可供室内无线覆盖工程的广大从业者作为案头常备参考书。

全书的统筹和校审由赵培负责,具体分工如下:第 1、4、5、8、9 章由赵培、李凯、张需溥、陈庆涛等共同编写,第 2、3 章由崔高峰、赵培、隋延峰等共同编写,第 6、11、12 章由李凯、曾二刚

等共同编写,第7、10章由张需溥、赵培等共同编写。梁童、周兴伟等提供了部分章节的原始素材,龙妮娜、王维、黄超等审阅了部分章节,张钰、李玉婵、郝城锋、李洋、刘晓园等人在勘误过程中也提供了令人难忘的帮助。

编者还要特别感谢高鹏、孟德香、李楠、沈忱、李冶文、谭步律、胡恒杰、周兴围、罗建迪、金文研、王彬、焦卫平、董姆、卜振钊、赵云峰、王大鹏、张俪、路怡、李爱成、胡志东、曾伟超、万朝晖、黄景民、林学进、韩春根、林轶樑、张吓弟、叶强、李晓明、李俊杰、赵承东、湛颖、蔡万强、范政、王波、李军、李莉莉、王晓磊、杨大成、杨鸿文、王卫东、韦再雪、吕文俊、曹伟、陈金虎等师友就室内覆盖领域专题研究或工程实践所曾给予的帮助和启发。

需要特别声明的是:相关表述纯属个人专业探讨,并不代表我们过去或将来所服务公司的立场或意见。同时,编者还要向所引文献的全部作者的原创工作表示诚挚的谢意!在编写过程中参考和引用了国内外很多书籍和网站的相关内容,由于涉及内容较多,未能一一列举,在此一并感谢!

需要注意的是:室内覆盖并不一定完全通过室内(外)分布系统来解决;近年来,借助宏站特型天线、小基站等手段设计的“室外覆盖室内”或“室内外联合覆盖”等解决方案也在不断实践完善中;此外,分布系统的末端也正在趋向有源化,未来,依托分布系统反馈的位置信息向用户提供更加精准的通信业务也将成为现实。

由于时间仓促、学识有限,书中不足和疏漏之处难免,恳请广大读者将意见和建议通过北京邮电大学出版社反馈,以便在后续版本中不断完善。

编者

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 无线通信室内覆盖方案的技术要素	1
1.1.1 信源种类	1
1.1.2 信源属性	2
1.1.3 传输介质	3
1.1.4 天线布局	4
1.1.5 典型场景下的方案选择	6
1.2 典型室内信号分布系统	7
1.2.1 室内电缆分布系统	7
1.2.2 室内光纤(光电混合)分布系统	10
1.3 无线通信室内覆盖的发展趋势	11
1.3.1 共建共享	11
1.3.2 无线光纤分布系统	12
1.3.3 室内外协同通信	13
本章参考文献	13
第 2 章 无线通信理论基础	14
2.1 无线通信频谱分配	14
2.1.1 无线电频谱简介	14
2.1.2 陆地公众移动通信可用频谱分配	15
2.2 室内环境的电磁传播	18
2.2.1 无线通信环境和传播信道	19
2.2.2 室外信号向室内的电磁传播	20
2.2.3 室内电磁传播的经验模型	29
2.2.4 室内电磁传播的确定性模型	35
2.2.5 室内电磁传播的影响因素	39
2.2.6 室内信号向室外的电磁传播	43
2.2.7 特定空间的电磁传播	44
2.2.8 沿泄漏电缆的电磁传播	46
2.3 室内可见光通信	48
本章参考文献	49

第3章 无线通信技术体制	53
3.1 无线通信组网基础技术	53
3.1.1 小区与大区	53
3.1.2 双工技术	55
3.1.3 复用技术	57
3.1.4 多址技术	59
3.2 GSM 系统基本原理	61
3.2.1 GSM 系统网络结构	61
3.2.2 GSM 帧结构和信道	61
3.3 TD-SCDMA 系统基本原理	64
3.3.1 TD-SCDMA 网络结构	64
3.3.2 TD-SCDMA 帧结构与物理信道	65
3.4 WCDMA 系统基本原理	68
3.4.1 WCDMA 网络结构	68
3.4.2 WCDMA 信道	69
3.5 cdma2000 1x 系统基本原理	70
3.5.1 cdma2000 1x 网络结构	71
3.5.2 cdma2000 1x 物理信道	71
3.6 cdma2000 1x EV-DO 系统基本原理	72
3.6.1 cdma2000 1x EV-DO 网络结构	72
3.6.2 EV-DO 物理信道	73
3.7 LTE 系统基本原理	74
3.7.1 LTE 网络结构	74
3.7.2 LTE 帧结构和物理信道	76
3.7.3 LTE 系统的吞吐量分析	80
3.8 WLAN 基本原理	83
3.8.1 WLAN 的网络结构	83
3.8.2 WLAN 技术原理与参数	84
3.9 CMMB 基本原理	85
3.9.1 CMMB 网络结构	85
3.9.2 CMMB 信道	85
3.10 CATV 基本原理	86
本章参考文献	87
第4章 无线通信中的噪声与干扰	88
4.1 无线通信中的噪声	88
4.1.1 噪声的分类	88
4.1.2 噪声系数	91
4.1.3 接收机灵敏度	93

4.2 无线通信中的干扰	95
4.2.1 与收/发信机性能指标有关的干扰	95
4.2.2 系统组网中出现的射频干扰	103
本章参考文献	119
第5章 信源设备	120
5.1 概述	120
5.2 一体式基站	120
5.2.1 宏基站	121
5.2.2 微蜂窝	122
5.2.3 一体化微站	122
5.3 分布式基站	123
5.3.1 系统原理	123
5.3.2 主要特点	124
5.3.3 应用场景	125
5.3.4 三层架构分布式基站	126
5.4 小基站	127
5.4.1 系统原理	127
5.4.2 主要特点	128
5.4.3 应用场景	129
5.4.4 Nanocell	130
5.4.5 超小型室内点系统	132
5.5 中继站	132
5.6 LTE-Hi 设备	135
5.7 WLAN 设备	136
5.7.1 系统原理	136
5.7.2 WLAN AP 及 AC 设备	137
5.7.3 胖 AP 和瘦 AP	139
5.7.4 应用场景	140
5.8 信源设备的工程应用技术	140
5.8.1 室分系统的信源功率	141
5.8.2 分布式基站与 GRRU 比较分析	142
5.8.3 LTE 信源设备的演进与升级	143
本章参考文献	145
第6章 有源设备的性能指标与应用	147
6.1 概述	147
6.1.1 简述	147
6.1.2 直放站的分类	147
6.1.3 直放站的性能指标	147

6.1.4 直放站行业标准	149
6.2 典型有源设备	150
6.2.1 干线放大器	150
6.2.2 模拟无线直放站	152
6.2.3 模拟光纤直放站	153
6.2.4 数字光纤直放站	155
6.2.5 射频接入型光纤分布系统	158
6.2.6 数字无线直放站	162
6.2.7 微波拉远系统	164
6.2.8 飞地压扩系统	166
6.2.9 CMMB 直放站	167
6.3 有源设备工程应用关键技术	168
6.3.1 干线放大器的使用	168
6.3.2 无线直放站的信号源选择	169
6.3.3 无线直放站的隔离度估算	170
6.3.4 模拟光纤直放站的拉远距离	171
6.3.5 直放站对基站上行噪声的影响分析	171
6.3.6 GSM 时间色散	174
6.3.7 CDMA 直放站引入与搜索窗优化	175
6.4 直放站的优化和维护	178
6.4.1 直放站的优化	178
6.4.2 直放站的维护	180
6.5 直放站的监控技术	181
6.5.1 概述	181
6.5.2 监控组网结构	181
6.5.3 监控传输方式	182
6.5.4 监控系统的接口	182
本章参考文献	183
第 7 章 无源器件的性能指标与应用	184
7.1 概述	184
7.2 射频与微波的基本概念	184
7.2.1 射频常用计算单位	184
7.2.2 无源器件指标定义	185
7.3 典型室内分布无源器件	190
7.3.1 天线	190
7.3.2 功分器	197
7.3.3 定向耦合器	198
7.3.4 电桥	199
7.3.5 滤波器	201

7.3.6 合路器	203
7.3.7 衰减器和负载	205
7.3.8 其他常用器件	206
7.4 无源器件关键指标的测试方法	210
7.4.1 腔体功分器插损和波动测试	210
7.4.2 3 dB 电桥隔离度测试	212
7.4.3 无源互调测试	212
7.5 无源器件工程应用的热点分析	215
7.5.1 无源器件的性能影响因素	215
7.5.2 合路器、功分器和电桥的辨析	217
7.5.3 高品质和普通品质无源器件的应用	218
7.5.4 集成预置室分无源器件	218
本章参考文献	221
第 8 章 室分系统的规划设计	222
8.1 规划设计概述	222
8.2 规划设计流程	223
8.3 规划设计指标	224
8.3.1 GSM	224
8.3.2 WCDMA	225
8.3.3 cdma2000	226
8.3.4 TD-SCDMA	226
8.3.5 LTE	227
8.3.6 WLAN	227
8.3.7 CMMB	228
8.4 规划设计输出	228
8.5 候选站点的选取	229
8.6 勘察及测试	230
8.6.1 楼宇结构勘察	230
8.6.2 楼宇机房勘察	231
8.6.3 网络信号勘察	232
8.6.4 室内覆盖模拟测试	233
8.6.5 室内传播模型校正	235
8.7 信源规划设计	236
8.7.1 信源类型选择	236
8.7.2 业务容量规划	237
8.7.3 小区频率规划	238
8.7.4 分区和分簇规划	240
8.7.5 切换区域规划	241
8.8 覆盖规划设计	244

8.8.1 室内链路预算分析	244
8.8.2 天线口功率及电磁照射强度分析	246
8.8.3 室内天线典型位置设计	247
8.9 室内外协同规划设计	249
8.10 特殊场景的规划设计	251
8.10.1 大型场馆	251
8.10.2 机场	251
8.10.3 地铁	252
8.10.4 隧道	253
8.11 WLAN 系统的规划设计	254
8.11.1 覆盖方式	254
8.11.2 覆盖范围	257
8.11.3 频率规划	258
8.11.4 干扰控制	261
8.11.5 接入能力	262
8.12 CMMB 系统的规划设计	262
8.12.1 覆盖方式	262
8.12.2 技术要求	264
8.12.3 设计原则	264
8.12.4 信源选取	265
8.12.5 室内分配系统举例	265
8.12.6 天线选型与安装	267
8.12.7 传播预测	267
8.13 室分系统的设计工具	268
本章参考文献	271
第 9 章 LTE 室分系统的规划设计	272
9.1 LTE 室分系统的网络规划	272
9.1.1 建设方案	272
9.1.2 规划要点	277
9.2 LTE 室分系统的方案设计	280
9.2.1 双路天线布放间距设计	280
9.2.2 双路功率平衡设计	281
9.2.3 无源器件建设及改造	282
9.3 LTE 室分方案的审核要点	283
9.4 LTE 与其他制式室分融合组网要点	284
9.4.1 TD-LTE 与 TD-SCDMA、GSM 融合组网	284
9.4.2 TD-LTE 馈入收发分缆室分系统以实现双路的可行性	286
9.4.3 FDD LTE 与 CDMA 融合组网	288
9.4.4 FDD LTE 与 WCDMA 融合组网	290

9.4.5 LTE 与 WLAN 融合组网	292
9.4.6 LTE 与 CATV 融合组网(WOC 或 XOC)	294
本章参考文献	295
第 10 章 POI 在室内覆盖中的应用	297
10.1 POI 基本概念	297
10.2 POI 应用	297
10.3 POI 分类	298
10.4 POI 性能要求及构成	300
10.5 POI 监控单元	303
10.6 POI 关键指标	304
10.6.1 隔离度	305
10.6.2 无源互调	307
10.7 TD 和 WLAN 系统接入	308
10.7.1 WLAN 系统接入	309
10.7.2 TD-SCDMA 系统接入	310
10.8 北京地铁 10 号线 POI 系统设计实例	310
10.8.1 无线接入系统方案设计	311
10.8.2 POI 指标确认	313
10.8.3 POI 系统设计	314
10.9 POI 常见故障处理	315
10.9.1 驻波比偏高	315
10.9.2 信号干扰	316
10.9.3 输出功率不平衡	316
10.10 POI 系统建设建议	317
本章参考文献	318
第 11 章 室分系统的工程建设	319
11.1 室分系统的施工工艺	319
11.1.1 有源设备的安装	319
11.1.2 无源器件的安装	320
11.1.3 天线的安装	321
11.1.4 线缆的安装	323
11.1.5 标签	328
11.2 室分系统的验收规范	328
11.2.1 验收内容	328
11.2.2 工艺验收	328
11.2.3 工艺指标验收	330
11.2.4 网络性能验收	331
本章参考文献	331

第 12 章 室分系统的网络优化	332
12.1 室内分布系统常见问题	332
12.1.1 室分系统问题分类	332
12.1.2 室分问题对网络的影响	332
12.2 室内分布系统网络优化流程	336
12.3 网络评估方法	336
12.3.1 数据采集	336
12.3.2 网络评估指标	337
12.4 GSM 室内分布系统的优化	342
12.4.1 覆盖问题	342
12.4.2 干扰问题	342
12.4.3 频繁切换问题	345
12.4.4 信号外泄问题	347
12.4.5 质差问题	347
12.4.6 案例	348
12.5 TD-SCDMA 室内分布系统的优化	350
12.5.1 覆盖问题	350
12.5.2 干扰问题	351
12.5.3 切换问题	352
12.5.4 外泄问题	352
12.5.5 数据业务问题	353
12.5.6 案例	353
12.6 cdma2000 室内分布系统的优化	354
12.6.1 覆盖问题	354
12.6.2 干扰问题	355
12.6.3 切换问题	356
12.6.4 参数问题	356
12.6.5 案例	356
12.7 WCDMA 室内分布系统的优化	358
12.7.1 覆盖问题	358
12.7.2 干扰问题	358
12.7.3 切换问题	359
12.7.4 泄漏问题	359
12.7.5 案例	359
12.8 LTE 室内分布系统的优化	361
12.8.1 覆盖问题	361
12.8.2 干扰优化	362
12.8.3 切换问题	363
12.8.4 接入优化	364

12.8.5 掉话优化.....	364
12.8.6 吞吐量优化.....	365
12.8.7 案例.....	367
12.9 WLAN 室内分布系统的优化	369
12.9.1 覆盖问题.....	369
12.9.2 干扰问题.....	370
12.9.3 容量问题.....	371
12.9.4 功率调整.....	372
12.9.5 参数调整.....	372
12.9.6 SSID 优化	372
12.9.7 案例.....	372
本章参考文献.....	375
全书各章习题.....	376
习题答案.....	389
附录 A mW 与 dBm 的对应关系	397
附录 B 常见通信系统频点	398
附录 C 不同制式杂散指标	406
附录 D 爱尔兰 B 表	408
附录 E 驻波比、回波损耗、传输损耗等的对应关系	411
附录 F 常见同轴电缆参数	414
附录 G 五类线衰减常数.....	415
附录 H 断信源法和双工器法.....	416

第 1 章 概 论

早期的无线通信网络中,用户数量较少,城市建筑结构也相对简单,为了满足用户室内通话需求,可以主要由室外基站对室内进行覆盖;但随着城市建设和移动通信的发展,建筑遮挡越来越严重,手机用户越来越多,室内的覆盖和容量越来越难以满足,因此室内覆盖的技术手段也日益多样化。图 1.1 总结了常见的室内覆盖解决方案,本书将陆续结合不同无线通信技术体制介绍这些方案在工程实践中应用的相关知识。



图 1.1 常用室内覆盖方案

1.1 无线通信室内覆盖方案的技术要素

1.1.1 信源种类^[1]

无线通信室内覆盖的信源主要包括一体式基站、分布式基站、小基站、中继站等多种形态,工程上也往往将直放站并入信源范畴。本书中,常用基站类设备的介绍详见第 5 章,常用直放站类设备的介绍详见第 6 章。

1. 一体式基站信源

一体式基站信源分专门为室内覆盖区域独立承载提供业务量的方式和室内外覆盖区共用基站业务容量的信源接入方式。室内独立提供业务量的方式是采用射频电缆接入方式直接与信号分布系统相连,通过信号分布系统均匀分配至各个天线端口,室内外覆盖区共用基站方式是将基站多余业务量部分地转移到室内覆盖区,实现室内有效覆盖。前者适用于覆盖面积较大或者人流比较密集,业务量相对较高;后者适用于低业务量和较小面积的室内覆盖,同时也适用于高话务量的大型赛事场馆和影院以及地铁的专用覆盖,采用的有源放大设备应设置适当的上下行增益,最大限度地减少基站的噪声引入。

2. 分布式基站信源

分布式基站又称为拉远式基站,该信源话务容量大、组网灵活,能将富余话务容量拉远至定点覆盖区域。传统上该设备分别为射频拉远、中频拉远和基带拉远三种类型。射频拉远和中频拉远是使用射频或中频电缆实现拉远,拉远距离分别为 100~300 m,主要实现本地信源馈送(即机房和天线位于同一个站点);基带拉远传输主要使用光纤进行拉远,传输距离一般可达 5 km 以上,由于光纤损耗小,大大减少干放等设备的使用。除了可以实现本地接入,也能实现远端拉远接入。

3. 直放站馈送信源

采用直放站作为馈送信号源,分为无线空间传送的无线直放站、采用线缆衔接的干线放大器和光纤直放站三种。通过中继接力方式将室外宏基站的信号引入到室内覆盖盲区,共享基站的基带处理能力,该系统常用于室外站承载业务存在富余容量,扩大至室内覆盖范围的应用,用于话务量不高的室内场所如小区多楼宇内的信源接入,在使用无线直放站作为信号源接入时应考虑到周围无线环境影响及宏基站业务容量的限定。采用干线放大器时应考虑与基站衔接射频线缆传输距离,使用光纤直放站可解决传输过程中无线环境影响,但应具备光纤铺设的条件。

4. 直放站拉远系统

直放站拉远系统是在一拖多的光纤直放站组网基础上,带有用于切换、监控载波调度单元的拉远系统,近端机的监控部分能实现与远端机的切换、参数设置、状态查询等功能;可根据业务量的高峰期和低谷期转移这一特点,通过定时或实时控制把施主基站(载波池)载频送往远端站,按时间段预分配地进行载波容量的调配形成新覆盖区。此类设备可防止业务高峰期的拥塞。采用光纤传输接入方式可以克服射频电缆对信号的衰减,不受隔离度问题的限制,根据业务预测需求,合理选取信源基站和频率规划,但需要铺设光纤通路,配置多台设备的供电。

1.1.2 信源属性

根据信源小区的载波或能量是否全部用于室内覆盖系统,还可以将信源分为独立信源和非独立信源。独立信源(图 1.2)是指信源小区的载波全部用于室内分布系统的信源,否则为非独立信源(图 1.3)。

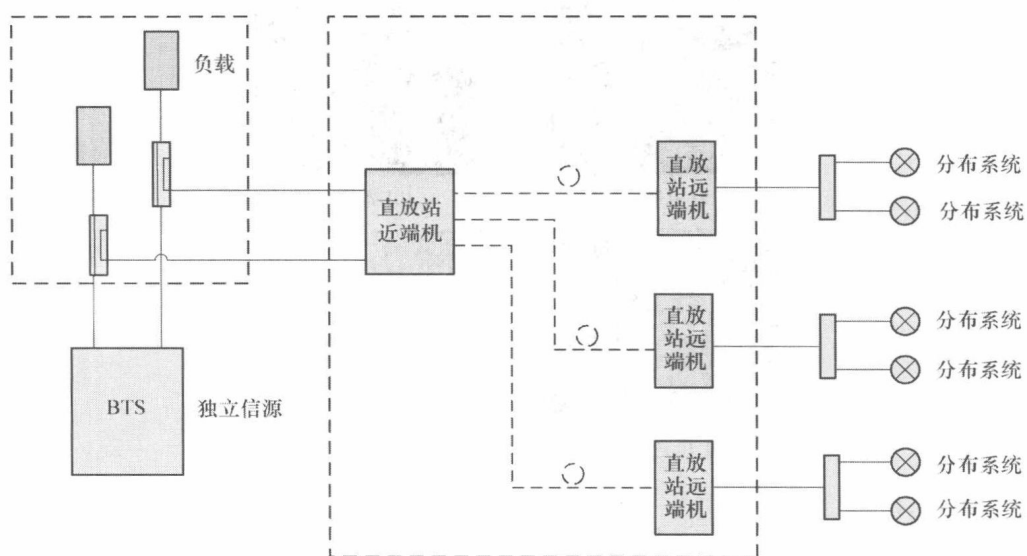


图 1.2 独立信源示意图(虚框内为非必选项)

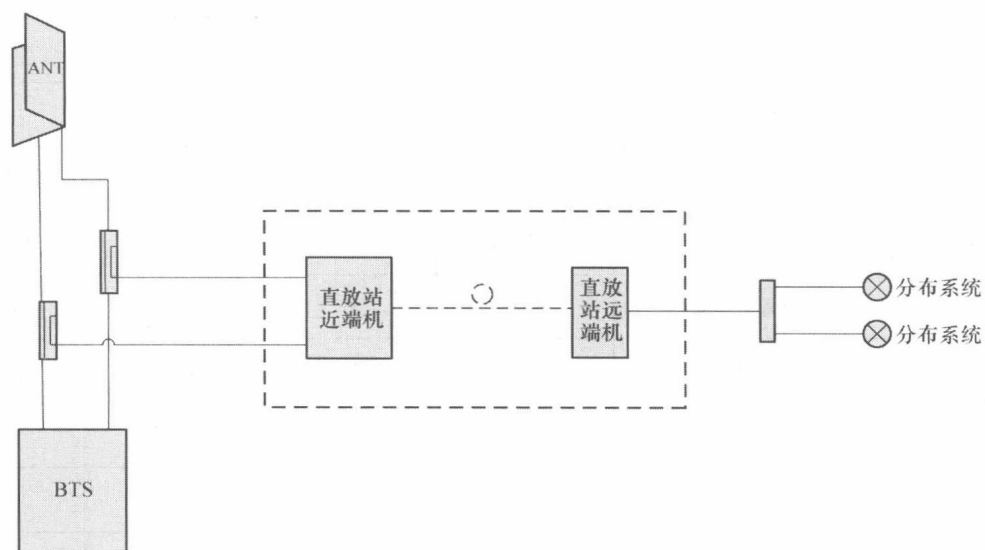


图 1.3 非独立信源示意(虚框内为非必选项)

1.1.3 传输介质

传输介质是指将室分信号从功率设备传送至系统天线的介质,主要包括电缆、光纤、五类线、CATV 四种,如图 1.4 所示,其中泄漏电缆既是传输介质,也是天线,归属电缆。