

Communication
Network Technology

现代通信网络技术丛书

室内分布系统规划与设计

—GSM/TD-SCDMA/TD-LTE/WLAN

- ◇ 本书介绍了四网融合室内分布系统的基本原理与设计建设方案,侧重方法论且兼顾工程性
- ◇ 解决方案分析透彻,理论性和实践性结合紧密,易被读者理解和接受,真正做到学以致用
- ◇ 提供大量现网案例作支撑,具备实用性及可借鉴性

高泽华 高 峰 林海涛 编著
丰 雷 马 瑾



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

现代通信网络技术丛书

Communication
Network Technology

室内分布系统规划与设计

——GSM/TD-SCDMA/TD-LTE/WLAN

高泽华 高峰 林海涛 丰雷 马瑾 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

室内分布系统规划与设计 :
GSM/TD-SCDMA/TD-LTE/WLAN / 高泽华等编著. -- 北京 :
人民邮电出版社, 2013. 1
(现代通信网络技术丛书)
ISBN 978-7-115-29661-0

I. ①室… II. ①高… III. ①码分多址移动通信—通
信系统 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第239327号

内 容 提 要

本书介绍了 GSM/TD-SCDMA/ WLAN/ TD-LTE 四网融合室内分布系统的基本原理与工程设计建设方法, 内容包括无线通信系统基本原理及射频性能、室内信号传播模型、室内分布系统的基本组成和分布方式、多网共用分布系统合路干扰分析、分布系统信源规划及选择、多技术室内分布系统设计流程、TD-LTE 室内分布 MIMO 双通道性能研究及多技术共用分布系统典型场景解决方案。

全书紧扣实际、内容全面且深入浅出, 适合对室内分布系统技术感兴趣的专业人士、工程技术人员以及通信信息领域大专院校学生阅读学习, 也可作为通信企业员工培训教材。

现代通信网络技术丛书

室内分布系统规划与设计——GSM/TD-SCDMA/TD-LTE/WLAN

- ◆ 编 著 高泽华 高 峰 林海涛
丰 雷 马 瑾
- 责任编辑 李 强
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.75
字数: 336 千字
印数: 1-3 500 册
- 2013 年 1 月第 1 版
2013 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-29661-0

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前言

随着我国移动通信事业的不断发展,网络建设逐步深化,室外区域广覆盖已经基本完成,网络深度覆盖逐渐成为运营商关注的重点。建设室内分布系统是改善网络深度覆盖的重要手段,同时又能够有效吸收话务量并提升用户的感知,因此近年来获得了大力发展。

GSM/TD-SCDMA 是现网的主流技术, WLAN 是蜂窝网络的有力补充, TD-LTE 是未来建设重点, 因此中国移动 GSM/TD-SCDMA/WLAN/TD-LTE 四网将长期共存并协同发展。在室内分布系统建设和建设上如何进行四网有机融合, 合理统筹规划, 避免重复建设与施工, 降低系统间干扰成为业界关注的重点。

在多网融合建设的技术背景下，国内各设备厂商积极研发室内分布系统相关设备，各大运营商和设计院正深入探讨建设方案，但是目前国内涉及四网融合室内分布系统建设的书籍与参考资料少之又少。本书的写作目标是以这些需求为基础，提供一个全面的方法论及解决方案体系，对读者具有较高的学习和应用价值。本书介绍了四网融合室内分布系统的基本原理与设计建设方案，侧重方法论且兼顾工程性，内容全面且深入浅出，适合对室内分布系统技术感兴趣的专业人士、工程技术人员以及通信信息领域大专院校学生进行阅读学习。

全书包括 7 章,第 1 章介绍了 GSM/TD-SCDMA/TD-LTE/WLAN 无线通信系统基本原理及射频性能。第 2 章介绍了室内分布系统基本原理,主要包括室内信号传播模型、室内分布系统的基本组成和部署方式。第 3 章介绍了室分多系统共存干扰分析,主要包括室分多系统干扰原理、多系统干扰分析方法、多系统共存条件分析及多系统干扰控制方法。第 4 章介绍了分布系统信源规划及选择,主要包括信源选择、信源功率配置及信源容量估算。第 5 章介绍了多技术室内分布系统设计方法,主要内容包括多网融合室内分布系统的设计指标、设计步骤和方案等。第 6 章介绍了 TD-LTE 室内分布 MIMO 双通道性能研究,主要包括 MIMO 系统的功率分配原理、MIMO 性能影响因素及 MIMO 系统功率不平衡对 TD-LTE 室分网络的影响。第 7 章介绍了多技术共用分布系统典型场景解决方案。

本书由高泽华、高峰、林海涛、丰雷、马瑾策划与编著。高泽华编写第1、第2章并对全书进行统稿；高峰编写第3、第4章；林海涛编写第7章；丰雷编写第5章；马瑾编写第6章。同时，在本书编写过程中，北京邮电大学的严勤文、阎龙、吴震宇、欧阳红升、曹健、孙舒鹏、曾潇协助进行全书资料收集和整理工作，并完成对全书的文字校对和部分内容编写工作，对其辛勤劳动表示感谢。

同时，本书编写过程中得到了中国移动通信集团设计院有限公司北京分公司张明、宗海峰、高宇、丁舒亚，工业和信息化部电信研究院周峰博士、刘淇博士等工程师的支持和帮助，他们对本书内容的取舍、主次均有启发和帮助，在此对他们表示衷心的感谢。

本书的几位作者分别来自北京邮电大学、中国移动通信集团设计院有限公司北京分公司、北京瑞天智讯信息技术有限公司，在书稿撰写过程中得到了相关单位同事、领导的大力支持，再次表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，以及编写时间仓促，加之技术发展日新月异，书中定有不足之处，敬请读者批评指正。

编著者

2012年9月

目 录

第 1 章 无线通信系统基本原理及射频性能

1.1 GSM/TD-SCDMA/TD-LTE/ WLAN 各系统概述	1
1.1.1 第二代移动通信系统 GSM	1
1.1.2 第三代移动通信系统 TD-SCDMA	2
1.1.3 第四代移动通信系统 TD-LTE	3
1.1.4 宽带无线接入技术 WLAN	4
1.2 GSM 系统基本原理	7
1.2.1 GSM 系统空中接口协议	7
1.2.2 GSM 系统射频性能分析	12
1.3 TD-SCDMA 系统基本原理	18
1.3.1 TD-SCDMA 系统空中接口协议	18
1.3.2 TD-SCDMA 系统射频性能分析	29
1.4 TD-LTE 系统基本原理	39
1.4.1 TD-LTE 系统空中接口协议	39
1.4.2 TD-LTE 系统射频性能分析	46
1.5 WLAN 系统基本原理	61
1.5.1 WLAN 系统无线原理	61
1.5.2 WLAN 系统射频性能分析	67
第 2 章 室内分布系统基本原理	79
2.1 室内信号传播模型	79
2.1.1 室内无线环境特点	79
2.1.2 室内传播经验模型	80
2.1.3 室内传播模型校正	83
2.2 室内分布系统概述	85
2.2.1 概念	85
2.2.2 分布系统分类	86
2.3 分布系统组网设备	88
2.3.1 无源设备	89
2.3.2 有源设备	98
2.4 分布系统的结构	102
2.4.1 同轴电缆分布方式	102
2.4.2 光纤分布方式	103

2.4.3 泄漏电缆分布方式	105
2.4.4 五类线分布方式	106
2.4.5 各类分布方式的比较	107

第 3 章 室分多系统共存干扰分析

3.1 室分多系统干扰原理	109
3.1.1 杂散干扰	110
3.1.2 阻塞干扰	112
3.1.3 互调干扰	114
3.2 室分多系统干扰分析方法	117
3.2.1 共用室分场景	117
3.2.2 独立室分场景	118
3.3 多系统共存条件分析	119
3.3.1 共用室分场景的隔离度要求	119
3.3.2 独立室分场景的隔离距离要求	121
3.4 多系统干扰控制方法	123
3.4.1 常用干扰规避措施	123
3.4.2 多系统干扰工程因素规避	125

第 4 章 分布系统信源规划及选择

4.1 信源选择	127
4.1.1 GSM 信源选取	127
4.1.2 TD-SCDMA 信源选取	131
4.1.3 TD-LTE 信源选取	133
4.1.4 WLAN 信源选取	135
4.2 信源功率配置	135
4.2.1 GSM 信源功率配置	135
4.2.2 TD-SCDMA 信源功率配置	137
4.2.3 TD-LTE 信源功率配置	137
4.2.4 WLAN 信源功率配置	137
4.3 信源容量估算	137
4.3.1 GSM 信源容量估算	138
4.3.2 TD-SCDMA 信源容量估算	138
4.3.3 TD-LTE 信源容量估算	139
4.3.4 WLAN 信源容量估算	139

第5章 多技术室内分布系统设计···140

- 5.1 设计指标·····140
- 5.2 多技术室内分布系统设计
 - 总体原则及流程·····142
 - 5.2.1 多技术室内分布系统
 - 设计总体原则·····142
 - 5.2.2 多技术室内分布系统
 - 设计总体流程·····143
- 5.3 设计准备工作·····144
 - 5.3.1 现场资料收集·····144
 - 5.3.2 建设模式确定·····145
 - 5.3.3 室内覆盖分析·····146
 - 5.3.4 室内容量分析·····148
 - 5.3.5 多系统干扰分析·····149
 - 5.3.6 室内外协调·····150
- 5.4 多系统室内分布系统设计方法·····150
 - 5.4.1 信源选取·····150
 - 5.4.2 馈线设计·····151
 - 5.4.3 天线选取及设置·····152
 - 5.4.4 分区与分簇·····154
 - 5.4.5 合路方式·····156
 - 5.4.6 切换区设置·····157
 - 5.4.7 泄漏控制·····157

第6章 TD-LTE 室内分布 MIMO

双通道性能研究·····159

- 6.1 TD-LTE MIMO 系统的功率分配原理···159
 - 6.1.1 TD-LTE 室内覆盖模式·····159
 - 6.1.2 TD-LTE 双通道功率不平衡·····160
 - 6.1.3 理论算法原理·····161
- 6.2 TD-LTE MIMO 性能影响因素·····165
 - 6.2.1 MIMO 系统容量与各天线
 - 间距的依赖关系·····165
 - 6.2.2 天线位置对 MIMO 系统
 - 容量的影响·····168
- 6.3 MIMO 系统功率不平衡对 TD-LTE
 - 室分网络的影响·····169

第7章 多技术共用分布系统

典型场景解决方案·····172

- 7.1 室内场景划分·····172
- 7.2 写字楼场景·····172
 - 7.2.1 场景阐述及业务需求·····172
 - 7.2.2 高层写字楼室内覆盖分布
 - 系统解决思路·····173
 - 7.2.3 天线的选择及设置·····174
 - 7.2.4 小区划分·····175
- 7.3 医院场景·····175
 - 7.3.1 场景阐述及业务需求·····175
 - 7.3.2 天线的选择及设置·····175
 - 7.3.3 信源配置原则·····176
 - 7.3.4 小区划分·····176
- 7.4 居民小区场景·····177
 - 7.4.1 场景阐述及业务需求·····177
 - 7.4.2 天线的选择及设置·····178
 - 7.4.3 小区划分·····180
- 7.5 宾馆酒店场景·····180
 - 7.5.1 场景阐述及业务需求·····180
 - 7.5.2 天线的选择及设置·····180
 - 7.5.3 小区划分·····181
- 7.6 大型体育馆场景·····181
 - 7.6.1 场景阐述及业务需求·····181
 - 7.6.2 体育场馆组网方案·····182
- 7.7 会展中心场景·····184
 - 7.7.1 场景阐述及业务需求·····184
 - 7.7.2 网络建设策略分析·····185
- 7.8 地铁场景·····187
 - 7.8.1 场景阐述及业务需求·····187
 - 7.8.2 无线覆盖建设策略·····189
 - 7.8.3 容量资源配置策略·····190

缩略语·····191

参考文献·····197

第 1 章

无线通信系统基本原理及射频性能

1.1 GSM/TD-SCDMA/TD-LTE/WLAN 各系统概述

1.1.1 第二代移动通信系统 GSM

全球移动通信系统 (GSM, Global System for Mobile Communications), 是由欧洲电信标准化协会 (ETSI, European Telecommunications Standards Institute) 制订的一个第二代 (2G, 2nd Generation) 数字移动通信标准。GSM 技术自 1991 年首次投入商用以来, 已在全球 234 个国家与地区拥有 838 个网络, 用户数量超过 44 亿, 成为当前应用最为广泛的移动通信标准。

GSM 数字移动通信系统源于欧洲。在 20 世纪 80 年代, 欧洲有几大模拟蜂窝移动系统 (1 Generation, 1G) 在运营, 例如北欧多国的 NMT (Nordic Mobile Telephone system, 北欧移动电话) 和英国的全接入通信系统 (TACS, Total Access Communication System)。西欧其他各国也提供移动业务, 但是当时的这些系统彼此间不能兼容, 不支持漫游, 因而用户仅局限于国内使用, 不可能在国外使用。为了方便整个欧洲使用统一的移动电话, 需要一种公共的系统。1982 年, 欧洲邮电管理委员会 (CEPT, Confederation of European Posts and Telecommunications) 成立了一个在 ETSI 下的“移动特别小组” (Group Special Mobile), 开发数字移动通信技术。1987 年, 就泛欧数字蜂窝系统的 GSM 规范达成一致, 1991 年, GSM 900MHz 数字蜂窝移动通信系统在欧洲问世, 从此, 移动通信跨入了 2G 时代。随着设备的不断成熟和数字蜂窝通信网的不断建立, GSM 逐渐成为全球蜂窝移动通信系统的代名词, 即 Global System for Mobile Communications。

相比于第一代通信系统, GSM 具有如下特点。

(1) 频谱效率高。由于采用了高效调制器、信道编码、交织、均衡和话音编码等技术, 使系统具有高的频谱效率。

(2) 容量大。由于每个信道传输带宽增加, 使同频复用载干比要求降低, 故 GSM 系统的同频复用模式可以缩小到 4×3 或 3×3 甚至更小; 加上半速率话音编码的引入和自动话务分配以减小越区切换的次数, 使 GSM 系统的容量效率比 TACS 系统提高了 3~5 倍。

(3) 话音质量与无线传输质量无关。在 900MHz 频带中, 使用时分复用多址接入 (TDMA, Time Division Multiple Access) 全数字的方式工作。鉴于数字传输技术的特点以及 GSM 规范中

有关空中接口和话音编码的定义，信噪比在一定门限值以上时，话音质量总是与无线传输质量无关。

(4) 开放的接口。GSM 标准所提供的开放性接口，不仅限于空中接口，还包括网络之间以及网络中各设备实体之间的接口，例如 A 接口。

(5) 安全性好。通过鉴权、加密和临时移动用户识别码 (TMSI, Temporary Mobile Subscriber Identity) 号码的使用，使系统更为安全。

(6) 可与综合业务数字网 (ISDN, Integrated Services Digital Network)、公共交换电话网络 (PSTN, Public Switched Telephone Network) 互连。与其他网络的互连通常利用现有的标准，如 ISUP 或 TUP 等。

(7) 提供全球漫游。用户可以通过 GSM 系统进行国家网内和跨国界间的漫游，从一个网络自动进入另一个网络。

GSM 网络经过多年的建设运营及维护，已较为成熟和稳定。目前，GSM 网络仍以承载话音、短信等基础业务为主。作为一种商用化达二十余年的技术，GSM 系统依然承载着庞大的用户群，保持着旺盛的生命力。截至 2012 年 9 月底，中国移动拥有 6.23 亿 GSM 用户；中国联通 GSM 用户也达到了 1.62 亿，占据着移动通信市场相当大的比例，并且依然保持着一定的增长速度。此外，中国移动在我国建立的 GSM 基站总数已超过 80 万个，位居全球第一。相信在未来相当长一段时间内，GSM 技术仍大有可为。

1.1.2 第三代移动通信系统 TD-SCDMA

TD-SCDMA，全称为 Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access，即时分双工、同步码分多址接入技术，是第一个由中国提出的，以我国知识产权为主的，被国际上广泛接受和认可的第三代移动通信标准 (3G, 3rd Generation)。

TD-SCDMA 的标准文件由中国无线通信标准组 (CWTS, China Wireless Telecommunications Standards group) 修改完成后，经原国家邮电部批准，于 1998 年 6 月提交到国际电信联盟 (ITU, International Telecommunication Union) 和相关国际标准组织。1999 年 11 月在芬兰首都赫尔辛基举行的 ITU-R 第 18 次会议上，成为 ITU 认可的 3G 无线传输主流标准之一。并于 2000 年 5 月，在土耳其伊斯坦布尔召开的 ITU 全会上获得通过，正式成为 3G 三大主流标准之一。2001 年 3 月 16 日，在美国加利福尼亚州举行的 3GPP TSG RAN 第 11 次会议上，将 TD-SCDMA 列为 3G 系统标准之一，包含在 3GPP Release4 (R4) 中。在 2002 年 10 月 25 日出台的《中国第三代移动通信频谱规划方案》中，TD-SCDMA 标准获得了总计 155MHz (1 880~1 920MHz、2 010~2 025MHz 以及补充频段 2 300~2 400MHz) 的非对称频段。

TD-SCDMA 系统具有以下优点。

(1) 采用时分双工 (TDD, Time Division Duplexing) 技术，易于使用非对称频段，无需具有特定双工间隔的成对频段。

(2) 集码分复用多址接入 (CDMA, Code Division Multiple Access)、时分复用多址接入 (TDMA, Time Division Multiple Access)、频分复用多址接入 (FDMA, Frequency Division Multiple Access)、空分复用多址接入 (SDMA, Space Division Multiple Access) 技术优势于一体。综合利用四种维度资源，通过动态调整得到最优的系统性能。

(3) 通过灵活地改变上下行时隙的比例来调整上下行资源，使系统更适于开展不对称业务。

(4) 采用动态信道分配 (DCA, Dynamic Channel Allocation) 技术，根据用户的需要进行实

时、动态的资源分配,提高频带利用率。

(5) 有效克服了传统 CDMA 系统的呼吸效应。

近年来,随着智能手机的普及,用户对数据流量的需求在快速增长,网络面临着巨大的数据业务的压力,传统的 GSM 网络已经不能满足用户数据业务不断增长的需求。因此,中国移动通过 3G 网络的建设,大力发展 TD-SCDMA 系统来缓解这一压力。TD-SCDMA 系统主要以承载手机终端的移动数据业务为主,并承载部分话音业务。截至 2012 年 6 月底,中国移动 TD-SCDMA 用户总数已经达到 6 707 万户(其中有超过 2 000 万户的 TD 无线座机用户),高于联通 3G 用户数 5 753 万户和电信 3G 用户数 5 096 万户。

目前,中国移动正在对 TD-SCDMA 网络进行扩容。根据计划,中国移动将在 2012 年第三季度完成 TD 第五期建设,计划新增基站 5.3 万个,其中包括 4 万个室外宏基站和 1.3 万个室内分布系统,届时 TD-SCDMA 基站数将累计达到 27.3 万个。此外,中国移动拟定在 TD 第五期建设之后展开 TD 第六期建设,将主要完善室内覆盖,实现到 2014 年 TD-SCDMA 基站达到 40 万个的目标。

1.1.3 第四代移动通信系统 TD-LTE

TD-LTE,全称为 Time Division-Long Term Evolution,即时分双工方式 3G 标准长期演进,属于 3.9 代(3.9G)移动通信技术标准。第三代移动通信合作伙伴组织(3GPP, The 3rd Generation Partnership Project)规定的 LTE 标准有 TDD 和 FDD 两种。TDD 即时分双工,是移动通信技术使用的双工技术之一,与频分双工(FDD, Frequency Division Duplexing)相对应。TDD 方式下的 LTE 标准即为 TD-LTE。

2004 年 11 月在加拿大多伦多召开的 3GPP Long Term Evolution Work Shop 上首次提出了 LTE 的概念。在这次会议上,当时世界主要的运营商和设备厂家提出了对 3GPP UTRA 未来演进的需求,包括空中接口和网络架构。2004 年 12 月 8—10 日在希腊雅典召开的 3GPP RAN#26 全会上,正式决定将 3GPP UTRA 的长期演进作为一个 Study Item 进行研究,评估新的无线空中接口和网络架构。2005 年 6 月在法国召开的 3GPP 会议上,以大唐移动为龙头,联合国内厂家,提出了基于正交频分复用(OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing)的 TDD 演进模式方案,在同年 11 月,在汉城举行的 3GPP 工作组会议通过了大唐移动主导的针对 TD-SCDMA 后续演进的 LTE TDD 技术提案。2006 年 6 月, LTE 的可行性研究阶段基本结束,规范制定阶段开始启动。直到 2008 年 12 月,历时整整 4 年,3GPP 发布了 LTE 的 R8 系列规范,这是第一个 LTE 可商用的标准文本,为 TD-LTE 的后续发展奠定了坚实的基础。随后 3GPP 在 2009 年 12 月发布了 R9 版本,主要是作为 R8 版本的增强和完善。

与 3G 相比,TD-LTE 具有如下技术特征。

- (1) 系统部署灵活,能够灵活支持 1.4、3、5、10、15、20MHz 等多种系统带宽组网。
- (2) 提高了数据速率,在 20MHz 带宽组网情况下,下行峰值速率可达 100Mbit/s,上行峰值速率可达 50Mbit/s(上下行峰值速率不要求同时支持)。
- (3) 提高了频谱效率,下行链路 5bit/(s·Hz),3~4 倍于 R6 版本的高速下行分组接入(HSDPA, High Speed Downlink Packet Access);上行链路 2.5bit/(s·Hz),是 R6 版本高速上行分组接入(HSUPA, High Speed Uplink Packet Access)的 2~3 倍。
- (4) 以分组域业务为主要目标,系统在整体架构上将基于分组交换。
- (5) 服务质量(QoS, Quality of Service)保证,通过系统设计和严格的 QoS 机制,保证实时

业务（如 VoIP）的服务质量。

（6）降低无线网络时延，子帧长度 0.5ms，解决了向下兼容的问题并降低了网络时延（控制面延迟小于 100ms，用户面时延小于 5ms）。

（7）增加了小区边界比特速率。在保持目前基站位置不变的情况下增加小区边界比特速率。

（8）强调向下兼容，支持已有的 3G 系统和非 3GPP 规范系统的协同运作。

TD-LTE 在未来主要承载高速数据业务，并具备承载话音业务功能。目前中国移动已经着手 TD-LTE 网络的大规模试验，在北京、上海、杭州、南京、广州、深圳、厦门、青岛、天津、沈阳 10 城市率先启动 TD-LTE 扩大规模试验，另外补充宁波、成都、福州 3 城市为海峡两岸无线合作城市，进行 TD-LTE 试验网建设，合计在 2012 年完成约 2 万个 TD-LTE 基站建设，兼顾室外和室内覆盖。相信在不久的将来，随着 TD-LTE 的正式商用，用户就能够体验到 3.9G 的高速服务。

1.1.4 宽带无线接入技术 WLAN

WLAN 全称 Wireless Local Area Networks，即无线局域网，是指利用无线通信技术在一定的局部范围内建立的网络，是计算机网络与无线通信技术相结合的产物。WLAN 以无线多址信道为传输媒介，提供传统有线局域网（LAN，Local Area Network）的功能，能够使用户真正实现随时、随地、随意的宽带网络接入。与传统有线网络相比，WLAN 网络具有以下特点。

（1）较强的灵活性和移动性。在有线网络中，网络设备的安放位置受网络位置的限制，而 WLAN 在无线信号覆盖区域内的任何一个位置都可以接入网络。WLAN 也具有一定的移动性，用户在保持连接的同时可以进行低速移动。

（2）覆盖范围广。WLAN 的通信范围不受环境条件的限制，网络的传输范围大大拓宽。

（3）安装简单。WLAN 可以免去或最大限度地减少网络布线的工作量，一般只要安装一个或多个接入点（AP，Access Point）设备，就可建立覆盖整个区域的局域网。

（4）易于进行网络规划和调整。对于有线网络来说，办公地点或网络拓扑的改变通常意味着重新建网。重新布线是一个费时费力的过程，WLAN 可以避免或减少以上情况的发生。

（5）故障定位容易。有线网络一旦出现物理故障，尤其是由于线路连接不良而造成的网络中断，往往很难查明，而且检修线路需要付出很大的代价。无线网络则很容易定位故障，只需更换故障设备即可恢复网络连接。

（6）扩展能力好。WLAN 有多种配置方式，可以很快从只有几个用户的小型局域网扩展到上千用户的大型网络，并且能够提供节点间“漫游”等有线网络无法实现的特性。

WLAN 最通用的标准是电气电子工程师学会（IEEE，Institute of Electrical and Electronics Engineers）定义的 802.11 系列标准。1990 年 7 月，IEEE 成立了 IEEE 802.11 委员会，负责制定无线局域网物理层及媒体访问控制协议标准。经过十几年的发展，IEEE 802.11 逐渐形成了一个家族，其中既有正式标准，也有对标准的修正案。

（1）IEEE 802.11-1997 在 1997 年 6 月获得通过，定义了 2.4GHz ISM 频段的物理层（PHY）和媒质访问控制（MAC，Media Access Control）层规范。需要说明的是，除了 IEEE 802.11F 和 IEEE 802.11T 这两个操作规程建议及 IEEE 802.11-2007 标准之外，以下所有标准都是对 IEEE 802.11 的修正案。IEEE 802.11F 和 IEEE 802.11T 之所以将字母 F 和 T 大写，是因为它们不是标准，只是操作规程建议。

（2）IEEE 802.11a 在 1999 年 9 月获得通过，其引入正交频分复用（OFDM，Orthogonal Frequency Division Multiplexing）技术，定义了 5GHz 频段高速物理层规范。

(3) IEEE 802.11b 在 1999 年 9 月获得通过, 其引入补码键控 (CCK, Complementary Code Keying) 技术对 2.4GHz 频段的物理层进行高速扩展。

(4) IEEE 802.11c 在 1998 年 9 月获得通过, 修订了 IEEE802.1D 的 MAC 层桥接标准, 加入了与 IEEE 802.11 无线设备相关的桥接标准, 目前已经是 IEEE802.1D-2004 的一部分。

(5) IEEE 802.11d 在 2001 年 6 月获得通过, 在 PHY 层加入了必要的需求和定义, 使其设备能根据各国的无线电规定进行调整, 从而能在不适合 IEEE 802.11 现有标准的国家和地区中使用。

(6) IEEE 802.11e 在 2005 年 9 月获得通过, 定义了 MAC 层对服务质量 (QoS, Quality of Service) 支持的特性。

(7) IEEE 802.11F 在 2003 年 6 月获得通过, 定义了接入点互操作协议 (IAPP, Inter-Access Point Protocol), 以实现不同供应商的接入点 (AP, Access Point) 间的互操作性, 确保用户端在不同厂商 AP 间的漫游。它是一个试验用的操作规程建议, 于 2006 年 2 月 3 日被 IEEE 802 执行委员会批准撤销。

(8) IEEE 802.11g 在 2003 年 6 月获得通过, 将 IEEE 802.11a OFDM PHY 扩展到 2.4GHz 频带上, 并且同 IEEE 802.11b 设备保持了后向兼容性和互操作性, 在市场上取得了巨大成功。

(9) IEEE 802.11h 在 2003 年 9 月获得通过。因为美国和欧洲在 5GHz 频段上的规划、应用上存在差异, 制订这一标准的目的是, 为了减少对同处于 5GHz 频段的卫星、雷达的干扰。它在 IEEE 802.11a 的基础上增加了动态频率选择 (DFS, Dynamic Frequency Selection) 和发送功率控制 (TPC, Transmit Power Control) 特性。

(10) IEEE 802.11i 在 2004 年 6 月获得通过, 是 IEEE 为了弥补 802.11 以往脆弱的安全加密功能而制定的修正案, 与 IEEE802.1X 一起, 为 Wi-Fi 提供认证和安全机制。

(11) IEEE 802.11j 在 2004 年 9 月获得通过, 是专门针对日本 4.9~5GHz 无线应用所做的修订, 融合了日本对 IEEE 802.11a 标准的扩展规则。

(12) IEEE 802.11k 在 2008 年获得通过, 其在无线电资源管理方面进行修订, 为 Wi-Fi 信道选择、漫游服务和传输功率控制提供标准。

(13) IEEE 802.11l 由于“11l”字样与安全规范的“11i”容易混淆, 并且很像阿拉伯数字“111”, 因此被放弃编列使用。

(14) IEEE 802.11n 在 2009 年 9 月获得通过, 其同时支持 2.4GHz 频段和 5GHz 频段, 通过使用多输入多输出 (MIMO, Multiple Input Multiple Output) 进行空分复用及 40MHz 带宽操作特性, 使物理层传输速度可达 300Mbit/s, 双频点同时工作最高可达 600Mbit/s, 并可向下兼容 IEEE 802.11b、IEEE 802.11g 标准。

(15) IEEE 802.11o 因为字母“o”与阿拉伯数字“0”很相似, 容易混淆而被保留不被采用。

(16) IEEE 802.11p 在 2010 年获得通过, 是针对汽车无线通信的特殊环境而出炉的标准, 因此 IEEE 802.11p 修正案也称为车载环境下的无线接入 (WAVE, Wireless Access for the Vehicular Environment), 其工作于 5.9GHz 频段, 支持智能交通系统 (ITS, Intelligent Transportation Systems) 的应用。

(17) IEEE 802.11q 由于会与 IEEE 802.1Q 虚拟局域网中继 (VLAN trunking) 混淆, 被保留而不被采用。

(18) IEEE 802.11r 在 2008 年获得通过, 其致力于进行快速基本服务设置转换 (FBSST, Fast Basic Service Set Transition) 的研究, 主要目的是解决延迟性要求较高的应用 (比如话音和视频)

在 AP 之间漫游时的切换问题。其能保证 Wi-Fi 设备在两个 AP 之间的迁移时间少于 50ms，从而满足话音漫游的标准。

(19) IEEE 802.11s 在 2011 年获得通过，其是一个 IEEE 802.11 无线网状网 (WMN, Wireless Mesh Network) 的修订案。它建立在现有的 IEEE 802.11a、b、g 和 IEEE 802.11i 的基础上，同时具有“自动发现”、“自动配置”和“自愈”的功能。

(20) IEEE 802.11T 定义了测试 Wi-Fi 无线性能的方法，以对其性能进行预测。目前已经被撤销。

(21) IEEE 802.11u 在 2011 年 2 月获得通过，其定义了 WLAN 与外部网络 (比如 GSM、EDGE、cdma2000 1X EV-DO、WiMAX) 的互联和集成，它有时也被称为与外网的无线互联 (WIEN, Wireless InterWorking with External Networks)。

(22) IEEE 802.11v 在 2011 年 2 月获得通过，这个标准的目标是实现可管理的 Wi-Fi，改善 Wi-Fi 的可靠性、吞吐量和服务质量，同时增加节能的特性。

(23) IEEE 802.11w 在 2009 年获得通过，其致力于改进 IEEE 802.11 的 MAC 层以提高管理帧的安全性。

(24) IEEE 802.11x 常常被用于表示 IEEE 802.11 系列标准，而且 IEEE 802.11x 容易与基于端口的网络接入控制标准 IEEE802.1x 混淆，因此被保留而不被采用。

(25) IEEE 802.11y 在 2008 年获得通过，其致力于研究使采用 OFDM 技术的 Wi-Fi 设备能够在美国的 3.65~3.7GHz 频段工作，当前这个频段中已经存在多种无线设备。

(26) IEEE 802.11z 在 2010 年 9 月获得通过，致力于直接链接设置 (DLS, Direct Link Setup) 的研究。全名为 IEEE Std. 802.11z-2010。IEEE 802.11z 标准主要定义了客户端之间不通过 AP 相互通信的协议。

目前，WLAN 常见的标准为 IEEE 802.11a/b/g/n。

IEEE 802.11b 使用开放的 2.4GHz 频段，最大数据传输速率为 11Mbit/s，实际传输速率在 5Mbit/s 左右。

IEEE 802.11a 工作在 5GHz 免授权国家信息基础设施 (U-NII, Unlicensed National Information Infrastructure) 频带，避开了拥挤的 2.4GHz 频段，相对 802.11b 来说几乎是没有干扰。物理层最大数据传输速率可达 54Mbit/s，传输层可达 25Mbit/s，是 802.11b 的 5~7 倍。但是 802.11a 不能兼容 802.11b。

IEEE 802.11g 是 IEEE 为了解决 802.11a 和 802.11b 的互通而出台的一个标准，是 802.11b 的延续，同样使用 2.4GHz 通用频段。802.11g 的速率上限已由 11Mbit/s 提升至 54Mbit/s，但由于 2.4GHz 频段干扰过多，在实际传输速率上低于 802.11a。802.11g 的兼容性和高数据速率弥补了 802.11a 和 802.11b 各自的缺陷，一方面使得 802.11b 产品能够平稳向高数据速率升级，满足日益增加的带宽需求，另一方面使得 802.11a 实现和 802.11b 的互通，克服了 802.11a 一直难以进入市场主流的尴尬，因此 802.11g 一出现就获得众多厂商的支持。

IEEE 802.11n 包含了 2.4GHz 和 5GHz 两个工作频段，传输速率 300Mbit/s，最高可达 600Mbit/s，并可向下兼容 802.11b、802.11g。IEEE 802.11n 采用了 MIMO-OFDM、智能天线、软件无线电等多种技术，提高了无线传输质量，提升了传输速率，并使得 WLAN 的兼容性得到极大改善，不但能实现 802.11n 向前后兼容，而且可以与无线广域网络相结合，比如 3G。

目前，IEEE 已经出台了 802.11ac/ad 的新标准。802.11ac 的核心技术主要基于 802.11a，继续工作在 5GHz 频段上以保证向下兼容性，但数据传输通道会大大扩充，在当前 20MHz 的基础上增

至 40MHz 或者 80MHz，甚至有可能达到 160MHz。再加上大约 10% 的实际频率调制效率提升，最终理论传输速度将由 802.11n 最高的 600Mbit/s 跃升至 1Gbit/s。当然，实际传输率可能在 300~400Mbit/s 之间，接近目前 802.11n 实际传输率的 3 倍。

802.11ad 主要用于实现家庭内部无线高清音视频信号的传输，为家庭多媒体应用带来更完备的高清视频解决方案。802.11ad 抛弃了拥挤的 2.4GHz 和 5GHz 频段，而是使用高频载波的 60GHz 频谱。由于 60GHz 频谱在大多数国家有大段的频率可供使用，因此 802.11ad 可以在 MIMO 技术的支持下实现多信道的同时传输，而每个信道的传输速率都将超过 1Gbit/s。据了解，802.11ad 标准的传输速率将达到 7Gbit/s。

在我国，随着 3G 服务的发展，数据业务带来的压力也不断增大，仅仅依靠 3G 网络还不能满足用户不断增长的需求，因此，中国移动利用 WLAN 宽带无线接入技术作为 3G 的一个补充，有效地对 3G 数据业务起到分流及减负作用。WLAN 主要提供室内的热点覆盖，不强调覆盖的连续性，以承载 PC、手机及第三方 Wi-Fi 终端的互联网数据业务为主。

除中国移动以外，中国联通与中国电信均加大了 WLAN 网络的建设力度。2011 年年底，三大运营商部署的无线局域网 AP 设备（无线接入点）总量已超过 300 万台。其中，中国移动约有 220 万台，中国电信约有 70 万台，中国联通约有 20 万台。2012 年年初，中国移动启动了 129 万台 802.11n AP 的招标计划，中国联通招标总量也达上亿元规模。按照中国电信的“无线中国”计划，预计到 2012 年年底，Wi-Fi 热点将达 100 万个，达到 2011 年中期规模的三倍。

1.2 GSM 系统基本原理

1.2.1 GSM 系统空中接口协议

GSM 系统的空中接口即 Um 接口，其定义为移动台（MS，Mobile Station）与基站收发信机（BTS，Base Transceiver Station）之间的通信接口。通过 Um 接口，MS 可以与网络侧进行通信，完成分组数据传送、移动性管理、会话管理、无线资源管理等多方面的功能。GSM 的接口协议如图 1-1 所示。

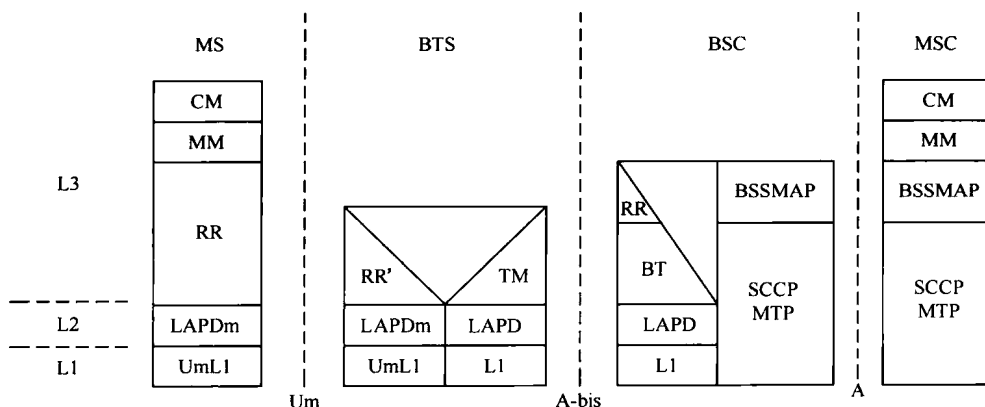


图 1-1 GSM 接口协议

Um 接口协议分为三层，自下而上依次为物理层（L1）、数据链路层（L2）和网络层（L3）。

第一层为物理层,采用时分多址接入(TDMA, Time Division Multiple Access)技术,提供无线链路的传输通道,通过无线电波载体来传送数据,为高层提供不同功能的逻辑信道,包括业务信道和控制信道。

第二层为数据链路层,采用LAPDm协议,将在移动台和基站之间建立可靠的专用数据链路。LAPDm基于ISDN的D信道链路接入协议(LAPD, Link Access Protocol of D-Channel),但是做了修改以应用于Um接口,所以称为LAPDm。

第三层为网络层,主要负责控制和管理的协议,把用户和系统控制过程的信息按一定的协议分组安排在指定的逻辑信道上,它包括三个子层:无线资源管理(RRM, Radio Resource Management)、移动性管理(MM, Mobility Management)和连接管理(CM, Connection Management)。

RRM层:实现无线资源管理,在呼叫期间建立和释放移动台和MSC之间的连接。RRM需要BSS参与处理,这是与CM和MM层的不同之处。

MM层:使用RR提供的无线信道,除个别消息外,MM消息在MS和网络交换子系统(NSS, Network Switching Subsystem)之间透明传输,不需要基站子系统模块(BSS, Base Station Subsystem)参与处理。同时实现移动性和安全性管理,比如位置更新的处理。

CM层:实现通信管理,在用户之间建立连接、维持和释放呼叫,可分为呼叫控制(CC, Call Control)、附加业务管理(SSM, Supplementary Service Management)和短消息业务(SMS, Short Message Service)。

1. 信道

(1) 信道划分。

GSM中的信道分为物理信道和逻辑信道,一个物理信道就是一个时隙(TS, Time Slot),负责传输从逻辑信道映射到物理信道上的消息。逻辑信道分为业务信道(TCH, Traffic CHannel)和控制信道(CCH, Control CHannel)。

业务信道用于传送编码后的话音或客户数据,在上行和下行信道上以点对点(BTS到MS,或反之)方式传播。业务信道载有编码的话音或数据,有全速率业务信道(TCH/F)和半速率业务信道(TCH/H)之分,一个载频可以提供8个全速率信道或16个半速率业务信道。业务信道包括话音业务信道和数据业务信道,具体划分如下。

① 话音业务信道。

TCH/FS: 13kbit/s 全速率话音业务信道。

TCH/HS: 5.6kbit/s 半速率话音业务信道。

② 数据业务信道。

TCH/F9.6: 9.6kbit/s 全速率数据业务信道。

TCH/F4.8: 4.8kbit/s 全速率数据业务信道。

TCH/H4.8: 4.8kbit/s 半速率数据业务信道。

TCH/F2.4: $\leq 2.4\text{kbit/s}$ 全速率数据业务信道。

TCH/H2.4: $\leq 2.4\text{kbit/s}$ 半速率数据业务信道。

控制信道用于传送信令或同步数据,根据所需完成的功能可以分为广播信道(BCH, Broadcast CHannel)、公共控制信道(CCCH, Common Control CHannel)及专用控制信道(DCCH, Dedicated Control CHannel)三种,它们又可细分为如下几种。

① 广播信道(BCH)。

频率校正信道(FCCH, Frequency Correction CHannel): 携带用于校正移动台频率的消息。

属于下行信道，以点对多点（一个 BTS 对多个 MS）方式传播。

同步信道（SCH，Synchronization CHannel）：携带移动台的帧同步（TDMA 帧号）和基站识别码（BSIC，Base Station Identity Code）信息。属于下行信道，以点对多点方式传播。

广播控制信道（BCCH，Broadcast Control CHannel）：广播每个 BTS 的通用信息（SYS Info.）。属于下行信道，以点对多点方式传播。

② 公共控制信道（CCCH）。

寻呼信道（PCH，Paging CHannel）：用于寻呼（搜索）移动台。属于下行信道，以点对多点方式传播。

随机接入信道（RACH，Random Access CHannel）：移动台通过此信道申请分配一个独立专用控制信道（SDCCH，Stand-alone Dedicated Control CHannel），可作为对寻呼的响应或移动台主叫/登记时的接入。属于上行信道，以点对点方式传播。

接入允许信道（AGCH，Access Grant CHannel）：用于为移动台分配一个独立专用控制信道（SDCCH）。属于下行信道，以点对点方式传播。

③ 专用控制信道（DCCH）。

独立专用控制信道（SDCCH）：用于分配 TCH 之前呼叫建立过程中传送系统信令以及传送辅助业务。例如位置更新、鉴权和短消息点对点业务在此信道上进行。包括上行和下行信道，以点对点方式传播。具体又可分为以下两类。

SDCCH/8：独立专用控制信道。

SDCCH/4：与 SDCCH/CCCH 结合使用的独立专用控制信道。

慢速随路控制信道（SACCH，Slow Associated Control CHannel）：它与一个 TCH 或一个 SDCCH 相关，是一个传送连续信息的连续数据信道，如传送移动台接收到的关于服务及邻近小区的信号强度的测试报告。这对实现移动台的切换功能是必要的。它还用于移动台的功率控制和时延调整。包括上行和下行信道，点对点方式传播。具体又可分为以下几种。

SACCH/TF：与 TCH/F 随路的慢速随路控制信道。

SACCH/TH：与 TCH/H 随路的慢速随路控制信道。

SACCH/C8：与 SDCCH/8 随路的慢速随路控制信道。

SACCH/C4：与 SDCCH/4 随路的慢速随路控制信道。

快速随路控制信道（FACCH，Fast Associated Control CHannel）：它与一个 TCH 相关。工作于借用模式，即在话音传输过程中如果突然需要以比 SACCH 所能处理的高得多的速率传送信令信息，则借用 20ms 的话音（数据）来传送。这一般在切换时发生。由于话音译码器会重复最后 20ms 的话音，因此这种中断不会被用户察觉。

小区广播信道（CBCH，Cell Broadcast CHannel）：用于发送公共短消息广播的信道，该信道使用时将占用一个 SDCCH 信道的位置。属于下行信道，以点对多点方式传播。

（2）信道组合。

根据需要，在实际使用时总是将不同类型的逻辑信道映射到同一物理信道上，称为信道组合。常见的信道组合类型有（括号中的数表示子信道号）以下几种。

① TCH/F + FACCH/F + SACCH/TF。

② TCH/H(0,1) + FACCH/H(0,1) + SACCH/TH(0,1)。

③ TCH/H(0) + FACCH/H(0) + SACCH/TH(0) + TCH/H(1)。

④ FCCH + SCH + BCCH + CCCH。

⑤ FCCH + SCH + BCCH + CCCH + SDCCH/4(0,⋯,3) + SACCH/C4(0,⋯,3)。

⑥ BCCH + CCCH。

⑦ SDCCH/8(0,⋯,7) + SACCH/C8(0,⋯,7)。

2. 物理层

Um 接口的物理层将不同的信道映射到 TDMA 帧上,通过无线介质完成传送物理数据单元的功能。

如图 1-2 所示,在 GSM 的 TDMA 中,帧被定义为每个载频中所包含的 8 个连续的时隙 (TS0~7),相当于 FDMA 系统中的一个频道。在每个时隙中,信号以突发脉冲系列的形式发送。

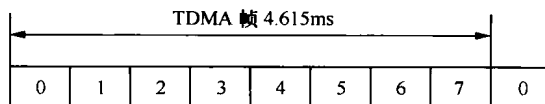


图 1-2 TDMA 帧结构

图 1-3 给出了 TDMA 帧的完整结构,它实质上是在无线链路上不断重复的物理帧。

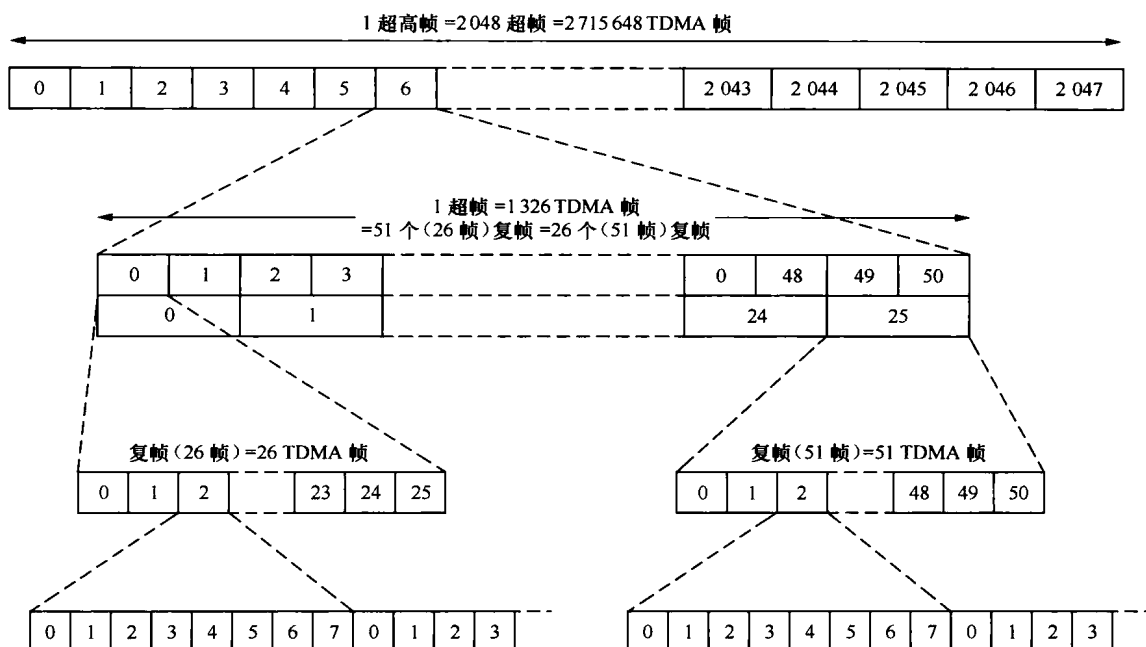


图 1-3 TDMA 详细帧结构

(1) TDMA 帧: 每个 TDMA 帧含 8 个时隙,整个帧时长约为 4.615ms;每个时隙含 156.25 个码元,时隙时长为 0.577ms。

(2) TDMA 复帧 (Multi Frame): 多个 TDMA 帧构成复帧,其结构有两种。

连续的 26 个 TDMA 帧构成的复帧,称为 26 复帧,周期为 120ms,用于业务信道和随路控制信道 (TCH 与 SACCH/FACCH)。

连续的 51 个 TDMA 帧构成的复帧,称为 51 复帧,用于控制信道 (CCH),周期为 $3\ 060/13 \approx 235.385\text{ms}$ 。

(3) TDMA 超帧 (Super Frame): 多个连续的 TDMA 复帧构成超帧,它是一个连续的 51×26 TDMA 帧,一个超帧的持续时间为 6.12s。