

CMP
电信专家

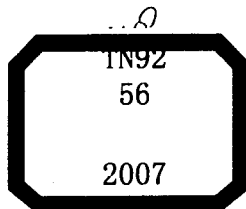
下一代宽带 无线通信系统 OFDM & WiMAX

彭木根 王文博 等编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

CMP
电信专家



下一代宽带无线通信系统 ——OFDM 与 WiMAX

彭木根 王文博 等编著

机械工业出版社

本书详细阐述了未来蜂窝移动通信系统关键技术和基于 IEEE 802.16 的 WiMAX 宽带无线通信系统,介绍了下一代宽带无线通信系统的技术和网络演进、关键技术、标准定义、组网策略、干扰共存等,特别对 WiMAX 宽带无线通信系统的网络架构、物理层协议、MAC 层协议、性能研究、Mesh 机制、网络设计等进行了全面讲解。

本书可供从事下一代宽带无线通信系统,特别是下一代蜂窝移动通信系统和宽带无线城域通信系统的专业技术人员、研究人员、标准化工作者、网络设计和工程优化人员,以及大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

下一代宽带无线通信系统——OFDM 与 WiMAX/彭木根、王文博等编著.
—北京:机械工业出版社,2007.1
ISBN 7-111-20205-8

I. 下 ... II. ①彭 ... ②王 ... III. 宽带通信系统—无线电通信—通信技术 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 126151 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:吉玲 责任编辑:刘星宁 版式设计:张世琴
责任校对:申春香 责任印制:李妍
北京地质印刷厂印刷
2007 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm ·29.5 印张·732 千字
0001—4000 册
定价:55.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294
购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010)88379768
封面无防伪标均为盗版

前 言

在过去的 20 年间,无线通信技术得到了迅猛发展和广泛应用,极大地推动了社会的进步,并对人们的生活方式产生深刻的影响。随着新型移动多媒体业务不断涌现,如何利用有限的无线频率资源提供能够满足人们物质文化需求的宽带移动多媒体业务,对移动通信技术的发展提出了巨大的挑战。为了适应通信技术发展的需求,传统蜂窝移动通信系统向宽带化演进,提出了各种宽带化的移动通信系统演进方案,短期演进方案有 HSDPA、HSUPA、cdma2000 1xEV-DV 等,长期演进方案包括 3GPP 的 LTE、3GPP2 的 AIE 等。不同组织或者区域就未来蜂窝移动通信系统定义了不同的名称和方案,例如国际电信联盟定义了 IMT-Advanced,中国定义了 FuTURE 计划,欧盟定义了各种 IST 计划。

与此同时,宽带无线接入技术的发展极为迅速,各种无线通信领域的先进手段和方法不断引入,使用频段从 2.4GHz 开始向上直至 38GHz 仍在不断扩展,它们融合了许多先进技术,如宽带 OFDM 技术、自适应调制编码技术、高效率频谱成型技术等,以实现更高的频谱利用率、更丰富的业务接入能力、更灵活的带宽分配方法。

总之,未来无线通信系统具有宽带和智能化特征,蜂窝移动通信系统和宽带无线接入系统将不断融合,具体表现在:①协议结构越来越相似,都向扁平化发展;②物理层都以 OFDM 技术为基础;③支持高速数据传输和移动无缝漫游;④业务类型多样化,具有便捷接入特征。目前,有关下一代无线通信系统的定义五花八门,非常有必要就下一代宽带无线通信系统的特征、演进策略、关键技术、协议组成、组网机制、网络设计等进行全面系统的澄清。考虑到目前非常热门的 WiMAX 实际上是未来无线通信系统发展的一个缩影,本书以 IEEE 802.16 协议介绍为主线,贯穿了下一代宽带无线通信系统的方方面面,力求能对未来无线通信系统架构有一个整体的介绍,对基于 OFDM 的核心技术和协议架构有一个完整的讨论。

本书主要介绍和总结了下一代宽带无线通信系统,特别是详细介绍了宽带无线通信系统的网络演进、技术理论基础、网络结构、协议规范、关键技术、算法性能、组网机制、干扰共存等,有部分内容直接来自于我们 [wk1] 长期的研究成果。全书共分 11 章。第 1 章为下一代宽带无线通信系统概述,介绍了未来蜂窝移动通信系统和宽带无线通信系统的演进和发展;第 2 章介绍了未来无

线通信系统的核心技术——OFDM 的理论原理，重点阐述了其关键技术和相应的解决方案；第 3 章详细阐述了 OFDM 技术在未来蜂窝移动通信系统中的应用，就 3GPP 长期演进（LTE）使用 OFDM 进行了详细讲解；第 4 章讨论了 IEEE 802.16 协议的网络架构，给出了 WiMAX 网络组成和空中接口协议规划；第 5 章描述了 IEEE 802.16 物理层协议规划，详细介绍了 4 种物理层协议；第 6 章对基于 OFDM 的 IEEE 802.16 物理层关键技术进行了讨论，并给出了性能结果；第 7 章全面详实地介绍了 IEEE 802.16 媒体接入控制（MAC）层协议组成，并在第 8 章讨论了 MAC 层关键技术以及性能；第 9 章介绍了 IEEE 802.16 定义的无线网状（Mesh）网机制，给出了其关键技术及我们的研究成果；第 10 章是有关 IEEE 802.16 干扰与电磁兼容知识的介绍；第 11 章初步提出了各种 WiMAX 组网策略和网络设计方案。

本书内容是北京邮电大学无线信号处理与网络实验室全体研究人员多年的研究成果。本书主要由彭木根和王文博撰写，周玉芬、李涛、王英杰、王坤、吴振华、刘觅、王月新、张艺、靳頔、孙卓、李勇、陈书平、王荣、盛煜、张巧等参与了部分章节的写作或统稿，啜钢、胡春静、郑侃、彭涛、彭岳星、赵慧对本书内容提出了很多良好建议，在此表示感谢。

本书的部分研究内容得到国家自然科学基金资助，项目名称为下一代无线接入互联网的基础技术研究（编号为 60572120），在此特别表示感谢。在本书的编写过程中，我们还得到了信息产业部、信息产业部频率监测中心、京信通信技术（广州）有限公司、DoCoMo 北京研究中心等单位的大力支持，他们提供了许多宝贵建议和有益帮助，在此表示诚挚的谢意。

考虑到未来宽带无线通信系统标准化工作仍然在进行中，各种方案还在研究和讨论中（例如 3GPP LTE 标准还在讨论中），而 IEEE 802.16e 标准也是刚刚颁发，相关的产品和网络离商用化还有很长的一段路要走，由于标准和产品及相应系统仍有待成熟和完善，再加上作者水平有限，谬误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 宽带无线通信系统概述	1
1.1 蜂窝移动通信系统未来演进	1
1.1.1 HSDPA 技术	2
1.1.2 cdma2000 1x 高速数据传输 演进	5
1.1.3 3GPP LTE 技术	7
1.1.4 IMT-Advanced 标准	10
1.1.5 其他 B3G/4G 标准	13
1.2 宽带无线通信系统	16
1.2.1 无线个域网	16
1.2.2 无线局域网	18
1.2.3 无线城域网	26
1.2.4 无线广域网	28
1.2.5 无线身体域网	30
1.2.6 宽带无线通信系统小结	33
1.3 无线城域网	34
1.3.1 多路多点分布服务	34
1.3.2 本地多点分布服务	37
1.3.3 基于 IEEE 802.16 的 WiMAX 系统	40
参考文献	44
第2章 OFDM 的原理与应用基础	46
2.1 OFDM 概述	46
2.1.1 OFDM 技术应用	47
2.1.2 OFDM 信号和宽带 CDMA 信号 的比较	48
2.1.3 OFDM 技术的主要特征	48
2.2 OFDM 基本原理	50
2.2.1 串并变换	50
2.2.2 子载波调制	51
2.2.3 DFT 的实现	53
2.2.4 保护间隔、循环前缀和子载波 数的选择	54
2.2.5 加窗技术	60
2.2.6 RF 调制	62
2.2.7 OFDM 基本参数的选择	62
2.3 OFDM 技术挑战	64
2.3.1 峰均功率比	65
2.3.2 同步	71
2.3.3 基于 OFDM 的多址接入技术	76
2.3.4 判决引导的信道估计	81
2.3.5 自适应单用户与多用户 OFDM 技术	82
2.3.6 MIMO-OFDM 技术	83
参考文献	85
第3章 宽带蜂窝移动通信系统 OFDM 技术	86
3.1 单载波 OFDM 技术	86
3.1.1 单载波方案概述	87
3.1.2 IFDMA 系统方案	87
3.1.3 DFT-SOFDM 系统方案	92
3.2 基于 OFDM 的 HSDPA 技术	101
3.2.1 频谱兼容性	101
3.2.2 下行链路物理层结构	104
3.2.3 对上行链路的影响	111
3.2.4 切换设计	112
3.2.5 同步设计	114
3.2.6 频率复用及小区间干扰	115
3.2.7 终端的复杂程度	115
3.2.8 对基站的影响	116
3.2.9 对 L2 和 L3 的影响	119
3.3 OFDM HSDPA 性能研究	120
3.3.1 性能评估场景	120
3.3.2 性能评估方法	121
参考文献	133

第5章 IEEE 802.16 物理层协议 174

6.3.3	LS算法和 LMMSE 算法性能 仿真	252	7.3.6	加密方法	318
6.3.4	适合 MIMO-OFDM 系统信道 估计的前导码和导频结构	253	7.3.7	证书配置	320
6.3.5	用前导码和导频作信道估计 的性能仿真	254	7.4	IEEE 802.16e 移动性的支持	321
6.4	IEEE 802.16 自适应技术	256	7.4.1	睡眠模式	321
6.4.1	基本算法	256	7.4.2	扫描和关联	325
6.4.2	一种灵活的功率和比特分配 算法	258	7.4.3	MAC 切换过程	327
参考文献		263	7.4.4	组播广播业务	332
			7.4.5	MS 的空闲模式 (可选)	333
			参考文献		336
第 7 章 IEEE 802.16 MAC 层协议	265		第 8 章 IEEE 802.16 MAC 层性能 研究	337	
7.1	汇聚子层	265	8.1	IEEE 802.16 的 QoS 机制	337
7.1.1	MAC 层 SDU 格式	266	8.1.1	业务流管理	337
7.1.2	分类	266	8.1.2	动态业务流管理	339
7.1.3	净荷报头压缩	266	8.1.3	上行服务流的调度	339
7.1.4	IEEE Std 802.3/Ethernet 特定 部分	270	8.1.4	改进的上行 QoS 架构	339
7.1.5	IEEE Std 802.1Q-1998 虚拟 局域网字段网络特定部分	271	8.2	调度算法简介	340
7.1.6	IP 特定部分	272	8.2.1	有线网络分组调度方法简介	340
7.2	公共部分子层	272	8.2.2	无线调度算法小结	341
7.2.1	MAC PDU 格式	272	8.3	WiMAX 系统仿真平台	344
7.2.2	MAC PDU 的构建和传送	275	8.3.1	系统仿真平台简介	345
7.2.3	调度服务	280	8.3.2	仿真模型	345
7.2.4	带宽请求和分配机制	281	8.4	IEEE 802.16 调度算法研究	349
7.2.5	竞争解决机制	283	8.4.1	WiMAX 分级调度方案	350
7.2.6	MAC 对 PHY 的支持	284	8.4.2	联合调度方案	355
7.2.7	进入网络和初始化	290	参考文献		357
7.2.8	动态服务流管理	292			
7.2.9	自适应调制和编码方式	298	第 9 章 IEEE 802.16 无线 Mesh 机制	358	
7.2.10	MAC 规范对 ARQ/HARQ 的支持	300	9.1	无线 Mesh 技术概述	358
7.2.11	免许可频段的动态频率选择 操作	306	9.1.1	什么是无线 Mesh	358
7.3	安全子层	308	9.1.2	无线 Mesh 特征	359
7.3.1	包数据加密	309	9.1.3	研究现状	360
7.3.2	密钥管理	309	9.1.4	无线 Mesh 与无线自组织 网络	361
7.3.3	安全关联	313	9.2	IEEE 802.16 Mesh 模式	362
7.3.4	安全关联与连接之间的映射	313	9.2.1	Mesh 物理层机制	362
7.3.5	密钥使用	314	9.2.2	随机接入机制	363
			9.2.3	功率控制	366
			9.2.4	调度算法	366

9.3 IEEE 802.16 Mesh 关键机制		10.2.4 容量模型	429
研究	368	10.2.5 小区配置和场景	429
9.3.1 无线 Mesh 网络容量机制		10.2.6 WiMAX 信号质量模型	430
研究	369	10.3 干扰共存参数配置	431
9.3.2 无线 Mesh 网络调度机制		10.3.1 WiMAX 系统仿真参数假设	431
研究	372	10.3.2 信道模型	432
9.3.3 无线 Mesh 网络功率控制机制		10.3.3 仿真方法	433
研究	375	10.4 干扰仿真结果举例	435
9.3.4 无线 Mesh 网络路由机制		10.4.1 WiMAX 系统与 WCDMA 系统	
研究	380	干扰共存	435
9.3.5 无线 Mesh 网络跨层设计		10.4.2 两 WiMAX 系统干扰共存	438
机制	385	参考文献	441
9.4 IEEE 802.16 Mesh 无空间复用			
集中式路由调度机制	391	第 11 章 WiMAX 组网技术和网络	
9.4.1 实时业务的路由和调度	391	设计	442
9.4.2 流媒体实时业务的路由和		11.1 基于 IEEE 802.16 的网络	
调度	395	概述	442
9.5 IEEE 802.16 Mesh 空间复用		11.1.1 IEEE 802.16 宽带无线网络	
集中式路由调度机制	402	应用	443
9.5.1 集中式路由调度问题描述	402	11.1.2 固定无线宽带数据业务的	
9.5.2 路由机制	403	应用模式	444
9.5.3 上下行混合调度	405	11.1.3 IEEE 802.16 的网络发展	
9.5.4 调度实例	405	特征	448
9.5.5 仿真结果	407	11.1.4 IEEE 802.16 技术与其他	
参考文献	412	无线系统融合	448
		11.1.5 WiMAX 组网模式	449
第 10 章 IEEE 802.16 干扰与电磁		11.2 WiMAX 网络演进策略	450
兼容	415	11.2.1 第一阶段	450
10.1 干扰共存研究概述	415	11.2.2 第二阶段	452
10.1.1 基本概念	417	11.2.3 第三阶段	453
10.1.2 干扰共存研究方法	420	11.3 WiMAX 网络设计	454
10.2 WiMAX 系统干扰特性	421	11.3.1 WiMAX 无线接入网设计	454
10.2.1 WiMAX 基站射频参数	422	11.3.2 WiMAX 核心网设计	456
10.2.2 WiMAX 用户站射频参数	426	11.3.3 基站无线互联设计	459
10.2.3 物理层建模	428	参考文献	462

第 1 章 宽带无线通信系统概述

随着信息产业的飞速发展,通信技术和计算机技术的融合已经成为必然趋势,Internet 的出现则更加加快了两种技术的融合。Internet 应用的迅猛发展,以及便携机、个人数字助理(PDA)等移动智能终端的使用的日益增长,给广大用户提供了诸多便利,同时也使得用户对网络和业务提出了更高的要求,如随时随地自由接入 Internet、能享受更多的业务、更高的服务质量、安全且有保障的网络等。这使宽带无线通信系统的未来一片光明,其发展前景可以预见,它是下一代无线网络重要的组成部分。

未来通信的触角将从有线的宽带通信向灵活便捷的无线通信拓展,最终的网络将是有线网络和无线网络融合的全 IP 的通信网络。除了计算机以外,越来越多的其他设备也会连接到互联网上,包括 PDA、汽车终端、移动手机、各种家用电器等。基于无线方式的业务也会越来越多地应用在互联网中,如基于任何地点的多媒体服务、移动性下载服务等。可以肯定的是,宽带无线和移动宽带的发展将呈逐步增长的趋势。

目前宽带无线接入的发展还很不理想,虽然 GPRS 和 cdma2000 1x 都可以提供移动上网,即将在中国大规模商用的 3G 也支持较高速的分组数据传输,但是由于各种因素,发展还很缓慢。为了提高传输速率、满足海量数据业务的需要,3G 向宽带无线接入系统的增强和演进工作已经在世界范围内开展,相关的标准化工作也已经全面展开。如何支撑高速数据传输、保证无缝漫游和切换、提供不同业务的服务质量(QoS),是宽带蜂窝移动通信系统的研究重点。

与此同时,宽带无线通信系统这几年发展非常迅速,以 IEEE 802 系列为基础的宽带无线接入标准化工作正如火如荼地进行,其标准化的工作涵盖无线广域网(WWAN)、无线城域网(WMAN)、无线局域网(WLAN)、无线个域网(WPAN),甚至无线身体域网(WBAN)。

总之,无论是蜂窝移动通信系统,还是新兴的宽带无线通信系统,都朝宽带化、移动化、全 IP 化、异构化及个性化方向发展,宽带无线通信系统与蜂窝移动通信系统将进一步融合。本章将简要回顾蜂窝移动通信系统和宽带无线通信系统的演进和未来发展,然后将重点阐述无线城域网通信系统,就其标准化工作、标准协议状况等进行详细介绍。

1.1 蜂窝移动通信系统未来演进

移动语音通信和 Internet 数据通信是移动通信领域发展最为迅猛的两个领域,可以想象,已经存在着这么一种需求:在移动的环境中,人们依然希望通过移动终端接入 Internet,享受多种多样的数据业务服务。在 3GPP 中,为了满足迅速增长的对高速移动数据业务,特别是移动 Internet 业务的需求,研究人员们在 3G UMTS 标准的基础上,提出一种增强型的技术,这就是 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access,高速下行分组接入)和 HSUPA(High Speed Uplink Packet Access,高速上行分组接入)。在另一个标准化组织

3GPP2 中, 也有类似的技术, 它们是 cdma2000 1x EV-DO 和 EV-DV。

3G 的增强只是暂时满足了业务的宽带化需求, 最高传输速率有限, 比如 HSDPA 峰值速率不超过 14.4 Mbit/s。为了进一步提高传输速率, 后来提出了 3G 长期演进的策略, 对于 3GPP 来说, 称为 LTE; 而对于 3GPP2 来说, 则称为 AIE。从更长时间来看, 考虑到多系统的相互融合, 在 3G 长期演进的基础上进一步演进, 也就是第四代移动通信系统 (4G) 或者后 3G 移动通信系统 (B3G), 而国际电信联盟 (ITU) 则为其命名为 IMT-Advanced^[1]。

1.1.1 HSDPA 技术

3G 的 WCDMA 和 TD-SCDMA 标准可以提供最高 2 Mbit/s 的数据传输速率, 支持高速的分组交换和电路交换, 并能提供许多基于 Internet 的业务, 充分满足了 IMT-2000 关于第三代移动通信的要求。然而, 对于诸如下载或流媒体类业务, 需要系统提供更高的传输速率和更少的延迟。为了满足此类要求, 3GPP 从这两方面对空中接口作了改进, 引入了 HSDPA 技术, 使之可以支持高达 10 Mbit/s 以上的峰值传输速率^[2]。

HSDPA 是 3GPP Release 5 提出的一种增强方案, 同时适用于 WCDMA 和 TD-SCDMA 系统。HSDPA 的主要目标是对“尽力而为”分组数据业务的高速支持, 数据传输速率要求远远超过 IMT-2000 的 2 Mbit/s 要求, 并且获得更低的时间延迟、更高的系统吞吐容量和更有力的 QoS 保证。

从协议角度来看, HSDPA 主要是通过引入高速下行共享信道 (HS-DSCH) 增强空中接口, 并在 UTRAN 中增加相应的功能实体来完成的。从底层来看, 主要是引入自适应调制编码 (AMC) 和 HARQ (混合 ARQ) 技术来增加数据吞吐量^[3]。从整体架构上来看, 主要是增强基站 (Node B) 的处理功能, 在 Node B 的 MAC 层中引入一个新的 MAC-hs 实体, 专门完成 HS-DSCH 的相关参数和 HARQ 协议等相关处理, 在高层和接口加入相关操作信令。

为了达到提高下行分组数据传输速率和减少时延的目的, HSDPA 主要采用了 AMC、HARQ 和快速调度技术。其实, 上述三种技术都属于链路自适应技术, 也可以看成是 CDMA 技术中可变扩频技术和功率控制技术的进一步提升。

1. 自适应编码和调制 (AMC) 技术

无线信道的一个很重要的特点就是具有很强的时变性, 短时间瑞利衰落可以达到十几个甚至几十个分贝。对这种时变性进行自适应跟踪会给系统性能的改善带来很大的好处。链路自适应可以有很多种实现形式, 如功率控制及自适应调制和编码 (AMC) 等。在 HSDPA 中, 常采用 AMC 技术。

AMC 是根据无线信道变化选择合适的调制和编码方式, 网络侧根据用户瞬时信道质量状况和目前资源选择最合适的下行链路调制和编码方式, 使用户达到尽量高的数据吞吐率。当用户处于有利的通信地点 (如靠近 Node B 或存在视距链路) 时, 用户数据发送可以采用高阶调制和高速率的信道编码方式, 例如 16QAM 和 3/4 编码速率, 从而得到高的峰值传输速率; 而当用户处于不利的通信地点 (如位于小区边缘或者信道深衰落) 时, 网络侧则选取低阶调制方式和低速率的信道编码方案, 例如 QPSK 和 1/4 编码速率, 来保证通信质量。

AMC 的引入和实现需要对原有系统进行很多补充, 如在 UE 端进行信道测量、反馈信道质量指示、在 Node B 端的分组发送中改变编码调制等。AMC 属于链路自适应的范畴, AMC 的基本原理就是改变调制和编码的格式, 使它在系统限制范围内和信道条件相适应,

而信道条件则可以通过发送反馈来估计。在 AMC 系统中,一般用户在理想信道条件下用较高阶的调制方式和较高的编码速率,而在不太理想的信道条件下,则用较低阶的调制编码方式。

采用 AMC 的好处主要有:处于有利位置的用户可以具有更高的数据传输速率,因此蜂窝平均吞吐量得到提高;在链路自适应过程中,通过调整调制编码方案而不是调整发射功率的方法可以降低干扰水平。

目前实现 AMC 面临几项挑战。首先,AMC 对测量误差和延迟比较敏感,为了选择合适的调制方式,必须首先知道信道的质量,对信道估测的错误可能会使系统选择错误的数据传输速率,使传输功率过高,浪费系统容量或者因功率太低而使误码率升高;其次,由于移动信道的时变特性,信道测量报告的延迟降低了信道质量估计的可靠性;另外,干扰的变化也增加测量的误差,此时可以寻求与其他技术的结合,比如利用混合自动请求重传(HARQ)技术可以降低调制编码选择(MCS)的识别要求和对测量误差与流量波动的敏感性;再次,CDMA 系统中快速准确地反映每时隙的信道状况对 AMC 技术的性能产生至关重要的影响,其相应的测量准则、方法和改变 MCS 的条件等有待深入研究。另外,采用了智能天线技术,MCS 的选择策略需要进一步研究,可采用更高阶调制和编码技术,以适应更高的传输速率和系统容量。

2. HARQ 技术

AMC 能够提供粗略的数据传输速率的选择;而基于信道条件,HARQ 可以提供精确的速率调节。HARQ 技术可以提高系统性能,并可灵活地调整有效编码速率,还可以补偿由于采用链路适配所带来的误码。HSDPA 将 AMC 和 HARQ 技术结合起来可以达到更好的链路自适应效果。HSDPA 先通过 AMC 技术提供粗略的数据传输速率选择方案,然后再使用 HARQ 技术来提供精确的速率调解,从而提高自适应调节的精度和资源利用率。

HARQ 机制本身的定义是将 FEC 和 ARQ 结合起来的一种差错控制方案,HARQ 机制的形式很多,而 HSDPA 技术中主要是采用三种递增冗余的 HARQ 机制:TYPE-I HARQ、TYPE-II HARQ、TYPE-III HARQ。可以根据系统性能和设备复杂度来选择相应的 HARQ 机制。

HARQ 有两种主要机制:选择性中继(SR)和停止与等待(SAW)模式。在 HSDPA 中采用 SAW 模式。对于 SAW 模式,发送端发送数据后等待编码正确的确认信息,长度为 1bit。

3. 快速调度

调度算法控制着共享资源的分配,在很大程度上决定了整个系统的行为。调度时,应主要基于信道条件,同时考虑等待发射的数据量以及业务的优先等级等情况,并充分发挥 AMC 和 HARQ 的能力。调度算法应向瞬间具有最好信道条件的用户发射数据,这样在每个瞬间都可以达到最高的用户数据速率和最大的数据吞吐量,但同时还要兼顾每个用户的等级和公平性。HSDPA 技术为了能更好地适应信道的快速变化,将调度功能单元放在 Node B 而不是 RNC,同时也将业务传输时间间隔(TTI)缩短,例如对于 WCDMA 系统来说,HSDPA 技术的 TTI 可以达到 2ms。

分组调度算法的功能是,在分组用户之间分配分组数据业务时,提高用户利用空中接口资源的能力。分组调度方式主要有码分和时分两种。

1) 码分方式, 即大量用户同时占用有限的信道资源, 因此对无线信道传输质量要求高, 传输速率低, 传输时延长, 但是空中接口的干扰水平比较稳定, 对移动台的要求也比较低。

2) 时分方式, 是在每个调度周期将空中接口的可利用资源只分给一个或少数几个用户, 对 E_b/I_0 要求低。用户在很短的时间内以很高的速率进行传输, 因此平均时延比码分方式时小, 但是随着用户数的增加, 每个用户需要等待更长的时间才能传输。

4. 多天线技术

多天线技术包括智能天线技术, 多输入多输出 (MIMO) 技术和分布式天线技术。鉴于 MIMO 采用了空分复用技术, 在未来的移动通信系统中占有重要地位, 被 HSDPA 视为关键技术之一, 下面将对它作重点介绍。

多输入多输出 (MIMO) 系统是在发送和接收端同时使用多天线, 这样相对于只在发送端使用多天线有更多好处。在 MIMO 系统中, 通过码分复用技术可以提高峰值吞吐量。

采用码分复用技术后, 为 HS-DSCH 分配的信道/扰码用来调制 M 个独立的数据流 (M 为发送的天线数)。复用了相同信道化码、扰码的数据必须用空间参数加以区分, 这要求在接收端使用至少 M 个天线。在理论上, 使用码分复用技术的峰值传输速率是单天线传送的 M 倍。通过码分复用可以结合码分复用技术和一个较低阶的星座调制如 16QAM 来达到一个适中的数据传输速率, 若不采用码分复用技术, 达到相同的数据传输速率可能需要采用 64QAM。相对于使用单天线传送加上较高阶的星座调制达到的相同传输速率, 码分复用技术可以降低对 E_b/N_0 的要求, 从而提高整个系统的性能。

在考虑 HSDPA 中使用的 MIMO 技术时, 重点集中在具有代表性的开环 MIMO。在常规单天线发送的 HSDPA 中, 一组下行信道 (N 个) 在多个用户间共享。使用 M 个发射天线的开环 MIMO, 也使用同样数量的下行信道码, 但是每个码字被复用了 M 次, 并且每个码字用来调制不同的数据子串。特别的数据以更高的编码速率进行编码、速率匹配和交织。

对于 UE 的联合检测, 在每个收发天线对之间都要进行复信道估计。在平坦衰落信道下, 信道的特性可以由 MP 个复信道因子来确定。在频率选择性衰落信道下, 信道特性可以由 LPM 个复信道因子描述, 其中 L 是 RAKE 接收机的 Finger 数。信道估计可以通过接收信号和 M 个正交导频序列相关运算获得。对比常规的单天线接收机, 信道估计复杂度提高了 MP 倍。对数据检测, 每个天线后面都要有与 N 个扩频码相对应的匹配滤波器。一般来说, 每个天线需要 LP 个解扩器。对于 MN 个数据子流的每个子流, 对应 LP 个解扩器输出, 每个输出用对应信道估计的复共轭进行加权, 然后加在一起构成充分统计量。这个过程称为空时 RAKE 接收, 是单天线 RAKE 接收在有多天线处理情况下的扩展。

共享同一个码字的 M 个数据子串的充分统计量 (向量) 中的每个量 (标量) 包含了空间多址干扰, 然而在平坦衰落信道下, 因为在信道传送过程中码字的正交性得到了保持, 作为一组 (Group) 的这些子串并不受到其他码字所产生子串的干扰。对 M 个编码子串中的每一组, 采用多用户检测来消除 MAI 的影响。可采用的多用户检测方法包括最大似然检测和 VerticalBLAST (V-BLAST) 检测。最大似然检测方法可以通过充分统计向量的噪声方差直接推导出来, 但是最大似然检测的复杂度是随 M 呈指数增长的, 而次最优但复杂度较低的 V-BLAST 检测则是较可行的方法。V-BLAST 检测器包括两部分: 一个线性变换和一个串行干扰抵消器, 线性变换通过迫零算法或最小方均误差准则消除 MAI, 经过线性变换后, 子流中的具有最高信噪比的编码符号被检测出来, 并抽取出充分统计量中的对应信号。使用

修正过的充分统计量, 线性变换和干扰抵消重复进行, 直到所有的子串都被检测出来。经过 MIMO 检测器后, MN 个子串恢复成高速数据流, 解映射到比特, 然后解交织、译码。

1.1.2 cdma2000 1x 高速数据传输演进

鉴于分组数据和语音数据的不同特点, 如果将两种业务放在不同的载波上, 对两者采用不同的传输和控制方法, 将可以大大简化系统设备的结构, 使两种业务分别得到良好的服务质量。因此, cdma2000 1x 系统最初提出 EV-DO 标准, 它可以在一个或多个载波上传输高速分组业务, 而在另外的载波上传输语音和实时业务^[4,5]。

1. cdma2000 1x EV-DO 标准

针对高速分组数据传输的特点, cdma2000 1x EV-DO 在前向链路上采用了诸如高阶调制、动态传输速率控制、快速小区选择和时分调度等多项技术; 而对于反向链路上的数据传输, 本质上与 cdma2000 1x 没有区别。cdma2000 1x EV-DO 前向链路具有以下特点:

- 1) 在 1.25 MHz 载波上, 数据传输速率最大可以达到 2.4 Mbit/s。
- 2) 在前向链路采用最佳服务扇区选择和动态速率控制技术, 由所有属于相同最佳服务扇区的用户以时分复用的方式共享惟一的数据业务信道。
- 3) 移动台、低时延的反馈目前可支持的最高数据传输速率(根据当前的信道状况)为 600 次/s。
- 4) 根据反馈速率的情况, 自适应地采用不同的编码和调制方式。
- 5) 采用调度算法, 动态调度分组数据传输, 每次只向一个用户传输数据, 使前向链路吞吐量最大化。

虽然 cdma2000 1x EV-DO 已可提供很高的数据传输速率, 但它毕竟需要单独占用一个 1.25 MHz 带宽, 与语音业务不能共享同一载波, 当分组数据业务量不是很高时, 载波的利用就会不够充分。因此, 3GPP2 提出了 cdma2000 1x EV-DV 技术, 使系统可以同时支持高速数据业务和实时业务, 在同一载波上传输实时、非实时和混合业务。

2. cdma2000 1x EV-DV 标准

cdma2000 1x EV-DV 在实现与 cdma2000 1x 标准保持向后兼容性的同时, 在语音业务相同的载波上支持高速分组数据业务, 新增加了 4 种物理信道: 前向分组数据信道、前向分组数据控制信道、反向信道质量指示信道、反向确认信道。此外, 它相对于 cdma2000 1x EV-DO 还有很多自身特有的关键技术, 包括快速自适应调制编码、物理层重传改进机制、功率控制和速率控制的结合。

EV-DV 的前向传输速率相对于 EV-DO 是完全由基站决定的, 移动台只通过反向质量指示信道向基站报告所测量的前向公共导频信道的 C/I (载波干扰比)。这是因为基站中的可用资源(发射功率、Walsh 码等)在有语音业务激活的情况下是随时间变化的, 移动台很难快速全面地跟踪这种变化; 而且 EV-DV 允许系统通过两个前向分组数据信道同时给一个用户发送数据, 因此, EV-DV 中的前向分组数据信道由基站集中进行控制。在前向分组数据信道的调度方面, EV-DV 和 EV-DO 类似, 即每次只给一个用户发送; 但是 EV-DV 允许在两个不同的前向分组数据信道上同时传输数据, 而且调度的基本时间单位也较 EV-DO 短, 只有 1.25 ms, 这样可以保证传输过程中占用的资源和无线环境变化不会太剧烈。

EV-DO 采用 4 时隙交叉方式, 对于一个 EP (编码数据包) 而言, 在其对应的多个时隙

还没有发送完时,如果收到移动台的 ACK,则会停止剩余时隙的发送。EV-DV 的传输单位也是 EP,但所采用的重传方式不同:一个 EP 编码后生成多个 SP(子数据包),对于该 EP,先发第 1 个 SP,看移动台是否可以正确解码出其中的数据信息。若能,则发回 ACK,基站收到后就不再发送后面的 SP;否则,移动台发回 NACK,基站再发送第 2 个 SP。这样的重传过程一直进行,直到基站的最高重传次数限制为止。这样,每个 SP 的调度都是独立的,调制方式也可以是独立的。

语音业务宜采用功率控制技术;而数据业务采用速率控制技术,结合时分的调度算法,则可以获得更高的效率。由于在 EV-DV 前向链路上可以同时存在语音和数据两种业务的移动台,所以系统把功率控制和速率控制相结合,通过 800Hz 的快速功率分配估计语音用户所需的功率,把剩余的功率分配给分组数据用户,并根据分配的功率进行速率控制,从而充分利用系统富余出来的资源。

cdma2000 1x EV-DV 在保持后向兼容性的同时,还在不断地发展,在下一个版本中,将主要考虑以下内容:

- 1) 增强 cdma2000 1x 反向链路的分组数据传输能力,最近提出的增强版本中,已经将最高上行传输速率提高到了 1.8Mbit/s。
- 2) 采用广播和多播技术,更有利于实现 3G 与 WLAN(无线局域网)的互联。
- 3) 采用基于 MIMO(多输入多输出)的新型天线技术和智能天线技术,提高数据高峰/平均吞吐量,避免高阶调制。
- 4) 采用异步自适应的递增性冗余技术,结合链路自适应和递增性冗余技术,以及信道估计和调度算法,来提供足够的调度灵活性,充分利用多用户分集增益。
- 5) 动态 Walsh 码分配,在功率控制业务和速率控制业务之间动态地分享片断的码空间,从而更高效地使用整个码空间。

3. cdma2000 AIE

随着宽带无线接入技术的日益成熟,无线局域网、无线城域网愈来愈对传统的移动运营商形成竞争。3G 的另一个阵营 3GPP 针对技术的演进已提出了 LTE,并制定了工作目标和工作计划。迫于这些压力,3GPP2 也开始考虑 cdma2000 空中接口演进,于 2005 年 3 月份召开了 AIE TEM 会议讨论空中接口的演进。

整个 cdma2000 空中接口演进侧重于:提高数据传输速率、减少时延、增强 QoS 能力、维持后向兼容性。多家公司提交了技术演进的需求和技术方案,制定了 cdma2000 演进目标:

- 1) 相对于 cdma2000 1x,提高语音容量,在高速分组数据(HRPD)上通过 VoIP 实现语音;
- 2) 增加峰值数据传输速率和系统容量(长期目标:前向峰值数据传输速率范围为 100Mbit/s~1Gbit/s,反向峰值数据传输速率达到 50Mbit/s);
- 3) 支持 20MHz 带宽的分配(以 1.25MHz 为单位);
- 4) 增加频率效率,减小系统等待时间,降低终端功耗;
- 5) 提高小区覆盖范围;
- 6) 无缝切换到其他无线接入技术,包括 cdma2000 1x EV-DO VoIP 到 cdma2000 1x 电路语音的切换;

7) 近期保持后前向兼容。

为了便于目标的实现,满足不同阶段市场的需求,降低技术开发的复杂度,3GPP2 初步确定将 cdma2000 AIE 划分为两个阶段,如表 1-1 所示。

表 1-1 cdma2000 AIE 的两个阶段

阶 段	时 间	目 标	主 要 技 术
Phase1: MC cdma2000 空中接口 (多载波)	2005 年底完成 标准发布	提高峰值数据传输速率; 保持后向兼容性	应尽量减小对基础硬件的影响,重点 是对 MAC 和高层的改进
Phase2: 增强 cdma2000	2007 年中完成 相关技术研究和 标准的发布	基于和其他技术的竞争, 制定详细的性能目标 (暂未定)	①增强的 CDMA; 采用增强的均衡器 技术; ②1FDMA; 采用干扰抵消、MI- MO 和其他先进的天线技术; ③OFDM (A): 其他先进的编码技术以及 SDMA

3GPP2 的 AIE 工作分为 phase1 和 phase2 两个阶段。其中 phase1 完成多载波 HRPD 即 NxEV-DO, 主要目标是提高峰值数据传输速率, 并保持后向兼容, 同时尽可能减小对基础硬件的影响。3GPP2 计划于 2006 年 2 月底出版 NxEV-DO 技术标准, 但目前要推迟。Phase2 为 E-PDA1 (Enhanced Packet Data Airinterface System, 增强的分组数据空中接口系统), 峰值数据传输速率目标: 前向依据不同的移动性, 可以支持 100Mbit/s ~ 1Gbit/s; 反向支持 50Mbit/s。目前, 3GPP2 正在讨论 phase2 的工作计划, 基本共识是 2007 年 3 ~ 4 月完成 phase2 技术标准。

实际上, 目前 AIE 两个阶段的划分是比较粗的, 对具体的指标和技术还只是粗略的描述。在 2005 年 6 月韩国首尔召开的 3GPP2 WorkShop 会议上继续讨论了 AIE。在新一代空中接口技术的发展上, 各公司都处在同一起跑线上, 这给我国企业参与国际标准的制定提供了机会, 相信我国企业会积极研发新的技术, 加入到国际标准组织中, 以提高技术专利含量。

1.1.3 3GPP LTE 技术

由于未来几年内 3GPP 无线接入技术将会面临强大的竞争, 为了保证在未来的一段时间内 3GPP 无线接入技术具备竞争性, 在 3GPP TSG RAN 26 次会议上通过了对目前 3GPP 的 UTRA 和 UTRAN 进行演进的决定, 这就是长期演进 (LTE) 技术的由来^[6]。

3GPP 的 LTE 工作分为研究部分 (Study Item, SI) 和工作部分 (Work Item, WI) 两个阶段, SI 阶段从 2005 年 3 月到 2006 年 6 月, 完成可行性研究。WI 阶段从 2006 年 6 月到 2007 年 6 月, 完成核心技术规范。演进的目标是开发具有更高数据传输速率、更低时延和优化的分组接入技术, 涉及到的工作包括空中接口 Layer1 ~ Layer3、接入网结构和射频等几个方面, 以及峰值数据传输速率 (下行 100Mbit/s, 上行 50Mbit/s)^[7]。

LTE 的目标主要包括降低时延、提高用户数据传输速率、增加系统容量和覆盖、降低运营成本。为了达到这些目标, 必须考虑目前 3GPP 定义的无线空中接口和 3GPP 无线网络结构的演进。考虑获得更高数据传输速率, 考虑未来 3G 系统附加频谱, 3GPP 系统的 LTE

技术必须支持比 5MHz 更宽的带宽。同时,还要能够支持 5MHz 和低于 5MHz 频谱传输数据的情况,允许系统频带可以灵活配置^[8]。

现在 LTE 的大部分研究都集中在物理层,这个阶段的传输性能和通信参数与 TDD 未来演进十分接近,大多数技术特点是用于增强系统性能的,如使用 MIMO、OFDM、灵活的带宽选择(可选带宽有 1.25MHz、1.6MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz)和分布式无线接入网络(Distributed Radio Access Network)。通过使用 MIMO 和 OFDM 技术,在 20MHz 的带宽内下行峰值速率可达到 100Mbit/s,上行可达到 50Mbit/s。所有的服务在共享和公用信道上提供,并且将使用基于 IPv6 的核心网^[9]。

考虑到 OFDM 技术在上行链路的峰均值比高,只在下行链路使用 OFDM 技术,而在上行链路使用单载波技术,包括 IFDMA (Interleaved Frequency Division Multiple Access 交织的频分多址)和 DFT-SOFDM (Discrete Fourier Transform-Spread OFDM, 离散傅里叶变换-扩展 OFDM),在下行主要使用 OFDMA 技术。IFDMA 的设计目标是实现没有多址接入干扰的 FDMA,系统中每一个用户独享一个子载波集,对不同用户的子载波进行交织。在 IFDMA 中,每个用户占用的子载波在传输频段上均匀分配,以获得最大程度上的频率分集增益。IFDMA 的信号在时域进行设计,从而实现了低 PAPR。在 LTE 阶段,TD-SCDMA 系统和其他宽带无线接入网络的融合开始进一步加强,从 IP 核心网的融合开始向无线接入网的融合过渡。核心网基于全 IPv6 的 IMS,其业务不仅仅是传统点对点的多媒体数据业务,还包括多媒体广播和组播(MBMS)业务,以及更加灵活的端对端(Peer-to-Peer)业务。由于采用了先进的物理层处理机制,其频谱效率将为 2~5bit/s/Hz。

1. LTE 单载波技术(SC-FDMA)

在 3GPP LTE 中,UL(上行链路)方案在多载波方案(OFDMA)和单载波方案(SC-FDMA)中抉择,最终由于多载波方案(OFDMA)的高 PAPR(峰均功率比)问题,而采用单载波方案(SC-FDMA)作为 UL 方案。SC-FDMA 系统包括 IFDMA 和 DFT-SOFDM 系统。SC-FDMA 系统有很多优点:低 PAPR(峰均功率比),用户间频域正交,使小区内干扰最小化,可以使用低复杂度的频域均衡,多选择的码片速率。

IFDMA 设计目标是实现没有多址接入干扰的 FDMA,其系统框图如图 1-1 所示。系统中每一个用户独享一个子载波集,对不同用户的子载波进行交织。在 IFDMA 中,每个用户占用的子载波在传输频段上均匀分配,以获得最大程度上的频率分集增益。IFDMA 的信号在时域进行设计,从而实现了低 PAPR。然而,IFDMA 也有如下不足:

1) IFDMA 系统比 OFDM 系统的矩形波需要更宽的传输带宽,即频谱效率不及 OFDM 系统;

2) 在 IFDMA 系统中,多径信道导致的 ISI 需要更复杂的接收机才能消除;

3) IFDMA 设计不如 MC-CDMA 灵活,因为它不支持自适应的子载波分配。

IFDMA 带有循环冗余保护间隔,每个用户的 Q 个符号经过压缩和重复交织过程构成了一个 IFDMA 符号,压缩过程即在频域内进行了扩展。然后将该 IFDMA 符号与用户特有的相位向量作向量内积(以每个压缩符号作为基本单位),从而保证每个用户被分配了独立于其他用户的子载波集(包含有 Q 个子载波)。IFDMA 接收机需要做均衡,以抵抗 ISI。由于低 PAPR 特性(恒包络),IFDMA 可以应用于功率受限终端的上行链路。

IFDMA 系统是时域处理的 SC-FDMA 系统,而 DFT-SOFDM 系统是频域处理的 SC-FD-