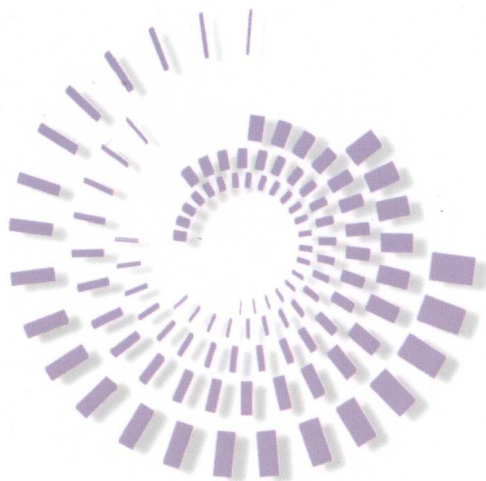


信息通信专业教材系列

移动通信原理与系统

YIDONG TONGXIN YUANLI YU XITONG

啜 钢 王文博 常永宇 李宗豪 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

移动通信原理与系统

啜钢 王文博 常永宇 李宗豪 编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书较详细地介绍了移动通信的原理和实际的移动通信系统。本书首先介绍了无线通信的传播环境和传播预测模型、移动通信中的调制解调技术和抗衰落技术;其次介绍了移动通信网络的基本概念,在此基础上重点介绍了 GSM 和 GPRS 系统、IS-95 系统以及 cdma2000 1x 系统,同时还介绍了 WCDMA 和 TDD-CDMA 系统;最后本书对当前移动通信的发展和当前移动通信研究的一些热点做了介绍。

本书力求移动通信的基础理论和应用系统兼顾,内容由浅入深,可供不同层次的人员学习的需要。每章开头有学习指导,结束有习题和思考题。

本书可以作为通信本科高年级学生的教材,也可作为研究生和成人教育的教材,同时也是从事移动通信研究和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

移动通信原理与系统/啜钢等编著. —北京:北京邮电大学出版社,2005(2007.5 重印)

ISBN 978-7-5635-1115-0

I. 移… II. 啜… III. 移动通信—通信系统 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 063642 号

书 名:移动通信原理与系统

编 著:啜 钢 王文博 常永宇 李宗豪

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)

北方营销中心:电话:010-62282185 传真:010-62283578

南方营销中心:电话:010-62282902 传真:010-62282735

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京源海印刷有限责任公司

开 本:787 mm×960 mm 1/16

印 张:31.25

字 数:680 千字

印 数:8 001—11 000 册

版 次:2005 年 9 月第 1 版 2007 年 5 月第 3 次印刷

ISBN 978-7-5635-1115-0/TP·390

定价:39.00 元

·如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系·

编 者 的 话

近年来,蜂窝移动通信系统的发展经历了一个从模拟网到数字网,从频分多址(FDMA)到时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)的过程。这种进展是日新月异的,目前我国的蜂窝移动通信系统已经基本结束了模拟网的历史,进入了数字网的时代。进入 21 世纪人们在继续关注第二代蜂窝移动通信系统发展的同时,已经把目光转向第三代蜂窝移动通信系统的产品开发和大量投入商用的网络准备工作。与此同时许多专家学者和移动通信系统的产品开发和大量投入商用的网络准备工作。与此同时许多专家学者和移动通信产业界的有识之士,又在积极研究和开发第四代蜂窝移动通信系统。这些都无疑预示着 21 世纪蜂窝移动通信将会有更大的发展,并将继续成为在通信行业发展最活跃、发展最快的邻域之一。

鉴于这种情况,我们在参考大量文献并结合多年的研究开发移动通信的理论和应用系统的基础上,编写了这本以数字移动通信为主体的移动通信教材,力图将当前移动通信的最新理论和应用介绍给读者。

本书较详细地介绍了移动通信的原理和实际的应用系统,其主要内容有:移动通信的发展、蜂窝移动通信系统的基本概念、移动通信的无线传播环境、移动通信系统的调制技术、抗衰落技术、移动通信的组网技术、GSM 系统和 GPRS 系统、CDMA 系统和 cdma2000 1x 系统以及 WCDMA 和 TD-SCDMA 技术。最后对移动通信的发展做了展望。

本书的第 1 章、第 2 章、第 5 章和第 6 章由啜钢副教授编写;第 3 章、第 4 章由李宗豪副教授编写;第 7 章、第 9 章由常永宇副教授和啜钢副教授编写;第 8 章、第 10 章由常永宇副教授编写;第 11 章、第 12 章由王文博教授、彭涛和郑侃编写。

全书由啜钢副教授负责审定。

本书是为通信专业本科高年级学生使用的教材,但编写过程中我们考虑到社会上对移动通信与系统教材的广泛需求,因此也兼顾了研究生和成人教育的需求,所以本书也可以有选择地作为研究生和成人教育教材。

由于作者才疏学浅,书中难免会出现一些错误和不妥之处,敬请批评指正。

啜钢

于北京邮电大学

2005年7月

目 录

第 1 章 概 述

1.1 移动通信发展简述	1
1.2 移动通信的特点	5
1.3 移动通信工作频段	7
1.3.1 我国移动通信的工作频段	7
1.3.2 第三代移动通信的工作频段	7
1.4 移动通信的工作方式	9
1.5 移动通信的分类及应用系统	12
1.6 移动通信网的发展趋势	13
1.7 本书的内容安排	15
习题与思考题	15

第 2 章 移动通信电波传播与传播预测模型

2.1 概 述	16
2.1.1 电波传播的基本特性	16
2.1.2 电波传播特性的研究	18
2.2 自由空间的电波传播	20
2.3 3 种基本电波传播机制	20
2.3.1 反射与多径信号	21
2.3.2 绕射	23
2.3.3 散射	24
2.4 阴影衰落的基本特性	25
2.5 移动无线信道及特性参数	26
2.5.1 多径衰落的基本特性	26
2.5.2 多普勒频移	26
2.5.3 多径信道的信道模型	27
2.5.4 描述多径信道的主要参数	29
2.5.5 多径信道的统计分析	35
2.5.6 多径衰落信道的分类	39

2.5.7 衰落特性的特征量	41
2.5.8 衰落信道的建模与仿真简介	42
2.6 电波传播损耗预测模型	45
2.6.1 室外传播模型	46
2.6.2 室内传播模型	54
2.6.3 传播模型校正	55
习题与思考题	61

第3章 调制技术

3.1 概述	63
3.2 最小移频键控	65
3.2.1 相位连续的FSK	65
3.2.2 MSK信号的相位路径、频率及功率谱	68
3.3 高斯最小移频键控	70
3.3.1 高斯滤波器的传输特性	70
3.3.2 GMSK信号的波形和相位路径	72
3.3.3 GMSK信号的调制与解调	74
3.3.4 GMSK功率谱	76
3.4 QPSK调制	77
3.4.1 二相调制BPSK	77
3.4.2 四相调制QPSK	78
3.4.3 偏移QPSK	81
3.4.4 $\pi/4$ -QPSK	83
3.5 正交频分复用	86
3.5.1 概述	86
3.5.2 正交频分复用的原理	87
3.5.3 正交频分复用的DFT实现	89
3.5.4 OFDM的应用	91
习题与思考题	91

第4章 抗衰落技术

4.1 概述	93
4.2 分集技术	94
4.2.1 宏观分集	94

4.2.2	微观分集	95
4.2.3	分集的合并方式及性能	98
4.2.4	性能比较	105
4.2.5	分集对数字移动通信误码的影响	106
4.3	信道编码	107
4.3.1	概述	107
4.3.2	分组码	108
4.3.3	卷积码	112
4.3.4	Turbo 码	120
4.4	均衡技术	124
4.4.1	基本原理	124
4.4.2	非线性均衡器	128
4.4.3	自适应均衡器	132
4.5	扩频通信	134
4.5.1	伪噪声序列	134
4.5.2	扩频通信原理	137
4.5.3	抗多径干扰和 RAKE 接收机	141
4.5.4	跳频扩频通信系统	144
	习题与思考题	147

第 5 章 蜂窝组网技术

5.1	移动通信网的基本概念	149
5.2	频率复用和蜂窝小区	151
5.3	多址接入技术	156
5.4	蜂窝移动通信系统的容量分析	162
5.5	话务量和呼损简介	166
5.6	移动通信网发展简介	168
5.7	移动通信网的信令系统	170
	习题与思考题	179

第 6 章 GSM 和 GPRS 通信系统

6.1	GSM 系统的业务及其特征	181
6.2	GSM 系统的结构	184
6.3	GSM 的信道	185

6.3.1	物理信道与逻辑信道	185
6.3.2	物理信道与逻辑信道的配置	191
6.3.3	突发脉冲	195
6.3.4	帧偏离、定时提前量与半速率信道	197
6.4	GSM 的无线数字传输	198
6.4.1	GSM 系统无线信道的衰落特性	198
6.4.2	GSM 系统中的抗衰落技术	199
6.4.3	GSM 系统中的语音编码技术	205
6.4.4	GSM 系统中语音处理的一般过程	205
6.5	GSM 的信令协议	206
6.5.1	GSM 的无线信令接口协议	206
6.5.2	GSM 的地面信令接口协议	210
6.6	接续和移动性管理	210
6.6.1	概述	210
6.6.2	位置更新	211
6.6.3	呼叫建立过程	214
6.6.4	越区切换与漫游	220
6.6.5	安全措施	223
6.6.6	计费	226
6.7	通用分组无线业务	227
6.7.1	概述	227
6.7.2	GPRS 的业务	227
6.7.3	GPRS 的网络结构及其功能描述	229
6.7.4	GPRS 的移动性管理和会话管理	236
6.7.5	GPRS 的空中接口	239
	习题与思考题	240

第 7 章 码分多址技术基础

7.1	扩频通信基础	242
7.1.1	概述	242
7.1.2	理论基础	243
7.1.3	扩频方法	244
7.1.4	直扩系统	245
7.1.5	跳频系统	248

7.2 地址码技术	249
7.2.1 m 序列	250
7.2.2 Gold 码	253
7.2.3 Walsh 码	254
7.3 扩频码的同步	256
7.3.1 粗同步	257
7.3.2 细同步	259
习题与思考题	260

第 8 章 IS-95 系统

8.1 IS-95 标准概述	261
8.1.1 IS-95 标准发展历程	261
8.1.2 IS-95 系统频段	264
8.1.3 IS-95 系统时间	267
8.2 IS-95 前向链路	268
8.2.1 前向链路信道结构	268
8.2.2 前向链路基本操作	271
8.2.3 导频信道	278
8.2.4 同步信道	279
8.2.5 寻呼信道	279
8.2.6 前向业务信道	281
8.2.7 功率控制子信道	282
8.2.8 随路信道	283
8.3 IS-95 反向链路	284
8.3.1 反向链路信道结构	284
8.3.2 反向链路基本操作	287
8.3.3 反向接入信道	291
8.3.4 反向业务信道	292
8.4 IS-95 中的功率控制技术	293
8.4.1 功率控制概述	293
8.4.2 功率控制分类	294
8.4.3 反向链路功率控制	296
8.4.4 前向链路功率控制	300
8.5 IS-95 中的软切换技术	301

8.5.1	切换概述	301
8.5.2	导频集合	303
8.5.3	导频的搜索与测量	304
8.5.4	切换参数与消息	305
8.5.5	IS-95 系统中的软切换流程	306
8.5.6	IS-95B 系统中的软切换	308
8.5.7	导频集的维护	312
8.6	IS-95 中的登记与漫游管理	314
8.6.1	登记注册	314
8.6.2	漫游管理	315
8.7	基于 IS-95 标准的系统概述	315
8.7.1	网络结构及系统接口	315
8.7.2	协议结构	316
	习题与思考题	318

第 9 章 3G 技术概述

9.1	IMT-2000 的主要目标和要求	320
9.2	IMT-2000 的发展历程	322
9.3	3G 系统承载的业务	323
9.4	3G 系统的基本特征	324
9.4.1	系统频段	324
9.4.2	系统结构	326
9.5	3G 系统中支持的新技术	329
9.5.1	高效的信道编码技术	329
9.5.2	智能天线技术	329
9.5.3	软件无线电技术	330
9.5.4	多用户检测与干扰消除	330
9.5.5	全 IP 的核心网	331
9.6	3G 标准化进程及其演进策略	331
9.6.1	标准化组织	331
9.6.2	标准化现状	333
9.6.3	3G 系统演进策略	335
9.7	3G 主要技术标准概述	337
9.7.1	WCDMA 技术标准	337

9.7.2 cdma2000 技术标准	340
9.7.3 TD-SCDMA 技术标准	346
习题与思考题	348

第 10 章 cdma2000 1x 系统

10.1 概述	349
10.2 cdma2000 体系结构	350
10.2.1 总体结构	350
10.2.2 移动台	351
10.2.3 空中接口	351
10.2.4 无线接入网	352
10.2.5 A 接口	353
10.2.6 电路域核心网	354
10.2.7 分组域核心网	356
10.3 cdma2000 空中接口概述	358
10.3.1 cdma2000 空中接口协议结构	358
10.3.2 系统频段与系统时间	360
10.3.3 空中接口相关的几个基本概念	362
10.4 cdma2000 1x 空中接口物理层	365
10.4.1 cdma2000 1x 物理层的主要特性	365
10.4.2 cdma2000 1x 前向链路信道组成	367
10.4.3 cdma2000 1x 前向链路的差错控制技术	371
10.4.4 cdma2000 1x 前向链路中的扩频码	376
10.4.5 cdma2000 1x 前向链路发射分集	378
10.4.6 cdma2000 1x 前向链路信道结构	380
10.4.7 cdma2000 1x 前向链路扩频调制	392
10.4.8 cdma2000 1x 反向链路信道组成	395
10.4.9 cdma2000 1x 反向链路中的差错控制	398
10.4.10 cdma2000 1x 反向链路中的扩频码	399
10.4.11 cdma2000 1x 反向链路信道结构	400
10.4.12 cdma2000 1x 反向链路扩频调制	404
10.5 cdma2000 1x 空中接口第二层概述	405
10.5.1 MAC 子层	405
10.5.2 LAC 子层	408

10.6	cdma2000 1x 空中接口第三层概述	409
10.6.1	信令结构及层间接口	410
10.6.2	三层信令消息流程	411
10.7	cdma2000 1x 中的功率控制与系统切换	414
10.7.1	cdma2000 1x 中的功率控制技术	414
10.7.2	cdma2000 1x 中的系统切换	421
10.8	cdma2000 1x 网络技术概述	423
10.8.1	cdma2000 1x 系统网络结构	423
10.8.2	cdma2000 1x 系统分组域网络技术	424
	习题与思考题	428

第 11 章 WCDMA 和 TDD/CDMA 系统介绍

11.1	概 述	429
11.2	WCDMA 的标准体系	431
11.3	WCDMA 的信道结构	432
11.3.1	专用传输信道	433
11.3.2	公共传输信道	433
11.3.3	传输信道到物理信道的映射	434
11.3.4	物理信道	435
11.4	WCDMA 的链路	438
11.4.1	信道化码	438
11.4.2	扰码	439
11.4.3	上行链路扩频	439
11.4.4	下行链路扩频	440
11.4.5	调制	441
11.5	WCDMA 中的信道编码、功率控制和切换	442
11.5.1	WCDMA 的信道编码	442
11.5.2	功率控制	443
11.5.3	切换	447
11.6	WCDMA 的网络结构	450
11.6.1	网络结构	450
11.6.2	系统接口	452
11.7	TDD/CDMA 介绍	453
11.7.1	TDD 系统的概念	453

11.7.2 TDD 模式的优点	454
11.7.3 TDD 模式的缺点	456
习题与思考题	457

第 12 章 未来移动通信系统的发展

12.1 B3G 系统的展望	458
12.2 B3G 系统中的正交频分复用技术	462
12.2.1 OFDM 系统结构	463
12.2.2 串并变换	464
12.2.3 子载波调制	465
12.2.4 OFDM 系统关键技术	467
12.3 B3G 系统中的 MIMO 技术	468
12.3.1 空间复用技术	469
12.3.2 空间分集技术	473
12.4 未来无线通信系统的研究项目简介	477
12.4.1 VSF-OFCDM 系统	477
12.4.2 IEEE 802.16	477
12.4.3 IEEE 802.20	479
12.4.4 MATRICE	479
12.5 小 结	479
习题与思考题	480
参考文献	481

第 1 章 概 述

学习重点和要求

本章主要介绍了移动通信原理及其应用方面的基本概念,主要包括移动通信发展进程,移动通信的特点;介绍了移动通信系统的发展历程并分析了移动通信的发展趋势;介绍了移动通信的工作频段,移动通信的工作方式及移动通信的应用系统。

要求:

- 重点掌握移动通信的概念、特点;
- 理解移动通信的发展历程及发展趋势;
- 了解无线频谱的规划及第三代移动通信的工作频段;
- 掌握移动通信的 3 种工作方式;
- 了解移动通信的应用系统。

1.1 移动通信发展简述

众所周知,个人通信(Personal communications)是人类通信的最高目标,它是用各种可能的网络技术实现任何人(Whoever)在任何时间(Whenever)、任何地点(Wherever)与任何人(Whoever)进行任何种类(Whatever)的交换信息。个人通信的主要特点是每一个用户有一个属于个人的惟一通信号码,取代了以设备为基础的传统通信的号码(现在的电话号码、传真号码等是某一台电话机、传真机等号码)。电信网随时跟踪用户,并为他服务。不论被呼叫的用户是在车上、船上、飞机上,还是在办公室里、家里、公园里,电信网都能根据呼叫人所拨的个人号码找到他,接通电路,提供通信。用户通信完全不受地理位置的限制。实现个人通信,必须要把各种技术的通信网组合到一起,把移动通信网和固定的通信网结合在一起,把有线接入和无线接入结合在一起,才能综合成一个容量极大、无处不通的个人通信网,称之为“无缝网”,形成所谓万能个人通信网(UPT)。这是 21 世纪电信技术发展的重要目标之一。

移动通信是实现个人通信的必由之路,没有移动通信,个人通信的愿望是无法实现的。移动通信是指通信双方或至少有一方处于运动中进行信息交换的通信方式。移动通信的主要应用系统有无绳电话、无线寻呼、陆地蜂窝移动通信、卫星移动通信、海事卫星移动通信等。而陆地蜂窝移动通信是当今移动通信发展的主流和热点。

蜂窝移动通信的飞速发展是超乎寻常的,它是 20 世纪人类最伟大的科技成果之一。在回顾移动通信的发展进程时我们不得不提起 1946 年第一个推出移动电话的 AT&T 的先驱者,正是他们为通信领域开辟了一个崭新的发展空间。然而,移动通信真正走向广泛的商用,为广大普通大众所使用,还应该从 20 世纪 70 年代末蜂窝移动通信的推出算起。蜂窝移动通信系统从技术上解决了频率资源有限,用户容量受限,无线电波传输时的干扰等问题。20 世纪 70 年代末的蜂窝移动通信采用的空中接入方式为频分多址接入方式,即所谓的 FDMA 方式。其传输的无线信号为模拟量,因此人们称此时的移动通信系统为模拟通信系统,也称为第一代移动通信系统(1G)。这种系统的典型代表有美国的 AMPS (Advanced Mobile Phone System)系统、欧洲的 TACS(Total Access Communication System)系统等。我国建设移动通信系统的初期主要就是引入的这两类系统。

然而随着移动通信市场的大大发展,对移动通信技术提出了更高的要求。由于模拟系统本身的缺陷,如频谱效率低、网络容量有限、保密性差等,已使得模拟系统无法满足人们的需求。为此,广大的移动通信领域里的有识之士在 20 世纪 90 年代初期开发出了基于数字通信的移动通信系统,即所谓的数字蜂窝移动通信系统,也称为第二代移动通信系统(2G)。

第二代数字蜂窝移动通信系统克服了模拟系统所存在的许多缺陷,因此 2G 系统一经推出就倍受人们注目,得到了迅猛的发展,短短的十几年就成为了世界范围的、最大的移动通信网,几乎完全取代了模拟移动通信系统,在我国已经完全取代了模拟系统。在当今的数字蜂窝移动系统中,最有代表性是 GSM 系统和 N-CDMA 系统。这两大系统在目前世界数字移动通信市场占了主要份额。

GSM 系统的空中接口采用的是时分多址(TDMA)接入方式,到目前为止,GSM 还是全世界最大的移动网,占移动通信市场的大部分份额。GSM 是为了解决欧洲第一代蜂窝系统四分五裂的状态而发展起来的。在 GSM 之前,欧洲各国在整个欧洲大陆上采用了不同的蜂窝标准,对用户来讲,就不能用一种制式的移动台在整个欧洲进行通信。另外,由于模拟网本身的弱点,它的容量也受到了限制。为此,欧洲电信联盟在 1980 初期就开始研制一种覆盖全欧洲的移动通信系统,即现在被人们称为 GSM 的系统。如今,GSM 移动通信系统已经遍及全世界,即所谓“全球通”。

N-CDMA 采用的是码分多址接入方式。从当前人们对无线接入方式的认识角度来讲,码分多址技术有其独特的优越性。N-CDMA 技术最先是由美国的高通(Qualcomm)公司提出的,并于 1980 年 11 月在美国的圣地亚哥利用两个小区基站和一个移动台,对窄带 CDMA 进行了首次现场实验。1990 年 9 月高通发布了 CDMA“公共空中接口”规范的第一个版本。1992 年 1 月 6 日,TIA 开始准备 CDMA 的标准化。1995 年正式的 N-CDMA 标准出台了,即 IS-95A。CDMA 技术向人们展示的是它独特的无线接入技术:系统区分地址时在频率、时间和空间上是重叠的,它使用相互准正交的地址码来完成对用户的识别。这种技术带来的好处有:多种形式的分集(时间分集,空间分集和频率分集),低的发射功率,保密性,软切换,大容量,话音激活技术,频率再用及扇区化,低的信噪比或载干比

需求,软容量。这些特性在满足用户需求方面具有独特的优势,因而得到迅速发展。当今的3G技术大多都采用了CDMA无线接入方式。目前中国联通已建成了全国范围的基于IS-95的移动通信网。

尽管基于话音业务的移动通信网已经足以满足人们对于话音移动通信的需求,但是随着人们对数据通信业务需求的日益增高,人们已不再满足以话音业务为主的移动通信网所提供的服务,特别是Internet的发展大大推动了人们对数据业务的需求。统计表明,目前固定数据通信网的用户需求和业务使用量已接近话音业务。在这种情况下,移动通信网所提供的以话音为主的业务已不能满足人们的需要了,为此移动通信业内的领军者们努力开发研究了适用于数据通信的移动系统。首先人们着手开发的是基于2G系统的数据系统。在不大量改变2G系统的条件下,适当增加一些网络和一些适合数据业务的协议,使系统可以较高效率地传送数据业务。如目前的GPRS就是这样的系统,现在已在我国组网投入商用。另外,cdma2000 1x也属于这一范畴。

尽管2.5G系统可以方便地传输数据业务,然而由于它的先天不足,没有从根本上解决无线信道传输速率低的问题,因此应该说2.5G还是个过渡产品。而当今人们定义的第三代移动通信系统才能基本达到人们对快速传输数据业务的需求。

3G的目标主要有以下几个方面:

(1) 全球漫游,以低成本的多模手机来实现。全球具有公用频段,用户不再限制于一个地区和一个网络,而能在整个系统和全球漫游。其在设计上具有高度的通用性,拥有足够的系统容量和强大的多种用户管理能力,能提供全球漫游,是一个覆盖全球的、具有高度智能和个人服务特色的移动通信系统。

(2) 适应多种环境,采用多层小区结构,即微微蜂窝、微蜂窝、宏蜂窝,将地面移动通信系统和卫星移动通信系统结合在一起,与不同网络互通,提供无缝漫游和业务一致性,网络终端具有多样性,并与第二代系统的共存和互通,开放结构,易于引入新技术。

(3) 能提供高质量的多媒体业务,包括高质量的话音、可变速率的数据、高分辨率的图像等多种业务,实现多种信息一体化。

(4) 足够的系统容量、强大的多种用户管理能力、高保密性能和服务质量。用户可用惟一个人电号码(PTN)在任何终端上获取所需要的电信业务,这就超越了传统的终端移动性,真正实现了个人移动性。

为实现上述目标,对无线传输技术提出了以下要求:

(1) 高速传输以支持多媒体业务:

- 室内环境至少 2 Mbps;
- 室外步行环境至少 384 kbps;
- 室外车辆环境至少 144 kbps;

(2) 传输速率按需分配;

(3) 上下行链路能适应不对称业务的需求;

(4) 简单的小区结构和易于管理的信道结构;