

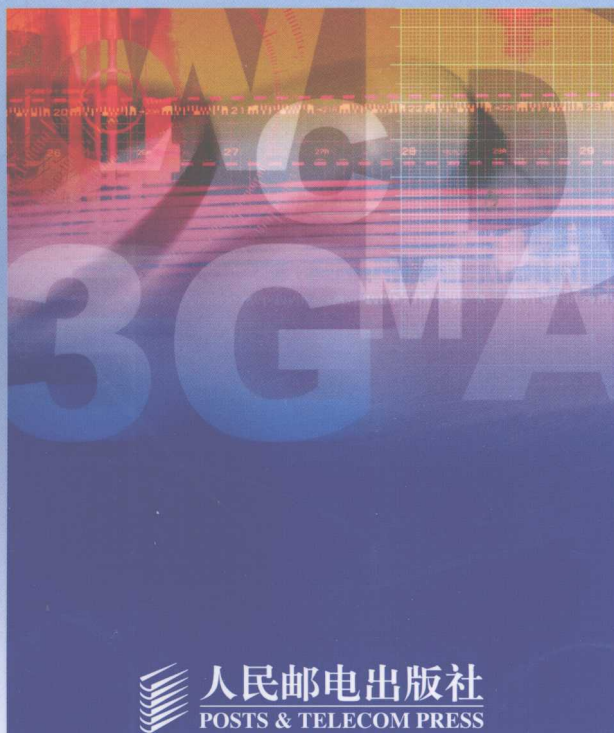
现代移动通信技术丛书

Advanced Mobile Communications

WCDMA

关键技术详解

姜 波 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

现代移动通信技术丛书

WCDMA 关键技术详解

姜 波 编 著

4

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

WCDMA 关键技术详解 / 姜波编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.5
(现代移动通信技术丛书)
ISBN 978-7-115-17272-3

I. W… II. 姜… III. 码分多址—宽带通信系统
IV. TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 185905 号

内 容 提 要

本书全面、深入地介绍了 WCDMA 系统核心技术的各个方面。本书所涉及的技术细节分析包括: 系统结构与网络结构、传输技术、空中接口、物理层、网络选择/小区选择、接入过程、同步技术、功率控制、切换和测量、系统安全、呼叫信令流程、分组域过程、HSDPA 技术、SIP、IMS 技术等。本书力图以移动终端与网络的交互过程为主线, 生动形象地介绍所涉及的 WCDMA 关键技术。本书侧重点在于 WCDMA, 而 WCDMA 与 TD-SCDMA 的共通部分, 如呼叫信令流程、系统结构、IMS、系统安全等部分, 也可供 TD-SCDMA 学习者参考。

本书适合移动通信行业的从业技术人员阅读, 如通信运营商或者设备厂商的技术部门和研发机构的从业人员。同时, 相关专业的高等院校的在校学生也可以通过阅读本书对 WCDMA 通信系统有全面感性的认识。

现代移动通信技术丛书

WCDMA 关键技术详解

-
- ◆ 编 著 姜 波
责任编辑 杨 凌
 - ◆ 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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 36.5
字数: 697 千字
印数: 1—3 500 册
- 2008 年 5 月第 1 版
2008 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17272-3/TN

定价: 78.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



◆ 作者简介 ◆

姜 波

1972年生于山东省淄博市，毕业于中国科学院近代物理所，现就职于诺基亚(中国)投资有限公司。

硕士毕业后，一直从事移动通信领域的工作，工作经历涉及移动通信市场、手机终端、网络设备、标准、研发等多个领域。在从事移动通信标准工作期间，曾有文稿被3GPP接纳并确立为R5版本中新的国际技术规范；曾作为设备厂商负责人，全程参与了信息产业部电信研究院领导和组织的3G测试工作。

关

键

技

术

详

解

WCDMA

WCDMA

关键技术详解

序

经过二十年的高速发展,我国的移动通信行业已经取得了长足的进步,移动通信在推动国民经济发展以及满足人民群众日益增长的物质文化需求方面发挥着越来越重要的作用。移动通信已经不仅仅是人们沟通和交流的工具,在信息获取、个人娱乐、企业办公等领域,移动通信也正日益显示出其强大的应用潜力。

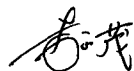
从整个通信行业的趋势来看,固网与移动网的融合、移动网与互联网的融合是未来技术与应用发展的重要方向。与 2G/2.5G 技术相比,针对数据业务发展的要求,3G 技术显著地提高了空中接口的数据传输速率,这为新型数据业务的发展以及进一步的网络融合提供了技术保障。

WCDMA 作为 IMT-2000 的一个重要分支,是目前世界范围内应用最广泛的一种 3G 技术。根据 GSA 的统计数据,截至 2007 年第三季度,在全球的 87 个国家或地区已经有 197 个 WCDMA 网络投入商用,累计全球 WCDMA/HSPA 用户已达 1.58 亿。同时,HSDPA 作为 WCDMA 技术的演进技术,已经在 75 个国家或地区建成 166 个商用网络。

作为国内移动通信领域的年轻学者,作者具有较为丰富的理论与实践工作经验。作为一本介绍 WCDMA 的专业书籍,本书的独到之处在于其对关键技术分析所涉及的深度及广度。

本书首先深入并全面地介绍了 WCDMA 系统架构、传输技术、空中接口、接入网接口,使读者对 WCDMA 系统有一个整体的认识,然后以终端与网络的交互过程为主要线索,逐一介绍 WCDMA 系统中涉及的关键技术。书中不仅全面涉及了 WCDMA 的各个关键技术点,而且还能够针对每个技术点展开深入细致的讨论。针对每个主题,作者将 3GPP 规范中分散的技术点加以归纳总结,并通过自己的理解形象地表述出来。本书介绍的关键技术点包含了系统广播消息与网络选择、接入机制、同步的实现、系统安全、功率控制、测量与切换,每个关键技术点单独成章,同时又相互关联,通过这些关键技术点,读者可以全面而深入地理解 WCDMA 移动终端与网络交互的技术细节。在介绍了关键技术点之后,本书通过对呼叫/会话流程的详细分析,将整个系统中终端与网络的工作流程加以总结。本书的最后部分还分别对 HSDPA 与 IMS 进行了较为深入的介绍。

这是一本建立在作者对 3GPP 规范深入理解基础之上的专业技术书籍，作者丰富的行业工作经验使内容具有非常好的实用性，对于通信技术领域的工程人员、研发人员、相关专业的大专院校学生，具有很高的参考价值。



二〇〇.八.一.二十九

前 言

WCDMA 技术正在全球范围内得到越来越广泛的应用。3GPP 技术规范中对 WCDMA 标准作了详细而严谨的描述。WCDMA 系统的技术复杂性决定了 3GPP 技术规范的庞大和复杂,对于很多开始接触 WCDMA 技术的人来说,阅读和理解大量相互分割、独立的技术规范需要大量的时间和精力。

本书试图通过作者对 3GPP 技术规范的理解,形象地介绍和分析 WCDMA 的各个方面的技术细节,从而使读者可以更快、更深入地理解 WCDMA 通信系统。

本书第 1 章先对 3G 技术发展的历史作了一个简短回顾,同时对标准组织的结构和频谱规划等作了简要介绍。

第 2 章则介绍 WCDMA 系统的结构。本章重点介绍 WCDMA 系统的业务模型和总体网络结构。在系统结构中着重介绍 3GPP R99 版本、R4 版本、R5 版本不同的网络模型,还对在 WCDMA 系统中常用的一些网络标识及用户(终端)标识进行归纳总结,最后将通过一个系统移动性管理信令流程和一个终端被叫信令流程来说明各个网络功能实体与 UE 的功能。

通过系统结构一章可以让读者对整个 WCDMA 系统有一个宏观的了解,并且通过移动性管理流程和 UE 被叫流程让读者能够对各个网络实体的功能及其相互关系有一个更加具体的了解。

第 3 章将介绍 WCDMA 系统中网络侧使用的传输技术。WCDMA 的接入网引入了 ATM 技术作为基本的传输技术,本章将重点介绍 ATM 的基础知识以及在 WCDMA 接入网中用到的 ATM 适配层技术。在 WCDMA 接入网中,无论控制面的信令流程还是用户面的承载传输过程,都是以在本章中介绍的 ATM 技术为基础的。正确理解 ATM 传输技术,对于正确理解 WCDMA 的信令流程细节也是有所帮助的。

传输层技术对 WCDMA 系统非常重要,但 WCDMA 真正的核心技术还是集中在空中接口上,在第 4 章将对 WCDMA 系统的空中接口技术进行介绍。本章中将重点介绍 WCDMA 空中接口的分层结构,并将对 RRC 层、RLC 层、MAC 层分别进行详细介绍。除此之外,WCDMA 系统所涉及的信道类型以及各种不同信道之间的映射关系也是本章讨论的一个重点。对于系统最核心的物理层,则使用单独的一章进行说明。

第 5 章专门介绍物理层的技术细节。本章将重点放在专用物理信道上下行方

向在物理层中的数据处理的细节,对于一些物理层中所涉及的重要概念和关键技术点,在本章中将重点说明,例如 TFCI 在空中接口的使用等。本章还将归纳主要物理信道的帧结构,最后通过一个信道映射的实例将前面介绍的物理层过程串联起来,给读者一个更加感性的认识。

第 6 章主要介绍 WCDMA 系统接入网(UTRAN)的内部接口。在本章中将分别介绍 UTRAN 内部的 Iu 接口、Iub 接口和 Iur 接口。每个接口都会详细介绍此接口上详细的协议栈结构,以及该接口上所涉及的主要信令过程。在本章的最后部分,对 WCDMA 空中接口、Iub、Iu、Iur 接口之间的关系进行一个归纳和概括,从而使读者能更好地理解这几个接口之间的关系。

通过前面 6 章,读者已经可以对 WCDMA 系统的整体结构有一个总体认识。接下来的章节将通过不同的专题对 WCDMA 系统所涉及的关键技术进行逐个分析。

关于 WCDMA 关键技术的介绍,本书希望用尽可能形象、通俗的方式让读者去了解 WCDMA 系统工作的细节。对于一个通信系统而言,其核心技术是如何完成终端与系统之间的交互,换言之,如果读者可以清晰地了解一个通信系统终端选网、通信的各个细节步骤,也就对该通信系统的关键技术有了一个深入而全面的认识。如何理解 WCDMA 系统与终端之间的交互过程,始终贯穿于本书后面有关键技术的部分。

谈到系统与终端的相互交互,首先需要解决的一个问题就是移动终端在空闲模式下的网络选择与系统信息的获得,进而是对系统的接入过程。第 7 章将介绍 UE 在空闲模式下可能执行的动作,包括:UE 对系统广播消息的读取、WCDMA 所设计的网络选择和小区选择过程、移动终端的随机接入过程。

第 8 章将介绍 WCDMA 系统和终端之间的同步技术。同步技术其实贯穿于终端与网络的同步过程、终端与网络通信过程中。通过了解 WCDMA 所设计的同步技术,可以使读者从细节层面上了解网络和移动终端之间如何进行数据的发送、接收和读取。

第 9 章将对 WCDMA 系统中很重要的功率控制技术作一个归纳总结。功率控制技术是 CDMA 技术的一个基本关键技术,通过本章对 WCDMA 功率控制技术的总结,读者可以了解 CDMA 功率控制的共性,以及 WCDMA 系统功率控制的一些个性特点。

和功率控制类似,软切换技术也是所有 CDMA 系统的一个关键技术。本书第 10 章将详细介绍 WCDMA 中所设计的切换技术的相关细节。本章将首先介绍切换技术所涉及的一个关键过程——测量。测量过程也是所有切换过程的基础。在介绍完测量过程后,本章还将对 WCDMA 中所涉及的各种切换技术进行归纳总结。本章最后还将针对某些切换技术给出和切换相关的信令流程。

第 11 章的主题是系统安全,这是所有移动通信系统必须具备的功能。WCDMA 的系统安全其实涉及很多方面,该章将主要围绕 WCDMA 系统空中接口的安全机制进行讨论。

通过前面章节介绍完 WCDMA 系统相关关键技术之后,第 12 章将对 WCDMA 的呼叫流程进行详细分析。对于 WCDMA 系统的初学者而言,一个完整的呼叫流程有助于读者对整个系统的总体认识。通过分析一个完整的呼叫流程,可以使读者获得一个完整、深入、细致的认识,这也是作者本人在学习过程中的一个深刻体会。

WCDMA 所涉及的呼叫流程可以演变出很多个不同的场景,本章并不试图覆盖所有的呼叫流程。虽然移动终端与网络涉及的基本交互过程可以组合为多种复杂的信令流程,但是对于 WCDMA 系统而言,RRC 连接的建立过程是所有呼叫流程需要使用的基本信令流程,所以本章将首先重点介绍 RRC 连接的建立流程。此后本章还将重点介绍一个典型的移动终端发起的电路域呼叫和一个移动终端发起的分组域呼叫。需要说明的是,为了让读者对呼叫过程中的细节有所了解,本章在介绍呼叫信令流程时,同时对一些信令消息中包含的参数进行了描述,但 these 参数中有些为必选项,有些为可选项,终端和系统的产品实现不同,其中所包含的参数也会不同,读者可以参照 3GPP 的技术规范进一步准确理解这些参数。

3G 系统与 2G 系统的一个显著不同就是对数据业务支持的增强。第 13 章将围绕数据业务展开讨论。在本章中将详细描述移动终端对网络分组域的接入方式,分组域会话相关的一些重要概念和流程也会在本章中介绍。

3GPP R5 版本中所作的最重要改进包含了接入网中的 HSDPA 技术以及核心网中的 IMS 技术,在本书的后面章节将针对这两个重要部分分别进行介绍。

第 14 章将介绍 HSDPA 技术。作为对比,在介绍 HSDPA 技术之前,首先介绍一下 R99 系统中定义的 DSCH 技术,然后概括介绍 HSDPA 所涉及的相关关键技术、HSDPA 所涉及的新的信道结构、网络结构变化等内容。

IMS 已经不是一个仅仅局限于 WCDMA 或者 3G 范围内的网络融合概念。本书的后两章将重点放在 IMS 相关技术上。在介绍 IMS 之前,首先要介绍的是 IMS 通用的会话控制协议——SIP, SIP 也是未来分组多媒体会话领域将占据统治地位的会话协议。

本书将会在第 15 章概括介绍 SIP 所涉及的方方面面。

第 16 章集中介绍了 WCDMA 系统中的 IMS 技术。首先详细介绍 IMS 的网络结构以及各个网络实体的功能,其次将介绍 IMS 的业务平台结构以及 IMS 中所涉及的用户标识,本章最后将介绍 IMS 注册过程与会话建立过程,从而将前面所介绍的 IMS 知识通过详细的会话过程串联起来。

本书的最后一章概要性地展望了移动通信的发展趋势。

本书重点在于介绍 WCDMA 的关键技术。TD-SCDMA 与 WCDMA 在空中接口物理层使用了完全不同的技术，而在空中接口上层结构、系统架构、传输技术、信令流程、核心网部分、IMS 部分，TD-SCDMA 与 WCDMA 的技术是相似或者共用的，所以本书的部分内容也可供 TD-SCDMA 学习者参考阅读。

谨以此书献给我的家人以及即将出生的孩子，感谢我妻子周浩的理解和支持，在本书的编写过程中，她花费了大量的周末和个人业余时间，家人的支持是我完成这本书的动力。

本书中的所有内容都是基于作者对 3GPP 技术规范及其他技术规范的个人理解基础上, 本书中的内容仅代表作者本人对 WCDMA 技术的理解和观点, 与任何公司、团体无关。

因作者水平所限，本书中的错误纰漏在所难免，恳请读者批评指正。

姜 波

E-mail: bjiang_1@yahoo.com

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 移动通信发展历史	1
1.2 3G 的发展历史	3
1.3 移动通信基础	5
1.3.1 FDMA、TDMA 和 CDMA	6
1.3.2 FDD 与 TDD	7
1.4 2G 系统向 3G 系统的演进	8
1.5 CDMA 及其关键技术	12
1.5.1 CDMA 概念	12
1.5.2 直接序列扩频技术	13
1.5.3 CDMA 关键技术简介	15
1.6 3GPP 的标准化工作	17
1.7 3G 频谱划分	20
第 2 章 WCDMA 系统结构	21
2.1 WCDMA 业务和业务模型	21
2.1.1 电信业务和附加业务	23
2.1.2 WCDMA 的承载业务	24
2.1.3 QoS 分类	25
2.2 WCDMA 系统网络模型	27
2.2.1 移动通信网的一般体系结构	28
2.2.2 空中接口的三层分层结构	29
2.2.3 WCDMA 的 R99 版本网络结构	30
2.2.4 WCDMA 的 R4 版本网络结构	35
2.2.5 WCDMA 的 R5 版本网络结构	39
2.2.6 智能网的体系结构	42
2.2.7 IMS 中的业务体系结构	43
2.2.8 OSA 的简要介绍	44
2.3 用户标识以及网络的区域划分	45

2.3.1	网络标识	45
2.3.2	WCDMA 中移动用户的标识	47
2.4	移动性管理	50
2.5	UE 被叫信令流程	52
第 3 章	UTRAN 中的传输技术	54
3.1	ATM 技术在 WCDMA 中的应用	54
3.2	ATM 层简介	55
3.2.1	ATM 协议的参考模型	57
3.2.2	ATM 反向复用——IMA	58
3.2.3	ATM 信元结构	59
3.2.4	ATM 交换	61
3.3	ATM 适配层简介	62
3.3.1	AAL 的功能	62
3.3.2	AAL 服务的分类	63
3.3.3	AAL 层的分层模型	65
3.3.4	AAL1 简介	66
3.3.5	AAL3/4	69
3.3.6	AAL5	70
3.3.7	SAAL	71
3.3.8	AAL2	74
3.3.9	AAL2 层的复用机制	76
第 4 章	WCDMA 的空中接口	79
4.1	空中接口结构概述	79
4.2	空中接口的分层结构	80
4.3	无线资源控制层 (RRC)	82
4.3.1	RRC 连接	83
4.3.2	RAB、SRB、RB 以及逻辑信道	83
4.3.3	RRC 在呼叫过程中的应用	83
4.3.4	RRC 层的参考模型	84
4.3.5	RRC 状态和状态转移	86
4.4	空中接口的 RLC 层	88
4.4.1	RLC 层概述	88
4.4.2	RLC 服务模型	91

4.4.3	RLC PDU 数据报文类型与结构	93
4.4.4	RLC 有回应模式的重传示例	99
4.5	MAC 层简介	99
4.5.1	MAC 实体	101
4.5.2	MAC PDU 的数据结构	104
4.6	空中接口信道类型及其映射关系	106
4.6.1	无线接入承载	107
4.6.2	无线承载	108
4.6.3	逻辑信道	109
4.6.4	传输信道	110
4.6.5	物理信道	113
4.6.6	各层信道在实际网络中的实现	114
4.6.7	信道映射	116
4.6.8	各个物理信道的时序关系	118
第 5 章	物理层的功能	121
5.1	WCDMA 中上行和下行无线链路的结构	121
5.2	数据由 MAC 层到物理层的发送和接收	123
5.3	上行物理信道和下行物理信道	126
5.3.1	上行传输信道和物理信道	126
5.3.2	下行传输信道和物理信道	127
5.3.3	TFI 和 TFCI	128
5.4	传输信道到物理信道的映射以及物理层中的数据处理过程	128
5.4.1	CRC 的添加	130
5.4.2	传输块的级联和码块分段	130
5.4.3	信道编码	131
5.4.4	无线帧的尺寸均衡	132
5.4.5	第一次交织	132
5.4.6	速率匹配	132
5.4.7	传输信道的复用和 DTX 指示位的插入	134
5.4.8	物理信道的分段和第二次交织	135
5.4.9	传输信道、CCTrCH、物理信道之间的映射	136
5.5	TFCI 在空中接口使用	136
5.5.1	AMR 语音编码的结构	138
5.5.2	AMR 语音业务中 TFCI 的使用	139

5.6 扩频和调制	141
5.6.1 信道码的产生	142
5.6.2 上行扰码	143
5.6.3 下行扰码	145
5.6.4 上行专用物理信道的扩频	149
5.6.5 下行专用物理信道的扩频	152
5.7 物理信道的结构	153
5.7.1 上行物理信道结构	154
5.7.2 下行物理信道结构	156
5.8 传输信道到物理信道映射的实例	162
第 6 章 WCDMA 接入网结构与信令	167
6.1 接口协议分层设计原理	167
6.2 WCDMA 接入网概述	170
6.2.1 空中接口和 Iub、Iur 的关系	172
6.2.2 UTRAN 接口协议设计的基本原则	173
6.3 Iu 接口	175
6.3.1 Iu 接口协议栈	176
6.3.2 SCCP 在 Iu 接口的使用	178
6.3.3 RANAP 过程	179
6.3.4 NAS 信令在 Iu 接口的传输	179
6.3.5 Iu 接口上呼叫资源的建立与释放	180
6.3.6 其他 RANAP 过程	182
6.4 Iub 接口	183
6.4.1 Iub 接口的协议栈概述	183
6.4.2 Iub 接口上 Node B 的逻辑模型	184
6.4.3 Iub 接口上的数据传输	185
6.4.4 NBAP 的功能	186
6.4.5 Iub 接口的公共资源配置过程	187
6.4.6 无线链路建立、删除、重配置过程	190
6.5 Iur 接口	192
6.5.1 Iur 接口功能概述	194
6.5.2 Iur 接口信令传输过程	194
6.5.3 Iur 接口的无线链路过程	195
6.5.4 其他 RNSAP 过程	196

6.6	Iur 与 Iub 接口的用户面帧协议	196
6.7	WCDMA 接口协议综述	198
6.7.1	CS 域协议栈概述	199
6.7.2	CS 域中网络资源的映射关系	201
6.7.3	PS 域协议栈概述	203
6.7.4	PS 域中网络资源的映射关系	205
第 7 章	UE 在空闲模式下的动作	207
7.1	小区的系统信息广播	207
7.1.1	概述	207
7.1.2	主信息块	208
7.1.3	系统信息的调度	209
7.1.4	SIB 消息内容简介	211
7.2	网络选择以及小区的选择和重选	223
7.2.1	PLMN 选择	224
7.2.2	小区选择	225
7.2.3	小区选择/重选的“S 准则”	227
7.2.4	小区重选	228
7.3	随机接入过程	241
7.3.1	与接入过程有关的资源	241
7.3.2	随机接入过程	245
7.3.3	PRACH 与 AICH 的接入时隙时间偏移	247
7.3.4	PRACH 的接入前导 (Preamble) 部分	249
7.3.5	AICH 的回应机制	251
第 8 章	WCDMA 中的同步技术	254
8.1	WCDMA 系统同步概述	254
8.2	同步相关的重要概念	255
8.3	时隙同步和帧同步	257
8.3.1	UE 开机时的小区搜索过程	257
8.3.2	相邻小区的小区搜索	259
8.4	节点同步	259
8.5	传输信道同步	262
8.6	空中接口同步	264
8.6.1	单条无线链路建立时的空中接口同步	266

8.6.2	同时建立多条无线链路时的空中接口同步	268
8.6.3	软切换时的空中接口同步过程	271
第 9 章	WCDMA 系统的功率控制	274
9.1	功率控制的分类	274
9.2	下行公共物理信道的功率设定	276
9.3	UE 接入过程中的发射功率	276
9.4	外环功率控制	279
9.5	内环功率控制	280
9.5.1	下行链路内环功率控制	281
9.5.2	上行链路内环功率控制	285
9.6	小区选择分集发射 (SSDT)	292
9.7	发射分集技术	293
9.7.1	用于 SCH 的时间切换的发射分集	293
9.7.2	基于空时码的发射天线分集	294
9.7.3	闭环模式发射分集	295
第 10 章	切换和测量	297
10.1	切换	297
10.1.1	切换分类	298
10.1.2	切换过程	300
10.2	测量	301
10.2.1	测量目的	301
10.2.2	测量机制	302
10.2.3	UE 如何获得测量控制信息	302
10.2.4	物理层测量模型	307
10.2.5	测量项目	308
10.3	软切换和同频测量	312
10.3.1	同频测量	312
10.3.2	同频测量的报告事件	314
10.3.3	改善同频 (/异频/系统间) 测量报告行为的可用机制	317
10.4	压缩模式	320
10.5	异频测量和硬切换	323
10.5.1	异频测量事件类型	324
10.5.2	异频测量和压缩模式	325