

新一代信息通信技术书系·无线通信专辑

无线资源管理

王莹 张平 编著

WUXIAN ZIYUAN

IANLI

9.53



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

新一代信息通信技术书系·无线通信专辑

无线资源管理

王莹 张平 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

对于无线系统来说,无线资源的概念是很广泛的,它既可以是频率,也可以是时间,还可以是码字。无线资源管理(RRM)就是对移动通信系统的空中接口资源的规划和调度。无线资源管理涉及到一系列与无线资源的分配有关的研究课题,如接入控制、信道分配、功率控制、切换、负载控制以及分组信息的调度等。本书较为全面地介绍了移动通信系统中的各种无线资源管理算法,对影响系统性能的各种因素做了比较详细的分析。全书共分8章,包括绪论,各种资源管理算法,系统仿真技术,以及无线资源管理算法在工程实际中的应用。

本书可作为通信工程技术人员和相关通信专业的研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无线资源管理/王莹,张平编著. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-1047-8

I. 无... II. ①王... ②张... III. 数字通信:移动通信—通信系统—系统管理
IV. TN929.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 015374 号

书 名: 无线资源管理

编 著: 王莹 张平

责任编辑: 王晓丹

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(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部) 010-62283578(FAX)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 13

字 数: 280 千字

印 数: 1—5 000 册

版 次: 2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1047-8/TN·367

定 价: 24.00 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 ·

新一代信息通信技术书系

编委会

名誉主编：周炯槃

执行主编：乐光新

编委(专辑主编/副主编)：

吴伟陵 张 平 刘元安 李道本

杨义先 顾畹仪 纪越峰 张 杰

程时端 王文东 朱其亮 舒华英

(排名不分先后)



21 世纪是经济全球化、全球信息化的崭新世纪。

信息化要靠信息系统的支持,通信则是信息系统的核心和桥梁。离开了通信来谈信息化是不可能的。今天,人们越来越倾向于以更为广义的信息通信的丰富内涵来替代相对狭义的通信的概念。

信息通信发展的目标是要实现无论何人在何时何地都能与另一用户(包括网站)进行用各种媒体表达的高质量的信息传输,实现各种信息服务。信息通信是一个巨系统,凡是人类活动之所及都能找到它的踪迹。信息通信同时又是一个整体,任何一种通信方式和通信技术都不可能孤立地存在、单独地发挥作用,各种通信方式和技术只有互相协同、配合和支撑才能构成一个完整的通信过程。当代信息通信系统还有一个特点是与计算机相互交融、相伴相随、密不可分。自 20 个世纪以来,计算机与集成电子技术得到了飞速发展,与此相应,信息通信技术也呈现日新月异的发展态势。摩尔定律在信息通信领域同样显示出它的规律。

信息通信既是一个巨大的概念,又是一个巨大的系统,同时还是发展迅速、变幻莫测的领域。我们不敢奢望用一两本书的有限容量来展示它的全貌和魅力。显然,在世纪之初全面地回顾、盘点信息通信技术在近年的发展和现状,展望和评述它的趋势和变化,无疑是有意义的和必要的。基于此,北京邮电大学出版社聘请业界的著名专家、学者组成阵容强大的编委会,全面、深入、系统地分析并探讨当今信息通信最新技术的发展和未来发展的走向,条分缕析,精挑细选,决定策划出版一套反映信息通信技术最新发展及其热点的图书,并向信息通信领域的知名专家组稿。经过周密而细致地论证、研讨,并得到方方面面的热情支持和鼎力相助之后,初步形成了现在由 4~5 个专辑组成的“新一代信息通信技术书系”。

由于覆盖面宽、内容庞大,该书系按技术基础和应用相近的原则划分为不

同的专辑,基本涵盖了当今信息通信技术发展的大部分前沿领域。每一专辑只介绍信息通信领域中的一种技术门类,包括原理综述,技术进展的评介和作者自己的工作成果。由于该书系的作者都是信息通信领域的知名学者和领军人物,他们撰写的内容无疑具有权威性和前瞻性,相信会得到广大读者的欢迎,并产生积极意义和影响。

在写作方式和篇幅上,书系不追求系统、严格和完善的理论分析,不追求大而无当的鸿篇巨制,而坚持立足于对相关技术的原理阐述、应用开发、趋势评介和引导等原则,尽可能做到深入浅出、规模适当,因此特别适合大多数信息通信和相关领域工程师及高等院校的教师学生以及从业人员阅读和参考。

本书系从一开始就得到许多领导和专家学者的热情支持和帮助,在此一并表示深切的感谢!

信息通信技术的发展变化极快,本书系虽尽可能顾及方方面面,但仍有一些内容没能被纳入,我们会不断地充实,在今后的一段时间内努力完善这一书系。另外,书系中的每一本书也会受种种条件的限制,在内容和行文中可能存在欠缺,对技术发展的评价也会因人而异,我们也并不追求一致。本书系虽经编委会、所有作者和编辑出版者的努力,但疏漏和错误在所难免,我们恳请读者的批评和建议,希望能把这一有意义的工作做得更好!

乐光新

于 2005 年新春

序

信息通信日新月异,无线技术前景无限。

为了尽快适应飞速发展的无线通信的需求,北京邮电大学出版社在2004年特别组织有关专家撰写了“新一代信息通信技术书系·无线通信专辑”,在这一专辑中为广大专业读者提供了近10本图书。在内容上,这些书大致可以分为两大类型:物理层技术与网络层技术。其中:

在物理层技术中,本专辑汇集了“移动通信中多媒体业务基础”、“无线通信中的先进DSP技术”等内容,同时还涉及以空域为主体的比较前沿的新技术“智能天线技术”、“无线通信中的多天线技术”。

在网络层技术中,则除了包含“移动通信中的资源管理”、“宽带移动互联网”等内容外,本专辑还包含更为前沿的新技术“无线网络中的信息安全”、“无线重构技术”和“异构网的业务综合”等。

以上内容将分别成书,陆续出版提供给广大的读者,同时,也殷切希望广大读者对本专辑的编写提出宝贵的意见,并提出新的需求,以便我们能进一步充实和改进,为读者提供更好的服务。

吴体刚

2005年3月于北京邮电大学信息学院



对于无线系统来说,无线资源的概念是很广泛的,它既可以是频率,也可以是时间,还可以是码字。不论是从哪个角度来看,以移动通信为代表的无线通信系统都是资源受限的系统。而与此同时用户的数量却在持续地高速增长,因而如何高效地利用有限的无线资源来满足日益增长的用户需求,已经成为令移动通信系统的制造商和运营商日益关注的问题。

无线资源管理(RRM)就是对移动通信系统的空中接口资源的规划和调度。之所以要研究无线资源管理就是希望在有限的无线资源和一定的规划覆盖和服务质量(QoS)要求的情况下,接入尽可能多的用户。如果没有良好的无线资源管理技术,即使再好的无线传输技术也无法发挥出它的优势,极端的情况甚至会导致系统无法正常运转。无线资源管理涉及到一系列与无线资源的分配有关的研究课题,如接入控制、信道分配、功率控制、切换、负载控制以及分组信息的调度等。

本书较为全面地介绍了移动通信系统中的各种无线资源管理算法,对影响系统性能的各种因素作了比较详细地分析。本书围绕 CDMA 移动多媒体系统中的各种资源分配和管理问题,结合北京邮电大学无线新技术研究室在第三代以及超三代移动通信系统研发工作中的成果,并在参考了大量的国内外的最新文献的基础上,对这些问题作了详尽地描述。全书共分 8 章,包括绪论,各种资源管理算法,系统仿真技术,以及无线资源管理算法在工程实际中的应用。

本书可作为通信工程技术人员和相关通信专业的研究生的参考书。

作者在此感谢与我们一同工作过和学习过的同事们以及曾经在无线新技术研究室学习过的博士和硕士研究生,正是因为他们的鼓励和帮助以及知识的积累,才使得我们今天能够为读者奉献出这样一本有关移动通信中资源管理策略的专著。

作者期待着读者对书中的错误及疏漏提出批评和指正。

作 者

2004 年 11 月于北京邮电大学

目 录

第 1 章 绪论

1.1 第三代移动通信系统	1
1.2 QoS 与无线资源管理	4
1.2.1 无线网络中的 QoS 管理	5
1.2.2 接入控制	6
1.2.3 功率控制的研究	7
1.2.4 切换策略	7
1.2.5 负载控制	8
1.2.6 分组调度	9
1.3 本书的章节安排	9
本章参考文献	10

第 2 章 接入控制策略

2.1 无线网络中的接入控制策略概述	12
2.1.1 接入控制策略的性能评估	12
2.1.2 接入控制策略的分类	13
2.2 分层小区结构的接入控制	15
2.2.1 单层系统下的几种接入控制策略比较研究	15
2.2.2 小区负载测量	16
2.2.3 接入控制策略	17
2.2.4 仿真结果	19
2.3 CDMA 无线多媒体系统中的接入控制策略	22
2.3.1 系统模型	22
2.3.2 接入控制策略	23

2.3.3 性能分析·····	26
2.3.4 数值结果及讨论·····	29
附录 A T_0^N 的均值与方差的推导·····	32
附录 B T_0^{N+1} 的均值和方差的推导·····	34
本章参考文献·····	35

第3章 功率控制技术

3.1 CDMA 容量分析·····	38
3.2 功率控制准则·····	39
3.2.1 功率平衡准则·····	39
3.2.2 SIR 平衡准则·····	40
3.2.3 功率平衡和 SIR 平衡混合体制及其他·····	42
3.3 功率控制方法·····	43
3.3.1 反向功控与前向功控·····	43
3.3.2 集中式功控与分布式功控·····	43
3.3.3 开环功控与闭环功控·····	46
3.4 功率控制中的主要问题·····	47
3.4.1 可测量的信息·····	47
3.4.2 对功率控制算法的要求·····	48
3.5 WCDMA 系统中的功率控制·····	50
3.5.1 WCDMA 中与功率控制有关的物理信道帧结构·····	50
3.5.2 WCDMA 中的上行(反向)功率控制·····	52
3.5.3 WCDMA 中的下行(前向)功率控制·····	63
3.5.4 站点选择分集发送功率控制·····	66
3.6 WCDMA 功率管理 ^[25] ·····	68
3.6.1 上行功率管理的例子·····	68
3.6.2 站点选择分集功率控制·····	68
3.6.3 平衡下行功率的例子——调整环·····	69
3.6.4 无线链路监测·····	69
3.7 小结·····	69
本章参考文献·····	70

第4章 切换策略

4.1 切换的基本概念·····	72
------------------	----

4.2 WCDMA 系统中的切换策略	74
4.2.1 软切换	74
4.2.2 硬切换	76
4.2.3 测量控制	77
4.3 具有 QoS 保证的多媒体切换策略	79
4.3.1 研究背景	79
4.3.2 动态优先预留排队切换管理策略(DPRQ)	81
4.3.3 切换分析	82
4.3.4 数值结果及分析	85
4.4 群小区及群切换	89
4.4.1 研究背景	89
4.4.2 群小区及群切换的定义	89
4.4.3 群小区及群切换的应用	91
4.4.4 小结	92
本章参考文献	92

第 5 章 无线分组调度算法

5.1 调度概述	95
5.1.1 无线领域的调度算法	96
5.1.2 队列调度算法中一些常用的基本概念	97
5.1.3 无线分组调度算法的特点	99
5.2 自适应调制系统以及 MCI 调度算法分析	103
5.2.1 链路自适应系统的 Markov 建模方法	104
5.2.2 MCI 调度算法的研究分析	106
5.3 比例公平调度算法研究	109
5.3.1 比例公平的背景	109
5.3.2 Q-PFS 算法的研究	109
5.3.3 状态比例公平调度算法	118
5.3.4 关于比例公平算法的进一步讨论	122
本章参考文献	124

第 6 章 分层小区结构下的无线资源管理

6.1 分层小区结构概述	127
--------------------	-----

6.2 HCS 中的层选择策略	129
6.2.1 层选择策略的研究现状	129
6.2.2 系统模型	131
6.2.3 新的层选择算法	131
6.2.4 仿真结果	133
6.3 同频分层小区结构的性能分析	134
6.3.1 同频分层小区结构的容量分析	134
6.3.2 同频分层小区结构的软切换区域	136
6.4 异频分层小区系统中的切换策略	140
6.4.1 研究背景	140
6.4.2 系统模型、符号和术语	141
6.4.3 干扰分析	142
6.4.4 切换策略	143
6.4.5 性能分析	144
6.4.6 数学结果及讨论	149
本章参考文献	153

第 7 章 系统级仿真技术

7.1 系统级仿真概述	155
7.2 系统级仿真方法与基本流程	156
7.2.1 静态仿真	157
7.2.2 动态仿真	158
7.2.3 两种仿真方法的比较	159
7.2.4 系统级动态仿真的基本流程	160
7.3 系统级仿真的建模	161
7.3.1 系统建模原则	161
7.3.2 系统仿真的基本模型	161
7.4 系统级仿真与链路级仿真之间的接口	169
7.5 网络分析方法的发展	171
本章参考文献	172

第 8 章 无线资源管理在工程实际中的应用

8.1 WCDMA 无线网络规划概述	173
--------------------------	-----

8.2 无线网络规划方案	175
8.2.1 覆盖规划	175
8.2.2 容量规划	183
8.3 WCDMA 与 GSM 规划比较	185
8.3.1 GSM 网络规划	185
8.3.2 WCDMA 网络规划	185
本章参考文献	187
中英文名词对照	188

如果要问在过去十年里,发展最快、对民众生活影响最大的产业有哪些?以蜂窝通信为代表的移动通信系统无疑是其中名列前茅的佼佼者。它的发展势头之迅猛甚至超过互联网的发展速度。蜂窝移动通信系统的崛起有许多原因,但是其中最重要的一点是它能够提供更便捷的通信,满足了现代化社会的个体对个性化自我的追求。人们对未来移动通信系统的期望是:任何人可以在任何地方、与任何人、在任何时间、进行任何形式的通信,这也被泛指为未来的个人通信系统的目标。

电信业务的发展已由最初的简单话音业务和低速率的数据业务发展到现在把图像、话音和数据业务结合在一起的多媒体业务和高速率数据业务。宽带的 ISDN 将成为公网的主干网络,成为“信息高速公路”有效载体。同时互联网的应用也日趋广泛,已经渗透到社会的每个角落。通信与互联网的联系也日趋密切。最初的移动通信系统是以话音业务为主,辅以低速率的数据业务,如短消息的发送等。大家普遍认为,以数据传输为代表的增值业务将在移动通信中占有越来越大的比重。目前正在商用化的第三代移动通信系统的目标就是使移动用户能够享受无线高速率数据业务的服务。

移动通信系统是指建立交换信息的两端中至少有一方可以处于移动状态的网络系统。我们常见的移动通信系统有蜂窝通信系统、寻呼系统、卫星通信系统(如低轨道的铱星系统),另外还有无绳电话系统、移动集群通信系统、海事卫星系统。

1.1 第三代移动通信系统

第二代通信系统的巨大成功使得人们对未来的系统寄予了更大的期望。尽管如此,第二代数字蜂窝系统的带宽较小,所以能够提供的业务种类非常有限,只有话音业务和少数的低速数据业务。虽然后来先后提出了 WAP(Wireless Application Protocol,无线应用协议)和 GPRS(General Packet Radio Service,通用分组无线业务)的增强解决方案,但是距离用户对通信业务多样化的要求还差得很远。与第一代多种多样的模拟系统相比,第二代数字系统要少得多,有影响的只有四种制式:欧洲的 GSM(Global System for Mobile communications,全球移动通信)、日本的 PDC(Personal Digital Cellular,个人数字蜂窝系统)、北美的 IS-136 和 IS-95;其中 GSM 和 IS-95 更多地表现出全球性覆盖网络的决心,而

日本的 PDC 和北美的 IS-136 更多地表现出地域性优势。另外更严重的问题是:它们之间也互不兼容,呈现条块划分的割据状态,无法为用户提供跨国家或跨地区的漫游通信,这严重制约了全球移动通信市场的扩展。

为了改变这种现状,人们希望能够在下一代的移动通信系统中解决这些问题,同时能够与一些飞速发展的技术(如:互联网、IP 技术等)相结合。所以新一代的移动通信系统(即第三代和第四代移动通信系统)的研究和发展成为电信领域的一个新的研究热点。

在第三代移动通信规范提案的概念评估过程中,宽带码分多址(WCDMA)技术以其自身的技术优势成为 3G 的主流技术之一。WCDMA 系统能为用户带来最高 2 Mbit/s(理论值)的数据传输速率,它通过有效地利用带宽,能顺畅地处理声音、图像数据、与互联网快速连接;此外,WCDMA 和 MPEG-4 技术结合起来还可以处理动态图像。人们之间沟通的瓶颈将由现在的网络传输速率转变为各种新型应用的提供。

移动通信系统的无线资源包括频谱、时间、功率、空间和特征码等要素。从移动通信发展历史看,提高无线资源利用率一直是追求的主要目标。FDMA、TDMA 与 CDMA 的最大不同点在于:CDMA 是统计复用资源,每个载频的所有用户共享频率、时间、功率资源,用户之间只依靠特征码来区分;而 FDMA、TDMA 是固定分配资源,不同的用户在频率、时间、功率资源上部分或全部不同,用户之间有较好的隔离度。

GPRS 所能提供的速率仍然不是很理想,最大 171.2 kbit/s(理论值)。由于 GPRS 与 GSM 相比,在调制技术方面没有本质的改变,所以频率利用率方面并没有得到改观。GPRS 仍基于 TDMA,频率利用率远低于 CDMA。

WCDMA 系统采用 CDMA 技术,使得频率利用率大大提高,同时调制技术的改善(QPSK),使 WCDMA 系统抗干扰的能力加强。

考虑到现存的 2.5G 网络,WCDMA 系统可在此基础上平滑过渡,即只需增加无线部分,而核心网部分基本不变。所以引入 WCDMA 系统是一个上佳选择。

3G 的市场开发需要业务的牵引,不同于二代系统主要是为了解决人们随时随地话音通信的需求,3G 能够具有支持不同媒体业务的能力。为了提供市场前期牵引的能力,WCDMA 规范注重了业务能力的开发。WCDMA 预期提供的业务是非常丰富的。可以通过 WCDMA 终端,享受普通、宽带话音,多媒体业务,可视电话和视频会议电话。移动网络上的 Internet 应用也更为普遍,E-mail、WWW 浏览、电子商务、电子贺卡等业务与移动网络相结合。移动办公类业务也是一个发展方向:Intranet 接入、企业 VPN 等将大力普及。信息、教育类业务将有很好的应用前景,股票信息、交通信息、气象信息、位置服务(LCS)、网上教室、网上游戏等移动应用更将极大地丰富人们的生活。

IMT-2000 提出了 SoLSA、VHE 等新的特色业务,使得业务提供更加灵活和个性化。R'99 中可通过 MExE, SAT, CAMEL 等现有技术来体现 VHE 的业务平台概念。WCDMA 支持多呼叫,即能够向终端提供同时进行多个电路交换(CS)呼叫或分组交换(PS)会话的能力。WCDMA 提供丰富的切换能力(同频、异频和不同系统间切换),以保证移动网络

中的业务连续性。

业务 IP 化、分组化、多媒体化、个性化、生成简单化是总的发展趋势。在未来的业务生成体系中,移动网络运营者、业务提供者(ISP)和内容提供者(ICP)将进行紧密的分工合作。特别重要的是,未来的网络将提供开放的业务结构(OSA),移动运营者可以自己或者和其他机构合作在网络提供的开放业务平台上开发出各种各样的灵活业务,从而满足移动用户的更高要求。

第三代移动通信系统要将各种业务结合起来,用一个单一的全功能网络来实现。与现有的第一代和第二代移动通信系统相比,其主要特点可以概括为:

(1) 全球普及和全球无缝漫游系统:第二代移动通信系统一般为区域或国家标准,而第三代移动通信系统将是一个在全球范围内覆盖和使用的系统。它将使用共同的频段,全球统一标准。

(2) 具有支持多媒体业务的能力,特别是支持 Internet 业务:现有的移动通信系统主要以提供话音业务为主,随着发展一般也仅提供 100~200 kbit/s 的数据业务,GSM 演进到最高阶段的速率能力为 384 kbit/s。而第三代移动通信的业务能力将比第二代有明显的改进。它应能支持从话音到分组数据到多媒体业务;应能根据需要,提供带宽。ITU 规定的第三代移动通信无线传输技术的最低要求中,必须满足以下三种要求,即:

- A 快速移动环境,最高速率达 144 kbit/s;
- B 室外到室内或步行环境,最高速率达 384 kbit/s;
- C 室内环境,最高速率达 2 Mbit/s。

(3) 便于过渡、演进:由于第三代移动通信引入时,第二代网络已具有相当规模,所以第三代的网络一定要能在第二代网络的基础上逐渐灵活演进而成,并应与固定网兼容。

- (4) 高频谱效率。
- (5) 高服务质量。
- (6) 低成本。
- (7) 高保密性。

同时,第三代移动通信系统还要将综合宽带网的业务尽量延伸到移动环境中,能够传送高达 2 Mbit/s 的高质量图像,真正实现“任何人,在任何地点、任何时间与任何人”都能便利地通信。

WCDMA 系统的技术特点有:

- 使用的码片速率为 3.84 M,提供了更大的多路径分集,更高的中继增益和更小的信号开销,此外,更高的码片速率也改善了接收机解决多径效应的能力;
- 信号带宽 5 MHz,可适应多种速率的传输,灵活地提供多种业务;
- BTS 之间无需同步,使用异步基站(节点 B);
- 发射分集方式:TSTD(时间切换发射分集)、STTD(时空编码发射分集)、FBTD(反馈发射分集);

- 信道编码:卷积码和 Turbo 码,支持 2 Mbit/s 速率的数据业务;
- 优化的分组数据传输方式;
- 支持不同载频之间的切换;
- 支持软切换和更软切换;
- 上、下行快速功率控制;
- 语音编码:AMR 与 GSM 兼容;
- 反向采用导频辅助的相干检测(提高反向解调增益,提高功率控制准确性);
- 充分考虑了信号设计对 EMC 的影响。

从以上论述可以看出,第三代移动通信系统的目标是支持多种数据速率的业务,同时随着用户对 QoS 要求的不断提高,保证各种不同速率业务的 QoS 需求已经成为网络运营商和通信系统能否取得成功的关键。无线移动通信系统有其独特的性质,它的 QoS 要求及控制机制和固定网的不同,QoS 是第三代移动通信系统研究工作的一个关键问题。我国第三代移动通信系统的建设也要将保证业务的 QoS 放在首位。

1.2 QoS 与无线资源管理

对于无线系统来说,无线资源的概念是很广泛的,它既可以是频率,也可以是时间,还可以是码字。不论是从哪个角度来看,以移动通信为代表的无线通信系统都是资源受限的系统。而与此同时用户的数量却在持续地高速增长,因而如何高效地利用有限的无线资源来满足日益增长的用户需求,已经成为令移动通信系统的制造商和运营商头痛的问题。

无线资源管理(RRM)就是对移动通信系统的空中接口资源的规划和调度。之所以要研究无线资源管理就是希望在有限的无线资源的情况下,在保证一定的规划覆盖和服务质量要求的情况下,接入尽可能多的用户。如果没有良好的无线资源管理技术,即使再好的无线传输技术也无法发挥它的优势,极端的情况甚至会导致系统无法正常运转。无线资源管理涉及到一系列与无线资源的分配有关的研究课题,如接入控制、信道分配、功率控制、切换、负载控制以及分组信息的调度等。

无线网络是一个动态网络,随时都有用户发出呼叫、终止呼叫,并在网络内部移动。因而,现代的无线资源管理技术应该是实时的并能充分利用网络内部的有效资源,或叫资源最佳分配(optimization)。无线资源分配算法应当使满足服务质量的用户数目最大化。

对于 GSM 和高通的窄带 CDMA 为代表的第二代蜂窝移动通信系统来说主要是以话音业务和低速数据业务为主,而未来的第三代以及超三代移动通信系统除了话音业务以外,还有网上浏览、数据传输以及多媒体业务等^[2,3]。尽管话音业务仍将是未来移动通信系统价值链中的重要一环,但是主要的增值业务还是来自与互联网络的结合。从 3GPP 的规范来看,整个系统的组成是非常复杂的,其无线资源管理的复杂度要远远高于二代