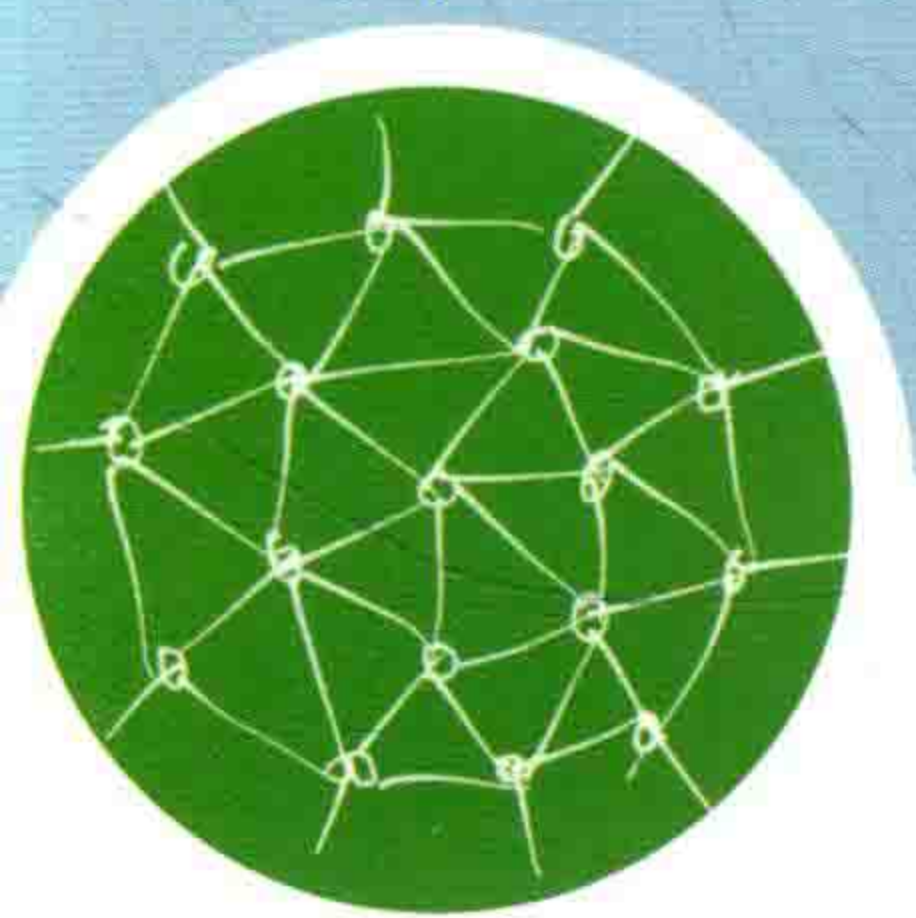


HETEROGENEOUS
NETWORK
CONVERGENCE
AND PROGRAMMABLE
TECHNOLOGY



异构网络融合 与可编程技术

魏翼飞 宋梅 著

Wei Yifei

Song Mei

清华大学出版社

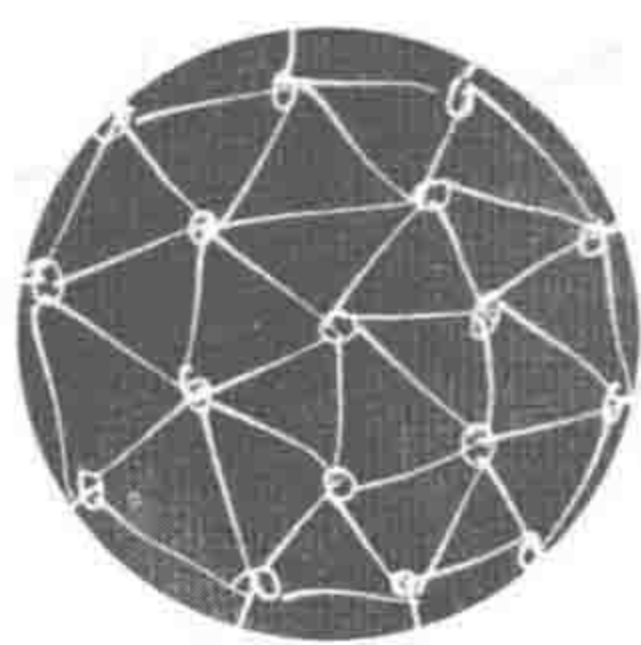


电子信息与电气工程技术丛书 (E&E)

HETEROGENEOUS
NETWORK
CONVERGENCE
AND
PROGRAMMABLE
TECHNOLOGY

异构网络融合 与可编程技术

魏翼飞 宋梅 著
Wei Yifei Song Mei



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统而又深入地论述了异构网络融合与可编程的相关知识和关键技术。全书共分10章,内容包括异构网络融合与可编程网络相关技术的发展,异构无线网络融合的方案,异构无线网络融合的关键技术,网络可编程的基本概念与关键技术,软件定义网络基础概念与整体架构,基于SDN的异构网络融合技术,网络虚拟化的发展背景、发展动因及主要应用,网络功能虚拟化的架构、关键问题和应用场景,异构无线网络仿真平台的相关技术与实现,SDN仿真平台的搭建,搭建异构网络管理平台。

本书可供从事下一代通信网络研究的专业技术人员、管理人员,特别是网络融合和可编程及虚拟化领域的专业研究人员和工程技术人员阅读,也可作为高等院校从事相关课题研究的师生的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

异构网络融合与可编程技术/魏翼飞,宋梅著. —北京:清华大学出版社,2017

(电子信息与电气工程技术丛书)

ISBN 978-7-302-46535-5

I. ①异… II. ①魏… ②宋… III. ①异构网络—研究 IV. ①TP393.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 030369 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:26

字 数:633 千字

版 次:2017 年 7 月第 1 版

印 次:2017 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:79.00 元

产品编号:073294-01

在技术进步、市场竞争和用户需求的共同推动下,信息通信技术特别是无线通信技术的发展突飞猛进,无处不在的网络服务将成为现实。在蜂窝移动通信技术向宽带化方向快速演进、力争提供无线宽带服务的同时,各种无线接入技术不断成熟并普及,促使宽带业务向无线化发展,开始提供部分移动通信功能,试图通过宽带移动化进入移动通信市场。这两大分支在相互竞争独立发展的同时相互借鉴、取长补短,满足了终端和业务的多样化、个性化发展需求。不同网络架构、不同组网技术、不同协议软件、不同服务质量、不同管理模式的多种网络共存,共同为用户提供泛在网络服务的局面将长期存在。

各种信息通信网络在高速发展的同时,也日益显现出受网络封闭与僵化特性的制约,导致异构网络之间难以融合互通、难以优化网络整体性能、难以提供定制化的服务,并且多种网络形态共存已经导致了过度服务、资源和能耗消耗过大的问题。如何将这些异构网络融合在一起,互联互通,并且多网协同工作,提供覆盖广、带宽高、移动性强且费用低廉的接入服务,节约资源、适度服务将是未来通信系统的发展方向。在异构网络场景下引入可编程思想,对传统网络架构进行改进,通过承载与控制分离或者网元功能软件化,提升网络的软件化程度和可编程能力,实现网络的灵活可控制、融合可演进、开放可编程以及弹性可定制的特性,为未来信息通信网络发展提供了更大的发展空间。

基于软件定义与可编程技术的异构网络融合方案能够提高融合网络整体性能、最大化网络资源利用率、降低网络能耗、支持无缝切换和漫游、提供智能最佳接入及服务质量 and 安全保障,适应终端和业务的多样化、个性化发展。对运营商而言,传统网络昂贵的专业设备被通用的可编程交换设备和控制器所取代,能够有效降低其组网成本、提供按需分配的适度服务;对于互联网企业而言,软件定义网络架构屏蔽了低层交换设备的差异性,网络管理者不需要通过各种协议来实现复杂的网络功能,仅仅调用软件接口就可以完成对网络的可重构管理和控制,提高了网络管理效益;对普通用户而言,由于可编程网络能够根据业务需求对网络进行实时动态调整,因此可以提供给用户更好的服务体验。通过集中管理和协同控制,实现网络资源的高效利用;通过网络虚拟化,实现客户定制化网络;通过开放的控制与数据平面接口,实现新技术的快速应用。异构网络融合与可编程技术将打破传统网络路径选择与资源优化瓶颈,增强网络连通性,降低异构网络融合复杂度,推动信息通信网络向智能可编程、资源最优化、绿色高能效的方向发展演进。

本书着眼于全面、系统、深入地介绍异构网络融合与可编程的相关知识和关键技术,分析总结了当前异构网络融合及可编程相关技术的发展和研究现状,结合课题组近年来的科研成果,介绍了基于软件定义的异构网络融合技术以及异构网络融合和可编程仿真平台及实验平台的搭建。

全书分为10章。第1章是全书的概要,首先介绍无线通信技术与有线通信技术的发展历程,然后介绍了异构网络融合与可编程网络相关技术,最后探讨了未来网络的特

前言

点。第2章介绍异构无线网络融合的方案,分别对异构无线网络业务层融合、IP层融合、物理层融合、组网技术的融合等方案进行了详细阐述。第3章分析了异构无线网络融合的关键技术,对异构网络融合过程中需要考虑的4类关键问题进行深入分析。第4章阐述了网络可编程的基本概念、关键技术与发展现状,并重点对可编程网络中软件定义特性在无线网络与数据中心中的应用进行详细的介绍和分析。第5章首先介绍软件定义网络基础概念与整体架构,随之分别对其数据平面与控制平面以及相关接口进行了详细阐述。第6章概述基于SDN的异构网络融合技术,介绍了SDN在不同网络场景中的应用,以及如何进行异构网络间的选择与切换,讨论基于SDN进行网络资源管理的方法,并针对网络能耗问题提出基于SDN的节能方案,给出了当前SDN在网络中的部署方案。第7章分为两部分,首先介绍网络虚拟化的发展背景、发展动因、主要应用,其次对网络功能虚拟化的架构、关键问题和应用场景等进行了详细阐述。第8章总结了异构无线网络仿真平台的相关技术与实现,简要介绍NS-2网络模拟器及仿真分析所需要的相关工具,对支持UMTS/WLAN双模的网络仿真平台及相关仿真实例的实现进行详细阐述。第9章介绍SDN仿真平台的搭建,通过Mininet工具来定义网络,使用了开源的Opendaylight,在Mininet和Opendaylight之间搭建了FlowVisor,通过对网络流量关键字段的划分,使得同一物理网络中可以部署多个控制器来完成不同的策略。第10章围绕如何搭建异构网络管理平台展开,首先介绍现有网络配置管理技术的应用与实现原理,接下来就如何搭建异构网络管理平台以及搭建平台所涉及的关键技术进行详细阐述。

本书的编写考虑到了不同层次读者的需要,全面地介绍了异构网络融合及可编程相关技术的概念、设计思路和关键技术,包括各种通信技术的发展趋势、网络融合方案及融合的关键技术、网络可编程技术、软件定义网络、基于SDN的异构网络融合技术、网络虚拟化与网络功能虚拟化、异构网络融合和可编程仿真平台及实验平台的搭建,便于读者对未来可编程异构融合网络形成系统全面的知识体系。读者也可以根据自身需要,有选择性地阅读相关的章节。

本书的编撰工作凝结了北京邮电大学ICN&CAD中心张勇、满毅、王莉、滕颖蕾、刘洋、郭达、王小娟等教师、博士生及硕士生的研究成果,李俏、李莉、屈银翔、顾博、侯永福、王昊、赵梦雨、吴凯丽、贾子寒、彭翀霄等参与了本书中重要部分的编写工作,在这里特别表示感谢。加拿大卡尔顿大学Fei Richard YU教授、爱尔兰都柏林城市大学Xiaojun WANG教授、美国休斯敦大学Zhu HAN教授对本书提出了很好的建议,在此向他们表示衷心的感谢。此外,还要感谢国家自然科学基金项目(61571059)对相关研究的资助。

由于编者水平和视野所限,以及编写时间仓促,加之信息通信技术发展日新月异,书中难免有疏漏甚至错误之处,恳请读者批评指正。

编著者

2017年4月

第 1 章	信息通信技术的发展趋势	1
1.1	无线通信技术的发展	1
1.1.1	移动通信系统的发展	1
1.1.2	无线接入技术的发展	6
1.1.3	无基础设施的无线网络	9
1.2	有线网络的发展	12
1.2.1	互联网	12
1.2.2	有线电视网络	15
1.2.3	光网络	16
1.3	异构网络融合	17
1.3.1	异构无线网络融合	18
1.3.2	三网融合	20
1.3.3	终端融合	21
1.3.4	固定移动融合	22
1.4	可编程网络	23
1.4.1	认知无线电与认知网络	23
1.4.2	软件定义网络	26
1.4.3	网络功能虚拟化	27
1.5	未来网络的特点	29
1.5.1	智能可编程	29
1.5.2	资源最优化	30
1.5.3	绿色高能效	30
	参考文献	31
第 2 章	异构无线网络融合方案	33
2.1	异构无线网络融合的体系结构	33
2.1.1	3GPP 系统与 WLAN 网络融合体系结构	33
2.1.2	无线接入网络融合	37
2.2	异构无线网络的业务融合	39
2.2.1	基于 IMS 的全业务网络融合	39
2.2.2	基于 SIP 的业务融合	43
2.3	异构无线网络 IP 层的融合	46
2.3.1	移动 IPv4	47
2.3.2	移动 IPv6	50

目录

2.3.3 分层移动 IPv6	53
2.4 无线网络物理层融合	54
2.4.1 多天线技术	54
2.4.2 OFDM 技术	58
2.4.3 分集接收技术	61
2.4.4 自适应编码调制技术	64
2.5 组网技术的融合	65
2.5.1 多跳中继技术	65
2.5.2 自组织网络	69
2.5.3 协作通信技术	73
2.6 移动终端的融合	74
2.6.1 多模移动终端	75
2.6.2 支持软件无线电的移动终端	76
参考文献	77
第 3 章 异构无线网络融合关键技术.....	79
3.1 异构无线网络移动性管理	79
3.1.1 移动性管理简介	80
3.1.2 电路域的移动性管理	83
3.1.3 分组域的移动性管理	87
3.1.4 异构网络的移动性解决方案	90
3.2 异构无线网络资源管理	97
3.2.1 资源管理模型	98
3.2.2 接纳控制	100
3.3 异构无线多接入网络选择	104
3.3.1 无线多接入网络选择分类	105
3.3.2 无线多接入系统的网络构架	106
3.3.3 多接入选择过程	109
3.3.4 基于效用函数的接入选择算法	110
3.4 异构无线网络端到端 QoS 保障	114
3.4.1 IntServ 集成服务模型	114
3.4.2 DiffServ 区分服务模型	116
3.4.3 MPLS 多协议标签交换模型	121
3.4.4 异构网络的 QoS 映射	125
参考文献	129

第 4 章	网络可编程技术	132
4.1	可编程网络	132
4.1.1	可编程网络发展	132
4.1.2	可编程网络架构	136
4.1.3	可编程网络接口技术	141
4.1.4	控制与转发分离——软件定义网络	148
4.2	软件定义无线网络	150
4.2.1	软件定义无线电与认知无线电	150
4.2.2	无线网络的软件定义趋势	152
4.2.3	无线网络虚拟化	157
4.3	软件定义数据中心	159
4.3.1	软件定义数据中心简介	159
4.3.2	软件定义存储	161
4.3.3	软件定义计算	162
4.3.4	软件定义网络在数据中心中的应用分析	163
	参考文献	165
第 5 章	软件定义网络	166
5.1	SDN 技术简介	166
5.1.1	基本概念	166
5.1.2	SDN 定义	169
5.1.3	SDN 的发展背景	171
5.1.4	SDN 架构	173
5.2	SDN 数据平面及南向接口技术	176
5.2.1	数据平面简介	177
5.2.2	OpenFlow 协议简介	178
5.2.3	OF-CONFIG 协议简介	184
5.2.4	SDN 硬件交换机	186
5.2.5	SDN 软件交换机	189
5.3	SDN 控制平面及相关接口技术	191
5.3.1	控制器架构	192
5.3.2	控制器设计特性分析	194
5.3.3	控制器接口技术	196
5.3.4	开源与商用控制器项目	199
	参考文献	203

目录

第 6 章 基于 SDN 的异构网络融合技术	204
6.1 异构网络融合引入 SDN 的优势	204
6.2 SDN 应用场景简介	206
6.2.1 SDN 在数据中心网络中的应用	206
6.2.2 SDN 在家庭网络中的应用	207
6.2.3 SDN 在城域网中的应用	207
6.2.4 SDN 在接入网中的应用	209
6.2.5 SDN 在 C-RAN 中的应用	210
6.2.6 SDN 在 VPN 中的应用	212
6.2.7 SDN 在固定移动融合场景中的应用	213
6.3 基于 SDN 的异构无线网络资源管理方案	214
6.3.1 网络资源管理简介	214
6.3.2 频谱资源分配	216
6.3.3 转发资源分配	219
6.4 基于 SDN 的异构无线网络接入选择策略	220
6.5 基于 SDN 的异构无线网络无缝切换技术	222
6.6 基于 SDN 的异构网络绿色节能方案	224
6.6.1 异构网络能耗问题研究	224
6.6.2 异构网络节能方法简介	226
6.6.3 基于 SDN 的节能技术简介	227
6.6.4 SDN 在能源互联网中的应用	229
6.7 基于 SDN 的网络设备部署方案	232
6.7.1 Overlay 技术产生背景	232
6.7.2 Overlay 技术简介	234
6.7.3 Overlay 组网方案	237
参考文献	237
第 7 章 网络虚拟化与网络功能虚拟化	240
7.1 网络虚拟化的背景和发展	240
7.1.1 虚拟化和网络虚拟化技术	241
7.1.2 网络虚拟化的过去	241
7.1.3 网络虚拟化的现在	243
7.1.4 网络虚拟化的目标	244
7.1.5 网络虚拟化的未来	245
7.2 虚拟网创建	245
7.2.1 网络虚拟化结构模型	246

7.2.2	虚拟网创建流程	250
7.3	虚拟网安全问题	260
7.4	网络虚拟化的应用	261
7.4.1	网络虚拟化和云计算的结合	261
7.4.2	网络虚拟化和 SDN 的结合	262
7.5	网络功能虚拟化背景现状及影响	263
7.5.1	网络功能虚拟化背景	263
7.5.2	网络功能虚拟化标准化	264
7.5.3	网络功能虚拟化的意义	265
7.6	网络功能虚拟化架构	266
7.7	网络功能虚拟化关键问题	268
7.8	网络功能虚拟化的应用场景	270
7.9	电信网络与 NFV	274
7.9.1	数据中心建设	274
7.9.2	电信网络对 NFV 的需求	275
7.9.3	传统电信网络向 NFV 的演进策略	278
	参考文献	281
第 8 章	异构无线网络仿真平台	282
8.1	NS-2 网络模拟器	282
8.1.1	NS-2 简介	282
8.1.2	NS-2 仿真原理	282
8.1.3	NS-2 的扩展：添加新协议	284
8.2	仿真分析需要的相关工具	288
8.2.1	数据处理工具 grep 和 gawk	288
8.2.2	图形绘制工具	290
8.2.3	程序调试工具	294
8.3	支持 UMTS/WLAN 双模的网络仿真平台	300
8.3.1	UMTS 模块简介	300
8.3.2	UMTS 基本通信过程及代码分析	306
8.3.3	NS-2 的无线模块简介	316
8.3.4	UMTS/WLAN 双模网络仿真平台的搭建	321
8.4	仿真实例	325
8.4.1	基于移动 IP 的垂直切换仿真	325
8.4.2	多接入选择模块	332
8.4.3	协同无线资源管理模块	335

目录

8.4.4	统一的 QoS 保障和管理仿真	340
第 9 章	SDN 仿真平台	344
9.1	Mininet 模拟网络环境	344
9.1.1	Mininet 简介	344
9.1.2	Mininet 安装	345
9.1.3	Mininet 使用说明	347
9.1.4	Mininet 应用实例	350
9.2	控制器 OpenDaylight	354
9.2.1	OpenDaylight 简介	354
9.2.2	OpenDaylight 安装配置	357
9.2.3	OpenDaylight 应用实例	360
9.3	网络虚拟层 FlowVisor	365
9.3.1	FlowVisor 简介	365
9.3.2	FlowVisor 安装使用	368
9.3.3	FlowVisor 应用实例	374
9.3.4	基于 FlowVisor 的虚网划分	377
	参考文献	380
第 10 章	可编程异构网络管理平台	381
10.1	网络配置管理技术简介	381
10.1.1	基于 NETCONF 的网络配置管理	381
10.1.2	大规模网络自动化部署技术	383
10.1.3	基于 Web 的网络管理技术	384
10.2	OpenWrt 编译安装与开发	385
10.2.1	OpenWrt 简介	385
10.2.2	OpenWrt 编译与安装	387
10.2.3	LuCI API 的使用	389
10.2.4	OpenFlow 添加与应用	390
10.3	实验平台搭建	392
10.3.1	平台设计	392
10.3.2	能源供给模块	393
10.3.3	组网模块	394
10.3.4	集中式管理模块	396
	参考文献	404

本章是全书的概要,首先介绍无线通信技术,包括移动通信与无线接入技术的起源与发展历程;然后介绍有线网络,包括互联网、有线电视网络以及光网络;在简单介绍了无线通信与有线网络技术发展概况后,讨论异构网络融合与可编程网络;最后,根据信息通信技术的发展趋势,探讨未来网络的特点。

1.1 无线通信技术的发展

无线通信是通信行业中发展最快、最活跃的一个领域,已经获得媒体与公众的广泛关注。蜂窝移动通信系统的业务量在最近十几年呈指数式增长,世界范围的移动接入数已超过 72 亿。实际上,在大多数发达国家,蜂窝电话(手机)已经成为工作以及生活的一部分,随着蜂窝移动通信技术的更新换代,如今的智能手机已远远超出“电话机”的范畴,它相当于一台小型计算机,能够实现许多难以想象的功能;在一些发展中国家,移动电话正在快速取代旧式的有线系统。此外,无线局域网(wireless local area networks, WLAN)作为有线网络的补充,部署在一些居民区、商业区以及校区,以其灵活方便的接入方式和低成本的网络部署,在一些地区甚至取代有线网络。一些新的无线通信系统应用,包括无线传感器网络、智能家居、高速路与工厂自动化、远程医疗等正在由概念研究向实际系统应用转变。无线系统的迅猛发展与智能终端设备的快速普及相互促进,预示着无线网络发展的广阔前景。然而,在建设能够承载众多新兴应用的健壮的无线网络的过程中,仍然存在着技术挑战。下面介绍移动通信与无线接入技术的发展历程。

1.1.1 移动通信系统的发展

移动通信以其“移动”的本质区别于传统静态的固定式通信,其产生具有革命性意义。针对传统固定通信的全封闭式传输线路的限制,无线通信以开放式传播来传递信息,将通信方式从静态推广至可移动

式的准动态。移动通信则是在无线通信的基础上,进一步引入了用户的移动性,从而使终端从可移动的准动态进一步发展到真正的全动态^[1,2]。1928年,美国普度大学学生发明了工作于2MHz的超外差式无线电接收机,并很快在底特律的警察局投入使用。这是世界上第一种可以有效工作的移动通信系统,但是这种移动通信系统的工作频率较低、话音质量差、自动化程度低,难以与公众电话网络互通。到20世纪50年代,美国 and 欧洲部分国家相继成功研制了公用移动电话系统,在技术上实现了移动电话系统与公众电话网络的互通,并得到了广泛的使用。然而这种公用移动电话系统仍然采用人工接入方式,系统容量较小。从20世纪60年代中期至70年代中期,美国推出了改进型移动电话系统,它使用150MHz和450MHz频段,采用大区制、中小容量,实现了无线频道自动选择及自动接入公共电话网。20世纪70年代中后期,随着民用移动通信用户数量的增加、业务范围的扩大,有限的无线频谱与不断增长的容量要求之间的矛盾日益尖锐。为了更有效地利用无线频谱资源,美国贝尔实验室提出了在移动通信发展史上具有里程碑意义的小区制、蜂窝组网理论,通过在非相邻小区进行频谱再用(frequency reuse,又称频谱复用)的方式大幅扩充了网络容量,为移动通信系统在全球广泛应用开辟了道路。

1. 第一代移动通信系统

第一代移动通信系统(the first-generation wireless telephone system, 1G)采用了蜂窝组网、模拟调制和频分多址接入(frequency division multiple access, FDMA)等技术,支持话音和低速率的数据通信,是第一个真正意义上的移动通信网络,于20世纪80年代初开始商用。严格来说,1G是模拟或半模拟移动网络,模拟无线信道但是采用数字交换。这一代移动通信系统有多种制式,如AMPS、NMT、TACS、C-450、Radiocom2000、RTMI等。利用蜂窝结构对空间的有效利用性,模仿蜂窝的正六边形结构特征将覆盖范围划分成多个更小的单元,与大区制通信原理相同,只需保证每个小区内及相邻小区的频率不重复使用,所以在更短的距离内可以实现频率的复用,从而大大提高了频谱利用率。通过适当的小区与频率复用规划显著提高网络容量的同时,也带来越区切换的问题。一个小区覆盖范围越小,用户移动越快,信道的切换次数就越多,交换中心的控制交换技术也就越复杂。

第一代移动通信系统经历的时间大约由1980年至1994年,主要采用模拟技术和频分多址接入,实际数据速率为2.4Kb/s。这一代移动通信系统有很多不足之处,例如多种制式并存且互不兼容,容量有限,通话质量不高,不能提供数据业务等。此外,由于传输带宽的限制,第一代移动通信系统不能进行长途漫游,因此,只是一种区域性移动通信系统。

2. 第二代移动通信系统

20世纪90年代,数字技术的成功应用以及其优于模拟技术的性能,极大地推动了移动通信技术的发展,第二代移动通信系统是第一个数字式蜂窝移动通信系统。2G标准主要有欧洲的全球移动通信系统(global system for mobile, GSM)、美国的IS-136(也叫做D-AMPS)和IS-95(也叫做cdmaOne)、日本的个人数字蜂窝系统(personal digital

cellular, PDC)。其中世界范围内应用最为广泛的 GSM,是为了解决欧洲第一代移动通信系统制式多、不兼容的问题而发展起来的,于 1991 年投入欧洲市场。

相对于 1G, 2G 最鲜明的特色是数字化,采用时分多址(time division multiple access, TDMA)(GSM)、码分多址(code division multiple access, CDMA)(IS-95)方式实现对用户的动态寻址功能,并以数字式蜂窝网络结构和频率(相位)规划实现载频(相位)再用,从而扩大覆盖范围并满足用户数量增长的需求。这些蜂窝系统及其标准最初是为电话业务开发的,核心网以电路交换的方式提供服务,虽然能够提供低速率数据服务,但是其数据速率和延时实质上是由电话业务需求所决定。通用分组无线服务(general packet radio service, GPRS)是从 GSM 系统基础上发展起来的分组无线数据业务,又称为 2.5G,是欧洲电信标准化协会(european telecommunications standards institute, ETSI)从 1993 年开始制定并于 1998 年完成的。GPRS 与 GSM 公用频段、公用基站并共享 GSM 系统与网络中的设施,在保持 GSM 的电路交换方式处理话音业务的同时,增加了分组方式处理数据,拓展了 GSM 业务的服务种类,在核心网部分逐渐实现了从电路交换到电路交换与分组交换并存的转变。为了进一步提高数据业务传输速率,在 GSM/GPRS 的基础上,ETSI 进一步提出了增强型数据速率 GSM 演进技术(enhanced data rate for GSM evolution, EDGE),又称为 2.75G。EDGE 从 GPRS 平滑演进,最大限度地利用了 GSM/GPRS 已有技术以及设备,分别在分组交换业务和电路交换业务方面对 GSM/GPRS 进行了必要的扩展,形成了 EGPRS (enhanced GPRS)和 ECSD (enhanced circuit switch data),在充分利用 GSM 已有资源的情况下,具有三倍于 GPRS 处理数据的能力。

3. 第三代移动通信系统

由于第二代移动通信系统的巨大成功,用户需求迅速增长,网络容量的有限性逐渐明显,无法满足用户需求。第三代移动通信系统(3G)正是顺应需求而产生,在二代网络基础上进行演进与升级。国际电信联盟(international telecommunication union, ITU)1985 年提出 IMT-2000(international mobile telecom system-2000)作为对 3G 性能的要求,对 3G 技术与标准化起到了积极的推动作用,3G 标准的技术细节主要由第三代合作伙伴计划 3GPP 和 3GPP2 两大标准组织完成。主要的 3G 标准有 UMTS、WCDMA、CDMA2000 以及 TD-SCDMA。UMTS、WCDMA 从 GSM/GPRS 网络过渡升级而来,核心网部分是平滑过渡,空中接口部分则是革命性变化。以 IS-95 为代表的 CDMA ONE、CDMA2000 1X 等均是美国高通公司研制和开发的国际性移动通信标准,并逐渐演进到 CDMA2000,它们在制式与网络结构方面是一脉相承的。TD-SCDMA 是由我国提出来的,在最初 SCDMA 技术的基础上发展而来,继承了 GSM 核心网技术,是基于智能天线的同步 CDMA 系统,同时还采用了联合检测和软件无线电等多项技术。

除了传统的语音服务,3G 旨在融合蜂窝移动通信和因特网(Internet),从而为用户提供不同种类的数据业务,在终端移动与传输线路随终端移动的基础上进一步引入了数据业务类型动态选择特性。3G 核心网包括电路交换域、分组交换域和 IP 多媒体系统(IP multimedia subsystem, IMS)三个主要部分。其中,IMS 被认为是 3G 网络的核心技

术,也是解决移动与固网融合,引入语音、数据、视频三重融合等差异化业务的重要方式。

4. 第四代移动通信系统

第四代移动通信系统(4G)将 3G 中的业务类型动态选择特性全面增强,同时引入网络拓扑与网络运行的动态性,将 3G 与 WLAN 融合为一体,为移动用户提供高速数据业务,如高清图像业务、会议电视、虚拟业务等。2012 年,国际电信联盟无线通信全会通过了高级国际移动通信(IMT-Advanced)标准,即 4G 标准。三个 4G 标准分别基于 3GPP 的长期演进(long term evolution, LTE)技术和全球微波互联接入(worldwide interoperability for microwave access, WiMAX)技术。欧洲提交的 FDD-LTE-Advanced 和我国提交的 TD-LTE-Advanced,都是基于 LTE 技术演进而来且完全兼容 LTE, WirelessMAN-Advanced(IEEE 802.16m)则是 WiMAX 的后续研究标准。

4G 关键技术包括正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)、增强型多人多出天线(multiple input multiple output, MIMO)、载波聚合、智能天线、软件无线电、中继技术、家庭基站、基于 IP 的核心网等。4G 网络结构包括演进型的接入网和核心网,如图 1-1 所示。接入网部分的基站为演进型 NodeB,即 eNodeB,相比 3G 中的 NodeB,集成了部分 RNC 的功能,减少了通信时协议的层次。同时在接入网部分增加了中继站 Relay Node,将一条基站—用户设备链路分割为基站—中继站和中继站—用户设备两条链路,从而能够将一条质量较差的链路替换为两条质量较好的链路,以扩大网络覆盖以及小区边缘吞吐量。核心网部分, MME(mobility management entity)为控制平面服务,处理用户接入中与移动性和安全性有关的信息。HSS(home subscriber server)是存储与用户以及订阅有关的信息的数据库,起到移动性管理的功能。Serving Gateway 和 PDN Gateway 为用户平面服务,传输用户设备与外部网络之间的 IP 数据。PCRF(policy and charging rules function)维护网关(gateway)控制会话及 IP 连接访问网络会话之间的关联,负责 IP 业务数据流的策略与计费控制。

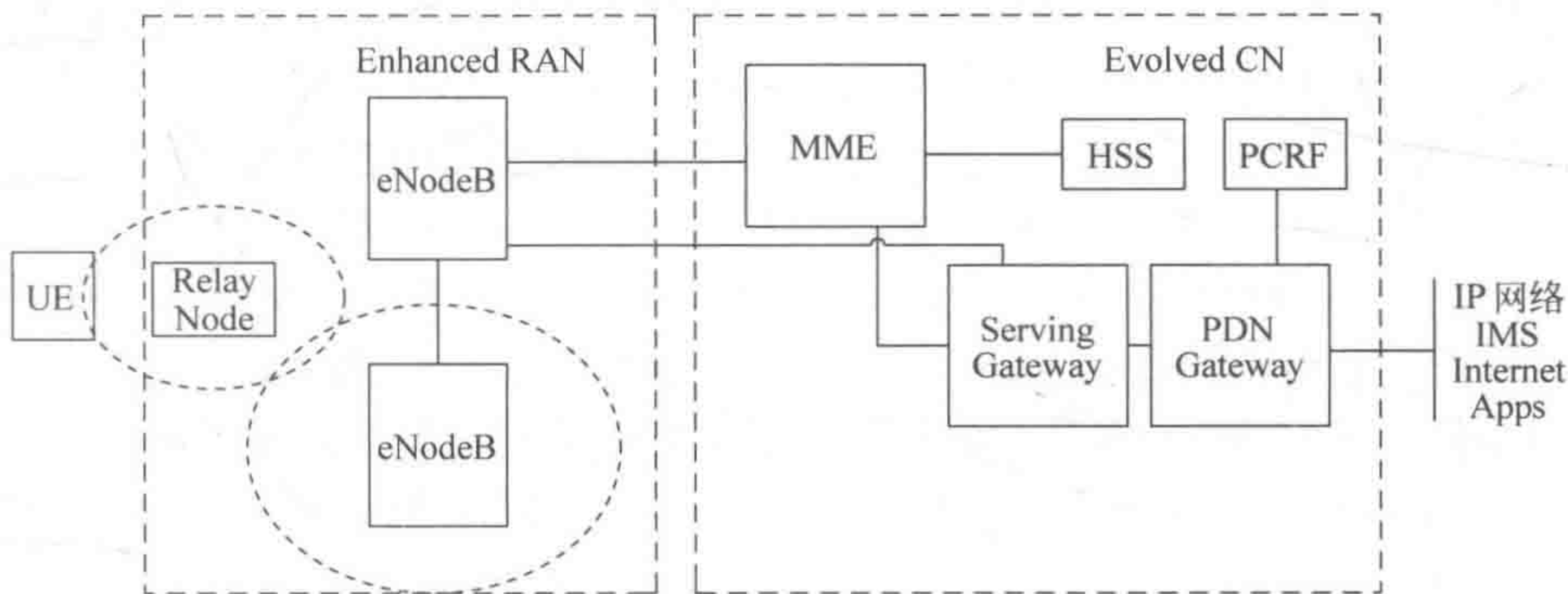


图 1-1 4G 网络结构

从 2G 到 4G 的演进过程中,核心网部分由 2G 中只由电路交换承载话音业务以及少量数据业务,到目前 4G 中由分组交换承载包括话音、数据在内的所有业务,逐渐实现了基于 IP 的移动通信网络结构,如图 1-2 所示。移动通信网络逐渐演进为从接入网到核心网全 IP 化网络。



图 1-2 移动通信系统核心网演进过程

5. 第五代移动通信系统展望

未来移动通信的发展一方面取决于用户需求,另一方面则受到实现时所面临的环境与条件的限制。思科年度 VNI(visual network index)报告中的数据显示^[3],由于智能手机、平板电脑等终端设备的普及,无线数据业务量在全球范围内仍在持续快速地增长,仅仅通过对现有移动通信网络进行改进,将无法满足未来所面临的需求。未来第五代移动通信系统(5G)将如前四代移动通信系统中的每一代一样具有根本性改变和性能的大幅提升,具体体现在:超高载波频率超宽带宽、超密集的基站与用户设备以及前所未有的天线数量等。与前四代移动通信不同之处在于,5G 将是高度一体化的技术集合与前所未有的用户体验:将新的 5G 空中接口、频谱和 4G 与无线局域网结合在一起,提供普遍的高数据率的覆盖与无缝切换的用户体验。为了实现这些,核心网络也将达到空前的灵活性与智能化,频谱管理策略需要被重新思考与改进,能量与成本消耗方面的考虑将会变得更加重要。

数据率的大幅提升将很有可能通过以下方式实现:增加带宽,主要通过向毫米波频段转移以及更有效地使用 WiFi 5GHz 的非授权频段,一起实现更多的频带;提升频谱效率,主要通过 MIMO 技术的进步实现,提升每个网络节点单位频段的数据率(即 b/s/Hz)。除了数据的提升,5G 网络还必须降低延迟,降低能量消耗与成本,支持一些低速率连接,为了满足这些要求,一些重要研究正在进行:物理层方面,一些尝试能够替代 OFDM 的多址接入技术已被提出^[4],如 GFDM(generalized frequency division multiplexing);基于云与虚拟化的网络结构的研究;提高能量效率的资源分配方式、网络设计方法、可再生能源供电以及设备节能策略;频谱分配政策、行业标准以及经济上的考虑等非技术性问题。总之,在通往 5G 的路上,将会存在跨越协议栈各个层面的技术挑战以及政策、商业上的非技术问题,这也为研究者们提供了想象与创新的空间。

在 40 多年的时间里,移动通信系统经历了 4 个代际演进,如图 1-3 所示。1G 满足了用户基本的通话与移动需求,而模拟系统容量小、各标准互不兼容等明显的不足使其很快被以数字系统为主要特点的 2G 取代。2G 满足用户漫游的高级移动需求,提供数据业务,其标准化面向全球。3G 为用户提供无缝漫游、全球无线接入、高数据率的服务。4G 融合了移动通信与无线宽带接入技术,提供基于 IP 的非常高速率的语音、数据业务服务。然而,随着物联网高速发展的潜力不断释放,移动通信系统需要用有限的网络资源与容量去容纳指数级增长的负载量,未来 5G 移动通信系统将会以高度的通用性、可扩展性以及高效率来满足用户不断变化的多种需求,最终达到超高数据速率、低延迟、广泛接

入、低能耗、最佳用户体验以及高可靠性、安全性等目标。面对不断变化的网络环境所带来的挑战与机遇,包含用户、运营商、设备制造商等在内的移动生态系统在未来将产生深入变革并取得进一步发展。

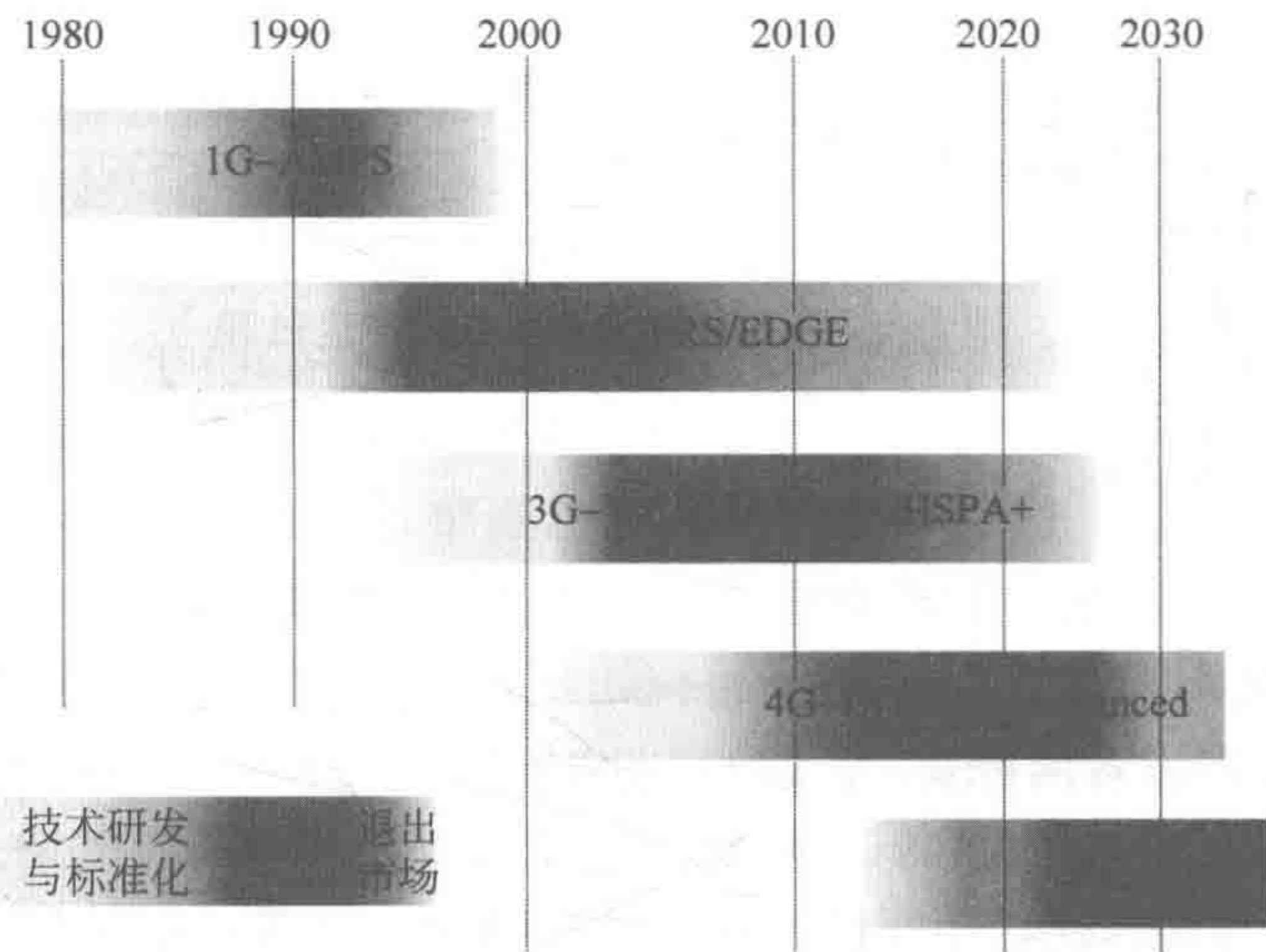


图 1-3 五代移动通信系统演进过程

1.1.2 无线接入技术的发展

随着移动通信技术的迅速发展,仅仅发展了几十年的移动电话数已经超过了发展历史一百多年的固定电话数。人们对于移动通信的需求也反映在计算机网络中,希望能够在移动中使用计算机网络。1971年6月,由美国夏威夷大学所开发的实验性电脑网络系统 ALOHA 网络(ALOHA net)开始成功运作,这是世界上第一个无线通信计算机网络。本节主要介绍无线个域网、无线局域网(其中包含有固定基础设施与无固定基础设施的无线局域网两大类)以及无线城域网。

1. 无线个域网

无线个域网(wireless personal area network, WPAN)是在个人工作生活的地方把个人使用的电子设备(例如便携式电脑、智能手机以及打印机等)通过无线技术连接起来的网络,所覆盖的范围大约在 10m 左右。WPAN 实际上是一个小功率、小范围、低速率和低价格的电缆替代技术。IEEE、ETSI、ITU 和 HomeRF 等组织都曾致力于 WPAN 技术标准的开发与制定。其中,IEEE 802.15 工作组由 IEEE 于 1998 年成立,是 WPAN 规范标准研发与制定的主要组织,制定的标准包括 802.15.1~802.15.5 等,主要定义了物理层与 MAC 层中的服务和协议。目前比较典型的 WPAN 技术主要有蓝牙、超宽带、ZigBee、IrDA 与近场通信等,它们具有各自的特点并且满足不同种类的服务。下面将分别介绍这几种主要的 WPAN 技术。

(1) 蓝牙一直以来作为 WPAN 应用的主流技术被大众广为熟知。蓝牙标准是在 1998 年由诺基亚、IBM、爱立信等公司共同推出的,即后来的 IEEE 802.15.1 标准。蓝牙技术为移动设备或固定设备之间的通信环境建立通用的无线空中接口,将通信技术与计