



工业和信息产业科技与教育专著出版资金资助出版

5G技术丛书

# 5G绿色移动 通信网络

葛晓虎 赖瑾峰 张武雄 © 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

工业和信息产业科技与教育专著出版资金资助出版  
5G 技术丛书

# 5G 绿色移动通信网络

葛晓虎 赖瑾峰 张武雄 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

## 内 容 简 介

近年来,移动通信产业发展迅速,移动用户数量激增,移动网络设备大规模布设,随之而来的移动通信的能耗问题日益突出。同时,随着有限频谱资源的日益饱和,移动通信的频谱效率问题日益成为其发展瓶颈。怎样有效突破能效与频谱效率的枷锁,是未来 5G 移动通信网络发展的关键。本书将着重系统介绍面向 5G 移动通信网络的能量与频谱优化技术,结合国际学术界与工业界的最新研究成果,对提高网络及通信系统能效与频谱效率的优化技术进行最前沿的系统分析。内容主要包括绿色通信网络概念及应用需求、用户需求与资源管理、网络能效模型及评估、基于服务质量的 5G 通信系统能效优化、异构多网协同机制、基于用户体验质量和能效的 5G 通信系统应用等。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

5G 绿色移动通信网络 / 葛晓虎, 赖瑾峰, 张武雄编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.1

ISBN 978-7-121-29955-1

I. ①5… II. ①葛… ②赖… ③张… III. ①无线电通信—移动网 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 229076 号

策划编辑: 窦 昊

责任编辑: 窦 昊

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19 字数: 486.4 千字

版 次: 2017 年 1 月第 1 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 [zlts@phei.com.cn](mailto:zlts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式: (010)88254466, [douhao@phei.com.cn](mailto:douhao@phei.com.cn)。

# 5G 技术丛书专家委员会

## 专家委员会主任

邬贺铨：中国工程院院士，IMT-2020（5G）推进组顾问

## 专家委员会副主任

刘韵洁：中国工程院院士，中国联合网络通信集团有限公司

## 丛书特别顾问

张乃通：中国工程院院士，哈尔滨工业大学

## 专家委员会委员

曹淑敏：IMT-2020（5G）推进组组长，中国信息通信研究院原院长

张新生：中国通信学会副理事长，未来移动通信论坛常务副理事长

侯自强（中国科学院声学研究所）

王晓云（中国移动通信集团公司）

毕奇（中国电信股份有限公司）

赵先明（中兴通讯有限公司）

佟文（华为技术有限公司）

陈山枝（大唐电信科技产业集团）

张平（北京邮电大学）

尤肖虎（东南大学）

李少谦（电子科技大学）

王京（清华大学）

李建东（西安电子科技大学）

# 5G 技术丛书编审委员会

## 编审委员会主任

杨 旻（中国科学院上海微系统与信息技术研究所）

## 编审委员会委员

杨峰义（中国电信股份有限公司）

王映民（大唐电信科技产业集团）

陶小峰（北京邮电大学）

张钦宇（哈尔滨工业大学）

金 石（东南大学）

季新生（解放军信息工程大学）

李云洲（清华大学）

葛晓虎（华中科技大学）

武 刚（电子科技大学）

王海明（东南大学）

徐 景（上海无线通信研究中心）

# 邬贺铨院士之序

## Introduction

电子工业出版社从我国大力推动第五代移动通信系统（IMT-2020，又称 5G）研究的背景出发，通过充分调研和认真组织，策划出版“5G 技术”丛书，以期及时总结、深入分析和充分反映我国在新的无线通信国际标准制定过程中的最新进展。丛书将按照 5G 关键技术和 5G 系统设计与应用两个层面分成两卷，“关键技术卷”各分册主要从理论和技术层面对 5G 关键候选技术进行具体详实的分析和介绍，“系统设计与应用卷”各分册主要从系统和应用层面对 5G 总体架构以及关键方法的评估和应用进行深入分析和描述，各分册的作者都是国内活跃在相关研究领域的优秀中青年科研工作者，具有较强的理论研究积累和实践经验，目前又都承担了与 5G 有关的国家重大专项和“863 计划”等项目。很高兴看到这批优秀的中青年科研工作者在参与科研工作的同时，积极参加编写这套高新技术丛书。

从出版社和著作者提供的样书看出，丛书以及每本书的结构都是经过仔细斟酌的，逻辑清晰、内容全面、观点鲜明、创新性强，内容充分反映了我国在新一代移动通信国际标准探索和技术开发中的最新成果，可供国内外的同行参考，将促进我国对国际 5G 标准制定的贡献。相信本套丛书的出版发行，将会推动我国移动通信技术的自主创新和产业发展。

邬贺铨

2016 年 8 月

# 刘韵洁院士之序

## Introduction

面向 2020 年及未来，移动通信技术和产业将迈入第五代移动通信（5G）的发展阶段。5G 将满足人们的超高业务吞吐量、超高连接数密度、超高移动速度和超可靠低时延的广泛应用需求，大幅改善提升通信网络频谱效率、能量效率与成本效率，拓展移动通信产业的发展空间。更为重要的是，5G 将渗透到物联网和传统产业领域，与工业设施、医疗仪器、交通工具等深度融合，全面实现“万物互联”，有效满足工业、医疗、交通等垂直行业的信息化服务需要。

在 2016 年 7 月 15 日，美国政府宣布推出 4 亿美元的先进无线研究计划(Advanced Wireless Research Initiative)，由美国国家科学基金会牵头实施，将部署四个城市规模的 5G 实验测试平台，推动面向未来无线通信的基础理论和关键技术研究。我国工信部、发改委、科技部联合成立了“IMT-2020 推进组”，汇聚产、学、研、用各方力量，引领规划和重点推动 5G 关键技术研发，充分支持我国优势电信企业和研究院所在新一代移动通信国际标准制定过程中掌控影响力和话语权。

随着 5G 研发和标准化工作的快速深入展开，急需一套全面论述 5G 基础理论、关键技术和应用架构的系列书籍，电子工业出版社提前预见这一技术发展趋势和重要产业需求，有效组织国家 IMT-2020 推进组、国家 03 科技重大专项和国家“863 计划”5G 前期研发项目等的主要承担单位和优秀科技工作者，成功策划了这套 5G 技术丛书，及时总结和深入分析了最新 5G 技术的理论基础、体系架构、系统设计、测试评估、应用实现等多个方面的最新进展和研发挑战，相信这套丛书的丰富理论成果和实践经验能够帮助和培养新一代移动通信科技工作者，有效推进和巩固我国在 5G 国际标准化进程中的领导地位。

刘韵洁

2016 年 9 月

# 张乃通院士之序

## Introduction

移动通信的发展不仅深刻改变了人们的生活方式，且已成为推动国民经济发展、提升社会信息化水平的重要引擎。移动互联网关键技术和基础设施的发展是“中国制造 2025”、“互联网+”战略的基础和保障。当前，面向 2020 年及未来的第五代移动通信（5G）已成为全球研发热点。为占领信息领域国际领先地位、掌握产业发展话语权，国家工信部、发改委、科技部成立“IMT-2020 推进组”，组织我国产、学、研、用各方力量，推动 5G 技术研究，以期在新的无线通信国际标准制定中掌握话语权和主导权，推动技术创新发展战略，为自主可控的信息网络提供基础设施保障。目前，我国的 5G 研发工作已走在国际前列。

电子工业出版社以此为背景，提出 5G 技术丛书的出版计划，组织国家 IMT-2020 推进组的主要参与单位，承担或参与国家“863 计划”5G 系统研究开发先期研究重大项目的单位，选择在国家重大科技专项中承担 5G 相关项目研发工作的中青年科技工作者作为丛书编著团队，编著这套丛书。丛书分为两卷：

（1）“关键技术卷”，从理论和技术层面对 5G 关键技术进行全面深入的分析，系统总结近年来我国在面向 IMT-2020（5G）研发方面所取得的进展。

（2）“系统设计与应用卷”，从系统应用层面对 5G 总体架构、传输性能评估和应用等方面进行阐述，具有系统创新特色和理论联系实际的效果，符合当前开展 IMT-2020 研究与工程的需求。

IMT-2020 推进组当前为了更加广泛与深入的开展研发工作，急需一套从理论技术到应用的丛书，相信本套丛书的丰富内容和先进成果能够有效促进完成 IMT-2020 推进组的既定目标。

张乃通

2016 年 11 月

# 尤肖虎教授之序

## Introduction

从 2009 年开始,全球掀起 4G 建设热潮,截至 2015 年底,全球 4G 用户数已达到 10.5 亿,中国 4G 用户数到达 3.86 亿,4G 在网用户人均月度使用流量突破了 200MB,运营商从原本以语音为主的运营,逐步转向以数据为主的流量运营,同时极大地激活了移动互联网。

2012 年底,欧盟启动了全球首个 5G 研究项目 METIS。2013 年,国际电联正式启动了 5G 标准研究工作,开展 5G 需求、频谱及技术趋势的研究工作,计划 2016 年完成技术评估方法研究,2018 年完成 IMT-2020 标准征集,2020 年最终确定 5G 标准。3GPP 作为国际移动通信的标准化组织,于 2015 年确定了 5G 研究计划,2016~2017 年完成 5G 技术方案研究阶段,2018~2019 年完成 5G 技术规范制定。我国“863 计划”于 2014 年启动了 5G 技术研究项目,系统研究 5G 领域的关键技术,包括无线网络架构、大规模天线、超密集无线网络、软基站试验平台、无线网络虚拟化、毫米波室内无线接入和评估与测试验证。与“863 计划”5G 相衔接,国家科技重大专项 5G 相关研发课题的目标是面向国际标准,鼓励我国产学研联合开展研发,由企业推动创新成果纳入 IMT-2020 国际标准中。进一步,我国已将“积极推进第五代移动通信(5G)和超宽带关键技术研究,启动 5G 商用”写入“十三五”规划中。

5G 的主要应用为移动宽带、物联网和工业互联网,旨在成为未来社会的信息基础设施。5G 将引入新型传输技术提高频谱利用率和支持高频段使用;同时以网络功能虚拟化(Network Function Virtualization, NFV)和软件定义网络(Software Defined Network, SDN)为主要手段,构建控制与转发分离和控制集中的网络架构,实现网络资源的灵活编排和部署;通过新型波形、新多址和新帧结构等技术,从而为海量物联网设备提供低功耗与深度覆盖,为工业无线通信等应用提供高可靠低时延的连接。

本套丛书内容涉及 5G 系统的最新理论研究成果和关键技术评估,具体包括 5G 网络架构、无线传输、超密集网络、大规模多天线、能效和频谱优化、仿真与测试等多个方面的研究成果和技术趋势,作者来自于电信运营商、设备研制企业和科研院所,内容和视角全面完整,注重理论分析与实际应用相结合,具有很好的时效性和参考价值。本丛书适合高等院校通信信息、电子工程及相关专业的高年级本科生和研究生,以及无线通信领域的专业工程技术人员。

尤肖虎

2016 年 9 月

# 前言

## Preface

移动通信网络在过去几十年中,取得了飞速的发展,从最初的模拟制式到数字制式,从 2G GSM 网络到 3G 的 WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA,再到现在的 4G LTE 网络,改变了人们的生活方式,并促进了社会进步。随着应用需求的增加,人们对速率和通信方式的不断追求,未来 5G 移动通信网络技术将继续改变并影响人们对信息的需求。

移动通信技术的发展在给人们带来巨大便利和利益的同时,也使得整个信息通信技术产业的能耗以及运营成本急剧增加。为了提高信息通信技术产业的经济效益,降低运营成本,顺应全球绿色可持续发展的趋势,绿色通信这个概念近年来得到了国内外产业界和学术界的广泛认可,并成为 5G 移动通信技术发展的核心目标之一。在全球气候变暖的情况下,各行各业应该开展节能减排工作,以保护并改善我们赖以生存的自然环境,信息通信产业也不例外。5G 绿色移动通信网络旨在满足人们对日益增长的信息需求的同时,不断提升通信网络能量效率,减少通信产业的能耗,以降低信息通信产业总体碳排放量。

本书共分为 7 章,涵盖绿色通信网络的概念、基础及应用。其中第 1 章为绪论篇,第 2 章至第 5 章为基础篇,第 6 章和第 7 章为应用篇。第 1 章“5G 绿色通信网络概念及应用需求”,主要介绍绿色通信研究背景与研究现状,给出未来 5G 绿色通信网络所面临的挑战和需求。第 2 章“面向绿色通信的无线资源管理”,分析异构多网络能量利用率,并给出一种绿色的异构多网资源分配方法。第 3 章“蜂窝网络能量效率”,提出随机蜂窝网能效模型,并依此模型对流量特性、无线信道效应以及干扰对随机蜂窝网能效的影响进行分析和优化。第 4 章“基于服务质量的移动通信系统能效优化”,介绍在多媒体业务服务质量约束条件下的无线通信系统能效,并通过多媒体业务能效模型实现 MIMO-OFDM 无线通信系统中多媒体业务传输能效优化。第 5 章“5G 异构无线多网的能效系统优化”,针对无线通信网络制式和结构的多样化,分析未来 5G 异构网络的能效问题并给出优化方案。第 6 章“基于用户体验质量的客户端设计”,分析未来 5G 中多媒体的应用趋势,并结合未来 5G 网络的需求,提出基于用户体验质量的机制和缓冲带宽预测串流方法。第 7 章“基于能效增益的安卓平台设计”,分析 5G 网络中视频播放机制的变化,并在安卓平台下给出一种新的影音同步机制和串流机制实现方案。

本书由葛晓虎主持编著。华中科技大学葛晓虎负责第 1 章、第 3 章和第 4 章的内容编撰,中国科学院上海微系统与信息技术研究所张武雄负责第 2 章、第 5 章的编撰,台湾成功大学赖槿峰负责第 6 章、第 7 章的编撰。程慧参与了第 1 章的编撰,

陈嘉琦参与了第 3、4 章的编撰，杨靖、黄美栋、杨斌、訾然、贾皓明等人负责全书内容的校验工作。在此，对所有为本书出版提供帮助的人士表示诚挚的谢意！

本书的内容是结合作者的一些科研成果编写的，会有种种不足之处；书中存在的错误和疏漏，恳请读者批评指正。

作 者

2016 年 10 月于武汉华中科技大学

# 目 录

## Contents

|       |                  |    |
|-------|------------------|----|
| 第 1 章 | Chapter 1        |    |
|       | 5G 绿色通信网络概念及应用需求 | 1  |
| 1.1   | 绪论               | 2  |
| 1.2   | 绿色通信在国内外的研究现状与趋势 | 5  |
| 1.2.1 | 基站节能措施           | 5  |
| 1.2.2 | 基站能耗模型           | 7  |
| 1.2.3 | 无线异构网络能效研究       | 9  |
| 1.3   | 蜂窝网物化能耗与整体能效评估   | 10 |
| 1.3.1 | 基站的能耗组成与评估       | 11 |
| 1.3.2 | 蜂窝网络整体能效建模及优化    | 17 |
| 1.3.3 | 蜂窝网物化能耗后续研究      | 20 |
| 1.4   | 5G 绿色通信网络的挑战     | 21 |
| 1.4.1 | 5G 回程网络          | 21 |
| 1.4.2 | 5G 回程网络能效        | 21 |
| 1.5   | 本章小结             | 26 |
| 1.6   | 参考文献             | 27 |

## 基 础 篇

|       |                                          |    |
|-------|------------------------------------------|----|
| 第 2 章 | Chapter 2                                |    |
|       | 面向绿色通信的无线资源管理                            | 33 |
| 2.1   | 绪论                                       | 34 |
| 2.2   | 用户业务流量模型                                 | 36 |
| 2.2.1 | 数据业务                                     | 36 |
| 2.2.2 | 语音业务                                     | 39 |
| 2.3   | 辐射能量与干扰模型                                | 42 |
| 2.4   | 基于 Bregman 非精确过度间距的资源分配                  | 45 |
| 2.4.1 | 问题描述                                     | 46 |
| 2.4.2 | 正则拉格朗日对偶方程和 $\delta$ -Excessive Gap 光滑技术 | 47 |

2.4.3 具有 Bregman 投影的快速迭代算法 .....51

2.4.4 异构网络下多服务资源分配问题 .....57

2.5 本章小结 .....61

2.6 参考文献 .....62

第 3 章 | Chapter 3

蜂窝网络能量效率 ..... 67

3.1 随机几何理论 .....68

3.1.1 引言 .....68

3.1.2 随机点过程 .....69

3.1.3 随机分割理论 .....71

3.2 PVT 随机蜂窝网能效模型 .....72

3.2.1 系统模型 .....72

3.2.2 PVT 蜂窝网流量模型与性能分析 .....74

3.2.3 PVT 单天线蜂窝网络能效模型与性能分析 .....78

3.2.4 PVT 多天线蜂窝网络运行功耗模型与性能分析 .....88

3.3 多天线随机蜂窝网功率优化 .....102

3.3.1 系统模型 .....102

3.3.2 多天线蜂窝网能效模型 .....102

3.4 HCPP 随机蜂窝网能效模型 .....106

3.4.1 系统模型 .....107

3.4.2 基于 HCPP 的蜂窝网络干扰模型 .....108

3.4.3 基于 HCPP 的 MIMO 蜂窝网容量模型 .....112

3.4.4 HCPP 蜂窝网络能效模型 .....116

3.4.5 性能仿真及讨论 .....116

3.5 本章小结 .....118

3.6 参考文献 .....119

第 4 章 | Chapter 4

基于服务质量的移动通信系统能效优化 ..... 123

4.1 绪论 .....124

4.2 误比特率约束条件下的 MIMO-OFDM 通信系统能效优化 .....126

4.2.1 MIMO-OFDM 通信系统能效模型 .....126

4.2.2 误比特率约束条件下的通信系统能效优化 .....128

4.2.3 仿真与性能分析 .....132

4.3 服务质量统计约束模型及通信系统有效容量 .....135

4.3.1 QoS 统计约束模型 .....135

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 4.3.2 | 通信系统有效容量                   | 136 |
| 4.3.3 | 有效容量性能仿真                   | 137 |
| 4.4   | 基于服务质量的 MIMO-OFDM 通信系统能效优化 | 139 |
| 4.4.1 | 系统模型                       | 139 |
| 4.4.2 | 基于有效容量的 MIMO-OFDM 系统能效模型   | 140 |
| 4.4.3 | 通信系统能效优化                   | 142 |
| 4.4.4 | 算法设计                       | 144 |
| 4.4.5 | 仿真结果及分析                    | 145 |
| 4.5   | 本章小结                       | 155 |
| 4.6   | 参考文献                       | 156 |

## 第 5 章 | Chapter 5

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
|       | 5G 异构无线多网的能效协同优化  | 159 |
| 5.1   | 绪论                | 160 |
| 5.2   | 异构无线多网能效协同优化架构    | 161 |
| 5.3   | 异构多网网络与终端的联合能效优化  | 163 |
| 5.3.1 | 现有网络能效评估指标        | 163 |
| 5.3.2 | 网络与终端联合考虑的新能效评估指标 | 165 |
| 5.3.3 | 宏微小区共存场景下的网络能效分析  | 166 |
| 5.4   | 无线网络虚拟化与软件定义无线网络  | 174 |
| 5.4.1 | 无线网络虚拟化           | 175 |
| 5.4.2 | 软件定义无线网络          | 179 |
| 5.5   | 本章小结              | 186 |
| 5.6   | 参考文献              | 186 |

## 应 用 篇

## 第 6 章 | Chapter 6

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
|       | 基于用户体验质量的客户端设计     | 191 |
| 6.1   | 绪论                 | 192 |
| 6.2   | 相关标准与研究            | 192 |
| 6.2.1 | 渐进式超文本串流           | 192 |
| 6.2.2 | 自适应 HTTP 串流        | 193 |
| 6.2.3 | MPEG-DASH          | 197 |
| 6.3   | 基于用户体验质量的动态自适应串流机制 | 198 |
| 6.3.1 | 缓冲预存模式             | 200 |
| 6.3.2 | 实时串流模式             | 203 |

- 6.3.3 动态自适应串流决策 .....204
- 6.4 系统设计与实现.....204
  - 6.4.1 软硬件平台介绍 .....204
  - 6.4.2 系统架构与实现流程 .....222
  - 6.4.3 开发环境 .....223
  - 6.4.4 安卓应用程序开发环境.....228
  - 6.4.5 移植 MPEG-DASH 至安卓多媒体框架 .....228
- 6.5 系统结果分析 .....230
  - 6.5.1 测试环境 .....230
  - 6.5.2 串流设备决策机制分析.....235
  - 6.5.3 使用者观赏体验分析 .....239
- 6.6 结论与未来展望.....242
- 6.7 参考文献 .....243

第 7 章 | Chapter 7

- 基于能效增益的安卓平台设计 .....247
- 7.1 绪论.....248
- 7.2 H.264 视频编译码标准.....249
  - 7.2.1 H.264 标准介绍 .....249
  - 7.2.2 H.264 双核心并行解码机制 .....250
- 7.3 安卓多媒体系统架构.....253
- 7.4 能效增益与动态串流机制 .....254
  - 7.4.1 影音同步机制设计 .....254
  - 7.4.2 网络带宽分析.....255
  - 7.4.3 实时硬件运算能力分析.....256
  - 7.4.4 RTSP 与 HTTP 网络串流 .....259
  - 7.4.5 动态串流调整机制决策.....261
- 7.5 系统架构与实现流程.....265
  - 7.5.1 编译环境 .....265
  - 7.5.2 基于 H.264 并行解码的双核心安卓平台 .....269
  - 7.5.3 安卓应用程序包设计 .....280
- 7.6 系统实现结果 .....284
  - 7.6.1 测试环境与实现分析 .....284
  - 7.6.2 能效增益分析.....286
  - 7.6.3 影音同步机制分析 .....286
  - 7.6.4 动态串流调整机制分析.....288
- 7.7 结论与未来展望.....289
- 7.8 参考文献 .....290

# 第 1 章

## Chapter 1

### ► 5G 绿色通信网络概念及应用需求

过去的几十年里，无线通信，尤其是移动通信，不论是在技术研发还是在市场业务方面都得到了快速的发展。不断增加的用户和业务流量需求，在带来巨大经济效益的同时，也导致信息通信技术（Information and Communication Technology, ICT）产业能耗的急剧增加。目前网络运营商的电费开支已占据其运营成本（Operational Expenses, OPEX）的 18%（欧盟）到 32%（印度）的比例。为此，ICT 产业为提高自身的经济效益，有必要通过节能措施来降低运营成本——在满足不断增长的流量需求的同时，缓解网络设备的能耗，提升网络能效，实现未来移动通信网络的绿色可持续发展。

## 1.1 绪论

随着 21 世纪信息化时代的到来,通信产业迅速发展和壮大,传输速率 (Transmission rate) 不断提高,无线通信系统所能承载的业务容量“每 30 个月即可翻一番(库珀定律<sup>[1]</sup>)”;各种无线新产品和新业务不断涌现,接入用户的数量呈指数增长。而据预测,蜂窝网络的数据流量至少在今后五年内还将持续呈现指数增长<sup>[2]</sup>。不断增加的用户和业务流量需求,极大地带动了中国经济的发展,成为我国国民经济的基础及支柱。近几十年来,随着通信技术的快速发展,各种新技术、新产品以及针对不同人群的新兴业务层出不穷,通信信息化特征越来越向高智能、大带宽、业务多样化及个人化方向集中。一方面在各种新型产品及多样化功能需求的刺激下,通信产品及业务已经成为人们日常生活及工作中不可缺少的一部分,渗透到国民生活的衣、食、住、行等方面;另一方面随着通信信息化的普及,人们对通信质量的需求越来越高。在这两方面因素刺激下,ICT 产业不得不逐步扩大通信网络的规模,同时增加各种通信设备数量,以应对不断增长的用户高通信质量需求。通信设施规模的不断壮大及通信质量的不断提高,所需的能耗也相应剧增,这使得 ICT 产业所承受的能耗负担越来越重。

由于通信网络的能源消耗主要集中在电力方面的消耗上(高达 87%左右<sup>[3]</sup>),各大运营商的耗电量不得不急剧增加,据统计,到 2009 年为止,中国三大通信运营企业每年的耗电量已经超过 20 TWh (billion kWh),其中在 2007 年,中国电信耗电量约为 6 TWh,中国移动耗电量为 8 TWh 左右。而到了 2012 年,中国移动耗电量则高达 41.9 TWh,可见其增长趋势是多么迅猛。近期,在由中国通信企业协会举办的“第四届通信行业节能减排大会”上,工信部通信发展司副司长祝军发言说,2012 年通信行业耗电同比增长 8.87%,这个数据相比较其他行业耗电量增长速率来讲,也许并不突出,但对于自身来讲,在很大程度上带来了经济成本的增加。近年来各大通信公司为了降低经济成本,纷纷致力于节能业务,使得单位业务耗电量有所降低,但从总体上来看,总耗电量仍是逐年增长的。据目前分析,ICT 产业的能耗主要集中在大型数据中心、通信设备以及有线和无线网络中,特别是随着 2013 年大数据时代的到来,大型的数据中心迅猛增加,各大运营商竞相进行 4G 网络规模建设,ICT 产业整体的能耗依然保持继续增长的趋势。通过进一步分析移动设备的运行能耗发现,用户终端设备的能耗仅占总能耗约百分之十的比例,而网络构件的能耗占了剩余的 90%<sup>[4]</sup>,这其中三分之二的能耗又集中在基站设备中(见图 1-1),且无线蜂窝网络(基站和核心网络)的能耗“每隔 4~5 年便翻倍”。随着能耗的增加,明显可见的是,电信运营商的电费账单支出占运营成本的比例越来越高。目前网络运营商的电费开支已占据其运营成本的 18% (欧盟) 到 32% (印度) 比例。为此,ICT 产业为提高自身的经济效益,有必要通过节能措施来降低运营成本——在满足不断增长的流量需求的同时,缓解网络设备的能耗、提升网络能效<sup>[5][6]</sup>。基于上述发展需求,绿色移动通信网络正成为当前和未来移动通信网络的重要方向。