

“十二五”国家重点图书出版规划

未来无线网络
WEILAI WUXIAN TONGXIN WANGLUO

通信设备与网络绿色节能技术

TONGXIN SHEBEI YU WANGLUO LVSE JIENENG JISHU

魏翼飞 宋梅 / 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

“十二五”国家重点图书出版规划

未来无线通信网络

通信设备与网络绿色节能技术

魏翼飞 宋梅 编著



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

随着通信网络规模的扩大和网络业务量的激增,信息通信行业的巨大能耗引起了人们的关注,如何提高通信网络的能量使用效率,减少通信设备和网络的能耗、降低碳排放量成为信息通信产业的新课题。本书分析总结了当前通信设备与网络绿色节能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,介绍了绿色节能通信的概念、设计思路和关键技术。本书首先介绍了绿色节能通信的起源、现状和发展趋势,然后全面深入地阐述了绿色能量采集技术、通信设备节能技术、有线网络节能技术、无线网络节能技术以及通信和组网新技术在网络节能上的运用,最后概述了信息通信技术对其他行业的节能作用。

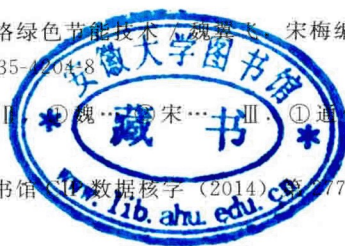
本书可供从事下一代通信网络研究的专业技术人员、管理人员,特别是从事通信设备和网络节能领域的专业研究人员和工程技术人员阅读,也可作为高等院校从事相关课题研究的师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信设备与网络绿色节能技术 / 魏翼飞, 宋梅编著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-5635-4204-8

I. ①通… II. ①魏…②宋… III. ①通信设备—节能—通信网—节能 IV. ①TN914
②TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第 77322 号



书 名: 通信设备与网络绿色节能技术

著作责任者: 魏翼飞 宋梅 编著

责任编辑: 何芯逸

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)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

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: 720 mm×1 000 mm 1/16

印 张: 20.75

字 数: 428千字

版 次: 2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-4204-8

定 价: 48.00 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 •

Foreword

The continuously growing demand for higher data-rate, better service quality, and ubiquitous network access leads to the rapid development of telecommunications and Internet during the last decade. The IMS research reported that there are now more than 5 billion electronic devices connected worldwide, and the number will be 22 billion in 2020. In order to continuously offer the maximum performance and reliability levels, most network devices operate at their maximum capacity and have constant power consumption required to handle peak-time traffic. Therefore, most of the energy consumed by network devices is wasted, and this energy wastage rises steadily with exponential the increase in network devices. The wastage from wireless communication networks is also very remarkable considering the following two facts: the point-to-point information transmission via wireless is carried out by omni-directional power transmitting; the ubiquitous access is realized by overlapping networks and repeated construction. The European Commission DG INFSO report estimated that European telecoms and operators had an overall network energy requirement equal to 21.4 TWh in 2010 and will rise to 35.8 TWh in 2020. The Global e-Sustainability Initiative (GeSI) reported a similar estimation, and weighted the carbon footprint of networks and related infrastructures at about 320 Mt of CO₂ emissions in 2020.

Escalating energy costs, greater environmental concerns, and increasing demand for longer life-time of mobile devices have already created an urgent need for more energy-efficient Information and Communications Technology (ICT). This trend has stimulated the interest of researchers in an innovative new research area called green ICT, which has a very significant role to play in addressing climate change globally and facilitating efficient and low carbon development. Many technologies are proposed to significantly improve the

device and network energy-efficiency and reduce the carbon footprint of ICT, such as renewable energy sources, improved transmitter efficiency, advanced energy adaptation capabilities, energy-saving hardware redesign, energy-aware architectures and protocols, virtual infrastructure, network cooperative coverage (selectively letting networks or base stations switch off when the quality of service can be guaranteed by the remaining active cells), etc.

Canada's high-speed Canarie network is the cornerstone of GreenStar Network (GSN) project, which is the first wide-area test-bed to realize a green ICT initiative based on the "follow the wind, follow the sun" paradigm. Made with nodes powered almost entirely by renewable energy, the GSN combines local energy efficiency and global power optimization. It virtually migrates data centers between geographically distributed nodes according to the availability of renewable energy. The GSN provides a scalable environment for experimenting and simulating carbon-reduction solutions. Carleton University has been doing research on green wireless communication technologies for many years. Prof. Yifei Wei was invited to study at Carleton University between 2008 and 2009. He was involved in the research project "Next Generation Green Wireless Networks", which was funded by Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada. We are the early birds researching green communications, and Prof. Yifei Wei is familiar with the latest advances in this area.

This book introduces some research issues and paradigm-shifting technologies to enable energy-efficient or green communication devices and networks. The renewable energy harvesting technologies, smart power management for network equipment, energy-efficient network architectures and protocols for wired network, new directional antenna technologies and unified management of network and radio resource of different wireless networks are elaborated in this book. Some emerging technologies potentially useful for energy saving are also introduced, such as cooperative relay, cognitive radio and self-organizing networks. This book is very

practical and handy of reference for those who are doing academic research in next-generation network especially in green communication areas, and those who are designing and developing energy-efficient ICT facilities.



Prof. Fei Richard YU, Ph. D. , SMIEEE
School of Information Technology
Department of Systems and Computer Engineering
Carleton University, Ottawa, ON, Canada
Phone: +1-613-520-2600 ext. 2978
Email: Richard.Yu@carleton.ca

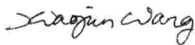
Foreword

Information and Communications Technologies (ICT) have been widely considered as the best way to improve efficiency and reduce the waste of resources in different industries. However, the same efficiency concepts have not been applied to ICT itself, and the waste of energy is very serious due to the fact that network devices are provisioned and operated for peak load and lack power management capabilities. Triggered by the increasing price of energy, the continuous growth of network devices and subscribers, the expansion of services and network traffic, and the spread of various broadband wireless access technologies, the energy efficiency issue has recently become a high-priority objective for ICT infrastructures. ICT has been identified by the Climate Group in the Smart 2020 report as a key sector with a potential to save 15% of global CO₂ emissions in 2020 if green ICT technologies are developed and adopted.

Based on this prediction, the European Seventh Framework Programme (FP7) initiated the ECONET (low Energy CONsumptionNET-work) project, which investigates, develops and tests new capabilities for Future Internet devices that can enable the efficient management of power consumption so as to significantly reduce the current waste of network energy. The ECONET project is devoted to re-thinking and re-designing wired network equipment and infrastructures towards more energy-sustainable and eco-friendly technologies and techniques. The overall idea is to introduce novel green network-specific paradigms and concepts that enable the reduction of the energy requirements of wired network equipment by 50% in the short to mid-term (and by 80% in the long run) with respect to the business-as-usual scenario. Professor Yifei Wei was invited to participate in the ECONET project in 2013 at Dublin City University (DCU), which is a partner of the ECONET project. The ECONET pro-

ject generated a European Telecommunications Standards Institute (ETSI) standard on Green Communications, the ETSI STANDARD 203-237, which was approved in April 2014.

This book on Green Energy Saving Communication Devices and Networks is a timely and valuable contribution to the education and promotion of Green ICT and ICT for Green. It covers energy saving technologies for both wireless and wired communications, ranging from device level energy saving technologies to energy saving oriented protocol adaptations. This book not only covers technologies for energy efficient ICT, but also covers ICT for saving energy in other industries, such as smart grid, smart building, smart logistics and smart transportation. Green energy harvesting technologies are also introduced. This book is suitable for a wide range of readers, from postgraduate students to academics and practicing engineers.



Dr. Xiaojun Wang
School of Electronic Engineering
Dublin City University
Dublin 9, Ireland

前 言

信息通信技术(ICT)经过几十年的高速发展和渗透,其产品和服务已经覆盖了经济社会各个方面,基本能够满足人们的通信需求。然而在网络设备升级换代、网络规模持续扩大、网络性能不断提高的同时,通信网络日益暴露出能耗高、效率低、重复建设多等诸多问题。随着人们环境保护意识的增强,传统通信网络以提高性能为设计目标的思路面临挑战,研究机构和学术界开始关注信息通信行业的能耗问题,希望通过多种技术提高信息通信网络的能量使用效率,减少通信设备和网络的能耗,实现低碳排放。各国政府从资源节约和保护环境的角度对电信运营商提出了低碳运营要求,对系统设备商提出了低碳准入门槛。同时,由于能源价格上涨,网络运营商从降低运营成本角度对节能降耗提高了重视,全球各大运营商都将节能降耗作为一个长期的战略目标。另外,从用户角度考虑,移动终端的待机时长直接影响用户体验,随着移动终端集成的新业务、新功能越来越多,终端设备的耗电量也越来越大,人们迫切需要能耗低、待机长的移动设备。在全球低碳经济的大潮中,节能降耗成为信息通信产业发展的新引擎,构建绿色高效能网络成为通信技术领域一个意义重大、迫切需要解决的研究课题。

绿色通信的提出旨在保证用户服务质量的同时,减小能源消耗,降低电磁辐射,提高资源利用率,使资源消耗和环境影响最小。从狭义上讲,绿色通信是指以节能减排、有效利用网络资源为目标,通过新能源利用、设备节能设计、网络整体优化以及通信新技术的运用等方式使通信网络能够可持续发展。从广义上讲,绿色通信是指将绿色理念渗透到信息通信产业从设备设计生产到网络运营管理的各个环节,以及通过信息化带动其他行业的节能减排,其目的是将整个经济社会的资源消耗以及对环境的影响降到最低。在低碳经济时代,绿色节能通信技术将扮演非常重要的角色。

面对低碳化的发展趋势,电信运营商、系统设备商、动力能源企业都及时通过企业战略的调整和积极行动做出回应,目标是打造绿色站点、绿色机房、绿色传输、绿色网络等信息通信方案,不断创造符合产业发展的绿色低碳技术产品和解决方案。国内外一些研究机构已经开展了绿色高能效通信相关的研究项目,学术界已经取得了许多通信设备或通信网络节能方面的研究成果,并揭示了通信系统能量效率提高的巨大空间。同时,国际上的一些标准化组织已经开始着手制定通信设备或网络节能的相关标准。

本书着眼于全面、系统、深入地介绍绿色节能通信设备与网络的相关知识和关键技术,以新型环境能源采集技术、通信设备节能设计和通信网络节能技术的发展为主线,全面分析和阐述了通信设备及网络走向高能效、低能耗、低排放的关键技术,主要包括绿色能量采集技术、通信设备节能技术、有线网络节能技术、无线网络节能技术以及协作中继、认知无线电和无线自组织等通信和组网新技术在网络节能上的运用。

全书分为9章。第1章概述了绿色通信的起源、发展和现状,分析了促进绿色通信起源与发展的因素,总结了现有绿色通信研究现状和标准化,对绿色ICT相关关键技术进行了详细阐述。第2章介绍了各种绿色能源和环境能量采集技术,对太阳能采集、射频能量采集、振动能量采集方案进行了详细阐述。第3章概述了通信设备节能的途径和方法,分析了通信设备硬件系统能耗模型,总结了计算机电源管理的发展和现状以及通信行业中清洁能源的利用,对设备分级功率管理架构进行了详细阐述。第4章分析了有线网络的能耗分布和流量特征,总结了有线网络节能的发展趋势和相关标准及规范,详细阐述了有线网络通过流量优化、网络虚拟化、绿色数据中心等新技术实现节能的方案,深入介绍了有线网络面向节能的几种改进型通信协议。第5章阐述了无线通信网络主要的绿色节能技术和方案,包括采用新型天线技术提高能源利用效率、通过异构网络之间的协作和动态覆盖降低能量消耗,利用接入网虚拟化技术提高资源利用率,设计面向绿色能源的新型无线接入网架构。第6章总结了无线协作中继网络节能的关键技术,对协作中继中的中继选择算法、功率分配方案以及多点协作中的资源分配等方面进行了详细的阐述。第7章概述了认知无线电

节能原理,对基于认知无线电的单节点感知、协作频谱感知和频谱接入中的几种节能方案进行了详细的阐述。第8章概述了无线自组织网络的概念及其衍生网络,分析了无线自组织网络体系结构节能原理,总结了网络协议栈各层相应关键节能技术,对无线自组织网络主要节能机制进行了详细阐述。第9章对ICT如何推动各个行业的节能减排进行了详细阐述,分析了各个行业的研究背景、发展现状、面临的挑战以及未来发展方向。

本书的编写考虑到了不同层次读者的需要,全面介绍了绿色节能通信相关的概念、设计思路和关键技术,包括绿色能量采集、通信设备节能、有线网络节能、无线网络节能以及协作中继、认知无线电和无线自组织等通信和组网新技术,便于读者对绿色节能通信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章节。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,特别是从事通信设备和网络节能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。

本书的编撰工作涵盖了北京邮电大学 ICN & CAD 中心多名教师、博士生及硕士生近年研究成果,王雅莉、蒋超宇、赖恒宇、赵俊美、龚霞、任宸莹、杨光、毕可、汪高平等参与了本书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,以及北京邮电大学张勇、满毅、王莉、滕颖蕾、刘洋等教师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(61101107,61372117)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

目 录

第 1 章 绿色信息通信技术综述	1
1.1 绿色信息通信技术起源及发展现状	1
1.1.1 绿色信息通信技术起源	1
1.1.2 绿色通信发展现状	3
1.2 绿色信息通信技术国内外研究现状与标准化	5
1.2.1 绿色信息通信技术相关研究现状	5
1.2.2 绿色信息通信技术相关标准化	13
1.3 通信网络资源效率评估准则	15
1.3.1 通信网络资源及优化问题建模	15
1.3.2 通信网络资源效率的定义	17
1.4 无线网络节能方案与技术	20
1.4.1 无线网络节能面临的挑战	20
1.4.2 面向节能与绿色能源利用的基站间协作动态小区管理	22
1.4.3 分布式远端无线射频单元	24
1.4.4 无线多跳自组织接入网络	26
1.4.5 认知无线电系统中的频谱感知与频谱接入节能技术	30
1.5 有线网络节能方案与技术	32
1.5.1 网络虚拟化及数据中心	32
1.5.2 网络协议改进节能	34
1.5.3 网络流量优化节能	34
1.6 设备、芯片及器件节能方案与技术	35
1.6.1 基站体系结构	35
1.6.2 芯片节能	37
1.6.3 器件节能	37
1.7 综合节能方案与技术	38
1.7.1 绿色能源采集技术	39
1.7.2 通信机房空调节节能	40
1.7.3 通信电源系统节能	42
1.8 绿色信息通信技术对其他行业的节能作用	42

1.9 绿色信息通信技术的未来趋势	43
参考文献	44
第2章 绿色能量采集技术	47
2.1 绿色能源及能量采集技术简介	47
2.1.1 绿色能源	48
2.1.2 能量采集技术	52
2.2 太阳能采集	57
2.2.1 太阳能采集概述	57
2.2.2 太阳能光伏电池	58
2.2.3 太阳能光伏发电系统	62
2.2.4 太阳能光伏发电关键技术	66
2.3 射频能量采集	69
2.3.1 射频能量采集概述	69
2.3.2 射频能量采集原理	71
2.3.3 射频能量采集系统	73
2.4 振动能量采集	74
2.4.1 振动能量采集概述	74
2.4.2 振动能量采集模型	76
2.4.3 电磁式振动能量采集	77
2.4.4 静电式振动能量采集	80
2.4.5 压电式振动能量采集	85
2.5 能量采集技术的应用	89
2.5.1 能量采集技术的应用现状	89
2.5.2 能量采集技术的发展趋势	91
参考文献	91
第3章 通信设备节能技术	94
3.1 通信设备的能耗分析和节能主要途径	94
3.1.1 通信行业的能耗分布情况	94
3.1.2 通信行业节能的主要途径与措施	95
3.2 芯片、器件节能设计	101
3.2.1 集成电路功耗的组成和变化趋势	102
3.2.2 集成电路低功耗优化技术	103
3.2.3 器件节能设计	104
3.3 通信设备功耗动态管理	109
3.3.1 设备的能耗分析和节能思路	109

3.3.2	动态频率/电压调整	110
3.3.3	设备功耗动态管理策略	112
3.3.4	关于低功耗节能调度问题	113
3.4	通信设备分级功率管理架构	114
3.4.1	分级功耗管理架构模型	115
3.4.2	能耗模式的定义	117
3.4.3	能耗模式的配置	118
3.4.4	分级功率管理架构在 NetFPGA 上的实现	120
3.5	计算机电源管理	122
3.5.1	计算机电源管理的发展与现状	122
3.5.2	高级电源管理	123
3.5.3	高级配置与电源接口(ACPI)	126
3.6	清洁能源的利用及电源节能管理	129
3.6.1	几种典型的供电系统	130
3.6.2	通信电源节能管理	133
3.7	综合节能	134
	参考文献	137
第 4 章	有线网络节能技术	139
4.1	引言	139
4.2	有线网络能耗分析	140
4.2.1	系统能量资源分析	141
4.2.2	硬件系统能耗模型	141
4.2.3	能耗分析与流量分析	143
4.3	有线网络面向节能的架构改进	144
4.3.1	网络流量优化节能技术	144
4.3.2	网络虚拟化节能技术	147
4.3.3	数据中心节能技术	149
4.4	有线网络面向节能的协议改进	153
4.4.1	面向节能的复用技术	153
4.4.2	面向节能的速率调整技术	155
4.4.3	面向节能的休眠技术	158
4.4.4	面向节能的路由协议	160
4.5	相关标准及规范	163
4.5.1	休眠节能技术标准化现状	163
4.5.2	IEEE 1888 标准	164
4.5.3	IEEE 802.3az 标准规范	166

参考文献	168
第 5 章 无线网络节能技术	170
5.1 新型天线技术	170
5.1.1 大规模天线阵列	170
5.1.2 智能天线	171
5.1.3 大规模 MIMO 以及 3D MIMO	172
5.2 接入网架构改进	173
5.2.1 异构无线网络节能方案	173
5.2.2 无线接入网络虚拟化节能技术	179
5.2.3 面向绿色能源利用的新型无线接入网架构	182
5.3 绿色基站及动态小区管理	187
5.3.1 绿色基站与基站节能	187
5.3.2 动态小区管理技术	191
参考文献	199
第 6 章 无线协作中继节能技术	202
6.1 协作中继技术	202
6.1.1 协作中继方案	202
6.1.2 节能中继选择算法	205
6.1.3 节能资源分配方案	210
6.2 多点协作传输技术	213
6.2.1 多点协作传输方案	213
6.2.2 节能协作集选择技术	215
6.2.3 节能协作多点传输方案	216
6.2.4 多点协作系统节能资源分配技术	217
6.3 其他协作通信技术	221
6.3.1 分布式空时编码协作技术	221
6.3.2 网络编码技术	222
6.3.3 双向中继技术	224
参考文献	225
第 7 章 认知无线电节能技术	228
7.1 认知无线电技术	228
7.1.1 软件定义无线电	228
7.1.2 认知无线电技术	230
7.1.3 节能原理	237

7.2 单节点频谱感知节能技术.....	238
7.2.1 两级频谱检测.....	238
7.2.2 双阈值能量检测.....	244
7.3 协作感知节能技术.....	248
7.3.1 协作感知的原理及架构.....	249
7.3.2 融合判决算法.....	250
7.3.3 协作感知节能技术.....	252
7.4 节能频谱接入策略.....	254
7.4.1 频谱接入技术.....	254
7.4.2 动态频谱接入技术.....	255
7.4.3 节能频谱接入技术.....	262
参考文献	270

第 8 章 无线自组织网络节能技术 273

8.1 无线自组织网络与衍生网络.....	273
8.1.1 无线 Ad Hoc 网络.....	273
8.1.2 无线传感器网络.....	274
8.1.3 无线 Mesh 网络.....	274
8.2 无线自组织网络体系结构与协议栈各层节能技术.....	275
8.2.1 物理层.....	275
8.2.2 数据链路层.....	276
8.2.3 网络层.....	276
8.2.4 传输层.....	277
8.2.5 应用层.....	277
8.3 无线自组织网络主要节能机制.....	278
8.3.1 功率管控策略.....	278
8.3.2 网络节能路由协议.....	281
8.3.3 能量有效的拓扑控制机制.....	284
8.4 其他节能机制.....	288
8.4.1 无线传感器网络的低功耗节点硬件设计.....	288
8.4.2 无线传感器网络低功耗数据融合技术.....	289
参考文献	290

第 9 章 ICT 对其他行业的节能作用 293

9.1 引言.....	293
9.2 ICT 驱动智能电网.....	294
9.2.1 智能电网简述.....	294

9.2.2	智能电网的研究现状与研究热点	296
9.2.3	ICT 驱动智能电网	297
9.2.4	ICT 驱动智能电网面临的挑战	298
9.2.5	ICT 驱动下智能电网的发展方向	298
9.3	ICT 驱动绿色可持续发展	299
9.3.1	绿色可持续发展的概念及研究背景	299
9.3.2	ICT 驱动绿色可持续发展	300
9.4	ICT 驱动智能建筑	302
9.4.1	智能建筑的概念	302
9.4.2	智能建筑的发展现状	303
9.4.3	ICT 驱动智能建筑	304
9.4.4	ICT 驱动智能建筑所面临的阻碍	305
9.4.5	ICT 驱动下智能建筑的未来发展方向	305
9.5	ICT 驱动智能物流	306
9.5.1	智能物流的概念	306
9.5.2	智能物流的研究背景	306
9.5.3	ICT 驱动智能物流	307
9.5.4	ICT 驱动智能物流所面临的阻碍	307
9.5.5	ICT 驱动下智能物流的未来发展趋势	308
9.6	ICT 驱动智能工业	309
9.6.1	智能工业简述	309
9.6.2	ICT 驱动智能工业	310
9.6.3	ICT 驱动智能工业所面临的阻碍	310
9.7	ICT 驱动智能交通	311
9.7.1	智能交通简述	311
9.7.2	ICT 驱动智能交通	312
9.7.3	ICT 驱动下智能交通的未来发展方向	313
9.8	ICT 未来的发展趋势	313
	参考文献	314