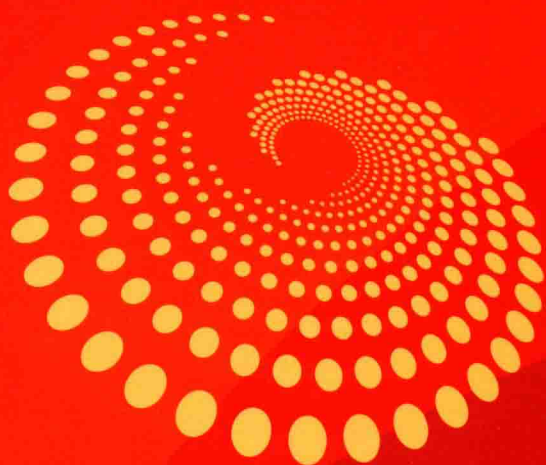




智能电网 关键技术研究与应用丛书

智能电网的 通信与网络

Communication and Networking
in Smart Grids

[美] 肖杨 (Yang Xiao) 主编 |
李祎斐 等译 |



智能电网关键技术研究与应用丛书

智能电网的通信与网络

Communication and Networking in Smart Grids

[美] 肖杨 (Yang Xiao) 主编

李祎斐 等译



机械工业出版社

本书涵盖了世界各地智能电网领域著名研究人员的工作成果，介绍了智能电网及其通信和网络的基本原理和应用情况，汇集了这些领域最新的进展。

本书分为两个部分，即通用智能电网以及智能电网的通信与网络。本书介绍了分布式电力供应和通信网络设计的最佳方法，并介绍了支持电力移动的区域能源市场的关键 ICT 系统工程趋势。本书涉及通信、IT 和安全性方面的相关主题，为读者提供参与未来智能电网通信和网络开发、设计和实施所需的知识。

本书适合智能电网研究人员、从业人员和高等院校相关专业学生阅读。

译者序

智能电网中的通信网络是在传统电力通信网络基础上发展起来的高速、双向、实时、集成的专用通信网络。没有这样的专用通信网络，任何智能电网的特征都将无法实现。建立先进的通信网络是实现智能电网的基础。

《智能电网的通信与网络》是世界各地从事智能电网及其相关领域研究工作的专家的实际工作成果的总结。本书提供了先进的方法和新颖的技术，解释了当代电网的开发和部署方式，并提出了前所未有的技术进步，以帮助改进当前的实践。

本书分为两个部分，即通用智能电网以及智能电网的通信与网络。其涵盖范围包括：

- 1) 在微电网中管理本地产生的电力；
- 2) 虚拟发电厂的多视角服务管理；
- 3) 智能电网中需求管理和电网稳定性的分布式算法；
- 4) 插电式电动汽车的配电网优化；
- 5) 实用智能电网部署的通信技术、网络和策略——从变电站到电表；
- 6) 低碳电网的基于资源的资源描述和发现框架；
- 7) 智能电网中的服务质量（QoS）。

本书介绍了分布式电力供应和通信网络设计的最佳方法，并介绍了支持电力移动的区域能源市场的关键 ICT 系统工程趋势。本书涉及通信、IT 和安全性方面的相关主题，为读者提供参与未来智能电网通信和网络开发、设计和实施所需的知识。

本书主要由李祎斐翻译，其他参加翻译的人员有马辰智、边晓婕、张茹敏、韩凝、张通、张瑀彤、喻一伟、何淇彰、曹可凡、张鑫、吕晓薇、陈道雨。本书内容所涵盖的领域非常宽广，限于译者的水平，加之时间仓促，书中难免会出现翻译不当甚至错误之处，恳请广大读者批评指正。

译者

原书前言

智能电网是输电系统与通信网络和信息技术 (IT) 的集成, 以提供更好的服务。通信和网络将在构建未来智能电网方面发挥重要作用。本书的目的是为智能电网中的通信网络提供最先进的方法和新颖的技术, 并涵盖了该领域的一系列主题, 为这些领域的学生、研究人员和工程师提供了极好的参考。

本书介绍了智能电网及其通信和网络的基本原理和应用情况, 涵盖了这些领域最新的研究进展。世界各地从事智能电网及其相关领域工作的许多著名研究人员都对这项工作做出了贡献。本书共有 12 章, 分为“通用智能电网”和“智能电网的通信与网络”两部分, 我们相信本书将成为对智能电网通信与网络的研究、开发、设计和实施有兴趣的研究人员、从业人员和学生的非常有价值的参考书。

本书的出版离不开贡献者和出版社的巨大努力。感谢相关的贡献者, 他们牺牲了宝贵的时间将这些章节整理给读者。感谢我们的出版社 Taylor & Francis, 没有他们的鼓励和高质量的工作, 就没有本书。

肖杨

美国亚拉巴马大学计算机科学系

电子邮件: yangxiao@ieee.org

致 谢

本书中的部分研究成果得到了美国国家科学基金会（NSF）授权 CCF - 0829827、CNS - 0716211、CNS - 0737325 和 CNS - 1059265 的支持。

关于主编

肖杨博士于2002年加入孟菲斯大学计算机科学系，曾担任IEEE 802.11标准增强工程的媒介访问控制（MAC）架构师。他目前是亚拉巴马大学计算机科学系终身教授。他是2001~2004年IEEE 802.11工作组的有表决权的成员，目前是IEEE高级会员。他是美国国家科学基金会（NSF）、加拿大创新基金会（CFI）电信专家委员会和美国生物科学研究所（AIBS）的成员，以及许多国家和国际资助机构的裁判/评审员。他的研究领域是安全、通信/网络、机器人和远程医疗。他发表了180多篇评论期刊论文和200多篇评审会议论文，并且在这些研究领域出版了相关的书籍。肖博士的研究得到了美国国家科学基金会、美国陆军研究部、全球网络创新环境（GENI）、圣地亚哥舰队工业供应中心（FISCSD）、FIATECH和亚拉巴马大学研究资助委员会的支持。他目前担任国际安全与网络杂志（IJSN）和国际传感器网络杂志（IJSNet）的主编。他还是国际远程医疗和应用杂志（IJTA）（2007~2009）的创始总编。

贡献者名单

M. Cheriet

魁北克大学高等技术学院
加拿大魁北克

Philippe Daniel

埃森哲技术公司
法国索菲亚·安蒂波利斯

A. Daouadji

魁北克大学高等技术学院
加拿大魁北克

Debraj De

佐治亚州立大学计算机科学系传感器网络研究实验室
佐治亚州亚特兰大

Tomaso Erseghe

帕多瓦大学信息工程系
意大利帕多瓦

Lorenza Giupponi

加泰罗尼亚电信中心 (CTTC)
西班牙巴塞罗那

Juan José Gonzalez de la Rosa

加的斯大学
西班牙安达卢西亚

M. Gonzalez - Redondo

科尔多瓦大学计算机体系结构、电子与电子技术系
西班牙科尔多瓦



David Gregoratti

加泰罗尼亚电信中心 (CTTC)

西班牙巴塞罗那

Dong Han

休斯敦大学智能传感器电网和信息实验室

得克萨斯州休斯敦

Christian Ibars

加泰罗尼亚电信中心 (CTTC)

西班牙巴塞罗那

Scott Kurth

埃森哲技术公司

伊利诺伊州芝加哥

M. Lemay

Inocybe 技术公司

加拿大蒙特利尔

Gang Lu

佐治亚州立大学计算机科学系传感器网络研究实验室

佐治亚州亚特兰大

Javier Matamoros

加泰罗尼亚电信中心 (CTTC)

西班牙巴塞罗那

I. M. Moreno – Garcia

科尔多瓦大学计算机体系结构、电子与电子技术系

西班牙科尔多瓦

A. Moreno – Munoz

科尔多瓦大学计算机体系结构、电子与电子技术系

西班牙科尔多瓦



Christian Müller

多特蒙德大学通信网络研究所
德国多特蒙德

Monica Navarro

加泰罗尼亚电信中心 (CTTC)
西班牙巴塞罗那

K. – K. Nguyen

魁北克大学高等技术学院
加拿大魁北克

Víctor Pallarés – López

科尔多瓦大学计算机体系结构、电子与电子技术系
西班牙科尔多瓦

Matthias Postina

研发部能源办公室
德国奥登堡

R. Real – Calvo

科尔多瓦大学计算机体系结构、电子与电子技术系
西班牙科尔多瓦

Sebastian Rohjans

研发部能源办公室
德国奥登堡

Jens Schmutzler

多特蒙德大学通信网络研究所
德国多特蒙德

Aline Senart

埃森哲技术实验室
法国索菲亚·安蒂波利斯



Alberto Sendin

德乌斯托大学工程学院电信系

西班牙毕尔巴鄂

Autumn Nicole Smith

亚拉巴马大学

亚拉巴马州塔斯卡卢萨

Wen - Zhan Song

佐治亚州立大学计算机科学系传感器网络研究实验室

佐治亚州亚特兰大

Christian Souche

埃森哲技术实验室

法国索菲亚·安蒂波利斯

Michael Specht

研发部能源办公室

德国奥登堡

Ulrike Steffens

研发部能源办公室

德国奥登堡

Wei Sun

合肥工业大学电气工程系

中国合肥

Paolo Tenti

帕多瓦大学信息工程系

意大利帕多瓦

Stefano Tomasin

帕多瓦大学信息工程系

意大利帕多瓦



Joern Trefke

研发部能源办公室
德国奥登堡

Mathias Uslar

研发部能源办公室
德国奥登堡

Jianping Wang

合肥工业大学电气工程系
中国合肥

Christian Wietfeld

多特蒙德大学通信网络研究所
德国多特蒙德

Yang Xiao

亚拉巴马大学计算机科学系
亚拉巴马州塔斯卡卢萨

Susumu Yoneda

软银集团
日本东京

Xiaohui Yuan

北得克萨斯大学计算机科学与工程系
得克萨斯州丹顿

Xiaojing Yuan

休斯敦大学智能传感器电网和信息实验室
得克萨斯州休斯顿

Chongwei Zhang

合肥工业大学电气工程系
中国合肥

Communication and Networking in Smart Grids/ by Yang Xiao/ISBN:
978-1-4398-7873-6.

Copyright © 2012 by Taylor & Francis Group, LLC.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2012-8712 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能电网的通信与网络/(美)肖杨(Yang Xiao)主编;李玮斐等译. —北京:机械工业出版社, 2018. 2

(智能电网关键技术研究与应用丛书)

书名原文: Communication and Networking in Smart Grids

ISBN 978-7-111-58813-9

I. ①智… II. ①肖…②李… III. ①智能控制-电力通信网 IV. ①TM73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 330415 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 刘星宁

责任编辑: 刘星宁

责任校对: 潘蕊

陈越

封面设计: 鞠杨

责任印制: 张博

三河市国英印务有限公司印刷

2018 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 13.75 印张 · 262 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-58813-9

定价: 79.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

目 录

译者序	
原书前言	
致谢	
关于主编	
贡献者名单	

第一部分 通用智能电网

第1章 智能电网	2	1.4.3 用户隐私	9
1.1 概述	2	1.4.4 政治资助和支持	9
1.1.1 效率和可靠性	2	1.4.5 当前研究	9
1.1.2 环境效益	3	1.5 小结	10
1.1.3 用户利益	3	致谢	10
1.1.4 安全性	3	参考文献	10
1.2 技术方面	3	第2章 智能电网需求管理和电网	
1.2.1 双向通信	4	稳定性分布式算法	13
1.2.2 控制和监测技术	4	2.1 智能电网元件	13
1.2.3 高级部件	4	2.1.1 分布式能源	14
1.2.4 储能	5	2.1.2 分布式储能	14
1.3 第一个智能电网/当前		2.1.2.1 可再生能源整合	15
尝试	6	2.1.2.2 辅助服务	15
1.3.1 科罗拉多州波尔		2.1.2.3 车辆到电网的分布	
得市	7	式存储示例	16
1.3.2 得克萨斯州奥斯		2.1.3 管理电力需求	16
汀市	7	2.2 电力市场	18
1.3.3 加拿大安大略省	8	2.2.1 市场代理	18
1.3.4 意大利	8	2.2.2 市场运作	19
1.4 电网系统的未来	8	2.3 需求响应	21
1.4.1 前景	8	2.3.1 直接负载控制	22
1.4.2 网络安全	9	2.3.2 定价政策	25



2.4 需求侧管理的网络拥塞·····	26	4.2 虚拟发电厂·····	54
2.4.1 需求和电网负载管理 网络模型·····	27	4.3 多视角服务管理·····	56
2.4.2 拥塞博弈·····	27	4.3.1 术语和定义·····	57
2.4.3 需求和电网负载管理 博弈·····	28	4.3.1.1 企业架构·····	57
2.4.4 数值示例·····	29	4.3.1.2 业务、应用和基础 设施服务·····	58
2.5 更复杂模型介绍·····	30	4.3.1.3 利益相关者、关注点、 观点和角度·····	59
2.5.1 分布式发电·····	31	4.3.2 视角·····	60
2.5.2 分布式存储·····	31	4.3.3 多视角服务管理的 元模型·····	61
2.5.3 问题和评论·····	32	4.3.4 多视角服务管理 分析·····	62
2.6 小结·····	33	4.4 虚拟发电厂服务管理·····	64
致谢·····	33	4.4.1 虚拟发电厂中的利益相 关者·····	66
参考文献·····	33	4.4.2 虚拟发电厂管理信息 模型·····	67
第3章 对微电网中本地发电能力 的有效管理·····	38	4.4.2.1 企业层·····	67
3.1 智能微电网·····	38	4.4.2.2 运营管理层·····	67
3.2 相关文献·····	39	4.4.2.3 流程控制层·····	68
3.3 微电网模型·····	39	4.4.2.4 控制层·····	68
3.3.1 电气模型·····	39	4.4.3 用例·····	69
3.3.2 经济模型·····	41	4.4.3.1 场景用例1: 创建一 个提前行动计划·····	69
3.4 智能微电网·····	41	4.4.3.2 场景用例2: 创建一 个反应行动计划·····	72
3.4.1 重新设计目标优化·····	43	4.5 小结和展望·····	74
3.4.2 非凸性声明·····	43	参考文献·····	75
3.5 次优解·····	44	第5章 插电式电动汽车配电网 优化·····	77
3.5.1 最快下降算法·····	44	5.1 概述·····	77
3.6 分布式实现·····	46	5.2 现有技术·····	78
3.7 数值结果·····	47	5.2.1 研究方法·····	78
3.8 小结·····	50	5.2.2 配电网模拟·····	79
致谢·····	50	5.3 配电网优化·····	79
附录A 明确式(3.2)的 参数·····	50		
参考文献·····	52		
第4章 虚拟发电厂多视角服务管 理的应用·····	53		
4.1 概述·····	53		



5.3.1 系统功能	79
5.3.2 系统架构	80
5.3.2.1 前端	81
5.3.2.2 后端	82
5.3.2.3 外部工具	83
5.3.3 系统优化	83
5.3.3.1 电力负载模型	83
5.3.3.2 模拟解释	84
5.3.3.3 方案选择	85
5.4 结果	85
5.4.1 设施状况	85
5.4.1.1 不同网络下的设施状况	85
5.4.1.2 不同情况下的设施状况	87
5.4.2 负载增加	87

5.4.3 配电网健康	88
5.4.4 变压器状况	89
5.5 小结和未来工作	89
参考文献	90
第6章 基于本体的资源描述和低碳电网网络发现框架	92
6.1 概述	92
6.2 低碳网络和资源管理	93
6.3 虚拟化管理	95
6.4 ICT 能源本体	96
6.5 建议的系统架构	97
6.6 碳感知资源发现	99
6.7 实验结果	100
6.8 小结	101
致谢	101
参考文献	102

第二部分 智能电网的通信与网络

第7章 分布式电源和通信网络设计的最佳方法

7.1 概述	106
7.2 ICT 与气候变化	106
7.3 微电网	107
7.4 微电网背后的动机	108
7.5 数学模型	109
7.5.1 模型中使用的变量说明	109
7.5.2 模型公式	109
7.5.3 简单的样本问题	110
7.5.4 计算结果	110
7.6 结果分析	111
7.7 小结	113
致谢	113
参考文献	113

第8章 智能电网测试平台：设计

和验证	114
8.1 概述	114
8.2 背景	117
8.3 相关工作	119
8.4 智能电网测试平台设计	120
8.4.1 电网架构	120
8.4.2 信息网络架构	121
8.4.3 IPS 设计	121
8.4.4 功率表	124
8.4.5 能源供应和能源需求者	125
8.5 测试平台验证	126
8.5.1 实时需求响应	126
8.5.1.1 间歇电源管理	126
8.5.1.2 多电流的价格需求响应	127
8.5.2 中断自愈修复能力	127



8.5.3 使用多路径的电流平衡	129
8.5.4 功率表	129
8.6 小结和未来工作	131
参考文献	131
第9章 用于 IEC 61850 标准中智能电网同步相量和集成的具有 IEEE 1588 基础系统的确定性以太网同步	133
9.1 概述	133
9.2 同步相量标准	134
9.2.1 IEEE 标准 1344	135
9.2.2 IEEE 标准 C37.118 - 2005	135
9.2.3 IEEE C37.118 实验系统	136
9.2.4 新型同步相量标准 PC37.118.1 和 PC37.118.2	137
9.3 PTP 标准	137
9.3.1 IEEE 1588 v1 2002	138
9.3.2 用于测试的 PTP 主时钟	138
9.3.2.1 XLi 的时间间隔/事件时间	138
9.3.2.2 确定网络拓扑稳定性的测试	139
9.3.3 使用 PTP v1 用于测试的实验系统	140
9.3.4 用于测试的 PTP 从时钟	140
9.3.5 IEEE 1588 v2 2008	142
9.3.6 使用 PTP v2 用于测试的实验系统	142
9.4 IEC 61850 标准	143
9.4.1 IEEE C37.118 与 IEC 61850 和精确时间同步的协调	143
9.4.2 用于事件数据交换通用格式的 PC37.239 ...	143
9.4.3 用于电力 PTP 的 PC37.238	144
9.4.4 使用 PTP 和 IEC 61850 用于测试的实验系统	144
9.5 基于 PTP V2 的智能电网同步事件全球系统	145
9.6 小结	146
致谢	147
参考文献	147
第10章 智能电网网络服务质量	149
10.1 智能电网架构及其网络服务质量需求概述	149
10.2 现有的无线网络协议及其服务质量机制	150
10.2.1 基于 IEEE 802.15.4 的 Zigbee	151
10.2.2 基于 IEEE 802.11 的 Wi-Fi	151
10.2.3 基于 IEEE 802.16 的 WiMax	152
10.3 现有无线网络技术灵活的服务质量增强	152
10.3.1 基于马尔科夫链排队模型的 MAC 延迟 ...	154
10.3.2 信道服务时间模型	157
10.3.3 MAC 延迟、有效吞吐率和分组传输失	