



装备学院·学术专著

复杂信息网络性能设计

Design of Complex Information Network Performance

杨海涛 等 著



中国宇航出版社

复杂信息网络性能设计

Design of Complex Information Network Performance

杨海涛 赵东杰 付芸 何宇 著



中国宇航出版社

· 北 京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂信息网络性能设计/杨海涛等著. --北京:中国宇航出版社,
2014

ISBN 978-7-5159-0639-3

I. ①复… II. ①杨… III. ①信息网络-设计 IV. ①TP393.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 038702 号

责任编辑 刘亚静 赵宏颖 责任校对 祝延萍 封面设计 文道思

出 版	中国宇航出版社	
社 址	北京市阜成路 8 号	邮 编 100830
	(010)68768548	
网 址	www.caphbook.com	
经 销	新华书店	
发行部	(010)68371900	(010)88530478(传真)
	(010)68768541	(010)68767294(传真)
零售店	读者服务部	北京宇航文苑
	(010)68371105	(010)62529336
承 印	北京画中画印刷有限公司	
版 次	2014 年 3 月第 1 版	2014 年 3 月第 1 次印刷
规 格	880 × 1230	开 本 1/32
印 张	16.25	字 数 459 千字
书 号	ISBN 978-7-5159-0639-3	
定 价	139.00 元	

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

前 言

随着计算机技术、网络通信技术的高速发展，以及人类对信息系统广泛、深入的需求，信息网络规模日益庞大、结构日益复杂、功能日益丰富，已演变为一个典型的复杂网络。复杂信息网络以组网技术、信息传输技术、信息融合技术、信息安全防护技术等为支持，把多种不同类型和功能的信息节点结合为一个整体，可实现信息的高效传输、按需分发、充分共享和综合利用，具有结构复杂性、应用复杂性、演化复杂性、时空复杂性等特点。作为网络科学重要的研究内容，复杂信息网络性能如何度量、建模、分析、设计和优化，是一项基础性的课题。

互联网（Internet）似乎是所有问题的最大代表。作为目前世界上规模最大、影响最大的复杂信息网络，互联网正由于用户行为的创造性、协同性、选择性和不确定性，变得越来越庞大、越来越复杂、越来越智能，为我们研究复杂信息网络提供了一个绝佳的样本。复杂信息网络性能如何度量？网络结构如何演化？而在开放、自由的环境下，互联网面临的攻击和病毒都在不断变换、升级，互联网在无限扩张中表现出前所未有的脆弱，安全形势发生了新的变化。如何分析安全威胁下的网络性能？复杂信息网络的弹性如何优化？互联网无处不在的在线搜索、实时交互、即时通信和多方协同，催生了一系列新的网络文化和行为，涌现出一种强大的群体智能，利

用它可有效完成特定任务、解决复杂问题。这种网络群体智能本质是什么？如何产生及如何利用？这是互联网的发展给我们提出的一系列崭新问题。

解决问题的手段似乎也随着互联网的发展而涌现出来。面对云计算、大数据和网络空间等技术手段和运用机理，人们面临从技术到设备、到思想深处的深刻变革，传统“头痛医头，脚痛医脚”的还原论信息网络设计优化思维模式已经显得力不从心。目前，从顶层设计的角度按照整体论（或者整体论结合还原论）的思路，从演化涌现视角研究复杂信息网络设计优化的成果不多，本书对此进行了有益探索。另外，考虑到复杂信息网络的建设者、管理者 and 使用者能够按照需求，根据其所处的环境，利用自身的技术手段进行完善和改造行动，因而对信息网络性能设计优化起着决定性作用，是信息网络“适应性、自组织性”的根本来源。因此，本书基于宏观与微观、定性与定量、静态与动态相结合的思路，研究网络拓扑结构与网络动力学行为间的相互作用关系，采用系统分析、建模分析和仿真分析相结合的技术途径，对复杂信息网络性能设计优化问题进行了多尺度研究，突出网络拓扑结构设计优化，树立基于网络化思维的安全观，强调智能涌现和用户体验，强化网络的有效性、可控性、安全性和健壮性，确保网络经济高效、安全可靠、精准智能地提供服务。

在我国2006年发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》和2011年发布的《国家“十二五”科学和技术发展规划》中，复杂信息网络性能设计的相关问题及技术被列为国家重大基础研究和前沿技术研究。2011年2月，美国哈佛大学公布了当前及未来人类需要重点解决的十大社会科学问题，其中“人类如何增加自身群体智能”、“我们如何才能集合每个人所拥有的信息来作出最佳决定”和“怎样理解人类创造和表达知识的能力”这三个

问题位列其中。这与本书的相关努力似乎不谋而合。

本书在复杂信息网络概念、现状及基本测度与测量的基础上,主要围绕复杂信息网络演化及其优化、复杂信息网络弹性及其优化、网络群体智能及其分析等方面展开论述,分为5篇15章。第1篇复杂信息网络性能设计基础,包括概述、复杂网络结构测度2章;第2篇复杂信息网络拓扑结构测量与分析,包括Internet路由器级网络分析、群体智能网络分析2章;第3篇复杂信息网络拓扑结构演化建模与优化,包括基于工程折中的ISP路由器级拓扑结构演化模型、ISP路由器级拓扑结构演化优化、宏观路由器级拓扑结构演化建模及预测3章;第4篇复杂信息网络拓扑结构弹性分析与优化,包括随机故障和恶意攻击模式下的网络弹性分析及优化、病毒传播模式下的网络弹性分析及免疫措施、相继故障模式下的网络弹性分析及优化、基于弹性分析的信息网络拓扑结构评估及设计4章;第5篇网络群体智能结构分析与动力学仿真,包括网络群体智能研究范式、群体结构中心性、群体结构模式分析、网络群体智能动力学建模仿真4章。

本书适合正在或即将从事信息系统设计优化、互联网、复杂网络、复杂系统、群体智能、知识管理、网络行为学研究的学者参考,也适合信息、网络 and 智能科学相关领域的本科生、硕士生、博士生、教师作为教材使用。

本书是作者多年从事国家重点课题研究的成果,也是装备学院赵洪利教授指导的多名博士、硕士集体智慧的结晶,李鹏伟、姚曜、孙源泽、许英、原旭东、曹丽萍、吕晓磊、史继辉、范有臣、孙昊翔等研究生也参与了本书的编写工作。在本书撰写过程中,参阅了大量相关研究领域学者的研究成果,得到了复杂电子系统仿真重点实验室李新明、熊伟、何骏、赵忠文、刘德生、李艺、杨凡德、来嘉哲、杨凌云、王志安等专家学者的支持,在此一并表示衷心感谢。

复杂信息网络性能设计研究既是网络科学的基础课题，也是信息科学和社会科学等多学科交叉研究课题，具有现实性、前瞻性和挑战性，希望本书的出版能引起学者同仁的关注，起到抛砖引玉的作用。鉴于研究经验及作者水平所限，书中难免存在不足甚至错误之处，敬请广大同仁及读者批评指正。

作 者

2014 年 2 月

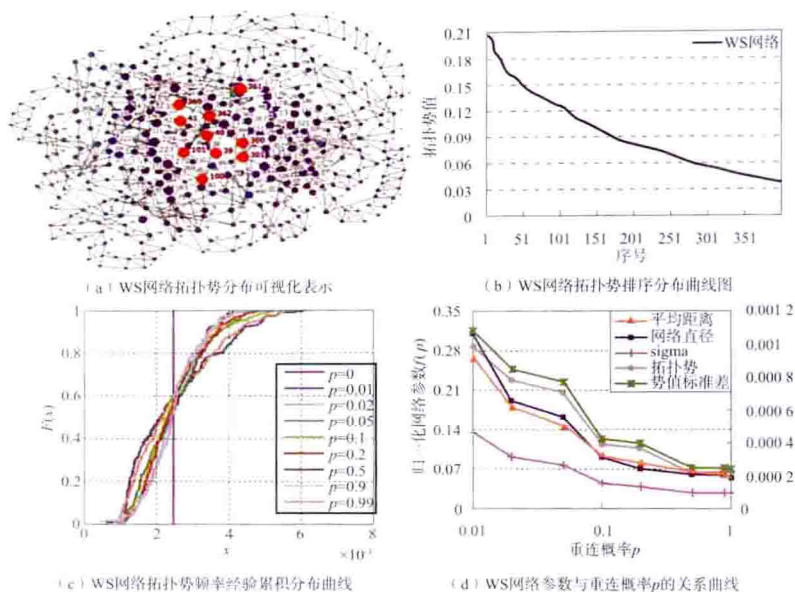


图 2-5 WS 网络拓扑势分布

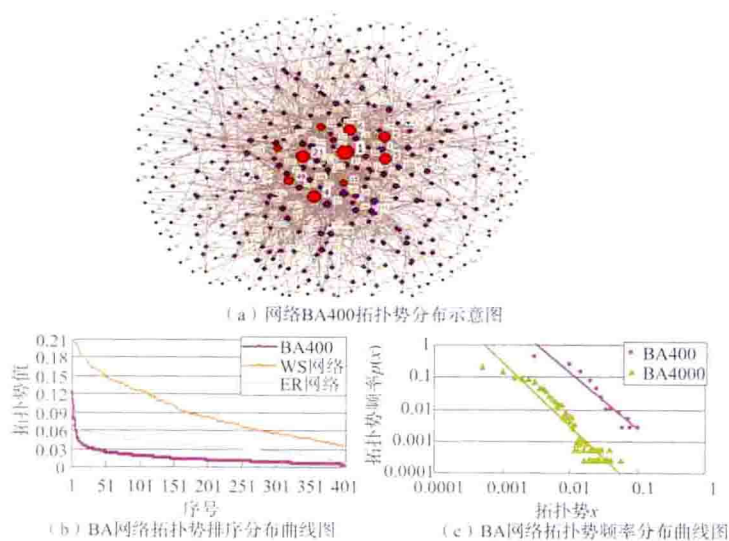


图 2-6 BA 网络拓扑势分布

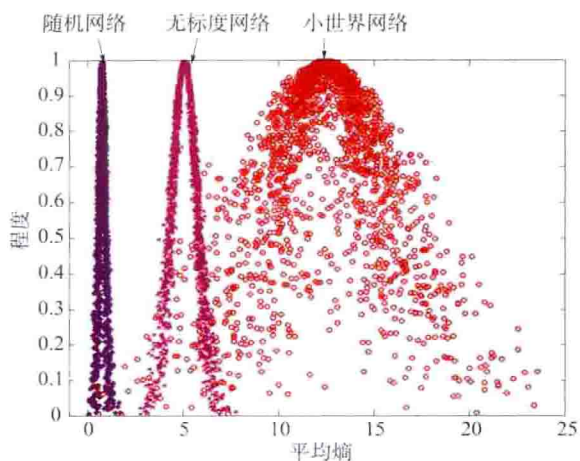


图 2-13 随机图网络、无标度网络和小世界网络的节点拓扑势均值云模型

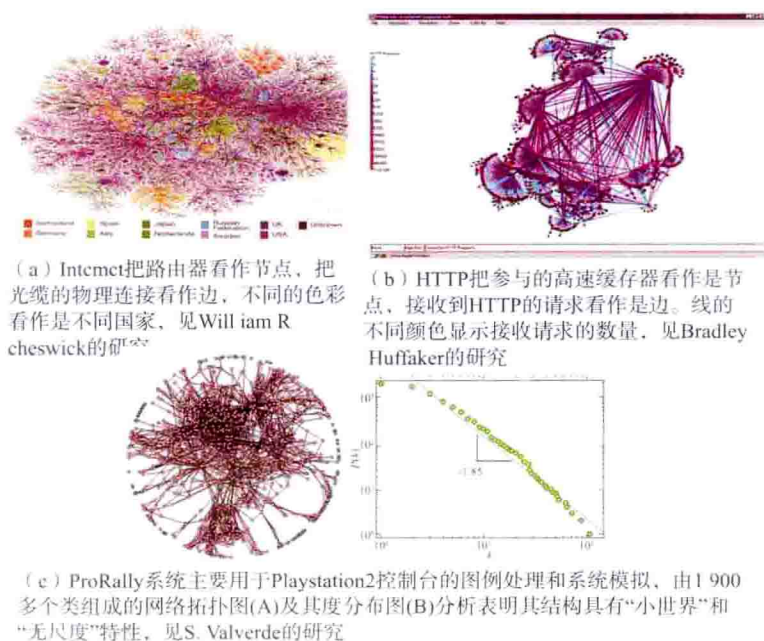


图 4-1 我们生活在网络的社会中

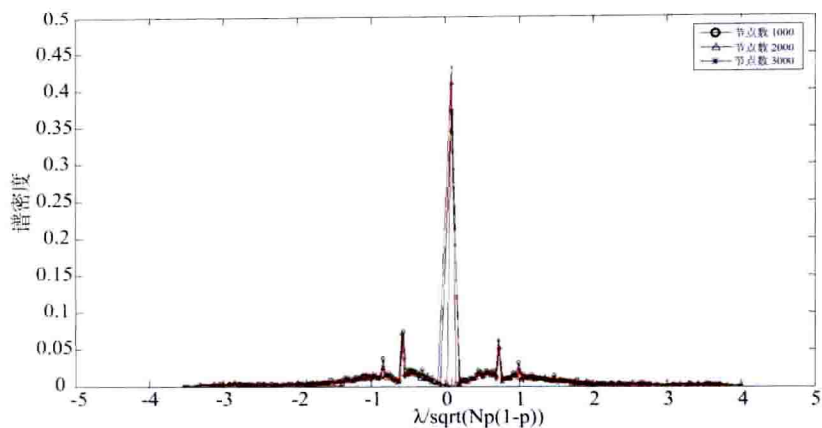


图 7-7 不同节点数的生成网络的谱密度分布

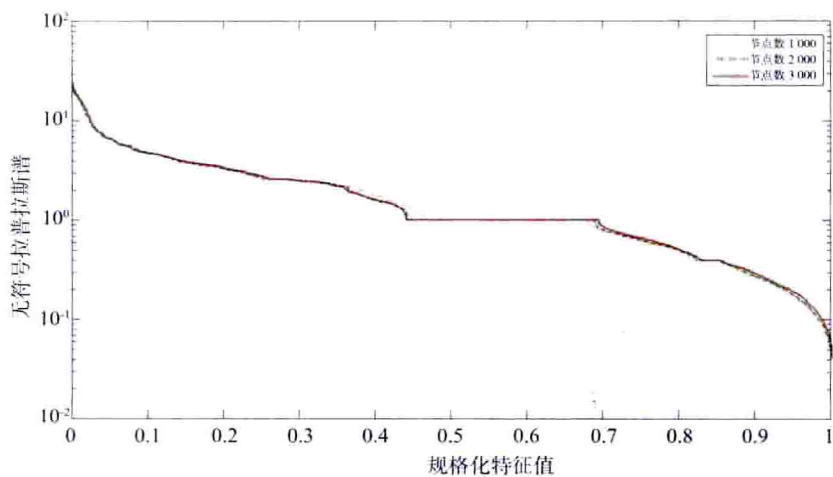


图 7-8 不同节点数的生成网络的无符号拉普拉斯谱

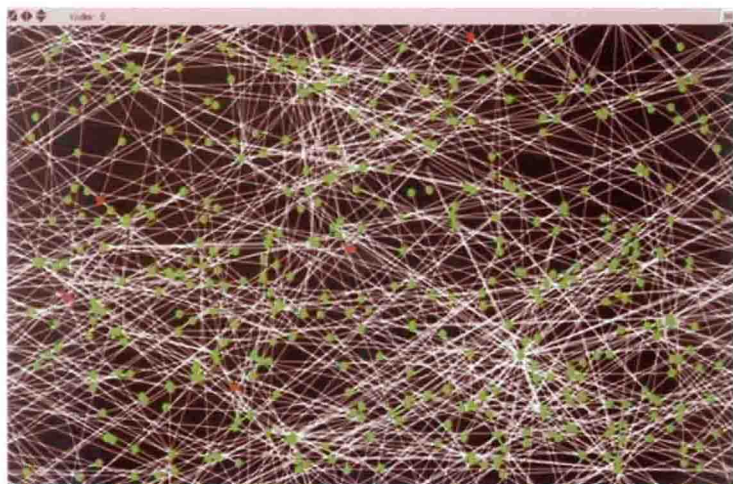


图 9-6 病毒传播尚未开始时 Netlogo 仿真界面（红色为感染节点）

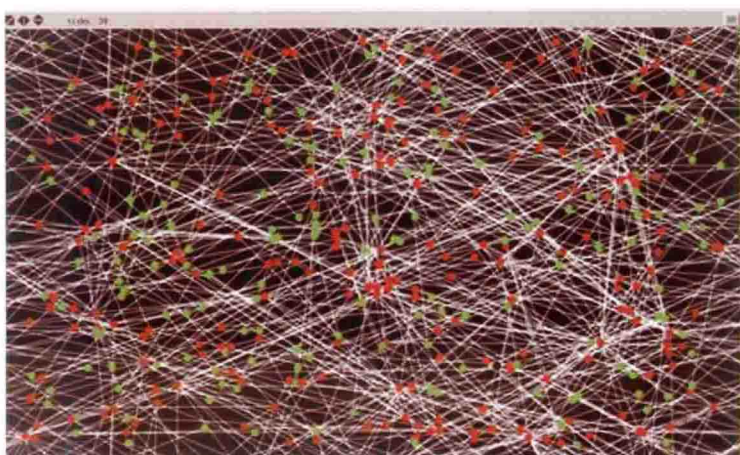


图 9-7 病毒传播一定时间后 Netlogo 仿真界面（红色为感染节点）

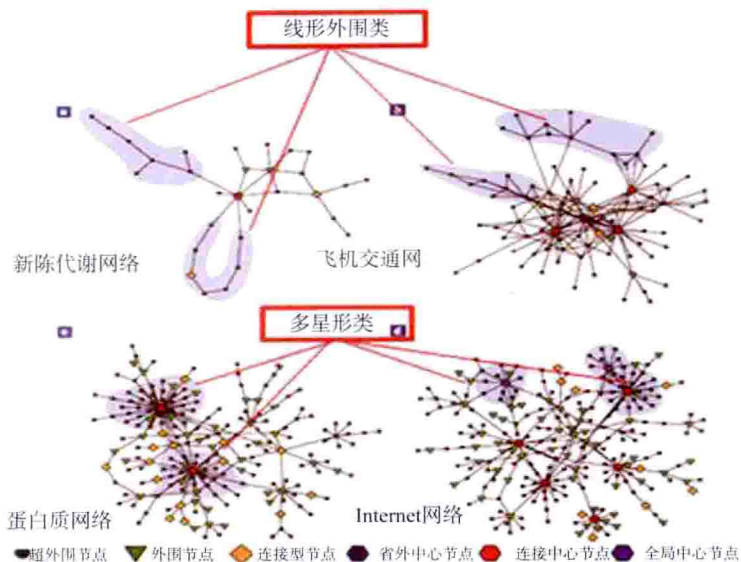


图 14-2 不同网络类型中模块的角色到角色的连接特征

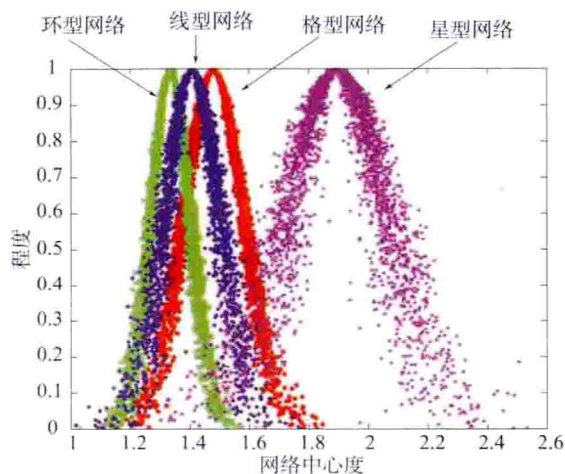
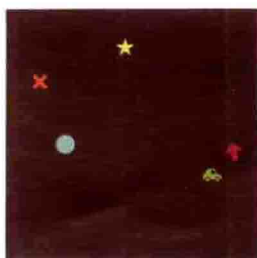
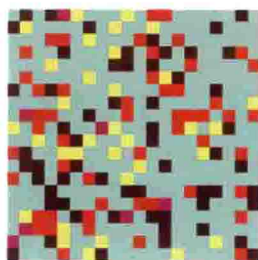


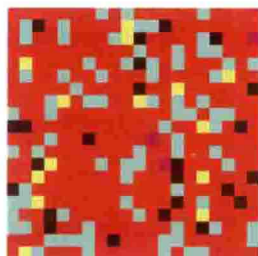
图 14-4 4 种典型模式网络中心度云模型



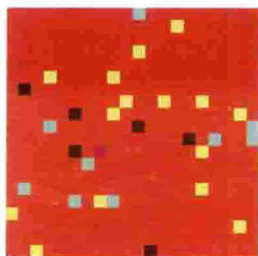
(a) $t=0$



(b) $t < 2000$



(c) $2000 \leq t < 6000$



(d) $t \geq 6000$

图 15-2 群体协作词条编辑不同时刻仿真场景运行状态

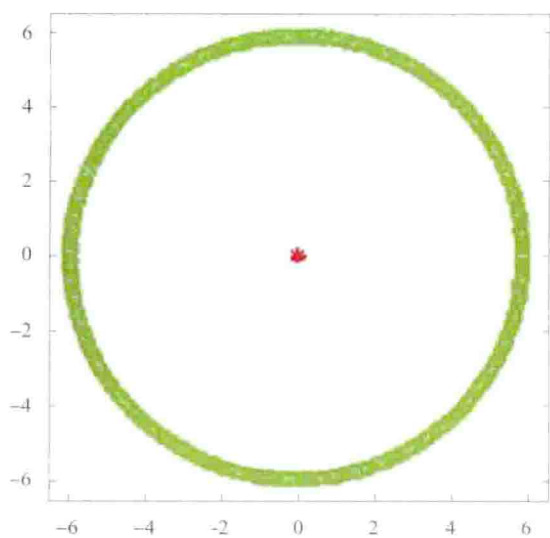


图 15-5 初始客体、主体位置场景

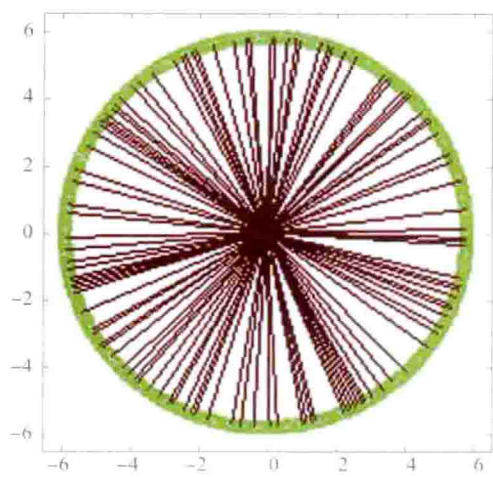


图 15-6 主体与客体交互场景 ($G = V, E$) 度分布

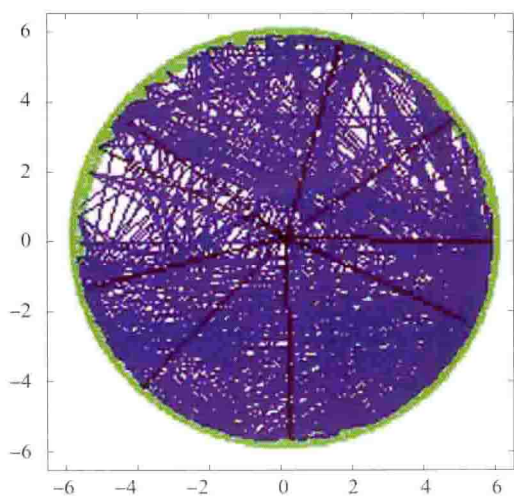


图 15-7 主体与客体、主体之间交互场景

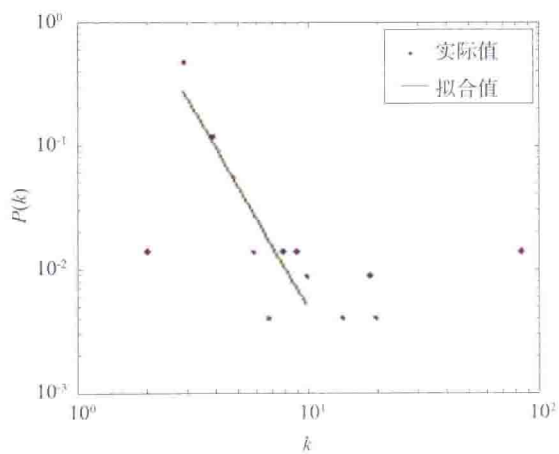


图 15-8 主体间交互网络 ($G = V, E$) 度分布

目 录

第 1 篇 复杂信息网络性能设计基础

第 1 章 复杂信息网络	3
1.1 复杂网络概述	4
1.1.1 复杂网络概念	4
1.1.2 复杂网络研究现状	6
1.1.3 典型复杂网络模型	9
1.2 复杂性科学概述	14
1.2.1 复杂性科学概念	14
1.2.2 复杂性科学研究现状	15
1.3 复杂网络演化概述	18
1.3.1 复杂网络演化概念	18
1.3.2 复杂网络演化研究现状	18
1.4 复杂网络优化概述	23
1.4.1 复杂网络优化概念	23
1.4.2 复杂网络优化研究现状	23
1.5 复杂信息网络弹性概述	26
1.5.1 弹性研究现状	26
1.5.2 复杂信息网络弹性概念	27
1.6 网络群体智能概述	30
1.6.1 群体智能研究现状	30
1.6.2 网络群体智能概念	36

第2章 复杂网络性能测度	39
2.1 基本结构特征测度	40
2.1.1 常用测度	41
2.1.2 加权网络测度	45
2.2 局域性测度——拓扑势	49
2.2.1 拓扑势概述	49
2.2.2 基于拓扑势分布的网络结构特征分析方法	53
2.2.3 典型网络分析	55
2.2.4 实际网络分析	62
2.3 不确定性测度——云模型	66
2.3.1 云模型概述	66
2.3.2 基于云模型和拓扑势的网络结构差异性表示	72
2.4 中心性测度	78
2.4.1 度数中心性	78
2.4.2 介数中心性	79
2.4.3 接近度中心性	81
2.4.4 局域中心性度量——拓扑势中心性	83
2.5 弹性测度	83
2.5.1 与信息网络弹性相关的测度	83
2.5.2 衡量信息网络弹性的测度	86
2.6 基于工程因素的信息网络测度	95
2.6.1 基于工程因素的信息网络特征参数	95
2.6.2 典型模型生成网络与实测网络特征参数比较	98
2.7 大规模网络参数的计算	119
2.7.1 大型网络介数中心性与平均最短路径长度的整合 近似算法	119
2.7.2 基于局域网的并行计算平台	135