




复杂网络分析与应用

赵正旭 郭 阳 王 威 著
钟 谦 彭育贵 赵卫华

 科学出版社

复杂网络分析与应用

赵正旭 郭 阳 王 威 著
钟 谦 彭育贵 赵卫华

科学出版社

北京

内 容 简 介

复杂网络是指具有高度复杂性的网络系统,其具有很深的物理学和数学理论基础。本书没有过多地引入相关的物理学理论解释和数学推导,而是通俗和系统地介绍复杂网络的基本概念、分析方法和应用领域。本书的重点是帮助读者了解复杂网络的分析方法,从而利用计算机工具来解决实际工程中的复杂网络技术问题。

本书适合作为工程技术类研究生和高年级本科生学习复杂网络技术及其应用的教材,也可供自然科学、工程技术科学和社会科学领域的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂网络分析与应用/赵正旭等著. —北京:科学出版社, 2018.11
ISBN 978-7-03-057570-8

I. ①复… II. ①赵… III. ①计算机网络-网络分析-研究
IV. ①TP393.021

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 112508 号

责任编辑:赵丽欣 张星 常晓敏 / 责任校对:赵丽杰
责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 11 月第一次印刷 印张: 7 1/4 插页: 2

字数: 155 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈中科〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62134021

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

复杂网络 (complex networks) 具有自组织、自相似、容错性等特点。随着数据科学和信息工程等新兴技术的兴起和发展, 复杂网络理论分析与应用研究引起了诸多领域的广泛关注, 并迅速形成了一门贯穿计算机科学与技术、控制理论与工程、生物科学、医学、材料科学、天文科学、社会科学、管理科学等领域的交叉学科, 并且极大地推动了这些相关学科的理论研究、方法设计、系统架构、应用推广等多个方面的发展与深化。特别是在网络信息技术背景下的大数据时代, 复杂网络的研究和发展已经超出了物理学和数学的范畴, 各种复杂网络的分析和应用已经为诸多学科提出了新的具有挑战性的难题, 如复杂网络基本理论、复杂网络在实际系统中的应用、复杂网络算法、信息组织与挖掘和预测、复杂网络的信息动力学、复杂网络的结构和演化等问题。为了给复杂网络相关学科和相关应用领域感兴趣的研究人员和工程技术人员提供具有参考价值的研究方向、分析方法、应用案例, 本书系统地介绍了复杂网络的基本概念、分析方法和应用领域, 其重点在于帮助读者了解复杂网络的分析方法, 提高利用复杂网络来解决实际工程和技术问题的能力。为此, 本书没有过多地引入相关的物理学理论解释和数学推导, 而是更加注重对复杂网络的组织、结构及数据模型的分析。

本书的主要内容如下。

第 1 章主要介绍信息数据长期保存研究现状, 以及复杂网络和本体的研究现状。

第 2 章介绍复杂网络的基本概念、典型特征和网络模型等, 先讲解小世界效应、度分布和无标度性等特征, 然后详述包括 ER 模型、WS 模型、BA 模型及权重网络模型在内的 4 种典型网络模型, 并对现实世界中的复杂网络进行介绍。

第 3 章针对凭借网页之间形成的链接结构构成的超大规模的复杂网络, 通过结点度、平均路径长度及集群系数等相关指标的计算对比, 得出万维网链接结构网络符合幂律分布, 属于无标度网络, 同时具有小世界效应的结论。这表明万维网上的海量信息资源是由少量的以信息集散结点为核心的链接形式构成的, 包含相似主题的信息资源组成若干小集群。

第 4 章采用复杂网络的方法来研究软件源程序中的函数调用关系。针对大型开源太空仿真软件源程序中的函数调用关系图进行了复杂网络的实例验证, 发现其表现出小世界及无标度特性。

第 5 章通过对已收集到的软件的数据格式进行分析建模, 得到初始的 WS 小世界网络模型。根据现实中存在的影响数据格式转换关系的部分因素, 分别构建了软件生命周期模型、信息数据生命周期模型、数据格式生命周期模型和数据失真转换模型, 最终得出上述模型属于小世界网络的结论。

第 6 章针对工程信息具有形式复杂和内容分散的特性, 以及结构的关联性和数据的兼容性等特点, 通过对工程信息进行概念体系的划分, 定义了类、属性和实例之间的关

系。根据本体的构建语言、描述规则、构建方法及领域本体的构建理念，用 Protégé 构建了工程信息本体，局部实现了领域知识的共享和重用，为解决信息移存、转换的时间和效率问题提供了可靠的科学依据。

本书从万维网的链接结构、软件系统函数调用关系及其结构、数据格式转换关系模型、工程信息本体论分析 4 个方面详细介绍了实际工程和技术应用中典型复杂网络的分析方法和应用实例，为广大读者提供了一个全面、系统、详尽、通俗的学习读物和参考工具。书的结尾向读者提供了主要参考文献，以便于对复杂网络物理学和数学感兴趣的读者作进一步的探究。我们在撰写本书的过程中，对广大的复杂网络理论研究者及相关物理学和数学科学前辈深感敬佩。衷心希望读者为复杂网络的研究、发展、应用和普及贡献力量。

在本书临近付印之际，向国家自然科学基金项目“工程信息中小世界效应研究”（项目编号：60873208）、河北省首批百人计划项目（项目编号：410003）、河北省高等学校高层次人才科学研究项目（项目编号：GCC2014010）、河北省国防科技工业局军民融合产业专项“河北省国家重大国防可视化系列系统及软件产品的研发与实际推广应用”（冀财预复[2016]300号）、石家庄铁道大学与钱学森空间技术实验室联合实验室建设项目（项目编号：Z67802）的资助和支持致以诚挚的谢意。

特别感谢北京航天飞行控制中心的领导和专家及同行过去十几年中在载人航天和深空探测实战工程任务中所给予的合作和关怀，特别是在复杂网络在航天工程信息化建设的应用及相关科研合作过程中所给予的支持和帮助。另外，还要感谢石家庄铁道大学复杂网络与可视化研究所的所有研究生和北斗卫星导航科技邢台有限公司石家庄铁道大学可视化技术研究院的全体员工。自 2009 年以来，他们怀着对复杂网络及其应用技术和实践技能的渴求，积极参与了研究所的各项科研和实践活动，参加并见证了复杂网络在研究所承担的十几次国家载人航天工程、探月工程、深空探测工程的三维可视化任务中的应用，其中包括 2009 年 10 月至 2010 年 8 月火星探测可视化、2010 年 9 月至 11 月嫦娥二号绕月探测飞行控制指挥任务、2011 年 6 月 9 日嫦娥二号驶向拉格朗日 L2 点的可视化飞行控制指挥任务、2011 年 9 月 29 日天宫一号的发射飞行控制指挥任务、2011 年 11 月 3 日天宫一号和神舟八号的首次交会对接指挥任务、2011 年 11 月 14 日至 15 日天宫一号和神舟八号的分离和第二次交会对接指挥任务、2011 年 11 月 16 日至 17 日神舟八号飞船返回指挥任务、2012 年 6 月 16 日至 29 日神舟九号载人航天可视化飞行控制与指挥任务、2012 年 12 月 13 日至 16 日嫦娥二号对 4179 小行星的探测过程的实时可视化、2013 年 6 月 11 日神舟十号载人航天飞船发射可视化飞行控制与指挥任务、2013 年 6 月 13 日天宫一号和神舟十号飞船的自动交会对接可视化飞行控制与指挥任务、2013 年 6 月 23 日天宫一号和神舟十号飞船的手动交会对接可视化飞行控制与指挥任务、2013 年 6 月 24 日神舟十号飞船对天宫一号的绕飞可视化飞行控制与指挥任务、2013 年 6 月 26 日神舟十号飞船返回过程的可视化飞行控制与指挥任务、2013 年 12 月 2 日至 15 日嫦娥三号发射-绕月-落月着陆互拍可视化飞行控制指挥任务、2013 年 12 月 15 日以后嫦娥三号和玉兔月面巡视遥操作信息服务可视化控制指挥任务、2017 年 4 月 20 日至 9 月 22 日天舟一号货运飞船发射与飞行任务可视化控制指挥任务。正是这些实战工程使广大

师生深刻体会和清醒地认识到复杂网络作为一门交叉门类技术在信息时代和重大工程中的发展需求。同时也使他们积累了相关学科领域的宝贵实战经验。没有这些工程的实战经验,也就没有本书的真正意义和实际价值。在本书撰写之前,刘贾贾、龙瑞、王中义对本书的内容作了初步的调研和试验,并对相关内容提出了许多有价值的观点和有用的素材。在校稿过程中,白英杰、申跃杰、左宗成和石家庄铁道大学复杂网络与可视化研究所的全体师生对字里行间中的数百处勘误付出了辛勤的劳动,北斗卫星导航科技邢台有限公司石家庄铁道大学可视化技术研究院的领导和专家对本书的终稿内容和出版准备工作提出了宝贵的意见。在此对他们的工作一同表示真挚的感谢。

1.2.2	六度理论在现实中的应用	3
1.2.3	六度理论在数学界的应用	4
1.2.4	六度理论在文学界的应用	4
1.2.5	六度理论在人工社会系统中的应用	4
1.2.6	讨论北京大学的小世界模型	4
1.3	本体的研究现状	5
第2章	复杂网络概述	7
2.1	复杂网络的基本概念	7
2.1.1	复杂网络的典型特征	8
2.1.2	小世界效应	8
2.1.3	无标度性	9
2.1.4	网络聚类	9
2.2	几种典型的网络模型	10
2.2.1	ER模型	10
2.2.2	WS模型	12
2.2.3	BA模型	13
2.2.4	双链网络模型	14
2.3	现实中的复杂网络	15
2.3.1	社交网络	15
2.3.2	技术网络	16
2.3.3	生物网络	17
2.3.4	网络小图	17
第3章	万维网及其链接网络聚类分析	19
3.1	万维网概述	19
3.2	网络聚类分析	21
3.2.1	聚类分析的基本原理	22

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 信息数据长期保存研究现状	1
1.2 复杂网络的研究现状	2
1.2.1 六度理论在维基百科的应用	3
1.2.2 六度理论在 MSN 的应用	3
1.2.3 六度理论在数学界的应用	4
1.2.4 六度理论在演艺界的应用	4
1.2.5 六度理论在人立方关系搜索的应用	4
1.2.6 哥伦比亚大学的小世界项目	4
1.3 本体的研究现状	5
第 2 章 复杂网络概述	7
2.1 复杂网络的基本概念	7
2.2 复杂网络的典型特征	8
2.2.1 小世界效应	8
2.2.2 度分布	9
2.2.3 无标度性	9
2.2.4 群落结构	9
2.3 几种典型的网络模型	10
2.3.1 ER 模型	10
2.3.2 WS 模型	12
2.3.3 BA 模型	13
2.3.4 权重网络模型	14
2.4 现实中的复杂网络	15
2.4.1 信息网络	15
2.4.2 技术网络	16
2.4.3 生物网络	17
2.5 本章小结	17
第 3 章 万维网及其链接结构复杂性分析	19
3.1 万维网概述	19
3.2 网络链接分析	21
3.2.1 数据样本的选择	22

3.2.2	网页超链接的提取	22
3.2.3	网络分析工具 Pajek	24
3.3	数据集的选取及预处理	25
3.3.1	研究假设	26
3.3.2	数据的预处理	26
3.4	网络相关指标的计算	27
3.4.1	结点度	27
3.4.2	平均路径长度	28
3.4.3	集群系数	29
3.5	网络图的绘制	30
3.5.1	ER 随机网络图的绘制	31
3.5.2	BA 无标度网络图的绘制	31
3.6	万维网的小世界效应	33
3.6.1	相关指标的计算	33
3.6.2	两结点间的最短路径	34
3.6.3	度分布	35
3.7	本章小结	37
第 4 章	软件系统函数调用关系图及其结构复杂性分析	39
4.1	函数调用关系图概述	39
4.2	函数调用关系图构造算法	40
4.3	数据集的选取及预处理	41
4.3.1	研究假设	41
4.3.2	数据的预处理	42
4.4	源程序中函数调用关系图的绘制	42
4.5	函数调用关系图相关指标的计算	43
4.5.1	函数调用关系图的结点度	43
4.5.2	函数调用关系图的结点度分布	43
4.5.3	平均路径长度和直径	44
4.5.4	函数调用关系图的集群系数	44
4.6	ER 随机网络图和 BA 无标度网络图的对比	44
4.6.1	ER 随机网络图和 BA 无标度网络图的绘制	44
4.6.2	相关指标的计算及对比	45
4.7	本章小结	45
第 5 章	数据格式转换关系模型研究	47
5.1	现实数据格式转换关系研究	47
5.2	构建小世界网络模型的方法	49

5.2.1	WS 小世界网络模型 MATLAB 程序	49
5.2.2	NW 小世界网络模型构建过程中的加边程序	51
5.2.3	WS 小世界网络模型和 NW 小世界网络模型比较	51
5.2.4	构建小世界网络模型	54
5.3	属性模型构建与分析	54
5.3.1	软件生命周期模型	55
5.3.2	信息数据生命周期模型	57
5.3.3	数据格式生命周期模型	59
5.3.4	数据失真转换模型	61
5.4	属性模型对 WS 小世界网络模型的影响	62
5.5	最佳小世界网络模型构建过程	63
5.5.1	类型定义	63
5.5.2	WS 小世界网络模型和 NW 小世界网络模型的构建 Z 描述	63
5.5.3	属性模型的构建	66
5.5.4	网络模型的加权	67
5.5.5	网络模型的叠加	68
5.6	本章小结	70
第 6 章	工程信息本体的构建及复杂性分析	71
6.1	工程信息本体的理论分析	71
6.1.1	本体和工程信息本体的概念	71
6.1.2	工程信息本体的概念分类	73
6.1.3	工程信息本体的概念体系	76
6.1.4	工程信息本体的语义关系及其表达	77
6.2	工程信息本体的构建	79
6.2.1	工程信息本体的构建工具	79
6.2.2	工程信息本体的描述语言	79
6.2.3	工程信息本体的构建规则	82
6.2.4	工程信息本体的构建方法	82
6.3	工程信息本体的构建过程——以软件本体的构建为例	83
6.4	工程信息的采集和规范处理	86
6.4.1	工程信息采集系统	86
6.4.2	工程信息的规范处理	88
6.5	基于本体的工程信息保存和查询	89
6.5.1	信息输入	89
6.5.2	信息更新	89
6.5.3	信息查询	89
6.5.4	数据格式转换的路径检索	90

6.6	工程信息的复杂性分析	92
6.6.1	工程信息数据格式转换网络的描述	92
6.6.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	93
6.6.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	97
6.6.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	100
6.7	本章小结	101
	参考文献	103
1.1	绪论	1
1.2	工程信息数据格式转换网络	2
1.3	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	3
1.4	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	4
1.5	用小世界网络特性规范工程信息管理	5
1.6	本章小结	6
2.1	工程信息数据格式转换网络	7
2.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	8
2.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	9
2.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	10
2.5	本章小结	11
3.1	工程信息数据格式转换网络	12
3.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	13
3.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	14
3.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	15
3.5	本章小结	16
4.1	工程信息数据格式转换网络	17
4.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	18
4.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	19
4.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	20
4.5	本章小结	21
5.1	工程信息数据格式转换网络	22
5.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	23
5.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	24
5.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	25
5.5	本章小结	26
6.1	工程信息数据格式转换网络	27
6.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	28
6.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	29
6.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	30
6.5	本章小结	31
7.1	工程信息数据格式转换网络	32
7.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	33
7.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	34
7.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	35
7.5	本章小结	36
8.1	工程信息数据格式转换网络	37
8.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	38
8.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	39
8.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	40
8.5	本章小结	41
9.1	工程信息数据格式转换网络	42
9.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	43
9.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	44
9.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	45
9.5	本章小结	46
10.1	工程信息数据格式转换网络	47
10.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	48
10.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	49
10.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	50
10.5	本章小结	51
11.1	工程信息数据格式转换网络	52
11.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	53
11.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	54
11.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	55
11.5	本章小结	56
12.1	工程信息数据格式转换网络	57
12.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	58
12.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	59
12.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	60
12.5	本章小结	61
13.1	工程信息数据格式转换网络	62
13.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	63
13.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	64
13.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	65
13.5	本章小结	66
14.1	工程信息数据格式转换网络	67
14.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	68
14.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	69
14.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	70
14.5	本章小结	71
15.1	工程信息数据格式转换网络	72
15.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	73
15.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	74
15.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	75
15.5	本章小结	76
16.1	工程信息数据格式转换网络	77
16.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	78
16.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	79
16.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	80
16.5	本章小结	81
17.1	工程信息数据格式转换网络	82
17.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	83
17.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	84
17.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	85
17.5	本章小结	86
18.1	工程信息数据格式转换网络	87
18.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	88
18.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	89
18.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	90
18.5	本章小结	91
19.1	工程信息数据格式转换网络	92
19.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	93
19.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	94
19.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	95
19.5	本章小结	96
20.1	工程信息数据格式转换网络	97
20.2	工程信息数据格式转换网络的小世界网络特性	98
20.3	工程信息数据格式转换网络的结点度分布	99
20.4	用小世界网络特性规范工程信息管理	100
20.5	本章小结	101

(TP-7978. 0101)



复杂网络分析与应用

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-057570-8



9 787030 575708 >

定价：59.00元