

网络分析视角下的 决策模型与决策方法研究

Decision Models and Decision Methods from
the Perspective of Network Analysis

李永立◎著

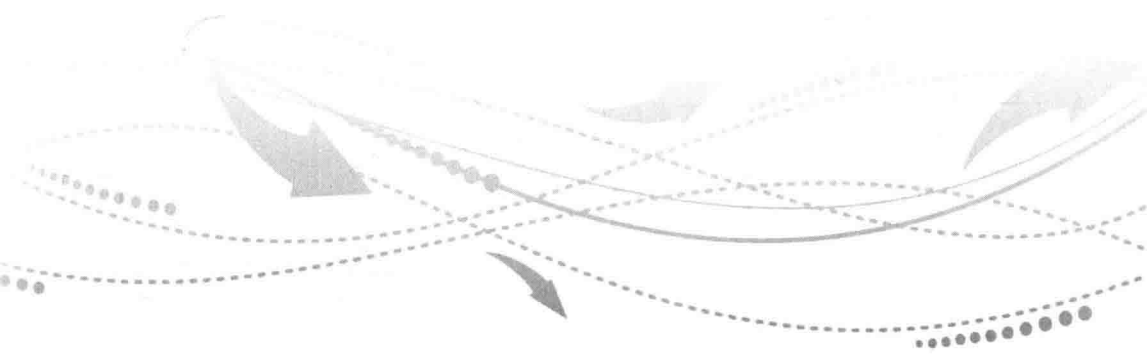


经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

网络分析视角下的 决策模型与决策方法研究

Decision Models and Decision Methods from
the Perspective of Network Analysis

李永立◎著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

网络分析视角下的决策模型与决策方法研究/李永立著. —北京: 经济管理出版社, 2017. 7

ISBN 978-7-5096-5146-9

I. ①网… II. ①李… III. ①互联网络—应用—决策模型—研究 ②互联网络—应用决策方法—研究 IV. ①C934-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 126715 号

组稿编辑: 李桂荣

责任编辑: 梁植睿

责任印制: 黄章平

责任校对: 董杉珊

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京晨旭印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 710mm×1000mm /16

印 张: 11

字 数: 191 千字

版 次: 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5096-5146-9

定 价: 48.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

前 言

决策理论与方法是管理科学与工程学科重要的和关键的研究领域，为推动管理科学学科的整体发展提供有力支撑，是丰富管理实践并扩展解决实际问题的有力工具。网络分析有着宽广的适用范围，不仅是当前多个学科领域研究的热点和前沿问题之一，同时还是一个联系着多领域、多学科的交叉研究点，为多学科的研究提供了新的视角和方法论支持，有着所谓“他山之石”的潜在作用。本书旨在发挥学科交叉的创造性力量，立足于网络分析的视角，利用网络分析的创新思想和技术手段，提出新的决策模型并发展新的决策方法。本书可以作为管理科学与工程学科的科研工作者和研究生的科研参考书，也可以作为管理类本科生和研究生方法导论课的讨论教材。

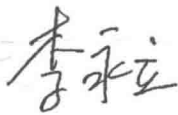
本书的主要内容包含从网络分析的研究中提炼和概括的三种研究思想，并在这些思想的基础上，发展了六个新的决策模型或决策方法，是对笔者近年来科研工作的概括和总结。就提炼和概括的三种思想而言，本书立足于网络中“点”的要素，提炼了“网络整体分析”的思想，该思想立足于网络整体分析的优势，从网络整体的角度分析微观“节点”的特征，提供了建立和发展决策方法的一种思维模式；立足于网络中“边”的要素，从“联系”的视角概括了“建立网络的思想”，该思想指的是把握被分析对象之间的联系，抓住“边”形成的原因，将问题建立成网络的形式，将既有的决策问题化归为网络分析可解决的问题，扩展决策问题解决的思路和方法；立足于网络中“结构”的要素，提出了“寻找中间状态”的思想，该思想指的是在既有研究的基础上，放松其过于苛刻的假设，从网络“结构”的角度，寻找其没有讨论的或更加符合实际的“中间状态”，以此为切入点发展研究方法或扩充既有的研究结论，使之适用于更加广泛的决策应用问题。

为了清晰地表述以上提炼的研究思想如何具体指导决策模型的建立和决策

方法的提出过程，本书在第一章介绍了整本书所讨论问题的学术背景，并展示了本书的结构。在随后的章节里，每两章阐述一个提炼的思想并列出其发展决策模型或决策方法的具体过程与研究案例。具体地，第二章和第三章阐释了“基于整体分析的思想”，并论述了新的节点重要性评价方法和节点相似性测度方法，考虑到节点的不同含义，将针对具体的决策或评价问题给出管理应用与管理启示；第四章和第五章阐释了“建立网络的思想”，将一个看似没有网络结构存在的决策问题化归为一个可以利用网络分析处理的问题，分别解决了“在线商品的综合评价问题”和“短信种子用户的挖掘问题”，丰富了相关领域的管理分析工具；第六章和第七章实践了“寻找中间状态的思想”，分别讨论了“网络结构、信息认知与市场参与者福利水平”和“网络演化规律、控制与信息传播”这两个问题，丰富了相关领域的管理洞见，得出了一些具有规律性的结论。

由此，本书研究的理论意义在于将热点和前沿的网络分析方法与历久弥新的决策理论和方法相结合，有助于在决策的理论上取得实质的进展，网络分析包含的结构分析的观点、联系的观点、整体分析的观点等都将对既有的决策理论产生实质的变革，会广泛和深刻地改变既有决策理论的分析方法和分析体系。其实际意义在于网络无处不在，本书提炼的思想和发展的方法可以适用于一大类决策方法的提出和一大类决策问题的解决，并为管理科学与工程学科提供方法论支持。

本书的研究内容是笔者博士阶段研究成果的总结，同时也部分体现了笔者所主持的国家自然科学基金青年项目“社交网络形成与演化规律的定量分析模型及其应用研究”(71501034)和所主持的中国博士后基金一等资助项目“基于策略网络形成理论的社会网络演化规律研究”(2016M590230)的部分研究成果。该专著的出版受到以上两项基金的资助，在此特别鸣谢！特别地，在本专著成书的过程中，得到了笔者的研究生曲昱晓的帮助，她校读全书的全部章节，修正了初稿中的一些错误。与此同时，本书的出版离不开经济管理出版社李桂荣编辑的帮助，在此一并表示感谢！书中存在的所有错误和瑕疵由笔者负责。



东北大学工商管理学院副教授

2017年4月

目 录

第一章 导 论 / 001

第一节 研究背景及研究的目的和意义 / 001

一、研究背景 / 001

二、研究目的 / 002

三、研究意义 / 004

第二节 国内外相关研究的发展概况及评述 / 005

一、与网络中“点”相关的决策方法的发展概况及评述 / 005

二、与网络中“边”相关的决策方法的发展概况及评述 / 007

三、与网络中“结构”相关的决策方法的发展概况及评述 / 007

第三节 本书的主要研究内容 / 009

一、整体分析的思想 / 010

二、建立网络的思想 / 011

三、寻找中间状态的思想 / 011

第二章 网络点分析视角下的多参数评价模型 / 013

第一节 引言 / 013

第二节 多参数评价模型的提出 / 015

一、模型构建 / 015

二、模型求解 / 017

三、模型算例及对比分析 / 019

第三节 挖掘合意的合作者：评价模型的扩展应用 / 021

一、既有节点找寻合作者的模型 / 021

二、新到节点找寻合作者的模型 / 024

三、验证估算方法准确性的一个算例 / 026

第四节 两类参数的功能验证 / 028

一、参数 α 的含义及功能：先验信息的意义 / 028

二、参数 β 的含义及功能：调控解的稳定性 / 029

第五节 方法的综合应用 / 031

第六节 研究结论及进一步的研究方向 / 036

第七节 本章小结 / 037

第三章 网络点分析视角下的相似性评价模型 / 038

第一节 引言 / 038

第二节 评价节点相似性的方法简述 / 039

第三节 相似性评价模型及其算法 / 042

第四节 算例 / 047

第五节 基于仿真分析的模型验证 / 049

一、给定社团结构的仿真验证 / 050

二、给定节点属性的仿真验证 / 051

第六节 模型应用 / 053

第七节 研究结论及进一步的研究方向 / 055

第八节 本章小结 / 055

第四章 网络边分析视角下的多属性评价模型 / 057

第一节 引言 / 057

第二节 研究背景 / 059

一、层次分析方法 (AHP) 简介 / 059

二、维度缩减技术 (DRTs) 简介 / 060

第三节 评价模型的建立 / 062

一、问题提出与问题描述 / 062

二、被评分物品间社会网络的建立 / 062

三、模型的数学表达 / 064

四、模型的相关性质 / 067

五、对模型的评述及其方法论意义 / 069

第四节 模型的求解 / 070

一、基于最优化原理的求解思想 / 070	
二、算法步骤及其复杂度分析 / 071	
第五节 模型的验证与应用 / 073	
一、基于模拟数据的实证分析 / 073	
二、在真实数据中的应用 / 075	
第六节 研究结论及进一步的研究方向 / 078	
第七节 本章小结 / 079	
 第五章 网络边分析视角下的挖掘短信种子用户的决策模型 / 080	
第一节 引言 / 080	
第二节 树形网络模型的建立 / 082	
一、种子短信的特征及树形网络模型 / 083	
二、判别短信种子用户的评价模型及其性质 / 084	
三、应用决策模型的一个简单算例 / 085	
第三节 建立树形网络模型的相关算法 / 087	
一、基于密度聚类算法识别并度量“群发”特征 / 087	
二、基于递归搜索算法识别并度量“转发”特征 / 088	
三、算法正确性的论证 / 091	
四、建立的树形网络模型的特征 / 091	
第四节 实证分析 / 092	
一、数据来源及样本 / 093	
二、实证步骤 / 093	
三、实证结果与分析 / 094	
第五节 研究结论及进一步的研究方向 / 095	
第六节 本章小结 / 098	
 第六章 从网络结构分析视角探索决策参与人福利获得规律的决策理论模型 / 099	
第一节 引言 / 099	
第二节 决策理论模型的构建 / 102	
一、消费者的效用函数 / 103	
二、完全垄断者的不同认知水平 / 104	
三、两阶段网络博弈 / 105	

第三节 模型求解 / 106

第四节 模型的相关结论 / 108

一、针对网络结构的分析 / 109

二、完全垄断者的福利分析 / 111

三、全体消费者的福利分析 / 117

第五节 研究结论及进一步的研究方向 / 119

第六节 本章小结 / 120

第七章 从网络结构分析视角探索网络演化规律的决策理论模型 / 121

第一节 引言 / 121

第二节 相关模型概述 / 124

一、指数随机图模型 / 124

二、策略网络形成模型 / 126

第三节 基于策略网络形成模型的决策理论模型框架 / 128

一、效用函数 / 128

二、博弈设计 / 131

三、估计策略 / 134

四、模型验证与模型应用 / 138

第四节 基于仿真分析的模型验证 / 139

第五节 应用实例 / 141

第六节 研究结论及进一步的研究方向 / 144

第七节 本章小结 / 145

结束语 / 146

参考文献 / 149

第一节 研究背景及研究的目的和意义

一、研究背景

决策理论 (Decision Theory) 是把第二次世界大战以后发展起来的系统理论、运筹学、计算机科学等综合运用于管理决策问题, 进而形成的一门有关决策过程、准则、类型及方法的较完整的理论体系。^[1] 在该理论体系的框架下, 各国学者对于决策方法的研究方兴未艾, 提出了许多有着重要实践价值和指导意义的决策方法, 比如: 德尔菲法^[2]、层次分析法^[3]、贝叶斯决策方法^[4]等; 特别是在管理科学与工程领域的研究中, 决策方法的研究更是获得了学术界普遍和持久的关注, 其广泛地包含着评价方法、推荐方法、决策人的行为研究等方面, 为该领域的研究提供技术和方法论的支持, 成为一个基础、重要和关键的研究问题。而且一定程度上说, 决策方法的不断发展事实上扩大了人类能够处理管理问题的范围, 丰富了管理实践, 扩展了解决问题的工具, 并成为推动管理科学发展的有力支撑, 是重要和关键的研究领域。

网络分析 (Network Analysis) 是近十年研究的一个热点问题, 在维基百科上, 人们普遍认为“网络分析考察的是网络节点之间的结构与关系问题, 这些节点可以是人、社会团体、网页和商品等”^[5]。关于网络分析的研究, 从大的

视角来说,其抓住了“联系是普遍的”和“结构决定功能”这两个普遍的哲学命题所体现的思想。因此,在科学界的旗舰杂志 *Science* 和 *Nature* 上,近五年应用网络分析的论文数量呈明显的上升趋势。从小的视角来说,网络分析的技术被用于多个自然学科和社会学科:在物理学和系统科学的研究中,网络分析被赋予了“复杂网络分析”的名字;在社会学的研究中,其被赋予了“社会网络分析”的名称;在经济学中,其被称为“经济网络分析”等。在不同的学科中,其都强调了网络分析的某些方面,比如节点意义的不同会导致名称的差异。在社会学中,网络节点更多的是社会人或社会群体,而经济学中,网络节点则可能代表的是经济人、厂商等,不同学科有着研究对象的差别。但是,不同学科的研究也共享着很多共同的研究技术,比如对于网络结构和集团势力的分析,对于信息在网络上的传播研究,网络演化及网络熵的相关定义与分析技术等。因此,网络分析有着宽广的适用范围,不仅是当前多个学科领域研究的热点和前沿问题之一,同时还是一个联系着多领域、多学科的交叉研究点,为多学科的研究提供了新的视角和方法论支持,有着所谓“他山之石”的潜在功用。

交叉领域的研究是当代科学研究的一大趋势,很多科学发现都是这一趋势的产物,比如:在算法领域,将生物学的神经网络和遗传学理论用于发展算法研究,提出了神经网络方法^[6]和遗传算法^[7];在金融领域,将物理学的多尺度分析和小波分析用于金融市场的预测^[8];在市政工程领域,将物理学中的流体力学分析用于道路的规划和设计^[9];以及在管理评价领域,将经济学博弈论的方法用于数据包络分析的研究^[10]等。学科交叉往往有着惊人的创造性力量,这不仅是本书意图将网络分析与决策方法进行交叉研究的原始动机,也是本书研究所处的一个大的时代背景,即一个各学科融合、相互借鉴、取长补短和积极合作的时代。

二、研究目的

本书旨在利用网络分析的技术,提炼研究的核心思想和创新思维,发展既有的决策理论并提出新的决策方法,为更多的管理问题的分析提供有力的工具。具体地说,本书拟在以下三个方面做出新的工作:

(1) 利用网络整体分析的思想,提出评价网络中重要节点和相似节点的新方法,针对特定的问题背景,应用和发展此处提出的新决策方法。网络中重要和相似的节点往往是决策者关心的对象,比如挖掘出手机短信种子用户就解决

了通信公司关心的高端客户挖掘问题,找到了重要的合作者有助于迅速提高科研水平;再比如找到了相似节点,有助于分析类似节点的行为,节约研究的资源等。因此,针对特定问题的背景,通过网络整体分析的思想定义“重要性”和“相似性”的指标,提出针对性强和高效的评价节点重要性和相似性的方法有着重要的现实意义。本质上,节点重要性和相似性的评价问题是一个典型的决策问题,找到在特定指标的定义下,哪些节点具有较高的重要性或相似性得分的决策问题,进而决定点的取舍。因为这些点的排序依托于该点与其他点的关系,是在网络的大背景下进行的,所以隶属于立足于网络分析的决策方法的研究范畴,是立足于网络分析中“点”的角度进行的决策方法研究,也是本书研究的第一个方面。

(2) 从“联系”的视角建立相应的网络模型,进而利用网络分析的技术发展既有的多属性决策方法,使之提出更加合理的评价结果和更加准确的推荐结果,为决策者提供更好的决策参考。多属性决策方法是决策理论和方法的一个重要分支,是指在考虑多个属性的情况下,选择最优备选方案或进行方案排序的方法,^[9]该方法已被广泛应用于生产生活。比如,在电子商务中的网上购物行为就是一个典型的多属性决策问题,对于这个问题的研究有着直接的现实动机,可以提高人们购物的效率,帮助购物者选择满意的商品或服务,同时有利于提高厂商的收益;再比如,选择合适的项目和人员,进而达到决策者的满意等。这个领域既有的研究往往忽视了被评价对象(备选方案)间的联系,没有从网络的视角进行方法的建立,本书有望填补这一空白,利用“联系”思想,将多属性决策问题视为一个网络分析的问题,充分挖掘建立网络中“边”体现的连接和联系的作用,将被评价对象联系起来。该部分的研究是本书第二个方面,即立足于网络分析中“边”的角度进行的决策方法研究。

(3) 在既有研究的基础上,以“寻找中间状态”的思想为切入点,研究网络结构的形成、演化和其对网络功能的影响,弥补已有研究的不足,使之适用于更加广泛的决策应用问题。“结构决定功能”是在很大范围内被接受的一个哲学命题,尽管有些学者认为这种“结构决定论”的提法过于武断,但至少可以认为“结构对于功能是有影响的”。所以,研究网络结构的形成、演化和其与功能的关系问题对于认识系统,把握本质规律,提出合理建议和有效指导决策是有着理论和现实的双重意义的。该问题直接联系着决策者对网络的认知过程,其影响着决策者的行为,是对网络背景中决策个体的宏观分析。网络参与者对于网络结构的认知怎样影响各类参与主体的福利水平?网络结构形成和

演化的内在机制是什么，怎样刻画这些机制以期实现对网络发展变化的预测和控制？这些问题都是本书拟通过研究这一主题进行回答的。该部分的研究是全书的第三个方面，立足于既有学者的研究模型和研究结论，在其极端假设的情形下，“寻找中间状态”以期补充既有研究的不足。该部分较为宏观地立足于网络分析中“结构”的角度进行决策方法的研究。

本书将“网络分析视角下的决策模型与决策方法研究”这个主题按照网络包含的元素分为了三个小课题，其立足于“点”、“边”和“结构”的角度分别进行研究，并归纳总结发展和创新决策理论和方法的核心思想。

三、研究意义

决策理论与方法是管理科学与工程学科的重要研究方向。决策理论与方法的不断发展扩大了人类能够处理管理问题的范围，丰富了管理实践，扩展了解决问题的工具，并成为推动管理科学发展的有力支撑，是基础、重要和关键的研究领域。与此同时，社会网络分析有着宽广的适用范围，不仅是当前多个学科领域研究的热点和前沿问题之一，同时还是一个联系着多领域、多学科的交叉研究点，为多学科的研究提供了新的视角和方法论支持，有着所谓“他山之石”的潜在作用。而且，交叉领域的研究是当代科学研究的一大趋势，很多科学发现都是这一趋势的产物，其往往有着惊人的创造性力量。本书的选题旨在将网络分析与决策方法进行交叉研究，不仅是方法论和思维方式的交叉借鉴，同时还具有基础性与前沿性并存的特征。

研究的理论意义概括如下：将热点和前沿的社会网络分析方法与历久弥新的决策方法相结合，有助于在决策的理论上取得实质的进展，网络分析包含的结构分析的观点、联系的观点、整体分析的观点等都将对既有的决策理论产生实质的变革，会广泛和深刻地改变既有决策理论的分析方法和分析体系。

从实际意义角度说，网络无处不在，缺少对网络分析的决策将是孤立的和片面的，比如：小到一次简单的网上购物，每个消费者构成了相互影响的网络；大到整个国民经济的运行，各个经济部门有着千丝万缕的联系，同样构成网络。对于这些问题的分析，特别是进行决策的时候，需要新的决策方法和理论，因此，本书的实际意义是明确和广泛的，涉及方方面面的决策行为，既有微观层面的，也有宏观层面的。最为重要的是，针对实际问题，本书发展的决策方法是必要的，而既有的方法则是难以奏效的，这也是本书实际意义更本质的体现。

第二节 国内外相关研究的发展概况及评述

按照上文“研究目的”中介绍的“点”、“边”和“结构”的研究内容划分方法,本节的发展概述从这三个角度展开,关于各章中涉及的研究背景和方法的概述,可以在各章的引言和综述中找到更加详尽的内容,这里的概述从较为宏观的层面上展开。

一、与网络中“点”相关的决策方法的发展概况及评述

目前与网络中“点”相关的决策方法的文献主要集中在对节点重要性的评价领域,该研究起步较早,目前积累的成果较多。该方法较早地被社会学和物理学的学者所研究和应用,通过设计相应的算法,通过对节点属性的统计和计算,定量地反映节点的重要程度。比如:Bonacich等早在1972年提出了采用度指标来显示节点重要性的方法,认为节点的度越大,该节点的重要性越高;^[11]而后Freeman等在度指标的基础上,分析了这种指标可能带来的不足,先后提出了以介数^[12]、接近度^[13]和流介数^[14]为指标的评价方法,这三个方法都是从信息在网络中的流动考察节点的重要性,所不同的是介数关注于通过节点的最短路数、接近度考察节点到其他节点的难易程度,而流介数关注于通过节点的路径数;以上的方法是评价重要节点较为普遍的方法,而后还有特征向量法^[15],其由Borgatti于1995年提出,用于描述节点的长期影响力,其近期跟进的研究有Kane和Borgatti(2011)^[16]与Abbasia等(2012)^[17]等;除此以外,还有Poulin等提出的累积提名法^[18],以及Estrada等提出的根据节点所在的局部子图衡量节点重要性的方法,称为局部子图法^[19],以及近年来相关的跟进研究,如Estrada等(2012)^[20]和Wang等(2012)^[21];等等。以上的研究方法突出于对于节点属性的考察,与之相比,还有一种从网络功能变化角度考察节点重要性的方法,比如Corley和Sha依据最短路变化的指标考察了节点的重要性^[22],类似的研究在国外还有Matisziw等(2009)^[23]、Cappanera等(2011)^[24]和Walteros等(2012)^[25]。关于评价节点重要性方法的应用,比较著名的就是由Brin和Page于1998年提出的Pagerank算法^[26]和Kleinberg提出的HITS算法^[27],这些算法有效解决了重要网页的排序问题,以及近年来针对

以上算法的改进,比如 Jin 等提出了考虑内容因素的主题挖掘方法^[28]。在国内,关于评价重要节点的决策方法的研究仍是目前研究的一个热点问题。在以上各个主流方法的基础上,都有国内学者进一步研究和应用的文献记录。比如:李鹏翔在 2004 年系统地分析了节点删除法^[29],陈勇等提出了基于最小生成树指标判断节点重要性的节点删除法^[30];对于以上的特征向量方法,Li 等提出了一个改进——一个算法更加简单的近似特征向量法^[31];以及对于流介数方法提出的近似流介数方法^[32]等。特别值得一提的是,我国学者还提出了一些新的节点重要性的方法,这些方法提出的一个特点是选取评价的角度和制定的评价标准不同,导致了具有个性化的评价方式。比如:许进等提出的基于系统的核与核度理论的节点评价方法^[33],谭跃进等提出的节点收缩方法^[34],王延庆提出的过载函数法^[35],以及李世伟提出的权值降低法^[36]等,不一而足。

关于节点相似性的评价研究也有了一些文献的积累,较早的节点相似性的评价方法可以参见 Jaccard (1901)^[37]的研究,而后在其研究的基础上,Salton (1970)^[38]提出了余弦相似度的定义,Burt (1976)^[39]、Ravasz (2002)^[40]以及 Goldberg 和 Roth (2003)^[41]等提出了侧重点不同的节点相似评价方法,这些方法都可以视为对 Jaccard (1901)^[37]方法的发展。近年来,结合不同的应用背景,节点相似度的评价研究也成为了一个热门的领域,比如:Leicht 等 (2006)^[42]认为如果两个节点的邻居节点相似程度高,则这两个节点的相似程度也高,根据这一想法他们提出了从邻居节点相似性出发的节点相似性评价方法;Penner 等 (2008)^[43]从生物学的角度定义了蛋白质网络节点的相似性的度量方法;Thiel 和 Berthold (2010)^[44]在研究网络激活扩散机制的基础上,通过扩散原理给出了一个新的网络节点相似性评价方法;Symeonidis 等 (2010)^[45]将网络的连通机制纳入节点相似性的考察,提出了考虑网络连通特征的节点相似性评价方法;以及 Chen 等 (2012)^[46]在 Symeonidis 方法的基础上,增加了关系强度的定义,使得评价方法可以纳入网络权重的因素,扩展了方法的适用范围。

从以上文献中可以发现以下的一些特点:这一部分的研究呈现百花齐放的状态,一个直接的原因在于评定一个点是重要节点或者节点间相似的客观标准并没有统一,在每一种标准和每一个视角下都存在着合理性的因素,并能据此给出相应的方法,这一特点导致了这个方向研究的多元性。本书在与“点”相关的两章研究中不同于以上的方法,提出了基于“网络整体分析”的思想来度量点的重要性的和点的相似性的新方法,并在特定的应用背景下,与以上提及的

部分方法进行比较。

二、与网络中“边”相关的决策方法的发展概况及评述

目前与网络中“边”相关的决策方法并不多见,其主要集中在评价模型的建立和求解这一领域,核心是用网络流的理论来进行强调评价结果一致性的评价方法的构建。注意到强调网络中的“边”,其核心在于把握网络分析中“联系”这一重要的因素,其有助于处理一大类非线性规划的建模和求解问题。只要正确把握了“边”的因素,可以将大量的非线性规划问题划归为网络流的问题,比如 Hochbaum (2004)^[47]、Hochbaum (2006)^[48]以及 Ahuja 等 (2003)^[49]的研究。这些研究对于发展评价理论和方法是基础性的,是应用网络分析“边”的思想,建立非线性规划模型和网络流模型联系的重要范例。虽然网络流理论被国内的很多学者所研究,比如吴艳等 (2007)^[50]和鲁海燕 (2007)^[51]等。但是将非线性规划和网络流联系起来的相关研究并不多见,这方面的研究国外较为领先,同时还有大量的工作有待解决,这源自于问题的多样性和相应的规划模型的多样性。但是,在强调网络分析中“边”的因素的研究在其他领域已经被广泛应用,并且突出了强调“联系”的网络分析的优势,比如在用户行为相互影响方面的研究 (Vieira et al., 2010)^[52],信任的传递和网络传播 (James et al., 1991)^[53],以及在搜寻恐怖分子等方面的应用 (Sundararaghavan et al., 2010)^[54]。

注意到抓住网络中的“联系”或者说是建立“边”的因素,有助于建立网络的模型,将一个看似不属于网络分析可以研究的问题化归到这一领域,这是本章拟发展新决策方法过程中要重点阐述的思想。这一思想从化归的角度说,类似于以上将评价问题化归到网络流问题的研究,但是从应用的范围上说,本章提出的思想不仅是技术层面,也是一种思考方法,其将决策问题的解决赋予了网络分析的内涵,是对网络分析强调“联系”这一思维方式直接的应用。

三、与网络中“结构”相关的决策方法的发展概况及评述

目前,就网络中与“结构”相关的决策方法的文献主要集中在三个方面:一是关于网络结构的刻画方法,二是研究网络结构对其功能的决定和影响,三是关于网络结构演化原因和规律的认知研究。这三个方面的研究都对决策行为产生直接的影响,是研究网络决策问题的重要方面。

第一个方面的问题本书没有涉及,但是作为背景的概述,这里列举该领域的一些研究成果。例如, Costa 等 (2007)^[55] 提出通过网络的信息搜索能力来定义网络熵,提到了搜索信息熵、目标熵、信息路径熵的定义; Anand 和 Bianconi (2009)^[56] 提出通过网络拓扑结构的信息理论来衡量网络熵,进而定义了网络集成的香农熵; Li 等 (2008)^[57] 提出了一种能区别不同的随机网络结构的网络熵;蔡萌等 (2011)^[58] 发展了以上理论,提出了基于点和边的差异性的网络结构熵。虽然其不是本书的研究目标,但是这些定义将会对本书针对“点”的研究中重点论述的“网络整体分析”的思想提供一些网络整体方面度量的指标。

第二个方面的问题是本书第六章将要研究的重点内容。关于网络结构对于其功能影响的研究可以在诸如交通的、经济的、组织行为学等领域找到。比如在交通领域, Mishra 等 (2012)^[59] 与 Derrible 和 Kennedy (2011)^[60] 等的研究考虑了网络中大量的因素,特别是网络结构因素对于交通的影响;在经济学领域,有 Eagle 等 (2010)^[61] 和 Schweitzer (2009)^[62] 等的研究,但是由于经济的问题涉及方方面面,既有宏观的实证分析,又有微观的建模分析,因此这个领域的讨论还远没有完善,研究的空间还很广阔,比如经济网络的结构对于信息和收益影响的研究就有着丰富的研究内容 (Pin et al., 2013)^[63];在组织行为学领域的研究中,比如 Kauffman (1993)^[64] 以自组织理论为基础,讨论了“适应度景观”的概念,建立了一个讨论组织结构与组织绩效产出关系的数学模型,并进行了仿真分析;在 Kauffman 工作的基础上, Solow 等^[65-68] 发表了系列论文,在“适应度景观”概念的基础上,从不同的角度对团队结构和组织绩效进行讨论,注意到这里“团队结构”体现的就是网络结构的特征。本书的研究从属以上研究的领域,但是考虑的背景与以上的论文不同,本书将在完全垄断市场的基础上讨论网络结构、决策者认知、福利水平和市场信息披露之间的关系,与本书研究直接相关的文献是 Candogan 等 (2012)^[69] 发表在 *Operations Research* 上的论文,本书将发展这篇文献中的成果,扩大对于决策者认识能力的讨论,使之更贴近实际的有限理性决策者。

第三个方面的问题将是本书第七章研究的重点,注意到经管领域的文献中有两类主流的研究方法用于考察对于网络结构形成和演化的认知问题。一种是作为纯统计模型的指数随机图模型 (Exponential Random Graph Models, ERGMs),另一种是考虑用户博弈行为的策略网络形成模型 (Strategic Network Formation Models, SNFMs)。前者已经被广泛应用在这一领域,比如近年来