

社会网络模型研究论析

刘 军

Abstract: Social network analysis is explicitly interested in the relationships among social actors. Focusing on structural variables, it opens up a field of data analysis and model building which is completely different from conventional social statistical methods. Spanning nearly seventy years of research, statistical network analysis has witnessed three stages of models. Beginning from the late 1930s, the first generation of scholars (Moreno, Katz, Heider, etc.) studied the distribution of various network statistics. The second stage began from the 1970s and continued to the mid 1980s. It dealt primarily with exponential family of probability distributions for directed graphs (p^1 model) under the vital assumption of "dyad independence". Relaxing this assumption, Frank and Strauss (1986), Strauss and Ikeda (1990), Wasserman and Pattison (1996) published their pathbreaking papers based on Markov's random graphs models (p^* model and its generalization: logit p^*), which brought social network models to a new stage. It is an extremely flexible and complete model dealing with all sorts of structural aspects of social networks. This substantial "real" structural research should be employed to examine the relational essence of Chinese society.

“社会网络分析”(social network analysis)是西方社会学的一个重要分支,是国外从30年代末出现并在最近20多年得到重要发展的研究社会结构的最新方法和技术,也是一种全新的社会科学研究范式。它是在英国著名人类学家R.布朗对结构的关注中提出来的。但是,布朗所探讨的网络概念焦点在于文化是如何规定了有界群体(如部落、乡村等)内部成员的行为,而实际的人际交往行为要复杂得多(Wellman et al., 1988: 21)。因此,为了深入理解布朗提出的“社会结构”概念,从30年代到60年代,在心理学(主要是移居美国的具有格式塔研究传统的德国社会科学家如K.勒温(Lewin)对群体结构的研究、J.莫雷诺(Moreno)开创的社会计量学研究以及F.海德(Heider)对社会态度、社会均衡的研究等)、社会学(莫雷诺等)、人类学(布朗、纳德尔等对社会结构的研究、梅奥等人对霍桑工厂的研究、英国曼彻斯特大学的巴恩斯、米歇尔等人的研究)以及数学(特别是欧拉开创的图论、代数模型研究)、统计学、概率论研究领域,越来越多的学者开始构建“社会结构”概念,认真思考社会生活的“网络结构”,各种网络概念(如中心性、密度、结构平衡性、结构均衡性、区块等)纷至沓来,“社会网络”一词渐渐步入学术殿堂。随后,社会网络分析的理论、方法和技术日益深入(参见Wasserman & Faust, 1994; Scott, 1991; Everett, 2002),成为一种重要的社会结构研究范式。

1978年,国际网络分析网(INSNA; <http://www.sfu.edu/project/INSNA>)组织宣告成立,这标志着网络分析范式的正式诞生。此后,在网络分析的一些重要概念得到深化的同时,一些网络分析软件应运而生。社会网络研究基本上坚持如下重要观点:(1)世界是由网络而不是由群体或个体组成的;(2)网络结构环境影响或制约个体行动,社会结构决定二元关系(dyads)的运作;(3)行动者及其行动是互依的单位,而不是独立自主的实体;(4)行动者之间的关系是资源流动的渠道;(5)用网络模型把各种(社会的、经济的、政治的)结构进行操作化,以便研究行动者之间的持续性的关系模式;(6)规范产生于社会关系系统之中的各个位置(positions);(7)从社会关系角度入手进行的社会学解释要比单纯从个体(或者群体)属性角度给出的解释更有说服力;(8)结构方法将补充并超越个体主义方法;(9)社会网络分析最终将超越

传统社会学中的二元对立(Wellman et al., 1988; Scott, 1991; Burt, 1982)。

简单地说, 社会网络分析可以分为概念、模型建构和实证应用两部分。如果没有对网络概念和模型的研究, 社会网络的实证分析就不会有坚实的基础, 网络模型研究的重要性即在于此。社会网络数据与通常的社会学数据不同。传统统计方法针对的变量要满足“相互独立性”。但是, 社会网络分析恰恰研究的是“相互关系”数据, 其中使用的是结构变量, 正是这一点开创了数据分析和模型建构的新领域(Wasserman & Faust, 1994: 16)。本文对网络模型近 70 年的发展, 尤其是最近的重要发展进行述评。需要说明的是, 网络模型研究内容广泛, 涉及到很多人物和模型, 本文的分析重点是从图论、统计概率论以及代数理论角度上建构的模型(参见 Wasserman & Faust, 1994: 15; 522—555)。

社会网络统计模型的发展分为三个时期(Wasserman & Pattison, 1996: 401): 20 世纪 30 到 70 年代, 学者们关注的是各种网络统计量的分布。早期的社会计量学家(1930—1940)发明了社群图, 发展了图论(1940—1950), 研究了随机图的分布。图论研究不但提供了对社会网络的恰当表述, 也提供了一系列用来研究社会网络的形式特点的概念。随后的数学家在关注图论和图分布的同时, 也利用统计概率论和代数模型研究网络关系的分布(1960 年以来)。20 世纪 70 年代到 80 年代, 人们广泛应用统计概率理论研究关系的互惠性、均衡性以及传递性。对互惠性以及均衡性的关注激励了许多数学家和统计学家建构三人组(triad)的数学模型, 其代表人物是戴维斯(Davis), 霍兰(Holland)和林哈特(Leinhardt)。他们于 70 年代发表了一系列论文, 在社会网络领域引入了一系列随机有向图分布, p^1 模型(1981 年)应运而生, 该模型利用对数线性模型对数据进行拟合, 这是第二个阶段。从 1986 年开始社会网络分析进入第三个时期, 其标志是弗兰克和施特劳斯(Frank & Strauss, 1986)、施特劳斯和伊可达(Strauss & Ikeda, 1990)、瓦瑟曼和派提森(Wasserman & Pattison, 1996)、福斯特和斯科弗雷兹(Faust & Skvoretz, 1999)等发表的论文。他们推广了 p^1 模型, 给出了 p^* 模型及其各种推广形式。这些成果大大推进了社会网络模型研究。因为, (1) p^* 模型利用逻辑斯蒂回归技术, 因而便于应用; (2) 在 p^* 模型及其推广形式中包含了对随机区块模型的发展, 既可以包含网络的整体趋势变量(如总体密度、中心性等), 区块(block)层次变量(如在各个“块”之间的“选择性”等), 也包含三人组(triadic)变量(传递性、循环性、入—2—星、出—2—星等)、二人组(dyadic)变量(如互惠性、选择性等)、个体层次变量(聚敛性、扩张性等)以及个体属性变量(如性别、年龄); (3) 利用 p^* 模型还可以研究赋值网络(Rubin, et al., 1999)以及多元关系网络(Pattison & Wasserman 1999)。可以认为, 社会网络统计模型已经成长为具有高度分析弹性的比较全面的模型, 因而可以分析各种类型的关系数据。下面按照历史进程进行简述。

第一个时期: 20 世纪 30 年代到 70 年代

司各特(Scott, 1991)认为, 有三种因素导致了社会网络分析的出现和发展。(1)、社群图分析, 20 世纪 30 年代, 在美国, 对认知心理学和社会心理学的研究促进了社群图和群体动力学的发展; (2)、20 世纪 30 年代, 哈佛大学的学者强调非正式人际关系的重要性, 他们通过研究人际关系的模式发展出“派系”概念; (3)、在 50—60 年代的英国, 也是在布朗的影响下, 曼彻斯特大学的人类学家考察了部落和乡村的“社区”关系结构(参见 Scott, 1991, 第一章)。他们的最大贡献是把数学和社会理论结合起来。如果从社会网络统计模型的发展角度来看, 除了上述因素之外, 针对关系数据的“矩阵分析”、“代数模型分析”和“统计概率分析”对网络统计模型的发展影响更不可忽视(参见 Wasserman & Faust, 1994: 10—17)。我们可以用图 1 总结社会网络统计模型的发展(见图 1)。

然而, 直到 60 年代才出现社会网络分析在方法论上的重大突破, 这又要归功于哈佛大学的学者对社会结构的数学模型研究。他们一起推进了社会网络分析的形式化。

(一) 社群图模型——社会计量学

30 年代初期, 许多重要的格式塔心理学家从德国逃亡到美国, J. 莫雷诺和 F. 海德名列其中。海德(Heider)研究人与人之间的态度如何达到“平衡”态。心理平衡要依赖于个体所拥有的各种观点不互相

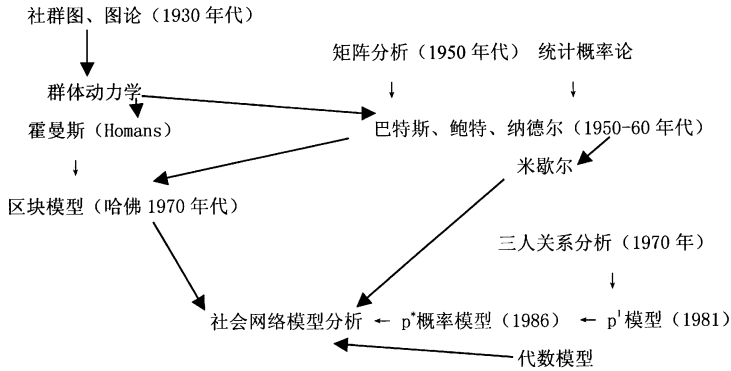


图1. 社会网络模型的发展(根据 Scott, 1991: 8 修改)

矛盾。海德认为,可以把态度分为积极态度和消极态度两类。当态度都是“积极的”或都是“消极的”时候,“平衡”才可能达到。例如,如果 A 喜欢 B, B 喜欢 C, 那么,只有当 A 也喜欢 C 的时候,平衡态才能达到,从而可以构建平衡图。对社会均衡的研究一直是 70 年代之前的重点之一。当前社会网络中的“结构均衡”(structural equivalence)以及“规则均衡”(regular equivalence)研究就来源于此。

莫雷诺的创新之处是发明了“社群图”。它是一种“通过测量群体中的个体之间相互接受和排斥程度来发现、描述、评价社会地位、结构,以及社会发展的方法”(转引自 Bronfenbrenner, 1943: 364)。他用“点”代替个人,用“连线”代表个体之间的关系(Moreno & Jennings, 1938: 342—374),从而试图建立关系“模型”。“正是建立社会现象模型的需要才促进了社会网络分析的两条支柱的发展:群体结构的形象表示和结构输出的概率模型”(Wasserman & Faust, 1994: 12)。形象展示包括社群图以及更高层次的表达方法,其中二维和三维表达方法(多维量表)对于展示人际关系结构来说尤其有用,当前社会网络的许多研究都使用多维量表方法。

莫雷诺(Moreno & Jennings, 1938)和布隆芬伯雷纳(Bronfenbrenner) (1943, 1944) 等人第一次对关系中的互惠性、结构均衡性、传递性等进行了定量研究。如布隆芬伯雷纳所说,传统的统计方法不能用来研究社群数据,例如,四分互差、百分比方法、一些定比方法以及传统的统计检验方法等都不适用,因为社群数据之间具有相依性,不满足传统统计检验中的变量之间的独立性条件。为此,他提出一种“稳定的参考框架”(constant frame of reference),并称之为“机会期望”或“机会分布”,认为它可以起到“一箭双雕”的作用:一方面,用它可以得到统计显著性结果;另一方面,它也可以作为参考框架,因为一些统计指标可以根据它建构出来(Bronfenbrenner, 1943: 367—372)。什么是机会期望(chance expectation)? 简单地说,它是指在特定的场景中,各种各样的选择现象仅仅随机出现一次或者多次的概率分布。例如,在个体数为 N 的小群体中,假设每个人都选择 d 个他人作为朋友,那么某个特定的人被随机地选择为朋友的概率是 $p = d/(N-1)$ 。这就是“随机期望”思想。进而言之,假设事件发生的概率是 p , 不发生的概率是 $q = 1-p$, 如果做 n 次试验,那么该事件发生的频次将遵循二项分布 $(q+p)^n$ 。但是,在大多数情况下,对二项分布的各项值的估计很困难。另外,如作者所说,如果变量数目增加,那么构建二项分布表就不现实。因此作者建议用各种数学技术对二项分布的各项总和进行估计。随后,布隆芬伯雷纳对各种数学技术(如正态曲线、泊松分布等)进行了述评,计算出“互选”(对称性)、“非互选”(不对称性)以及“孤立点”等发生的概率(参见 Bronfenbrenner, 1943: 374—379)。此研究对于社会网络研究具有非常重要的影响。“机会期望”思想和对互惠性的计算已经深入到当代社会网络研究中。例如,斯科弗雷兹教授等提出的“偏好网络论”(biased net theory)的模型建构的思路就是“随机期望”:偏好网络论“仍然是一个有吸引力的视角,因为它具有建构主义的图景,即认为网络是根据局部关联事件建构起来的,这些关联事件既具有偏好的成分,也具有随机成分”(Skvoretz, 1990: 217)。许多其他模型的建构(如参见 Robin et al., 2001a, 2001b)也利用了“随机期望”的思想,此处不再分析。

耐奈瓦萨(Jiri Nehnevajsa)在分析组间个体被选择的概率的基础上(1955a),对社群图研究中的概率模型进行了述评(1955b)。概率分析假定个体可以随机地选择他人。这种随机性假定意味着每个事件(如“选择”、“互惠性”等)都可以是机会均等的。每个事件的发生不依赖于他者。这样,就可以根据联合概率分布计算出来许多概率,如“非互惠性”选择的概率为 $p_{nr}=pq$ 、“互惠”选择的概率为 $p_{mc}=pp=p^2$,相互不选择的概率为 $p_{nd}=qq=q^2$ (参见 Nehnevajsa, 1955a; 1955b; 423—424)。与此同时,也可以计算出来平均的选择期望值。例如互选的期望值为 $E(Mc)=p^2C_N^2$ (其他期望值参见 Nehnevajsa, 1955b; 424—425)。当然,也可以计算出选择的概率分布、孤立点的概率分布以及复杂图(如k—派系、k—路径等)的概率分布等。如作者所说,给出概率模型的目的是接受虚无假设,而不是推翻虚无假设。

该研究明显建立在“关系的随机性假设”基础之上。这个假设也是此文发表后近30年内大多数学者提出的网络模型(包括1981年提出的 p^1 模型)的基础。但是,在现实中,这种假设往往不可行。也就是说,A和B的关系与B和C的关系往往相互影响,关系的发生不是随机的。即使是A和B的关系与C和D的关系也往往相互依赖。尽管如此,该研究仍为日后 p^* 模型(1986年)的提出打下了基础。

20世纪30、40年代哈佛大学研究小组(梅奥、沃纳等人)通过对“非正式关系”的研究(霍桑试验和美国城研究)发现,大系统实际上包含众多子群体。霍桑实验发现了生产力是否增长与物质条件的改变几乎无关。该试验对于社会网络模型发展的重要性在于,研究者在报告群体结构的时候利用了社群图模型,用社群图反映工人的“非正式的组织”关系,诸如工人的参与游戏、争吵、互动、友谊以及敌对状态等。在他们给出的社群图中,工人用圆圈代替,关系用箭头表示。可以认为,霍桑实验是运用社群图法对现实人群关系的首次研究。与此同时,沃纳开始了“美国城”(Yankee city)研究。他认为,一个社区的社会组织是由人际关系网构成的。社会包含许多子群,如家庭、教堂、班级和协会等,除此之外还有派系:它是一个非正式群体,其中的成员都有某种共同的感受和行为规范。沃纳认为,任何人都可以成为许多派系的成员,其结果是,这种重叠的派系成员把一个社区的所有成员整合到一个更大的关系网之中(Scott, 1991: 16—21)。另外,在美国城报告中也运用了多种图表表述阶级结构和家庭组织,同时他们也构造了派系图。他们把派系看成是在一个维恩图^①(Venn diagram)中的相互交织的圆圈。

(二)图论

在社群图研究的基础上,卡特赖特(Cartwright)和哈拉雷(Harary)等人开创了对群体行为的图论(graph theory)研究。他们认为,复杂的社会结构是由简单结构,特别是由多个互相重叠的“三人组”(triad)构成的。三人结构是社会结构的基础,社会关系所负载的网络结构可以从三人组中分析出来。二人的重要发现是:任何平衡图,无论大小,都可以分为两个有如下特征的子图:在每个子图内部的关系是积极的,而子图间的关系是消极的。这样,一个平衡的社会网络就由两个子图构成,并且两个子图之间存在着冲突和对抗。这一发现对于群体结构以及社会结构研究具有重要意义。一方面,“平衡”概念导致了霍曼斯的小群体研究,这种研究也是当代西方社会学学者的关注点之一。戴维斯、霍兰和林哈特等人对结构均衡性以及三人组的开创性研究的基础就是二人的图论研究。戴维斯(Davis, 1970)、霍兰和林哈特(1970)等人首次给出三人组可能存在的16个同构类(见图2,为方便起见,图中略去了“虚无三人组”,即三个点之间都没有任何连线相连的情况)。所有以后的社会网络统计模型研究(包括 p^* 模型)都离不开三人组分析;另一方面,它进一步扩展了由齐美尔(Simmel)开创的三人关系研究,从“量化”的角度探索关系结构,从而可以使人们更深入地研究社会关系的基本单位——三人关系。

另外,在社会网络研究中,对“均衡”的研究促进了结构均衡和规则均衡的研究。感兴趣的读者可以参见有关文献(例如, Wasserman & Pattison, 1996),此处不再赘述。

(三)矩阵分析、代数模型

在意识到社群图可以用来表达关系之后,社会网络的分析技术得到快速发展。与此同时,有学者认

^① 维恩图是表达数学或者逻辑集合的圆圈图,以英国逻辑学家John Venn命名。

识到,矩阵也可以用来表示社会关系,从而使得一些数学家参与到社会网络研究之中(Katz, 1947; Bock & Husain, 1952; Forsyth & Katz, 1946)。如福赛斯和卡茨(Forsyth & Katz, 1946: 341)所说:“社群图当然要比口头表达优越,但是,当对象比较多时,它就容易使读者感到迷惑。”因此二人倡导用矩阵表达关系。它要经过四个步骤:建构子群、对子群进行排列、对孤立点进行处理以及构建子群的核心。经过这种重排,我们就可以在矩阵中清楚地看出哪些人之间有什么样的关系。“本质上说,对矩阵进行操作的方法就是对行和列进行重排,从而可以发现群体的结构”(Forsyth & Katz 1946: 341—347)。这样看来,司各特所说的“霍曼斯利用数据第一次给出了社会网络分析中的‘重排矩阵’方法”(Scott, 1991: 24)就值得商榷了。总之,矩阵分析开创了正式的社会结构方法。这种分析对于社会网络模型的建构和发展具有重要的影响。

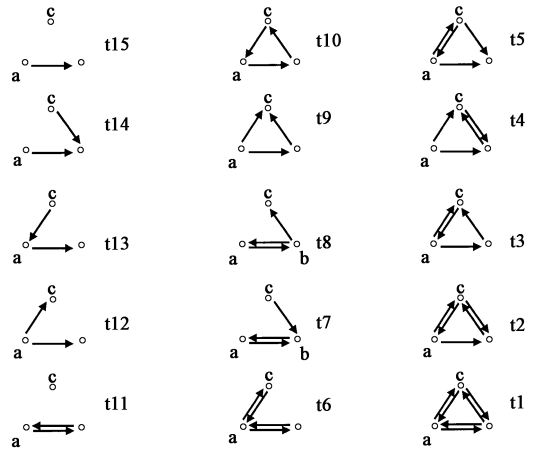


图2. 三人组的15个同构类

墨尔本大学的派提森(Pattison, 1993)对社会网络代数模型的研究就是对上述矩阵模型的进一步推广。代数模型广泛用于研究多关系网络。这些模型利用代数运算考察各种关系的结合(例如,“寻求建议”、“朋友”、“朋友的朋友”等)(White et al., 1976)。

50—60年代,曼彻斯特大学社会人类学系的一些学者,如J.巴恩斯(Barnes)、C.米歇尔(Michell)、S.纳德德尔(Nadel)和E.博特(Bott)等把社会网络分析的形式技巧与社会学概念结合起来(Scott, 1991: 28)。

50年代,巴恩斯开始运用社会网络分析方法研究挪威南部的一个渔村。巴恩斯尤其关注导致该社区整合的亲属、朋友和邻里结构,它们形成了一个独特的、相对来说整合的非正式人际关系域。他的工作对博特影响很大。博特是一位加拿大心理学家,她关注英国家庭成员的亲属关系,用“网络”概念作为分析工具,研究亲属关系的各种模式。而社会网络概念的进一步完善要归功于纳德德尔和C.米歇尔。

纳德德尔是一位关注社会网络分析的奥地利心理学家。他首先把“结构”定义为整体中的要素的重排,认为应该把结构的内容和形式分开,这样才可以分析结构的一般特征。为此,他对结构进行了数学研究。纳德德尔认为,社会结构是一个关于关系的“整体系统,网络或者模式”,是分析者从现实的、个人的可观察行动中抽象出来的。他认为,“网络”意指“关系的交织,其中人际的互动影响他人”。“角色”应该被看成是社会理论的核心概念。社会结构是“角色”的结构,而角色及角色丛是通过互相依赖的行动加以定义的。他认为,在角色分析中应该用代数、矩阵方法。

1969年,米歇尔把社会网络符号化,给出了社会网络分析的系统框架。他扩展了巴恩斯关于人际关系域的概念,把它变成“个人间的关系模式”。米歇尔把一个社会的“整体网”定义为“在任何社区或者组织的限制内部或外部伸展的始终交织着的关联丛”。他认为,在实际研究中,我们总是对局部网进行研究。这种工作有两个基础:一是关注某一个体周围的关系,从而产生社会关系的“主体网”(Ego-centered networks),另一个是对某一方面的总体网络进行考虑,如政治关联、亲缘关联、工作关系等。米歇尔等人更关注主体网,与之相应,他提出一些重要的网络概念,如关系的“互惠度”(reciprocity)、“紧密性”(intensity)、“持续性”、“密度性”、“可达性”等。这些概念已经成为当代社会网络研究中公认的基本概念。博特的早期研究也关注主体网。她曾经测量出这些网络的“关联性”,“婚姻网的关联度”等。米歇尔采用了图论中的数学技巧,给出了一系列社会网络术语。他认为,这些术语能够充分地抓住社会组织结构特征。米歇尔把图论和社会计量学翻译成社会学框架,他更加关注那些曾经由梅奥、沃纳以及霍曼斯提出的“非正式”的人际组织的特征。

米歇尔抛弃了其师纳德德尔的宏愿(即研究正式网络的结构),把社会网络研究仅仅看成是对人际关

系的分析,认为网络分析只涉及正式的经济、政治角色之外的人际关系领域。这种观点对社会网络分析在英国的发展有重要影响。由于他认为社会网络分析仅限于研究非正式的人群关系,因此,后人一般认为该方法仅适用于主体网研究。所以,对社会网络的整体性研究就不是在英国,而是在美国的哈佛大学出现的。其代表人物 H. 怀特及其弟子真正把社会网络分析看成是一种结构分析方法。

(四) 区块模型的发展——哈佛的突破

代数模型研究和多维量表的发展对以怀特为代表的哈佛大学学者有重要影响。怀特(Harrison White)等人(1976)后来对“区块模型”(blockmodels)的探讨推进了纳德德尔所提出的角色结构研究。他们主要进行数学导向的结构分析,对所有类型的社会结构进行模型化处理。他们并不关注哪一个理论问题,只关注用代数方法对社会关系结构进行模型化研究。

另外,格兰诺维特(Granovetter)和李(Lee)的经典研究对哈佛网络社会学家也有重要影响。前者的《谋职》(Getting A Job)(1974)对市场经济学家的关于人们如何找工作的解释给予了批判性考察。格氏发现,非正式接触才是个人找到工作的最初渠道,56%的回答者靠这种渠道找工作,而对于高薪工作来说更是如此。格氏认为,获取职业信息的“理性的”选择方法实际上不重要。个人其实并不比较不同信息资源的奖金和花费。相反,能够提供重要职业信息的人往往是通过工作或者与工作有关的接触的人。他们很少是家庭成员或者朋友,并且往往具有与被访问者不同的职业。一个人是否转变工作,其概率依赖于他与拥有其他职业的人工作接触机会的多少。格氏由此提出著名的“弱关系的强度”假设:维系群体内部的关系是强关系,群体之间的关系是弱关系。李(Lee)的“堕胎主义者研究”也是经典之一。在一个禁止堕胎的地方,李要研究的是,女人如何获得关于堕胎的信息。那些替他人堕胎者必须试着从朋友、熟人那里获得有关信息。研究发现,在成功地接触到一个替他人堕胎者之前,一个女人要接触 5.8 个人。成功的接触链长短不一,其平均长度为 2.8 步。最重要的接触途径是通过同龄女性朋友。格氏(1973, 1974)和李的研究尽管并不是网络统计模型研究,但是,由于其显示了社会网络方法的重要力量,因而,对于社会网络分析的系统化发展来说非常重要,也促进了哈佛学者更精致地研究社会网络。此后,许多人开始用社会网络分析方法分析人类关系网之外的其他社会结构。例如,怀特的弟子之一、加拿大多伦多大学的威尔曼(Bary Wellman)主持了多伦多社会网络分析国际网(INSNA)。该网站在他的主持下,积极开展多种(主要关注社会支持、社区支持网络)社会网络分析研究。

正是在上述各方面的推动下,怀特等学者开始了对社会结构的模型研究。在社会网络分析中,我们可以根据行动者的结构均衡性对其进行分类,对此进行研究的方法是区块模型分析。区块模型分析最早是由怀特等人(White, Boorman & Breiger, 1976)引入社会网络分析中的。由于它关注的是总体的网络结构,因而往往具有重要的理论意义。区块模型的定义可以从三个层次上给出,这些定义本质上一样。由于篇幅所限,本文只给出一个定义。

定义:一个区块模型是把一个网络 N 中的行动者分区成为各个位置 B_1, \dots, B_2, B_B , 并且存在一个对应法则 \emptyset , 它把行动者分到各个位置之中,即如果行动者 i 处于位置 B_k 之中,则 $\emptyset(i) = B_k$ 。我们利用 b_{ik} 表征位置 B_k 和 B_l 在关系 X_r 上是否存在联系。如果存在联系,则 $b_{ik} = 1$, 否则为 0。

可见,一个区块模型是对多元关系网络的一种简化表示,它代表了该网络的总体结构。每个位置中的行动者都具有结构均衡性。例如,位置 B_k 中的所有行动者与 B_l 中的所有行动者之间的关系都类似。因此,区块模型是在位置层次上的研究,而不是在个体层次上的研究。它提供的信息是关于各个位置(而不是个体行动者)之间的关系,因而研究的是网络的总体特点(White, Boorman & Breiger, 1976)。

学者们提出许多方法构建区块模型。这要涉及到两个步骤。第一步是对行动者进行分区,即把各个行动者分到各个位置之中。常见的方法是 CONCOR 以及层次聚类方法。第二步是根据一些标准确定各个块的取值,即各个块是 1—块,还是 0—块。不同性质的关系采用的标准是不同的。总的来说有 5 种标准:完全拟合、1—快标准、 α —密度指标、最大值标准——适用于赋值数据、平均值法——适用于赋值数据(参见 Wasserman & Faust, 1994: 397—401)。

对区块模型分析结果的解释可以从三个层次上进行:

- (1)个体层次——利用个体层次属性分析区块模型的有效性;
- (2)位置层次——对各个位置进行描述性分析;
- (3)整体层次——利用影像矩阵对总体的区块进行描述。

怀特等人指出,对于最简单的区块模型,即2—位置区块模型来说,其可能存在的状态有 $2^4=16$ 种。由于某些块相互同构,因而实际上有10类各不相同的区块模型,并且大多数区块模型都有明确的解释性意义(Wasserman & Faust 1994, :397—401)。

对于3—位置模型来说,可能存在 $2^9=512$ 种排列矩阵。4—位置可能有 2^{16} 种排列矩阵。这时候我们不可能进行全盘分析,只能选择一些“理想”的矩阵进行分析。例如,我们可以选择“一致子群”、“中心—边缘”以及“中心化”、“传递性”等结构进行分析。

总之,区块模型具有一些独特的性质。首先,与多维量表相似,区块模型的目的是寻找一种能够表达个体之间关系综合结构的简化表达式。其次,由于区块模型区分各种个体所属的类别,而每个类别的内部成员之间的关系,各个类别之间的关系都是相似的,所以它揭示的是群体内部的综合角色结构。第三,它可以很容易地应用到非对称的关系之中。区块模型可以同时分析个体之间存在的两种或者多种关系。最后,现有的聚类分析以及多维量表分析程序都要求输入的数据是个体之间的距离,其结果依赖于研究者选择何种测度。相比之下,区块模型分析直接针对初始数据,其结果也容易解释(Parning, 1982: 589—591)。

区块模型的最新进展是随机区块模型(stochastic block-models)(参见 Wasserman & Anderson, 1987)。除此之外,许多学者运用区块模型研究一些具体问题,例如布雷格对科学共同体的研究(Breiger, 1976)、斯奈德等人对世界经济体系的研究(Snyder & Kick, 1979)、对组织问题的研究(Knoke & Rogers, 1979),以及大量的小群体研究等。

由上述介绍可见,尽管区块模型分析可以给出多元网络数据的综合结构,但它不是对网络数据的统计概率论研究,即不能给出某些关系结构发生的可能性多大。下面要介绍的模型恰恰关注于此。

第二时期: p^1 模型(二人组独立模型)及其推广

p^1 模型(二人组独立模型)。1980年代,社会网络统计模型研究发展迅速。这些模型大都建立在霍兰和林哈特(Holland & Leinhardt, 1981)提出的关系数据的 p^1 概率分布基础之上。对该模型的推广允许分析多变量关系数据。

霍兰和林哈特给出的 p^1 模型的表达式利用的是指数形式。简单地说, p^1 模型是关于关系发生的概率与行动者的“发散性”和“聚敛性”之间的关系的统计模型。具体地说,用 G 代表所有 $g \times g$ 的邻接矩阵, X 代表从 G 中随机选择出来的一个矩阵。用 x 指代 G 中的一个点,那么,用 $p(x)$ 代表 G 的一个概率函数,记作:

$$p^1(x) = P(X=x) = \exp\{\rho m + \theta_{x_{++}} + \sum \alpha_i x_{i+} + \sum \beta_j x_{+j}\} \times K(\rho, \theta, \{\alpha_i\} \{\beta_j\}) \text{ (Holland \& Leinhardt, 1981: 36).}$$

这种表达式比较抽象,难以理解。如果对此模型稍加修改,利用对数线性形式表达该模型,就容易理解一些,并且可以在分析二值关系数据(即假设 $C=2$,关系是二元的)的基础上,推广到对多值关系数据(即 $C > 2$)的分析。首先给出如下(自然)对数线性方程:

$$\log P(Y_{ij0} = 1) = \lambda_{ij}$$

$$\log P(Y_{ij1} = 1) = \lambda_{ij} + \theta + \alpha_i + \beta_j$$

$$\log P(Y_{i01} = 1) = \lambda_{ij} + \theta + \alpha_j + \beta_i$$

$$\log P(Y_{ij1} = 1) = \lambda_{ij} + 2\theta + \alpha_i + \alpha_j + \beta_i + \beta_j + \rho$$

上述四个表达式分别对应四个任何给定的二人组的四种可能存在状态:虚无对($X_{ij} = X_{ji} = 0$, 或者 Y_{ij0}

= 1); 两种不对称对 ($X_{ij}=1, X_{ji}=0$, 或者 $Y_{ij0}=1; X_{ij}=0, X_{ji}=1$, 或者 $Y_{j0i}=1$) 以及互惠对 ($X_{ij}=X_{ji}=1$, 或者 $Y_{j0i}=1$)。与这四种状态对应的参数意义分别如下: 密度参数 θ (density), 代表关系在网络中存在的可能性, 反映的是总选择趋势参数 (由于在虚无对中不存在“选择”, 因而第一个表达式中不存在“密度”参数); 关系的互惠性参数 ρ , 测量的是二人组中的两人相互选择的趋势 (该参数仅在“互惠对”中存在); 个体“声望” (popularity) 参数 β , 反映的是个体被选择的趋势 (有学者称之为“聚敛” [attractiveness] 参数); 以及“扩张”效应 (expansiveness) 参数 α (测量个体扩张自己网络, 即选择他人的趋势)。参数 λ_{ij} 是数学上的必须项, 它保证在模型中每个二人组的四种可能状态发生的概率总和为 1。还有一个限制性条件是 $\sum_i \alpha_i = \sum_j \beta_j = 0$ 。

如果某个扩张性参数 (如 α_i) 为正数, 那么它就会增加 n_i 选择 n_j 的 (对数) 概率的机会; 如果为负数, 则降低概率。对于互惠指数 ρ 来说, 如果它为正值, 表明选择他人的行动者有一定的趋势被他人回选。 ρ 越大, 被回选的趋势越大。

总之, 上述对数线性方程把二人组的某种状态作为反映变量 (因变量), 把个体的扩张性参数和聚敛性参数作为自变量。取对数之后, 就变为上述的对数线性形式。也就是说, 在一个网络中, 当考察二人组的各个状态出现的概率的时候, 我们可以根据个体的两个参数, 利用对数线性形式 (对数) 线性地表达出来。该模型的优点在于, 它产生的标准差可以用来判断这些指数在描述网络本身时的信度 (Wasserman & Faust, 1994: 613—635)。

由上述可见, 在 p^1 模型中不包含行动者的属性变量 (如性别、年龄等), 而我们有理由认为这些变量会对人际关系 (或者说二人关系) 发生的概率带来影响。另外, p^1 模型的建构基础是二人组独立性假设 (诸如“A 和 B 的关系”与“B 和 C 的关系”无关), 但这种假设往往不现实。因此, 推广 p^1 模型势在必行。

对 p^1 的推广。 p^1 模型提出之时也是被推广之日。学者们从多个方面推广了 p^1 模型。一个方面是对参数估计的方法进行推广, 例如, 王 (Wong, 1987) 对 p^1 参数的贝叶斯估计 (Bayesian estimation), 施特劳斯和伊可达 (Strauss & Ikeda, 1990) 给出的伪似然性估计, 法拉罗和斯科弗雷兹 (Fararo & Skvoretz) 对偏好网络理论 (bias net theory) 范式的研究。另外一个方面是增加模型的解释力, 如增加模型中包含的参数数目, 加入属性变量、或者探讨二模网络 (two-mode networks) 等 (转引自 Wasserman & Faust, 1994: 658—665)。

在王的研究中, 他不把各个参数 α 和 β 看成是固定不变的, 而看成是随机可变的变量, 并且假设这些变量满足多元正态随机分布。该研究的困难之处在于, 如果 α 和 β 的各个参数高度相关, 那么王给出的算法就不精确。

施特劳斯和伊可达 (Strauss & Ikeda, 1990) 也进行了推广研究。二人认为, 在上述模型中, 其前提假设是关系是二值的。有时候, 我们的网络关系数据是赋值的, 即认为关系有一个强度, 是从 0 到 $C-1$ 之间的整数。这时候, 定义 κ 作为从 i 到 j 的关系强度, λ 作为从 j 到 i 的关系强度, 那么我们就可以推广 Y_{ijk} , 即 $Y_{ijk}=1$, 当 $X_{ij}=\kappa$ 并且 $X_{ji}=\lambda$ 的时候; 在其他情况下, $Y_{ijk}=0$ 。这样, 得到对上述 p^1 的 4 个陈述的推广形式:

$$\log P(Y_{ijk}=1) = \lambda_{ij} + \theta_k + \theta_i + \alpha_{i(k)} + \alpha_{j(i)} + \beta_{j(i)} + \beta_{i(k)} + \rho_{kl}$$

在此方程中, 参数 $\alpha_{i(k)}$ 测量的是行动者 i 以强度 k 发送关系的趋势, 反映的是行动者 i 的扩张性, 行动者 i 的声望性用 $\beta_{i(k)}$ 来表达。 $\beta_{j(i)}$ 表达的是行动者 j 以强度 l 接收到关系的趋势, 而行动者 j 的扩张性用 $\alpha_{j(i)}$ 来表示。此类参数都是个体层次参数 (actor-level), 因为它们依赖于各个行动者。但是, $\rho_{kl} = \rho_{lk}$ 不是个体层次参数, 因为我们假定互惠性在所有两个行动者之间保持不变。例如 $\rho_{14} = \rho_{41}$ 测量的是以“弱”强度 $k=1$ 发送的关系与以“强”强度 $l=4$ 接收到的关系之间的正 (或者负) 关系, 我们假定该关系在所有两个行动者之间是相同的。

上述参数有如下限制性条件:

$$\theta_0 = 0$$

$\alpha_{i(0)} = 0$, 对于所有 i 来说

$\sum \alpha_{i(k)} = 0$, 对于所有 k

$\beta_{j(0)} = 0$, 对于所有 j

$\sum \beta_{j(l)} = 0$, 对于所有 l

$\rho_{k0} = 0$, 对于所有 k

$\rho_{0l} = 0$, 对于所有 l

$\rho_{kl} = \rho_{lk}$ (Wasserman, 1994: 616)

必须指出的是, 对于赋值数据来说, α 参数和 β 参数的数量依赖于关系的可能取值的数量。对于每个层次的 $k = 1, 2, \dots, (C-1)$ 来说, 都存在 g 个 α 参数和 g 个 β 参数。对于某一固定的 k 值来说, 这些参数测量的是一个行动者在多大可能上以该强度与他者保持关系(发送或者接收关系)。

如果不考虑关系的性质, 认为二人组是相互独立的, 那么, 似然性方程仅仅是二人关系概率的乘积。因此, 类似 p^1 这样的模型又称为二人关系独立模型, 对其参数的估计利用的是对数线性模型技术。

施特劳斯和伊可达 (Strauss & Ikeda, 1990) 还利用伪似然性技术 (MP) 对 p^1 模型进行了推广。该技术是对最大似然方程 (ML) 的推广, 其优点在于不用假设二人组是独立的, 这就大大地推进了 p^1 模型在计算上的可行性。因为他们的研究发现, MP 和 ML 的估计值吻合得很好。正是这一点带来了后来的 p^* 模型的重要发展, 下面将有介绍, 此处不再进一步说明。

p^1 模型及其多数推广模型都依赖于一个重要假定: 二人组关系的独立性, 这一假设受到批判。因为我们有理由相信, 网络中的行动者之间不是相互独立的, 两个二人组之间可能存在关系。因此, 在现实当中, 二人组独立性假设往往不适用。如果二人组不独立, 而我们却利用独立性假设进行统计检验, 我们得到的以卡方为基础的统计量就是虚假的 (参见 Wasserman & Faust, 1994: 第 15 章; Walker & Wasserman, 1993)。另外, 上述模型的共同缺点是不容易得到拟合检验。因此, 放松该假设条件就成为后续研究的重点。 p^* 模型因势而生。

第三时期: p^* 模型及其推广 (Logit p^*)

弗兰克和施特劳斯 (Frank & Strauss, 1986) 提出的马尔可夫随机图 (Markov random graph)、施特劳斯和伊可达 (Strauss & Ikeda, 1990)、瓦瑟曼和派提森 (Wasserman & Pattison, 1996) 给出的模型估计策略是该领域的开创性成果, 它把社会网络分析带入新的历史时期。因为马尔可夫模型及其各种推广模型 (称为 p^* 模型) 不需要假设二人组的相互独立性, 从而可以利用逻辑斯蒂回归进行估计。这给研究者带来极大方便。

p^* 模型

为了引出 p^* 模型, 还需要给出一些符号上的说明。对于一个单种、二元有向关系数据来说, 我们从原矩阵中定义、引申出三个新矩阵:

- $X_{ij}^+ = \{X_{kl}, X_{ij} = 1\}$: 在 i 和 j 之间的关系必然存在的矩阵
- $X_{ij}^- = \{X_{kl}, X_{ij} = 0\}$: 在 i 和 j 之间的关系必然不存在的矩阵
- $X_{ij}^c = \{X_{kl}, k, l \neq i, j\}$: 在 i 和 j 之间的关系“缺失”矩阵 (可以称之为 X_{ij} 补矩阵)

现在我们给出一个一般的 p^* 的对数线性形式, 然后给出其 Logit 形式。

$$\Pr(X = x) = \frac{\exp\{\theta' z(x)\}}{\kappa(\theta)} \quad (4)$$

在此模型中, θ 是各个模型参数向量, $z(x)$ 是一系列网络统计量向量。这些模型具有指数形式, 其中的概率函数依赖于网络统计量线性组合构成的指数函数。这种模型不仅仅在社会网络研究中出现, 在许多其他研究领域中也出现过。学者们把 (4) 称为 p^* 模型。

在模型(4)中,参数 θ 是线性组合的权数,这些权数常常是事先不知道的,需要进行估计。方程 k 是一个常量,它保证概率分布是常态的,即保证随机变量 X 的样本空间(所有可能存在的图形)发生的概率总和为 1。统计量 z 可以有各种各样的形式,例如对于有向关系来说, z 可以包括个体属性参数如性别、年龄等;个体层次的结构参数如:微分扩张性统计量(differential expansiveness)、微分聚敛性统计量(differential attractiveness)等;二人层次变量如:互惠性(mutuality)、选择性(choiceness)等;三人层次参数如:传递性、非传递性、入-2-星(2-in-star)、出-2-星以及混-2-星等;以及研究者自己设定的子群层次参数(如同一教室中的男孩群体和女孩群体之间的“互惠性”等)。此类统计量还可以包含很多种,可以参见瓦瑟曼和派提森(Wasserman & Pattison, 1996: 412-416),尤其是安德森等人(Anderson et al, 1999)的文章。读者如果阅读这两篇文献,可以得到对 p^* 模型更深刻的认识。

上述形式的难点在于标准化常数。为了使得概率可以计算出来,必须算出 k ,而对于大多数网络来说,算出 k 是非常困难的。这就阻碍了对模型参数的最大似然性估计。但是,有一些技巧可以克服这个缺点。

瓦瑟曼和伊可达(Wasserman & Pattison, 1996; Strauss & Ikeda, 1990)指出,我们可以利用随机变量 X_{ij} 的二元性这个性质把上述对数线性模型转换为 logit 模型。首先考虑在 X_{ij} 补矩阵保持不变的条件下, i 和 j 之间的关系存在的概率(Wasserman & Pattison, 1996: 407):

$$\Pr(X_{ij} = 1 | X_{ij}^c) = \frac{\exp\{\theta' z(x_{ij}^+)\}}{\exp\{\theta' z(x_{ij}^+)\} + \exp\{\theta' z(x_{ij}^-)\}}$$

这个模型的优点在于去掉了对标准化常量的依赖。然后,作者给出 i 和 j 之间的关系“存在”相对于“不存在”的机会比(odds ratio),从而进一步得到:

Logit p^* 模型:

$$\tilde{\omega}_{ij} = \log\left\{\frac{\Pr(X_{ij} = 1 | X_{ij}^c)}{\Pr(X_{ij} = 0 | X_{ij}^c)}\right\} = \theta'[z(x_{ij}^+) - z(x_{ij}^-)] = \theta' \delta(x_{ij})$$

为了具体化上述模型,我们可以事先选择一些自认为具有重要意义的、能够影响上述机会比率的网络统计量(例如互惠对的数目、循环三人组的数目等)。模型依赖于事先假设的网络结构性性质。对于每个假定的网络结构性性质(例如传递性),都存在与之相对应的网络统计量(例如, T , 即具有传递性的三人组的总数)和在 logit 模型中与之对应的“解释变量”;该解释变量是当 i, j 之间的关系从有到无的时候,网络统计量的变化。

由于在对 p^* 模型进行估计的时候,利用的是常见的 logistic 回归技术,因此,任何对此比较熟悉的人(例如学习过 SPSS 的人)都可以进行拟合检验(当然还要经过一些数据转换程序)。至于如何对这些模型进行拟合检验,读者可以参见本文参考文献部分的 p^* 模型网站。此处不再论析。

最近,瓦瑟曼(Wasserman, 1996; 2001)等人又进一步推广了前人的研究,研究了多元关系网络(Pattison & Wasserman, 1999)、多值关系网络(Robin, Pattison & Wasserman, 1999)、隶属关系网络(Faust & Skvoretz, 1999)、社会选择模型(Robin, et al, 2001a)、社会影响模型(Robin, et al, 2001b)。这些模型大大地推进了 p^* 模型研究。当然也大大地推进了 p^1 模型。限于篇幅,此处不再介绍。

未来的研究方向

就以 p^* 模型为基础的研究来说,其未来的研究走向有:从伪似然性估计走向蒙特卡罗估计技术,该技术最近有重要的发展,将来会取代伪似然性估计技术。另外,对于无回答的网络数据来说,如何进行 p^* 模型研究也是将来的方向之一。

指数随机图模型还需要进一步研究。罗宾等人(Robin & Pattison, 2002)提出两个创新性概念:“背景结构”(setting structures)和“偏依赖结构”(partial dependence structures)。

背景(setting)是很抽象的概念,它可以指在一个时空段内的一群人,有共同政治信念的一个群体等。他们在理论上假定,社会过程产生于特定的社会场所,背景结构恰恰嵌入于这些场所之中。之所以提出

偏依赖结构这个概念,原因在于,对于规模大的网络来说,有时候马尔可夫依赖不适用,因为此时有可能个体之间甚至不知道对方的存在。如果背景结构假设得到很好的建立,我们就可以对社会结构有更深入的理解。

“非马尔可夫依赖”是他们提出的另一个新概念。因为,对于有些不共享一个行动者的关系来说,也有可能通过第三个关系而相互依赖,这种关系就不是马尔可夫依赖。例如, X_{ij} 有可能条件依赖于 X_{rs} ,只要在这四个行动者之间发现有任何关系存在。这种结构称为偏依赖结构。作为未来走向,这些研究将在《社会网络分析中的模型和方法》(预计于2004年由剑桥大学出版社出版)这本书中得到体现。

值得指出的是,本文还有至少两种网络模型没有涉及到:社会网络动力学模型和偏好网络理论(biased net theory)。前种模型针对历时性的网络数据,分析网络关系的变化趋势,其代表人物是荷兰格罗宁根(Groningen)大学的斯奈德(Tom Snijders)教授(感兴趣的读者可以在INSNA主页上找到他的个人主页)。后一研究的代表人物是南卡罗来纳大学的斯科弗雷兹(John Skvoretz)教授(参见其在线文章)。

小 结

如果说社会结构指的是在各种社会现象中实存的或者潜在的关系模式,那么社会网络模型(特别是以 p^* 为基础的模型)可以从各个方面(个体层次、二人层次、三人层次以及整个区块层次)深入地定量分析这种结构。读者如果阅读了本文参考文献中与 p^* 模型有关的文章,会对此有更深刻的认识。

值得补充的是,社会网络分析的形式化程度之高在一定程度上也受到批判。因为,抽象的模型研究抽掉了行动者的“意义”和“价值”,关注的仅仅是社会关系网络的模型“结构”。但是,在笔者看来,如果能够把“意义研究”和“结构研究”结合在一起,那么我们将确实得到对人际关系的深入认识。我们常常说中国社会是关系社会,然而,尽管目前我国已经有一些关于社会网络的研究,但是,由于研究者在方法论(特别是网络研究方法论)以及具体方法上的欠缺,使得多数研究仅仅局限于定性描述,分析不到深层次的结构。在此意义上说,如果本文论述的社会网络模型能够促进对中国特色的关系的探讨,那么笔者将心满意足。

参考文献:

- Anderson, C. J., Wasserman, S. & Crouch, B. 1999, “A p^* Primer: Logit Models for Social Networks.” *Social Networks* 21.
- Bock, R. D. & Husain, S. Z. 1952, “Factors of the Tele: A Preliminary Report.” *Sociometry* 15.
- Breiger, R. L. 1976, “Career Attributes and Network Astructure: A Blockmodel Study of A Biomedical Research Specialty.” *American Sociological Review* 41.
- Bronfenbrenner, U. 1943, “A Constant Frame of Reference for Sociometric Research.” *Sociometry* 6.
- 1944, “A Constant Frame of Reference for Sociometric Research, Part II: Experiment and Inference.” *Sociometry* 7.
- Burt, R. S. 1982, *Toward A Structural Theory of Action*, Academic Press.
- Davis, J. A. 1970, “Clustering and Hierarchy in Interpersonal Relations: Testing Two Theoretical Models on 742 Sociograms.” *American Sociological Review* 35.
- Everett, M. 2002, *Social Network Analysis*, Textbook at Essex Summer School.
- Faust, K. & Skvoretz, J. 1999, “Logic Models for Affiliation Networks.” In *Sociological Methodology*, (ed.) by Michael Sobel & Mark Becker, New York: Blackwell.
- Fienberg, S. E. & Wasserman, S. 1981, “Categorical Data Analysis of Single Sociometric Relations.” in Leinhardt, S. (ed.) *Sociological Methodology*, San Francisco: Jossey-Bass.
- Fienberg, Stephen E. & Stanley S. Wasserman 1981, “Categorical Data Analysis of Single Sociometric Relations.” *Sociological Methodology*, Volume 12.
- Forsyth, E. & Katz, L. 1946, “A Matrix Approach to the Analysis of Sociometric Data: Preliminary Report.” *Sociometry* 9.
- Frank, O. & Strauss, D. 1986, “Markov Graphs.” *Journal of the American Statistical Association* 81.

- Granovetter, M. 1973, "The Strength of Weak Ties." *American Journal of Sociology* 81.
- 1974, *Getting A Job: A Study of Contacts and Careers*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Holland, P. W. & Leinhardt 1981, "An Exponential Family of Probability Distribution for Directed Graph." *American Journal of Statistical Association* 76.
- Holland, P. W. & Leinhardt, S. 1970, "A Method for Detecting Structure in Sociometric Data." *American Journal of Sociology* 76.
- INSNA website: <http://www.sfu.edu/project/INSNA>
- Katz, L. 1947, "On the Matrix Analysis of Sociometric Data." *Sociometry* 10.
- Knoke, D. & Rogers, D. L. 1979, "A Blockmodel Analysis of Interorganizational Networks." *Sociology and Social Research* 64.
- Moreno, J. L. & Jennings, H. H. 1938, "Statistics of Social Configurations." *Sociometry* 1.
- Nehnevajsa, J. 1955a, "Chance Expectancy and Intergroup Choice." *Sociometry*, Vol 18, Issue 2.
- 1955b, "Probability in Sociometric Analysis." *Sociometry*, Vol 18 Issue 4.
- p * website: <http://kentucky.psych.uiuc.edu/psatr/index.html>
- Panning, William H. 1982, "Block-models: From Relations to Configurations." *American Journal of Political Science*, Vol. 26 No. 3, August.
- Pattison, P. E. & Wasserman, S. 1999, "Logic Models and Logistic Regression for Social Networks II, Multiple Relations." *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology* 52.
- Pattison, P. E. 1993, *Algebraic Models for Social Networks*, Cambridge University Press.
- Robin, G. & Pattison, P. 2002, "A Workshop on Exponential Random Graph (p^*) Models for Social Networks." University of Melbourne. (从 Robin 的个人主页上下载)
- Robin, G., P. Elliot & P. Pattison 2001a, "Network Models for Social Selection Processes." *Social Networks* 23.
- 2001b, "Network Models for Social Influence Processes." *Psychometrika* 66.
- Robin, G., Pattison, P. E. & Wasserman, S. 1999, "Logic Models and Logistic Regression for Social Networks III, Valued Relations." *Psychometrika* 64.
- Scott, J. 1991, *Social Networks Analysis*, Sage Pub., London.
- Skvoretz, J. 1990, "Biased Net Theory: Approximations Simulations and Observations." In Skvoretz, J. (ed.) (2002) *Advanced Social Network Analysis*, Textbook at Essex Summer School.
- Snyder, D. & Kick, E. 1979, "Structural Position in the World System and Economic Growth 1955—70: A Multiple Network Analysis of Transnational Interactions." *American Journal of Sociology* 84.
- Strauss, D. & Ikeda 1990, "Pseudo-likelihood Estimation for Social Networks." *Journal of the American Statistical Association* 85.
- Walker, M. & Wasserman, S. 1993, "Statistical Models for Social Support Networks." *Sociological Method and Research*.
- Wasserman, S. & Anderson, C. 1987, "Stochastic A Posteriori Blockmodels: Construction and Assessment." *Social Networks* 9.
- Wasserman, S. & Faust, K. 1994, *Social Networks Analysis: Methods and Application*, Cambridge University Press.
- Wasserman, S. & Pattison, P. E. 1996, "Logic Models and Logistic Regressions for Social Networks: I. An Introduction to Markov Graphs and p^* ." *Psychometrika* 60.
- Wellman, Barry & S. D. Berkowitz (eds.) 1988, *Social Structures: A Network Approach*, Cambridge University Press.
- White, H. C., Boorman, S. A. & Breiger, R. L. 1976, "Social Structure from Multiple Networks: I. Block-models of Roles and Positions." *American Journal of Sociology* 81.
- Wong, G. Y. 1987, "Bayesian Models for Directed Graphs." *Journal of the American Statistical Association* 82.

作者系黑龙江大学社会学系讲师, 北京大学社会学系博士候选人
责任编辑: 罗琳