

复杂网络

郑小京, 徐绪松

(武汉大学 经济与管理学院, 武汉 430072)

摘 要: 本文介绍了复杂网络的若干参数和具有代表性的复杂网络模型, 以及其在经济管理中的若干应用领域, 分析了应用复杂网络研究经济管理系统的两个关键问题——流与拓扑结构, 阐述了应用流及拓扑结构研究经济与管理问题的基本思路。

关键词: 复杂网络; 统计参数; 流; 拓扑结构

中图分类号: F 204 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2010)09-0011-06

21 世纪, 人类进入了全球化时代, 管理面对的是复杂、动态的环境, 非线性的、不确定的复杂系统。徐绪松教授提出了复杂科学管理的管理思想。复杂科学管理的研究对象是有人的思维介入其中的复杂社会系统。它吸收了管理学、系统科学、计算机科学、复杂性科学等多门科学的相关理论、方法, 对管理中的复杂现象进行研究, 通过各个主体之间的交互作用, 得到了利用以往经典的研究方法难以得到的比较深刻、准确的结论。复杂网络是复杂科学管理的研究方法之一, 可以有效分析复杂的经济管理系统, 具有很好的辅助决策作用。

我们知道, 图包括两部分, 即点及其联系。联系有时是边, 表示连接的两个点之间有关系, 但具体是什么关系, 并没有表示出来; 另一种联系为有向箭头, 表示这种关系之间的方向。对于管理中流的决策, 如最大流、工程进度安排等, 在图论中得到了很好的解决。但是, 由于经济管理系统是一个开放的系统, 其随外界环境的变化而变化, 其关系也在动态变化。这种动态变化使得流的决策变得比较困难, 但也非常有意义。除了流的决策之外, 拓扑结构的决策也很重要, 如产业结构、交通、大规模定制等现代经济方式, 其相互关系也在不断发生变化。如何在这种变化中把握其中的规律, 从而抓住关键问题, 即如何识别系统瓶颈, 是经济管理中的重要问题。它涉及图的动态变化过程, 单纯采用图论的理论方法很难对这些问题进行求解, 因此需要借助新的理论方法对其进行分析, 从而获得比较科学的结论。

复杂网络不是由节点及其关系组成的图, 而是关于图的集合, 或关于图的随机过程。从这个角度上讲, 复杂网络是图的延伸。在现实社会中, 由于社会环境及社会本身在进行着高速的发展变化, 因此根本不存在一种千年不变的结构, 系统中各个节点及其之间的关系不断发生变化, 因此就构成了复杂网络。可以说, 复杂网络是一种研究经济、管理、生态等复杂系统的有效工具^[1-3]。本文就其基本涵义、在经济管理中的应用进行阐述, 希望对该领域的研究者有所提示。

在采用复杂网络对经济管理进行研究的过程中, 所面临的最主要的问题就是流决策与拓扑结构的决策问题。本文就这两个问题的研究方法及基本思路进行阐述。

1 复杂网络的相关概念

1.1 统计参数

我们一般采用邻接矩阵进行图的分析, 在复杂网络的分析过程中, 我们依然采用这一概念, 将任何一个图用矩阵 C 表示。下面关于复杂网络的所有参数, 均是从邻接矩阵及其所有邻接矩阵的统计得到的。

复杂网络研究首先要从统计角度考察网络中大规模节点及其连接之间的性质, 因此, 对这些统计性质的描述和理解是我们进行复杂网络相关研究的第一步。复杂网络的几个重要的统计特性描述如下。

1) 平均路径长度与小世界效应。

收稿日期: 2010-04-05

基金项目: 国家自然科学基金资助(70771083)

作者简介: 郑小京(1975—), 男, 武汉大学经济与管理学院博士研究生, 研究方向: 复杂科学管理、供应链管理; 徐绪松(1945—), 女, 湖北嘉鱼人, 武汉大学经济与管理学院教授, 博士生导师, 研究方向: 复杂科学管理、投资科学、风险管理, 中国技术经济研究会会员 登记号: I031700053S。

① 本文系“复杂科学管理方法论”系列论文之六。

网络中两个节点 i 和 j 之间的距离 d_{ij} 定义为连接这两个节点的最短路径上的边数。网络中任意两个节点之间的距离的最大值称为网络的直径, 网络的平均路径长度 L 定义为任意两个节点之间距离的平均值。网络的平均路径长度也称为网络的特征路径长度。 N 为网络节点数。

$$L = \frac{1}{N(N-1)/2} \sum_{i \neq j} d_{ij} \quad (1)$$

近期的研究发现, 尽管许多实际的复杂网络的节点数量巨大, 但网络的平均路径长度却小得惊人。

显然, 平均路径决定了系统的顺畅程度, 这在流的决策中, 尤其是物流、信息流的决策中, 具有很强的实际意义。这个参数越小, 表明到达目标位置的时间越短、失真性越小^[4-5], 因此, 这一参数在分析经济问题的过程中是一个重点。

2) 聚类系数。

一般地, 假设网络中的一个节点 i 有 k_i 条边将它与其他节点相连, 这 k_i 个节点就称为该节点的邻居。显然, 在这 k_i 个节点之间最多可能有 $k_i(k_i-1)/2$ 条边。而这 k_i 个节点之间实际存在的边数 E_i 和总的可能的边数 $k_i(k_i-1)/2$ 之比就定义为节点 i 的聚类系数 C_i , 即

$$C_i = \frac{E_i}{k_i(k_i-1)/2} \quad (2)$$

整个网络的聚类系数 C 就是所有节点的聚类系数的平均值, 聚类系数即为网络中三角形的密度。

聚集系数表示了系统中每一节点的周边节点之间的连接程度, 也表示了这一节点的次级吸引力。从经济管理的角度上看, 就是系统中凝聚力的大小。聚集系数越高, 表示系统的稳定性越高^[6]。因此, 对于在系统中如何培养凝聚力这一问题来说, 聚集系数也具有很强的意义。

3) 顶点度分布。

度是单独节点的属性中简单而又重要的概念。节点 i 的度 k_i 定义为与该节点连接的其他节点的数目。网络中节点的度的分布情况可以用网络中度数为 k 的顶点的个数占顶点总个数的比例来描述。

度表示各个节点与周围节点之间的关系, 即有多少个节点给这一节点输入资源或能量, 这一节点又给哪些其他节点输出资源, 度决定了整个系统中所有节点之间的关系。在系统不断演化时, 分析节点的度分布可以把握系统内部各个元素之间关系的变化程度, 也可以根据这一变化预测未来系统的拓扑结构。从经济管理的角度讲, 复杂网络应该是有向的, 因此, 我们可以从这些变化中看出系统中输出资源与输入资源的整个布局, 这就很有意义了。绝

大多数科学家得到的结论是度的变化服从幂律分布, 这就意味着整个系统中只有极少数的节点的度是很高的, 占有主导地位, 而绝大多数节点的度是很小的, 难以对整个经济系统起到决定性作用^[3,6]。因此, 对于度很高的节点, 应该采取很好的保护措施。

4) 其他参数。

对其他一些参数的说明如下: ①网络弹性——称网络节点的删除对网络连通性的影响为网络弹性, 一般网络的功能依赖其节点的连通性; ②介数——反映了相应的节点或边在整个网络中的作用和影响力; ③网络中度和聚集系数之间的相关性——被用来描述不同网络结构之间的差异; ④“群”或“团”——整个网络是由若干个“群”或“团”构成的, 每个群内部节点之间的连接相对非常紧密, 但是各个群之间的连接相对来说却比较稀疏。

1.2 具有代表性的复杂网络模型

1) 小世界网络模型。

大多数的真实网络具有小世界性(较小的最短路径)和聚集性(相对较大的聚类系数)。Watts 和 Strogatz 在 1998 年提出了一个兼具小世界性和高聚集性的网络模型——这是复杂网络研究中的重大突破。WS 模型提出后, 很多学者在此基础上作了进一步改进, 其中应用最多的是 Newman 和 Watts 提出的所谓 NW 小世界模型。小世界网络模型反映了实际网络所具有的一些特性, 如朋友关系网——大部分人的朋友都是和其住在同一个地方, 其地理位置不是很远, 或在同一单位工作或学习的同事和同学。另一方面, 也有一些住得较远的朋友, 甚至是远在异国他乡的朋友, 这种情形好比 WS 小世界模型中通过重新连线或在 NW 小世界模型中通过加入连线产生的远程连接。

2) 无标度网络模型。

随着网络规模的不断增大, 网络呈现出一些小世界模型不能解释的现象, 随着顶点和边以一定的方式加入网络, 网络便以某种方式开始生长。实证结果表明, 对于大多数大规模真实网络用幂律分布来描述其的度分布更加精确, 即 $P(k) \propto k^{-1}$ 。相对于指数分布, 幂律分布的图形没有峰值, 大多数节点仅有少量连接, 而少数节点拥有大量连接, 不存在随机网络中的特征标度。Barabási 等称这种度分布具有幂律特征的网络为无标度网络。

3) 局域世界演化模型。

研究者在研究具体网络的过程中发现优先连接机制并不是全局性的。例如, 在世界贸易网中, 每个节点代表一个国家, 两个国家之间有贸易关系, 则相

应两个节点之间存在连接边。研究表明,许多国家都致力于加强与各自区域经济合作组织内部的国家之间的经济合作和贸易往来。在世界贸易网中,优先连接机制是存在于某些区域经济体中的。类似地,在 Internet 中,计算机网络是基于域路由器的结构来组织管理的,一台主机通常只与同一域内的其他主机相连,而路由器则代表其内部域的主机与其他路由器相连。其中,优先连接机制不是对整个网络,而是在每个节点各自的局域世界中有效。在人们的社团组织中,每一个人实际上也生活在各自的局域世界里,如某研究生打算做某方向的研究,那么他(她)只能在学校范围内寻找该方向的导师,而不可能去找国际知名的教授。所有这些实例说明,在诸多实际的复杂网络中存在着局域世界。

4) 权重演化网络模型。

上述研究均将网络看作无权网,然而现实网络大多为有权网,即网络节点之间的连接强度是有区别的。为描述边的异质性,Yook、Jeong 和 Barabási 首次对加权的演化网络理论进行了深入探讨。他们提出了一个初步的加权网络理论模型——它是在无权网络的基础上,按照节点度之间的关系给边附上权值而形成的加权网络。为了更贴近实际,一些研究者构造了一系列的加权网络演化模型,特别是 Barrat、Barthelemy 和 Vespignani 根据国际航空网络的统计性质,提出了著名的 BBV 模型,掀起了加权网络的研究热潮。

2 复杂网络在经济与管理中的应用

目前国际上主要是以 Dirk Helbing 为首的一批物理学家在采用复杂网络理论研究管理组织网络。他们认为,管理组织网络是一个复杂适应系统,具有涌现、自组织、动态、非线性和演化等特征。如供应链网络,任何一个环节上的细微变化都可能给另外的环节带来变化,而这些变化和组织的网络本身的拓扑结构、宏观性质息息相关。Christian Kuhnert 发现城市的物资供应网络服从无标度分布,即都有少数的核心节点,发挥重要的物资调度和配送作用。Marco Laumanns 等把管理组织网络看成是一个物料在其中动态流动的过程,把每一个节点看成一个变换器,物流通过某个节点时发生变化,可以用一阶微分方程模拟,然后用鲁棒最优控制方法实现供应链的最优化目标。可见,复杂网络已在经济与管理领域得到应用,并有着广泛的应用前景。

2.1 复杂网络在物流运输网络中的应用

交通运输网络承担着运载人流和物流的重要任务,是物流运输管理的关键基础设施。在当今社会

中,它的规模日益庞大,涉及众多复杂的因素,是一个复杂系统。国际研究成果表明,航空网络、地铁网络、公路网络、铁路网络、城市公交系统都是具有幂律分布性质的无标度网络分布^[7]。也就是说,在这些交通运输网络中,有一些节点和很多节点相连,其点度很高,成为重要的交通枢纽,而剩余的大量节点只和附近少数的点连接。

物流运输网络也具有和交通网络同样的特性。如国际上的大型物流快递企业 FedEx、UPS 等都采用同样的运输系统结构——集中星型结构(hub and spoke),这使得它们在市场竞争中占据了有利的地位,使这一结构在物流运输业中快速发展起来。普通的物流运输业也大部分采用这种结构,这已成为行业惯例。

物流运输网络形成的这种无标度特征,主要是由成本原因引起的。通过采用 hub and spoke 的结构,货物在枢纽节点进行中转和配送,能实现整车运输,降低成本。所以,新的物流业务都愿意运送到枢纽节点,从而使网络慢慢演化发展具有无标度分布的性质^[8]。

2.2 复杂网络在应急管理中的应用

自从“9·11”事件以后,如何预防攻击特别是蓄意攻击造成的交通网络瘫痪,保障国家和社会安全,成为研究热点。根据复杂网络理论的研究成果,枢纽节点应成为需要重要防护的对象,因为攻击枢纽节点将带来大面积的交通中断和网络失效^[7]。

最近几年兴起的应急管理主要研究的是如何设计和管理组织,使得出现的危机情况(如供应商失效、市场需求变化等)能快速恢复到正常状态,减少损失。复杂网络理论的研究成果可以帮助分析该系统中各个节点的脆弱性和整个网络的可靠性,进而帮助设计管理组织网络结构,增加其应急能力^[9]。

2.3 复杂网络在协调组织企业关系中的应用

组织中的众多企业形成了错综复杂的社会关系网络。传统的组织协调理论研究的是如何科学设计合同、协调这些企业之间的利益关系,使得组织整体利益达到最优。但是,它存在一个弱点——在通过协调达到整体利益最优时,协调后增加的收益如何在企业之间进行分配一直是悬而未决的问题。一般都认为通过谈判解决,谈判结果取决于企业在组织中的力量和优势对比关系^[10]。

另外,组织协调理论偏重研究单个组织的协调问题,而对多个组织的协调问题涉及很少。而现实生活中,一个组织中的关系可能还受到另一个组织利益关系的影响,多个组织中的企业互相影响,最终达成的决策必然是基于组织网络的整体考虑。这个

困难是由组织协调理论本身的先天缺陷所致,数学上的严密推导和证明使得研究难以扩展到多个甚至全社会的组织关系上。

大规模的网络关系已经难以用数学解析的方法进行研究。而复杂网络理论在解决这些传统组织协调理论难以解决的问题方面具有优势。它侧重从宏观整体的角度去分析单独的点和整体网络之间的关系,也可以借用社会网络分析的诸多方法以及网络演化机制去研究组织中的企业关系,如企业之间力量强弱的对比、企业联盟的形成、企业间信息传递和共享的速度、大企业的形成、产业群的形成等问题。

3 拓扑结构及流——利用复杂网络研究经济管理系统的两个关键问题

管理决策主要采用复杂网络的拓扑结构、复杂网络中流的动力学以及二者之间的耦合;拓扑结构决定了管理对象以及对象之间的关系;流变决定了系统之中资源量的投入与使用方法。然而,在网络中,量变可能引起质变,由流变引发拓扑结构的变化。因此,要想真正解决问题,必须将二者进行综合考虑。

3.1 复杂网络的拓扑结构

拓扑结构表示经济管理系统中各个元素之间相互关系的特征,因此拓扑结构决定了管理者以及被管理者(对象)之间的相互关系。这个问题在宏观以及微观管理领域中应用很广,现在以企业规模大小为例阐述该方法的使用。

企业组织是一个由多个层级的员工通过交互作用构成的复杂系统。由于分工和协作的差异以及权力的分配不同,因此企业组织呈现出金字塔形的结构模式。在系统内部,通过不同层级之间的相互管理和制约形成了复杂的交互关系,而这种交互关系正是影响企业整体绩效的根本原因,各个层级的领导者的领导能力函数通过这种交互最终影响金字塔最底层的员工。毫无疑问,在企业组织中,最底层的员工的工作绩效将直接影响整个企业组织系统的绩效。由于员工的工作绩效受到工作流程中的其他员工的影响(本质上是一种复杂的交互关系),因此,合理有效的企业组织设计应该是以这种交互为基础的,寻求整个企业组织效率的最大化。

在现代企业组织中,无论采用何种企业组织结构形式,实际上企业组织仍然是呈金字塔型的结构模式。在这种金字塔型的企业组织结构模式中,任何企业组织都必然会存在由权利分配不同而产生的层级,因此,每个企业都会根据其自身的实际情况去设置层级,而这些层级之间的关系是决定企业整体

绩效的关键。由于每个层级的员工所处的位置不同,因此其绩效函数也不同。本文为了研究的方便,把企业组织分成 4 个基本层级,即 CEO、高层领导、中层领导和员工。企业就是由这 4 个层级的所有员工构成的一个组织。

通过复杂网络建模与分析,我们可以得到一个简单的结论:CEO、高层领导的最优直接领导的直接下级量为 6,而中层管理者对于基层管理者的最优管理人员数量为 4,基层对于下面的最佳管理人数为 2。由此,我们可以确定企业应该设置多少部门才能使得企业的整体业绩达到最佳。

当然,管理系统的网络拓扑结构还有很广的其他应用价值。比如,在地震发生之后的物资运输过程中,在道路通畅不确定的前提下,对于最佳路线的决策,采用复杂网络获得的结论就很科学。又比如,对于大规模定制产品簇中定制件与通用件需求量的预测,也就是说对其客户订单分离点采用复杂网络建模方法,可获得各个零部件出入度的演化规律^[11-14],从而获得比较准确的结论,等等。

3.2 复杂网络资源流动力学

复杂网络中的流表示各种资源在各个节点之间的量及其变化特征。经济与管理中的流的决策成果很多,如项目进度、生产计划安排、运输路线、车辆调度、物流决策,以及相对静态的区域经济中各个产业投入量的决策等,这些决策均取决于系统中资源量及其大小变化的规律。研究图的流决策,可给经济管理研究提供比较准确、可靠的参考依据。然而,复杂网络的拓扑结构不断发生变化,这使得流的动力学研究存在很大困难。我们将在这一节中分析复杂网络资源流动力学研究的基本思路。

这里需要强调的是,利用复杂网络资源流动力学对经济管理系统进行研究时,不仅要考虑流变动力学的特征,还必须考虑复杂网络拓扑结构的变化^[13]。这使得研究过程变得异常复杂,因此,我们需要将资源流动力学与复杂网络拓扑结构进行耦合,即寻找一个参数——这一参数不仅能表示拓扑结构的特征,还能够表示资源流动力学的特征。在我们的研究思路中,存在一个参数——Perroir Frobenius 特征值 λ ,即复杂网络在某一静态时邻接矩阵的特征值中的最大值。这一参数不仅能描述复杂网络拓扑特性,还能描述资源流动力学特征。

资源流动力学与复杂网络拓扑结构进行耦合的具体分析方法描述如下:

1) 资源流的种类与特性的确定。

在考虑复杂网络资源流的动力学过程时,首先必须进行的就是确定方程的变量,即资源流的种类

与特性,并且根据这一特征确定资源流在静态图中的变化规律。我们选择 Perron Frobenius 特征值 λ 这一特殊参数。邻接矩阵为 C 的 Perron Frobenius 特征值 λ 表示图的拓扑结构的特征,该数值越大,说明该图中节点之间的联系越密集,其中的闭环越多,网络的稳定性越强,并且具有强大的自催化作用与自我修复作用,反之亦然。如果该数值越小,说明系统的脆性越强,受创伤后的自我恢复能力越弱。

2) 复杂网络动力学方程描述。

一般情况下,我们假设图的邻接矩阵为 C ,那么图的动力学方程可以描述为:考虑一个简单的标准化后的非负向量。

$$J = \{x \equiv (x_1, x_2, \dots, x_s) \in R^s \mid 0 \leq x_i \leq 1, \sum_{i=1}^s x_i = 1\}。$$

对一个固定具有 s 个顶点的图 $C = (c_{ij})$ 来说,其动力学行为为如下与图耦合的常微分方程: $\dot{x}_i = \sum_{j=1}^s c_{ij} x_j - x_i \sum_{j,k=1}^s c_{kj} x_j$ 。那么,对于该方程,对于任意图 C 有以下结论:图 C 中属于方程的任意的特征向量都是该方程的一个固定点,反之亦然;从 J 中任意一个初始条件开始,都会收敛于 J 的某一个固定点(通常记为 X);对于 J 的通用初始条件, X 一般是 C 的一个 Perron Frobenius 特征向量;如果 C 含有唯一的 Perron Frobenius 特征向量,那么 X 是该方程的唯一的固定吸引子;如果 C 含有至少一个现行相关的 Perron Frobenius 特征向量,那么 X 依赖于初始条件,可能的 X 的组合应该是这些 Perron Frobenius 特征向量的一个凸组合。

根据以上结论,我们可以看出,图中的资源流动力学方程最终可以描述为 $x(t) = e^{\lambda t} x^{\lambda}$,它是 Perron Frobenius 特征值的函数。这一参数既可以描述系统的拓扑结构,又可以描述系统中资源流的变化规律,将二者进行有机耦合。进一步而言, Perron Frobenius 特征值为 λ 的图,其资源流必然收敛到 $x(t) = e^{\lambda t} x^{\lambda}$,这种耦合使得系统会出现拓扑结构影响资源流的特征,反过来,系统中资源流特征的变化也将促进系统的拓扑结构。

我们认为,在复杂网络的形成过程中,首先是资源流在图中进行变化,资源不断增加,逼近了一个阈值;当其到达这一阈值后,系统的拓扑结构发生变化,而变化一般在“增长”与“优先连接”两个机制下进行。所以,这个过程决定了系统的资源流变化与拓扑结构变化之间的关系,对于管理决策来说,把握住这种规律具有很高的决策价值。

4 实例: 物流产业集群

物流产业的聚集是一个非常复杂的现象,其取决于区域产业及其结构的性质与状态。物流产业的聚集主要取决于以下机制:复制、优先连接和增长。产业的吸引使得多个物流企业进入相应的产业物流中,他们和当地的产业形成不可分割的关系。如果该区域是一个开放的、创新的区域,那么增长这一机制就会决定区域的形成与发展的状态、特征与速度。当这一区域趋于稳定时,一些震荡可能发送,从而使区域的产业结构遭到破坏,物流产业中的某些企业破产,随之而来的就是区域的自治行为^[15-17]。从这一角度入手,我们认为,区域物流产业的过程包括产生、自组织、增长、崩溃和恢复等若干个阶段。为了分析这一过程,以得到如何调整区域中各个产业之间的关系以及各产业内部之间的相互关系,使得区域产业、对应的区域物流产业健康发展,我们采用复杂网络的分析方法对其进行分析。

4.1 参数的设置

物流产业集群使用的参数是 Perron Frobenius 特征值。首先,假定在相对确定的结构中,随着各企业间的相互作用以及环境对各企业的影响,物流量在不断变化,当这种变化达到一个特定的值,也就是说,随着相互作用的发生,企业间的物流动力学方程收敛到了其吸引子时,企业间的拓扑结构就发生了变化,变化的原则是优先连接与增长,这样就形成了复杂网络。当环境变化时,可能有一些企业会破产,这其中使用的也是优先连接与增长,不过这里的增长属于负增长,也就是删除,其中优先连接概率决定了删除的企业。

4.2 物流产业集群模型

我们将物流产业构成图的邻接矩阵称之为 C , $C = \{C_{ij}\}$,则其动力学方程可以描述为: $\dot{x}_i = \sum_{j=1}^s c_{ij} x_j - x_i \sum_{j,k=1}^s c_{kj} x_j$ 。其中, x 为物流量。那么,构造物流产业集群模型的步骤如下:

①构造区域的子产业之间的拓扑结构。构成物流产业图,运行动力学方程,直到系统中各个节点的资源流收敛于某一个特定的特征值。

②计算每个节点的出入度,记为 $k_{in}(i)$ 和 $k_{out}(i)$,在时间 t 以概率 p 加入一个节点,这个节点与图中的另外一个节点联系,该节点的选择按照式(3)的概率从原有图中进行。

$$\Pi = \frac{k_{in}(i) + d}{\sum_j [k_{in}(i) + d]}。 \quad (3)$$

③重复过程 ①。我们将这一过程在计算机上进行模拟,得到的结果如图 1 所示。

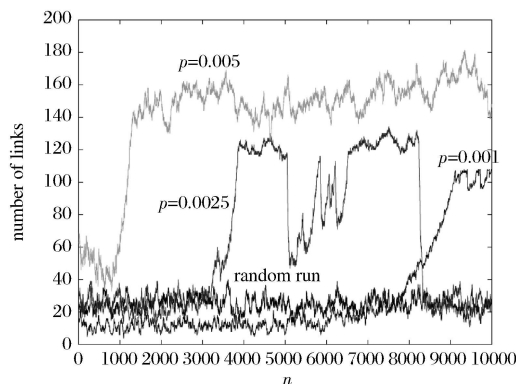


图 1 区域物流产业群发展过程

图 1 说明了区域物流产业群的发展过程:按照一定概率加入一个企业之后,系统的拓扑结构随着时间而变化。可以看出,随着时间的推移,总有一个临界点——当突破这个临界点后,系统的自组织现象出现,系统变得比较稳定。对于连接概率 p ,我们可以看出,在这一过程中,优先连接的概率在很大程度上影响了自组织阶段来临的时间与区域物流产业群的整体竞争力,而增长在其中并不具有决定性的作用。

当环境发生变化时,物流产业中的若干企业受到破坏,使得该区域的物流产业受到不同程度的影响,这时,物流系统将会表现出强大的自恢复能力,其情况如图 2 所示。

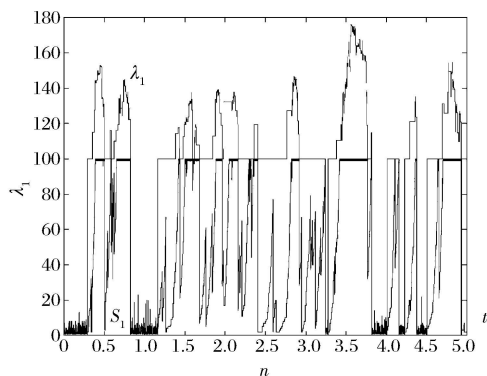


图 2 区域物流产业的崩溃和恢复过程

从图 2 可以直接看出,若干企业的破产将会引起整个区域物流产业在瞬间崩溃(系统的 λ 迅速降低),但是这一情况很快就能得到恢复(系统的 λ 迅速升高)。因此,这个系统是一个自适应很强的系统。在这种情况下,优先连接则起到决定性的作用。当然,复制也有一定的作用——它会引导系统中的企业自动寻找新的契机,与更有竞争力的物流企业进行合作,迅速弥补由破产企业断开而造成的那一部分损失,从而使得整个网络连通。

从上述研究我们可以看出,在区域物流演化的过程中,优先连接和增长对于这一系统来说具有不同的作用。在物流产业形成的初期,政府应该尽力提供不同的优惠政策,使得各个企业愿意加入这一区域中;一旦加入,他们将会和区域内的其他企业建立联系,形成网络。当产业不断稳定时,为了保证区域物流的健康发展,可对该区域实行一些措施,使得若干个不利的企业破产——这主要取决于优先连接这一机制。因此,政府应该放开手脚,让各个企业自主经营,在市场机制下采用优胜劣汰的方法来提高整个区域的竞争力,政府需要做的就是提供这一平台,保证竞争的公平性。

5 结语

复杂网络是研究复杂经济管理系统的—个前沿方法,具有广阔的前景。更进一步,复杂网络是图的随机过程。本文给出了图的拓扑结构参数——Peronr Frobenius 特征值 λ , 以及其对应的资源流动力学 $x(t) = e^{\lambda t} x^{\lambda}$ 。这二者的耦合能够很容易地分析复杂网络的变化过程。本文以物流产业集群为例,分析了复杂网络的过程,认为该产业集群过程实际上是一个自组织的过程,具有产生、发展、崩溃、恢复等不同阶段,根据这些阶段的特征以及相互转换的特点,我们可以对其进行有效管理。

本文介绍的是基本的分析方法和基本的研究思路。在实际的研究过程中,还需要对所研究的系统进行深入分析,按照系统特征确定合适的建模方法,构造经济管理系统的复杂网络模型,得到比较准确的结论。

参考文献

- [1] RADICCHI F, RAMASCO J J, BBARRAT A, et al. Complex networks renormalization: flows and fixed points[J]. Physical Review Letters, 2008, 104(2): 148.
- [2] BOCCALETTI S, LATORAB V, MORENO C Y, et al. Complex networks: structure and dynamics[J]. Physics Reports, 2006, 424(4/5): 175-308.
- [3] ACOSTA G, GRANA M, PINASCO J P. Condition numbers and scale free graphs[J]. The European Physical Journal B, 2006, 53(3): 381-385.
- [4] JAIN S, KRISHNA S. Graph theory and the evolution of autocatalytic networks[J]. Nature Phys, 2006, 275(2).
- [5] ALBERT R, BARABASI A L. Statistical mechanics of complex networks[J]. Reviews of Modern Physics, 2002, 74(1): 47-97.
- [6] DOROGOVTSSEV S N, MENDES J F F. Evolution of networks[J]. Adv. Phys, 2002, 51: 1079-1187.

(下转第 122 页)

析了整个系统的成本结构。具体算例的求解结果验证了此模型的结果不仅与事实相符,而且更能精确描述系统的成本结构。在今后的研究中,本文所提出的模型还可应用于多个供应商参与以及包含多个产品的供应链。

参考文献

[1] NEWELL G F, DAGANZO C F. Design of multiple vehicle delivery tours I: a ring radiat network[J]. Transportation Research B, 1986, 20B: 345-364.
[2] NEWELL G F, DAGANZO C F. Design of multiple vehicle delivery tours II: other metrics[J]. Transportation Research B, 1986, 20B: 365-376.
[3] DAGANZO C F, HALL R W. A routing model for pickups and deliveries: no capacity resrtictions on the secondary items[J]. Transportation Science, 1993, 27: 315-329.
[4] HALL R W. Determining vehicle dispatch frequency when

shipping frequency differs among suppliers[J]. Transportation Research B, 1985, 19B: 421-431.
[5] ROSENFELD D B, ENGELSTEIN I, Feigenbaum D. An application of sizing service territories[J]. European Journal of operational Research, 1992, 63: 164-172.
[6] DASCI A, VERTER V. A continuous model for production distribution system design[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 129: 287-298.
[7] 张长星, 党延忠. 分销网络设计的连续近似模型[J]. 系统工程学报, 2003, 18(5): 447-451.
[8] 罗锦珠. 合理库存是供应链赢利的关键点[J]. 技术经济, 2005(8): 43-46.
[9] 孙会君, 高自友. 基于双层规划的供应链二级分销网络优化设计模型[J]. 管理工程学报, 2004, 18(1): 68-71.
[10] 金海和, 陈剑, 赵纯均. 分销配送网络优化模型及其求解算法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2002, 42(6): 739-742.

Study on Distribution System Model with Two echelon Supply Chain

Gao Zhenhua, Xu Xiaoming

(School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan Anhui 243000, China)

Abstract: This paper discusses the most representative distribution model with two echelon supply chain. On the basis of previous research, it constructs a continuous approximation model and solves it to get the amount of distribution center and the sizes of their service area. And then it analyzes the cost structure of the whole system through the solution of this model. Examples show that the results of the model solution are consistent with the facts. And considering ordering charges together with construction cost, operating cost and transportation cost, the cost structure of system could be described more accurately.

Key words: distribution model; continuous approximation model; two echelon supply chain; supply chain management

(上接第 16 页)

[7] 顾前, 杨旭华, 王万良, 等. 基于复杂网络的城市公共交通网络研究[J]. 计算机工程, 2008, 34(20): 266-268.
[8] 孙敏, 潘郁. 多资源复杂网络的应急调度研究[J]. 运筹与管理, 2009, 18(6): 165-169.
[9] 杨洪勇, 张嗣瀛. 基于复杂网络的离流感病毒传播[J]. 系统仿真学报, 2008(18): 13-16.
[10] 陈亮, 陈忠, 李海刚, 等. 基于复杂网络的企业员工关系网络演化分析[J]. 上海交通大学学报, 2009(9): 1388-1393.
[11] 刘夫云, 祁国宁, 杨青海. 基于复杂网络的零部件用量预测方法[J]. 机械工程学报, 2006, 42(6): 1-6.
[12] 刘夫云, 杨青海, 祁国宁, 等. 基于复杂网络的产品族零部件通用性分析方法[J]. 机械工程学报, 2005, 41(11): 76-

79.
[13] 林福永, 孙凯. 复杂网络关系流与行为关系定理——一般系统结构理论在复杂网络中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2007(9): 136-141.
[14] 段文奇, 陈忠, 惠淑敏. 基于复杂网络的网络效应新产品扩散模式[J]. 上海交通大学学报, 2007(7): 1069-1073.
[15] 范如国, 许焯, 基于复杂网络的产业集群演化及其治理研究[J]. 技术经济, 2008(9): 76-81.
[16] 孙敏敏, 高光锐, 任俊义. 基于复杂网络的山东汽车制造业集群实证研究[J]. 技术经济, 2009(9): 125-129.
[17] 张永安, 王甲. 基于复杂网络视角集群创新网络研究进展与评述[J]. 生产力研究, 2009(18): 193-196.

Complex Network

Zheng Xiaojing, Xu Xusong

(School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The complex network model and its corresponding parameters are introduced, and the several applications are specified. Then the two key aspects in economics and management researching, flowing and topologic of complex network, and the thought for studying them are described.

Key words: complex network; statistical parameter; flow; topical structure