

文章编号: 1001-0920(2006)06-0693-04

基于信息熵的供应链稳定性研究

覃正, 姚公安

(西安交通大学 管理学院, 西安 710049)

摘要: 针对供应链网络结构, 从系统论的角度应用信息熵概念, 定义了供应链的聚合度, 建立了供应链系统稳定性的数学模型, 通过聚合度、冗余度指标揭示了供应链的抗干扰能力和稳定性。分析了一个供应链的稳定性, 得出聚合度、冗余度等指标可以反映供应链的稳定性。

关键词: 信息熵; 供应链系统; 网络稳定性

中图分类号: F252.21 **文献标识码:** A

Evaluation on Stability of Supply Chain with Information Entropy

QIN Zheng, YAO Gong'an

(School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China Correspondent: YAO Gong'an, Email: yaogongan2003@163.com)

Abstract: A measurement model about stability of a supply chain network is presented, which is based on information entropy and from system point of view. First, a definition on ascendancy of a system is given. Then, a model with redundancy and ascendancy as indicators of anti-jamming ability and stability of a supply chain is developed. Finally, a case is provided to validate the method. It is shown that ascendancy and redundancy can serve as indexes of stability of a supply chain network.

Key words: Information entropy; Supply chain system; Stability of network

1 引言

目前, 以计算机技术和通信技术为代表的信息技术发展十分迅速, 企业之间的竞争已经演变为企业集团之间的竞争, 经济活动的网络时代已经到来。为了获取整体竞争优势, 企业之间各种各样的联系网络应运而生。联系网络越稳定, 企业越有可能从这种网络中获益。

企业之间的供应链就是这样一种联系网络^[1-3]。在供应链中, 上游企业与下游企业之间总是相互影响、相互制约。企业必须从全局角度协调供应链系统内部的供给和需求, 发挥联系网络的整体优势, 保持供应链的稳定来获取整体竞争优势。在系统论中, 系统的稳定性主要表现在其受到干扰以后回

到初始状态的能力和其抵抗外界干扰的能力。

20世纪80年代以来, 国际上关于供应链内部企业间关系治理的研究十分活跃。这些工作主要集中在企业之间独立的二元关系上, 如制造商与供应商或零售商之间的关系等^[2-6]。我国有关供应链内企业间关系的研究较少^[7], 关于供应链系统稳定性的研究则更少。

本文以企业之间的联系网络——供应链为研究对象, 重点讨论相互联系的企业所组成的供应链系统的抗干扰缓冲能力。首先, 从系统论角度, 结合信息熵概念, 应用生态网络分析理论建立企业之间联系的数学模型; 然后, 应用该模型来定量分析一个供应链体系中企业之间相互作用的强度, 从而揭示出

收稿日期: 2005-04-07; 修回日期: 2005-05-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(70471037); 陕西省自然科学基金项目(2004G02)。

作者简介: 覃正(1958—), 男, 湖南石门人, 教授, 博士生导师, 从事电子商务、电子政务等研究; 姚公安(1971—), 男, 陕西扶风人, 博士生, 从事电子商务、电子政务的研究。

这个供应链中企业之间联系的稳定性,也就是网络的抗干扰缓冲能力

2 数学模型

2.1 基本假定

在生态网络中,物种依靠彼此在营养物质上的相互依赖维持稳定、获得生存与发展.生态网络的这种稳定性以信息熵概念为基础来定量分析较为成功^[8~10].

在供应链中,企业之间的供需关系也构成了一个与生态网络非常相似的系统,每个企业在接受下游企业提供的原材料和半成品的同时,也在向上游企业供应自己的制成品.这些制成品对上游企业来讲,又是原料和半成品.从该角度看,供应链其实就是在原材料、产品等方面相互联系的企业所构成的一个系统,系统内部的物质传输状况也可以用信息熵反映出来.为了获得生存与发展,企业必须持续不断的从下游企业获得原材料和半成品等必需品,同时向上游企业输出本企业的制成品.因此,本文假定供应链系统内企业之间物质的传输也是连续的.以下所称流量即指这种物质传输的连续流

2.2 模型建构

假设系统包含 n 个随机事件 $\{q_i, i = 1, 2, \dots, n\}$, 每个事件发生的概率为 $P(q_i)$, 事件 q_i 和 q_j 同时发生的概率为 $P(q_i, q_j)$, 事件 q_j 发生条件下事件 q_i 发生的概率为 $P(q_i | q_j)$. 这样,系统的平均信息量可用信息熵^[8~11]表示为(文中所有对数都以 2 为底)

$$D = - \sum_i P(q_i) \log P(q_i). \quad (1)$$

事件 q_i 和 q_j 之间的互信息为

$$M I_{ij} = - P(q_i, q_j) \log \left[\frac{P(q_i | q_j)}{P(q_i)} \right]. \quad (2)$$

系统内部总的互信息为

$$M I = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M I_{ij}. \quad (3)$$

定义 1 系统中的物质流动途径为信道

在供应链系统中,企业 V 以某个概率向企业 W 供应某种物质,企业 W 接受其供给的这种物质.从信息论角度看,企业 V 发出的信息量为 $H(V)$, 企业 W 接受的信息量为 $H(V | W)$, 这两者的差值代表了物质在这两个企业之间的信道中流失量的大小, $I(V, W) = H(V) - H(V | W)$. 最理想的状况就是企业 V 供应的物质完全被企业 W 所接受, $I(V | W) = 0$, 此时信道容量就是信源的平均信息量.这就是一般系统论中信道容量的含义

单位时间 dt 内,某种物质从企业 i 输入到企业 j 的流量为 F_{ij} , 从企业 j 到企业 i 输出的流量为 F_{ji} . 企

业 j 的输入流为从其他企业输入企业 j 的流量的总和, $T I F_j = \sum_{i=0}^N F_{ij}$; 企业 j 的输出流为从企业 j 输出

到其他企业的所有流量的总和, $T O F_j = \sum_{i=0}^N F_{ji}$. 供

应链系统的总流量就是 $T S T = \sum_{j=0}^N T O F_j$.

1) 当企业连续订货时,企业 j 的动力学方程为

$$dx_j/dt = T I F_j - T O F_j. \quad (4a)$$

其中: x_j 为企业 j 内物质的现存量,为状态参数; dx_j/dt 为企业 j 内部这种物质的增长率.此时,式(4a)实际上就是订货连续的供应链系统的状态方程

2) 当企业订货不连续时,企业 j 的动力学方程为

$$x_j(t) - x_j(t - 1) = T I F_j - T O F_j. \quad (4b)$$

其中: $x_j(t - 1)$ 和 $x_j(t)$ 分别为 $(t - 1)$ 时刻及 t 时刻企业 j 内物质的现存量, $T I F_j$ 和 $T O F_j$ 分别为 t 时刻流入、流出企业 j 的所有流量的总和; 这样式(4b)也就是订货离散的供应链系统的状态方程

令 $Q_j = T O F_j / T S T, f_{ij} = F_{ij} / T O F_j$, 用它们分别表示从企业 j 输出的流量在供应链系统总流量中所占的比率和企业 i 到企业 j 的状态转移概率,供应链系统的信道容量就可以表示为

$$D = - \sum_{j=0}^N Q_j \log Q_j. \quad (5)$$

定义 2 系统各组分间的自互信息量为供应链系统的聚合度

于是,以自互信息 $M I$ 为基础的聚合度为

$$A = - \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N Q_j f_{ij} \log (f_{ij} / \sum_{j=0}^N f_{ij} Q_j). \quad (6)$$

它反映了供应链系统内部企业之间因为物质、能量流动而产生的相互作用

定义 3 系统中物质流动途径的可选择性为冗余度.它可以反映供应链系统对环境变化的缓冲能力

生态网络的冗余度 R 就是信道容量 D 与聚合度 A 的差值^[8~11]. $R = D - A$, 反映了物质或能量流动途径的可选择程度,即生态网络的抗干扰缓冲能力.流动路径的选择余地越大,系统抗干扰缓冲能力越强; 流动路径的选择余地越小,系统抗干扰缓冲能力越弱.因此,这个差值也可以反映网络结构的稳定性 $S, S = D - A$.

在一个供应链系统中,一个企业的产出是另一个企业的投入,这种广泛联系的网络实际上就是一个与生态网络十分类似的系统.在这里,有的企业处

于生物链的最低端,有的处于较高的层次,上游企业的生存发展严重地依赖于下游企业的状况。信道容量和聚合度的差值也就可以反映相互联系的企业网络结构的稳定性,也就是供应链系统的稳定性。冗余度越小,供应链系统内部企业之间的联系越紧密。受到干扰时,系统偏离稳定状态的阻抗力越大,系统越不容易偏离初始的稳定状态;干扰消除后,系统趋向稳定状态的回复力越大,系统越容易回到初始的稳定状态。冗余度越大,供应链系统内部企业之间的联系越疏松。受到干扰时,系统偏离初始稳定状态的阻抗力越小,系统越容易偏离稳定状态;干扰消除后,系统趋向初始稳定状态的回复力越小。

为便于讨论,以下用同一符号 R 表示供应链系统的冗余度和稳定性,有

$$R = - \sum_{i=0}^N Q_j \log Q_j + \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N Q_j f_{ij} \log (f_{ij} / \sum_{j=0}^N f_{ij} Q_j) \quad (7)$$

从表面上看,供应链系统的聚合度似乎与企业的状态参量无关。实际上,企业之间的流量也依赖于供应链系统内部企业的状态。从系统的状态方程可求得流变量与状态参量之间的数学关系,再把它代入聚合度 A 的表达式,就可以得到聚合度关于企业状态变量的函数关系。

2.3 求解方法

经济系统大多为线性系统,本文假定供应链系统也是一种线性动态系统,求解此动态系统空间表达式,就是求解状态方程。由此可以得到各有关企业的状态参量,并进一步求得系统的聚合度,从而可以通过稳定状态下的聚合度 A 与信道容量 D 的相对大小(或者冗余度 R 与信道容量 D 的相对大小)来大致认识供应链系统的稳定性,并对企业之间的这种联系网络的成长态势作出一种初步判断。

不仅冗余度可以反映系统的稳定性,聚合度与信道容量的比值也可以反映供应链系统的抗干扰缓冲能力。聚合度与信道容量的比值越大,系统内部企业之间的依赖程度越高;聚合度与信道容量的比值越小,系统内部企业之间的依赖程度越低。聚合度与信道容量的比值较大,供应链系统内企业间的联系就较紧密;聚合度与信道容量的比值较小,供应链系统内企业之间的联系就较疏松,说明企业之间的联系还不够紧密,还有改善的余地。

3 算 例

图 1 为一个简单的由流通企业组成的供应链系统,箭头表示流动方向。物质从企业 1 向企业 6 流动,形成了一个循环网络。为讨论方便,假定订货连

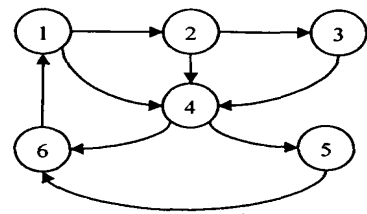


图 1 某个流通企业供应链系统

续且各企业内部物质增长率为常数(订货不连续时,企业动力学方程为差分方程,信道容量及聚合度的计算与订货连续时完全相同。此处,仅以订货连续为例)。这样,这个联系网络所组成的供应链就是一个线性定常系统。某个时刻系统的状态方程为

$$\begin{cases} dx_1/dt = 1000 - 12.893x_1, \\ dx_2/dt = 1.379x_1 - 1.379x_2, \\ dx_3/dt = 0.068x_2 - 0.068x_3, \\ dx_4/dt = 1000 + 11.514x_1 + 1.311x_2 + \\ \quad 0.068x_3 - 13.993x_4, \\ dx_5/dt = 12.75x_4 - 12.75x_5, \\ dx_6/dt = 1.243x_4 + 12.75x_5 - \\ \quad 12.688x_1 - 1.325x_6 \end{cases} \quad (8)$$

应用 Matlab 6.5 求解方程(8),并利用式(5)~(7)分别计算信道容量、聚合度和冗余度。系统到达稳定状态时,信道容量 $D = 1.552$,聚合度 $A = 1.307$,供应链系统的冗余度 $R = 0.245$ 。

信道容量反映了交换的可能程度,聚合度则反映了实际完成的交换量。在稳定的环境里,伴随着系统的发育成熟,生态网络的聚合度趋于增加,冗余度趋于减小。供应链也是有生命周期的^[12],所以供应链系统的聚合度和冗余度也有类似的变化规律。

此处, $A/D = 0.842$, $R/D = 0.158$ 。这说明,此供应链发育比较成熟,系统中信道的使用已经比较充分,联系网络中各个企业之间的依赖程度比较高。而此时,冗余度较小,供应链系统对环境变化的缓冲能力也较强。

4 结 语

本文将系统观点和信息论相结合,在企业间物质传递连续的基础上,把企业之间的物质流动途径定义为信道,用信道容量反映供应链系统内企业间物质的交换能力;把系统内部企业之间的互信息定义为聚合度指标来反映企业之间的相互依赖程度;把企业之间物质流动途径的可选择性定义为冗余度指标来反映供应链系统的抗干扰缓冲能力,即系统的稳定性。在此基础上,首先建立了一个供应链稳定性的数学模型,最后通过一个算例对该方法进行了

说明

以流通为主的供应链的信道容量和聚合度比较容易计算;而以制造为主的供应链(如流程制造供应链),由于加工前后物质、能量的转变不易定量,信息熵、信道容量和聚合度的计算相对较困难,这是本文方法的局限所在。当企业间物质传递间断时,本文方法并不能直接应用,怎样解决这个问题将是下一步研究工作的主要方向。

参考文献(References)

- [1] 聂茂林. 供应链系统管理研究[J]. *经济师*, 2004, 19(1): 151-152
(Nie M L. System Management Study on Supply Chain [J]. *China Economist*, 2004, 19(1): 151-152.)
- [2] Tomas G, Hult M. Global Supply Chain Management: An Integration of Scholarly Thoughts[J]. *Industrial Marketing Management*, 2004, 33(1): 3-5
- [3] Gunasekaran A. Supply Chain Management: Theory and Applications [J]. *European J of Operational Research*, 2004, 159(2): 265-268
- [4] Vijay R Kannan, Keah Choon Tan. Just in Time, Total Quality Management, and Supply Chain Management: Understanding Their Linkages and Impact on Business Performance[J]. *Omega*, 2005, 33(2): 153-162
- [5] Brian Fynes, Sean de Burca, Donna Marshall. Environmental Uncertainty, Supply Chain Relationship Quality and Performance [J]. *J of Purchasing & Supply Management*, 2004, 10(4/5): 179-190
- [6] Keneth H Wathe, Jan B Heide. Relationship Governance in a Supply Chain Network [J]. *J of Marketing*, 2004, 68(1): 733-789
- [7] 云虹. 供应链中的组织间关系治理研究[J]. *求索*, 2004, 24(12): 45-46
(Yun H. Study on Relation Governance in a Supply Chain[J]. *Seeker*, 2004, 24(12): 45-46.)
- [8] 韩博平. 生态网络中物质、能量流动的信息指标及其灵敏度分析[J]. *系统工程理论方法应用*, 1995, 4(1): 21-29
(Han B P. Information Indexes of Energy and Material Flow in Econetworks and Their Sensitivity Analysis [J]. *System Engineering-theory Methodology Applications*, 1995, 4(1): 21-29.)
- [9] Rultedge R W. Ecology Stability: An Information Theory Viewpoint [J]. *J of Theoretical Biology*, 1976, 57(2): 355-371
- [10] Ulanowicz R E. Complexity, Stability and Self-organization in Natural Communities [J]. *Oecologia*, 1979, 43(3): 295-298
- [11] Ichiro Aoki, Takahisa Mizushima. Biomass Diversity and Stability of Food Webs in Aquatic Ecosystems [J]. *Ecological Research*, 2001, 16(1): 65-71
- [12] Geoffrey J L F Hagelaar, Jack G A J. Van der Vorst. Environmental Supply Chain Management: Using Life Cycle Assessment to Construct Supply Chains [J]. *International Food and Agribusiness Management Review*, 2001, 4(4): 399-412
- [6] Boel R K, Ben-Naoum L, Breusegem V V. On Forbidden-state Problems for a Class of Controlled Petri Nets [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1995, 40(11): 1717-1731
- [7] Stremersch G, Boel R K. Enforcing K-safeness in Controlled State Machines[A]. *Proc of the 38th Conf on Decision and Control* [C]. 1999: 1737-1742
- [8] 董利达, 吴维敏, 徐巍华, 等. 一类受控Petri网的控制器设计[J]. *控制理论与应用*, 2003, 20(5): 678-684
(Dong L D, Wu W M, Xu W H, et al. Controller Design for a Class of Controlled Petri Nets[J]. *Control Theory and Applications*, 2003, 20(5): 678-684.)
- [9] Chen H X. Net Structure and Control Logic Synthesis of Controlled Petri Nets[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1998, 43(10): 1446-1450.
- [10] Stremersch G, Boel R K. Structuring Acyclic Petri Nets for Reachability Analysis and Control [J]. *Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Application*, 2002, 12(1): 7-41
- [11] Ghaffari A, Rezg N, Xie X L. Feedback Control Logic for Forbidden-state Problems of Marked Graphs: Application to a Real Manufacturing System [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 2003, 48(1): 18-29

(上接第674页)