

文章编号:1007-6735(2011)03-0253-05

# 超网络供应链经济中市场链的理想生成与 动态演进模型

章 定

(纽约州立大学 奥斯威哥商学院, 奥斯威哥 NY 13126)

**摘要:** 提出了供应链经济中市场链理想生成与动态演进的超网络模型. 对于有弹性市场需求的供应链经济, 给出了均衡点的变分不等式模型. 由此变分不等式的解可以确定各个市场链和供应链的流量、市场需求、市场价格以及市场份额. 同时还给出了均衡的存在性与唯一性的条件. 讨论了含时间参数的动态模型, 对市场链的动态演进利用投影动态系统进行描述.

**关键词:** 供应链经济; 链际竞争; 市场链的理想生成; 均衡

**中图分类号:** N 94      **文献标志码:** A

## The ideal formation and evolution of market chains in a super network of supply chain economy

ZHANG Ding

(School of Business, State University of New York, Oswego, NY 13126, USA)

**Abstract:** A super network model for ideal formation and dynamic evolution of market chains was presented. For a supply chain economy with elastic demands, a variational inequality formulation of the equilibrium point was given, whose solution can be used to determine all the chain flows and link flows, the market demands, market prices, and market shares in the equilibrium. The existence and uniqueness of the equilibrium point were proved under reasonable conditions. The dynamic evolution of the market chains and their inter-chain competition can be modeled as a projected dynamical system.

**Key words:** *supply chain economy; inter chain competition; ideal formation of market chain; equilibrium*

对于供应链的研究文献到目前为止绝大部分还是集中在同一供应链内的局部协调和管理上, 即上

下两层之间的供应商与制造商(或者制造商与零售商)一对二, 二对一, 或者二对二的问题. 由于限制在

收稿日期: 2011-05-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70871031)

作者简介: 章 定(1958—), 男, 教授. 研究方向: 交通、供应链、网络经济、变分不等式、动力系统和对策论.

E-mail: ding.zhang@oswego.edu

二层之间和限制了决策方的数量,多种局部问题得以取得圆满精彩的结论.对于多层和多个决策方的宏观供应链问题研究工作相对较少.在同一层制造商都有相同的线性成本函数的假设前提下,Corbett等<sup>[1]</sup>研究了多层多个制造商的供应链竞争和均衡问题,得到了一系列有关参与人数和利润之间的均衡解的定性和定量结论.Nagurney等<sup>[2]</sup>研究了制造商、零售商和零售市场的三层结构的多个决策方的供应链博弈问题,对一般的生产成本函数、零售成本函数、运输成本函数下给出了均衡解的变分不等式模型.在此基础上,Dong等<sup>[3]</sup>给出了有随机市场需求的三层多决策方的供应链均衡的数学模型.对于更为一般的供应链网络问题,特别是对于包含多条具有不同网络层次结构且又可能有共同节点企业的供应链的链际竞争问题,Zhang等<sup>[4]</sup>和Zhang<sup>[5]</sup>提出了更为宏观的供应链经济和市场链的概念,在此基础上对于有固定市场需求的供应链链际竞争问题给出了均衡解的数学模型和变分不等式表示.本文对这些概念进行简要回顾,然后提出了市场链的理想生成和动态演进的问题,并对于有弹性需求的市场给出均衡的数学模型.并且给出了均衡解的存在性与唯一性的条件,讨论了供应链均衡的理论和实际意义,最后提出了在这个方向上值得进一步研究的一些问题.

## 1 供应链经济

Zhang等<sup>[4]</sup>首次提出了供应链经济的网络概念.供应链经济描述多个企业联盟之间围绕一个或多个相关的终端产品或服务所进行的一系列采购、生产、加工、配送、运输、分销和零售等互相关联的营运活动.这些营运活动根据物流、信息流和资金流的走向形成上下游的关系,而其中联盟内部的企业单位具有合作和协调的关系.基于已有的供应链定义,供应链经济就是一个由多条提供相关产品和服务的供应链所组成的互动网络.网络中的供应链可以在原材料采购、市场营销等活动中互相竞争,也可以在生产加工和运输配送等活动中协调合作.比如汽车的整车装配、配件制造、轮胎生产、车窗玻璃及底盘钢材等部件和原材料的采购与运送,4S店的销售和修理维护等等相关活动形成了汽车供应链经济.福特、通用、本田、大众等都是这个供应链经济中在全球市场上互相竞争的供应链,而很多零部件的制造商同时为多个互相竞争的供应链供货.因此整个汽

车供应链经济网络中的任何一个节点的营运活动都会对整个供应链经济产生影响.

Cavinato<sup>[6]</sup>说出了一个既浅显又深刻的道理“如果终端客户没有选择OEM的产品,那么这一个供应链上的每一个企业都无法获得此供应链中相应于它所贡献的附加值的职能位置上的产品加工或者服务需求”.其深刻就是说明供应链上的节点企业都需要靠终端市场的拉动才能够实现他们对于这一条供应链的相应附加值贡献.然而社会普遍意义下的供应链概念都是指为了提供一类多个产品或者服务的一个企业协作联盟.即使某一个款式的通用汽车没有市场了,其它款式可能还是有需求,因此通用汽车供应链并不会崩溃.仅仅是供应链的节点企业不需要生产加工这一款式汽车的相应零部件或者不需要为一款式汽车提供相应的服务而已,他们在通用汽车供应链中的职能可以为制造其它款式汽车增加附加值.所以尽管当时Cavinato是对供应链说的话,他所指出的节点企业的附加值贡献与利益分享,严格地说只有当引入市场链的概念之后才能完整地体现.市场链(market pertinent chain, M-chain)的定义由Zhang<sup>[5]</sup>给出——对于一个终端产品追溯它投入零售市场之前的每一个环节上所有参与采购、生产、加工、包装、配送、贮存、运输及分销等等营运活动的企业和单位就构成了这个特定产品的相关市场链.因此市场链是学术名词而供应链是社会名词.市场链可以针对某一个产品严格定义,一个企业必须对这个最终到达顾客手上的产品或者享受到的服务做出过它的贡献才属于它的市场链.也就是说如果缺少了任何一个市场链上的节点企业那么顾客就无法获得这个产品或者服务.而且如果终端产品或者服务失去了个需求,那么整个市场链就相应地崩溃.而对于供应链就没有这个必然条件.市场链概念的建立给出了供应链经济的严格定义的基础.供应链经济就是一类市场相关产品(或者服务)的市场链的节点企业之间的营运或经济行为互动超网络.

图1表示的供应链经济包含3条供应链:供应链1、供应链2和供应链3.其中,供应链1有两条隶属市场链,市场链1A和市场链1C;供应链2的两条隶属市场链为市场链2A和市场链2B;供应链3的两条隶属市场链为市场链3B和市场链3C.市场链1A和市场链2A都是产品A的市场链,互为竞争对手;类似地,市场链2B与市场链3B竞争B产品市场;市场链1C与市场链3C竞争C产品市场.产品A、B、C是具有需求关联的同类产品.这个示意图显

示了供应链经济、供应链与市场链的层次结构和相互间的关系.

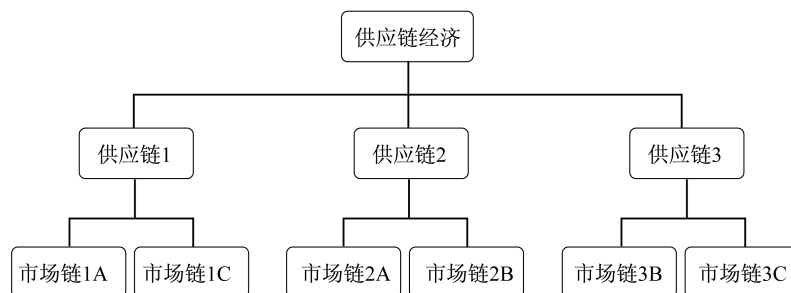


图1 供应链经济的层次结构

Fig.1 Hierarchy of a supply chain economy

市场链的超网络结构. 一个企业可以经营多个生产或服务营运活动. 在一个供应链经济的超网络中, 每一个实质性的营运活动都可以由一条运作边来表示. 每一条运作边上的流量相应于该运作边所代表的营运活动. 对于一个部件制造的营运活动它所代表的运作边上的流量就是该部件的产出数量, 而该运作边的成本由其流量决定, 是它的生产总成本. 如果两条运作边所代表的营运活动可以代表生产或者服务流程的上下游关系, 那么它们之间的协调关系就由一条虚拟边来表示. 虚拟边的成本代表了这两个上下游运作之间的协调成本, 而虚拟边上并不承载实际物流.

用  $A$  代表所有的运作边的集合, 用  $B$  代表所有的协调边的集合, 那么  $L = A \cup B$  就是所研究的供应链经济的超网络模型的所有边的集合(有关超网络的理论及其应用, 参见文献[7]). 对于任何一条边  $a \in L$ , 记  $x_a$  为  $a$  上的流量.

对于一条运作边  $a \in A$ ,  $x_a$  表示在供应链经济中  $a$  这个营运环节所承载的工作量, 比如作为一个运输操作它的年运输总量. 注意, 根据每一条运作边所代表的不同营运运作, 其上的流量单位也因此可以不同, 比如从生产加工单位的零部件数量或者加工时数, 到运输部门的满载车量, 仓库的堆货面积等.

不失一般性, 假设所研究的供应链经济有  $m$  个产品和  $n$  个市场, 而且每一个产品都有可能在不同的市场上投放, 那么就有一个  $mn$  个产品-市场对  $(i, j)$ ,  $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ . 记  $S_{ij}$  为  $(i, j)$  产品-市场对的所有市场链集合, 记  $s \in S_{ij}$  为其中任何一个市场链,  $X_s$  就是市场链  $s$  的流量, 也就是通过该市场链输送到市场  $(i, j)$  的终端产品数量. 记  $X_{(i, j)} = (X_s, s \in S_{ij})$  为所有投放到市场  $(i, j)$  的市

场链链流量的向量,  $\mathbf{X} = (X_s, s \in S)$  则为该供应链经济的所有市场链链流向量.

由市场需求拉动市场链的产出, 而市场链的终端产品产出量(即市场链链流)决定了上游各个运作边和协调边上的工作量以及原材料和资源的需求量(即边流量). 这个关系由各运作边的物料清单(bill of material)决定. 下面的营运系数定义由 Zhang<sup>[5]</sup>给出.

#### 定义 1(营运系数)

对任何一条市场链  $s$  和参与其中的一条运作边  $a$ ,  $a$  对于  $s$  的营运系数记为  $\lambda_{as}$ , 是市场链  $s$  生产一个单位的终端产品(或服务)运作边  $a$  所需要的工作量(或者原材料需求量或者能源消耗量).

#### 定义 2(边-链关联矩阵)

(运作)边- (市场)链  $\Delta = (\delta_{as})_{a \in A, s \in S}$  是一个  $|A| \times |S|$  零一矩阵, 其中

$$\delta_{as} = \begin{cases} 1, & \text{如果边 } a \text{ 属于链 } p, \text{ 则 } \delta_{ap} = 1 \\ 0, & \text{如果边 } a \text{ 不属于链 } p, \text{ 则 } \delta_{ap} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

于是就有边流量与链流量的守恒关系

$$x_a = \sum_{s \in S} \delta_{as} \lambda_{as} X_s, \quad \forall a \in A \quad (2)$$

假设运作边  $a$  的单位成本  $c_a$  是边流量  $x_a$  的函数, 协调边  $b$  的单位成本  $c_b$  是它所属的市场链  $s$  的流量  $X_s$  的函数, 即  $c_a = c_a(x_a)$ ,  $c_b = c_b(X_s)$ , 那么市场链  $s$  的单位成本就是

$$C_s = C_s(\mathbf{X}) = \sum_{a \in A} \delta_{as} \lambda_{as} c_a(x_a) + \sum_{b \in B_s} c_b(X_s) \quad (3)$$

由式(2)知,  $C_s$  不仅取决于它本身市场链的链流量  $X_s$ , 还取决于其它与之共用运作边的市场链的链流量.

从式(3)还可以看到, 市场链的成本不仅取决于它的节点企业的实际营运成本, 还取决于各个运作

边之间的协调成本,也就是构成市场链的企业之间的合作有效性.即使两个企业实际上目前并没有供应链的合作关系,但还是可以用虚拟的协调边来表示他们将来有可能的合作关系.正由于此超网络模型给出了所有可行的市场链结构.可以这样理解,这些市场链的超网络结构中一部分代表了目前存在的供应链关系,还有一部分代表目前尚未实现的供应链关系.而未实现的供应链关系完全有可能成为将来的供应链.这便是今天大家看到诸如并购和外包等供应链的动态演进.下面就哪些市场链可以理想生成展开进一步的探讨.

## 2 市场链的理想生成与动态演进

对于相同的产品市场,如果市场链1的单位成本高于市场链2的单位成本,那么市场链1会被市场链2击败而退出,或者被市场链2所取代.后一种说法更为妥当是因为供应链本身都是利益驱使的联盟,其中的企业因利益而结盟同样也会因利益而瓦解.瓦解的结果就导致新的供应链联盟的产生.具体来说市场链1的一些节点企业可能与其它企业一起组成新的市场链2.

将 $(i, j)$ 产品市场的价格记为 $p_{ij}$ ,市场需求 $d_{ij}$ 一般是市场价格 $p_{ij}$ 的函数,即 $d_{ij} = d_{ij}(p_{ij})$ .通常情况下, $d_{ij}$ 是 $p_{ij}$ 的单调下降函数.将所有市场的需求函数合并成为一个向量函数,即 $\mathbf{d} = (d_{ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ ,并将之称为市场需求(向量)函数.

下面给出供应链经济均衡的定义.在供应链经济达到均衡时,只有当市场链的单位成本等于市场价格时,该市场链才能够理想生成

$$C_s(\mathbf{X}^*) \begin{cases} = p_{ij}^* & \text{if } X_s^* > 0 \\ \geq p_{ij}^* & \text{if } X_s^* = 0 \end{cases} \quad \forall s \in S_{ij} \quad (4)$$

而且在供应链经济达到均衡时,产品总投放量不能超出市场需求,不然市场价格就等于零

$$\sum_{s \in S_{ij}} X_s^* \begin{cases} = d_{ij}(p_{ij}^*) & \text{if } p_{ij}^* > 0 \\ \geq d_{ij}(p_{ij}^*) & \text{if } p_{ij}^* = 0 \end{cases} \quad \forall i, j \quad (5)$$

### 定义3(供应链经济的均衡)

称所有市场链的链流向量 $\mathbf{X}^* = (X_s^*, s \in S_{ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ 和所有产品市场的市场价格向量 $\mathbf{p}^* = (p_{ij}^*, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n)$ 为供应链经济的均衡,如果它们同时满足不等式(4)和式(5).

Zhang<sup>[5]</sup>给出了有固定市场需求的供应链经济

均衡的变分不等式模型.下面以定理形式给出具有弹性需求的供应链经济均衡的变分不等式表示.

### 定理1(变分不等式表示)

$(\mathbf{X}^*, \mathbf{p}^*)$ 是一个供应链经济当且仅当它满足以下的变分不等式

$$\sum_{i,j} \left[ \left( \sum_{s \in S_{ij}} X_s^* - d_{ij}(p_{ij}^*) \right) (p_{ij} - p_{ij}^*) + \sum_{s \in S_{ij}} (C_s(\mathbf{X}^*) - p_{ij}^*) (X_s - X_s^*) \right] \geq 0 \quad (6)$$

证明从略.参见文献[5]和文献[8].

### 定理2(存在性与唯一性)

当市场需求向量函数 $\mathbf{d}$ 和市场链单位成本向量函数 $\mathbf{C}$ 都是连续的时候,而且需求函数对于市场价格严格单调下降,单位成本函数对于市场链的流量严格单调上升的时候,供应链经济的均衡一定存在而且唯一.

证明从略.

需要指出的是供应链经济的均衡及其变分不等式表示的一些理论和实际意义.

a. 对于一类相关产品(或服务)的市场竞争为已知的情况下,供应链经济的均衡给出了参与竞争的市场链中哪一些是获胜的,即成功地占有了一部分市场.而且由变分不等式(6)可以计算出这些获胜供应链各自占有的市场份额——均衡链流量.更进一步可以由它们根据式(2)计算出参与获胜供应链的各个节点企业们所获得的工作订单量——均衡边流量.

b. 在一个相对不成熟的市场经济中,如果供应链还没有明确成形,可以根据相关企业的规模、产能和加工成本来估算它们的运作边单位成本,以及根据它们的各自地理位置和它们之间的历史合作经验及协调有效性来估算虚拟协调边上的单位成本.由此两种单位成本函数和运作边与协调边所构成的网络结构,利用变分不等式(6)计算出哪一些市场链会理想生成.以此分析给企业做出决策导向.

c. 现有的供应链机构未必是最合理或者最理想的供应链结构.在现实中也看到了它们的不断并购和调整外包以及淘汰一部分供应商等战略行为.由式(6)计算确定出的理想生成的市场链可能就是实际中供应链演进的方向.

d. 式(6)是一个不可分的(non-separable)变分不等式,而且它的Jacobeian矩阵是非对称的.因此当一个企业为两条或更多条供应链同时加工或服务的时候,这些供应链之间就有可能产生干扰,而且这

样的干扰也不对称.

e. 模型中的每一条运作边代表一个特别的制造、加工、配送、运输或者其它营运服务.但是实际中的一个企业可以负责多个营运范围.因此模型中的一条运作边并不是指一个企业而是指一个企业的某一项营运活动.所以可以有多个运作边实际上为同一个企业操控.

f. 协调边的成本不容易确定.可以根据它们所链接的两个节点企业之间的地理位置和距离(越近的成本越低)和它们是否过去有合作的经验,以及他们是否有 B2B 的联网等因素来分析和估算.

在供应链经济的超网络模型中,将任何两个有可能进行(制造加工或者服务过程的)上下游协作的运作边之间都加上一条虚拟的协调边,即使这两条运作边实际上并没有供应链的协调关系,或者根本不属于同一个供应链.如果将企业之间的联盟和协调看作一个学习和改进过程,那么协调边的单位成本就是一带时间变量  $t$  的参数函数,即  $c_b = c_b(X_x, t)$ . 可以用投影动态系统来刻画供应链经济中的市场链动态演进过程.在这样的演进过程中,市场链的流量是时间  $t$  的函数,即  $X_s = X_s(t)$ ,  $\forall s$ , 而它们的变化方向即  $\dot{X}(t)$  就是市场价格减去市场链单位成本对可行域的投影,也就是变分不等式(6)中的向量函数的投影.根据文献[9]这个动态演进的平衡点(equilibrium)恰恰是供应链经济的均衡点,即理想生成的市场链.

### 3 研究方向

有关供应链经济的很多宏观问题,诸如供应链与供应链的竞争、供应链的链际干扰、供应链的生成与演进、以及经济大环境下供应链的结构稳定性问题等等都是国家和地区政府以及企业界重视的问题.目前对这些问题还少有定量模型和研究结果.本文提出的供应链经济的超网络模型可以对这一类问题的研究提供一个初步的平台.这个模型的不足之处是实际应用时对协调边上成本函数的估算存在困难.另外,对于运作边的成本对市场链的摊派本文作出了一个一致性的简化假设,而实际情况往往不是这样.比如对于采购或者制造运作的大订单会有价

格折扣.文献[6]中有更为一般的成本摊派模型,但是还没有从实际问题中提出的具体摊派研究.在这个基本的成本竞争模型上可以加入企业的收费和价格竞争,从而提出更加符合实际的供应链竞争模型.另一个方向是引进顾客偏好的概念以及研究有误差的选择模型.

**致谢:** 在本文完成的过程中受聘为南京理工大学紫金学者讲座教授和上海大学自强学者讲座教授,对这两所大学提供的办公条件和生活津贴表示衷心的感谢.

#### 参考文献:

- [1] CORBETT C, KARMARKAR U. Competition and structure in serial supply chains with deterministic demand [J]. *Management Science*, 2001, 47(7): 966 - 978.
- [2] NAGURNEY A, DONG J, ZHANG D. A supply chain network equilibrium model [J]. *Transportation Research E*, 2002, 38: 281 - 303.
- [3] DONG J, ZHANG D, NAGURNEY A. A supply chain network equilibrium model with random demands [J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 156: 194 - 212.
- [4] ZHANG D, DONG J, NAGURNEY A. *Innovations in Financial and Economic Networks* [M]. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2003: 197 - 213.
- [5] ZHANG D. A network economic model for supply chain versus supply chain competition [J]. *Omega: The International Journal of Management Science*, 2006, 34: 283 - 295.
- [6] CAVINATO J L. A total cost/value for supply chain competitiveness [J]. *Journal of Business Logistics*, 1992, 13(2): 285 - 301.
- [7] NAGURNEY A, DONG J. *Supernetworks: Decision-Making for the Information Age* [M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2002.
- [8] NAGURNEY A. *Network economics: A variational inequality approach* [M]. 2nd. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [9] NAGURNEY A, ZHANG D. *Projected dynamical systems and variational inequalities with applications* [C] // Volume in the International Series in Operations Research and Management Science. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1996.