

·供应链与区块链·

确定需求下供应链网络的最优结构和竞争力研究



□冯毅¹ 林兵²

[1. 电子科技大学 成都 61731; 2. 江苏师范大学 徐州 221116]

[摘要] **【目的/意义】** 大部分的供应链包括多个层级, 每个层级有多家企业参与竞争, 位于上个层级的企业向相邻的下个层级的企业供应零部件。目前, 这个领域的相关研究还较少。**【方法/设计】** 通过归纳和优化分析作为研究手段和方法, 研究了一个多层级的供应链网络, 供应链网络上每层级的需求和价格有线性关联关系。**【结论/发现】** 供应链网络的最优结构是在下游层级相比上游层级有更多的企业; 供应链网络总的供应量是供应链网络层级数量的减函数, 并且竞争力指数从供应链网络的下游往上游逐级递增。同时, 针对一些商业情形, 当需求是固定的情况下, 最优的供应链网络结构是在供应链网络的末端且只有一家企业; 另外, 关于竞争力指数的结论在这种情形下也不成立。这些结论说明了供应链网络下游层级的重要性, 也同时为商业实践提供了一些洞见。

[关键词] 网络层级; 竞争指数; 最优结构; 供应链网络

[中图分类号] F272

[文献标识码] A

[DOI] 10.14071/j.1008-8105(2021)-3013

The Optimal Structure and Competitiveness of Network Supply Chain Under Deterministic Demands

FENG Yi¹ LIN Bing²

(1. University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731 China;

2. Jiangsu Normal University Xuzhou 221116 China)

Abstract [Purpose/Significance] Most supply chains consist of multiple tiers, with multiple companies at each tier, and companies at an upper stream tier supply parts or products to the downstream tier. At present, the research in this area is still rare. [Design/Methodology] In this paper, we investigate a multitier network supply chain model with a linear price dependent function by inductive analysis and optimization methods. [Conclusions/Findings] The optimal structure of the network supply chain tends to have more companies at the downstream tier; the total supply of the network is a decreasing function of the total tier number of the network, and the competitiveness index increases upwards along the chain. However, it is found that the optimal structure has only one company at the downstream tier when the demand is fixed for some business scenario, with the same model configuration. In addition, the result of the increasing competitiveness index upwards along the chain does not hold for this scenario. The findings demonstrate the importance of the downstream tier supply chain network, and imply some insights in business.

Key words network chain tier; competitive index; optimal structure; supply chain network

[收稿日期] 2021-03-08

[基金项目] 国家社会科学基金资助项目(17XGL011, 18BGL108); 国家自然科学基金资助项目(71871045); 电子科技大学双一流研究课题(Y030190261010020631)。

[作者简介] 林兵(1969-)男, 博士, 江苏师范大学商学院副教授。

[通信作者] 冯毅(1970-)男, 博士, 电子科技大学经济与管理学院副教授、博士生导师。Email: fengyi@uestc.edu.cn.

引言

在商业社会中我们非常容易观察到网络供应链,即包含了多个层级的供应链。例如,在医药制造行业,大部分的药品制造企业有上游的化学原料供应商,也有下游的药品销售企业或机构,如众多的药店或医院。在供应链网络的每个层级,有很多因素在影响层级内企业的竞争和利润,如层级内企业的数量,与上下游企业的议价能力等。正如Adida和DeMiguel所指出的:供应链的学术研究和供应链的商业实践存在着差距,供应链的学术研究大多关注在供应链两层级,一对一,一对多或多对一的关系,而供应链的实践却要复杂得多^[1]。另外,对于整个网络供应链,供应链的结构形式(主要指供应链网络的层级数量,以及每个层级的企业数量),网络供应链的成本结构,市场需求对企业竞争和利润的影响等在学术研究中还不是很清楚^[2]。

本文首先研究一个多层级,每层级多家企业参与的网络供应链。在第一层级,企业把产品销售给终端客户,终端客户的总需求是确定的,非随机的;每家企业的销售价格是由该企业的生产量和同层级其他企业的生产量来共同决定的。对于不同于第一层级的其他层级,上游层级供应原材料或零配件给下游层级以满足下游层级企业的需求。本文的研究目的是研究该网络供应链的最优结构和竞争性;其次,在一些商业情形下,市场需求是相对固定的,因此本文也研究了在同样供应链网络结构下市场需求固定的情形,尤其关注其最优网络供应链结构的差异。本文试图去回答市场需求的不同设置对供应链网络结构的影响。

在本文研究的模型中,首先设置市场需求是确定的,非随机的,并与产品价格存在线性关系。这种设置在研究中比较常见,经济学研究文献如Singh和Vives^[3],Häckner^[4]等;运营管理的研究文献如Bárcena-Ruiz和Garzón^[5],Adida和DeMiguel^[1],以及Adida, Bakshi和DeMiguel^[6]等都做了类似设置。本文研究的市场需求确定,并且固定的情形在一些商业实践中也是比较普遍的。例如在医药行业一些遗传性的或与基因相关的造成抑郁疾病的比例是相对固定的,因此此类药物的需求也是固定的^①;另外,一个区域的日常用品也可认为其需求是相对固定的。

对上述两个模型的分析,本文发现虽然只是在市场需求设置上的不同,但对于两个模型而言,整

个网络供应链的利润都只和第一层级的企业数量相关,与其他层级的企业数量无关。但是,对于需求与价格呈线性关系的第一个模型而言,最优的结构是在第一层级有更多的企业好;并且沿着供应链下游往上游的方向,竞争力指数得到提升。相反,对于市场需求固定的第二个模型,最优的结构是在第一层级只有一家企业,第一个模型中的竞争力指数的结论并不成立。从上可见,即使是同样的供应链网络模型,由于市场需求的不同,最优的供应链网络结构、竞争力指数以及利润都有本质性的变化。

一、文献综述

本文主要研究网络供应链结构以及网络供应链成本结构对网络供应链绩效的影响,以及市场需求对网络供应链结构、网络供应链层级的竞争力以及各层级企业的生产和定价决策的影响。因此,文献综述将专注于网络供应链的结构、模型设置以及绩效方面的研究。

对于在网络供应链方面的研究,Corbett和Karmarkar研究了基于产量竞争(Cournot 竞争框架)的各层级产品相同、价格相同的多层级供应链模型^[2]。该文章发现产品的价格和生产数量受其他层级企业数量的影响,任一层级企业数量的增加也会使其他层级的企业数量增加。Saggi和Vettas研究了两个供应商销售一个产品给下游的一个零售商的两层级供应链,并给出了供应链上的均衡策略^[7]。Ha和Tong研究了两个竞争性的供应链,分析了信息共享在供应链竞争中的优势作用^[8]。Majumder和Srinivasan研究了一个网络供应链,在这个网络供应链中任何一家企业都可能是供应链的领导者及领导地位对供应链效率的作用^[9]。对于一个有多家制造商,多家零售商,并且制造商是Stackelberg博弈领导者的两层级供应链,Adida和DeMiguel进一步研究了产品和零售商差异性、随机需求以及零售商风险规避态度对供应链均衡策略及其绩效的影响^[1]。Li等考虑了一个多条供应链竞争的模型,发现共享降低成本的花销能够有助于制造商增强市场份额和提升利润^[10]。Feng和Lu分析了一个两层级供应链,每层级的供应商和零售商有竞争博弈,而博弈的方式能够决定性地影响企业对合约方式的偏好,从而决定均衡合约^[11]。采用实证研究,Agrawal, van Wassenhove和Meyer发现在更好管理采购的问题上,不仅需要和供应商建立联系,还需要和供应商的供应商建立联系^[12]。Federgruen和Hu分析了一个多层级的供应链,每层级上多家企业参与进行价格

博弈, 文章建立了线性价格合约的均衡策略, 以及供应链的结构模型参数变化对供应链网络均衡的影响^[13]。Adida, Bakshi和DeMiguel建立了一个三层级的零售商驱动的网络供应链模型, 研究中间商在供应链网络中的作用, 并发现对中间商而言供应商太多或太少都对其利益不利^[6]。

国内在网络供应链领域的研究不算多, 唐喜林、赵曙蔚考虑了两家竞争企业各自整合其上游的一家供应商进行供应链竞争的Cournot模型, 并分别考虑了信息对称和不对称的情形^[14]。关旭、马士华、肖庆研究了一个由多个供应商分别加工出各种零部件后同步供货给制造商, 然后装配成产品的网络供应链系统^[15]。

二、需求不固定的多层级网络供应链模型

我们首先考虑第一个网络供应链模型: 该网络供应链包含 m 个层级, 并且产品价格和产量具有线性关系。不同的供应链会有不同的层级, 本文研究一般化的网络供应链, 因此假设网络供应链总层级为 m ($m > 2$)。在层级1, 有 n_1 家企业有竞争性地销售商品给终端客户。层级1也被称作终端层级。在该层级, 企业 i 的商品价格定义为 $p_{1,i}$, 该价格由该企业的生产数量 $q_{1,i}$ 和其他同层级企业的生产数量 $q_{1,j}$ 共同决定。价格和产量的关系如下:

$$p_{1,i} = a_1 - b_1 q_{1,i} - b_2 \sum_{j=1, j \neq i}^{n_1} q_{1,j} \quad (1)$$

其中, a_1 表示在市场没有可供应的该产品时顾客愿意支付的价格, b_1 表示该企业产量对价格影响的参数, b_2 表示其它企业产量对价格影响的参数。公式(1)表示了市场上产品数量和价格的竞争关系。

对一家在层级1的企业 i , 其利润函数如下:

$$\Pi_{1,i} = (p_{1,i} - c_{1,i} - p_{2,i})q_{1,i} \quad (2)$$

其中 $c_{1,i}$ 是该企业的生产处理成本, $p_{2,i}$ 是企业从层级2的企业中采购零部件的采购成本, 也即层级2的供应企业的销售价格。

在层级2有 n_2 家企业供应零部件给层级1的企业。这里, 我们设定层级2的供应量应等于层级1的需求量, 即:

$$\sum_{j=1}^{n_2} q_{2,j} = \sum_{j=1}^{n_1} q_{1,j}$$

其中 $q_{2,j}$ 是层级2的企业 j 的生产量。层级1的一家企业可以从层级2的一家或多家企业采购, 同理, 层级2的一家企业可以提供零部件给一家或多家在层级1的企业。但层级1的企业只能从层级2进

行采购, 而层级2的企业也只能销售产品给层级1的企业。上述采购-供应关系同样适合于网络供应链上的任何相邻的两个层级。

同理, 在层级 k , 有 n_k 家企业供应商品给层级 $k-1$ 。层级 k 总的供应量等于层级 $k-1$ 的总需求量, 并且也等于层级1的总供应量, 即:

$$\sum_{j=1}^{n_k} q_{k,j} = \sum_{j=1}^{n_1} q_{1,j} \equiv Q_1 \quad 1 < k \leq m \quad (3)$$

其中, $q_{k,j}$ 是层级 k 上的企业 j 的产量; Q_1 是层级1的总供应量。由于层级1上的商品全部提供给了终端客户, 因此市场总需求可以认为等于网络供应链的总供应量。由于两者相等, 因此在下文中总市场需求和总供应量可互换使用。显然在该模型中, 总的供应量或总的市场需求量不是固定的。

公式(3)也揭示了市场的总需求对整个网络供应链是公共知识。由于信息技术的发展, 在全球市场上或行业的任何需求变化可以在瞬间传遍全球, 因此上述假设是合理的。

为了更好地分析系统的特性, 获得系统的一些洞见, 本文采用在Corbett和Karmarkar^[2]以及Adida, Bakshi和DeMiguel^[6]等文章中的类似做法, 假设同层级的处理成本相同, 即: $c_{k,i} \equiv c_k$ ($1 \leq k \leq m$) 其中: $c_{k,i}$ 是层级 k 中企业 i 的处理成本。由于处理成本相同, 因此在同一层级的企业可以认为是对称的, 同层级的企业的产量和定价也将会是相同的, 即: $p_{k,i} \equiv p_k, q_{k,i} \equiv q_k$, 其中 $1 \leq k \leq m$, 且 $p_{k,i}, q_{k,i}$ 分别是层级 k 中企业 i 的定价和产量。

为便于阅读, 我们将用到的符号和对应的说明整合为下表1。

表 1 符号及说明

符号	说明
m	网络供应链总的层级数
n_i	网络供应链层级 i 的企业数
a_1	当市场上无产品供应时客户愿意支付的价格
b_1	某生产企业的产量对其产品价格的影响系数
b_2	同层级其他企业的生产量对一企业产品价格的影响系数
p_{ji}	层级 j 上企业 i 的销售价格
p_j	层级 j 上的相同商品销售价格, $p_{ji} \equiv p_j$
q_{ji}	层级 j 上企业 i 的产量
q_j	层级 j 上的企业的相同产量, $q_{ji} \equiv q_j$
Q_1	市场总需求, 等于网络供应链的总供应量
c_{ji}	层级 j 上企业 i 的处理成本
c_j	层级 j 上的企业的相同处理成本, $c_{ji} \equiv c_j$

为了研究网络供应链的优化结构和相关最优决策, 本文主要关注下面三个研究问题: (1) 在网络供应链上每个层级上的企业的最优定价和产量决策是怎样的? (2) 网络供应链的优化结构是怎样的? (3) 在网络供应链上, 各层级的竞争性指数

是如何变化的?

这里我们定义稳定的网络供应链为网络供应链处在一个均衡的状态,即每层级的每一家企业都能够优化自己的决策。由于每一家企业都优化了自身的利润,因此在整个网络供应链上,没有一家企业有动机去改变生产或定价决策,因此网络供应链是稳定的。

命题1. 对于一个 m 层级的对称的网络供应链,每层级的最优产量和定价如下:

对层级1,

$$\begin{aligned} p_1 &= a_1 - \frac{b_1 + b_2(n_1 - 1)}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)}(a_1 - c_1 - p_2), \\ q_1 &= \frac{a_1 - c_1 - p_2}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)}; \end{aligned} \quad (4)$$

对层级 k ($1 < k < m$),

$$\begin{aligned} p_k &= \frac{a_1 - c_1 - \cdots - c_{k-1} + c_k + p_{k+1}}{2}, \\ q_k &= \frac{n_1}{2^{k-1}n_k} \frac{a_1 - c_1 - \cdots - c_k - p_{k+1}}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)}; \end{aligned} \quad (5)$$

对层级 m ,

$$\begin{aligned} p_m &= \frac{a_1 - c_1 - \cdots - c_{m-1} + c_m}{2}, \\ q_m &= \frac{n_1}{2^{m-1}n_m} \frac{a_1 - c_1 - \cdots - c_m}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)}. \end{aligned} \quad (6)$$

本文的证明请见附录。命题1提供了一个计算网络供应链上各层级企业定价和产量的基本方法。由命题1可见,最后的层级 m 的产量和定价决策可由(6)式直接算出,其他层级的决策可由式(5)和(4)反算出来。因此,由命题1可知网络供应链上每层级的每一家企业都得到了优化。由命题1,可以求得每层级企业的产量和定价决策如下:

定理1. 对于一个 m 层级的对称的网络供应链,各层级的最优产量和定价如下:

对层级 k ($1 < k \leq m$),

$$p_k = \frac{(2^{m-k+1} - 1)(a_1 - c_1 - \cdots - c_{k-1}) + c_k + \cdots + c_m}{2^{m-k+1}}, \quad (7)$$

$$q_k = \frac{1}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)} \frac{n_1}{n_k} \frac{a_1 - c_1 - \cdots - c_m}{2^{m-1}}. \quad (8)$$

$$\text{对 } k=1, \quad q_1 = \frac{1}{2^{m-1}} \frac{a_1 - c_1 - \cdots - c_m}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)},$$

$$p_1 = a_1 - \frac{b_1 + b_2(n_1 - 1)}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)} \frac{a_1 - c_1 - \cdots - c_m}{2^{m-1}}. \quad (9)$$

从定理1可见,层级 k 的定价 p_k 与网络供应链的成本结构、网络供应链的总层级数及当前层级数相关,而不与其他层级的定价、网络供应链各层级的企业数量等相关。层级 k 的产量 q_k 与在产量与价格函数中产量对价格影响的两个参数、当前层级和第一层级的企业数量以及网络供应链的成本结构相关。

从定理1也可以看出,网络供应链结构主要指的是定价与产量的关系函数(式(1))、总的层级数 m 和各层级的企业数 n_k , $1 \leq k \leq m$,以及在各层级的成本结构即 c_k ; $1 \leq k \leq m$ 。如果上述的参数和函数确定了,根据定理1,网络供应链上各层级企业的定价和生产决策就确定下来了。

由式(8)可得 $Q_1 = n_k q_k = \frac{n_1}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)} \frac{a_1 - c_1 - \cdots - c_m}{2^{m-1}}$, 即是网络供应链在终端即层级1供给终端客户的总供应量,这个数值由网络供应链的成本结构、在层级1的企业数量以及网络供应链总层级数来决定。下面的命题2说明了相关的结论。

命题2. 对于一个 m 层级的对称的网络供应链,

(1) 如果 $2b_1 \geq b_2$,那么网络供应链总的供应量是层级1企业数量 n_1 的增函数;否则,则是 n_1 的减函数;(2) 网络供应链总的供应量是层级 j 处理成本 c_j , $1 \leq j \leq m$ 的减函数;(3) 网络供应链总的供应量是总层级数 m 的减函数。

大多数情况下 $b_1 \geq b_2$ 成立,因为该不等式的意思是企业自身的产量对其产品价格的影响要比同层级其它企业的产量对这家企业产品价格的影响要大。只有在一些特殊情况下,上述不等式才不成立,如某层级由为数不多的几家大企业垄断,这几家大企业的产量变化对小企业产品价格的影响可能会更大一些,本文将不讨论这种情形。如果 $b_1 \geq b_2$ 成立,命题2(1)指出为提升市场供应量,最好在层级1有更多的企业。命题2(2)比较直观:任一层级的处理成本上升,就意味着供应链总的处理成本 $c_1 + \cdots + c_m$ 上升,这将导致总的市场供应量下降。命题2(3)指出如果网络供应链的层级越长,那么总的供应量将会降低。这可能命题2

(2)的直接应用:增加一个层级,也就意味着供应链总的处理成本上升,从而降低了总的市场供应量。实际上,由命题2(3)可知,为增加网络供应链的供应量,在商业实践中普遍采用垂直兼并(Vertical Merge/Integration)或水平兼并(Horizontal Merge/Integration)^②。垂直兼并由于成本的整合可以降低层级的处理成本,而水平兼并则可以缩短供应链的层级数。此结论与Greenhut和Ohta^[16]; Ziss^[17]; Cho和Wang^[18]的研究一致。可见命题2为相应的商业实践提供了理论支撑。总结起来,命题2提供了三个方法来提升网络供应链的总供应量:在层级1增加企业数量;降低供应链的处理成本;缩短供应链的层级。

接下来,我们将研究网络供应链的利润函数。首先,网络供应链的利润函数可定义为:

$$\Pi(n_1, \dots, n_i, \dots, n_m) = n_1 \Pi_1 + \dots + n_i \Pi_i + \dots + n_m \Pi_m \quad (10)$$

其中 $\Pi(n_1, \dots, n_i, \dots, n_m)$ 表示网络供应链的利润, 向量 $(n_1, \dots, n_i, \dots, n_m)$ 中第 i 个位置的值表示层级 i 的企业数量。这里, 该向量指的是在层级 1 有 n_1 家企业, 层级 i 有 n_i 家企业, 最后一个层级 m 有 n_m 家企业。 $\Pi_i (1 \leq i \leq m)$ 如前所定义, 为在层级 i 的一家企业的利润。因此, 式 (10) 表示了网络上所有层级的供应链利润。对各层级的利润和整个网络供应链利润, 我们有下面的结论。

命题3. 对于一个 m 层级的对称的网络供应链,

$$\begin{aligned} (1) \text{ 对层级 } i, 1 < i \leq m, \text{ 其层级利润为 } & \frac{n_i}{2^{2m-i}} \frac{(a_1 - c_1 - \dots - c_m)^2}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)}; \text{ 对层级 } 1, \text{ 其利润为 } \frac{n_1 b_1}{2^{2(m-1)}} \frac{(a_1 - c_1 - \dots - c_m)^2}{[2b_1 + b_2(n_1 - 1)]^2}; \\ (2) \text{ 层级的利润是其层级} & \text{ 数的增函数}; \\ (3) \Pi(n_1, \dots, n_i, \dots, n_m) = & \frac{n_1 b_1}{2^{2(m-1)}} \frac{(a_1 - c_1 - \dots - c_m)^2}{[2b_1 + b_2(n_1 - 1)]^2} + \frac{n_1(2^{m-1} - 1)}{2^{2(m-1)}} \frac{(a_1 - c_1 - \dots - c_m)^2}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)} \end{aligned}$$

从命题3可以看出, 层级1的企业数量非常重要, 它对各层级的利润甚至包括整个网络供应链的利润都有影响。然而, 其他层级的企业数量却没有这样的影响。

由命题3 (3) 可见, 层级1的企业数量是网络供应链利润 $\Pi(n_1, \dots, n_m)$ 的关键决定因素之一。下面的定理2研究了网络供应链的优化结构。

定理2. 对于一个 m 层级的对称的网络供应链, 假设 $b_1 \geq b_2$, 网络供应链的利润是层级1企业数量 n_1 的增函数。

定理2意味着网络供应链的最优网络结构是在层级1有更多的企业。

层级1企业数量能够影响其他层级的利润以及整个网络供应链的总利润, 且如定理2所述, 在层级1企业数量的增加能够提升整个网络供应链的总利润。其主要原因在于层级1直接面对终端的需求, 如命题2所示, 层级1企业数量的增加就会增大终端的总需求量。层级1企业数量的增加也会导致竞争的激烈, 使产品价格下降从而产生更多的需求。因此, 终端需求的增大帮助了整个网络供应链利润的增长。

接下来, 我们讨论网络供应链上的竞争力。这里, 我们定义 $\alpha_i = \frac{p_i - c_i - p_{i+1}}{p_i}$ 表示一家在层级 i 的企业收取超过边际成本的价格的能力。显然, 如果这家在层级 i 的企业的议价能力越高, α_i 就会越大。 α_i 也被称为层级 i 的竞争力 Lerner 指数^[19]。对竞争力

指数, 有下面的结论。

命题4. 对于一个 m 层级的对称的网络供应链, $\alpha_i = \frac{a_1 - c_1 - \dots - c_m}{2^{m-i+1}(a_1 - c_1 - \dots - c_{i-1}) - (a_1 - c_1 - \dots - c_m)}$, 且 α_i 是企业所在层级数 i 的增函数, 是网络供应链总层级数 m 的减函数。

由命题3可知层级的利润越靠近层级1越低。命题4则进一步说明层级的竞争力指数也是越靠近层级1越低。这个结论在核心资源掌握在上游企业的网络供应链中可以观察到。例如, Feng, Liu 和 Deng^[20] 描述了长三角的原油-石化-化纤-纺织的网络供应链: 石油开采企业把原油供应给石化企业, 石化企业进行加工处理再将部分产品销售给化纤企业, 化纤企业把石化原材料加工处理为化纤并销售给纺织企业进行加工。在这个网络供应链中, 上游的层级企业由于离关键的石油资源越近, 因此议价能力越强。

总结可见, 对于市场需求可由网络供应链进行调节的模型, 有一些有意义的结论如下: (1) 降低供应链处理成本或缩短网络供应链的层级数都将有助于提高市场需求; (2) 整个网络供应链的利润主要由层级1的企业数量决定, 层级1的企业越多, 市场需求和整个网络供应链的利润越高; (3) 层级利润和其竞争力指数一样, 都是越靠近层级1越低。

三、需求固定的多层级网络供应链模型

由命题1的分析可知, 对于在层级1的一家企业, 其最优生产量为:

$$q_1 = \frac{a_1 - c_1 - p_2}{2b_1 + b_2(n_1 - 1)} \quad (11)$$

由于市场总的需求是固定的, 假设为 Q_1 , 因此 $Q_1 = n_1 q_1$ 。

改写式 (11) 可得:

$$p_2 = a_1 - c_1 - q_1 [2b_1 + b_2(n_1 - 1)]$$

由于 $n_1 q_1 = Q_1 = Q_2 = n_2 q_2$, 其中 Q_2 是层级2的总供应量, 因此

$$p_2 = (a_1 - c_1) - \frac{2b_1 + b_2(n_1 - 1)}{n_1} Q_1$$

设 $a_2 = a_1 - c_1$, $\tilde{b}_2 = \frac{2b_1 + b_2(n_1 - 1)}{n_1}$, 因为 $Q_1 = Q_2$, 因此:

$$p_2 = a_2 - \tilde{b}_2 Q_2$$

优化层级2的利润函数 $\Pi_2 = (p_2 - c_2 - p_3) q_2$ 时, 显然 Π_2 是 q_2 的凸 (concave) 函数, 因此其最优的生产量 q_2 为:

$$q_2 = \frac{a_2 - c_2 - p_3}{(n_2 + 1)\tilde{b}_2},$$

由于 $Q_2 = n_2 q_2 = \frac{a_2 - c_2 - p_3}{(n_2 + 1)\tilde{b}_2} n_2$, 因此, $p_3 = (a_2 - c_2) - \frac{n_2 + 1}{n_2} \tilde{b}_2 Q_2$.

设 $a_3 = a_2 - c_2$, $\tilde{b}_3 = \frac{n_2 + 1}{n_2} \tilde{b}_2$. 且因为 $Q_2 = Q_3$ 其中 Q_3 为层级3的总供应量, 因此

$$p_3 = a_3 - \tilde{b}_3 Q_3.$$

上述过程可以持续下去, 因此我们可以得到下面的结论。

命题5. 对于一个 m 层级的对称的网络供应链,

(1) 对层级 i , $2 \leq i \leq m$, 设 $\tilde{b}_i = \frac{n_{i-1} + 1}{n_{i-1}} \dots \frac{n_2 + 1}{n_2} \tilde{b}_2$

其中 $\tilde{b}_2 = \frac{2b_1 + b_2(n_1 - 1)}{n_1}$, 有下面结论:

$$Q_{i-1} = n_{i-1} q_{i-1} = Q_1 = \frac{a_{i-1} - c_{i-1} - p_i}{(n_{i-1} + 1)\tilde{b}_{i-1}} n_{i-1} \quad (12)$$

$$p_i = a_1 - c_1 - c_2 - \dots - c_{i-1} - \tilde{b}_i Q_1. \quad (13)$$

(2) 对层级 i , $1 < i < m$,

$$\text{层级 } i \text{ 的一家企业的利润为 } \frac{1}{n_i^2} \tilde{b}_i Q_1^2, \quad (14)$$

$$\text{层级 } i \text{ 的利润为 } \frac{1}{n_i} \tilde{b}_i Q_1^2, \quad (15)$$

在层级1的一家企业的利润为 $\frac{1}{n_1^2} b_1 Q_1^2$, 层级1的利润为 $\frac{1}{n_1} b_1 Q_1^2$.

(3) 最后的层级 m 不能被优化, 其层级利润为 $(p_m - c_m)Q_1$, 其中 p_m 由式 (13) 给出。

由命题5可以看出, 在网络供应链上的除了最后的层级 m 外其他所有层级都能够得到优化。对于最后的层级 m , 由于按照决策次序, 其定价决策 p_m 已在 $(m-1)$ 层级被设置了。因此, 层级 m 的企业不能优化自身利润而成为网络供应链上“最薄弱的环节”。

显然, 不同于需求不固定的多层级网络供应链中层级的利润主要由层级1上的企业数量来决定的结论, 由命题5可知, 对各层级的利润以及层级上企业的利润都与该层级及之前所有层级的企业数量相关。

同样, 我们可以计算出层级的竞争力指数 $\alpha_i = \frac{p_i - c_i - p_{i+1}}{p_i}$. 由命题5容易推出下面的推论:

推论1. 对层级 i , $2 < i < m$,

$$\alpha_i = \frac{\tilde{b}_i Q_1}{n_i p_i}, \quad (16)$$

且如果 $\alpha_i > \alpha_{i+1}$, 那么 $n_{i+1} > n_i + 1$.

对于在上文中讨论的需求不固定的模型, 由命

题3和命题4可知, 利润和竞争力指数都是越靠近层级1越低。然而, 对于需求固定的模型, 由命题5 (2) 和推论1可知上述的结论并不成立; 而且层级之间的竞争力指数大小也体现了其层级企业数量的变化。

下面我们讨论网络供应链利润, 同需求不固定模型下该利润定义为 $\Pi(n_1, \dots, n_i, \dots, n_m)$, 其中向量 $(n_1, \dots, n_i, \dots, n_m)$ 中第 i 个位置的值表示层级 i 的企业数量。下面的结论成立。

定理3. $\Pi(n_1, \dots, n_i, \dots, n_m) = \frac{1}{n_1} b_1 Q_1^2 + \left(a_1 - \sum_{k=1}^m c_k \right)$

Q_1 , $\Pi(n_1, \dots, n_i, \dots, n_m)$ 在 $n_1 = 1$ 取得最大值, 且与其他层级的企业数量无关。

与需求不固定中的模型和结论相比, 可见对两个模型而言, 网络供应链的利润都只与层级1的企业数量相关, 而与其他层级的企业数量无关。不同之处是对于需求不固定的模型, 最优的结构是在层级1有更多的企业, 而对于需求固定的模型, 其最优结构是在层级1只有一家企业。

显然, 虽然需求固定, 但层级1是其他层级的需求之源, 因此能够影响和决定整个网络供应链的利润。另外, 与需求不固定的模型不同, 需求固定的情况下无法通过各种手段增大需求, 因此通过一家企业来整合优化固定的需求, 设置最优的价格, 对整个供应链都是有好处的。

对于需求不固定的模型, 越靠近层级1的层级其竞争力指数就越低。然而, 当需求固定的情形下, 这个结论不成立。另外, 对于各层级的利润, 在需求不固定的模型中, 只有层级1的企业数量有作用。然后在需求固定的模型中, 一层级的利润与该层级之前的所有层级的企业数量都相关。重要的一点是, 在需求不固定模型中, 所有的企业都可以优化自身的利润, 而在需求固定的模型中, 存在一个层级无法优化自身利润。

上述需求固定结论给商业实践提供了一些洞见。首先, 层级1面对市场需求, 是至关重要的层级。其次, 对于需求不固定的模型, 在层级1行业内的兼并不是明智的决策, 因为在这种情形下优化的结构是层级1企业越多对整个网络供应链越好; 而上下游的垂直兼并值得鼓励, 这是因为垂直兼并能够减少网络供应链的层级数从而提升整个网络的产品供应量。最后, 对于需求固定的模型, 显然层级1行业内的兼并非常值得鼓励, 因为其优化结构是在层级1企业越少越好; 另外由于有最薄弱环节的存在, 因此需要特别关注该环节从而保障网络供应量的正常运营。

四、结论

本文研究了一个多层级、每层级多家企业的网络供应链模型的结构和竞争,刻画了每层级的生产和定价决策,以及每层级和整个网络供应链的利润。本文更进一步地探索了在同一网络供应链结构下,不同的市场需求设置对网络结构以及决策的影响。我们发现,在同一网络供应链结构下,市场需求受供应链生产量影响且不固定时,只有层级1的企业数量影响各层级以及整个网络供应链的利润;各层级的利润和竞争力指数从下游到上游逐级上升。与之相对比,当市场需求受供应链生产量影响且固定时,我们发现各层级的利润是受该层级及其下游层级的企业数所影响;并且类似于市场需求不固定的情形,网络供应链的利润只与层级1的企业数量有关而与其他层级的企业数量无关;然而在市场需求不固定模型中层级竞争力指数沿供应链上游上升的结论在这种情形下不成立。对前一种情形而言最优的网络供应链结构是在层级1企业越多越有利于整体的供应链利润;而在后一种情形下,最优的网络供应链结构是在层级1只有一家企业。因此,即使是同样的网络供应链结构,只有市场需求的不同就能使其供应链优化结构有本质性的差别。

本文的局限在于只考虑了确定性市场需求的情形。不确定性在市场端也是容易观察到的。因此,在网络供应链模型中考虑不确定性需求,并研究不确定性需求对网络供应链结构及绩效的影响是未来研究的一个有意义的方向。

注释

① <http://med.stanford.edu/depressiongenetics/mddandgenes.html>.

② <https://finance.yahoo.com/news/deals-day-mergers-acquisitions-103610409.html>.

参考文献

- [1] ADIDA E, DEMIGUEL V. Supply chain competition with multiple manufacturers and retailers[J]. *Operations Research*, 2011, 59(1): 156-172.
- [2] CORBETT C J, KAMARKAR U S. Competition and structure in serial supply chains with deterministic demand[J]. *Management Science*, 2001, 47(7): 966-978.
- [3] SINGH N, VIVES X. Price and quantity competition in

a differentiated duopoly[J]. *RAND Journal of Economics*, 1984, 15(4): 546-554.

[4] HÄKNER J. A note on price and quantity competition in differentiated oligopolies[J]. *Journal of Economic Theory*, 2003, 93(2): 223-239.

[5] BÁRCENA-RUIZ J C, GARZÓN M B. Mixed duopoly, merger and multiproduct firms[J]. *Journal of Economics*, 2003, 80(1): 27-42.

[6] ADIDA E, BAKSHI N, DEMIGUEL V. Supplier capacity and intermediary profits: can less be more?[J]. *Production and Operations Management*, 2016, 25(4): 630-646.

[7] SAGGI K, VETTAS N. On intrabrand and interbrand competition: the strategic role of fees and royalties[J]. *European Economic Review*, 2002, 46(1): 189-200.

[8] HA A Y, TONG S. Contracting and information sharing under supply chain competition[J]. *Management Science*, 2008, 54(4): 701-715.

[9] MAJUMDER P, SRINIVASAN A. Leadership and competition in network supply chains[J]. *Management Science*, 2008, 54(6): 1189-1204.

[10] LI H M, WANG Y, YIN R, et al. Target pricing: demand-side versus supply-side approaches[J]. *International Journal of Production Economics*, 2012, 136(1): 172-184.

[11] FENG Q, LU L X. Supply chain contracting under competition: bilateral Bargaining vs. Stackelberg[J]. *Production and Operations Management*, 2013, 22(3): 661-675.

[12] AGRAWAL A, VAN Wassenhove L N, MEYER A D. The sourcing hub and upstream supplier networks[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2014, 16(2): 238-250.

[13] FEDERGRUEN A, HU M. Sequential multiproduct price competition in supply chain networks[J]. *Operations Research*, 2016, 64(1): 135-149.

[14] 唐喜林, 赵曙蔚. 基于寡头市场的供应链间产量博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2007, 15: 420-422.

[15] 关旭, 马士华, 肖庆. 两种运作模式下加工-装配式供应链响应性比较分析[J]. *管理学报*, 2015, 12(12): 1840-1852.

[16] GREENHUT M L, OHTA H. Vertical integration of successive oligopolists[J]. *American Economic Review*, 1979, 69(1): 137-141.

[17] ZISS S. Vertical separation and horizontal mergers[J]. *Journal of Industrial Economics*, 1995, 43(1): 63-75.

[18] CHO S H, WANG X. Newsvendor merge[J]. *Management Science*, 2017, 63(2): 298-316.

[19] TIROLE J. The Theory of Industrial Organization[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 1988.

[20] FENG Y, LIU N, DENG M R. Customer-supplier relationships: an empirical research in the fiber and fabric industries of Chinese Yangtze River Delta [C]. Jinan: IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2007.

编辑 何婧