 编号: 1000-6788(2008)05-0020-09

4PL 模式下供应链资源整合决策的优化模型及算法分析

姚建明¹, 刘丽文²

(1. 中国人民大学 商学院, 北京 100872; 2. 清华大学 经济管理学院, 北京 100084)

摘要: 在第四方物流(4PL)模式下的供应链资源整合运作特征基础上,提出了基于主导因素评判的资源整合决策模式,建立了整合决策的优化数学模型,搭建了改进的蚁群寻优算法来实现整合决策优化过程的求解,最后通过算例仿真验证了算法的有效性与可行性。

关键词: 第四方物流(4PL); 供应链; 资源整合; 优化模型; 蚁群算法

中图分类号: F270

文献标志码: A

Optimization model and algorithm analysis on supply chain resources integration decision in 4PL

YAO Jian-ming¹, LIU Li-wen²

(1. School of Business, Renmin University of China, Beijing 100872, China; 2. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: It has been gradually demonstrated that the successful operation of the fourth party logistics in practice is an effective mode to integrate the complex supply chain resources relationally, efficiently and flexibly at present. In order to guide the operational practice by quantitatively analyzing the integration problem in 4PL, the integration decision optimization method based on the dominant factors judgment is put forward in this paper by analyzing the supply chain resources integration characters in 4PL mode. Then, the integration decision optimization model and the improved optimization ant algorithm are put up to solve this decision process. At last, the reasonability and feasibility of the method is discussed by a case simulation.

Key words: the fourth party logistics (4PL); supply chain; resources integration; optimization model; ant algorithm

长期以来,供应链资源整合过程普遍受制于“如何合理处理客户服务满意水平、资源整合成本与系统整合后运营收益三者之间的悖论关系”。因此,探索如何对复杂供应链资源进行整合、运作与监控,在满足客户需求水平前提下实现供应链各成员当前与长远收益最大化是一个必须解决的课题。由于第四方物流(the fourth party logistics, 4PL)模式的运作本质和核心优势在于它对供应链资源的整合能力方面,它可以通过整合最优秀的供应链资源(协作个体),充分发挥调配优质资源过程中的灵活性,为客户提供个性化、多样化的综合解决方案^[1]。因此,在4PL模式下进行供应链资源整合可以为上述悖论关系的解决创造条件,不论理论上还是实践中都将逐渐证明通过4PL模式对供应链资源进行整合已成为物流业发展的主导方向^[2~4]。

目前,针对4PL的研究大体可分为两类:一类从定性角度论述4PL宏观框架,如其概念的界定及发展的历史必然性、优点及意义、发展的前提条件等等^[5~8]。另一类则引入部分量化手段来研究4PL模式引导下的运作问题,如4PL模式下的路径优化问题、对3PL供应商的选择评估问题等等^[9,10],这些成果对搭建4PL的基本运作模式及引导该领域的研究方向具有极大的借鉴价值。而对4PL整合供应链资源这一复杂的系统性问题而言,目前尚未形成成熟的整合理论与量化标准来指导运作实践,这也是限制该模式在实际

收稿日期: 2006-10-23

资助项目: 国家自然科学基金(70532004); 国家自然科学基金委创新研究群体科学基金(70621061); 教育部人文社科基金项目(06JC630017); 中国博士后科学基金(20060400074)

作者简介: 姚建明(1974-),男,山西临猗人,主要研究方向:物流与供应链管理。

中运用、体现其优越性的一大瓶颈。为了从运作层面及量化角度对该整合决策过程进行分析,本文从系统性及整合价值增值的角度出发,通过挖掘及分析整合决策过程中的主导因素来进行相关的决策模型及求解算法的建立。

1 整合决策过程中的主导因素分析

从系统价值理论角度讲,实现 4PL 整合供应链资源的关键在于如何将某生产/服务活动对应的资源(包括系统所属各成员以及咨询提供商等等供应链个体)进行系统化集成,在满足各个体价值增值满意水平前提下,实现价值链的优化及运营中的价值增值。要实现这一过程,4PL 合理评判与选取优质资源是必须的,因而应该首先明确通过那些因素来把握个体的整合适宜度。

一般来讲,4PL 在整合生产企业、商业企业以及 3PL 等实体企业时,其整合侧重点在于这些企业在生产/服务活动中的物流与资金流运作水平状况。而对诸如管理咨询个体、信息技术支撑个体等实体企业的整合则偏重于他们在生产/服务活动中信息流运作水平的状况。同时,企业物流、信息流与资金流等基本要素的运作是彼此相关密不可分的。供应链资源整合的直接目的将是实现生产服务活动中物流、资金流以及信息流的合理流动与衔接顺畅,实现供应链系统的价值增值。因此,我们可以通过各资源个体在物流、信息流、资金流以及其他反映运作水平的硬环境因素来把握及衡量资源个体的整合适宜情况。

然而,作为一个系统性问题,4PL 在整合供应链资源时不仅是一个简单的个体优选问题,还是一个使系统运作水平提升的过程。在 4PL 整合策略下,一方面需对各参与个体的物流、资金流以及信息流等硬环境因素的运作水平进行改善;另一方面,应对协作个体的管理方式、组织结构以及业务流程等软环境因素进行有针对性的变革,从而使生产/服务活动的物流、资金流以及信息流等衔接顺畅,降低运作成本、提升效率。同时,也使得各成员的管理方式、组织结构以及业务流程等软环境因素的运作水平得到提高。所以,不论从系统性原理出发还是从价值链增值的角度考虑,4PL 整合供应链资源均应从决定系统个体运行水平的硬环境因素与软环境因素去改善。另一方面,针对特定生产服务活动而言,由于不同协作个体的自身状况存在差异,因而对不同个体的硬(软)环境因素运作水平提升所需投入的改善成本不同。不同的改善成本必将导致供应链资源整合成本高低的不同,这也是 4PL 进行资源整合决策时必须考虑的。

这里,将上述决定供应链系统运作水平以及资源个体运作水平的硬(软)环境因素称为资源整合中的主导因素。整合过程中围绕主导因素将存在诸多复杂的关系:首先,主导因素之间存在复杂的相互影响关系,即投入各主导因素的改善成本具有多重效用。在整合过程中,投入各因素运作水平改善的成本不仅改善其自身而且改善同一环境内部其他因素以及不同环境中各因素的运作状况。其次,4PL 整合过程具有复杂的输入输出关系。整合时,输入为整合成本,输出为供应链系统的整体运作水平。输入的整合成本将分别投入各硬(软)环境因素运作水平的改善过程中,通过 4PL 整合策略使各因素运作水平得到提高。整合过程的输出将主要体现在系统针对某项生产/服务活动的物流、资金流以及信息流等硬环境因素能否衔接顺畅与高效运作,同时也将辅助体现于系统的管理方式、组织结构以及业务流程等软环境因素的运作水平上。因此,整合时,输入的整合成本将遵循不同的比例分配到系统硬(软)环境因素的改善之中,同时遵循一定的比例关系分配到同一环境内部诸因素之间。

此外,整合决策时还需重视资源整合的动态性。整合的动态性是指 4PL 在进行资源整合时,供应链资源是动态变化的,即整合过程不仅针对既有资源,而且可以根据生产/服务活动的特定要求新建资源,以实现任务分配的系统性和高效性。这也是本文在构建整合优化模型及算法时所要考虑的。由于供应链体系及其所属企业所处环境及运作状况的差异决定了整合过程中主导因素的多样性,此外在实际运作过程中,除主导因素外,需基于长远收益目标考虑的诸因素(如个体信誉度、品牌整合价值、个体在市场中的地位、个体抗风险性、链式^[1]收益水平等)以及个体必须满足的基本约束条件也是非常重要的。为简化分析,下文仅集中选取上述六个主导因素作为整合决策过程的主要依据进行讨论。

2 整合决策的优化模型

2.1 模型建立的前提及相关说明

1)在构建整合决策优化模型之前,必须对主导因素的运作水平进行量化处理(运作水平的量化问题是一个复杂的系统性问题,详细讨论将在后续研究中给出),这里仅对其基本步骤简要描述如下:①作为整合决策方案的提供者,APL首先应对待整合资源个体进行广泛的调研,从调研中挖掘个体运行中决定各主导因素的主要子因素;②根据各子因素的运作特征设定对应的运作水平量表单位,并对其进行规范化处理,即: $f_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$. 其中 f_i 为某主导因素中第 i 个子因素的运作水平; x_i 为该被调研个体对应子因素运作水平的量表反映实际值; x_{\min} 和 x_{\max} 分别为所有待整合资源个体对应子因素运作水平量表值中的最小值和最大值;③根据各个体对各子因素的重要性判定的平均值,确定各子因素在决定该主导因素运作水平中的权重 w_i ;④根据权重及所计算出的 f_i 值确定各个体的主导因素运作水平,即 $F = f_i w_i$. 这里设定以下 2.2 小节中的各运作水平参数均已经过该规范化处理.

2)建立模型之前的调研分析不仅要每个个体的各主导因素运作水平进行合理量化,还要通过相关性分析挖掘出该个体各主导因素之间的复杂影响关系,从而明确针对该个体投入各主导因素的整合成本对改善其自身的贡献水平、对改善同一环境内部其他因素的贡献水平以及改善不同环境中各主导因素的贡献水平,如表 1 所示.表中关系由影响力度描述,遵循顺时针原则(如 H_{12} 表示管理方式投入成本对组织结构改善的影响力度、 R_{23} 表示组织结构投入成本对资金流运作水平改善的影响力度等等. S 和 V 则表示因素自身投入成本与运作水平改善之间的关系).在实际整合运作过程中,要得到合理的影响力度值必须通过详细的调研分析对每个个体各主导因素运作水平的根源进行指标细化及分类处理.而调研的成功必须得到各资源个体的密切配合,通过准确的成本核算方法及统计归纳方法进行量化计算.详细的计算方法及过程将在后续研究中给出,在进行以下建模及求解时设定该调研分析过程已经完成,各个体的影响力度数值为已知.

表 1 各主导因素间的影响力度表

硬环境因素			软环境因素		
Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	管理方式	H_{12}	H_{13}
Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	H_{21}	组织结构	H_{23}
Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	H_{31}	H_{32}	业务流程
物流	G_{12}	G_{13}	R_{11}	R_{12}	R_{13}
G_{21}	资金流	G_{23}	R_{21}	R_{22}	R_{23}
G_{31}	G_{32}	信息流	R_{31}	R_{32}	R_{33}
S_{11}	S_{22}	S_{33}	V_{11}	V_{22}	V_{33}

3)为了在模型的优化目标函数中使用无量纲参数实现多目标的合成,需要对目标函数中的整合成本及时限性容忍量这两个参数进行规范化处理.在对各个体的相关整合成本进行规范化处理时,转换基准将按照如下规则设定:设在待整合资源个体集合中,第 l 个主导因素运作水平的最小值所对应的个体为 p_l ;该个体将主导因素水平提升到当前个体集合中最大值所需投入整合成本为 c_l ,则设整合成本的规范化转换基准为 $c_B = \sum_{l=1}^L c_l$,其中 L 为主导因素的数量.设整合过程中各个体为提升各主导因素运作水所需投入的整合成本实际值为 c ,则在模型及算法中对所涉及成本的规范化量值为 $C = c/c_B$.这里设定 2.2 小节中各成本参数均已经过该规范化处理.

在对整合决策的时限性容忍量优化目标进行规范化处理时,将转换基准设定为 $t_{B,k} = t_{\text{end},k} - t_{\text{start},k}$.其中 $t_{\text{start},k}$ 为资源个体中针对某生产/服务活动中第 k 类任务所能提供的最早起始时刻; $t_{\text{end},k}$ 为针对该类任务所能提供的最迟结束时刻.模型中对时限性容忍量的规范化量值处理方法见 2.2 小节参数说明中所示.

2.2 模型设定及参数说明

· 设 4PL 针对某生产/服务活动所需整合的供应链资源(系统个体类别,包括既有的和新建的个体)为

K 类 索引为 k .

- 设各种类中可供整合的个体数为 M_k , 每个个体索引为 i_k .

- 设 4PL 对供应链系统整合后的综合运作水平拟定期望值为 \bar{F} . 其中, 对系统的物流运作水平、资金流运作水平以及信息流运作水平的拟定期望值分别为 $\overline{F_{\text{Log}}}$ 、 $\overline{F_{\text{Cap}}}$ 和 $\overline{F_{\text{Inf}}}$; 而对管理方式变革、组织方式变革以及作业流程改善后的拟定期望水平分别为 $\overline{F_{\text{Man}}}$ 、 $\overline{F_{\text{Org}}}$ 和 $\overline{F_{\text{Pro}}}$.

- 设在 4PL 整合前, 个体 i_k 的物流运作水平、资金流运作水平以及信息流运作水平的实际值分别为 F_{Log, i_k} 、 F_{Cap, i_k} 和 F_{Inf, i_k} , 整合后的实际值分别为 F_{Log, i_k}^* 、 F_{Cap, i_k}^* 和 F_{Inf, i_k}^* .

- 设在 4PL 整合前, 个体 i_k 的管理方式水平、组织结构水平以及运作流程水平的实际值分别为 F_{Man, i_k} 、 F_{Org, i_k} 和 F_{Pro, i_k} , 整合后的实际值分别为 F_{Man, i_k}^* 、 F_{Org, i_k}^* 和 F_{Pro, i_k}^* .

- 设在 4PL 整合后, 个体 i_k 各主导因素运作水平的改善增量分别为 $\Delta F_{\text{Man}, i_k}$ 、 $\Delta F_{\text{Org}, i_k}$ 、 $\Delta F_{\text{Pro}, i_k}$ 和 $\Delta F_{\text{Log}, i_k}$ 、 $\Delta F_{\text{Cap}, i_k}$ 、 $\Delta F_{\text{Inf}, i_k}$. 则有 $\Delta F_{\text{Man}, i_k} = F_{\text{Man}, i_k}^* - F_{\text{Man}, i_k}$ 成立, 其余各因素均具有此类似关系.

- 设供应链整合过程中, 为改善个体 i_k 的软环境因素所投入的总成本为 C_{Soft, i_k} . 其中, 为改善管理方式变革水平、组织方式变革水平以及作业流程变革水平所投入的成本分别为 $\Delta C_{\text{Man}, i_k}$ 、 $\Delta C_{\text{Org}, i_k}$ 和 $\Delta C_{\text{Pro}, i_k}$.

- 设整合过程中, 为改善硬环境因素所投入的总成本为 C_{Hard, i_k} . 其中, 对物流运作水平的改善、资金流运作水平的改善以及信息流作业水平改善所投入的成本分别为 $\Delta C_{\text{Log}, i_k}$ 、 $\Delta C_{\text{Cap}, i_k}$ 和 $\Delta C_{\text{Inf}, i_k}$.

- 定义变量 δ_{i_k} , 如果个体 i_k 被作为 4PL 的整合对象 $\delta_{i_k} = 1$; 否则, $\delta_{i_k} = 0$.

- 设个体 i_k 为该生产/服务活动中第 k 类任务提供的质量为 Q_{i_k} , 而该类任务实际所需质量标准为 Q_k^* .

- 设个体 i_k 为该生产/服务活动中第 k 类任务提供的能力为 A_{i_k} , 而完成该类任务所需最小能力为 $A_{\text{min}, k}^*$.

- 设个体 i_k 为该生产/服务活动中第 k 类任务所能提供的起始时刻为 T_{Sta, i_k} 、结束时刻为 T_{End, i_k} , 而第 k 类任务实际所需起始时刻为 $T_{\text{Sta}, k}^*$ 、结束时刻为 $T_{\text{End}, k}^*$.

- 设 4PL 整合时, 对该生产/服务活动中第 k 类任务的起始时刻容忍量为 $\theta_{\text{Sta}, k}$ 、结束时刻容忍量为 $\theta_{\text{End}, k}$.

- 设规范化处理后的生产/服务活动第 k 类任务的时限性总和容忍量为 θ_k , 则 $\theta_k = (\theta_{\text{Sta}, k} + \theta_{\text{End}, k})$.

- β 为优化的偏好协调系数, 以灵活调节 4PL 整合主体对多目标之间的权重关系.

2.3 整合决策模型

优化目标:

$$\begin{aligned} \min Z &= \min C_{\text{系统整合成本}} + \beta \min \theta_{\text{生产/服务活动时限性容忍量}} \\ &= \min (C_{\text{系统软环境因素改善成本}} + C_{\text{系统硬环境因素改善成本}}) + \beta \min \theta_{\text{生产/服务活动时限性容忍量}} \\ &= \sum_{k=1}^K \sum_{i_k=1}^{M_k} [(C_{\text{Soft}, i_k} + C_{\text{Hard}, i_k}) + \beta \theta_k] \delta_{i_k} \\ &= \sum_{k=1}^K \sum_{i_k=1}^{M_k} [((\Delta C_{\text{Man}, i_k} + \Delta C_{\text{Org}, i_k} + \Delta C_{\text{Pro}, i_k}) + (\Delta C_{\text{Log}, i_k} + \Delta C_{\text{Cap}, i_k} + \Delta C_{\text{Inf}, i_k})) + \beta (\theta_{\text{Sta}, k} + \theta_{\text{End}, k})] \delta_{i_k} \end{aligned} \tag{1}$$

约束条件:

$$\Delta F_{\text{Log}, i_k} = (R_{i_k, .11} \Delta C_{\text{Man}, i_k} + R_{i_k, .12} \Delta C_{\text{Org}, i_k} + R_{i_k, .13} \Delta C_{\text{Pro}, i_k}) + S_{i_k, .11} \Delta C_{\text{Log}, i_k} + (G_{i_k, .12} \Delta C_{\text{Cap}, i_k} + G_{i_k, .13} \Delta C_{\text{Inf}, i_k}) \tag{2-1}$$

$$\Delta F_{\text{Cap}, i_k} = (R_{i_k, 21} \Delta C_{\text{Man}, i_k} + R_{i_k, 22} \Delta C_{\text{Org}, i_k} + R_{i_k, 23} \Delta C_{\text{Pro}, i_k}) + S_{i_k, 22} \Delta C_{\text{Cap}, i_k} + (G_{i_k, 21} \Delta C_{\text{Log}, i_k} + G_{i_k, 23} \Delta C_{\text{Inf}, i_k}) \quad (2-2)$$

$$\Delta F_{\text{Inf}, i_k} = (R_{i_k, 31} \Delta C_{\text{Man}, i_k} + R_{i_k, 32} \Delta C_{\text{Org}, i_k} + R_{i_k, 33} \Delta C_{\text{Pro}, i_k}) + S_{i_k, 33} \Delta C_{\text{Inf}, i_k} + (G_{i_k, 31} \Delta C_{\text{Log}, i_k} + G_{i_k, 32} \Delta C_{\text{Cap}, i_k}) \quad (2-3)$$

$$F_{\text{Log}, i_k}^* \geq \overline{F_{\text{Log}}} \quad (3-1)$$

$$F_{\text{Cap}, i_k}^* \geq \overline{F_{\text{Cap}}} \quad (3-2)$$

$$F_{\text{Inf}, i_k}^* \geq \overline{F_{\text{Inf}}} \quad (3-3)$$

$$\Delta F_{\text{Man}, i_k} = (Y_{i_k, 11} \Delta C_{\text{Log}, i_k} + Y_{i_k, 21} \Delta C_{\text{Cap}, i_k} + Y_{i_k, 31} \Delta C_{\text{Inf}, i_k}) + V_{i_k, 11} \Delta C_{\text{Man}, i_k} + (H_{i_k, 12} \Delta C_{\text{Org}, i_k} + H_{i_k, 13} \Delta C_{\text{Pro}, i_k}) \quad (4-1)$$

$$\Delta F_{\text{Org}, i_k} = (Y_{i_k, 12} \Delta C_{\text{Log}, i_k} + Y_{i_k, 22} \Delta C_{\text{Cap}, i_k} + Y_{i_k, 32} \Delta C_{\text{Inf}, i_k}) + V_{i_k, 22} \Delta C_{\text{Org}, i_k} + (H_{i_k, 21} \Delta C_{\text{Man}, i_k} + H_{i_k, 23} \Delta C_{\text{Pro}, i_k}) \quad (4-2)$$

$$\Delta F_{\text{Pro}, i_k} = (Y_{i_k, 13} \Delta C_{\text{Log}, i_k} + Y_{i_k, 23} \Delta C_{\text{Cap}, i_k} + Y_{i_k, 33} \Delta C_{\text{Inf}, i_k}) + V_{i_k, 33} \Delta C_{\text{Pro}, i_k} + (H_{i_k, 31} \Delta C_{\text{Man}, i_k} + H_{i_k, 32} \Delta C_{\text{Org}, i_k}) \quad (4-3)$$

$$F_{\text{Man}, i_k}^* \geq \overline{F_{\text{Man}}} \quad (5-1)$$

$$F_{\text{Org}, i_k}^* \geq \overline{F_{\text{Org}}} \quad (5-2)$$

$$F_{\text{Pro}, i_k}^* \geq \overline{F_{\text{Pro}}} \quad (5-3)$$

$$|T_{\text{Sta}, i_k} - T_{\text{Sat}, i_k}^*| \leq \theta_{\text{Sat}, k} \quad (6-1)$$

$$|T_{\text{End}, i_k} - T_{\text{End}, i_k}^*| \leq \theta_{\text{End}, k} \quad (6-2)$$

$$Q_{i_k} \geq Q_k^* \quad (7)$$

$$\sum_{i_k=1}^{M_k} A_{i_k} \delta_{i_k} \geq A_{\text{min}, k}^* \quad (8)$$

式中: $\delta_{i_k} = \begin{cases} 1 & \text{若个体 } i_k \text{ 是被整合对象} \\ 0 & \text{其它情况} \end{cases}, i_k = 1, 2, \dots, K; i_k = 1, 2, \dots, M_k.$

模型中, 式(1)为多目标函数, 优化目标在于系统整合成本最小化以及生产/服务活动的时限性容忍量最小化. 式(2-1)~(2-3)为系统硬环境因素运作水平的改善增量同投入各主导因素整合成本之间的关系约束; 式(3-1)~(3-3)为系统硬环境因素的运作水平约束; 式(4-1)~(4-3)为系统软环境因素运作水平的改善增量同投入各主导因素整合成本之间的关系约束; 式(5-1)~(5-3)为系统软环境因素的运作水平约束; 式(6-1)~(6-2)为系统个体提供生产/服务活动的时间性约束; 式(7)为系统个体提供生产/服务活动的质量约束; 式(8)为系统个体的生产/服务能力约束关系, 保证被选择的第 k 类资源个体的总和和生产/服务能力能够满足该生产/服务活动中第 k 类任务实际所需的最小能力要求.

3 算法分析

3.1 算法说明

研究表明, 由蚁群的寻优机理演化来的蚂蚁算法具有良好的性能^[11], 如快速收敛到全局近似最优解, 可以求解随机及动态问题等等. 该方法在组合优化、动态路由及调度^[12~14]等方面已逐步得到应用. 由于4PL整合决策问题需要处理多种复杂的关系, 要在算法中体现上述诸问题的解决思路, 必须对其进行相应的设计和改造. 构筑算法时, 将待整合的每个供应链资源个体看作一个独立的单元, 每个单元在整合过程中都拥有相对确定的运作参数(这里考虑对系统整合有直接影响的整合成本 C 和生产/服务活动的时限性容忍量 θ 两个主要参数). 表2反映了资源整合行为同蚂蚁觅食寻优行为之间的对应关系.

表 2 资源整合行为同蚂蚁觅食寻优行为之间的对应关系

资源个体优选行为	开始	结束	4PL 整合的生产/服务活动	供应链资源个体	个体 $C、\theta$ 差异	单目标或多目标优化
蚂蚁觅食寻优行为	巢穴	食物	蚂蚁	觅食路径	路径差异	觅食时间及体力耗费优化

首先,需明确算法中蚂蚁运行的可行域.以针对某次生产/服务任务的资源整合为例,设完成其中某阶段任务所需的供应链资源由个体集合 M 构成,起初, M 中有能力对该阶段任务提供活动的成员集合为 M_0 .整合时, M 中有空余(空闲)能力完成该任务的个体成员集合为 M_0^* ;显然有 $M_0^* \in M_0 \in M$.此时, M_0 中某成员想通过自身运作计划的调整(如投资扩能、提高设备利用率、改变外协战略等等途径)转换成 M_0^* 成员,或者通过在 M 中新建成员的方式补充到 M_0^* 中,则 M_0^* 存在一个扩大的趋势.当这一过程趋于稳定时,供应链对该阶段任务的生产/服务能力约束关系达到均衡.因而,此时整合寻优过程即是在可行域集合内搜索合适的资源个体,同时实现不同阶段生产/服务活动之间的衔接,使供应链体系的整合收益最大化.

其次,算法中还需考虑并处理为最大化满足客户服务水平而对生产/服务活动提出的准时性要求,即在整合过程中,将寻找各生产/服务阶段中与期望起始及结束时刻最为接近的资源个体作为整合优化的另一个目标.此外,由于系统个体提供生产/服务活动时具有能力约束关系,同时由于供应链协作运作的特点,生产/服务活动的某些阶段可能跨越多个阶段同时进行.因而,构筑算法时还要考虑多个任务同时进行可能导致的供应链网络中某些资源个体的生产/服务活动拥塞问题.

3.2 算法的数学描述

设计针对某生产/服务活动的供应链待整合资源网络由源点、宿点及二者之间的资源个体节点构成.网络中的阶段划分与生产/服务活动的实际要求动态对应.算法进行中,蚂蚁将从源点通过网络移动到宿点,随后死亡.由于蚂蚁运行的单向性,不同路径上的信息素含量将根据不同资源个体的整合运作参数智能确定.算法构造如下:

1) 蚂蚁的构造.为体现算法在处理多任务资源并行整合过程中的优越性,本文在构造蚂蚁时采取特殊方法,即对蚂蚁的类别进行两步划分,第一步,按每个任务对应的生产/服务活动类型划分,每一类任务对应一类蚂蚁;第二步,同类任务中按生产/服务活动的起始阶段进行划分,不同的起始阶段对应不同类型的蚂蚁.设在资源整合时,须整合安排的生产/服务活动类型为 n 类,每类中不同起始阶段类别为 $m_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 类,则蚂蚁将构造为 $\sum_{i=1}^n m_i$ 类,用 $A_{ij} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m_i)$ 表示.

2) 设定禁入节点.对每一类蚂蚁,由其生产/服务活动特点决定了在网络中均有一些资源个体节点无须经过,为了加快算法收敛可将这些节点针对不同类型的蚂蚁设为禁入节点.

3) 设定路径的选择概率.蚂蚁对不同路径的选择概率应由两部分确定.

① 路径对蚂蚁的吸引概率.设整合时 A_{ij} 的可行域是 $M_{ij}^* . M_{ij,kr}^*$ 表示不同活动阶段 $k (k = 1, 2, \dots, K)$ 中的第 $r (r = 1, 2, \dots, R)$ 个个体.由于资源整合的优化目标之一为整合成本最小化,故设 A_{ij} 类蚂蚁在经过 $M_{ij,kr}^*$ 后遗留信息素的量(由 $\pi_{ij,kr}^*$ 表示)同整合成本成反比.则 k 中第 r 个资源个体对 A_{ij} 的 I 类吸引概率为:

$$P_A^I = \pi_{ij,kr}^* / \sum_{r=1}^R \pi_{ij,kr}^* \tag{9}$$

同时,设 A_{ij} 选择资源个体 kr 后进行生产/服务活动的时限性容忍量为 θ ,则 θ 越小越好.设 $\pi_{ij,kr}^{II}$ 为 A_{ij} 经过 kr 后因 θ 不同而遗留的信息素量,则 $\pi_{ij,kr}^{II}$ 同 θ 成反比.则相应的 II 类吸引概率为:

$$P_A^{II} = \pi_{ij,kr}^{II} / \sum_{r=1}^R \pi_{ij,kr}^{II} \tag{10}$$

② 路径对蚂蚁的排斥概率. Varella N 等学者^[14]曾设想同类蚂蚁的信息素相互吸引,不同类蚂蚁的则相互排斥.为了实现整合中的能力约束问题,这里需设定排斥概率,以解决可能形成的某节点蚁流通过能力拥塞问题.设非 A_{ij} 类蚂蚁在通过某节点 kr 后留下的信息素量为 $\psi_{pq,kr}$,则其对 A_{ij} 的排斥概率为:

$$P_R = \psi_{pq.kr} / \sum_{r=1}^R \psi_{pq.kr} \quad (p = i, q \neq j; p \neq i, q = j; p \neq i, q \neq j) \quad (11)$$

③ 蚂蚁选择路径的概率计算. 通过以上①、②分析, 本文定义 A_{ij} 选择资源个体 kr 的概率为:

$$P_{ij.kr} = \alpha P_A^I + \beta P_A^{II} + \gamma(1 - P_R) \quad (12)$$

式中, α, β, γ ($0 < \alpha, \beta, \gamma < 1; \alpha + \beta + \gamma = 1$) 为调整参数, 反映了吸引和排斥概率的期望权重系数.

4) 信息素的更新规则. 与传统方法不同, 由于本文构造的蚂蚁只具有单向运动性, 因而对资源个体节点信息素的更新由算法自动完成. 为表示简化, 由 Φ 统一代表上述 π^I, π^{II} 和 ψ , 更新规则为:

$$\Phi(t+1) = \Phi(t) + \Delta\Phi(t, t+1) - \xi\Phi(t) = (1 - \xi)\Phi(t) + \Delta\Phi(t, t+1) \quad (13)$$

其中, $\Phi(t)$ 和 $\Phi(t+1)$ 分别为蚂蚁第 t 次和 $t+1$ 次通过某个体节点后遗留的总和信息数量; $\Delta\Phi(t, t+1)$ 为第 $t+1$ 次遗留信息素量; ($0 < \xi < 1$) 为信息素的挥发系数.

3.3 算法步骤描述

每进行一次整合决策算法就执行一次. 需注意的是, 由于供应链资源个体相互之间具有非常复杂的协作与竞争关系及主、客观收益水平要求, 因而找到整合决策优化各目标的绝对最优解是不客观的. 实际上应从多个方面进行权衡 (本文从整合成本和生产/服务活动准时性两方面考虑), 在整合之前提出一个可以主观接受的期望满意水平, 当算法收敛到使各优化目标达到该水平即可停止. 步骤如下:

1) 4PL 整合主体根据生产/服务活动情况确定待整合资源类别, 构造蚂蚁对应类别. 同时, 为每类蚂蚁设定禁入节点, 确定可行域. 2) 确定不同蚂蚁类别经过不同资源个体对应节点时, 各个体所需整合成本及其所提供的生产/服务活动准时性量值, 确定它们同各类蚂蚁遗留信息素量的关系. 3) 按整合的历史经验及现实数据分析确定整合决策各目标优化的期望满意水平. 4) 设定及调整 $\alpha, \beta, \gamma, \xi$ 等参数值. 5) 在源点产生第 t 批次 (初始时 $t=1$) 蚂蚁, 每批次中包含各类蚂蚁若干, 使其向宿点运动, 到达后全部消失. 按式 (13) 所示规则更新各节点信息素, 蚂蚁批次自动加 1 (即 $t=t+1$). 6) 记录该批次中各资源个体对应节点通过的蚂蚁数量, 判断蚂蚁数量是否达到稳定值 (即和前一批次相比选择该节点的蚂蚁数量无明显变化, 或者连续几个批次中的蚂蚁数量均在某个值附近小范围内变动). 如果已稳定, 则按各类蚂蚁在节点中分配数量情况进行资源整合的优选工作, 并分配对应的生产/服务活动任务, 计算此时各目标的优化水平, 判断其是否达到期望满意水平. 如果达到则算法停止, 按结果实施整合决策. 否则转步骤 5). 说明: 1) 若经过所有批次蚂蚁还无法达到平衡, 需重新调整各类参数值 (即转到步骤 4); 2) 若算法经长时间执行后, 各项指标无法达到满意水平, 应对期望满意水平进行相应的修正 (即转到步骤 3).

4 算例仿真

某家电制造企业欲进行新产品厂房的建设活动, 由于能力所限必须进行资源整合. 考虑到为了在实现扩建活动及时、满意完成的同时, 使与该活动相关联供应链上的多家企业同时获利, 提升系统的综合竞争力及战略协作关系水平, 决定针对该任务进行 4PL 资源整合. 这里仅以该活动中对咨询企业资源 (负责扩建厂房的规划及设计等活动) 以及 3PL 资源 (负责厂房设备运输等活动) 的整合决策为例, 验证算法的有效性. 验证中, 该生产任务针对咨询资源个体的活动能力需求为 0.75 (本节所有数据已经过单位同一化及归一化处理), 针对 3PL 资源个体的活动能力需求为 0.67. 各资源个体的整合基本运作参数如表 3、4 所示. 设针对咨询企业整合优选的蚂蚁类型为 A 类, 针对 3PL 资源的蚂蚁类型为 B 类. 为了说明上述整合决策的基本思路以及算法的有效性及灵活性, 这里分为两种情况讨论.

1) 整合时偏好于优化活动的时限性. 算法运行中参数选择为 $\alpha = 0.3, \beta = 0.5, \gamma = 0.2, \xi = 0.1$, 蚂蚁批次设定为 100. 仿真结果的收敛趋势如图 1、2 所示. 由图 1 分析可知, 对于蚂蚁类型 A, 由于其可行域节点 (咨询个体 1、2 及自建咨询组织) 没有其他任务同时进行, 因而不存在活动拥塞问题, 故经过若干批次运算后, 达到稳定状态. 几乎所有的蚂蚁选择了咨询个体 2. 这是因为该个体虽然整合成本较高, 但其时限性容忍量符合该生产/服务活动的基本要求, 这对该家电企业新产品市场领先战略的实现具有很大的意义. 由图 1 还可以看出, 蚂蚁通过自建咨询组织的数量呈现先升后降的趋势, 这是因为起初该个体较优越的整合成本吸引着大量的蚂蚁, 随着运算批次的推进, 蚂蚁数量导向于时限性容忍量的控制, 因而呈下降趋势. 反

映了算法在多目标资源整合复杂过程中运作的灵活性.

表 3 供应链中咨询企业资源的整合运作参数

运作参数	咨询个体 1	咨询个体 2	自建咨询组织
整合成本 C	0.44	0.63	0.15
时限容忍量 θ	0.46	0.31	0.70
活动能力	0.66	0.90	0.83

表 4 供应链中 3PL 资源的整合运作参数

运作参数	3PL 个体 1	3PL 个体 2	3PL 个体 3
整合成本 C	0.33	0.43	0.25
时限容忍量 θ	0.45	0.22	0.27
活动能力	0.30	0.74	0.40

如图 2 所示,对于蚂蚁类型 B 运算的结果是大部分选择了 3PL 个体 2.这是因为该个体具有明显的时限性优势.但是,虽然该个体具有完全的活动能力保障,还是有部分蚂蚁选择了 3PL 个体 3,这是因为与 3PL 个体 2 相比,该个体具有较好的整合成本优势.也就是说整合决策过程必须考虑多个目标之间的协调与均衡,可以看出算法在这一方面具有较好的灵活性.

通过各资源个体的蚂蚁数量

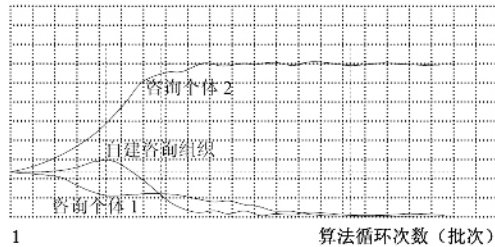


图 1 蚂蚁类型 A 的仿真结果收敛趋势示意

通过各资源个体的蚂蚁数量

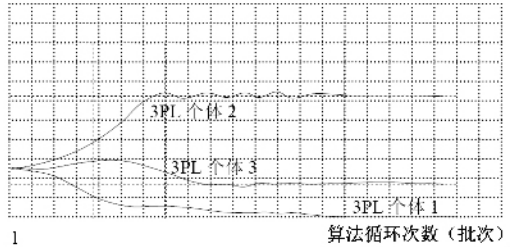


图 2 蚂蚁类型 B 的仿真结果收敛趋势示意

2)整合时偏好于优化系统的整合成本.此时参数选择为 $\alpha = 0.55$ 、 $\beta = 0.35$ 、 $\gamma = 0.1$ 、 $\xi = 0.1$,蚂蚁批次设定为 100.仿真结果的收敛趋势如图 3、4 所示.由图 3 分析可知,对于蚂蚁类 A,达到稳定状态时几乎全部选择了自建咨询组织.且随着运算批次的推进,蚂蚁数量上升及下降的速度都较快.这是由于在优化整合成本策略偏好导向下,自建咨询组织具有明显的成本优势.当蚁流趋于稳定时,部分蚂蚁还选择的了咨询个体 1.这是因为随着运算批次的推进,时限性容忍量的控制效果逐渐显现.

通过各资源个体的蚂蚁数量

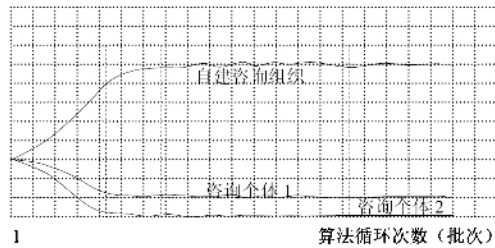


图 3 蚂蚁类型 A 的仿真结果收敛趋势示意

通过各资源个体的蚂蚁数量

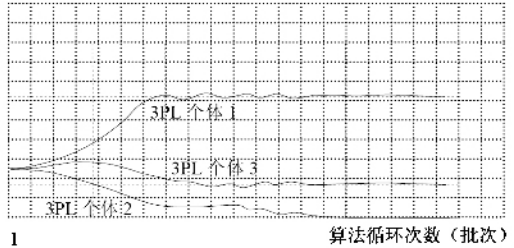


图 4 蚂蚁类型 B 的仿真结果收敛趋势示意

对于蚂蚁类型 B,如果从能力约束角度讲,只有 3PL 个体 2 可以独立完成任务.但由于其整合成本较高,因而蚂蚁最终选择的是个体 1 与 3,如图 4 所示.反映了算法在实现生产/服务活动的的能力约束方面具有较好的灵活性,这是依赖算法中的排斥概率在起作用.通过上述仿真试验还表明,根据资源整合目标的实际情况适当调整各参数的值可以得到较佳的收敛时间和效果.

5 结束语

作为对 4PL 运作模式的探索性研究,本文基于 4PL 整合供应链资源过程中的主导因素分析,建立了资源整合决策优化数学模型并探讨了求解方法.本文意义主要在于:一方面,通过引入主导因素分析来探索 4PL 整合供应链资源量化分析的切入点;另一方面通过搭建反映量化机制的整合决策优化模型及算法来使决策方法向实践应用过渡.当然,4PL 整合模式是一个前沿运作模式,今后的研究中,应重点做好主导因素的界定与挖掘,特别是针对不同的生产/服务行业对主导因素的把握显得异常重要.同时,对各因素之间

的复杂关系还需更加深入、合理的分析,以充分发挥 4PL 在整合供应链资源过程中的优势.

参考文献:

- [1] Foster Tom. 4PLs :The next generation for supply chain outsourcing ? [J]. Logistics Management & Distribution Report ,1999 ,38 (4): 35.
- [2] Marino Gene. The ABCs of 4PL [J]. Industrial Management ,2002 ,44(1):23.
- [3] Susanne Hertz , Monica Alfredsson. Strategic development of third party logistics provider [J]. Industrial Marketing Management , 2003 ,32(1): 139 - 149.
- [4] Roberts Simon. Fourth party politics [J]. Frontline Solutions Europe ,2003 ,12(5):14 - 16.
- [5] 韩立清. 外包、供应链集成与第四方物流 [J]. 数量经济技术经济研究 ,2003 ,(7):154 - 157.
Han Liqing. Outsourcing , supply chain integration and the fourth party logistic [J]. Quantitative & Technica Economics , 2003 , (7):154 - 157.
- [6] Tierney Stephen. Now there are real 4PL possibilities [J]. Supply Chain Europe ,2004 ,1(13):16 - 18.
- [7] Love John. 3PL/4PL-Where Next ? [J]. Logistics & Transport Focus ,2004 ,(3):18 - 21.
- [8] Bumstead Jon , Cannons Kempton. From 4PL to managed supply-chain operations [J]. Logistics & Transport Focus ,2002 ,1(4): 18 - 24.
- [9] 王勇,罗富碧,林略. 第四方物流努力水平影响的物流分包激励机制研究 [J]. 中国管理科学 ,2006 ,14(2):136 - 140.
Wang Yong , Luo Fubi , Lin Lue. Fourth party logistics ' efforts-influenced subcontract incentive mechanism [J]. Chinese Journal of Management Science ,2006 ,14(2):136 - 140.
- [10] Hoong Chuin Lau , Yam Guan Goh. An intelligent brokering system to support multi-agent web based 4th-party logistics [C]/The International Conference on Tools with Artificial Intelligence ,2002 :154 - 164.
- [11] 姚建明,张秀敏,刘丽文. 基于改进蚂蚁算法的拉动式供应链动态调度分析 [J]. 中国管理科学 ,2006 ,14(3):20 - 26.
Yao Jianming , Zhang Xiumin , Liu Liwen. Dynamic scheduling analysis of pull supply chain based on improved ant algorithm [J]. Chinese Journal of Management Science ,2006 ,14(3):20 - 26.
- [12] 马良,项培军. 蚂蚁算法在组合优化中的应用 [J]. 管理科学学报 ,2001 ,4(2):32 - 37.
Ma Liang , Xiang Peijun. Applications of the ant algorithm to combinatorial optimization [J]. Journal of Management Sciences In China ,2001 ,4(2):32 - 37.
- [13] Bonabeau E , Dorigo M , Theraul A Z G. Inspiration for optimization from social insect behavior [J]. Nature ,2000 ,406 :39 - 42.
- [14] Varela N. Ant colony optimization for virtual-wavelength-path routing and wavelength allocation [C]/Proc Congress on Evolutionary Computation(CEC '99). Washington DC , USA , July 1999 :324 - 337.

(上接第 19 页)

- [14] 陈其安,杨秀苔. 过度自信条件下的金融市场委托-代理合同研究 [J]. 系统工程 ,2005 ,23(4):19 - 27.
Chen Q A , Yang X T. Study on principal-agent contract in financial market under the condition of overconfidence [J]. Systems Engineering ,2005 ,23(4):19 - 27.
- [15] Malmendier U , Tate G. CEO overconfidence and corporate investment [J]. Journal of Finance ,2005 ,60(6):2661 - 2700.
- [16] Daniel K , Hirshleifer D , Subrahmanyam A. Overconfidence , arbitrage and equilibrium asset pricing [J]. Journal of Finance ,2001 , 56 :921 - 965.
- [17] Jensen M C , Meckling W H. Theory of firm : Managerial behavior , agent cost and ownership structure [J]. Journal of Financial Economics ,1976 ,3 :305 - 360.