

文章编号: 1001-0920(2005)04-0459-04

制造业分形供应链的适应与协调

周建频, 杜文

(西南交通大学 交通运输学院, 四川 成都 610031)

摘要: 由蛋白质分形结构的启示, 提出了供应链分形代理的内部结构、分形信息组件和协调单元的作用以及制造业分形供应链的嵌套模式, 分析了分形供应链在成本和协同性方面的特点, 针对供应链运作环境的不确定性, 研究了制造业分形供应链动态适应的方法和协调系统的原理, 并以汽车制造业为背景对分形供应链管理进行了探索

关键词: 分形供应链; 分形代理; 分形信息组件; 协调单元; 适应

中图分类号: F40

文献标识码: A

Adaptation and coordination of fractal supply chain in manufacturing industry

ZHOU Jian-pin, DU Wen

(College of Transport and Traffic, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China Correspondent: ZHOU Jian-pin, E-mail: pjpjz@tom.com.cn)

Abstract With the inspiration of fractal structure in protein, the internal structure of fractal agents, the function of fractal information components and coordination units, and the nesting mode of fractal supply chain in manufacturing industry are presented. The feature of fractal supply chain in cost and cooperation is analyzed. Aiming at the uncertainty of the supply chain operation environment, the approach to dynamic adaptation of supply chain in manufacturing industry and the mechanism of coordination system is studied. An exploration of fractal supply chain management in automobile industry is given.

Key words: fractal supply chain; fractal agent; fractal information component; coordination unit; adaptation

1 引言

目前, 供应链管理已成为现代制造业提高市场竞争力的重要手段。假设制造一种产品, 从原料供应到生产销售, 都能连续不断地进行, 所需时间将远小于实际时间。这说明了在实际应用中供应链的运作仍有较大的改善空间。随着信息技术的发展和各门学科的交叉融合, 多智能体技术、仿生、分形和子整体等理论为动态供应链管理提供了新的发展方向, 但目前这些理论在实际中应用还较少。在供应链管理中应用的多智能体技术, 将一些信息处理和沟通的过程、任务和资源的计划、专业知识和规则等用智能代理来代替。供应链智能多代理系统具有智能分布性、决策自主性和灵活性等特点, 使动态供应链资

源计划问题实质上转化为一个智能代理间的重构和互动的过程^[1]。但在增加适应性和灵活性的同时也增加了运作的 uncertainty, 全局性较差, 使实现其目标的过程不易控制, 这便产生了如何使智能代理的自治性与协同性相平衡的问题。

本文在制造业供应链多代理系统的基础上引入了分形理论, 提出和分析了分形代理、分形供应链及协调系统的结构和特点, 研究了制造业分形供应链的适应与协调方法。

2 基于分形结构的制造业动态供应链

2.1 蛋白质分形结构的启示

生物世界的千姿百态是由基因决定的, 自然界这种信息单元的组合说明了一种造物模式: 由信息

收稿日期: 2004-06-14; 修回日期: 2004-09-17

作者简介: 周建频(1968—), 男, 吉林省吉林市人, 博士生, 从事物流工程的研究; 杜文(1942—), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 从事交通运输系统分析等研究

单元构成通用性组件的方式和对通用性组件重组的方式具有全息性。以蛋白质的分形结构为例,蛋白质是由许多单元组成的复杂链状结构,共包括4级结构,2级结构、3级结构和4级结构是由上一级结构在空间折叠形成的。在一定的标度范围内,蛋白质的分子链结构具有分形特征^[2]。在供应链管理领域也可以模仿蛋白质的分形结构,构造具有仿生特点的动态供应链,本文称之为分形供应链。制造业供应链的管理系统也可分为4级结构:小组组件级、部门代理级、企业代理级和分形供应链级。

2.2 以多代理系统为基础的制造业动态供应链的分形结构

供应链多代理系统中各代理包括一些共同的结构和功能:1)接收和反馈来自其他代理和环境的信息;2)与其他代理进行协调;3)所代表的对象属性和资源状态;4)信息处理、计划和监督业务活动;5)具有的知识、规则、策略和信念等。这些通用的结构和活动可抽象和归类为以下模块:接口模块、任务模块和策略模块。利用组件技术将各种资源属性、知识和信息处理的过程封装为组件,由各种组件集成接口、任务和策略3个模块,再由这3个模块构成各种资源和过程的代理,称为分形代理,其通用结构和内外部关系如图1所示。

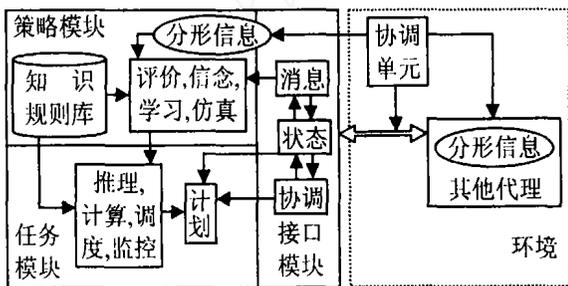


图1 分形代理的通用结构与环境

分形代理结构是分形供应链适应和协调的基础。接口模块是与外界环境通信和协调的途径,代理间的通信可采用 KQML 语言;任务模块进行数据处理、活动的计划、调度和监督等;策略模块是分形代理的理念和策略部分,知识规则库包括代理进行自治、协调和决策所需的通用和专业的知识及规则,仿真、评价和从经验中学习使分形代理具有自组织和自优化的能力,信念包括对规则的理解和环境信息对代理策略的影响等。本文在分形代理中加入分形信息组件,这是分形代理不同于一般代理的主要特点,分形信息组件包括了预先定义的促使分形代理间合作协调的规则,能与协调单元进行实时沟通,获得供应链的全局目标、分形结构信息和策略的反馈结果等信息,有助于代理的动态重构和协调。

模仿蛋白质由简单到复杂的4级结构,为供应链资源的整合利用和资源与功能结构的映射提供了方法。本文提出制造业动态供应链按内部结构分形的4级结构,包括小组级、部门级、企业级和供应链级,以智能多代理系统为基础。制造业动态供应链的分形结构如图2所示,其中表示供应单元;表示制造单元。

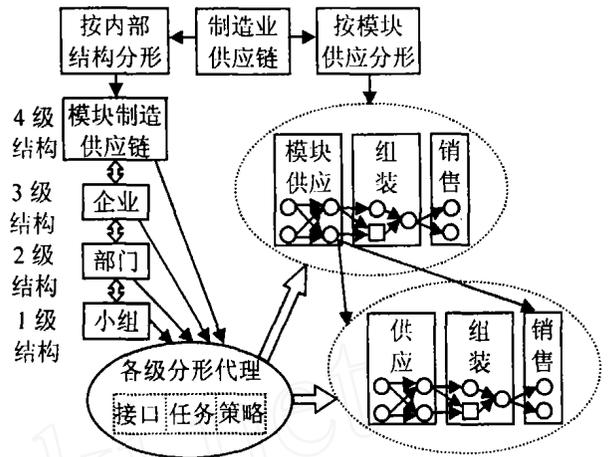


图2 制造业动态供应链的分形结构

分形结构的供应链具有明显的嵌套性,这种嵌套存在于两个方面:

- 1) 按产品模块供应分形。一个产品模块供应链由供应商、制造商、销售商组成,同时每个供应链节点又有自己的供应链网络,即本身也是由供应、制造、销售等构成的子供应链^[3]。这种嵌套可在一定范围内延伸。
- 2) 按节点内部结构分形,包括分形供应链、企业、车间和部门、制造小组单元各个层次的各分形代理都具有自相似的内部结构。供应链的分形结构理论上是可以无穷嵌套的,但实际上它仍存在一个范围。本文将供应链分形结构的范围设定为从小组单元级到整个产品的供应链。

本文仿照生物酶催化系统建立分形供应链的协调系统。生物酶是调节生物体内各种化学反应的催化剂,具有专一性和高效性。在分形供应链中对应每一个分形代理集合设置一个协调单元,协调单元和各分形代理内的分形信息组件构成供应链的协调系统。各分形代理通过协调单元可获得供应链的分形模式信息、目标和运作策略等。协调单元能够监督代理的运作规则和合作机制,并可通过人机耦合将管理者的思想传递给代理的分形信息组件,使代理调整规则和策略,具有更好的适应性和协同性。

供应链的分形结构是一个随需求变化动态演化的过程,可按实际需要由各分形代理和模块演化出更智能的功能集合体和组织环节,如在企业层各企

业的信息中心、市场部和计划部门等可整合起来,演化出协调决策中心即供应链级的协调单元;在业务活动层可由设计、工艺和专业等模块整合成技术代理;在工作单元层可利用子整体技术将各制造单元动态聚类成制造子整体集合^[4]。

2.3 分形供应链的主要特点

1) 成本方面: 在管理软件设计和投入上,由于分形代理结构、分形供应链结构和运作模式的通用性,在开发和重构供应链管理系统时,软件重用的范围和粒度都能达到最高级,可节省软件开发成本和时间;分形代理按相似性构建,利于实现信息共享,提高了资源利用效率,节省了投入信息资源的成本;在供应链的自组织和自优化上,降低成本是分形供应链进行嵌套和演化的重要目标,在一定的范围内按一定的分形维数进行分形结构的细化,易于实现精细化生产。

2) 供应链协同方面: 在一般的多代理系统中各代理从本体的利益出发进行决策,代理间的约束基于规则和合同协议,如订单到达约束、操作优先顺序约束、加工时间要求、资源能力约束和惩罚函数等,计划的过程依靠代理间的互动实现,代理间关系的特点更多的是竞争和反复谈判。而在分形代理中分形信息组件含有预先定义的合作规则,按这些规则设计的合作机制使各代理具有共同的目标,能同时考虑自身利益和供应链整体利益,这种团队精神使各代理能以较高的效率完成代理间的互动和过程的优化,代理间关系的特点是合作和目标统一。分形代理还具有较强的学习能力,这种学习通过接受协调单元的反馈而调整分形代理的内部规则、信念和策略,使各分形代理的策略趋于一致,通过自组织和自优化提高对环境变化不确定性的适应能力。

3 制造业动态供应链的适应与协调

3.1 动态供应链对环境的适应

供应链管理的市场环境和需求变化具有很大的不确定性,如订单到达时间和数量的随机性、资源能力和订单加工提前期的不确定等,要求供应链具有快速适应市场环境变化的能力。分形供应链对需求和目标变化的适应是分形代理动态组合、资源动态重构的过程。分形代理的模块化结构和分形信息组件与环境的联系机制,使分形代理具有适应和发展的能力,如采用新的信念、资源更新和重构等。动态供应链的重构是对应用环境不断适应的过程,由于每一次目标任务的完成需要供应链上不同环节和跨层次代理间的合作,这便形成完成一次任务的分形代理的动态集合,即一个动态供应链。

文献[5]采用不同层次代理的动态集合方法完

成一次任务。分形供应链可在此基础上应用分形理论,每一个目标或子目标由一个相应的分形代理集合完成。按分形嵌套模式计划每个目标下所需的分形代理集合,确定整个供应链的动态分形信息,如迭代函数系统、资源配置嵌套结构、标度不变范围和分形维数等。

以业务规模为测量尺度,如分别以企业、生产部门和单元小组为测量尺度,测定各分形层次的分形单元数;由业务规模和各层次分形单元数量的函数关系,可计算动态供应链的分形维数。由于动态供应链结构的不断演化,一个分形代理集合内同一层次的代理间可进行模块的相互合并,形成作用更大的中间件模块,以减少环节简化结构。这种代理间的融合减少了代理的数量,因此动态供应链的分形维数小于 1。同层分形代理间模块的融合方式如图 3 所示。

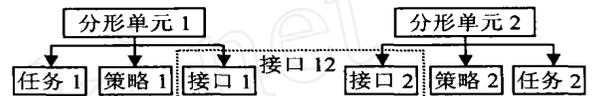


图 3 同层代理间模块的融合

3.2 分形供应链的协调

供应链多代理系统中各代理间的互动,可使供应链的计划向实现订单的资源优化方向演化发展^[6]。但各代理由各自的利益驱使,完全依靠代理间的互动将导致一些局部性和不确定性,往往难以达到供应链全局优化的目的。因此,需要对供应链代理间互动的过程进行监控和引导,优化供应链整体的集合行为。

分形供应链的协调系统是与供应链对环境的动态适应过程相对应的。对应于每个子目标和任务都会产生一个代理集合,对应于每一个分形代理集合都有专一的协调单元。市场环境条件的变化和运作经理的知识理念可通过供应链协调单元传递给相邻层各集合的协调单元,再由协调单元传递给各分形代理,实现对分形代理的调控,如提供信息、目标调整、规则更新和工作速度协同等。在分形供应链中,分形代理中的分形信息组件包括代理利益与整体目标相联系的规则,分形代理可通过仿真和学习不断调整运作的策略、规则和理念,协调单元监督分形代理策略和规则的变化,并动态反馈评估参数,使它们符合供应链整体优化的标准。分形供应链协调系统的协调方式如图 4 所示。

文献[7]认为代理间的协调过程可看作一个马尔可夫过程,并给出了比较代理不同策略的方法和计算策略值的公式。在分形供应链的协调过程中,各

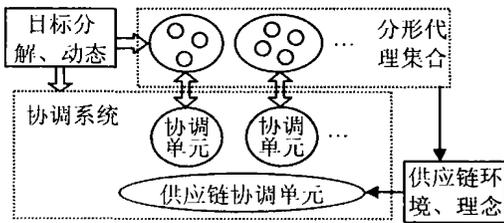


图4 分形供应链的协调方式

分形代理将备选活动计划传递到对应的协调单元。协调单元首先适度放松代理间的约束，给代理的计划更大的自由度；然后通过仿真评价各个计划的集合行为，按仿真评价结果给每一个分形代理的活动计划一个评估参数。在计算策略值时增加一个由评估参数决定的反馈项，使策略能反映出代理计划方案对供应链的整体效益。

在执行协调机制时，应建立利益联合分配机制。文献[8]中论述了利益分配协调的问题。对于分形供应链应按分形结构规划各代理的任务和利益比例，这种机制可通过企业加入供应链时以协议和担保的方式实行，如按风险共担协议交纳风险储备金等。

4 基于分形模式的汽车制造业动态供应链管理

汽车制造业在设计、制造、供应和销售时都有模块化的趋势，因此很适于建立动态供应链的分形结构，每个模块的设计、供应、制造和销售可产生一个分形代理的集合（即一个模块的动态供应链）。而每个模块又是由小模块构成的，其中一些小模块由代理集合内部制造，另一些小模块由外部供应，这些供应的节点又可成为下一级的分形供应链网络，如此进行嵌套延伸即可进行汽车制造供应链的重构。协调系统伴随着动态供应链的嵌套和适应而不断发展，对应各分形代理集合都有对应的协调单元；这些不同层次的协调单元互相沟通，传递分形模式信息和供应链策略的变化方向，形成一个协调整个供应链的信息网络。以分形代理通用结构、供应链的分形结构和协调系统为基础，以电子控制式汽车助力转

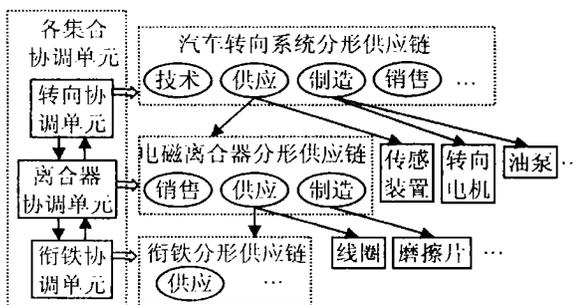


图5 汽车转向系统供应链的分形与协调

向系统为例，其分形结构和协调如图5所示。

5 结语

应用分形理论和仿生方法是分形供应链的重要特点，本文根据蛋白质的分形结构和生物酶的催化系统分别建立了供应链的分形结构和协调系统。分形供应链的适应性体现在根据环境和目标要求发挥各个分形代理的重构潜力，通过分形代理集合的动态形成和代理间模块的融合，增强供应链对环境的适应性；协调性体现在分形信息组件通过协调单元和供应链整体的沟通，调整代理的运作规则、策略和理念，优化供应链的集合行为。将来的研究重点将放在分形代理集合的动态组合方法，制造小组单元的子整体聚类方法，代理间互动和协调的算法实现以及应用仿真方法评估供应链整体效率等。

参考文献 (References)

- [1] Readdy J, Massotte P, Yingjiu Liu, et al. Product and process reconfiguration based on intelligent agents. *Systems[A] IEEE Int Conf on Man, and Cybernetics [C]* Arizona, 2001: 3397-3402.
- [2] 孙霞, 吴自勤, 黄昀. *分形原理及其应用*[M]. 第1版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003: 199-212.
- [3] 陈志祥, 马士华, 陈荣秋. 精细化供应链的研究[J]. *计算机集成制造系统*, 1999, 5(5): 11-16. (Chen Z X, Ma S H, Chen R Q. Research on the lean supply chain[J]. *CMIS*, 1999, 5(5): 11-16.)
- [4] Ulieru M, Stefanoiu D, Norrie D. Holonic self-organization of multi-agent systems by fuzzy modeling with application to intelligent manufacturing[A]. *IEEE Int Conf on Systems, Man, and Cybernetics [C]*. Nashville, 2000: 1661-1666.
- [5] Sauer J, Appellrath H J. Scheduling the supply chain by teams of agents[A]. *Proc of the 36th Annual Hawaii Int Conf on System Sciences[C]*. Hawaii, 2003: 81-90.
- [6] Ren C R, Ren S Y, Chai Y T, et al. Modeling agile supply chain dynamics: A complex adaptive system perspective. *Systems[A] IEEE Int Conf on Man and Cybernetics[C]*. Tunisia, 2002: 6-11.
- [7] 董进, 柴跃廷, 杨家本. 基于多代理系统的敏捷供需链协调运作及其优化[J]. *系统工程理论与实践*, 2000, 8(8): 7-11. (Dong J, Chai Y T, Yang J B. Coordination and optimization in agile supply chain management based on multiple agent system [J]. *Theory and Practice of Systems Engineering*, 2000, 8(8): 7-11.)
- [8] 郭敏, 王红卫. 合作型供应链的协调和激励机制研究[J]. *系统工程*, 2002, 20(4): 49-53. (Guo M, Wang H W. The coordinative and incentive mechanism in cooperative supply chain [J]. *Systems Engineering*, 2002, 20(4): 49-53.)