

面向订单的供应商选择问题的研究

摘要

随着智能制造技术的不断发展，制造业面临生产技术的革命。部分生产企业从适应大批量，少品种的生产模式逐渐过渡到多品种，小批量的生产模式，以此满足客户的定制化的需求。本文所研究的供应链是一种包含多个供应商、单个制造商的三级供应链。多供应商、单制造商是供应链的一种典型形式，本文在多品种小批量低库存的生产模式下研究了供应链中多个零部件供应商的选择问题，提出了一种以供应商选择次数优化为目标的供应链优化问题的解决方法。通过这一方法，可以显著地降低企业生产制造过程中每个生产批次中供应商的选择次数，降低供应链管理的复杂性。

针对供应链的多供应商选择问题，本文分析了案例公司的供应链系统的结构。该企业属于多供应商、单制造商的供应链的形式。为了解决该问题，首先对原问题所处的情境进行叙述，通过适当的问题假设简化了所研究问题，建立了一个混合整数线性规划的优化模型。此外，设计了一个启发式算法生成了一个较优的初始可行解，该算法按照一定的优先规则对供应商和订单轮流选择。通过对问题的分析说明了该问题属于 NP-hard 的组合优化问题，因此该问题有着巨大的解空间，得到的初始可行解不一定是最优的结果。为了求解该问题本文设计了一个应用自然数编码的改进遗传算法，该算法首先利用模拟退火算法的邻域搜索机制产生了初始种群，其次应用野草算法对每代个体进行自适应大邻域搜索，提高了算法的稳定性和求解效率。应用该方法可以对所得到的初始可行解进行充分的优化。其次，整理了该企业的近期采购数据和生产数据，在对数据进行整理和分析后，应用本文所叙述的方法对该案例进行求解。

通过研究，最后得到了一个接近理论最优值的结果，同时对比初始可行解，通过算法优化后整个生产过程中供应商的选择次数降低了 16.5%，接近案例的理论最优值。在最后通过数值分析探究了供应商选择次数与订单、总装厂之间的关系。本文应用集合覆盖问题降低了供应商的选择次数。通过一系列的应用小规模案例的数值研究证明，利用所描述的方法可以降低每一批次订单的生产过程中所

需采购的零部件供应商数量。通过减少每一批次订单所需的供应商数量，简化了企业的供应链管理流程，残次品的追踪和溯源。通过控制变量法探究了供应商选择次数与供应链中各个主体之间的关系。本文为供应链管理进行决策提供方案支持的同时也为供应商选择方法提供了新的手段与思路。

关键词：

制造业，供应链管理，集合覆盖问题，遗传算法，组合优化

Research on Order-oriented supplier Selection

Abstract

With the continuous development of intelligent manufacturing technology, the manufacturing industry is undergoing a revolution in production techniques. Some production enterprises are transitioning from the traditional model of mass production with few product varieties to a model of small-batch production with multiple product varieties to meet the increasing demand for customization. This paper focuses on a three-tier supply chain that consists of multiple suppliers and a single manufacturer. The multi-supplier, single-manufacturer configuration is a typical form of supply chain. The study investigates the selection of multiple component suppliers in the supply chain under a production mode of small-batch, low-inventory, and multiple product varieties. A solution method for optimizing the supply chain based on the objective of minimizing the number of supplier selections is proposed. This method significantly reduces the complexity of supply chain management by reducing the number of supplier selections in each production batch during the manufacturing process.

To address the problem of multi-supplier selection in the supply chain, the paper analyzes the structure of the supply chain system of a case company. The company belongs to the configuration of a multi-supplier, single-manufacturer supply chain. To solve the problem, the paper first describes the context of the original problem and simplifies the research problem through appropriate problem assumptions, and then establishes a mixed integer linear programming optimization model. In addition, a heuristic algorithm is designed to generate a near-optimal initial feasible solution. This algorithm alternately selects suppliers and orders based on certain priority rules. Through problem analysis, it is demonstrated that the problem belongs to an NP-hard combinatorial optimization problem with a large solution space, and the initial feasible solution obtained may not be the optimal result. To solve the problem, an

improved genetic algorithm using natural number encoding is designed. This algorithm first generates an initial population using the neighborhood search mechanism of simulated annealing algorithm and then applies a grasshopper algorithm to perform adaptive large neighborhood search on each generation individual, thus improving the stability and efficiency of the algorithm. This method optimizes the initial feasible solution sufficiently. Furthermore, the paper organizes the recent procurement and production data of the company and, after data analysis and organization, applies the method described in the paper to solve the case.

Through the study, a result close to the theoretical optimum is obtained. Compared with the initial feasible solution, the number of supplier selections in the entire production process is reduced by 16.5% through algorithm optimization, approaching the theoretical optimum value for the case. Lastly, the relationship between the number of supplier selections and orders and the final assembly plant is explored through numerical analysis. The application of the set cover problem reduces the number of supplier selections. Through a series of numerical studies on small-scale cases, it is demonstrated that the described method can reduce the number of component suppliers required for each batch of orders in the production process. By reducing the number of suppliers required for each batch of orders, the supply chain management process, as well as the tracking and traceability of defective products, is simplified. The relationship between the number of supplier selections and the various entities in the supply chain is explored using the method of controlling variables. This paper provides decision support for supply chain managers and introduces new methods and ideas for supplier selection.

Keywords:

Manufacturing, Supply Chain Management, Set Coverage Problem, Genetic Algorithm, Combinatorial Optimization

目 录

摘 要	I
Abstract	III
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 供应商管理研究现状与发展趋势	1
1.2.1 国外研究现状与发展趋势	1
1.2.2 国内研究现状与发展趋势	4
1.2.3 发展趋势与研究现状评述	7
1.3 研究目的与研究意义	8
1.3.1 研究目的	8
1.3.2 研究意义	9
1.4 研究内容与框架	10
1.5 本章小结	11
第 2 章 面向订单的供应商选择问题	12
2.1 包含多供应商的供应链的组织结构	12
2.2 问题描述	13
2.3 模型建立	14
2.3.1 模型假设	14
2.3.2 数学模型	15

2.4 问题性质分析	19
2.5 本章小结	19
第 3 章 启发式算法生成初始解	20
3.1 供应商与订单的关联矩阵分析	20
3.2 供应商选择方法	22
3.3 订单的选择策略	25
3.4 供应商选择顺序的生成	26
3.5 本章小结	28
第 4 章 基于自适应遗传算法的可行解优化	29
4.1 自适应遗传算法设计	30
4.1.1 个体编码与译码	30
4.1.2 基于模拟退火算法生成初始种群	31
4.1.3 种群个体的选择	32
4.1.4 种群个体的交叉与变异算子	32
4.1.5 个体适应度及适应度函数的设计	34
4.1.6 种群的更新机制	34
4.1.7 算法的自适应机制	34
4.2 算法性能分析	35
4.2.1 分析指标	36
4.2.2 性能分析	37
4.3 本章小结	40

第 5 章 数值研究.....	41
5.1 案例背景.....	41
5.1.1 数据来源.....	41
5.1.2 实际案例的理论最优结果.....	45
5.2 实例求解.....	45
5.3 数值研究.....	48
5.3.1 供应商选择次数与总装厂生产能力之间的关系.....	48
5.3.2 生产周期内订单数量与供应商选择的关系.....	49
5.3.3 完成订单所需零部件种类与供应商选择的关系.....	50
5.4 本章小结.....	50
第 6 章 结论与展望.....	52
6.1 研究结论.....	52
6.2 研究展望.....	53
参考文献.....	54
附录.....	61
致谢.....	74

图目录

图 1.1 论文研究框架.....	10
图 2.1 多供应商供应链示意图.....	13
图 3.1 第 k 波次的供应商与订单选择方法.....	27

图 4.1 初始解优化过程	29
图 4.2 新解生成方式	31
图 4.3 交叉算子计算过程	33
图 4.4 变异算子计算过程	33
图 5.1 案例中产品能力需求	44
图 5.2 案例中需求能力区间占比	45
图 5.3 每代最优选择方案中供应商数量变化趋势	47
图 5.4 总装厂订货周期内生产能力对供应商选择次数的影响	48
图 5.5 生产周期内订单数量对供应商选择的影响	49
图 5.6 产品的零部件种类对供应商选择的影响	50

表目录

表 3.1 供应商与零部件对应关系	21
表 3.2 订单与零部件对应关系	21
表 3.3 供应商与订单关系	22
表 4.1 交叉概率对变异概率对遗传算法性能的影响	38
表 4.2 代沟选取对算法性能的影响	38
表 4.3 得到最优值的代数	39
表 4.4 自适应遗传算法与其他算法的对比	40
表 5.1 供应商 A 合同供应零部件	41
表 5.2 供应商 B 合同供应零部件	42
表 5.3 供应商 C 合同供应零部件	42
表 5.4 零部件种类与供应商数量统计	43
表 5.5 一个周期内需要生产的产品种类与数量	43
表 5.6 不同订单生产顺序所需供应商选择次数	47

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

供应链系统与企业的经营、成本、盈利息息相关。在供应链的供应系统内，各级别的供应商通过物流、信息流与总装厂紧密地联系在一起。随着制造业的发展，企业想要提高在行业内部的产品竞争力或者是增加自身利润，需要对自身的成本进行优化。近年来随着疫情态势的愈发严峻，为了降低供应链的管理成本、需要对供应链的周转与采购过程进行优化。降低供应链复杂性，保证供应的顺畅以及企业的工厂的正常生产经营是优先考虑解决的问题。本文提出一种对多供应商供应链中供应商进行选择的方法，将制造订单中零部件的需求指派给最优的供应商是本文降低供应链复杂性的一种有效途径。

与此同时，客户对产品的多样性的需求使得工厂生产过程中的供应链选择问题的复杂性不断提高，企业对供应链选择管理的需求日益迫切。因此，供应链管理得到了广泛的关注。对于生产供应链的掌控的环节往往是有限的企业来说，整个生产链上的可控区域只有零部件组装、上游供应商和自己的客户，对于客户确认的订单，如何分配合适的零部件订单给对应的供应商是研究的重点问题。针对这一问题，本文应用运筹学的方法对类似的问题进行研究，对于案例公司的多供应商供应链来讲，如何优化多个原材料或零部件相似多个供应商之间的选择问题是降低成本的关键。在选择供应商的同时其总装厂加工的订单往往需要在结合总装工厂的实际生产能力情况进行生产，这就大大增加了该供应链的供应商选择的复杂性。因此，本文根据订单信息对供应链运输系统中的订单与供应商的分配进行优化与设计是必要的。

1.2 供应商管理研究现状与发展趋势

1.2.1 国外研究现状与发展趋势

近年来，诸多学者将遗传算法运用到供应链管理问题中，比如 Torabi (2006)

等研究了供应商和装配厂构成的二级供应链的调度问题,构建了一套以最小化库存成本、准备成本和运输成本为目标的选择模型,然后通过混合遗传算法来求解该模型^{[1] [1]}。遗传算法由美国密歇根大学 Holland (1975) 提出,这一算法是通过观察自然界生物进化规律而思考得出的,其计算过程中很好地模拟了自然界生物优胜劣汰这一规律,并通过染色体表示所求解问题的解,在分析过程中,利用染色体不断选择、交叉、变异的过程中,从而达到不断迭代生成下一代的种群,在制定基础规则的情况下,可以让每一个新种群都比上一代更优,最终实现最优解^{[1] [2]}。

Yimer (2010) 等针对订单拉动的供应商管理系统,构建了一套包括采购、生产、配送在内的供应商选择模型,同样也设计了相应的遗传算法来求解^{[1] [3]}。Nasim, Behrang (2021) 等利用遗传算法研究了基于客户和供应商的需求云任务选择时间和成本问题,采用启发式和元启发式算法对选择相关参数进行优化,构建了一个以最小化时间和成本参数为目标的适应度函数,该方法可以为多供应商选择问题提供效用、任务执行成本、响应时间、等待时间等多方面的基本参数,对多供应商选择问题进行综合优化^{[1] [4]}。

目前,学界关于多供应商调度问题的研究已经较为深入 Hall (2003) 等人于 2003 年首次对供应商调度问题展开研究,系统探讨了供应商调度的研究价值和内涵,并以供应商与制造商组成的二级供应链为研究对象,构建了一套以最小化调度成本和运输成本为目标的供应商调度模型^{[1] [5]}。通过供应商企业间的协调调度,能够在很大程度上降低整个供应链上的运营成本,研究表明:良好的调度可降低 20%—100% 的成本。当前,越来越多的学者开始研究多供应商调度问题,例如 Bodaghi (2018) 等人提出了一种新的加权多目标优化模型用于集成供应商调度,订单数量分配,和客户订单调度问题,以订单为中心建立一个响应性强的供应链^{[1] [6]}。Shahed Mahmud (2022) 的研究表明最近的全球变化促使制造商将其生产系统转向按订单生产 (MTO) 供应链 (SC),使其能够根据快速变化的市场调整定制的客户需求,降低库存成本,并在市场上获得竞争优势^{[1] [7]}。Shahed Mahmud 等人提出了一个集成的供应链调度问题,将供应商、制造商和批次决策同时优化,以响应具有时间窗口约束的异构客户需求。当制造商使用柔性车间调

度问题建模时，考虑了供应组合的经济和环境可持续性。最后，对解决大量实例进行了严格的实验研究，以评估改进的退火算法相对于其非智能版本和五种现有算法的性能。其研究促进了供应链中各个环节之间的响应关系。

近年来，诸多学者将运筹学运用到供应链管理问题的研究中来，比如 Mohammad, Mehdi (2016) 提出了一种按订单生产系统中调度、批交货和供应商调度的集成模型，为制造商开发了一个集成的数学规划模型，将供应商的调度问题纳入到决策模型中^{[1][8]}。Stopka, Stopková (2020) 等人通过运筹学方法而定使用，对多供应商调度进行了优化^{[1][9]}。其运用多准则决策分析方法（如加权求和法和基于相似的理想解的订货偏好技术），调度了最具吸引力的供应商调度方案，即实施运输—供应过程的最优供应商调度，以提高所考察作业中特定物流活动的有效性。

供应商选择问题是一个典型的优化问题，在供应链管理的背景下，良好的供应商选择对企业至关重要。在国外也有众多学者对供应商数量之于供应链的影响进行了大量的研究。从优化的角度来看，供应商选择和订单数量分配对公司的盈利能力和成品总成本有很大影响。C. Lavanpriya 等人将模糊 AHP 与目标规划结合起来，以确定合适的制造订单产品所需的供货商和供应链的订单^{[1][10]}。建立了以最小化周期预算、最小化缺陷率、最大采购总价值、最大化需求为目标的多目标优化模型，用来选择每一批次生产过程中所需的最合理供应商。供应商选择和最优订单数量分配是闭环供应链（CLSC）和逆向物流（RL）中最重要的两个过程。Jahangoshai Rezaee (2022) 在此基础上，给出了 CLS C 优化、有效供应商的选择、订单分配模式^{[1][11]}。利用综合同时数据包络对纳什讨价还价博弈的多目标规划进行了建模。Vaidyanathan Jayaraman (2017) 等人提出了两个混合整数非线性规划模型，以在供应商能力和质量约束下，在最小化年度订购、库存持有和采购成本的同时，选择最佳供应商集并确定订单数量的合适的分配方案^{[1][12]}。Sy-Ming Guu (2014) 等人提出了一种称为供应商组合优化（SPO）的新方法，该方法通过使用预期单价、预期质量分数和逾期交付分数之间的权衡，结合供应商多样化的好处，改进了供应商选择的最新技术^{[1][13]}。

1.2.2 国内研究现状与发展趋势

在供应链管理中供应商的数量也会影响到供应链管理的复杂性上。对此，我国许多相关的科研人士针对供应商选择做出了深入的研究。其中有大量的研究应用了运筹学的方法陈可嘉，金炼，林月柑（2017）由交易成本、风险损失、采购成本构成的采购总成本与供应商数量之间的关系进行分析，以解决供应链中断风险的供应商数量选择问题。通过实例分析证明该模型的可行性，并讨论相关参数对最佳供应商数量的影响，如机会主义成本，合作程度，平均市场需求，弹性系数，供货风险概率等^{[1][14]}。供应商数目的多少直接关系到供应链的风险与成本，刘臣，张庆普，单伟（2010）在此基础上，建立了最佳供应商数目整数规划模型，并对供应商数量的弹性契约的可行性进行了分析，并对最佳供应商数目中的风险和风险影响进行了分析^{[1][15]}。采用非线性整数规划法，对供应风险、需求风险和供应费用等方面进行考虑，确定了最佳的供货商数目。对供应商选择的问题，目前国内外的学者的研究大致可以分为以下两个方面：一种比较传统，即建立各种数学模型来进行供应商选择用，一种线性权重的方法来评价供应商。杨华，汪贤裕（2007）通从有风险偏好的企业角度出发，通过定性和定量分析供应商选择过程中存在的风险，并初步探讨风险控制方法，构建供应商选择模型^{[1][16]}。张涛（2011）针对企业的具体目标，利用多个目标计划对供应商进行选择，由此得到了企业最后选取的供应商^{[1][17]}。以 ABB 公司的供应商的选择为例，将本文所提出的模型运用于该案例，得到了绿色战略供应商的结合及相应订单的购买量。刘诚，卢宗娟，梁文冬^{[1][18]}以供应商的供应能力和厂商的需求能力为模糊参数，基于一定程度上不允许缺货的前提，确定参与供应商和各自的供货数量，使总成本降到最低。通过算例数据，分析模型的置信水平不同，从而提供供应商选择的基础。

运筹学是对资源不充分的情况下如何最好地设计人-机系统，从而实现了其良好地运行的学科的一门学科（徐选华，2018）。整体而言，运筹学是一门用来解决实际问题的学科，通过合理运用，可以解决现实生活中各种千差万别的问题，根据运筹学的思路，在解决具体问题的过程中一般应该从以下几方面考虑^{[1][19]}。第一步是确定目标，第二步是制定方案，第三步是建立模型，第四步是制订解法。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/086034101154010055>