

分类号 TP391.1
UDC _____

密级 _____
编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

论文题目 服务能力突变下物流服务供应链
网络协作研究

研究生姓名: 谭伟嫻

指导教师姓名、职称: 曹晓军 教授

学科、专业名称: 管理科学与工程

研究方向: 物流信息系统分析与应用

提交日期: 2021年5月15日

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 谭伟媛 签字日期： 2021.5.15
导师签名： 常晓军 签字日期： 2021.5.15

关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定， 同意（选择“同意”/“不同意”）以下事项：

1.学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2.学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 谭伟媛 签字日期： 2021.5.15
导师签名： 常晓军 签字日期： 2021.5.15

Research on Cooperation of Logistics Service Supply Chain Network under Sudden Change of Service Capability

Candidate :Tan Weiman

Supervisor:Cao Xiaojun

摘 要

全球疫情爆发后各国管控政策的实施导致物流服务发生中断,依靠物流业运作的产品供应链也遭到中断风险,因此研究物流服务供应商服务能力突变情况下的物流服务供应链协作策略以保障整条链的正常运作非常必要。随着经济全球化的发展,作为载体的物流业也向着网络化发展,且现有技术也足以支撑从网络视角对物流服务供应链进行研究。

基于此,本文对服务能力突变下物流服务供应链网络协作进行研究,包括物流服务供应链网络构建和服务能力突变下物流服务供应链网络协作的研究。首先分析物流服务供应链网络的一般结构,并建立成本最小和客户满意度最大的双目标优化模型来构建物流服务供应链网络,然后对服务能力突变情况下的物流服务供应链网络协作进行演化博弈和系统动力学分析。本文主要研究成果如下:

(1) 构建了成本最小和客户满意度最大的物流服务供应链网络双目标优化模型,采用遗传算法求解后得到构建的物流服务供应链网络。可查文献大多从网络视角对物流服务供应链的网络属性及脆弱性等进行分析,本文给出物流服务供应链网络一般结构,并采用降低成本和提升客户满意度的双目标优化模型构建物流服务供应链网络。在模型求解过程中采用 ϵ -约束法将客户满意度目标函数转化为约束条件,保障在一定程度达到客户满意度的基础上,实现成本最小化目标。最后采用实数编码的遗传算法对模型进行求解,得到构建的物流服务供应链网络,并用可视化方法绘制物流服务供应链网络图。

(2) 构建了服务能力突变下物流服务供应链网络内的集成商协作策略演化博弈模型,并用系统动力学进行仿真分析。从宏观角度将物流服务供应链中的集成商抽象为服务能力不足和服务能力冗余的两个群体,研究其中一个物流服务供应商服务能力发生突变,并在集成商非完全理性假设下,构建集成商协作策略演化博弈模型,之后运用系统动力学方法进行仿真,分析各协作策略的演化过程、演化结果及影响其策略变化的因素。研究发现两个集成商群体在一次性协作和联盟协作两种策略之间的最优协作策略是双方均选择联盟协作模式,此外还发现增加激励金或超额收益可以缩短企业间的博弈周期。

关键词: 物流服务供应链网络 横向协作 演化博弈 遗传算法 系统动力学

Abstract

After the outbreak of the COVID-19, the implementation of control policies led to the interruption of logistics services. Product supply chains depend on the operation of logistics industry also been effected. Therefore, it is necessary to study the logistics service supply chain collaboration strategy under the sudden change of the service ability of logistics service providers to ensure the normal operation of the entire chain. With the development of economic globalization, the logistics industry is also developing towards network, and the existing technology is enough to support the research of logistics service supply chain from the network perspective.

This paper studies the logistics service supply chain network cooperation under sudden change of service capability, including the construction of logistics service supply chain network and the research of logistics service supply chain network cooperation after sudden change of service capability. Firstly, the general structure of logistics service supply chain network is analyzed, and a two-objective optimization model with minimum cost and maximum customer satisfaction is established to construct the logistics service supply chain network. Then, the evolutionary game and system dynamics analysis of logistics service supply chain network cooperation under sudden change of service

capability are carried out. The main research results in this paper are as follows:

(1) A dual-objective optimization model of logistics service supply chain network with minimum cost and maximum customer satisfaction is constructed. The logistics service supply chain network is obtained after solving the model with genetic algorithm. Most available literatures analyze the network attribute and vulnerability of logistics service supply chain from the network perspective. This article gives the general structure of the logistics service supply chain network, and uses a dual-objective optimization model to reduce costs and improve customer satisfaction to construct logistics services supply chain network. In the process of model solving, the ε -constraint method is used to transform the objective function of customer satisfaction into constraints, so as to achieve the goal of cost minimization on the basis of achieving customer satisfaction to a certain extent. Finally, the real-coded genetic algorithm is used to solve the model, and the constructed logistics service supply chain network is obtained, and the visualization method is used to draw the logistics service supply chain network diagram.

(2) The evolutionary game model of cooperation strategy of integrators in logistics service supply chain network under sudden change of service capability is constructed and simulated by system dynamics. From a macro perspective, the integrators in the logistics service supply

chain are abstracted into two groups with insufficient service capabilities and redundant service capabilities. If the service capability of a logistics service provider changes suddenly, an evolutionary game model of cooperation strategy of integrators is established under the assumption of incomplete rationality of integrators. Then, system dynamics method is used to simulate and analyze the evolution process, results and factors affecting the change of each cooperation strategy. It is found that the optimal cooperation strategy of two integrator groups between the two strategies of one-time collaboration and alliance collaboration is that both parties choose alliance cooperation mode, and it is also found that increasing incentives or excess returns can shorten the game cycle between companies.

Keywords: Logistics service supply chain network; Horizontal collaboration; Evolutionary game; Genetic algorithm; System dynamics

目 录

1 引言	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究意义.....	2
1.3 国内外研究现状.....	4
1.3.1 不稳定物流服务供应链.....	4
1.3.2 供应链协作.....	6
1.3.3 供应链网络.....	8
1.3.4 文献述评.....	9
1.4 研究内容及结构.....	10
1.4.1 研究内容.....	10
1.4.2 技术路线图.....	11
1.4.3 论文结构.....	11
1.5 创新点.....	12
2 相关理论	14
2.1 复杂网络.....	14
2.2 遗传算法.....	14
2.3 演化博弈.....	16
2.4 系统动力学.....	17
2.5 本章小结.....	18
3 物流服务供应链网络构建	19
3.1 物流服务供应链网络结构及参数介绍.....	19
3.1.1 物流服务供应链网络结构.....	19
3.1.2 相关参数.....	20
3.2 成本和客户满意度双目标优化模型的构建.....	21
3.2.1 物流服务供应链网络成本模型.....	21
3.2.2 客户满意度模型.....	22

3.2.3 双目标优化模型的构建.....	23
3.3 模型求解及算例检验.....	24
3.3.1 多目标处理.....	24
3.3.2 模糊市场需求处理.....	25
3.3.3 遗传算法求解模型.....	25
3.3.4 数值分析.....	29
3.4 本章小结.....	33
4 服务能力突变下物流服务供应链网络协作研究.....	34
4.1 问题描述.....	34
4.2 相关定义、假设及参数.....	35
4.2.1 集成商定义.....	35
4.2.2 相关假设及参数.....	36
4.3 集成商协作模式的演化博弈分析.....	38
4.3.1 演化博弈模型的建立.....	38
4.3.2 演化博弈均衡点稳定性分析.....	41
4.4 基于系统动力学的仿真分析.....	44
4.4.1 系统动力学模型的建立.....	44
4.4.2 仿真分析.....	45
4.4.3 相关结论.....	53
4.5 本章小结.....	52
5 结论与展望.....	53
5.1 主要结论.....	53
5.2 研究展望.....	54
参考文献.....	55
攻读硕士学位期间发表论文及科研情况.....	61
致谢.....	62
附录.....	63

1 引言

1.1 研究背景

习近平总书记表示要树立安全发展的理念，维护供应链安全。在 2020 年 5 月两会上提出的“六保”“六稳”是指保产业链供应链稳定，这也将供应链稳定安全提升到国家安全战略层面。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》指出我国现阶段处于发展的重要时期，要继续提升产业链供应链这“两链”的现代化水平。从国家出台的各种政策可以看出供应链安全得到极大关注。供应链是将起点直至终点的多个企业连成一个功能网链结构，实施供应链管理可以极大提升工作效率，增强企业的核心竞争力。

物流服务供应链是一种新型供应链，它是以产品供应链为基础并结合物流服务的相关特性发展起来的，以客户需求为拉动力，链上各节点协调配合为客户提供一套完整的物流服务。物流服务供应链中主要有两大类主体，一是提供各项功能型物流服务的供应商（Function Logistics Service Provider, FLSP），如仓储服务、运输服务、装卸服务等；二是集成商（Logistics Service Integrator, LSI），其将各项物流服务进行整合、重组、集成等，实现物流服务的整合优化。

物流业作为国民经济的重要组成部分，是各行各业实现高质量发展的支撑。为了推动我国物流产业以更好的质量、更快的速度发展，我国先后出台《关于进一步推进物流降本增效促进实体经济发展意见》、《关于推动物流高质量发展促进形成强大国内市场的意见》、《推动物流业制造业深度融合创新发展实施方案》等多项政策。

但是物流服务不可存储的特性、客户需求的随机性以及物流服务供应商产出的易变性等常会使物流服务供应链遭到破坏，进而影响整条链的正常运作。因此在关注物流服务供应链安全的基础上，我们还要做好应急措施，保障物流服务供应链在遭遇突发事件后可及时采取紧急补救措施响应客户需求。

以往对物流服务供应链的研究主要集中于定价、采购决策或者协调策略等方面，关于突发事件影响物流服务供应链正常运作情况下的协作策略研究较少，现

有研究成果多是关于两条链的跨链协作策略。但是随着经济全球化的发展,物流业也向着规模化、网络化发展,单单对几条物流服务供应链进行研究已经不能满足实际需求,以网络视角研究物流服务供应链是大势所趋。物流服务供应链网络中的节点是构成物流服务供应链的物流服务供应商、集成商,两者之间的供需合作关系即为网络的边。并且在对物流服务供应链决策策略研究时发现各主体很难达到传统博弈假设的“完全理性”状态,一次博弈并不能令双方做出最优决策,各主体会不断获取外界信息,进而改变自己的策略。因此现在需要从网络视角出发并采用演化博弈的方法对物流服务供应链协作策略进行研究。

基于上述内容,本文从网络视角对物流服务供应链进行研究。首先对一般情况下的物流服务供应链网络运作情况进行分析,通过建立多目标优化模型决策集成商订购策略,以达到优化整个物流服务供应链网络的成本和客户满意度的目标。物流服务供应商可能会因环境、人为因素等各种情况造成服务能力的破坏,继而导致部分集成商的需求不能被满足。在构建的物流服务供应链网络基础上,本文基于非完全理性的假设对服务能力不足的集成商和服务能力冗余的集成商之间的协作策略进行演化博弈分析,以寻找两者之间最优协作模式。

1.2 研究意义

以往多是基于由少数几个物流服务供应商、集成商和客户组成的链式结构来研究物流服务供应链,分析链上各主体经过博弈后的决策策略或如何实现物流服务供应链协调,但是只对单链决策策略进行研究已不能满足物流业网络化发展需求。基于此何婵^[1]从社会网络这个新的视角出发对物流服务供应链的网络属性及其对各成员的成长作用机理进行分析;张广胜^[2,3]基于复杂网络相关理论构建物流服务供应链网络的脆弱性测度指标。可以看出部分学者逐渐认识到物流服务供应链网络研究的必要性,但是其只分析了物流服务供应链网络的相关网络属性及脆弱性,没有以数值实验的方法分析物流服务供应链网络的运作情况。因此本文以实现整个网络的成本和客户满意度最优为目标,对物流服务供应链网络的订购策略进行研究,并在最后进行数值实验得到构建的物流服务供应链网络。

现实生活中有很多突发状况会阻碍物流服务供应链的正常运作,张广胜^[4]分析了单条物流服务供应链中集成商通过预定备用供应商的服务能力来克服供

给风险；之后还以两条两级物流服务供应链为对象，研究了集成商的跨链应急协作机制^[5]。但是都没有从网络视角分析突发事件发生后物流服务供应链的协作策略。因此本文以物流服务供应商服务能力突变可能会导致物流服务供应链网络中多个集成商的需求不能被满足为背景，研究物流服务供应链网络内集成商之间的协作策略。通过上述分析可以将本文研究内容对物流服务供应链的意义归纳为以下两个方面：

（1）丰富了物流服务供应链的研究成果

以往多基于单条或两条物流服务供应链对链内各主体的定价、采购量等策略进行研究。但是随着对物流服务供应链认识的深入，发现用社会网络理论可以很好地分析其具备的网络属性特征，如：无标度性、动态性、择优连接、小世界效应等。基于此，本文从网络视角展开对物流服务供应链的研究，通过构建成本最小、客户满意度最大双目标优化模型构建物流服务供应链网络，并用可视化方法将构建的物流服务供应链网络表示出来。与以往单条物流服务供应链内集成商与物流服务供应商之间进行斯坦柯尔伯格博弈决策采购策略不同，本文对多条物流服务供应链采购策略进行研究，以实现整个网络最优为目标。通过分析构建的物流服务供应链网络还可以发现其同样具备无标度特性。通过本文研究内容以期可以扩充物流服务供应链研究成果。

（2）为集成商群体协作提供指导建议

全球环境的持续恶化会导致很多突发事件的产生，一旦发生破坏性事件，因级联效应造成整条物流服务供应链甚至整个网络受到的损失是无法估量的。因此在物流服务供应链遭受破坏时，采取及时补救措施避免产生更大损失极其重要。但是现有研究都是关于单链内采用备用物流服务供应商或两条链的集成商进行跨链协作来应对突发风险，没有从网络视角对物流服务供应链网络协作策略进行分析。但是现今物流服务供应链的网络性逐渐明显，基于此，本文从网络视角对物流服务供应链的协作策略做了相关分析，同时还考虑到集成商并非完全理性的事实，构建了演化博弈模型，研究发现集成商之间采取联盟协作方式可获得最大收益。以往研究总假设博弈主体是完全理性的，本文非完全理性个体的假设更加符合实际，因此研究结论可以为相关物流企业协作提供一定指导建议。

1.3 国内外研究现状

本文主要是对遭遇突发事件导致物流服务供应商服务能力发生突变后物流服务供应链网络协作策略的研究,基于此本文查阅相关文献资料后从不稳定物流服务供应链、供应链协作、供应链网络三方面分析现有研究成果,归纳、总结后找出突发事件下关于物流服务供应链网络及其协作等方面研究的不足之处,并在以往研究成果基础之上开展本文研究,并实现改进与创新。

1.3.1 不稳定物流服务供应链

该部分根据物流服务供应链供需两端可能遭遇的突发事件分析供应链的不稳定性,并对突变后如何实现物流服务供应链协调进行分析。因此将后续内容分为供应变化、需求变化、供应链协调三部分进行相关研究成果的阐述。

随着供应链全球化的普遍,人们对供应链面临的风险越来越关注,因为不同以往,一个企业的运作情况发生变化可能会导致整个供应链的瘫痪,造成无法估计的损失。在运作过程中供需的中断和不确定性可能会导致供应链决策的变化,进一步对其进行分析,找出物流服务供应链最优决策策略,可以为实际生产运作提供建议。

(1) 供应变化

在供应方面可能会出现物流服务供应商因自然灾害或自身资源短缺等原因造成供应中断或供应不确定性情况的发生。基于此邢鹏等^[6]发现已有很多文献对LSSC质量问题做了研究,并将行为因素加入其中进行分析,在此基础上,他在供应中断情况下将风险规避考虑在内,对物流服务质量进行研究;张广胜等^[4]认为在突发情况下兼顾成本与收益,采用备用供应商参与供应链运作是有效解决应急情况的方案。通过对供应中断情景下的供应链决策进行分析可得出此环境下的最优策略,舒彤等^[7]在转运机制基础上分析主供应商与备份供应商发生中断四种情形下,集成商最优订货策略;Sawik^[8]对存在中断风险的单源和多源供应商的选择和订单分配问题做了分析。

(2) 需求变化

需求变化一般是指获取更多市场信息之后的需求更新、需求中断或集成商由

于获取的市场信息较少而面对的一种模糊市场需求状态。需求更新是指集成商会有提前订购期,但是越临近销售期其所获取的市场需求信息就会愈加精确,因此在需求更新下的供应链决策研究中,学者们多使用两次订货机会来分析物流服务供应链决策,Liu等^[9]研究了在需求更新条件下,损失厌恶偏好对物流服务供应链采购策略的影响;Liu等^[10]综合考虑需求更新和服务质量缺陷承诺对物流服务供应链决策策略的影响;张翠华等^[11]考虑因供应链参与者自身行为导致的需求更新,并在他人关于服务质量控制研究的基础上建立博弈模型分析供应商和集成商决策策略;杜妮等^[12]发现大多文献对需求更新等多周期与质量缺陷承诺相结合的订购问题进行了研究,但是对单周期内存在需求更新及考虑质量缺陷承诺的物流服务供应链订购问题研究较少,因此建立博弈模型分析了三种典型合作模式下的物流服务订购策略。需求中断是指客户需求产生大幅变动,集成商因不能适应这种骤变而导致的运作中断。Liu等^[13]分析了需求中断对物流服务供应链协调的影响,并分析和比较了分散、供应商联盟和集中决策三种协调模式下的决策变化。由于信息的不对称性或市场的多变性导致市场需求的模糊和不确定,Liu等^[14]对随机需求下的物流服务供应链的收益共享系数进行了研究;李剑锋^[15]等分析了市场需求不确定情景下四种市场组合的最优定价及订购策略,并对不同组合下供应链效率进行了比较;Yan等^[16]研究了需求不确定情景下采取风险中立和规避风险两种态度对两阶段订货策略的影响。

(3) 供应链协调

当供应或需求发生中断时供应链通常是采用契约的方式进行供应链协调,但是由于物流服务不可存储等的特殊性可能会导致无中断情况下的协调机制失效,因此,需要对原有的协调机制进行改进以适用于物流服务供应链。

王效俐等^[17]利用网络层次分析模型对突发情况下的物流服务供应链协调进行研究,通过对合作补救能力评价和指标要素剖析明确其影响要素,同时在另一篇文献中^[18]还对三级物流服务供应链在遇到突发情况时如何合作的问题进行了研究;一般文献在引入突发情况时没有进行细化分类,陈文涛等^[19]首先将突发事件分为常规和非常规两类,并说明其只研究非常规突发事件下的三级供应链协调问题,并发现需要对原有基准收益共享契约进行调整,加入合适的成本共担契约后才可以进行供应链协调;桂云苗等^[20]利用补偿契约机制协调固定需求与随机需

求下供应能力不确定的集中协调与分散协调模型。

综上所述可以看出学者对物流服务供应链可能会面临的突发情况有了较全面的认识,并对各种突发情况下的物流服务供应链决策策略、协调机制进行了详细研究。

1.3.2 供应链协作

环境的复杂性决定了供应链的不稳定性,通过上述供需不确定情况的介绍可以发现供应链中供应中断、需求中断等情况时常发生,为满足终端客户需求必须采取一些协作方法使供应链可以正常运作。研究发现供应链内多主体组成一个信息、资源共享的联盟组织、横向跨链协作、或供应链协同等都可以实现协作的目的,因此从供应链联盟、跨链协作、供应链协同三方面分析供应链协作策略。

(1) 供应链联盟

中断供应链可以通过同级企业协作联盟互助解决中断问题,但是任何联盟的形成都不是无条件的,只有联盟之后可以创造更高的价值才会有合作的可能性,因此张昕瑞等^[21]分析了动态合作联盟的形成条件。但是这只是联盟形成的前提,协作联盟的维持需要持续的动力,基于此,张毅等^[22]将动力机制分为内外两类,并分别研究了协作网络特征。在协作联盟构建前需要进行多方工作,如联盟伙伴筛选、联盟战略确定、结构规划、策略选择等多项流程,张翠英等^[23]分析了如何确定农产品供应链的联盟伙伴,并采用层次分析法构建指标体系分析出主要选择标准;卓翔芝^[24]首先运用复杂系统工程相关理论从多方面对供应链联盟系统的复杂性进行分析,之后采用系统工程的方法进行企业战略选择;肖旦等^[25]发现采购联盟结构与折扣比例有关,比例越低,联盟范围越小,比例越高联盟模式越大,但是当两部收费制折扣契约存在时,采购联盟结构就不再受折扣比例的影响,始终选择大联盟模式;王倩文等^[26]对分散、两方联盟、三方联盟等不同模式的决策策略进行分析,解决闭环供应链联盟策略问题;浦徐进等^[27]基于非合作博弈分析不同联盟的利润变化情况,基于合作博弈研究利润分配机制;薛霄等^[28]介绍了“集群式供应链”这种新型管理模式的含义和主要组成,并通过真实案例讲述其实施过程,这为中小企业应对全球化竞争提供极大帮助。联盟成立后对供应链的作用最直观的体现就是运作效率的改变,因此冯颖等^[29]在四种联盟模式决策策略的基

基础上对供应链联盟的运作效率进行分析,发现效率最高的是运销联盟模式,这为企业选择联盟模式提供了理论支撑。

(2) 跨链协作

鉴于增加库存和采用多源供应商都需要耗费较大的成本,因此一般产品供应链在面对突发情况导致的运作中断时多是进行跨链库存协作,这种方法可以在降本增效的前提下实现供应链协作,如朱海波等^[30]将纵向正常补货与横向应急补货两种策略相结合研究跨链库存协作机制,发现该机制可以达到提高利润降低成本的目的;周兴建等^[31]基于拉格朗日算法对跨链订单进行配置,提升了客户满意度和总利润;刘春玲等^[32]在云制造服务平台上研究异质供应链的跨链采购,通过建立无契约和有限超储契约两种跨链采购模型并进行对比分析发现无契约比有契约的采购成本高;颜波等^[33]用系统动力学方法不仅对三级供应链同级跨链库存协作进行研究,还将研究领域扩展到非同级,他的研究对已有的跨链间库存应急互补模型研究成果有极大丰富作用,还能为现实企业应急协作提供参考;李宏宽等^[34]建立分散、集中及收益共享三种模型研究跨链同级库存协作,发现引入契约的方法仍能使集群式供应链协调。

(3) 供应链协同

供应链协同也可很好解决供应链应急情况,实现供应链协作,公彦德等^[35]、郭龙^[36]都对供应链协同做出解释,指在运作过程中供应链各成员企业相互配合、资源共享进而增强供应链整体竞争力,对供应链绩效实现改进。供应链协同包含横纵两个方向,公彦德等^[35]发现在供应链系统中仅实行横向协同优于横、纵均不协同,横、纵双向协同对供应链系统的价值优于仅实行横向协同;鄢飞^[37]在研究供应链协同时引入横向公平偏好行为,提出一种更科学的协同运作模式。

以上主要是对产品供应链协作模式、策略、供应链协调的研究,其部分研究方法可以为物流服务供应链协作研究提供一定帮助,但是物流服务供应链不可存储的特性决定其不能利用增加库存的方式应对突发状况,但是可以借鉴产品供应链的横向跨链协作的方法。因此张广胜^[5]在研究集成商运作失效应急互补合作中将物流服务供应链的特性考虑在内,研究分散、集中及收益共享三种模型的跨链协调机制。

1.3.3 供应链网络

供应链网络是由多个供应商、零售商、客户等组成的庞大供需网络。许多学者对供应链网络的设计和优化有了很全面的研究,并且随着对供应链网络认识的深入,部分学者在供应链网络设计过程中将增强网络鲁棒性考虑在内。基于此,后文将从供应链网络优化、具有鲁棒性的供应链网络两个方面对相关文献进行总结。

(1) 供应链网络优化

供应链网络是由多个供应商、零售商、客户等组成的庞大供需网络,对供应链网络进行设计优化的目的是为了更好的实现资源的优化配置。供应链网络设计实质上就是确定供应商、生产商、零售商等网络中相关企业的数量和位置以及供需合作关系或运输线路等,完成各类决策之后确定其网络结构。国内外关于供应链网络优化设计的研究已有很多,周宝刚等^[38]用模糊多目标规划的方法对供应链网络进行设计;Fattahi 等^[39]对动态供应链网络设计问题进行了研究,并考虑到企业具有产能约束;胡鸿韬等^[40]基于价格—需求函数对三级供应链网络进行优化,李晓萍等^[41]认为供应链关系质量很重要,因此在网络优化设计中加入供应链关系质量的考量。

在实际生活中供应链网络优化设计通常有多个优化目标,而这些优化目标又是相互矛盾和冲突的,不可同时实现^[42,43]。李进^[44]在对供应链网络优化时同时优化总成本和总碳排放量;董海等^[45]以网络成本、碳排放量、顾客满意度三者作为网络优化目标;贾旭等^[46]以供应链网络成本和碳排放量为目标对模糊环境下的三级供应链网络进行优化。但是降低整个供应链网络的成本和减少碳排放量这两个目标是相互冲突的,一般来说碳排放量的控制需要耗费更多的成本才可以达到。在一个优化模型中如果存在两个甚至更多相矛盾的目标,可以通过将某个优化目标转化为相应的约束条件进而达到同时优化的目的,高举红等^[47]在构建总成本最小的闭环供应链网络时,将碳排放量的控制转化为约束条件;张鑫等^[48]在考虑成本、环境影响、社会影响等三个优化目标基础上对闭环供应链网络规划时,采用 Epsilon-约束方法将多目标转化为单目标优化问题。

(2) 具有鲁棒性的供应链网络

全球范围内的企业为了增强竞争力都在向供应链方向发展,并且不是几个企

业组成的一条简单产业链，而是具有复杂信息流、物质流、资金流的复杂系统，这种复杂网络结构不可避免的会遭受更多风险^[2]，并且随着全球环境的不断恶化，供应链网络的运作正处在一种多变的环境之中，因此在对供应链网络优化设计过程中要将风险规避考虑在内，通过增强供应链网络的鲁棒性来增强供应链网络的竞争优势^[49]。Jabbarzadeh 等^[50]和 Zokace 等^[51]都针对供、需的不确定性设计了具有鲁棒性的供应链网络；卢梦飞等^[52]考虑到突发情况会对供应链网络服务水平造成影响，因此在进行供应链网络设计时将应急策略考虑在内；肖建华等^[53]基于节点失效和需求波动等一些不确定因素，构建具有高弹性的供应链网络；AzadN 等^[54]在设计供应链网络时考虑若有随机中断风险，需要进行风险控制才能设计出更可靠的供应链网络；邱若臻等^[55]认为可能会发生设备故障不能满足下游需求或节点链接失效的情况，在这种不确定环境下设计的供应链网络应具备鲁棒性，因此建立了一种非线性规划模型；马卫民等^[56]认为决策者对风险是存在偏好的，因此在网络优化过程中将决策者行为偏好考虑在内，并优化网络总成本；蒲国利等^[57]在供需不确定条件下设计可以满足灾后救援需求的供应链网络；陶俐言等^[58]对如何设计具备更强鲁棒性的供应链网络给出了自己的意见。

上述文献都是对产品供应链网络的优化设计，在物流服务供应链网络方面的研究较少，刘伟等^[59]为分析物流服务供应链的理论架构与研究范式，以企业物流网络作为物流服务供应链的研究基础，并将服务主导逻辑认为是其研究范式；何婵^[1]从社会网络这个新的视角出发，用社会网络分析法对物流服务供应链的网络属性进行分析，并探讨了这些属性对各成员的成长作用机理，为物流服务供应链的研究开拓了新思路；在此基础上，宋娟娟^[60,61]根据集成商通过 LSSC 获取的资源类型将物流服务供应链网络划分为五种子网络，并分析了子网络对集成商绩效的影响，还在彭罗斯理论框架下探析了社会、物流协作、市场、物流创新、声誉等五类子网络对集成商成长的作用机制；张广胜^[2,3]基于复杂网络相关理论构建物流服务供应链网络的脆弱性测度指标，并提出防范措施。

1.3.4 文献述评

综合来看，现有文献对物流服务供应链可能遭受的突发事件做了较全面的分析，在本文中将其按照供、需两端的变化进行文献总结，上述文献分析了供应中

断、需求中断、需求更新等情况下物流服务供应链的决策策略，并将协调策略进行改进，研究了适用于突变情况下物流服务供应链的协调机制。关于突变情况下物流服务供应链链间协作的研究较少，仅有少数文献研究了发生突发状况后集成商通过跨链协作机制进行链间服务能力互补以解决服务能力不足的问题，大部分文献仍考虑以备用供应商的方法解决物流服务供应链突发状况。而对供应链协作的研究较全面，分析了组建联盟、进行跨链库存协作、供应链协同等多种方式来实现多个企业之间的互助合作，因此在研究物流服务供应链协作时可以借鉴供应链协作相关方法，并加入服务的特性，研究适合物流服务供应链的协作策略。以网络视角研究物流服务供应链的文献也比较少，且多是分析物流服务供应链网络的网络属性、子网络分类及作用机理、网络脆弱性等，没有对整个物流服务供应链网络的订购量或定价策略等进行分析。

基于此，在以往研究基础上，本文将从网络视角研究物流服务供应链，并将突变情况考虑在内，研究服务能力突变下物流服务供应链网络协作。在物流服务供应链网络优化设计时借鉴供应链网络设计方法，构建适用于物流服务供应链网络的优化模型。在对物流服务供应链网络协作研究时，考虑到物流服务不可存储的特性，以集成商跨链协作的方法解决其服务能力不足问题，并在集成商非完全理性假设基础上构建集成商之间的演化博弈模型，分析集成商的最优协作策略。

1.4 研究内容及结构

1.4.1 研究内容

通过上述文献总结前人研究不足之处，进而确定本文研究内容如下：

(1) 物流服务供应链网络构建。在第一个内容中研究物流服务供应链网络整体订购策略，以期达到优化成本和客户满意度的目的。并且用数值实验方法对物流服务供应链网络进行研究，丰富了物流服务供应链网络研究成果。在研究中首先分析物流服务供应链网络的相关特征，绘制物流服务供应链网络一般结构图，之后以最小化成本和最大化客户满意度为目标，并将物流服务供应商的服务能力、集成商获取的市场需求等约束条件考虑在内构建物流服务供应链网络优化模型，并运用实数编码的遗传算法进行模型求解，整个模型求解结束之后进行数

值实验，以可视化方法展示构建的物流服务供应链网络，为第二部分研究物流服务供应链网络协作奠定基础。

(2) 服务能力突变下物流服务供应链网络协作研究。第二个研究内容对服务能力不足的集成商群体与服务能力冗余的集成商群体之间的协作策略进行了分析。以往多是关于两个集成商跨链协作机制的研究。从网络视角对集成商跨链协作策略进行研究，解决了多个集成商协作问题。该部分是在前一部分构建的物流服务供应链网络上进行的。现今社会中存在很多突发状况会导致物流服务供应链网络中的某一个或一些物流服务供应商的服务能力发生变化，继而造成多个集成商的订购量不能被满足。集成商为了及时向客户提供物流服务，一般会与网络内的同级节点企业协作，即向网络内其他集成商订购物流服务。基于集成商非完全理性假设，构建演化博弈模型对集成商协作策略进行分析，并用系统动力学方法进行仿真。

1.4.2 技术路线图

技术路线图如图 1.1 所示。

1.4.3 论文结构

第一章：引言。首先对服务能力突变下物流服务供应链网络协作相关背景进行介绍，并阐述本文的研究目的是要为服务能力突变下物流服务供应链网络协作提供理论基础，为现实物流服务供应链网络中企业协作提供一种新方法、新思路。通过查阅、总结相关文献对不稳定物流服务供应链、供应链网络以及供应链协作三个方面的研究成果进行分析，找出当前研究不足之处，明确在当前复杂网络环境下，进行突发情况下物流服务供应链网络协作研究的重要性和必要性，进而确定本文主要研究内容、完整的技术路线以及相较之前研究成果的创新点。

第二章，相关理论介绍。在本章对后文研究需要用到的一些理论进行简单介绍，为后续研究奠定理论基础，以便可以更好理解本文研究中用到的相关模型与方法。对复杂网络、遗传算法进行介绍为阅读第三章中网络构建及模型的求解具有帮助，对演化博弈和系统动力学进行相关理论的阐述，有利于理解第四章中集成商协作模型的构建与演化分析。

第三章：物流服务供应链网络构建。首先对物流服务供应链网络特性进行描述，并绘制物流服务供应链网络结构图。之后以优化整个物流服务供应链网络的成本和客户满意度为目的建立双目标优化模型，并采用实数编码的遗传算法对物流服务供应链网络优化模型进行求解，得到整个网络内集成商的订购策略以及构建的物流服务供应链网络。

第四章：服务能力突变下物流服务供应链网络协作研究。在物流服务供应商服务能力突变的情况下，研究网络内两个集成商群体之间的跨链协作策略，运用系统动力学方法构建基于系统动力学的集成商协作模式演化博弈模型，找出集成商之间的稳定协作策略，并通过仿真分析验证相关结论。

第五章：结论与展望。本章对整篇论文的研究成果进行总结，思考其研究意义以及研究价值，给出物流服务供应链网络协作的一些建议，同时对本文研究不足之处进行思考，给出在该领域未来可能的研究方向。

1.5 创新点

本文创新之处主要有以下两点：

(1) 构建了物流服务供应链网络，并进行数值模拟实验。在构建物流服务供应链网络时，通过构建成本最小与客户满意度最大的双目标优化模型实现物流服务供应链网络设计。已有文献大多是对单条或两条物流服务供应链的决策策略和供应链协调进行研究，只有少数文献从网络视角对物流服务供应链进行研究，且现有文献只是对物流服务供应链网络的结构、子网络类型、脆弱性机理等进行分析。本文在物流服务供应链网络已有研究成果基础上开展物流服务供应链网络的构建。

(2) 以网络视角研究服务能力突变下集成商群体间的协作策略。在本文中物流服务能力突变可能会导致物流服务供应链网络中多个集成商的需求不能被满足，且因物流服务不可存储的特性，服务能力不足的集成商需求需要网络中多个服务能力冗余的集成商进行协作，因此本文对物流服务供应链网络中的集成商群体协作策略进行分析。而以往文献多是基于单链内备用物流服务供应商或两条链间集成商跨链能力协作机制分析物流服务供应链的应急协作策略。

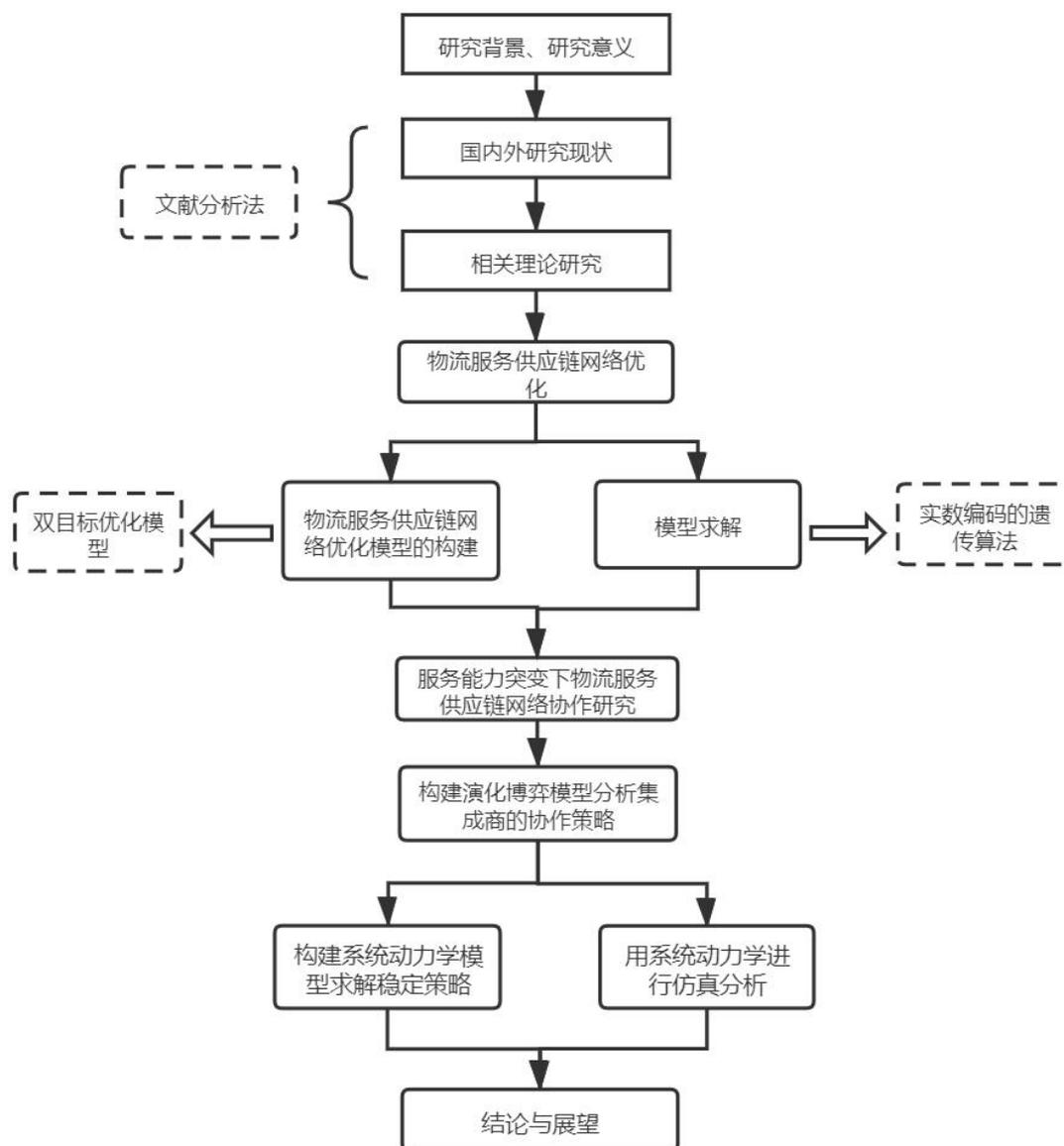


图 1.1 技术路线图

2 相关理论

本文主要研究内容为物流服务供应链网络构建、服务能力突变下物流服务供应链网络协作两部分。在对物流服务供应链网络优化前，首先基于复杂网络特性对物流服务供应链网络一般结构进行分析、描述，之后采用遗传算法对物流服务供应链网络优化模型求解，在集成商协作模型的构建与仿真模拟时需要运用演化博弈理论和系统动力学，因此本章从复杂网络、遗传算法、演化博弈论、系统动力学等四个方面介绍相关理论。

2.1 复杂网络

复杂网络作为一种方法论，是对现实中存在的大量复杂系统和复杂性科学的高度抽象，通过研究网络结构本身性质及网络的动态演化规律来揭示复杂系统的本质规律，进而更好的认识世界和改造世界。供应链网络是一种复杂网络，具有复杂网络的基本属性。

复杂网络具备无标度性，无标度性指网络中的多数节点度值都很低，但少数节点度值很高。那么物流服务供应链网络同样符合无标度性。何婵^[1]描述了集成商的中心性，认为在物流服务供应链网络中集成商处于网络中心位置，占据信息、资源、技术等各方面的优势，是网络内物流服务供应商和客户期望的潜在合作者，在网络中有较多联结。物流服务供应链网络具有明显的异构特征，即连接的不均匀性，相对于网络的大多数节点，少量中心节点拥有大量连接边，这同样说明物流服务供应链网络具有无标度特性。

一般将度分布符合幂律分布的复杂网络认为是无标度网络。因此可以采用复杂网络的一个统计特征度分布来判断某网络是否为无标度网络。复杂网络中度是指与一个节点相连的其他节点数目，分为入度和出度。度越大代表节点在网络中影响力越大。复杂网络中节点度分布符合幂律分布，如果一个网络度分布具有幂律分布特征那么我们就认为其是无标度网络。

2.2 遗传算法

遗传学起源于古希腊，作为生物学一个分支，主要是对生物个体的基因、遗

传变异进行研究。在达尔文生物进化论以及孟德尔的遗传学说基础上出现了遗传算法（Genetic Algorithm, GA），它是美国一位名叫 Johnholland 的教授在受到生物模拟技术启发之下根据生物进化规律于 20 世纪 70 年代提出的，并给出较为完整的理论和方法。遗传算法是一种模拟生物进化自然选择过程的非确定性搜索方法。在遗传算法中每一个可行解都用一个染色体表示，所有染色体组成初始可行域。

遗传算法主要包括：染色体编码、初始种群生成、设置合适的适应度函数、遗传操作等基本操作步骤，其中遗传操作经由选择、交叉和变异完成。

染色体编码是遗传算法第一步，也是关键步骤。编码方式不同，遗传算法收敛速度也不同，因此需要根据求解的问题选择合适的基因编码方式。在编码时可用方法主要有二进制编码、实数编码、符号编码等。其中二进制编码在遗传算法中使用最多，它由二进制符号 0、1 组成，操作简便且便于实现，但是对连续变量而言有严重缺陷。将实数编码与二进制编码对比分析可以发现使用实数编码方法构建的染色体基因型与表现型相同，减少了编码与解码的步骤，对于函数优化问题来说更有效。

一般情况下初始种群的生成都是随机的，如果初始种群较大算法收敛速度会变慢，种群较小又会因个体多样性较少陷入局部最优，因此在遗传算法开始之初需要设置合适的种群大小。

适应度函数是由遗传学中优胜劣汰的遗传机制演化来的，对应到遗传算法中就是适应度函数。性能较优的个体适应度值就大，反之适应度值就小。

遗传操作主要经过选择、交叉、变异三个步骤实施。常用选择策略有轮盘赌选择法、随机遍历抽样法、锦标赛选择法。一般研究中都是单独使用某种策略进行个体选择。但是若将最优个体保留策略和上述三种策略中任意一种策略相结合进行个体选择，并将单独使用某个选择策略的效果与混合策略做对比，可以发现混合策略可使选择操作更加科学，因为通常采用这样的方法就不会造成最优个体的遗漏，还可以加快搜索效率。选择完成之后对每个个体采用交叉操作完成基因重组、采用变异操作改变个体基因值，进而实现种群内个体多样性的增加。

2.3 演化博弈

达尔文的生物进化论是演化博弈理论发展的来源,以往在研究博弈论时总是以假设人是完全理性的个体作为前提,但是这与实际并不相符,人们因为复杂的社会环境与技术缺陷总是不能获取全部的信息一次性做出最满意的决策,经常会在发现更成功的策略时向其转化、学习。在博弈论基础上研究方向开始实现由完全理性参与者的博弈向非完全理性的演化博弈转化。演化博弈论是在“演化稳定策略”^[62]基础上发展开来的,之后又提出了“复制动态方程”^[63]。这两个概念是演化博弈中最重要且最基本的。

在传统博弈论中多关注个体的决策,而演化博弈是以群体为研究对象,更加看重群体效应。演化博弈强调的是系统的动态发展,因此时间是关键因素,每个参与博弈的主体都随时间的发展不断调整自己的策略最终达到稳定均衡状态,演化博弈的过程解释了稳定策略的形成过程,也是演化博弈分析的核心内容。

演化稳定策略是指如果一个群体中所有个体都选择某一策略,并且不受其他策略的干扰维持现有策略稳定不变,那么该群体就达到演化稳定状态,此时个体选择的策略就是演化稳定策略。虽然演化稳定策略这一概念是静态的,但是在演化博弈中它是动态的稳定。

复制动态方程用来描述某一个种群中选择某一策略个体的比例随时间的变化率,如果变化率是正数,那么表示采取该策略的个体数在增加,反之,说明采取该策略的个体数在减少,那么采取另外一种策略的个体数就在增加。复制动态方程的数学表达形式及选择策略*i*的个体数量变化情况如下:

$$\frac{dx_i}{dt} = x_i(L_i - \bar{L})$$

其中 x_i 为演化博弈中某一博弈群体内选择纯策略*i*的个体数占群体内个体总数的比例值, $\frac{dx_i}{dt}$ 表示选择纯策略*i*的个体比例值关于时间的导数,即个体比例随时间的变化速率。 L_i 代表选择某一策略*i*时获得的期望收益, \bar{L} 代表某一博弈群体的平均期望收益。复制动态方程的正负情况分别代表个体比例随时间增大、减小或不变。

演化博弈的基本要素包括:群体、收益矩阵、动态、均衡。群体是演化博弈

的研究对象，每个群体内存在多个相互独立的个体。群体内个体会会有不同的策略选择，那么获得的收益也不相同，所有群体在不同策略下的收益组成收益矩阵。动态反映了演化博弈是一个不断学习、不断改进的过程，直至系统达到一种稳定状态，即均衡，但是这种稳定状态分两种，一种是静态的稳定，一种为动态的稳定。

进行演化博弈分析的步骤包含：（1）建立参与演化博弈各群体的策略选择及收益矩阵：确定每个种群初始策略选择及比例、每个种群每种策略选择的收益，并分析每个种群每种策略选择的期望收益和平均期望收益；（2）建立复制动态方程：根据上述期望收益和平均期望收益建立每个种群某策略选择随时间变化的复制动态方程；（3）求解复制动态方程，找出系统均衡策略；（4）对所有均衡策略进行分析，找出稳定均衡策略。

2.4 系统动力学

系统动力学（System Dynamics）简称 SD。SD 综合系统、控制、决策、电脑仿真等多学科研究非线性、高阶次、多反馈的复杂问题。系统动力学从系统的观点对经济、管理、生态、社会等多个领域的事物发展变化进行分析，研究系统中各部分之间的反馈关系和动态变化。

系统动力学的建模主要分四步：（1）确定系统边界与要素：首先明确研究目的。系统动力学是对系统内各要素进行分析，不受外界因素影响，因此需要确定研究问题，这样可以准确确定要研究的要素，进而确定系统边界。（2）绘制因果回路图，进行系统结构性建模：确定系统边界后对研究所需要的变量进行确定，并确定各变量的类型。变量类型主要有水平变量、速率变量、辅助变量和常量四种。水平变量也叫做状态变量或累积变量，指系统内某一要素随时间变化的积累量，在本文中是指在一个群体中选择某一策略的个体占群体的比例值。速率变量又叫变化率，反映状态变量的变化速度，有流入和流出两种状态，因此状态变量会随着速率变量增加或减少。确定变量类型之后分析各变量之间的相互影响关系，主要有因果关系和反馈回路。因果关系在图中由箭头表示，若箭头由 A 变量指向 B 变量，则代表 A 变量是自变量，B 变量为因变量，B 变量随 A 变量的变化而改变。在系统动力学中因果关系是有极性的，若链上标注“+”，说明 B

随 A 的变化同向变化,若标注的为“-”,则 A 与 B 反向变化,即随着 A 的增大 B 会减小。多个因果关系构成一个回路,整个回路的极性由回路中所有的链条的极性确定,极性为负的链条个数为奇数,则这个回路极性为负,否则这个回路的极性就为正。(3) 建立系统动力学存量流量图:在因果关系回路图上为各变量添加方程,包括微分方程、因果关系式或者参数值。其中速率变量是状态变量的导数,在本文中速率变量的方程式是演化博弈模型中的复制动态方程式,表示选择某一策略个体占群体比例的变化速度。(4) 仿真模拟:选取合适的仿真软件对系统动力学模型仿真,并分析相关影响因素对系统决策的影响。

SD 仿真软件现在主要有 Vensim、Ithink、Powersim 和 Stella 等,其中 Vensim PLE 是一款免费的个人学习版本,可以满足日常研究需求。且 Vensim 软件是一款专用于系统动力学仿真的软件,操作简便、功能齐全,主要通过因果关系图、系统存量流量图构建 SD 模型并进行影响因素的分析。

2.5 本章小结

本章对复杂网络特征及相关统计特性的介绍为后文概述物流服务供应链网络结构等提供依据,有了物流服务供应链网络的基础才能实现对物流服务供应链网络的优化。其后对遗传算法、演化博弈、系统动力学都着重介绍了其操作步骤,并说明演化博弈认为博弈主体是非完全理性人。这些内容为后文中遗传算法求解模型、演化博弈建模、分析以及系统动力学仿真提供参考和理论依据。

3 物流服务供应链网络构建

本章首先根据物流服务供应链网络特征绘制物流服务供应链网络一般结构图，并对相关主体间关系进行分析。在此基础上通过构建成本最小与客户满意度最大双目标优化模型进行物流服务供应链网络的构建，并采用实数编码的遗传算法进行模型求解。在物流服务供应链中主要有两类企业主体，即物流服务供应商和集成商，因此在本章也主要研究这两者之间的订购策略以实现优化目标。

3.1 物流服务供应链网络结构及参数介绍

3.1.1 物流服务供应链网络结构

物流服务供应链网络由物流服务供应商和集成商构成，我们以 I 个物流服务供应商和 J 个集成商为例画出物流服务供应链网络的一般结构图，如图 3.1 所示。多个物流服务供应商和集成商相互交叉连接构成一个网链结构，物流服务供应商处在上游，为下游的集成商提供功能型物流服务。在物流服务供应链网络中一个集成商会集成多个物流服务供应商的服务能力，同样一个物流服务供应商会向一个或多个集成商提供物流服务能力，但是同级各主体之间不存在联系即供需关系。集成商和物流服务供应商都是物流服务供应链网络内的节点，两者之间的供需关系为网络的边，所有的节点和连边构成完整的物流服务供应链网络。

在单独考虑一条物流服务供应链时，因集成商更加靠近客户，获取的信息更多，一般情况下我们认为集成商是博弈中的主导者，其会首先做出决策，物流服务供应商会跟随集成商的决策做出自己的决策，如集成商决策订购的物流服务能力会影响物流服务供应商制定的批发价格，但是两者之间始终是一种合作关系。以网络视角来研究物流服务供应链时会发现网络内的集成商拥有比其他节点强的集成能力，形成以集成商为中心的资源分配方式。

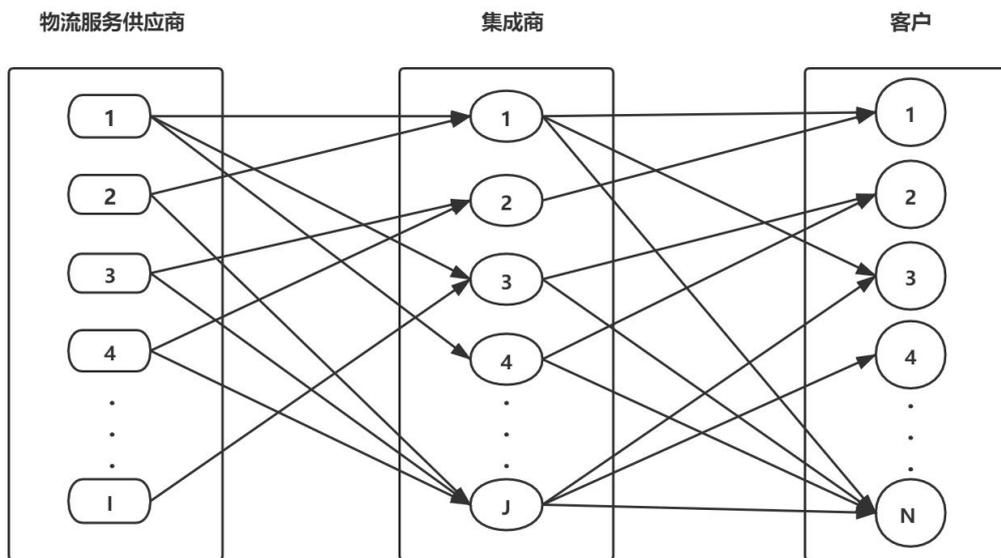


图 3.1 物流服务供应链网络结构图

3.1.2 相关参数

通过上述物流服务供应链网络结构可以知道物流服务供应链网络的主体包含多个物流服务供应商和集成商。由于不同物流服务供应商提供的服务能力供应价不同，每个集成商都想和供应价格较低的供应商合作，订购自己所需的物流服务。但是物流服务供应商的物流服务能力有限，不能满足所有集成商的需求。因此需要对整个物流服务供应链网络进行优化，每个集成商决策其向物流服务供应商订购的服务能力量，以实现整个网络的成本最小，同时达到最大的客户满意度。集成商在订购物流服务前会预测市场需求，由于市场的复杂性与服务的无形与多变性导致服务需求不稳定，因而集成商预测的市场需求也是不确定或模糊的，此时将其处理为三角模糊数 $\tilde{D}_j = (d_1, d_2, d_3)$ 。

构建模型所需符号如下：

- I 候选物流服务供应商集合；
- i 候选物流服务供应商编号， $i \in I$ ；
- J 集成商集合；
- j 集成商编号， $j \in J$ ；

r_i 物流服务供应商 i 获得的客户满意度；

c_i 物流服务供应商 i 提供物流服务产生的运营成本；

c 集成商每选择一个物流服务供应商合作所需耗费的固定管理费用；

b 不满足需求时集成商受到的单位惩罚成本；

D_j 集成商 j 的实际市场需求；

决策变量：

X_{ij} 0—1 变量，当集成商 j 选择物流服务供应商 i 提供物流服务时 $X_{ij} = 1$ ，

否则 $X_{ij} = 0$ ；

Q_{ij} 集成商 j 从物流服务供应商 i 处购买的物流服务能力量。

3.2 成本和客户满意度双目标优化模型的构建

3.2.1 物流服务供应链网络成本模型

本文考虑的物流服务供应链成本主要有物流服务供应商的运营成本 C_1 、集成商管理成本 C_2 、集成商受到的惩罚 C_3 三部分，分别为公式 3.1、3.2、3.3。

$$C_1 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ij} c_i Q_{ij} \quad (3.1)$$

$$C_2 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ij} c \quad (3.2)$$

$$C_3 = \sum_{j=1}^J b(D_j - \sum_{i=1}^I Q_{ij})^+ \quad (3.3)$$

其中运营成本是由物流服务供应商提供的物流服务能力量和单位运营成本组成，物流服务供应商每提供一单位物流服务能力都需要付出一单位的运营成本。集成商管理成本是指在物流服务供应链网络中集成商每与一个物流服务供应商形成供需合作关系，那么集成商都需要付出成本 c 对自己的供应商实施管理，我们定义集成商付出的管理成本与合作的物流服务供应商数量成线性关系，即每增加一个合作的供应商，就需要付出单位 c 的管理成本。集成商受到惩罚是因其

订购的服务能力没能满足客户需求,每缺少一单位的服务能力都要受到单位 b 的惩罚。

3.2.2 客户满意度模型

越来越多的企业将客户满意度调查作为一项重要工作,对客户满意度给予了充分的重视,因为客户满意度不仅会影响企业声誉,还会影响到企业利润。而物流企业作为一种专门为客户提供无形物流服务的企业更加需要关注客户满意度,因此本文在构建物流服务供应链网络时将客户满意度作为一个优化目标来考虑。

黄金虎^[64]以完成客户需求需要的服务时间衡量客户满意度,即服务时效影响客户满意度,同时将实际生活情况考虑在内,认为物流服务在极短时间内可以完成的情况极少,但是如果物流服务时间过长又会导致客户对服务极度不满,在这种情况下客户可能会出现选择拒绝接受该服务、或给出差评等行为,物流服务工作会以失败告终,因此黄金虎只研究在符合实际且客户接受的条件下物流服务时间与客户满意度之间的关系,并认为两者之间是一种负相关的线性关系。张广胜^[65]考虑到应急物流服务需要保证时效性,构建了客户满意度随服务及时性变化的模型。在模型中也将实际情况考虑在内,认为任何服务的完成都需要一定时间,客户不会达到百分之百满意,同时超时的应急服务已经失去了市场价值,客户不会再接受,因此将物流服务时效性分为三个阶段,在文中只考虑客户接受时效内的客户满意度,并且定义客户满意度随时间的增加逐渐下降。

在本文中定义客户满意度与物流服务供应商提供的物流服务能力有关,同时由现实生活可以知道物流服务供应商所能提供的物流服务不会是无限制的,存在一个最大服务能力,同时也有一个最佳服务能力上限,如图 3.2 所示将其分为三个区间。如果超过物流服务供应商 i 的最大服务能力 M ,客户满意度 r_i 就为 0;如果超出物流服务供应商 i 的最佳服务能力 m ,但是没有超过其最大服务能力 M ,即在 $[m, M]$ 范围内,客户满意度 r_i 会随着物流服务供应商提供物流服务能力的增加而降低;当需要提供的物流服务能力不超过 m 时,客户满意度达到最大值 r_0 。给出物流服务供应商 i 提供的物流服务能力 Q 与客户满意度 r_i 之间的关系图 3.2,并将两者之间的分段函数公式 3.4 表示如下:

$$r_i = \begin{cases} r_0, & Q \leq m \\ \frac{r_0}{m-M}(Q-M), & m < Q < M \\ 0, & Q \geq M \end{cases} \quad (3.4)$$

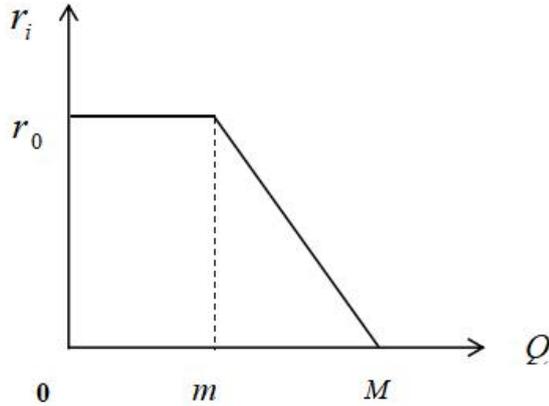


图 3.2 客户满意度与物流服务量关系图

3.2.3 双目标优化模型的构建

在物流服务供应链网络中一个物流服务供应商可以为多个集成商提供物流服务,但是物流服务供应商的服务能力又是有限的,不能满足所有集成商的需求,因此在本章我们将物流服务供应链网络看作一个整体,在追求整体最优的目标下,确保整个物流服务供应链网络的总成本最小。根据物流服务供应链成本模型可以得到整个网络的成本函数如式(3.5):

$$\min C = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ij} c_i Q_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ij} c + \sum_{j=1}^J b(D_j - \sum_{i=1}^I Q_{ij})^+ \quad (3.5)$$

根据上述构建的单个客户满意度模型可以得到整个 LSSC 网络的客户满意度函数为式(3.6):

$$\max r = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ij} r_i \quad (3.6)$$

约束条件如下:

$$d_1 \leq \sum_{i=1}^I Q_{ij} \leq d_3 \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^I Q_{ij} \geq E(\tilde{D}_j) \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} \geq 1 \quad (3.9)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad (3.10)$$

$$\begin{cases} r_i \geq 0 \\ c_i > 0 \\ c > 0 \\ b > 0 \end{cases} \quad (3.11)$$

其中约束条件 (3.7) 表示每个集成商的总订购量需要在其获取的市场需求范围内，市场需求范围是集成商获取的模糊市场需求的上下限；约束条件 (3.8) 表示集成商向全部物流服务供应商订购的服务能力总和要能够满足期望市场需求；约束条件 (3.9) 表示要保证至少有一个物流服务供应商向集成商提供物流服务；约束条件 (3.10) 表示集成商的选择约束为 0-1 变量；约束条件 (3.11) 表示客户满意度及各项成本为非负数。

3.3 模型求解及算例检验

3.3.1 多目标处理

在本章模型中考虑网络成本和客户满意度两个目标，对于双目标或多目标问题的处理方法有很多，例如：线性加权法^[66,67]、 ϵ -约束法和 Pareto 模型实现。线性加权法依次为多个目标赋予权重，之后将所有目标进行加和，实现由多目标向单目标的转化。在线性加权法中一般通过效用函数去除目标的量纲，以此解决多目标不兼容的问题，实现多目标的归一化处理目的^[65]。但是线性加权方法有一个很大的局限性，其只适用于处理凸集模型^[66]。 ϵ -约束法是由 Haimes 于 1971 年提出。在用 ϵ -约束法进行多目标的转化时，基本思路为选取 n 个目标函数中重要程度最大的一个作为优化目标，剩下的 $n-1$ 个目标则通过给定期望值的方式转化为

约束条件如将最大化目标函数限制下限或给最小化目标函数设置上限,该方法在保证主要目标实现的同时确保其他目标也能达到一定水平,从而将多目标转化为单目标优化问题,理论上该方法对非凸性和凸性都适用,且对整数优化模型的求解非常有效^[69]。

在实际生活中成本与客户满意的重要程度不同,企业的首要目标一般为追求最大的利润,即最小成本,在保证收益的情况下获得的客户满意度越大越好,因此在本文中我们将物流服务供应链网络成本目标函数作为主目标,将客户满意度目标函数转化为约束条件,用 ε -约束法实现物流服务供应链网络双目标优化模型向单目标优化模型的转化。其中将客户满意度目标函数 $\max r = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ij}r_i$ 通过 ε -约束法转化成的约束条件为: $\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ij}r_i \geq \varepsilon$, 其中 ε 是整个网络要达到的最低客户满意度值。由此整个 LSSC 网络优化模型就由双目标转化为单目标模型,求解也会变得简单很多。

3.3.2 模糊市场需求处理

由于市场的复杂性与服务的无形与多变性导致服务需求不稳定,因而集成商获取的市场需求信息也是不确定或模糊的,在本章我们用三角模糊变量 $\tilde{D}_j = (d_1, d_2, d_3)$ 表示集成商获取的市场需求。模糊变量 \tilde{D}_j 的含义是“市场需求的物流服务量大约为 d_2 单位, d_1 、 d_3 分别表示市场需求的最小可能值和最大可能值”。周愉峰等^[70]通过采用模糊参数期望公式对其文章中为三角模糊数的需求量进行期望值转换,得到震后救援初期受灾点对某类物资的期望需求量。本文也根据期望公式求得市场需求期望值 $E(\tilde{D}_j) = \frac{d_1 + 2d_2 + d_3}{4}$ 。

3.3.3 遗传算法求解模型

本章构建的物流服务供应链网络优化模型为非线性 0-1 混合整数优化模型,一般采用遗传算法进行求解。遗传算法(Genetic Algorithm, GA)通过随机搜索的方法寻找目标函数的最优解,具有极强的全局搜索能力,并且该算法计算过程简

单并且求解效率高，故本章节也使用遗传算法求解物流服务供应链网络优化模型。在遗传算法中使用最多的染色体编码方法是二进制编码，它也是应用最早的编码方式。虽然二进制编码方法在进行选择、交叉和变异等遗传操作时简单易实现，但在本文中需要求解集成商订购量这个决策变量，用二进制编码的方法会导致单条染色体过长。如果使用实数编码形式，则可有效避免这个问题，并且还可以省略二进制转十进制的编码、解码等复杂过程，最重要的是使用实数编码应用原参数进行遗传操作可使寻优范围充满整个最优解可能存在的空间，便于大空间搜索，不易陷入局部最优，因此本章节设计一种实数编码的遗传算法求解物流服务供应链网络优化模型,从而提高遗传算法的速度和寻优精度。

实数编码遗传算法的流程图如下图 3.3 所示：

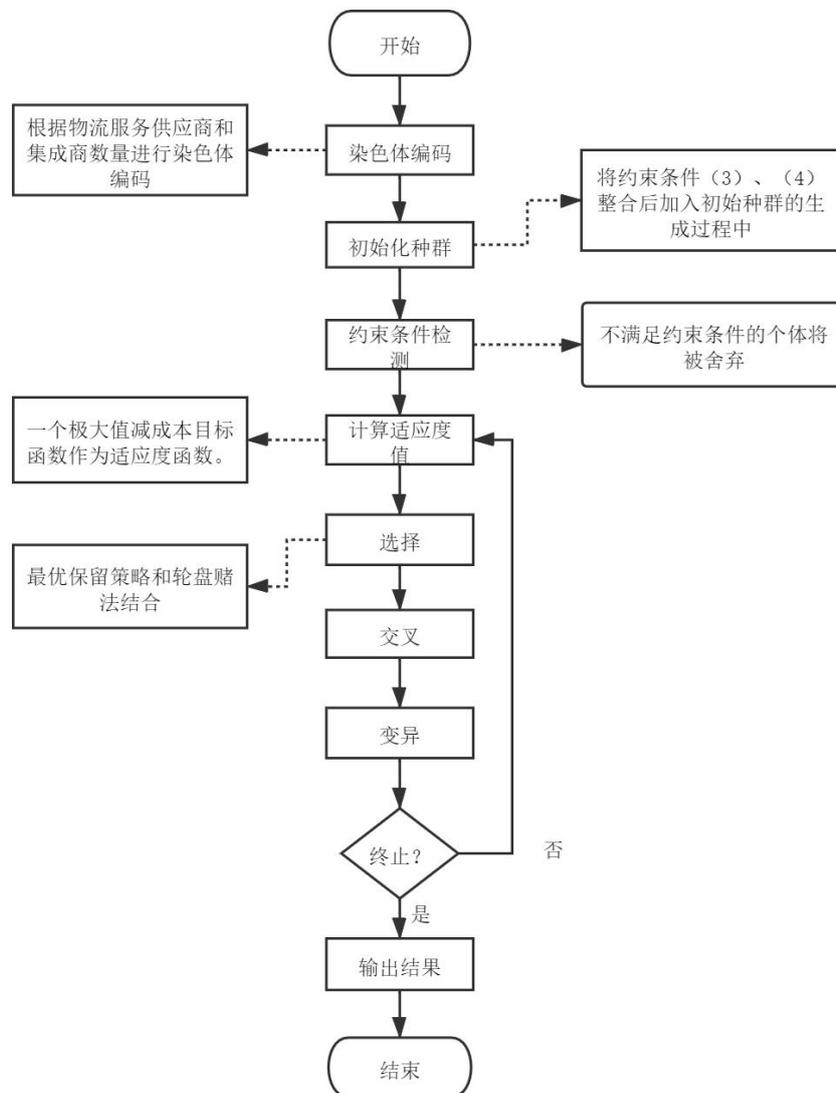


图 3.3 遗传算法流程图

遗传算法求解物流服务供应链网络优化模型的具体步骤如下：

(1) 染色体编码

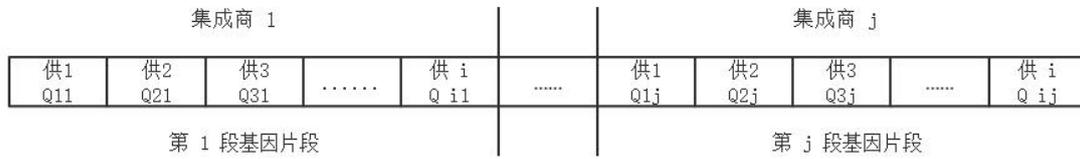


图 3.4 染色体编码示意图

物流服务供应链网络中有物流服务供应商和集成商两个主体，两个主体之间相互交叉存在供需关系。根据决策需求设计染色体结构如图 3.4 所示，单条染色体基因个数为 $i * j$ ，其中 i 为物流服务供应商个数， j 为集成商个数，则染色体长度为 $i * j$ ，每个基因值为集成商 j 向物流服务供应商 i 订购的物流服务能力 Q_{ij} 。染色体按集成商个数分为 j 个基因片段，每个基因片段里再将物流服务供应商依次排序。后续集成商订购量需要满足的市场需求可以直接按基因片段进行约束。

(2) 初始化种群

生成初始种群时，采用随机法可以增大种群多样性，进而加强遗传算法的全局搜索能力，避免陷入局部最优情况。但是本章设计的物流服务供应链网络优化模型中有较多约束条件，不加限制随机生成的初始种群中会有很多个体因不满足约束条件而被摒弃，这样就会使得种群内个体数量大大减少，相应种群多样性也会降低，不利于寻求全局最优解。因此本章设计了一种将约束条件 (3.7) (3.8) 考虑在内的初始种群生成方法。具体过程以染色体的第一个基因片段，即集成商 1 与所有物流服务供应商之间因订购物流服务形成的基因片段为例：在订购服务能力之前集成商 1 会获取到一个模糊市场需求，根据这个模糊需求集成商决策向每个物流服务供应商订购的服务能力，每个基因代表集成商向每个物流服务供应商订购的服务能力，这个基因片段的全部基因值相加就是集成商 1 向全部物流服务供应商订购的物流服务能力总和。在生成初始种群时，首先限制这个基因片段的总和为最大市场需求，之后产生的每个基因值都在总和减去前一个基因值的范围内产生，直至这个基因片段的最后一个基因。集成商获取的不仅有最大市场需

求, 还有最小市场需求的限制, 同时根据模糊市场需求的处理可以得知集成商订购的服务能力还要满足期望市场需求。根据对市场需求期望值与最小市场需求的比较可以得知集成商的订购量需要大于期望市场需求, 因此在随机生成最后一个基因值时还要将期望市场需求考虑在内。具体生成初始种群的代码见附录。

在生成初始种群时加入关于市场需求的考量, 不仅满足了集成商订购服务能力在市场需求范围内, 同时还满足了约束条件 (3.9) 要求的至少有一个物流服务供应商向集成商提供物流服务。在生成初始种群时, 用限制基因总和最小和最大值的思想生成初始种群, 可以同时解决生成的个体需要满足多个约束条件的问题, 这种调整可以有效避免大量个体被舍去, 增加种群多样性。

(3) 检测客户满意度约束条件

将多目标模型转化为单目标后有了一个新的关于客户满意度的约束条件, 在计算适应度之前需要先进行该约束条件的检测, 不满足客户满意度限定值的个体将被舍弃。检测方法为每个物流服务供应商将提供给所有集成商的物流服务能力总和求出, 再根据公式 3.4 计算客户满意度, 并将整个物流服务供应链网络的客户满意度之和与要求达到的客户满意度值做比较, 不满足要求的个体会被舍弃。

(4) 计算适应度

一般直接将目标函数当作适应度函数使用, 但是若为目标函数极小化的模型, 则需要对目标函数做一些调整, 较常用的方法是找到一个合适的极大正数 MAX , 然后用这个正数减去目标函数, 这样就转化成求解适应度最大值。本章目标函数为成本, 用这个方法调整后构造的适应度函数为: $Fit(C) = MAX - C$ 。可以看出如果成本越小, 适应度值 Fit 就会越大, 说明该个体的适应度越强。

适应度需要保证为非负数, 如果目标函数超过了正数 MAX , 那么其肯定不是最优值即最小成本, 在本章节中将适应度小于 0 的值定义为 0。

(5) 遗传操作:

(i) 选择操作:

对种群内所有个体进行选择操作, 选择时根据适应度值筛选出性能较优的个体遗传到下一代。本章采用轮盘赌与最优保留相结合的策略进行个体筛选, 保存最优个体可以避免当代最优个体被遗忘, 同时两种方法的结合还可以避免局部最优, 提高全局收敛性和效率。

在选择操作过程中首先将最优个体遗传保留至下一代种群内,之后用轮盘赌法选择其他的个体直至种群内个体数量达到选择前的个体数量。

(ii) 交叉

采用两点交叉进行遗传操作,首先产生两个不同的随机数确定交叉点位置,该随机数在染色体长度范围内。交叉操作完成后需要对新的染色体进行约束条件检测,如果满足所有约束条件则交叉操作成功,新的染色体将加入新种群内,否则将重新进行交叉操作,重复三次仍没有成功进行交叉操作的染色体将直接加入新种群。

(iii) 变异

随机生成 0 至染色体长度的一个随机数作为染色体变异位置,同理对变异之后的染色体进行约束条件检测,满足所有约束条件则此次变异操作完成,否则将重新进行变异操作,重复三次仍没有成功的染色体将直接加入新种群。

(6) 终止条件

设置进化代数,当达到最大进化代数时停止计算,并将最优结果输出,在本文中输出物流服务供应链网络内所有集成商订购策略;否则转到步骤(4)进行下一次计算。

3.3.4 数值分析

以 12 个集成商和 18 个物流服务供应商组成的物流服务供应链网络为例进行实验,查阅相关资料^[9,10]后将参数值设置如下:初始种群大小 $population_size=10000$,最大进化代数 $n=1000$,交叉概率 $pc=0.8$,变异概率 $pm=0.08$,单位缺货惩罚成本 $b=9$,单个初始客户满意度 $r=1$,整个网络需要达到的客户满意度 $\varepsilon=14$,集成商对单个物流服务供应商的固定管理费用 $c=700$,每次遗传操作中变异、交叉最大循环次数 $frequency=3$ 。

并将模型中需要的其他参数设置如下:集成商预测的最大市场需求 D 和期望市场需求 d 以及最终的实际市场需求 D_j 如表 3.1 所示;物流服务供应商的单位运营成本 c 如表 3.2 所示,物流服务供应商的最佳服务能力 m 、最大服务能力 M 如表 3.3 所示。表中 FLSP 代表物流服务供应商,LSI 代表集成商。

表 3.1 市场需求

	LSI											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	1865	1800	2370	2000	1800	2360	2200	1970	2200	1800	2000	2150
d	1400	1300	1700	1400	1400	1550	1650	1500	1550	1500	1360	1650
D_j	1400	1500	1600	1600	1500	1600	1800	1400	1300	1500	1480	1450

表 3.2 物流服务供应商运营成本

	FLSP1	FLSP2	FLSP3	FLSP4	FLSP5	FLSP6	FLSP7	FLSP8	FLSP9
c	7	8	9	9	7	9	7	8	9
	FLSP10	FLSP11	FLSP12	FLSP13	FLSP14	FLSP15	FLSP16	FLSP17	FLSP18
c	8	7	9	7	8	9	7	9	7

表 3.3 物流服务供应商服务能力

	FLSP1	FLSP2	FLSP3	FLSP4	FLSP5	FLSP6	FLSP7	FLSP8	FLSP9
M	3320	2500	2620	2620	3700	2850	2900	3320	2400
m	2620	2000	2020	2200	2900	2150	2000	2620	1900
	FLSP10	FLSP11	FLSP12	FLSP13	FLSP14	FLSP15	FLSP16	FLSP17	FLSP18
M	2020	3000	2820	3100	2420	2520	2700	2620	3500
m	1720	2300	2520	2400	1720	1820	2000	2000	2700

其中初始种群数量设置较大,这是由于客户满意度约束条件的存在使得一部分初始种群内的个体不能满足约束,需要将这些个体舍去。遗传代数一般设置取值范围是 100~1000,但是由于市场需求、客户满意度等约束条件的限制使得种群通过交叉、变异操作产生新个体的几率较小,导致遗传算法收敛较慢,在本章中将最大进化代数设置为 1000。

基于以上参数用 pycharm 集成环境进行数值仿真实验,得到遗传算法的收敛图 3.5,并得到物流服务供应链网络中 12 个集成商的订购策略如表 3.4 所示。为了便于分析,将订购量占总订购量比例小于 3%的位置用 0 代替。并用 Ucinet 绘

制出根据优化模型构建的物流服务供应链网络图，将其按节点度设置网络节点大小，如图 3.6 所示，其中圆圈代表集成商，方块代表物流服务供应商。可以看出少数集成商会向多个物流服务供应链订购服务能力，但是多数集成商不愿花费过多管理成本与多个供应商合作，会选择少量物流服务供应商采购服务能力。其节点度大致符合无标度特性，即少数节点有较大的度，而多数节点都只有较小的度值。

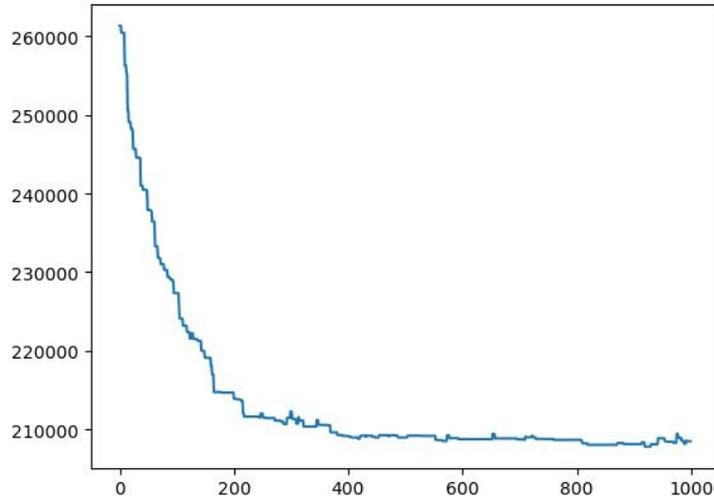


图 3.5 遗传算法收敛图

表 3.4 物流服务供应链网络中集成商订购策略

	FLSP 1	FLSP 2	FLSP 3	FLSP 4	FLSP 5	FLSP 6	FLSP 7	FLSP 8	FLSP 9
运营成本	7	8	9	9	7	9	7	8	9
LSI 1	141	0	0	0	0	0	0	348	0
LSI 2	44	0	0	16	0	0	401	0	0
LSI 3	1712	0	0	0	0	0	0	0	0
LSI 4	0	0	0	0	30	102	0	0	182
LSI 5	0	0	0	727	0	127	0	28	0
LSI 6	0	52	812	0	0	0	234	0	83
LSI 7	0	0	77	0	0	0	1021	0	0
LSI 8	0	0	0	0	1411	0	26	0	0
LSI 9	0	0	0	0	0	0	12	0	0
LSI 10	0	0	0	0	1259	297	0	0	0
LSI 11	0	389	0	0	0	0	0	0	0
LSI 12	0	0	0	338	515	0	0	22	0
节点度	3	2	2	3	4	3	5	3	2

续表 3.4 物流服务供应链网络中集成商订购策略

	FLSP 10	FLSP 11	FLSP 12	FLSP 13	FLSP 14	FLSP 15	FLSP 16	FLSP 17	FLSP 18	节点度
运营成本	8	7	9	7	8	9	7	9	7	
LSI 1	0	226	0	0	0	0	633	0	42	5
LSI 2	0	0	0	533	431	0	0	0	0	5
LSI 3	0	0	0	60	0	0	0	0	0	2
LSI 4	0	1015	139	0	0	0	0	25	137	7
LSI 5	0	582	0	0	20	0	0	0	0	5
LSI 6	230	77	23	0	0	0	69	0	0	8
LSI 7	0	0	52	0	0	640	22	7	0	6
LSI 8	0	0	19	0	0	27	0	40	0	5
LSI 9	0	0	0	0	0	0	0	0	1547	2
LSI10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
LSI11	32	0	0	989	0	0	0	30	0	4
LSI12	0	0	328	0	0	0	173	0	254	6
节点度	2	4	5	3	2	2	4	4	4	

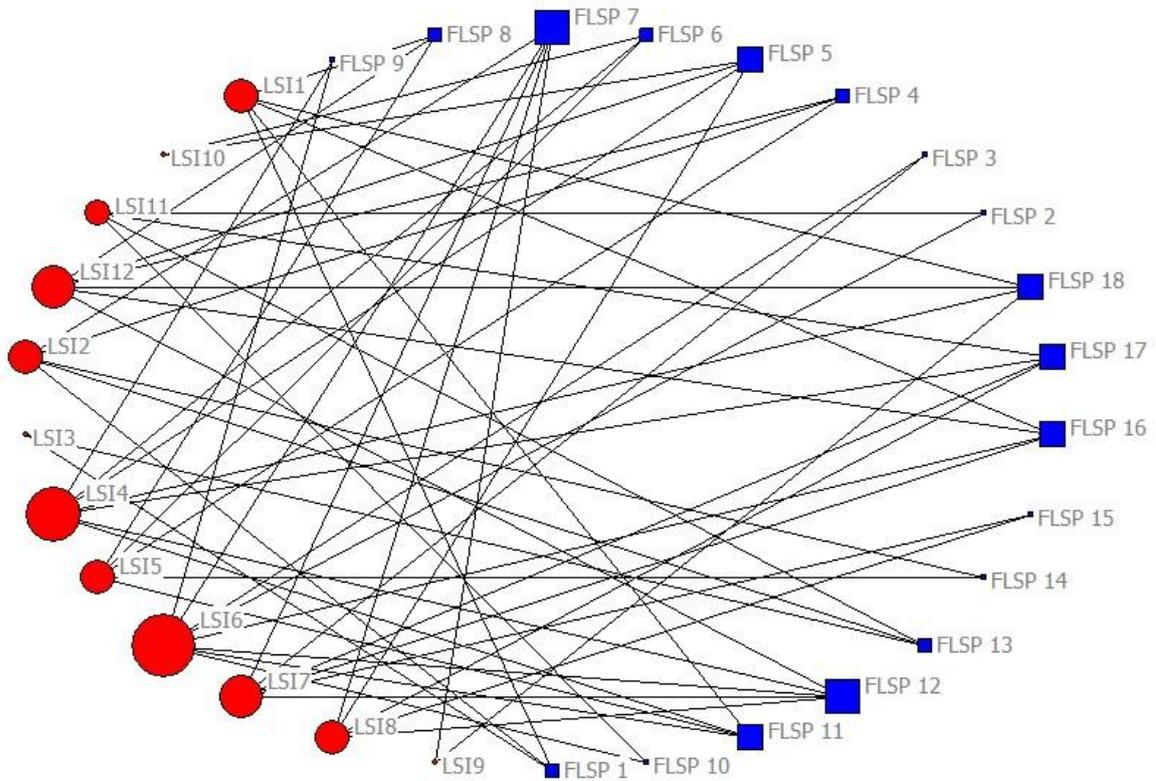


图 3.6 物流服务供应链网络

3.4 本章小结

本章研究无突发情况时物流服务供应链网络的构建,首先建立成本最小化和客户满意度最大化双目标优化模型,并利用 ε -约束法将双目标模型转化为单目标模型,之后采用实数编码的遗传算法进行求解得到构建的物流服务供应链网络。这为第四章研究突发情况下的物流服务供应链网络协作提供网络基础。

4 服务能力突变下物流服务供应链网络协作研究

4.1 问题描述

环境、文化等各种因素都会为物流服务供应链网络带来风险,进而引发突发状况造成物流服务供应链网络的异常。常有突发性风险事件有供应失效、内部运营失效、需求失效。因为物流服务供应链属于需求拉动型,在集成商需求没有大幅变化的情况下,物流服务供应商不会轻易投入大量资金购置设备或增加人员增加其服务能力。但是由于一些自然灾害或人为破坏等因素的干扰可能会导致物流服务供应商服务能力出现骤减的情况。因此本章中物流服务供应商服务能力发生突变是指其服务能力减少的情况,即供应失效。在这种情况下研究物流服务供应链网络如何进行协作以满足客户需求。

在应急模式中,企业一般通过提高冗余水平来增强产品供应链的抗冲击能力。在实践中,最常见的应急资源冗余策略包括:增加冗余库存、维持冗余生产地、采用多源采购模式等。增加冗余库存在一定程度上可以解决供应减少的问题,但是其会占用大量的资金、耗费高额库存及管理成本,同时由于物流服务供应链中物流服务具有不可存储的特性,因此不能采用此方法解决物流服务供应链中出现的物流服务供应商服务能力突变问题。多源采购模式将带来高额采购成本和供应商关系管理成本。因此,现代供应链实践中,许多企业不断消减供应商数量以降低采购成本并加强供应商关系管理。

由此可见,冗余库存和多源采购策略虽然可以在一定程度上应对供应中断情况,但是高昂的成本是此类应急策略的致命缺陷,同时也不适用于不可存储的物流服务。

对于突发事件,企业受自身资源和成本的约束,往往没有独立应急的能力。在某个企业遭到供应中断突发事件,供应商渠道无法实施纵向供给时,企业可以通过横向转运在合作企业之间进行补货。供应链企业间的应急协作,通过风险分担和应急互助,使得企业能够突破约束,是一种更有效的应对供应链突发事件风险的机制。物流服务供应链也可借鉴此类方法,通过同级集成商之间的横向跨链协作解决突发事件问题。这种方法使得集成商能够以较小的代价共同抵御因物流服务供应商服务能力突变带来的风险,同时为富余物流服务能力的集成商带来更

多收益，实现两者的双赢。

当物流服务供应链网络遭遇突发状况导致物流服务供应商服务能力突变而不能满足客户需求时，同级集成商之间的相互协作为解决应急问题提供了解决办法。但是因为集成商不是完全理性的个体，不会通过一次博弈就得到最优协作方案，而是需要个体不断模仿学习，通过多次博弈找出最优策略。因此本章采用演化博弈的方法对集成商协作策略进行研究。

4.2 相关定义、假设及参数

4.2.1 集成商定义

在物流服务供应链网络中一个物流服务供应商会与一个或者多个集成商之间存在供应关系，因此当物流服务供应商遇到突发情况导致服务能力突变时，可能会导致一个甚至多个集成商的需求不能被满足，在这种情况下我们将因某物流服务供应商服务能力突变导致服务能力不足的一个或者多个集成商看做一个群体，定义为集成商I。

正常运作的物流服务供应链中集成商在订购服务能力前会预测市场需求进而根据观测到的信息订购服务能力，因此集成商冗余的服务能力不会特别多，若某一个物流服务供应商服务能力发生突变，基于假设 1，集成商I一般需要与多个集成商横向协作才可以满足客户需求，我们将这些多个协作的集成商看做一个群体，定义为集成商II。

例如，物流服务供应商 2 服务能力发生突变，导致集成商 1 和集成商 3 的服务能力不能满足客户需求，集成商 1 和集成商 3 就是集成商I，有富余服务能力的集成商 2 和集成商 j 就是集成商II，如图 4.1 所示。

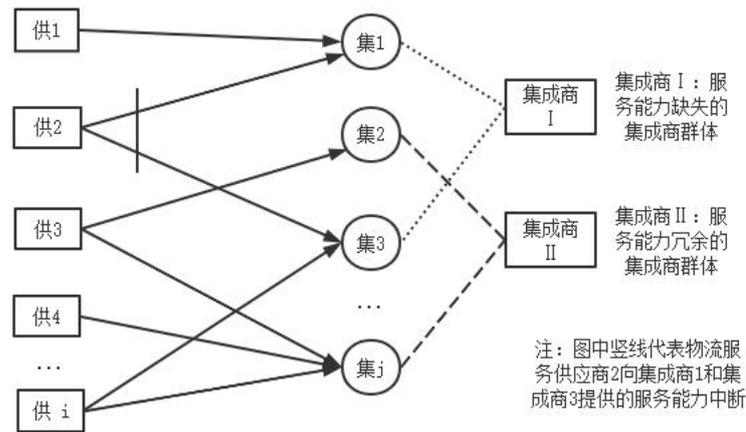


图 4.1 集成商分类

4.2.2 相关假设及参数

在复杂的物流服务供应链网络中集成商之间选择何种协作方式是基于多因素考虑的，两者在可能获得的收益和需要投入的成本影响下不断调整策略以获得更大收益，其协作方式无法通过一次博弈做出最佳选择。在初期，出现突发情况时集成商之间会进行一次简单的协作，这种协作我们将它称为一次性协作，在这种协作模式中双方均以自己获得最大利益为目标；但是随着时间的不断发展发现因物流服务供应商服务能力突变导致的集成商不能满足客户需求的情况是长期存在的，由此少部分集成商开始采用组建协作联盟应对突发情况的解决方式，我们将这种协作模式称为联盟协作，集成商进行联盟协作时会进行信息共享，双方协作效率会得到提升。基于有限理性的前提，集成商之间开始进行演化博弈寻求最优协作策略。

集成商I和集成商II加入联盟之后各类信息、能力资源可以实现更好的互动、互补，进而能够敏捷应对、及时响应应急协作需求，获得因高效率运作带来的更大收益，即超额收益 V 。加入联盟会为集成商带来更多收益的同时也需要集成商付出一定的成本，集成商在加入联盟初期需要缴纳一定的费用作为“入盟费”，用 c 表示。后期为了维持联盟的稳定性，加入联盟的集成商需要缴纳一定比例的收益用作基金保存在联盟中，当联盟中出现因物流服务供应商服务能力突变导致集成商服务能力不足的情况时，用联盟基金给予集成商II一定奖励，激励其更好的与集成商I协作，以此给出假设5。若只有一方加入联盟，那么加入联盟的一方需要支付成本 c ，但是会获得额外收益 A 。

假设 1: 集成商在满足本条供应链需求后, 剩余部分的物流服务能力可与其他同级集成商进行协作;

假设 2: 集成商 II 向集成商 I 提供的物流服务可以替代集成商 I 原来从物流服务供应商处订购的物流服务;

假设 3: 跨链服务能力协作中应急服务能力转运产生的成本由服务能力供给方集成商 II 来承担;

假设 4: 若一方加入联盟一方不加入, 此时没有加入联盟的集成商因其“搭便车”行为会获得机会主义收益 $E^{[7]}$, 但也会受到惩罚 B 并将其作为罚金补偿给加入联盟的集成商;

假设 5: 为了激励集成商协作积极性, 联盟内集成商共同签订契约, 对积极协作的集成商 II 给予一定奖励 r ;

假设 6: 双方同时加入联盟可以实现更好的协作, 因此同时选择联盟协作时集成商获得的超额收益要大于单方选择联盟协作时获得的额外收益和机会主义收益;

假设 7: 集成商加入联盟的目的是为了获得更大的收益, 因此加入联盟的成本要小于获得的超额收益。

相关参数如下表 4.1:

表 4.1 符号说明

符号	含义
V^*	双方选择联盟协作时, 集成商 I 获得的超额收益
$V^\#$	双方选择联盟协作时, 集成商 II 获得的超额收益
A^*	只有集成商 I 选择联盟协作时, 集成商 I 获得的额外收益
$A^\#$	只有集成商 II 选择联盟协作时, 集成商 II 获得的额外收益
E^*	只有集成商 II 选择联盟协作时, 集成商 I 获得的机会主义收益
$E^\#$	只有集成商 I 选择联盟协作时, 集成商 II 获得的机会主义收益
B^*	只有集成商 II 选择联盟协作时, 集成商 I 受到的惩罚
$B^\#$	只有集成商 I 选择联盟协作时, 集成商 II 受到的惩罚

续表 4.1 符号说明

符号	含义
c	选择联盟协作需要付出的成本
r	双方都选择联盟协作时, 集成商 II 获得的激励金
π^*	两者都不选择联盟协作时, 集成商 I 获得的基础收益
$\pi^\#$	两者都不选择联盟协作时, 集成商 II 获得的基础收益
L_1^*	集成商 I 选择一次性协作的期望收益
L_2^*	集成商 I 选择联盟协作的期望收益
\bar{L}^*	集成商 I 平均期望收益
$\bar{L}^\#$	集成商 II 平均期望收益
$L_1^\#$	集成商 II 选择一次性协作的期望收益
$L_2^\#$	集成商 II 选择联盟协作的期望收益
x	集成商 I 选择一次性协作的概率
y	集成商 II 选择一次性协作的概率

4.3 集成商协作模式的演化博弈分析

4.3.1 演化博弈模型的建立

博弈双方: 服务能力不足的集成商 I 和有富余服务能力的协作集成商 II

选择策略: 集成商 I 与集成商 II 之间协作策略为一次性协作与联盟协作

各种策略选择下博弈双方收益:

(1) 两者都选择一次性协作

一次性协作即两者均不考虑后续合作, 各自为自身获取最大利润而努力, 当两者都选择一次性协作时, 双方均只获得基本收益, 记为 π^* , $\pi^\#$ 。

(2) 集成商I选择一次性协作, 集成商II选择联盟协作

当集成商II选择联盟协作时需要缴纳加入联盟的费用 c , 并获得少量的额外收益 $A_1^\#$, 同时集成商II需要交纳部分额外收益作为联盟基金, 剩余的额外收益为 $A^\#=(1-\mu)A_1^\#$; 集成商I选择一次性协作会因“搭便车”行为获得机会主义收益 E^* , 但集成商I也会受到惩罚 $B^* = \beta E^*$, 并将其作为补偿支付给集成商II, 因此两者的收益如下所示:

$$\pi_2^* = \pi^* + E^* - B^* \quad (4.1)$$

$$\pi_2^\# = \pi^\# + A^\# + B^* - c \quad (4.2)$$

(3) 集成商I选择联盟协作, 集成商II选择一次性协作

当集成商II选择一次性协作时会因“搭便车”行为获得机会主义收益 $E^\#$, 同样集成商II会受到惩罚 $B^\# = \beta E^\#$, 并将其作为补偿支付给集成商I。同时集成商I缴纳成本 c 加入联盟获得少量的额外收益 A_1^* , 然后需要交纳部分超额收益作为联盟基金, 剩余的超额收益为 $A^*=(1-\mu)A_1^*$ 。在这种协作模式下双方的收益如下:

$$\pi_3^* = \pi^* + A^* + B^\# - c \quad (4.3)$$

$$\pi_3^\# = \pi^\# + E^\# - B^\# \quad (4.4)$$

(4) 两者都选择联盟协作模式

两者选择加入联盟协作时都需要缴纳一定成本 c , 且双方都选择联盟协作时会因信息的共享提高协作效率进而获得超额收益 V_1^* 、 $V_1^\#$, 同时双方都需要缴纳部分超额收益作为联盟基金, 剩余的超额收益为 $V^*=(1-\delta)V_1^*$, $V^\#=(1-\delta)V_1^\#$ 。选择加入联盟的集成商II还会获得由联盟组织给予的额外激励 r , 促使集成商II积极与集成商I协作。

$$\pi_4^* = \pi^* + V^* - c \quad (4.5)$$

$$\pi_4^\# = \pi^\# + V^\# + r - c \quad (4.6)$$

两个集成商在四种协作策略下获得的收益如下表 4.2 所示:

表 4.2 收益矩阵

博弈双方		集成商I	
		一次性协作 (x)	联盟协作 (1-x)
集成商II	一次性协作(y)	π^*	$\pi^* + A^* + B^\# - c$
	联盟协作(1-y)	$\pi^\#$	$\pi^\# + E^\# - B^\#$
		$\pi^* + E^* - B^*$	$\pi^* + V^* - c$
		$\pi^\# + A^\# + B^* - c$	$\pi^\# + V^\# + r - c$

根据收益矩阵再根据演化博弈原理可知集成商I在 t 时刻选择一次性协作的期望收益 L_1^* 、选择联盟协作时的期望收益 L_2^* 、和平均期望收益 \bar{L}^* 如下：

$$L_1^* = y\pi^* + (1-y)(\pi^* + E^* - B^*) \quad (4.7)$$

$$L_2^* = y(\pi^* + A^* + B^\# - c) + (1-y)(\pi^* + V^* - c) \quad (4.8)$$

$$\bar{L}^* = xL_1^* + (1-x)L_2^* \quad (4.9)$$

根据收益矩阵和演化博弈原理可知集成商II在 t 时刻选择一次性协作的期望收益 $L_1^\#$ 、选择联盟协作时的期望收益 $L_2^\#$ 、和平均期望收益 $\bar{L}^\#$ 如下：

$$L_1^\# = x\pi^\# + (1-x)(\pi^\# + E^\# - B^\#) \quad (4.10)$$

$$L_2^\# = x(\pi^\# + A^\# + B^* - c) + (1-x)(\pi^\# + V^\# + r - c) \quad (4.11)$$

$$\bar{L}^\# = yL_1^\# + (1-y)L_2^\# \quad (4.12)$$

由 Friedman 提出的演化博弈原理可知：一个有限理性群体中收益更大或结果更好的策略会逐渐被群体内更多的个体接受，采用该策略的个体比例会随之改变。在本质上可以反映某策略变化速度的动态微分方程就是复制动态方程。因此结合上述期望收益的公式可以得到集成商I进行决策时的复制动态方程为：

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(L_1^* - \bar{L}^*) = x(1-x) \left[y(B^* - E^* - A^* + V^* - B^\#) + E^* - B^* - V^* + c \right] \quad (4.13)$$

集成商 II 进行决策时的复制动态方程为:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(L_1^\# - \bar{L}^\#) = y(1-y) \left[x(B^\# - E^\# - A^\# + V^\# - B^* + r) + E^\# - B^\# - V^\# - r + c \right] \quad (4.14)$$

根据上述内容可知由集成商 I 和集成商 II 组成的系统的复制动态方程组如下所示:

$$\begin{cases} F(x) = \frac{dx}{dt} = x(1-x) \left[y(B^* - E^* - A^* + V^* - B^\#) + E^* - B^* - V^* + c \right] \\ F(y) = \frac{dy}{dt} = y(1-y) \left[x(B^\# - E^\# - A^\# + V^\# - B^* + r) + E^\# - B^\# - V^\# - r + c \right] \end{cases} \quad (4.15)$$

根据系统复制动态方程组, 令 $X = \begin{pmatrix} F(x) \\ F(y) \end{pmatrix} = 0$ 可以找出系统内各群体博弈的演化均衡点有:

$$X_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad X_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad X_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad X_4 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix},$$

$$X_5 = \left(\frac{B^\# - E^\# + V^\# + r - c}{B^\# - E^\# + V^\# - A^\# - B^* + r}, \frac{B^* - E^* + V^* - c}{B^* - E^* + V^* - A^* - B^\#} \right)^T。$$

4.3.2 演化博弈均衡点稳定性分析

参考 Friedman 的文献可知演化博弈均衡点稳定性的判断方法需要首先构建雅可比矩阵 $J(X)$, 具体方法是对复制动态方程关于 x 、 y 求偏导:

$$J(X) = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2x) \left[y(B^* - E^* - A^* + V^* - B^\#) + E^* - B^* - V^* + c \right], & x(1-x)(B^* - E^* - A^* + V^* - B^\#) \\ y(1-y)(B^\# - E^\# - A^\# + V^\# - B^* + r), & (1-2y) \left[x(B^\# - E^\# - A^\# + V^\# - B^* + r) + E^\# - B^\# - V^\# - r + c \right] \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

下一步将各个均衡点带入雅可比矩阵式 4.16 判断各均衡点对应的行列式值和矩阵的迹, 若满足 $\det(J) > 0$ 和 $tr(J) < 0$ 两个条件, 则该均衡点就为演化稳定策略(ESS), 所谓 ESS 是指没有突变策略可以影响到采用该策略的博弈群体, 即博弈群体在这种策略下获得的收益或得到的好处最大。对每个均衡点的稳定性进行分析, 并将结果列在下面的表格 4.3 中。

各均衡点对应的雅可比矩阵行列式和迹如下：

均衡点 $X_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ ，即双方均选择联盟协作：

$$\det(J) = (E^* - B^* - V^* + c)(E^\# - B^\# - V^\# - r + c) \quad (4.17)$$

$$\text{tr}(J) = E^* - B^* - V^* + E^\# - B^\# - V^\# - r + 2c \quad (4.18)$$

均衡点 $X_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ ，即集成商I选择联盟协作，集成商II选择一次性协作：

$$\det(J) = (-A^* - B^\# + c)(-E^\# + B^\# + V^\# + r - c) \quad (4.19)$$

$$\text{tr}(J) = -E^\# - A^* + V^\# \quad (4.20)$$

均衡点 $X_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ ，即集成商I选择一次性协作，集成商II选择联盟协作：

$$\det(J) = (B^* + V^* - E^* - c)(-A^\# - B^* + c) \quad (4.21)$$

$$\text{tr}(J) = -E^* - A^\# + V^* \quad (4.22)$$

均衡点 $X_4 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ ，即双方均选择一次性协作：

$$\det(J) = (A^* + B^\# - c)(A^\# + B^* - c) \quad (4.23)$$

$$\text{tr}(J) = A^* + B^\# + A^\# + B^* - 2c \quad (4.24)$$

均衡点 $X_5 = \left(\frac{B^\# - E^\# + V^\# + r - c}{B^\# - E^\# + V^\# - A^\# - B^* + r}, \frac{B^* - E^* + V^* - c}{B^* - E^* + V^* - A^* - B^\#} \right)^T$ 对应的雅

可比矩阵为：

$$J(X) = \begin{bmatrix} 0, & \frac{(B^\# - E^\# + V^\# + r - c)(-A^\# - B^* + c)(B^* - E^* - A^* + V^* - B^\#)}{(B^\# - E^\# - A^\# + V^\# - B^* + r)^2} \\ \frac{(B^* - E^* + V^* - c)(-A^* - B^\# + c)(B^\# - E^\# - A^\# + V^\# - B^* + r)}{(B^* - E^* - A^* + V^* - B^\#)^2}, & 0 \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

则其对应的雅可比矩阵行列式和迹为：

$$\det(J) = -\frac{(B^\# - E^\# + V^\# + r - c)(-A^\# - B^* + c)(B^* - E^* + V^* - c)(-A^* - B^\# + c)}{(B^\# - E^\# - A^\# + V^\# - B^* + r)(B^* - E^* - A^* + V^* - B^\#)} \quad (4.26)$$

$$\text{tr}(J) = 0 \quad (4.27)$$

(1) 当 $E^* - B^* - V^* + c > 0$, $E^\# - B^\# - V^\# - r + c > 0$ 时, 即集成商 I 获得的机会主义收益大于两者都选择联盟协作时集成商 I 获得的超额收益, 集成商 II 获得的机会主义收益大于两者都选择联盟协作时集成商 II 获得的超额收益, 这与假设 6 相矛盾, 因此在这种条件下不存在演化博弈均衡点。

(2) 当 $E^* - B^* - V^* + c < 0$, $E^\# - B^\# - V^\# - r + c < 0$ 时, 即当集成商 II 选择联盟协作而集成商 I 选择一次性协作时, 集成商 I 获得的额外收益要小于两者都选择联盟协作时集成商 I 获得的超额收益; 当集成商 I 选择联盟而集成商 II 选择一次性协作时, 集成商 II 获得的额外收益要小于两者都选择联盟协作时集成商 II 获得的超额收益时, 两者为获得更大收益都更倾向于选择联盟协作。此条件由假设 6 得知恒成立, 因此对四个纯策略均衡点的分析结果如下表 4.3 所示。

表 4.3 均衡点稳定性分析

均衡点	$\det(J)$	$tr(J)$	结论
(0, 0)	+	-	ESS
(0, 1)	-	不确定	鞍点
(1, 0)	-	不确定	鞍点
(1, 1)	+	+	不稳定

(3) 在条件 (2) 基础上, 对均衡点

$$X_5 = \left(\frac{B^\# - E^\# + V^\# + r - c}{B^\# - E^\# + V^\# - A^\# - B^* + r}, \frac{B^* - E^* + V^* - c}{B^* - E^* + V^* - A^* - B^\#} \right)^T$$

进行分析, 可知

若满足条件 $B^* - E^* + V^* - c < B^* - E^* + V^* - A^* - B^\#$ 和

$$B^\# - E^\# + V^\# + r - c < B^\# - E^\# + V^\# + r - A^\# - B^*,$$

即满足 $c > A^* + B^\#$ 和 $c > A^\# + B^*$ 两个条件时 X_5 为鞍点。

通过对集成商 I 和集成商 II 两个群体演化情况进行分析, 可以得知在一次性协作和联盟协作组成的四种协作策略中最终只有一种演化均衡稳定状态 $X = (0, 0)^T$, 即双方均选择联盟协作策略, 这表明两个群体经过演化博弈后集成商 I 和集成商 II 最终都会选择联盟协作, 此时达到最优协作模式。

4.4 基于系统动力学的仿真分析

4.4.1 系统动力学模型的建立

根据上述构建的演化博弈模型，构建系统动力学模型，如图 4.2 所示。

在该模型中主要有两个水平变量、两个速率变量，两个水平变量分别为集成商 I 和集成商 II 选择一次性协作策略的个体比例，两个速率变量分别是集成商 I 和集成商 II 选择一次性协作策略比例的变动速率。

参照上文中构建的模型，对主要变量需要使用到的公式设置如下：

(1) 集成商 I 选择一次性协作的期望收益 = 集成商 II 选择一次性协作的概率 * (集成商 II 选择联盟协作时，集成商 I 选择一次性协作受到的惩罚 - 集成商 II 选择联盟协作时集成商 I 选择一次性协作获得的机会主义收益) + 两者都选择一次性协作时集成商 I 获得的基本收益 - 集成商 II 选择联盟协作时集成商 I 选择一次性协作受到的惩罚 + 集成商 II 选择联盟协作时集成商 I 选择一次性协作获得的机会主义收益

(2) 集成商 I 选择联盟协作的期望收益 = 集成商 II 选择一次性协作的概率 * (集成商 II 选择一次性协作时集成商 I 选择联盟协作获得的额外收益 - 两者都选择联盟协作时集成商 I 获得的超额收益 + 集成商 I 选择联盟协作时集成商 II 选择一次性协作受到的惩罚) + 两者都选择一次性协作时集成商 I 获得的基本收益 + 两者都选择联盟协作时集成商 I 获得的超额收益 - 集成商 I 选择联盟协作付出的成本

(3) 集成商 I 两种协作模式期望收益差 = 集成商 I 选择一次性协作的期望收益 - 集成商 I 选择联盟协作的期望收益

(4) 集成商 II 选择一次性协作的期望收益 = 集成商 I 选择一次性协作的概率 * (集成商 I 选择联盟协作时集成商 II 选择一次性协作受到的惩罚 - 集成商 I 选择联盟协作时集成商 II 选择一次性协作获得的机会主义收益) + 两者都选择一次性协作时集成商 II 获得的基本收益 - 集成商 I 选择联盟协作时集成商 II 选择一次性协作受到的惩罚 + 集成商 I 选择联盟协作时集成商 II 选择一次性协作获得的机会主义收益

(5) 集成商 II 选择联盟协作的期望收益 = 集成商 I 选择一次性协作的概率 * (集成商 I 选择一次性协作时集成商 II 选择联盟协作获得的额外收益 - 两者都选

择联盟协作时集成商 II 获得的超额收益+集成商 II 选择联盟协作时集成商 I 选择一次性协作受到的惩罚)+两者都选择一次性协作时集成商 II 获得的基本收益+两者都选择联盟协作时集成商 II 获得的超额收益-集成商 II 选择联盟协作付出的成本+两者都选择联盟协作时集成商 II 获得的激励金

(6)集成商 II 两种协作模式期望收益差=集成商 II 选择一次性协作的期望收益-集成商 II 选择联盟协作的期望收益

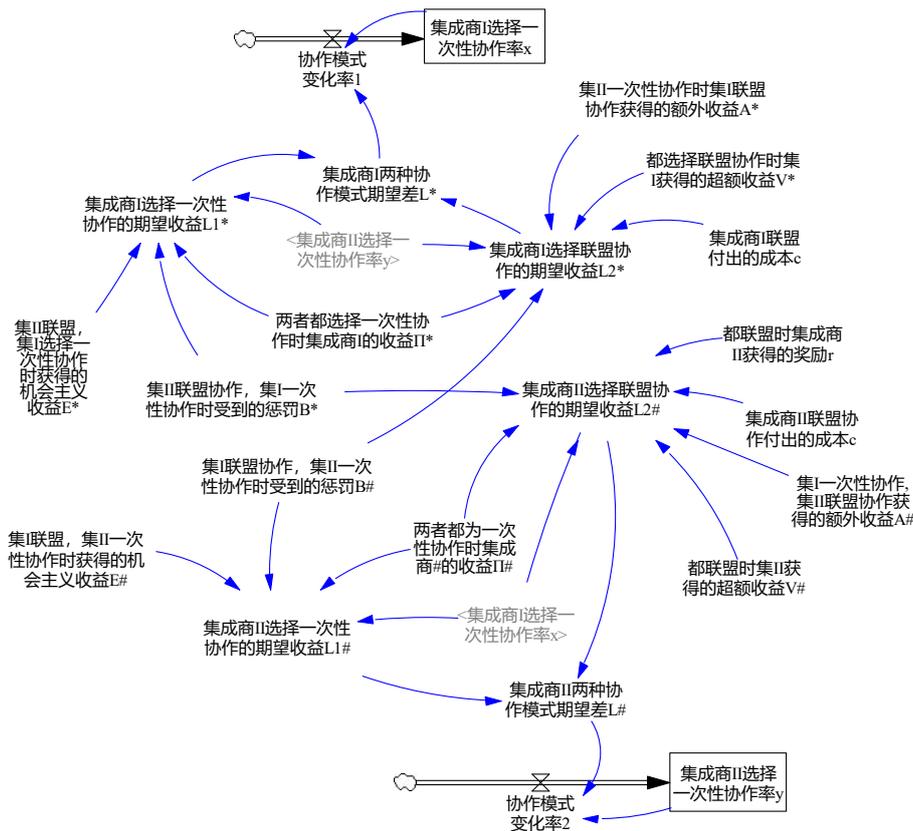


图 4.2 演化博弈模型

4.4.2 仿真分析

在用系统动力学进行模拟仿真时，主要应用的软件为 Vensim PLE，根据需求设置模型初始条件：初始时间 Initialtime=0，仿真周期为10个季度或者说终止时间为 Finaltime=10，步长 Timestep=0.1。通过收集国内某些物流集成商运作数据并结合相关资料对模型中需要的参数进行赋值，在对参数进行赋值的过程中加入上述模型需要满足的约束条件。因此将各参数初始值设定为： $V^*=12$ ， $V^\#=11$ ， $B^*=0.8$ ， $B^\#=0.7$ ， $E^*=8$ ， $E^\#=7$ ， $c=3$ ， $r=1$ ， $\pi^*=55$ ， $\pi^\#=60$ 。下面对各均

衡点的演化过程及稳定性进行分析，并研究相关参数对均衡点演化的影响。

(1) 纯策略 $X_1 = (0,0)^T$ 演化分析

通过图 4.3 的仿真结果可知若集成商均选择联盟协作，那么后续博弈过程中哪一方都不会主动改变其最初选择的联盟协作模式，并且图 4.4 说明在后续博弈过程中无论哪个集成商改变其初始选择的协作策略，最终都将会演化为双方均选择联盟协作。演化结果与上述推导结论相一致， $(0,0)$ 是稳定均衡策略，这说明经过一段时间的演化博弈，两个集成商群体均会发现联盟协作会为自己带来最大收益。

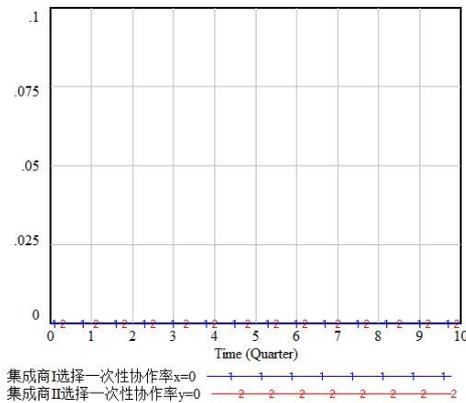


图 4.3 $X_1 = (0,0)^T$ 的演化过程分

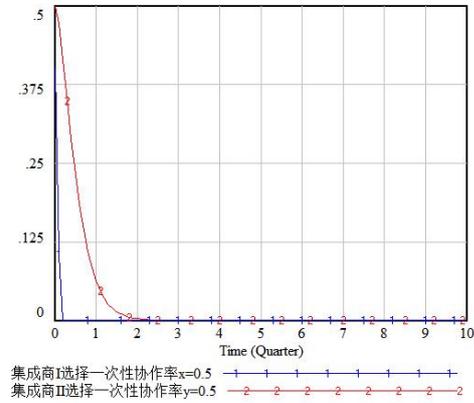


图 4.4 $X_1 = (0,0)^T$ 的稳定性分析

(2) 纯策略 $X_2 = (0,1)^T$ 演化分析

(i) 纯策略 $X_2 = (0,1)^T$ 演化过程及稳定性分析

对均衡点 $(0,1)$ 的演化过程及稳定性仿真分析结果分别为图 4.5、图 4.6、图 4.7。通过图 4.5，我们可以发现当集成商I选择联盟协作，而集成商 II 选择一次性协作这种纯策略模式时，在后续的演化博弈过程中不会有哪一方主动改变自己最初的协作策略，两者稳定在该种协作状态下。但是这种稳定状态不是绝对的，若两者中有一方协作策略发生微小调整，那么这种稳定状态将不再存在。如图 4.6 所示，当集成商 II 以极小的概率 0.01 调整其协作策略时，系统均衡策略会从 $X_2 = (0,1)^T$ 演化为 $X_1 = (0,0)^T$ ，即集成商 II 会由原来选择一次性协作的方式转变为进行联盟协作，两者达到一种新的均衡状态。但是如果集成商 II 的策略不发生

变化，只有集成商I的策略发生微小变化时，系统处于一种动态平衡。

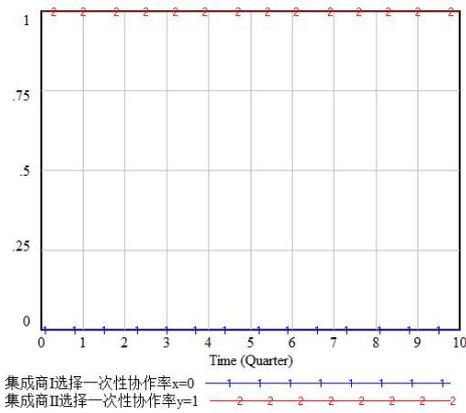


图 4.5 $X_2 = (0, 1)^T$ 的演化过程分析

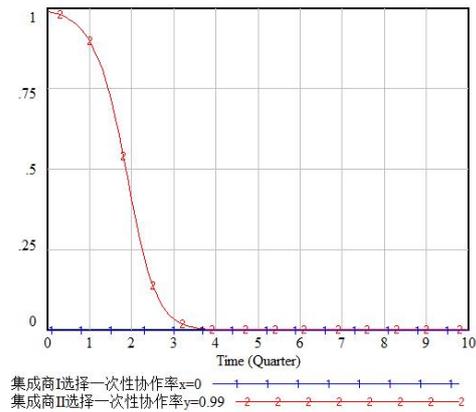


图 4.6 $X_2 = (0, 1)^T$ 的稳定性分析

通过对纯策略 X2 稳定性进行分析可以看出，如果是选择一次性协作的集成商策略选择发生微小突变，那么最后稳定状态就会改为选择联盟，但是如果是选择联盟协作的集成商策略发生微小突变，那么它的稳定状态不会发生巨大变化，在联盟协作模式周围波动。这说明个体都具有模仿学习的能力，一旦发现更好策略时会积极改变自己策略选择，向收益更大的联盟协作模式演化。

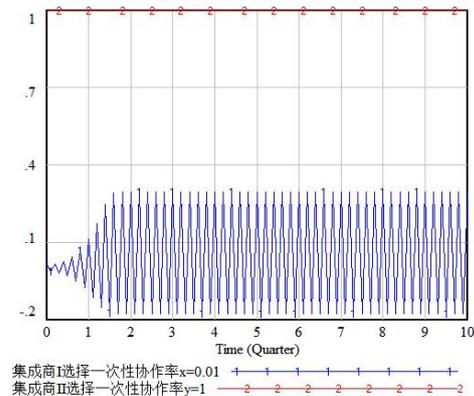


图 4.7 $X_2 = (0, 1)^T$ 的稳定性分析

(ii) 联盟激励 V 对集成商 II 策略选择的影响

图 4.8 显示将集成商 II 选择一次性协作的概率以 0.01 进行突变，并将联盟激励值依次设置为 1、3、5，根据图中曲线的变化情况可以看出随着联盟激励金的增大，集成商 II 由选择一次性协作转化为联盟协作的速度就越快，这说明集成商 II 发生策略变化后达到稳定状态需要的周期减少。

(iii) 超额收益 $V^{\#}$ 对集成商 II 策略选择的影响

图 4.9 为超额收益 $V^{\#}$ 对集成商 II 策略选择的影响分析，在分析过程中将集成商 II 选择一次性协作的概率以 0.01 进行突变，曲线 1、2、3 分别表示超额收益为 11、14、17 时集成商 II 协作策略的改变。从图中可以看出超额收益越大，对

应的曲线收敛速度越快，这是因为随着超额收益增大，集成商 II 选择联盟协作时获得的期望收益越大，这就会促使集成商 II 选择联盟协作。

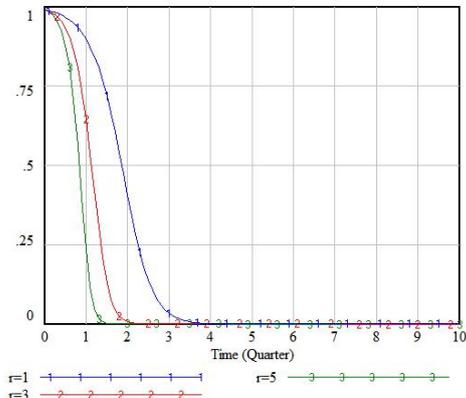


图 4.8 r 对集成商 II 策略选择的影响

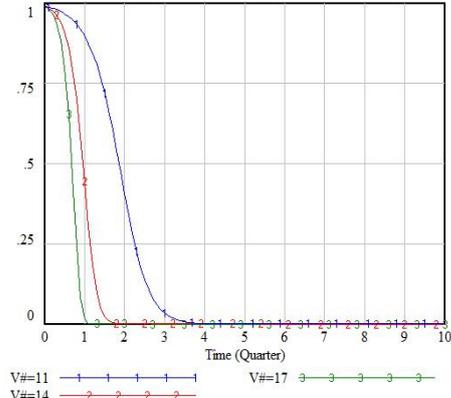


图 4.9 $V^{\#}$ 对集成商 II 策略选择的影响

(3) 纯策略 $X_3 = (1,0)^T$ 演化分析

(i) 纯策略 $X_3 = (1,0)^T$ 演化过程及稳定性分析

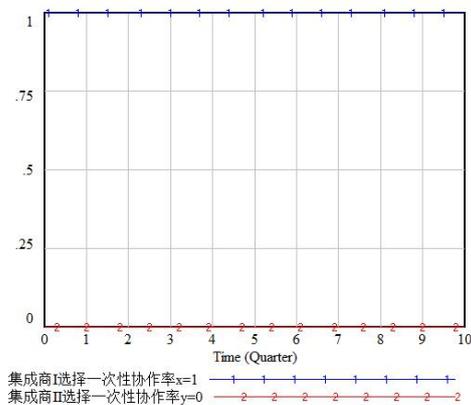


图 4.10 $X_3 = (1,0)^T$ 的演化过程分析

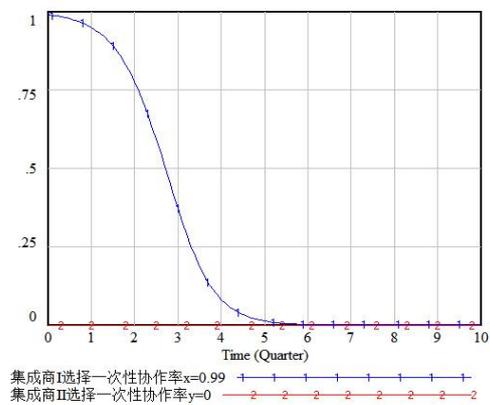


图 4.11 $X_3 = (1,0)^T$ 的稳定性分析

同均衡点(0,1)的结论一致，当集成商I与集成商II两者都采取纯策略(1,0)时，双方均不会在演化过程中改变策略选择，如图 4.10 所示。在这种状态下集成商I选择一次性协作模式，集成商II选择联盟协作，并且双方在后续的博弈过程中会维持这种协作模式不变。但是这种稳定状态也是相对的，若某一方改变其协作策略，那么该稳定状态将不存在。当集成商I以 0.01 概率调整其协作策略，系统均

衡策略会从 $X_3 = (1,0)^T$ 最终演化为纯策略 $X_1 = (0,0)^T$ ，如图 4.11 所示，即集成商 I 会由原来选择一次性协作的方式转变为进行联盟协作。当集成商 II 以 0.01 概率调整其协作策略时，其最终还是恢复到选择联盟协作的状态，如图 4.12 所示。这与纯策略 X2 稳定性分析结论相一致，当个体发现可以获得更大收益的策略时会改变自己的策略，若个体处于最优策略状态则其会坚持自己的最优策略不变。

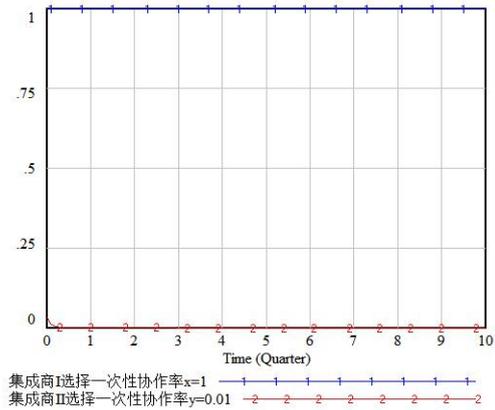


图 4.12 $X_3 = (1, 0)^T$ 的稳定性分析

(ii) 联盟激励 r 对集成商 I 策略选择的影响

同理，将集成商 I 选择一次性协作的概率以 0.01 进行突变，并设置联盟激励金 r 分别为 1、3、5，由图 4.13 可以看出无论联盟激励金如何变化，集成商 I 向联盟协作的转变速度不会改变，这说明联盟激励金的大小不会影响集成商 I 的策略。将其与上述关于联盟激励 r 对集成商 II 策略选择的影响结果相结合可以得知联盟可以通过提高激励金的方法加快集成商 II 选择联盟协作的速度，并且还不会使集成商 I 选择联盟协作的速度变慢。

(iii) 超额收益 V^* 对集成商 I 策略选择的影响

图 4.14 表示超额收益越大，对应的曲线收敛速度越快。这与上述超额收益 V^* 对集成商 II 策略选择影响的结论一致，都是随着超额收益的增大促使集成商向联盟协作策略的改变速度加快。

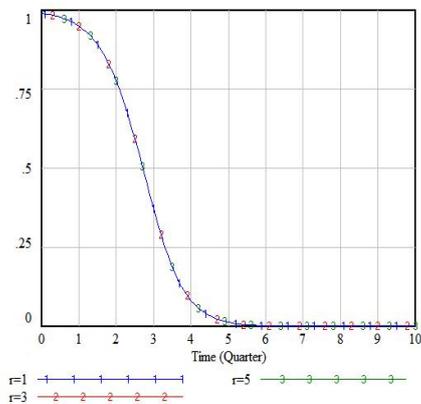


图 4.13 r 对集成商 I 策略选择的影响

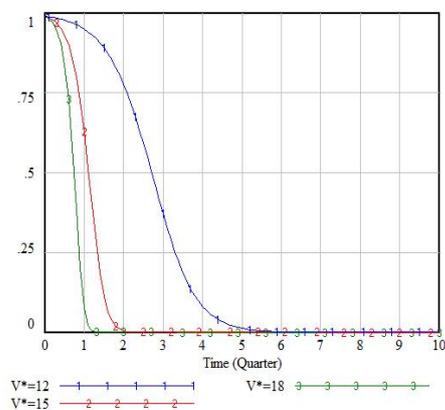


图 4.14 V^* 对集成商 I 策略选择的影响

(4) 纯策略 $X_4 = (1,1)^T$ 演化分析

若将纯策略 $X_4 = (1,1)^T$ 中集成商I的策略以 0.01 概率进行突变，其策略会由一次性协作模式转化为联盟协作，但是不会稳定在联盟协作模式，而是以一种动态的稳定状态存在。但是若将纯策略 $X_4 = (1,1)^T$ 中集成商II的策略以 0.01 概率进行突变，其策略会由一次性协作模式转化为联盟协作，并且处于一种稳定状态，分别如图 4.15、4.16 所示。可以看出如果集成商没有选择联盟协作的意愿，无论对方协作策略如何变化，其协作策略都不会改变。

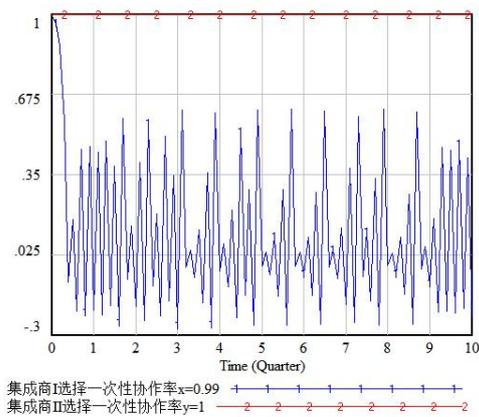


图 4.15 $X_4 = (1,1)^T$ 的稳定性分析

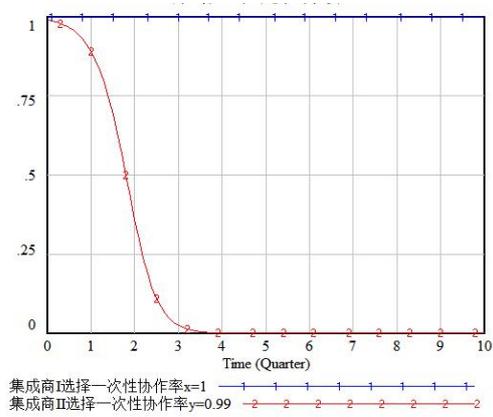


图 4.16 $X_4 = (1,1)^T$ 的稳定性分析

(5) 混合策略 X_5 演化分析

在混合策略中还需要满足 $c > A^* + B^\#$ 和 $c > A^\# + B^*$ 两个条件，因此将额外收益设置为 $A^* = 1$ ， $A^\# = 1$ ，之后对影响混合策略的因素进行分析。

(i) 联盟激励 r 对集成商II策略选择的影响。

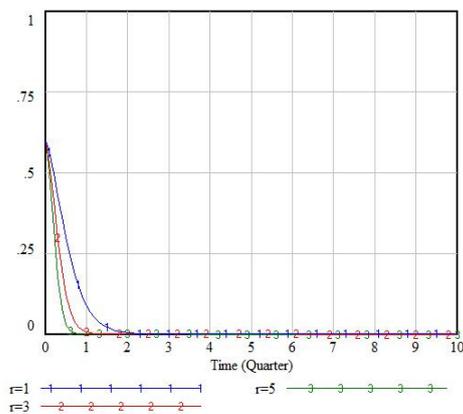


图 4.17 r 对集成商 II 策略选择的影响

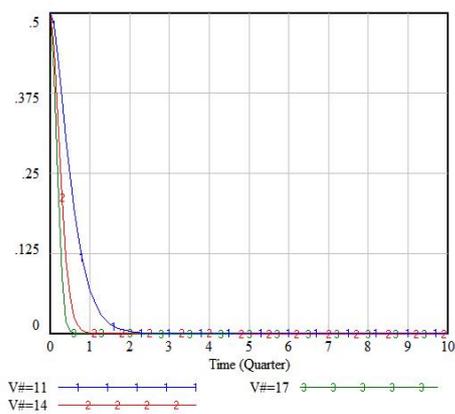


图 4.18 $V^\#$ 对集成商 II 策略选择的影响

当集成商I和集成商II同时选择联盟协作时，联盟会给集成商II额外的激励金来促使集成商II积极协作。通过图4.17可以知道当联盟将激励金提高后会发现集成商II选择联盟协作的意愿加强。因此联盟可以通过提高激励金的手段提升集成商II由一次性协作向联盟协作的转变速度。

(ii) 超额收益 $r^{\#}$ 对集成商II策略选择的影响

图4.18显示超额收益越大，对应的曲线收敛速度越快。这与上述纯策略中超额收益 $r^{\#}$ 对集成商II策略选择影响的结论一致，都是随着超额收益的增大促使集成商向联盟协作策略的转变速度加快。

4.4.3 相关结论

通过对各均衡点稳定性分析可以发现，只要满足集成商获得的机会主义收益大于两者都选择联盟协作时集成商获得的超额收益这个约束条件，那么就可以得出双方均选择联盟协作是一个均衡稳定策略，也是双方的最优协作策略这个结论。而此约束条件与上文4.2.2中假设6相一致，即此约束条件恒成立，这说明无论在何种情况下两个集成商群体均选择联盟协作是最优模式。

在数值分析实验中，通过对四个纯策略均衡点的演化过程及稳定性分析可以发现在没有突变情况时各纯策略均保持各自稳定状态不变，一旦有极小的突变发生，那么各策略的稳定性均不再存在。并且从数值实验中可以看出集成商选择一次性协作的概率发生突变时会演化为选择联盟协作，但是协作策略不发生突变的集成商会继续维持原协作策略不变。之后分析了不同联盟激励和超额收益对各策略选择的影响，可以看出各自获得的超额收益对自身演化为联盟协作的周期有影响，获得的超额收益越大，集成商演化为联盟协作的速度越快。但是联盟激励只对提供协作服务能力的集成商有影响，联盟激励越大，其选择联盟协作的演化周期越短。

综上所述，可以得知在物流服务供应链网络中集成商选择联盟协作可以获得最大收益。并且提高超额收益或者联盟激励金可以加快集成商策略改变速度，缩短其稳定需要的博弈周期。但是如果某一方没有选择联盟协作的意愿，那么无论对方选择何种策略，前者的策略都不会受到影响。

4.5 本章小结

本章对两个集成商群体间的协作策略进行研究,通过构建演化博弈模型找出双方稳定协作策略,并在演化博弈模型基础上运用系统动力学进行仿真分析验证相关结论并分析超额收益、联盟激励金对集成商策略选择的影响。通过对各策略的演化过程和稳定性进行仿真分析我们可以得知集成商同时选择联盟协作时双方可获得最大收益,任何混合策略突变后经过一段时间的演化博弈最终都会稳定在双方选择联盟协作模式的均衡状态。并且通过分析相关收益对集成商策略选择的影响,可以得知在博弈过程中提高超额收益、激励奖励可以加快集成商策略选择的速度,即缩短博弈周期。

5 结论与展望

5.1 主要结论

本文首先对研究背景、研究意义等进行详细描述。之后通过查阅相关文献与资料对本文中需要用到的复杂网络、遗传算法、演化博弈、系统动力学等相关理论进行介绍。并通过文献分析法对不稳定物流服务供应链、供应链协作、供应链网络三个方向的文献进行归纳与总结，在此基础上提出本文研究内容，并说明本文创新之处。本文主要成果如下：

(1) 构建了物流服务供应链网络双目标优化模型。在构建物流服务供应链网络时采用定性与定量相结合的研究方法，首先介绍物流服务供应链网络的特征及结构，之后通过双目标优化模型构建物流服务供应链网络，并用遗传算法找出集成商的订购策略，同时得到构建的物流服务供应链网络并绘制出物流服务供应链网络图。

(2) 构建了集成商协作策略演化博弈模型。在研究突发事件导致物流服务供应商服务能力突变进而影响集成商需求时，基于集成商非完全理性假设，构建了物流服务供应链网络内集成商协作策略演化博弈模型，分析两者之间最优协作策略。

(3) 构建了系统动力学模型对演化博弈模型进行仿真分析。运用系统动力学构建基于 SD 的集成商协作策略演化博弈模型，并运用 Vensim 进行数值仿真分析集成商群体组成的系统的演化稳定策略及相关因素对演化结果的影响。并得到相关结论：两个集成商群体都选择联盟协作时双方可获得最大收益，并维持这种协作模式不再变化。集成商采取其他协作策略时若有微小突变，则双方重新进行博弈直至达到新的稳定状态。并且得知双方演化为联盟协作模式的速度是可以通过调节相关收益加快的，进而缩短两者博弈周期。

因此在实际生产运作过程中，如果某些集成商企业服务能力不足，需要同级集成商协作时，可以考虑组建联盟进行协作，并且为了快速实现最优协作模式，可以加大额度付给协作集成商激励金，激励协作集成商更快加入联盟。也可以通过联盟组织进行调控，减少企业缴纳的超额收益以此来增加企业真正可以获得的超额收益来促使企业进行联盟协作。

5.2 研究展望

本文在物流服务供应链和产品供应链网络研究基础上,将物流服务供应链也延申至网络结构的研究,并将物流服务供应链网络的研究分为正常运作与受到突发状况破坏两种情况。虽然已考虑较多情况,但还是存在一定不足,主要有三点:

(1) 本文对物流服务供应链网络优化模型求解时采用的是遗传算法,并在章节最后进行数值模拟,虽然通过收集的一些数据验证了模型与算法的正确性,但是由于条件限制,缺乏实际案例分析。后续研究需要增加现实调研,搜集相关真实案例和更加精准的数据进行模型的改进。

(2) 在构建物流服务供应链网络时只考虑了网络内各主体相互之间的影响,只把成本与客户满意度做为影响因素,没有考虑到各主体不是完全理性个体,集成商在选择物流服务供应商时会存在偏好行为,进而影响其决策策略,因此在后续研究中可以将行为偏好添加到模型中。

(3) 在研究服务能力突发情况下的物流服务供应链网络协作时只对缺少服务能力的集成商群体和协作的集成商群体这两方进行了演化博弈分析,没有考虑到多方博弈的情况,今后可以考虑引入第三方协调组织,分析在第三方组织的协调下是否可以加快博弈进程,这也更加符合实际。

本文虽然对物流服务供应链网络及协作有了一定研究,但是还是存在一定的不足之处,希望在后续研究中可以改进、突破本文局限,为物流服务供应链网络的研究和发展贡献更多力量。

参考文献

- [1] 何婵,刘伟.物流服务供应链网络属性分析[J].企业经济,2013,32(07):56-59.
- [2] 张广胜,刘伟.基于复杂网络理论的物流服务供应链网络脆弱性机理研究[J].商业经济与管理,2016(12):19-27.
- [3] 张广胜,刘伟.物流服务供应链复杂网络脆弱性测度研究[J].计算机工程与应用,2017,53(19):224-230.
- [4] 张广胜,刘伟,高志军.考虑供给风险的物流服务供应链能力应急采购设计[J].统计与决策,2018,34(08):43-47.
- [5] 张广胜,王艳玲.考虑运作风险的物流服务供应链跨链协调机制研究[J].公路交通科技,2019,36(06):135-143.
- [6] 邢鹏,张翠华,王语霖,江军.供应中断下考虑风险规避的物流服务质量控制[J].东北大学学报(自然科学版),2016,37(04):604-608.
- [7] 舒彤,杨喜瑞,陈收,汪寿阳,黎建强.中断风险下零售商面对转运机制的订货策略分析[J].统计与决策,2016(18):47-51.
- [8] Sawik T.Optimization of Cost and Service Level in the Presence of Supply Chain Disruption Risks:Single Vs. Multiple Sourcing[J].Computers & Operations Research,2014(51):11-20.
- [9] Liu W,Wang M,Zhu D,et al.Service capacity procurement of logistics service supply chain with demand updating and loss-averse preference[J]. Applied Mathematical Modelling,2019,66,486-507.
- [10] Liu W,Xie D, Liu Y,et al.Service capability procurement decision in logistics service supply chain: a research under demand updating and quality guarantee[J]. International Journal of Production Research, 53(2), 488-510.
- [11] 张翠华,李春雨,施全杰.需求更新下考虑参照依赖的网购物流服务质量控制研究[J].工业工程与管理,2020,25(01):101-109.
- [12] 杜妮,韩庆兰.随机需求下物流服务供应链订购策略研究[J].运筹与管理,2018,27(07):10-19.
- [13] Liu W,Liu Y, Zhu D,et al.The influences of demand disruption on logistics service supply chain coordination:A comparison of three coordination modes[J].

- International Journal of Production Economics,2016,179:59-76.
- [14]Liu W, Xu X,Kouhpaenejad A.Deterministic approach to the fairest revenue-sharing coefficient in logistics service supply chain under the stochastic demand condition[J]. Computers & Industrial Engineering,2013,66(1):41-52.
- [15]李剑锋, 陈世平, 易荣华, 等.二级物流服务供应链定价及其效率研究[J].中国管理科学,2013,21(02):84-90.
- [16]Yan X,Wang Y.A newsvendor model with capital constraint and demand forecast update[J].International Journal of Production Research,2014,52(17):5021-5040.
- [17]王效俐,张默.物流服务供应链突发事件合作补救能力评价模型[J].同济大学学报(自然科学版),2014,42(01):159-166.
- [18]王效俐,张默.突发事件下物流服务供应链合作补救策略研究[J].软科学,2013,27(09):28-32+42.
- [19]陈文涛,刘浪.收益共享契约应对非常突发事件的三级供应链协调[J].灾害学,2014,29(04):23-28.
- [20]桂云苗,龚本刚,张廷龙.考虑供应能力不确定性的物流服务供应链协调[J].北京交通大学学报(社会科学版),2012,11(02):27-31.
- [21]张昕瑞,王恒山.基于价值增值的复杂供应链网络动态合作联盟研究[J].工业技术经济,2013,33(02):56-60.
- [22]张毅,张勇杰.社会组织与企业协作的动力机制[J].中国行政管理,2015(10):69-73.
- [23]张翠英,游兆彤,汪国平.农产品供应链合作伙伴选择标准研究[J].浙江农业学报,2017,29(06):1043-1049.
- [24]卓翔芝.供应链联盟伙伴企业战略选择研究[J].商业研究,2010(01):5-8.
- [25]肖旦,周永务,史欣向,李昌文.分销供应链中零售商横向竞争下采购联盟的稳定结构[J].中国管理科学,2017,25(04):33-41.
- [26]王倩文,高阳.闭环供应链下两个制造商与零售商联盟策略研究[J].计算机应用研究,2016,33(11):3289-3292+3319.
- [27]浦徐进,诸葛瑞杰,曹文彬.不同博弈框架下的双渠道供应链联盟模式选择[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2014,37(08):1002-1007.

- [28] 薛霄,魏哲,曾志峰.基于集群式供应链的企业协作联盟及其服务支持系统[J].小型微型计算机系统,2013,34(01):107-114.
- [29] 冯颖,张炎治.TPL 介入的产运销供应链联盟决策及运作效率评价[J].运筹与管理,2019,28(03):67-77.
- [30] 朱海波,李向阳.集群式供应链跨链间库存协作模型[J].系统管理学报,2013,22(1):74-84.
- [31] 周兴建,黎继子,刘春玲,等.基于 Lagrange 算法的集群式供应链跨链订单并行配置优化[J].计算机集成制造系统,2015,21(8):2179-2190.
- [32] 刘春玲,肖位春,黎继子,等.有限超储契约下集群式供应链跨链采购决策模型及算法[J].计算机集成制造系统,2013,19(5):1115-1126.
- [33] 颜波,石平.多供应链间同级与非同级混合的多级双向跨链库存协作[J].华东经济管理,2013,27(06):166-171.
- [34] 李宏宽,李忱.跨链间同级库存协作下集群式供应链协调分析[J].计算机集成制造系统,2015,21(12):3282-3291.
- [35] 公彦德,达庆利.基于横、纵双向协同的物流服务供应链研究[J].科技管理研究,2015,35(07):130-135.
- [36] 郭龙.基于契约的随机产出和需求下的物流服务供应链协调研究[D].北京科技大学,2020.
- [37] 鄢飞.横向公平偏好对物流服务供应链协同运作的影响[J].公路交通科技,2017,34(04):139-145.
- [38] 周宝刚,高燕,李昕.考虑偏好与合作的供应链网络设计与优化[J].计算机工程与应用,2017,53(12):222-228.
- [39] Fattahi M, Mahootchi M, Govindan K, et al. Dynamic supply chain network design with capacity planning and multi-period pricing[J]. Transportation Research Part E, 2015, 81:169-202.
- [40] 胡鸿韬,边迎迎,郭书源,王帅安,严伟.考虑定价和需求关系的供应链网络优化研究[J].中国管理科学,2020,28(10):165-171.
- [41] 李晓萍,李海水,徐兰.考虑关系质量的供应链网络优化设计研究[J].工业工程与管理,2015,20(05):8-13.
- [42] Sarrafha K, Rahmati S H A, Niaki S T A, et al. A bi-objective integrated

- procurement, production, and distribution problem of a multi-echelon supply chain network design: A new tuned MOEA[J]. *Computers & Operations Research*, 2015, 54: 35-51.
- [43] Govindan K, Jafarian A, Nourbakhsh V. Bi-objective integrating sustainable order allocation and sustainable supply chain network strategic design with stochastic demand using a novel robust hybrid multi-objective metaheuristic[J]. *Computers and Operations Research*, 2015, 62: 112-130.
- [44] 李进. 低碳环境下闭环供应链网络设计多目标鲁棒模糊优化问题[J]. *控制与决策*, 2018, 33(02): 293-300.
- [45] 董海, 高秀秀, 魏铭琦. 基于动态自适应布谷鸟搜索算法的多目标闭环供应链网络优化[J]. *系统工程*, 2020, 38(04): 46-58.
- [46] 贾旭, 刘诚. 随机和模糊环境下绿色供应链网络优化设计[J]. *铁道科学与工程学报*, 2018, 15(03): 792-801.
- [47] 高举红, 李梦梦, 韩冰. 考虑碳减排风险的闭环供应链网络设计[J]. *工业工程与管理*, 2017, 22(02): 8-14+27.
- [48] 张鑫, 赵刚, 李伯棠. 可持续闭环供应链网络设计的多目标模糊规划问题[J]. *控制理论与应用*, 2020, 37(03): 513-527.
- [49] Salehi Sadghiani N, Torabi S A, Sahebjamnia N. Retail supply chain network design under operation land disruption risks[J]. *Transportation Research Part E*, 2015, 75(1): 95-114.
- [50] Jabbarzadeh A, Fahimnia B, Seuring S. Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: a robust model with real world application[J]. *Transportation Research Part E*, 2014, 70: 225-244.
- [51] Zokaee S, Jabbarzadeh A, Fahimnia B, et al. Robust supply chain network design: an optimization model with real world application[J]. *Annals of Operations Research*, 2014, 257(1-2): 15-44.
- [52] 卢梦飞, 陈伟炯, 梁承姬. 缓解中断风险的应急供应链网络鲁棒优化[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2015, 38(10): 1417-1423.
- [53] 肖建华, 刘侠, 尚帅, 陈萍. 基于节点失效和需求不确定的弹性供应链网络优化

- 模型与算法[J].统计与决策,2018,34(17):50-53.
- [54]Azad N,Davoudpour H,Saharidis G K D,et al.A new model to mitigating random disruption risks of facility and transportation in supply chain network design [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2014,70 (9-12):1757-1774.
- [55]邱若臻,王奕智,黄小原.基于不确定中断概率的鲁棒供应链网络设计[J].计算机集成制造系统,2016,22(10):2458-2468.
- [56]马卫民,李彬,徐博,张发幼.考虑节点中断和需求波动的可靠供应链网络设计问题[J].系统工程理论与实践,2015,35(08):2025-2033.
- [57]蒲国利,苏秦,王修来.满足救灾需求的灾后救援供应链网络设计[J].工业工程与管理,2015,20(06):161-166.
- [58]陶俐言,王帅.提高加权供应链网络鲁棒性的问题[J].系统工程,2020,38(01):66-74.
- [59]刘伟,高志军.物流服务供应链:理论架构与研究范式[J].商业经济与管理,2012(04):19-25.
- [60]宋娟娟,刘伟,高志军.物流服务供应链子网络间关系及其对集成商绩效的影响[J].上海海事大学学报,2017,38(02):39-45+65.
- [61]宋娟娟,刘伟,高志军.物流服务供应链网络对物流服务集成商成长的作用机制—以网络能力为中介[J].中国流通经济,2016,30(09):49-59.
- [62]Smith J M , Price G R.The Logic of Animal Conflict[J].1973,246(5427):15-18.
- [63]Taylor P D,Jonker L B.Evolutionary Stable Strategies and Game Dynamics[J]. Mathematical Biosciences,1978,40(1-2):145-156.
- [64]黄金虎,郜旭彤,赵金楼.基于时效激励机制的物流服务供应链任务分配[J].管理评论,2020,32(04):242-249.
- [65]张广胜,刘伟.考虑服务时效的物流服务供应链应急任务分配[J].计算机应用,2016,36(08):2335-2339.
- [66]Yu H,Solvang W D.Incorporating flexible capacity in the planning of a multi-product multi-echelon sustainable reverse logistics network under uncertainty[J]. Journal of Cleaner Production,2018,198:285-303.
- [67]Yu H, Solvang W D. A general reverse logistics network design model for

- product reuse and recycling with environmental considerations[J].The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2016,87(9-12): 2693-2711.
- [68]甘俊伟,罗利,寇然.可持续逆向物流网络设计研究进展及趋势[J].控制与决策,2020,35(11):2561-2577.
- [69]Amin S H,Zhang G.A Multi-objective Facility Location Model for Closed-loop Supply Chain Network under Uncertain Demand and Return[J].Applied Mathematical Modelling,2013,37(6):4165-4176.
- [70]周愉峰,陈娜,李志,龚英.考虑设施中断情景的震后救援初期应急物流网络优化设计[J].运筹与管理,2020,29(06):107-112.
- [71]朱怀念,张光宇,张成科,刘贻新,杨诗炜.机会主义下协同创新行为的演化博弈仿真分析[J].科技管理研究,2016,36(04):13-18.

攻读硕士学位期间发表论文及科研情况

- 1、曹晓军,谭伟嫚,王雪燕,彭会萍.考虑公平关切与需求更新的物流服务供应链决策研究[J].商学研究,2020,27(02):46-56.
- 2、彭会萍,王雪燕,谭伟嫚,曹晓军.集成商公平关切下物流服务供应链决策研究[J].商学研究,2020,27(05):72-82.
- 3、甘肃商务发展研究中心, JYYY201607, 一带一路背景下甘肃物流与经济协同发展及物流需求预测; 2016-2018, 已结项, 主要参加者。
- 4、甘肃丝绸之路经济研究院课题, JYYZ201703, 丝绸之路背景下甘肃物流网络及其在西部地区集散能力研究; 2017-至今, 主要参加者。
- 5、甘肃丝绸之路经济研究院课题, JYYZ201807, 甘肃与丝绸之路沿线国家特色农产品电商平台型物流问题研究; 2018-至今, 主要参加者。
- 6、甘肃省电子商务技术与应用重点实验室课题, 2018GS DZSW 63A12, 甘肃特色农产品跨境电商物流问题研究; 2018-至今, 主要参加者。
- 7、科技厅自然科学基金, 20JR5RA205, 基于复杂网络的区域物流效率研究; 2020.10-至今, 主要参加者。
- 8、甘肃省科技厅软科学课题, 20CX4ZA059, 丝绸之路背景下甘肃物流集散能力研究; 2020.10-至今, 主要参加者。

致谢

研究生学习生活就要结束，在这三年内我不仅仅是在学习上有很大收获，在生活经验与处事方式上也有了很大提升。这些丰富的知识和人生经验是由许许多多不同的人教会我的，在此我想表达出对他们的感谢！

首先要感谢的是对我启发很大的我的研究生导师曹晓军教授，曹老师是一个非常自律且努力的人，无论寒冬还是酷暑，他总是早早到校，工作、学习到很晚才会离开办公室，曹老师在繁忙的教学工作之余还在不断学习新的知识，这也深深的影响到我们每一个人，让我们明白不论处在哪个阶段，我们都要静下心来学习，需要不断提升、不断充实自己。这份认知让我很快适应了由大学灌输式学习向研究生主动式学习方式的转变。也正是因为曹老师不断获取新知识，在我的研究生学习过程中他总是能够给出很好的建议和不同的见解，尤其在我毕业论文研究进程中为我提供了极大的帮助。曹老师不仅在学习上对我有很大启发，在生活上也教会我很多道理。曹老师不仅是一位严师还像一位慈父，在学习上严格要求，在生活上细心关怀，会给我们带来甘肃特产，还教会我们很多为人处世的方法，我为能够成为曹老师的学生而感到骄傲。

在我三年研究生学习过程中同实验室的彭会萍老师也为我提供了很多帮助。在我论文写作中语言表达能力较差时，彭老师会耐心的不断为我订正。同时作为一名女性教师，在生活中也会更加细心，更加关注我们的情感。彭老师总会不时给我们带些零食，并且还嘱咐我们要适当休息，要多去看一些家乡看不到的景色。彭老师的悉心教导也令我受益良多。

还有很多同学也丰富了我的研究生生活，来自全国各地的同学汇聚在一起，讲述不同的生活习惯与见闻。在学习上我们会就一个问题每个人都积极发表自己的意见，遇到不懂的知识我们会一起研究分析直至明白它的原理。

最后还要感谢在研究生三年中所有的任课老师，他们都是知识渊博又认真负责的老师，他们的课程蕴含丰富的哲理同时又氛围活跃，让我们易于接受。

我感到很幸运在研究生三年可以遇到可亲又可敬的老师，善良又努力的同学，让我有了很大提升。

此外还要郑重感谢支持我的父母，他们的默默付出为我提供了坚强的后盾，让我可以心无旁骛的专注于学习。

附录

生成初始种群代码:

```
def species_origin(population_size,nlsi,nflsp):
    pop=[]
    for u in range(population_size):
        population=[]
        for i in range(nlsi):
            y=0
            temporary=[]
            for j in range (nflsp-1):
                r=random.randrange(0,D[i]-y)
                temporary.append(r)
                y+=r
            if(sum(temporary)>d[i]):
                r=random.randrange(0,D[i]-sum(temporary))
                temporary.append(r)
            else:
                r=random.randrange(d[i]- sum(temporary),D[i]-sum(temporary))
                temporary.append(r)
            population.extend(random.sample(temporary,nflsp))
        pop.append(population)
    return pop
```