

中文摘要

在当今时代，在市场竞争日益激励的环境下，越来越多的企业开始意识到物流管理的重要性。而物流业务的外包也成为企业提高竞争力的重要手段之一。不仅是传统的正向物流业务外包，新兴的逆向物流也逐步开始进行外包。这对于从事物流外包业务的第三方物流供应商（3PLs）来说，无疑是一个非常有利的发展机会。同时，为了更好地提高客户服务水平、降低物流总成本和运营费用，第三方物流企业必须改进其物流网络，使得其能够同时支持正向物流和逆向物流的运营。为此，本文对第三方物流的正向和逆向物流网络规划问题分别进行了比较详细的分析和研究，并建立了相应的优化模型。然后在此基础上，提出了一个混合整数非线性规划模型（ILM），来解决同时包含正向和逆向物流的整合物流网络规划问题。该模型属于是一种 N-P 难题。对这种问题，人们往往采用传统的遗传算法能取得比较优良的次优解。但对于比较复杂的问题，遗传算法在进化过程中有较高的概率会出现早熟问题，从而导致收敛于较差的局部最优解。为此，本文提出用一个基于模型特性，包含子搜索过程的混合免疫算法来对问题进行优化。最后在算法性能测试中，本文将免疫算法得到的优化数值及收敛速度和传统的遗传算法进行了对比。对比结果表明，免疫算法的性能明显高于遗传算法。

关键词： 第三方物流，物流网络，正向物流，逆向物流，免疫算法

ABSTRACT

In today's fiercely competing market environment, a growing number of companies have begun to realize the importance of logistics management. And logistics outsourcing (including both forward and reverse logistics outsourcing) has become an important means to enhance company's competitive power. It is a great chance for the development of Third Party Logistics services provider (3PLs), whose business focus is on logistics outsourcing. In order to improve the customer services and cut down the total logistics cost, 3PLs must improve their logistics networks to support both forward and reverse logistics management. Therefore, this paper analyzed the forward and reverse logistics network optimization problem for 3PLs respectively. Then, based on the former analyses, we proposed a mixed integer nonlinear programming model (ILM) to optimize the integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. It is a NP hard problem. Usually, the traditional Genetic Algorithm (GA) is used to solve such problems. But GA has a high probability to appear premature when confronted with complex problems. Thus, we propose a hybrid Immune Algorithm (IA) based heuristic containing a simplex algorithm as a sub-search process. The numerical results obtained from the proposed method are compared with the outcomes gained by a common hybrid GA. The result of the comparison clearly indicates that the performance of the proposed IA is much better than the common GA.

KEY WORDS: 3PLs, logistics network, forward logistics, reverse logistics, immune algorithm

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得天津大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。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：倪剑 签字日期：2007 年 6 月 2 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：倪剑

导师签名：刘金三

签字日期：2007 年 6 月 2 日

签字日期：2007 年 6 月 5 日

第一章 绪论

1.1 课题的研究背景和意义

物流是随着社会经济的发展和社会分工的细化而产生的，它是一项跨行业、跨部门、跨地区乃至跨国界的系统工程。简单的说，物流是物品从生产地至消费者所在地的整个流通过程。物流系统按照运作模式的一般可以划分为三类：

第一方物流(First Party Logistics, 简称 1PL)是由卖方、生产者或供应方组织的物流，这些组织的核心业务是生产和供应商品，为了自身生产和销售业务需要而进行物流自身网络及设施设备的投资、经营与管理。

第二方物流(Second Party Logistics, 简称 2PL)是由买方、销售者组织的物流，这些组织的核心业务是采购并销售商品，为了销售业务需要投资建设物流网络、物流设施和设备，并进行具体的物流业务运作组织和管理。

第三方物流(Third Party Logistics, 简称 3PL)是由专业的物流组织进行的物流，其中的“第三方”是指提供物流交易双方的部分或全部物流功能的服务提供者，即物流企业，是独立于第一、第二方之外的组织，具有比这二者明显资源优势的承担物流业务、组织物流运作的主体。

进入二十一世纪以来，随着世界市场的风云变化，企业面临的社会、经济、制造环境与客户需求都发生了明显的变化。为了在激烈的市场竞争中取胜，企业必须在满足顾客及时、准确交货要求的同时，又能保持相对较低的成本。因此物流管理得到了越来越多的公司的重视。在这个大的背景下，许多企业纷纷对原有的流通渠道进行变革和创新，以减少流通的环节，并通过供应商管理库存(VMI)和延迟生成等策略，尽量降低企业内部的库存。同时越来越多的企业为了将企业工作集中于提高核心竞争力，将产品的分销中的仓储、运输等作业外包给专业的第三方物流公司来管理。这为第三方物流公司的发展提供了良好的机遇。

在国外，第三方物流发展比较成熟，已经得到了广泛的应用。在欧洲，整个物流服务市场约四分之一由第三方物流完成。其中德国 99%的运输业务和 50%以上的仓储业务交给了第三方物流，在美国，大型制造企业使用第三方物流的比例占到 69%。未来 3 到 5 年，美国第三方物流业的收入将以 15-20%的比例持续递增。

而在我国，第三方物流还处于发展初期。虽然我国现在已出现中远集团、中

外运集团、中海物流等一批规模比较大且物流网络覆盖面较广的第三方物流企业集团,但总的来说国内第三方物流企业规模普遍比较小,物流市场地域高度集中,近 80%的收益都来自于长江三角洲和珠江三角洲地区。并且,我国第三方物流供应商功能比较单一,增值服务薄弱,大部分物流企业只能提供单项或者分段的物流服务,不能形成完整的物流供应链。但我国的第三方物流也存在着巨大的潜在市场需求。我国是全球最富有经济活力的国家之一,许多跨国企业正在将更多的业务转向中国,并通过外包物流来降低其供应链成本;并且国内企业也逐渐意识到物流外包的优势,越来越多的企业开始采用第三方物流服务。这无疑会给我国物流业带来巨大的机遇和丰厚的利润。

然而在我国加入世贸组织以后,许多国外的专业物流企业已经进入了中国市场,这些先进的物流企业在经营理念、技术设施和管理手段方面都有较强的竞争优势。我国的第三方物流企业面临着来自国外的有力竞争和严峻挑战。面对挑战,国内第三方物流供应商大都在努力提高经营水平,构建区域性或全国性的物流网络,以调高服务质量,降低经营成本。但由于许多企业缺乏物流网络规划设计方面的理论和实践基础,在具体工作中往往靠主观经验来进行判断,导致结果往往不能尽如人意。一般来说,物流网络规划问题属于 N-P 难题范畴,没有固定的解法,往往需要采用模拟退火、遗传算法等进化算法进行近似求解。但总的来说物流网络规划问题依然是第三方物流面临的主要问题之一。因此,对第三方物流企业物流网络规划设计的理论及应用研究,对于促进我国第三方物流的快速发展具有重要的意义。

1.2 论文的主要内容和章节安排

对于第三方物流网络的优化设计,国内外相关研究都主要集中于正向物流。而逆向物流作为当前物流领域研究的热点,却很少在第三方物流理论研究中提及。而同时考虑正向物流和逆向物流的文章更是凤毛麟角。而在实践中,综合考虑正向物流和逆向物流往往能更好地降低物流总费用,提高第三方物流企业效益。

针对这方面地空缺,本文对综合考虑正向物流和逆向物流的第三方物流的整合优化问题进行了研究,引入了混合仓库-回收中心的概念,在确定了物流设施备选地址的情况下,以物流总费用最小化为目标,建立了一个基于第三方物流企业业务量预测的动态整合物流网络优化模型。然后针对传统的遗传算法的早熟问题,本文结合模型特点设计了一种混合免疫算法来对模型进行优化。并且用数值算例将免疫算法与遗传算法进行了对比,证明了这种算法的实用性和效率。

论文具体章节安排如下：第一章绪论，主要阐述课题的研究背景及其意义，然后简要概述了本文主要工作。第二章主要对第三方物流进行了综述，介绍了第三方物流的概念及其服务内容，分析了采用第三方物流企业的优势。然后讨论了国内外第三方物流的现状及其发展趋势。第三章则首先介绍了物流网络的内涵和结构，然后结合第三方物流的需要讨论了不同类型物流网络规划设计的内容及其必要性。第四章则结合第三方物流企业实际，分别提出了正向物流网络和逆向物流网络的优化问题及其模型，然后结合前两个模型，并引入一种混合仓库-回收中心的概念，建立了一个整合正向/逆向物流网络优化模型。第五章提出采用新兴的免疫算法来求解第四章提出的模型，并结合模型特点，通过对模型的变换设计了一种混合免疫算法来对模型进行优化。然后用数值实例对免疫算法和遗传算法进行对比，验证了混合免疫算法的高效和实用性。第六章总结了本文工作，并提出有待进一步研究的问题。

第二章 第三方物流介绍

2.1 第三方物流的概念及其特征

2.1.1 第三方物流的概念

物流在英语中最初为“Physical Distribution”(传统意义上的物流)。到第二次世界大战期间美国陆军中开始用“Logistics Management”(现代物流管理)来指代物流。该理论得到了企业和理论界认同,并被广泛运用起来。他们将之称为商业物流或销售物流(Business Logistics)。

随着经济的全球化和产业的专业化,美国物流管理协会又扩展了原有的物流领域,给出了现代物流的定义:物流是指为了满足顾客的需求,所发生的从生产地到销售地的物质、服务以及信息的流动过程,以及为保证其能有效、低成本地运行而从事的计划、实施和控制行为。

于是在现代物流的背景下,从生产企业或者销售企业的独立出来,专门提供仓储和运输服务的服务提供商诞生了。本文将之称为第三方物流企业(Third Party Logistics Services provider, 简称 3PLs)。第三方物流是一个比较新兴的概念。从欧美等发达国家的经验来看,它也只有短短几十年的历史。但是随着全球竞争的加剧,第三方物流发展速度相当惊人,日益成为物流理论与实践的重要研究领域。

第三方物流(Third Party Logistics, 简称 3PL)的概念最早是于 20 世纪 80 年代中期在欧洲提出来的。在我国,根据 2001 年 8 月 1 日公布的《中华人民共和国名称标准—物流术语》,第三方物流的定义为:由供方与需方以外的物流企业提供物流服务的业务模式。从广义来讲,第三方物流是与自营物流相对而言的,即第三方物流是专业物流企业面向其他企业提供物流服务,按照客户要求对货物进行运输、包装、保管、装卸、配送、流通加工等项目的有偿服务。第三方物流是生产经营企业为集中精力搞好主业,把原来属于自己处理的物流活动,以合同或其它方式委托给专业物流服务企业,同时通过信息系统与物流服务企业保持密切联系,以达到对物流全程的管理和控制的一种物流运作与管理方式。从事第三方物流的企业在委托方物流需求的推动下,提供全面的物流服务,其中包括物流活动的组织、协调和管理、设计建议最优物流方案、物流全程的信息收集、管理等,第三方物流是现代物流的主流^[15]。

2.1.2 第三方物流的特征

第三方物流(3PL)是物流专业化的新型模式,它既不同于传统的货代公司,也不是单纯的快递公司。第三方物流公司通常于客户签订较长时间的物流服务合同,故而第三方物流也被称为“合同物流”的经营方式。这也表明,第三方物流公司于客户之间是基于建立一个长期的合作关系,而不是一次性的交易。一般而言,第三方物流有以下几个特征^[11]:

1. 以合同为导向提供一系列服务。第三方物流能提供多项以至全方位的物流服务,它注重的是客户物流体系的整体运作效率和利益。同时,第三方物流必须根据合同条款要求来提供规定的物流服务,并与客户公司保持较长期的关系,而不是根据客户的临时要求来提供服务。

2. 个性化的物流定制服务。第三方物流服务的对象一般都比较特殊,且服务延续时间较长,往往长达几年。这时因为需求方的业务流程往往有较大差别,并且随市场条件的变化而变化。因此第三方物流服务应该按照客户的业务流程,提供定制化的服务。

3. 与客户建立长期的战略合作伙伴关系。第三方物流企业扮演着合作者甚至同盟者的角色,与客户形成相互依赖的市场共生关系。第三方物流企业对客户的物流活动长期承担策划、组织和运作的职能,客户则通过信息系统对物流全程进行管理和控制。第三方物流企业的业务涉及客户企业生产计划、销售计划、库存管理计划、订货计划等整个生产经营过程;其收益则主要来源于客户企业的销售收入。因此第三方物流企业与其客户企业是一种战略合作伙伴关系,可以说一荣俱荣,一辱俱辱。

4. 以现代信息技术为基础。信息技术的发展是第三方物流产生与发展的必要条件。现代信息技术实现了数据的快速、准确传递,提高了仓储管理、装卸运输、采购订货、订单处理的自动化水平,使得客户可以利用信息技术与第三方物流企业进行交流与协作。同时电子商务的出现也促进了第三方物流的发展。

2.2 第三方物流的服务内容及其优势

2.2.1 第三方物流的服务内容

按照一般物流企业的习惯,一般将第三方物流的服务内容分为运输、仓储/配送、信息服务、其他增值服务和总体策划四大类^[8]:

1. 运输类业务。在运输类业务中,首先是运输网络设计和规划,其技术含

量最高。对于业务覆盖全球的跨国公司而言,其采购、生产、销售和售后服务网络非常复杂,要设计一个高效并且在某种程度上协同的运输网络非常困难,一般需要有专门的专家队伍,通过计算机模型完成运输网络设计工作。我国的第三方物流企业基本上不具备运输网络的设计能力,即使是有这方面业务往往也通过经验来完成。然后是“一站式”全方位运输服务,即物流公司提供多个运输环节的整合,为客户提供门到门的服务。比如现在比较流行的多式联运业务。现在,在世界范围内出现了海运公司上岸的热潮,这些海运公司可以提供国际海运、进出口代理、陆上配送等业务,将原来的港到港服务,延伸成为门到门服务。目前像马士基物流、中远物流、中海物流等都有类似业务。此外还有运输力量外包、动态运输计划和报关等服务。

2. 仓储/配送类业务。包括订单处理、库存管理、仓储管理、代管仓库、包装和物流加工等。其中库存管理是物流管理中最核心和最专业的领域之一,完整的库存管理包含市场、销售、生产、采购和物流诸多环节。一般企业往往不会将其库存管理全部外包给第三方物流企业,往往是由企业自身完成库存管理中最复杂的预测和计划部分,而将库存管理的执行环节交给第三方物流企业。同时第三方物流企业也可以通过对客户企业历史数据的挖掘,对其库存管理提供专业化建议。此外订单管理、仓储管理和代管仓库也是较常见的第三方物流服务项目。而包装和物流加工则是仓储类业务中重要的增值服务内容。

3. 其他增值服务。主要包括延后处理、零件成套、供应商管理、货运付费、JIT 制造和售后服务等。其中延后处理是一种先进的物流模式。企业在生产过程中,在生产线上完成标准化生产,但对其中个性化的部分比如产品包装、说明书和电源搭配等,采取延后处理的模式,将其放在仓库由第三方物流企业进行,以满足不同地区不同客户的需要。许多第三方物流企业提供的贴标签服务或是在包装箱上注明发货区域等也属于简单的延后处理。而零件成套则指将不同零部件在进入生产线之前完成预装配的环节。对于第三方物流提供的供应商管理一般指对运输、仓储等第三方物流供应商的管理,此外最近几年也出现了对客户原料个零配件供应商的管理。货运付费,即代垫代付货运费用,是第三方物流最常见的业务之一。而 JIT 制造支持和售后服务则是比较新兴的第三方物流服务领域。

4. 信息服务。在发达国家,信息服务实际上是第三方物流非常重要的服务内容。而在我国由于第三方物流的信息化基础比较薄弱,这一类服务还没有得到重视。这一类服务一般包括信息平台服务、物流业务处理系统和运输过程跟踪。第三方物流的信息平台服务指客户通过信息平台(EDI、XML)实现同海关、银行、合作伙伴等的连接,完成物流过程的电子化。物流业务处理系统可以帮助客户企业更好地完成物流过程的管理和监控。运输过程跟踪则可以通过 GPS/CIS

等跟踪手段,实现订单和运输过程的实时跟踪,使客户了解货物运输的状况。

2.2.2 采用第三方物流的优势

在激烈的市场环境下,企业竞争内容呈现出动态的特点,企业竞争优势也处于不断变化的状况中。同时,以快速反应为主的市场竞争要求企业必须重新审视其的核心竞争力。采用第三方物流企业(3PLs)能使企业集中于核心竞争力,有效降低成本,提高顾客满意度、在激烈的市场竞争中获取竞争优势。采用第三方物流的优势如下^[7]:

1. 使企业能集中资源于核心业务,提升核心竞争能力。日趋激烈的市场竞争使企业越来越难以成为业务面面俱到的专家。企业要保持并强化其市场竞争优势,只有将其有限的资源集中于核心业务上。而第三方物流服务的提供方,凭借其物流专长正好为其所服务的客户企业提供了一种充分利用外部资源处理非核心业务(物流管理),集中于最擅长领域的机会。也就是说,对于非物流企业而言,最好将其物流业务外包给第三方物流。目前世界上许多著名公司都将其物流业务外包,从而专注于自己的核心业务。DILL 电脑把物流业务外包给联邦快递(FedEX)、联合包裹公司(UPS),宜家家具把物流活动外包给马士基(MAERSK),广州宝洁(P&G)把物流业务外包给广州宝供物流都是第三方十分成功的例子。

2. 省物流成本,降低财务风险。现在我国的工业企业生产中,直接劳动成本占总成本的比重不到 10%,而物流成本占商品总成本的比重,从账面来看约为 40%,全社会物流费用支出约占 GDP 的 20%。而在整个商品生产销售过程中,用于加工和制造的时间仅 10%左右,用于物流过程的时间几乎占了 90%。由此可见节约物流成本的空间是非常巨大的。专业的第三方物流企业能充分利用专业化和规模经济的成本优势,通过提高物流各环节的利用率,节省成本,减少交易费用,使客户企业能得到更为经济的物流服务。第三方物流公司还可借助精心策划的物流计划和适时运送等手段,最大限度的降低库存,甚至帮助客户实现零库存管理,改善了企业的现金流量。此外,由于客户企业减少了对运输设备、搬运机械、仓库等物流设施的投资,从而变固定成本为可变成本,减少了企业的财务风险。

3. 快速响应顾客需求、提高顾客的满意度和忠诚度。第三方物流企业的利润并非主要来自于运费、仓储费等直接收入,而是主要来源于与客户企业共同在物流领域创造的新价值。所以第三方物流企业与客户企业的关系不是一般的竞争关系而是战略伙伴关系。为实现双赢的结果,第三方物流企业会从客户企业的发展着想,通过信息技术等手段使对象企业的供应链管理透明化,并缩短交货期。同时为客户企业定制“以顾客需求为导向、低成本、高效率”的物流方案,使对

象企业能对顾客的需求快速做出反应,从而提高顾客满意度和忠诚度。

2.3 第三方物流的发展状况与趋势

2.3.1 国际第三方物流的现状

当今世界现代物流业正处于生命周期的发展期,前景十分广阔。据统计,2000年全球物流费用总支出为3.75万亿美元。其中第三方物流市场份额为2070亿美元,占全球物流总支出的5.5%。第三方物流自从80年代产生以来已经得到了迅猛的发展。从1996年到2002年,全球第三方物流市场平均增长率为13%。

第三方物流在美国已深入民心,有高达58%的物流量是通过第三方完成的,而需求仍在增长。而且33%的非第三方物流服务用户正积极考虑使用第三方物流服务。美国72%的第三方物流服务用户认为他们有可能在三年内增加对第三方物流服务的运用。整个美国第三方物流业的收入已从1994年的150亿美元增长到1996年的250亿美元。其2000年的市场规模约600亿美元,前20名第三方物流服务企业净收入达到93.4亿美元,被称为玫瑰色的新产业。

在欧洲尤其是英国,第三方物流市场普遍被认为已经有一定的成熟程度。欧洲目前使用第三方物流服务的比例约为76%。研究表明欧洲24%的非第三方物流服务用户正积极考虑使用第三方物流服务。欧洲62%的第三方物流服务用户认为他们有可能在三年内增加对第三方物流服务的运用。欧洲最近的潜在物流市场的规模估计约为9500亿美元。例如有资料显示在英国市场上,1997年主要的英国零售商已控制了94%的配送业务(从仓库到商店),但是其中有将近一半47%都是外包给别人配送的。在国际物流方面,根据荷兰国际配送协会(HIDC)的调查,美国、日本、韩国等国家在欧洲设立的仓库的配送业务有三分之二是外包给当地的第三方物流公司管理的。德国的物流市场总额为346亿美元,其中99%的运输业务和50%以上的仓储业务交给了第三方物流。第三方物流企业的营业额为80多亿美元,占物流总支出的23.33%。通过第三方物流,德国物流成本下降到商品总成本的10%。

在物流配送社会化程度最高的日本,第三方物流在整个物流市场的份额高达80%。例如在20世纪90年代早期,日本的松下半导体公司在美国英国以色列和东南亚的13个地区设厂生产和组装芯片。产品被送往分布广阔的顾客手中:IBM公司、东芝公司、康柏公司、福特公司、西门子公司等等,每个客户的工厂都分布在世界各地。松下的芯片运往客户的工厂总共有2万多条路线,一批货物常常要走12条航线,沿途在10个不同的仓库停靠。松下公司95%的芯片在订单发出

后的第 45 天才能到达,而剩下的 5%则要 90 天才能到达。由于客户不知道 5%的会被延误的货物有哪些,就常常在各个仓库里备足 90 天用的存货。松下公司的一位官员说:“到处都是陈旧的存货,整个物流系统都被存货淹没了。”在这种情况下,松下公司雇用了联邦快递公司(Fedex Logistics)来完成它的全球物流工作。结果是惊人的,在两年之内松下公司的物流成本降低了 27%,销售额增加了 5.84 亿美元,顾客满意度也大大提高。现在,松下半导体公司平均可以在 4 天之内将产品送到顾客手中,并且正在向 3 天内到货的目标前进。因此将物流工作转包给高效率的专业公司去完成,既降低了成本,又改善了顾客服务水平。

2.3.2 国际第三方物流的发展趋势

在国际上,第三方物流(3PL)主要呈现出以下趋势:物流提供商和配送商之间的协作增加;服务内容日趋复杂;服务需求存在地区差异;物流提供商更多介入。

1. 物流提供商和配送商之间的协作增加。随着全球第三方物流服务的增长,第三方物流提供商发现客户变得越来越挑剔。过去一套标准的服务就能满足顾客需求,而如今由于供应链越来越复杂,常常要求第三方物流公司能提供个性化的解决方案。为客户提供个性化服务、承诺 IT 投资和与其客户协同合作成为 3PLs 赢得市场的关键。客户越来越高的要求使两个曾是竞争对手的角色:物流提供商和电子分销商结为合作伙伴。比如这几年安富利电子行销公司(EM)的供应链服务事业部与物流提供商 DHL、Exel 结为联盟,使用后者的仓库和仓库来为亚洲和东欧地区的客户提供服务。因为安富利认为在这些地区投资建设仓库非常不经济。而艾睿电子也有类似战略。

2. 服务内容日趋复杂。像 Titan 和安富利那样,艾睿正在为数家全球跨国客户提供“复杂的第三方物流服务”,包括设计报关软件和库存管理流程等等。这些服务在艾睿全球 IT 基础设施的支持下开展。客户对供应链和物流服务的要求越来越高。他们不仅希望第三方物流服务提供商能开发出先进软件,部署全球的 ERP 和 EDI 系统,还能创建简单标准的 IT 接口,自动提交海关和出口申报单证,并能对全球各地的仓库实行 JIT 交货。OEM 公司希望能以最低的成本获得全套方案。

3. 服务需求存在地区差异。不同地区的制造商对物流服务的需求存在差异。比如北美大部分制造商偏向能够提供整体供应链管理服务的元器件分销商,而不是那些专业从事运输和仓储服务的物流公司。最近,联邦快递的供应链服务部、德勤公司和乔治亚科技学院联合对全球跨国公司在北美、非洲、西欧和亚太地区

购买和使用第三方物流服务的情况进行了调查。有 400 家来自计算机和外设、电子元器件、通信、工业电子和医疗领域的公司接受了调查。调查结果显示,在北美,有近一半的制造商采用第三方服务商所提供的供应链和物流管理系统,而不是自己开发 IT 管理系统。其中,35%的制造商将其供应链技术开发外包给电子元器件分销商,16%的公司外包给物流公司。西欧的情况却大相径庭,59%的制造商自主进行 IT 开发。29%的被调查者声称在物流外包方面首选物流公司,只有 6%的被调查者选择分销商或者第三方 IT 技术提供商。亚太地区的调查结果与此相近,56%的被调查者声称,他们首选内部 IT 资源,32%选择物流公司,15%愿意要求分销商开发供应链管理技术。

4. 物流提供商更多介入。为获得更大的市场,顶级物流公司不断出台新的物流和供应链服务。联邦快递供应链服务公司(FedExSCS)是联邦快递的子公司。该公司与德勤公司搭建了一个全新的按需付费技术,使 FedExSCS 的客户能够实时查看订单状态和来自多家公司的运输日程安排。该平台采用 BridgePoint 公司的软件实现可见性和事件管理,借助 Yantra 公司的软件支持订单和仓库管理,通过 GLog 的软件实现运输优化。FedExSCS 的供应链事业部并不为每位客户更改代码和数据库结构,但却考虑了特定行业的海关申报业务规则,如高科技、医疗、零售、服装、汽车和工业。FedExSCS 管理、跟踪库存,但并不设定库存目标或提供 VMI 服务。FedExSCS 许多客户将库存管理和预测,部署高级计划系统(ASP)作为下一阶段的目标,但这并不是 FedExSCS 的核心能力。DHL 自主开发了供应链服务工具,正在进行软件升级,并对兼并 Airborne 后的 IT 平台实现标准化。DHL 认为客户希望第三方物流提供商能够分析系统流程,建立绩效考核标准,跟踪运营成本,并对制造转移到某一地区的相关成本变化提出预警。必须升级 IT 系统,特别是提供与成本和产量管理相关的供应链服务。就第三方物流服务而言,物流公司的前景在于提供兼容的系统平台、供应商绩效考核和流程结果评估。

2.3.3 我国第三方物流的现状

在我国,最近几年来第三方物流也得到了迅速发展,市场规模平均年增长率超过了 20%。根据 2006 年全国物流统计调查资料,制造业物流外包特别是销售物流外包明显加大,增长速度在 5%-10%左右,运输与仓储外包的增长速度在 10%-15%左右。其中,2005 年企业运输业务委托第三方的比例为 67.1%,比 2005 年同期提高 2.5 个百分点。由于专业化分工加快,第三方物流市场逐步细分,专业化程度提高。产业细分,形成专业化物流市场,专门化物流公司。如超市物流、家电物流、服装物流、汽车物流、钢铁物流、烟草物流、医药品物流、粮食物流、冷链物流、图书物流等等。

但是总的来说,我国的第三方物流行业仍然处于起步阶段,还比较落后。主要表现在以下几个方面:

1. 使用比例偏低。由美国 Tennessee 大学物流研究中心进行的年度调查表明,在 1996 年,有 58% 的美国被调查者采用了第三方物流的服务,而到 2000 年这个比例上升到 73%。在欧洲,使用第三方物流的比例更高。仅在 1996 年,欧洲使用第三方物流服务的比例已经达到了 76%。同时,研究表明,欧洲 24% 和美国 33% 的非第三方物流服务用户正积极考虑使用第三方物流服务;欧洲 62% 和美国 72% 的第三方物流服务用户认为他们有可能在三年内增加对第三方物流服务的运用。而在中国,在工业企业中,36% 和 46% 的原材料物流由企业自身和供应方企业承担,而由第三方物流企业承担的仅为 18%;产品销售物流中由企业自理、用户自理与第三方物流企业共同承担比例分别为 24.1% 和 59.8%,而由第三方物流企业承担的仅为 16.1%;在商业企业中,由企业自理和供货方承担物流活动分别为 76.5% 和 17.6%。这种以自我服务为主的物流活动模式在很大程度上抑制了工商企业对高效率的专业化、社会化物流服务需求的产生和发展。

2. 服务范围狭窄。在欧美,第三方物流的服务的品种已经由最初的简单仓储运输发展到了具有一定宽度的阶段。第三方物流提供 EDI、信息管理等全新的服务项目,在很大程度上满足了客户的多样需求。而在我国,第三方物流的服务范围还往往局限在传统的运输、简单仓储等基础性服务方面。生产企业的外包物流主要集中在干线运输,其次是市内配送;商业企业的外包物流主要集中在市内配送,其次是仓储,再次是干线运输。并且物流系统设计、供应商管理、物流总体规划等高增值、综合性服务仍然未能成为我国第三方服务的主流服务项目。可以说,我国第三方物流仍然处于由传统运输、仓储企业向真正意义上的第三方物流转变的过程中。

3. 企业规模偏小。我国目前的第三方物流普遍存在规模偏小的现象。大部分第三方物流企业都是中小型企业,同时还面临跨国公司的蚕食国内物流市场的威胁。国内商业第三方物流服务商的市场份额少有超过 5% 的,而在我国的外资第三方物流服务商中主要是做进出口物流,占其营业额的 80%,他们的客户主要是外商独资企业和中外合资企业,很少涉及商业第三方物流,由于为市场提供服务的我国第三方物流服务商过于弱小,无法形成气候。

4. 客户满意度偏低。我国第三方物流服务的满意程度是相对偏低的。我国第三方物流从业人员素质普遍比较低下,管理水平和市场营销手段低下,无法为客户提供高水平的第三方物流服务。同时由于第三方物流企业素质良莠不齐。一些不法的第三方物流企业相互勾结坑害客户利益。许多地方出现过,客户将货物交给第三方物流企业后,货物和物流企业一起消失的情况。使客户对于与第三方

物流企业接触时总是抱有怀疑或者不信任的态度。为市场营销设置了一定的障碍。

第三章 物流网络规划介绍

3.1 物流网络概述

3.1.1 物流网络的内涵

物流网络就是把物流系统抽象成为由节点与链接连成的网络。节点代表那些库存中心或是中转站，如货物运输至零售店或最终消费者之前短暂停留的仓库。任意一对节点之间可能有多条链接，以代表不同的运输方式和不同的路线。

和物流网络相配合的还有信息网络，其中包含关于销售收入、产品成本、库存水平、仓库利用率、预测、运输费用率以及其他方面的信息。信息网络中的链由两个点之间的信息传输构成。信息网络中的节点则是不同的数据采集点和处理点，如订单处理、备货和更新库存记录等。

3.1.2 物流网络的构成要素

物流网络的结构是产品从原材料起点到市场需求终点的整个流通渠道的结构。物流系统的网络由两个基本要素组成：点、线^[2]：

1. 点

在物流系统中供流动的商品储存、停留，以进行相关后续作业的场所称为点，加工厂、商店、仓库、车站、码头等，也称结点，点是物流基础设施比较集中的地方。以点所具备的功能可以按特点分为下面三类：

(1)单一功能点。这类点的主要特点是：只具有某一种功能，或者以某种功能为主，比如专门进行储存、运输、装卸、包装、加工等单一作业，或者以其中一项为主、以其他功能为辅；需要的基础设施比较单一和简单，但规模不一定小；在物流过程中处于起点或者终点。工厂的原材料仓库、不具备商品发运条件的储备型仓库，仅承担货物中转、拼箱、组配的铁路站台、仅供停泊船只的码头等就是这样的点。这类点的业务比较单一，比较适合进行专业化经营。但是从物流系统的角度来看，必须将许多单一功能集成起来才能完成所有的物流业务，因此，如何将各个行业单一功能的不向的点集成起来，由谁来集成以及如何集成，这些都是非常重要的问题。

(2)复合功能点。这类点的特点是：具有两种以上主要物流功能，具备配套的基础设施；一般处于物流过程的中间。这类点多以周转型仓库、港口、车站、集

装箱堆场等形式存在；规模可能较小，比如商店后面的一个小周转仓，在那里要储存商品、处理退货、粘贴商品条形码、重新包装商品、从那里向购买大宗商品的顾客发货等等；规模也可能较大，比如一年处理 80 万个大型集装箱的堆场，除了储存集装箱以外，还有集装箱掏箱、商品检验、装箱，同时，一般的集装箱堆场都与码头或者港口在一起，在那里有大规模的集装箱吊车、大型集装箱专用运输车辆等。再如厂家在销售渠道的末端设立的仓库或者中转仓库、一个城市中设立的物流基地等。在一个点上具有储存、运输、装卸、搬运、包装、流通加工、信息处理等功能中的大部分或者全部，它们都是这种复合功能的点。

(3) 枢纽点。这类点的特点是：物流功能齐全；具备庞大配套的基础设施以及附属设施；庞大的吞吐能力；对整个物流网络起着决定性和战略性的控制作用，一旦该点形成以后很难改变；一般处于物流过程的中间。比如辐射亚太地区市场的大型物流中心、辐射全国市场的仓库、一个城市的物流基地、全国或区域铁路枢纽、全国或区域公路枢纽、全国或区域航空枢纽港等就是这样的枢纽点。这类点的设施。般具有公共设施性质，因而必定采用第三方的方式进行专业化经营。它的主要优势是辐射范围大，通过这个点连接的物流网络非常庞大，但是这类点面临着非常复杂的协调和管理问题，信息的沟通、设施设备的运转效率也是这类点值得注意的主要问题。在一个物流资源分布高度分散、封闭，物流状况非常落后的国家，建设连接多种载体的枢纽点对于形成全国统一、外放和先进的物流网络具有战略意义。

2. 线

连接物流网络中的结点的路线称为线，或者称为连线。物流网络中的线是通过一定的资源投入而形成的。物流网络中的线具有如下特点：

(1) 方向性。一般在同一条路线上有两个方向的物流同时存在。

(2) 有限性。点是靠线连接起来的，一条线总有起点和终点。

(3) 多样性。线是一种抽象的表述，公路、铁路、水路、航空路线都是线的具体存在形式。

(4) 连通性。不同类型的线必须通过载体的转换才能连通，并且任何不同的线之间都是可以连通的，线间转换一般在点上进行。

(5) 选择性。两点间具有多种线路可以选择，既可以在不同的载体之间进行选择又可在同一载体的不同具体路径之间进行选择。一般要求两点间的物流流程最短，因此，需要进行路线和载体的规划。

(6) 层次性。物流网络的线包括干线和支线。不同类型的线，比如铁路和公路，都有自己的干线和支线，各自的干线和支线又分为不同的等级，如铁路一级干线、公路二级干线等。根据载体类型可以将物流线划分成以下五类：铁路线、公路线、

水路线、航空线、管道线。

物流网络不是靠孤立的点或者线组成的，点和线之间通过有机的联系形成了物流网络，点和线其实都是孤立的、静止的，但是采用系统的方法，特点和线有机地结合起来以后形成的物流网络则是充满联系的、动态的，点和线之间的联系也是物流网络的要素之一，这种联系才是物流网络有血有肉的灵魂。

3.1.3 物流网络的结构

物流网络结构是物流网络运行的基本框架。在物流网络体系中，物流中心和仓库往往影响着核心节点的构建和布局的合理与否，决定着物流网络的效率。一般来说物流网络有以下几种结构^[1]：

1. 单核心节点结构。单核心节点结构指该物流网络体系中只有一个核心节点存在，该节点同时承担物流中心和仓库的职能。在物流网络覆盖的区域，绝大多数的物流活动都通过核心节点实现。在这种结构模式中，物流中心同时承担着信息中心的角色，所有物流信息都汇集到这里进行处理。这种模式存在于一些小规模企业。

2. 双核心节点单向结构。指物流网络体系中存在两个核心节点，即物流中心和仓库，物流中心更多的侧重于为供应链上游厂商提供服务，而仓库则更多的侧重于为供应链下游客户提供服务。物流中心和仓库不但是物流活动的中心，也是信息流的核心。这种物流网络结构模式广泛存在于一些范围比较大的经济区域内。

3. 双核心节点交互式。该结构于双核心节点单向物流网络结构非常接近，单又有明显区别。在双核心节点交互式结构下，无论物流还是信息流都是双向的，也就是说，该物流网络结构中每一个节点都同时承担双重功能，即物流中心和仓库。随着环境的变化，两个核心节点的功能会发生调换。

4. 多核心节点机构。在现实的物流网络中，可能不仅存在一个或两个物流核心节点，而是多个核心节点同时存在。多核心节点物流网络结构的原理和以上几种模式没有本质上的区别，只是以上几种物流网络结构的放大或叠加。在范围比较大的经济区域或大型企业内，一般采用多核心节点物流网络模式。

3.2 物流网络的规划设计

3.2.1 物流网络规划设计的内容及所考虑的问题

物流网络规划设计就是确定产品从供货点到需求点流动的结构，包括决定使

用什么样的节点、节点的数量、节点的位置、如何给各节点分派产品和在节点之间使用什么样的运输服务,以及如何进行服务。对于第三方物流企业(3PLs)而言,其物流网络结构的设计核心内容中,最重要的是从客户企业需要的物流服务水平出发,以尽可能小的物流费用来实现物流网络结构的合理化。即要求考虑在企业的物流网络系统中,需设置几个规模多大的结点?这些结点应选在哪里才能使物流系统最合理?

3PLs 的物流网络规划的主要问题是确定产品从供货点到需求点的结构,包括需要使用什么样的设施,设施的数量,设施的位置,如何分配设施,设施之间使用的运输方式,以及如何进行服务。物流网络结构的设计需要确定承担物流工作所需的各类设施的数量和地点,它还必须确定每一种设施怎样进行存货作业和储备多少存货。物流设施的网路形成了一种据以进行物流作业的结构,于是,这种网路中便融合进了信息和运输能力,还包括了与订货处理、维持存货以及材料搬运等有关的具体工作。

仓储的设计是企业物流网络结构规划首先要考虑的问题,也是关键的一步。规划和设计仓储(仓库)要根据系统的概念,运用系统分析的方法求得整体优化,与此同时,以流动的观点作为设施规划的出发点并贯穿于规划始终。具体而言,仓库的设置包括选址、规模设计、布局等几个方面。企业物流网络包括供应商、仓库、仓库、零售商、以及在各机构之间流动的原材料、在制品库存和产成品。在企业物流网络系统中,联结点(供货点、物流仓库、需求点)和运输路线构成的整个的物流网络结构。

物流网络的设计也要考虑包括设计的空间和时间问题。空间或地理的设计主要指决定各种设施(如工厂、仓库、零售点)的地理位置。在确定各种设施的数量和位置时则要在以地理位置表示的客户服务要求和成本(生产/采购成本,库存持有成本,设施成本和运输成本)之间找到平衡。最初的物流网络设计者在讨论供给与需求的关系时,往往忽视物流设施的地点位置和整个网络设计的重要性,他们一般都假定物流设施的地点位置和运输成本的差异是不存在的或者在竞争对手之间是相等的。然而,随着现代物流的发展,被直接用于进行物流作业的设施的数量、规模,以及地理关系等都在一定程度上影响着向顾客提供服务的能力和成本。市场之间在地理上存在大量差异的事实是很容易说明的,因此一个网络的设计必须考虑地理上的变化。在人口方面,美国最大的 50 家大都市市场占有产品销售量的 55%以上,因此,在全国范围内进行营销的企业,必须将物流能力确立在为这些最基本的市场服务上;类似的地理上的差异存在于材料和零部件来源的地点。当一家厂商涉及全球物流时,有关网络设计的问题就会变得更为复杂^[44]。物流网络设计的时间问题主要指为满足客户服务目标而保持的产品可得率的

问题,即,通过缩短生产/采购订单的反应时间或在接近客户的地方保有库存以保持一定水平的产品可得率。制造企业在物流网络设计的时间问题上考虑的首要因素是客户获得产品的时间,而以时间为基础的物流网络决策也会影响物流设施的选址和数量^[6]。

3.2.2 物流网络规划设计的步骤

物流网络规划是一项十分复杂的系统工程,必须进行周密的准备。下面对物流网络规划的步骤进行分析:

1. 物流网络相关数据的收集。物流网络相关数据收集的主要目的是更好地理解当前的系统并且界定未来系统的需求。为了了解当前的系统,必须从物流中心和运输系统收集信息。需要从每个设施点取得下列信息:空间利用、布局和设备、仓库管理程序、接收量和运送量、建筑物建造特征、进出交通情况、年度操作费用、库存等。有了这些数据就能了解通过合并仓库所能节约的费用额。同时,收集低周转或季节性库存品数量还可以帮助决策是否将其集中或以公共库存来存储,并据此制定出未来的库存目标。对运输系统应当收集下列信息:运费等级和折扣、运输操作程序、送货需求、单次补货重量和体积等。在实地信息收集结束后应举行一个会议,概括从每一个点收集到的数据并做出评估。该评估将使项目组对作业有更深入的了解,并有可能使他们发现一些对比较相关方案有用的而并未为管理者所知道的信息。另外,要具体了解未来的物流网络需求,对营销战略和销售预测的了解同样十分重要,主要包括以下方面的内容:是否有新产品出现、供应商位置、目标市场的地理位置、现实的订单特征(批量和批次等)、市场发展的方向(包括包装上的变化和经销方式等)、销售量年增长情况、是否有重要客户的转移等。

2. 明确客户企业的送货需求。明确送货要求首先必须确定交付要求,如果交付天数不能确定,就必须做一个客户服务差距分析。差距分析包括一系列对内部职员和客户的直接询问。目的是为了查明客户对服务预期与实际需求之间的差异。差距分析是一种逼近与降低费用有关的客户服务价值的尝试,确切了解较快的速度和较低的价格对客户的重要程度。

3. 建立物流信息数据库。建立数据库定单的数据库模型中的信息应当包括运送目的地、运送重量、所定购的产品和订购的数量,在数据确立后需进行数据的核实。为了保证信息传输的正确性,可将发票上的一些记录与实际的信息相比较,以保证文件中的所有数据已被正确传输。然后可使用不同的分析方法,诸如根据地区销售量和各地区产量不同所做的 ABC 分析等。这些报告应当被用来帮助提出备选方案。

4. 设计多个网络方案, 以备选择。数据收集之后, 应提出网络节点地址和各操作方法的备选方案。各种用于取舍备选方案的数据来自于实地调查、未来要求、数据库分析和客户服务调查。用于选择的方法随网络节点地址的不同而不同。影响选址的主要因素很多, 在考虑这些因素的前提下, 采用经验法、公路里程法、重力中心分析法等初步确定网络方案。

5. 计算各个方案的年度操作费用。计算年运行成本建模软件不一定能保证正确的答案。建模只能作为决策过程中的一个辅助工具, 需要对结果进行认真研究。在规划的过程中会有很多备选的设施在成本方面很接近, 因此, 必须使用一些其他标准进行判断。首先, 应对当前网络进行确认, 运行备选网络, 并对运行结果进行总结和区分优劣; 其次, 应总结总年度所有费用和各项服务因素, 并进行敏感度分析; 最后, 确定与每个备选方案均相关的所有投资费用。

6. 方案比较和选择。备选网络计划方案的经济分析是根据各方案实施费用比较进行的。如添置新的仓库设备、建造费用、有关建筑物整改的费用。此外, 必须得到下列信息: 人员安置、生产停顿时间、存货重新安置、电脑系统重置、税收、设备重置和现有土地和建筑物的出售情况等。以上评估的结果应得到一个与基准投资收益率相比的投资收益, 然后选择敏感性分析较为稳定的方案作为备选方案。之后, 将有关客户服务因素及实施难易度等进行定性分析, 综合考虑备选方案。得出结论后, 需要制订各主要步骤的时间进度表, 包括从现在的系统向未来系统转换物流网络等的执行时间表。

7. 方案实施细节的制定。方案实施细节主要包括该项规划的目的、建议、程序、当前网络、备选方案、模型计算结果、备选方案评估的结论、支撑数据等。物流网络规划的最后步骤是将结果提交最高管理层。其结果应使管理层理解该战略对于整个业务的影响。不仅应该反映其运输和仓储成本的财务情况, 而且还应该反映整个销售和客户服务的情况。

3.2.3 物流网络规划的必要性

在第三方物流企业(3PLs)的实际运作过程中, 以物流为联系的运作关系形成一个网络关系综合体, 即物流网络, 并构成企业物流运作的基础。所有的网络均由点和线构成, 作为网络的一种形式, 物流网络也不例外。物流网络主要的构成要素为物流中心、终端客户和连接这些节点的通道。因此, 物流网络规划的主要内容包括物流中心等节点的位置设定以及各节点间的运输线路选择两个方面的内容。

第三方物流企业的物流网络规划主要任务就是为客户企业确定产品从原材

料起点到市场需求终点的整个流通渠道的结构。物流网络规划必须充分考虑空间和时间两方面的因素,空间方面是指为工厂、仓库、零售点等设施选址;时间问题是指保持产品的可得性以迎合顾客服务目标,涉及到库存政策与运输管理。同时也往往需要考虑逆向物流网络问题。

物流网络规划在第三方物流公司的运营中起着十分重要的作用。由于物流系统的目的就是实现产品的生产地点与消费地点的连接,以达到在恰当的时间、把恰当的货物以恰当的数量送达恰当的地点,同时在需要的时候,通过存货控制协调生产与需求。因此,新成立的第三方物流企业需要建立物流网络系统,现存的第三方物流企业由于业务增长与变化,也需要不断地对原来的物流网络系统进行重新规划和设计。重新设计物流网络结构往往能使物流总成本每年节省 5%-15%,同时也有助于改善客户服务,提高竞争力。

3.3 物流网络规划的类型

3.3.1 战略层规划

简单而言,战略规划的目的是识别和评价不同的资源收购选择(resource acquisition option)来维持和加强公司长期的竞争地位。长期战略规划可能延伸到未来三年到十年以上。因为重要资源收购和处置决策常常是不可逆的,所以管理层在实施它们之前必须谨慎研究它们的影响。最优化模型提供了系统的和综合的方法来进行研究,尤其是在评价资源收购和处置选择之间的交互作用方面。近些年来,基于最优化模型的战略供应链研究数量已经大大增加了。高层经理更加坚持用数据来分析和评价它们公司和行业的动态变化,更加清楚模型在分析重大决策中所能扮演的角色。

物流管理关注原材料和产品的流动过程,需要确保公司客户在正确的时间,正确的位置收到正确数量的产品。构建最优化模型是分析第三方物流公司战略物流规划的必然结果。物流网络模型可以比较好地表达客户企业的服务要求,比如不同市场细分的最大发货时间、直接到商店的发货和单一采购等。最大发货时间可以通过限制连接仓库到它服务的市场的运输路线允许的最大距离来刻画。直接到商店的发货对应于客户公司(产品供应商)和它商店之间的连接。单一采购用 0-1 决策变量来描述,这些变量决定每一客户或市场是否由一特定仓库来服务。类似地,渠道设计选择也可以用物流网络模型来评价。它的明确形式依赖于选择的本质。比如考虑第三方物流供应商提出的一个意向,即运作几个仓库,提供从

这些仓库到附近市场的运输。本文假设这是一个一年期的选择，第三方仓库和适当的运输连接将被包括进模型的决策数据库。意向的选择或拒绝采用 0-1 决策变量在物流网络模型中表达。0-1 变量控制了第三方仓库的吞吐量，即如果优化模型取变量 1 的话，每一仓库的吞吐量将允许最高取一个合同的或实际的最大值，而如果该变量为 0 的话，吞吐量将被迫为 0。模型也包括意向的成本细节，如仓储和运输成本，两者都有可能带有数量折扣的固定和可变成本。

一般来说，物流网络功能管理包含三类：仓库运作，运输管理和产品管理。所以这三类都应包含在综合建模中。模型还应包括基于 0-1 变量的附加的逻辑约束，反映了关于形成公司物流战略的灵活性和风险的管理判断。一般而言，第三方物流的战略物流网络模型可能涉及的各种关于设施及其功能运作的 0-1 变量和相关决策，包括^[3]：

1. 哪一处现有设施应该开动或扩展？哪一处现有设施应该关闭？
2. 哪一处新设施应该以多大吞吐量开动？
3. 每一设施的任务是什么（例如，它将处理或存储哪一种产品）？
4. 每一设施为了支持其他任务需要什么设备（例如，物流分类设备、运输设备、冷冻储存设备）？
5. 每一客户企业由哪一些设施来服务？

此外，应当注意的是，第三方物流的战略网络规划是以对未来的需求预测为导向的。在当今快速变化的第三方物流市场上，必须由一个能全面考虑未来需求的物流网络战略规划。

3.3.2 战术层规划

战术层规划关心几个月到一年的规划期内的资源调整和分配（resource adjustment and allocation）。在这样一段时间内，公司不能进行重大资源收购和处置，但它并且应该将资源调整以适应其中期的需要。

战术层规划的主要目的是为战略目标的成果实现而合理安排资源。为了实现企业的长期战略目标，选取行动的时机及其具体内容非常关键，战术层规划的基本目的就是为了这些步骤作出的预先计划和阶段性目标。

第三方物流的战术层规划模型可以从战略层规划模型推出，根据模型和高级经理所确定的最优或者偏好设置，将资源收购和处置选择的手段确定下来。一个重要的不同是战术层模型应该是多期的，并且更加具体化，以对付季节和其他时间依赖的因素，而不是战略层模型中频繁使用的简化的快照模型。战术层模型应当描述的动态效应包括^[3]：

1. 库存规划，以包括季节需求和模式或达到需求意外变动时的平滑调整。

2. 随着市场条件的改变而调整每周运作班次和其他劳动资源。

3. 计划安排年度设备维护，从而减少供应链上的可避免成本。

从组织上来说，战术层规划模型的使用的战略层模型的使用有较大差异。战术层模型意欲提供反复的和常规的物流管理规划，对公司业务模式有较大影响。而用模型进行物流网络战略研究则比较容易执行，因为它们由一支特别的队伍进行，其活动不影响公司业务的流程。到目前为止，几乎没有哪家公司已经实现了最优化模型分析驱动的战术层规划过程，或者为此开发的任何工具。但是随着计算机技术的不断发展和普及，战术层规划建模系统的开发和广泛使用只是一个时间问题。

第四章 第三方物流网络优化模型研究

4.1 正向物流网络优化问题

4.1.1 正向物流理论

一般来说物流流向有两种渠道：一种是通过生产——流通——消费的途径，将产品从厂商运输到消费者所在地，满足顾客需求，如图 4-1 所示，这是物流流向的主要渠道，称为正向物流（Forward logistics）。另一种则通过回收、分拣、再加工等程序处理废旧产品，与正向物流流向刚好相反，称为逆向物流（Reverse logistics）。

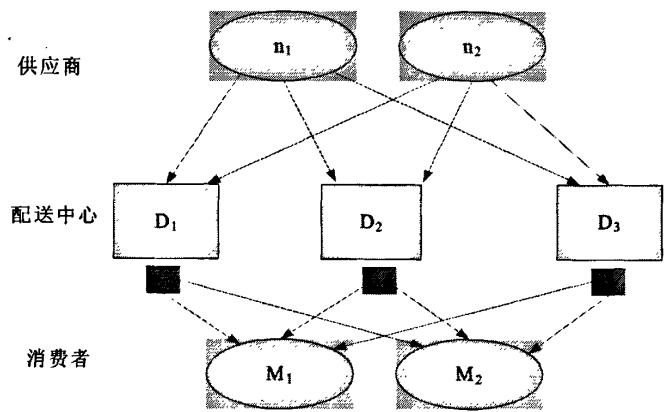


图 4-1 正向物流网络示意图

正向物流网络领域自从物流科学诞生以来就一直被不断研究和应用。最早的物流科学可以说就是正向物流研究。正向物流网络规划问题主要包括：1）应当起用哪些厂房设施？ 2）每一产品和相应顾客由哪些设施负责对它们服务？ 3）设施选址问题。4）运输路径问题。5）仓储问题。正向物流理论研究和实际应用时间都比较长，相对于逆向物流理论已经比较成熟。虽然现在逆向物流是物流理论的热点，但在实践中正向物流的应用依然是主流。

设施选址问题是正向物流网络规划的核心问题。一般来说物流网络规划包括设施选址和运输规划。此类问题有两种解决方法。第一种方法是先进行设施选址，

再进行运输规划。第二种方法是同时考虑两个问题，也就是在进行设施选址的同时考虑运输问题。从应用角度来说，第一种方法相对简单，因为它对应的是两个独立的规划问题。但是由于这两个决策问题是相互联系、相互影响的（运输费用是设施地址的函数），同时考虑这两个问题能显著地降低物流总费用。因此在下文中将同时考虑这两个问题。

基本的设施选址模型是静态模型。这类模型假设厂商产量和顾客需求都是固定不变的，也就是说只考虑单期问题。一般来说此类模型主要是单目标模型，最优化目标是成本最低。此外也有不少多目标模型，在成本目标之外还考虑了顾客满意度、供应链柔性等问题。虽然静态设施选址模型已经取得了丰硕的成果，但是在当今社会快速变化的市场条件下，动态模型更加具有实际意义。动态设施选址模型中的决策问题包括了设施的扩张、建设与关闭的时间安排，追求在满足客户需求的同时使得物流费用最低。

对于设施选址问题的研究，已经取得了很多的成果。Ballou(1968)最早阐述了动态选址问题，并提出一种启发算法^[46]。Scott(1971)对动态网络规划作了研究，并提出了一个解决动态设施规划问题的数学框架^[45]。Shulman(1991)讨论了混合整数线性规划(MIP)模型在多产品、多周期、动态设施选址中的应用。在其模型中，在计划时间内，工厂的能力(capacity)取决于设施的布置^[47]。Hinojosa(2000)等人的文章则针对动态选址的混合整数规划模型提出一种拉格朗日松弛方法(Lagrangian relaxation)启发式过程相结合的算法^[48]。这些成果在实践中得到了广泛的应用。

4.1.2 设施选址模型建立

设施选址的目标是物流成本最小。所以对第三方物流而言，建立模型的基本思路是：在仓库的候选地址已经确定的情况下，主要考虑产品从厂房到仓库，仓库到消费者所在地的总运输费用，仓库的每期的固定运营费用，以及新仓库的租赁/建设的费用。至于由于客户企业生产能力不足导致的产品缺货损失不在第三方物流的考虑范围之内。在分析影响这些费用的主要因素的基础上得出各项费用的表达式，并使各项费用总和达到最小或接近最小。并且对于一个第三方物流企业(3PLs)而言，随着时间的推移，可能会有一部分客户企业由于经营或合同到期等原因停止使用 3PLs 的服务；同时又有另外一些新的企业成为该 3PLs 的客户。而且一些客户企业可能由于快速变化的市场条件的影响而增加或减少其物流业务的外包量。因此，3PLs 应该对未来的业务量走势作出合理预测，并据此作出其物流设施（仓库）的开放与关闭计划，以达到资源的最优化配置。为简单起见，假设所有产品生产的工厂能力消耗相同。

设施选址模型参数:

$P = \{1, 2, \dots, NP\}$ 。顾客企业产品类型 p 的指标集合。

$I = \{1, 2, \dots, NI\}$ 。顾客企业厂房地址 i 的指标集合。

$J = \{1, 2, \dots, NJ\}$ 。现存仓库地址及新仓库候选地址 j 的指标集合。

$K = \{1, 2, \dots, NK\}$ 。消费者所在地 k 的指标集合。

$T = \{1, 2, \dots, NT\}$ 。时间阶段 t 的指标集合。

M_{it} = 工厂 i 的最大生产能力。

A_{jt} = 仓库 j 的最大存储空间。

b_p = 产品 p 的几何尺寸。

D_{pkt} = t 时期消费者所在地 k 对产品 p 的需求预测值。

ow_{jt} = t 时期仓库 j 的固定运营费用。

sw_{jt} = t 时期在候选地址 j 新建仓库的建设费用。

c_{pijt}^f = t 时期将产品 p 从厂房 i 运输至仓库 j 的单位运输费用。

c_{pjkt}^f = t 时期将产品 p 从仓库 j 运输至消费者所在地 k 的单位运输费用。

$Z_{j0} = Z_{jt}$ 的初始值。

设施选址模型变量:

X_{pijt}^f = t 时期将产品 p 从厂房 i 运输至仓库 j 的数量 (正向物流)。

X_{pjkt}^f = t 时期将产品 p 从仓库 j 运输至消费者所在地 k 的数量 (正向物流)。

$Z_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } t \text{ 时期仓库 } j \text{ 开放。} \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$

第三方物流的设施选址模型 (Facility Location/Allocation Model, 简记为: FLAM):

$$\min : TC = \sum_{t \in T} \left[+ \sum_p \sum_i \sum_j c_{pijt}^f X_{pijt}^f + \sum_p \sum_j \sum_k c_{pjkt}^f X_{pjkt}^f \right. \\ \left. + \sum_j ow_{jt} Z_{jt} + \sum_{j \in J \text{ and } t > 1} sw_{jt} Z_{jt} (1 - Z_{jt-1}) \right] \quad (4-1)$$

Subject to:

$$\sum_j X_{pijt}^f \leq M_{it}, \forall i \in I, p \in P, t \in T. \quad (4-2)$$

$$\sum_j X_{pjkt}^f \geq D_{pkt}, \forall p \in P, k \in K, t \in T. \quad (4-3)$$

$$\sum_p \sum_k b_p X_{pjkt}^f \leq A_{jt} Z_{jt}, \forall j \in J, t \in T. \quad (4-4)$$

$$\sum_i X_{pijt}^f = \sum_k X_{pjkt}^f, \forall p \in P, j \in J, t \in T. \quad (4-5)$$

$$Z_{j1} = Z_{j0}, \forall j \in J. \quad (4-6)$$

$$Z_{jt} \in \{0, 1\}, \forall j \in J, t \in T. \quad (4-7)$$

$$X_{pijt}^f, X_{pjkt}^f \geq 0, \forall p \in P, i \in I, j \in J, k \in K, t \in T. \quad (4-8)$$

其中约束条件(4-2)表示产品供应量不能超过顾客企业的工厂生产能力限制；约束条件(4-3)代表提供的产品必须满足各地消费者需求；约束条件(4-4)仓库的处理能力限制条件；约束条件(4-5)代表进入和流出仓库 j 的产品物流量相等；约束条件(4-6)表示第三方物流原来就已经拥有了一些仓库；约束条件(4-7)和(4-8)代表决策变量的取值范围。

4.2 逆向物流网络优化问题

4.2.1 逆向物流理论

随着科技进步和人们生活水平的提高，消费者对产品多样化和个性化的要求越来越高，由此导致产品生命周期日渐缩短，更新换代速度加快，被人们淘汰和废弃的产品也越来越多。与此同时，人们的环保意识不断增强，环保法规日益完善，许多国家开始要求生产企业对产品生命周期全过程负责，尤其是废旧产品的回收处理。在此环境下，逆向物流（Reverse logistics）已经称为当前物流理论研究的热点。逆向物流是以资源回收和合理处理废旧物品为宗旨，基于成本效益原则，有效地计划、实施和控制从顾客消费端到原始产出点之间的整个动态链上原材料、库存、产成品和相关信息的流通。逆向物流可以使用全部或部分正向物流的渠道，或使用和正向物流不同的渠道。如图 4-2 所示，逆向物流和正向物流方向相反，在某种程度上可以认为逆向物流是正向物流的逆过程。

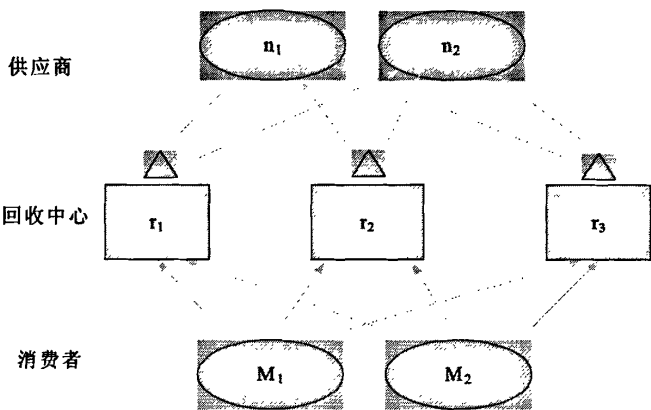


图 4-2 逆向物流网络示意图

逆向物流不等同于回收物流，它比回收物流要广，它涵盖了回收物流和废弃物流。其中回收物流指不合格物品的返修、退货以及周转使用的包装容器从需方返回到供应方所形成的物品实体流动。而废弃物流则是将经济活动中失去原有使用价值的物品，根据实际需要进行收集、分类、加工、包装、搬运、储存、并分送到专门处理场所时所形成的物品实体流动。

逆向物流的主要作用可以直接描述为“变废为宝”。这个“废”，并不只指丧失使用价值的废品。在逆向物流中，对于商家而言的“废”，可能是错过销售季节的一等品、也可能是由于供大于求而无法售出的高质量产品。曾经，这部分产品通常是采取销毁、掩埋、倾倒的方式解决，极大的浪费资源。然而今天，逆向物流为我们带来了重新审视、重新处理这部分回返物品的方法。此外，逆向物流有助于库存货物的更新。销售情况欠佳的产品通过逆向物流渠道回返后，为零售商购进新产品提供了库存空间和资金。许多产品经销商投资到库存的能力很有限，而滞销货占用流动资金的现象又很严重，故针对市场需要，快速反应，实现零库存，是逆向物流系统不断发展和完善所要达到的。另外，利用逆向物流的环保作用和公益性，精明的商家又为自己获得了良好的声誉，这种无形资产无疑起到促销产品、增强竞争优势的功效，并提高企业品牌的知名度。以耐克公司为例，耐克公司鼓励消费者将穿过的运动鞋回返到任何一个耐克专销店，这些运动鞋收集起来统一送到耐克公司属下专门的操作部门，鞋子被切割、撕碎后，用于修建篮球场或铺设跑道。虽然这样会导致额外的费用，但是却进一步提高了耐克的知名度。良好的逆向物流是一种与环境共生的物流系统，改变原来经济发展与回返物流之间的单向作用关系，节约资源的同时注意环保，在整个经济社会建立起包括生产商、批发商、零售商和消费者在内的逆向物流系统，避免引发社会资源枯

竭和自然环境的恶化。

最近几年,关于逆向物流网络规划设计的理论研究也取得了一定进展。Jayaraman(1999)提出了一个混合整数规划模型来确定电子产品的回收再制造工厂的位置和数量^[49]。Barros等人(1998)的报告阐述了一个在瑞士从建筑垃圾中回收沙土的物流网络设计案例^[50]。Louwers等人(1999)考虑了废旧地毯(carpet waste)的回收物流网络设计^[51]。Lieckens和Vandaele(2007)则采用排队论的方法提出了一个在随机提前时间(lead time)条件下的逆向物流网络设计模型^[52]。

第三方物流供应商(3PLs)已经在逆向物流领域扮演了重要角色。因为一个物流回收系统需要专门的基础设施,比如回收中心、运输工具和电脑软硬件等,需要比较大的固定资产投资。此外,随着市场竞争的加剧,顾客的眼光越来越挑剔,退货的要求也逐步增加,厂商也逐步放松了退货的条件。而伴随着退货产品的增长,很多公司感到完全自己处理退货产品已经越来越吃力,因此第三方逆向物流企业孕育而生。比如英国邮政公司推出了逆向物流服务,该项服务可通过更加有效的退货管理,帮助零售商节省上百万英镑的开支。总的来说,逆向物流外包的优势在于:1)集中精力于企业核心业务,2)减少固定资产投资,3)第三方物流企业可以提供专业化的服务,4)分担风险。

4.2.2 逆向物流网络优化模型

通过对不同模型特质的总结,在这里本文将提出一个比较普遍的,适合 3PLs 的逆向物流网络优化模型。模型相关假设如下:

1. 考虑多种产品,多时间阶段,能力有限的动态网络规划问题。
2. 仅在预先选择好的备选地点范围内考虑新的回收中心位置。
3. 第三方物流企业的回收中心运营费用是年固定费用。产品运费与运输量和路程成正比。新建回收中心将付出固定费用。
4. 回收产品在回收中心经过检测、分类处理后,一部分被丢弃,其余部分送回客户企业的工厂,再循环利用。
5. 在所考虑时间段内,产品回收量、产品运输费用率以及回收中心建设费用和年运营费用的预测值是已知数据。
6. 考虑到第三方物流的实际,物流总费用中不包含未回收废旧产品的惩罚(应该是客户企业考虑的范畴)。

逆向物流网络优化模型参数:

p, i, k, t 的含义与 4.1.2 中相同。

$L = \{1, 2, \dots, NL\}$ 。现存回收中心地址及新回收中心候选地址 l 的指标集合。

B_{lt} = 回收中心 l 的最大处理能力。

b_p = 产品 p 的几何尺寸。

R_{pkt} = t 时期从消费者所在地 k 回收的产品 p 数量。

e = 回收产品中有用部分的比例（1-废品率）。

or_{lt} = t 时期回收中心 l 的固定运营费用。

sr_{lt} = t 时期在候选地址 l 新建回收中心的建设费用。

c_{pkt}^r = t 时期将废旧产品 p 从消费者所在地 k 运输至回收中心 l 的单位运输费用。

c_{plit}^r = t 时期将废旧产品 p 从回收中心 l 运输至厂房 i 的单位运输费用。

W_{l0} = W_{lt} 的初始值。

逆向物流网络优化模型变量：

X_{pkt}^r = t 时期将废旧产品 p 从消费者所在地 k 运输至回收中心 l 的数量（逆向物流）。

X_{plit}^r = t 时期将废旧产品 p 从回收中心 l 运输至厂房 i 的数量（逆向物流）。

$W_{lt} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } t \text{ 时期回收中心 } l \text{ 开放。} \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$

逆向物流最优化模型(Reverse Logistics Network design Model, 简记为 RLNM):

$$\min : TC = \sum_{t \in T} \left[\sum_p \sum_k \sum_l c_{pkt}^r X_{pkt}^r + \sum_p \sum_l \sum_i c_{plit}^r X_{plit}^r + \sum_l or_{lt} W_{lt} + \sum_{l \in L \text{ and } t > 1} sr_{lt} W_{lt} (1 - W_{lt-1}) \right] \quad (4-9)$$

Subject to:

$$\sum_l X_{pkt}^r \geq R_{pkt}, \forall p \in P, k \in K, t \in T. \quad (4-10)$$

$$\sum_p \sum_k b_p X_{pkt}^r \leq B_{lt} W_{lt}, \forall l \in L, t \in T. \quad (4-11)$$

$$\sum_i X_{plit}^r = e \sum_k X_{pkt}^r, \forall p \in P, l \in L, t \in T. \quad (4-12)$$

$$W_{l1} = W_{l0}, \forall l \in L. \quad (4-13)$$

$$W_{lt} \in \{0, 1\}, \forall l \in L, t \in T. \quad (4-14)$$

$$X_{pkt}^r, X_{plit}^r \geq 0, \forall p \in P, i \in I, l \in L, k \in K, t \in T. \quad (4-15)$$

其中约束条件(4-10)保证所有回收的产品都能返回到客户企业的厂房；约束条件(4-11)代表回收中心 I 的处理能力约束；约束条件(4-12)表示进入和流出回收中心 I 的回收产品物流量相等（包含丢弃的部分废旧产品）；约束条件(4-13)表示第三方物流原来就已经拥有了一些回收中心；约束条件(4-14)和(4-15)表示决策变量取值范围。

4.3 3PLs 的整合物流网络优化模型

4.3.1 背景介绍

对于第三方物流供应商(3PLs)而言，提高市场竞争力的关键在于如何在保证客户厂商对其服务的满意度的同时降低物流总成本，因此物流网络的优化设计对于第三方物流供应商就不言而喻了。一般来说，第三方物流服务分为传统的正向物流(Forward logistics)服务和新兴的逆向物流(Rreverse logistics)服务，相应的也有正向物流网络规划和逆向物流网络规划。因此物流网络优化的方法有两种：第一种方法是将正向物流网络和逆向物流网络看作两个独立的网络，建立两个独立的优化模型对两个网络分别进行优化；第二种方法是将正向和逆向物流网络作为一个整体来研究，建立一个整合的优化模型对两个网络同时进行优化（整合物流网络优化模型）。Ko和Evans(2007)^[53]以及Fleischmann等人(2001)^[54]的研究表明，同时考虑正向和逆向物流的整合模型相对于独立模型能更好地降低物流总费用。也就是说，第二种方法具有更大的优势。

此外，在包含前向/逆向物流的整合网络结构中，可以考虑建立一种混合仓库-回收中心(hybrid distribution-return center)。所谓混合仓库-回收中心就是在同一地点建设的仓库和回收中心。比如UPS(United Parcel Service)的物流小组在美国肯塔基州的路易斯维尔市通过货物仓库来处理其回收物流活动。最近几年，一些学者对混合仓库-回收中心作了研究。Fleischmann等人(2001)建议建立混合仓库-回收中心，并指出其好处在于固定资产（库房、处理工具等）以及能源和材料的共享^[55]。Lee和Dong(2007)建立了一个基于混合仓库-回收中心的物流网络优化模型用于解决电脑租赁企业的产品回收问题^[53]。而Ko和Evans(2007)的文章则提出了一个假设所有回收产品皆可利用，在独立的仓库、回收中心与混合仓库-回收中心并存的情况下的第三方物流网络优化模型^[54]。本文下面的模型也会包含混合仓库-回收中心。

4.3.2 模型建立

假设第三方物流企业(3PLs)向客户企业提供多种产品的仓库和回收服务。在考虑混合仓库-回收中心的情况下，第三方物流的整合网络结构如图 4-3 所示。对于正向物流(forward flow)，客户企业（制造商）将其在不同所在地的厂房所生产的产品运输并存储到 3PLs 的仓库或仓库，然后再通过仓库将产品运输到消费者所在的地区。对于逆向物流（reverse flow），客户企业也可以通过第三方物流提供的产品回收中心来进行产品回收、检测和分类等活动。废旧产品可以通过回收中心返回到客户企业（制造商）的厂房。第三方物流企业还可以建立混合产品仓库-回收中心以节约物流总费用。

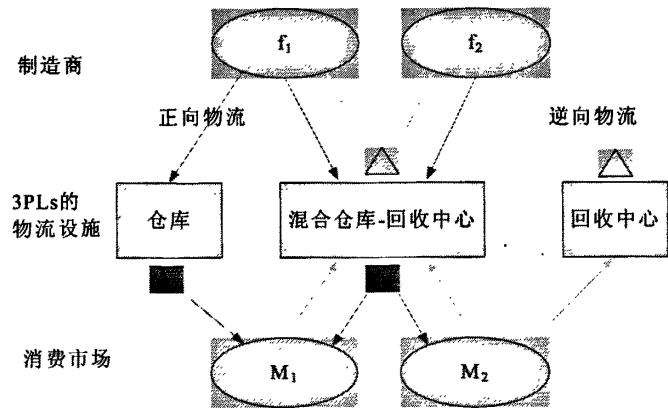


图 4-3 整合物流网络的结构示意图

由于引入了混合仓库-回收中心这一新元素，3PLs整合正向向/逆向物流网络优化模型就不再是正向物流网络设计模型（FLAM）与逆向物流网络设计模型（RLNM)的简单组合。而应该考虑建立一个混合仓库-回收中心相对于分别建立仓库和回收中心所节约的费用。令这个节约的费用为 si_i 。采用 4.1 和 4.2 节中的记号，并假设仓库和回收中心的候选地址相同（即 j 和 l 含义相当）。则可以建立一个整合正向向/逆向物流网络优化模型（ILM）如下：

$$\begin{aligned}
\min : TC = & \sum_{t \in T} \left[\sum_p \sum_k \sum_l c^r_{pkl} X^r_{pkl} + \sum_p \sum_l \sum_i c^r_{pli} X^r_{pli} \right. \\
& + \sum_p \sum_i \sum_j c^f_{pij} X^f_{pij} + \sum_p \sum_j \sum_k c^f_{pjk} X^f_{pjk} \\
& + \sum_j ow_{jt} Z_{jt} + \sum_l or_{lt} W_{lt} - \sum_h si_t Z_{ht} W_{ht} \\
& \left. + \sum_{j \in J \text{ and } t > 1} sw_{jt} Z_{jt} (1 - Z_{jt-1}) + \sum_{l \in L \text{ and } t > 1} sr_{lt} W_{lt} (1 - W_{lt-1}) \right]
\end{aligned} \tag{4-16}$$

Subject to:

$$\sum_j X^f_{pij} \leq M_{it}, \forall i \in I, p \in P, t \in T. \tag{4-17}$$

$$\sum_j X^f_{pjk} \geq D_{pkl}, \forall p \in P, k \in K, t \in T. \tag{4-18}$$

$$\sum_p \sum_k b_p X^f_{pjk} \leq A_{jt} Z_{jt}, \forall j \in J, t \in T. \tag{4-19}$$

$$\sum_i X^f_{pij} = \sum_k X^f_{pjk}, \forall p \in P, j \in J, t \in T. \tag{4-20}$$

$$\sum_l X^r_{pkl} \geq R_{pkl}, \forall p \in P, k \in K, t \in T. \tag{4-21}$$

$$\sum_p \sum_k b_p X^r_{pkl} \leq B_{lt} W_{lt}, \forall l \in L, t \in T. \tag{4-22}$$

$$\sum_l X^r_{pli} = e \sum_k X^r_{pkl}, \forall p \in P, l \in L, t \in T. \tag{4-23}$$

$$Z_{j1} = Z_{j0}, W_{l1} = W_{l0}, \forall j \in J, l \in L. \tag{4-24}$$

$$Z_{jt}, W_{lt} \in \{0, 1\}, \forall j \in J, l \in L, t \in T. \tag{4-25}$$

$$X^f_{pij}, X^f_{pjk}, X^r_{pkl}, X^r_{pli} \geq 0, \forall p, i, j, l, k, t. \tag{4-26}$$

以上整合正向/逆向物流网络优化模型 (ILM) 是比较通用的, 很多其他情况下的物流网络优化问题也可以通过等价变化转换成以上模型的形式。

第五章 物流网络模型优化算法研究

5.1 免疫算法介绍

20 世纪后半叶,作为实验科学的免疫学,得到了迅速的发展。免疫系统能够以其有限的资源,有效地应付数量庞大得几近无限的不同种类的病毒的侵害,这一特性引起了人们特别的关注。在学科交叉趋势越来越明显的今天,人们从医学的角度,分析和研究这一特性的同时,也希望以此作为启发,设计出新的具有突破性的应用方法,以解决某些应用领域中目前难以解决的难题。

在最优化问题领域,随着科学技术的不断发展,许多不同类型的最优化问题被提了出来。这些问题往往呈现不连续、非线性、不可导的特点,应用传统的优化方法求解有着诸多不足。由于以遗传算法为代表的进化算法能以较大的概率在有限的时间内求得大部分此类优化问题的最优解或满意解,所以得到了越来越广泛的应用。但是几十年的实际表明,遗传算法本身存在着难以解决的问题,其中最主要的就是算法的早熟问题(premature),并因此导致算法收敛到局部最优解。

对免疫系统的深入研究为解决问题提供了灵感源泉。一方面,抗体是特异的,一种抗体只能强烈地结合几种类似的抗原。当抗原侵入时,免疫系统首先进行抗原识别,然后快速地产生抗体来消灭抗原。与生物进化过程相比,这是一个快速的过程,一般只为十几分钟到几天的时间。另一方面,免疫系统大约含有 10^8 种不同的蛋白质(抗体是能够与抗原发生特异性结合的球蛋白),但外部潜在的抗原或待识别的模式有 10^{16} 种之多。要实现对数量级远远大于自身的抗原的识别,就需要有效的抗体多样性产生机制。将抗体多样性的产生机制用于算法中,就有可能有效地克服算法的早熟问题,从而更好地找到全局最优解。

5.1.1 遗传算法的基本原理及其缺陷

遗传算法是通过模拟生物优胜劣汰的自然选择过程来进行最优解搜索的一种进化算法。它从一组随机产生的初始解开始其搜索过程,种群中的每个个体都是问题的一个解,称为染色体(Chromosome)。染色体可以是一个二进制字符串,也可以是一个固定长度的实数(整数)序列。这些染色体经过交叉、变异和重组得到下一代染色体,称为后代。然后在新一代中根据适应值的大小选择部分后代,

淘汰部分后代。如此一代一代地进化,最后剩下的最适应环境的染色体,就是问题的最优解。其中主要涉及编码、适应度函数、选择、交叉和变异这几个主要概念,下面将作一一解释^[10]。

1. 编码。在遗传算法中把一个问题的可行解从其解空间转换到遗传算法所能处理的搜索空间的转换方法称为编码。选择适当的候选解表达方式即编码方式是遗传算法解决实际问题的基础。最早的遗传算法往往都是二进制编码,最近十多年来,实数编码和整数编码也得到了人们的重视。

2. 适应度函数。在研究自然界中生物的遗传和进化现象时,生物学家使用适应度这个术语来度量某个物种对于其生存环境的适应程度。与此相类似,遗传算法中也适用适应度这个概念来度量群体中各个个体在优化计算中可能达到或接近于或有助于找到最优解的优良程度。对于最优化问题来说,遗传算法的适应度函数往往就是经过调整的目标函数。

3. 选择算子。在生物的遗传和自然进化过程中,对生存环境适应程度较高的物种将有更多的机会遗传到下一代,而对生存环境适应程度较低的物种将遗传到下一代的机会就会相对较少。模仿这个过程,遗传算法使用选择算子来对群体中的个体进行优胜劣汰操作。

4. 交叉算子。在生物的自然进化过程中,两个同源染色体通过交配而重组,形成新的染色体,从而产生出新的个体或物种。模拟这个环节,在遗传算法中也使用交叉算子来产生新的个体。具体的交叉过程往往是两个相互配对的染色体按照某种方式相互交换其部分基因,从而形成两个新的个体。常用的交叉算子有:单点交叉、双点交叉、多点交叉、均匀交叉等。

5. 变异算子。在生物的自然进化过程中,其细胞分裂复制环节有可能会因为某些偶然因素的影响而产生一些差错,这样就会导致生物的某些基因发生某种变异,从而产生出新的个体,表现出新的性状。模拟这个环节,在遗传算法中也引入了变异算子来产生出新的个体。在遗传算法中使用变异算子主要有以下两个目的:改善遗传算法的局部搜索能力;维持群体的多样性,减少早熟现象。常用的变异算子有基本变异算子、均匀变异算子、边界变异算子等。

假设 $P(t)$ 和 $C(t)$ 分别表示第 t 代的双亲和后代,遗传算法的一般结构可描述如下:

```
begin
t=0;
  初始化  $P(t)$ ;
  计算  $P(t)$  适应度;
```

```
while 不满足中止条件 do
begin
    根据适应值对  $P(t)$  进行选择、交叉和变异操作, 得到  $C(t)$ ;
    计算  $C(t)$  适应值;
    从  $P(t)$  和  $C(t)$  中选择  $P(t+1)$ ;
     $t=t+1$ ;
end
end
```

由上可见, 遗传算法是一个利用随机化技术来对一个被编码的参数空间进行高效搜索的进化算法, 具有比较高的鲁棒性。与传统的搜索方法不同, 它采用了许多独特的方法和技术, 归纳起来主要有以下几个方面^[23]:

1. 遗传算法处理的对象不是函数本身, 而是被编码的参数个体 (染色体)。该编码操作, 使得遗传算法可直接对结构对象进行操作 (所谓结构对象泛指集合, 序列, 矩阵, 树, 图, 链表等复杂对象)。这一特点使得遗传算法具有广泛的应用领域。

2. 许多传统搜索算法都是单点搜索算法, 面对多峰分布的搜索空间, 常常会陷入某个单峰的局部最优解。而遗传算法是采用同时处理群体中多个个体的方式, 即同时对搜索空间中的多个解进行评估。更形象的说, 遗传算法是并行的“爬”多个峰。这一特点使得遗传算法具有较好的全局搜索性能和全局收敛性能。减少了陷入局部最优解的风险, 同时这使遗传算法也十分易于并行化处理。

3. 在标准遗传算法中, 基本上不用搜索空间的知识或其它辅助信息, 而仅用适应值函数来评估个体, 并在此基础上进行遗传操作。并且适应值函数不受连续性和可微性的约束, 而且定义域也可以任意设定。这一特点使得遗传算法应用范围极为广泛。

4. 遗传算法采用概率的变迁规则来指导它的搜索方向, 而不采用确定性规则, 因而能搜索离散的有噪声的多峰值复杂空间。遗传算法采用概率规则来引导其搜索过程朝着搜索空间的最优化解区域移动, 实际上有明确的搜索方向。

5. 遗传算法能在其解空间内进行充分的搜索, 但并不是盲目的穷举和瞎碰。通过适应值函数评估, 为选择提供了依据, 因此其搜索时耗和效率往往优于其它优化算法。

上述这些特点使得遗传算法与其它搜索方法相比有许多优越性: 使用简单, 鲁棒性强, 良好的全局搜索性, 易于并行化, 易于和别的技术相融合等, 从而得到了广泛使用。

但是随着科学研究的不断深入,人们对优化算法提出了更高的要求。针对遗传算法,也还有许多问题有待于进一步研究探讨。例如,对于单调函数或单峰函数,标准遗传算法在初始时很快向最优值逼近,但是在最优值附近收敛较慢;而对于多峰函数的优化问题,它往往会出现“早熟”,并导致较早地收敛于局部极值。究其原因,主要是在通常使用的标准遗传算法的选择策略中,多采用个体繁殖机会同其适应值成正比例的方法。这样就很容易导致超级个体问题和多个相似数字串问题^[9]。交叉算子的设计一般都采用随机交叉的方式,由两个个体的交叉产生两个新个体,其结果是父代与子代间很相似,这也会导致如上的问题。这些缺陷都限制了遗传算法更加广泛的应用。

因此,研究如何改进标准遗传算法,采用合适的算法加快寻优速度和改善寻优质量,无论在理论上还是在实践上都有重要意义。在这方面,前人曾在新增遗传算子、改善控制参数和改进算法结构等方面做了大量工作,为今后研究工作的深入开展打下了一定的基础。

另一方面,目前许多有关智能系统的研究都是围绕人脑智能的激励及其学习机制进行的。这些拟人化方法都忽略了与人脑行为方式并不明显相关的另一类智能系统。可以看到自然界中有一个很好的例子——生物体的免疫系统具备很高的智能级,但是它与人脑的行为方式的确没有明显的联系。近年来在生物学领域的研究发现免疫原理对改进和提高遗传算法的性能具有重要的启迪作用^[57]——由于实际的生物体免疫系统具备记忆开发(长期和短期)、任务规划、任务有序化分割、模式识别、非预见情况处理、自适应调节等许多优良功能^[58],免疫行为可以很好地保持多样性——因而能够很好地防止“早熟”现象,有效地提高寻优速度、改善寻优质量,因此,通过模拟生物体免疫系统的实际行为规律将能够设计出比较好的数学算法以解决实际问题。

5.1.2 免疫系统的基本理论

一般来说,免疫算法中涉及的免疫系统概念和术语包括^[21]:

1. 免疫(Immunity) 免疫是机体的一种生理反应,当抗原性异物进入机体后,机体能够识别“自己”和“非己”,并发生特异性的免疫应答,使机体免受病原侵害。排除抗原性的非己物质称为免疫应答,被诱导而处于对这种抗原性物质的非活化状态,称为免疫耐受。

2. 抗原(Antigen)。抗原是能刺激机体的免疫系统使之产生特异性应答,并能与相应的免疫应答产物在体内或体外发生特异性结合的一类物质。抗原由载体和半抗原(又称抗原决定簇或表位)组成,正是由于抗原决定簇与抗体细胞相结合才能完成免疫应答。抗原有两种特性:免疫原性,指抗原刺激特定的免疫细胞,

使之活化、增殖、分化，最终产生免疫效应物质(抗体和致敏淋巴细胞)的特性；免疫反应性，指抗原与相应的免疫效应物质在体内或体外相遇时，可发生特异性结合而产生免疫反应的特性。

3. 抗体(Antibody)。抗体是指免疫系统受抗原刺激后，B 淋巴细胞转化为浆细胞，并由浆细胞产生的能与该抗原发生特异性结合的免疫球蛋白。抗体呈“Y”型，接受器分子在 B 淋巴细胞的表面，主要利用相似形来识别和绑定抗原。抗体分子结构既易变又恒定，其易变可保证不同抗体与相应抗原相结合，其恒定又确保各种抗体在发挥免疫效应方式上的相似性。

4. T 细胞。即 T 淋巴细胞，它在胸腺中成熟，功能包括调节其他细胞的活动以及直接袭击宿主感染细胞。T 细胞可分为毒性 T 细胞和调节 T 细胞两类。而调节 T 细胞又可分为辅助性 T 细胞和抑制性 T 细胞。辅助性 T 细胞的主要作用是激活 B 细胞，与抗原结合时分泌作用于 B 细胞并帮助刺激 B 细胞的分子。毒性 T 细胞能够清除微生物入侵者、病毒或者癌细胞。

5. B 细胞。即 B 淋巴细胞，来源于骨髓淋巴样前体细胞，成熟的 B 细胞存在于淋巴结、血液、脾、扁桃体等组织和器官中。B 细胞是体内产生抗体的细胞，在清除病原体过程中受到刺激，分泌抗体结合抗原，但其发挥免疫作用要受 T 辅助细胞的帮助。

当微生物透过外部防御(如皮肤或上皮细胞)后，与免疫系统的细胞或产物接触并开始战斗。一般来说，免疫系统的运行机制可以简要归纳为以下四步^[5]：

1. 巨噬细胞分化抗原为颗粒物质，主要组织相容性物质与这种颗粒状物质结合形成粘液物质，抗原呈递细胞将这些物质呈递到巨噬细胞的表面。

2. 通过免疫识别的途径，被激活的 T 细胞分化和分泌淋巴因子或者化和物质信号，并驱动免疫系统的 B 细胞应答。

3. B 细胞对来自激活的 T 细胞的信号作出反映，但不像 T 细胞哪样，B 细胞能自由地识别部分抗原。即使没有 T 细胞的作用，B 细胞仍然对抗原作出反应，T 细胞仅仅对 B 细胞应答抗原起到调控作用。

4. 当 B 细胞被激活时，B 细胞就分化和繁殖，这种细胞能分泌出抗体蛋白质，这些抗体能游离出来。抗体通过缠住已经发现的抗原，并中和以至毁灭它们，其他多余的 T 细胞和 B 细胞变成记忆细胞。

免疫应答指抗体进入机体后，刺激免疫系统所发生的一系列复杂变化过程，这种应答包含先天性免疫应答和自适应免疫应答^[5]。先天免疫系统是防御感染的第一道防线，它在出生前就存在并在个体的整个生命过程中改变很小。它能迅速地作用并引起急性炎症反应。而适应性免疫系统作为第二道防线则需要较长时间才得以发展，即相对缓慢启动。它对抗原是高度特异的并能表现出记忆。

免疫识别通过淋巴细胞上的抗原识别受体与抗原结合实现,结合程度根据分子形状和静电荷决定,二者结合的强度称为亲合度(Affinity)。免疫系统可以识别各种抗原并将特定抗原排斥掉,这是与神经网络识别的不同之处。免疫识别的目的是确定抗原类型,产生选择性应答。如果入侵抗原属于第一次遇到的新抗原,则诱发初次应答反应;如果入侵的抗原曾经遇到过,则直接诱发再次应答反应。两种情况从响应速度、抗体形成机制方面都有所不同。

当抗原入侵生物体后,仅有少数的免疫细胞可以识别出入侵者的肽(缩氨酸),但识别结果会刺激细胞的增殖和分化,进而产生匹配的克隆体。这个过程称为克隆扩张,产生大量的专门针对该抗原的抗体生成细胞,进一步杀伤和中和掉抗原。

免疫响应的过程可以分为两条途径,以 B 细胞及其产物为媒介的体液免疫和以 T 细胞为媒介的细胞免疫,它们都遵循一个相似的防卫过程:激活、诱导、增殖、分化和分泌、攻击(杀伤)、抑制和记忆,只不过以不同的方式表现。特别提出,无论体液免疫还是细胞免疫都由一个 T 细胞群导引,其中包括辅助 T 细胞和抑制 T 细胞,既可以促进免疫应答,也可能抑制免疫应答。

对于免疫算法而言,免疫记忆和抗体浓度抑制是最重要的两个免疫系统原理。首先是抗体浓度抑制机制。生物体内存在成千上万种抗体,可以对多种多样的病原体或者异源性蛋白甚至人工合成的抗原产生应答反应,大量生成抗体,执行免疫功能。但在免疫实验中发现,免疫过程完成后机体内某种抗体浓度不会过高,否则,正常体细胞和其他类型抗体都会受到损害。由此人们总结出免疫系统的抗体浓度抑制机制,也称为免疫抗体多样性保持原理。抗体的浓度抑制机制可以用免疫反馈理论中抑制性 T 细胞的作用原理结合克隆选择原理进行解释。在抗体的不断克隆选择过程中,辅助性 T 细胞起着控制和调节的作用。当对某种抗原具有高亲和度的抗体增殖进行克隆扩张,其浓度不断增高并达到一定值时,该抗体的增殖就受到抑制性 T 细胞的作用,同时浓度较低抗体的产生和选择的概率得到提高。而免疫记忆是生物体适应性免疫所特有的免疫行为,它描述了时间含义上免疫能力的进化和改变。当免疫系统初次遇到一种抗原时,淋巴细胞需要一定时间进行调整以识别抗原,免疫应答结束后对先前经历过的组分细胞间的作用强度进行记忆存储,以最优抗体的形式保留对该抗原的记忆信息。当免疫系统再次遇到相同或者结构相似的抗原时,在联想记忆的作用下,免疫系统唤醒记忆细胞,应答速度大大提高,在短时间内产生出比初次应答高出两三个数量级的抗体水平。免疫记忆对应于再次免疫应答和交叉免疫应答,交叉应答是免疫系统对结构相似的抗原产生的免疫应答。在免疫算法中,利用抗体浓度抑制机制,可以有效地保证进化个体的多样性,防止进化过程早熟,从而减少陷入局部最优解的可能性;而利用免疫记忆原理,则可以通过提取一系列问题的普遍性特征,使得求解

同类问题更加具有针对性，提高算法泛化能力。这两种机制都在实际应用中显示了其有效性。

5.1.3 免疫算法设计

人工免疫算法是基于免疫系统机制开发的一种智能算法，免疫算法中常用的几个基本概念与生物免疫系统相关概念的对应关系如下^[21]：

抗原：待求问题

抗体：待求问题的可行解

抗体与抗原的亲度（适应度）：表示抗体对抗原识别的程度

抗体与抗体的亲度（相似度）：表示两个抗体之间的相似程度

通过模仿免疫系统的特性，特别是免疫记忆原理和抗体浓度抑制机制，能够设计出既具有良好的全局收敛性，又能较快收敛的免疫优化算法。免疫算法的基本步骤为（X 表示抗体群）：

1. 抗原输入

输入目标函数和各种约束，作为免疫遗传算法的抗原。

2. 产生初始群体

对初次应答，随机产生初始抗体 X_0 ；而对再次应答，则借助免疫机制的记忆功能，部分初始抗体由记忆单元获取。由于记忆单元中抗体具有较高的适应度和较好的解群分布，因此可提高收敛速度。

3. 计算抗体亲和度

分别计算抗原和抗体之间的亲和度（适应度 aff ）以及抗体与抗体之间的亲和度（相似度）。根据求解问题的目标函数确定适应度函数的形式，往往需要通过一些变换将目标函数取值范围变换到一个合理范围。假设目标函数为 $f(x)$ ，可以采用以下形式的适应度函数：

$$aff(x) = \frac{1}{1 + e^{\eta f(x)}}, \quad 0 < \eta < 1 \quad (5-1)$$

而抗体之间的则需要计算两两之间的亲和度。亲和度有多种表示形式，最早的抗体亲和度采用的是信息熵理论设计。由于信息熵计算比较复杂，效率比较低，所以在实际中往往采用一些简化方法，如Euclidean距离、Manhattan距离以及Hamming距离^[56]。如果把抗体和抗原的坐标分别表示为 $a(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_N)$ 和 $b(b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_N)$ ，则可分别计算Euclidean距离公式(5-2)和Manhattan距离公式(5-3)。

$$D_E(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (a_i - b_i)^2} \quad (5-2)$$

$$D_M(a, b) = \sum_{i=1}^N |a_i - b_i| \quad (5-3)$$

亲和度的另外一种表示形式就是 Hamming 距离。若把抗体和抗原看作字符序列，则 Hamming 距离可用下式表示：

$$D_M(a, b) = \sum_{i=1}^N \delta_i \quad (5-4)$$

$$\text{其中 } \delta_i = \begin{cases} 1, & a_i = b_i \\ 0, & a_i \neq b_i \end{cases} \quad (5-5)$$

4. 记忆细胞更新

将与抗原的亲和度高的抗体加入到记忆细胞中。由于记忆细胞数目有限，所以在记忆细胞中用新加入的抗体取代与其亲和度最高的原有抗体。

5. 抗体生成的促进和抑制

采用浓度控制的方法来抑制相同或相似抗体的数量。所谓抗体的浓度 $C(u)$ ，是指群体中相似抗体所占的比重，即 ($\sigma \in (0, 1]$ 称为浓度抑制半径)：

$$C(u) = \frac{|\{v \in X \mid D(u, v) < \sigma\}|}{|X|} \quad (5-6)$$

再计算抗体的激励度 act 。所谓激励度是指抗体群中抗体应答抗原和其他抗体激活的综合能力。可以采用以下公式计算：

$$act(u) = aff(u) e^{\frac{C(u)}{\beta}} \quad (5-7)$$

其中 $\beta \geq 1$ 为调节因子。从上式可以看出，抗体应答抗原的综合能力与其亲和力和力成正比，与其在抗体群中的浓度呈反方向变换。

然后根据抗体激励度，计算免疫选择的概率 $P(u)$ ，可以采用以下公式：

$$P(u) = \frac{act(u)}{\sum_{v \in X} act(v)} \quad (5-8)$$

采用经过调整的选择概率对抗体群进行选择，可以较好的调节抗体群多样性。

6. 群体更新

通过变异和交叉操作，产生进入下一代的抗体。群体更新中的变异和交叉操作与遗传算法基本相同。按照一定的规则（随机抽取，或者分成两组按顺序抽取）将两个抗体相互之间再进行交叉，再按照一定的变异概率进行变异。相对于遗传

算法，变异概率一般应该取比较大的值，并且可以随抗体亲和力呈反方向变化。
重复执行 3 至 6 步，直到满足终止条件为止。

7. 终止条件判别

若满足终止条件，输出最优解，计算结束；否则转 3.

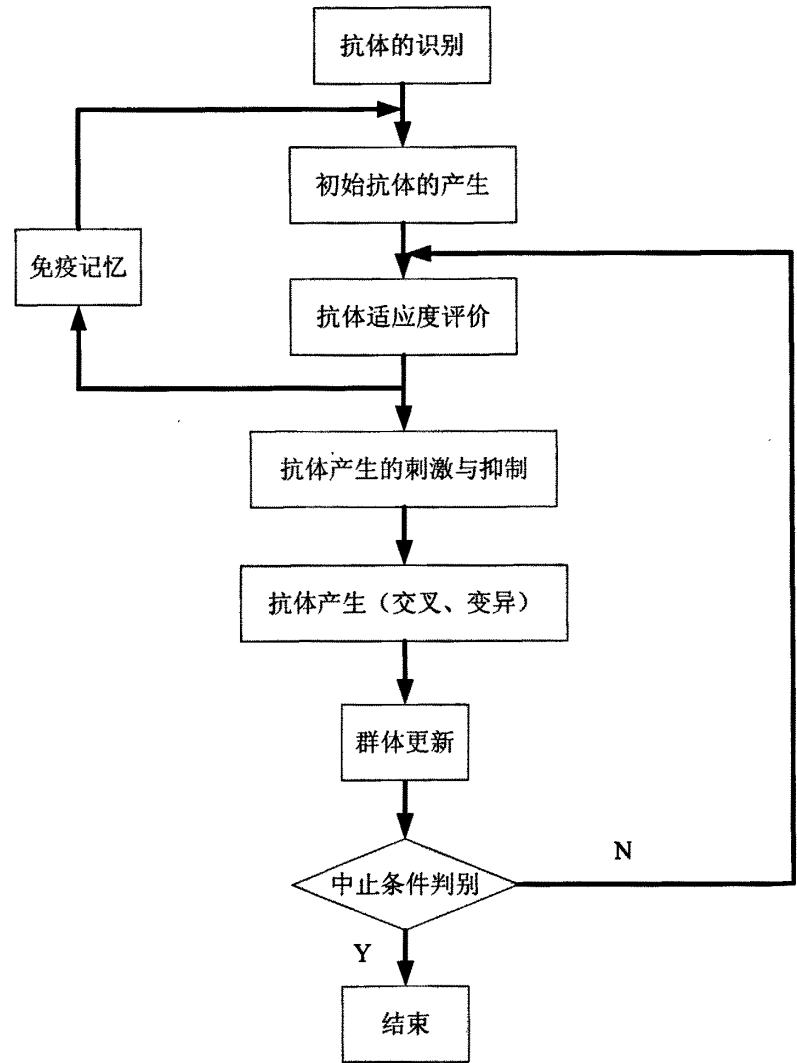


图 5-1 免疫算法流程图

5.2 混合免疫算法在整合物流网络优化模型中的应用

5.2.1 混合免疫算法的基本设计思想

在 4.3 节中提出的整合物流网络优化模型 (ILM) 作为一个复杂混合整数规划问题, 属于 N-P 难题的一类, 因此不可能用常规的方法求出其精确解。为了解该模型, 本文提出了一种与模型相结合的混合免疫算法 (hybrid immune algorithm)。该算法将免疫算法 (immune algorithm) 与单纯性算法 (simplex algorithm) 相结合, 能提高算法的可靠性和效率。

为了提高效率, 应对 ILM 模型进行一些处理。在 ILM 模型中包括两大类决策问题: 设施选址问题和运输问题。其中设施选址问题对应的都是 0-1 决策变量 Z_{jt} 和 W_{lt} , 而运输问题则对应的都是连续变量 X_{pijt}^f 、 X_{pjkt}^f 、 X_{pklt}^r 和 X_{plit}^r 。因此可以考虑将这两类问题分开, 再依次进行优化。在目标函数中将和 Z_{jt} 和 W_{lt} 相关的项相加, 记为 $g(Z_{jt}, W_{lt})$, 则有:

$$g(Z_{jt}, W_{lt}) = \sum_{t \in T} \left[\sum_j ow_{jt} Z_{jt} + \sum_l or_{lt} W_{lt} - \sum_h si_t Z_{ht} W_{ht} + \sum_{j \in J \text{ and } t > 1} sw_{jt} Z_{jt} (1 - Z_{jt-1}) + \sum_{l \in L \text{ and } t > 1} sr_{lt} W_{lt} (1 - W_{lt-1}) \right] \quad (5-9)$$

假设 Z_{jt} 和 W_{lt} 已知, 则对应原优化模型的子问题为 (模型 SLP):

$$\min : TC1 = \sum_{t \in T} \left[\sum_p \sum_k \sum_l c_{pklt}^r X_{pklt}^r + \sum_p \sum_l \sum_i c_{plit}^r X_{plit}^r + \sum_p \sum_i \sum_j c_{pijt}^f X_{pijt}^f + \sum_p \sum_j \sum_k c_{pjkt}^f X_{pjkt}^f \right] \quad (5-10)$$

Subject to:

$$\sum_j X_{pijt}^f \leq M_{it}, \forall i \in I, p \in P, t \in T. \quad (5-11)$$

$$\sum_j X_{pjkt}^f \geq D_{pkt}, \forall p \in P, k \in K, t \in T. \quad (5-12)$$

$$\sum_p \sum_k b_p X_{pjkt}^f \leq a(Z_{jt}), \forall j \in J, t \in T. \quad (5-13)$$

$$\sum_i X_{pijt}^f = \sum_k X_{pjkt}^f, \forall p \in P, j \in J, t \in T. \quad (5-14)$$

$$\sum_l X_{pklt}^r \geq R_{pkt}, \forall p \in P, k \in K, t \in T. \quad (5-15)$$

$$\sum_p \sum_k b_p X_{pklt}^r \leq b(W_{lt}), \forall l \in L, t \in T. \quad (5-16)$$

$$\sum_i X_{plit}^r = e \sum_k X_{pklt}^r, \forall p \in P, l \in L, t \in T. \quad (5-17)$$

$$X_{pijt}^f, X_{pjkt}^f, X_{pklt}^r, X_{plit}^r \geq 0, \forall p, i, j, l, k, t. \quad (5-18)$$

其中:

$$a(Z_{jt}) = A_{jt}Z_{jt}, b(W_{lt}) = B_{lt}W_{lt}, \forall j \in J, l \in L, t \in T. \quad (5-19)$$

并且 ILM 的目标函数 TC 与 SLP 的目标函数 TCI 存在如下关系:

$$TC = TCI + g(Z_{jt}, W_{lt}) \quad (5-20)$$

由此可以看出, 当 Z_{jt} 和 W_{lt} 已知时, ILM 模型转化为了一个线性规划问题 (Linear Programming)。针对一般的线性规划已经有很多成熟的算法, 而传统的单纯形算法也能很好地求解这类问题。故而可以考虑一种混合免疫算法: 在抗体编码中仅包含 0-1 决策变量 Z_{jt} 和 W_{lt} 。对每一特定抗体而言, Z_{jt} 和 W_{lt} 都是已知的。这时模型就转化成为一个仅包含连续变量 X_{pijt}^f 、 X_{pjkt}^f 、 X_{pklt}^r 和 X_{plit}^r 的线性规划子问题 (SLP), 并且可以通过单纯形算法计算出模型 SLP 的最优目标函数值 $TCI^*(Z_{jt}, W_{lt})$ 和相应决策变量 X_{pijt}^f 、 X_{pjkt}^f 、 X_{pklt}^r 和 X_{plit}^r 的值。然后根据公式 (5-20) 求得 $TC(Z_{jt}, W_{lt})$ 。该抗体的适应值 (即抗体和抗原之间的亲和力) 可以通过这个最优目标函数值 $TC(Z_{jt}, W_{lt})$ 计算得到。因为后面将与遗传算法对比, 为简单起见, 不考虑免疫记忆过程。由此, 本文所述的混合免疫算法步骤可以归纳如下:

1. 初始化。设置免疫算法相关参数;
2. 初始抗体产生。根据设定的种群规模 n , 随机产生 n 组初始化抗体种群;
3. 对抗体解码, 得到 Z_{jt} 和 W_{lt} , 然后用单纯形算法求解子线性规划模型 SLP, 并得到最优 $TCI^*(Z_{jt}, W_{lt})$, 然后计算 TC 值。根据 TC 计算抗体适应度 (抗体和抗原的亲和力)。
4. 计算抗体浓度, 并结合适应度选择抗体。通过交叉与变异操作产生新一代抗体种群。
5. 中止判别。如果满足中止条件, 则计算停止。否则返回步骤 3 继续计算。

5.2.2 抗体编码方案

不论是在基本遗传算法还是免疫遗传算法中, 都需要采用编码的形式来表现问题的潜在解。通常有二进制编码、浮点数编码, 后来许多学者对编码进行了多种改进, 例如, 为提高遗传算法局部搜索能力, 人们提出了格雷码 (Grey Code) 编码; 以及为了便于利用求解问题的专门知识, 便于近似算法之间的混合使用, 提出了符号编码法; 此外还有多参数级联编码和交叉编码方法。编码对于算法的性能和种群多样性等影响很大。就二进制编码和浮点数编码比较而言, 一般二进

制编码比浮点数编码搜索能力强,但浮点数编码比二进制编码在变异操作上能够保持更好的种群多样性。同时,还应该考虑到具体问题的编码方式对求解该问题是否有效。

对整合物流网络优化模型(ILM)的变量编码,每个抗体(antibody)都是一个 $(T-1) \times N$ 的矩阵。其中 N 是与抗体相关的决策变量数,而 T 是总的时间阶段数。与抗体相关的决策变量包括 Z_{jt} 和 W_{lt} ,因此 $N = NJ + NL = 2NJ$,由于模型中的初始化约束条件(4-24), Z_{j1} 和 W_{l1} 实际上是已知的,所以只需要考虑 $(T-1)$ 个时间阶段。抗体编码结构的一个例子如图 5-2 所示。该抗体(潜在解)有两个仓库和两个回收中心,经历三个时间阶段。每个抗体由一个 2×4 的矩阵表示,且矩阵的前两列和后两列分别对应于 Z_{jt} 和 W_{lt} 的取值。

	仓库 Z_{jt}		回收中心 W_{lt}	
	$j=1$	$j=2$	$l=1$	$l=2$
$t=2$	1	0	0	1
$t=3$	1	1	0	1

图 5-2 抗体编码结构示意图

5.2.3 适应度函数与算法浓度控制

对抗体的解码可以得到对应的候选解,然后通过适应度函数计算其适应值。这个适应值是候选解的优秀程度的度量,与优化模型的目标函数和约束条件相关。一般来说,适应度函数是优化目标函数与约束条件的罚函数之和。但对于模型 ILM 来说,由于本文采用了一种混合免疫算法,适应度函数的具体形式也有所变化。由于模型 ILM 中除了(4-24)和(4-25)之外约束条件都包含在线性规划子问题 SLP 中,并且因为编码的关系,约束条件(4-24)和(4-25)天然的得到了满足。所以,适应度函数中并不包括约束条件的罚函数,而只包括目标函数值。具体的适应度函数 $aff(x)$ 根据公式(5-1)计算得出。因为采用了二进制编码,所以在计算抗体之间亲和度时,本文采用 Hamming 距离(公式(5-4))来衡量抗体之间的相似度。至于抗体浓度,激励度,选择概率的计算则可直接根据公式(5-6)、(5-7)和(5-8)进行。其中浓度抑制半径 σ 取 0.1,调节因子 β 取 2。

5.3 算法性能验证

本文提出的混合免疫算法是一种高效的和实用的算法，能很好地用于求解 ILM 模型。为了证明这一点，下面本文将分别采用本文的混合免疫算法和传统的遗传算法对 ILM 模型进行数值求解，然后作出比较。本文将看到，混合免疫算法的性能明显高于遗传算法。

本文在 Matlab7.1 上实现了上文所述的混合免疫算法 (IA)。同时也设计了相应的遗传算法 (GA) 程序用于算法性能对比。为了使这两种算法更具有可比性，该遗传算法也嵌入了一个和混合免疫算法相同的单纯形的子搜索过程，并且这两种算法的种群规模 (抗体和染色体) 都设为 100，算法的循环次数设为 50。然后本文设计了三个不同规模的测试模型，并用优化算法对他们分别进行优化。

下面先说明测试模型参数的生成方法。其中一部分参数将通过随机方式在一定范围内生成。首先考虑最为复杂的参数：单位产品的运输费用。单位产品运输费用等于单位产品单位距离的运输费用率乘以运输距离。对于运输距离，可以通过一下方式随机产生：假设工厂地址、消费者所在地、仓库和回收中心的候选地址都在一个长宽都是 150 的正方形中，并且按照均匀分布随机生成。再据此计算从工厂到仓库再到消费者所在地，和消费者所在地到回收中心再到工厂的运输距离。正向物流的运输费用率 (单位产品单位距离) 在 0.01 和 0.1 之间按照均匀分布随机生成。而逆向物流的运输费用率 (单位产品单位距离) 则在 0.2 到 2 之间按照均匀分布随机生成。如此就可以完全解决单位产品运输费用参数的构造问题。此外消费者需求量(D_{pkt})将在 90 到 120 单位之间随机生成，而产品回收量(R_{pkt})则假设为消费者需求量(D_{pkt})的 10%。其余的参数可以如表 5-1 所示：

表 5-1. 模型参数表

$ow_{jt}(\$)$	18000	$sw_{jt}(\$)$	120000
$or_{it}(\$)$	3000	$sr_{it}(\$)$	30000
A_{jt}	3000	B_{it}	300
M_{it}	6000	b_p	1
e	1		

为简单起见，假设 NP=1，即只有一种产品。本文设计了三种不同规模的测试模型：

测试模型 1. $NI=1,NJ=NL=3,NK=10,NT=2$ 。共有 144 个决策变量
测试模型 2. $NI=2,NJ=NL=10,NK=30,NT=3$ 。共有 1980 个决策变量
测试模型 3. $NI=5,NJ=NL=20,NK=100,NT=3$ 。共有 12720 个决策变量
每个测试模型保持相同的参数，然后都分别用免疫算法和遗传算法优化 10 次。然后对两种算法按不同的测试模型，分别将所得的最优目标值 (TC^*) 作平均，所得的结果如表 5-2 所示。

表 5-2. 测试结果.

	免疫算法的 TC^* 平均值	遗传算法的 TC^* 平均值	差距
测试模型 1	109109	109109	0.00%
测试模型 2	322311	329753	2.31%
测试模型 3	661130	702015	6.18%

从表中可见，在问题规模比较小时（测试模型 1），免疫算法和遗传算法得到的最优目标值没有明显差距 (TC^* 平均值都是 109109)。但随着问题规模的增加，对于测试模型 2，免疫算法得到的最优目标值平均要比遗传算法低 2.31%。而对于较大规模的问题（测试模型 3），免疫算法的最优目标值比遗传算法平均低了 6.18%，也就是说平均节约了 6.18% 的物流总成本，这是相当可观的。此外，在图 5-3 中显示了对于测试模型 2，用免疫算法和遗传算法分别对其进行优化，其收敛过程曲线的比较。从图中很容易看出，相对与遗传算法，免疫算法具有较快的收敛速度。并且遗传算法有明显的早熟现象，大约在 26 步左右陷入了局部最优解，没能继续对问题进行优化。而免疫则基本上克服了早熟问题，从而得到了更好的解。

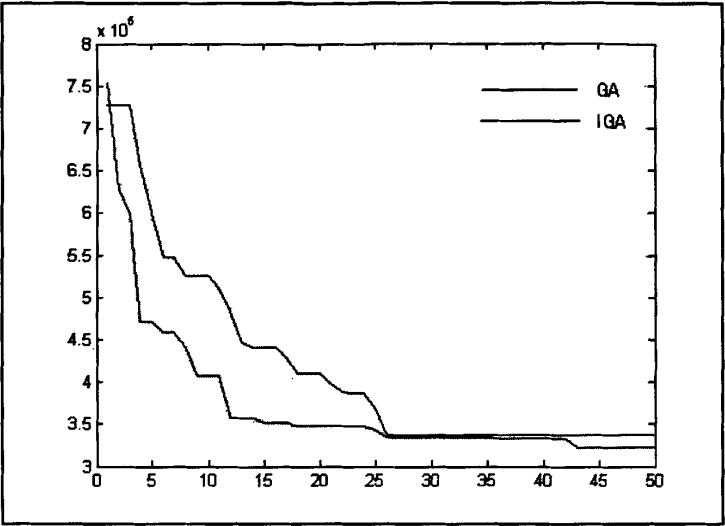


图 5-3 两种算法的收敛过程曲线

第六章 论文结论及展望

6.1 结论

第三方物流是最近几十年才兴起的一种新型服务行业,在西方国家已经发展成熟,而在我国则还处于快速成长的初期。我国在第三方物流特别是相关物流网络规划方面的理论研究还远远落后于欧美国家,大部分第三方物流服务都还集中于传统的运输、简单仓储等基础性服务,且物流成本和运营费用居高不下。随着物流国际化趋势的加快,我国第三方物流企业面临日益激励的国际竞争。只有努力提高服务水平,降低物流成本和运营费用,才有可能在激励的市场竞争中胜出。

关于第三方物流网络规划的研究并不多,特别是综合考虑正向/逆向物流的整合物流网络规划。本文在分析国际物流网络规划研究现状的基础上,结合第三方物流网络企业实际,分别给出了正向物流和逆向物流的混合整数规划模型。然后通过引入混合仓库—回收中心概念,提出了一个第三方物流的整合正向/逆向物流网络规划模型(ILM)。模型的目标是使得包含设施运营和运输费用在内的物流总费用最小,同时用约束条件保证消费者需求得到满足。考虑到第三方物流的实际,目标函数中不包括产品缺货所损失的收益和未回收产品的惩罚。

由于模型 ILM 属于复杂的 N-P 难题,没有确定的最优解求解方法,故常常采用遗传算法来对问题进行优化。但遗传算法存在“早熟”问题,从而容易较早地收敛于局部最优解。因此本文提出采用免疫算法来求解 ILM 模型。并结合模型特点,通过对模型变换,设计了一种快速收敛的混合免疫算法。最后的数值算例表明,该算法的性能和实用性高于遗传算法。

6.2 未来研究展望

虽然本文针对第三方物流实际建立了一个整合正向/逆向物流网络规划模型,然后结合模型特点提出了混合免疫算法来求解该模型,并取得了比较好的效果。但在实践中依然存在一些问题需要完善和解决。

在模型建立方面,可以结合实际进一步考虑运输价格的数量折扣问题。还有在随机提前期(lead time)假设下的建模问题业很值得研究。另外,本文为求简便,假设模型中所有的参数(如价格,运输距离等)都是确定的;而在实践中,

许多参数往往不能取确定的数值,可以考虑将其模糊化。此外,如何针对第三方物流的各种情况建立一个比较通用的模型,也是值得研究的问题。

在算法方面,虽然本文提出的混合免疫算法取得了比较优秀的结果,但对于超大规模的模型依然力不从心。虽然近来的研究通过结合模拟退火、神经网络和其他一些启发式算法,在物流网络规划的算法方面取得了一些成绩,但总的来说还没有哪种方法真正解决了这类问题,仍然需要不断地创新和改进。此外如何对近似最优解好坏程度进行合理评价也是将来值得研究的方向。

参考文献

- [1] 黄维忠, 物流系统规划与设计, 北京: 电子工业出版社, 2006.46~56
- [2] 贺东风, 物流系统规划与设计, 北京: 中国物资出版社, 2006.12~32
- [3] 陈光欣, 孙国卓, 供应链建模, 北京: 中信出版社, 2005.208~231
- [4] 王健, 现代物流系统的构建, 北京: 科学出版社, 2005.12~17
- [5] 黄席樾, 张著洪, 何传江等, 现代智能算法理论及应用, 北京: 科学出版社, 2005.15~50
- [6] 李军, 胡宗武等, 企业物流配送网络系统设计及优化, 工业工程与管理, 2002
- [7] 刘梅生, 刘水根, 第三方物流: 企业获得竞争优势的新途径, 商业研究, 2003, P.165-166
- [8] 刘胜春, 李严锋, 第三方物流, 沈阳: 东北财经大学出版社, 2006, 58~67
- [9] 林焰, 郝聚民, 隔离小生境遗传算法研究[J], 系统工程学报, 2000, 15(1): 86~91
- [10] 李金鹏, 韩英仕, 李基波, 遗传算法原理及在结构优化设计中的应用, 辽宁工学院学报, 2004, 24 (3): 56~58
- [11] 李鹏斌, 第三方物流企业核心竞争力的识别研究: [硕士学位论文], 成都: 西南交通大学, 2006
- [12] 李凌锋, 第三方物流企业发展模式研究: [硕士学位论文], 北京: 北京交通大学, 2006
- [13] 郭昉, 第三方物流管理系统中的货位优化调度研究: [硕士学位论文], 武汉: 武汉理工大学, 2006
- [14] 徐华兵, 第三方物流仓库网络布局研究: [硕士学位论文], 上海: 上海交通大学, 2004
- [15] 焦春闪, 第三方物流企业配送中心选址研究: [硕士学位论文], 大连: 大连海事大学, 2005
- [15] 邓猛, 物流配送中的优化模型与遗传算法: [硕士学位论文], 北京: 北京化工大学, 2006
- [16] 彭伟华, 物流配送选址优化模型的研究: [硕士学位论文], 武汉: 武汉理工大学, 2005
- [17] 马丹祥, 逆向物流网络设计优化模型研究: [硕士学位论文], 成都: 西南交通大学, 2005

- [18] 周强, 第三方物流企业物流网络规划与物流中心的经营管理: [硕士学位论文], 北京: 北京交通大学, 2005
- [19] 祁振强, 人工免疫算法及其应用研究: [博士学位论文], 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2004
- [20] 缪红萍, 免疫遗传算法及应用研究: [硕士学位论文], 北京: 北京化工大学, 2005
- [21] 刘冰, 人工免疫算法及其应用研究: [硕士学位论文], 重庆: 重庆大学, 2004
- [22] 霍凤财, 基于人工免疫算法的优化问题研究: [硕士学位论文], 大庆: 大庆石油学院, 2004
- [23] 仲立松, 基于生命周期优化模型和改进的免疫遗传算法的桁架结构截面优化设计: [硕士学位论文], 浙江: 浙江大学, 2006
- [24] 陈宇, 第三方逆向物流决策与网络构建: [硕士学位论文], 成都: 西南交通大学, 2004
- [25] 刘海燕, 李宗平等, 物流配送中心选址模型, 西南交通大学学报, 2000(6): 2~3
- [26] 张培林, 魏巧云, 物流配送中心选址模型及其启发式算法, 交通运输学报 2003,3(2): 65~68
- [27] 郭晓峰, 郑棣华, 叶耀华, 基于最优配送路线的选址方法研究, 实用物流技术, 2001(4): 71~74
- [28] 蔡临宁, 物流系统规划—建模及实例分析, 北京: 机械工业出版社, 2003.5~29
- [29] 王佐, 美国物流发展概况, 物流技术, 2002(9): 6~7
- [30] 魏光兴, 物流配送中心选址方法综述, 交通企业管理, 2005(9): 48~49
- [31] 吴坚、史忠科, 基于遗传算法的配送中心选址问题, 华南理工大学学报, 2004(6): 71~74
- [32] 吴崎右, 欧美日第三方物流的特点及启示, 商业经济文荟, 2003 (4)
- [33] 蒋良奎, 平面选址问题的一种混合算法, 上海海运学院学报, 1999(4)
- [34] 王大超, 王环关于第三方物流经济学意义的理论分析, 经济问题, 2002(4)
- [35] 郑勋, 杨家其, 配送中心选址的理论原则与优化方法, 交通科技, 2001(6)
- [37] 王磊, 潘进, 焦李成, 免疫算法, 电子学报, 2000, 28(7): 74~78
- [38] 杨建国, 李蓓智, 俞蕾, 基于免疫遗传算法的优化设计, 机械设计, 2002, 19(9): 14~17
- [39] 罗小平, 韦巍, 一种基于生物免疫遗传学的新优化方法, 电子学报, 2003, 31(1): 1~4
- [40] Xiao H Y. Model of location in many suppliers, Operations Research and

- Management Science, 2000, 9(1):7~10
- [41] Aikens CH. Facility location models for distribution planning. *European Journal of Operational Research*, 1985, 22(3):263~279
- [42] Wlodzimierz O. On the distribution approach to location problems, *Operations Research and Management Science*, 1998.7(2):1~6
- [43] Dabanzo, C.E. *Logistics System Analysis [M]*, Springer, Berlin 1996
- [44] Cesario F.J., Least-squares estimation of trip distribution parameters, *Transportation Research*, 1975, 9(1):13~18
- [45] Scott, A.J., Dynamic location-allocation systems: Some basic planning strategies, *Environmental and Planning*, 1971, Vol.3:73~82
- [46] Ballou, R.H., Dynamic warehouse location analysis, *Journal of Marketing Research*, 1968, Vol.5:271~276
- [47] Shulman A., An algorithm for solving dynamic capacitated plant location problems with discrete expansion sizes, *Operations Research*, 1991, Vol 39:423~436.
- [48] Hinojosa, Y., Puerto, J., and Fernandez, F.R., A multi-period two-echelon multi-commodity capacitated plant location problem, *European Journal of Operational Research*, 2000, Vol.123:271~291
- [49] Jayaraman V, Guide Jr. VDR, Srivastava R, A closed-loop logistics model for remanufacturing, *Journal of the operational research society*. 1999, 497~508
- [50] Barros A.I, Dekker R, and Scholten V.A, A two-level network for recycling sand: a case study. *European Journal of Operational Research*, 1998, Vol.110:199~214
- [51] Louwers D, Kip, B.J., Peters, E., Souren, F., and Flapper S.D.P., A facility location allocation model for reusing carpet material, *Computers and Industrial Engineering*, 1999, 36(4):855~869
- [52] Lieckens K, Vandaele N, Reverse logistics network design with stochastic lead times, *Computers & Operations Research*, 2007, Vol.34:395~416
- [53] Lee DH, Dong M, A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery, *Transportation Research Part E*, 2007
- [54] Ko H.J., Evans G.W., A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs, *Computers & Operations Research*, 2007, 34(2):346~366
- [55] Fleischmann M, Beullens P, et al, The impact of product recovery on logistics network design, *Production and Operations Management*, 2001,10(2):156 - 73.
- [56] Castro L.N., An Introduction to the Artificial Immune System[C], ICANNGA

2001, Prague, 22 -25TH 2001, 4(1):4-14

[57] John E. Hunt, Learning using an artificial immune system. Journal of Network and Computer Applications, 1996, 19(1):189~211

[58] Quagliarella, et al, Genetic Algorithms in Engineering and Computer Science[M], MA: John Wiley & Son, 1997:201~212

[59] Chun JS, Jung HK, Hahn SY, A Study on Comparison of Optimization Performances between Immune Algorithm and other heuristic Algorithms, IEEE Transactions on magnetics, 1998, 34(5):2972~2975

[60] Chen TC, IAs based approach for reliability redundancy allocation problems, Applied Mathematics and Computation, 2006

[61] Miyashita T, An Application of Immune Algorithms for Job-Shop Scheduling Problems, Assembly and Task Planning, Proceedings of the IEEE International Symposium, 2003, 146~150

发表论文和参加科研情况说明

发表的论文:

- [1] 刘金兰, 倪剑, “A hybrid Immune Genetic Algorithm approach to optimize the integrated forward/reverse logistics network for 3PLs”, the 3rd International Conference on Natural Computation (ICNC'07), 2007 年 8 月
- [2] 倪剑, 姜俊偲, “企业现金存量管理方案探讨”, 《内蒙古农业大学学报》, 2007 年 10 月

致 谢

本论文的工作是在我的导师刘金兰教授的悉心指导下完成的，刘金兰教授严谨的治学态度和科学的工作方法给了我极大的帮助和影响。在此衷心感谢两年来刘金兰老师对我的关心和指导。

刘金兰教授悉心指导我们完成了实验室的科研工作，在学习上和生活上都给予了我很大的关心和帮助，在此向刘金兰老师表示衷心的感谢。

刘金兰教授对于我的科研工作和论文都提出了许多的宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

在实验室工作及撰写论文期间，蒋瑞建、樊耀峰等同学对我论文中的算法研究工作给予了热情帮助，在此向他们表达我的感激之情。

另外也感谢我的家人，他们的理解和支持使我能够在学校专心完成我的学业。