

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律責任由本人承担。

论文作者签名： 王静波 日期： 2007.4.8.

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解山东大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权山东大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名： 王静波 导师签名： 孙立华 日期： 2007.5.31

摘要

随着我国经济的飞速发展，公路快运作为新兴产业展现出了蓬勃生机，各种类型的快运企业发展迅速，而网络优化对快运企业的发展至关重要。本文从某快运企业的具体实践出发，对网络分拨中心规划与网络运营车辆路线进行了优化，同时对快运企业网点的设置和业务范围制定进行了定量研究。

本文的快运企业网络优化研究分为分拨中心选址规划和网络运营优化两个阶段。在分拨中心选址规划阶段，本文首先在深入研究快运实际业务流程的基础上，根据分拨中心城市货流量大、车辆往往都是满载运行的特点，先不考虑其他小流量网点的拼车过程，而是结合随机服务系统研究方法，建立了快运网络分拨中心定位问题的数学模型，并基于遗传算法对分拨中心候选集进行筛选，取得了准分拨中心集；然后，对每一个准分拨中心，在所有网点范围内，在不同的网点设置和业务范围方案下，进行车辆路线优化，选出最佳的网络设置方案。最后，在中心定位与车辆路线优化的基础上，寻求最佳的分拨中心和网络设置方案。

在网络运营优化阶段，本文提出了广义关键费用，构造了网络优化问题的目标函数，建立了广义关键费用/营业额模型，并采用遗传算法对集货送货一体化、车辆数不固定及多车型的车辆路线和网点设置优化问题进行求解。得到了广义关键费用/营业额最低前提下，最佳的车辆路线安排、网点设置和业务范围方案。

最后，编写了快运网络优化的计算机程序实现模块，并结合某快运企业网络优化实例进行验证，仿真结果表明了本文所设计算法能有效降低成本、提高效率。

本文提出的两阶段法，其中分拨中心选址规划为整体网络优化提供了上层决策，而网络运营优化则提供了底层基础支撑，是快运企业网络优化的一种开创性研究。

关键词：快运网络；广义关键费用；分拨中心定位；车辆路线安排；遗传算法

Abstract

Highway Express shows vigor and vitality as a new industry, with China's rapid economic development. Various types of enterprises express the rapid development, and network optimization is crucial to the development of highway express enterprises. In this paper, we optimize the allocation of network center planning, the network's optimal operation routes, the network nodes' layout and the enterprise network business development of a quantitative study from a specific practice.

In this paper, the express enterprises' network planning and optimization consist of two phases: the location of the distribution center and the optimization of the express network operation. First, we optimize the distribution center site in-depth study on the basis of the actual business processes. According flows of the goods in distribution center cities are large and their vehicles are often loaded fully, it is not considered in the planning of Express distribution center that other cities with little flow which tried to process network traffic with the operating characteristics. But we studied the random service system, and we established a network positioning of the mathematical model for the express distribution center. Based on genetic algorithm and screening of candidates for the distribution center, a prospective distribution center is set; Then, access to every distribution center, we set up different networks business development levels in all areas under the program, optimize the vehicle routing and select the best network setup. Finally, based on the center location and optimal routes we identified the best distribution center and network nodes' layout and setup the best business development level.

In the process of optimizing the operation of the network, this paper presents a critical generalized cost to construct the network optimization objective function, a generalized key cost / business model, and a genetic algorithm was used to solve the set-delivery, many vehicle-models and the not fixed number of vehicles' optimization

problems. A generalized key cost / lowest turnover premise that the best routes, and the setting up of the networks node layout and business programs.

In addition, the express genetic algorithms were designed with the actual characteristics, and the corresponding computer program module was prepared. Based on a actual enterprise network optimization, we use the algorithms and procedures for the verification for the module. Results show that the algorithm is efficient and practical module. Vehicles' routing optimization in particular, for a full account of the practical aspects of the process, shows that the heuristic algorithm is designed to be modular and procedures, the alignment of program costs can be reduced effectively and be improved efficiency. This paper consists of a two-stage approach which distribution center site planning as the upper floors of the whole network optimization decision, and the network operation optimization as the bottom foundation. Therefore, the whole express network optimization is a pioneering optimization study.

Keyword: express freight networks; generalized key cost / business model; distribution center location; vehicle routing; genetic algorithm.

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

我国快运业正处在高速发展时期，以民航快递、中铁快运、大田、顺风、宅急送、大通等为代表的大型企业正加速扩张步伐，大量的中小民营企业迅速发展壮大，FEDEX, TNT, DHL, UPS等大型跨国快运公司已纷纷进入我国。

如何在激烈竞争中寻求生存和发展是快运企业普遍面临的重要问题，尤其是如何进行网络优化，即网络规划和制定运营策略，已成为迫切需要解决的难点所在。服务网点的数量及分布直接反映了快运企业的服务水平，对于现有的服务网点是否合理，在快递网络中的地位和作用是否妥当，服务网点的拓展过程中，哪些城市(地区)应该作为首选，各级分拨中心如何设计等问题，各企业都在进行不断的探讨。

解决以上存在的问题，可以通过定位中心和安排车辆来仿真运行，利用仿真结果计算决策目标函数值。现实中，快运企业对于分拨中心定位普遍选择省会，车辆路线安排目前还停留在人工安排。各快运企业在实际运行下普遍实行经分拨中心中转、多点拼车模式，因此，在考察网络优化的过程中，车辆路线优化是至关重要的支撑性工作，不然整个网络优化的衡量就无从考究。在以往的学术研究中，目前为止还没有一种合适的定量分析方法，能够为快运企业网点拓展和业务范围制定提供决策依据。

根据作者所查阅的资料，本课题研究的公路快运企业网络优化问题目前国内国外很少有研究，因此该课题的提出和解决具有明显的理论和实用价值。

1.2 国内外研究现状

网络优化分两个方面，即网络分拨中心定位规划和网络运营车辆路线安排优化。本文分别从这两个方面介绍国内外研究现状。

1.2.1 网络中心定位研究现状

近年来,物流网络节点选址理论发展迅速,国内外学者在该领域已经取得了许多研究成果。目前已形成了多种方法,按时间维度大致可分为静态选址模型和动态选址模型。静态方法以某单一时期如一年的数据为基础进行选址,然而选址规划也可能一次跨越多年,用于多个阶段选址规划的方法被称为动态方法。下面分别对静态选址和动态选址的研究现状进行回顾。

1 物流网络节点的静态选址研究

物流管理中选址的实际问题概括起来可归纳为四大类:解析方法,模拟方法,启发式方法和权重评分法。

1) 解析方法

解析方法是通过数学模型进行物流网络节点布局的方法。采用这种方法首先根据问题的特征、外部条件和内在联系,建立数学模型或图解模型,然后对模型求解获得最佳布局方案。主要有常用的重心法^[1]和混合整数线性规划法^[2]。

2) 模拟方法

实验模拟方法有许多种,应用在选址问题中,模拟可以使分析者通过反复改变和组合各种参数多次试行,来评价不同的选址方案。这种方法还可进行动态模拟,例如假定各个地区的需求是随机变动的,通过一定时间长度的模拟运行,可以估计各个地区的平均需求,从而在此基础上确定流通中心生产中心的分布;还可通过需求的变动模拟出库存的变动水平,用于帮助决定生产规模仓储费用等。采用这种方法进行网点选址布局时分析者必须提供预定的各种网点选址布局方案,以供分析评价从中找出最佳方案模拟模型,试图在给定多个仓库多个分配方案的条件下反复使用。模型找出最优的物流网点选址布局方案,分析结果的质量和决策的效果依赖于分析者预定的选址布局方案是否接近最佳方案。

3) 启发式方法

根据不同的具体问题,启发式算法有很多种具体的方法,采用何种方法在很大程度上依赖于特定的问题。一般常用的有以下几种方法^[3]:交换算法exchange heuristic;贪婪算法greedy heuristic;减少算法drop heuristic;松弛算法relax heuristic;近似算法approximation heuristic;顺序算法sequential heuristic。

此外现代发展起来的随机搜索的非线性全局优化方法有:模拟退火法,遗传

算法和蚂蚁算法等，都是对自然界某种现象的模拟，但是各自又是在不同的优化准则下，对参数的优化。即模拟退火法是以温度降低为原则，遗传算法是以子代个体优于父代个体为原则，蚂蚁算法是以信息素增加为原则。

4) 权重评分法^[4]

权重评分法是考虑影响物流网络节点选址的各种因素在综合判断分析的基础上确定出最佳的选址方案。研究成果表明在现代物流网络体系规划过程中，物流网络节点的选址主要应考虑以下因素：自然环境因素；经营环境因素；基础设施状况交通运输条件以及其他因素。

在上述评价因素分析的基础上，运用采用层次分析法AHP法，将系统所包含的选址影响因素进行分组，每一组作为一个层次，按照最高层若干中间层和最底层的形式排列起来，形成一个比较完整的体系，组成一个系统，作为进行下一步分析的依据。

2 物流网络节点的动态选址研究

国外已有一些学者开始了对物流网络节点的动态选址研究，例如Francisco Saldanha da Gama 和Maria Eugenia Captivo 提出一种两阶段启发式方法，来解决考虑了新建/关闭成本的离散动态选址问题^[5]；Emanuel Melachrinoudis 和Hokey Min 针对一个涉及到对一个集制造工厂和仓库为一体的混合设施的再选址及逐步淘汰的实际案例，利用一个动态的多目标混合整数规划模型，来确定其混合设施的再选址及逐步淘汰的最佳时间^[6]；John Current 等提出两种方法预期机会成本最小化和最大损失最小化，分析待选址设施的总数目不确定的动态选址问题^[7]。

至于国内到目前为止，还只有徐利民等考虑用动态规划技术解决仓储中心的动态选址问题^[8]，这些对物流网络节点的动态选址研究，都只是初步研究国外学者考虑的因素相对较多，但模型的求解计算过程却相当复杂，在实际应用当中会遇到更大的计算困难。徐利民等提出的动态规划方法虽然解决了难于求解的问题，但他们仅对仓储中心进行了选址研究，而且考虑的影响选址的因素较少，没有考虑到预测的不准确性，不能很好满足实际选址应用的需要。

1.2.2 车辆路线安排研究现状

车辆路线问题(Vehicle Routing Problem, VRP)是综合优化领域一个非常重要的方面,也是物流系统的重要环节,物流系统的节支生效的来源之一是物资的合理运输,即物资应以最佳的方案进行运输。VRP 最早由 Dantzi^[9]在 1959 年提出,40 多年来,众多学者投入到这一领域的研究中,取得了丰硕的研究成果,应用于社会经济生活的各个方面,VRP 模型广泛应用于城市垃圾运输、工厂货物运输、飞机航班分配及学校教职员工上下班运输等问题^[10]。

VRP 示意图如图 1-1 所示:

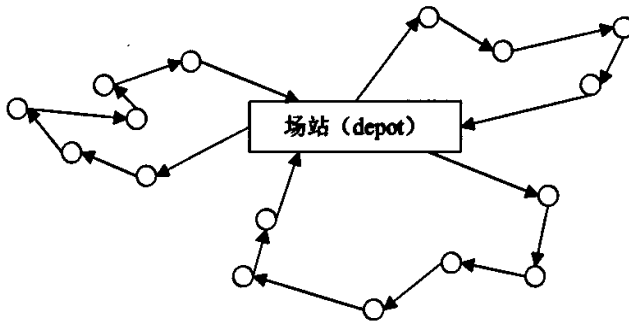


图 1-1 VRP 示意图

根据各种约束因素不同,可以组合成不同类型的车辆路线问题。在基本车辆路线问题(VRP)的基础上,车辆路线问题在学术研究和实际应用上又产生了许多不同的延伸和变化型态,包括时间窗限制的车辆路线问题(Vehicle Routing Problems with Time Windows, VRPTW)^{[11][12]},多车种车辆路线问题(Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problems, FSVRP)^{[13][14]},周期性车辆路线问题(Periodic Vehicle Routing Problems, PVRP),车辆多次使用的车辆路线问题(Vehicle Routing Problems with Multiple Use of Vehicle, VRPM)^{[15][16]},考虑最佳服务时间的车辆路线问题(Vehicle Routing Problem with Due-time, VRPDT)^[17],考虑收集的车辆路线问题(Vehicle Routing Problems with Backhauls, VRPB)^{[18][19][20]},随机需求车辆路线问题(Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand, VRPSD)^{[21][22]}等。这些问题又不断延伸、相互组合,形成越来越多的车辆路线优化问题,主要时间窗限制路线问题和其他问题相结合形成新的问题,如考虑收集的时间窗限制车辆路线问题(Vehicle Routing Problems with Backhauls and Time Windows, VRPBTW)、多车种的时间窗限制车辆路线问

题(Mix Vehicle Routing Problems with Time Windows, MVRPTW)等。根据 Bramel 和 Simchi-Levi(1997)^[23]的分析,车辆路线问题可以依照其假设条件分成下列三大类:(1)顾客需求均等的车辆路线问题(the Capacitated Vehicle Routing and Scheduling with Equal Demands);(2)顾客需求不均等的车辆路线问题(the Capacitated Vehicle Routing and Scheduling with Unequal Demands);(3)具有时间窗口限制的车辆路线问题(the Vehicle Routing and Scheduling with Time Window Constrains)。

车辆路线问题是一种相当广泛而具实用价值的学术研究课题,在理论上是属于相当复杂的组合最优化问题,在实际中是物流管理相当重要的课题。

国外有学者将车辆路线问题求解方法演进分为五个时期。在 1959 年学者 Dantzig 和 Ramser 利用整数规划模型(Integer Programming)来处理包含大约 10 到 20 个顾客点的小规模问题。到 1960 年代,学者 Clarke 和 Wright(1964)^[24]提出一种启发式节省法(Savings Methods)来建立车辆运输路线,还有学者 Christofides 和 Eilon(1969)^[25]应用 2-opt 及 3-opt 方法来处理包含大约 30 到 100 个顾客点的车辆路线问题。到 1970 年代,部分学者利用两阶段启发式解法(Two-Phase Heuristics)来处理较大型的问题,约有 100 至 1,000 个顾客点,如 Gillett 和 Miller(1974)^[26]提出的扫描法(SweepA lgorithm)即是属于先定路线再分群的方法、Christofides^[27]等人(1971)则提出先分群再定路线的方法。到 1980 年代, Fische 和 Jaikumar^[28](1981)提出以数学规划为主的最优化方法来处理包含大约 50 个顾客点的问题。到 1990 年代,有不少学者利用人工智能方法(AI, Artificial Intelligence)来解决车辆路线问题,包括模拟退火法(SA, Simulated Annealing)、确定性退火法(Deterministic Annealing)、基因算法(GA, Ge neticA lgorithm)、类神经网络法(NeuralN etwork)和禁忌搜寻法(TS, Tabu Search)。

我国对车辆路线问题的研究起步较晚,与国外研究水平还有较大差距,所以我们要在借鉴国外已有的研究成果基础上通过新的方法、技术加快这方面的研究。积极探索新问题型态的研究,开拓新的研究方向着重于解决实际问题,对于我国在 VRP 研究这一领域加快赶上国际先进步伐具有重要意义。

综上所述,由于快运企业运营的特殊性,现有的理论研究不能很好地满足快

运网络优化的实际应用要求，因此本文的研究具有重要的理论意义和现实意义。

1.3 实际应用问题分析

一、分拨中心选址规划

目前企业的中心选址规划不够科学，往往是单凭经验将候选分拨中心定位于省会，选择分拨中心时也没有全局性的车辆路线优化模拟过程。这种不考虑路线安排和资源配置做法使最终决策缺乏数据支持。

考虑到分拨中心城市货流量大、车辆往往都是满载运行的特点，本文在分拨中心规划中先忽略其他小流量网点的拼车过程，并结合随机服务系统研究方法，建立快运网络分拨中心定位问题的数学模型，然后基于遗传算法对分拨中心候选集进行筛选，得到准分拨中心集。

二、网络设置

网点设置包括网点开启/关闭选择和业务范围扩大两个方面。实际上，增加/减少一个网点或改变网点业务量都可能引起全局线路优化安排的变更。零担业务采用中转方式，利用集中规模效益来提高运力利用率，这就需要不仅考虑网点的地理分布，还要考虑货物量的大小、方向，以及在完整网络货量流量的比例，增加/减少网点后，全局最优的线路安排可能会变迁，运输资源配置可能会变迁，而新增的业务量能否弥补这一成本增长的缺口正是网络网点设置和业务范围制定的考察点。

在对某快运企业快运调研过程中发现实际应用中他们采取运输费用/营业额指标来标定新业务范围制定边界。例如，规定在辽宁省分拨中心与各地市之间的业务范围内，只有当运输费用/营业额指标小于20%方可开通此项业务，以类似如此的固定比率制定业务范围。然而这存在着相当大的盲目性。这个20%是仿制已做透了的山东省内运营网络而制定的，各省地理环境和经济发展状况等等都各不相同，没有科学计算的指导而过早盲目地限制这个指标的数值，以此指导新兴网络的业务范围制定，势必延误企业最好的发展时机，难以以长远眼光来考虑企业发展步骤，这主要也是因为缺乏一个科学的办法，来提供企业决策所需要的量化数据。

本文针对快运企业的实际情况,采用方案比较过程中所需要的广义关键费用来代替全部成本,以广义关键成本/营业额的指标来进行决策研究,希望能在此领域中的研究有所启发和尝试。

三、车辆路线安排

车辆路线安排是快运网络规划中极其重要的方面,它是快运网络中连接网点的“线”。在网络中,“点”的布局和货流量的大小、方向制约了“线”的构造过程,“线”的形成有助于对比网络规划的优劣性。以山东省网络为例,济南某快运公司业务网络遍布全省,每天有大量货物从全省其他各个网点集中到济南分拨中心,分拨中心要及时将货物运输到各个网点,运输时间要满足客户提出的时间要求和公司自己承诺的服务时间限制。客户的需求量不同,需要判断什么样的货流量变化之后需要重新设计全新的干线运输路线,这就要求新的求解方法必须具有很高地求解效率,能够在较短的时间内得到较为满意的解,并且设计的方案要尽量降低运输成本,运输成本包括车辆数固定成本和行驶里程/时间变动成本两方面。利用计算机实现设计工作,这对于减轻路线设计工作量、提高路线设计质量、降低成本将具有显著的实际意义。

目前快运企业在车辆路线安排方面存在着不合理性,具体表现如以下:

1) 人工安排行车路线。虽然人工安排同时考虑了距离与货物流量,但难以综合全局、随季节性甚至随机性货物流量大小变化,以及流量分布比例变化来适当、准确地调整路线安排。

2) 返程装载率低。由于人工制定路线,计算量受到局限,在路线形成过程中拘泥于放射线单一形状,并且一定以原路返回,存在返程装载率低的现象。由于路线安排的不合理,导致或运输里程、或车型选择、或车辆数不合理,从而造成运输成本徒增。本文旨在不超载并且当天能返回的约束下,进行集货送货一体化的路径优化,增加路线形状多样性,减少全程装载率低,综合考虑车辆数的固定成本和里程数的变动成本来优化资源配置。

3) 线路固定对压货形成有着重要的影响作用。由于难以实时、反复计算,所以难以把握货物流量变化与路线变化的关系,这对压货形成有着重要的影响作用。在货量较大而产生压货时,实际中只能在固有路线下进行车型的微调或者临时增加班次,解决问题的力度非常有限。

由于随机变化的货流量与固定的路线安排存在着矛盾,随着货量的增加,在机械的路线安排下,压货现象可能会越来越严重。路线安排固化是压货形成的重要因素,尽管合理的路线重组与调整可能在既有的运力条件下排除压货现象。另外,并不是在既定运力下线路调整就一定能解决所有的压货现象,在某种程度之后要求增加运力才能解决。但是什么样的流量大小以及流量比例的变化才需要增加/减少运力来完成,怎样增加/减少运力,这就需要有一个车辆路线安排的优化工具来实时模拟运行来指导决策。

4) 路线制定过程的不科学性势必引发网点设置的不合理性,使网点设置方案缺科学依据。

综上所述,没有科学的计算方法,也就无从优化整个快运网络布局。本文结合实际研究背景,首先借鉴网络 $M/G/s$ 队列设备定位问题的研究方法,建立快运网络分拨中心定位数学模型,并设计了相应的遗传算法得到准分拨中心候选集。然后,对于每一个准分拨中心,建立广义关键费用/营业额比率模型,并基于遗传算法来解决快运网络运营优化问题,即路线安排、网点开启/关闭和业务范围的确定,最后得到最佳的中心定位方案。

1.4 主要研究内容及主要研究方法

本文主要研究快运企业网络优化中,分拨中心选址规划、车辆路线安排、有关网点开启/关闭选择以及业务范围确定的问题,研究分为分拨中心选址规划和网络运营优化两个阶段。主要章节有:绪论;快运企业网络优化概述;快运企业网络优化问题数学模型;基于遗传算法的快运企业网络优化问题求解;优化实例以及结论。

本文技术路线如图1-2所示:

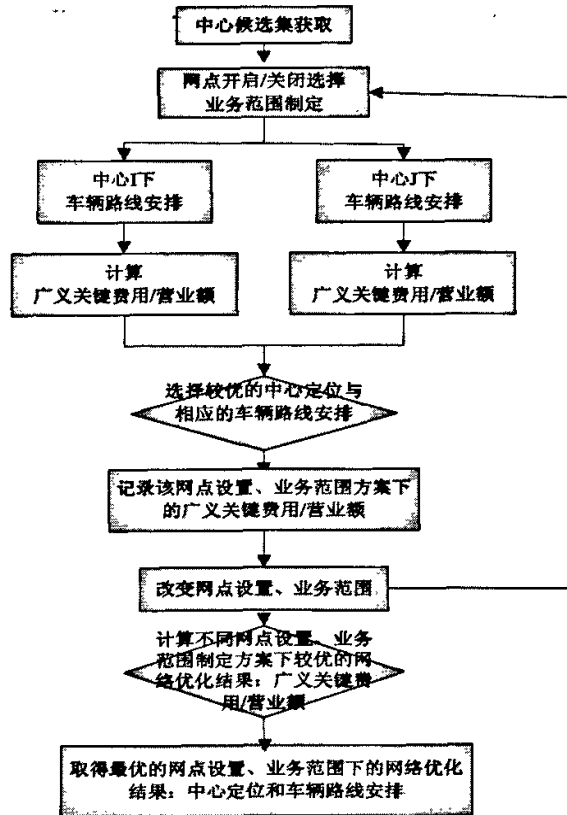


图1-2 技术路线

整个过程在最后一章进行了实例验证。需要说明的是，实例模拟部分是以某快运企业网络优化的真实案例为基础，本文对其中的一些数据进行了适当的变动，主要目的是对本文提出的方法进行实践和验证。尤其在车辆路线优化部分，在求解过程中充分考虑了各方面的实际影响，并在第四章车辆路线优化算法研究中另外加入实例对其加以验证，将程序计算方案与手工计算方案进行比较，证明了通过本文设计的启发式算法和计算机模块得到的路线安排方案成本有所降低，效率明显提高。它的有效性为整体的网络优化提供了底层基础支撑。

最后的结论部分指出了文章的创新点，并提出了需要进一步研究的方面。

第二章 快运企业网络概述

2.1 快运企业服务网络基本理论

1、快运的概念^[29]

快运是指快运企业收取发件人托运的快件后,以最快的速度,按照发件人要求的时间将其运到另一地点,递交指定的收件人;掌握运送过程的全部情况并能向有关人员提供即时信息查询的门到门服务。

2、快运网络的定义

快运网络是构成快运业生产能力的物质技术基础。快运网络是由快件取送中心、各级分拨中心和各级网路,按照一定的原则和方式组织起来的,在控制系统的作用下,遵循一定运行规则传递快件的网路系统 Soloman^[30]。

快运网络包括物理层、业务层和控制层。以物理层为基础,在业务层的规范下,使快件得以迅速有序地传递,控制层起监督、控制和协调作用,保证全网的畅通。

3、快运服务网点^[31]定义

快运服务网点即组成快运服务网络的快件取送中心和各级分拨中心,其涵盖了快运企业提供快运服务的范围。其中各级分拨中心以各级中心城市为基本单位,快件取送中心以各中心城市所辐射的周边各市(县、区)为基本单位。快运服务网点是快运服务网络中服务网的灵魂^{[32][33][34]}。

2.2 我国快运业需求分析与竞争格局

2.2.1 我国快运市场的需求分析

从一般意义来讲,快运是派生需求,主要是由于国际、国内贸易对物资及相关的商业单证的迫切需要而产生。因此,对快运需求市场的预测涉及到诸多外部和内部相关因素。快运的发展主要取决于宏观经济形势和经济政策。从当前中国经济社会运行的状况来看,保持了良好态势^[35]。

2.2.2 我国快运市场的竞争格局

国际跨国快运公司与国内快运企业合作或合资的快运企业，主要有大田联邦快递(DTW-FEDEX)、中外运敦豪(DHL-SINOTRANS)、中外运联合包裹(UPS-SINOTRANS)、中国邮政天地(TNT-EMS)等。这类企业实力较强，一般都能经营国际快运和国内城际快运业务。宅急送、顺风、申通、大通、大田等快运公司通过企业转型、推出特色服务等方式，也形成了自己的品牌并占领了一定的市场份额。还有众多规模较小的同城快运、城际快运公司在局部地区推出特色服务，以其灵活多变的特点在市场的缝隙中生存。

快运市场呈现几大趋势：信息化、数字化：为路由选择优化及网络节点设置优化带来便捷；国营集团企业、外企将占市场主流：促进了快运企业及战略管理的进展；快运企业现代化和专业化：使网络规划优化方法得到重视^{[36][37][38][39]}。

2.3 快运服务网络的影响因素

影响快运服务网络的因素不仅有外界的快速需求的因素和行业竞争的因素，还有企业自身的运作方式和调度优化程度因素，对于中转多点拼车的运作模式，在考察网络优劣的过程中，需要通过网点布局、中心定位和车辆线路安排的仿真过程为手段，得到定量的影响因素数值，计算网络优化目标函数，从而优化整个快运服务网络布局并取得网络网点设置和业务范围制定的决策依据。

第三章 快运网络优化问题数学模型

本章快运网络优化的思路是首先从候选城市中取得准分拨中心集,然后建立广义关键费用/营业额比率优化模型,通过不同准分拨中心方案下网络运营优化指标的比较,确定最优的分拨中心定位。

3.1 网络分拨中心规划问题的数学模型

依据快运的实际特点,分拨中心城市的货流量都相当大,车辆往往都是满载运行,所以仅选取货流量大的网点组成候选分拨中心集,分别求出各候选中心完成整个网络货运任务的总服务时间。总服务时间越小越好,同时综合考虑服务水平与当地经济发展情况,在此基础上选出准分拨中心集。

3.1.1 M/G/s 问题简介

在过去 10 年中,不确定情况下的设备定位或随机设备定位是一个热门话题。这类问题的典型要素包括顾客的定位、每个顾客的出席、需求水平、产品价格和到达顾客的旅行时间或旅行费用。Berman 等人研究了网络上的随机队列中值模型(stochastic queue median, SQM),它用于单个可移动服务点的最优定位^[40]。实际中,通常一个设施管理着多个移动服务点,而不是单个,因此,考虑多个移动服务点的情况更为合理和必要。也许有人会认为可以将较大的服务区域分为几个小的地域,这样就可以要求一台设备仅管理每个小地域中唯一的服务点。但是,问题是如何最佳地设计服务地域。且必须注意到新建一个设施比在已有的设施下增加一些服务点消耗更多的资金、时间和其他资源。这些原因促使我们去研究多服务点的 SQM,这可以表示为 M/G/s SQM 问题。当 $s \geq 2$ 时,由于 M/G/s 队列的平均等待时间难以处理,所以这是一个难题。

Gong, Yamazaki, Gen 和 Xu 提出用双时刻近似数来估计 M/G/s 队列中顾客的平均等待时间^[41],较好地解决了 M/G/s SQM 问题。本文研究借鉴了该方法,是快运网络优化的一种新尝试。

M/G/s 问题的模型介绍如下:

已知网络 $G=(V,E)$, 其中 V 是节点集 $V=\{1,2,\dots,n\}$ ($|V|=n$), E 是弧集 $E=\{(i,j)|i,j\in V,i\neq j\}$ ($|E|=m$).

弧 $(i,j)\in E$ 的长度给定, 用 l_{ij} 表示。

点 p 是弧 (i,j) 上的点: $p=x\in G$, $P(p_1,p_2)$ 是 G 中两点 p_1 和 p_2 间的最短路径, $d(p_1,p_2)$ 是对应的最短路径长度。

对网络 G 上每个节点 k , 假设服务需求的出现服从速率为 λ_k 的 Poisson 过程, 且独立于其他事件。令 λ 为系统需求的总产生速率, h_k 为节点 $k(k=1,2,\dots,n)$ 上需求的权重, 则

$$\lambda = \sum_{k=1}^n \lambda_k \tag{3-1}$$

$$h_k = \frac{\lambda_k}{\lambda} \tag{3-2}$$

假设设施被定位在网络中的固定点 x , 管理 s 个移动服务点。移动服务点被派遣出去为需求提供服务, 当所有的服务点不忙于为需求提供服务时, 则停留在设施处。如果出现的需求发现所有的服务点都忙时, 则插入某一队列, 队列按先进先出 (FIFO) 的方式运作; 否则, 派遣闲置的服务点立即为需求提供服务。

在从设施到需求点的最短路径上, 传输以符合实际路面情况的速度发生。对每一个需求而言, 其总服务时间包括: 从服务设施到需求处的传输时间、在需求处的台前服务时间、从需求处到服务设施的传输时间和在服务出发点的台后服务时间。

假设在节点 k 处需求的净服务时间 (台前加台后) 用 S_k 表示, 假定台前加台后服务时间是有限的, 那么这个系统可以被认为是一个遵循 FIFO 原则的 M/G/s 队列。在队列中共有 N 个需求。

用 $W_q(x)$, $T_q(x)$ 分别表示 M/G/s 中第 q 个需求的等待时间和从设施处到该需求处的旅行时间, 则系统对于需求的响应时间 $R_q(x)$ 可以写成:

$$R_q(x) = W_q(x) + 2T_q(x) \quad (3-3)$$

需求的平均响应时间定义如下：

$$\bar{R}(x) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{q=1}^N R_q(x) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{q=1}^N W_q(x) + \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2}{N} \sum_{q=1}^N T_q(x) \quad (3-4)$$

3.1.2 数学模型

本文将 M/G/s 模型方法用于分拨中心的选址规划，分拨中心对应于网络中的固定点 x ，车辆对应于移动服务点。车辆被分拨中心派遣出去为需求提供服务（需求够一车就形成了一个顾客的到达，发生压货没能发车的作为顾客等待），当车辆未服务时，则停留在分拨中心处。如果出现新需求并发现所有的车辆都忙时，则插入某一队列，队列按先进先出（FIFO）的方式运作；否则，派遣闲置的车辆立即为需求提供服务。

根据运输服务特点，有：

$$T_q(x) = h_k \frac{d(k, x)}{\zeta} \quad (3-5)$$

$$\text{则 (3-4) 式为: } \bar{R}(x) = \bar{W}(M/G'(x)/s) + 2 \sum_{k=1}^n h_k \frac{d(k, x)}{\zeta} \quad (3-6)$$

为了得到最佳的分拨中心位置 x ，我们需要计算 $\bar{W}(M/G'(x)/s)$ 。对通常的 M/G/s 队列，需求服务时间的分布函数 $G(x, t)$ 可以表示如下：

$$G(x, t) = \sum_{k=1}^n h_k G_k(x, t) \quad (3-7)$$

其中， $G(x, t)$ 是随机变量 $S_k + (\beta + 1)[d(k, x)/\zeta]$ 的分布函数， β 是车辆回空系数。用 \bar{G} 和 \bar{G}^2 分别表示 G 的两个双时刻近似数， \bar{S} 和 \bar{S}^2 分别表示 S 的两个双时刻近似数：

$$\bar{G} = \sum_{k=1}^n h_k (\beta + 1) \frac{d(k, x)}{\zeta} + \bar{S}_k \quad (3-8)$$

$$\bar{G}^2 = \sum_{k=1}^n h_k \left((\beta + 1) \frac{d(k, x)}{\zeta} \right)^2 + 2(\beta + 1) \frac{d(k, x)}{\zeta} \bar{S}_k + \bar{S}_k^2 \quad (3-9)$$

对于 $s=1$, $\bar{W}(M/G/1)$ 为:

$$\bar{W}(M/G/1) = \begin{cases} \frac{\lambda \bar{G}^2}{2(1-\rho)}, & \rho < 1 \\ +\infty, & \text{其他} \end{cases} \quad (3-10)$$

其中, $\rho = \lambda \bar{G}$ 。

当 $s \geq 2$ 时, $\bar{W}(M/G/s)$ 就没有如此清晰的表达式。本文采用 Polaczek-Khintchine^[41]提出的近似 $\bar{W}(M/G/s)$:

$$\bar{W}(M/G/s) \approx \frac{1+c_G^2}{2} \bar{W}(M/M/s) = \frac{1+c_G^2}{2} \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \frac{\lambda}{\mu}}{\lambda s! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)^2} \quad (3-11)$$

其中, c_G^2 是图 G 的变分系数, c_G^2 可取 $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ 。

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!} \frac{1}{1-\rho} \right]^{-1} \quad \rho = \frac{\lambda}{s\mu}$$

因此, 对于分拨中心 x , 总服务时间为:

$$\begin{aligned} \bar{R}(x) &= \bar{W}(M/G'(x)/s) + 2 \sum_{k=1}^n h_k \frac{d(k,x)}{\xi} \\ &= \frac{1+c_G^2}{2} \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{\lambda s! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)^2} + 2 \sum_{k=1}^n h_k \frac{d(k,x)}{\xi} \end{aligned} \quad (3-12)$$

通过以上分析, 网络分拨中心选址规划问题的数学模型为:

$$\begin{aligned} \min \quad & \bar{W}(M/G'(x)/s) + 2 \sum_{k=1}^n h_k \frac{d(k,x)}{\xi} \\ = \min \quad & \frac{1+c_G^2}{2} \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{\lambda s! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)^2} + 2 \sum_{k=1}^n h_k \frac{d(k,x)}{\xi} \end{aligned} \quad (3-13)$$

st. $x \in G$

3.2 网络运营优化问题的数学模型

3.2.1 问题描述与模型初步建立

在确定准分拨中心集后，需要进行路线优化、考察网点开启/关闭选择和业务范围制定方案的优劣性。本文以费用与营业额比值最低为目标，建立了广义关键费用/营业额比率模型。

公路快运企业具有下面两个突出特点：

1、服务强调时效性。目前市场上快运公司之间的竞争已转化为“时间”的竞争，原来的运输成本也过渡为包括时间价值在内的快运服务的成本。传统的成本费用核算方式以货币形式罗列各项作业成本要素，无法衡量快运服务产品重要属性“时间”的价值，因而无法实现对快运服务成本真正的量化考核。

2、快运企业的运营是以中转运输模式为基础的，网络规划的关键性金钱投入的方案差别点就在于运输费用和网点设置固定费用，以及在途时间。

因此针对快运服务的特点，提出广义关键费用，构建网络优化方案的关键成本费用/营业额模型，以满足市场经济环境下现代快运企业运作的需要。

一、广义费用

广义费用是指：“企业因生产经营活动和其他活动而发生的全部经济利益总流出”^[42]。本文提出的广义关键费用是关键性的金钱和时间费用相结合的综合费用。

一般的广义费用函数模型^[42]可用以下公式表示：

$$C(x) = \sum_{i=1}^n \theta_i \omega_i t_i(x) \quad (3-15)$$

st.

$$\sum_{i=1}^n \theta_i = 1, \quad \theta_i \geq 0;$$

$$\omega_i > 0$$

其中：

n 为广义费用中所考虑影响因素的个数；

$t_i(x)$ 为生产服务过程中产生的第 i 种费用的量, 其数值可根据实际情况按照相关规定或使用统计的方法得到;

θ_i 为权重系数, 并且满足模型约束;

$\omega_i > 0$ 为模型参数, 起量纲转化作用;

二、广义关键费用

1、快运业务流程分析

(1) 货物运输过程

快运企业服务的生产过程就是各个中间节点相互配合完成从货物受理至到达交付的全部运输过程。主要包括以下作业环节: 客户受理; 承运; 交付。

(2) 运到时限

货物运到时限对于公路快运企业即将货物从托运人送至收货人的“门到门”的时间。主要由以下几个部分组成: 货物始发站作业时间; 货物在途运行时间; 货物中转停留时间; 货物到达站作业时间。

2、快运服务的广义关键费用分析

按照会计制度, 广义费用具体到各个行业, 由于产品属性不同, 广义费用中的各个组成因素的定义和衡量是不同的。出于论文的目的是快运网络优化, 所以涉及的因素都是方案选择的差别关键点。

根据快运服务的特点, 将快运产品广义关键费用影响因素分为三大类: 一、快运货物运输在途耗费时间; 二、货物运输发生的直接金钱费用: 车辆固定费用和行驶里程或时间的变动费用; 三、网点设置的固定营业费用。

其基础数据来源主要有三个方面: 会计核算数据、工作量统计数据及其他数据。会计核算数据来源于具备通用会计核算系统标准的各运输方式的各级财务部门, 运营工作量数据主要来源于各类运营指标统计系统, 其他数据主要来源于专项调查及特殊规定。并且, 进行成本费用核算所需的若干大量基础数据, 在进入成本计算模型之前, 进行了有关的数据处理。这些处理主要包括: 一是数据本身的真实性、合理性及相互关系的审核; 二是与作业指标对应的作业支出科目分组处理; 三是所需的其它处理。

(1) 快运时间价值^[42]

快运企业的目标就是要通过快运服务生产获得最大的企业价值,而价值体现在合理设计不同快运产品类别为社会提供更好的服务,即企业通过各方面的考虑和核算,确定相对最合适的服务模式(包括径路选择、时间安排、最终收入等)。该价值可用服务获得效用与获得该效用所付出的全部费用之比来表示,应用价值工程的基本公式来表示:

$$V = \frac{F}{C} \quad (3-16)$$

其中 V 为价值, F 为功能, C 为费用。

上式表明快运企业所提供的某种服务产品是要基于对其价值考虑的,这一价值随着与功能成正比,与费用成反比。

如果只考虑付出的金钱费用,则产品价值对客户可以表示为:

$$V_c = \frac{\text{服务效用}}{\text{支付费用}} = \frac{F_c}{C_c} \quad (3-17)$$

将实际问题简化,认为客户支付费用等于企业获得收入,则对由快运企业和客户构成的整个系统来说,由式 3-16 和式 3-17 可得:

$$V = \frac{F_c}{C_c} = \frac{V_c}{I/V_i} \cdot C_c = V_c \cdot V_i \quad (3-18)$$

依据上式的推导结果,如果视整个系统的价值为一常量,则客户与企业的价值成反比,该结果对于普通的商品流通是说得过去的,但对于运输系统和快运企业却不完全符合事实,因为客户在选择快运产品时,必然要考虑时间因素,多少时间内能够把货送到是客户在托运时考虑的首要问题。客户与企业间不再是单纯的反比关系,分析时间的价值在成本费用计算中的作用举足轻重。

时间价值衡量方法:

对于快运企业,本文运用以效用最大理论为基础的非集合行为模型,来计算服务时间价值。根据随机效用理论,网络方案 i 的效用函数 U_{in} 可以表示为:

$$U_{in} = V_{in} + e_{in} \quad (3-19)$$

其中 V_{in} 是可以观测的效用函数的确定项, e_{in} 是不可观测的随机变动项;

V_{in} 本身包含的变量之间通常为线性关系,可以表示为:

$$V_{in} = \sum_{k=1}^K \theta_k X_{ink} \quad (3-20)$$

其中： K 是变量的个数， θ_k 是第 k 个变量所对应的参数， X_{ink} 是快运企业 n 第 i 个选择方案的第 k 个说明变量；

根据式 3-19 和 3-20 可得：

$$U_{in} = \sum_{k=1}^K \theta_k X_{ink} + e_{in} \quad (3-21)$$

由上式可知某种网络方案 i 对企业的效用并非确定值，而是一个随机数，它反映了这样一种可能性，即不同的网络规划方式的组合或者不同运输径路的组合，对于企业在不同服务中，其实际感受的效用是不同的。

这种随机性质效用的引入在理论研究上颇具优势，但是在实际应用中并非最实用的解决办法。如果通过路线优化模拟求出确定的时间费用值 $X_{时间}$ 和 $f_{时间}(x)$ ，将避免这一随机性质对方案决策的误差影响，会使整个研究方法和研究实用性大大提高。

(2) 快运服务直接金钱费用分析

①运输费用。在货物在途运输中，快运企业长途货运汽车费用等。

②仓储费用。由于存在不同运到时限的运输需求，货物始发、中转、终到站点各自运输计划亦有一定安排和限制，以及货物在途中可能需暂时存储，这些均会与车站或租用的库房发生费用。此费用按照库房收费规定和协商结果给定，仓储过程并保证货物的完整安全性，有特殊存放要求的货物应保证储存条件，相应支付附加收取的费用。

③取货、配送费用。铁路快运企业对发货人、收货人上门服务发生费用。当发货人、收货人详细地址处于铁路车站营业部覆盖地理范围之外，此时需租用其它形式(如邮政)网络进行配送，发生费用包括在取货、配送费用中。当使用铁路快运企业以外资源完成货物配送，快运企业须支付费用包括租用其他企业载重和运输工具费用，以及使用其他企业员工的报酬等。该类费用按照相关部门的收费规定、价目表协商后确定具体数。

对方案比较选择起关键性影响作用的金钱因素有运输费用和网点固定费用。

(3) 快运企业服务广义关键费用分析

由于不同的网络布局方案在时间、费用等方面具有不同的服务特性。定义某种方案对企业愿望满足的程度为该方案的效用，当快运企业选择一种方案满足的程度大于另外一种方案时，我们说前者的效用大于后者；反之则小于后者。为进一步定量描述效用大小，做出以下假定：

1) 快运企业是理性的，即快运企业总是希望选择具有最大效用的方案组织运输，即遵循效用最大的原则。

2) 运输过程中，快运企业零担业务全部采用中转模式经分拨中心来承担货物运输过程。快运服务水平最显著的关键性影响因素是货物在途时间和运输过程发生的金钱费用以及网点固定费用。

因此，快运企业广义关键费用问题可以这样描述：

将发货人和收货人具体位置简化为 i 点和 j 点，当一批货物从 i 点运达 j 点，采用运输路线方案 n 的中心定位，完成货物流量为 Q_n ，进行运输时：(中转模式下的 i 指的就是分拨中心，当网络办理站被关闭时将流量参数输入 0 值)

$$C_{ijn} = C_{P_{ijn}} + C_{t_{ijn}} \quad (3-22)$$

其中：

C_{ijn} 是货物从 i 点运到 j 点所采用的网络节点布局以及路线安排方案 n 的快运服务产品的广义关键费用；

$C_{P_{ijn}}$ 是货物从 i 点运到 j 点所采用的网络节点布局以及路线安排方案 n 的过程中发生的关键性单纯金钱费用，即运输费用和除分拨中心外的网点固定费用；

$C_{t_{ijn}}$ 是货物从 i 点运到 j 点所采用的网络节点布局以及路线安排方案 n 的过程中发生的关键性时间费用，即在途时间；

记 n_i 为快运网络上的一个节点，公路快运企业网点集合表示为 $N = \{n_i; i=1,2,\dots,n\}$ ，每个网点至少由一辆运输车次 A_i 来衔接，设置有 k 趟运输车次，车次 $N_i = \{n_1, \dots, n_j\}$ 表示停靠站序列，故 $N = N_1 \cup N_2 \cup \dots \cup N_k$ ，公路快运企业网点集合是全部运输车次停靠站集合的并集。

货物在网点间的运输过程统一使用运输车次信息表示为：

$$A_i = (I_i, N_i, D_i, T_i, L_i)$$

其中：

$I_i \in (1, 2, 3, \dots)$ 表示货物运输车此对应的车的编号；

$N_i = (n_1, \dots, n_j)$ 表示与车辆编号相对应的停靠站序列；

$D_i = \langle d_1, \dots, d_j \rangle$ 表示运输车次到达对应办理站 $N_i = (n_1, \dots, n_j)$ 的时刻序列；

$T_i = (t_1, \dots, t_j)$ 代表运输车次在沿途停靠站 $N_i = (n_1, \dots, n_j)$ 的停靠时分序列；

$L_i = (l_1, \dots, l_j)$ 表示 A_i 沿途停靠站 $N_i = (n_1, \dots, n_j)$ 距离上个货物网点的里程。

由于零担拼车中受货物流量大小的影响，路径安排会有直达的也有中转的，故：

直达径路表示为 $R_{V直} = \{ \langle n_i, A_{jr}, n_j \rangle \mid r = 1, \dots, k \}$ ；

中转账路集合，由两端网点 n_i, n_j 站间货物停留站组成中转账路表示为

$$R_{V中} = \{ \langle n_i, A_{j1}, n_{i+1}, A_{j2}, n_{j-1}, A_{j1}, n_j \rangle \}$$

设方案的响应时间（关键差别点在在途运行时间）为 T ，以其时间价值为时间费用的基本单位求解时间费用。发生的金钱费用关键差别点在于运输费用 P 。

因此，广义关键费用的数学模型初步建立如下：

已知快运服务网络中两点 i, j ，快运企业完成从 i 点（分拨中心）到 j 点的货物运送过程，根据上文分析，综合考虑金钱费用和时间的影响因素，快运服务网络的广义关键费用为：

$$C_{yn} = C_{p_{yn}} + C_{t_{yn}} = \theta_1 \omega_1 (p_{yn}) + \theta_2 \omega_2 (t_{yn}) \quad (3-23)$$

s.t.

$$\theta_1 + \theta_2 = 1 \quad \theta_1, \theta_2 > 0$$

其中：

θ_1, θ_2 是关键性金钱费用和关键性时间对于广义关键费用的影响权重系数；

$\omega_2(t_{yn})$, $\omega_1(p_{yn})$ 分别是服务过程中影响方案决策的关键时间和金钱进行量纲转化；

t_{yn} 是在途服务时间，包含车辆运输时间和中转休息、装卸搬运等时间；

p_{yn} 包含运输固定和变动费用以及除分拨中心外的网点固定费用两个方面。

(4) 快运企业服务广义关键费用/营业额比率分析

在上文有关广义关键费用问题详细阐述的基础上，我们提出了快运网络优化的广义关键费用营业额比率模型初步形式：

$$C_{yn}/ye = (C_{p_{yn}} + C_{t_{yn}})/ye = (\theta_1\omega_1(p_{yn}) + \theta_2\omega_2(t_{yn}))/ye \quad (3-24)$$

其中， ye 是广义关键费用对应的相应货物运输任务的营业额。

下面就广义关键费用模型各个部分详细介绍如下：

3.2.2 权重系数确定

式 (3-24) 中系数 θ_1, θ_2 ，是快运企业给予某种服务属性的权重，反映快运企业对该种服务属性的重视程度。对客户而言，是将金钱费用和时间作为评价对象，对其重要性做出判断。快运企业可对服务时间要求和成本要求之间的重要性关系数据，得出服务属性重要性关系的判断矩阵，运用层次分析法^[44]得出整体评价，求得广义费用公式中的权重系数。其计算过程为：

采用分析历史统计数据、开展客户座谈等方式，采集相关客户对于两种服务属性之间重要性关系的数据，经过整理得到评价矩阵 A ：

$$A = |a_{ij}| \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (3-25)$$

将评价矩阵 A 的每一列归一化，得到判断矩阵 \bar{A} ：

$$\bar{A} = |\bar{a}_{ij}| = \left| \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \right| \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (3-26)$$

判断矩阵 \bar{A} 按行相加，得到矩阵 $\bar{\omega}_i$ ：

$$\bar{\omega}_i = \left| \sum_{j=1}^n a_{ij} \right| \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (3-27)$$

对矩阵 $\bar{\omega}_i$ 归一化处理, 得到最大特征值对应的特征向量

$$\omega_i = \frac{\bar{\omega}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{\omega}_j} \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (3-28)$$

上式证明可以用来表示各服务属性的权重, 在进行广义关键费用的详细计算时可用来确定 θ_1, θ_2 的具数值。

3.2.3 关键性金钱费用计算

研究关键性金钱费用 $\omega_1(p_{jm})$, 需要建立车辆路线优化问题数学模型, 以此得到 $\omega_1(p_{jm})$ 的有关运输费用, 再在运输费用基础上加上各网点运营固定费用 $n\bar{f}$ 就得到了 $\omega_1(p_{jm})$ 的全部解。

一、快运企业运营模式与约束条件分析

本文假设快运企业运营模式特点为:

①车辆运输由分拨中心统一安排车辆, 统一在运输中心结算, 所以所有车辆要从分拨中心出发, 最后返回分拨中心;

②服务网点开启/关闭可以变化;

③运输货物流量, 即业务范围可以变化, 并且波动较大;

④运输的货物种类每天都会有很大变化, 很多货物是不规则货物;

⑤可能出现运输点运输量超过车辆容量的情况, 所以对运输点的服务可能大于一次;

⑥由于零担运输公司自身资金有限, 不可能自己拥有充足车辆, 主要以使用社会车辆为主, 所以经常同时使用多种类型的车辆, 并且车辆数不固定;

⑦由于考虑车辆装载率问题, 车辆采用集货和送货一体化运行方式。

对于④, 由于运输货物为零担货物, 货物通常按“件”计算, 货物形状、包装都不统一, 无法计算装车货物的体积, 所以每次运输前需要根据一定的关系换算为统一体积, 经过换算后可以将货物视为同一类型货物

结合问题的实际背景，约束条件为：

①运输服务必须满足一定的时间限制，所有客户服务时间必须早于公司承诺的服务时间上限；

②由于客户的需求不是固定的，每天的运输任务不同，所以所需车辆数的多少应该算法外部输入可控，是动态的而不是确定的；

③由于快运公司以租用社会车辆进行运输为主，所以本模型是多种车型搭配使用问题；

④每个运输点保证至少被访问一次，但对于货量超出最大车辆容量限制的运输点，允许多次服务；

⑤车辆都有容量限制，每条线路的运输量不能超出车辆的容量上限；

⑥路线的运输总时间不能超过车辆的时间上限；

⑦车辆从运输中心出发，沿运输路线完成运输任务后回到运输中心。

为简化模型，我们作以下松弛约束条件假设：

①由于公司承诺的完成运输服务的时间限值比较高，一般不会出现超出时间限值情况，同时零担货物运输的客户大多没有时间要求，所以这些运输点都可以视为没有时间窗口要求。保证在企业承诺的时间段（24 小时）内运输，如果违反了客户的时间窗口则乘以相应的惩罚因子，惩罚成本计入总成本；

②货物经过体积换算后，我们认为货物没有差别，只根据体积计算；

③车辆运输路线允许多次经过同一运输网点，允许路线局部重复和交叉；

④假设运输中心的运输能力是充足的；

⑤简化车辆类型复杂程度，假设所有车辆的固定成本相同，以 9.6m 中型车为基准。

一般来讲，当问题的约束越多，组织线路就越难，一辆车所完成的满足所有约束的任务就越少，这时，一辆车实际所能容纳的任务量要小，而所用的车辆数可能要多的车辆数。为了使线路安排具有一定的弹性，可预先估计一个完成任务所需车辆数 m ：

$$m = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^I g_i}{\partial q} \right\rceil + 1 \quad (3-29)$$

m 正是根据总的货物流量估算出来的车辆数。

但是, 我们将要采用的数学模型和研究算法都是不需事先固定车辆数 m 的, m 是算法的外部可控参数。具体见下面章节中有关遗传算法实际应用中的染色体构造。在算法计算过程中, 如果计算结果不能满足时间窗约束的 (不能在24小时完成), 可加大 m 数值, 反复进行, 找到最小的 m 值, 从而在相应的 m 染色体个数下, 进行优化求解, 找到最小的车辆数能完成的里程最优的线路安排。

而且, 我们研究的这个实际的问题经分析可以归入集货和送货一体化车辆优化调度问题。如果一些货物运输任务的每一项都有自己的集货点和送货点, 要求车辆在一定的集货点装货后运至一定的送货点卸货, 即所有任务不是纯装纯卸, 而是既有装又有卸, 即为装货和送货一体化的车辆调度问题。

在路线构造过程中, 如果货运任务有 $\frac{1}{2}q < g_i < q$, 这时不同的任务难于用一辆车来运输, 只能考虑单项运输; 如果货运任务的货运量不超过车辆容量的二分之一, 即 $g_i \leq \frac{1}{2}q$, 这时如果每项任务安排一辆车, 则车辆不满载率较高, 造成车辆利用率不高, 这时可考虑将几项任务合起来用一辆车运输 (货物可混装), 即实行组合运输, 一辆车顺次在几个集货点卸货, 然后再分别到几个送货点装货。

二、车辆路线优化数学模型

快运车辆路线优化问题的优化目标为:

1、在规定的时间内使确定的服务网点得到服务;

2、车辆总行程时间(距离)相关的变动费用和所用的车辆数相关的固定费用和最小。

联系实际的具体的快运中转模式, 集货和送货一体化的车辆优化调度问题^[40]可描述为: 有 l 项货物运输任务, 每项任务有自己的集货点和送货点, 已知任务 i 要求在卸货点 u_i 卸货, 然后运行到送货点 v_i 装货 (大部分情况下, u_i 和 v_i 指得是同一个网点, 但在图的模型构造中编号不同, 以虚拟点的形式标识装货点), 货运量为 g_i 。这些任务由车场发出的车辆来完成, 车辆容量为 q , 已知 $g_i < q$, 如何确定车辆行驶线路, 使总费用最少 (里程相关的变动费用与车辆数相关的固定费用和)。

设 $G=(V,E)$ 是一个连通网络, V 是顶点集 (包含 l 个网点和分拨中心 0),

E 是(无向)边集——运行时间。网络中的货物流量流向信息利用供求矩阵来表示, l 个顶点, 供需矩阵 $\Delta = (\delta_{ij})_{i,j}$, $\delta_{ij} \geq 0$, 表示 i 到 j 的货运流量, 以多维数组表示。 Δ 的下三角和上三角, 分别为卸货和装货流量任务。在同一条路线的构造过程中, 每到一个客户点就进行一次卸货与装货的动作, 依据 Δ 中相应于此客户点的卸货、装货信息, 不断的判断在发生卸、装货后的车辆装载量, 以不超出车载容量并且大于半车为约束, 求包含所有客户点的最优行车路线, 目标函数见下:

将分拨中心编号为 0, 网点编号为 $1, \dots, l$, 网点与分拨中心均以点 i ($i=0, \dots, l$) 来表示。

定义变量为:

$y_{ik} = 1$ (点 i 的任务由车辆 k 完成), $y_{ik} = 0$ (否则);

$x_{ijk} = 1$ (车辆 k 从点 i 行驶到点 j), $x_{ijk} = 0$ (否则);

m 为车辆数;

g_i 为网点 i 的货物流量, 由于问题是集货送货一体化过程, 所以 g_i 为网点 i 集货量和送货量较大的那个数值, 只要满足较大值约束, 对于集、送的约束就都可以满足;

q_i 为第 i 种车型的装载量; q 为最大的车载容量。

得到快运网络车辆路线优化数学模型如下:

$$\min z = \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m c_{ij} x_{ijk} \quad (3-30)$$

s. t.

$$0.5q \leq \sum_{i=1}^l g_i y_{ik} \leq q, \quad k=1, 2, \dots, m \quad q = \max\{q_1, q_2, \dots\} \quad (3-31)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1, \quad i=1, 2, \dots, l \quad (3-32)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = m \quad (3-33)$$

$$\sum_{i=0}^l x_{jk} = y_{jk}, \quad j=1,2,\dots,l; k=1,2,\dots,m \quad (3-34)$$

$$\sum_{j=0}^l x_{jk} = y_{jk}, \quad j=1,2,\dots,l; k=1,2,\dots,m \quad (3-35)$$

$$x_{jk} = 0 \text{ 或 } 1, \quad i, j = 0,1,2,\dots,l; k = 1,2,\dots,m \quad (3-36)$$

模型中 c_y 表示从点 i 到点 j 的运输成本，同时考虑车辆数和行驶里程。

$$c_y = c_0 + c_1 * t_y \quad (3-37)$$

c_0 是车辆固定费用， c_1 是相对于运行时间的费用系数。

车辆固定费用计量依据：养路费，规费，保险费，司机工资，维修费，配件费用，折旧费用，轮胎费用，管理费用，其他等。

相对于运行时间的费用系数计量依据：燃油费和过路过桥费。 c_1 为单位时间相关的平均数值， t_y 是由全部在途运行时间减去装卸搬运和休息的时间。

式3-30表示费用极小；式3-31表示车辆 k 承担的任务量之和不大于最大容积车辆的容量限制，也不小于最大容积车辆的0.5倍容量限制；式3-32表示任务 i 只能由一辆车来完成，式3-33表示由车场发出 m 辆车来完成，式3-34和式3-35表示两个变量之间的关系，3-36为变量取值约束。

至此，本节对研究的车辆运输问题进行了详细描述和分析，分析了该问题的基本特点和求解目标。然后，针对研究的问题模型通过分析其特点、约束条件、松弛条件和优化目标建立问题的数学模型

三、关键性金钱费用

在车辆路线优化的基础上综合考虑到网点设置的固定费用 f ，就可以得到关键性金钱费用：

$$\omega_1(p_{yn}) = z = \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m c_{ij} x_{ijk} + n * \bar{f} \quad (3-38)$$

其中 $x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{表示货物从网点 } i \text{ 到 } j \text{ 网点的运送过程由车 } k \text{ 完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$

n 表示除分拨中心外开启了网点的总数；

\bar{f} 表示网点设置的平均固定成本，由调研取得；

c_y 表示从点 i 到点 j 的运输成本，同时考虑车辆数和行驶里程；

故目标函数 $\omega_1(p_{ym})$ 为：

$$\omega_1(p_{ym}) = \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m c_{ij} x_{ijk} + n \cdot \bar{f} = \sum_{i=0}^l \sum_{i=0}^l \sum_{k=0}^m (c_0 + c_1 * t_{ij}) x_{ijk} + n \bar{f} \quad (3-39)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^l g_i y_{ik} \leq q, \quad k=1,2,\dots,m \quad q = \max\{q_1, q_2, \dots\} \quad (3-40)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1, \quad i=1,2,\dots,l \quad (3-41)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = m \quad (3-42)$$

$$\sum_{i=0}^l x_{ijk} = y_{jk}, \quad j=1,2,\dots,l; k=1,2,\dots,m \quad (3-43)$$

$$\sum_{j=0}^l x_{ijk} = y_{ik}, \quad j=1,2,\dots,l; k=1,2,\dots,m \quad (3-44)$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ 或 } 1, \quad i, j = 0,1,2,\dots,l; k=1,2,\dots,m \quad (3-45)$$

3.2.4 时间费用计算

假定货物运输的时间价值与企业支付的费用相当，根据这些费用，可以估算运输时间节约给公司带来的额外产值。时间价值是为运输某种货物所节约的时间而支付货币的界限值。

假定在始发网点 n_i 和终到网点 n_j 之间，当长途运输只采用中转运输方式时使用的运输时间为 T ，发生金钱费用为 P 。

定义基本时间价值 λ^* 为：
$$\lambda^* = \frac{\theta_P}{\theta_T} \quad (3-46)$$

货物从始发网点 n_i 和终到网点 n_j 运送过程中可能经过多种运输路径，经过多

种中转网点，当采用方案 n 时，有：

$$\lambda_n^* = \frac{\theta_{nP}}{\theta_{nR}} \quad (3-47)$$

该时间价值根据其计算方法，可以解释为运输方案在单位时间内支出的费用，则可进一步定义运输方案 n 的时间费用为运输方案 n 的时间价值与基本时间价值的差值与运输方案关键影响时间因素在途时间 t_{yn} 的乘积，则有：

$$\omega_2(t_{yn}) = (\lambda_n - \lambda^*) \cdot t_{yn} \quad (3-48)$$

其中 t_{yn} 为运输方案 n 的货物全部在途时间， $t_{yn} = t_{运输} + t_{停留}$

3.2.5 广义关键费用/营业额模型计算

通过以上广义关键费用模型的分析，快运企业服务网络中任两点间快运服务的广义关键费用可以表示为：

$$\begin{aligned} C_{yn} &= \theta_1 \omega_1(p_{yn}) + \theta_2 \omega_2(t_{yn}) \\ &= \theta_1 \left[\sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m (c_0 + c_1 * t_{ij}) x_{ijk} + n \cdot \bar{f} \right] + \theta_2 [(\lambda_n - \lambda^*) \cdot t_{yn}] \end{aligned} \quad (3-49)$$

然而，在实际应用中比较网络优化过程中网点设置和业务范围制定的情况下，要同时关注营业额与成本费用，这就需要以广义关键费用营业额比率最小为目标，因此建立广义关键费用/营业额数学模型为：

$$\begin{aligned} C_{yn} / ye &= (\theta_1 \omega_1(p_{yn}) + \theta_2 \omega_2(t_{yn})) / ye \\ &= \left(\theta_1 \left[\sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m (c_0 + c_1 * t_{ij}) x_{ijk} + n \cdot \bar{f} \right] + \theta_2 [(\lambda_n - \lambda^*) \cdot t_{yn}] \right) / ye \end{aligned} \quad (3-50)$$

对于每个方案，广义关键费用/营业额模型中涉及到的各个参数，可以根据几个步骤计算得到：

第一步：通过行业分析和客户调研可以确定权重系数 θ_1 和 θ_2 的数值；

第二步：通过调研统计，我们可以得到具体应用中车辆固定费用和变动费用的参数 c_0 和 c_1 的数值，以及网点开启的平均固定费用 \bar{f} ；

第三步：针对每个特定方案，可以得到确定的网点布局信息，取得 n 值；

第四步：基于启发式遗传算法求解中心定位候选集；

第五步：基于启发式遗传算法求解不同方案下确定中心定位下的车辆路线优化过程，从而计算出方案 n 的 $t_y, t_y x_{yk}, \lambda_n, t_{yk}$ ，取接近目前状况的方案为 λ^* 。

第六步：比较各个方案的 C_{yn}/ye ，确定快运企业中心定位、车辆路线安排以及网点设置和业务范围网络优化方案。

第四章 基于遗传算法的快运网络优化问题求解

4.1 遗传算法简介

遗传算法是一类借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机搜索算法,它由美国 Holland 教授首先在《自然结合人工智能系统的适应性》一书中提出,是利用生物进化的特性所发展的方法,由一群群体(Population)以随机配对产生下一代,利用交叉(Crossover)及变异(Mutation)等操作进行基因的进化。并经由选择(Selection)机能决定下一代相对的个数,使适应度越大的解存活的机会越大;也就是“适者生存”的原则来选择随机的值域,最后留下的就是最优解^[46]。尽管这种自适应寻优技术可用来处理复杂的线性、非线性问题,但它的工作机理十分简单。

1. 遗传算法的基本步骤和处理流程

遗传算法的主要处理步骤是:首先构造满足约束条件的染色体。编码的目的主要是使优化问题解的表现形式适合于遗传算法中的遗传运算。实际问题的染色体有多种编码方式,染色体编码方式的选取应尽可能的符合问题约束,否则将影响计算效率。第二是随机产生初始群体。初始群体群体的染色体数量应适当选择。第三是是适应度函数的构造和应用,计算每个染色体适应度。适应度函数基本上依据问题的目标函数而定,是反映染色体优劣的唯一指标,遗传算法就是要寻得适应度最大的染色体。当适应度函数确定以后,复制是以适应度函数值的大小决定的概率分布来确定哪些染色体适应生存,哪些被淘汰。第四是染色体的交叉。父代的遗传基因的结合是通过父代染色体之间的交叉并到达下一代个体的。子代的产生是一个生殖过程,它产生了一个新解;最后是变异,新解产生过程中可能产生基因变异,变异使某些解的编码发生变化,使解有更大的遍历性。

2. 自然数编码

遗传算法自提出后,许多专家在机理研究和应用研究方面做了大量的工作。其中J. Holland的模式理论定性的分析了遗传算法的全局收敛性,奠定了遗传算法的理论基础。因为VSP是基于序的,Goldberg, Holland, Bertoni和Dorigo等

发现利用自然数编码来解决某些组合优化问题(如旅行商问题、列车占线问题、Job-shop问题等)具有更高的效率。

3. 适应度函数

遗传算法遵循自然界优胜劣汰的原则, 在进行搜索中基本上不用外部信息, 而是用适应度表示个体的优劣, 作为遗传算法操作的依据。个体的适应度高, 被选择的概率就高, 反之, 被选择的概率就底。适应度函数是用来区分群体中个体好坏的标准, 是算法演化过程的驱动力, 是进行自然选择的唯一依据。改变群体内部结构的操作都是通过适应度加以控制。在具体应用中, 适应度函数的设计要结合求解问题本身的要求而定。

4. 遗传算法的基因操作

1) 选择算子

发展各种复制算子的目的是为了避开基因缺失, 提高全局收敛性和效率。复制算子策略与编码方式无关, 复制的主要思想是染色体的复制概率正比于其适应度。

2) 交叉算子

交叉算子的作用是组合出新的个体, 在串空间进行有效搜索, 同时须降低对有效模式的破坏概率。交叉算子是遗传算法区别于其他进化算法的重要特征。在交叉算子之前需首先配对, 目前采用的是随机配对。采用二进制编码、实数编码和自然数编码时所采用的交叉策略不一样。

3) 变异算子

当交叉算子产生的后代的适应度不在比前辈好又未达到最优解, 就会产生不成熟收敛, 不成熟收敛的根源是发生了有效基因缺失, 这时, 为克服这种情况, 只有依赖于变异。变异在遗传算法中的作用是第二位的。

5. 遗传算法控制参数设定

遗传算法中需要选择的参数主要有染色体长度、群体规模、交叉率和变异率等, 这些参数对GA性能影响很大。由于控制参数会相互影响, 所以无法确定独立的最佳参数值, 但当种群规模小时可选择较大的交叉及变异率以防止过早收敛; 当群体规模大时可选择较小交叉及变异率以节省运算时间。

由于遗传算法具有良好的全局搜索能力, 良好的容错能力, 良好适应性, 因

此遗传算法用于解决条件复杂的组合优化问题具有得天独厚的条件。网络分拨中心定位问题和车辆路线问题都是数据复杂的组合优化问题,国内外很多学者已经将遗传算法用于求解该问题,并陆续产生了很多不断改进的遗传算法,取得了较高的精度和效率。

本文研究的课题来源于实际应用,所以求解要兼顾效率和精度,遗传算法比其他人工智能方法能更好的兼顾这两方面,所以本文采用遗传算法作为主要方法来解决快运企业网络优化问题。

4.2 网络分拨中心准候选集规划问题的求解

本文采用遗传算法用于寻找 M/G/s SQM 模型的近似全局最优解。遗传算法介绍在上一章已作详细介绍,本章仅对分拨中心应用的特殊部分介绍如下。

1. 染色体构造

由于本文分拨中心定位在网络上弧 (i, j) 上的某一点上,故采用一个 $0 \rightarrow 9.999$ 的保留三位小数的实数来构造染色体。染色体代表的含义是:整数部分为被选定路径的一个端点 i ,第一位小数为另一端点 j ,最后两位小数代表分拨中心与端点 i 的距离。如 5.203 表示分拨中心 x 定位在网络节点 5 和 2 之间,同时距离点 5 有 3 公里远。

2. 种群初始化:

初始解按如下方法产生:

第一步:随机选择一条边 $(i, j) \in E$, 以实数 x 来代表,即在 $[0, 9.999]$ 上产生一个随机实数 x ;

第二步:令 x 为一个初始解;

第三步:重复 1 \rightarrow 2 步,共 pop_size 次。

3. 适应值函数

将目标函数 (3-13) 式作为适应值函数。

4 运行参数

经反复试验,确定本文分拨中心优化遗传算法运行参数值为:种群大小

$pop_size=1000$, 最大迭代数 $max_gen=50$, 交叉概率 $p_c=0.6$, 变异概率 $p_m=0.001$ 等。

5. 算法流程

第 1 步: 初始化, 包括: 计算网络中所有对点间的最短距离、设置环境参数 $gen=0$ 、产生初始种群并计算初始种群中个体的适应值;

第 2 步: 按轮盘赌原理进行选择操作。

第 3 步: 交叉操作。

第 4 步: 变异操作, 得到新一代种群。

第 5 步: 计算新种群中个体的适应值, 并将当前最佳个体放入下一代种群。

第 6 步: 令 $gen \leftarrow gen+1$, 如果 $gen > max_gen$, 停止; 否则, 转第 2 步。

4.3 网络运营优化问题的求解

4.3.1 求解基本思路

针对快运企业网络优化车辆路线安排问题的基本特征, 本文采取以下对策:

(1) 当运输量超过单位车容量时, 首先检索出这些任务点, 对这些任务点用一辆或多辆车直接进行运输, 直到该点剩余的运输任务小于单位车容量为止, 然后让该点剩余的运输任务与其余车辆一起进行路线排序。

定理: 若存在客户点的需求大于单车辆容量时, 某车辆 k 从始点出发经过该点到达终点所行走的最短路径长度(或成本)优于多个车辆共同服务该点所行走的路径长度(或成本)。

(2) 针对多种车型使用的情况, 除了正好整车以外, 我们规定优先选择容量大的车。我们假定所有车辆的车辆成本都是一样的, 减少车辆数可以减少车辆初成本, 所以我们优先选用大车。

(3) 针对运输点分散不固定难以确定坐标的问题, 本文采用事先货物流量确定输入的方法, 事后比较成本与营业额的关系, 决定网点设置(开启与关闭, 业务量), 所以在单独的路由规划中是需求确定型。

(4) 对企业承诺的时间要求, 本文在生成初始方案时, 暂不考虑, 路线方案

完成后, 检查的方案是否满足时间要求, 如果满足方案就是最后方案, 如果不满足, 调整车辆数染色体个数, 直到满足客户的时间要求。

因此本文的基本思路是, 首先根据路况以及装卸时间和休息时间, 确定了网络内的广义速度, 构建了符合实际情况的图的网络模型; 然后确定每次运输计划的运输任务, 包括确定网点设置和各网点货物运输流量, 其中对货物进行体积换算确定运输总货量; 然后采用遗传算法, 先设定一个较小的车辆数 m , 构造 m 个染色体, 进行优化求解, 再对初始方案进行调整, 最小用时的方案还是大于 24 小时的话, 增加车辆数 m ; 最终, 通过改变网点设置和业务范围, 对比费用/营业额比例, 检查网络设置是否合理。在不同的网点设置和业务范围方案下, 最优的线路构造表现就不同, 带来的运输成本和营业额也都不同, 从而可以利用算法进行决策模拟, 权衡压货与增加运力的关系, 制定网点设置和业务范围战略规划。

4.3.2 遗传算法设计

1. 染色体编码

染色体采用自然数编码。将 $m-1$ 个自然数转换成二进制, 把二进制数值的各位进行相应累加, 得到一个序列, 此序列代表编码形式, 代表一个线路安排方案。序列每一位的位置代表网点顺序编号, 每一位的数字代表了分配给此网点的车辆编号, 从而得到路线安排方案。其中, 网点的个数决定了序列的长度, 也就决定了二进制数的位数, 同时决定了自然数的取值范围。

例如, 某个网络有 20 个网点, 我们需要一个 20 位的序列, 从而以此代表车辆路线安排方案。这个 20 位的序列正是由 $m-1$ 个自然数转换而成的二进制数各位相加得到的。因此取自然数范围为 0 到 524287。最小值转换而来的二进制数为 00000000000000000000; 最大值转换而来的二进制数为 01111111111111111111。

例如一组自然数: ($m=15$)

418622, 237644, 325562, 113844, 321015, 366015, 481676, 515376, 377172, 12909, 341420, 267044, 222786, 213768

分别转化为二进制, 将各个相应位相加, 得到序列: 0, 9, 6, 9, 7, 8, 8, 8, 3, 7, 6, 10, 6, 5, 9, 7, 8, 10, 5, 3。其在程序中放在数组 Resultjieguo[20] 加以记录, 以便后续适应度函数的计算。另外 m 在程序中以 CHE 作为可调整参数。

序列顺序对应了网点编号，两者关系表示如表4-1所示：

表4-1序列顺序与网点编号的对应关系

网点编号	Resultjieguo	网点编号	Resultjieguo
1	0	11	6
2	9	12	10
3	6	13	6
4	9	14	5
5	7	15	9
6	8	16	7
7	8	17	8
8	8	18	10
9	3	19	5
10	7	20	3

意义解释为：1就是中心，可固定序列第一位为0。路线安排从车1开始，另外，例如1和2在序列中没有出现，即没有编号为1和2的车的任务，不参与线路组成。则安排有网点任务的车辆编号对应路线有：

子路径车9：网点2，网点4，网点15；

子路径车3：网点9，网点20；

.....

m 是算法的外部可控参数。在算法计算过程中，如果计算结果不能满足时间窗约束的（不能在24小时完成），可加大 m 数值，反复进行，找到最小的 m 值，从而以相应的 $m-1$ 个自然数转化而来的序列构造染色体，进行优化求解，找到最小的车辆数能完成的里程最优的线路安排。

这种染色体结构子路径内部是有序的，隐含在适应度的计算过程之中，每次都先进行各个子路径内网点排序的优化过程，选择最佳的顺序进行适应度计算；而子路径之间是无序的，若子路径1和2相互交换位置，却不改变目标函数的值。

2. 约束处理

1) 装载约束的处理：

$$\min z = \begin{cases} \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=1}^m c_{ij} x_{ijk} + n\bar{f} \\ M \end{cases} \quad (4-1)$$

当单个车辆的累计容量 $q_i > q$ 或 $q_i < 0.5q$ 时，将适应度函数相应的 z 部分附

值为极大 M ，来表示若解违反容量约束处以的惩罚值。为了严格控制约束，应有 $M \rightarrow \infty$ 。但考虑计算机处理的不便， M 可取一个适当大的正数。

2) 时间窗约束的处理:

没有像装载约束来引入惩罚因子来处理，而是通过变动 m 数值，调整车数量，来考察算法结果输出的时间纪录。只要用时最多的路线小于24小时，就是寻找目标值最小的方案群，在固定下来的 m 值下，寻找使目标函数值最小的染色体。

3. 适应度函数

适应度函数要求以最小值为目标，而描述网络优化的数学模型正是以最小值为目标，故问题的目标函数就是遗传算法的适应度函数。

$$\begin{aligned} \text{Eval} &= C_{ym} / ye = (\theta_1 \omega_1 (p_{ym}) + \theta_2 \omega_2 (t_{ym})) / ye \\ &= \left(\theta_1 \left[\sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m (c_0 + c_1 * t_{ij}) x_{yjk} + n \cdot \bar{f} \right] + \theta_2 [(\lambda_n - \lambda^*) \cdot t_{ym}] \right) / ye \quad (4-2) \end{aligned}$$

4. 初始群体产生

随机产生 $m-1$ 自然数，构成染色体。共 pop_size 次。

5. 遗传算子及控制参数设计

种群大小: $pop_size = 1000$

最大迭代次数: $max_gen = 50$

杂交概率: $p_c = 0.6$

变异概率: $p_m = 0.001$

以上数值都是在实例模拟中反复实验得到的。

6. 程序简介

程序是以C语言编写的，用矢量 P 表示种群:

$$P(t) = \langle X_1(t), X_2(t), \dots, X_N(t) \rangle$$

初始种群 $P(0)$ 是随机产生的，在每一代种群 P 中，所有染色体 x_i 共同构成、代表问题的一个潜在的解，经过译码解释，然后计算对应的适应度函数值，进行染色体优劣评定。有的个体要尽力称作遗传操作的随机变换，如交叉操作和变异操作，由此产生新个体，新产生的个体继续被评价优劣。父代种群 $P(t)$ 经过选择

算子的计算产生种群 $P(t+1)$ 。若干代后，算法收敛道一个最优个体，该个体很有可能代表着问题的最优或次优解。

遗传算法的过程为：

```

Begin
     $t \leftarrow 0$ 
    初始化 $P(0)$ 
    评价 $P(0)$ 
    While (终止条件不满足) do
        Begin
            重组 $P(t)$  以产生 $C(t)$ 
            评价 $C(t)$ 
            从 $P(t)$  和 $C(t)$  中选择 $P(t+1)$ 
             $t \leftarrow t+1$ 
        End
    End
End

```

程序关键内容和主要步骤简介如下：

文件“init.c”包含了初始化程序，产生初始种群；文件“generate.c”包含了多个步骤：选择，交叉，变异，以及其他数据处理或适应度计算过程。因此，文件“generate.c”中又调用了文件“select.c”，“mutate.c”，“cross.c”，“eval.c”。在完成程序的过程中还会再调用到其他文件，如记录最佳染色体个体的“best.c”，以及其他“define.h”，以及可执行文件“setup.exe”进行参数设置等等。

在运行整个程序的过程中，我们首先需要利用makefiles文件进行连接、编译，其次要先运行可执行文件setup.exe，输入程序涉及到的外部参数：

- the suffix for file names []:输入将要生成的所有文件的后缀；
- Floating point representation [y]:输入y则指定按照实数编码；
- number of genes:输入染色体个数；

- min of genes:输入染色体最小值;
- max of genes:输入染色体最大值;
- format string:指定MIN文件输出形式;
- the number of experiments [1]:输入我们需要进行的反复计算的次数;
- the number of trials per experiment [1000]:输入最大的试验次数;
- the population size [50]:输入种群大小;
- the length of the structures in bits [30]:输入染色体结构的最大字节;
- the crossover rate [0.60]:输入交叉概率;
- the mutation rate [0.001]:输入变异概率;
-

生成文件templat用来记录染色体基因个数 $m-1$, 自然数基因的最大值, 最小值, 算法计算结果中最优秀的染色体输出形式; 生成文件IN用来记录算法运行参数, 如试验次数, 种群大小, 交叉概率以及变异概率等。

然后再运行已经编译好的GA.EXE文件, 即可完成程序的全部过程, 得到记录文件MIN等, MIN文件记录了进化群体优劣淘汰后的最佳染色体。在程序计算过程中数组Resultjieguo记录了 $m-1$ 个自然数染色体对应的 k 个实数序列, 此序列正代表了路线方案, k 为网点数量; 数组liuliang2记录了方案中每辆车的装载量; 数组jieguobj记录了每辆车的运行时间。详细运行过程见实例演示。

4.3.3 实例验证—车辆路线优化结果比较

为了验证车辆路线的优化效果并与实际人工方案进行比较, 目标函数只涉及广义关键费用中的运输费用/营业额比率指标, 在第五章的网络优化实例中, 则采用完整的广义关键费用/营业额指标。

1. 数据准备

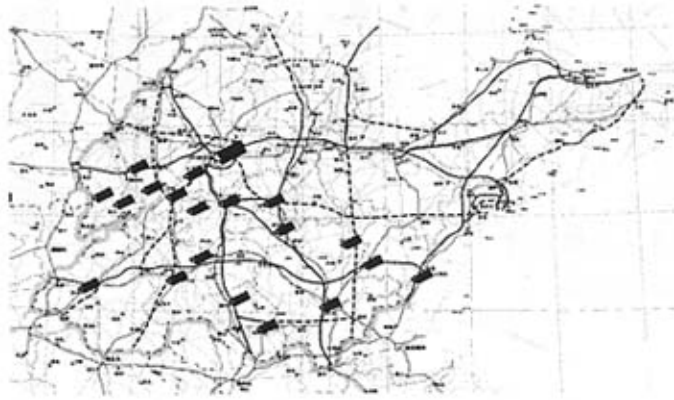


图 4-1 山东省网络的实例中的网点应用范围

在某快运企业，济南分拨中心营运中心只有散货过程的流量信息数据，而且由于济南的货物主要是外流型的，流量矩阵 Δ 的上三角部分表示的其他网点回流济南的货物流量大大小于散货货流量，故 Δ 上三角部分的信息对于边卸边装过程中的装载约束没有影响，在此忽略不计。

以此企业在山东省半个网络的流量信息进行实例验证，范围如上图标示。确定流量矩阵 Δ 的下三角部分货物流量如表 4-2 所示：

表中以 11 月 24 日数据为标杆，标绿色背景是为强调货流量的变化，不含压货信息（除最后一列：8 月 26 日的压货量，某快运企业无法查验历史上每天的压货，只有当天的压货信息）。其中“4.2m”表示 $4.2 \times 2 \times 2 = 16.4$ 立方米的货，本文以下表格此类数据解释均类同于此。

表 4-2 山东省实例范围的货物流量信息

起点	终点	终点 编号	11.24 流量	10.25 流量	12.26 流量	9.28 流量	8.26 流量	8.26 实际
济南	长清	2	4.2m	4.2m	4.2m	4.2m	0	1.6m
济南	聊城	3	8.7m	8.0m	8.7m	8.7m	5.2m	
济南	莘县	4	2.0m	2.0m	2.0m	2.0m	0	1.0m
济南	东阿	5	2.0m	2.0m	2.0m	2.0m	0	1.0m
济南	阳谷	6	2.0m	2.0m	2.0m	2.0m	0	1.0m
济南	平阴	7	2.0m	2.0m	2.0m	2.0m	0	0.8m
济南	肥城	8	2.2m	2.2m	2.2m	2.2m	0	0.8m
济南	泰安	9	7.2m	7.2m	7.2m	7.2m	7.2m	
济南	莱芜	10	5.8m	4.0m	5.8m	5.8m	5.8m	
济南	新泰	11	3.8m	2.0m	3.8m	3.8m	3.8m	
济南	沂水	12	1.5m	1.5m	1.5m	1.0m	1.5m	
济南	临沂	13	9.6m	9.6m	9.6m	5.2m	9.6m	
济南	枣庄	14	9.6m	9.6m	9.6m	9.6m	5.4m	

济南	滕州	15	3.9m	4.0m	4.0m	5.5m	3.2m	
济南	济宁	16	9.6m	9.6m	9.6m	18.3m	22.4m	
济南	兖州	17	5.7m	4.0m	4.0m	7.2m	4.0m	
济南	菏泽	18	9.6m	12.8m	19.0m	22.4m	12.8m	
济南	莒县	19	1.0m	1.0m	1.0m	1.2m	1.0m	
济南	日照	20	7.0m	7.0m	7.0m	5.0m	7.2m	

2. 数学模型及算法参数设定

首先，图解模型为：

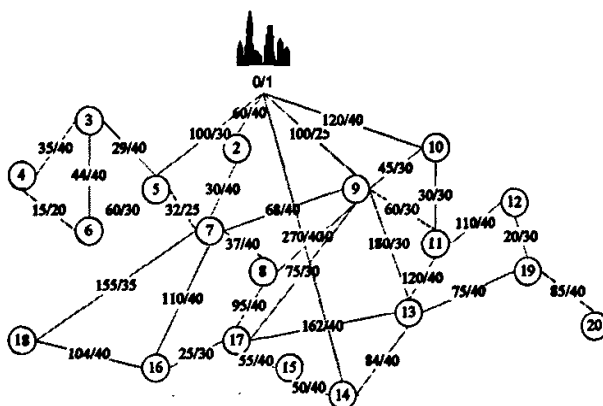


图 4-2 山东省实例范围图解模型

线上标明的是调研得到的实际里程/广义速度=在途时间。（广义速度即考虑了所有运行时间因素，如装卸搬运、休息等待等。）

所有调研的里程数据见附录二详细介绍。

再次，明确该问题的目标函数：

$$\min z = \left(\sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m c_{ij} x_{ijk} \right) / ye \quad (4-3)$$

c_{ij} 表示从点 i 到点 j 的运输成本，同时考虑车辆数和行驶里程。

$$c_{ij} = c_0 + c_1 * t_{ij}$$

c_0 是车辆固定费用， c_1 是相对于运行时间的费用系数。

成本计算调研数据见附录三详细介绍。固定费用计算依据：

以 9.6 米车为准，一天的固定费用有：养路费 58.6 元（月 220 元/吨，9.6 米的车为 8 个费用），规费 14.2 元（每吨 53.5 元），保险费 49.8 元（每年 18200 元），司机工资 124 元（1860 元/人/月，2 人计），维修费 70 元（一个车一个月约 2074 元），配件费用 25 元（一个车一个月约 755 元），折旧费用 76 元（一个

车一个月 2274 元), 轮胎费用 32 元 (一个车一个月约 940 元), 管理费用 49.5 元, 其他 33 元, 故一个车一天的固定费用和为 532.1 元, 即 $c_0=532.1$ 元。

相对于运行时间的费用系数计量依据:

和时间直接相关的因素考虑到燃油费和过路过桥费, 据统计过路过桥费基本是燃油费用的 0.4 倍, 9.6 米的车百公里耗油 22 个, 现油价 4.7 元/个, 平均速度设为 40 公里/小时, 故 $c_1=40*0.24*4.7*1.4=63.168$ 元。

另外, t_y 是由全部运行时间减去装卸搬运和休息的时间, 据统计, 所有货物大约 370 立方米, 装卸搬运和休息时间大概是 78 个小时, 所以根据货物流量的大小估计出全部的装卸搬运和休息时间, 从而得到在途的行驶时间 t_y 。

所有的费用数字均来自财务报表和业务统计报表。

至此, $c_y = c_0 + c_1 * t_y = 532.1 + 63.168 * t_y$,

故目标函数在实例中 z 的形式为:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m c_y x_{ijk} / ye &= \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m (c_0 + c_1 * t_y) / ye \\ &= \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m (532.1 + 63.168 * t_y) / ye \end{aligned} \quad (4-4)$$

最后, 设定开发算法参数值。

实例验算过程, 我们取染色体种群大小为 1000, 交叉概率为 0.6, 变异概率 0.001, 产生的初始解作为染色体种群的第一个染色体, 然后用随机方法产生其他的 999 个染色体。根据产生 m 个随机数, 相加得到的和化为二进制, 每一位的顺序即是代表地市县市的客户点标号, 每一位的数值就是分给这个客户点的车辆的标号, m 代表总共有 m 辆车, 这样每个客户点都被唯一的车辆所标识, 在不满足装载约束的条件下加入惩罚因子, 使目标函数值标为 \max , 再进行不同方案的运行时间从小到大的排列, 如果最小的时间还是大于 24 小时, 则 $m = m + 1$, 重复进行, 直到装载约束和时间运行约束都满足。

3. 优化前后的路线效果分析比较

优化前的车辆安排历史记录见附录一详细介绍。

以 9 月 28 日货物流量的路线安排为例。菏泽 (编号 18) 和济宁 (编号 16)

的货物流量都大于一辆车的容积，故将程序中网点 18 和网点 16 的货流量信息改为除去一车的剩余流量信息，从而参与路线安排，而满一车的货物组织一辆车满载运输，费用最低。程序运作过程如下：

首先，make 如图 4-3 所示

```

C:\> Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
Warning restart.c 70: Function should return a value in function Restart
Available memory 4857568
tcc -O -X -o schema.c
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
Warning schema.c 151: Function should return a value in function Schema
select.c
Available memory 4848152
tcc -O -X -o select.c
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
Warning select.c 141: Function should return a value in function Select
Warning select.c 174: Function should return a value in function Gap
Available memory 4829988
tcc -sga.exe *.obj
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
Turbo Link Version 5.0 Copyright (c) 1992 Borland International
Available memory 4155512
E:\9.28>
    
```

图 4-3 make 运行示意图

其次，运行初始化可执行程序 setup.exe

```

E:\9.28> setup
File suffix 11:
Floating point representation (y): y
number of genes: 14
gene 0
min: 0
max: 524288
values (must be a power of 2): 524288
format string: %30f
repetition: 14
Experiments 11:
Total Trials 10000:
Population Size 50:
Crossover Rate 0.6:
Mutation Rate 0.001:
Generation Gap 1:0:
Scaling Window 5:
Report Interval 100:
Structures Saved 10:
Max Gens w/o Eval 2:
Dump Interval 0:
Dumps Saved 0:
Options (c:\):
-----
Max Gens w/o Eval 12:
Dump Interval 0:
Dumps Saved 0:
Options (c:\):
Random Seed 123456789:
Bank Min 0.75:
  Experiments = 1
  Total Trials = 1000
  Population Size = 50
  Structure Length = 266
  Crossover Rate = 0.6
  Mutation Rate = 0.001
  Generation Gap = 1.0
  Scaling Window = 5
  Report Interval = 100
  Structures Saved = 10
  Max Gens w/o Eval = 2
  Dump Interval = 0
  Dumps Saved = 0
  Options = c:\
  Random Seed = 123456789
  Bank Min = 0.75
Setup Done
E:\9.28>
    
```

图 4-4 setup.exe 运行示意图

得到文件 IN:



图 4-5 文件 IN 示意图

和文件 templat, 截取如图 4-6 所示:



图 4-6 文件 templat 示意图

接着运行可执行文件 ga.exe

得到文件 MIN:

418822.000000	237644.000000	325562.000000	113844.0000
280619.000000	369203.000000	6261.000000	72351.0000
428147.000000	376528.000000	430400.000000	25813.0000
2721.000000	133886.000000	367707.000000	202259.0000
410943.000000	102663.000000	414042.000000	141120.0000
266130.000000	139942.000000	295216.000000	377259.0000
433376.000000	381956.000000	102821.000000	406957.0000
103010.000000	14379.000000	63952.000000	226491.0000
81908.000000	196211.000000	126849.000000	295221.0000
183170.000000	450834.000000	51711.000000	114316.0000

MIN			
文件(F)	编辑(E)	查看(V)	格式(O)
321015.000000	366015.000000	481676.000000	515376.000000
350768.000000	102126.000000	57064.000000	263566.000000
392291.000000	38556.000000	145154.000000	307477.000000
520561.000000	225020.000000	487914.000000	328074.000000
108147.000000	493158.000000	503227.000000	454532.000000
258912.000000	31025.000000	143920.000000	300829.000000
490401.000000	47420.000000	67532.000000	382503.000000
228636.000000	3273.000000	18019.000000	177698.000000
518407.000000	295705.000000	516896.000000	56378.000000
458855.000000	459121.000000	387175.000000	2500.000000

MIN			
文件(F)	编辑(E)	查看(V)	格式(O)
377172.000000	12909.000000	341420.000000	267044.0000
73729.000000	303608.000000	335373.000000	160355.0000
518139.000000	509654.000000	158577.000000	172043.0000
310499.000000	331884.000000	477412.000000	147138.0000
287421.000000	382137.000000	146842.000000	653569.0000
361478.000000	451811.000000	477900.000000	412634.0000
169187.000000	113099.000000	285082.000000	189531.0000
455850.000000	222280.000000	178331.000000	49091.0000
368110.000000	515450.000000	234007.000000	304097.0000
336074.000000	481630.000000	321928.000000	443158.0000

图 4-7 文件 MIN 示意图

选取其中一组结果

$vect[CH=1]=\{418622, 237644, 325562, 113844, 321015, 366015, 481676, 515376, 377172, 12909, 341420, 267044, 222786, 213768\}$;

运行可执行文件 eval.c

```
E:\9.28\3>eval > out9.28.txt
E:\9.28\3>
```

图 4-8 eval.c 运行示意图

得到文件 out9.28.txt:

```
out9.28.txt - 记事本
文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)
Resultjieguo[1]=0 Resultjieguo[1]=9 Resultjieguo[1]=6 Resultjieguo[1]=9 Resultjieguo[1]=7
Resultjieguo[1]=0 Resultjieguo[1]=0 Resultjieguo[1]=0 Resultjieguo[1]=3 Resultjieguo[1]=7
Resultjieguo[1]=6 Resultjieguo[1]=18 Resultjieguo[1]=6 Resultjieguo[1]=5 Resultjieguo[1]=9
Resultjieguo[1]=7 Resultjieguo[1]=0 Resultjieguo[1]=18
Resultjieguo[1]=5 Resultjieguo[1]=3
liuliang2[j]=10 liuliang2[j]=0 liuliang2[j]=0 liuliang2[j]=122 liuliang2[j]=0
liuliang2[j]=100 liuliang2[j]=187 liuliang2[j]=165 liuliang2[j]=134 liuliang2[j]=117
liuliang2[j]=106 liuliang2[j]=0 liuliang2[j]=0 liuliang2[j]=0 liuliang2[j]=0
jieguob[j]=12 jieguob[j]=0 jieguob[j]=0 jieguob[j]=16 jieguob[j]=0
jieguob[j]=21 jieguob[j]=21 jieguob[j]=17 jieguob[j]=18 jieguob[j]=17
jieguob[j]=25 jieguob[j]=0 jieguob[j]=0 jieguob[j]=0 jieguob[j]=0
julih=25.000000
```

图 4-9 文件 out9.28.txt 示意图

计算结果总结如表 4-3 所示。表中网点编号标识了快运服务网络中各个城市，Resultjieguo 的数值代表了城市对应的运输车辆标号；后三列显示了各个车辆在路线安排就绪之后的装载量 liuliang2 和在途时间 jieguobj。

表 4-3 程序结果总结

网点编号	Resultjieguo	车编号	Liuliang2	jieguobj
1	0	0	1.0m	0
2	9	1	0	0
3	6	2	0	17hr
4	9	3	12.2m	0
5	7	4	0	20hr
6	8	5	10.8m	16hr
7	8	6	18.7m	23hr
8	8	7	16.5m	23hr
9	3	8	13.4m	16hr
10	7	9	11.7m	22hr
11	6	10	10.6m	0
12	10			
13	6			
14	5			
15	9			
16	7			
17	8			
18	10			
19	5			
20	3			

结论解释为：

1 代表济南，车 0 为空，而没有安排客户点的车 1，车 2，车 4 也为空，除了事先安排好的满载车辆，实际使用车辆为 8 辆。例如车 3 路线安排为：9，20；车 5 路线安排为：14，19 等。车 3 装载量为：12.2 米；车 5 装载量为：10.8 米等。车 3 运作时间为 24 小时；车 5 运作时间为 13.5 小时。

其中车 6 和车 7 的装载量大于一车，但是车 6 线路中的任务 13 和车 7 线路中的任务 16 都是接近一车的货物，仿效之前的菏泽和济宁单开一车的做法，则：

车 6 分解为路线：13 和路线：3，11；车 7 分解为路线：16 和路线 5，10。

这样再计算其他对比因素，如下面系列表格总结所示：

表格中标成灰色背景的是优化前后相同的部分,左半部分字体标绿的是某快运企业在固定路线上加开班次或者改变的路线。其中的公里数由行驶时间 t_v 求得, t_v 由上面介绍过的目标函数的解释分析得出。

9月28日:某快运企业不变路由在菏泽加开一辆9.6m,济宁加开8.7m。

表 4-4 9月28日人工方案与优化方案结果比较

某快运企业人工经验路由选择			优化算法路由选择		
车辆路径	装载量	在途时间(运输、装卸以及休息)	车辆路径	装载量	在途时间(运输、装卸以及休息)
14	9.6m	13.5hr	18, 12	10.6m	25hr
18	12.8m	13.5hr	18	12.8m	13.5hr
18	9.6m	13.5hr	9, 20	12.2m	24hr
16	9.6m	11hr	16	9.6m	11hr
16	8.7m	11hr	16	8.7m	11hr
9	7.2m	8hr	14, 19	10.8m	13.5hr
13	6.2m	20hr	13	6.2m	20hr
15, 17	12.7m	11hr	3, 11	12.5m	20hr
12, 19, 20	7.2m	23.6hr	5, 10	7.8m	11hr
10, 11	9.6m	8hr	6, 7, 8, 17	13.4m	18hr
3	8.7m	9hr	2, 4, 15	11.7m	17hr
2	4.2m	3hr			
7, 8	4.2m	6.4hr			
4, 5, 6	6.0m	12hr			
公里数	3860km		公里数	4560km	
车数量	14 辆		车数量	11 辆	
车型	12.8m: 2 辆 9.6m: 6 辆 7.2m: 6 辆		车型	12.8m: 7 辆 9.6m: 3 辆 7.2m: 1 辆	
运费	13037.1 元		运费	12454.1 元	
运输费用/营业额	18.68%		运费/营业额	17.85%	
每天节省运费	583 元 比某快运企业手工计算路线安排节省了 4.47%				
年节省运费	212795 元				

通过类似的方法,就不同日期的货物流量进行车辆路线安排与人工安排的对比 i 结果列示如下列表格:

表 4-5 10 月 25 日人工方案与优化方案结果比较

某快运企业人工经验路由选择			优化算法路由选择		
车辆路径	装载量	时间(运输、装卸以及休息)	车辆路径	装载量	时间(运输、装卸以及休息)
14	9.6m	13.5hr	14	9.6m	13.5hr
18	12.8m	13.5hr	18	12.8m	13.5hr
16	9.6m	10hr	16	9.6m	10hr
9	7.2m	8hr	9	7.2m	8hr
13	9.6m	20hr	13, 7	11.6m	15hr
15, 17	8.0m	11hr	3, 5, 11	12.0m	18hr
12, 19, 20	9.5m	23.6hr	8, 10, 15	10.2m	18hr
10, 11	6.2m	8hr	12, 20	8.5m	20hr
3	8.0m	9hr	2, 4, 6, 19	9.2m	20hr
2	4.2m	3hr	17	4.0m	8hr
7, 8	4.2m	6.4hr			
4, 5, 6	6.0m	12hr			
公里数	2920km		公里数	3080km	
车数量 m	12 辆		车数量	10 辆	
车型	12.8m: 1 辆 9.6m: 6 辆 7.2m: 5 辆		车型	12.8m: 4 辆 9.6m: 4 辆 7.2m: 2 辆	
运费 z	10613 元		运费	9779.6 元	
运输费用/营业额	19.12%		运费/营业额	17.62%	
天节省运费	833.4 元 比某快运企业手工计算路线安排节省了 7.85%				
年节省运费	304191 元				

表 4-6 11 月 24 日人工方案与优化方案结果比较

某快运企业人工经验路由选择			优化算法路由选择		
车辆路径	装载量	在途时间(运输、装卸以及休息)	车辆路径	装载量	在途时间(运输、装卸以及休息)
14	9.6m	13.5hr	14, 15	13.5m	18hr
18	9.6m	13.5hr	18	9.6m	13.5hr
16	9.6m	10hr	16	9.6m	11hr
9	7.2m	8hr	9	7.2m	8hr
10, 11	9.6m	8hr	10, 11	9.6m	8hr
15, 17	9.6m	11hr	2, 4	6.2m	12hr
12, 19, 20	9.5m	23.6hr	5, 13	11.6m	18hr

13	9.6m	20hr	3, 8, 12, 19	13.4m	20hr
3	8.7m	9hr	17, 6	7.7m	16hr
2	4.2m	3hr	7, 20	9.0m	16hr
7, 8	4.2m	6.4hr			
4, 5, 6	6.0m	12hr			
公里数	2920km		公里数	2980km	
车数量	12 辆		车数量	10 辆	
车型	12.8m: 0 辆 9.6m: 8 辆 7.2m: 4 辆		车型	14.0m: 3 辆 9.6m: 5 辆 7.2m: 2 辆	
运费	10613 元		运费	9634.8 元	
运输费用/ 营业额	18.16%		运输费用/ 营业额	16.49%	
天节省运 费	978.2 元 比某快运企业手工计算路线安排节省了 9.22%				
年节省运 费	357043 元				

12月26日：某快运企业人工方案不变路由，在菏泽加开一辆6.2m。

表 4-7 12月26日人工方案与优化方案结果比较

某快运企业人工经验路由选择			优化算法路由选择		
车辆路径	装载量	在途时间（运 输、装卸以及 休息）	车辆路径	装载量	在途时间（运 输、装卸以及 休息）
14	9.6m	13.5hr	14	9.6m	13.5hr
18	12.8m	13.5hr	18	12.8m	13.5hr
18	6.2m	13.5hr	18	6.2m	13.5hr
16	9.6m	11hr	16	9.6m	11hr
9	7.2m	8hr	9	7.2m	8hr
13	9.6m	20hr	8, 20	9.2m	24hr
15, 17	8.0m	11hr	10, 17	9.8m	12hr
12, 19, 20	9.5m	23.6hr	5, 7, 15	8.0m	13hr
10, 11	9.6m	8hr	2, 6, 11, 12, 19	12.5m	18hr
3	8.7m	9hr	3, 4	10.7m	14hr
2	4.2m	3hr	13	9.6m	20hr
7, 8	4.2m	6.4hr			
4, 5, 6	6.0m	12hr			
公里数	3460km		公里数	3020km	
车数量	13 辆		车数量	11 辆	
车型	12.8m: 1 辆 9.6m: 7 辆		车型	12.8m: 4 辆 9.6m: 5 辆	

	7.2m: 5 辆		7.2m: 2 辆
运费	11926 元	运费	10224.9 元
运输费用/营业额	18.89%	运输费用/营业额	16.20%
天节省运费	1701.1 元 比某快运企业手工计算路线安排节省了 14.26%		
年节省运费	620901.5 元		

8 月 28 日：快运企业路由固定，人工路由制定下由于货量较固定路由不够经济故某些线路不能发车。

表 4-8 8 月 28 日人工方案与优化方案结果比较

某快运企业人工经验路由选择			优化算法路由选择		
车辆路径	装载量	在途时间（运输、装卸以及休息）	车辆路径	装载量	在途时间（运输、装卸以及休息）
14, 15	9.6m	13.5hr	3, 6, 7, 15	11.2m	9hr
18	12.8m	13.5hr	18	12.8m	13.5hr
16	9.6m	10hr	16	9.6m	10hr
16	6.2m	10hr	16	6.2m	10hr
16, 17	9.6m	10.7hr	8, 12, 14, 16	11.9m	22h
9	7.2m	8hr	9	7.2m	8hr
13	9.6m	20hr	13	9.6m	20hr
15, 17	8.0m	11hr	20	7.2m	24hr
12, 19, 20	9.6m	23.6hr	4, 10, 19	7.8m	24hr
10, 11	9.6m	8hr	2, 5, 11, 17	8.5m	20hr
公里数	2148km		公里数	3980km	
车数量	10 辆		车数量	10 辆	
车型	12.8m: 1 辆 9.6m: 7 辆 7.2m: 2 辆		车型	12.8m: 3 辆 9.6m: 4 辆 7.2m: 3 辆	
运费	8430.5 元		运费	11082.4 元	
运输费用/营业额	15.3%		运输费用/营业额	18.85%	
天节省运费	-2652 元				

对于 8 月 28 日，某快运企业人工方案放弃了固定路线的网点 2, 4, 5, 6, 7, 8。在这些点处压货，严重影响了服务水平和企业声誉。压货共 6.2m，即 $6.2 \times 2 \times 2 = 24.8$ 立方米的货物。这些货物的营业额大约 3720 元，优化算法解决了这些压货，并且只为此多付出了 2652 元的成本，虽然提高了运输费用/营业额比

率,但是就激烈的市场竞争而言,保证服务质量是一个企业长远发展的战略目标。

除了 8 月 28 日以外没有日压货统计, 故货流量是从某快运企业实际发车情况中得来的, 故输入的流量分布是比较符合已定路线下的流量, 我们的计算机程序是在这样的情况下寻找更优化的路径的。故算法可信的情况下, 可以很好的以此为模拟模型进行压货问题的解决和网络节点设置问题的解决。

最终, 就手工计算与程序优化结果进行总结对比如表 4-9 及图 4-10 所示:

表 4-9 人工方案与优化方案年运输费用/营业额结果比较

日期	手工调度 年运输费用/营业额	优化后 年运输费用/营业额
2006 年 9 月 28 日	18.68%	17.85%
2006 年 10 月 25 日	19.12%	17.62%
2006 年 11 月 24 日	18.16%	16.49%
2006 年 12 月 26 日	18.89%	16.20%
2006 年 8 月 28 日	15.3%	18.85%

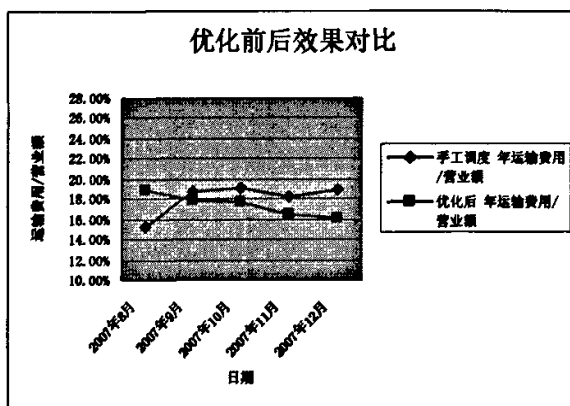


图 4-10 人工方案与优化方案年运输费用/营业额结果比较

运输费用/营业额比率越小, 说明完成任务下的资源配置效果越优秀。除 2006 年 8 月优化方案由于完成压货与人工方案的任务量和服务宗旨不是同一比较基点以外, 其他案例都显示出了算法及程序的实用性。另外, 以计算机完成此项工作还有着更加重要的意义, 如下一章完整案例所示, 对于解决网络优化各个方面实际决策存在着的大量数据计算问题起到了基础和支撑性的作用, 揭示了新的科学性的解决思路 and 工具。

第五章 优化实例

5.1 某快运企业网络分拨中心规划研究应用

首先，对于山东省网络进行服务水平最优的中心定位研究。

第一步，依据 2005 年山东省工业增加值排名中的工业产品销售排列前几名来确定网络中心位置的待选集，如表 5-1 所示：

表 5-1 山东省工业增加值排名

排名	编号	名称	排名	编号	名称
1	0	青岛	6	5	济南
2	1	烟台	7	6	东营
3	2	淄博	8	7	济宁
4	3	潍坊	9	8	临沂
5	4	威海	10	9	德州

第二步，构造图解模型如图 5-1 所示：

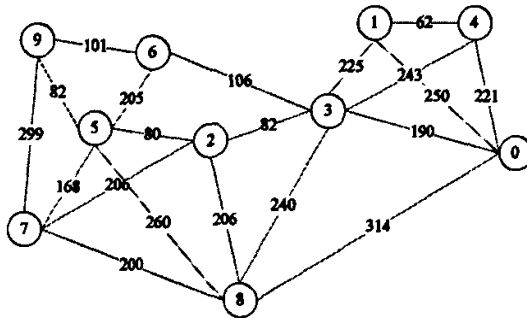


图 5-1 山东省实例范围网络图解模型

第三步，数学模型构建如下：

问题描述为：

$$\min \bar{W}(M/G'(x)/s) + 2 \sum_{k=1}^n h_k \frac{d(k,x)}{\zeta} \quad (5-1)$$

s.t. x 代表的点 $\in G$

第四步，程序运行过程及其参数设置过程如下：

拟选 1 个分拨中心：

Make:

Setup.exe:



图 5-2 setup.exe 运行示意图

运行可执行文件 ga.exe:

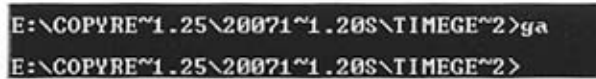


图 5-3 ga.exe 运行示意图

生成文件 MIN:



图 5-4 文件 MIN 示意图

程序运算结果为 $x = 3.803$ ，相应平均响应时间为 2.1988 小时。结果表示按照论文设计的算法，最优的中心应定位在网点 3 和网点 8 之间的路径中，其中距

离网点 3 有 3 公里的距离,即在在这样的网络服务中,如果分拨中心定位在潍坊,客户的需求的平均响应时间最短,大约有 2.1988 个小时。

针对现实存在的济南分拨中心,亦可计算相应的服务水平:

运行可执行文件 eval.exe:

```
double vect[1]={5.200};
```

```
E:\COPYRE~1.25\20071~1.20S\TIMEGE~2\1>eval > out.txt
E:\COPYRE~1.25\20071~1.20S\TIMEGE~2\1>
```

图 5-5 eval.exe 运行示意图

得到文件 out.txt:

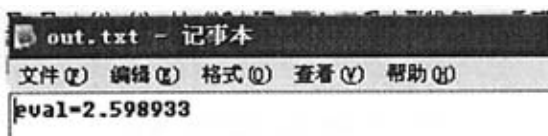


图 5-6 文件 out.txt 示意图

结果显示以济南为分拨中心,客户的需求的平均响应时间大约有 2.5989 个小时。比定位在潍坊,客户的需求的平均响应时间增加了大约 18.2%。但是,分拨中心定位是个综合性的问题,我们这里考虑两个方面,即服务水平和经济发展战略,以此为重点来确定中心候选集。

因此,山东省网络的中心候选集为济南和潍坊。

如果将来在山东省内要求设定 2 个分拨中心,计算过程如下:

Make

Setup.exe: 这时输入染色体为 2 个。

```
Command Prompt - setup
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
select.c:
Warning select.c 141: Function should return a value in function Select
Warning select.c 174: Function should return a value in function Gap

Available memory 4027908
tcc -ega.exe *.obj
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
Turbo Link Version 5.0 Copyright (c) 1992 Borland International

Available memory 4155512
E:\COPYRE~1.25\20071~1.20S\TIMEGE~1>setup
File suffix (1):
Floating point representation (1): y
number of genes: 2
gene 0
min: 0
max: 9.999
values (must be a power of 2): 16384
format string: %0.1f
repetition: 2
Experiments (1):
```

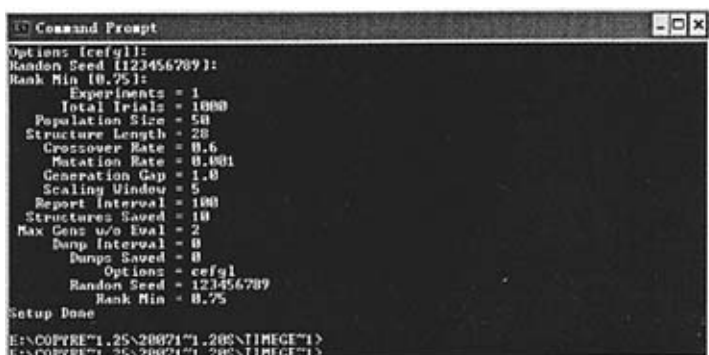


图 5-7 setup.exe 运行示意图

运行可执行文件 ga.exe:



图 5-8 ga.exe 运行示意图

得到文件 MIN:

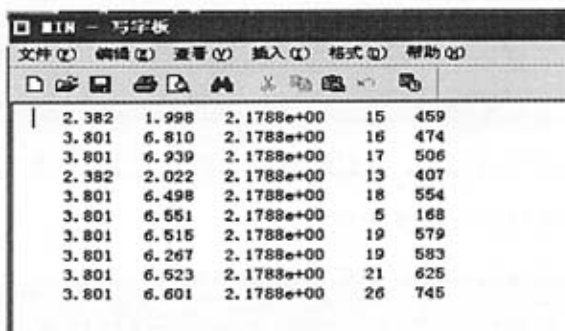


图 5-9 文件 MIN 示意图

结果显示：两个中心的话只考虑服务水平下，候选集中应潍坊和东营。

其次，对辽宁省开发服务网络的中心定位，同理可知：

第一步，经济指标排名确定中心定位待选集，如表 5-2 所示：

表 5-2 辽宁省经济指标排名

编号	名称	编号	名称
0	沈阳	5	盘锦
1	大连	6	营口
2	葫芦岛	7	沈阳
3	鞍山	8	大连
4	铁岭	9	葫芦岛

第二步，图解模型：

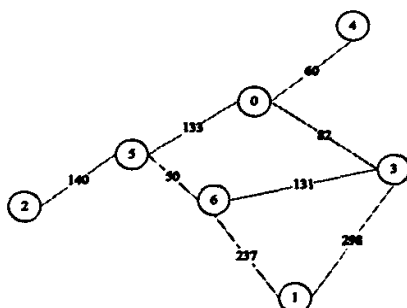


图 5-10 辽宁省实例范围图解模型

第三步，数学模型构建：

问题描述为：

$$\min \bar{W}(M/G'(x)/s) + 2 \sum_{k=1}^n h_k \frac{d(k,x)}{\zeta} \quad (5-2)$$

s.t. x 代表的点 $\in G$

第四步，程序运作：

Make:

Setup.exe:

Ga.exe:

得到文件 MIN:

5.904	1.9700e+00	14	355
6.540	1.9575e+00	39	970
6.549	1.9325e+00	40	983
5.623	1.9850e+00	7	193
5.004	1.9600e+00	17	431
6.523	2.0001e+00	32	801
5.625	1.9901e+00	0	31
6.550	1.9300e+00	35	873
5.901	1.9400e+00	9	241
5.907	2.0001e+00	15	394

图 5-11 文件 MIN 示意图

选择结果 6.549，表示在顶点 6 和 5 的路径上距离顶点 6 有 49 公里处，即盘绵近郊为最佳的分拨中心，其对应的平均响应时间为 1.9325 小时。

最后，考虑到行业经验，将沈阳也加入中心候选集：

运行可执行文件 eval.exe:

double vect[]={0.500};

```
E:\COPYRE~1.25\20071~1.20L\TIMEGE~2\2>eval > out.txt
E:\COPYRE~1.25\20071~1.20L\TIMEGE~2\2>_
```

图 5-12 eval.exe 运行示意图

得到文件 out.txt:

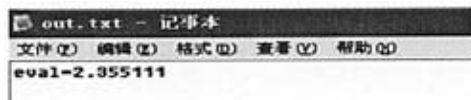


图 5-13 文件 out.txt 示意图

计算结果表明一个分拨中心时，选择盘绵比选择沈阳服务水平高 $(2.3511-1.9325) / 1.9325=21.87\%$ 。

因此，在新网络辽宁省开发中，分拨中心候选集为沈阳和盘绵。

5.2 某快运企业网络优化研究应用

5.2.1 案例背景

某快运企业快运在我国山东已经具有完善的网络，为了企业进一步发展壮大，拟在全国各省打开局面，完善服务网络，完成省际之间的对接。本文以辽宁省网络开发，业务范围增加、网点数量的网络规划过程为实例，来更好地说明本文提出的广义关键费用营业额比率模型和模型求解过程。当各省的服务网络都得到充分的优化处理后，各省之间的采用整车运输直接对接来完成，本文将不再赘述。

本节将要以辽宁省为实例对论文提出的广义关键费用/营业额数学模型和算法进行验证，并以程序实现，加以实践应用。

5.2.2 计算结果与分析

由于考虑到企业业务保密，所有数据均经合理处理，仅对方法加以验证。

分拨中心定位候选集优化过程已在上一节完成，候选集为：沈阳和盘绵。故本节直接进入确定中心位置下、集货送货一体化、车辆数不固定、多车型的车辆路线优化，来进行网点设置、业务范围制定的网络优化方案决策过程。因此，需要准备经分拨中心中进行集、散的货物流量信息和网点开启/关闭信息作为网络优化待选方案。

货物流量数据都是由相同的任意点点间的货流任务经中转而转化而来的。准备工作中考虑了需要决策的各种方案情况。以确定的中心定位、网点开启/关闭、货物流量为前提进行路线优化过程，进行广义关键费用/营业额指标的计算，得到不同方案下的量化数据，从而为方案比较选择提供适当依据。

一、沈阳为分拨中心

1. 网络节点编号，如表 5-3 所示：

表 5-3 网络节点编号

0	沈阳	5	丹东
1	铁岭	6	大连
2	四平	7	本溪
3	辽源	8	辽阳
4	通化	9	营口
10	盘绵	15	朝阳
11	锦州	16	阜新
12	葫芦岛	17	盖州
13	秦皇岛	18	抚顺
14	赤峰	19	鞍山

2. 图解模型构造，如图 5-14 所示：

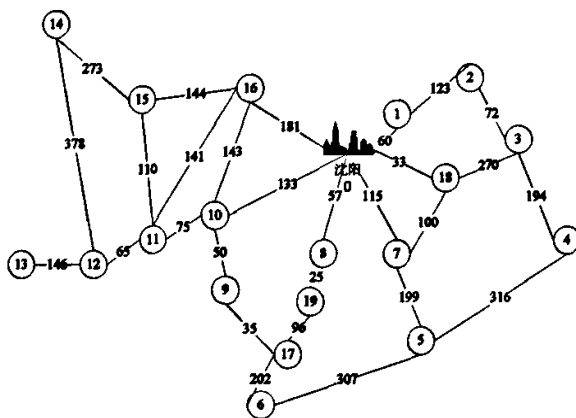


图 5-14 以沈阳为中心下辽宁网络图解模型

上图中线段标示的是距离，广义时速都设置为 50 km/hr。

3. 数学模型：

$$C_{ym} / ye = (\theta_1 \omega_1 (p_{ym}) + \theta_2 \omega_2 (t_{ym})) / ye$$

$$= \left(\theta_1 \left[\sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m (c_0 + c_1 * t_{ij}) x_{ijk} + n * \bar{f} \right] + \theta_2 [(\lambda_n - \lambda^*) * t_{ym}] \right) / ye \quad (5-3)$$

4. 货流量信息

需要事先说明的是：1m 代表的是 1 米*4 平方米=4 立方米的货物，流量信息仅以车体长度代替货物体积。由于卸货/装货是在车辆单次运行中同时完成的，所以表格提供的流量数据都是中心到网点*i*以及网点*i*到中心流量的较大值，满足较大值的约束就可以同时满足卸货/装货的装载约束，以此为装载约束的判断依据。

R_1 、 R_2 和 R_3 标识了三个不同的网点开启/关闭和业务范围制定方案。 R_1 是管理层根据市场调研得到的初步网络设置， R_1 是最初方案。方案 R_2 在方案 R_1 的基础上关闭网点 2、网点 8、网点 9，并适当缩减网点 6 的业务量。方案 R_3 在方案 R_2 的基础上增加网点 6、网点 11 的业务量。业务量信息如表 5-4 所示：

表 5-4 三个方案的网点设置和业务量信息

中心	网点	R_1 流量	R_2 流量	R_3 流量
0	1	2.0m	2.0m	2.0m
0	2	1.0m	0	0
0	3	6.0m	6.0m	6.0m
0	4	7.0m	7.0m	7.0m
0	5	4.0m	4.0m	4.0m
0	6	8.0m	6.0	6
0	7	5.0m	5.0m	5.0m
0	8	1.5m	0	0
0	9	2.0m	0	0
0	10	3.0m	3.0m	3.0m
0	11	4.5m	4.5m	6
0	12	1.0m	1.0m	1.0m
0	13	7.0m	7.0m	7.0m
0	14	6.5m	6.5m	6.5m
0	15	2.0m	2.0m	2.0m
0	16	8.5m	8.5m	8.5m
0	17	1.0m	1.0m	1.0m
0	18	9.0m	9.0m	9.0m
0	19	0.5m	0.5m	0.5m

和第四章流量表一样，其中“4.2m”表示 4.2*2*2=16.4 立方米的货（以下类同）。

5. 确定中心位置和网点货物流量下的线路优化计算：

在路线优化的阶段中，采用第四章的启发式算法。由于第四章利用历史数据对算法能力进行了充分的验证，故有把握在新网络开发中利用这种算法进行车辆路线安排模拟，得到的广义关键费用/营业额指标足以支持网络优化决策。

以方案 R_4 为例，运行程序：

make:

```

C:\COPYBIN\1_25\115116\1.GR\141\1.15>
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
restart.c
Warning restart.c 701: Function should return a value in function Restart
    Available memory 4057560
    tcc -O -K -c schema.c
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
schema.c
Warning schema.c 151: Function should return a value in function Schema
    Available memory 4040152
    tcc -O -K -c select.c
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
select.c
Warning select.c 141: Function should return a value in function Select
Warning select.c 174: Function should return a value in function Pick
    Available memory 4029900
    tcc -opt:exe *.obj
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
Turbo Link Version 5.0 Copyright (c) 1992 Borland International
    Available memory 4155512
    link /COPYLIB:1_25\115116\1.GR\141\1.15>
    
```

图 5-15 make 运行示意图

初始参数设定 setup.exe:

```

E:\N.20>setup
File suffix [1]:
Floating point representation [y]: y
number of genes: 14
gene 0
min: 0
max: 524287
values (must be a power of 2): 524288
format string: %20f
repetition: 14
Experiments [1]:
Total Trials: 100001:
Population Size [50]:
Crossover Rate [0.6]:
Mutation Rate [0.0001]:
Generation Gap [1.0]:
Scaling Window [5]:
Report Interval [100]:
Structures Saved [10]:
Max Gens w/o Eval [2]:
Dump Interval [0]:
Dumps Saved [0]:
Options [c:\f1]:
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
Turbo Link Version 5.0 Copyright (c) 1992 Borland International
    Available memory 4155512
    link /COPYLIB:1_25\115116\1.GR\141\1.15>
    
```

图 5-16 setup.exe 运行示意图

得到文件 IN:



图 5-17 文件 IN 示意图

和文件 template，截取如下：



图 5-18 文件 template 示意图

接着运行可执行文件 ga.exe

得到结论文件 MIN:

280619.000000	369203.000000	6250.000000	72351.0000
280663.000000	369203.000000	6251.000000	72351.0000
323129.000000	622781.000000	129916.000000	618226.0000
2721.900000	132363.000000	367707.000000	237234.0000
280619.000000	369203.000000	6251.000000	72351.0000
2721.900000	133886.000000	367707.000000	232359.0000
2721.900000	133886.000000	367707.000000	237234.0000
2721.900000	133886.000000	367707.000000	202418.0000
280619.000000	369202.000000	6251.000000	72351.0000
280619.000000	369200.000000	6250.000000	72351.0000

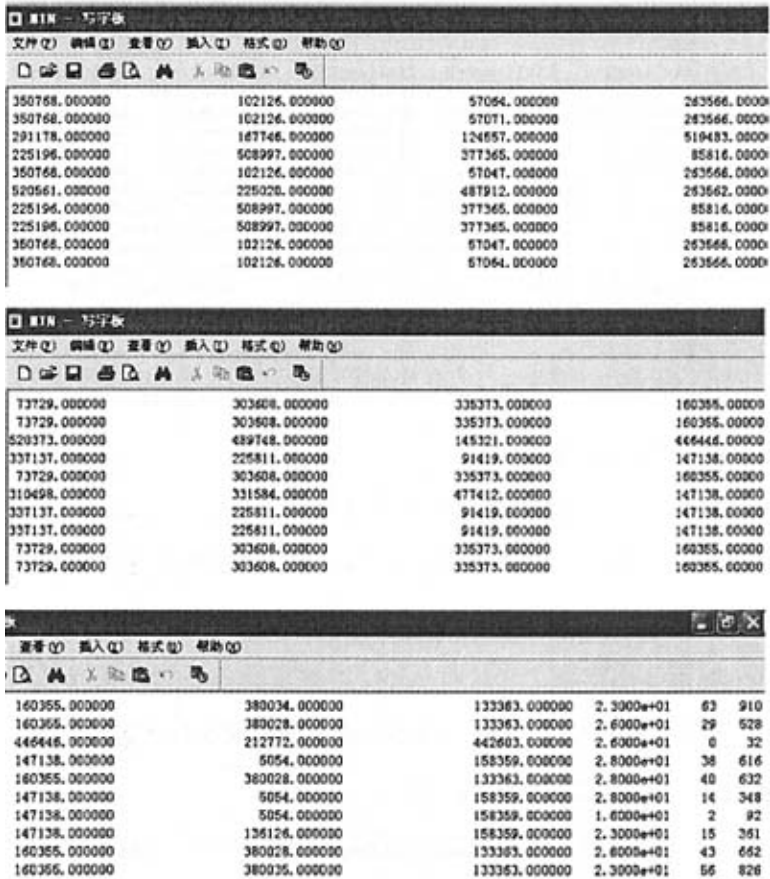


图 5-19 文件 MIN 示意图

从中选择结果如下:

vect[$CHE-1$]={280619, 369203, 6250, 72351, 350768, 102126, 57064, 263566, 73729, 303608, 335373, 160355, 380034, 133363};

运行可执行文件 eval.exe:

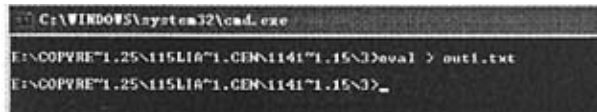


图 5-20 eval.exe 示意图

得到文件 out1.txt:

```

out1.txt - 记事本
文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)
liuliang2=0 liuliang2=0 liuliang2=55 liuliang2=0 liuliang2=90
liuliang2=150 liuliang2=120 liuliang2=125 liuliang2=85 liuliang2=170
liuliang2=0 liuliang2=0 liuliang2=0 liuliang2=0 liuliang2=0
jieguobj=17 jieguobj=18 jieguobj=17 jieguobj=20 jieguobj=14
jieguobj=16 jieguobj=23 jieguobj=23 jieguobj=16 jieguobj=22
jieguobj=0 jieguobj=0 jieguobj=0 jieguobj=0 jieguobj=0
Resultjieguo[i]=7 Resultjieguo[i]=2 Resultjieguo[i]=7
Resultjieguo[i]=5 Resultjieguo[i]=5 Resultjieguo[i]=4
Resultjieguo[i]=6 Resultjieguo[i]=9 Resultjieguo[i]=5
Resultjieguo[i]=7 Resultjieguo[i]=2 Resultjieguo[i]=7
Resultjieguo[i]=6 Resultjieguo[i]=9 Resultjieguo[i]=5
Resultjieguo[i]=8 Resultjieguo[i]=4 Resultjieguo[i]=9
Resultjieguo[i]=7
julihe=23.000000
    
```

图 5-21 文件 out1.txt 示意图

程序计算结果总结如下：

网点编号标识了快运服务网络中各个城市，Resultjieguo 的数值代表了城市对应的运输车辆标号，后三列显示了各个车辆在路线安排就绪之后的装载量（即变量 liuliang2 取值）和在途时间（即变量 jieguobj 取值）。如表格第三行表示的是：城市 3 由车辆 7 来进行运输，当然车辆 7 还同时完成城市 1、城市 10、城市 12、城市 19 的运输任务，车辆 7 装载了车长 5.5m 的货，即 $5.5 \times 2 = 22.0$ 立方米的货物，在途运行时间为 17hr。

下面如表 5-5，表 5-6，表 5-7 所示，总结了各个方案下的程序运行结果：

表 5-5 方案 R_4 程序运行结果

R_4				
网点编号	Resultjieguo	车编号	Liuliang2	jieguobj
1	7	0	0	0
2	2	1	0	0
3	7	2	5.5m	17hr
4	5	3	0	0
5	5	4	9.0m	20hr
6	4	5	15.0m	16hr
7	6	6	12.0m	23hr
8	9	7	12.5m	23hr
9	5	8	8.5m	16hr
10	7	9	17.0m	22hr
11	2	10	0	0
12	7	11	0	0
13	6	12	0	0
14	9	13	0	0

15	5	14	0	0
16	8			
17	4			
18	9			
19	7			

表 5-6 方案 R_2 程序运行结果

R_2				
网点编号	Resultjieguo	车编号	Liuliang2	jieguobj
1	0	0	2.0m	14hr
2	0	1	0	0
3	8	2	0	0
4	5	3	0	0
5	9	4	14.5m	21hr
6	4	5	7.0m	14hr
7	8	6	11.0m	18hr
8	0	7	0	0
9	0	8	11.0m	20hr
10	6	9	13.0m	18hr
11	6	10	8.0m	21hr
12	6	11	8.5m	14hr
13	10			
14	4			
15	6			
16	11			
17	10			
18	9			
19	6			

表 5-7 方案 R_3 程序运行结果

R_3				
网点编号	Resultjieguo	车编号	Liuliang2	jieguobj
1	9	0	0	
2	8	1	0	
3	10	2	0	
4	8	3	0	
5	7	4	0	

6	9	5	8.0m	24hr
7	10	6	14.5m	23hr
8	15	7	16.6m	24hr
9	12	8	12.6m	21hr
10	11	9	11.0m	18hr
11	8	10	3.0m	12hr
12	6	11	7.0m	19hr
13	5	12	9.0m	8hr
14	12			
15	7			
16	7			
17	9			
18	13			
19	12			

程序结果分析总结如下：

已知固定成本每个车 $c_0 = 532.1$ 元， $c_1 = 63$ 元，具体计算过程和依据同第四章介绍中的 c_0 ， c_1 在此不再赘述。同时，根据调研的实际情况，统一装卸搬运时间为 60 小时，通过调研基本上 1 米长度的货物营业额约为 750 元。

就不同方案下，各个车辆的路线、装载和时间情况汇总分析如表 5-8 所示：

表 5-8 各个方案结果汇总

R_1			R_2			R_3		
路线	装载	时间	路线	装载	时间	路线	装载	时间
2, 11	5.5m	17hr	1, 2, 8, 9	2.0m	14hr	13, 12	8.0m	24hr
6, 17	9.0m	20hr	3, 7	11.0m	20hr	5, 15, 16	14.5m	23hr
4, 5, 9, 15	15m	16hr	4	7.0m	14hr	2, 4, 11	16.6m	24hr
7, 13	12m	23hr	5, 18	13.0m	18hr	1, 6, 17	12.6m	21hr
1, 3, 10, 12, 19	12.5m	23hr	6, 14	14.5m	21hr	3, 7	11.0m	18hr
16	8.5m	16hr	10, 11, 12, 15, 19	11m	18hr	10	3.0m	12hr
8, 14, 18	17m	22hr	13, 17	8.0m	21hr	9, 14, 19	7.0m	19hr
			16	8.5m	14hr	18	9.0m	8hr

合计	79.5m	137hr		75m	140hr		81.7m	149hr
		r						r
在途时间 t_y	137-60=77hr		在途时间 t_y	140-60=80hr		在途时间 t_y	149-60=89hr	
车数量	7 辆		车数量	8 辆		车数量	8 辆	
运输费用	10673 元		运输费用	11476 元		运输费用	12288 元	
营业额	59625 元		营业额	56250 元		营业额	61275 元	
运费 / 营业额	17.90%		运费 / 营业额	20.40%		运费 / 营业额	20.05%	

6. 广义关键费用计算

方案 R_n ($n=1,2,3$) 上的计算结果可以满足实际问题的约束。都可以满足运达时限和装载容量限制。

广义关键费用的公式为：

$$C_{yn} = (\theta_1 \omega_1 (p_{yn}) + \theta_2 \omega_2 (t_{yn}))$$

$$= \left(\theta_1 \left[\sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m (c_0 + c_1 * t_y) x_{ijk} + n * \bar{f} \right] + \theta_2 [(\lambda_n - \lambda^*) * t_{yn}] \right) \quad (5-4)$$

第一步：通过行业分析和客户调研可以确定权重系数 θ_1 和 θ_2 的数值；

由于客户对于时间的要求越来越高，行业竞争越来越激烈，快运服务等级越来越高，为简化计算过程，大概确定方案 R_n 中广义关键费用公式中的权重系数：

$$\theta_1 = 0.3, \theta_2 = 0.7.$$

第二步：通过调研统计，我们可以得到具体应用中车辆固定费用和变动费用的参数 c_0 和 c_1 的数值，以及网点开启的平均固定费用 \bar{f} ；

上文已经给出 $c_0 = 532.1$ 元， $c_1 = 63.1$ 元。

济南分拨中心的月总成本 168621.6，共 47 个网点，所以 $(168621.6/47) \times 1.2 = 4305$ 元，每天即 $\bar{f} = 143$ 元；

第三步：针对每个特定方案，可以得到确定的网点布局信息，取得 n 值；

方案 R_1 的 $n=19$ ；方案 R_2 的 $n=16$ ；方案 R_3 的 $n=16$ 。

第四步：启发式算法求解中心定位，此处选择中心候选集中的沈阳。

第五步：启发式算法求解不同方案下沈阳为中心下车辆路线安排，从而计算方案 n 的 t_y , x_{yk} , λ_n , t_{yn} , 取接近目前状况的方案为 λ^* 。

先计算时间费用：设定方案 R_i 为基本方案， t_i 是方案 i 中各个车次耗时最长的时间。 $t_1 = 23hr$, $t_2 = 21hr$, $t_3 = 24hr$ 调研资料与算法计算结果：在 23 个小时（即 $t_1 = 23$ ）的时间内完成 59625 元的营业额（即 $ye = 59625$ 元）。故基本时间价值 $\lambda^* = ye/t_1$ 。

则 $\omega_1(t_1) = 0$ 元；

对于方案 R_2 , 时间费用：

$$\omega_2(t_2) = (\lambda_2 - \lambda^*) \cdot t_2 = \left(\frac{ye_2}{t_2} - \frac{ye}{t_1} \right) \cdot t_2 = \left(\frac{56250}{21} - \frac{59625}{23} \right) \times 21 = -1810 \text{ 元};$$

对于方案 R_3 , 时间费用：

$$\omega_3(t_3) = (\lambda_3 - \lambda^*) \cdot t_3 = \left(\frac{ye_3}{t_3} - \frac{ye}{t_1} \right) \cdot t_3 = \left(\frac{61275}{24} - \frac{59625}{23} \right) \times 24 = 942 \text{ 元}。$$

再计算金钱费用：上面程序计算结果的分析汇总中的运输费用即

$$\sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m (c_0 + c_1 \cdot t_y) x_{yk}。$$

故方案 R_1 , $n=19$, $\omega_1(p_1) = 10673 + 19 \times 143 = 13390$ 元；

故方案 R_2 , $n=16$, $\omega_2(p_2) = 11476 + 16 \times 143 = 13764$ 元；

故方案 R_3 , $n=16$, $\omega_3(p_3) = 12288 + 16 \times 143 = 14576$ 元。

第六步：比较各个方案的 C_{yn} 值，确定快运企业零担业务网络规划。

$$C_{y1} = \theta_1 \omega_1(p_{y1}) + \theta_2 \omega_1(t_{y1}) = 4017 \text{ 元};$$

$$C_{y2} = \theta_1 \omega_2(p_{y2}) + \theta_2 \omega_2(t_{y2}) = 2826.2 \text{ 元};$$

$$C_{y3} = \theta_1 \omega_3(p_{y3}) + \theta_2 \omega_3(t_{y3}) = 4372.8 \text{ 元}。$$

根据模型求解结果，方案 R_2 广义关键费用最小。

7. 广义关键费用/营业额计算

方案 R_1 : $C_{y1} / ye = 4017 / 59625 = 6.74\%$;

方案 R_2 : $C_{y2} / ye_2 = 2826.2 / 56250 = 5.02\%$;

方案 R_3 : $C_{y3} / ye_3 = 4372.8 / 61275 = 7.14\%$ 。

方案 R_2 的广义关键费用/营业额比率最小。

二、盘绵为分拨中心

1. 网络节点编号, 如表 5-9 所示:

表 5-9 网络节点编号

0	盘绵	5	丹东
1	铁岭	6	大连
2	四平	7	本溪
3	辽源	8	辽阳
4	通化	9	营口
10	沈阳	15	朝阳
11	锦州	16	阜新
12	葫芦岛	17	盖州
13	秦皇岛	18	抚顺
14	赤峰	19	鞍山

2. 构造图模型, 如图 5-22 所示:

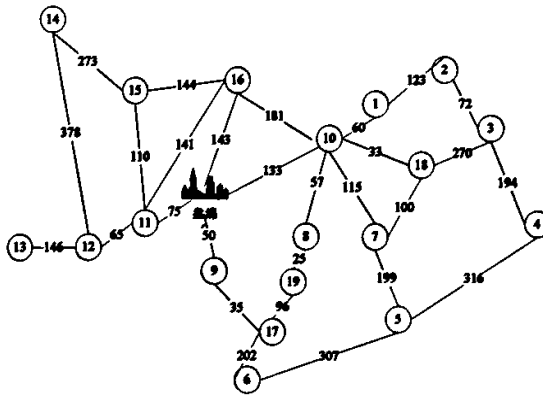


图 5-22 以盘绵为中心下辽宁网络图解模型

3. 数学模型

$$C_{ym} / ye = (\theta_1 \omega_1 (p_{ym}) + \theta_2 \omega_2 (t_{ym})) / ye$$

$$= \left(\theta_1 \left[\sum_{j=0}^l \sum_{k=0}^m (c_0 + c_1 * t_{jk}) x_{ijk} + n * \bar{f} \right] + \theta_2 [(\lambda_n - \lambda^*) * t_{ym}] \right) / ye \quad (5-5)$$

4. 货流量信息

变换了分拨中心，流量只需要修改一下沈阳与盘绵之间的即可，业务量信息如表 5-10 所示。

表 5-10 三个方案的网点设置和业务量信息

中心	网点	R_1 流量	R_2 流量	R_3 流量
0	1	2.0m	2.0m	2.0m
0	2	1.0m	0	0
0	3	6.0m	6.0m	6.0m
0	4	7.0m	7.0m	7.0m
0	5	4.0m	4.0m	4.0m
0	6	8.0m	6.0m	9.6m
0	7	5.0m	5.0m	5.0m
0	8	1.5m	0	0
0	9	2.0m	0	0
0	10	4.6m+4×9.6m	4.6m+4×9.6m	4.6m+4×9.6m
0	11	4.5m	4.5m	9.6m
0	12	1.0m	1.0m	1.0m
0	13	7.0m	7.0m	7.0m
0	14	6.5m	6.5m	6.5m
0	15	2.0m	2.0m	2.0m
0	16	8.5m	8.5m	8.5m
0	17	1.0m	1.0m	1.0m
0	18	9.0m	9.0m	9.0m
0	19	0.5m	0.5m	0.5m

5. 确定货物流量下线路优化算法计算：

由于盘绵到沈阳的货物流量大于 4 车，剩下的参与线路安排，又因为 1 车可以在两点间来回跑两趟，故加 2 辆整车就可以了，共跑了 28 小时。

剩下的部分采用程序计算，程序计算结果如下，变量解释如前所述。方案 R_2 和 R_3 同理，如表 5-11，表 5-12，表 5-13，表 5-14 所示所示：

表 5-11 方案 R_1 程序运行结果

R_1				
网点编号	Resultjieguo	车编号	Liuliang2	jieguobj
1	11	0	0	0
2	11	1	0	0

3	12	2	0	0
4	5	3	0	0
5	6	4	0	0
6	7	5	8.0m	24hr
7	7	6	8.5m	18hr
8	9	7	13.0m	21hr
9	9	8	11.0m	16hr
10	10	9	17.0m	20hr
11	6	10	9.5m	24hr
12	12	11	7.0m	22hr
13	14	12	0	0
14	11		7.0m	16hr
15	8		0	0
16	8			
17	5			
18	9			
19	8			

表 5-12 方案 R_2 程序运行结果

R_2				
网点编号	Resultjieguo	车编号	Liuliang2	jieguobj
1	11	0	0	0
2	11	1	0	0
3	12	2	0	0
4	5	3	0	0
5	6	4	0	0
6	7	5	8.0m	24hr
7	7	6	8.5m	18hr
8	9	7	13.0m	21hr
9	9	8	11.0m	16hr
10	10	9	12.0m	20hr
11	6	10	8.5m	24hr
12	12	11	7.0m	22hr
13	14	12	0	0
14	11		7.0m	16hr
15	8		0	0
16	8			
17	5			
18	9			
19	8			

表 5-13 方案 R_3 程序运行结果

R_3				
网点编号	Resultjieguo	车编号	Liuliang2	jieguobj
1	9	0	0	0
2	9	1	0	0
3	9	2	0	0
4	6	3	0	0
5	6	4	0	0
6	8	5	10.0m	18hr
7	10	6	11.0m	24hr
8	14	7	10.6m	11hr
9	12	8	18.1m	23hr
10	10	9	8.0m	15hr
11	7	10	8.0m	12hr
12	7	11	9.5m	10hr
13	5	12	6.5m	14hr
14	12		0	0
15	5		0	0
16	8			
17	5			
18	11			
19	11			

表 5-14 三个方案的程序计算结果汇总

R_1 (加 2 整车)			R_2 (加 2 整车)			R_3 (加 2 整车)		
路线	装载	时间	路线	装载	时间	路线	装载	时间
4, 17	8.0m	24hr	4, 17	8.0m	24hr	12, 17	10.0m	18hr
5, 11	8.5m	18hr	5, 11	8.5m	18hr	4, 5	11.0m	24hr
6, 7	13.0m	21hr	6, 7	13.0m	21hr	11, 12	10.6m	11hr
15, 16, 19	11.0m	16hr	15, 16, 19	11.0m	16hr	6, 16	18.1m	23hr
8, 9, 10, 18	17.0m	20hr	8, 9, 18, 10	12.0m	20hr	1, 2, 3	8.0m	15hr
1, 2, 14	9.5m	24hr	1, 2, 14	8.5m	24hr	7, 10	8.0m	12hr
3, 12	7.0m	22hr	3, 12	7.0m	22hr	18, 19	9.5m	10hr
13	7.0m	16hr	13	7.0m	16hr	14	6.5m	14hr
合计	81+9.6 *4=119	161hr	合计	75+9.6 *4=113	161hr	合计	81.7+9 .6*4=1 r	127h

	. 4m		. 4m		20. 1m
在途时间 t_y	161+28-60=129h r	在途时间 t_y	161+28-60=129hr	在途时间 t_y	127+28-60=95h r
车数量	8 辆	车数量	8 辆	车数量	8 辆
运输费用	15897 元	运输费用	15897 元	运输费用	12829. 6 元
营业额	59625 元	营业额	56250 元	营业额	61275 元

6. 广义关键费用计算

$$C_{y1} = \theta_1 \omega_1 (p_{y1}) + \theta_2 \omega_1 (t_{y1}) = 5584.2 \text{ 元}; \quad C_{y2} = \theta_1 \omega_2 (p_{y2}) + \theta_2 \omega_2 (t_{y2}) = 3093 \text{ 元};$$

$$C_{y3} = \theta_1 \omega_3 (p_{y3}) + \theta_2 \omega_3 (t_{y3}) = 5690 \text{ 元}.$$

根据模型求解结果，方案 R_2 广义关键费用最小。

7. 广义关键费用/营业额计算

$$\text{方案 } R_1: C_{y1} / ye = 5584.2 / 59625 = 9.37\%;$$

$$\text{方案 } R_2: C_{y2} / ye_2 = 3093 / 56250 = 5.49\%;$$

$$\text{方案 } R_3: C_{y3} / ye_3 = 5690 / 61275 = 9.29\%.$$

方案 R_2 广义关键费用/营业额比率最小。综合各种情况下总结如表 5-15，如图 5-23 所示：

图 5-23 所示：

表 5-15 不同中心下各个方案的广义关键费用/营业额比率比较

方案	沈阳为中心	盘绵为中心
R_1	6.74%	9.37%
R_2	5.02%	5.49%
R_3	7.14%	9.29%

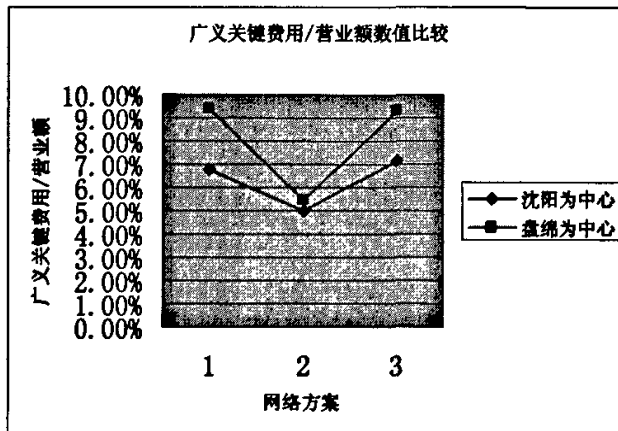


图 5-23 广义关键费用/营业额比较

以沈阳为分拨中心下, R_2 广义关键费用最低, 值为 2962.2 元, 广义关键费用/营业额指标为 5.02%; 以盘绵为分拨中心下, R_2 广义关键费用最低, 值为 3093 元, 广义关键费用/营业额指标为 5.49%。因此, 在综合考虑金钱费用和时间费用的基础上, 在满足客户要求的基础上以沈阳为分拨中心采取方案 R_2 , 投入资源配置最合理, 网络布置最优。方案 R_2 是在市场调研基础上方案 R_1 的基础上关闭网点 2、网点 8、网点 9, 并适当缩减网点 6 的业务量, 而且放弃增加网点 6、网点 11 的业务量。

结 论

本文在充分调研的基础上,结合相关的理论知识,研究了快运企业的网络优化问题,并在以下几个方面进行了创新:

(1) 对于网络中心规划选址问题,在借鉴前人研究的基础上,考虑到分拨中心城市货流量大、车辆往往都是满载的实际特点,先不考虑各其他小流量网点的拼车过程,而是结合网络 $M/G/s$ 队列设备定位问题的研究方法,建立了快运企业网络中心规划问题的数学模型,并设计了相应的遗传算法解决方案;

(2) 对于车辆路线安排、网点选择和业务范围制定问题,提出了广义关键费用,并创新性地建立了快运企业网络运营优化的广义关键费用/营业额比率数学模型;

(3) 对车辆路线安排问题,本文针对确定的中心位置下、集货送货一体化、车辆数不固定及多车型的路线优化问题,采用独特的染色体构造编码过程,通过控制车辆数来改变算法的染色体个数,同时考虑车辆数和总在途时间(或总行驶里程)来进行关键性的金钱费用与时间费用进行计算,优化效果明显;

(4) 本文以某快运企业的实际运营数据为基础,进行了相应的模拟运行,并对实验结果进行了分析,表明了本文方法的高效、实用性。

由于时间有限,本文还存在许多不足之处,需要改进和进一步的研究方向为:

(1) 在线路优化过程中没有考虑客户的时间窗要求,仅以目前快运企业实际运作中车辆当天返回(以 24 小时为限)为约束,而随着技术发展和社会进步,零担客户必然对快速运输的及时性提出越来越高的要求,这需要对此问题进行进一步研究;

(2) 以租用车辆为假设前提构造模型,未考虑现有车型,故在自有车辆环境下的多车型安排可能会发生装载率低下的问题,今后应改进算法使其能适用于固定几种车型情况下的优化过程;

(3) 对于快运服务网点的布局研究,重点讨论了服务网点的选择确定问题和网络结构优化网点运输资源的优化问题,而对于网点的分区管理等问题涉及不多,可作进一步的研究。

由于时间和作者能力有限,本文难免存在错误和不足之处,请各位专家批评指正。

附录 1

人工安排历史车管日报表

调研时间：2007. 1. 23

调研对象：济南某快运企业物流营运中心

调研目的：车管日报表

1. 2006 年 12 月 26 日车管日报表

序号	起始地	停靠点	终点站	车型 (米)	总运费 (元)	营业额 (元)
2	济南		太原	7.2	2900	4733.0
3	济南		长春	9.6	7560	9125.0
4	济南	徐州	南京	9.6	4040	8019.0
5	济南		合肥	/	/	
6	济南	沧州	北京	12.8	3200	4460.0
7	济南	衡水	石家庄	12.8	2650	4476.0
8	济南		郑州	12.8	3600	2845.0
9	济南		天津	7.2	1650	4131.0
10	济南		青岛	9.6	2000	4829.0
11	济南		青岛	7.2	1740	4612.2
12	济南		烟台	9.6	2200	5754.8
13	济南	莱阳	威海	9.6	2400	4701.8
14	济南	莱州、龙口	蓬莱	9.6	1950	2026.8
15	济南		潍坊	12.8	1624	8470.0
	济南		潍坊	6.2	700	2045.9
16	济南	淄川	淄博	9.6	700	3988.5
17	济南		枣庄	9.6	1200	2345.0
18	济南		菏泽	12.8	1800	7320.0
	济南		菏泽	6.2	750	990.0
20	济南		临沂	9.6	1250	6166.0
21	济南	东营	广饶	9.6	950	3629.6
22	济南	滨州	邹平	8.7	850	5246.3
23	济南	兖州	滕州	8	1080	4973.0
24	济南		济宁	9.6	1000	4887.0
25	济南	沂水、日照	莒县	9.6	1700	4524.6
26	济南	平原	德州	9.6	780	4496.0
28	济南	章丘、莱芜	新泰	9.6	850	3842.5
29	济南	茌平	聊城	8.7	700	2317.5

30	济南		泰安	7.2	480	3802.4
31	济南		齐河	/	/	
32	济南		禹城	/	/	
33	济南		长清	/	/	
34	济南	临淄	青州	7.2	750	3183.2
35	济南	临邑、乐陵	庆云	6.2	600	2388.0
36	济南	平阴	肥城	4.2	240	620.0
37	济南	阳谷、莘县	东阿	7.2	750	3693.0
38	济南	高唐	临清	/	/	
	件数			31827		

2. 2006年11月24日车管日报表

序号	线路			车型 (米)	总运费 (元)	营业额 (元)
	起始地	停靠点	终点站			
1	济南		太原	/	/	
3	济南	沧州	北京	12.8	3200	7832
4	济南		天津	7.2	1650	2289
5	济南		青岛	12.8	2400	6944.8
6	济南		青岛	7.2	1760	2734.5
7	济南		烟台	9.6	2200	4280.5
8	济南	莱阳	威海	9.6	2400	5606
9	济南		郑州	9.6	3600	4939
10	济南	莱州、龙口	蓬莱	9.6	1950	3307.8
11	济南		潍坊	12.8	1624	7851.3
12	济南		潍坊	9.6	950	
13	济南	淄川	淄博	12.8	1100	5603.4
14	济南		枣庄	8.0	1200	2989
15	济南	徐州	南京	9.6	4040	7684
16	济南		合肥	9.6	3500	5070
17	济南		菏泽	12.8	1800	8154.9
18	济南		菏泽	6.2	750	1646
19	济南		临沂	9.6	1250	7326.2
20	济南	东营	广饶	9.6	950	3713.48
21	济南	滨州	邹平	8.7	850	4237
22	济南	兖州	滕州	9.6	1080	3335.98
23	济南		济宁	9.6	1000	5883.4

24	济南	衡水	石家庄	12.8	2650	4827
25	济南	沂水、日照	莒县	9.6	1700	5439.4
26	济南	平原	德州	9.6	780	5075.5
27	济南	章丘、莱芜	新泰	9.6	850	3497.4
28	济南	茌平	聊城	8.7	700	2650.9
29	济南		泰安	7.2	480	4334.6
30	济南		齐河	/	/	
31	济南		禹城	/	/	
32	济南		长清	/	/	
33	济南	临淄	青州	8.7	850	3298.5
34	济南	临邑、乐陵	庆云	6.2	600	2930
35	济南	平阴	肥城	4.2	240	1689
36	济南	阳谷、莘县	东阿	7.2	750	3372
37	济南	高唐	临清	5.5	460	1748
	件数					

3. 2006年9月28日车管日报表

序号	线路			车型 (米)	总运费 (元)	总营业额 (元)
	起始地	停靠点	终点站			
1	济南		哈尔滨	9.6	/	8626
2	济南		太原	7.2	2900	5958
3	济南	沧州	北京	12.8	3200	5831
4	济南		天津	7.2	1650	215
5	济南		青岛	7.2	1740	3470
6	济南		青岛	7.2	1500	4126.2
7	济南		青岛	9.6	2000	6040
8	济南	莱阳	威海	9.6	2400	3728
9	济南		烟台	9.6	2200	4478
10	济南		郑州	12.8	3600	6111
11	济南	莱州, 龙口	蓬莱	9.6	1950	5587
12	济南		潍坊	12.8	2000	7214
13	济南		淄博配	7.2	600	3655
14	济南	淄川	淄博	12.8	1100	1527
15	济南		枣庄	9.6	1200	3011

16	济南	徐州	南京	9.6	4040	6396
17	济南		菏泽	12.8	1800	6217
18	济南		菏泽	9.6	1220	2971.4
19	济南		临沂配	12.8	1600	7142
20	济南		临沂配	10	1000	4110.5
21	济南		临沂	6.2	900	1244
22	济南	东营	广饶	9.6	950	1776
23	济南	滨州	邹平	8.7	850	4617.95
24	济南		滕州	5.5	750	2209
25	济南		兖州	7.2	750	4413
26	济南		济宁	8.7	1000	5274
27	济南		济宁	9.6	1000	8664.35
28	济南	衡水	石家庄	12.8	2650	5540
29	济南	沂水,日照	莒县	7.2	1400	3322
30	济南	平原	德州	9.6	780	5331
31	济南	章丘,莱芜	新泰	9.6	850	3282.5
32	济南	茌平	聊城	9.6	700	4904.4
33	济南		泰安	7.2	480	3132
34	济南		齐河	4.2	/	494
35	济南		禹城	4.2	/	8289
36	济南		长清	4.2	/	444
37	济南	临淄	青州	9.6	850	4739.5
38	济南	临邑,乐陵	庆云	6.2	600	2166
39	济南	平阴	肥城	4	240	933
40	济南	阳谷,莘县	东阿	6.2	650	2176
	件数			28650		

4. 2006年8月26日车管日报表

序号	起始地	停靠点	终点站	车型 (米)	运费 (元)	总营业额 (元)
2	济南		太原	7.2	1450	4256
3	济南		哈尔滨	7.2		8330
4	济南	沧州	北京	12.8	1600	8249
5	济南		天津	7.2	825	4404
6	济南		青岛	9.6	1000	6014

7	济南		青岛	7.2	870	3288
8	济南		烟台	9.6	1100	4366
9	济南	莱阳	威海	9.6	1200	3375
10	济南		郑州	12.8	1800	8451
11	济南		四县	9.6	975	3038
12	济南		潍坊	12.8	1000	9429
13	济南	淄川	淄博	12.8	550	5687
14	济南	滕州	枣庄	9.6	600	7485
15	济南	徐州	南京	9.6		9393
16	济南		合肥	9.6	1750	6328
17	济南		菏泽	12.8	900	6954
18	济南		临沂	9.6	625	7489
19	济南	广饶	东营	9.6	475	4436
20	济南	邹平	滨州	8.7	425	4498
21	济南		济宁	9.6	500	3693
22	济南	兖州	济宁	9.6	500	3619
23	济南		济宁	6.2	350	3109
24	济南	衡水	石家庄	12.8	1325	5599
25	济南	沂水, 莒县	日照	9.6	850	3463
26	济南	平原	德州	9.6	390	8475
27	济南	章丘, 新泰	莱芜	9.6	375	2912
28	济南	茌平	聊城	6.2	250	3129
29	济南		泰安	7.2	240	3458
30	济南		齐河	4.2	/	385
			件数			

5. 2006年10月25日:

序号	起始地	停靠点	终点站	车型 (米)	总运费 (元)	营业额 (元)
2	济南		太原	9.6	3200	6216.0
3	济南		长春	0	0	0
4	济南	徐州	南京	9.6	4040	7212.0
5	济南		合肥	9.6	3500	6902.0
6	济南	沧州	北京	12.8	3200	6697.0
7	济南	衡水	石家庄	12.8	2650	4413.0
8	济南		郑州	9.6	3600	4536.0
9	济南		天津	7.2	1650	3940.0

10	济南		青岛	9.6	2000	4438.0
11	济南		青岛	9.6	2000	4426.2
12	济南		烟台	9.6	2200	4861.8
13	济南	莱阳	威海	9.6	2400	6111.8
14	济南	莱州、龙口	蓬莱	9.6	1950	4045.0
15	济南		潍坊	12.8	1624	8415.7
16	济南	淄川	淄博	12.8	1100	11272.0
17	济南		枣庄	9.6	1200	6304.3
18	济南		菏泽	12.8	1800	8651.0
20	济南		临沂	9.6	1109	6465.4
21	济南	东营	广饶	9.6	950	7141.5
22	济南	滨州	邹平	8.3	850	4913.6
23	济南	兖州	滕州	8.0	1080	7656.0
24	济南		济宁	9.6	1000	5479.0
	济南		济宁	7.2	850	3324.0
25	济南	沂水、日照	莒县	9.6	1700	5041.6
26	济南	平原	德州	9.6	780	5444.0
28	济南	章丘、莱芜	新泰	9.6	850	3788.0
29	济南	茌平	聊城	8.7	700	3502.0
30	济南		泰安	7.2	480	3962.8
31	济南		齐河	/	/	
32	济南		禹城	/	/	
33	济南		长清	/	/	
34	济南	临淄	青州	9.6	850	3634.4
35	济南	临邑、乐陵	庆云	6.2	600	1978.7
36	济南	平阴	肥城	4.2	240	620.0
37	济南	阳谷、莘县	东阿	7.2	750	3693.0
38	济南	高唐	临清	6.2	500	1949.0
	件数			20145		

附录 2

道路运输里程结算参考表

调研时间：2006.10.23

调研对象：济南某快运企业物流车管

调研目的：网络线路的实际里程计算依据以及运费结算的参考依据
承、托双方共同进行运费结算的参考依据：

起点：济南

莱芜	120	聊城	135	莘县	170	泰安	100
长清	60	肥城	80	平阴	90	茌平	100
新泰	160	禹城	80	德州	130	高唐	100
齐河	50	济阳	55	乐陵	135	商河	90
临清	160	庆云	150	章丘	60	寿光	185
潍坊	220	淄川	100	临淄	150	滨州	130
日照	365	沾化	190	东营	220	兖州	175
青州	155	滕州	220	淄博	125	邹平	90
临沂	280	济宁	200	枣庄	270	曲阜	154
邹城	183	菏泽	245	阳谷	160	广饶	170
吕县	280	沂源	165	沂水	270	周村	100
青岛	400	烟台	500	蓬莱	430	莱阳	370
招远	370	平度	300	莱州	320	威海	555
龙口	385	文登	510	栖霞	410	莱西	370

起点：青岛

烟台	250	蓬莱	250	莱阳	130	栖霞	180
海阳	150	招远	180	黄县	232	莱州	180
莱西	105	平度	120	荣城	300	文登	260
威海	300	牟平	280	龙口	230	即墨	50
胶南	130	胶州	080	乳山	190	石岛	340

起点：济南

南京	700	无锡	850	广州	2400	杭州	1130
成都	2500	大连	1340	北京	500	上海	1050
厦门	2400	武汉	1100	深圳	2570	哈尔滨	1730
沈阳	1090	天津	390	西安	1100	郑州	500
重庆	2400	南昌	1550	长沙	1500	中山	2400
南宁	2900	昆明	3350	福州	2090	长春	1410

附录 3

9.6m 济南至沈阳，长春线路成本计算

调研时间：2006.10.23

调研对象：济南某快运企业物流车管

调研目的：开辟线路的运费计算依据

济南至沈阳，长春所需 4 天，车型按 9.6m 计算，所需费用如下：

1. 路程

1350 公里

9.6m 车型按百公里 24 个油计算，油价 4.7 元。

所需油费用 $1350 \times 0.24 \times 4.7 = 1522.8$ 元

往返 3045.6 元

2. 过路过桥费

单程 1175 元：

济南—黄河大桥 20 元—临邑 20 元—乐陵 20 元—黄驿 25 元—河北沧州 25 元—津南至宁河 130 元—中心桥 60 元—至山海关 235 元—万家至沈阳西 360 元—至毛家店 190—五月坡至长春 90 元。

往返 2350 元。

3. 9.6m 车所需费用按每天 242.6 元计算

养路费：58.6 元（9.6m 车为 8 吨车的费用，220 元/个）

规费：14.2 元（每吨 53.5 元）

保险：49.8 元（每年 18200 元，365 天）

工资：120 元（每人 1800 元/月，2 人计）

4 天，则 $242.6 \times 4 = 970.4$ 元

总费用：6366 元

建议价格：7566 元（往返）利润 1200 元，平均每天 300 元/天

参考文献

- [1] 付鹏程, 刘金华. 物流配送中心的选址决策 [J]. 应用交通科技, 2003 (1): 80-82.
- [2] 赵刚. 物流运筹[M]. 成都: 四川人民出版社, 2002
- [3] M.L.Brandeau, S.S.Chiu. An overview of representative problems in location research[J]. *Management Science*, 1989, 35(6): 645-674.
- [4] 徐杰, 郑凯, 田源等. 物流中心选址的影响因素分析及案例 [J]. 北方交通大学学报, 2001 (5): 80-82.
- [5] Francisco Saldanha da Gama, Maria Eugenia Captivo. A heuristic approach for the discrete dynamic location problem[J]. *Location science*, 1998(6): 211-223.
- [6] E.Melachrinoudis, H.Min. The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, twoechelon plant/warehousing facility: A multiple objective approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 2000(123): 1-15.
- [7] John Current, Samuel Ratick, Charles ReVelle. Dynamic facility location when the total number of facilities is uncertain: A decision analysis approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 1997(110): 597-609.
- [8] John Current, Samuel Ratick, Charles ReVelle. Dynamic facility location when the total number of facilities is uncertain: A decision analysis approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 1997(110): 597-609.
- [9] Dantzig.G , Ramser J. The truck dispatching problem [J]. *Management Science*, 1959.
- [10] Solomon M.M. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Window Constraints[R]. *Operations Research*, 1987(35): 254-265.
- [11] Fisher.M.1., K.O.Jornsten, O.B.G.Madsen. Vehicle Routing with Time Windows [J]. *Working Paper*, 1992.
- [12] Potvin JY, Kervabut T, Garcia BL. Rousseau JM. The vehicle routing problem with time windows[J]. *Informatics Computer*, 1996(8): 158-164.
- [13] Ferland J A, Michelon P. The vehicle scheduling problem with multiple vehicle types[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1988(39): 577-583.

- [14] Golden B, Assad A, Levy L. The fleet size and mix vehicle routing problem[J]. *Computers & Operations Research*, 1984(11): 49-66.
- [15] B.Fleischmann. The vehicle routing problem with multiple use of vehicles[Z]. Working paper, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, University at Hamburg, 1990.
- [16] Eric D.Taillard, Gilbert Laporte, Michel Gendreau. Vehicle Routing with multiple use of vehicles[Z]. Publication CRT-95-19, Centre de recherches sur les transports, 1995.
- [17] Cheng, R. M. Gen. Vehicle routing problem with fuzzy due-time using genetic algorithm[C]. In *The Third Conference of Asian-Pacific Operational Research Society*, Fukuoka, Japan, 1994.
- [18] Casco D.O., B.L. Golden, E.A. Wasil. Vehicle Routing with Backhauls: Models, Algorithms and Case Studies [Z]. *Vehicle Routing: Methods and Studies*, 1988: 127-147.
- [19] Kalantari B, A. V. Hill, S. R. Arora. An Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Pickup and Delivery Customers[J]. *European Journal of Operational Research*, 1985(22): 377-386.
- [20] Toth P, D. Vigo. An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls[R]. Boston, Massachusetts: ORSA/TIMS Joint National Meeting, 1994.
- [21] Bertsimas D.J. A vehicle routing problem with stochastic demand [J]. *Operations Research*, 1992(40): 574-585.
- [22] Dror M, Laporte G, Louveaux F.V. Vehicle routing with stochastic demands: properties and solution frameworks[J]. *Transportation Science*, 1984(23): 166-176.
- [23] J. Bramel, D. Simchi-Levi. *Logic of Logistics: Theory, Algorithms, and Applications for Logistics Management*[M]. New York: Springer-Verlag, 1997.
- [24] Clarke G, J. Wright. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points [R]. *Operations Research*, 1964(12): 568-58.
- [25] Christofides N., S. Eilon. An Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem[R], *Operational Research Quarterly*, 1969(20): 309-318.
- [26] B. E. Gillett, L. R. Miller. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem[R]. *Operations Research*, 1974(22): 340-349.
- [27] Christofides N, Mingozzi A, Toth P. Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem Based on Spanning the Shortest Path Relaxation[J]. *Mathematical Modelling and Practical Analysis*, 1

971.

[28] Fisher.ML, Jaikumar.R. A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing[Z], Work Paper, 1981.

[29] 苑春荟. 邮政运作管理[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2000.

[30] 杨海荣, 顾联瑜, 焦铮. 邮政通讯网组织与管理[M]. 北京: 邮电出版社, 2000.

[31] 杨海荣. 邮政实物传递网络[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.

[32] Cheng-Chang Lin, Yu-Jen Lin, Dung-Ying Lin. The economic effects of center- to-center directson hub-and-spoke networks for air express common carriers[J]. Journal of Air Transport Management , 2003(9): 255-265.

[33] Cheng-ChangLin, Sheu-Hua Chen. The hierarchical network design problem for time-definite express common carriers[J]. Transportation Research Part B , 2004(38) : 271-283.

[34] Tore Grunert, Hans-Jurgen Sebastian. Planning models for long-haul operations of postal and express shipment companies[J]. European Journal of Operational Research 2000(12): 289-390.

[35] 董莉. 我国快递业如何在竞争中谋求发展[J]. 大连海事大学学报(社会科学版), 2003(1).

[36] 陈亮. 快递业加速洗牌[J]. 互联网周刊, 2004.

[37] 李力谋. 快递业发展之困[J]. 中国改革, 2002.

[38] 中国行政管理学会课题组. 加快国际改革促进国际快递业发展[J]. 中国行政管理, 2004.

[39] 姜振华. 快递业: 呈战国纷争格局[J]. 中国物流与采购, 2004.

[40] 徐光辉. 随机服务系统[M]. 北京: 科学出版社, 1988.

[41] Lee, A.M., P.A.Longton, Queuing Process associated with airling passenger check-in[J]. Operations Research Quarterly, 1957(10): 56-71.

[42] 财政部财会 2000125 号发. 《企业会计制度》 北京: 2000. 12. 2.

[43] 李岱安等. 中国铁路成本计算[M]. 中国铁道出版社, 1999.

[44] 关宏志, 《货物的时间价值的评估方法及应用研究》, 西井和夫, 《公路交通科技》, 2000. 10, Vol. 17 No. 5.

[45] 赵焕臣, 许树柏, 金生. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.

[46] 李军, 郭耀煌. 物流配送车辆优化调度理论与方法[M]. 北京: 中国物资出版社, 2001.

[47] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

致谢

我要特别感谢我的导师吴耀华教授。本论文的研究工作是在导师的悉心指导下完成的，三年来导师丰富的实践经验，一丝不苟的治学精神和孜孜不倦的治学态度，兢兢业业的工作作风，使本人受益非浅。在此论文完成之际，谨向导师致以最诚挚的谢意！还要特别感谢我的师母张丹羽副教授。在三年的学习期间，她在生活上和学习上给我各方面照顾，在此致以诚挚的谢意！

本论文的研究期间，还受到廖丽老师，张健老师和王千老师的悉心指导和黎伟老师的关心照顾，同时还受到了学校和学院各级领导的大力支持，特别要感谢曾在各方面给予我帮助和关怀的各位老师。谢谢你们！

最后，我要深深感谢我的父母对我三年来的支持和关心！无论在物质上还是在精神上，他们都给了我巨大而无私的帮助，唯有此，我才能完成三年的学业。衷心谢谢他们！

攻读学位期间发表论文

- [1] 王静波, 吴耀华. 烟草配送中心的作业成本管理研究. 山东大学学报(工学版), 2006, Vol.36 No.6