

⑩ 69-75

集成物流管理系统中定位—运输路线 安排问题的研究^①

汪寿阳¹, 赵秋红², 夏国平²

(1. 国家自然科学基金委员会管理科学部, 北京 100083; 2. 北京航空航天大学管理学院, 北京 100083)

摘要: 综述集成物流管理系统中设施定位—运输车辆行程路线安排问题的主要研究进展, 分析提出有关求解问题的算法的特点, 最后提出该研究领域应该关注的几个重要发展方向.

关键词: 集成物流管理系统; 供应链; 定位—运输路线安排; 设施; 行程路线

中图分类号: F506

文献标识码: A

文章编号: 1007-9807(2000)02-0069-07

F506
F540.5

LAP问题

VRP问题

0 引言

在竞争日益激烈的今天, 企业只有以市场为核心去适应不断变化的环境并及时对市场作出反应, 以低的成本、快的速度, 在正确的时间和地点为消费者或用户提供满意的产品和服务, 才能在竞争中占有优势.

产品分销渠道的优化是达到上述目标的关键步骤之一. 分销渠道是指产品在其所有权转移过程中从生产领域进入消费领域的途径, 而分销渠道中的物流管理则是指通过有效地安排产品的仓储、管理和转移, 使产品在需要的时间到达需要的地点的经营活动.

在物流管理决策中, 定位—配给问题(location allocation problems, LAP)和车辆运输行程安排问题(vehicle routing problems, VRP)是得到较多关注的两个方面. 定位—配给问题考虑设施(工厂、库存点、分销中心等)的定位与货物配给之间的相互关系, 目的是对设施的数量、位置进行决策, 使设施的运作成本及车辆的运输成本最低. 在LAP中, 一般认为设施到客户的运输路线是放射线状的, 即运输车辆每次访问一个客户后, 就返回到设施点(见图1). 因此, 在确定设施的位置时, 忽视了对车辆巡回的行程路线的考虑, 这就有可能

导致分销成本的增长^[2].

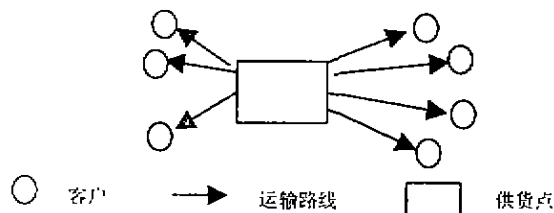


图1 LAP示意图

运输行程安排问题则是指在设施位置已知的前提下, 确定车辆在各个客户间的行程路线, 使得运输路线最短或运输成本最低(见图2). 在VRP问题中, 考虑了车辆在各个客户点间巡回访问的特性, 提高了运输效率, 并与实际情形相吻合. 但在此问题中, 未分析设施的选址问题, 使得整个物流成本不能达到最低.

随着物质需求的多样性和不规则性以及贸易呈全球化趋势的发展, 企业管理者希望能协调物流系统中的各个环节, 以最低的价格、最好的服务来满足顾客的需要. 由此, 在LAP、VRP和其他物流决策模型的基础之上, 产生了集成物流管理系统的概念^[2]. 这种概念认为: 在设施(制造厂、库存点或分销中心)相对于客户的位置、货物的配给、运输货物的车辆路线安排之间存在相互依赖的关

① 国家自然科学基金资助项目(79670091).

作者简介: 汪寿阳(1958-), 男(汉族), 江苏人, 研究员.

系,根据这种关系来相应地进行综合优化与管理.应用这种集成物流管理系统的概念,国外一批学者对设施定位—车辆运输路线安排问题(location-routing problems,LRP)进行了综合研究.通过建立LRP模型,对于多客户与多设施的情形,可同时解决确定设施最优数量、容量与寻求最优运输计划、路线安排之间的总体问题,从而降低物流成本,提高产品分销的效率.图3给出了一个简单LRP的示意图.

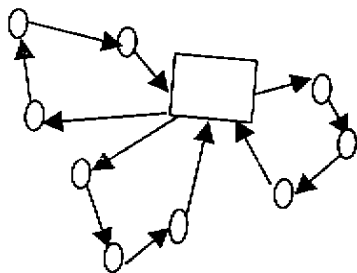


图2 VRP示意图

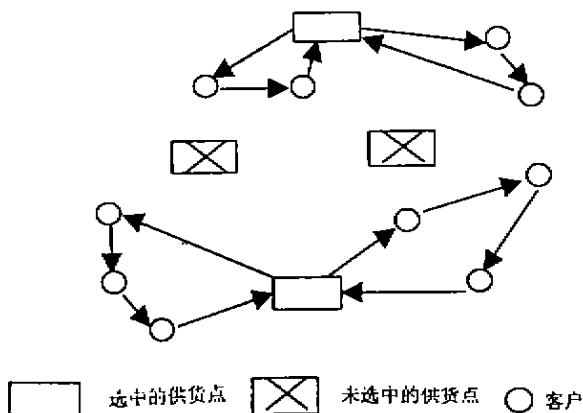


图3 LRP示意图

关于LRP的研究始于70年代,Watson-Gandy和Dohrn将运输车辆行程安排的多点停留特性与定位—运输网络结合起来开展了研究^[2].但由于LRP问题的解决比通常的运输/定位模型的难度要大得多,因此,对该类问题的研究进展相当缓慢.直到80年代后期,由于实际应用的迫切需要,LRP的研究才得到了学术界的广泛重视.据不完全统计,迄今为止,在英文出版物中,有关LRP的模型、算法的研究及综述文章和论著已有数百篇.特别需要指出的是:90年代以来,随着集成物流管理的概念被愈来愈多的企业所接受和全

球贸易的快速增长,提高分销效率成为了企业生存与发展的必由之路,LRP的研究在各相关领域得到了特别的关注,取得了较大的发展^[1,3,4,6,7,8].但遗憾的是,到目前为止,国内尚未见到关于这一领域有影响的研究成果的报道.作者希望通过本文能引起国内学术界对集成物流管理系统研究的重视,使得一批有为的青年学者能结合中国企业的实际问题开展关于LRP的研究.

1 LRP的特点

1.1 一般的LRP

一般的LRP可表述如下^[10]:

某公司从一个或多个设施为客户配送货物,客户的数量、位置、需求量已知或可估计出,设施为工厂、仓库、分销中心等,现有若干个设施的位置可供选择,但每个客户仅从一个设施得到货物,即在一定的时间内,每个客户仅被运输车辆访问一次.需要解决的问题是:在满足一定约束条件下,(1)选择设施的位置和数量;(2)确定最佳的运输行程路线,使得总费用最低.总费用指设施的建设成本、运作成本以及车辆的固定成本、运输成本等.约束条件包括:设施和运输车辆的容量和数量的限制;交货时间窗口限制等.

1.2 研究领域的扩展

除包括物流管理中一般的定位—配送问题外,LRP还可应用于以下领域^[12~17].

1.2.1 旅行修理者的定位—行程安排问题

与设施定位—车辆行程安排问题相类似,该问题也是确定设施(此处为修理者的出发点)的位置与修理者对节点(客户)的访问路线,但目标函数是使各客户的总等待时间最短.如果同时还要求旅行修理者的行程路线最短,则是双目标决策问题.

1.2.2 货物收集的定位—行程安排问题

该类问题的特点是所运送货物的数量具有随机特性.如银行定位—车辆接款路线的安排;邮局选址—信件收发的路线安排;废品集中处理点的定位与运输车辆的路线安排等.在解决这一类问题时,由于各个节点货物的数量事先未知,常会造成车辆在行程中未到达目的地承载量已满的情况(产生失误).在这种情形下,车辆须返回目的地,

卸下货物,然后继续沿剩余路线行驶。

在这类问题中,除了考虑通常的各项成本外,还需要考虑由于货物量事先未知所造成的运输成本,目标是使总的费用最低。解决该类问题的关键是得出各个节点货物量的概率分布,并在此基础上确定设施的位置并安排车辆的运输路线,从而使得:(1)在运输路线上产生失误的概率不超过某一预置值 α ;或(2)运输路线上出现多余行程的期望值不超过原计划长度的 β 分之一。 α 和 β 是根据实际情况事先给出的参数。

1.2.3 有害物品运输中的定位—行程安排问题

指有害物质(如化工废料、放射性物质、各种

有害废物)集中处理点设施的选址与运输行程安排问题,考虑到物品处理点对周围地区的危害性,运输过程中对沿途地区的危害性以及处理过程发生事故的概,该类问题具有多个目标,目标包括:定位和运输的费用、各种危害性、危害程度在地区间的均衡性等。通常在研究中假设:(1)物品的危害性有一定的范围,如在某一半径 r 内;(2)危害程度与人口密度成正比;(3)运输过程沿途地区的人口服从均匀分布。

1.2.4 多级设施的定位—配送问题

通常是指两级设施的LRP,如啤酒运输中的定位—配送问题,见图4。

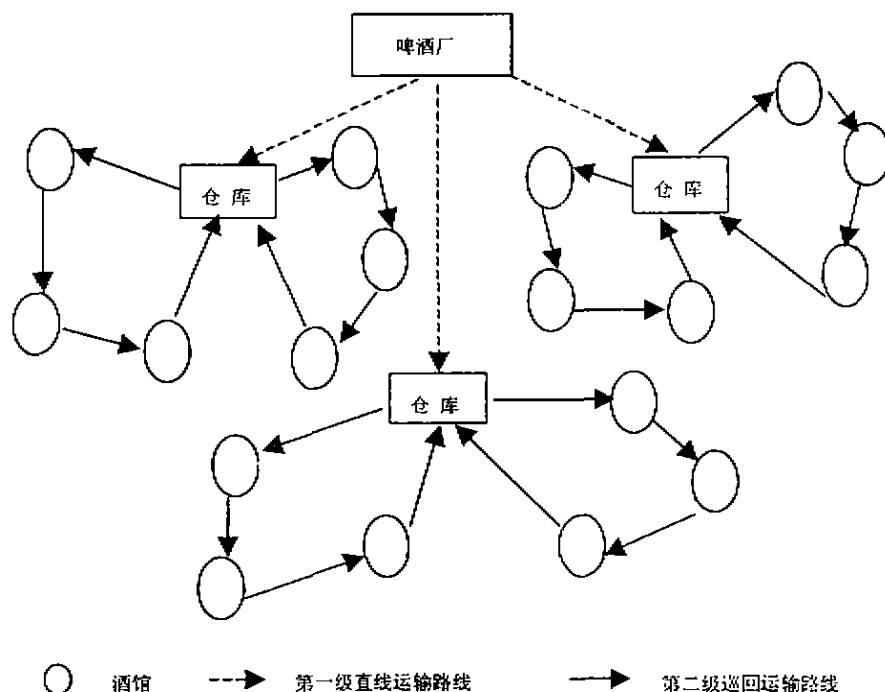


图4 多级设施的LRP示意图

在该类问题中,要考虑分销设施的两个层次:第一级和第二级。第一级设施指的是运输行程的起始点或目的地;例如,制造工厂,医院,废品集中中心,飞机场或废品倾倒点等。第二级设施指运输中的中间点或中转站,例如仓库,分销中心,废品转运站等。关于第二级设施定位的许多LRP研究基本上都假定了第一级设施定位于已知、固定的地点。

1.3 LRP研究中所包含的各个方面

由以上两节的分析,可列出目前LRP的研究所涉及到的有关内容及其特点,如表1所示。

表1 LRP所包含的内容

问题涉及的内容	分 类	
需求/供应的特性	确定	随机
设施的数量	单一设施	多设施
运输车辆的数量	单一运输工具	多运输工具
车辆承载能力	不限定	限定
运输持续时间	不限定	限定
设施的容量	不限定	限定
设施的层次	第一级	第二级(中间转换点)
计划期间	单一期间	多期间
时间窗口	未限定	限定
		较松期限 严格期限
目标函数	单一目标	多目标
模型中数据的来源	假设	实际

下面对上述列表逐一进行解释。

(1) 需求/供应的特性:指定位和行程路线安排中参数的特征,确定型 LRP 模型假定各个参数如需求/供应量是已知的并在一定期间内固定不变;而随机型 LRP 模型认为这些参数具有不确定和随机的特性。

(2) 设施的数量:指可供选择的设施的数量,分为单一设施和多设施两种。

(3) 运输车辆的数量:指车辆的数量,分为单一车辆和多车辆两种。

(4) 车辆承载能力:指车辆的容量,分限定和不限定承载能力两种。

(5) 运输持续时间:指车辆在一次运输过程中所能运行的最长时间,分限定和不限定两种。

(6) 设施的容量:指设施可达到的最大库存量或最大的处理能力,分限定和不限定两种。

(7) 设施的层次:指设施在配送过程所处的级别,分第一级和第二级两种。第一级设施指运输行程的起始点或目的地;第二级设施指运输过程的中间点或中转站,如军事仓储点,仓库,分销中心,废品转运站等。在分析第二级设施定位时,一般假定第一级设施定位于已知、固定的地点。

(8) 计划期间:指问题所考虑的期间,若将整个期间按单一时间段来考虑,则问题被视为是静态的;若将整个期间按需求、供应的特性分为不同的时间段,并在各个时间段内进行决策,则为动态的 LRP。

(9) 时间窗口:指客户对交货时间的要求,分限定和不限定两种。而限定时间窗口又可分为较松期限和严格期限的时间窗口。

(10) 目标函数:指解决问题所要达到的目标,若求解的目的仅为使成本最低或某一其他目标,则为单目标函数;而在实际情形中,往往存在多于一个的目标函数,例如,最小成本行程路线安排,最初以客户代码在空间的分散情况为基础,可能会不满足客户对及时配送服务的需求。多目标的特性普遍存在于实际的 LRP 中。

(11) 模型中数据的来源:指建模中所使用数据的来源,分实际的数据和假设的数据两种。

需要指出的是:由于问题的复杂性,多数关于 LRP 的研究都作出了一定的假设,因此,实际上往往只考虑了问题的某些方面。所以建立的模型

与实际情形会有一些出入,这必然会影响到使用该模型来处理实际问题的效果。

2 解题的算法

可用两种不同的方法来解决 LRP 问题,这就是精确算法和启发式算法。

2.1 精确算法

类似于 Laporte 所提出的运输行程问题 (VRP) 分类计划,LRP 的精确算法可以分为四类^[2]:(1)整数规划方法;(2)动态规划方法;(3)混合整数规划方法;(4)非线性规划方法。

精确算法可得到问题的最优解,但由于定位—配给问题和运输行程路线安排问题通常是 NP-hard,精确算法应用于将这两个难题结合起来的 LRP 上时,对节点的数目有严格的限制。表 2 列出了对于一般性的 LRP 问题(这里不考虑交货时间窗口的限制),当运用整数规划(ILP)和混合整数规划(MILP)方法,节点数不同时变量与约束数目的变化^[10]。

表 2 变量与约束的数量

N	M	K	ILP(Perl, 1985)			MILP(Hansen, 1995)		
			变量数量		约束数量	变量数量		约束数量
			0-1	正数		0-1	正数	
2	2	2	38	—	27	44	14	57
4	2	2	82	—	53	92	44	113
6	3	3	264	—	159	288	156	316
10	3	3	540	—	1171	576	380	624
15	4	4	1508	—	33110	1580	1125	1647
20	4	4	2388	—	1049023	2480	1900	2577
50	10	10	54510	—	1.259E-15	55400	44950	55076

N=客户的数目, M=设施的数目, K=车辆的数目

2.2 启发式算法

目前,多采用启发式方法来解决 LRP 问题,应用启发式算法可提高解题的效率,适于处理实际中较大规模的问题,并有利于对问题进行灵敏度分析。LRP 的启发式算法一般将问题分解为若干个子问题,将这些子问题依次采用启发式方法或精确方法来加以解决,各子问题之间存在相互依赖的关系。采用多阶段分解步骤可使复杂的问题简单化,避免产生局部最小化的结果。

LRP 的启发式解题方法通常由四种算法的组合使用构成,它们是:(1)定位—配给首先,行程

安排次之;(2)行程安排首先,定位—配给次之;(3)降低成本/插入;(4)巡回路线的改进/交换.在以上四种算法中,降低成本/插入和巡回路线的改进/交换常用来解决LRP的子问题(如LRP网络内的运输路线行程设计).

LRP中的“降低成本/插入”启发式算法以Clarke和Wright^[19]及Rosenkrantz et al^[20]所提出的算法为基础.为了解决较长距离运输中的成本降低问题,这种算法重复用于客户节点的不同组合,可提高为客户节点形成合理的送货群的效率,增加了在LRP中加入实际应用范围的灵活性,如加入严格期限的时间窗口.因此,对于速度变化的运输工具,降低成本/插入启发式算法对其行程路线的安排特别有用.然而,这种算法忽略了对运输车辆数目的限制,当用户代码数目增多的时候,会产生严重的计算困难^[2].

最初由Lin提出的“路线的改进/交换”启发式算法^[21],也用于设计运输工具的行程路线,采用的方法是,可行的路线连续地改变,以便产生降低总成本的另一条可行路线,直至成本不可能再降低.因此,不同于降低成本/插入方法,这种启发式算法在整个解题步骤中都保持可行性.

图5是一种启发式算法的流程图,用于求解一般性的LRP^[19].

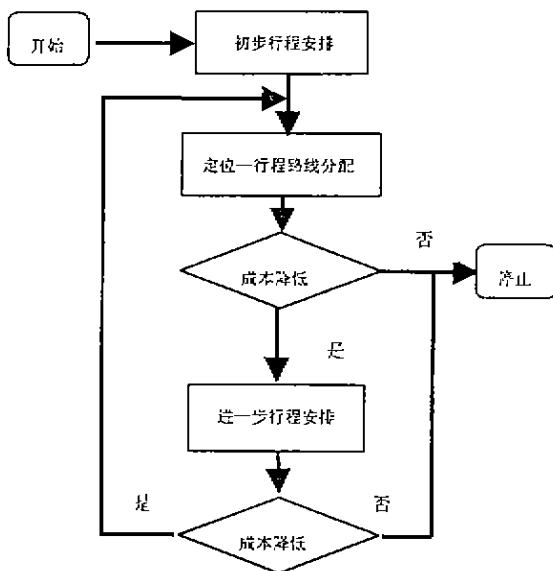


图5 LRP启发式算法流程图

3 未来的几个研究方向

LRP的研究已取得了较大的发展,但随问题的复杂化程度和求解能力要求的提高,现有的研究有待于进一步深入.今后LRP的研究应特别关注以下几个方面.

3.1 随机性

目前多数LRP的研究都局限于具有确定性参数的模型.实际上,客户的数量、需求、位置以及车辆的运输时间等事先并不一定知道,应把它们当作随机变量来看待.故未来的研究应考虑可能存在不同的客户需求方式以及车辆运输时间的变化等随机性因素.

3.2 多计划期间

现有的LRP研究多为开发静态的模型,很少分析LRP参数随时间变化的特性.例如,随着仓库雇员工资和利率的波动,仓库定位的成本将随时间变化.再如,在一定的时间范围内,公司需要根据情况的变化来重新决策设施的定位、运输路线及运输车辆的调度.也就是说,LRP参数具有时间敏感性的内在特点.因此,在LRP模型中加入动态特性,在实时或在线物流管理中,会极大地提高与现实接近的程度^[22].

3.3 多目标

实际的物流系统中,不管是在专用部门还是公共部门,普遍存在着相关连的多个目标^[23].例如,最小成本的路线安排,最初以客户代码在空间的分散情况为基础,可能会不满足客户对及时配送服务的需求.因此,尽管问题的难度会加大,未来的LRP应解决多目标决策的问题.

3.4 增值供应链的垂直方向集成

设施中的物流活动分为两个不同的区域:货物的人站流动(货物的收集);货物的出站流动(货物的配送).目前的研究多为试图建立出站或入站最优路线的安排,而不是同时考虑这两个方面.未来的研究应建立多阶段的LRP模型,即通过探讨出站和入站流之间的相互关系,对收集和配送的顺序进行决策,使供应链在垂直方向的价值增加,并通过整个供应链对其决策效果进行监控.

3.5 多方物流运作的水平方向集成

由于问题的复杂性增加,时至今日尚没有文献分析定位、运输路线和存货控制之间错综复杂

的关系,需要指出的是,LRP模型应探讨定位、路线安排、存货控制决策之间的相互作用,例如,库存水平对仓库的容量和数目有很大的影响,同时对运输模式的选择和路线安排也有很大的影响,因此,未来的LRP应考虑定位、运输和库存之间的关系。

3.6 算法的改进

到目前为止,所提出的近一半精确算法是为特定的LRP研究设计的,因此,今后应发展可解决具有普遍意义的LRP的精确算法,这种算法的研究之所以很重要,是因为它可为判定LRP启发式算法解决问题的效率提供一个有意义的基准。

由于LRP的复杂性,大多数的启发式算法都采用将问题分解后按顺序解决的方法,典型的分解启发式算法包括:定位—分销首先、路线安排次之和路线安排首先、定位—分销次之,这两种算法将最初的LRP问题分解为一系列可处理的较小的问题,将一个问题解决后的输出作为下一个子问题的输入,将他们之间连接起来,虽然将LRP问题分解来解决问题的方法已普遍应用,但仍存

在局限性,因为这种分解方法是顺序地解决LRP问题,在同一决策层次内,这种方法对定位和行程路线因素权衡分析显得很不充分,所以,希望有一种能同时解决整个LRP问题的启发式算法。

4 结束语

LRP是集成物流系统中的重要内容,其研究成果对于降低整个物流成本具有重要的意义,在我国,对LRP的研究尚属于新的领域,加强此方面的研究,其重要性是显而易见的,文章较为详细地分析、介绍了LRP研究的范畴、特点以及发展状况,结合实际出发,提出今后应重视的几个发展方向,并着重指出,尽管所涉及的范围较广,解决问题的难度也很大,未来的LRP研究应建立符合实际物流系统运作情况的模型,并探索是否有一种普遍适用的算法,允许物流专业人员用其有效地解决现实中的问题,以达到最大程度降低物流成本、提高分销效率的目的。

参考文献:

- [1] Min H, Jayaraman V, Rajesh Srivastava R. Combined location-routing problems: a synthesis and future research directions[J]. *European Journal of Operational Research*, 1998, 108: 1~15
- [2] Watson-Gandy C, Dohrn P. Depot location with van salesmen—a practical approach[J]. *Omega Journal of Management Science*, 1973, 1(3): 321~329
- [3] Bodin L. A taxonomic structure for vehicle routing and scheduling problems[J]. *Computers and Urban Society*, 1975, 1: 11~29
- [4] Berman O, Jaillet P, Simchi-Levi D. Location-routing problems with uncertainty[M]. in *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*, (edited by Z. Drezner), New York: Springer-Verlag, 1995, 427~453
- [5] Chapman P T. Logistics network modeling[M]. in *The Logistics Handbook* (edited by J. F. Robeson and W. C. Copacino), New York: The Free Press, 1994, 151~174
- [6] Daskin M S. Logistics: an overview of the state of the art and perspectives on future research[J]. *Transportation Research*, 1985, 19A(5/6): 383~398
- [7] Srivastava R, Benton W C. The location-routing problem: consideration in physical distribution system design[J]. *Computers and Operations Research*, 1990, 6: 427~435
- [8] Laporte G. Location-routing problems[M]. in *Vehicle Routing: Methods and Studies* (edited by B. L. Golden and A. A. Assad), Amsterdam: North-Holland Publishing, 1988, 163~198
- [9] Hansen P H, Hegedahl B, Hjortkjaer S, Obel, B. A heuristic solution to the warehouse location-routing problem[J]. *European Journal of Operational Research* 1994, 76: 111~127
- [10] Averbakh I, Berman O. Routing and location-routing p-delivery men problems on a path[J]. *Transportation Science* 1994, 28(2): 162~166
- [11] Laporte G, Louveaux F, Mercure H. Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems

- [J]. *European Journal of Operational Research*, 1989, 39: 71~78
- [12] Min H. Consolidation terminal location-allocation and consolidated routing problems[J]. *Journal of Business Logistics*, 1996, 17(2): 235~263
- [13] List G F, Mirchandani P. An integrated network/planar multi-objective model for routing and siting for hazardous materials and wastes[J]. *Transportation Science*, 1991, 25(2): 146~156
- [14] Stowers C L, Palekar U S. Location models with routing considerations for a single obnoxious facility[J]. *Transportation Science*, 1993, 27(4): 350~362
- [15] Zografos K G, Samara S. Combined location-routing model for hazardous waste transportation[J]. *Research Record*, 1989, 1245: 52~59
- [16] Madsen O B G. Methods for solving combined two level location-routing problems of realistic dimensions[J]. *European Journal of Operational Research*, 1983, 12: 295~301
- [17] Koksalan M, Sural H, Kirca O. A location-distribution application for a beer company[J]. *European Journal of Operational Research*, 1995, 80: 16~24
- [18] Clarke G, Wright J. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points[J]. *Operations Research*, 1964, 12: 568~581
- [19] Rosenkrantz D, Stearns R, Lewis P. Approximate algorithms for the traveling salesperson problem[J]. *SIAM Journal on Computing*, 1977, 6: 563~581
- [20] Lin S. Computer solutions of the traveling salesman problem[J]. *Bell System Technical Journal*, 1965, 44: 2245~2269
- [21] Ballou R, Agarwal Y. A performance comparison of several popular algorithms for vehicle routing and scheduling [J]. *Journal of Business Logistics*, 1988, 9: 51~65
- [22] Chien T W. Heuristics procedures for practical-sized un-capacitated location-capacitated routing problems[J]. *Decision Sciences*, 1993, 24(5): 995~1021
- [23] Clarke G, Wright J. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points[J]. *Operations Research*, 1964, 12: 568~581
- [24] Laporte G, Dejax P J. Dynamic location-routing problems[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1989, 40(5): 471~482
- [25] Current J, Marsh M. Multi-objective transportation network design and routing problems: Taxonomy and annotation[J]. *European Journal of Operational Research*, 1993, 65: 4~19
- [26] Srisvastava R. Alternate solution procedures for the location-routing problem[J]. *Omega Journal of Management Science*, 1993, 21(4): 497~506

Research on combined location-routing problems in integrated logistics systems

WANG Shou-yang¹, ZHAO Qiu-hong², XIA Guo-ping²

1. Institute of Systems Science, Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

2. School of Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China

Abstract: In this paper, we survey the main progress of research on location-routing problems (LRP), analyze a few characteristics of the methods proposed to solve LRPs and present some issues for further investigations in this field.

Key words: integrated logistics system; supply chain; location-routing problems; facility; routing