

WULIU WANGLUO XITONG
CHELIANG DIAODU WENTI YANJIU



物流网络系统 车辆调度问题研究

王素欣 王雷震 著

物流网络系统车辆调度问题研究

王素欣 王雷震 著

东北大学出版社
· 沈 阳 ·

© 王素欣 王雷震 2017

图书在版编目 (CIP) 数据

物流网络系统车辆调度问题研究 / 王素欣, 王雷震
著. —沈阳: 东北大学出版社, 2017. 5
ISBN 978-7-5517-1573-7

I. ①物… II. ①王… ②王… III. ①物流—网络
系统—车辆调度—研究 IV. ①U492.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 083057 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路三号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024-83687331 (市场部) 83680267 (社务部)

传真: 024-83680180 (市场部) 83680265 (社务部)

E-mail: neuph@neupress.com

网址: <http://www.neupress.com>

印 刷 者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm×240mm

印 张: 10.25

字 数: 198 千字

出版时间: 2017 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2017 年 6 月第 1 次印刷

组稿编辑: 张德喜

责任编辑: 李 佳

封面设计: 刘江扬

责任校对: 刘 泉

责任出版: 唐敏智

ISBN 978-7-5517-1573-7

定 价: 38.00 元

前 言

车辆运输的顾客需求的货物呈现品种多、批量小、用户多、分布广的特点，这就对物流网络系统多设施规划、货物配送网络系统提出了更高的要求。

本书从全局的角度，充分整合货物和车辆资源进行车辆调度，为物流网络系统的货物配送提供数学模型及其优化方法，本书的主要内容如下：

① 构建多设施规划模型并对模型进行粒子群优化算法求解，这里的多设施包括工厂、物流中心或配送中心，优化的结果是根据顾客的需求，确定这些物流设施的地理位置、规模的大小、数量的多少；

② 车辆调度过程中考虑实际交通状况，将粒子群算法用于交通量多路径分配，进行交通量的多路径分配，进而得到路段路阻。为解决 BPR 函数计算路段阻抗时，没有反映出交通状况由畅通到拥挤的过程中交通量先增后减的问题，对 BPR 函数进行了两种改进，从而能够反映交通实际路况所对应的路阻；

③ 对于多个货物分配到多个车辆的分配问题、单个车辆的货物三维装箱问题，采用粒子群优化算法求解，做到对普通零担货物装箱的优化；

④ 建立车辆调度模型，模型中车辆及货物的起、终点可不同，物流节点可访问多次；

⑤ 用改进蚁群算法、粒子群算法求解多需求点的单车、多车的车辆调度问题、货物能进行转运的车辆调度问题；

⑥ 总结了粒子群优化算法用于解决分配问题的求解模式，并用制造单元重构、多人到多作业这两个属于分配问题的实例进行验证；

⑦ 以本研究的模型及算法为核心，建立货物配送车辆调度系统，充分整合货物和车辆运输资源，提高企业的综合运营效益。

本书的内容策划和统稿工作由东北大学王素欣（邮箱：wsx96@126.com）、王雷震担任。王素欣、王雷震撰写第 7 章，东北大学于驰撰写第 1 章、第 2 章、第 6 章，黄亮撰写第 4 章、第 8 章、第 9 章，东南大学 2014 级博士

生贾东峰撰写第3章、天津大学2015级硕士生杨志强撰写第5章。

在本书的编写过程中，我们得到了东北大学硕士生吴思磊、李晓琦、邹翔霄，东北大学秦皇岛分校王建军的支持和帮助；在本书的出版过程中，得到了东北大学出版社的大力支持，在此表示感谢；同时对所引用的参考文献的作者，在此一并表示衷心感谢。

本书可作为车辆调度问题的研究人员、物流管理的从业人员、企业经营管理人阅读。

由于作者水平有限，不足之处在所难免，恳请读者和专家批评指正。

著者

2016年12月

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 车辆调度概念	(3)
1.3 以配送中心为核心的车辆调度模型	(5)
1.3.1 单配送中心配送模式	(6)
1.3.2 准多配送中心配送模式	(7)
1.3.3 多配送中心配送模式	(8)
1.4 多车场车辆调度的研究现状	(9)
1.5 现有研究中存在的问题	(18)
1.6 多需求点车辆调度模式的提出	(19)
1.6.1 进化设计理论	(19)
1.6.2 运输组织方式的趋势	(21)
1.6.3 多需求点货运模式的提出	(22)
1.6.4 多需求点车辆调度特点	(24)
1.7 研究目的和意义	(25)
1.8 研究框架	(25)
第 2 章 求解模型的蚁群、粒子群算法介绍	(28)
2.1 蚁群优化算法及分析	(28)
2.1.1 蚁群算法介绍	(28)
2.1.2 蚁群系统模型	(29)
2.1.3 蚁群算法的改进	(31)
2.1.4 蚁群算法特点	(32)
2.2 粒子群优化算法及分析	(33)
2.2.1 粒子群算法介绍	(33)
2.2.2 粒子群算法过程	(34)

2.2.3	改进粒子群算法	(34)
2.2.4	粒子群算法特点	(36)
2.3	算法应用前景	(36)
第3章	多设施规划模型及其求解	(37)
3.1	背景	(37)
3.2	模型描述和符号	(38)
3.2.1	模型描述	(38)
3.2.2	模型假设条件	(39)
3.2.3	参数表示	(39)
3.2.4	模型建立	(40)
3.3	多设施规划的模型及其粒子群算法优化	(40)
3.3.1	粒子的表达方式	(40)
3.3.2	优化过程	(41)
3.4	实例及分析	(42)
3.4.1	实例	(42)
3.4.2	求解结果	(43)
3.4.3	对优化结果的修正处理	(46)
3.4.4	对优化结果的分析	(47)
第4章	车辆调度问题中的交通约束条件	(48)
4.1	交通分配规律分析	(48)
4.1.1	背景	(48)
4.1.2	研究情况	(49)
4.2	交通分配模型	(49)
4.3	基于粒子群算法的交通分配模型求解	(50)
4.3.1	粒子群算法求交通分配模型过程	(50)
4.3.2	粒子群算法求解交通分配模型的合理性分析	(51)
4.3.3	仿真计算	(52)
4.4	BPR 路阻函数概况	(54)
4.4.1	BPR 函数特点	(54)
4.4.2	BPR 函数改进的研究概况	(55)
4.4.3	已有改进研究中存在的问题	(56)
4.5	BPR 函数的改进研究	(57)
4.5.1	交通量表示方式的改进	(58)

4.5.2 交通密度函数的阻抗表示	(59)
4.6 旅游交通网络优化能力配置	(61)
4.6.1 问题的提出	(61)
4.6.2 能力优化模型	(62)
4.6.3 旅游交通网络的仿真模型	(64)
4.6.4 基于仿真模型的瓶颈分析	(66)
4.6.5 近似梯度指导下的变异策略	(67)
4.6.6 数据试验	(67)
第5章 货物装箱问题的求解	(71)
5.1 货物分配到车辆的粒子群优化求解	(71)
5.1.1 满载装车问题的粒子群算法求解	(72)
5.1.2 仿真计算	(72)
5.2 单车三维装箱问题的粒子群优化	(74)
5.2.1 问题描述	(74)
5.2.2 符号约定	(75)
5.2.3 三维装箱问题的数学模型	(75)
5.2.4 堆叠处理及填充处理	(77)
5.2.5 粒子的表示方法	(77)
5.2.6 粒子的基本操作和更新公式	(78)
5.2.7 算法步骤描述	(79)
5.2.8 应用实例	(79)
第6章 多需求点车辆调度模型的建立	(85)
6.1 调度系统描述	(85)
6.2 模型的假设与前提	(86)
6.3 多需求点车辆调度问题的微观化表示	(86)
6.4 多需求点车辆调度模型	(88)
6.4.1 参数定义	(88)
6.4.2 分目标函数	(91)
6.4.3 总目标函数	(92)
6.4.4 约束条件	(93)
6.5 复杂情况下适应度函数及约束的简化	(95)
6.5.1 适应度函数简化	(95)
6.5.2 约束简化	(95)

6.5.3 仿真采用的简化车辆调度模型	(96)
第7章 多需求点车辆调度模型的优化	(98)
7.1 VSP 和 TSP 蚁群算法区别	(98)
7.2 单车路径优化的改进蚁群算法	(100)
7.2.1 改进的参数标定	(100)
7.2.2 改进的状态转移规则	(100)
7.2.3 仿真实例	(101)
7.2.4 仿真结果	(102)
7.3 多需求点车辆调度问题的改进蚁群算法	(104)
7.3.1 改进的参数标定	(104)
7.3.2 改进的状态转移规则	(105)
7.3.3 仿真实例	(105)
7.3.4 仿真结果	(107)
7.4 多需求点车辆调度问题的粒子群、蚁群混合算法研究	(111)
7.4.1 构造粒子表达方式	(111)
7.4.2 混合算法实现过程	(113)
7.4.3 多需求点车辆调度的混合算法仿真计算	(113)
7.5 货物转运配送车辆调度模型的粒子群、蚁群算法混合优化求解	(115)
7.5.1 粒子表达方式的构造	(115)
7.5.2 蚁群禁忌表的改进	(116)
7.5.3 粒子群、蚁群算法混合算法实现过程	(117)
7.5.4 仿真实例及其仿真结果分析	(118)
7.6 车辆调度问题算法的比较及全局优化分析	(120)
7.6.1 算法间的比较	(120)
7.6.2 全局优化分析	(121)
7.6.3 模型及算法的特点	(121)
第8章 粒子群优化算法适用于分配问题的求解模式	(123)
8.1 求解模式	(123)
8.2 粒子群优化在制造单元重构中的应用	(124)
8.2.1 模型参数标定	(124)
8.2.2 优化模型	(125)
8.2.3 优化的粒子群算法	(125)

8.2.4 仿真计算	(126)
8.3 多人分配到多任务的分配模型及粒子群优化	(128)
8.3.1 构建数学模型	(129)
8.3.2 分配方案的粒子位置向量表达方式	(129)
8.3.3 优化过程	(130)
第9章 多需求点车辆调度软件系统研究开发	(131)
9.1 系统分析	(131)
9.2 软件系统基础平台分析	(132)
9.2.1 Java 及 J2EE	(132)
9.2.2 MVC 三层体系结构	(133)
9.2.3 WebWork 框架	(133)
9.2.4 Spring 框架	(135)
9.2.5 Hibernate	(136)
9.3 软件系统的 WebWork+Spring+Hibernate 框架	(138)
9.4 多需求点车辆调度系统建设	(139)
9.4.1 数据库结构	(139)
9.4.2 页面结构	(139)
参考文献	(141)

第1章 绪论

本章主要总结了国内外物流车辆调度模型及其算法的状况,指出模型及算法中存在的问题,并引出本书的研究内容。

1.1 研究背景

1901年,J. F. Growell 在美国政府报告“关于农产品的配送”中,第一次论述了农产品配送成本的各种因素,揭开了人们对物流认识的序幕。1927年,R. Borsodi 在《流通时代》一文中首次用 Logistic 来指物流。日本 1956 年从美国引入物流概念,在对国内物流进行调研的基础上,将物流称为“物的流通”。至 1965 年,“物流”一词正式被理论界和实业界全面接受。

我国 20 世纪 80 年代初引进“物流”概念和理论,随着中国的市场经济逐步建立起来,区域经济一体化、产品分散化网络制造,以及客户需求的多样性和不确定性,使得当前的物流配送业务发生了根本的变化,主要表现为以下几个方面。

①配送作业由传统的大批量、小批次、少品种向小批量、多批次、多品种转变,且顾客多、分布广,单个顾客的单次需求量大幅减少,而订货次数却相应增加,组织一次订货和配送的单位产品边际成本增大。

②配送区域持续扩大,随机性也变大,相邻区域之间边界更加模糊,区域之间的交叉运输和各区的忙、闲不均情况频繁发生,造成大量的物流资源浪费。

③相应的运输车辆也多为个体经营,货物运输公司呈多、小、散、弱的局面。

这种货源分散、到货目的地分散、网络不健全、信息沟通差等难于满足顾客对货运速度和质量高要求的现状,造成车辆的空载率高、运输成本高、运输公司效益差。

造成以上情况的原因是多方面的,其中,关键的一点是物流企业仍然采用传统的基于分区策略的配送模式,强制构建“一对多”(one-to-many)的分割

式配送体系，且配送路径设计建立在出发时一次装载货物和闭环运输回路的基础上，如图 1.1 所示，图中车辆一次性装载需要配送的货物，货物配送完毕，回到车辆的起点，形成闭环运输回路。这一点与现在物流配送作业的区域广泛、客户众多而分散、业务量大且频繁等特点不相适应。

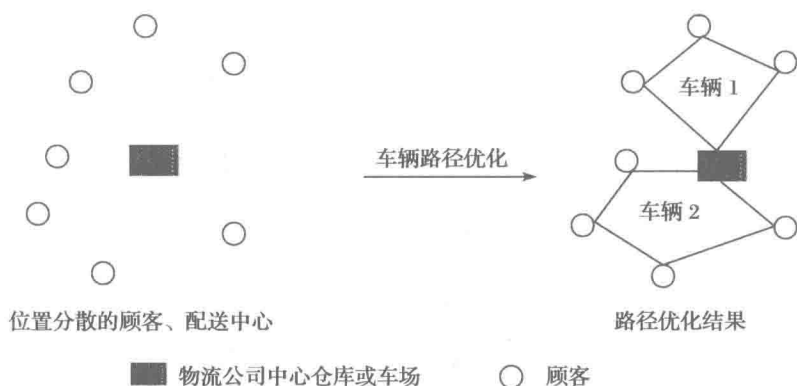


图 1.1 一对多的货物运输调度问题

降低物流的成本是第三方利润的源泉，目前，发达国家的物流业在整个国民经济中已经占有重要的地位，公司对物流越来越重视，第三方物流发展十分迅猛。如何使车、货和行车路线得到最佳整合，减少空驶，降低成本，提高运行效率，最大限度满足客户需求，利用现代技术方法科学、合理地进行车辆调度是解决上述问题的关键。在当前物流管理集成化的新趋势下，直接构建“多对多”（many-to-many）的配送网络（如图 1.2 所示），在更大范围上寻求整体最优的集成物流成为解决上述问题的有效途径。



图 1.2 多对多的货物运输调度问题

公路运输是现代运输的主要方式之一,公路货物运输业是社会经济发展的一个基础性和先导性产业。近年来,随着经济全球化进程的加快和市场竞争的日益加剧,一个高效、便捷、安全的公路货运系统和物流配送体系,不仅成为地区和国家投资环境的重要组成部分,而且日益成为决定地区和国家制造业竞争力的重要因素。充分利用现有的道路、载运工具、货物和网络等资源,对车辆进行合理的调度,是本书研究的重点。

1.2 车辆调度概念

车辆调度问题 (vehicle scheduling problem, VSP) 源于交通运输,是由 Danting 和 Rasmser^[1]于 1959 年发表在 *Management Science* 上的文章 *The Truck Dispatching Problem* 中,首次研究了亚特兰大炼油厂向各加油站发送汽油的运输路径优化问题,属于典型的复杂组合优化问题,考虑其特征,该问题可以看作两类经典的组合优化问题的结合——旅行商问题 (travel salesman problem, TSP) 和装箱问题 (bin packing problem, BPP)。此问题提出后很快引起运筹学、应用数学、网络分析、图论、计算机应用等学科的专家与运输计划制订者和管理者的重视,进行了大量的理论研究及实验分析,取得了一些成果,这是网络优化问题的基本问题之一。尤其是近十多年来,随着计算机技术的快速发展,为各种算法的实验研究和实施提供了基础。

车辆调度问题所涉及的物流系统可由服务区、仓库、分布在服务区内的服务点几部分组成。基本运输调度问题是车辆从仓库出发,运送客户所需的货物,然后返回仓库,在最小运输代价和满足所有的需求的情况下找到一组最优的货运路线。

VSP 问题一般定义为:对一系列节点,组织适当的行车路线,使车辆有序地通过它们,在满足一定的约束条件(如货物需求量、发送量、交发货时间、车辆容量限制、行驶里程限制、时间限制等)下,达到一定的目标(如路程最短、费用极小、耗时尽量少、使用车辆数尽量少等)。基本运输调度问题见图 1.1。

在基本车辆路径问题的基础上,车辆路线问题在学术研究和实际应用上产生了许多不同的延伸和变化形态,总结的车辆路线问题的研究内容见表 1.1,表中“待定”的含义是指有无限的资源可供使用,但需确定最优的资源配置。

表 1.1

车辆路线问题的研究内容

依据	分类	内容	依据	分类	内容
车队结构参数	车队数量	一个	供应结构参数	供应点数量	一个
		多个			多个
	车辆使用次数	车辆多次使用			供应点位置状态
		车辆只用 1 次		确定的	
	每个车队拥有的车辆数	一辆		待定	需求位置
		多辆	顶点		
		待定	混合型（边、弧、顶点）		
	车辆载重量	所有车辆的载重量相等	需求次数	需求点只需一次或多次运输服务	
		车辆的载重量不完全相等		最多一次	
	车辆是不是专用车辆	普通车辆		次数不限	
		专用车辆	需求总量	不超过全部车辆总的载重量	
		普通、专用车辆混合车队		可超过全部车辆总的载重量	
	车辆类型	单车型问题 (homogeneous vehicle routing problem)	需求结构参数	服务类型	输送型或收集型（两者不可兼有，如配送中心向连锁店配送货物）
		多车型问题 (heterogeneous vehicle routing problem)			输送、收集混合型（如公交车乘客可上车、下车）
	有向或无向	无向		需求点或货物对车辆的特殊要求	无要求
有向		某台车辆优先			
混合（既有有向边又有无向边）		某类车辆优先			
边、弧权值	固定	货物到达目的地的先后顺序	无要求		
	随时间不同而变化		某一货物必须比另一货物提前到达		
	随车辆的不同而变化		某类货物必须比另一类货物提前到达		
权值关系	无关系		某一货物必须与另一货物同时到达		
	满足三角不等式		某类货物必须与另一类货物同时到达		
拓扑结构	路径	需求满足程度	全部满足		
	圈		需求部分满足（不满足有损失，受到惩罚）		
	树				
	仙人掌图				
	平面图				
	简单图				

续表 1.1

依据	分类	内容	依据	分类	内容
		一般结构（有重边的一般网络、环）	函数及数字的特征	确定或随机	确定 随机
		欧氏空间		精确或模糊	精确 模糊
	目标数量	单目标		数据已知程度	白色 灰色 黑色
多目标		静态或动态			静态 动态
目标函数结构	目标函数	总路程最短		约束条件	时间约束
		最少车辆数	无时间限制		
综合费用最少（车辆维护、装卸成本、工资等）	有时间限制但可以 不遵守，不遵守时有惩罚				
	混装	距离约束	无距离限制		
			每辆车的运输距离有限		
			每辆车的运输距离有限但可以 不遵守，不遵守时需另付加班费		
分散装运	交通流量约束		无流量限制		
		边、弧限制(每个边、弧上同时行驶的车辆数量有限)			
允许分散装运（某个需求点的货物可以分批运达）		顶点限制（顶点同时进行装、卸货车数量有限）			
中转	不允许中转	边、弧、顶点限制			
			允许中转		
运输任务完成后 泊车地点	必须返回出发点	行车路线约束	无相交性限制		
	返回任意车队		边、弧不相交		
	不需返回车队（open vehicle routing problem）		顶点不相交（不同车辆的行车路线不能相交）		

1.3 以配送中心为核心的车辆调度模型

对于物流配送，国内外物流公司为了满足不同产品、不同公司、不同流通环境的要求，经过长期的发展，形成了多种配送模式，从车辆调度的角度归纳，结果见表 1.2。

表 1.2

配送模式分类

分类	内容
配送商品种类及数量	单(少)品种、大批量配送,多品种、少批量配送,多品种、大批量配送等
配送时间及数量	定时配送,定量配送,定时、定量配送,柔性配送
经营形式	销售配送,供应配送,销售-供应一体化配送
物流公司配送的专业化程度	综合配送,专业配送

针对第三方物流公司多品种、大批量综合配送,根据物流公司配送中心的数量和车辆配送线路的组织形式,从车辆配送的角度,将配送模式分为三种:单配送中心配送模式、多配送中心配送模式和介于两者之间的准多配送中心配送模式。下面分别介绍这三种模式。

1.3.1 单配送中心配送模式

单配送中心是指物流公司仅有一个配送中心或车场,所有配送车辆的起点和终点都是此配送中心。具体形式见图 1.3。

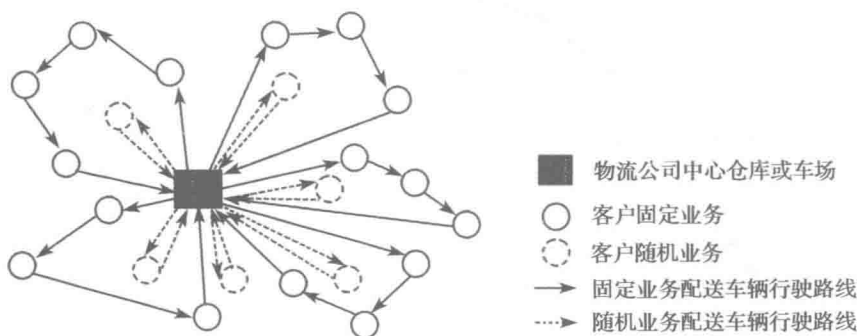


图 1.3 单配送中心配送模式

其中,固定业务指在物流公司调度计划安排之前客户已经通知物流公司的业务;随机业务是提前没有通知,不在计划安排以内的并且对时间要求比较紧,需要马上或者当天进行配送、运输的业务。

单配送中心配送模式的优点是车辆调度安排比较简单。适用于物流公司规模较小、业务较少、客户相对比较集中、范围分布不大的小型物流公司。

单配送中心配送模式进行配送车辆安排的时候,对于固定业务,可以根据货物的数量、性质及时间要求进行配送,让每一辆车辆完成相邻的任务后回到配送中心,这可按照经典的车辆调度算法进行计算求解最优线路。对于调度计划安排之后客户提出的随机紧急的业务,可以直接从配送中心派车完成客户

需求。

1.3.2 准多配送中心配送模式

准多配送中心配送模式是指物流公司也仅有一个配送中心或车场（见图1.4），根据公司的业务情况把配送区域划分成几个小区，部分配送车辆完成固定业务之后不是直接回到配送中心，而是到所在小区内的一个指定地点等候，准备完成该小区客户的随机需求。

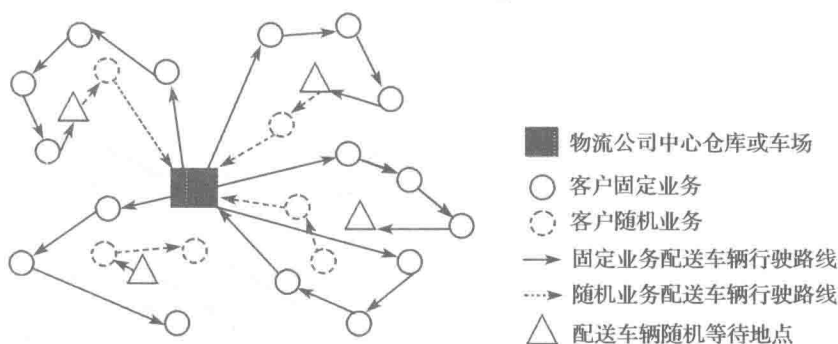


图 1.4 准多配送中心配送模式

准多配送中心配送模式的优点是从时间和空间的角度，充分利用了运力，降低了成本，提高了服务水平。适合城市规模比较大、较远的配送业务车辆从配送中心出发在短时间内难以到达；固定业务量不够大，车辆不能全天利用；同时，随机业务较多，中小型物流公司占有较大比重。

准多配送中心配送模式需要确定合理的配送车辆随机等待地点和合理的配送线路。对于配送车辆随机等待地点的确定，可根据潜在随机业务的分布规律，选择易于发生随机业务的客户附近。在技术上，可分析随机业务的历史数据，利用聚类分析等方法进行分区并确定各分区重心，其重心就是配送车辆合理的等待地点。在车辆调度方案优化方面，可以把这个地点作为一个固定的客户，利用经典的车辆调度算法进行配送线路的求解，但要注意设定合适的条件使得这个虚拟客户在线路的最后一节点。车辆在实际配送过程中到了指定的等待地点后进行等待，如果有随机客户需求则通知司机，从等待地点直接到随机客户的地点，算法上利用两点间最优路线求解方法即可得到。

这种配送模式另外一个问题是确定在各配送车辆随机等待地点保留车辆的数量。这主要取决于随机业务的多少。可以把固定业务与随机业务分开，对历史业务数据进行统计分析、预测各分区每天的随机业务量。如果保留的车辆不足，则调度员根据当时的情况调度周边区域的空闲车辆或者直接从调度配送中