

配送车辆优化调度 模型与算法

郎茂祥 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

前 言

现代物流作为现代经济的重要组成部分，在国民经济和社会发展中发挥着重要作用。发展现代物流对于提高国民经济运行的质量和效益、优化资源配置、改善投资环境、促进企业结构调整、提高我国经济实力等多方面都具有十分重要的意义。目前，国际上普遍把物流称为“降低成本的最后边界”，排在降低原材料消耗、提高劳动生产率之后的“第三利润源泉”。随着经济全球化和信息化进程的不断加快，物流业作为具有广阔前景和增值功能的新兴服务业，正在全球范围内迅速发展，掀起“现代物流革命”。

配送是物流系统中的一个重要环节，它是指按客户（包括零售商店、用户等）的订货要求（包括在货物种类、数量和时间等方面的要求），在配送中心进行分货、配货工作，并将配好的货物及时送交收货人的物流活动。配送是一种集集货、分货、配货、配装、送货等多种功能为一体的物资流通方式。在配送业务中，配送车辆优化调度问题的涉及面较广，需要考虑的因素较多，对配送企业提高服务质量、降低物流成本、增加经济效益的影响也较大。该问题是物流系统优化的关键。

国外将配送车辆优化调度问题归结为 VRP (Vehicle Routing Problem, 车辆路径问题)、VSP (Vehicle Scheduling Problem, 车辆调度问题) 和 MTSP (Multiple Traveling Salesman Problem, 多路旅行商问题)。该问题于 1959 年由 Dantzig 和 Ramser 提出后，很快便引起运筹学、应用数学、组合数学、图论与网络分析、物流科学、计算机应用等学科的专家以及运输计划制定者的极大重视，并一直是运筹学与组合优化领域的前沿与热点问题。在现实生产和生活中，邮政投递问题、飞机、铁路车辆、水运船舶及公共汽车的调度问题、电力调度问题、管道铺设问题、计算机网络拓扑设计问题等都可以抽象为配送车辆优化调度问题。本书所研究的配送车辆优化调度问题的求解算法对解决上述问题也是有效的。可见，本书研究配送车辆优化调度问题的模型和算法，具有重要的理论和现实意义。

本书展示的是作者多年从事配送车辆优化调度问题研究的成果，包括作者的博士学位论文，作者在学术期刊和学术会议上发表的学术论文以及作者指导研究生的硕士学位论文。本书主要展示了以下创新研究成果。

(1) 在对配送车辆优化调度问题的构成要素包括货物、车辆、配送中心、客户、运输网络、约束条件和目标函数等的属性进行系统分析和描述的基础上，分别建立了无时限单向、有时限单向、无时限双向和有时限双向单配送中心车辆优化调度问题，无时限和有时限多配送中心车辆优化调度问题以及动态车辆配送优化调度问题和动态网络配送车辆优化调度问题的基于直观描述的数学模型。上述模型均考虑了

较为接近实际的约束条件和目标函数，并具有简单、直观、易于理解、易于设计算法求解及可扩充性强等特点。

(2)为构造配送车辆优化调度问题的求解算法提出了两种新的解的表示方法(即客户直接排列的表示方法及车辆和客户对应排列的表示方法)和两种新的邻域搜索策略(即逆转法和插入法)。进而分别针对多种解的表示方法设计了相应的解的评价方法和具体的邻域选点策略。

(3)分别设计和实现了无时限单向配送车辆优化调度问题的爬山算法、禁忌搜索算法、模拟退火算法和遗传算法，并通过实验计算分析了解的表示方法、邻域选点策略、迭代搜索策略、个体编码方法、选择策略、交叉算子、变异算子等算法策略及搜索次数、禁忌长度、初始温度、降温速度、交叉概率、变异概率、群体规模、进化代数等运行参数对算法性能的影响，结果表明，选择合适的算法策略和运行参数，有利于提高算法性能。

(4)通过实验计算比较了爬山算法、禁忌搜索算法、模拟退火算法和遗传算法的寻优性能：爬山算法具有很高的收敛速度，对于规模较小的问题寻优效果较好，对于规模较大或很大的问题寻优效果较差，且算法的稳健性较差；禁忌搜索算法和模拟退火算法性能接近，它们具有比爬山算法更好的寻优性能，可以得到质量很好的解，且具有较强的稳健性；遗传算法对于规模较小的问题寻优结果较好，但对于规模较大的问题寻优结果较差，在相同的搜索次数下，基本遗传算法的寻优结果远不如禁忌搜索算法和模拟退火算法，甚至不如爬山算法，遗传算法的计算效率远不如爬山算法，也不如禁忌搜索算法和模拟退火算法。

(5)针对基本遗传算法的不足，提出将局部搜索能力较强的爬山算法和模拟退火算法与基本遗传算法结合，并构造了求解配送车辆优化调度问题的两种混合遗传算法：爬山遗传算法和模拟退火遗传算法。实验计算结果表明：两种混合遗传算法可以在一定程度上克服基本遗传算法在局部搜索能力方面的不足，从而能得到比基本遗传算法更好的计算结果；两种混合遗传算法的计算效率均高于基本遗传算法；两种混合遗传算法的寻优性能均不如禁忌搜索算法和模拟退火算法。

(6)提出了更具一般性的双向配送车辆优化调度问题。针对硬时间窗和软时间窗双向配送车辆优化调度问题中因每个客户有供应和需求两个时间窗而造成求解困难的情况，提出了一种通过拆分客户的方法将双时间窗问题转化为单时间窗问题进行求解的思路。

(7)设计了多配送中心车辆优化调度问题的求解策略，即利用距离最近分配法划定每个配送中心服务的客户，进而将一个多配送中心车辆优化调度问题转化成多个单配送中心车辆优化调度问题进行求解。

(8) 分别设计并实现了硬时间窗单向、软时间窗单向、无时限双向、硬时间窗双向和软时间窗双向配送车辆优化调度问题以及无时限和有时限多配送中心车辆优化调度问题的禁忌搜索算法和模拟退火算法, 实验计算结果表明: 用禁忌搜索算法和模拟退火算法求解上述配送车辆优化调度问题均可以取得很好的计算结果, 且算法的计算结果较稳定, 计算效率也较高。

(9) 研究了考虑车辆故障、车辆多次巡回配送等实际因素的动态车辆配送优化调度问题。为该问题设计了“制定整体优化配送计划+实时局部优化调度”的两阶段求解策略。设计和实现了求解该问题的“禁忌搜索+局部搜索”算法, 既充分利用了禁忌搜索算法的优势, 又通过局部搜索算法实现了对多次巡回车辆动态信息的实时处理, 完成了局部调整的优化调度, 从而使该问题得到满意的解决。

(10) 构造了动态网络配送车辆优化调度问题的遗传算法。在制定配送计划阶段, 可以得到在保证一定的顾客服务水平基础上运距最短、成本最小的配送方案。在配送计划的执行阶段, 借助于 GPS 可随时得到车辆的在途位置, 从而可以对后续顾客的服务保证率进行核定。若出现按计划不能满足对后续顾客的服务保证时, 可以在最早的时间内知道计划可能违约的时间, 从而可为采取适宜的补救措施赢得时间。

本书除突出强调内容的创新性外, 还具有以下特点。

(1) 循序渐进性。本书是按照先简单、后复杂的顺序循序渐进地研究各类配送车辆优化调度问题的。即先研究无时限问题, 后研究有时限问题; 先研究单向问题, 后研究双向问题; 先研究单配送中心问题, 后研究多配送中心问题; 先研究静态问题, 后研究动态问题。这既符合科学研究规律, 也增加了本书的易读性。

(2) 技术路线的科学性。本书对每类配送车辆优化调度问题基本都按照“问题描述→数学建模→算法设计→实例计算→算法分析”的思路开展研究, 技术路线清晰、合理, 也体现了理论与实践的有机结合。

(3) 实用性。本书在介绍各种配送车辆优化调度问题的优化算法时, 均在设计各种算法要素的基础上, 给出了详细的计算机编程思路, 并在附录中给出了禁忌搜索算法和模拟退火算法的 C 语言程序源代码, 而且都进行了实例计算。这有利于有关人员将这些优化算法嵌入到实际的物流管理和优化软件中, 用以解决实际问题。

(4) 读者的广泛性。本书可作为物流管理、物流工程、交通运输等相关专业师生的参考书, 也可供物流行业的管理人员、专业技术人员及软件设计、开发人员学习参考。

本书得到了北京交通大学学术专著出版基金的资助和北京交通大学交通运输学院学术著作出版资助奖励, 在此表示衷心的感谢!

作者的博士生导师胡思继教授、妻子张建琴工程师、硕士研究生石洪波工程师为本书的完成做出了很大贡献，在此深表谢意！并对为本书的出版提供帮助的单位、个人及本书参考文献的作者表示诚挚的感谢！

由于作者水平有限，书中难免有不当或错误之处，希望专家、学者和广大读者不吝指正。

郎茂祥

2008年12月于北京交通大学

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 研究配送车辆优化调度问题的意义	(1)
1.2 配送车辆优化调度问题概述	(2)
1.2.1 配送车辆优化调度问题的描述	(2)
1.2.2 配送车辆优化调度问题的构成要素	(3)
1.2.3 配送车辆优化调度问题的分类	(6)
1.2.4 对本书所研究的配送车辆优化调度问题的界定	(7)
1.3 配送车辆优化调度问题的现有求解方法综述	(8)
1.3.1 旅行商方法	(10)
1.3.2 动态规划法	(10)
1.3.3 节约法	(11)
1.3.4 扫描法	(13)
1.3.5 分区配送算法	(14)
1.3.6 方案评价法	(16)
1.3.7 现代优化计算方法	(16)
第 2 章 无时限单向配送车辆优化调度问题的模型及其爬山算法	(18)
2.1 组合优化问题及其求解方法概述	(18)
2.1.1 组合优化问题的描述	(18)
2.1.2 组合优化中邻域的概念	(19)
2.1.3 组合优化问题的求解方法	(19)
2.1.4 求解组合优化问题时处理约束条件的方法	(20)
2.2 无时限单向配送车辆优化调度问题的数学模型	(21)
2.3 爬山算法的原理和实现步骤	(24)
2.4 无时限单向配送车辆优化调度问题的爬山算法的设计	(24)
2.4.1 解的表示	(25)
2.4.2 解的评价	(27)

2.4.3	邻域选点方法	(28)
2.4.4	终止准则	(30)
2.5	无时限单向配送车辆优化调度问题的爬山算法的实现	(30)
2.5.1	算法策略的确定	(30)
2.5.2	算法的结构	(31)
2.5.3	算法的程序实现	(31)
2.5.4	实验计算和结果分析	(33)
2.6	算法策略和运行参数对爬山算法性能的影响	(39)
2.6.1	解的表示方法对爬山算法性能的影响	(39)
2.6.2	邻域选点策略对爬山算法性能的影响	(41)
2.6.3	爬山算法的寻优过程	(42)
第3章	无时限单向配送车辆优化调度问题的禁忌搜索算法和模拟退火算法	(43)
3.1	禁忌搜索算法的原理和实现步骤	(43)
3.2	无时限单向配送车辆优化调度问题的禁忌搜索算法的设计	(44)
3.3	无时限单向配送车辆优化调度问题的禁忌搜索算法的实现	(45)
3.3.1	算法策略的确定	(45)
3.3.2	算法的结构	(46)
3.3.3	算法的程序实现	(47)
3.3.4	实验计算和结果分析	(48)
3.4	算法策略和运行参数对禁忌搜索算法性能的影响	(50)
3.4.1	禁忌长度对禁忌搜索算法性能的影响	(50)
3.4.2	迭代搜索策略对禁忌搜索算法性能的影响	(51)
3.4.3	邻域选点策略对禁忌搜索算法性能的影响	(52)
3.4.4	禁忌搜索算法的寻优过程及其与爬山算法的比较	(53)
3.5	模拟退火算法的原理和实现步骤	(54)
3.5.1	模拟退火算法的原理	(54)
3.5.2	模拟退火算法的实现步骤	(55)
3.6	无时限单向配送车辆优化调度问题的模拟退火算法的设计	(55)
3.7	无时限单向配送车辆优化调度问题的模拟退火算法的实现	(58)
3.7.1	算法策略的确定	(58)
3.7.2	算法的结构	(58)
3.7.3	算法的程序实现	(59)
3.7.4	实验计算和结果分析	(60)
3.8	算法策略和运行参数对模拟退火算法性能的影响	(63)

3.8.1	初始温度对模拟退火算法性能的影响	(63)
3.8.2	降温速度对模拟退火算法性能的影响	(64)
3.8.3	迭代搜索策略对模拟退火算法性能的影响	(64)
3.8.4	模拟退火算法的寻优过程及其与其他算法的比较	(65)
第4章	无时限单向配送车辆优化调度问题的遗传算法及其改进	(68)
4.1	遗传算法的原理和实现步骤	(68)
4.1.1	遗传算法的基础用语	(68)
4.1.2	遗传算法的基本要素	(69)
4.1.3	遗传算法的基本结构	(70)
4.1.4	遗传算法的基本特征	(70)
4.1.5	设计遗传算法的基本步骤	(71)
4.2	无时限单向配送车辆优化调度问题的遗传算法的设计	(72)
4.2.1	编码表示	(72)
4.2.2	适应度评估	(72)
4.2.3	选择操作	(73)
4.2.4	交叉算子	(75)
4.2.5	变异算子	(78)
4.2.6	终止准则	(80)
4.3	无时限单向配送车辆优化调度问题的遗传算法的实现	(80)
4.3.1	算法策略的确定	(80)
4.3.2	算法的结构	(81)
4.3.3	算法的程序实现	(82)
4.3.4	实验计算和结果分析	(83)
4.4	算法策略和运行参数对遗传算法性能的影响	(85)
4.4.1	编码方法对遗传算法性能的影响	(85)
4.4.2	选择策略对遗传算法性能的影响	(86)
4.4.3	交叉算子对遗传算法性能的影响	(87)
4.4.4	变异算子对遗传算法性能的影响	(87)
4.4.5	交叉概率和变异概率对遗传算法性能的影响	(89)
4.4.6	群体规模和进化代数对遗传算法性能的影响	(90)
4.4.7	遗传算法的寻优过程及其与其他算法的比较	(91)
4.5	遗传算法改进的基本方法	(93)
4.5.1	基本遗传算法的不足	(93)
4.5.2	遗传算法的改进策略	(93)

4.6	无时限单向配送车辆优化调度问题的爬山遗传算法的设计与实现	(95)
4.6.1	算法策略的确定	(95)
4.6.2	算法的实现	(96)
4.6.3	实验计算和结果分析	(97)
4.7	无时限单向配送车辆优化调度问题的模拟退火遗传算法的设计与实现	(98)
4.7.1	模拟退火遗传算法的实现步骤	(98)
4.7.2	算法策略的确定	(99)
4.7.3	算法的结构	(99)
4.7.4	实验计算和结果分析	(100)
第5章	有时限单向配送车辆优化调度问题的模型和算法	(103)
5.1	有时限单向配送车辆优化调度问题概述	(103)
5.2	硬时间窗单向配送车辆优化调度问题的数学模型	(104)
5.3	硬时间窗单向配送车辆优化调度问题的禁忌搜索算法	(106)
5.3.1	算法的设计和实现	(106)
5.3.2	实验计算和结果分析	(106)
5.4	硬时间窗单向配送车辆优化调度问题的模拟退火算法	(111)
5.4.1	算法的设计和实现	(111)
5.4.2	实验计算和结果分析	(111)
5.5	软时间窗单向配送车辆优化调度问题的数学模型	(113)
5.6	软时间窗单向配送车辆优化调度问题的禁忌搜索算法	(115)
5.6.1	算法的设计和实现	(115)
5.6.2	实验计算和结果分析	(116)
5.7	软时间窗单向配送车辆优化调度问题的模拟退火算法	(117)
5.7.1	算法的设计和实现	(117)
5.7.2	实验计算和结果分析	(118)
第6章	双向配送车辆优化调度问题的模型和算法	(120)
6.1	双向配送车辆优化调度问题概述	(120)
6.2	无时限双向配送车辆优化调度问题的数学模型	(121)
6.3	无时限双向配送车辆优化调度问题的禁忌搜索算法	(123)
6.3.1	算法的设计和实现	(123)
6.3.2	实验计算和结果分析	(123)
6.4	无时限双向配送车辆优化调度问题的模拟退火算法	(126)
6.4.1	算法的设计和实现	(126)
6.4.2	实验计算和结果分析	(126)

6.5	硬时间窗双向配送车辆优化调度问题的数学模型	(128)
6.6	硬时间窗双向配送车辆优化调度问题的禁忌搜索算法	(131)
6.6.1	算法的设计和实现	(131)
6.6.2	实验计算和结果分析	(132)
6.7	硬时间窗双向配送车辆优化调度问题的模拟退火算法	(135)
6.7.1	算法的设计和实现	(135)
6.7.2	实验计算和结果分析	(135)
6.8	软时间窗双向配送车辆优化调度问题的数学模型	(137)
6.9	软时间窗双向配送车辆优化调度问题的禁忌搜索算法	(139)
6.9.1	算法的设计和实现	(139)
6.9.2	实验计算与结果分析	(140)
6.10	软时间窗双向配送车辆优化调度问题的模拟退火算法	(143)
6.10.1	算法的设计和实现	(143)
6.10.2	实验计算与结果分析	(143)
第7章	多配送中心车辆优化调度问题的模型和算法	(146)
7.1	多配送中心车辆优化调度问题概述	(146)
7.2	多配送中心车辆优化调度问题的数学模型	(147)
7.2.1	多配送中心车辆优化调度问题的描述	(147)
7.2.2	无时限多配送中心车辆优化调度问题的数学模型	(147)
7.2.3	有时限多配送中心车辆优化调度问题的数学模型	(149)
7.3	多配送中心车辆优化调度问题的求解思路	(151)
7.4	无时限多配送中心车辆优化调度问题的禁忌搜索算法	(152)
7.4.1	算法策略的确定	(152)
7.4.2	算法的结构	(153)
7.4.3	算法的程序实现	(154)
7.4.4	实验计算和结果分析	(156)
7.5	无时限多配送中心车辆优化调度问题的模拟退火算法	(159)
7.5.1	算法策略的确定	(159)
7.5.2	算法的结构	(160)
7.5.3	实验计算和结果分析	(161)
7.6	有时限多配送中心车辆优化调度问题的禁忌搜索算法	(163)
7.6.1	算法的设计和实现	(163)
7.6.2	实验计算和结果分析	(164)
7.7	有时限多配送中心车辆优化调度问题的模拟退火算法	(167)

7.7.1	算法的设计和实现	(167)
7.7.2	实验计算和结果分析	(168)
第 8 章	动态配送车辆优化调度问题的模型和算法	(171)
8.1	动态配送车辆优化调度问题概述	(171)
8.1.1	研究动态配送车辆优化调度问题的意义	(171)
8.1.2	动态配送车辆优化调度问题的定义	(172)
8.1.3	动态配送车辆优化调度问题的特征	(172)
8.1.4	动态配送车辆优化调度问题的分类	(173)
8.1.5	动态配送车辆优化调度问题的现有求解方法	(173)
8.2	动态车辆配送优化调度问题的模型和算法	(175)
8.2.1	对动态车辆配送优化调度问题的描述	(175)
8.2.2	动态车辆配送优化调度问题的求解策略	(177)
8.2.3	动态车辆配送优化调度问题的数学模型	(178)
8.2.4	动态车辆配送优化调度问题在制定整体优化配送计划阶段的算法设计	(182)
8.2.5	动态车辆配送优化调度问题在实时局部优化调度阶段的算法设计	(182)
8.2.6	算法的程序实现	(183)
8.2.7	实验计算和结果分析	(185)
8.3	动态网络配送车辆优化调度问题的模型和算法	(191)
8.3.1	动态网络配送车辆优化调度问题概述	(191)
8.3.2	动态网络配送车辆优化调度问题的现有模型和求解方法	(194)
8.3.3	对动态网络配送车辆优化调度问题的描述	(195)
8.3.4	动态网络配送车辆优化调度问题的数学模型	(196)
8.3.5	动态网络配送车辆优化调度问题的遗传算法	(198)
附录 A	无时限单向配送车辆优化调度问题的禁忌搜索算法 C 语言程序源代码	(203)
附录 B	无时限单向配送车辆优化调度问题的模拟退火算法中模拟退火操作模块的 C 语言程序源代码	(210)
参考文献	(212)

第1章 绪论

1.1 研究配送车辆优化调度问题的意义

当前，现代物流已被公认为是企业在降低物质消耗、提高劳动生产率以外创造利润的第三个重要源泉，也是企业降低生产经营成本，提高产品市场竞争力的重要途径。据专家测算，现代物流成本约占企业经营成本的30%~50%，当一个有效的物流系统与企业主要商业系统集成之后，可使仓储量降低50%，准时交货率提高40%，营业收入增加10%以上。在经济发达国家和一些经济水平较高的发展中国家，现代物流水平已成为影响企业竞争力的关键因素。

与发达国家相比，我国的物流产业效率较低。根据全国第三产业普查资料，我国交通运输、仓储、代理和批发等行业的成本费用之和占国内生产总值的比重为15%左右，如果考虑其他相关流通环节的费用和流通过程中的物流损失，则全社会物流费用支出约占国内生产总值的20%左右。而美国的全社会物流费用支出仅占其国内生产总值的10%左右。另据有关资料，目前我国一般工业品从产品出厂经过装卸、储存、运输等各个物流环节到消费者手中的流通费用约占商品价格的50%左右；而新鲜水果、易变质食品、某些化工产品的流通费用有的高达商品售价的70%~80%；我国汽车零配件的生产中，其加工装配时间仅占2%，而98%的时间是原材料、零配件的储存、装卸和搬运时间；在各种产品的生产和流通环节中还有大量原材料、零部件和产品的“库存”。这些费用和时间上的消耗和大量存在的“库存”正是潜在的物流管理的领域，这为物流的发展留下了巨大的空间。在这种形势下，研究如何通过实施科学的物流管理，以提高物流效率、降低物流成本、提高服务质量是十分必要的。

配送是物流系统中的一个重要环节，它是指按客户（包括零售商店、用户等）的订货要求（包括在货物种类、数量和时间等方面的要求），在配送中心（或物流中心、仓库、车站、港口等）进行分货、配货工作，并将配好的货物及时送交收货人的物流活动。配送过程主要包括以下作业环节：从生产工厂进货或运达并集结的集货作业；根据各个客户的不同需求，在配送中心将所需要的货物挑选出来的分货和配货作业；考虑配送货物的重量和体积，充分利用车辆的载重和容积的货物配装作

业；合理确定车辆配送路线并及时送货的作业。可见，配送是一种集集货、分货、配货、配装、送货等多种功能为一体的物资流通方式。

由于配送是对顾客服务的最后一环，因此，配送的地位十分突出，如何实现快速而准确的配送是企业的经营方面必须解决的重要课题。目前我国的配送基本上还停留在“只送不配”的水平上，造成配送效率低下，车辆空驶严重，配送成本很高，服务质量却很低。鉴于此，研究运用科学方法合理组织配送，以提高企业的服务质量、减少库存、降低经营成本、增加经济效益是十分必要的。

在配送业务中，配送车辆优化调度问题的涉及面较广，需要考虑的因素较多，对配送企业提高服务质量、降低物流成本、增加经济效益的影响也较大。该问题包括集货线路优化、货物配装及送货线路优化等，是物流系统优化的关键。

国外将配送车辆优化调度问题归结为 VRP (Vehicle Routing Problem, 车辆路径问题)、VSP (Vehicle Scheduling Problem, 车辆调度问题) 和 MTSP (Multiple Traveling Salesman Problem, 多路旅行商问题)。该问题于 1959 年由 Dantzig 和 Ramser 提出后，很快便引起运筹学、应用数学、组合数学、图论与网络分析、物流科学、计算机应用等学科的专家以及运输计划制定者的极大重视，并一直是运筹学与组合优化领域的前沿与热点问题。在现实生产和生活中，邮政投递问题、飞机、铁路车辆、水运船舶及公共汽车的调度问题、电力调度问题、管道铺设问题、计算机网络拓扑设计问题等都可以抽象为配送车辆优化调度问题。本书所研究的配送车辆优化调度问题的求解算法对解决上述问题也是有效的。可见，本书将配送车辆优化调度问题作为研究对象，具有重要的理论和现实意义。

1.2 配送车辆优化调度问题概述

1.2.1 配送车辆优化调度问题的描述

配送车辆优化调度问题可以描述为：在一个存在供求关系的系统中，有若干台车辆、若干个配送中心和客户，要求合理安排车辆的行车路线和出行时间，从而在给定的约束条件下，把客户需求的货物从配送中心送到客户，把客户供应的货物从客户取到配送中心，并使目标函数取得优化。

配送车辆优化调度问题可归结为如下的一般网络模型：设 $G=(V, E, A)$ 是一个连通的混合网络， V 是顶点集（表示配送中心、客户、停车场等）， E, A 分别为无向的边集和有向的弧集， E 中的边和 A 中的弧均被赋权（可以表示配送的距离、时间或费用）， V', E', A' 分别为 V, E, A 的子集，求满足约束条件（包括客户

的货物需求或供应数量约束、需求或供应时间约束、配送车辆一次配送的最大行驶距离约束、车辆的最大载重量约束等), 并包含 V' 、 E' 、 A' 的一些巡回路线, 使目标函数取得优化, 目标函数可以取配送总里程最短、配送车辆总吨位公里数最少、配送总费用最低、配送总时间最少、使用的配送车辆数最少、配送车辆的满载率最高等。

1.2.2 配送车辆优化调度问题的构成要素

配送车辆优化调度问题主要包括货物、车辆、配送中心、客户、运输网络、约束条件和目标函数等要素。

1. 货物

货物是配送的对象。可将每个客户需求(或供应)的货物看成一批货物。每批货物都包括品名、包装、重量、体积、要求送到(或取走)的时间和地点、能否分批配送等属性。

货物的品名和包装, 是选用配送车辆的类型以及决定该批货物能否与其他货物装在同一车辆内的依据。例如, 一些货物因性质特殊需要使用专用车辆装运; 一些货物因性质特殊不能与其他货物装在同一车辆内; 一些货物虽然性质特殊, 但由于包装条件很好, 故也能与其他货物装在同一车辆内。

货物的重量和体积是进行车辆装载决策的依据。当某个客户需求(或供应)货物的重量或体积超过配送车辆的最大装载重量或容积时, 则该客户将需要多台车辆进行配送。

货物的送到(或取走)时间和地点是制定车辆的出行时间和配送路线的依据。

允许货物分批配送, 是指某个客户的需求(或供应)的货物可以用多辆车分批送到(或取走), 即使其需求(或供应)量在一辆车的装载量以下。

2. 车辆

车辆是货物的运载工具, 其主要属性包括: 车辆的类型、装载量、一次配送的最大行驶距离、配送前的停放位置及完成任务后的停放位置等。

车辆的类型有通用车辆和专用车辆之分, 通用车辆适于装运大多数普通货物, 专用车辆适于装运一些性质特殊的货物。

车辆的装载量是指车辆的最大装载重量和最大装载容积, 是进行车辆装载决策的依据。在某配送系统中, 车辆的装载量可以相同, 也可以不同。

对每台车辆一次配送的行驶距离的要求可分为以下几种情况:

- ① 无距离限制;
- ② 有距离限制;
- ③ 有距离限制, 但可以不遵守, 只是不遵守时需另付加班费。

车辆在配送前的停放位置可以在某个停车场、配送中心或客户所在地。

车辆完成配送任务后, 对其停放位置的要求可分为以下几种情况:

- ① 必须返回出发点;
- ② 必须返回某停车场;
- ③ 可返回到任意停车场;
- ④ 可停放在任何停车场、配送中心或客户所在地。

3. 配送中心

配送中心是进行集货、分货、配货、配装、送货作业的地点, 也可指具有相似功能的物流中心、仓库、车站、港口等。

在某配送系统中, 配送中心的数量可以只有一个, 也可以有一个以上; 配送中心的位置可以是确定的, 也可以是不确定的。对于某个配送中心, 其供应的货物可能有一种, 也可能有多种; 其供应的货物数量可能能够满足全部客户的需求, 也可能仅能满足部分客户的需求。

4. 客户

客户也称为用户, 包括分仓库、零售商店等。客户的属性包括需求(或供应)货物的数量、需求(或供应)货物的时间、需求(或供应)货物的次数及需求(或供应)货物的满足程度等。

在某个配送系统中, 某个客户的需求(或供应)货物的数量可能大于车辆的最大装载量, 也可能小于车辆的最大装载量; 而该系统全部客户的货物需求(或供应)总量可能超过全部车辆的总装载量, 也可能低于全部车辆的总装载量。

某客户的需求(或供应)货物的时间, 是指要求将货物送到(或取走)的时间, 对配送时间的要求可分为以下几种情况:

- ① 无时间限制;
- ② 要求在指定的时间区间(也称为时间窗)内完成运输任务;
- ③ 有时间限制, 但可以不遵守, 只是不遵守时要给予一定的惩罚。

某客户的需求(或供应)货物的次数可能仅有一次, 即只需一次配送服务; 也可能为多次, 即需要多次配送服务。

某客户对需求(或供应)货物的满足程度的要求可分为两种情况:

- ① 要求全部满足;
- ② 可以部分满足, 但不满足时要受到惩罚。

5. 运输网络

运输网络是由顶点(指配送中心、客户、停车场)、无向边和有向弧组成的。边、弧的属性包括方向、权值和交通流量限制等。

某运输网络中可能仅有无向边; 也可能仅有有向弧; 还可能既有无向边, 又有有向弧。

运输网络中边或弧的权值可以表示距离、时间或费用。边或弧的权值变化分为以下几种情况:

- ① 固定, 即不随时间和车辆的不同而变化;
- ② 随时间不同而变化;
- ③ 随车辆的不同而变化;
- ④ 既随时间不同而变化, 又随车辆不同而变化。对运输网络权值间的关系可以要求其满足三角不等式, 即两边之和大于第三边; 也可以不加限制。

对运输网络中顶点、边或弧的交通流量要求分为以下几种情况:

- ① 无流量限制;
- ② 边、弧限制, 即每条边、弧上同时行驶的车辆数有限;
- ③ 顶点限制, 即每个顶点上同时装、卸货的车辆数有限;
- ④ 边、弧、顶点都有限制。

6. 约束条件

配送车辆优化调度问题应满足的约束条件主要包括:

- ① 满足所有客户对货物品种、规格、数量的要求。
- ② 满足客户对货物发到时间范围的要求。
- ③ 在允许通行的时间进行配送(如有时规定白天不能通行货车等)。
- ④ 车辆在配送过程中的实际载货量不得超过车辆的最大允许装载量。
- ⑤ 在配送中心现有运力范围内。

7. 目标函数

对配送车辆优化调度问题, 可以只选用一个目标, 也可以选用多个目标。经常选用的目标函数主要有以下几个。

- ① 配送总里程最短。配送里程与配送车辆的耗油量、磨损程度以及司机疲劳程

度等直接相关，它直接决定运输的成本，对配送业务的经济效益有很大影响。由于配送里程计算简便，它是确定配送路线时用得最多的指标。

② 配送车辆的吨位公里数最少。该目标将配送距离与车辆的载重量结合起来考虑，即以所有配送车辆的吨位数（最大载重吨数）与其行驶距离的乘积的总和最少为目标。

③ 综合费用最低。降低综合费用是实现配送业务经济效益的基本要求。在配送中，与取送货有关的费用包括：车辆维护和行驶费用、车队管理费用、货物装卸费用、有关人员工资费用等。

④ 准时性最高。由于客户对交货时间有较严格的要求，为提高配送服务质量，有时需要将准时性最高作为确定配送路线的目标。

⑤ 运力利用最合理。该目标要求使用的较少的车辆完成配送任务，并使车辆的满载率最高，以充分利用车辆的装载能力。

⑥ 劳动消耗最低。即以司机人数最少、司机工作时间最短为目标。

1.2.3 配送车辆优化调度问题的分类

配送车辆优化调度问题可按照其构成要素划分为不同的种类。

(1) 按配送中心的数目分，有单配送中心问题（配送系统中仅有一个配送中心）和多配送中心问题（配送系统中存在多个配送中心）。

(2) 按车辆载货状况分，有满载问题（由于客户需求或供应的货物数量大于或等于车辆的载重量，故完成一项配送任务需要一辆或多辆配送车辆，配送车辆需要满载运行）、非满载问题（由于客户需求或供应的货物数量小于车辆载重量，多项配送任务可共用一辆配送车辆，车辆在配送过程中经常处于不满载状态）以及满载和非满载混合问题（由于一部分客户需求或供应的货物数量大于或等于车辆的载重量，而另一部分客户需求或供应的货物数量小于车辆的载重量，造成一些配送车辆需要满载运行，而另一些车辆则经常处于不满载状态）。

(3) 按配送任务特征分，有纯送货问题（仅考虑从配送中心向客户送货，也称为纯卸问题）或纯取货问题（仅考虑把各客户供应的货物取到配送中心，也称为纯装问题）及取送混合问题（既考虑将客户需求的货物从配送中心送到各个客户，同时也考虑将客户供应的货物从客户取到配送中心，也称为装卸混合问题或集货和送货一体化问题）。为了便于叙述，本书将纯送货或纯取货的配送车辆优化调度问题称为单向配送车辆优化调度问题，而将取送混合的配送车辆优化调度问题称为双向配送车辆优化调度问题。