

# 环状区域的车辆路径方案生成系统及优化模型<sup>①</sup>

胡祥培<sup>1</sup>, 黄敏芳<sup>1</sup>, Zeng Amy Z<sup>2</sup>

(1. 大连理工大学管理学院, 大连 116023;

2. 伍斯特理工学院管理系, 美国马萨诸塞州 01609 - 2280)

**摘要:** 针对顾客满足环状区域分布的车辆路径问题 (VRP), 以大幅度地缩减问题求解的状态空间为突破口, 引入人工智能和运筹学理论, 提出求解这类特殊车辆路径问题的两阶段方法. 第1阶段考虑行车时间和车载容量, 提出带有控制策略的深度优先搜索算法自动生成备选的车辆路径方案集合. 第2阶段将此备选方案集合归结为整数规划模型. 采用 VB6.0 编程语言构建了车辆路径方案生成系统, 并实现该系统与运筹学求解软件 lingo 的集成. 通过案例验证了上述方法及自动求解系统的有效性. 该项研究为解决环状配送区域的车辆路径问题这一难题提供了新方法.

**关键词:** 车辆路径问题 (VRP); 方案生成系统; 人工智能; 整数规划模型

**中图分类号:** U116; O223; TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 9807 (2008) 06 - 0103 - 09

## 0 引言

车辆路径规划是城区物流配送的重要环节, 车辆路径问题<sup>[1]</sup> (vehicle routing problem, VRP) 已被证实是 NP-Hard 问题<sup>[2]</sup>. 该问题由 Dantzig 和 Ramser<sup>[3]</sup> 提出后, 一直是运筹学与组合优化领域研究的热点和难点问题之一.

近四十多年来, 国内外学者在 VRP 的求解理论、方法、算法方面取得了丰富的研究成果, 应用多种技术和工具建立了不少模型, 并开发出相应的求解系统<sup>[4,5]</sup>. 在已有的研究成果中, 算法方面的成果尤其突出, 大致可分为精确算法和启发式 (包括元启发式) 算法两大类. 精确算法方面的研究综述可参阅文献<sup>[6]</sup>. 启发式算法是一种基于直观或经验构造的算法, 目标是在可接受的费用 (计算时间、占用空间等) 下得到待解决问题的满意解, 而不是最优解. 考虑到 VRP 是 NP-Hard 问题, 而启发式方法能够比较快地得到满意解, 这对

解决 NP-Hard 问题来说有着不可估量的作用. 因此大部分研究 VRP 的文献主要是在构造各种高质量的启发式算法<sup>[7-14]</sup>. 上述两大类算法已用于解决大量的实际问题. 这些成果极大地推进了物流配送中的 VRP 研究. 但是, 当面临较大规模 VRP 时, 上述算法显得力不从心, 算法的求解效率随着问题规模的增大而迅速降低. 其主要根源在于随着问题规模的增大, 问题求解的状态空间急剧膨胀. 大幅度地缩减问题求解的状态空间就成为求解大规模 VRP 的关键问题之一.

为了缩减问题求解的状态空间, 本文针对环状配送区域的 VRP 提出两阶段求解方法. 它在根据客户分布、城市交通要道的布局等特点划分配送区域的基础上, 第1阶段引入人工智能状态空间搜索理论, 考虑行车时间和车载容量, 采用带有控制策略的深度优先搜索算法自动生成较好的车辆路径方案集合, 这样就可以把相对较差的车辆路径方案从解答空间中舍去, 以此来大大缩小可

① 收稿日期: 2006 - 08 - 22; 修订日期: 2007 - 07 - 15.

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目 (70725004); 国家自然科学基金资助项目 (70571009; 70171040; 70031020); 教育部重点科研资助项目 (03052); 高等学校博士点基金资助项目 (20060141013); 辽宁省科学基金资助项目 (2001101074).

作者简介: 胡祥培 (1962 -), 男, 安徽绩溪人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: drhxp@dlut.edu.cn

行解的状态空间;第2阶段应用运筹学规划理论,将生成的备选方案集合归结为整数规划模型,通过构建车辆路径方案的生成系统,实现该系统与运筹学求解软件 Lindo 的集成,形成通用的自动求解系统,以应对城区物流配送过程中需求的动态变化,实时生成最优车辆路径方案,提高决策效率.最后通过案例验证了上述方法及自动求解系统的有效性.

关于配送区域的划分问题,可能存在多种情况,其几何形状也可能呈现出环状、扇形、块状、条状等多种结果以及它们的组合.由于配送区域划分的复杂性,因此将另撰文研究区域划分.本文针对配送区域满足环状分布的一类特殊 VRP 提出车辆路径方案智能生成方法.这类特殊 VRP 的详细描述见 1.1 节.该问题的求解目标是找出最少车辆的最优路径方案集合.这类 VRP 涉及的参数较多,如配送区域的种类、各种配送区域中客户的数量、供货点到达各配送区域所需的行车时间、各客户之间相互到达所需的行车时间等,这些参数都不尽相同,因此车辆路径方案集合具有数据量大、种类多、数据之间关系复杂等特点.虽然可以用手工方法寻找和列举出车辆路径方案的集合,并用传统的运筹学规划理论进行求解,这样也可以解决这类特殊的 VRP,但是随着客户数量、客户需求量、运输工具等各种参数的动态变化会使该问题变为动态的车辆路径问题<sup>[15]</sup>,而且这种动态变化随时发生,因此手工方法无论是在求解效

率还是处理问题的实时应变能力方面都难以满足需要.本文的车辆路径方案生成系统和自动求解系统就是为了应对这种动态变化而构建的,它可以由计算机实时生成最优的车辆路径方案.

## 1 车辆路径方案的生成方法

### 1.1 问题描述及变量的假设

本文研究的环状配送区域的 VRP 可定义为:供货点(可以为物流中心、调度中心、货场等)拥有多种类型(不同的车载容量)的车辆,它需要在指定时间段内(即硬时间窗<sup>[3]</sup>)给分布在周边的客户送货,车辆在限定条件内为客户服务完后不必回到供货点.这类 VRP 属于开放式车辆路径问题(OVRP).根据某一指标或特征(如配送时间、配送费用、城市交通要道的布局等)将配送区域进行划分.本文研究的是环状配送区域的 VRP,这类问题在我国具有典型性,国内有部分大城市(如北京、成都等)市内的环状快速路(简称环路)形成了城市的交通要道.由于环路具有交通状况良好,没有红绿灯限制,不易堵车等特点,因此根据环路及环路的配送辐射带划分配送区域.图 1 所示的就是环状配送区域的车辆路径问题示意图.同一环状区域内的客户属于同类客户,由内向外分别依次命名为 A、B、C、D 类客户等.物流配送的目标是以最少的车辆满足所有的运输需求,并得出最优的车辆路径方案.

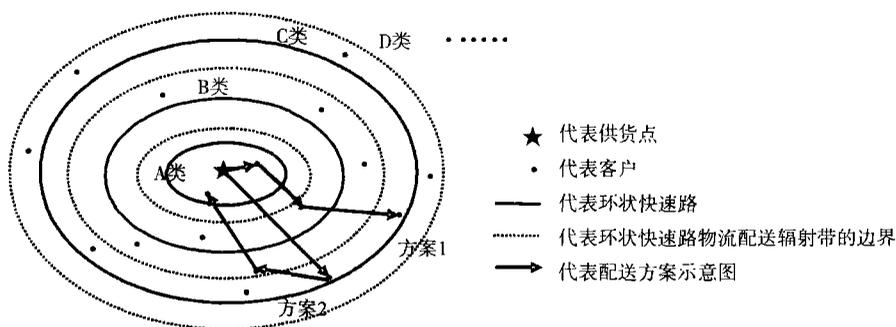


图1 环状配送区域的车辆路径问题示意图

Fig. 1 A graph for the VRP with circular transportation networks

由于本文研究的是开放式带有时间窗的 VRP,两客户间的行车代价值将用它们间的行车时间来度量.这个代价值与两客户间的几何距离不成正比关系,而与路况密切相关.如图 1 中的方

案 1 和方案 2 代表的是两种配送方案,并不是具体的行车路径.实际的行车路径往往充分利用环路通行速度快的优点,在为同区域或者跨区域的客户服务时,车辆尽量使用最近的环路,顺着环路

走到距离下一个客户点最近的出口离开环路,到达客户点.图2所示是图1中的方案1和方案2可能的行车路径示意图.

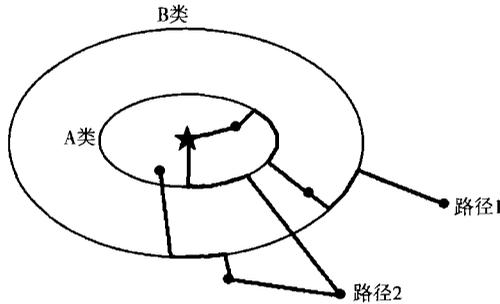


图2 配送方案的行车路径示意图

Fig. 2 An example of travel route selection

为了便于研究问题,本文仅考虑只有1个供货点的VRP.现将图1中所示的这类VRP作如下简化:(1)对于供货点而言,同一环状区域内的顾客具有共同的属性;(2)各客户需求量、卸货和验货时间在一定时期内均为常量.上述两个简化条件是根据已有的实际案例提出的.虽然条件的简化会使所提的方法在解决实际物流配送问题时具有局限性,但这对于缩小可行解的状态空间、提高求解效率十分有益.如需要提高求解方法的适用性,可根据具体要求适当放宽两个假设条件的限制.

基于上述两个简化条件的环状配送区域的VRP涉及的参数有:

- $N$ ——客户点总数量;
- $C$ ——环状区域的个数,即客户种类的数量;
- $P_i$ ——第*i*类客户, $i = 1, \dots, C$ ;
- $b_i$ ——第*i*类客户的数量, $i = 1, \dots, C$ ;
- $P_{ij}$ ——第*i*类客户中第*j*个客户, $i = 1, \dots, C$ ;  
 $j = 1, \dots, b_i$ ;
- $q_i$ ——第*i*个客户的需求量,本文研究的是 $q_1 = q_2 = \dots = q_n = Q$ 这种情况;
- $T$ ——行车总时间;
- $Dt_i$ ——由供货点到达第*i*类客户所需的行车时间, $i = 1, \dots, C$ ;
- $Et_{ij}$ ——由*i*类客户到*j*类客户所需的行车时间, $i, j = 1, \dots, C$ ;
- $lt_i$ ——第*i*个环状区域内某一客户到达候选客户节点所需的行车时间;
- $Ut$ ——车辆在客户点的卸货、验货时间,常量;

$K$ ——配送车辆的种类数;

$p_i$ ——第*i*种配送车辆的配送成本, $i = 1, \dots, K$ .

$v_i$ ——第*i*种车的载重量, $i = 1, \dots, K$ ;

车辆路径优化模型的目标是在满足行车总时间、车载容量的条件下,以最少的车辆满足各客户的需求,并得到最优的车辆路径方案.

为了缩小方案生成的搜索空间,本文为每个客户建立候选客户节点集合.参照文献[16],较合适的候选节点集合的规模为 $b_i/4$ . $P_{ij}$ 为当前客户,第*i*类客户中任一客户 $P_{ik}$ 与客户 $P_{ij}$ 之间的行车代价值为 $Val(t_{ijk})$ .将 $Val(t_{ijk})$ 按升序排列,形成集合 $Val_{ca}$ .集合 $List(Val_{ca})_m$ 表示集合 $Val_{ca}$ 的前*m*个元素.则对于第*i*类客户,当 $m = b_i/4$ 时,集合 $List(Val_{ca})_m$ 即为客户 $P_{ij}$ 的候选节点集合.且 $lt_i$ 为 $List(Val_{ca})_m$ 中各元素的平均值.根据上述定义,将在当前客户的候选节点集合中任选一个客户作为下一步服务的对象,或者选取跨区域中的客户作为服务对象.

### 1.2 车辆路径方案

车辆路径方案是指一辆车在行车时间和车载容量的限制条件下为客户服务的行驶方案.方案的设计思想是:某一运输车辆从供货点出发,从各类客户中选择一客户作为服务对象,到达选定客户并服务完后,继续在其候选客户和其它各类客户中选取下一客户作为到达和服务的对象,如此下去,直至行车时间或车载容量达到限制条件.根据问题的界定,车辆在选择下一个服务对象时可遵循两种控制策略:(1)就近优先原则.由于每一辆车服务完客户后不必回到供货点(属于开放式VRP),所以车辆从供货点出发,应该就近优先选择内环区域中候选客户作为服务对象,如图1中方案1与方案2所服务的客户类别和数量相同,但显然方案1占用的时间短;(2)同区域优先原则.对于环状配送区域,因为跨区域客户之间行车时间要比同一区域客户之间的行车时间要长,所以在需求量基本一致的前提下,当某一车辆为一个客户服务完后,应该优先选择同一区域内的客户作为下一个服务对象,而不是选跨区域的客户.若车辆选择当前区域中的客户作为下一个服务对象已经达到限定条件,那么选择其它区域中的客户作为服务对象也必定会达到限定条件.

构建或列举出车辆路径方案是建立车辆路径优化模型的前提. 备选的车辆路径方案集合可以用表格形式描述(限于篇幅, 这里仅以一种车为例来阐述), 如表1所示. 表中各符号含义如下:

$a_{ij}$ ——在方案  $j$  中, 某一车辆供应第  $i$  类客户的数量. 可以按穷举原则在满足行车时间和车载容量的限制条件下列举确定;

$T_{ij}$ ——车辆从供货点出发, 为第1类、第2类、...、第  $i$  类客户服务完之后的累计行车时间, 可由式(1)和式(2)表示的递推关系确定, 其中  $m_k (k=1, \dots, K)$  为第  $k$  种车辆所有的路径方案数量;

$Q_{ij}$ ——车辆从供货点出发, 为第1类、第2

类、...、第  $i$  类客户服务完后累计的送货量.

由于各客户需求量一样, 所以累计送货量

$$Q_{ij} = Q * \sum_{k=1}^i a_{kj}$$

$$T_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{当 } a_{1j} = 0 \text{ 时} \\ Dt_1 + a_{1j}Ut + (a_{1j} - 1)It_1, & \text{当 } a_{1j} > 0 \text{ 时, } j = 1, 2, \dots, m_k \end{cases}$$

$$T_{ij} = \begin{cases} T_{(i-1)j}, & \text{当 } a_{ij} = 0 \text{ 时} \\ T_{(i-1)j} + Et_{(i-1)i} + a_{1j}Ut + (a_{ij} - 1)It_1, & \text{当 } a_{ij} > 0 \text{ 时,} \\ & i = 2, \dots, C; j = 1, 2, \dots, m_k \end{cases}$$

表1 车辆路径方案生成过程的参数表

Table 1 The formation process of routing schemes and its variety of parameters

客户类型	第 $K$ 种车					
	方案					
	方案1	方案2	...	方案 $j$	...	方案 $n$
第1类客户 (累计行车时间、累计送货量)	$a_{11}$ $T_{11}, Q_{11}$	$a_{12}$ $T_{12}, Q_{12}$	...	$a_{1j}$ $T_{1j}, Q_{1j}$	...	$a_{1n}$ $T_{1n}, Q_{1n}$
第2类客户 (累计行车时间、累计送货量)	$a_{21}$ $T_{21}, Q_{21}$	$a_{22}$ $T_{22}, Q_{22}$	...	$a_{2j}$ $T_{2j}, Q_{2j}$	...	$a_{2n}$ $T_{2n}, Q_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...
第 $i$ 类客户 (累计行车时间、累计送货量)	$a_{i1}$ $T_{i1}, Q_{i1}$	$a_{i2}$ $T_{i2}, Q_{i2}$	...	$a_{ij}$ $T_{ij}, Q_{ij}$	...	$a_{in}$ $T_{in}, Q_{in}$
...	...	...	...	...	...	...
第 $C$ 类客户 (累计行车时间、累计送货量)	$a_{C1}$ $T_{C1}, Q_{C1}$	$a_{C2}$ $T_{C2}, Q_{C2}$	...	$a_{Cj}$ $T_{Cj}, Q_{Cj}$	...	$a_{Cn}$ $T_{Cn}, Q_{Cn}$

表1所示的车辆路径方案集合可以采用枚举法由手工完成, 但是对于大规模的VRP, 这是极其复杂和繁重的任务, 特别是当某些参数发生变化后, 车辆路径方案集合应随之改变, 手工操作显得无能为力. 为此, 本文引入人工智能理论, 建立智能化的车辆路径方案生成系统, 由计算机自动生成较好的车辆路径方案集合, 并以此来获得随机应变能力.

### 1.3 车辆路径方案生成的搜索算法

由表1可看出, 车辆路径方案集合形成了人工智能中的状态空间. 一个方案对应于状态空间图中从初始状态至目标状态的一条路径. 其中, 车辆在供货点的位置即为初始状态, 它在限定条件下服务完的最终客户的位置为目标状态. 由此, 可采用人工智能的状态空间理论来解决车辆路径方

案的生成. 根据深度优先搜索原理可知该搜索方法适用于生成车辆路径方案, 其搜索深度可由行车时间和车载容量来控制. 同时引入控制策略来提高生成方案的质量, 以减少可行的车辆路径方案的数量, 缩小优化模型的规模.

状态空间搜索问题涉及到3个要素<sup>[17]</sup>: 初始状态、操作(算符)、目标状态. 当其用于生成车辆路径方案时, 3要素具体定义为:

(1) 初始状态. 状态可由车辆服务的客户位置  $P_i$ 、累计行车时间  $T_n$  和累计送货量  $Q_n$  等3者来描述, 其中  $i = 1, \dots, C$ . 初始状态用  $(P_0, T_s, Q_s)$  表示;

(2) 操作(算符). 车辆为当前客户服务完后选择下一个服务对象的动作. 根据客户种类和控制策略, 操作集合为  $\{go(P_1), go(P_2), \dots\}$ .

..., go( $P_C$ )}

(3) 目标状态. 在节点(实际问题表现为车辆要服务的客户)的“扩展”过程中, 当行车时间或车载容量达到限制条件, 即  $T_n > T$ , 或  $Q_n > v_i$ , 或不满足两种控制策略时, 节点的“扩展”结束, 已达到目标状态.

采用带有控制策略的深度优先搜索算法来生成车辆路径方案的操作步骤如下:

(1) 把起始节点  $S$  放入 open 表中, 初始化累计行车时间函数  $T_S = 0$  和累计送货量函数  $Q_S = 0$ ;

(2) 如果 open 表为一空表, 则退出;

(3) 确定节点  $n$  (open 表中第一个节点) 到达其父辈节点所需的行车时间  $t_n, t_n = \{Dt_i, It_i, Et_{ij}\}$ , 并计算到达节点  $n$  的累计行车时间  $T_n = T_{\alpha} + t_n$  和累计送货量  $Q_n = Q_{\alpha} + Q_i$ . 若  $T_n > T$ , 或  $Q_n > v_i$ , 或不满足两种控制策略时, 则删除 open 表中节点  $n$ , 否则将节点  $n$  从 open 表移到 close 表, 记录其所在区域位置、累计行车时间和累计送货量, 用  $(P_n, T_n, Q_n)$  表示, 并转向(2);

(4) 扩展节点  $n$ , 产生其后裔, 并把他们放入 open 表的前头, 转向(2).

上述算法的流程图如图 3 所示.

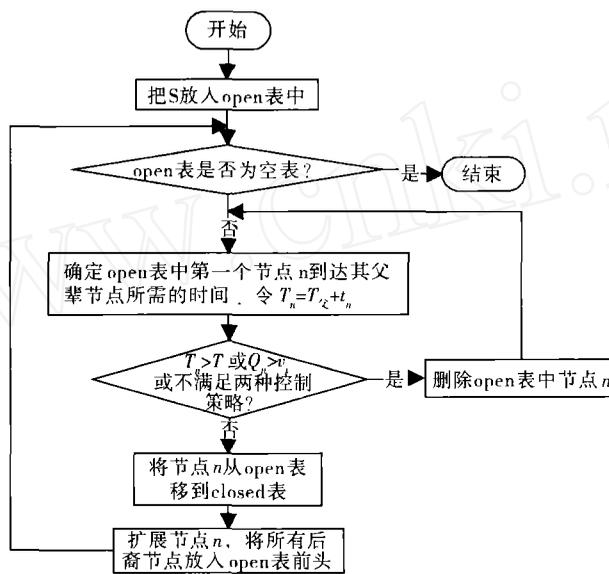


图 3 车辆路径方案生成的搜索算法流程图

Fig. 3 The searching algorithm for generating vehicle routing schemes

## 2 车辆路径问题的整数规划数学模型

在生成车辆路径方案集合的基础上, 设按第  $j$  种方案执行的车辆数为  $x_j$ , 第  $k$  种车辆共有  $m_k$  个可行的路径方案, 则车辆路径方案总数为  $M =$

$\sum_{i=1}^K m_k$ . 建立的车辆路径问题的数学优化模型为

$$\min z = \sum_{i=1}^K (p_i \sum_{j=m_{i-1}+1}^{m_i} x_j) \quad (3)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^M a_{ij} x_j \geq b_i, i = 1, \dots, C \\ x_j \geq 0, x_j \in \text{int}, j = 1, \dots, M \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $p_i$  为第  $i$  种配送车辆的配送成本; 式(3)表示车辆配送总成本最小; 式(4)表示各环状配送区域中的客户需求必须都被满足. 该模型可用运筹学求解软件 Lindo<sup>[18]</sup> 中的“integer linear programming”模块进行求解.

## 3 环状配送区域车辆路径方案求解系统

为了应对物流配送过程中需求的动态变化, 提高决策效率, 开发了基于车辆路径方案智能生成和整数规划模型求解这一两阶段方法的“环状配送区域车辆路径方案求解系统”, 系统结构如图 4 所示.

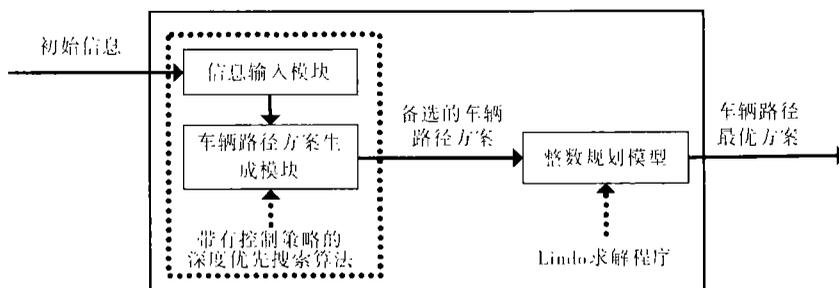


图4 车辆路径方案生成系统的结构示意图

Fig. 4 The structure of the vehicle routing scheme generation system

系统中的模块及功能为：

(1) 信息输入模块. 该模块接受物流配送初始信息的输入, 检查、确定并保存问题的信息, 包括环状区域(即客户种类)的数量、客户的需求量、待投入的车辆种类、车辆在客户点卸货验货时间、行车总时间、位于不同环状区域客户之间到达的行车时间、同一环状区域客户之间到达的行车时间以及车辆的载重量和成本等信息。

(2) 车辆路径方案生成模块. 该模块根据问题各类参数初始值, 依据深度优先搜索算法的原理和控制策略生成可行的车辆路径方案集合, 将结果存入数据库, 作为参与运筹学整数规划求解软件系统运算的数据。

(3) 整数规划模型. 该模块将实现车辆路径问题整数规划数学模型的求解。

根据设计的系统结构、模块与功能, 作者采用 VB6.0 程序设计语言、SQL Server2000 的数据库、运筹学求解软件 Lindo, 实现了完整的“环状配送区域车辆路径方案求解系统”。其中, 利用 Lindo 系统公司提供的应用程序接口——Lindo API 2.0<sup>[18]</sup>, 编写 Visual C# 应用程序调用其“Integer Linear Programming”模块, 并将此模块嵌入 VB6.0 程序中。

#### 4 案例研究

本文以食品配送的实际案例来验证算法的可行性. 案例为北京市某食品公司主要向市区 106 个零售店批发猪肉, 并负责送货. 其中有 50 个零售店在半径 5 公里内, 将其设为 A 类客户点; 36 个在 10 公里内, 设为 B 类点; 20 个在 10 公里以上, 设为 C 类点. 冷藏车种类有 2 吨、4 吨两种, 行车成本分别是 12 万元和 18 万元. 如何用最小的投入(冷

藏车) 在指定时间内完成运输任务, 并得到冷藏车的最优路径方案. 该问题各类条件具体情况如下:

- (1) 106 个零售店日销售量大多数在 0.4 ~ 0.5 吨间. 为简化计算, 设定每个店日销量 0.5 吨.
- (2) 每个零售店卸货、验收时间为 30 分钟.
- (3) 零售店从凌晨 4 点开始收货, 最迟送完货时间为 7:30. 全程允许时间为 210 分钟.
- (4) 由供货点到各类零售店所需的行车时间, 不同类零售店间所需的行车时间, 以及某类零售店相互到达所需的行车时间由表 2 可得到.

表 2 各客户间所需的行车时间(单位:min)

Table 2 The average travel time between all kinds of customers (minutes)

	供货点	A 类客户	B 类客户	C 类客户
A 类客户	20	5	20	40
B 类客户	40	20	10	20
C 类客户	60	40	20	20

将各参数值输入“环状配送区域车辆路径方案求解系统”中图 5 所示的两个界面, 点击“下一步”将生成 29 个方案列表, 如图 6 所示. 点击图 6 中的“方案优化”求得其最优车辆投入和相应的路径方案。

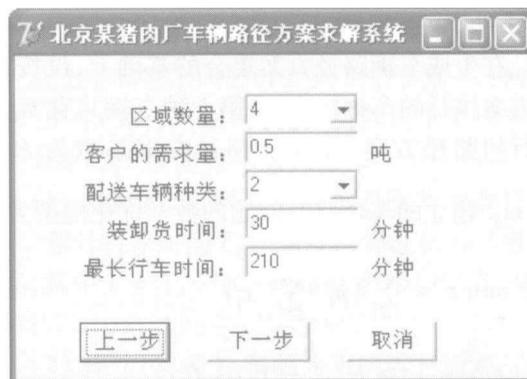


图5 初始参数输入界面(1)

Fig. 5 The interface for initial data inputting (1)

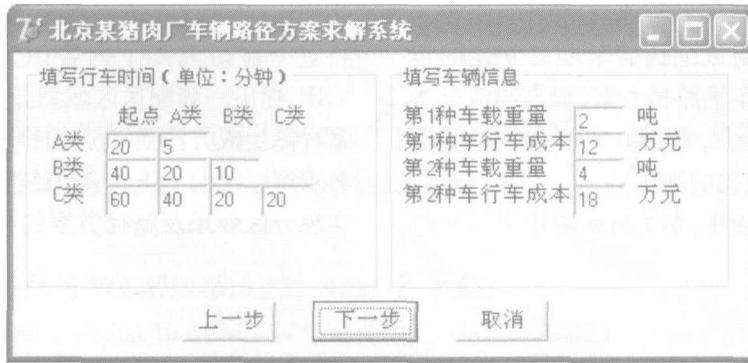


图5 初始参数输入界面(2)

Fig. 5 The interface for initial data inputting (2)



图6 车辆路径方案生成界面

Fig. 6 The interface for generating vehicle routing schemes

该案例的最优方案为仅购买27辆2吨车,其中10辆车按方案B-B-C-C行走,6辆车按方案A-B-B-B行走,11辆车按方案A-A-A-A行走,总投资为324万元.

需要说明的是,在根据最优方案来安排实际行车路径时,如果一个行车方案中包含多个同类客户点,则必须选择互为候选客户点的客户来作为车辆的访问对象.比如,一辆车按照方案B-B-C-C行走时,车辆从供货点出发,首先访问B类中距离供货点最近的一个客户*i*,其次在客户*i*的候选客户点中选择一客户作为下一服务(访问)对象;随后访问C类客户中的某一个客户*j*,最后在客户*j*的候选客户点中选择一客户作为服务对象.这就得到了一个具体的行车方案.

本文的案例运行结果表明,该求解系统能有

效地解决环状配送区域的车辆路径问题.对于配送中心位于城市边缘时,可用扇形来描述客户点的分布,因此也能将其归结为环状配送区域的车辆路径问题,上述方法的基本原理照样适用.

## 5 结束语

(1) 本文提出的车辆路径方案智能生成方法及其两阶段求解算法,可以较大幅度地缩减问题求解的状态空间,为化简大规模VRP的求解提供了新方法,为解决VRP这一NP-Hard问题开辟了一条新途径.它可有效解决环状配送区域的车辆路径问题,大大提高了问题求解的效率和智能性.本项研究有利于人工智能与运筹学优化技术的交叉与渗透.

(2) 本文开发的“环状配送区域车辆路径方案求解系统”,可在物流配送需求动态变化的情况下,实时获得最优车辆路径方案,提高物流配送和调度的实时应变能力,为物流调度和干扰管理提供了科学化和智能化的新工具。

由于VRP的复杂性,本文对问题作了一些简

化和假设.为了提高所提方法的普遍性和实用性,将进一步研究如下内容:(1)针对一般形式的VRP,提出一套配送区域划分方法,使车辆路径方案智能生成方法更具通用性;(2)将车辆路径方案求解系统与GIS中等值线生成系统结合,力求实现分区效果及路径方案的直观表现。

### 参考文献:

- [1] 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. 1—9.  
Li Jun, Guo Yao-huang. Theories & Methods of Vehicle Scheduling Problem[M]. Beijing: China Logistics Publishing House, 2001. 1—9. (in Chinese)
- [2] Garey M R, Johnson D S. Computers and Intractability: A Guide to The Theory of NP-Completeness[M]. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1979. 17—38, 211—212.
- [3] Dantzig G B, Ramser J H. The truck dispatching problem[J]. Management Science, 1959, 6(1): 80—91.
- [4] 杨 戈, 顾幸生. 物流配送车辆优化调度的综述[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2003, 33(增刊): 105—111.  
Yang Yi, Gu Xing-sheng. A survey of logistics delivery vehicle scheduling[J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition), 2003, 33: 105—111. (in Chinese)
- [5] 孙丽君, 胡祥培, 王 征. 车辆路径规划问题及其求解方法研究进展[J]. 系统工程, 2006, 24(11): 31—37.  
Sun Li-jun, Hu Xiang-pei, Wang Zheng. Reviews on vehicle routing problem and its solution methods[J]. Systems Engineering, 2006, 24(11): 31—37. (in Chinese)
- [6] Toth P, Vigo D. Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem[J]. Discrete Applied Mathematics, 2002, 123(1—3): 487—512.
- [7] Lin S. Computer solutions of the traveling salesman problem[J]. Bell System Technical Journal, 1965, 44(10): 2245—2269.
- [8] Renaud J, Boctor F F. A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 140(3): 618—628.
- [9] Fisher M L, Jaikumar R. A generalized assignment heuristic for vehicle routing[J]. Networks, 1981, 11(2): 109—124.
- [10] Gendreau M, Hertz A, Laporte G. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem[J]. Management Science, 1994, 40(10): 1276—1290.
- [11] Bell J E, McMullen P R. Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem[J]. Advanced Engineering Informatics, 2004, 18(1): 41—48.
- [12] 姜大立, 杨西龙, 杜 文, 等. 车辆路径问题的遗传算法研究[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(6): 40—45.  
Jiang Da-li, Yang Xi-long, Du Wen, et al. . A study on the genetic algorithm for vehicle routing problem[J]. Systems Engineering-theory & Practice, 1999, 19(6): 40—45. (in Chinese)
- [13] Hopfield J, Tank D. Neural computation of decisions in optimization problems[J]. Biological Cybernetics, 1985, 52(3): 141—152.
- [14] Chiang W C, Russell R. Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows[J]. Annals of Operations Research, 1996, 63(1): 3—27.
- [15] 胡祥培, 许智超, 杨德礼. 智能运筹学与动态系统实时优化控制[J]. 管理科学学报, 2002, 5(4): 13—21.  
Hu Xiang-pei, Xu Zhi-chao, Yang De-li. Intelligent operations research and real-time optimal control for dynamic systems [J]. Journal of Management Sciences in China, 2002, 5(4): 13—21. (in Chinese)
- [16] Bullnheimer B, Hartl R F, Strauss C. An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem[J]. Annals of Operations Research, 1999, 89(0): 319—328.
- [17] Charniak E, McDermott D. Introduction to Artificial Intelligence[M]. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Co.,

Inc, 1984. 253—270.

[18] LINDO System Inc. LINDO API User's Manual[M]. <http://www.lindo.com>

## Scheme generation system and integer programming model for vehicle routing problem with circular-area distribution

*HU Xiang-pei<sup>1</sup>, HUANG Min-fang<sup>1</sup>, Amy Z ZENG<sup>2</sup>*

1. School of Management, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China;

2. Department of Management, Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts 01609—2280, USA

**Abstract:** Applying theories of Artificial Intelligence and Operational Research, this paper focuses on the great reduction of solution space and presents a two-stage solution procedure to one specific kind of VRP, in which all customers are distributed in ring-like area. In the first stage, we generate alternative routing schemes for each type of vehicle. Specifically, a depth-first search algorithm with control rules is used. In the second stage, an integer programming model is constructed to identify the optimal routing schemes. Based on our proposed two-stage solution procedure, an intelligent solution system is developed by VB 6.0 and integrated with OR solution software of Lindo. Finally, the result of a real case study shows that the procedure and the system are efficient. This research creates a new way to solve VRP.

**Key words:** vehicle routing problem (VRP); scheme generation system; artificial intelligence; integer programming model

(上接第 102 页)

theory (LBPT). We discuss the meanings of model parameter  $B$  and how to choose, and get the linear programming form of single mental account LBPT (LBPT-SA). Example analysis shows that the LBPT-SA efficient frontier resemble that of MV bolt with high aspiration and with low aspiration, as is different with BPT. There are also some differences between LBPT and BPT in risk measure index, hypothesis precondition and factors which affect investors' decision making. LBPT also shows such psychology pattern in decision making that investors want to avoid poverty as well as want a shot at riches. More importantly, LBPT can be translated into linear programming form and applied into real world portfolio.

**Key words:** lower partial moments risk; mental account; portfolio