

基于改进遗传算法的物流配送路径求解

余 玥¹, 胡宏智²

(1. 安徽工业大学 计算机学院, 安徽 马鞍山 243002;

2. 安徽大学 计算机学院, 安徽 合肥 230039)

摘 要:为提高中小企业在市场中的竞争力,提出了基于遗传算法的智能化解决方案。建立了物流配送路径问题的数学模型和求解流程,论述了基于遗传算法的物流车辆配送系统的设计与实现,详述了基于自然数编码的遗传算法在物流车辆调度中的运用等关键技术。通过模拟测试,效果良好。计算结果表明,用遗传算法进行最短路径优化,可以方便有效地求得问题的最优解或近似最优解。最后,指出了遗传算法求解物流配送路径问题的不足之处。

关键词:物流配送;遗传算法;自然数编码;Matlab

中图分类号:TP311

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)03-0052-03

Solving Logistics Distribution Routing Problem by An Improved Genetic Algorithm

YU Yue¹, HU Hong-zhi²

(1. Department of Computer Science, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China;

2. Department of Computer Science, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: For improving the competitive ability of medium and small-size enterprise in market, an intelligent solution based on genetic algorithm is discussed in this paper. Established the mathematic model and solving flow of logistics distribution routing problem. And the design and implementation of logistics vehicles dispatching system based on genetic algorithm is discussed. At the same time, the key technologies such as the implementing of the genetic algorithm based on natural number encode in the logistics vehicles dispatching have been expounded. By simulative testing, get good effect. The experimental calculation results demonstrates that the optimal or nearly optimal solutions to the logistics distribution routing problem can be easily obtained by using genetic algorithm.

Key words: logistics distribution; genetic algorithm; natural number encode; Matlab

0 引 言

物流配送路径优化问题,即所谓的车辆路径问题(Vehicle Routing Problem),一般定义为:对一系列发货点和收货点,组织适当的车辆行驶路径,在满足货物需求量、发送量、交发货时间、车辆容量限制、行驶里程限制和时间限制等的约束条件下,达到使路程最短、费用最少、时间尽量短,使用车辆尽量少等目标,达到节约企业的成本的目的。VRP问题被证明为是一个NP-hard问题。相对于一些传统的求解方法,国内外已经有不少学者已经证明使用遗传算法在求解VRP问题时具有巨大的优势。

遗传算法是借鉴生物的自然选择和遗传机制而开发出的一种全局优化自适应概率搜索算法,是生物遗传技术和计算机技术结合的产物^[1]。它采用的是启发性知识的智能搜索算法,在高空间复杂问题上比以往有更好的结果。

1 物流配送路径优化问题的数学模型

物流配送路径优化问题是指从配送中心(或称物流据点)用多辆汽车向多个需求点(或称顾客)送货,每个需求点的位置和需求量一定,每辆汽车的载重量一定,要求合理安排汽车路线,使总运距最短,并满足以下条件:

- (1) 每条配送路径上各需求点的需求量之和不超过汽车载重量;
- (2) 每条配送路径的长度不超过汽车一次配送的最大行驶距离;

收稿日期:2008-07-08

基金项目:安徽省自然科学基金项目(ZD2008005-1)

作者简介:余 玥(1980-),女,安徽安庆人,硕士研究生,研究方向为数据库和信息管理;胡宏智,副教授,研究方向为GIS、数据库和人工智能。

(3) 每个需求点的需求必须满足,且只能由一辆汽车送货;

(4) 运输费用与运输量成正比;

(5) 各用户的需求量、供货点与配送中心之间的单位运输费用、配送中心与各用户之间的单位运输费用以及配送中心的单位管理费用为已知常量。

文中借鉴文献[2]建立的车辆路径问题的数学模型,并通过考虑上述物流配送路径优化问题的约束条件和优化目标,建立了物流配送路径优化问题的数学模型[2]。

设配送中心有 K 辆汽车,每辆汽车的载重量为 $Q_K (k = 1, 2, \dots, K)$,其一次配送的最大行驶距离为 D_k ,需要向 L 个需求点送货,每个需求点的需求量为 $q_i (i = 1, 2, \dots, L)$,需求点 i 到 j 的运距为 d_{ij} ,配送中心到各需求点的距离为 $d_{0j} (i, j = 1, 2, \dots, L)$,再设 n_k 为第 k 辆汽车配送的需求点数($n_k = 0$ 表示未使用第 k 辆汽车),用集合 R_k 表示第 k 条路径,其中的元素 r_{ki} 表示需求点 r_{ki} 在路径 k 中的顺序为 i (不包括配送中心),令 $r_{k0} = 0$ 表示配送中心,则可建立如下物流配送路径优化问题的数学模型:

$$\min Z = \sum_{k=1}^K \left[\sum_{i=1}^{n_k} d_{r_{k(i-1)} r_{ki}} d_{r_{kn_k} r_{k0}} \cdot \text{sign}(n_k) \right] \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^{n_k} q_{r_{ki}} \leq Q_k \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} d_{r_{k(i-1)} r_{ki}} + d_{r_{kn_k} r_{k0}} \cdot \text{sign}(n_k) \leq D_k \quad (3)$$

$$0 \leq n_k \leq L \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K n_k = L \quad (5)$$

$$R_k = \{r_{ki} \mid r_{ki} \in \{1, 2, \dots, L\}, i = 1, 2, \dots, n_k\} \quad (6)$$

$$R_{k_1} \cap R_{k_2} = \emptyset \quad \forall k_1 \neq k_2 \quad (7)$$

$$\text{sign}(n_k) = \begin{cases} 1 & n_k \geq 1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (8)$$

上述模型中,(1) 式为目标函数;(2) 式保证每条路径上各需求点的需求量之和不超过汽车的载重量;(3) 式保证每条配送路径的长度不超过汽车一次配送的最大行驶距离;(4) 式表明每条路径上的需求点数不超过总需求点数;(5) 式表明每个需求点都得到配送服务;(6) 式表示每条路径的需求点的组成;(7) 式限制每个需求点仅能由一辆汽车送货;(8) 式表示当第 k 辆汽车服务的客户数 ≥ 1 时,说明该辆汽车参加了配送,则取 $\text{sign}(n_k) = 1$,当第 k 辆汽车服务的客户数 < 1 时,就表示未使用该辆汽车,因此取 $\text{sign}(n_k) = 0$ 。

2 用改进的遗传算法优化物流配送路径

2.1 染色体编码的实现

将问题的可行解从解空间转化到遗传算法编码空间的过程称为编码[3]。根据物流配送路径优化问题的特点,文中采用了简单直观的自然数编码方法,首先直接产生 $1, 2, \dots, L, L+1, \dots$ (其中 0 表示配送中心, $1, 2, \dots, L$ 为客户, $L+1, L+2, \dots, L+N-1$ 为虚拟配送中心, N 为所需车辆总数) 个互不重复的自然数排列,即形成一个个体。设群体规模为 N ,然后从中选择 N 个符合约束条件的排列作为初始个体,即形成初始种群。例如,对一个 3 台车向 7 个客户送货的物流配送车辆调度问题,则可用 $1, 2, \dots, 9$ ($8, 9$ 表示配送中心) 这 9 个自然数的随机排列,表示物流配送路径方案。如个体 129638547 表示的配送路径方案为:路径 1: $0-1-2-9(0)$, 路径 2: $9(0)-6-3-8(0)$, 路径 3: $8(0)-5-4-7-0$, 共有 3 条配送路径;个体 573894216 表示的配送路径方案为:路径 1: $0-5-7-3-8(0)$, 路径 2: $9(0)-4-2-1-6-0$, 共有 2 条配送路径。

2.2 适应度函数 f 的标准

根据配送路径优化问题的特点所确定的编码方法,隐含能够满足每个需求点都得到配送服务及每个需求点仅由一辆汽车配送的约束条件,但不能保证满足每条路径上各需求点需求量之和不超过汽车载重量及每条配送路线的长度不超过汽车一次配送的最大行驶距离的约束条件。约束条件的处理一般可采用惩罚策略。为此,对每个个体所对应的配送路径方案,要对各条路径逐一进行判断,根据式(1)求得目标函数值 $\min Z$ 。看其是否满足上述两个约束条件,若染色体对应不可行解,则对其赋予惩罚,令 $\min Z$ 为一个很大的整数 N 。则该个体的适应度可用下式表示:

$$F_j = 1/\min Z$$

$\min Z$ 越小,表明染色体的性能越好,对应的解越接近最优解。

2.3 各种遗传操作的实现

2.3.1 选择操作

采用轮赌方法复制个体进入下一代[4],设群体大小为 N ,个体 j 的适应度为 F_j ,则个体 j 被选中的概率 P_j 为:

$$P_j = F_j / \sum_{i=1}^M F_i \quad i = 1, 2, \dots, M$$

复制时结合最优保存策略,即,首先按目标函数值由小到大排列个体,对于规模为 N 的群体,目标函数值最小的个体对应的序号为 1,目标函数值最大的个体对应的序号是 N 。将序号为 1 的个体直接保留至下

一代群体中。其优点是搜索过程中某一代最优解不会被遗传操作所破坏。

2.3.2 交叉操作

基因交叉操作是自然界生物进化过程中起核心作用的因素之一,它是遗传算法中最主要的操作,一般分两步进行:一是对群体中的个体进行随机配对;二是在配对个体中,随机设定交叉处,使配对个体彼此交换部分信息。其目的是产生更高适应度值的子代个体。

对 2.3.1 节所产生的新种群,按照一定的选择概率 p_c 选择个体对进行交叉重组,共进行 $n/2$ 次。

文中引入了一种新颖的交叉策略,启发于作物育种学的选种机制。根据《作物育种学》中的理论:通常选择性状相对,即性状有较明显差异的两个个体(携带不同基因)进行杂交,这样可以优势互补,即父代性状差异大,利于后代性状分离。考虑将这种交叉策略应用到文中的算法中。

具体的算法是:设定某个阈值: FitnessSpan, 随机选择两条染色体,如果适应值不同,就运用 FitnessSpan 约束条件加以限制,保证在一定的选择次数允许的条件下选出两条满足适应值之差不小于阈值 FitnessSpan 的染色体,然后用单点交叉算子进行交叉。在交叉后可能会出现重复基因,这表明路径中出现环路,应当予以消除,即把后面的重复基因及其以后的全部基因整体向前移动到前面重复的位置。假定交叉后生成的染色体为:

6 2 34 12 2 9 15 1 30

消除重复基因后变为:

6 2 9 15 1 30

整个交叉过程如下:

Begin

产生一个 0 到 1 之间的随机数 Num

If Num \geq 交叉概率 p_c

从种群中随机选出两条染色体

If 选出的两条染色体不相同

If 两条染色体适应值之差 $<$ FitnessSpan

在一定的次数限制下重新选择两条染色体,使其适应值之差 \geq FitnessSpan

End if

用单点交叉算子进行交叉

判断生成的染色体中有无重复基因,有则进行消除重复基因操作生成新染色体

Else 重新选取染色体

End if

求出子代染色体适应值,并与其父染色体比较,选择适应值较高者进入种群

End if

End

2.3.3 变异操作

即按一定的概率改变个体的基因链^[5]。其目的是挖掘群体中个体的多样性,克服遗传操作可能限于局部解的弊端。对于用路径表示的染色体,变异操作把连接节点组成的路径块作为基因块,实现染色体中的基因块变异。具体方法如下:设选中要变异的染色体 X_i :

$X_i: v_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, v_1$

随机确定 X_i 的基因块的位置与长度,例如,当基因块为 (b_3, b_4, b_5, b_6) 时,随机生成以 b_3 为始点, b_6 为终点的变异基因块 (b_3, N, b_6) , N 为从 b_3 到 b_6 所经过节点构成的另一条路径。实施变异后的染色体为:

$M_i: v_0, b_1, b_2, b_3, N, b_6, b_7, b_8, v_1$

变异后染色体中也可能产生的重复基因,这表明在路径中出现了环路,应当予以消除,可采取覆盖的办法消除重复基因。例如:交叉后生成的一个染色体为:

3 6 7 32 6 2 5 9

消除重复基因后变为:

3 6 2 5 9

3 实验计算与结果分析

实例描述:配送中心数为 1,客户数 k 为 8,车辆总数 m 为 2;车辆载重量 q 皆为 8 吨;各客户点需求量为 $g_i (i = 1, 2, \dots, 8)$ (单位为吨),已知客户点与配送中心间的距离见表 1 (其中 0 表示配送中心),要求合理安排车辆行驶路线,使总运输里程最小。

表 1 客户点间距离 /km 及客户需求量 /t 表

c_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	4	6	7.5	9	20	10	16	8
1	4	0	6.5	4	10	5	7.5	11	10
2	6	6.5	0	7.5	10	10	7.5	7.5	7.5
3	7.5	4	7.5	0	10	5	9	9	15
4	9	10	10	10	0	10	7.5	7.5	10
5	20	5	10	5	10	0	7	9	7.5
6	10	7.5	7.5	9	7.5	7	0	7	10
7	16	11	7.5	9	7.5	9	7	0	10
8	8	10	7.5	15	10	7.5	10	10	0
g_i	--	1	2	1	2	1	4	2	2

参数设置为 $num = 10, N = 200, pmutation = 0.9$ 和 $pcross = 0.02$, 运用前面改进的遗传算法在 Matlab 环境下编程^[6], 并运行 10 次, 得到的计算结果见表 2。

表 2 物流配送路径优化问题的遗传算法计算结果

计算次序	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
配送总距离 Z/km	72.0	72.0	76.5	70.0	67.5	70.0	73.5	75.0	71.5	69.0

从表中数据可以看出, 10 次运行得到的结果均优

(下转第 58 页)

$\text{msg}) \wedge \text{Curstate}_i' = q_2 \wedge \text{UNCHANGED} < \text{other variables} >$

这个表达式将 Curstate_i 状态由 q_1 变为 q_2 , 同时将消息 msg 存放到目的服务 A_i 的队列中, 并保持其他变量的值不发生改变。

b) $\tau_j = (q_1, ?\text{msg}, q_2)$, 添加 action:

$A_i\text{-step-}\tau_j \equiv \wedge \text{Curstate}_i = q_1 \wedge \text{Head}(Q_i) = \text{msg} \wedge \text{Tail}(Q_i) \wedge \text{Curstate}_i' = q_2 \wedge \text{UNCHANGED} < \text{other variables} >$

这个表达式将 Curstate_i 状态由 q_1 变为 q_2 , 检测服务 A_i 的队列头是否为 msg 消息, 如果是从队列中删除该消息, 并保持其他变量的值不发生改变。

步骤 4, 针对组合服务一次执行终止时的状态, 添加 action:

$S\text{-step-}\text{reset} \equiv \wedge \forall A_i \in S: \text{Curstate}_i \in F_i, Q_i = < >$

$\wedge \forall A_i \in S: \text{Curstate}_i' \in s_i, Q_i = < >$

这个表达式表示当所有服务都进入自己的终态, 且各自队列为空时; 所有变量恢复到初始状态, 开始新一轮的运行周期。

步骤 5, 将步骤 3 和 4 中得到表达式析取, 得到 Next 表达式。

步骤 6, 得出整个系统的 TLA 表达式, $\text{Init} \wedge \square[\text{Next}]_v$ 。

4 结束语

TLA 作为一种强大的并发系统的描述工具, 可以

从不同的角度、不同的层次对一个并发系统进行描述和验证。文中是从组合服务的 Conversation 模型导出 TLA 的描述文档, 而其他的 Web 服务的组合模型 (如 Roman 模型, Owl-S 模型) 都可以进行类似的转换, 它们将从不同的角度描述组合服务的相关属性。除了 BPEL, 工业界和学术界还有很多其他组合服务描述语言 (如 WS-CDL, OWL-S), 研究如何将它们建模, 进而转化为 TLA 描述文档是很有意义的工作。

讨论了如何将 BPEL 描述转化为 Conversation 模型, 仅仅给出了部分具有代表意义的基本活动 ($<\text{invoke}>$, $<\text{receive}>$, $<\text{reply}>$, $<\text{assign}>$) 和结构化活动 ($<\text{sequence}>$, $<\text{flow}>$) 的转化算法, 而其他活动的转化方法, 需要继续研究。

参考文献:

- [1] Milanovic N, Malek M. Current Solutions for Web Service Composition[D]. New York, USA: IEEE Internet Computing, IEEE Educational Activities Department, 2004: 51-59.
- [2] Lamport L. Introduction to TLA[R]. Canada: University of Waterloo, 1994.
- [3] Lamport L. Specify System: The TLA+ Language and Tools for Hardware and Software Engineers[M]. [s. l.]: Addison-Wesley, 2002.
- [4] Fu X, Bultan T, Su J. Conversation protocols: A formalism for specification and verification of reactive electronic services [C]// Essex, UK: Implementation and application of automata, Elsevier Science Publishers Ltd., 2004: 19-37.
- [5] Fu X, Bultan T, Su J. Analysis of interacting BPEL Web Services[C]// In the Proc. of 13th Int. World Wide Web Conf(WWW). New York, USA: ACM, 2004: 621-630.

(上接第 54 页)

于节约法所得到的结果 79.5km。而且第 4 次还得到了最优解 67.5km, 其对应的配送路径为: 0-4-7-6-0; 0-1-3-5-8-2-0。可见, 利用遗传算法可以方便有效地求得物流配送路径优化问题的最优解或近似最优解 (或称满意解)。

4 结束语

从上述的实验结果可以看出, 遗传算法在物流配送路径优化中获得了良好的效果。证明了用遗传算法在解决诸如车辆路径问题确实具有优良的性能。利用其可以方便有效地求得物流配送路径优化问题的最优解或满意解。遗传算法的最大优点在于能够快速地找到较优解, 不必在所有的可行解中去搜索; 不足之处在于求解过程中有可能陷入局部的最优解中, 无法找到

全局的最优解。

参考文献:

- [1] 周明, 孙树栋. 物流合理化的数量方法遗传算法及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [2] 朗茂祥. 基于遗传算法的物流配送路径优化问题研究[J]. 中国公路学报, 2002, 15(3): 77-78.
- [3] 陈国良, 王煦法, 庄镇泉, 等. 遗传算法及其应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.
- [4] 刘刚. 用改进的遗传算法优化物流配送中心的选址[J]. 上海商学院学报, 2007, 8(3): 55-57.
- [5] 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.
- [6] 王家文, 王皓, 刘海, 等. MATLAB7.0 编程基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.