考虑道路风险的车辆路径问题模型与算法研究

徐绅

(大连海事大学，辽宁 大连，116026)

摘要：本文主要针对山区公路事故频发的问题，引用质量控制法来评价路段事故率大小，对风险超标路段采取惩罚策略。应用模糊函数建立山区公路风险度隶属函数。为此，基于道路运输成本和道路运输风险两个目标，建立双目标优化模型。使用改进的遗传算法进行求解。从迭代次数、最优值、最劣值、平均值、所得最优值平均代数以及最优值搜索成功率六个方面，验证改进的(IGA)算法的有效性。研究结果表明（IGA）算法能够更稳定的获取最优值。

**关键词：**山区公路；道路风险；车辆路径问题；遗传算法

**中图分类号：**u495 文献标识码：A

**作者简介**：徐绅（1994），男、大连海事大学硕士研究生、研究方向为物流工程与管理

一、引言

随着我国交通运输行业的快速发展，公路运输在其中发挥着越来越重要的作用。尤其是在我国西部山区，公路运输量占总体运输量到底90%以上。伴随着车流量的高速增长，交通事故日益增多，严重影响人民群众生命财产安全。山区公路是交通货物运输事故频发的重灾区，因此如何提高山区公路货物运输的安全性得到了越来越多的重视。本文在考虑山区公路运输成本最优的同时考虑运输风险的较小化，对车辆路径问题（Vehicle Routing Problem,VRP)进行优化研究，在减少运输成本的同时降低车辆的运输风险，这对保证人车和物资的安全具有重要的意义。

至今为止，车辆路径问题（VRP）受到了国内外学者的广泛关注,其最早由 Dantzig 等[1]首次提出，描述的是将汽油送往各个加油站的实际问题，并首次提出了相应的数学规划模型以及求解算法。随后，Clark等[2]对Dantzig-Ramse方法经行改进，形成了Clark-Wright节约算法。这两篇论文的发表使得VRP问题迅速成为研究热点课题。此后的几十年中无数的专家学者对此问题从不同的角度进行了延伸和拓展。对于考虑运输风险的车辆路径问题：Kara等[3]在运输模型评价中，考虑了事故率以及影响人数的波动性等因素，采用节点标号算法求解最短路径问题。P.Leonel等[4]同时考虑了危险品道路类型，天气状况，驾驶员状态等多种因素来探讨危险品的运输。Brogan等[5]最小运输风险最小为目标，采用经典最短路径算法求解最短路。Saccomanno等[6]提出了以最小化运输事故影响人员风险、最低运输事故概率、最低运输成本为目标的多目标路径优化方法。杜天松等[7]提出了一个双层配送网络，并以道路危险等级为约束构建了一个总成本最小、风险最低、可靠性最强的油田危险品物资运输的多目标模型。袁文燕等[8]建立了考虑运输费用和运输风险的双目标优化模型，并提出了一种改进的粒子群算法求解模型。刘兰芬等[9]建立了风险度最小的危险品运输路径选择模型利用Dail算法对路段的损失幅度进行计算，从而得到各路段的风险度;然后利用传统标号算法对该模型求解。任常兴等[10]从运输网、运输风险源、后果影响区域3个方面,分析运输过程中的风险影响因素,提出一种危险品道路运输路径优化选择的方法。师立晨等[11]本文提出了危险品道路运输路径多目标优化的数学模型,该模型首先求出单项目标的最优解,然后对各个目标进行加权求和转化为单一目标求解。柴获等[12]以车辆数最少、运输总距离及经过人口密集区域行驶距离最短为目标，建立危险品车辆运输路径问题优化模型，并针对模型设计基于概率模型的多目标进化算法。宋洋等[13]基于危险品运输的风险和成本双层特性，建立最小风险为上层目标的，最小成本为下层目标的危险品道路运输网络的双层规划模型。本文，引用质量控制法来评价路段事故率大小，对风险超标路段采取惩罚策略。应用模糊函数建立山区公路风险隶属度函数。建立山区公路运输风险和山区公路运输成本的双目标优化模型，并设计改进的遗传算法来求解模型。

二、问题与模型构建

1.问题描述

某物流配送企业需要把一批刚需品运送到不同的地方进行销售，运送的路径复杂多变，全部为山区公路。另外，企业的运输车辆有限，车辆的行驶距离和载重量分别为A和B。根据每条路段的风险度的大小做相应的成本处罚。要求根据实际路网状况选出最合理路线，目的是使总配送费用最小且途径路线风险较小。

模型构建之前需要说明的几个问题。（1）每条运送路线途经销售点的刚需量之和不能超过每辆车的最大载重量。（2）每条运送线路途经销售点的路线长度不能超过每辆车的最大行驶距离。（3）每个地点刚需产品的数量必须只能有一辆车满足，且每辆车只能经过每个地点一次。（4）每辆车从起点出发，完成运送任务后返回起点。

2模型构建

（1）符号说明

用0,1,2，…m来表示物流配送中心和客户点，其中，“0”表示配送中心，"1…，m”对应表示m个销售点，其中的变量定义如下

:配送路径中的顾客数；

:配送中心车辆数；

:配送车辆载重量限制；

:从销售点i到销售点j的距离；

:从起点出发每辆车的最大运输距离；

:销售点i到销售点j的单位距离运输成本，假设每段的单位距离运输成本相同；

：刚需品的需求量；

：销售点i到销售点j的山区公路事故发生率

本文采用质量控制法[13]来量化山区公路的事故发生率，质量控制法可以用来鉴别道路条件大致相似的道路[7]。

在得出每个路段事故发生率的基础上，建立路段风险度的模糊隶属函数，由此由销售点i到销售点j的风险度可以由表示：

1  R+

=  R-≤ R+

0 0  R-

R-为山区公路事故发生率的下限；R+为山区公路事故发生率的上限。

（2）建模

 （1）

 （2）

1. t

 ，  （3）

 ，  （4）

 （5）

 （6）

， i =0，k є K  （7）



 ，， （8）

 ，，  （9）

 0  R+ （10）

模型中：式(1)表示运输成本最小；式(2)表示车辆途经路径的平均风险度趋近于最小；式(3)表示车辆途经的销售点的刚需量之和不超过车辆自身载重量；式(4)表示每一个销售点只能有一个车进行配送；式（5）表示每辆车只能服务每个销售点一次；式（6）表示车辆的最大行驶距离限制;式(7)表示车辆从配送中心出发，完成运输任务后，最后返回配送中心；式(8)和式(9)为决策变量，前者表示车辆k 是否从销售点i行驶到销售点j; 如果是，其值为1，否则为0;后者表示车辆K是否负责销售点i的配送；如果是，其值为1，否则为0；式（10）表示山区公路的风险度小于1。

三、算法设计

车辆路径问题属于NP-hard难题，对该问题使用改进的遗传算法进行求解。以下是算法的具体设计方案。

1.改进遗传算法的具体流程

步骤1 首先确定种群规模N,交叉概率Pc，变异概率Pm,以及终止代数

Max\_gen.和初始代数t=0。

步骤2初始化染色体种群，产生N个染色体，为确保种群基因的多样性，防止算法收敛于局部最优解，群体的规模选定为60~100个。

步骤3通过染色体的交叉和变异操作来产生新的染色体。

步骤4计算新生成的染色体的适应值。

步骤5通过二次轮盘赌的方法来选择染色体。

步骤6重复步骤3—5直到完成给定的循环次数t＝Max\_gen，给出最好的染色体作为最优解。

2.编码设计

采用十进制编码的策略，将每条线路编译成长度为n的个体。n为对应的销售点的个数。

3.种群初始化

初始种群基因多样化，能够一定程度上避免算法收敛于局部最优解，改进的遗传算法采用混合策略生成初始染色体种群。一部分染色体采用随机生成的方式产生。余下的染色体采用启发式函数的方法来生成。首先，随机生成一个基因片段，然后利用启发式函数计算与所选择的基因片段关联性最大的一个点作为下一个基因片段。同理，直到生成的初始染色体。所构造的方法函数如下：

 （11）

G为常量,当q1为路径中当前销售点的刚需量，q2为路径中后继销售点的刚需量。dij表示从销售点i到销售点j的距离；Rij表示表示销售点i到销售点j的风险隶属度。

4.染色体适应值

由于本文的目标函为双目标函数,故双目标函数化为单目标函数来处理。单目标函数的倒数作适应值函数。在保证风险隶属度在合理的范围内的前提下，对Z2除以一个合适的数，减少Z2对整个适应值函数的影响程度。故适应值函数为F=1/（minZ1+minZ2/100）。采用惩罚函数法，将风险隶属度不满足约束条件的路径乘上一个较大的数值M，使违反约束的个体适应值降低，从而淘汰不满足约束条件的个体。

5.选择操作

假设一个种群中要选择K个染色体，选择操作按照适应度值对所有个体进行从小到大排序。父代种群中适应值最高的个体直接复制进子代种群。采用轮盘赌的方法，用正比于个体适应度的概率来选择相应余下的K-1个体。同时考虑到选择概率的随机性，当第一次选择的概率r不能满足选择条件时，为了降低这种随机性带来的影响，本文设计二次选择概率为。即r[0,1),=0.95。

 （12）

则选择个体i复制为下一代种群的染色体。其中Fj为个体i的适应值，N为种群规模。

6.交叉算子

采用顺序交叉（OX）算子，即随机选取两个交叉点进行交叉，当选取的交叉点为一头一尾时，染色体之间只是简单的交换，并没有发生基因的交换。这不利于最优染色体的寻找。若两交叉点是一头一尾时，随机把染色体截成两段，然后其中在分别选择一个交叉点进行交叉。反之，则按顺序交叉来交叉染色体。

染色体具体交叉方式：首先筛选出本代中染色体适应值最好的染色体X，然后随机选择一个染色体Y与其交叉，生成两条染色体，一条替代X，另一条放入下一代。剩下的染色体重复上述操作，直到所有的染色体都完成交叉操作。

X：54↓2681↓37

父代 子代 Y：54678123

Y: 25↓6781↓34

X：45326817 X：57↓268↓134

子代 ...... 父代

Y: 72653814 Y：42↓653↓187

7.变异算子

采用随机选取两点交换的方式进行染色体变异。

8.进化策略

采用染色体先变异后交叉的进化策略。

9.终止条件

本为的终止条件由最大终止代数Max\_gen决定。如果t<Max\_gen,则在算法流程中继续执行步骤（5）~步骤（7），直到t=Max\_gen,则算法终止。

四、算例验证和分析

1.算例验证

假设某配送中心有最大载重量为7t，最长配送距离为80KM的卡车5辆，负责向9销售点进行刚需品配送。假设每吨公里的单位运输成本为10元。配送中心的方位坐标为[14.5,13.0]。本文使用C语言编程。算法的参数配置如下：种群规模N=80，最大进化数 T=800，交叉概率Pc=0.9，变异概率Pm=0.09,路径惩罚系数惩罚系数 M=9 000 000。销售点之间的方位坐标和物资需求量如表1所示，补给中心和补给点各条路径之间的风险隶属度如表2所示。

表1销售点方位信息

Table 1 point of sale location information

|  |
| --- |
| 销售点 销售点坐标（距离/KM） 销售点需求/t |
| 1 [22.0, 14.0] 1.1  2 [18.5, 3. 0 ] 2.4  3 [13.5, 17.0] 1.2  4 [29.0, 15.0] 1.5  5 [15.5, 22.5] 0.8  6 [14.0, 30.0] 1.3  7 [10.6, 7. 6 ] 1.7  8 [8 . 2, 8. 1 ] 0.6  9 [12.5, 7. 0 ] 1.2 |

表2路径之间的风险隶属度

Table 2 risk membership between paths

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 0.0 | 1.0 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 0.3 | 0.2 |
| 1 | 1.0 | 0.0. | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.3 | 0.4 | 1.0 | 0.3 |
| 2 | 0.6 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 0.6 | 1.0 | 0.3 |
| 3 | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.0. | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 0.6 |
| 4 | 0.7 | 0.3 | 1.0 | 0.6 | 0.0 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.6 | 0.5 |
| 5 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.4 |
| 6 | 1.0 | 0.3 | 0.8 | 0.6 | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | 0.7 | 0.1 |
| 7 | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.2 | 0.6 | 0.4 | 0.0 | 0.6 | 0.6 |
| 8 | 0.3 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.6 | 0.1 | 0.7 | 0.6 | 0.0 | 0.6 |
| 9 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.1 | 0.6 | 0.8 | 0.0 |

2.计算结果分析

算法运行800代后求得的minZ1的最优值为875.97，minZ2的较小值为0.530。与此相对应的最优路径0-4-1-5-6-3-0 、0-8-7-9-2-0 总共所用车辆为2辆。

为了进一步验证算法性能的优越性，对上述实例迭代800次分别计算10次，20次和40次分别从最优值、最劣值、平均值、计算时间/MS以及最优值搜索成功率%五个指标论证。

表3算法结果对比分析

Table .3 comparative analysis of algorithm results

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 计算次数 | 算法 | | 结果 | 最优值 | 最劣质 | 平均值 | 计算时间 | 搜索成功率 |
| 10 | GA  算法 | | 成本 | 876.27 | 950.70 | 883.72 | 350-550 | 0% |
| 风险 | 0.500 | 0.510 | 0.501 |
| IGA  算法 | 成本 | | 875.97 | 875.97 | 875.97 | 600-750 | 100% |
| 风险 | | 0.530 | 0.530 | 0.530 |
| 20 | GA  算法 | | 成本 | 876.27 | 950.70 | 883.70 | 600-800 | 0% |
| 风险 | 0.500 | 0.510 | 0.503 |
| IGA  算法 | | 成本 | 875.97 | 875.97 | 875.97 | 1100-1200 | 100% |
| 风险 | 0.530 | 0.530 | 0.530 |
| 40 | GA  算法 | | 成本 | 875.97 | 1015.17 | 887.19 | 900-1300 | 1.25% |
| 风险 | 0.530 | 0.420 | 0.499 |
| IGA算法 | | 成本 | 875.97 | 875.97 | 875.97 | 1950-2050 | 100% |
| 风险 | 0.530 | 0.530 | 0.530 |

由表3分析可知GA算法和IGA算法虽然都能求的最优解，可GA算法的全局搜索寻优能力的稳定性明显不如IGA算法。GA算法容易过早的收敛，陷入局部最优解。在计算时间上,做了粗略的范围统计，IGA算法的运行时间较GA算法相比有明显的增长，但IGA算法的运行时间波动区间更稳定。IGA算法对最优解的搜索成功率到达100%。说明IGA算法的全局搜索寻优能力强于GA算法。

为了进一步验证IGA算法性能的稳定性，通过对实例计算15次。分别从迭代次数、最优值、最劣值、平均值、所得最优值平均代数以及最优值搜索成功率6个指标论证。

表4不同迭代次数下算法结果的对比分析

Table 4 comparison and analysis of algorithm results under different iteration times

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数/次 | 算法 | 结果 | | 最劣质 | 平均值 | 平均代数/代 | 搜索成功率/% |
| 1000 | GA  算法 | 成本 | | 950.70 | 883.72 | 100~300 | 0% |
| 风险 | | 0.510 | 0.501 |
| IGA  算法 | | 成本 | 875.97 | 875.97 | 30~65 | 100% |
| 风险 | 0.530 | 0.530 |
| 5000 | GA  算法 | 成本 | | 950.70 | 883.72 | 400~1300 | 0% |
| 风险 | | 0.510 | 0.501 |
| IGA  算法 | 成本 | | 875.97 | 875.97 | 30~65 | 100% |
| 风险 | | 0.530 | 0.530 |
| 10000 | GA  算法 | 成本 | | 876.27 | 876.27 | 1200~3200 | 0% |
| 风险 | | 0.500 | 0.500 |
| IGA算法 | 成本 | | 875.97 | 875.97 | 30~65 | 100% |
| 风险 | | 0.530 | 0.530 |

由表4分析可知GA算法的性能十分的不稳定。随着最大迭代次数的增加，

所得最优值的代数在不断增加。IGA算法的性能则非常稳定，获取最优值的平均代数始终稳定在30~65代之间，最优值搜索的成功率达到100%。

为了验证最优路径的合理性，最小成本、最小风险和最优成本三者相互对比。

表5最小成本、最小风险和最优成本的对比

Table 5 The comparison of minimum cost, minimum risk and optimal distance

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 最小成本 | 0-3-5-6-4-1-0 0-2-9-7-8-0 | |
| 成本 | 838.81 |
| 风险 | 0.570 |
| 最小风险 | 0-2-7-4-5-8-0 0-3-1-6-9-0 | |
| 成本 | 1397.13 |
| 风险 | 0.350 |
| 最优成本 | 0-4-1-5-6-3-0 0-8-7-9-2-0 | |
| 成本 | 875.97 |
| 风险 | 0.530 |

通过对比，最小成本为838.81，但是，路段1-0风险隶属度为1.0，路段风险超标，最小成本不可行。从管理角度，企业追求最小风险，最小风险0.350，成本最高1397.13。从利润角度，企业追求最优成本，最优成本为875.97；且路段风险适中0.530，在合理范围内。

五、结语

针对山区公路行车风险大的特点，引用质量控制法来定义各销售点之间路段的事故发生率，对事故率超标路段实行惩罚策略。在此基础上，建立山区公路风险隶属度函数。建立了基于运输成本和运输风险的双目标优化模型。对于标准GA算法容易陷入局部最优解以及收敛收敛速度慢等不足。采用随机生成和启发式算法对初始种群生成方式进行改进。采用二次轮盘赌的方式对染色体进行再筛选。设计了能提高种群多样性的二段随机交叉算子。在此基础上提出了IGA算法。仿真结果表明。较GA算法，IGA的算法性能有明显的提升，对求解有关山区公路风险的VRP问题是可行有效的。

[1] Dantzig G，Ramser J .The Truck Dispatching Problem[J]. Management Science, 1959,6, 80-91

[2] G. Clarke, J. W. Wright Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points[J].Operations Research,1964,12(4):568-581.

[3]B.Y.Kara.[Accurate calculation of hazardous materials transport risks](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167637702002389" \t "http://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/_blank)[J].Operations Research Letters,2003,31(4):285-292.

[4]P.Leonell ,iS.Bonvicin,iG.Spadon.Hazardousmaterialsroutingmethodologyation: a risk-analysis-based[J].J-ournal of Hazardous Materials,2000,71:283-300.

[5]Brogan J,Cashwel J. Routing models Transportation Research for the transportation of hazardous materials[J].1985(1020):16-25.

[6]Saccomanno,Chana. Economic evaluation of muting for hazardous road shipments[J].Traps Res Recgies,1985(1020):12-18.

[7][HIROSHI](http://xueshu.baidu.com/s?wd=author:(KURAUCHI, HIROSHI) &tn=SE_baiduxueshu_c1gjeupa&ie=utf-8&sc_f_para=sc_hilight=person" \t "http://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/_blank) K. Road accident in Japan.[J].The international Association of Traffic and Safety Science Research, 1997,21(2):160-161

[8][杜天松](http://s.wanfangdata.com.cn/Paper.aspx?q=%e4%bd%9c%e8%80%85:"%e6%9d%9c%e5%a4%a9%e6%9d%be") ，[郭海湘](http://s.wanfangdata.com.cn/Paper.aspx?q=%e4%bd%9c%e8%80%85:"%e9%83%ad%e6%b5%b7%e6%b9%98")，[潘雯雯](http://s.wanfangdata.com.cn/Paper.aspx?q=%e4%bd%9c%e8%80%85:"%e6%bd%98%e9%9b%af%e9%9b%af")等.基于多目标演化算法的油田危险品物流系统选址-路径问题[J].系统管理学报,2018,27(4):739-752,768.

[9]文燕,王健,吴军, 等.危险化学品车辆路径问题的一个新模型及算法研究[J].系统科学与数学,2017,37(2):393-406.

[10]刘兰芬,杨信丰,何瑞春, 等.基于路段风险度的城市危险品运输路径优化选择[J].兰州交通大学学报,2013,32(6):129-133.

[11]任常兴,吴宗之.危险品道路安全运输路径优化方法探讨[J].中国安全科学学报,2006(06):129-134+146.

[12]师立晨,魏利军,吴宗之.危险品道路运输多目标路径优化方法研究[J].中国安全生产科学技术,2006(05):59-63.

[13]柴获,何瑞春,马昌喜,代存杰.危险品运输车辆路径问题的多目标优化[J].中国安全科学学报,2015,25(10):84-90.[]

[14]裴玉龙.道路交通事故多发点质量控制鉴别法的改进[J].哈尔滨工业大学学报,2006(01):97-100.

[15]宋洋,孙俊富.危险品道路运输网络风险-成本综合优化研究[J].公路交通科技,2015,32(10):141-145+152.