

# 基于拥堵指数的改进蜂群算法在 DVRP 中的应用<sup>①</sup>

梁振球

(广东技术师范学院 计算机与网络中心, 广州 510665)

**摘要:** 城市道路在不同时段、突发情况下的通畅程度存在较大的差异, 对物流成本的影响已不容忽视. 静态车辆路径规划不能反应路况的变化, 因此本文引入分时段的拥堵指数, 以总成本最小为目标函数, 并采用规避高峰期区域的种群初始化算法, 构造出改进的蜂群算法. 实验结果表明, 采用改进蜂群算法进行路径规划, 由于能回避拥堵路段, 因此虽然不是最短的运输路径, 但却能实现更低的总体运输成本.

**关键词:** 拥堵指数; 蜂群算法; 动态车辆路径规划(DVRP)

## Application of Improved Bee Colony Algorithm Based on Congestion Factor to the DVRP

LIANG Zhen-Qiu

(The Network Center, Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510665, China)

**Abstract:** Roads unobstructed degree there is a big difference at different times or emergency situations, the impact on logistics costs cannot be ignored. Static vehicle route planning cannot feedback the changes of road traffic situation. Therefore, this paper introduces sub-periods of congestion coefficient, the total cost minimization as the objective function, using the population initialization algorithm with circumvention to construct improved bee colony algorithm. The experimental results show that due to using improved bee colony algorithm can be avoided road congestion, although not the shortest transport route, but it can achieve lower overall transportation costs.

**Key words:** congestion factor; bee colony algorithm; dynamic vehicle routing problem (DVRP)

### 1 研究现状

在物流配送系统中, 合理安排车辆数和车辆路线是减少费用、提高经济效益的重要手段. 目前对车辆路径问题(VRP)的研究, 主要是基于静态的, 即假设所有道路条件和途经的目标都是固定不变的. 但实际上车辆在物流运输过程中, 经常遇到诸如塞车、顾客延时、临时新增客户等各种突发事件, 而出发前所规划的路径已并非最优了, 这就需要根据当前的实时信息重新规划车辆的路线. 因此, 动态车辆路径规划问题(Dynamic Vehicle Routing Problem, DVRP)将逐步成为研究的热点<sup>[1]</sup>.

在研究的目标上, 目前的文献中主要以总路径最短为研究的目标, 涉及到服务时间窗的文献则以总运

行时间(包括等待时间和服务时间)最优为目标函数的<sup>[2]</sup>, 但对于物流行业来说, 这些结果虽然有一定的作用与意义, 但最关心的是实际的综合成本, 而不是单纯某方面的数据.

在物流企业成本支出中, 所占比例较高且存在优化空间主要是物流车辆的油耗开支. 一般情况下实际油耗与速度有关, 速度越低, 油耗越高. 而车辆行进速度由道路的通畅程度决定, 即在同等距离下, 道路堵塞越严重, 则直接导致物流车辆的行进速度越慢、油耗越高、耗时越长. 因此本文研究的目标是引入道路的拥堵指数, 以总成本最小为目标进行优化计算, 最终实现在运行总路程、运行总时间和总油耗三者之间取得一个最佳的平衡, 让物流企业的实际运行成本

① 基金项目: 广东技术师范学院 2012 年度校级科研项目(12KJY15)

收稿时间: 2015-01-09; 收到修改稿时间: 2015-03-23

能达到最小。

## 2 问题描述及算法选择

动态车辆路径问题可描述为<sup>[5]</sup>: 一个物流车辆从物流中心出发, 向  $N$  个客户节点进行货物配送工作, 规定每个客户节点必须且只能访问一次, 每辆车所服务的客户的需求总和不能超过车辆的负载能力。当所有客户节点都访问完毕后返回物流中心, 整个过程是一个典型的 TSP 过程。

然而动态路径规划是 NP 难问题, 要精确求解非常困难。目前主流的方法是采用群智算法进行研究, 如遗传算法、蚁群算法、蜂群算法等。其中蜂群算法作为一种新兴的群智算法, 是模拟自然蜂群寻找蜜源过程的一种群智能算法。每个蜜源表示问题的一个可行解, 蜜源的质量则对应相应解的质量, 即适应度。由于本文需要引入道路堵塞指数, 参数较多, 计算量较大, 而蜂群算法是将衡量解的质量的计算放在适应度函数计算中, 相比其它算法, 能大大减少计算量, 因此本文采用蜂群算法进行研究。

## 3 数据模型的建立

本系统对动态车辆路径问题构建目标函数, 要构建数学模型, 首先定义下面的参数和变量:

(1)需访问的客户总数为  $N$ , 其中配送中心编号为 0, 客户编号为 1,2, …,  $N$ , 用  $v_i$  表示。

(2)交通拥堵指数  $B_{it}$ 。交通拥堵指数是综合反映道路网畅通或拥堵的概念性指数值, 参考北京市交通委员会发布的交通指数<sup>[8]</sup>, 取值范围为 0~10,分为五级, 其中 0~2,2~4,4~6,6~8,8~10 分别对应“畅通”、“基本畅通”、“轻度拥堵”、“中度拥堵”、“严重拥堵”五个级别,数值越高表明交通拥堵状况越严重。交通指数与出行花费时间的大致关系如图 1 所示。

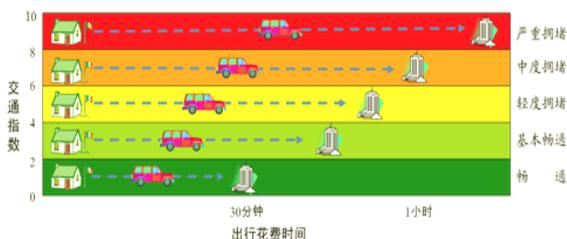


图 1 交通指数与出行 花费时间的关系

在进行路径规划时, 要根据车辆时间节点所处道

路的通畅程度来计算运输成本, 但由于城市中有很多道路, 且道路的通畅程度与时间有着密切的关系, 要存储和利用是一个关键问题。本文采用的方式是建立拥堵指数数据库来存储及查询, 数据表的范例数据如下:

表 1 拥堵指数数据库数据表范例

道路名	T0_6	T6_7	T7_8	T8_9	T9_10	.....
中山路	0	0	5	8	5	.....
北京路	0	2	6	9	6	.....
.....						

由于凌晨到早上 6 点, 基本上道路都是通畅的, 为简化计算及节省存储空间, 用字段 T0\_6 表示这段时间。而从 6 点后每小时的路况都不断地变化, 则每小时独立用一个字段来记录, 如 T6\_7 表 6 点到 7 点这段时间不同道路各自的拥堵指数, T7\_8 表 7 点到 8 点这段时间的拥堵指数, 以此类推。使用时根据收货地址, 读取其中的道路名, 确定客户是在哪一条路上, 然后根据推算出的时间, 从拥堵数据库中读取出具体的堵塞系数, 用于适应度的计算。流程图如图 2 所示。



图 2 适应度计算流程图

此拥堵指数数据库可不断的扩充完善, 并随时根据路况进行修改, 以更准确的反馈路况。

(3)物流车辆的装载能力用  $Q$  表示。

(4)顾客点  $i$  的货物需求量( $i=1, 2, \dots, N$ )用  $q_i$  表示, 并且需满足  $q_i < Q$ 。

(5)客户  $i$  到客户  $j$  之间的距离为  $d_{ij}(i, j=1, 2, \dots, N)$

(6)服务客户时间  $S_i$ : 由于整个规划中需要按时间轴排列客户序列, 才能确定在不同时间段下的堵塞系数, 因此需要预先确定服务每个客户所占用的时间。此数据加上从上一节点出发起车辆运行至当前节点的时间, 即为客户节点  $i$  的总时间。计算出此时间可叠加推算出车辆在为节点  $i$  服务时, 该时段的道路通畅情况, 即堵塞系数的取值。

(7)油耗  $w$ : 车辆的油耗是物流成本占比最大的可变量, 跟车辆的车型排量、行进速度和路程距离均有关系。首先是不同吨位不同排量的车型, 油耗也有比较大的差别, 因此用  $W$  表示某种货运车型的工信部平均油耗。其次是实际油耗与速度有关, 一般油耗  $w$  与

速度成反比关系, 即速度越低, 油耗越高. 最后堵塞系数越高, 速度越低, 则油耗越高, 耗时越长. 即客户节点间的油耗成本可用公式(1)进行折算:

$$W_{ij} = d_{ij} * (1 + B_{it} / 10) * w * P \quad (1)$$

其中  $d_{ij}$  为两点距离,  $B_{it}$  为堵塞系数,  $w$  为派出车型的工信部平均油耗,  $P$  为当前油价, 用常数表示.

综合上述因素, 最终将求解 DVRP 问题的目标函数设定为综合油耗成本最低, 可用公式(2)表示:

$$f(x) = \min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N wij \quad (2)$$

此外需满足如下的约束条件, 即客户的货物总量不能超出车辆的装载能力:

$$\sum_{i=0}^N g_i < Q \quad (3)$$

### 4 求解DVRP问题的改进蜂群算法的设计

#### 4.1 规避高峰期拥堵区域的种群初始化算法

初始种群是蜂群算法搜索的起点, 好的初始种群能有效提高算法的性能和最终结果的质量. 但蜂群算法的初始种群是无序的、随机产生的, 很容易出现初始种群不合理的情况, 这样大大延长了进化的过程, 甚至直接影响算法的求解质量<sup>[4]</sup>.

因此结合具体的问题, 在种群初始化阶段先给出一个大体上合理的解, 然后再进一步优化, 将有利于更好更快地找到问题.

在一般情况下, 市区内的道路通畅情况, 与时间有密切的关系: 一般在工作日里面道路拥堵会出现在早高峰和晚高峰这两个时段, 而且越是在市中心和主干道, 越容易出现堵塞. 因此, 为提高初始种群的质量, 在生成初始解时, 应该首先避免在高、晚峰期进入市中心拥堵指数高的主干道区域, 改为访问外围的客户节点. 把运输服务范围大致分成中心区和外围区, 并把非核心区按一个方向大致分成两个部分, 如图 3 所示.

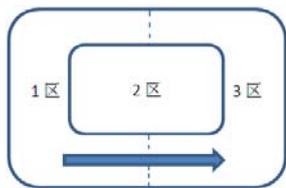


图 3 高峰期拥堵区域分布示意图

由于出发时间存在不确定性, 因此可从预计出发

时间算起, 将已选入初始序列的节点的时间累加递推, 如下一节点的服务时间进入高峰时段, 则改为在外围区域内选择未加入初始序列的节点.

#### 4.2 在拥堵指数的作用下的路径规划

由于使用拥堵指数数据库记录了道路不同时刻下的路况, 因此在整个规划过程中都在拥堵指数影响下展开, 过程如下:

在引领蜂阶段, 首先按规避高峰期拥堵区域的种群初始化算法, 在得到初始访问节点序列的基础上, 随机变换节点的排列, 产生新的食物源, 然后按照到达节点的时间, 从拥堵指数数据库中读取对应时段的拥堵指数, 按照公式(2)计算新访问序列的适应度的值. 如总成本优于原解, 则保留该新访问序列及更新最优值.

在跟随蜂阶段, 如概率选择为跟随引领蜂, 则与引领蜂一样变换出新的组合, 然后结合拥堵指数重新计算适应度.

在侦查蜂阶段, 按初始种群的算法随机生成全新的组合, 计算其是否为更好的解.

根据上述对蜂群算法的改进, 绘制改进的蜂群算法的流程图如下:

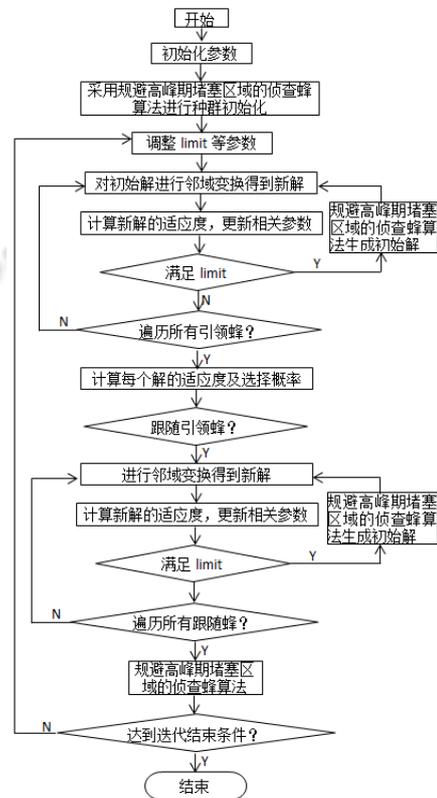


图 4 改进的蜂群算法的流程图

### 4.3 当道路发生突发情况

当道路发生突发情况,引起严重堵塞时,物流调度中心需要及时对未访问的客户节点进行重新规划,并将重新规划的线路发送给物流车辆<sup>[7]</sup>.此时,应首先修改事故路段的拥堵指数及估计堵塞的时间长度,然后重新规划.在堵塞系数的作用下,如在堵塞时段进入正在堵塞的路段的运输成本较高,因此算法会自动丢弃不合理的访问序列,改为在非堵塞时段才访问.

## 5 仿真实验与分析

由于物流车辆受装载量及时间的限制,按平均服务一个客户平均需要 5-10 分钟计算,则在 8 小时的工作时间中,能服务的客户节约 100 个以下.因此客户节点的规模太大没有实际意义,在仿真实验中设定为 100 个较为合适.仿真实验分别对比基本蜂群算法与改进算法在三种情况下的总路径和运行总成本的异同,其中标准算法均是不考虑堵塞情况,优化目标是路径最短;而改进算法均结合堵塞系数,规避高峰期堵塞区域改进算法,优化目标是总运输成本最低.

两种算法均使用 MATLAB 2012 编写及在同一台计算机上运行,以保证验证平台的软硬件环境的一致性.标准算法及改进算法的初始化变量及参数设置均全部相同,变量初始化设置为:最大迭代数设为 5000, limit 参数设置为 500,蜜蜂数设置为服务客户节点数 100.在三种情况下用两种算法各运行 10 次后,取结果的平均值作比较,得到的仿真结果如表 2 所示.

表 2 标准蜂群算法与改进蜂群算法测试结果对比

对比算法	标准蜂群算法		改进蜂群算法	
	总路径	总成本	总路径	总成本
无突发事件	128	162	145	139
突发事件引起堵塞	128	188	158	146
临时新增节点	165	192	153	150

第一种情况实验是假设整个运输过程中无突发事件,但由于改进算法规避了早晚高峰的堵塞区域,因此总路径比标准算法的要多.但是由于道路通畅,油耗反过来更低,使得总成本比标准算法更低.

第二种情况实验是假设整个运输过程中有两个路段因事故导致堵塞,堵塞系数随机生成.改进算法由于需要规避堵塞路段,因此路径长度及总成本比第一轮实验的结果均有所增加,但由于规避了突发堵塞的路段,成本增加不明显,仅约 5%.相反标准算法的路径长度不变,但成本支出却增加了约 16%.

第三种情况实验是假设整个运输过程中无突发堵塞,但随机生成两个位置不同的新增的服务节点.由

于改进算法可以及时重新规划未完成的节点,因此路径长度及总成本变化不大.相反标准算法由于要在完成原线路后才访问新增的节点,因此总路径反过来比改进算法的要高.同时成本支出也急剧增加,比改进算法的总成本高出近 30%.

从三种不同的情况的仿真实验得出的数据,可见不考虑路况标准算法的路径总长度比改进算法的要短,但由于进入了拥堵路段,总成本反而更高.而且在临时新增节点这类特殊情况下,总路径也并非绝对最短,因此改进算法的规划结果更适合物流行业的实际需求.

## 6 总结与展望

随着城市汽车保有量的不断增加,城市堵塞情况会越来越严重,对物流企业的运输成本的影响也将越来越大.本文引入拥堵指数,在标准蜂群算法的种群初始化、适应度计算及引领蜂、跟随蜂寻优过程进行改进,经过仿真实验,可见改进的蜂群算法比标准算法规划的路径,能使运输总成本更低,且当道路出现突发情况时,算法的结果变动也并不明显,改进算法的规划结果也明显优于标准蜂群算法.

本文的创新之处首先是结合时间主动规避了早晚两个高峰期的易拥堵区域,其次是建立了每条主干道分时段的拥堵指数数据库,在算法优化过程中结合拥堵系数进行以成本优先为目标的适应度计算.此外通过计算每个节点的运行时间及停留服务时间,因此算法稍加改动即可实现带时间窗问题的 VRP 需求,具有较大的扩展性.

### 参考文献

- 1 谢秉磊,郭耀煌,郭强.动态车辆路径问题:现状与展望,2002,11(2):116-120.
- 2 秦全德,程适,李丽,史玉回.人工蜂群算法研究综述.智能系统学报,2014,(2):127-135.
- 3 杨进,马良.蜂群算法在带时间窗的车辆路径问题中的应用.计算机应用研究,2009,26(11):4048-4050.
- 4 李修琳,鲁建厦,柴国钟,汤洪涛.混合蜂群算法求解柔性作业车间调度问题.计算机集成制造系统,2011,17(7):1495-1500.
- 5 丁海军,李峰磊.蜂群算法在 TSP 问题上的应用及参数改进.中国科技信息,2008(3):241-243.
- 6 杨亮,白万民,闫莉.基于人工蜂群算法的物流配送路径优化.信息系统工程,2012,12:59-61.
- 7 徐耀群,尹逊芹.基于实时路况的配送路径优化问题研究.哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2012,28(5):537-540.
- 8 北京市交通委员会.交通指数解读.http://www.bjjtw.gov.cn/bmfw/jtjsjd/201104/t20110410\_31417.htm.