

动态网络车辆路径派送问题研究^①

李妍峰¹, 高自友², 李 军¹

(1. 西南交通大学经济管理学院, 成都 610031; 2. 北京交通大学系统科学研究所, 北京 100044)

摘要: 讨论了带有实时交通信息的动态网络车辆路径派送问题. 问题包含重复性拥堵和非重复性拥堵两种情形. 用重复性拥堵下的交通信息以安排初始路径, 通过采用遗传算法求解时变车辆调度问题. 车辆在行驶过程中需要根据接收到的实时交通信息调整路线. 提出在关键点更新路线的机制, 并采用 Dynasearch 算法求解一类特殊的旅行商问题调整路线. 通过对 Sioux Falls 网络进行数值模拟分析, 结果表明新策略能在较短时间内改进其他策略, 且随着网络动态性增加其优越性更加明显.

关键词: 实时交通信息; 交通网络; 遗传算法; 时变网络车辆调度问题; 旅行商问题

中图分类号: F253.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2014)08-0001-09

0 引 言

车辆调度问题(vehicle routing problem, VRP)是运筹学和组合优化领域中的热点研究问题, 在实际中主要出现在物流配送环节. 该问题是在满足顾客需求的前提下, 找到一组具有最短路径或最小行驶时间的车辆路线. 对于这类问题的研究, 大多数学者考虑所有信息均为静态或事先可以获悉. 但实际路段走行时间往往会受到交通事故、天气变化和高峰期的影响不停变化. 新顾客需求也可能在车辆配送过程中才出现. 静态 VRP 理论和方法已不能应用于解决该问题. 另一方面, 现代通信技术和智能交通系统的不断发展使得实时获取和处理信息更加方便. 在这种背景下研究动态 VRP(dynamic vehicle routing problem, DVRP)具有重要的实际意义.

在 DVRP 问题的研究中, Psaraftis^[1]、Bertsimas 和 Ryzin^[2-3] 和 Powell 等^[4] 做了早期的工作. Ghiani 等^[5] 和 Pillac 等^[6] 对 DVRP 问题做了很好的综述. Potvin 等^[7] 指出在 DVRP 问题中主要的

动态要素有两部分: 一部分是顾客的需求动态变化, 另一部分是车辆的行驶时间动态变化. Taniguchi 和 Shimamoto^[8] 指出目前文献中大多数 DVRP 问题的研究主要是针对动态的顾客需求, 对于动态行驶时间研究很少.

考虑动态行驶时间的 DVRP 问题主要包括预测型 VRP 和基于实时交通信息的 DVRP^[8]. 对于预测型 VRP, 路段行驶时间随时间变化但事先可以通过预测确定, 可以在车辆出发前安排最优路线. 该问题适用于受上下班高峰期影响的重复性拥堵情形. 对该问题的处理通常是把一天分为几个时段, 在不同时段内车辆在同一路段上行驶时间不同. 该问题也被称为时变 VRP (time dependent vehicle routing problem, TDVRP), 最早由 Malandraki^[9] 提出. 随后 Malandraki 和 Daskin^[10]、Hill 和 Benton^[11]、Malandraki 和 Dial^[12]、Ichoua 等^[13]、Kok 等^[14] 对该问题进行了深入研究. 在实时交通信息下的 DVRP 问题中, 路段行驶时间受到非重复性拥堵情形下突发交通事故的影响发生变化,

① 收稿日期: 2011-04-27; 修订日期: 2012-04-22.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71090402; 71001005; 71361006).

作者简介: 李妍峰(1980—), 女, 四川乐山人, 博士, 副教授, 硕士生导师. Email: yanwaa@126.com

并且变化事先无法得知. 车辆在行驶过程中需要根据实时的交通信息更新路线. 因此在这类问题中如何更新路线是解决问题的关键. 文献中相关的实时更新路线机制主要包括两类: 一类是只在顾客处更新路段走行时间^[7-8]. 在这种机制下, 若车辆在去往下一个顾客的途中遇到交通拥挤或者交通事故, 由于没有及时更新信息将导致车辆陷入较长的等待中. 第二类为每隔一段时间更新路段走行时间^[15-19]. 这种更新机制的效率取决于更新时间间隔的选取. 若更新时间间隔越大, 对外界环境的变化反应就越迟缓. 若更新时间间隔越小, 反应更敏捷, 但也增加了路线重新规划的计算工作量. 此外, 由于信息更新时刻和实际改变路线的时刻并不一致, 若在这两个时刻之间路线上遇到交通拥挤或者交通事故, 同样车辆也会等待较长的时间. Lorini 等^[20] 改进了 Povtin 等^[7] 的处理方式, 允许司机可以在去往下一个顾客的途中改变路线, 但这种处理方式也未结合实际交通路网, 没有考虑车辆在行驶过程中经过的每条路段和每个路网节点. 李妍峰等^[21] 采用了一类在关键点更新的求解城市动态网络车辆路径优化问题. 考虑城市交通网络中任意两个服务的顾客之间有多条路径可以到达的情况. 因此, 车辆的顾客服务组合和顾客访问顺序均不会发生改变, 能够调整的是车辆在去往下一个顾客的行驶路线. 本文在前期文献^[21]的基础上, 考虑了一类顾客访问顺序也可能发生变化的动态车辆路径派送问题.

1 问题描述

问题来自于物流配送服务背景. 具有相同装载能力的车队从中心车场出发派送货物到顾客处. 当服务完所有的顾客后, 所有车辆返回到车场. 每个顾客的货物只能由一辆车派送. 每辆车上的货物装载量不能超过车的装载能力. 问题目标为在动态交通网络中找到一组能服务所有顾客的最短走行时间路线. 为了简化问题的描述, 文中不考虑带时间窗的情形.

在问题中, 路段走行时间受到动态交通网络中重复性拥堵(如上下班高峰期)和非重复性拥

堵(如交通事故、天气变化)的影响而不断变化. 车辆在行驶过程中需要根据实时接收到的信息调整路线. 由于本文仅考虑派送情形, 不包含取货, 在初始阶段当顾客的货物分配给车辆后, 所有这些顾客的货物都已经装载在初始分配的车辆上, 因此在行驶过程中不能改变每辆车服务的顾客集合, 但可以改变顾客访问顺序和车辆行驶路线.

车辆的初始路线安排和顾客订单分配通过求解预测型 VRP 或 TDVRP 问题得到^[8,16]. 车辆在交通网络中路段行驶时间被设定为时间的阶段函数, 在不同的时段内, 车辆在同一路段上的行驶时间可能会发生变化. 这些变化可以根据历史交通状况信息获得.

为了描述问题的动态特性, 本文采用了 Chen 等^[16] 提出的“关键点”名称. 本文定义关键点为车辆在网络中经过的每个节点, 不仅包含顾客节点, 也包含除顾客外的其他网络节点. 当车辆在网络中到达任意一个关键点, 更新交通信息, 并调整路线. 该策略与只在顾客处更新的策略^[7-8] 相比, 信息更新和路线调整表现更为实时. 与每隔一段时间更新的策略^[15-19] 相比, 更新信息更准确, 且调整路线更有效. 图 1 给出了一个简单网络, 网络包含 2 个顾客节点和除顾客外的 1 个网络节点, 初始路段走行时间(min) 如图所示. 通过图 1, 很容易得到初始最优顾客访问顺序为 $0 \rightarrow c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow 0$, 对应的车辆初始路线为 $0 \rightarrow n_1 \rightarrow c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow 0$, 初始行驶时间为 35 min.

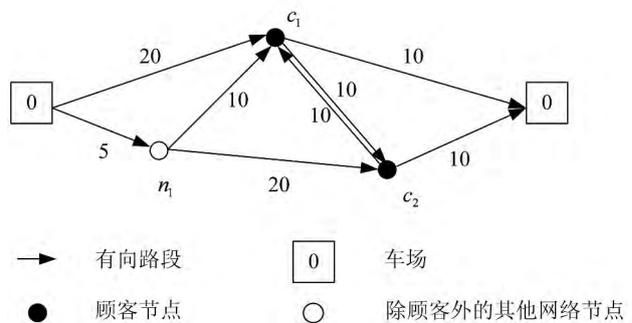


图 1 简单网络

Fig. 1 A simple network

司机从车场出发沿着该最优初始路线行驶. 当车辆到达节点 n_1 , n_1 为当前关键点, 路段走行时

间更新. 恰好这时在路段 (n_1, c_1) 上发生了交通事故, 路段走行时间增加到 60min, 其他路段走行时间保持不变. 从关键点 n_1 到车场的最短路径变为 $n_1 - c_2 - c_1 - 0$, 对应总行驶时间为 45 min. 若采取只在顾客处更新路线的策略, 司机不会改变其路线, 对应总行驶时间为 85 min; 若每隔一段时间更新路线, 时间间隔取 3 min(足够小). 第 1 次更新时, 该交通事故还未发生; 第 2 次更新时, 尽管接收到事故信息, 但车辆已在 n_1 去往 c_1 的路上, 不能改变路线, 对应的行驶时间也为 85 min.

2 模型和求解算法

对于基于实时交通信息的动态车辆路径派送问题求解, 首先需要安排车辆的初始路径, 初始路线安排通过求解 TDVRP 问题得到; 车辆在行驶过程中每到达一个关键点根据实时接收到的信息调整路线. 调整路线通过采用 Dynasearch 算法求解一类特殊的 TSP 问题得到.

2.1 初始路线安排

遗传算法(genetic algorithm ,GA) 已被一些研究者用于求解 VRP, 并能够产生高质量的解^[8, 17, 22-24]. 本文采用 GA 算法求解 TDVRP, 安排车辆的初始路线. 图 2 给出了 GA 算法的流程图.

2.2 实时路线调整

2.2.1 问题模型

对服务中的每辆车, 在关键点调整路线对应求解一个特殊的 TSP 问题, 其目标是找到从当前关键点出发, 访问每条路线里剩余的未被服务的顾客, 并返回到车场的瞬时最短路径.

在建模过程中, 需要用到以下参数和变量:

l 关键点;

c_{ij}^l 当车辆到达关键点 l 时, 顾客 i 到顾客 j 的瞬时最短行驶时间;

N_0 车场;

$N_{m,l}$ 对路线 m , 当车辆到达关键点 l 时, 已被服务的顾客集合;

$\bar{N}_{m,l}$ 对路线 m , 当车辆到达关键点 l 时, 未被服务的顾客集合;

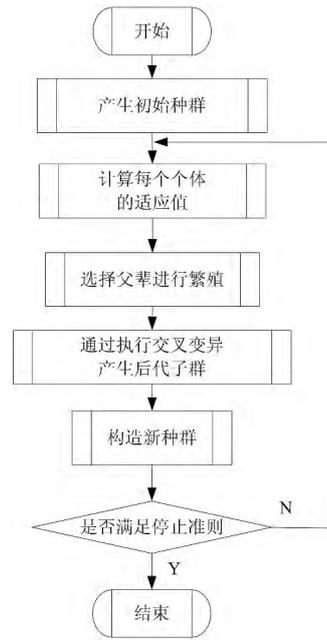


图 2 GA 算法流程图

Fig. 2 The flow chart of GA

$$x_{ij}^l = \begin{cases} 1 & \text{若车辆从顾客 } i \text{ 出发到顾客 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

每个特殊的 TSP 问题模型如下

$$\min \sum_{i \in \bar{N}_{m,l} \cup l} \sum_{j \in \bar{N}_{m,l} \cup N_0} t_{ij}^l x_{ij}^l \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in \bar{N}_{m,l} \cup N_0} x_{ij}^l = 1, \forall i \in \bar{N}_{m,l} \cup l \quad (2)$$

$$\sum_{i \in \bar{N}_{m,l} \cup l} x_{ij}^l = 1, \forall j \in \bar{N}_{m,l} \cup N_0 \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \bar{N}_{m,l} \cup l} \sum_{j \in \bar{N}_{m,l} \cup N_0} x_{ij}^l \leq |S| - 1, \forall S \subseteq \bar{N}_{m,l} \cup l \cup N_0$$

且 $|S| \geq 2$ (4)

$$x_{ij}^l = 0, 1, \forall i \in \bar{N}_{m,l} \cup l, \forall j \in \bar{N}_{m,l} \cup N_0 \quad (5)$$

其中: 目标函数(1)为最小化从当前关键点 l 到车场的瞬时行驶时间; 约束(2)保证对每个节点 i , 只有 1 个节点紧跟其后; 约束(3)保证对任意节点 j 紧前只有 1 个节点; 约束(4)是 TSP 问题的避免子环约束.

2.2.2 求解方法

当车辆达到网络中的任意一个关键点时, 路段走行时间能够根据移动技术提供的交通信息精

确更新.网络中任意两节点间的瞬时最短路径通过采用 Dijkstra 算法很容易就能求出.路线调整通过求解特殊的 TSP 问题得到.

尽管精确算法和智能优化算法能够求解 TSP 问题,但计算代价很大.一旦车辆到达关键点时,就要求求解一次 TSP 问题,计算次数很多.在这种情况下,若采用精确算法和智能优化算法,则算法运行时间太长.而对于实时路径更新,要求算法必须对当前的状况能够做出快速反应,使得调整后的路线能够及时地传达给车辆^[6].因此,本文采用一类快速局部搜索算法——Dynasearch 算法,对路线执行一系列的 k -opt ($k = 2, \text{ or }, 3$) 交换,从而找到新的路线调整方案.

Dynasearch 算法采用动态规划执行一组独立 k -opt 邻域交换移动,能在多项式时间里搜索到指数形式的邻域.最早由 Congram^[25]用于求解单机调度问题和 TSP 问题.他指出,若 Dynasearch 算法执行 2-

opt 或 or-opt 交换,算法计算复杂度为 $O(n^2)$,若算法执行 3-opt 交换,则计算复杂度为 $O(n^3)$.

对每个特殊的 TSP 问题, Dynasearch 算法从一个任意定义的路线序列 π 开始.该路线起点为当前关键点 $\pi(1)$,经过所有未被访问的顾客节点 $\pi(j)$ ($j = 2, \dots, n$),并返回到车场 $\pi(n+1)$.算法步骤描述如下:

步骤 1 初始化 $j = 1, 2$;

步骤 2 对 $3 \leq j \leq n$ 添加节点 $\pi(j+1)$ 到始于关键点 $\pi(1)$ 结束于 $\pi(j)$ 的最短哈密顿路径里.然后对路径执行一系列的独立 k -opt ($k = 2, \text{ or }, 3$) 移动;

步骤 3 从所有移动的可能中,找到始于关键点 $\pi(1)$ 结束于 $\pi(j+1)$ 的最短路径;

步骤 4 若 $j > n$ 停止.否则转向步骤 2.

对基于实时交通信息的动态车辆路径派送问题,其求解算法流程如图 3 所示.

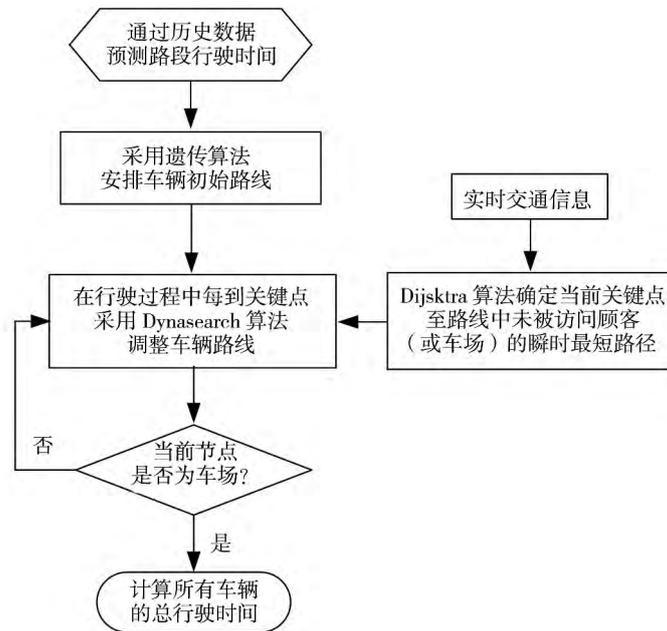


图 3 算法流程图

Fig. 3 The flow chart of the algorithm

3 数值试验

本文采用 Sioux Falls 网络^[26]进行数值模拟,如图 4 所示.网络中包括 24 个节点和 76 条路段.每条路段的自由流走行时间做了简单修正,见附

表.车场位于网络中心 10 节点的位置,11 个顾客分布在网络的灰色节点处.假设在车场有 3 辆车,每辆车的装载能力为 4 t,顾客需求均设置为 1 t.

在该算例中,模拟时间设置为 500 min.所有车辆在 0 时刻从车场出发.为了描述路段走行时间在正常交通状况下的时变特性,本文采用

文献 [7, 17, 20] 的处理方式, 将模拟时段分为 3 个时段: [0, 90]、[91, 180] 和 [181, 500], 对应的拥挤系数分别为 2、1 和 1.5. 则在正常的

交通状况下, 每条路段对应在这 3 个时段的走行时间等于自由流走行时间乘以对应时段的拥挤系数.

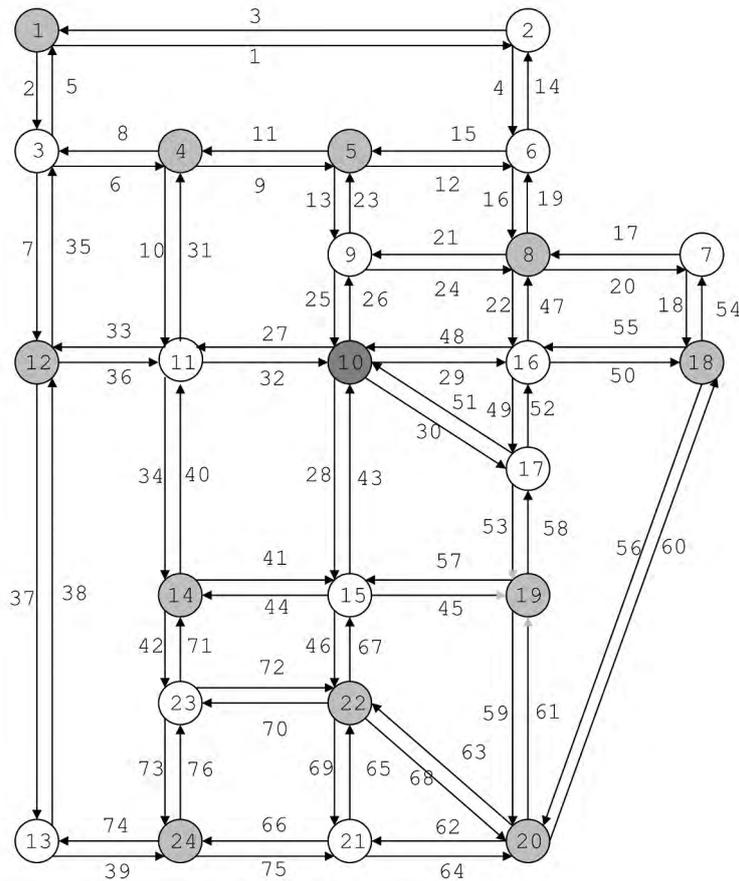


图 4 Sioux Falls 网络

Fig. 4 Sioux Falls network

初始路线通过采用 GA 算法求解 TDVRP 问题得到. 在对 GA 算法进行一系列测试的基础上, 算法参数设置如表 1 所示. 表 2 给出了 GA 算法求解 TDVRP 问题得到的初始路线.

表 1 GA 算法参数设置

Table 1 The parameters setting in GA

参数	数值
总群大小	300
遗传代数	300
精英个体数目	30
选择子路径顾客数	2
选择压力	0.8
交叉率	0.9
变异率	0.05

在模拟过程中考虑 4 类不同的更新机制. 分别为: 不更新 (机制 1)、只在顾客处更新 (机制 2)、每隔一段时间更新 (机制 3, 时段分别设置为 5 min、10 min 和 15 min)、以及在网络关键点更新 (机制 4).

在测试以上更新机制过程中, 主要有 3 个网络动态因素会影响车辆的总行驶时间, 分别为由交通事故引起的走行时间波动, 走行时间波动的频率, 以及每一次走行时间变动的路段数量. 按照 Povtin 等^[7]、Okhrin 和 Richter^[17] 以及 Lorini 等^[20] 的处理方式, 对于网络中可能出现的因交通事故或交通阻碍引起的走行时间变化, 可通过随机扰动方式实现, 对应的路段走行时间随机扰动服从均值 $\bar{\mu}$ 为 0, 不同标准差 σ ($\sigma \geq 0$) 的正态分布; 路段走行时间随机扰动发生的时刻服从

[0, 250]区间均匀分布,并设置不同扰动频率;每一次走行时间变动的路段数量服从[0, 76]区间

均匀分布,也可设置每一次走行时间变动对应的不同路段数目.

表2 初始路径

Table 2 The initial routes

路径	顾客访问顺序	对应路径	行驶时间/min
1	10-5-4-1-12-10	10-9-5-4-3-1-3-12-11-10	306
2	10-18-20-19-22-10	10-16-18-20-19-15-22-15-10	282
3	10-14-24-8-10	10-11-14-23-24-21-20-18-7-8-9-10	358

考虑以上3个因素,本文分别构造3个不同的情景.在每个情景中,比较了4种更新机制的性能,其中路线调整都采用Dynasearch算法得到.为了计算方便,在Dynasearch算法中只采用2-opt移动.在情景1中,还比较了对于本文提出的关键点更新机制(机制4)下,调整路线采用Dynasearch算法和GA算法的性能.需要说明的是每种情形下总行驶时间和算法运行时间都是模拟了1000次后取的平均值.所有程序采用

C++编写,并在Intel Core Duo CPU 2.00GHZ计算机上运行.

情景1 为了测试走行时间波动对不同策略的影响,采用4种不同的标准差,分别为 $\sigma = 10、20、40、80$,扰动频率设置为5,每一次走行时间变动的路段数目设置为50.表3中给出了4种更新机制下采用Dynasearch算法更新路线,和机制4下采用GA算法更新路线得到的总行驶时间和算法运行时间.

表3 情景1中各策略结果比较

Table 3 The comparison results with different mechanisms in scenario 1

机制			σ				平均值
			10	20	40	80	
不更新	行驶时间/min	816.81	839.873	884.328	969.908	877.730	
	(运行时间/s)	(0.464)	(0.453)	(0.468)	(0.456)	(0.460)	
只在顾客处更新		行驶时间/min	815.598	838.036	883.136	960.583	874.338
		(运行时间/s)	(2.39)	(2.437)	(2.468)	(2.5)	(2.449)
每隔一段 时间更新	5min	行驶时间/min	813.072	833.701	874.5	948.051	867.331
		(运行时间/s)	(6.5)	(6.515)	(6.5)	(6.593)	(6.527)
	10min	行驶时间/min	813.945	835.449	878.316	952.472	870.046
	(运行时间/s)	(5.62)	(5.57)	(5.615)	(5.546)	(5.588)	
	15min	行驶时间/min	815.124	837.925	881.721	958.364	873.284
	(运行时间/s)	(4.453)	(4.468)	(4.515)	(4.578)	(4.504)	
在关键点更新		行驶时间/min	812.263	832.399	860.192	897.896	850.688
		(运行时间/s)	(4.484)	(4.562)	(4.531)	(4.609)	(4.547)
在关键点更新 (GA调整路线)		行驶时间/min	812.145	832.375	859.456	897.896	850.468
		(运行时间/s)	(10.635)	(10.526)	(10.614)	(10.627)	(10.601)

从表3中可以看出,4种机制下的总行驶时间随着标准差的增加迅速增加.但每种机制的增长速度不同(见图5),机制4的增长速度最小.若设置 $\sigma = 0$ 时的总行驶时间810min为参考值,当 $\sigma = 80$ 时,采用机制4得到的总行驶时间增加了5.02%,但采取机制1、机制2和机制3(5min、10min、15min)得到的总行驶时间分别增加了

19.74%、18.59%、17.04%、17.58%、18.31%.在4种机制中,采用机制4能够得到最好的解.相反,采用机制1,在行驶过程中不改变其初始路线,对应的总行驶时间最长.对于机制3而言,若时间间隔设置越短,走行时间更新越频繁,得到的解更好,但运行时间也越长.

从表3中也可以发现,机制4下采用

Dynasearch算法和 GA 算法更新路线,得到的总行驶时间相似,但 GA 算法所需的计算时间远比 Dynasearch算法所需要的时间长.采用 Dynasearch算法在关键点更新路线,能够在非常短时间内得到高质量的解.而且这种策略的优越性随着标准差的增加更为明显.

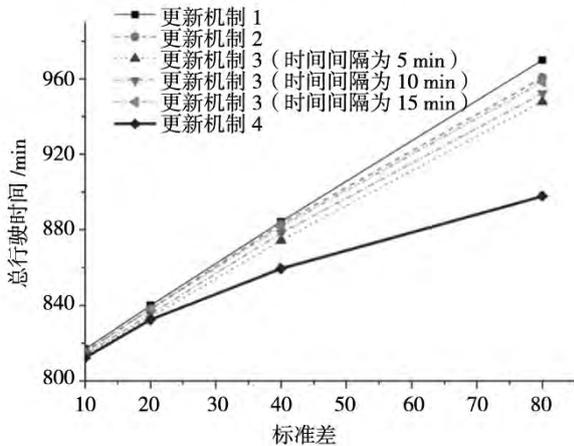


图 5 情景 1 中不同机制对应的总行驶时间

Fig. 5 The total travel times with the different mechanisms in scenario 1

情景 2 在情景 2 中,测试了扰动频率对于 4 种更新机制的影响.扰动频率以步长 10 从 0 增加到 200,路段行走时间变化的标准差设置为 40,每一次行走时间变动的路段数目设置为 50.

由于运算时间只依赖于求解策略,与动态网络参数无关.在情景 1 中已经给出了每种策略的运算时间,因此在情景 2 中只给出采取 4 种更新机制下采用 Dynasearch 算法更新路线对应的总行驶时间,如图 6 所示.此外,由于在机制 3 中时间间隔设置为 5 min 能比其他时间间隔得到更好的解,因此在情景 2 中只考虑时间间隔设置为 5 min 的情形.

在图 6 中,采取 4 种更新机制对应的总行驶时间随着扰动频率的增加而增加.但增加速度却随着扰动频率的增加而减少.机制 2 和机制 3 具有类似的增长速度.尽管采用机制 1 得到的解最差,但随着扰动频率的增加其解与机制 2 和机制 3 得到的解接近.机制 4 具有最慢的增长速度,且求解得到的总行驶时间在 4 种机制中总是最短.

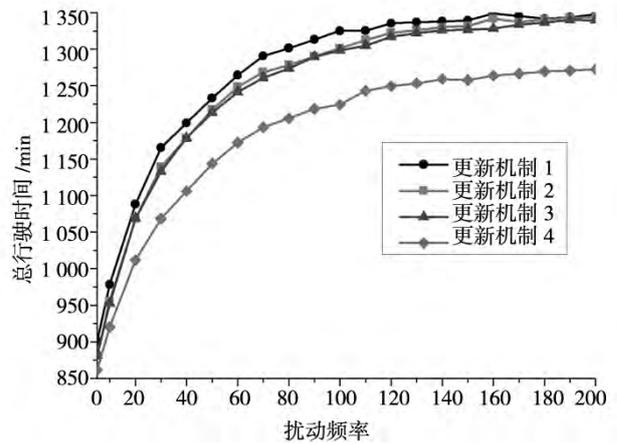


图 6 情景 2 中的比较结果

Fig. 6 The comparison results in scenario 2

情景 3 在情景 3 中测试每一次行走时间变动的路段数目对于 4 种更新机制的影响.路段数目以步长 10 从 0 增加到 70,扰动频率设置为 5,路段行走时间波动的标准差设置为 40.同样在机制 3 中设置时间间隔为 5 min.

采取 4 种更新机制得到的总行驶时间随着每一次行走时间变动的路段数目的增加而增加,如图 7 所示.同样在 4 种机制下,机制 4 具有最慢的增长速度,对应得到的总行驶时间最短.此外,由于机制 3 中路线更新频率比机制 2 大,得到的解比机制 2 好.机制 1 得到的总行驶时间最长.

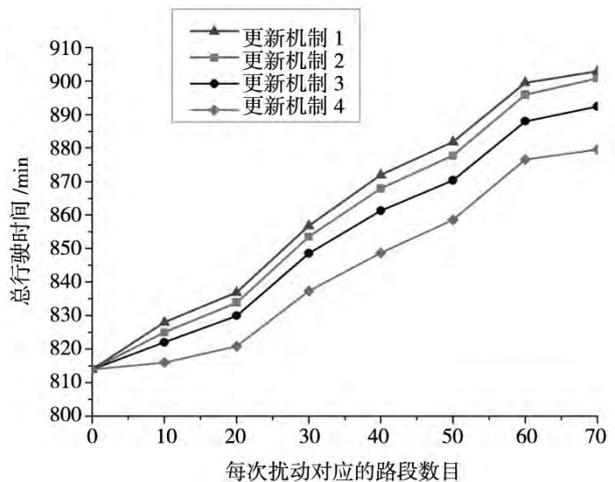


图 7 情景 3 中的比较结果

Fig. 7 The comparison results in scenario 3

4 结束语

本文对基于实时交通信息下的路径优化派

送问题提出了一类新的求解策略,通过采用 GA 算法求解 TDVRP 问题得到初始路线安排,在车辆行驶过程中每到达一个关键点时,对路线进行实时调整,该调整通过采用 Dynasearch 算法求解一类特殊的 TSP 问题实现. 论文对 Sioux Falls 网络进行了数值模拟分析. 模拟结果表明

新更新机制下产生的解比采用其他更新机制得到的解更好,且采用 Dynasearch 算法能够在非常短的时间内快速优化路线. 若交通网络越不稳定,采用新策略更体现其优越性. 在未来的研究中,可测试更多的网络,也可在问题中加入取货的情形.

参 考 文 献:

- [1] Psaraftis H N. Dynamic Vehicle Routing Problems [M]// Golden B L, Assad A A (eds.), *Vehicle routing: Methods and studies*, North-Holland, 1988: 223 – 248.
- [2] Bertsimas D, Ryzin G V. A stochastic and dynamic vehicle routing problem in the Euclidean plane [J]. *Operations Research*, 1991, 39(4): 601 – 615.
- [3] Bertsimas D, Ryzin G V. Stochastic and dynamic vehicle routing problem in the Euclidean plane with multiple capacitated vehicles [J]. *Operations Research*, 1993, 41(1): 60 – 76.
- [4] Powell W B, Jaillet P, Odoni A R. Stochastic and Dynamic Networks and Routing [M]// Ball M O, Magnanti T L, Monma C L, et al (eds.), *Handbooks in operations research and management science*, 8: Network routing, Amsterdam: Elsevier Science, 1995: 141 – 295.
- [5] Ghiani G, Guerriero F, Laporte G, et al. Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies [J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 151(1), 1 – 11.
- [6] Pillac V, Gendreau M, Guéret C, et al. A review of dynamic vehicle routing problems [J]. *European Journal of Operational Research*, 2013, 225(1): 1 – 11.
- [7] Potvin J Y, Xu Y, Benyahia I. Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times [J]. *Computer & Operation Research*, 2006, 33(4): 1129 – 1137.
- [8] Taniguchi E, Shimamoto H. Intelligent transportation system based dynamic vehicle routing and scheduling with variable travel times [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2004, 12(3/4): 235 – 250.
- [9] Malandraki C. Time dependent vehicle routing problem: Formulations, solution algorithms and computations experiments [D]. Northwestern University, 1989.
- [10] Malandraki C, Daskin M S. Time dependent vehicle routing problems: Formulations, properties and heuristic algorithms [J]. *Transportation Science*, 1992, 26(3): 185 – 200.
- [11] Hill A V, Benton W C. Modeling intra-city time-dependent travel speeds for vehicle scheduling problems [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1992, 43(4): 343 – 351.
- [12] Malandraki C, Dial R B. A restricted dynamic programming heuristic algorithm for the time dependent traveling salesman problem [J]. *European Journal of Operational Research*, 1996, 90(1): 45 – 55.
- [13] Ichoua S, Gendreau M, Potvin J Y. Vehicle dispatching with time-dependent travel times [J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 144(2): 379 – 396.
- [14] Kok A L, Hans E W, Schutten J M J. Vehicle routing under time-dependent travel times: The impact of congestion avoidance [J]. *Computers & Operations Research*, 2012, 39(5): 910 – 918.
- [15] Fleischmann B, Gnutzmann S, Sandvoß E. Dynamic vehicle routing based on online traffic information [J]. *Transportation Science*, 2004, 38(4): 420 – 433.
- [16] Chen H K, Hsueh C F, Chang M S. The real-time time-dependent vehicle routing problem [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2006, 42(5): 383 – 408.
- [17] Okhrin I, Richter K. The vehicle routing problem with real-time travel times [J]. *International Journal of Vehicle Information and Communication Systems*, 2009, 2(1/2): 59 – 77.
- [18] Liao T Y, Hu T Y. An object-oriented evaluation framework for dynamic vehicle routing problems under real-time informa-

- tion [J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(10): 12548 – 12558.
- [19] Tagmouti M, Gendreau M, Potvin J Y. A dynamic capacitated arc routing problem with time-dependent service costs [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2011, 19(1): 20 – 28.
- [20] Lorini S, Potvin J Y, Zufferey N. Online vehicle routing and scheduling with dynamic travel times [J]. *Computer & Operations Research*, 2011, 38(7): 1086 – 1090.
- [21] 李妍峰, 高自友, 李 军. 基于实时交通信息的城市动态网络车辆路径优化问题 [J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(7): 1813 – 1819.
- Li Yanfeng, Gao Ziyou, Li Jun. Vehicle routing problem in dynamic urban network with real-time traffic information [J]. *Systems Engineering – Theory & Practice*, 2013, 33(7): 1813 – 1819. (in Chinese)
- [22] Haghani A, Jung S. A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times [J]. *Computer & Operations Research*, 2005, 32(11): 2959 – 2986.
- [23] Ombuki B, Ross B J, Hanshar F. Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows [J]. *Applied Intelligence*, 2006, 24(1): 17 – 30.
- [24] Dreoj J, Petrovski A, Siarry P, et al. *Metaheuristics for Hard Optimization* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- [25] Congram R K. *Polynomially searchable exponential neighborhoods for sequencing problems in combinatorial optimization* [D]. Southampton: University of Southampton, 2000.
- [26] Leblanc L J, Morlok E K, Pierskalla W P. An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem [J]. *Transportation Research*, 1975, 9(5): 309 – 318.

Dynamic vehicle routing and dispatching problem

LI Yan-feng¹, GAO Zi-you², LI Jun¹

1. School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;
2. The Institute of System Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: A vehicle routing and dispatching problem in a dynamic traffic network with real-time traffic information is discussed in this paper. Both re-current and non-recurrent congestion are considered in the problem. The initial route planning is made by solving a time-dependent vehicle routing problem under re-current congestion conditions. The genetic algorithm is applied. During the planning implementation, a new mechanism updating at the critical node is proposed to adjust the routes with real-time traffic information subject to the unexpected traffic accidents in non-recurrent congestion environment. It is conducted by solving a special traveling salesman problem with Dynasearch algorithm. The numerical simulation results with the Sioux Falls network show the efficiency of the new mechanism. The new strategy can improve the other strategies in a short time, and it becomes more efficient when the network becomes more dynamic.

Key words: real-time traffic information; traffic network; genetic algorithm; time-dependent vehicle routing problem; traveling salesman problem