

文章编号: 1003-1421(2010)03-0070-03

中图分类号: F253.9

文献标识码: A

在时间窗条件下应急物资运输 路径优化问题研究

Research on Route Optimization of Emergent Materials Transportation under Condition of
Time Window

陈钢铁, 帅 斌

CHEN Gang-tie, SHUAI Bin

(西南交通大学 交通运输学院, 四川 成都 610031)

(School of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

摘 要: 应急物资调运主要是应急车辆在最短的时间内把应急物资运送到需求点, 其研究的核心是最短路径选择问题。通过对研究问题的描述, 界定其中交通网络的道路和节点均带有禁止时间窗, 模型目标是通过路径选择最小化调运时间, 鉴于模型的组合属性, 利用动态规划和标号法算法对设计问题求解, 以实例计算说明模型算法的有效性。

关键词: 路径优化; 应急物质运输; 动态规划

Abstract: The main target of emergent material transport is to transport the emergent vehicles to the demand point in the shortest time. The core of this research is the problem of shortest route selection. Firstly, this paper describes the research problems, and considers that both the road and node in the traffic network have the forbidden time window. The model object is to minimize traffic time by route selection. In according with the combination property of the model, the design problem is solved by using dynamic plan and labeling algorithm. In the end, the paper illuminates the validity of the algorithm by examples.

Key words: Route Optimization; Emergent Martial Transport; Dynamic Plan

城市应急系统的一项重要任务就是决定城市应急运输路线, 要求发生事故时, 救援者能以最快的速度到达现场进行救援。传统的车辆路径问题 (Vehicle Routing Problem, VRP) 是为运输物资的车辆设计最佳路径, 使其总运输费用最小。这个问题是Dantzig和Ramser在解决一个实际汽油运输问题时提出的^[1]。Toth 和Vigo、Laporte建立

了多种变形的VRP模型,如有时间窗的VRP模型,有多个供应点的VRP模型,动态选择路径的VRP模型,并给出了相应的算法^[2-3]。与传统的VRP相比,应急物资调运主要是应急车辆在最短的时间内把应急物资由应急服务点运送到需求点,其研究的核心是最短路径选择问题。近年来,随着应急管理的推广实施,应急物资调度中的车辆路径选择与优化,成为该领域的一个新的热点。在应急情况下,由于可选择的路径有限,因此需要研究在最短的时间求得最优化的路径。

1 问题描述

基于禁止时间窗的应急物资调度车辆路径问题,在对研究问题进行界定的基础上,构建问题的整数规划优化模型。在应急情况下,可供选择的路径不是很多,可以采用动态规划和标号法求解。采用这种算法能在短时间内为在时间窗条件下应急物资的运输路径优化求得最优解。最后通过实例计算对研究成果进行说明。

现有一给定交通网络 $G=(N, A)$,其中 N 为节点集合,表示城镇、村庄、工厂、学校等具有实际意义的具体地点; A 为枝线集合,表示连接各个节点的道路,网络 G 中不允许存在没有枝线连接的孤立节点。由于运送物资的特殊性或交通状况本身的限制,对于节点 $n(n=1, 2, \dots, N)$,存在一禁止时间窗 $[NF_n^{\text{start}}, NF_n^{\text{end}}]$,在该时间窗规定的时间段,运输车辆不得从节点通过。与此相类似,对于某一枝线 $a(a=1, 2, \dots, A)$,也存在一禁止时间窗 $[NF_a^{\text{start}}, NF_a^{\text{end}}]$,在该时间窗内不允许车辆进入该枝线所代表的路段,但已经进入并行驶的车辆不受此禁止时间窗的限制。

假定当运输车辆到达某一节点 n 时,时间 T_n 正好位于该节点的禁止时间窗内,即 $T_n \in [NF_n^{\text{start}}, NF_n^{\text{end}}]$,则运输车辆必须在此等待,直到时间窗结束。运输车辆在节点 n 的等待时间记为 t_n^{wait} 。相似地,如果运输车辆到达某一枝线的时间 T_a 正好处于该枝线的禁止时间窗内,即 $T_a \in [NF_a^{\text{start}}, NF_a^{\text{end}}]$,则车辆同样必须在此等待到禁止时间结束才能进入该枝线,等待时间记为 t_a^{wait} 。此外,对于速度已知的应急物资运输车辆,通过枝线 a 所需时间记为

t_a^{run} ;车辆通过节点不消耗时间。

现假定在网络中的某一节点 n^{acci} 发生一突发应急事件,需要从另节点 n^{stor} 紧急调运应急物资。不失一般性,将运输车辆离开出发节点 n^{stor} 的时间标记为基准时刻0,即 $n^{\text{stor}}=0$,网络 G 中其他节点和枝线的禁止时间窗均基于该时刻进行定义。则本文所解决的问题就是在禁止时间窗限制下,从网络 G 中选择节点 n^{acci} 到节点 n^{stor} 的运输路径,使车辆到达应急事件发生节点的时间最少。

2 模型建立

由于网络路径由节点和枝线组成,因此通过定义两组决策变量来确定所选择的运输路径。

$$x_n = \begin{cases} 1 & \text{节点 } n \text{ 位于所选的路径上} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad n=1, 2, \dots, N$$

$$y_a = \begin{cases} 1 & \text{节点 } a \text{ 位于所选的路径上} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad a=1, 2, \dots, A$$

在上述定义的基础上,根据对问题的界定,可构建基于禁止时间窗的应急物资调度车辆路径问题优化模型为:

$$\min T_{n^{\text{acci}}} = \sum_{n=1}^N (t_n^{\text{wait}} \times x_n) + \sum_{a=1}^A [(t_a^{\text{run}} + t_a^{\text{wait}}) \times y_a] \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \begin{cases} x_{n^{\text{stor}}} = x_{n^{\text{acci}}} = 1 \\ \sum_{a \in S_{n^{\text{stor}}}} y_a = \sum_{a \in S_{n^{\text{acci}}}} y_a = 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_{n_i} = x_{n_o} = \begin{cases} 1 & \text{如果 } y_a = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \\ \sum_{a \in S_{n_o}^{\text{other}}} y_a = 2 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} T_{n^{\text{stor}}} = 0 \\ T_{n_i} = (T_{n_o} + t_{n_i}^{\text{wait}}) + (t_a^{\text{wait}} + t_a^{\text{run}}) \end{cases} \quad (4)$$

$$t_n^{\text{wait}} = \begin{cases} NF_n^{\text{end}} - T_n & T_n \in [NF_n^{\text{start}}, NF_n^{\text{end}}] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

$$t_a^{\text{wait}} = \begin{cases} AF_a^{\text{end}} - T_a & T_a \in [AF_a^{\text{start}}, AF_a^{\text{end}}] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中, $S_{n^{stor}}$ 和 $S_{n^{acci}}$ 为节点 n^{stor} 和 n^{acci} 相连枝线的集合; n^{other} 为除 n^{stor} 和 n^{acci} 以外的其他节点; $S_{n^{other}}$ 为与节点 n^{other} 相连枝线的集合; n_a^1 和 n_a^0 为运输车辆在枝线 a 上的进入和离开节点。

上述优化模型为一个整数规划模型。目标函数(1)式为最小化运输车辆到达应急事件发生地的时间。(1)式等号右边第一项为运输车辆在所选路径上各节点的等待时间;第二项为运输车辆在各枝线的等待时间与行驶时间之和。

约束条件(2)式包含有两个式子,第一个是确保应急物资存储地点和应急事件发生地点都位于所选路径上;第二个是保证在与起始节点和终止节点相连的所有枝线中,有且只有一条被选中。约束条件(3)式是一个路径连通性约束,包含有两个式子,第一个是当某一枝线被选中时,其两端的两个节点同时被选中;第二个是确保当某一节点(n^{stor} 和 n^{acci} 除外)被选中时,与其相连的枝线中有且只有两条被选中。约束条件(4)式是车辆运输时间递推约束,包含有两个式子,第一个将运输车辆离开应急物资存储地点的时刻定义为0;第二个是通过与节点相连的枝线,将车辆运输时间由某一个节点递推到与其相邻的下一个节点。约束条件(5)式是等待时间约束,通过这两个式子可分别计算出由于禁止时间窗的限制,运输车辆在某一节点或枝线的等待时间。约束条件(6)式为决策变量的定义域约束。

3 模型算法

对于时变条件下有时间窗最短路径动态优化问题,可以采用动态规划和标号法求解。一般对于一个运输网络,在求解过程中可以将其划分成若干阶段,以起始阶段由前向后逐段推移,直到最后一个阶段结束为止。

为了获得各个目标值和相应的概率,首先,第一层确定时间组合;然后,第二层确定目标组合,获得期望目标值。因此,对于任意一个节点 j 赋以两个标号,标号1是确定了时间组合 $W_{j,\eta}^t$ 时所获得的目标值、概率和时间, $w_{j,\eta}^t \in W_j^t$;标号2是所有时间组合 W_j^t 下的目标值。在此,对于任意一个节点 j 均赋以标号1 $[(j, Z_j, P_j, t_j^a, t_j^d), (w_{j,\eta}^t, i,$

$q-1)]$ 和标号2 $[(j, EZ_j), (W_j^t, i)]w_{j,\eta}^t$ 。其中, q 为节点 j 的所属段; $w_{j,\eta}^t$ 为节点 j 在阶段 q 的时间组合; $q-1$ 为节点 i 的所属阶段; $w_{j,\eta}^t$ 为节点 i 在阶段 $q-1$ 的时间组合; Z_j 为时间组合在 $w_{j,\eta}^t$ 从节点 j 出发时各个目标的期望值, Z_j 是一个向量, $Z_j=(Z_j^1, Z_j^2, \dots, Z_j^h)$; P_j 为时间组合在 $w_{j,\eta}^t$ 到达节点 j 时各个目标的概率, $P_j=(P_j^1, P_j^2, \dots, P_j^h)$,其中, P_j^h 是一个向量, $P_j^h=(\rho_{j,w_{j,1}^t}^h, \rho_{j,w_{j,2}^t}^h, \dots, \rho_{j,w_{j,|W_j^t|}^t}^h)$; t_j^a 表示在时间组合 $w_{j,\eta}^t$ 下从节点 j 出发的时间; t_j^d 表示在时间组合 $w_{j,\eta}^t$ 下到达节点 j 的时间; EZ_j 为选择了所有的时间组合后的期望目标值,是一个向量, $EZ_j=(EZ_j^1, EZ_j^2, \dots, EZ_j^h)$, EZ_j^h 为选择了所有的时间组合后目标 h 的期望值。其中, $\forall w_{j,\eta}^t \in W_j^t, \eta=1, 2, \dots, |W_j^t|, j \in N-\{O\}, (i, j) \in E$ 。

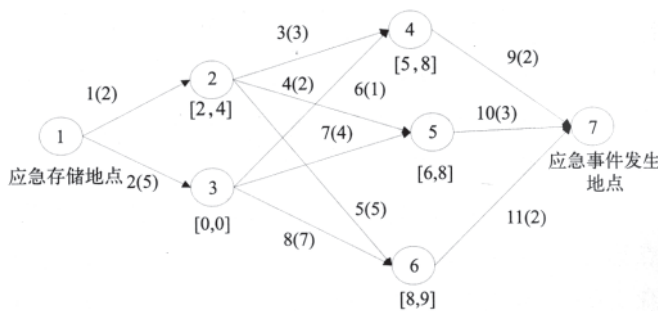


图1 网络运输图实例

4 实例计算

利用图1所示的实例对研究结果进行说明。图1中节点1和节点7分别为应急物资的储存地点和应急事件的发生地点,节点和枝线的代号用数字表示,其禁止时间窗标注在节点代号的下部,枝线代号后圆括号中的数字为车辆在该枝线上的行车单位时间,利用动态规划和标号法求解该实例。

车辆沿着“节点1→枝线1→节点2→枝线3→节点4→枝线9→节点7”将应急物资从储存地点运送到事发地点,所消耗的总时间为10。这是从应急存储地点到应急事件发生地点的最短时间。

车辆先从应急存储地点节点1出发,选择枝线1,经过2个单位时间行驶到节点2,在该节点上需要等待2个单位时间后(禁止时间窗为[2,4]),选择枝线3,经过3单位时间行驶后,于7个单位时间到节点4,

(下转第77页)

6 结束语

旅游交通生态足迹模型对计算旅游者的生态的影响方法简便,可以较全面地评价旅游交通活动的生态影响。通过对铁路、航空、公路等不同运输方式生态足迹的计算,比较分析了各种运输方式之间生态足迹的差异,从而评价了不同运输方式的生态需求^[12]。但是,旅游交通生态足迹还无法测量人们的生活质量^[14]。虽然对旅游业来说值得提倡追求生态足迹的减少,如鼓励旅游者放弃乘坐(自驾)小汽车改乘公共汽车,但同时也需要考虑对游客满意体验的影响。因此,进一步研究旅游者在追求满意体验的过程及减少交通生态足迹,仍将是面临的新课题。

参考文献:

- [1] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4 (2): 121-130.
- [2] Rees W E, Wackernagel M. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island, British Colombia: New Society Publishers, 1996.
- [3] Stefan Gossling. Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability[J]. Ecological Economics, 2002 (43): 199-211.
- [4] 于行行. 旅游交通发展存在的问题及其前景分析[J]. 山东教育学院学报, 2005 (3): 84-86.
- [5] 章锦河, 张 捷. 旅游生态足迹模型及黄山实证分析[J]. 地理学报, 2004 (5): 763-771.
- [6] 席建超, 葛全胜. 旅游消费生态占用初探——以北京市海外入境旅游者为例[J]. 自然资源学报, 2004 (2): 224-229.
- [7] 罗艳菊. 鼎湖山自然保护区旅游者生态足迹分析[J]. 浙江林学院学报, 2005 (3): 330-334.
- [8] 徐中民, 程国栋. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法——以张掖地区1995年的生态足迹计算为例[J]. 生态学报, 2001 (9): 1484-1493.
- [9] 刘青松, 李杨帆. 江苏盐城自然保护区滨海湿地生态系统的特征与健康设计[J]. 海洋通报, 2003 (3): 143-148.
- [10] 江苏省统计局. 江苏省统计年鉴[M]. 2005版. 北京: 中国统计出版社, 2005.
- [11] 江苏省旅游局. 2004年江苏省国内旅游抽样调查资料[R]. 南京: 江苏教育出版社, 2004.
- [12] 杨桂华, 李 鹏. 旅游生态足迹: 测度旅游可持续发展的新方法[J]. 生态学报, 2005 (6): 1475-1480.
- [13] 罗艳菊, 吴章文. 鼎湖山自然保护区旅游者生态足迹分析[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22 (3): 330-334.
- [14] 杨桂华, 李 鹏. 旅游生态足迹的理论意义探讨[J]. 旅游学刊, 2007 (2): 54-58.

收稿日期: 2009-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40471050); 上海市教育委员会和上海市教育发展基金会“晨光计划”项目(09CGB11)

责任编辑: 冯姗姗

(上接第72页)

在该节点上需要等待1个单位时间后(禁止时间窗[5, 8]), 选择枝线9, 经过2个单位时间, 于10个单位时间到达节点7应急事件发生地点。

5 结束语

带有禁止时间窗的应急物资调度车辆路径问题, 只考虑时间窗条件下对应急物资和救援的路径的优化, 而在现实生活和情景中有很多不确定因素对应急路径优化产生影响, 因此对于在多个不确定因素条件下应急路径优化需要进一步的研究。在应急路径中更复杂的网络问题、路径优化及其相关的算法也是进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] Dantzig G B, Ramser J H. The Truck Dispatching Problem[J]. Management Science, 1959, 6 (1): 80-91.
- [2] Toth P, Vigo D. The Vehicle Routing Problem, SLAM Monographs on Discrete Mathematics and Application[M]. SLAM Publishing, 2002.
- [3] Laporte, G. The Vehicle Routing Problem, An Overview of Exact and Approximate Algorithms [J]. European Journal of Operations Research, 1992(59): 345-358.

收稿日期: 2009-11-26

修订日期: 2005-01-06

责任编辑: 黄宣镌