

文章编号:1671-1637(2008)06-0110-06

# 方格路网车辆路径在线选择模型及竞争分析

苏兵<sup>1,2</sup>,徐寅峰<sup>1,3</sup>,余水<sup>4</sup>

(1. 西安交通大学 管理学院,陕西 西安 710049; 2. 西安工业大学 经济与管理学院,陕西 西安 710021;  
3. 西安交通大学 机械制造系统工程国家重点实验室,陕西 西安 710049; 4. 迪肯大学  
信息技术与工程学院,维多利亚州 墨尔本 3125)

**摘要:**为分析城市方格路网遭遇突发性堵塞下的车辆路径选择问题,应用在线问题与竞争策略的方法建模,设计了2种在线路径选择竞争策略,即方向贪婪策略和多选择移动策略,计算了2种策略的竞争性能比。通过策略竞争分析得出:在发生突发性堵塞的情形下,方向贪婪策略下的费用为最优费用的3倍;利用多选择移动策略在对网络具有实际意义约束条件下的部分情形能够得到最优费用,且在最坏情形下的费用为最优费用的2倍;2种策略的竞争性能比优于以往研究给出的堵塞不可恢复问题竞争比的下界。

**关键词:**交通运输;方格路网;车辆路径;在线问题;竞争分析

**中图分类号:**U492 **文献标识码:**A

## Online selection model and competitive analysis of vehicle routing in grid transportation network

SU Bing<sup>1,2</sup>, XU Yin-feng<sup>1,3</sup>, YU Shui<sup>4</sup>

(1. School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi, China; 2. School of Economics and Management, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, Shaanxi, China; 3. State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi, China; 4. School of Engineering and Information Technology, Deakin University, Melbourne 3125, Victoria, Australia)

**Abstract:** In order to analyze the vehicle routing problem under sudden road blockage in grid transportation network, a vehicle routing model was proposed by using the methods of online problem and competitive strategy, direction greedy strategy and multi-alternative moving strategy were designed, and the competitive ratios of two strategies were computed. Analysis result indicates that the cost of direction greedy strategy is 3 times than the optimal cost under sudden road blockage state, multi-alternative moving strategy has a good performance with practical restriction for different cases, the cost of multi-alternative moving strategy is 2 times than the optimal cost in the worst case, the competitive ratios of two strategies are not more than the infimum of the competitive ratio for unexpected blockage problem in general networks. 3 figs, 17 refs.

**Key words:** traffic transportation; grid transportation network; vehicle routing; online problem; competitive analysis

**Author resumes:** SU Bing (1970-), female, PhD, +86-29-82665034, subing684@sohu.com; XU Yin-feng (1962-), male, professor, +86-29-82665034, yfxu@mail.xjtu.edu.cn.

收稿日期:2008-09-09

基金项目:国家自然科学基金项目(70525004,70121001,60736027);中国博士后科学基金项目(20060401003);陕西省教育厅基金项目(06JK099)

作者简介:苏兵(1970-),女,山西大同人,西安交通大学博士后,从事运输管理研究。

导师简介:徐寅峰(1962-),男,吉林东丰人,西安交通大学教授。

# 0 引 言

随着汽车经济的发展,城市交通运输拥堵现象日益突出,因此,如何制定最优的突发性堵塞在线路径选择策略,有效降低运输费用成为决策者备为关注的热点问题。对于一个完整的运输过程而言,运输车辆在进行过程中如果遇到一系列无法预知的突发性堵塞,决策者需要针对每一个当前堵塞做出路径选择,从而需要在整个运输过程中做出一系列决策。对于这类动态特征较强的路径选择问题,传统的优化方法是将其转化为静态问题,采用各种启发式方法,包括遗传算法<sup>[1]</sup>、禁忌搜索算法<sup>[2]</sup>、模拟退火算法<sup>[3]</sup>、空间填充曲线法<sup>[4]</sup>、节约算法<sup>[5]</sup>及混合算法<sup>[6]</sup>等进行求解。这样求解的路径选择方案一旦条件发生变化,如遭遇突发性堵塞,所求出的结果就会失去最优性,甚至是无意义的,因此,必须寻求一种新的方法对这类问题进行研究。本文从在线问题与竞争策略的新角度,讨论了城市方格路网突发性堵塞路径选择问题,并设计了两种在线路径选择竞争策略,对具有限制条件网络的堵塞路径选择策略的制定进行探索,并结合实际中城市方格路网的特征对策略的执行效果进行分析,从而为运输决策者提供更贴近实际的路径选择决策依据。

# 1 文献综述

在线问题与竞争策略是近年来国际上关注的一种新方法,为解决受不确定因素影响较大的系列决策问题提供了一种新思路,尤其适用于决策者对未来的因素变化难于预测甚至一无所知的决策问题,其在变化因素的每一个特例中都能给出一个策略,使用这一策略得到的解离最优解总在一定的比例(比值)之内<sup>[7-8]</sup>。这种方法不强调决策过程对风险发生的经验分析,更注重风险应对策略的制定,从而能够做到快速应对突发事件,同时注重策略竞争性能的分析和改进,以提高策略的执行效果。近年来,在计算机理论科学与管理科学等领域,在线问题与竞争策略的研究均取得了较好的理论和实际成果,如经典的  $k$ -服务器猜想<sup>[7]</sup>、雪橇租赁问题<sup>[9]</sup>,以及目前的研究热点在线金融<sup>[10]</sup>与在线订单处理<sup>[11]</sup>问题等。

运输过程中遭遇突发性堵塞情形下的路径选择问题(加拿大旅行者问题)由 PAPADIMITRIOU 等在 1989 年提出,证明了在被堵塞路段数量不确

定的情形下该问题是 PSPACE-complete 问题,不存在常数竞争比<sup>[12]</sup>。2003 年,文献[13]提出了在线问题函数竞争比的定义,讨论了堵塞不可恢复的路径选择问题的两种竞争策略:贪婪策略和复位策略,策略相应的竞争性能比为  $2k + 1$  和  $2^{k+1} - 1$ ,并证明了对于不可恢复的路径选择问题,不存在竞争性能比小于  $2k + 1$  的策略,同时给出了贪婪策略优于复位策略的条件。文献[14-16]对可恢复堵塞路径选择问题进行了研究,给出了一般网络上的几种路径选择策略,并分析了策略的竞争性能。文献[13-16]的研究工作是针对一般网络进行的,给出的策略具有一般性,因此,有些策略的竞争性能较差。即便是堵塞不可恢复问题竞争比的下界  $2k + 1$ ,如果堵塞只出现 1 次,其竞争比为 3,即该策略下的费用至少是最优费用的 3 倍,策略的执行效果仍然不是很好。

# 2 模型和离线最优费用下界

城市路网的布局通常为方格网式、环形放射式、自由式和混合式 4 种基本类型。方格式路网是最常见的一种形式,通常是沿南北和东西方向按一定间距平行、均等地排列城市干路和支路,将城市用地划分成大小合适的矩形街坊,见图 1。

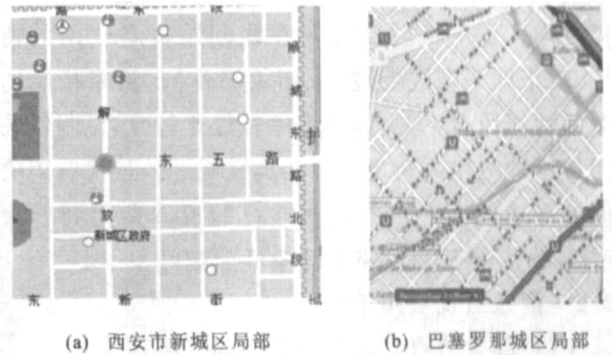


图 1 城市方格路网

Fig. 1 City grid transportation networks

## 2.1 基本定义和模型

为讨论方便,将城市方格路网抽象成一个有  $m + 1$  行、 $n + 1$  列节点的平面向方格网络  $G$ ,  $G$  中边的集合为

$$E = \{ e(v_{i,j}, v_{i,j+1}) \quad e(v_{i,j}, v_{i+1,j}) \}$$

$$i = 0, 1, \dots, m; j = 0, 1, \dots, n$$

$G$  中每条边的通过时间为 1。运输车辆需从一个节点出发抵达另一个节点,其在行进过程中可能遇到一系列的突发性堵塞,堵塞造成路段(边)中断且不可开通。研究问题是决策者应如何制定在线路径选

择策略,不同策略具有怎样的执行效果。

为了使讨论更具有实际意义,所有的讨论均基于以下假设。

(1) 网络上发生堵塞的次数不超过  $k$  次,在运输过程中遇到的堵塞序列为

$$R = (e_1, e_2, \dots, e_l, \dots, e_k)$$

(2) 堵塞均发生在路段上而不发生在节点上。

(3) 路段  $e(v_{i,j}, v_{i,j+1})$  和  $e(v_{i,j}, v_{i+1,j})$  不同时出现在堵塞序列里; 路段  $e(v_{i,j}, v_{i,j+1})$  和  $e(v_{i+1,j}, v_{i+1,j+1})$  不同时出现在堵塞序列里; 路段  $e(v_{i,j}, v_{i+1,j})$  和  $e(v_{i,j+1}, v_{i+1,j+1})$  不同时出现在堵塞序列里。

(4) 出发节点和目的节点的关联路段均不发生堵塞。

用  $C_{opt}(R)$  表示在线问题对应的离线问题从起始节点到目标节点的最优费用,即决策者预先知道堵塞路段的全部信息情形下问题的最短路径的费用(最优费用);  $C_A(R)$  表示无法预知堵塞发生时间和位置情形下在线策略  $A$  下从出发地到目的地的路径总费用。如果存在一个与堵塞发生序列无关的常数  $\alpha$ ,使得如下关系式成立

$$C_A(R) \leq \alpha C_{opt}(R)$$

则称  $\alpha$  为策略  $A$  的竞争性能比,即在线问题采用策略  $A$  的费用在与之对应的离线问题最优费用的  $\alpha$  倍之内。竞争性能比是对在线问题策略效用的衡量,对于同一在线问题,采用策略不同,策略相应的竞争性能比也不同,如果竞争性能比较大,说明所采用策略的费用同与之对应的离线问题的最优费用的偏离可能较大。对于同一假设的成本费用问题来讲,越接近于 1,策略的竞争性能越好。

## 2.2 离线最优费用下界

(1) 起始节点和目标节点在同一条直线上

令起始节点为  $v_{0,0}$ ,目标节点为  $v_{0,n}$ 。如果网络上没有堵塞发生,运输车辆的最优路径为

$$P = (v_{0,0}, v_{0,1}, \dots, v_{0,j}, \dots, v_{0,n})$$

最优费用为  $n$ 。当  $G$  中有堵塞出现时,运输车辆的最短路径应为  $G$  中去掉堵塞边后从  $v_{0,0}$  到  $v_{0,n}$  的最短路径。当堵塞边的位置均出现在  $P$  上或  $P$  的同一侧时,在  $G$  中去掉堵塞边,求得运输车辆的最优行驶路径  $P$ ,即运输车辆从  $v_{0,0}$  到  $v_{0,n}$  的最优费用为  $n+2$ 。当堵塞出现在  $P$  上及  $P$  两侧时,运输车辆从  $v_{0,0}$  到  $v_{0,n}$  的最优费用大于等于  $n+2$ ,因此,当起始节点和目标节点在同一条直线上时,  $n+2$  为离线最优费用的下界。

(2) 起始节点和目标节点不在同一条直线上

令起始节点为  $v_{0,0}$ ,目标节点为  $v_{m,n}$  ( $0 < m < n$ )。如果网络上无堵塞发生,运输车辆从出发节点  $v_{0,0}$  到目的节点  $v_{m,n}$  拥有多条最短路径,最短路径的通过时间为  $m+n$ 。如果网络上有堵塞出现,运输车辆的最优费用大于等于  $m+n$ ,因此,  $m+n$  为起始节点和目标节点不在同一条直线情形下离线最优费用的下界。

## 3 方向贪婪策略及其竞争分析

根据城市方格路网的结构特征,首先给出一种方向贪婪策略,这种策略在实际中经常被决策者使用,这里给出方向贪婪策略定义及其规则,并对策略的竞争性能进行分析。

### 3.1 方向贪婪策略

方向贪婪策略指运输车辆尽可能地沿着一个方向移动,遇到堵塞不能按照原方向移动时改变方向并尽可能地沿着新方向移动直到抵达目的地。具体规则定义如下。

令出发节点为  $v_{0,0}$ ,目标节点为  $v_{m,n}$ ,假设  $m < n$ 。

第 1 步:从  $v_{0,0}$  开始任选一个方向移动,检查每一个经过的节点  $v_{i,j}$ ,如果关联边  $e(v_{i,j}, v_{i,j+1})$  不发生堵塞,运输车辆以  $v_{i,j} \rightarrow v_{i,j+1}$  的方式移动;如果  $v_{i,j}$  的关联边  $e(v_{i,j}, v_{i,j+1})$  发生堵塞,运输车辆以  $v_{i,j} \rightarrow v_{i+1,j}$  的方式移动。

当  $v_{i,j}$  中的  $i = m$  但  $j < n$  时,如果  $v_{m,j}$  的关联边  $e(v_{m,j}, v_{m,j+1})$  不发生堵塞,运输车辆以  $v_{m,j} \rightarrow v_{m,j+1}$  的方式移动;如果  $v_{m,j}$  的关联边  $e(v_{m,j}, v_{m,j+1})$  发生堵塞,运输车辆以  $v_{m,j} \rightarrow v_{m-1,j}$  的方式移动。

当  $v_{i,j}$  中的  $j = n$  但  $i < m$  时,如果关联边  $e(v_{i,n}, v_{i+1,n})$  不发生堵塞,运输车辆以  $v_{i,n} \rightarrow v_{i+1,n}$  的方式移动;如果  $v_{i,n}$  的关联边  $e(v_{i,n}, v_{i+1,n})$  发生堵塞,运输车辆以  $v_{i,n} \rightarrow v_{i,n-1}$  的方式移动。

第 2 步:重复第 1 步,直到  $i = m, j = n$  时终止。

策略的可达性指在满足上节对问题所做的假设条件下,当  $v_{i,j}$  中  $i < m$  且  $j < n$  时,无论车辆遇到堵塞或不遇到堵塞的情形下,运输车辆按照方向贪婪策略每移动 1 次,到目标节点的距离减少 1。当  $v_{i,j}$  中的  $i = m$  但  $j < n$  时或  $v_{i,j}$  中的  $j = n$  但  $i < m$  时,会出现  $v_{i,j}$  与  $v_{m,n}$  位于同一条直线的情形,如果在  $v_{m,j}$  的关联边  $e(v_{m,j}, v_{m,j+1})$  发生堵塞,车辆会以  $v_{m,j} \rightarrow v_{m-1,j}$  的方式移动 1 次,到目标节点的距离增加 1,根据假设条件 (3),  $e(v_{m-1,j}, v_{m-1,j+1})$  不发生

堵塞,车辆可以到达  $v_{m-1,j+1}$ ,到目标节点的距离增加 1,而  $v_{m-1,j+1}$  满足  $i < m$  且  $j < n$  的条件,车辆移动 1 次,到目标节点的距离减少 1。当车辆到达  $v_{m-1,n}$  或  $v_{m,n-1}$  时,根据假设条件 (4),车辆可以到达  $v_{m,n}$ ,因此,在满足对问题所有假设的条件下,运输车辆按照方向贪婪策略可以从出发节点到达目的节点。

### 3.2 策略的竞争性能分析

**定理 1:** 在一个平面向方格网络上,方向贪婪策略的竞争性能比为 3。

证明:分以下 2 种情形进行讨论。

(1) 起始节点和目标节点在同一条直线上。令起始节点为  $v_{0,0}$ ,目标节点为  $v_{0,n}$ 。在方向策略下,如果堵塞不出现在  $P$  上,则运输车辆不会受到堵塞的影响,其移动路径为  $P$ ,即运输车辆的费用为  $n$ 。当堵塞均发生在  $P$  上及  $P$  的同一侧时,在最坏情形下,运输车辆需要以  $v_{0,j} \rightarrow v_{1,j}$  或  $v_{1,j} \rightarrow v_{0,j}$  的方式走过  $2k$  条边,运输车辆的行驶路径见图 2(a) 中的  $P_M$ ,则运输车辆从  $v_{0,0}$  到  $v_{0,n}$  的总费用为  $n + 2k$ 。方向贪婪策略费用与最优费用的比值为

$$\frac{n+2k}{n+2} = 1 + \frac{2(k-1)}{n+2}$$

当  $k$  的值较小而  $n$  较大时,  $\frac{n+2k}{n+2} \rightarrow 1$ ,当  $k \rightarrow n$  时,

$\frac{n+2k}{n+2} \rightarrow 3$ ,因此,策略的竞争性能比为 3。

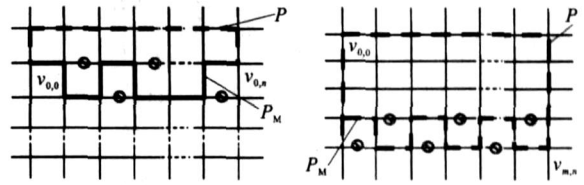
(2) 起始节点和目标节点不在同一条直线上。在方向贪婪策略下,如果运输车辆选择  $v_{0,0} \rightarrow v_{m,0}$  的方向移动,且一直没有遇到堵塞,当车辆到达  $v_{m,0}$  时,  $v_{m,0}$  与  $v_{m,n}$  位于同一条直线,如果  $v_{m,0}$  的关联边  $e(v_{m,0}, v_{m,1})$  出现堵塞,车辆需以  $v_{m,0} \rightarrow v_{m-1,0}$  的方式移动。在最坏情形下,运输车辆需要以  $v_{m,j} \rightarrow v_{m-1,j}$  或  $v_{m-1,j} \rightarrow v_{m,j}$  的方式走过  $2k$  条边,运输车辆的行驶路径见图 2(b) 中的  $P_M$ ,则运输车辆从  $v_{0,0}$  到  $v_{m,n}$  的总费用为  $m + 2k$ ,因此,方向贪婪策略下的费用与最优费用的比值为  $\frac{m+2k}{m+n}$ 。当  $k \rightarrow n$  且  $m$  的值较小时,

$\frac{m+2k}{m+n} \rightarrow 2$ ;当  $k \rightarrow n$  且  $m \rightarrow n$  时,  $\frac{m+2k}{m+n} \rightarrow 1.5$ ,因此,策略的竞争性能比为 2。

综合 (1)、(2) 可得,方向贪婪策略的竞争比为 3,证毕。

## 4 多选择移动策略及其竞争分析

方格网络具有特殊的结构特性,因此,应针对这



(a) 起始节点和目标节点在同一条直线上 (b) 起始节点和目标节点不在同一条直线上

图 2 方向贪婪策略竞争分析

Fig. 2 Competitive analysis for direction greedy strategy

种特性,制定比方向贪婪策略更为有效的策略。通过对方格网络的结构进行分析可以得到,如果起始节点和目标节点不在同一条直线上,则这两点间拥有多条最短路径,如  $v_{i,j}$  和  $v_{m,n}$  两点间拥有的最短路径个数为  $\frac{(m-i+n-j)!}{(m-i)!(n-j)!}$ 。令  $N(i,j)$  表示从  $v_{i,j}$  到  $v_{m,n}$  的最短路径数量,因  $N(i,j+1) > N(i+1,j)$ ,则  $v_{i,j+1}$  到  $v_{m,n}$  的最短路径数量大于  $v_{i+1,j}$  到  $v_{m,n}$  的最短路径数量,具体证明见文献[17]。根据这个性质,可以设计一种在突发性堵塞发生情形下,让在线决策者拥有更多的路径选择方案,从而有效地对抗堵塞,在此给出一种多选择移动策略并分析这种策略的执行效果。

### 4.1 多选择移动策略

多选择移动策略指运输车辆尽可能多地经过具有  $m-i=n-j$  的节点  $v_{i,j}$  直至到达目的地。

具体规则定义如下。

令出发节点为  $v_{0,0}$ ,目标节点为  $v_{m,n}$ ,假设  $m \geq n$ 。

第 1 步:从  $v_{0,0}$  开始依次检查每一个经过的节点  $v_{i,j}$ ,如果  $m-i < n-j$  且  $v_{i,j}$  的关联边  $e(v_{i,j}, v_{i,j+1})$  不发生堵塞,运输车辆以  $v_{i,j} \rightarrow v_{i,j+1}$  的方式移动;如果  $v_{i,j}$  的关联边  $e(v_{i,j}, v_{i,j+1})$  发生堵塞,运输车辆以  $v_{i,j} \rightarrow v_{i+1,j}$  的方式移动。

如果  $m-i > n-j$  且  $v_{i,j}$  的关联边  $e(v_{i,j}, v_{i+1,j})$  不发生堵塞,运输车辆以  $v_{i,j} \rightarrow v_{i+1,j}$  的方式移动;如果  $v_{i,j}$  的关联边  $e(v_{i,j}, v_{i+1,j})$  发生堵塞,运输车辆以  $v_{i,j} \rightarrow v_{i,j+1}$  的方式移动。

如果  $m-i = n-j$ ,运输车辆以  $v_{i,j} \rightarrow v_{i+1,j}$  或  $v_{i,j} \rightarrow v_{i,j+1}$  的方式移动。

第 2 步:重复第 1 步,直到  $i = m, j = n$  时终止。

在满足对问题所有假设的条件下,运输车辆按照多选择移动策略可以从出发节点到达目标节点,具体分析与方向贪婪策略相近。

### 4.2 策略的竞争性能分析

**定理 2:** 在一个平面方格网络上,当运输车辆能

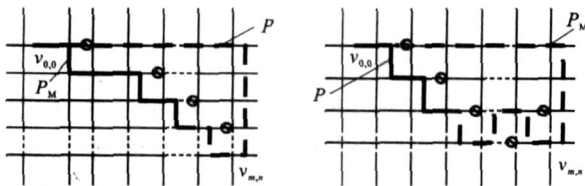
够到达  $v_{i,j}$  且  $m - i = n - j$  时,多选择移动策略的竞争比为 1;当运输车辆不能到达  $v_{i,j}$  且  $m - i = n - j$  时,多选择移动策略的竞争比为 2。证明:分以下 2 种情形进行讨论。

(1) 起始节点和目标节点在同一条直线上。运输车辆从  $v_{0,0}$  欲抵达  $v_{0,n}$ , 则只有  $v_{0,n-1}$  是满足  $v_{i,j}$  且  $m - i = n - j$  的节点, 则策略的竞争性能比与定理 1 在情形(1)下对方向贪婪策略竞争性能比的证明类似, 这里不再赘述。

(2) 起始节点和目标节点不在同一条直线上。在多选择移动策略下, 运输车辆的行驶路径可能出现 2 种情形。

一种情形为车辆能够到达点  $v_{i,j}$  且  $m - i = n - j$ , 在这种情形下, 运输车辆从  $v_{0,0}$  到  $v_{m,n}$  的总费用为  $m + n$ , 其为问题的最优解。具体如下: 假设车辆到达了  $v_{m-1,n-1}$ , 根据假设(4), 出发节点和目的节点的关联路段均不发生堵塞, 车辆一定能够到达  $v_{m,n}$ ; 如果车辆到达了  $v_{m-2,n-2}$  且  $e(v_{m-2,n-2}, v_{m-1,n-1})$  发生了堵塞, 车辆可向  $v_{m-2,n-1}$  移动, 根据假设(3),  $e(v_{m-2,n-1}, v_{m-1,n-1})$  不发生堵塞, 所以车辆可以到达  $v_{m-1,n-1}$ , 如前所述, 车辆可以到达  $v_{m,n}$ ; 依此类推, 如果车辆能够到达  $v_{i,j}$  且  $m - i = n - j$ , 运输车辆从  $v_{0,0}$  到  $v_{m,n}$  的总费用为  $m + n$ , 并形成图 3(a) 中  $P_M$  的行走路径, 因此, 在多选择移动策略下, 如果车辆能够到达  $v_{i,j}$  且  $m - i = n - j$ , 策略下的费用与最优费用的比值为 1, 即策略的竞争性能比为 1。

另一种情形为, 如果运输车辆在通过出发点  $v_{0,0}$  的关联边后, 就开始遇到堵塞边, 而且堵塞边出现的次数频繁, 运输车辆每走过一条边就遇到 1 次堵塞, 运输车辆会形成图 3(b) 中  $P_M$  的行走路径。在这种情形下, 运输车辆不能到达  $v_{i,j}$  且  $m - i = n - j$ , 而是到达  $v_{m,j}$  且  $j < n$  或  $v_{i,n}$  且  $i < m$ , 即会出现出发节点和目的节点位于同一条直线的情形。以车辆到达  $v_{m,j}$  为例, 在最坏情形下, 从  $v_{0,0}$  抵达  $v_{m,j}$  的过程中, 运输车辆遇到的堵塞次数为  $m$  次, 即  $v_{m,j}$  中



(a)  $v_{i,j}(m-i=n-j)$ 可达示意 (b)  $v_{i,j}(m-i=n-j)$ 不可达示意

图 3 多选择移动策略竞争分析

Fig. 3 Competitive analysis for multi-alternative moving strategy

的  $j = m$ ; 在从  $v_{m,j}$  抵达  $v_{m,n}$  的过程中, 运输车辆在多选择移动策略下的费用比无堵塞出现时所需费用增加了  $n - m$ , 使得运输车辆从  $v_{0,0}$  到  $v_{m,n}$  的总费用为  $2n$ , 因此, 当运输车辆不能到达  $v_{i,j}$  且  $m - i = n - j$  时, 多选择移动策略下的费用与最优费用的比值为  $\frac{2n}{m+n}$ , 当  $m = n$  时,  $\frac{2n}{m+n}$  的值趋近于 1, 当  $m$  的值较小时,  $\frac{2n}{m+n}$  的值接近于 2, 即多选择移动策略的竞争性能比为 2, 证毕。

通过对道路系列突发性堵塞 2 种应对策略的执行效果分析可知, 多选择移动策略的执行效果优于方向贪婪策略。因为多选择移动策略的目的在于使运输车辆尽可能到达  $v_{i,j}$  且  $m - i = n - j$ , 从而达到问题的最优解, 并尽可能避免出现出发节点和目的节点位于同一条直线的情形, 从而具有更多可供选择的路径策略; 而方向贪婪策略易于出现出发节点和目的节点位于同一条直线的情形, 较难实现最优解。

### 5 结 语

在线问题与竞争策略的方法为道路系列突发性堵塞的路径选择问题提供了一种新的研究思路。以往的相关研究中的竞争策略是基于一般网络给出的, 缺乏与实际城市路网的结合, 策略的执行效果较差。本文以城市路网的典型结构——方格网络为基础, 从在线问题与竞争策略的角度对具有限制条件网络的突发性堵塞路径选择策略进行了研究, 设计了 2 种在线路径选择策略: 方向贪婪策略和多选择移动策略, 并对策略的竞争性能进行了分析。研究结果表明, 方向贪婪策略的竞争性能比为 3, 多选择移动策略的竞争性能优于方向贪婪策略的竞争性能, 在一些情形下, 该策略的竞争性能比为 1, 即能够达到问题的最优解; 在最坏情形下, 该策略的竞争性能比为 2, 因此, 多选择移动策略的执行效果优于方向贪婪策略。实际中的城市方格路网(非标准方格)与本文的假设存在差异, 但其特征与方格网络近似, 对竞争比分析的影响不大, 因此, 本文的研究结果有较强的适用性。如何对方格网络的假设进行修正使其更加接近现实, 从而制定更为有效的竞争策略, 是本文进一步努力的方向。

### 参 考 文 献 :

### References :

[1] 贺竹馨, 孙林岩. 动态交通下车辆路径选择模型及算法[J].

- 交通运输工程学报,2007,7(1):111-115.  
HE Zhu-qing, SUN Lin-yan. Model and algorithm of vehicle routing problem under dynamic traffic[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1): 111-115. (in Chinese)
- [2] THANGIAH S R, OSMAM I H, SUN T. Hybrid genetic algorithm simulated annealing and tabu search methods for vehicle routing problem with time windows [R]. Slippery Rock: Slippery Rock University, 1994.
- [3] 张波,叶家玮,胡郁葱. 模拟退火算法在路径优化问题中的应用[J]. 中国公路学报,2004,17(1):79-81.  
ZHANG Bo, YE Jia-wei, HU Yu-cong. Application of optimizing the path by simulated annealing[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(1): 79-81. (in Chinese)
- [4] 胡大伟,胡勇,朱志强. 基于空间填充曲线和动态规划解的定位路线问题[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(3):80-83.  
HU Da-wei, HU Yong, ZHU Zhi-qiang. Solving location routing problem based on space filling curve and dynamic programming [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(3): 80-83. (in Chinese)
- [5] 李兵,郑四发,曹剑东,等. 求解客户需求动态变化的车辆路径规划方法[J]. 交通运输工程学报,2007,7(1):106-110.  
LI Bing, ZHENG Si-fa, CAO Jian-dong, et al. Method of solving vehicle routing problem with customers' dynamic requests [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1): 106-110. (in Chinese)
- [6] 杨瑞臣,周永付,云庆夏. 寻找车辆最优路径的混合算法[J]. 交通运输工程学报,2005,5(1):102-105.  
YANG Rui-chen, ZHOU Yong-fu, YUN Qing-xia. Hybrid algorithm for vehicle's optimal route[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(1): 102-105. (in Chinese)
- [7] MANASSE M S, MCGEOCH L A, SLEATOR D D. Competitive algorithms for server problems[J]. Journal of Algorithms, 1990, 11: 208-230.
- [8] DAVID S B, BORODIN A. A new measure for the study of the on-line algorithm[J]. Algorithmica, 1994, 11: 73-91.
- [9] EI YANIV R, KNAIEL R, LINEAL N. Competitive optimal on-line leasing[J]. Algorithmica, 1999, 25: 116-140.
- [10] EI YANIV R, FIAT A, KARP R M, et al. Optimal search and one-way trading online algorithm [J]. Algorithmica, 2001, 30: 101-139.
- [11] KESKINOCAK P, RAVI R, TAYUR S. Scheduling and reliable lead-time quotation for orders with availability intervals and lead-time sensitive revenues[J]. Management Science, 2001, 47(2): 264-279.
- [12] PAPANITRIOU C H, YANNAKAKIS M. Shortest paths without a map [J]. Lecture Notes in Computer Science, 1989, 372: 610-620.
- [13] XU Yin-feng, HU Mao-lin, SU Bing, et al. The Canadian traveller problem and its competitive analysis[J]. Journal of Combinatorial Optimization, 2008, 15(3): 223-227
- [14] SU Bing, XU Yin-feng, ZHU Zhi-jun. Online recoverable Canadian traveler problem on a road[J]. Information, 2004, 7(4): 477-486.
- [15] 苏兵,徐寅峰. 连续网络上的占线可恢复加拿大旅行者问题[J]. 系统工程,2004,22(8):10-13.  
SU Bing, XU Yin-feng. Online recoverable Canadian traveler problem on a continuous network[J]. Systems Engineering, 2004, 22(8): 10-13. (in Chinese)
- [16] 苏兵,徐寅峰. 堵塞恢复时间随机的在线加拿大旅行者问题[J]. 系统工程理论与实践,2005,25(10):108-113.  
SU Bing, XU Yin-feng. Online Canadian traveler problem with stochastic blockages recovery time [J]. Systems Engineering-theory and Practice, 2005, 25(10): 108-113. (in Chinese)
- [17] 苏兵,徐寅峰. 居住和单位小区对方格网络交通便捷度的影响分析[J]. 系统工程,2006,24(12):33-39.  
SU Bing, XU Yin-feng. Influence analysis of square block for transportation convenience capability on grid network[J]. System Engineering, 2006, 24(12): 33-39. (in Chinese)