

# 基于新型路网模型的路径寻优方法研究

曹政才<sup>1,2</sup>, 韩丁富<sup>1</sup>, 乔 非<sup>3</sup>

(1.北京化工大学信息科学与技术学院,北京 100029;  
2.南京大学计算机软件新技术国家重点实验室,江苏南京 210093;  
3.同济大学 CIMS 研究中心,上海 200092)

**摘 要:** 针对传统路网模型描述交通信息节点多、数据冗余及结构稳定性差的问题,本文从实际交通路网本身的特点和人类对路网的认识出发,构建以“道路”为基本元素的路网模型.该模型详细描述道路的空间属性和交通属性,并利用道路间的相交关系描述交通路网.在尝试减少模型数据量、简化模型结构的基础上,采用改进 A\* 算法进行路径搜索.实例表明,所提出的模型及路径搜索算法可以满足实际应用的需要,并且在存储开销和搜索算法效率上具有一定的优势.

**关键词:** 智能交通系统; 路网模型; 改进 A\* 搜索算法

**中图分类号:** TP302.7      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2012) 04-0756-06

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>      **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.04.022

## Research on Path Optimization Method Based on Novel Road Network

CAO Zheng-cai<sup>1,2</sup>, HAN Ding-fu<sup>1</sup>, QIAO Fei<sup>3</sup>

(1. College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;  
2. State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China;  
3. CIMS Research Center, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** To solve the problems of the multiple nodes, redundant data and unstable structure in traditional road-network models, a road-based model based on traffic network features and human's understanding of the road network, is constructed in this paper. In this model, the traffic and spatial attributes of the roads are expressed in detail, and traffic network is described by road intersection relationship. On the basis of lessening data and simplifying model structure, an improved A\* algorithm is proposed. The results of the simulation experiment show that the proposed model and corresponding optimal path searching algorithm meet the needs of practical applications, besides, certain advantages can be found in storage cost of the model and search efficiency of the algorithm.

**Key words:** intelligent transportation system; road-based model; improved A\* algorithm

## 1 引言

随着城市化的加速发展,其交通问题也显得越来越突出,智能交通系统是解决这些问题的的重要途径<sup>[1,2]</sup>.路网模型是智能交通系统的基础,好的路网模型不仅能够对现实世界中路网的客观抽象,并能真实的反映路网内部结构及关系,同时便于在此模型上进行最优路径分析.

目前,国内外研究者在该领域内取得大量的研究成果.文献[3]采用一种超点模型,解决图模型中转弯限制和数据冗余问题;Demir等<sup>[4]</sup>构建一种聚类超图模型,并

通过把基于节点的数据存储方式转化为基于路段的数据存储方式,减少路网数据的存储量;李金名等<sup>[5]</sup>提出配送路线规划道路网建模影响因子,建立面向第三方物流配送的路网模型,该模型能够为配送规划系统提供数据支持,提高数据的有效性;文献[6]提出一种非均衡启发式双向 A\* 算法,该算法能够减少搜索空间,有利于提高算法搜索效率;刘立嘉等<sup>[7]</sup>提出一种双向最优半序网结构,通过双向搜索构建双向最优半序网,可快速获得指定两点间所有满足最优条件的路径;文献[8]提出最短路稳定性的概念,对最短路长度稳定、最优解稳定与稳定分支的命题给予理论证明,在此基础上,为解决实

际路网中路段弧权值变化的问题,给出一种新的变权网络最短路算法,利用权发生变化前的信息来减少计算量,提高计算效率。

对交通路网这样的复杂系统,使用任何模型工具都难以完善地描述实际路网上的各种信息,应用任何路径搜索算法都会遇到搜索速度慢、效率低的问题。本文根据人类对路网的认识,以道路为基本元素,利用道路间的关系以及路网上的交通信息,从路网信息与交通信息表示方法和路径搜索效率方面入手,建立满足实际道路需求的路网模型及快速路径搜索算法,并在实际应用中证明其实用性。

## 2 Road-Based Model(RBM)

RBM 的建模思想是以道路作为建模的基本元素,把大量路段上的交通信息保存在道路上,减少数据存储冗余,提高网络查询效率<sup>[9]</sup>。

图 1 为 RBM 框架结构。由图看出,RBM 是路网信息和交通信息的结合,既保留路网连通性,又加入丰富的交通信息,它把交通路网中的实体按照层次关系抽象为逐层递阶的模型对象,使模型直接与客观实体相对应并准确地描述整个复杂的交通系统。

根据 RBM 的建模思想,把 RBM 表述为<sup>[9,10]</sup>:

$$\begin{cases} R_m = (R, I) \\ R = \{r | r \in Route\} \\ I = \{i | i \in J\} \end{cases} \quad (1)$$

式中  $R_m$  表示道路网络; $R$  为路网中道路组成的集合,其元素为每条道路信息的集合; $I$  为道路关系组成的集合,其元素为两条道路关系信息的集合。

### 定义 1 道路路径

$$Route = (road\_id, road\_info, road\_i, road\_segment)$$

其中:

$road\_id$ : 每个道路元素的唯一标识号;

$road\_info$ : 道路的基本属性信息集合,包括道路名称、道路长度、道路等级、道路通行能力、道路中的收费站信息、加油站信息和服务区信息等;

$road\_i$ : 存储该道路与其他道路发生关系的顺序

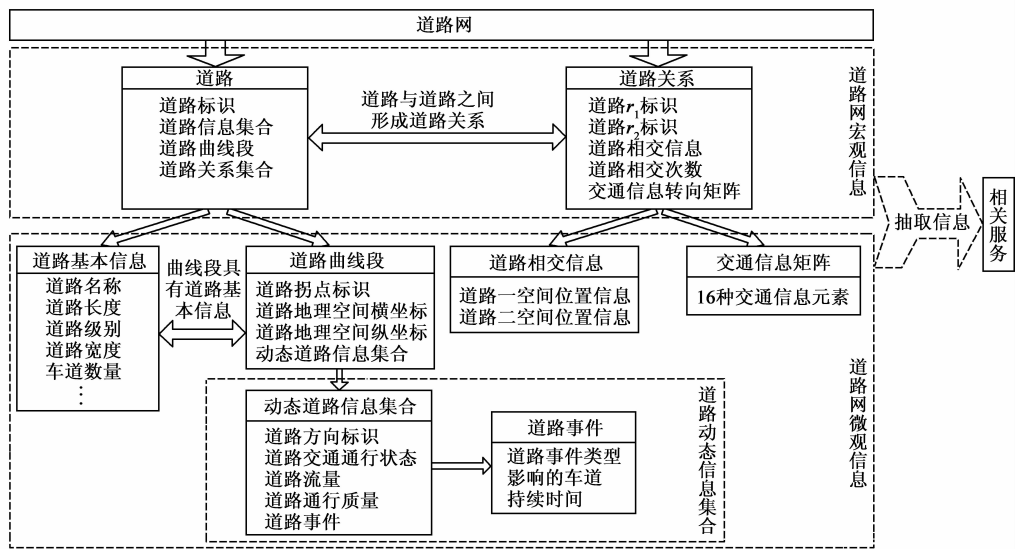


图1 RBM路网模型结构图

和位置;

$road\_segment$ : 道路的曲线段集合,与道路的关系为  $road\_segment \subset Route$ ,其构成如下:

$$road\_segment = (n\_id, n\_x, n\_y, dyn\_info)$$

其中:

$n\_id$ : 拐点标识;

$n\_x$  和  $n\_y$ : 拐点的地理坐标;

$dyn\_info$ : 路段上的动态信息集合,由一个五元组组成:

$$dyn\_info = (direction, type, v, quality, event)$$

其中:

(1)  $direction$ : 道路方向标识,表示正向或逆向;

(2)  $type$ : 道路交通通行状态,可用一个拥堵系数表示,范围为 $[0, 1]$ ,共有5种状态:0表示畅通无阻、1表示严重堵塞以致道路关闭、 $(0, 0.3]$ 表示较畅通、 $(0.3, 0.7)$ 表示拥堵和 $[0.7, 1)$ 表示较拥堵;

(3)  $v$ : 道路流量;

(4)  $quality$ : 道路通行质量(如能见度、道路湿滑程度等);

(5)  $event$ : 道路事件标号,包含三个信息:

$$event = (event\_type, lane, time)$$

其中:

①  $event\_type$ : 事件类型,如交通事故或计划的交通活动等;

②  $lane$ : 事件影响到的车道;

③  $time$ : 事件所持续的时间。

根据道路交汇路口的位置关系,可以把路口形态分为丁字、十字、三岔、环绕与星形五大类别。RBM 中道路关系指的就是两条道路的交汇口处,根据实际交通

路口处的特点,道路关系定义如下:

### 定义 2 道路关系

$$J = (r_1, r_2, i\_id, n\_nd, cr)$$

其中:

$r_1$  和  $r_2$ : 两条道路发生关系的标识号;

$i\_id$ : 两条道路发生道路关系的次数;

$n\_nd$ :  $r_1$  和  $r_2$  发生道路关系处的位置信息集合;

$cr$ : 两条道路相交处的交通信息(最多包含 16 种交通信息),用约束矩阵表示:

$$cr = \begin{matrix} & r_1 \text{ 正} & r_1 \text{ 逆} & r_2 \text{ 正} & r_2 \text{ 逆} \\ \begin{matrix} r_1 \text{ 正} \\ r_1 \text{ 逆} \\ r_2 \text{ 正} \\ r_2 \text{ 逆} \end{matrix} & \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$C_{ij}$  表示各种通行信息(直行、转向、掉头)的加权代价值,如矩阵第一行分别表示从  $r_1$  正向通过该路口、掉头、右转和左转所花的代价; $C_{ij}$  也可以描述相应的通行是否被禁止,如  $C_{14} = 0$  表示从  $r_1$  道路左转到  $r_2$  道路是不允许的。

## 3 路径搜索算法

路径搜索是利用有限的计算机资源,根据初始条件和扩展规则,在网络中寻找能够同时满足多个约束条件的路径。 $A^*$  算法是一种启发式搜索方法,在搜索中加入与问题有关的启发性信息,指导搜索朝最有希望的方向进行,具有搜索速度快、效率高的特点,在实际中具有广泛应用价值。

### 3.1 $A^*$ 算法不足之处

$A^*$  算法常用当前节点与目标点的欧氏距离作为其启发信息,其节点指的是一个抽象点,但 RBM 中的道路节点不再是传统意义上的节点,而是具有一定的长度,直接在 RBM 中采用  $A^*$  算法进行路径搜索就存在不足,即当算法搜索到同一道路节点时,处在不同换路口,启发信息估价值不一样。

### 3.2 基于改进 $A^*$ 算法的路径搜索

在同一道路节点的不同换路口处,因  $A^*$  算法启发信息的估价值没有可比性,需要改进启发信息估价值的计算方法,具体为:对道路节点实施更新时,考虑该道路不同换路口之间的各种代价。则改进后的  $A^*$  算法从当前节点考察下一个节点的估价函数为

$$\begin{cases} f(n) = g(n) + h'(n) \\ h'(n) = h(n) + L \end{cases} \quad (2)$$

其中  $f(n)$  是节点  $n$  的总估价; $g(n)$  是从初始节点到  $n$  节点的实际代价; $h'(n)$  为改进后的启发信息估价值; $h(n)$  是从  $n$  到目标节点最佳路径的估计代价; $L$  表示

同一道路不同换路口之间的距离所引起的各种代价加权之和。

结合 RBM,定义初始道路节点  $R_{ini}$ ;第  $i$  步最佳道路节点  $R_{best\_i}$ ,后继道路节点  $R_{suc\_i}$ ;目的道路节点  $R_{end}$ 。则改进  $A^*$  算法中  $g(n)$  和  $h'(n)$  的计算过程如下:

(1) 实际代价

$$g(n) = \sum_{k=1}^n \omega_k P_k \quad (3)$$

$P_k$  表示从出发道路节点  $R_{ini}$  到后继道路节点  $R_{suc\_i}$  的各种代价(如距离代价、转弯代价或换路代价、拥挤代价、车辆制动损失代价和十字路口红绿灯代价等), $\omega_k$  表示各种代价的加权。

(2) 关于  $h'(n)$  的计算,分两种情况:

(a) 如果后继节点  $R_{suc\_i}$  已被考察过,那么

$$h'(n) = h_{old}(n) + L \quad (4)$$

$h_{old}(n)$  为先前考察时后继道路节点  $R_{suc\_i}$  的估计代价, $L$  为后继道路节点  $R_{suc\_i}$  上不同换路口之间的距离所引起的各种代价加权之和;

(b) 如果后继节点  $R_{suc\_i}$  未被考察过,则

$$\begin{cases} h'(n) = h_{new}(n) + L \\ L = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$h_{new}(n)$  为后继节点  $R_{suc\_i}$  到目的道路节点  $R_{end}$  的估价值。

为方便分析改进  $A^*$  算法路径寻优过程,创建 openlist 和 closelist 两个表,openlist 表示生成待考察的道路节点,closelist 表示已访问过的道路节点,基于改进  $A^*$  算法最优路径搜索步骤如下:

**步骤 1** 初始化道路节点,生成一个 openlist 和 closelist 表,并把起点道路节点加入 openlist 表。

**步骤 2** 如果 openlist 表为空,则两条道路之间没有可达路径,搜索失败;否则进行步骤 3。

**步骤 3** 遍历 openlist 表,查找估价值最小的道路节点,将其移入 closelist 表并把它作为当前考察道路节点。

**步骤 4** 判断当前考察道路点是否为目标道路节点,若是,转步骤 8;否则,查询与其可以换路的道路节点。

**步骤 5** 对每一个可以换路的道路节点,计算实际代价  $g(n)$  和估计代价  $h'(n)$ ;  $g(n)$  根据式(3)计算得到, $h'(n)$  根据式(4)或式(5)计算得到,然后按式(2)得到道路节点的总估价值  $f(n)$ 。

**步骤 6** 更新,分三种情况:

(1) 如果该道路在 openlist 中,且该道路的总估价值小于 openlist 中的道路估价值,则更新 openlist;

(2) 如果该道路在 closelist 表中,且该道路的估计值

小于 closelist 表中的估价值,则更新 closelist 表;

(3)如果该道路节点既不在 openlist 表中也不在 closelist 表中,则把该道路节点放入 openlist 表中.

步骤 7 转到步骤 2.

步骤 8 从 closelist 表中回溯得到路径.

改进 A\* 算法的路径搜索过程如图 2 所示.

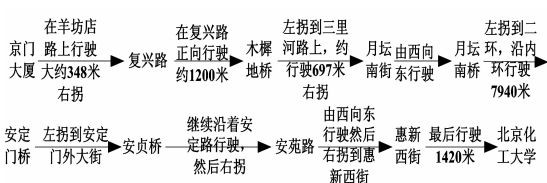
### 4 实例验证

采用北京市五环以内的交通路网作为搜索实例,该区域是北京交通最容易出现拥堵的地区,具有涵盖道路多、交叉路口复杂和红绿灯数量多等特点.为使道路搜索具有实际意义,所选取的两地之间应具有多条可达路径.本文选取该区域的主干街道来建立交通路网模型,该路网模型含有道路数量 312 条,道路路段数量 2018 个.

实验平台:机器主频 2.93GHz,内存 2.00GB,采用 Access 数据库存放路网交通信息数据,利用 MapInfo 构建路网空间模型,使用 VB 语言编写路径搜索算法.

实例 1 从京门大厦到北京化工大学西门(搜索指标指行程距离最短):

(1)未改进 A\* 算法行程(图 3(a))为:



(2)改进后的 A\* 算法行程(图 3(b))为:

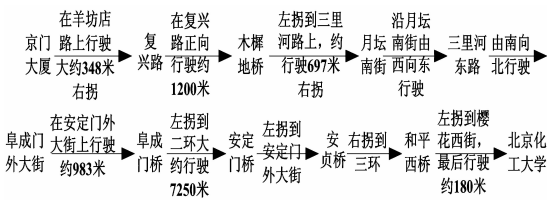


图 3 给出改进 A\* 算法和未改进 A\* 算法的路径搜索比较.由图明显看出,直接经过三环换路到北京化工大学的距离比通过安苑路换路到北京化工大学的距离短.图 4 显示另外 10 组搜索实例道路长度的对比.

改进 A\* 算法为驾驶员提供最优的行车路线,同传统的 Dijkstra 算法效率相比,在搜索效率方面也具有较大优势.针对不同的 OD (Origin-Destination) 对,表 1 进行改进 A\* 算法与 Dijkstra 算法搜索时间和遍历道路节点数目的比较.

搜索算法可以求解得到两点之间的最短路径,但是解中可能会包含处于拥堵状态或不可通行状态的路

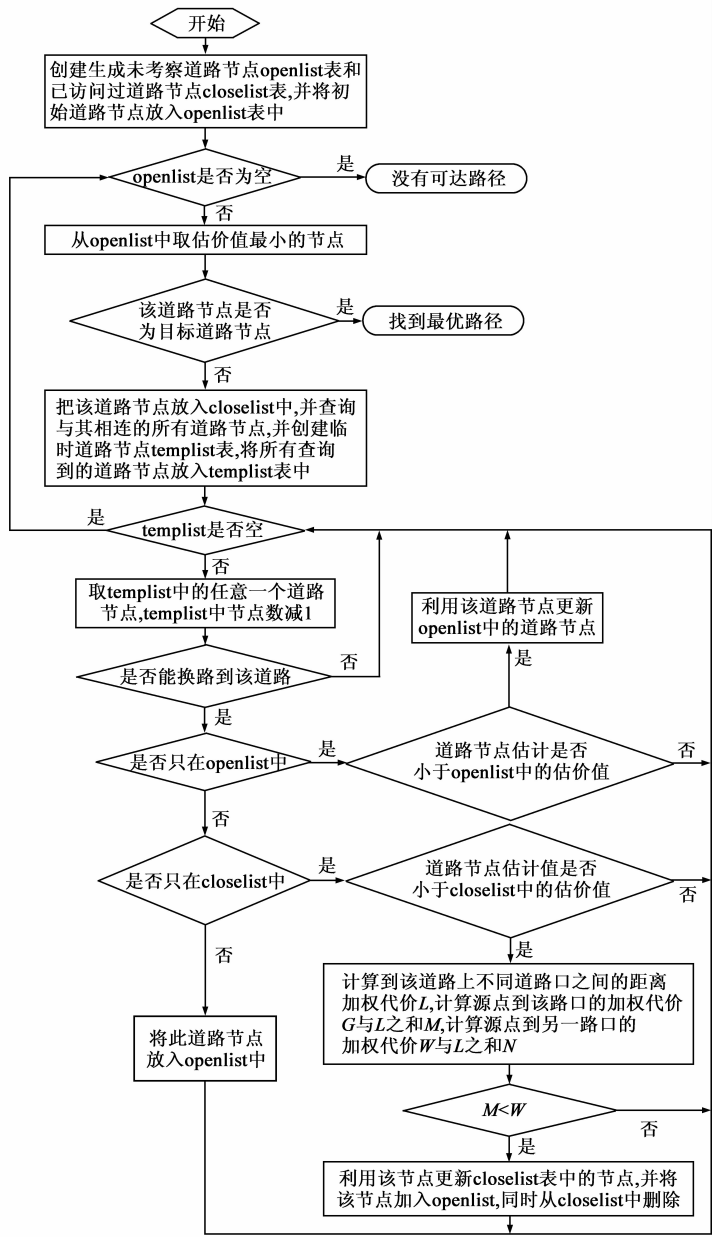


图 2 改进 A\* 算法流程图

段,人们出行时并不希望走到这种状态的路段.为说明动态交通信息对最优路径搜索所带来的影响,进行实例搜索 2 验证.

实例 2 从京伦饭店到中关村 E 世界(搜索指标是行程时间最短),其结果如图 5.

不考虑拥堵信息时,其路线如图 5(a)所示;当 AB 路段出现拥堵时(假如拥堵系数为  $\alpha = 0.9$ ,即路网模型中所描述的 type),实际最优路线如图 5(b);针对不同的拥堵系数  $\alpha$ ,其行程时间对比如表 2,从表中看出,道路拥堵越严重,行程时间会随之增加,这将影响人们的择路行为.

由以上实例可以看出,通过结合 RBM 在描述路网

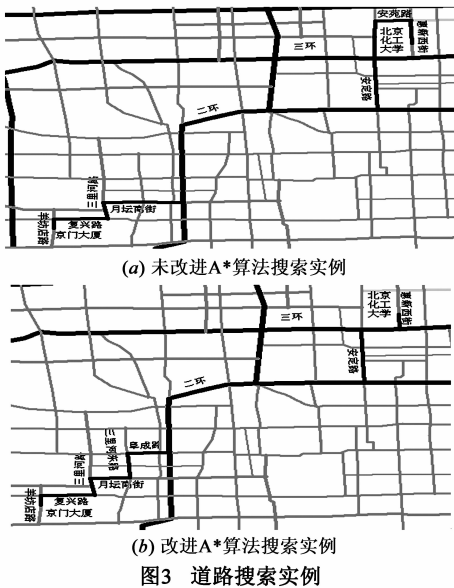


图3 道路搜索实例

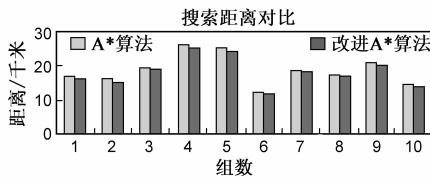


图4 搜索道路长度对比

种考虑路阻加权代价的改进A\*算法.以实际路网为数据原型进行搜索实例验证,结果显示路网模型和路径搜索算法具有重要实践意义,该研究成果能为路网调度指挥中心的控制工作提供理论支撑.

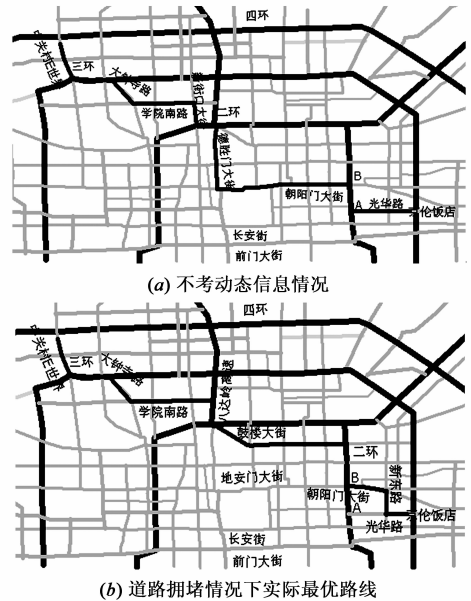


图5 道路搜索实例

方面的优势,利用改进A\*算法进行路径寻优将会提高智能交通系统的整体性能.

表1 搜索时间和遍历节点数比较

序号	起点	终点	算法	遍历节点数/个	搜索时间/s
1	京棉集团总医院	北京动物园	Dijkstra	967	10.01
			改进A*	594	5.42
2	京朝大厦	玉渊潭公园	Dijkstra	1612	15.02
			改进A*	442	3.569
3	金三峡大酒楼	航天科技大厦	Dijkstra	1086	11.61
			改进A*	393	3.22
4	有色金属研究总院	天安门东站	Dijkstra	550	5.232
			改进A*	248	1.85
5	四惠站	北京大学	Dijkstra	1816	17.642
			改进A*	1079	9.73

表2 搜索行程时间比较

假定车速 30km/h	不考虑动态信息 ( $\alpha = 0$ )	道路轻微拥堵 ( $\alpha = 0.2$ )	道路中等拥堵 ( $\alpha = 0.5$ )	道路较拥堵 ( $\alpha = 0.8$ )	道路拥堵情况严重或交通管制 ( $\alpha = 1$ )
路线行程时间 (min)	33.98	40.11	52.79	69.60	无穷大

### 5 结论

从人们对道路的直观理解出发,以道路为基本元素,建立用于描述实际道路特征和交通信息的路网模型;在此基础上,为解决路网中路径寻优问题,设计一

### 参考文献

- [1] 李杰,张文栋,张樾.一种多边形道路网络拓扑生成算法的设计与实现[J].电子学报,2006,4(8):1396-1400.  
Li Jie, Zhang Wen-dong, Zhang Xi. Design and Implementation of an Algorithm Creating the Topology of the Polygon Road Net[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(8): 1396-1400. (in Chinese)
- [2] 欧海涛,张卫东,张文渊,等.基于多智能体技术的城市智能交通控制系统[J].电子学报,2000,28(12):52-55.  
Ou Hai-tao, Zhang Wei-dong, Zhang Wen-yuan, et al. Urban Intelligent Traffic Control System Based on Multi-agent Technology[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(12): 52-55. (in Chinese)
- [3] J Feng, Y L Zhu, N M Kai. Search on transportation network for location-based service[A]. Proceedings of In-novations in Applied Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence[C]. Springer, Italia, 2005. 657-666.
- [4] E Demir, C Aykanat, B B Cambazoglu. A link-based storage scheme for efficient aggregate query processing on clustered road networks[J]. Information Systems, 2010, 35(1): 75-93.
- [5] 李金名,倪炎榕,郑宇,等.面向第三方物流配送的道路网建模及应用[J].计算机集成制造系统,2009,15(9):1765-1769.  
Li Jin-ming, Ni Yan-rong, Zheng Yu, et al. Road network modeling and application oriented to third-party logistics distribution

- [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(9): 1765 – 1769. (in Chinese)
- [6] P Wim, P Henk. A new bidirectional search algorithm with shortened postprocessing[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 198(2): 363 – 369.
- [7] 刘立嘉, 盛业华, 路明月, 等. 双向半序网在两点间最优路径算法中的应用[J]. 计算机工程, 2008, 34(7): 73 – 75.  
Liu Li-jia, Sheng Ye-hua, Lu Ming-yue, et al. Application of bidirectional semioorder net in best path of two nodes[J]. Computer Engineering, 2008, 34(7): 73 – 75. (in Chinese)
- [8] 林澜, 闫春钢, 辛肖刚, 等. 基于稳定分支的变权网络最优路径算法[J]. 电子学报, 2006, 34(7): 1222 – 1225.  
Lin Lan, Yan Chun-gang, Xin Xiao-gang, et al. Optimal path algorithm in varying-weight networks based on stable branch [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(7): 1222 – 1225. (in Chinese)
- [9] 葛雷. 新型路网模型及路径搜索算法研究[D]. 上海: 同济大学工学硕士学位论文, 2008, 3.

Ge Lei. Research on a novel road network model and its optimal path searching algorithm[D]. Shanghai: Dissertation for the Master Degree in Engineering of Tongji University, 2008, 3. (in Chinese)

- [10] 王文峰. 扩展 RBM 下的动态最短路径搜索算法的研究与实现[D]. 上海: 同济大学工学硕士论文, 2009, 3.  
Wang Wen-feng. Research and implementation of the dynamic shortest path searching algorithm based on the expanded RBM [D]. Shanghai: Dissertation for the Master Degree in Engineering of Tongji University, 2009, 3. (in Chinese)

#### 作者简介



曹政才 男, 1974 年出生于黑龙江富裕县, 博士, 副教授, 主要研究方向: 复杂系统建模、优化与控制。

E-mail: giftzcc@163.com

(上接第 772 页)

- [9] Li Min and Feng Xiangchu. Wavelet shrinkage and a new class of variational models based on Besov spaces and negative Hilbert-Sobolev spaces, Chinese Journal of Electronics, 2007, 16(2): 276-280.
- [10] G Aubert and P Kornprobst. Mathematical problems in image processing-partial differential equations and the calculus of variations, Springer, Applied Mathematical Sciences, 2006.
- [11] Liu Guojun and Feng Xiangchu. Curvelet-based iterative regularization and inverse scale space methods, Chinese Journal of Electronics, 2010, 19(3): 548 – 552.

- [12] 冯象初, 王卫卫. 图像处理的变分和偏微分方程方法. 科学出版社, 2009.
- [13] Wenye Ma and Stanley Osher. A tv bregman iterative model of retinex theory, CAM Report, 2010, 10 – 13.
- [14] 江玲玲, 冯象初, 殷海青. 基于 Curvelet 域的图像复原和分解模型, 电子学报, 2008, 36(9): 1790 – 1794.  
JIANG Ling-ling, FENG Xiang-chu, YIN Hai-qing. Image Restoration and Decomposition Based on Curvelet Domain [J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(9): 1790 – 1794.