

基于A*算法的复杂交通环境下出行者最优路径分析研究

李少伟, 曹成涛

(广东交通职业技术学院智能交通工程技术运用中心, 广东 广州 510650)

摘要: 传统的路径规划未充分考虑出行者行车习惯和复杂交通环境的影响, 通常搜索到的路径不一定符合出行者预期, 本文将影响出行者路径选择的多种因素进行分析, 运用层次分析法(AHP)建立了行程时间最短的出行者道路综合权值模型, 并结合交通规则及实际道路环境使用A*算法进行最优路径分析, 通过广州市天河区部分道路进行实例验证, 结果证明了本文算法的有效性。

关键词: 最优路径; A*算法; 交通规则; 道路权值

中图分类号: TP312 **文献标识码:** A

Research on Traveler's Optimal Path Analysis in Complex Traffic Environment Based on A* Algorithm

LI Shaowei, CAO Chengtao

(Intelligent Traffic Engineering Technology Application Center, Guangdong Communication Polytechnic, Guangzhou 510650, China)

Abstract: Traditional path planning does not fully consider the influence of traveler's driving habits and complex traffic environment. Usually the searched path does not necessarily meet the traveler's expectations. This paper analyzes the various factors affecting the traveler's path selection, and adopts Analytic Hierarchy Process (AHP) to establish the model of the comprehensive road weight for the traveler with the shortest travel time. A* algorithm is used to analyze the optimal path in combination with the traffic rules and the actual road environment. Example verification is conducted on some roads in Tianhe District of Guangzhou. The results have proven the effectiveness of the proposed algorithm.

Keywords: optimal path; A* algorithm; traffic rules; road weight

1 引言(Introduction)

随着移动地理信息系统(GIS)技术、全球卫星定位(GPS)技术、无线通信技术的迅猛发展和广泛应用, 出行者利用移动智能终端进行路径诱导的行为越来越普遍。最优路径问题是智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)中路径诱导子系统(Route Guidance System, RGS)的核心问题^[1], 传统最优路径搜索主要依据道路等级进行, 未充分顾及出行者行车习惯和复杂交通环境的影响, 得到的路径往往只考虑距离最短, 结果通常包含拥挤的道路、过多红绿灯等, 不符合出行者预期, 因此, 规划符合出行者行车习惯的行程, 不但能提高出行者的行车效率和驾驶体验, 也能缓解城市交通拥堵压力, 具有重要的现实意义。

2 城市道路网络模型(Urban road network model)

最优路径分析本质属于图论研究中的一个经典问题, 但在实际应用中, 需要结合交通规则和实际道路环境, 将其抽象为有现实意义的城市道路网络模型。

城市交通的快速发展, 使得城市道路网除了具有一般道路网的特点之外, 还有其特殊之处: ①路段及节点众多, 对于大型城市来说, 城市道路及交叉口数量多而复杂; ②道路网络密集且结构复杂, 多车道、单行线、转弯限制、限速车道、交通管制、立交系统等交通特征和新的越来越多的交通规则使得城市道路网的结构变得越来越复杂^[2]。

因此, 城市道路网络图不同于一般的网络图, 不仅具有单向、双向通行等特点, 还必须考虑到道路交叉口、交通规则等情况, 抽象到图论中, 路网可以看作是有向图, 图的方向表示道路通行方向, 城市道路网络可表示为以下模型:

$$G=(V, E, S, P) \quad (1)$$

其中, G 为道路网络系统; V 为道路网络系统的节点集合, 代表道路网交叉路口或者起始点, $V=\{v_i | i=1, \dots, n\}$; E 为道路网系统的边集合, 代表两节点间的路段, $E=\{(e_i) | i=1, \dots, m\}$ ^[3]; S 为城市道路网络的交通规则限制关系集合, 代表 $S=\{s_i | i=1, \dots, m\}$; P 代表路段权值集合, 一般为长

度、时间或某种加权值等(非负值), $P=\{(p_i) | i=1, \dots, m\}^{[4]}$ 。

3 道路综合权值分析(Road comprehensive weight analysis)

出行者日常路径选择取决于路段的属性, 如出行时间、费用、道路等级, 以及出行者自身的认知程度等, 这些因素令路径选择变得更为复杂^[5], 本文根据Bekhor^[3]等人的研究成果, 选取出行者最为敏感的影响因素(期望行程时间)作为主要研究对象, 行程时间可由各路段通行时间求和得到, 则行程时间公式可表达为:

$$T = \sum_{i=1}^m L_i * P_i * C \quad (2)$$

其中, m 表示行程经过的路段数量, L 表示路段长度, $P * C$ 表示每单位长度道路耗时, C 为耗时转换系数(常数), P_i 表示路段 L_i 的道路综合权值, 其值由统计分析获得, 由于不同路段交通环境不同, P 值也会相应不同, 道路综合权值 P 越小, 每单位长度道路耗时越少, 在耗时最少路径分析中被选中的概率越大。

引入层次分析法(AHP)确定道路属性权值, 该方法的主要功能为: 将要研究的问题所含的各类因素按一定隶属关系分为相互联系的若干层次, 再利用特定的数学方法来计算和确定每一层的因素的相对重要程度及其权重, 最后计算值从高到低排出主次顺序来分析解决该问题的实质, 并得出结论^[6]。道路属性数据的加权关键在于加权指标因子的选择, 考虑耗时最短的约束条件, 本文将路况(道路拥堵情况)、道路等级、路口延误、车道数量四个与耗时紧密相关的因素作为路径选择的主要影响因素(交通管制禁行、施工绕行归属交通规则限制关系), 道路属性权值模型见图1。

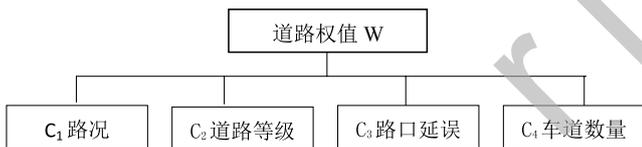


图1 道路权重体系结构

Fig.1 Shortest travel time road weight model

①路况, 通过百度地图API获取城市道路拥堵情况, 分为畅通、缓行、拥挤、严重拥堵四种通行状态, 道路拥堵情况在时间上表现出明显的周期性, 由于道路拥堵程度的易变性, 对于出行时间较长的路况预测需要综合实时交通信息和历史交通信息。

②道路等级, 城市道路等级分为快速路(高速公路市内路段)、主干道、次干道、支路四类, 道路设计行车速度依次降低。

③路口延误, 包括红绿灯等待时间、通行延误时间等, 人们因为交通拥堵等待交通灯消耗的时间越来越长^[7]。

④车道数量, 通常将车道数分为四类: 4车道及以上、2或3车道、1车道、0车道。

依据图1的层次结构图, 运用Saaty的1—9及其倒数作为标度的方法构造 C_i 对目标 W 的相对重要性判断矩阵, 本文参考文献[6]多位专家对道路属性指标的评价意见, 给出判断矩阵元素的值, 判断矩阵 $W-C$ 及特征向量如表1所示。

表1 判断矩阵 $W-C$ 及特征向量

Tab.1 Judgment matrix $W-C$ and eigenvectors

W	C1	C2	C3	C4	权重
C1	1	1	5	3	0.395
C2	1	1	5	3	0.395
C3	1/5	1/5	1	3/5	0.079
C4	1/3	1/3	5/3	1	0.131

数据的无量纲化处理主要是解决数据的不可比性, 本文将各种路段属性值通过某种变换映射到区间 $[0, 1]$, 由于速度、道路等级、车道数量越大时间耗费越小, 耗时为逆向指标, 采用极值化的无量纲化处理方法, 公式如下:

$$R_i = \begin{cases} 1 & X_i \leq m_i \\ \frac{M_i - X_i}{M_i - m_i} & X_i \in D_i \\ 0 & X_i \geq M_i \end{cases} \quad (3)$$

其中, m_i 、 M_i 分别是数据属性取值范围的最小值最大值, X_i 是某一路段的属性值, D_i 是该属性的取值范围, R_i 是该属性无量纲化后的值^[8]。

根据公式(3)和各路段属性的具体值得到道路属性无量纲化值见表2。

表2 道路属性无量纲化值

Tab.2 Road attribute dimensionless value

道路属性	无量纲化值			
路况	畅通(0.27)	缓行(0.55)	拥挤(0.82)	拥堵(1)
道路等级	快速(0.25)	主干(0.56)	次干(0.67)	支路(0.89)
路口延误	有(1)		无(0)	
车道数量	≥ 4 (0.25)	≥ 2 (0.5)	1(0.75)	0(1)

由表1得道路属性指标 C_i 对应的权值 W_i , 由表2得道路属性值无量纲化处理所得评价 R_i , 则道路综合权值 P 为:

$$P = \sum_{i=1}^4 W_i * R_i \quad (4)$$

对道路综合权值 P 进行排列组合计算, 去除不合理的权值(如车道数为1的快速路), 最终得到36种综合权值, 范围为 $[0.238, 0.957]$ 。相较于传统以道路等级为依据的搜索方法, 本文综合考虑了路况等四个路径选择因素, 确保出行者走耗时少综合权值低的道路, 而不仅仅是高等级道路, 充分考虑了出行者的行车习惯和复杂交通环境的影响^[9]。

4 复杂交通环境下的A*算法及实现(A* algorithm and its implementation in complex traffic environment)

4.1 A*算法简介

现阶段最短路径方法主要有计算一个节点到全部任意节点之间最短路径的Dijkstra算法, 计算任意对节点间最短路径的Floyd(弗洛伊德)算法, 以及启发式智能A*算法等, 其中Dijkstra算法的时间复杂度为 $O(N^2)$, Floyd算法的时间复杂度为 $O(N^3)$ (N 为节点个数), 这两种算法随着城市道路网节点的增加其效率呈几何下降, 而A*算法使用了启发式信息, 避免了算法毫无方向的盲目搜索, 可以大量缩减对路网的搜索空间从而达到节省搜索时间的目的^[10], 因此本文采用A*算法进行最优路径搜索。

A*算法在选择下一个节点时引入成本估算函数f(n)进行节点选择:

$$f(n)=g(n)+h(n) \quad (5)$$

其中, f(n)是每个可能试探点的估值, g(n)表示从起始点到任一点n的实际距离, h(n)表示任意节点n到目标点的估算距离, 对当前节点n的评估方法有多种, 如距离(欧几里得距离、曼哈顿距离)、方向和其他指标, 最佳路径有解的前提是估算距离小于实际距离, 且与实际值越接近效果越好。

A*算法的流程: (1)设定两个集合, OPEN集、CLOSED集; (2)将起始点加入OPEN集; (3)寻找该节点周围节点, 该点作为周围节点的父节点, 将其从OPEN集中移除添加到CLOSED集, 寻找周围节点F值最小的节点作为当前节点; (4)如果当前节点为目标点, 那么结束搜索; 如果不是, 转到步骤(3)继续执行。



图2 A*算法流程图

Fig.2 A* algorithm flow chart

4.2 考虑交通规则及道路综合权值的A*算法及实现

根据城市交通网络模型和出行者路径选择影响因素, 对传统的A*算法进行改进, 使其符合交通规则, 原理如下: 根据节点属性表、路段属性表和交叉口转向表(转向限制和单向交通), 动态生成交通规则约束关系, 在搜索过程中排除不符合交通规则的点, 通过道路网络拓扑关系重新调整解决立体交通问题。

基于A*算法的复杂交通环境下出行者最优路径分析具体步骤为:

(1)输入出发点和目的地, 搜索离其最近的道路, 选择合适道路网节点作为起始节点。

(2)建立两个列表存放道路节点数据: OPEN表和CLOSED表, OPEN表存放未搜索过的道路节点, CLOSED表存放已搜索过的道路节点。

(3)将起始节点A加入OPEN表, 通过交叉口转向表找到符合交通规则与起点A连接的所有节点 $N_i(1 \leq i \leq m, m$ 为连接起始节点A的节点个数), 将它们放入OPEN表, 并设置它们的“父节点”为A, 最后从OPEN表删除起点A, 并将起点A加入CLOSED表。

(4)开始搜索起始节点A的下一节点, 使用估值函数 $f(N_i)=g(N_i)+h(N_i)$ 从OPEN表中寻找 $f(N_i)(1 \leq i \leq m)$ 值最小的节点作为下一个扩展的节点B。g(N_i)表示起始节点到节点N_i的行

程时间 T_{N_i} (途经路段通行时间 $L*P*C$ 之和), $h(N_i)$ 表示节点 N_i 到终点的估算行程时间 L_o*P_z*C , 为保证能搜索到最佳路径, L_o 取两点间的欧几里得距离^[8], P_z 则取道路综合权值范围的中间值 $0.238+0.957)*1/2=0.598$

$$L_o = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2} \quad (6)$$

(5)选定节点B作为起始节点, 重复步骤(2)(3)操作(注意扩展节点时, ①如果该连接节点已存在CLOSED表中, 则跳过; ②如果该连接节点在OPEN表, 则检查经过选定节点到达该节点是否有更小的G值, 如果没有, 不做操作; 如果有, 将该节点的父节点设置为选定节点, 并重新计算其F值和G值), 直到下一个加入CLOSED表的节点为目标节点时, 搜索成功停止搜索; 当没有找到目标点且OPEN表为空时, 搜索失败停止搜索。

(6)通过目标点的“父节点”索引到最初的“起始节点”, 形成完整搜索路径。

5 案例分析(Case analysis)

选取广州市天河区部分道路进行实例验证, 将华师大厦酒店作为起点, 华江花园作为终点, 下班期间可选线路交通环境见路段属性表3。

表3 广州市天河区部分道路交通环境

Tab.3 Part of road traffic environment in Tianhe district, Guangzhou

路段名称	路段等级	车道数量	路口延误	路况	综合权值
天河路辅路	次干道	2	无	缓行	0.547
中山大道西	主干道	≥4	有	缓行	0.550
东方一路	支路	1	无	通畅	0.556
天府路	次干道	2	有	缓行	0.626
石牌东路	次干道	2	有	拥挤	0.733
黄埔大道	主干道	≥4	有	拥挤	0.657

分别基于道路长度和道路综合权值搜索出的路径示意图见图3, 线路①基于道路长度, 线路②基于道路综合权值, 对比两条线路的具体情况见表4。

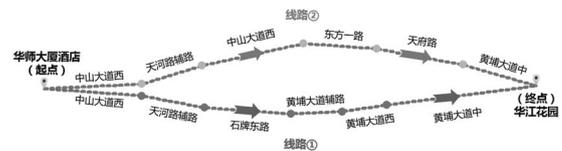


图3 基于道路长度与道路综合权值的线路示意图

Fig.3 Schematic diagram of the line based on road length and road comprehensive weight

表4 两条不同线路具体情况对比

Tab.4 Comparison of two different routes

路段名称	长度(米)	权值(L*P)	路段名称	长度(米)	权值(L*P)
中山大道西	480	264	中山大道西	480	264
天河路辅路	240	131	天河路辅路	220	120
石牌东路	1100	806	中山大道西	1640	902
黄埔大道辅路	420	276	东方一路	710	395
黄埔大道西	460	302	天府路	910	570
黄埔大道中	1620	1064	黄埔大道中	720	473
线路①总计	4320	2843	线路②总计	4680	2724

由表3和表4可见,因为实际交通环境不同,道路综合权值并未完全按道路等级划分,传统静态的最短路径和道路综合权值下的最优路径并非同一条路径,后者得到的路径未必是距离最短的,但一定是考虑了路况等多种影响因素的最优路径,出行体验更好。

6 结论(Conclusion)

自驾出行已成为出行者主要出行方式之一,如何合理的规划路径减少行程时间是出行者关注的重要话题。本文针对城市道路网的特点,将影响出行者路径选择的多种因素进行分析,运用层次分析法建立基于行程时间的出行者道路综合权值模型,并结合交通规则及实际道路环境使用A*算法进行最优路径分析,通过广州市天河区部分道路进行验证,相较于传统最佳路径分析结果,本文提出的最优路径算法不仅满足复杂交通环境下的交通规则约束,而且搜索出的最优路径更加符合出行者行车习惯和实际情况。

参考文献(References)

- [1] 潘义勇,孙璐.随机交通网络环境下自适应最可靠路径问题[J].吉林大学学报(工学版),2014,44(6):1622-1627.
- [2] 朱庆,李渊.2007道路网络模型研究综述[J].武汉大学学报(信息科学版),2007,32(06):471-476.
- [3] Bekhor S,Ben-Akiva M E,Scott Ramming M.Adaptation

(上接第55页)

该邮箱或手机号是否注册过,若没有则会发送验证邮件或验证码到用户的邮箱或手机上认证,最后登录;用户管理主要是教师和管理员用以查看学员的信息,或搜索学员。(4)课程统计。教师除了要开设创建课程、试题和试卷等等教学任务以外,还要了解该门课程总共有多少人学习、每个学员学习了多久、对课程的掌握情况、对课程和班级的评价等等,课程统计模块可将此功能实现。

6 结论(Conclusion)

伴随着信息时代的到来,国内外的慕课平台纷纷上场,国外有Coursera、Udacity、EDX等平台,国内的有中国大学MOOC、网易云课堂和学堂在线等平台,这些平台的功能也在逐渐丰富和完善。利用互联网和计算机来学习提升自我已成为大众认可的方式和教学改革风向,本文通过调研MOOC研究背景和国内外发展现状、进行相关的技术分析和需求分析、进行总体的系统架构设计、模块功能分析和实现运行,设计了一套MOOC辅助教学系统。该系统用以辅助教学和改革教学,让每个人都能公平的获得教学资源,进而提升自我,以达到提高教学效率和质量的目的。

参考文献(References)

- [1] A.Watted,M.Barak.Motivating factors of MOOC completers:Comparing between university-affiliated students and general participants[J].Internet and Higher Education,2018,37:11-20.

of logit kernel to route choice situation[J].Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,2002,1805(1):78-85.

- [4] 高明霞.道路网络最短路径关键转向研究[J].公路,2018(9):199-202.
- [5] 孙秋霞,孙璐,刘新民.基于出行个体行为的交通网络效率研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(2):110-113.
- [6] 段丽琼,刘立国.应用层次分析法确定道路属性指标的权重[J].海洋测绘,2004,24(3):44-46.
- [7] 朱云虹,袁一.基于改进A*算法的最优路径搜索[J].计算机技术与发展,2018,28(4):55-59.
- [8] 阮于洲,蒋捷.基于层次分析法的路段属性求权方法[J].地理信息世界,2004,2(2):44-48.
- [9] 王少帅,蔡忠亮,任福.加权路网分层的最优路径计算[J].测绘科学,2015,40(3):127-131;122.
- [10] 欧阳圣,胡望宇.几种经典搜索算法研究与应用[J].计算机系统应用,2011,20(5):243-247.

作者简介:

李少伟(1981-),男,硕士,讲师.研究领域:GIS/GPS在智能交通中的应用。

曹成涛(1981-),男,博士,教授.研究领域:智能交通技术。

[2] F.J.García-Peñalvo,F.B.Ángel,L.S.E.María.An adaptive hybrid MOOC model:Disrupting the MOOC concept in higher education[J].Telematics and Informatics,2018,35(4):1018-1030.

[3] L.Hudson,A.Wolff,D.Gooch,et al.Supporting urban change:Using a MOOC to facilitate attitudinal learning and participation in smart cities[J].Computers & Education,2019,129:37-47.

[4] R.Boyatt,M.Joy,C.Rocks,et al.What (Use) is a MOOC?[M].The 2nd international Workshop on learning technology for education in cloud,2014:133-145.

[5] J.Wult,I.Blohm,W.Brenner.Massive open online courses[J].Business & Information Systems Engineering,2014,56(2):127-130.

[6] 蔡文璇,汪琼.MOOC 2012大事记[J].中国教育网络,2013(4):31-34.

[7] 贾寿迪.MOOC模式带给我国开放课程的启示[J].中国教育信息化·高教职教,2014,(3):6-10.

[8] 袁莉.大规模开放在线课程的国际现状分析[J].开放教育研究,2013(3):56-62.

[9] 李明华.MOOCs革命:独立课程市场形成和高等教育世界市场新格局[J].开放教育研究,2013(6):30-40.

作者简介:

刘琴(1976-),女,本科,副教授.研究领域:软件工程。