

车辆导航路径规划中道路可用性研究

张东^{1,2} 刘爱龙² 杨学伟² 陈涛²

(1 西安交通大学电子与信息工程学院,西安市咸宁路28号,710049)

(2 西安测绘研究所,西安市雁塔路中段1号,710054)

摘要:定义了规划路径组分段模型和路径可用度指标,提出了基于概率模型方法的路径可用性度量模型。研究了常用的几种路径规划算法,提出了基于路径可用度指标的改进路径规划算法 Mod-Dij,并与 Dijkstra 算法计算的路径进行了比较。结果表明,Mod-Dij 得出的路径可满足实用性要求。

关键词:导航;路径规划;可用性

中图法分类号:P208

研究导航仪的主要目的是利用计算得出的规划路径进行实时语音引导或画面引导,主要功能流程是设定目的地-规划路径→实时导航→偏离路径重新计算→继续实时导航。其中规划路径是贯穿整个流程的主要因素^[1]。车辆导航仪的性能评估一般包括路网数据精度和覆盖率、显示速度和美观性、交互操作的灵活性、路径规划的实时性、路径的可用性等^[2]。路径的可用性是一个重要的技术指标,如何使用户通过较合理的路径到达目的地是导航技术需要解决的问题。规划路径的可用性问题在车辆实时导航中有重要的意义,但在导航研究领域,对于道路的可用性研究工作多集中于数据组织和算法的优化,以提高计算速度,如动态索引机制的建立、基于双缓冲机制的并行调度算法、优化的路径规划算法等^[3]。本文进行道路的可用性研究。

1 可用性的数学表示

在分析可用性前,给出导航数据的组成,包括背景数据和道路数据,分别定义如下。

1) 背景数据集 BackgroundSet(T, S) = $\{B_1, P_1\}$ 。其中, T 为时间; S 为比例尺; B_1 为依比例尺变化的水系、植被、居民点、行政区界线等背景数据,分别用面域或点目标来表示; P_1 为用于目的地选择和路径规划等兴趣点类数据,按照属性

定义记录来表示。

2) 道路数据集 RoadSet(T, S) = $\{ARC, NODE, WEIGHT\}$ 。其中,ARC表示将道路抽象为边或弧段,即表示两个节点之间的路段,多数情况下具有方向性和节点之间的连通性;NODE表示和路段相关联的节点,在城市中,具有非常复杂的属性,一般包括简单路口、复杂路口、立交桥等;WEIGHT表示路段属性,如交通限制、收费状况、路段的长度、路面情况、拥堵情况等,是拓扑生成和路径规划的主要信息。

道路计算的合理可用性是一个复杂的动态工程,可用性问题是合理性问题的一个分支,合理性模型建立难度很大是因为:①用户对于合理性的感受属于意识范畴,差别很大,同样的影响因子,不同的人有不同的感受;②用户需求的场景不同,随时间变化很大,随意性也较大;③多变的路况和实时道路交通拥堵指标对合理性有直接影响;④偏离航线时的实时计算,在一次导航中有一组依时间变化的规划路径支持。所以用系统分析法和可用性直接度量方法来进行合理性分析难度较大,事实上用户更关心基于规划路径实时导航时,车辆在多大程度上处于较顺畅持续导航行驶状态,所以适合从应用的角度分析道路的可用程度。

定义1 规划路径组:

$$R_{G_k}(P_A, P_B) = \text{set}(R_{R_i}), 1 \leq i \leq k \quad (1)$$

其中, P_A 和 P_B 为导航的起点和目的地, 实际行驶中由于偏离航线、交通限制等原因, 行驶的路线是 k 条实时规划路径 R_R 的集合; R_{R_i} 表示第 i 条路径, $k=1$ 表示完全按照规划路径行驶。对于第 i 条路径, 在道路可用性分析时, 可能其中的一些路段是合理的, 一些路段可用性差, 或者难以通行, 有必要给出如下的分段定义。

定义 2 实时规划路径 R_{R_i} 的分段:

$$R_{R_i}^{(j)}(P_T, P_B) = \text{set}(R_{R_i}^{(j)}), 1 \leq j \leq l \quad (2)$$

其中, P_T 为偏离航线重新计算时的当前点; $R_{R_i}^{(j)}$ 表示 R_{R_i} 由 l 段子路径组成; $R_{R_i}^{(j)}$ 表示第 j 段; $l=1$ 表示在可用性分析时不分段。

综上所述, 可以用 $R_{R_i}^{(j)}(P_A, P_B)$ 表示在实际导航中 P_A 到 P_B 间的规划路径有 k 条, 目前是第 i 条, 并将其分为 l 段, 目前是第 j 段。

定义 3 路径可用度 R_A :

$$R_A(P_A, P_B) = \frac{D_m}{D_m + D_n} \quad (3)$$

其中, D_m 为从 P_A 到 P_B 中可以顺畅行驶路段的长度; D_n 为不能正常行驶的路段。指标 D_m 、 D_n 具有动态性, 主要数据来源为: ① 经验数据; ② 交通信息播发, 提供的实时路段拥堵等指标。

对于路径 R_{R_i} , 定义可用度为:

$$R_A(R_{R_i}) = \frac{D_{lm}}{D_{lm} + D_{ln}} \quad (4)$$

其中, D_{lm} 为路径 i 中可正常行驶的路段长度; D_{ln} 为不能正常行驶的路段长度。

路径的可用度和用户需求、数据组织方法、算法、交通拥堵情况及其他随机信息有关, 本文不讨论交通拥堵和一些随机信息的影响, 主要考虑用户因素、数据组织和相应的算法。

2 基于概率模型的可用性度量

式(3)和式(4)只适用于对路径可用度进行统计估算, 实际行驶中偏离航线和交通限制条件等都会影响路径, 对其可用性需要重新评估。设任何一个子路段 $R_{R_i}^{(j)}$ 不能通行时, 整个路径便不能通行, 这里 $R_G(P_A, P_B) = \{R_{R_1}^{(j)}, R_{R_2}^{(j)}, \dots, R_{R_k}^{(j)}\}$, 其中 $R_{R_i}^{(j)} = \{R_{R_i}^1, R_{R_i}^2, \dots, R_{R_i}^l\}$, $R_{R_i}^{(j)}$ 为一个子路径上的子路段。

可用性度量的主要思想是利用路径相对于用户可以正常行驶的概率作为道路的可用度, 它使用概率模型进行近似描述。为方便度量, 还需定义子路段之间的连接关系和用户需求模型。

定义 4 子路段之间的连接关系:

$$C_i^j = \text{conj}(R_{R_i}^j, R_{R_{i+1}}^{j+1}) \text{ or } \text{conj}(R_{R_i}^j, R_{R_{i+1}}^1) \quad (5)$$

子路段之间的连接关系实际上就是路段之间的连接点, 用 C 来表示, 通常是一个路口。路段通过路口和其他路段相连, 这样路径便表示系列的路段、路口和下一路段。定义 C_i^j 为第 i 条子路径中的第 j 条子路段到第 $j+1$ 条子路段间的连接, 当 $j=l$ 时表示第 i 条子路径中的最后一条路段到第 $i+1$ 条子路径中的第一条路段间的连接。

建立服务于用户的路段 R_R 可度量的虚拟组织模型如图 1。本文采用串行的 RBD 模型进行分析, RBD 模型是系统可靠度和可用度分析中进行子系统划分最常用的模型^[4]。

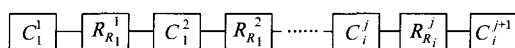


图 1 服务于用户 R_R 的虚拟 RBD 模型

Fig. 1 Virtual RBD Model for Real-Time Route

其中, $R_{R_i}^j$ 表示路段; C_i^j 表示路段之间的连接关系, 每一个都相对独立。设连接节点 C_i^j 不能顺畅通行的概率为 $f_r(C_i^j)$, 路段 $R_{R_i}^j$ 不能通行的概率为 $f_s(R_{R_i}^j)$, 用概率模型来计算路径的可用度:

$$R_A(P_A, P_B) = \prod_{i=1, j=1}^{k, l} (1 - f_r(C_i^j)) \prod_{i=1, j=1}^{k, l} (1 - f_s(R_{R_i}^j)) \quad (6)$$

$f_r(C_i^j)$ 、 $f_s(R_{R_i}^j)$ 的概率数据定义是一个复杂的问题, 同 R_A 中 D_m 、 D_n 的定义。这里的概率数据主要来源于两类: ① 通过某时段、某段道路通行状况历史统计数据, 给出一个通行的经验数据用于计算 $f_r(C_i^j)$ 、 $f_s(R_{R_i}^j)$; ② 通过交通信息播发系统, 用户可以实时获得路段拥堵或通行指标, 导航仪终端可以实时接收这样的交通信息, 从而动态地将参与路径计算的道路的权值进行调整, 保证计算路径的可用性。目前已经有类似的实用播发系统实时提供导航支持。

3 基于可用性的导航路径规划算法

目前使用较多的路径算法大约有 17 种^[6]。Benjamin 等人对其中的 15 种进行了测试, 结果显示有 3 类算法效果较好, 分别是 TQQ(graph growth with two queues)、DKA(the Dijkstra's algorithm implemented with approximate buckets)以及 DKD(the Dijkstra's algorithm implemented with double buckets)。

Dijkstra 算法被认为是目前求解最短路径最高效的算法之一^[6]。算法要求所有弧段的权值均

为非负,计算可得出图中某点与图中所有点的最短路径,时间复杂度为 $O(n^2)$, n 为节点个数。

道路规划中路径计算需要的参量为:

$$R_G = F(C_A, P_B, R_{ND}, R_{LB}, R_{NI}, R_{TR})$$

其中, F 为路径规划算法; C_A 和 P_B 表示当前点和目的地, R_{ND} 指道路网数据; R_{LB} 指道路分级表; R_{NI} 指道路端点信息; R_{TR} 指道路拓扑关系。

计算中影响合理性的数据因素域为 $I = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7\}$, 分别对应{距离优先, 顺畅优先, 收费优先, 高速优先, 时间优先}; 评价因素的模糊权向量为 $R = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6\}$, 表示因素域的影响程度; R_A 对应的可用性矩阵为:

$$R_A = I \cdot R = I \cdot [R_1 \ R_2 \ R_3 \ R_4 \ R_5 \ R_6]^T \quad (7)$$

Mod-Dij 算法的思路为在道路拓扑网络中, 在已知起点和终点的情况下, 找到一条路径, 满足距离最短、时间最短、费用最低等条件, 可用性指标可以按照式(7)来定义。具体算法如下。

输入: 参量 $\{C_A, P_B, R_{ND}, R_{LB}, R_{NI}, R_{TR}\}$

输出: 规划路径组 R_G

开始:

① 构造节点临时集合 S_1 和永久集合 S_2 , 生成的节点 P_1 在 S_1 和 S_2 中依距离值排序;

② 每次新展开节点按照交通规则依照高等级道路优先规则, 同时兼顾距离阈值, 将道路等级和距离综合为一个比较指标 Z ;

③ 若发现在 S_1 中存在同一节点, 比较指标 Z 决定是否进行替换;

④ 每次新展开节点若发现在 S_2 中存在同一节点号, 跳过该节点;

⑤ 偏离航线时在偏离点和目标点之间寻找一个中间点, 中间点位于已经计算的路径 R_R 上;

⑥ 计算当前点和中间点之间的路径 R_R' , 从 R_R 上截取中间点和目标点之间的路径 R'' ;

⑦ 新的 $R_R = R_R' + R''$;

⑧ 在 R_R 上进行实时导航;

结束。

4 可用性实验与分析

本文实验所用导航仪是自主研发的基于嵌入式的 NAV-1 导航仪, 支持触摸屏输入和语音导航。芯片选用主频 206 MHz 的 Inter strong ARM SA1110, 64 MB SDRAM, 512 MB CF, 直流 12 V 供电, 屏幕分辨率为 320×240 。

P_A 和 P_B 在北京市三环内, P_A 位于三环西北角, P_B 位于三环东南角, Dijkstra 算法计算的路径 R_{R_1} 沿对角方向, 具有较短的距离; 改进算法

Mod-Dij 计算的路径 R_{R_2} 沿环线方向, 道路等级高, 距离较长。如图 2、图 3 所示。

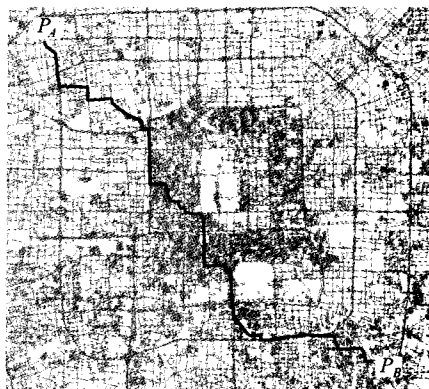


图 2 Dijkstra 算法计算的路径

Fig. 2 Route Produced by Dijkstra

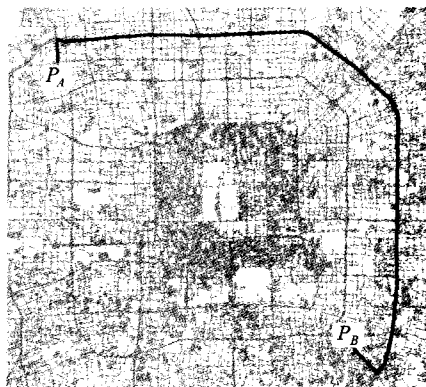


图 3 改进算法 Mod-Dij 计算的路径

Fig. 3 Route Produced by Mod-Dij

测试时间是下午 3 时, 两台车载导航仪同时进行, 显然, $R_{R_1} < R_{R_2}$, 但从图中可以看出, R_{R_1} 中有 14 个左转路口, 实际行驶中很不方便。测试中, 车辆 1 沿 R_{R_1} 行驶, 重新计算路线 10 次; 而车辆 2 沿 R_{R_2} 行驶, 按照第一次规划路线行驶即可, 到达 P_B 时间车辆 2 比车辆 1 早 45 min, 显然路线 R_{R_2} 具有明显的可用性和一定的合理性。

根据实验得出以下结论。

1) 本文提出的路径可用性模型合理实用, 可用性度量方法具有可操作性;

2) 基于道路可用性的路径改进算法在实际应用中较好地反映了行驶的顺畅要求, 使导航仪真正实用;

3) 可用性是路径合理性的一个指标, 合理性问题是一个更加复杂的问题, 还有很多因素需要考虑, 有必要在可用性模型的基础上进行优化研究。

参 考 文 献

- [1] Zhang Dong, Liu Ailong, Zhang De. The Present Situation of Vehicle Navigation Techniques in China and the Multi-topological Formation and Route Computing of National Navigation Map [C]. ICC2005, Spain, 2005
- [2] 张东, 郭建忠, 刘爱龙, 等. 城市地图导航中多拓扑生成和实时动态路径分析[J]. 测绘科学与工程, 2005, 25(2): 13-17
- [3] 郭建忠. 系列比例尺条件下海量数据的快速显示[J]. 测绘学院学报, 2005, 22(2): 136-138
- [4] 李春江. 网格计算高可用性技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2004
- [5] 高博. 汽车导航系统中的数据处理地图匹配和路径规划的研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2001
- [6] 吴向华. 电子导航地图的生成及最优路径研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2005
- 第一作者简介: 张东, 博士生. 现主要从事车载导航、嵌入式 GIS 和网络数据分发方面的研究工作.
E-mail: navgrid@163.com

Route Availability Research in Vehicle Navigation Path Analysis

ZHANG Dong^{1,2} LIU Ailong² YANG Xuewei² CHEN Tao²

(1 School of Electric and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, 28 Xianning Road, Xi'an 710049, China)

(2 Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, 1 Middle Yanta Road, Xi'an 710054, China)

Abstract: The route rationality and availability in path analysis is primary index to present navigator practicability, which is hardly researched at present. Based on subsection definition of route group and route availability index, the availability measurement model for path analysis is put forward using probability method. Supported by the model, a new modified Dijkstra algorithm named Mod-Dij is advanced after several path analysis algorithms are researched according to route availability. The route calculated by Mod-Dij is compared to Dijkstra's result. It is shown that the route by Mod-Dij is availability clearly and can be used in real navigation widely.

Key words: navigation; path analysis; route availability

About the first author: ZHANG Dong, Ph.D candidate, majors in vehicle navigation, embedded GIS and spatial data dissemination.
E-mail: navgrid@163.com

欢迎订阅 2007 年《武汉大学学报·信息科学版》

《武汉大学学报·信息科学版》即原《武汉测绘科技大学学报》,是以测绘为主的专业学术期刊。其办刊宗旨是:立足测绘科学前沿,面向国际测量界,通过发表具有创新性和重大研究价值的测绘理论成果,展示中国测绘研究的最高水平,引导测绘学术研究的方向。本刊为中国中文核心期刊, EI 来源期刊。是国家优秀科技期刊和中国高校精品科技期刊,并获中国国家期刊奖,入选中国期刊方阵。

本刊主要栏目有院士论坛、学术论文、科技新闻等,内容涉及摄影测量与遥感、大地测量与物理大地测量、工程测量、地图学、图形图像学、地球动力学、地理信息系统、全球定位系统等。收录本刊论文的著名国际检索机构包括 EI、CAS、PK 等,其中 EI 收录率达 100%,其影响因子长期名列中国高校学报前列。本刊读者对象为测绘及相关专业的科研人员、教师、研究生等。

本刊为月刊,国内外公开发行,邮发代号 38-317,国外代号 MO1555。A4 开本,96 面,定价 8 元/册,每月 5 日出版。漏订的读者可以与编辑部联系补订。