

# 基于V2X的最快出行路径算法

## The Fastest Travel Path Algorithm Based on V2X

徐 铮<sup>1</sup>, 陈璟雯<sup>2</sup>, 陈 聪<sup>1</sup>, 姜卿卿<sup>1</sup> (1. 中国联通智网创新中心, 北京 100048; 2. 南京市测绘勘察研究院股份有限公司, 江苏南京 210019)

Xu Zheng<sup>1</sup>, Chen Jingwen<sup>2</sup>, Chen Cong<sup>1</sup>, Jiang Qingqing<sup>1</sup> (1. Intelligent Network & Innovation Center of China Unicom, Beijing 100048, China; 2. Nanjing Institute of Surveying, Mapping & Geotechnical Investigation, Co., Ltd., Nanjing 210019, China)

### 摘 要:

为了规避交通信号灯等待时间, 基于V2X获取交通路网、实时路况及交通信号灯信息, 综合考虑交通信号灯不同转向的等待时间差异, 提出一种新型最快出行路径规划算法。该算法解决了交通信号灯不同转向等待时间差异对路径规划影响的问题, 真正做到最短时间出行。在10 000次道路行驶模拟实验中, 与仅考虑驾驶时间(出行时间=驾驶时间+等待时间)的传统最快路径规划算法相比, 本算法出行时间平均减少19.2%, 等待时间平均减少62.4%, 对节省公众出行时间、优化驾驶体验、降低交通交叉口事故率有重要意义。

### 关键词:

最快出行; 路径规划; 出行时间; Dijkstra算法; 驾驶体验

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.11.010

文章编号: 1007-3043(2024)11-0058-05

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

In order to avoid waiting time for traffic signals, it proposes a new shortest path planning algorithm, which obtains traffic network, real-time traffic conditions and traffic signal information based on V2X, and considers the differences in the waiting time when waiting for traffic lights with different turns. This algorithm solves the problem that the differences between the waiting time when waiting for traffic lights with different turns have different impacts on path planning results, which truly realizes the shortest travel time on the road. In 10 000 times road driving simulation experiments, compared with the traditional shortest path planning algorithm which only considers driving time (travel time = driving time + waiting time), the new algorithm proves that the average travel time is effectively reduced by 19.2%, and the average waiting time is reduced by 62.4%, which has important significance on saving public travel time, improving driving experience, and reducing accident rate at traffic intersections.

### Keywords:

Fastest travel; Route planning; Travel time; Dijkstra algorithm; Driving experience

引用格式: 徐铮, 陈璟雯, 陈聪, 等. 基于V2X的最快出行路径算法[J]. 邮电设计技术, 2024(11): 58-62.

## 0 引言

当今社会时间成本越来越高, 为有效节约驾驶时间, 驾驶者需合理规划行驶线路。机动车出行时间主要受出行距离、道路拥堵状况、交通信号灯的影响<sup>[1]</sup>。在紧急情况发生时, 如何避开拥堵、规划更优行车路线, 已成为众多紧急出行者们所关心的问题。

路径规划的核心是最优路径的求解, 常用的路径规划算法有: A\*算法、Dijkstra算法、Floyd算法, 还可结合启发式搜索算法如蚁群算法、神经网络算法等进行路径规划, 它们在空间复杂度、时间复杂度、易实现性及应用范围等方面各具特色<sup>[2]</sup>。

有国外学者指出, 交通信号灯(即红绿灯)不仅影响出行时长, 甚至还会造成驾驶员烦躁、焦虑, 增加交通事故口的事故率<sup>[3-4]</sup>。我国交通部门报告显示, 50%~80%的交通事故发生在交叉口及周围范围内, 其中

收稿日期: 2024-09-23

30%发生在信号灯过渡期间<sup>[5]</sup>。有国内的研究表明,驾驶员的反应在等待不同时长的红灯之后有一定的变化,驾驶员的红灯等待极限是在80 s左右<sup>[6]</sup>。

因此,如何优化出行路线、减少红绿灯等待时间、提高驾驶体验,成为了研究的热点。目前已有路径规划算法将交通信号灯的等待时间纳入考虑因素,有算法通过控制车速来规避红灯等待时间,提升用户驾驶体验<sup>[7]</sup>;有算法根据交通信号灯时长估算碰到绿灯的概率来规划路径<sup>[8]</sup>;有算法基于下一个交通信号灯情况与原路径的时间对比来进行路径规划<sup>[9]</sup>。

尽管这些算法考虑到了交通信号灯时间,但大部分算法都只涉及单个红绿灯的情况;即使有算法顾及到了所有信号灯,但依靠概率的方式并不能准确计算出最优解。通过控制的算法只能优化驾驶体验,但对出行时间并没有实际帮助。

随着V2X、5G与边缘计算技术的普及与发展,智慧交通有了更好的基础支持,用户可以实时获取机动车自身信息(如当前车速、位置、红绿灯距离等)与道路状态信息(如当前道路车流量、红绿灯个数等),这让综合考虑交通信号灯信息(包括灯态、倒计时等)的影响并规划出一条最快出行路径成为可能。

本研究基于V2X获取道路路网、实时路况与交通信号灯信息,综合考虑交通信号灯不同转向的等待时间差异,提出一种新型最快出行路径规划算法,解决了交通信号灯不同转向等待时间差异对最快路径规划的影响问题,弥补了国内解决不同阻尼转向路径规划问题方法的缺失,对于节省公众出行时间、优化驾驶体验、降低交通路口事故率具有重要意义。

## 1 算法原理

本算法以时间作为阻尼的计算单位,出行阻尼包括道路阻尼(RI)与路口转向阻尼(Rt)2个部分。其中,道路阻尼(RI)为车辆在当前路段的通行时间,它有2种计算方式:

a) 若能获取当前路段的实时平均车速,优先采用路段长度/路段实时平均车速的计算方式(目前只有部分城市可获取)。

b) 在其他情况下,采用路段长度/路段限速×路阻系数的计算方式,路阻系数根据实时路况进行判定。因为路阻系数不是本研究的重点,为了方便计算与表示,本研究将路阻系数设为1。

路口转向阻尼(Rt)为车辆在交通信号灯前(一般

为道路交叉口)的等待时间,交通信号灯数据可以从交通部门等机构直接获取,也可以基于大数据分析获得。

将道路在交汇处(即可改变方向处)进行打断,并在每个交汇处添加新的节点标记;再筛选出不在交汇处的交通信号灯,将道路以此类交通信号灯为节点进行二次打断,并添加标记。道路一般有单行道与双行道之分,将单行道的信息存储在路段中,不进行标记的默认为双行道。

### 1.1 等待时间预估模型建立

构造基于交通信号灯变化的等待时间预估模型,以获取车辆任意时刻到达道路交叉口时转向任意方向的红绿灯等待时间。以图1所示的道路网为例,表1为M点在当前时刻的交通信号灯数据。

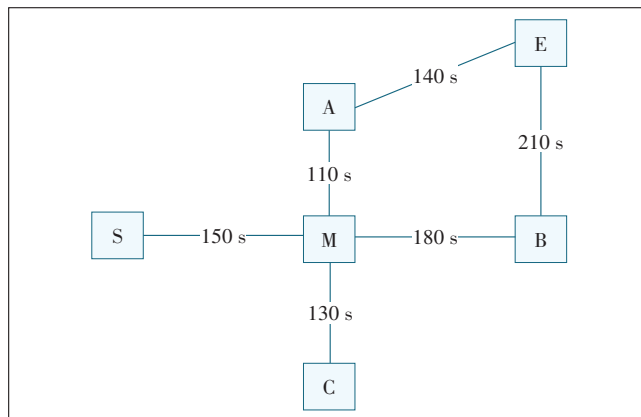


图1 转向示例

表1 路口交通信号灯信息

路口	转向路段	周期/s	绿灯开始时刻/s	持续时间/s
M	S-M-A	T:260	$t_{SMA}$ :120	$T_{SMA}$ :50
	S-M-B		$t_{SMB}$ :40	$T_{SMB}$ :80
	S-M-C		0	$+\infty$
	A-M-C		170	80
...	...	...	...	...

假设车辆由S→M→B为直行状态,行驶至交叉路口M处,左拐可以到达节点A,直行可以到达节点B,右拐可以到达节点C。M节点的一个红绿灯周期为T,在当前时刻,直行在 $t_{SMB}$ 后可通行(即经过 $t_{SMB}$ 时间后变为绿灯),绿灯持续时间为 $T_{SMB}$ ;左拐可行驶起始时间为 $t_{SMA}$ 后,绿灯持续时间为 $T_{SMA}$ 。若右拐可以直接通行,则 $t_{SMB}$ 为0,绿灯持续时间为 $+\infty$ ,代表任何时候可以通行,否则正常计算等待时间。

假设车辆在S节点的时间(即当前时刻)为 $t_s$ ,从S

节点到达M节点时间为 $t_M=t_S+T_{SM}$ ,将 $t_M$ 换算为红绿灯的周期 $T$ 内的时间 $t$ 为 $\text{MOD}(t_M/T)$ 。如果 $0 < t - t_{SMA} < T_{SMA}$ ,则表示在绿灯区间,可直接通行, $R$ 为0;如果 $t - t_{SMA} < 0$ ,则表示当前为红灯, $t_{SMA} - t$ 即为阻尼;如果 $t - t_{SMA} > T_{SMA}$ ,则需要等到下一个周期,需要等待 $T - (t - T_{SMA})$ 的时间,该时间即是阻尼。

通过这种方式,可以计算出在到达节点M时,从M转向其他各个方向的等待时间阻尼。

## 1.2 路段出行时间模型建立

交通信号灯规则复杂多样:双车道可能右拐、直接通行,左拐、直行共用同一个绿灯;三车道可能存在右拐直接通行,直行车道需要等待直行绿灯时通行,左拐在直行之后才可通行的情况,部分路口也存在右拐设有红灯的可能;另外还会出现如环岛路口等特殊的情况。

为了综合考虑所有的情况,本算法不再以左转、直行、右转这种方式对转向进行标记,而是以下一个路段节点作为转向标记,并将到达下一段道路的等待时间,算在到达该节点的阻尼里面。如图1所示的道路情况,同样是从S节点到达M节点,因为下一段转向不同,分为 $S \rightarrow M \rightarrow A$ 、 $S \rightarrow M \rightarrow B$ 、 $S \rightarrow M \rightarrow C$ 3种情况,从M转向A、B或C的等待时间算进 $S \rightarrow M$ 的出行时间中。另外,出于对交通安全的考虑,本算法将黄灯时间默认加在红灯时间里面。

在图1所示的道路情况中,预设 $T_{SM}=150$  s,根据等待时间预估建模可以同步计算出转向时间 $T_{MC\text{转}}=0$  s, $T_{MB\text{转}}=20$  s, $T_{MA\text{转}}=100$  s。再依据出行阻尼计算公式 $R_{sm,k}=Rl_{sm}+Rt_{mk}$ ,可以计算出 $S \rightarrow M$ 各方向的出行时间为SMC: $T_{SM}+T_{MC\text{转}}=150$  s,SMB: $T_{SM}+T_{MB\text{转}}=170$  s,SMA: $T_{SM}+T_{MA\text{转}}=250$  s。

## 1.3 迭代实现

Dijkstra算法是一种经典的最短路径算法,用于计算非负权有向图中一个节点到其他节点的最短路径,具有求解稳定的特点,适合进行路径规划。该算法在路径搜索过程中,以出发点为中心向外层层扩展,直至扩展到预设目的地。

本文算法的权重包含道路权重(RI)与路口转向权重(Rt)2个部分,传统算法难以处理在不同时间到达同一段道路时,转向路口具有不同权重(等待时间)的情况。道路权重即为道路段通行时间,路口转向权重根据等待时间预估模型获取任意时刻点的转向权重。本文算法基于路段出行时间进行建模,将道路阻尼

(RI)与路口转向阻尼(Rt)都存储在路段中。通过不断遍历计算,获取从起始点到其他各节点的阻尼最小值,更新替换每一个节点到其他节点的最少时间,最终获得从起始点到终点的最优路径。

算法流程如图2所示,其时间复杂度为 $O(n^2)$ 。

## 2 仿真实验

为了更深入探讨本算法的可行性和可靠性,本文进行了仿真实验。通过在计算机上进行模拟道路场景的构建,以便快速获取实验结果。

### 2.1 实验设计

为了进一步理解本算法的工作原理,并对算法的可行性进行评估,本文选择在我国中小城市进行仿真模拟实验。选取中小城市中道路网具有如下特点的区域:第一,无绕城高速、城市快速路;第二,道路布局较为方正。

首先设置道路网,道路段长度一般为300~1 200 m,按照正常驾驶速度,通行时间大约需要30~70 s。然后,按照国内普遍的红绿灯规则,将直行红灯时间设置为30 s、40 s、45 s、60 s 4种情况,左转红灯为15 s、20 s、30 s、左转同直行4种情况,右转默认0 s,可直接通行。

由于传统最快路径算法仅考虑驾驶时间,而本文算法除了考虑驾驶时间,还考虑交通信号灯的等待时间,故将经典最快路径算法(Dijkstra算法)与本文算法进行对比。评价指标主要有驾驶时间、等待时间和出行时间。驾驶时间是指车辆行驶的时间,等待时间是指车辆在交通信号灯前等待的时间,出行时间是驾驶时间与等待时间之和。

### 2.2 系统设计

本研究基于之前的算法思路,通过计算机编程实现仿真实验。整体思路如图3所示,系统包含节点网格创建器与节点包装器,网格创建器主要用来生成坐标系,方便模拟转向;节点包装器用来在坐标系对应位置生成节点,每个节点有对应名称、位置,并包含与其相连的下个节点及其距离。首先用节点网格创建器构建道路坐标系,再用节点包装器在坐标系对应位置生成节点,每个节点即代表道路交叉口,每个节点包装器包含了可以前往的下一个节点以及与下个节点的距离。驾驶方向从 $(x_1, y_1)$ 节点到 $(x_n, y_n)$ 节点,直行、左拐、右拐按照坐标对应的方向进行计算。建立红绿灯模拟器,根据第2.1节的设计随机生成2个节点

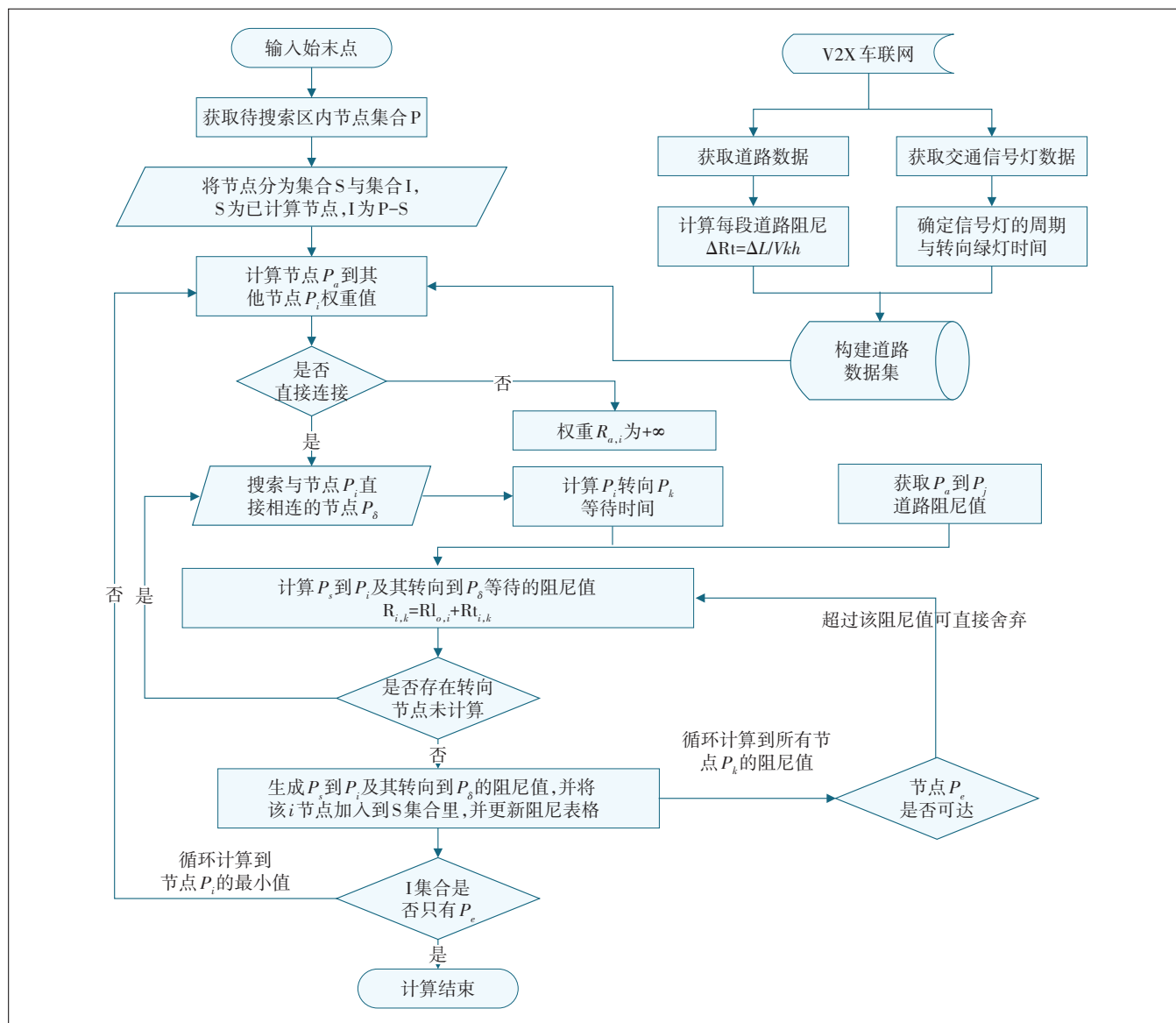


图2 新型最快路径算法流程

之间的距离与红绿灯等待时间。分别按照传统最快路径算法(仅考虑驾驶时间)与新型最快路径算法(综合考虑驾驶时间与等待时间)进行路径规划,统计每次路线选择的驾驶时间、等待时间与出行时间。

### 2.3 实验结果及分析

计算机模拟了10 000次出行数据,2种算法的具体结果如表2所示。本方案与传统仅考虑驾驶时间(出行时间=驾驶时间+等待时间)的最快路径规划算法相比,出行时间平均减少19.2%,等待时间平均减少62.4%。传统最快路径的驾驶时间比新型最快路径平均少80 s,但等待时间却多了接近300 s。在表2随机展示的15条路径中,传统最快路径有8条路径的等待

时间占总时间的比例超过40%,而新型最快路径等待时间占比普遍处于10%~20%,仅有3条超过了20%。ID为12的模拟路径等待时间甚至超过了驾驶时间,意味着一半多的时间都在等待红绿灯,这还是在没有拥堵的情况下,给用户带较差的驾驶体验。当然,在总路程方面,传统最快路径更具优势,新型最快路径多消耗了10%的驾驶时间,这意味着驾驶距离更长,可能带来更多的油耗。

通过对实验结果的分析,可以看出新型最快出行路径在出行时间方面更具优势。新型最快出行路径的等待时间明显降低,仅为传统最快出行路径的1/3。引入交通信号灯的等待时间,也使总出行时间减少



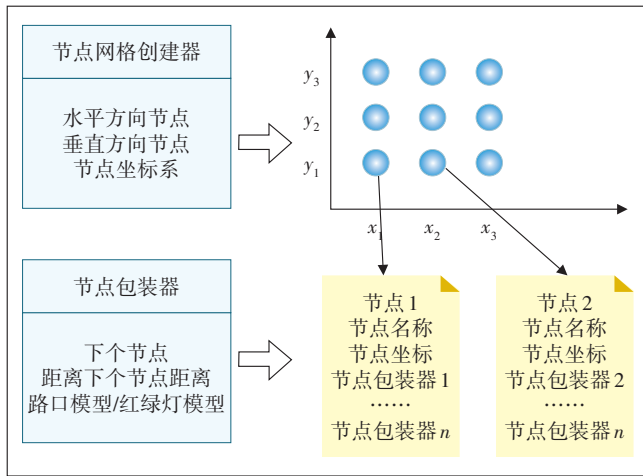


图3 系统设计思路

表2 10 000次模拟实验时间数据

ID	传统最快路径/s			新型最快路径/s		
	驾驶时间	等待时间	出行时间	驾驶时间	等待时间	出行时间
1	850	610	1 460	950	245	1 195
2	810	400	1 210	930	100	1 030
3	860	815	1 675	930	170	1 100
4	880	560	1 440	910	210	1 120
5	820	595	1 415	1 000	165	1 165
6	820	415	1 235	960	160	1 120
7	840	470	1 310	910	265	1 175
8	830	620	1 450	870	175	1 045
9	880	605	1 485	1 010	215	1 225
10	790	660	1 450	950	215	1 165
11	810	710	1 520	930	145	1 075
12	840	880	1 720	920	180	1 100
13	790	450	1 240	940	155	1 095
14	880	545	1 425	1 010	195	1 205
15	810	450	1 260	860	245	1 105
...	...	...	...	...	...	...
Σ	841	574	1 415	928	216	1 144

19.2%，提高了算法的实用性和可行性。

### 3 结束语

随着社会的发展,公众对驾驶体验有了更高的要求,更短的出行时间、更少的等待时间以及稳定的车速是驾驶体验的重要指标。本算法基于稳定的车速,提供了一种出行时间最少、等待时间更短的新型路径规划方案,对于降低交通路口特别是由于等待时间过久导致驾驶员焦躁的事故率、优化用户驾驶体验具有重要意义。

本文综合考虑交通信号灯不同转向的等待时间差异,提出一种最快出行路径规划的新型算法,解决了不同转向等待时间差异对最快路径规划的影响问题。通过与传统最快路径算法的实验对比,证明了本算法的有效性和可行性。目前国内关于解决转向阻尼不同的算法研究较少,本算法可以给予一定的启发。

V2X的完善可以更方便获取到实时交通信号灯数据、道路平均速度、路况等更多的信息;5G与边缘计算的发展为路径规划提供了强大的计算与传输能力;智能驾驶的兴起,对导航算法的要求更高,未来车企竞争核心就是用户体验对比,本算法为车载导航系统以及智慧交通系统的建设提供了理论支持,赋能智慧交通行业数字化转型升级发展,打造车路云一体化智慧交通系统。

### 参考文献:

- [1] ZHU T Y, LI C C, MA S L, et al. An evaluation of travel time on urban road network [C]//2011 11th International Conference on ITS Telecommunications. Manhattan: IEEE, 2011: 497-502.
- [2] 陆锋. 最短路径算法: 分类体系与研究进展[J]. 测绘学报, 2001, 30(3): 269-275.
- [3] BELL M C, GALATIOTO F, GIUFFRÈ T, et al. Novel application of red-light runner proneness theory within traffic microsimulation to an actual signal junction [J]. Accident Analysis & Prevention, 2012 (46): 26-36.
- [4] 郑新夷, 杨艳群, 江苏丹, 等. 交叉路口红信号灯等待时长对驾驶员反应时的影响[J]. 交通信息与安全, 2012, 30(5): 87-89, 101.
- [5] 钱红波. 机动车红灯倒计时对交通安全与通行效率的影响研究[J]. 交通信息与安全, 2011, 29(3): 65-68.
- [6] 任森, 冀杰. 消除“红灯等待”焦急心理的安全措施及可行性分析[J]. 交通标准化, 2010(24): 133-136.
- [7] 焦志锋, 李会仙, 王士军. 一种自动驾驶车辆控制方法及系统、车辆: CN201810501814.1[P]. 2018-05-23.
- [8] 胡林, 杨佳, 郝威, 等. 一种基于城市交通控制信号灯的路径规划方法及系统: CN201611247358.X[P]. 2016-12-29.
- [9] 廖文龙, 何毅, 刘力源, 等. 基于交通信号灯识别的路径规划方法: CN201811542766.7[P]. 2018-12-17.

### 作者简介:

徐铮, 毕业于中南大学, 工程师, 硕士, 主要从事计算机与通信、云计算等工作; 陈璟雯, 毕业于中南大学, 工程师, 硕士, 主要从事空间数据分析工作; 陈聪, 毕业于安徽大学, 学士, 主要从事计算机与通信工作; 姜卿卿, 毕业于东南大学, 硕士, 主要从事UED设计工作。