

一种健康出行路径动态搜索算法与系统实现

徐 铮¹ 邹 滨¹ 郑 忠¹ 蒲 强¹ 杨忠霖¹ 孙国庆²

1 中南大学地球科学与信息物理学院,湖南 长沙,410083
2 湖南省交通规划勘察设计院,湖南 长沙,410008

摘 要:为方便公众优化出行路径,规避或减少空气污染暴露损害,提出一种基于低空气污染暴露的健康出行路径动态搜索算法(dynamic healthy-route search algorithm, DHRSA),并设计开发了相应健康出行路线规划系统。该算法通过融合土地利用回归制图、暴露风险权重估算和 Dijkstra 最短路径搜索算法,基于实时空气污染情景动态规划健康出行路径。以长沙主城区为例进行随机车辆出行方式测试实验,通过比较 DHRSA 算法规划的健康出行路径与传统最短出行路径、最快出行路径的出行暴露风险,验证了该算法的可靠性与系统的实用价值。

关键词:健康出行;路径规划;空气污染;风险评估;Dijkstra 算法

中图分类号:P208 **文献标志码:**A

空气污染正在全球范围内引发系列环境与健康问题,人类的生存和发展由此面临严峻挑战^[1-2]。研究证实,短期或长期空气污染暴露会影响人体器官和系统,甚至诱发慢性呼吸道疾病、心脏病和肺癌^[3]。世界大多数国家正力求通过减排措施来改善空气质量,但短期均难以将浓度直接降低到世界卫生组织规定的健康阈值^[4]。在此背景下,研究与开发新的手段或方法以辅助公众有效规避空气污染暴露风险显得十分必要。

日常步行或乘坐交通工具出行是公众空气污染暴露风险发生的主要途径之一^[5-6]。在明确出行区域各道路段空气质量的基础上,选取空气质量优良路段出行,理论上能够降低人体空气污染暴露风险。国内外已报道的出行路径选择方法或系统多聚焦于出发地与目的地之间的最短距离^[7-8]、最好出行路况^[9-10]、最少时间耗费^[11-12]、最低费用^[13],以及步行路径选择算法^[14]和大规模车辆出行路径选择算法^[15]等。近年来,有学者开始尝试基于空气质量指数(air quality index, AQI)的空气污染低暴露路径选取算法研究^[16],但此类算法仅简单依赖稀疏监测站点 AQI 值和 Kriging 插值方法估计研究区中观尺度空气质量等级空间分布,无法满足城市内部健康出行路径规划对微观尺度空气污染浓度空间变化精细刻画的需求

求^[17-18]。现有算法取决于首要污染物的 AQI 值,但这也只能定性或半定量通过空气污染暴露风险等级来反映人体暴露于空气污染物的危害,未考虑真实的人体空气污染暴露剂量响应关系。同时在路径规划过程中,现有低暴露路径选取算法仅静态地考虑了出发时刻的空气质量浓度,忽略了行驶过程中各出行路段空气质量浓度的变化^[19]。

针对基于 AQI 的空气污染低暴露路径选取算法的缺陷,本文融合土地利用回归(land use regression, LUR)高空间分辨率制图模型、多污染物累积复合暴露风险权重估算方法和 Dijkstra 最短路径搜索算法,提出一种基于高时空分辨率空气质量浓度制图结果的低空气污染暴露健康出行路径动态搜索算法(dynamic healthy-route search algorithm, DHRSA),设计与开发相应出行路径规划系统。作为一种更为科学合理且简单实用的健康出行路径搜索算法,DHRSA 对于指导公众出行、提升地理信息服务的社会化水平具有重要的理论意义与实践价值。

1 DHRSA 算法的理论基础

1.1 LUR 制图

基于地理要素交互作用原理,LUR 制图模型

能够有效构建地理特征指标与城市空气污染指标间的双向映射关系。在空气污染制图领域,LUR制图模型常在监测站点稀疏情景下用于融合相关特征驱动因子,生成高时空分辨率空气污染浓度空间分布图^[20]。其基本原理为^[17]:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \cdots + a_n X_n + u \quad (1)$$

式中, Y 为空气污染物浓度值; X 为地理特征指标,常由各监测站点位置一定缓冲半径范围内的土地利用类型面积占比、交通道路长度或距最近道路距离、风速、风向等变量表征,在此过程中,本研究使用传统圆形缓冲区,分别考虑了 100 m、200 m、300 m、400 m、500 m、800 m、1 km、1.5 km 和 2 km 缓冲区半径,通过计算各缓冲区内地理特征指标与空气污染浓度的相关性,依据相关系数最大为优的原则确定缓冲半径; $a_0 \cdots a_n$ 为 n 个未知参数,分别表示各地理驱动因子对研究区内空气污染浓度值变化的贡献强度; u 为随机误差项。 $a_0 \cdots a_n$ 、 u 均根据最小二乘法确定,计算式如下:

$$\begin{cases} Q(a_0, a_1 \cdots a_i \cdots a_n) = \\ \sum_{j=1}^n (Y_j - a_0 - a_1 X_1 - a_2 X_2 - \cdots - \\ a_i X_i - \cdots - a_n X_n) \\ \min_{a_0, a_1 \cdots a_i \cdots a_n} Q \\ E(u) = 0 \\ \text{Var}(u) = \sigma^2 \end{cases} \quad (2)$$

1.2 空气污染暴露风险权重估算

空气污染暴露对人体健康潜在危害的可能性(空气污染暴露风险)因污染物种类与浓度差异不同。准确估算人体空气污染累积复合暴露风险权重是保障健康出行路径动态搜索结果可靠的前提。针对环保部门识别的 6 种关键空气污染物 P_i ($\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、 SO_2 、 O_3 、 CO),依据文献^[21-23],基于死亡增长率指标和归一化方法:

$$E_i = \frac{M_i}{M_1 + M_2 + \cdots + M_i + \cdots + M_6} \quad (3)$$

确定我国人群暴露于各种空气污染情景的危害响应关系(见表 1)。式(3)中,假定 6 种关键空气污染物的浓度上升对人体健康危害的累积效果为常数 1; E_i 代表空气污染物 P_i 单位浓度上升的暴露危害响应系数归一化结果; M_i 代表空气污染物 P_i 的暴露危害响应关系系数(即死亡增长率)。由此建立顾及暴露响应关系和暴露时长的多污染物累积暴露风险权重估算方法:

$$W_i = E_i \cdot \frac{(C_i^j - C_i^0)}{10} \cdot T, T = \frac{L_j}{V_j} \quad (4)$$

式中, C_i^j 表示道路段 j 上空气污染物 i 的浓度均

值; C_i^0 是世界卫生组织规定的空气质量浓度安全阈值^[4]; E_i 含义同式(3); W_i 表示通过道路段 j 时的累积空气污染暴露风险; T 表示在道路段 j 上的行车时间; L_j 和 V_j 分别表示道路段 j 的长度和该路段的行车速度。

表 1 6 种空气污染物暴露危害响应归一化系数

| Tab. 1 Exposure Response Coefficients of Six Air Pollutants | | | |
|---|--|---------|-------|
| P_i | $M_i / (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}) : \%$ | C_i^0 | E_i |
| $\text{PM}_{2.5}$ | 10 : 0.31 ^[21] | 25 | 0.09 |
| PM_{10} | 10 : 0.31 ^[22] | 50 | 0.09 |
| NO_2 | 10 : 1.40 ^[22] | 200 | 0.42 |
| SO_2 | 10 : 0.71 ^[22] | 20 | 0.21 |
| O_3 | 10 : 0.42 ^[22] | 100 | 0.13 |
| CO | 10 : 0.19 ^[23] | 30 | 0.06 |

2 DHRSA 算法构建

Dijkstra 算法是一种经典最短路径算法,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^[24]。算法在路径搜索过程中以出发点为中心向外层扩展,直至扩展到预设目的地(目标点),且具有求解稳定的特点。在路网结构路阻权值非负情况下,该算法理论上都可以搜索出两点间的最短路径。

与 Dijkstra 算法类似,本文构建的 DHRSA 理论上仍是一种路径最短算法,但区别在于算法参照的不是路网中道路的长度,而是各道路段的暴露风险权值,其算法复杂度与 Dijkstra 相似。健康出行路径规划需要综合考虑各道路段的实时空气污染浓度、空气污染暴露危害响应关系与暴露时长,最终按出行过程中所有道路段空气污染复合暴露危害之和为最小的原则实现路径的动态更新。因而本研究设计的 DHRSA 算法主要包括出发点与目标点匹配、暴露风险权重估算、路径动态选取 3 个基本步骤,路径搜索过程见图 1。

1) 出发点与目标点匹配

针对公众选取的出发点和目标点并不直接在道路上的情景,以出发点位置为圆心,构建 10 m 半径的缓冲区,且按照 1 m 间隔逐步增长缓冲区半径,当缓冲区范围内包含交通道路段时停止,并逐渐缩小缓冲区直至与道路相切,将缓冲区与该交通道路的切点作为道路优化选择的出发点。同理以结束路径选择的终点位置为圆心,将缓冲区与该交通道路的切点作为道路优化选择的目标点。

2) 道路段暴露风险权重估算

DHRSA 以实时生成与动态更新的各空气污

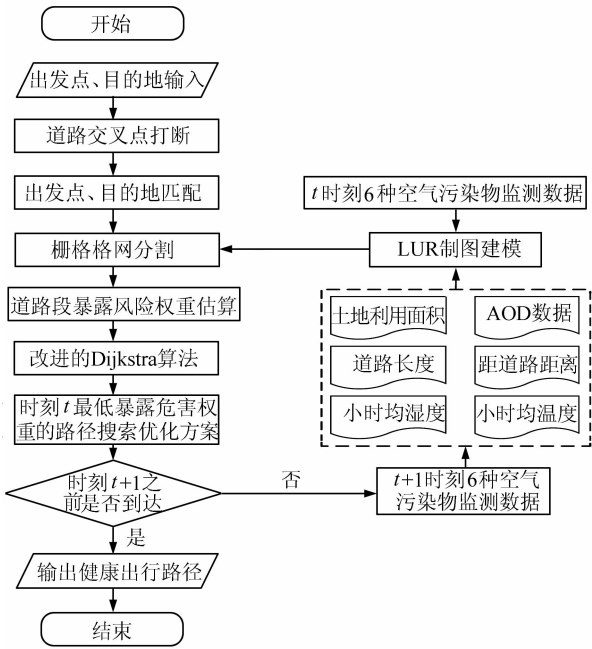


图1 DHRSA 健康路径搜索过程
Fig.1 Flowchart of DHRSA

染物小时浓度空间分布图为基础估算暴露风险权重。在此过程中,将交通道路段与 LUR 空气污染物浓度格网(每个小栅格单位边框)叠加(见图 2),获取格网 (u,v) 截取的道路段暴露风险权重 $W_{u,v}$:

$$W_{u,v} = E_i \cdot \frac{(C_i^t - C_i^0)}{10} \cdot \frac{L_{u,v}}{V} \tag{5}$$

式中, $W_{u,v}$ 表示被格网 (u,v) 截取道路段的暴露风险权重值; $L_{u,v}$ 表示被格网 (u,v) 截取道路段的长度; V 表示该道路段的限速; C_i^t 、 C_i^0 、 E_i 含义同前。

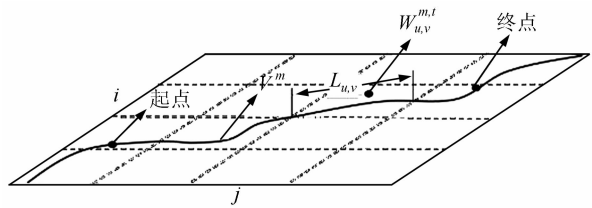


图2 道路段与空气污染浓度网格叠加示意图
Fig.2 Sketch Map of Road Split by Grid

3) 路径动态选取

以上述道路段暴露风险权重估算值为基础,基于 Dijkstra 算法原理,将在 t 时刻从出发点到目标点多道路段暴露风险累加,即可获取所选路径 m 的暴露风险权重值:

$$W^{m,t} = \sum_{u=1, v=1}^{\infty} W_{u,v}^{m,t} \tag{6}$$

式中, $W^{m,t}$ 表示整条道路 m 在 t 时刻的暴露风险权重值; $W_{u,v}^{m,t}$ 表示道路 m 在 t 时刻格网 (i,j) 被截取的道路段距离。暴露风险权重值最小的路径即为健康出行路径。在此过程中,当在初次选定的

健康路径上的出行时间超过 1 h(即以 $t+1$ 时刻仍未到达目的地),需要按照 $t+1$ 时刻空气污染物浓度制图结果重新动态更新各道路段暴露风险。鉴于受到空气污染分布时空变化的影响,算法在 $t+1$ 时刻搜索的路径相对于 t 时刻搜索的路径可能存在沿原路返回的现象,为保障出行的时间效率及到达出行目的地的可能性,算法在路径搜索过程中遵循“往前行,不后退”的原则,即排除 t 时刻已经穿行的路径,直至到达目的地为止。

3 DHRSA 系统实现

3.1 系统总体框架与功能

针对可靠性测试需求,DHRSA 系统从下至上分别设计为数据访问层、业务逻辑层和表示层,包含数据管理、污染制图、路径选取、效益评估 4 个功能模块(见图 3)。数据访问层主要通过地理数据库(File Geodatabase)存放和管理数据;业务逻辑层是系统核心,用于封装 LUR 制图模型、污染暴露风险权重估算模型、DHRSA 模型及其他功能接口;表示层用于接收用户请求与反馈用户 DHRSA 运行结果。数据管理模块用于空间数据的图形化显示与操作,包括地图的操控、文件的加载及相关属性查看;污染制图模块可基于每小时更新的空气污染监测数据实时生成各空气污染物浓度高空间分辨率分布图;路径选取模块主要用于出发点和目的地的设定,基于 DHRSA 算法的健康出行路径搜索;风险评估模块可通过与最短路径比较,从距离、时间、风险权重值 3 方面评估健康出行路径效益。

3.2 系统数据库设计

DHRSA 系统的运行依托基础地理数据和专题属性数据两类数据(见图 4)。基础地理数据用于表征地理空间位置信息,主要以点、线、面 3 种矢量类型(如空气质量监测站点、出行兴趣点、道路、土地利用等)对图形要素进行封装;专题属性数据则是描述空间实体的属性信息(如空气质量监测数据),二者通过属性表中的 ID 实现相互关联,并统一存储在 File Geodatabase 数据库中。

3.3 系统实现与测试

在 Visual Studio 2015 环境、基于 ArcGIS Engine 工具,按照上述系统设计开发实现了健康出行系统(DHRSA 系统)。系统依据遥感影像图选择出行区域,设定出发点与目标点,自动搜索与动态规划健康出行路径,并与最短路径、最快路径进行比较。

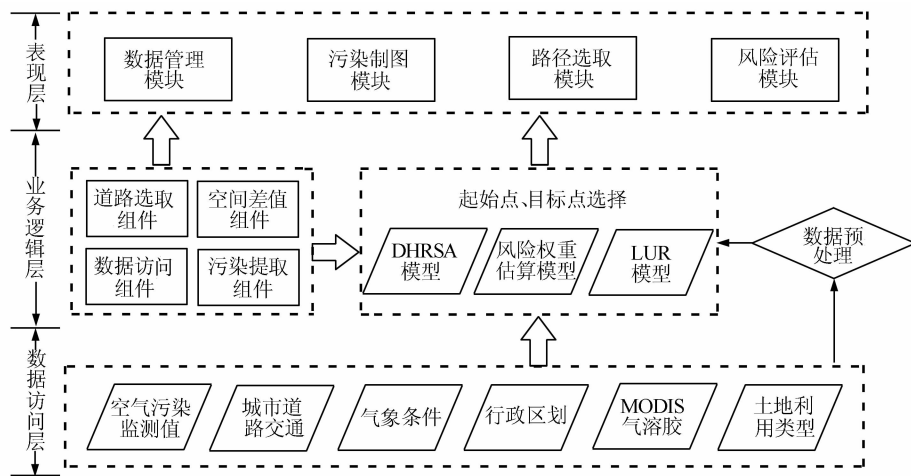


图 3 DHRSA 系统架构图

Fig. 3 System Architecture of DHRSA

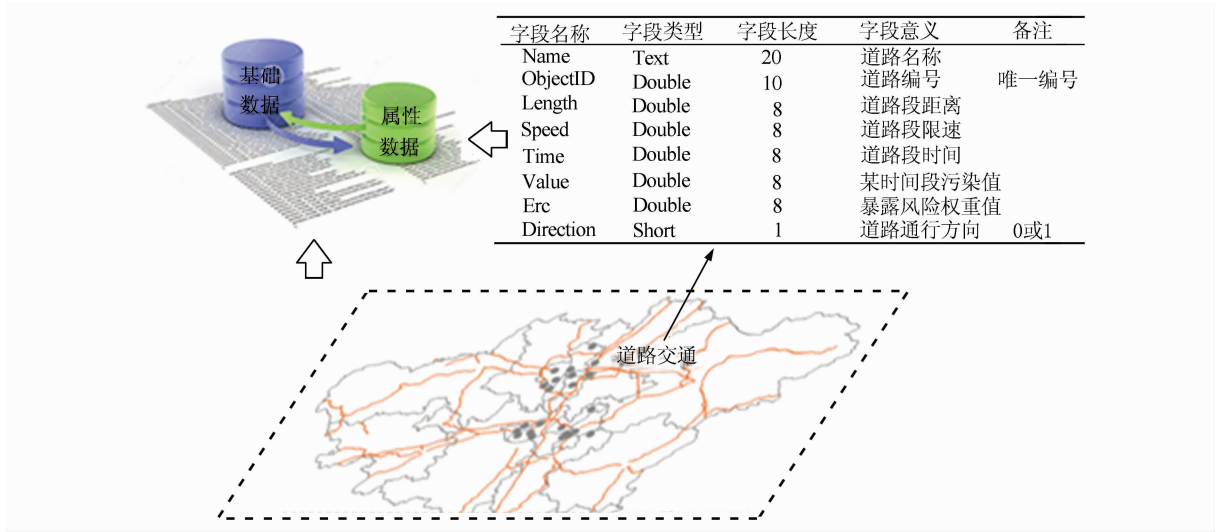


图 4 DHRSA 系统数据组织与管理示意图

Fig. 4 Database Design of Dynamic Healthy-Route Search Algorithm System

为测试 DHRSA 算法与系统的可靠性,以长沙主城区为研究对象,兼顾该区域道路网分布情况,运用 DHRSA 系统,在午高峰时段(11:00~13:00)分别按低污染区到高污染区(图 5 中 A1 到 A2)、中等污染区到中等污染区(图 5 中 B1 到 B2)各随机选取 10 组出发点与目标点开展车辆出行方式健康出行路径规划算法与系统测试。在此过程中,基于发布的国家空气质量监测站点 6 种空气污染物浓度小时数据(PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂、O₃、CO)与其他人工监测数据,构建 LUR 模拟模型(模型拟合 R^2 平均为 0.535),获取各类空气污染物浓度的空间分布(见图 6);结合式(2)、式(3)与表 1 最终确定实验区各路段空气污染暴露风险权重值及健康出行结果(见图 5 和表 2)。

从图 5 与表 2 可以看出,从中等污染区到中等污染区(图 5 中 B1 到 B2),DHRSA 规划的健

康路径位于东侧污染较轻的区域,规避暴露风险效果较好,11:00 出发的暴露风险分别为最短路径与最快路径的 76.6%与 92.2%,12:00 出

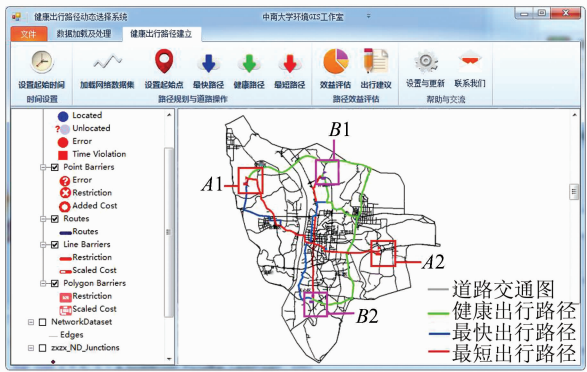


图 5 DHRSA 系统车辆出行方式路径规划示意图

Fig. 5 Sketch Map of DHRSA System in C/S Healthy-Route Search for Vehicle

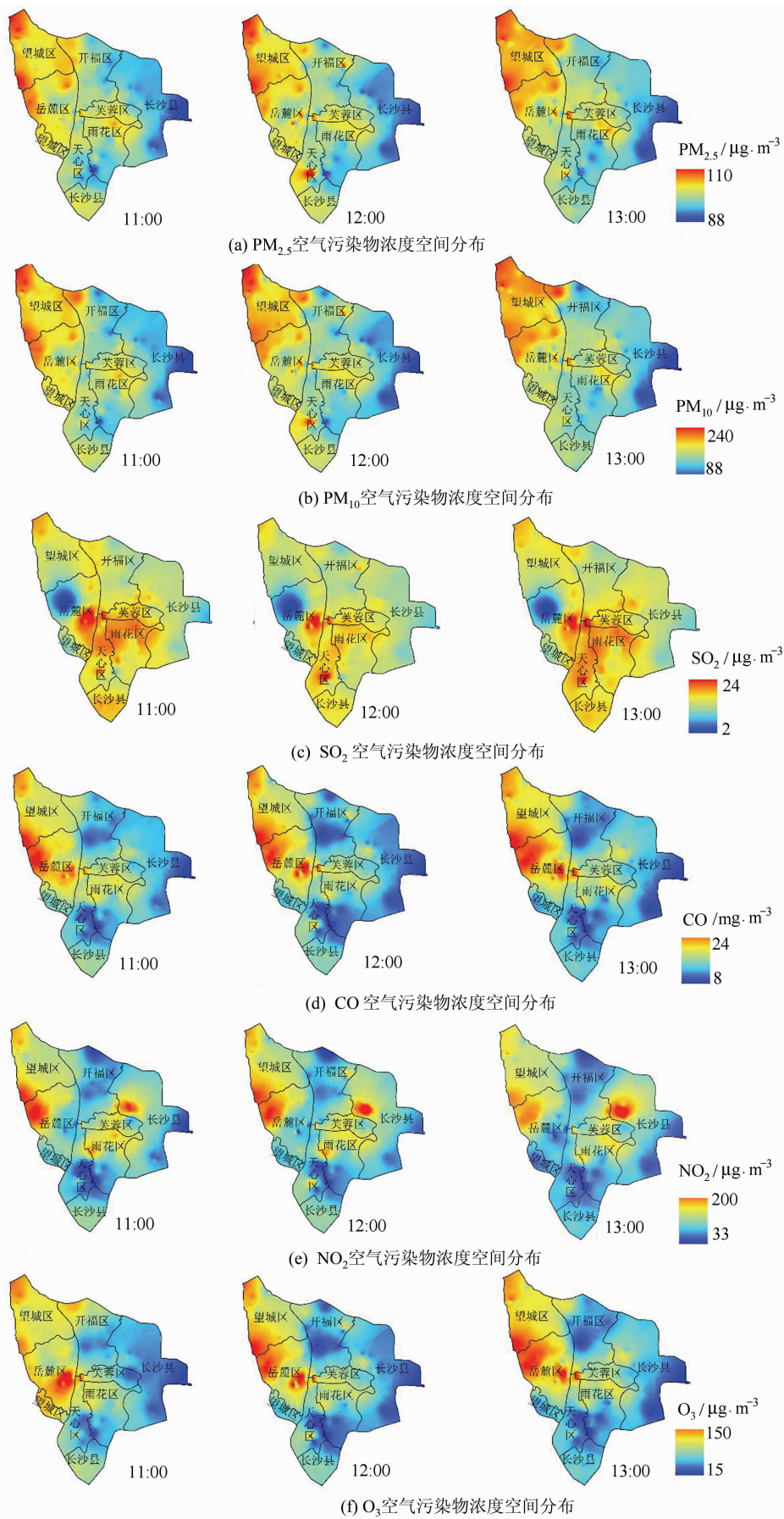


图 6 6 种空气污染物浓度空间分布

Fig. 6 Spatial Distribution of Six Pollutants Concentrations

表 2 DHRSA 系统车辆出行方式路径规划结果

Tab.2 Route Planing Results for Vehicle Planned by DHRSA System

| 时间段 | | 最短路径 | | | 最快路径 | | | 健康路径 | | |
|--------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|------------|
| | | 行车距离 /km | 行车时间 /min | 暴露风险 / % | 行车距离 /km | 行车时间 /min | 暴露风险 /% | 行车距离 /km | 行车时间 /min | 暴露风险 /% |
| 从低污 染区到 高污染 区 | 11:00~12:00 | 17.0 | 20.0 | 15.35 | 19.9 | 20.0 | 15.00 | 27.1 | 20.0 | 14.02 |
| | 12:00~13:00 | 9.3 | 9.7 | 7.84 | 8.7 | 7.6 | 6.59 | 13.5 | 9.4 | 6.16 |
| | 11:00~13:00 | 26.3 | 29.7 | 23.19 | 28.6 | 27.6 | 21.59 | 40.6 | 29.4 | 20.18 |
| | 12:00~13:00 | 17.0 | 20.0 | 16.02 | 19.9 | 20.0 | 15.94 | 27.1 | 20.0 | 14.31 |
| | 13:00~14:00 | 9.3 | 9.7 | 7.28 | 8.7 | 7.6 | 5.92 | 13.5 | 9.4 | 6.03 |
| | 12:00~14:00 | 26.3 | 29.7 | 23.30 | 28.6 | 27.6 | 21.86 | 40.6 | 29.4 | 20.34 |
| 从中等 污染区 到中等 污染区 | 11:00~12:00 | 17.0 | 20.0 | 16.88 | 26.1 | 20.0 | 15.67 | 29.6 | 20.0 | 14.01 |
| | 12:00~13:00 | 17.5 | 17.0 | 14.76 | 15.6 | 13.0 | 10.60 | 17.9 | 13.6 | 10.21 |
| | 11:00~13:00 | 34.6 | 37.0 | 31.64 | 41.7 | 33.0 | 26.27 | 47.5 | 33.6 | 24.22 |
| | 12:00~13:00 | 17.0 | 20.0 | 18.90 | 26.1 | 20.0 | 17.83 | 29.6 | 20.0 | 16.98 |
| | 13:00~14:00 | 17.5 | 17.0 | 15.08 | 15.6 | 13.0 | 10.88 | 17.9 | 13.6 | 10.64 |
| | 12:00~14:00 | 34.6 | 37.0 | 33.98 | 41.7 | 33.0 | 28.71 | 47.5 | 33.6 | 27.62 |

的暴露风险分别为最短路径与最快路径的81.1%与 96.1%。从低污染区到高污染区(图 5 中 A1 到 A2),11:00 与 12:00 的健康路径的暴露风险也有一定的规避效果,平均为最短路径与最快路径的 87.1%与 93.3%。由此可知,DHRSA 系统总体上可以较好地辅助公众选择空气污染较轻的路径,进而规避空气污染暴露风险。表 2 还表明,健康路径规避空气污染暴露风险的效果有时也会因出行距离增大、增加暴露时长而减弱。

值得注意的是,综合考虑道路实时拥堵数据获取困难、车辆内外暴露情景浓度差异系数值相对稳定以及理论算法测试的必要性等原因,本文在基于车辆出行方式的案例测试实验中,采用道路限速作为车辆的行驶速度,将车辆外暴露情景浓度等同为车辆内暴露情景浓度。尽管这种简化方式不影响对距离最短、出行时间最短、暴露风险最小这 3 种出行路径暴露风险规避优劣性的相对评估,但由此基于相对暴露风险值的暴露风险规避效果在算法的实践推广应用中需要结合真正的出行方式(步行、车辆、步行和车辆)和出行条件(步行速度、车辆行驶速度)做进一步的探讨。

4 结 语

相对传统出行路径规划仅考虑距离最短、路况最好、价格最低等因素,本研究首次构建了一种以保障公众健康为目的的健康出行路径动态搜索算法,并由此开发了 DHRSA 健康出行路径规划系统。系统提供的新型路线规划模式,在我国当前空气污染短期难以降低到世界卫生组织规定的安全阈值标准的情景下,可以用于指导公众尤其

是敏感人群(孩子、父母、老人、患有呼吸道疾病的人)有效规避空气污染暴露风险。同时,系统对于提升中国地理信息服务的公众化服务水平也具有重要的借鉴意义。

参 考 文 献

[1] Sacks J D, Stanek L W, Luben T J, et al. Particulate Matter Induced Health Effects; Who is Susceptible? [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2010, 119(4): 446-454

[2] Fleischer N L, Merilaldi M, van Donkelaar A, et al. Outdoor Air Pollution, Preterm Birth, and Low Birth Weight: Analysis of the World Health Organization Global Survey on Maternal and Perinatal Health [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2014, 122(4): 425

[3] Kampa M, Castanas E. Human Health Effects of Air Pollution[J]. *Environmental Pollution*, 2008, 151(2): 362-367

[4] World Health Organization. Air Quality Guidelines: Global Update 2005 [OL]. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1, 2006

[5] Amorim J H, Valente J, Pimentel C, et al. Modeling the Effects of Urban Morphology, Traffic and Pedestrian Dynamics on Students' Exposure to Air Pollution[M]//Air Pollution Modeling and Its Application XXIII. Berlin: Springer-Verlag,2014

[6] Jensen S S. Mapping Human Exposure to Traffic Air Pollution Using GIS[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 1998, 61(1): 385-392

[7] Potamias M, Bonchi F, Castillo C, et al. Fast Shortest

- Path Distance Estimation in Large Networks[C]. The 18th ACM Conference on Information and Knowledge Management, Hong Kong, China, 2009
- [8] Ren Zhiguo, Guo Jian, Li Aiguang, et al. Optimal Path Algorithm Enhancement Based on Cellular Automation[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2015, 19(1): 108-115 (任志国, 郭健, 李爱光, 等. 元胞自动机最短路径算法优化[J]. 遥感学报, 2015, 19(1): 108-115)
- [9] Litzinger P, Navratil G, Sivertun Å, et al. Using-Weather Information to Improve Route Planning [M]//Bridging the Geographic Information Sciences. Berlin: Springer-Verlag, 2012
- [10] Shi Junyong, Zhang Xiaoyi. Study and Implementation of Real-Time Traffic Information Avigation Terminal Based on GPRS[J]. *Computer Technology and Development*, 2011, 21(9): 156-159 (史军勇, 张晓煜. 基于 GPRS 的实时路况车载导航终端研究与实现[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(9): 156-159)
- [11] Shang S, Lu H, Pedersen T B, et al. Finding Traffic-Aware Fastest Paths in Spatial Networks[M]//Advances in Spatial and Temporal Databases. Berlin: Springer-Verlag, 2013
- [12] Zhu Han, Li Huaiyu, Xiao Han, et al. Shortest Time Path Algorithm Based on Shared Location Data [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2015, 51(1): 86-92 (朱瀚, 李怀瑜, 肖汉, 等. 基于共享位置数据的最短时间路径算法[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(1): 86-92)
- [13] Romanick I D. Method for Determining and Outputting Travel Instructions for Most Fuel-Efficient Route [OL]. <https://d.gggkai.men/extdomains/www.google.com/patents/US20080133120>, 2006
- [14] Zhang Xing, Li Qingquan, Fang Zhixiang, et al. Land Mark and Branch-based Pedestrian Route Complexity and Selection Algorithm[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(10): 1 239-1 242 (张星, 李清泉, 方志祥, 等. 顾及地标与道路分支的行人导航路径选择算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(10): 1 239-1 242)
- [15] Tu Wei, Li Qingquan, Fang Zhixiang. A Heuristic Algorithm for Large Scale Vehicle Routing Problem [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(3): 307-310 (涂伟, 李清泉, 方志祥. 一种大规模车辆路径问题的启发式算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(3): 307-310)
- [16] Sharker M H, Karimi H A. Computing Least Air Pollution Exposure Routes[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(2): 343-362
- [17] Zou B, Luo Y, Wan N, et al. Performance Comparison of LUR and OK in PM_{2.5} Concentration Mapping: A Multidimensional Perspective[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5(5): 8 698
- [18] Meng X, Chen L, Cai J, et al. A Land Use Regression Model for Estimating the NO₂ Concentration in Shanghai, China [J]. *Environmental Research*, 2015, 137: 308-315
- [19] Xu J, Guo L, Ding Z, et al. Traffic Aware Route Planning in Dynamic Road Networks[M]//Database Systems for Advanced Applications. Berlin: Springer-Verlag, 2012
- [20] Hoek G, Beelen R, de Hoogh K, et al. A Review of Land-use Regression Models to Assess Spatial Variation of Outdoor Air Pollution[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(33): 7 561-7 578
- [21] Wang Deqing, Wang Baoqing, Bai Zhipeng. Meta-Analysis of Association Between Air Fine Particular and Daily Mortality of Residents[J]. *Journal of Environment and Health*, 2012, 29(6): 529-532 (王德庆, 王宝庆, 白志鹏. PM_{2.5}污染与居民每日死亡率关系的 Meta 分析[J]. 环境与健康杂志, 2012, 29(6): 529-532)
- [22] Lai H K, Tsang H, Wong C M. Meta-Analysis of Adverse Health Effects Due to Air Pollution in Chinese Populations[J]. *BMC Public Health*, 2013, 13(1): 360
- [23] Atkinson R W, Cohen A, Mehta S, et al. Systematic Review and Meta-Analysis of Epidemiological Time-Series Studies on Outdoor Air Pollution and Health in Asia[J]. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 2012, 5(4): 383-391
- [24] Dijkstra E W. A Note on Two Problems in Connection with Graphs [J]. *Numerische Mathematik*, 1959, 1(1): 269-271

A Dynamic Healthy-Route Search Algorithm and System Realization

XU Zheng¹ ZOU Bin¹ ZHENG Zhong¹ PU Qiang¹ YANG Zhonglin¹ SUN Guoqing²

1 School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, China
2 Hunan Provincial Communication Planning and Survey, Changsha 410008, China

Abstract: In order to reduce the public air pollution exposure risk at daily comminuting time, a dynamic healthy-route searching algorithm (DHRSA) is proposed and consequently a healthy-route searching system is developed in this paper. The system can be applied to search the healthy-route dynamically, by integrating the land use regression air concentration mapping model, the exposure risk weight estimated model and the Dijkstra searching method. Through the case study of random tests for vehicle in the Changsha urban agglomeration area, results show that the potential population exposure risk can be reduced significantly through healthy-routes comparing to the shortest routes and the least travel time routes, which indicates the reliability and practical value of DHRSA and the healthy-route searching system.

Key words: healthy travel; route planning; air pollution; risk assessment; Dijkstra algorithm

First author: XU Zheng, master, specializes in environmental geographic information service. E-mail: txwdxz@163.com
Corresponding author: ZOU Bin, PhD, professor. E-mail: 210010@csu.edu.cn
Foundation support: The Open Fund of University Innovation Platform, Hunan Under Grant, No. 15K132.

(上接第 144 页)

and tracking with cameras or laser has become a popular research topic. Compared with camera, multi-layer laser data is more suitable to estimate 3D model of object and predict motion. So 3D LiDAR is widely used in autonomous driving system. Model-based object tracking framework used in this paper relies on Kalman filter. We extract segmentation in each layer before clustering, which accelerates our detection step. Considering sub-segmentation and super-segmentation happens from time to time in object detection using sparse laser data, we associate the tracking history information with segmentation processing in a fast way. The proposed algorithm in this paper has been applied to the multi-layer laser set up on our autonomous driving vehicle. Experiments demonstrate the applicability and efficiency of our proposed algorithm under urban driving environment. On average, single frame processing takes 58 ms.

Key words: moving object tracking; point cloud; Kalman filter; urban environment; autonomous driving

First author: YE Yutong, postgraduate, specializes in the 3D point cloud processing and application in intelligent transportation system. E-mail: ytye@whu.edu.cn
Corresponding author: LI Bijun, PhD, professor. E-mail: lee@whu.edu.cn
Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41671441; The State Key Program of National Natural Science Foundation of China, No. 41531177.