

基于OpenStreetMap的城市自行车网建模与 多判据路径规划

宋青¹, 李晓磊², 李猛¹

(1. 济南大学 自动化与电气工程学院, 济南 250022; 2. 山东大学 控制科学与工程学院, 济南 250061)

摘要: 自行车交通是一种健康、绿色、环保的交通出行方式, 合理地规划自行车出行路线对于满足骑行者多元化出行需求、构建安全规范的城市交通出行环境具有重要的意义。在对真实骑行者路径选择行为深入分析的基础上, 提出了基于OpenStreetMap的城市自行车网络的构建方法及基于其上的多判据自行车路径优化的数学模型, 并给出了求解该模型的一种基于聚类的最优多判据路径规划方法。实验仿真结果表明, 该模型及方法能够生成满足骑行者真实需求的多判据路线方案。

关键词: 城市交通; 自行车路径规划; 多判据优化; 自行车网络; 建模; 聚类

OpenStreetMap Based Modeling and Multi-criteria Routing of Urban Cycleway Network

SONG Qing¹, LI Xiao-lei², LI Meng¹

(1. School of Electrical Engineering, University of Jinan, Jinan 250022, China; 2. School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: Cycling provides a healthy and environmental form of transport for most segments of the population. Planning the bicycle routes properly has important significance for satisfying the needs of cyclists with different travel purpose, and for the formation of safe and correct urban travel environments. Based on a well study of real-world cycle route choice behavior, a cycleway network is constructed based on the OpenStreetMap data, and a multi-criteria bicycle routing model and an optimum clustering-based multi-criteria route planning algorithm are then proposed. The simulation results demonstrate the capability of the proposed method to generate a practical set of bicycle routes in realistic conditions.

Keywords: urban traffic; bicycle routing; multi-criteria optimization; cycleway network; modeling; clustering

0 引言

随着城市交通拥堵和污染的日益严重, 自行车重新成为人们的重要交通工具。作为一种经济便捷的交通出行方式, 自行车交通有着机动性良好、

绿色环保和有益身体健康的特点^[1], 越来越受到人们的普遍欢迎。与驾车模式不同, 骑行者在选择规划路径时考虑的因素更为复杂。调查研究显示除了时间、距离这类常见路径规划要素, 骑行者还非常

收稿日期: 2016-10-12

修回日期: 2016-12-11

录用日期: 2016-12-19

基金项目: 山东省自然科学基金/ Natural Science Foundation of Shandong Province of China(ZR2015PG004); 山东省高等学校科技计划项目/ Shandong Province Higher Educational Science and Technology Program(J16LN27)。

作者简介: 宋青(1983-), 女, 山东青州人, 讲师, 博士。

*通信作者: qsong83@gmail.com

关注坡度、转弯频率、路口交通信号控制、噪音、污染、景色和交通流量^[2-3]。此外,不同骑行者在选择规划路径时的侧重要素不同,同时还会受天气状况及出行目的不同的影响^[2,4],这样一种依赖于用户和环境的多判据特性使得自行车路径规划异常复杂,对多判据自行车路径规划问题进行科学合理的数学建模和优化求解对于构建安全规范的交通出行环境、满足多元化出行需求具有重大的现实意义。

现有交通网络数据信息的日益丰富(OpenStreetMap 可提供详细到道路、交叉口类型、属性及表面材质等数据信息)及对出行人员的偏好、出行行为学研究的深入^[2,3,5],使得可以定义更为精确的描述骑行者偏好的优化判据及评价指标,建立更为合理的多判据自行车出行网络及路径优化模型,从而为生成更加实用、符合骑行者个性化需求的出行路径方案提供了保障。

1 问题描述与建模

1.1 基于 OSM 数据的自行车网络构建

OpenStreetMap(OSM)是一个网上地图协作计划,目标是创造一个能让所有人编辑并自由下载的世界地图。由于参与志愿者数量庞大,提供的信

息更加丰富,使得 OSM 数据已经在世界的若干地方比地图提供商提供的数据更加详细^[6],有利于更加准确的构建自行车网络模型,并据此开展多判据路径规划应用。

OSM 数据使用基于 XML 格式的文件进行封装,其地理信息描述采用的是一种包含拓扑性质的数据结构,针对 3 类地图构成元素即点(Node)、路(Way)和关系(Relation)分别描述,并通过标签 entity::key::value 记录对应于各点、路和关系上的特征属性数据信息。通过对特征属性数据进行分析,确立 OSM 数据中允许骑行的自行车网络的构成要素,如表 1 所示。 W_1 是构成自行车网络的一类重要路的集合,这部分路属于某一关系,同时具有标签值“route=bicycle”;除了自行车专用车道,某些公路也允许自行车通行,其对应属性值为 W_2 中的任一类型,此外某些轮渡线路允许携带自行车,这部分路同时具有属性标签值“route=ferry”和“bicycle=yes”,用集合 W_3 表示。由于特征属性标签不唯一,上述自行车网络构建数据中亦可能包含其他标签,声明该路并不适合骑行,从而需要从构建数据中剔除,这部分用集合 W_4 表示。综上,自行车网络可通过如下数据集构建:
 $W = \{W_1 \cup W_2 \cup W_3\} \setminus \{W_4\}$.

表 1 自行车网络构建数据标签列表
Table 1 Summary of tags used to construct a cycleway network

路集	entity 类型	key 值	value 值
W_1	relation	route	bicycle
W_2	way	highway	bridleway, cycleway, living_street, path, pedestrian, primary, primary_link, residential, road, secondary, secondary_link, service, steps, tertiary, tertiary_link, track, unclassified, footway
W_3	relation	route	ferry
W_4	way	bicycle	no
W_4	way	access	customers, delivery, no, private

1.2 自行车网络优化建模

基于所提取的网络构建数据,可以将自行车网络建模为一个加权有向图 $G=(V,E,g,h,l,f,\vec{c},\vec{r})$,其中 V 为节点集合,用来表示自行车网络中路段的起讫点; $E=\{(u,v)|(u,v \in V) \wedge (u \neq v)\}$ 为边的集合,用来表示自行车网络中的路段。对于每个节点 $v \in V$,函数 $g:V \rightarrow \mathbb{R}^2$ 定义了节点的经纬度值,函数 $h:V \rightarrow \mathbb{R}$ 定义了节点的海拔高度。对于每条边 $(u,v) \in E$,函数

$l:E \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ 定义了边的长度,函数 $f:E \rightarrow \wp(F)$ 定义了该边上的特征属性集,用来描述 OSM 数据中该边对应路段的特征属性信息(如路段的表面材质、道路等级等)。所有边的特征属性定义为集合 F 。由于每条边上的特征属性并不唯一,因此 $f((u,v)) \subseteq \wp(F)$,且 $|f((u,v))| \geq 1$ 。

在多判据问题中,边的权值可以表示为一个 k 维向量 $\vec{c}=(c_1, c_2, \dots, c_k)$ 。对任意优化判据 $i \in \{1, 2, \dots, k\}$,

权值函数 $c_i: E \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ 计算了给定边 $(u, v) \in E$ 上的第 i 维权重值. $\vec{r} = (r_1, r_2, \dots, r_k)$ 为定义在各边上的判据系数向量, 用来刻画该边上的特征属性数据对各优化判据的综合影响, 如具有自行车专用车道和好的表面材质的路段将会对时间判据产生促进作用, 即对给定边 $(u, v) \in E$, 判据系数函数 $r_i: \wp(F) \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ 定义了特征属性集 $f((u, v)) \subseteq \wp(F)$ 对优化判据 $i \in (1, 2, \dots, k)$ 的影响情况.

因此, 多判据自行车路径规划问题可以描述为二元组 $B = (G, r)$, 其中:

- $G = (V, E, g, h, l, f, \vec{c}, \vec{r})$ 为自行车网络模型;
- $r = (o, d, s)$ 为路径请求, 其中 $o \in V$ 为起始地, $d \in V$ 为目的地, $s \in \mathbb{R}^+$ 为平均骑行速度.

多判据自行车路径规划问题的解是一个 Pareto 非支配解集^[7], 记为 $\Pi = \{\pi \mid \pi = \langle u_0(o), u_1, u_2, \dots, u_n(d) \rangle\}$, 其中每一个解都形成一条从起始地 o 到目的地 d 的有向非支配路径, 对应路径成本记为 $\vec{C}^\pi = (C_1^\pi, C_2^\pi, \dots, C_k^\pi)$, 其中 $C_i^\pi = \sum_{j=0}^{n-1} c_i(u_j, u_{j+1})$. 称解 $\pi^1 \in \Pi$ 支配解 $\pi^2 \in \Pi$, 当且仅当 $C_i^{\pi^1} \leq C_i^{\pi^2}$ 对所有的 $1 \leq i \leq k$ 成立, 且至少存在一个 $j (1 \leq j \leq k)$ 使得 $C_j^{\pi^1} < C_j^{\pi^2}$ 成立. Pareto 解集中所有路径的成本记为 $C = \{\vec{C}^\pi\}$.

1.3 优化判据定义

结合对真实骑行者的路径选择偏好的研究^[2-3], 同时考虑到优化判据数目过多会导致解空间急剧增大、路径规划计算时间增长, 因此考虑一个三判据自行车路径优化问题, 对骑行者关注的时间判据、舒适度判据和平坦度判据, 依次给出如下定义.

1.3.1 时间判据

时间是骑行者规划路径时关注的一个重要指标, 特别是在上下班途中, 骑行者通常会选择到目的地的一条时间最短路径. 为了模拟路段上的台阶、人行横道这类特征属性对骑行速度造成的影响, 定义减速函数 $q: \wp(F) \rightarrow \mathbb{R}_0^+$, 用来表示在给定边 $(u, v) \in E$ 上因该类特征属性引起的时间延迟.

另外, 高度变化也会影响骑行速度. 对于上坡情形, 定义垂直上升函数 $a: E \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ 和垂直上升角度

函数 $a': E \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ 为

$$a((u, v)) = \begin{cases} h(v) - h(u), & h(v) > h(u) \\ 0, & h(v) \leq h(u) \end{cases} \quad (1)$$

$$a'((u, v)) = \frac{a((u, v))}{l((u, v))} \quad (2)$$

类似地, 对于下坡情形, 定义垂直下降函数 $d: E \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ 和垂直下降角度函数 $d': E \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ 为

$$d((u, v)) = \begin{cases} h(u) - h(v), & h(u) > h(v) \\ 0, & h(u) \leq h(v) \end{cases} \quad (3)$$

$$d'((u, v)) = \frac{d((u, v))}{l((u, v))} \quad (4)$$

为了模拟给定边 $(u, v) \in E$ 上因坡度下降而引起的骑行速度的加快, 定义下坡加速乘子 $s_d: E \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$ 为

$$s_d((u, v), s_{dmax}) = \begin{cases} s_{dmax}, & d'((u, v)) > d'_c \\ \frac{s_{dmax} - 1}{d'_c} \cdot d'((u, v)) + 1, & d'((u, v)) \leq d'_c \end{cases} \quad (5)$$

式中: $s_{dmax} \in \mathbb{R}^+$ 为预设的下坡加速乘子上限值; $d'_c \in \mathbb{R}^+$ 为垂直下降角临界值, 即当下坡角度超过 d'_c 时, 加速乘子取上限值 s_{dmax} . 这反映了在实际骑行过程中陡坡引起的加速比缓坡要快, 同时受制于自行车物理限制、空气阻力及安全等因素, 所引起的加速只能在有限范围内.

综合考虑骑行路段长度、高度变化及相关属性要素的影响, 可以将时间优化判据定义为

$$c_1((u, v)) = \frac{l((u, v)) + a_1 a((u, v))}{s \cdot s_d((u, v), s_{dmax}) \cdot r_1((u, v))} + q((u, v)) \quad (6)$$

式中: s 为平均骑行速度; a_1 为上坡惩罚系数; 判据系数 $r_1((u, v))$ 反映了路段的特征属性(如表面材料、道路类别等)对骑行速度的影响. 该定义式能够模拟平路及上下坡路段上的骑行时间, 当路段为上坡或平路时 $s_d((u, v), s_{dmax}) = 1$, 当下坡或平路时 $a((u, v)) = 0$.

1.3.2 舒适度判据

舒适度是骑行者关注的又一项重要指标, 这里用判据系数 $r_2((u, v))$ 来描述路段 (u, v) 上的舒适度情况. 舒适度体现在以下两个方面: 一是道路的表面情况, 如道路类型、表面材质等是否适宜骑行、是否有台阶类障碍物需要扛自行车, 这类与道路表面相关的舒适度用系数 $r_2((u, v))$ 来描述, 其取值越小则该路段的骑行舒适度越高; 二是道路的交通

量及交通设施情况,如道路类型是否为车流量较低路段、是否有自行车专用车道,用系数 $r_i((u,v))$ 来描述,其取值越小则车流量越低越适宜骑行.为最大限度地避免其中某一系数引起的舒适度的降低,使用 $r_s((u,v))$ 和 $r_i((u,v))$ 两者的最大值来定义路段上的舒适度,舒适度判据定义为

$$c_2((u,v)) = r_2((u,v)) \quad (7)$$

$$r_2((u,v)) = \max\{r_s((u,v)), r_i((u,v))\} \quad (8)$$

1.3.3 平坦度判据

平坦度也是一项重要的骑行指标,部分骑行者在规划路径时倾向于选择较为平坦的、避开上坡路段的路径,因此平坦度判据的定义主要考量坡度的变化,通过上坡惩罚系数 a_i 与垂直上升高度 $a((u,v))$ 之积来模拟骑行者在上坡路段时相比于平路骑行时的体感距离的增长;另外,通过判据系数 $r_3((u,v))$ 来模拟由路段 (u,v) 的特征属性数据而体现的道路平坦度情况.平坦度判据定义为

$$c_3((u,v)) = \frac{a_i a((u,v))}{s} \cdot r_3((u,v)) \quad (9)$$

2 多判据路径规划算法设计

针对多判据自行车路径规划问题的求解,采用一种多标号路径搜索算法首先求取 Pareto 非支配解集 $\Pi = \{\pi\}$,并通过对解集聚类分析进而提取出代表性路径方案.

2.1 多标号路径搜索算法

多标号路径搜索算法是 Dijkstra 算法基础上的一种拓展方法^[8].针对多判据自行车路径规划问题,节点标号不再是一维数值而是一个 k 维向量的形式,每一维对应着一个优化判据.为便于算法执行,定义如下变量结构:对于每个节点 $u \in V$,其标号 $L(u) = (u, C_1(u), C_2(u), \dots, C_k(u), L^p(u))$ 依次表示当前节点、从起始地 o 到当前节点 u 的路径成本及最优路径上当前标号的前一个标号 $L^p(u)$.定义优先队列 Q 用来维护路径搜索过程中生成的所有标号.由于每个节点可能被搜索多次进而产生多个非支配标号,因此针对每个节点 u 定义袋结构 $Bag(u)$,用来维护该节点上的所有非支配标号.

多标号路径搜索算法的具体步骤如下:

Step 1 初始化.

对于一个 k 判据路径优化问题,初始化起始地 o

的标号为 $L(o) = (o, C_1(o), C_2(o), \dots, C_k(o), null)$,其中 $C_i(o) = 0, i = 1, 2, \dots, k$.将初始标号 $L(o)$ 插入到优先队列 Q 和 $Bag(o)$ 中.

Step 2 标号延伸.

从优先队列 Q 中提取当前最小标号(按路径成本向量的字典序排序) $current := (u, C_1(u), C_2(u), \dots, C_k(u), L^p(u))$,对于从当前节点 u 出发的边 (u,v) ,依次执行如下操作:

① 计算经由节点 u 到 v 的新路径成本 $(C'_1(v), C'_2(v), \dots, C'_k(v))$,即将边 (u,v) 的权值与当前到节点 u 的路径成本 $(C_1(u), C_2(u), \dots, C_k(u))$ 相加.如果新路径成本不被 $Bag(v)$ 中的任意标号所支配,则创建新标号 $(v, C'_1(v), \dots, C'_k(v), current)$,并将该标号插入到优先队列 Q 和 $Bag(v)$ 中.

② 检查是否存在标号 $L(v) \in Bag(v)$ 被新路径成本 $(C'_1(v), C'_2(v), \dots, C'_k(v))$ 所支配,如果存在则将 $L(v)$ 从优先队列 Q 和 $Bag(v)$ 中移除.

Step 3 终止条件.

如果优先队列 Q 为空,则算法完成,退出搜索;否则,转到 Step2 再继续.

为加快算法执行,在标号数据结构中记录了当前标号 $L(u)$ 的前一个标号 $L^p(u)$,一旦标号延伸环节所指向节点 v 为 $L^p(u)$ 中的节点,则 Step2 不需要执行任何操作,即该搜索分支终止.另外,上述标号数据结构有利于获取最优路径构成,找出从起始地 o 到目的地 d 顺次经过的所有节点.

2.2 路径选择算法

由于多标号路径搜索的结果是一个包含所有非支配路径的 Pareto 解集,其中许多路径具有较高的相似度,因此需要从中提取出有代表性的路径方案,供不同偏好用户选择.通过对解集 $\Pi = \{\pi\}$ 进行物理空间聚类,进而从各个聚类中选取代表性路径方案,可以最终获得具有较高物理空间差异和成本差异的路径规划结果.

路径选择算法的具体步骤如下:

Step 1 路径间距离评估.

使用杰卡德距离^[9]来度量路径之间的差异性,对路径方案 $\pi^p, \pi^q \in \Pi$,其路径间距离评估式定义为

$$d_j(\pi^p, \pi^q) = \frac{|\pi^p \cup \pi^q| - |\pi^p \cap \pi^q|}{|\pi^p \cup \pi^q| \setminus \{o, d\}} \quad (10)$$

Step 2 路径聚类.

基于 Step1 的距离度量,采用文献[10]的聚类算法,将 Pareto 解集 $\Pi = \{\pi\}$ 划分为 w 个聚类.

Step 3 路径选择.

路径选择过程分如下两个阶段:

① 依次找出 Pareto 解集中对应每一项优化判据成本最小的路径方案,即解集中具有最小 $C_1(d), C_2(d), \dots, C_k(d)$ 值的路径方案,记为 π^* ;

② 针对每一个不包含 π^* 的聚类,找出其中到其他聚类的路径间距离最大的路径方案.

可见,每一个聚类中都有相应路径被选出,最终供用户选择的路径方案数在 w 到 $(k+w-1)$ 之间,取决于 π^* 在各个聚类的分布情况,由此获得了具有较高物理空间差异性同时保留最小判据成本的路径规划结果.

3 仿真实验

为了验证所提出的多判据自行车路径优化模型及求解算法在真实网络应用中的有效性,以布拉格市中心自行车网络为例进行了实验测试,其网络由 9 411 个节点,20 420 条边构成.提取其 OSM 数据中与自行车路径优化相关的特征属性并将其划分为 Surface、Obstacles、Dismount、Bicycles、Motor roads 和 Crossings 等 6 类,每类特征属性对各优化判据的对应影响关系如表 2 所示,影响大小通过判据系数基值设置,如 Surface 类特征属性对时间和舒适度判据的基值设置如表 3 所示,其中 r'_1 为时间判据基值, r'_2 为舒适度判据基值.边 $(u, v) \in E$ 上的判据系数由该边所有特征属性基值决定,实验中设定时间判据系数 $r_1((u, v)) = \min_{p \in f((u, v))} r'_1(p)$,舒适度判据系数 $r_2((u, v)) = \max_{p \in f((u, v))} r'_2(p)$.针对平坦度判据,这里仅考虑上坡影响,故而设定平坦度判据系数 $r_3((u, v)) = 1$.

表 4 为与特征属性相关的减速函数基值 q' 的参数设置,边 $(u, v) \in E$ 上的减速函数取值 $q((u, v)) = \max_{p \in f((u, v))} q'(p)$.实验中随机生成不同起始地、目的地的路径请求,设置平均骑行速度 $s = 14$ km/h,上坡惩罚系数 $a_1 = 13$ (依据文献[2]对真实路径选择行为研究),下坡加速乘子上限 $s_{dmax} = 2.5$,垂直下降角临界值 $d'_c = 0.1$,聚类数 $w = 5$.

表 2 地图特征属性类别对各判据函数影响表

Table 2 Categories of map features to criteria functions mapping

判据函数	具有影响的特征属性类别
时间判据 c_1	Surface, Obstacles, Dismount
舒适度判据 c_2	Surface, Obstacles, Dismount, Bicycles, Motor roads, Crossings
平坦度判据 c_3	ϕ

表 3 Surface 类特征属性对时间判据和舒适度判据的基值设置表

Table 3 Travel time and comfort criteria base values for features from the surface category

entity 类型	key 值	value 值	r'_1	r'_2
way	smoothness	bad	0.7	3
way	smoothness	excellent	1	0.5
way	smoothness	horrible	0.5	2
way	smoothness	intermediate	0.8	1
way	smoothness	very_bad	0.6	4
way	surface	cobblestone	0.7	5
way	surface	compacted	0.9	1.5
way	surface	dirt	0.7	3
way	surface	grass	0.65	5
way	surface	gravel	0.5	5
way	surface	ground	0.6	4
way	surface	mud	0.4	5
way	surface	paving_stones	0.75	1.5
way	surface	sand	0.6	4
way	surface	setts	0.8	2
way	surface	unpaved	0.75	4
way	surface	wood	0.65	4

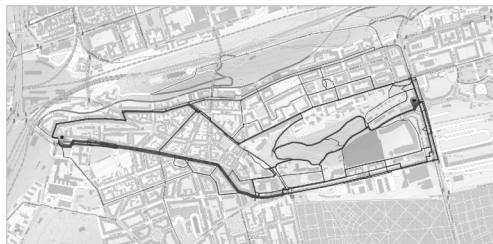
表 4 减速函数基值设置表

Table 4 Values for the feature slowdown function

特征属性类别	entity 类型	key 值	value 值	q'
crossing	node	crossing	island	20
crossing	node	crossing	traffic_signals	30
crossing	node	crossing	uncontrolled	15
crossing	node	crossing	unmarked	20
crossing	node	crossing	yes	15
crossing	node	crossing	zebra	15
crossing	node	highway	crossing	15
crossing	node	highway	traffic_signals	30
crossing	node	highway	elevator	75
crossing	node	highway	steps	25

任选一组路径请求,对其路径规划结果的物理空间分布进行了描绘,如图 1 所示,其中图 1(a) 为 Pareto 解集中 503 条路径方案的分布情况,出行路径方案经过次数越多的路段,其线型越宽;图 1 (b)~图 1(f) 依次为提取出的 5 条代表性路径方案,其路径成本 \langle 时间,舒适度,平坦度 \rangle 如图例所

示,可以看出被选出的代表性路径方案具有较高的物理空间差异性和成本差异性,且符合骑行者的实际需求.5条代表性路径方案试图绕过陡峭的区域,寻求在时间、舒适度和平坦度之间的较好的均衡.具有最高舒适度的路径方案(路径1)穿过了一个安静舒适的公园区域,但是它需要更长的骑行时间,且上坡最多平坦度最差;具有最短骑行时间的路径方案(路径2)主要沿着主干道行进,它的舒适度和平坦度相对要差;路径3和路径4穿过了不同的道路区域,其平坦度接近,在时间和舒适度之间寻求均衡;具有最高平坦度的路径方案(路径5)始终沿着主干道行进,因此它的舒适度在5条路径中最低.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

图1 自行车出行路径规划结果物理空间分布图

Fig. 1 Distribution of bicycle routes in the physical space

4 结论

本文在对城市自行车出行路径规划问题综合分析的基础上,研究了基于OpenStreetMap的自行车网络的构建方法,建立了适用于描述自行车模式多判据路径规划的数学模型,给出了求解该问题模型的多标号路径搜索算法的具体实现,并提出了一种基于聚类分析的路径选择算法,可以有效地从具有较高相似度的大规模 Pareto 解集中快速分离出最具代表性的出行路径方案.通过对真实网络的应用,可见其优化结果是令人满意的,所生成的出行路径方案具有较高的物理空间差异性和成本差异性,且符合真实骑行需求,对骑行者规划出行路线具有较好的指导价值.

参考文献:

- [1] HERLIHY D V. Bicycle: the history[M]. New Haven: Yale University Press, 2004.
- [2] BROACH J, DILL J, GLIEBE J. Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2012, 46(10): 1730-1740.
- [3] WINTERS M, DAVIDSON G, KAO D, et al. Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride[J]. Transportation, 2011, 38(1): 153-168.

- [4] 杨晨, 陆建, 王炜, 等. 基于个体出行方式选择的自行车交通影响因素研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(4): 131-136. [YANG C, LU J, WANG W, et al. A study on the influencing factors of bicycle transportation based on individual mode choice[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(4): 131-136.]
- [5] 梁肖, 戎亚萍, 赵欣苗, 等. 自行车微观行为研究综述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(4): 46-53. [LIANG X, RONG Y P, ZHAO X M, et al. Review of bicyclist microscopic behavior studies[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016, 16(4): 46-53.]
- [6] 李雪琼, 陈萃, 熊伟, 等. 面向 OSM 数据的多模式路径规划方法[J]. 地理空间信息, 2015, 13(5): 41-43. [LI X Q, CHEN L, XIONG W, et al. A multi-criteria route planning method based on OSM data[J]. Geospatial Information, 2015, 13(5): 41-43.]
- [7] DELLING D, WAGNER D. Pareto paths with sharc[C]. 8th International Symposium on Experimental Algorithms, Dortmund, Germany, 2009.
- [8] MARTINS E. On a multicriteria shortest path problem[J]. European Journal of Operational Research, 1984, 16(2): 236-245.
- [9] LEVANDOWSKY M, WINTER D. Distance between sets[J]. Nature, 1971, 234(5323): 34-35.
- [10] HASTIE T, TIBSHIRANI R, FRIEDMAN J. The elements of statistical learning: data mining, inference and prediction (the second edition) [M]. New York: Springer, 2009.

国家质检总局、交通运输部联合依托北京交通发展研究院建立国家能源计量中心(城市交通)

随着我国能源环境问题日益突出,交通领域节能减排备受关注.交通节能目标预测与考核、区域污染协同治理、行业企业绿色升级、重大事件节能减排效果评估等问题都亟需系统、准确、快速的计量数据的支撑.

近年来,北京交通发展研究院在城市交通能耗、污染物排放和碳排放的计量、统计、监测等方面进行了深入的研究和实践,取得了丰富的成果:将交通大数据和计量融合,创新性地综合应用车联网、实车检测、大数据、云计算等技术,建立了基于单车的移动源多维感知和协同、交通能源计量数据质量控制、多层次交通能耗排放模型、基于云计算的海量交通节能减排大数据处理等4个核心技术,建设了交通领域节能减排统计与监测平台、交通节能减排实验室、交通环境监测网、生态驾驶实训基地等4个重点工程,初步建立起“能耗、燃油、污染物排放、碳排放可分析可追溯、可分解可考核、可预测可预警”的交通节能减排统计监测体系,有力支持了北京市、京津冀区域的交通节能减排工作.

基于北京前期实践和基础,经交通运输部推荐,国家质检总局于2017年5月批复同意依托北京交通发展研究院先行试点建立国家能源计量中心(城市交通)并进行了授牌.中心未来将在以下方面发挥重要作用:一是统筹谋划,全面支撑政府部门布局全国城市交通能源计量体系发展格局,做好顶层设计,探索城市交通能源计量工作思路和模式;二是创新应用新技术,形成面向“人一车一路一环境”的智能化计量监测技术体系,开展能源计量器具研发,为城市交通绿色发展提供政策和技术支持;三是做好服务交流,综合打造城市交通能源计量检测服务平台,成为城市交通能源计量人才培养、国际交流和应用示范基地并辐射带动全国.

在新的历史起点上,中心将充分发挥技术和资源优势,依托北京的先进经验、辐射京津冀、引领和带动全国范围交通运输行业的能源计量工作,为绿色环保的现代化综合交通运输体系建设保驾护航.