

基于 BP 神经网络的中小城市停车需求预测^{*}

潘国庆¹, 程昱琿², 贺琦³, 郑凯¹

(1.重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074; 2.中国华西工程设计建设有限公司, 四川 成都 610031;

3.珠海市交通勘察设计院有限公司 四川分公司, 四川 成都 610000)

摘要: 针对中小城市停车需求与供给匹配度不高、停车难等问题, 结合中小城市交通特性和停车需求, 确定适合中小城市停车特性的影响因素, 提出基于主成分分析的 BP 神经网络停车需求预测模型; 通过模型建立、参数标定及网络训练参数调试, 依附贵州省习水县停车调查项目进行实例分析, 结果表明样本训练网络稳定性良好, 仿真拟合度较高, 停车需求预测结果相对误差在 9.8% 以内, BP 神经网络能用于中小城市停车需求预测。

关键词: 城市交通; 停车需求; 中小城市; 主成分分析; BP 神经网络

中图分类号: U491.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0025-05

随着城镇化的快速发展, 城市小汽车保有量大幅提高, 尽管城市基础设施建设规模日益庞大, 但仍难以满足快速增长的交通需求, 加上中小城市停车设施供给泊位总量小, 路内违停现象突出, 智能化停车设施滞后, 停车难问题更突出。针对大城市的停车需求, 如安实等建立了基于 G-Logit 的停车需求预测模型, 但该模型解析式复杂, 不适合推广应用; 易武等在 G-Logit 的基础上建立 Box-Cox Dogit 模型, 综合考虑了停车个人出行特性和方式的选择特性, 但不能克服主观性对停车需求预测模型的影响; 白玉等以区域路网容量及服务水平为约束, 提出了一种基于路网容量的停车需求预测方法, 但路网容量复杂, 机动车出行 OD 数据获得难度大。相比大城市, 中小城市停车需求预测模型研究较少。考虑到中小城市的交通特性与大城市存在较大差异, 该文以中小城市交通特性为出发点, 通过主成分分析筛选出影响中小城市停车需求的主要因子作为神经网络输入信号, 以专用停车泊位需求、建筑物配建停车泊位需求和社会公共停车泊位需求作为网络输出, 将贵州省习水县的基础数据作为样本进行神经网络训练, 利用训练好的神经网络模型进行预测, 分析以停车设施服务对象分类的 3 种停车需求的变化情况, 为中小城市停车需求预测提供参考。

1 中小城市停车需求影响因素

1.1 停车特性

受土地、资金等制约, 中小城市停车场的建设速

度远小于小汽车增长速度, 老城核心区供需差额巨大, 历史欠账严重, 建成区存在规划有停车场但实际未按要求建设、公共停车场用地性质改为其他用地的的问题, 导致供给不足。此外, 摩托车和非机动车由于价格便宜、出行方便、灵活性高, 备受中小城市居民青睐, 其保有量较大。但在中小城市老城核心区摩托车、非机动车缺乏路外停车泊位, 建成区摩托车、非机动车停车位配建也严重不足。

中小城市现有路内停车泊位数占停车总泊位数的比例高于《城市道路路内停车泊位设施规范》关于中小城市路内停车位设置比例 15% 的标准, 老城区道路等级标准低, 路幅窄, 路内停车泊位少, 但实际停车量大, 泊位利用率与周转率匹配度低, 导致行人及机动车通行困难。同时, 城区路内乱停车现象极其严重, 城区超过 90% 的道路存在不同程度的违章占用车道、人行道停车的现象, 其中包括部分交通干道, 违章路内停车占用道路资源, 严重影响干道交通的正常运行。以娱乐、餐饮和政府机关用地最为严重, 停车泊位需求远高于现状停车泊位供给。

目前, 国内外大城市已普遍应用停车信息系统、自动收费系统、咪表、停车诱导系统、停车入库等智能化停车系统。但中小城市大部分路外公共停车设施仍采用人工收费, 容易产生停车付费管理漏洞, 路内违法成本低, 缺乏智能化违停抓拍监控; 停车收费人员无违停协管权限, 对不按规定缴费的业主没有违法监管权力, 车主蛮横不交停车费现象屡见不鲜,

^{*} 基金项目: 国家社会科学基金西部项目(17XGL009)

停车设施资源没有得到合理引导。

1.2 因素分析及选取

无论是大城市还是中小城市,土地利用方式的不同会直接影响停车需求,土地开发利用中所产生的营业面积、就业岗位数及居民用地面积是影响停车需求的直接因素。机动车保有量是产生车辆出行和停车需求的直接来源,机动车数量增大会直接导致停车需求扩大,按照1辆车配备1.2~1.5个停车泊位需求,大城市的停车泊位需求比中小城市大得多,机动车保有量也是影响停车需求预测的直接因素。大城市的老城核心区以办公、商业用地为主,停车利用率高,周转率也高;而中小城市老城核心区以居民住房为主,平均停车时间长,利用率高,但周转率低。如中小城市的学校和娱乐场所一般集中在老城区,吸引的交通量停车时间不长,但在客运枢纽中心停车时间短,其泊位利用率和周转率相对较高。中小城市的停车行为由于停车设施的管理性不高,居民的停车行为主观性很强,主观追求方便性和随意性的停车选择都会分布在道路两侧而占用道路资源。同时,停车管理政策会影响车辆的出行水平,是停车需求总量的一个重要影响因素。中小城市由于发展初期城市规模小,资金和技术缺乏,未能将未来的停车需求预测与城市经济发展相结合,大多以小规模的停车场为主,据调查,中小城市中规模在100个泊位以下的停车场占很大比例,近几年中小城市机动车的快速增长已超过了停车场设置的容量能力。综上,中小城市停车需求的影响因素见表1。

表1 中小城市停车需求预测影响因素

因素类别	影响因素
直接因素	就业岗位数
	营业建筑面积
	居民用地面积
	机动车保有量
间接因素	高峰小时交通量
	利用率
	停车管理政策

2 停车需求预测

2.1 停车需求预测模型的选取

现有停车需求预测模型主要包括以土地利用与停车设施之间关系为基础的模型、以停车需求与出行关系为核心的出行吸引模型和以相关分析法为核心的多元回归预测模型(见图1),均存在一定的可

取性和局限性,提高模型的预测精度成为停车需求预测研究的关键。

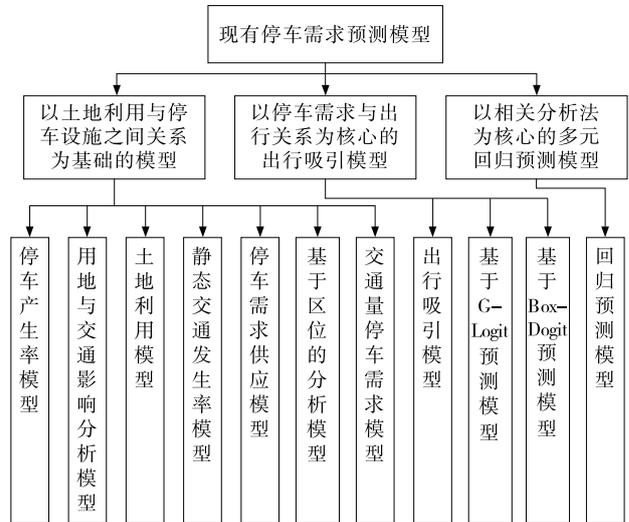


图1 现有停车需求预测模型

停车需求预测需统筹考虑各种影响因素,包括经济、土地、交通等,一方面能全面、系统地分析问题,另一方面会使预测过程的复杂程度加大。如果将大城市的影响因素及预测模型照搬于中小城市,则需考虑众多影响因素,每个因素都会不同程度地影响停车需求预测,某些因素之间还存在一定的关联,所得统计数据反映的信息会有一定重叠,从而加大预测过程的复杂性,未必能提高中小城市交通预测精度。为提高中小城市停车需求预测模型的精度,同时使预测过程相对简单,结合主成分分析与神经网络建立中小城市停车需求预测模型。主成分分析的降维处理功能可消除变量之间的相关性,筛选出影响中小城市停车需求预测的主要因子,减少计算过程的复杂性,克服主观选择对预测的影响;神经网络复杂的非线性系统能克服影响因素复杂而建模困难的缺陷,使模型的精确性、科学性得到提高。

2.2 主成分筛选

结合中小城市综合交通规划数据调查,通过SPSS软件对中小城市停车需求预测影响因素总样本进行因子可行性分析,使用主成分分析法筛选出影响中小城市停车需求的主要成分,并将主要成分对应的影响因素样本作为神经网络停车需求预测的输入因子。原始数据中 a 个样本中的 b 个指标组成变量矩阵 $X=(X_{ij})_{a \times b}$ 的主成分分析步骤为:

(1) 主成分分析的数据中不同变量具有不同的量纲,变量之间的水平差异较大,为减少量纲对数据

分析的影响,按式(1)进行标准化处理,求得数据的标准化矩阵,再按式(2)计算相关性矩阵 R 。

$$X_{ij}^* = \frac{X_{ij} - E(X_j)}{\sqrt{D(X_j)}} = \frac{a-1}{a} \cdot \frac{aX_{ij} - \sum_{i=1}^a X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^a [X_{ij} - E(X_j)]^2}} \quad (j=1,2,3,\dots,b) \quad (1)$$

$$R = (R_{ij})_{b \times b} = \frac{[\sum_{k=1}^a (X_{ki} - E(X_i))][X_{kj} - E(X_j)]}{\sqrt{\sum_{k=1}^a [X_{ki} - E(X_i)]^2 \sum_{k=1}^a [X_{kj} - E(X_j)]^2}} \quad (2)$$

(2) 求解系数矩阵 R 的特征向量 e_i 和特征值 λ_i ,按式(3)、式(4)计算各主成分的贡献率 g_c 、累计贡献率 G_c 及主成分荷载 H_c 。

$$g_c = \frac{\lambda_i}{b}, G_c = \frac{\sum_{i=1}^c \lambda_i}{\sum_{i=1}^b \lambda_i} \quad (3)$$

$$H_c = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^b e_{ij} X_{ij}^* \quad (4)$$

2.3 BP神经网络预测模型

2.3.1 模型的建立

建立图2所示BP神经网络停车需求预测模型。其中, P_1, P_2, \dots, P_n 为BP神经网络的输入,公共设施用地停车需求、商业服务设施用地停车需求、居住用地停车需求和道路与交通设施用地停车需求为网络的输出,即预测值,整体可看成一个非线性函数,输入值 $P_i (i=1,2,3,\dots,n)$ 、预测值分别为函数的自变量和因变量,BP神经网络表达了输入信号到预测值的函数映射关系。

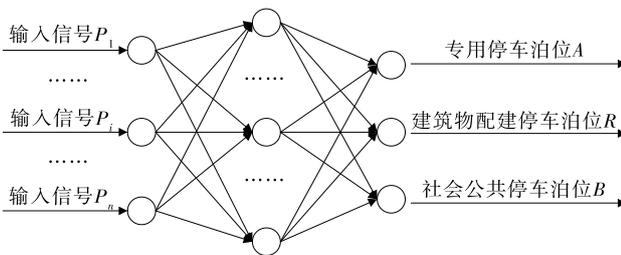


图2 BP神经网络的拓扑结构

2.3.2 算法的优化

BP算法结构简单,可清晰地表达 n 个自变量

到 m 个因变量的函数映射关系,并反映输入与输出之间的非线性关系。但其计算收敛速度较慢,训练过程可能导致函数的局部最小值,学习速率的选择缺乏有效的方法,不能使训练结果达到全局最优。附加动量法能使网络在修正其权值时避免陷入局部极小值,自适应学习效率的网络训练次数只是固定学习速率网络训练次数的几十分之一。因此,将传统BP网络结合附加动量法和自适应学习效率作为预测模型的算法。

设输入层有 N 个信号,任意输入信号用 n 表示,隐层有 J 个神经元,任意神经元用 j 表示;输出层有 M 个信号,任意输出的信号为 m ,该文中输出信号为3个。输入与隐层的连接权重为 W_{nj} ,隐层与输出层的连接权重为 W_{jm} 。设训练样本集 $I_k = [I_{k1}, I_{k2}, \dots, I_{kn}]^T (k=1,2,\dots,a, a$ 为训练样本数量),实际输出 $Y_k = [Y_{k1}, Y_{k2}, \dots, Y_{kn}]^T$,期望输出 $Z_k = [Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kn}]^T$,训练迭代次数为 q ,学习效率为 μ ,附加动量项为 α 。

2.3.3 正向传播过程

正向传播过程的算法如下:

$$U_j = \sum_{n=1}^N W_{nj} I_{kn} - B_j$$

$$V_j = f(U_j) = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{n=1}^N W_{nj} I_{kn} - B_j)}$$

式中: B_j 为隐层单元阈值; $n=1,2,\dots,N; j=1,2,\dots,J$ 。

$$U_m = \sum_{j=1}^J W_{jm} V_j - B_m$$

$$V_m = f(U_m) = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{j=1}^J W_{jm} V_j - B_m)}$$

式中: B_m 为隐层单元阈值,该文中 $m=1,2,3,4$ 。

2.3.4 误差的反向传播

第 m 个学习训练样本期望输入与实际输出的误差为:

$$\lambda_m(q) = Z_{km}(q) - Y_{km}(q)$$

隐层与输出层间的权值修正量为:

$$\Delta W_{jm}(q) = \alpha \Delta W_{jm}(q-1) + \mu \lambda_m(q) V_j(q)$$

隐层与输出层间的阈值修正量为:

$$\Delta B_m(q) = \mu \lambda_m(q)$$

输入层与隐层间的权值修正量为:

$$\Delta W_{nj}(q) = \alpha \Delta W_{nj}(q-1) + \mu \lambda_j x_{kn}(q)$$

输入层与隐层间的阈值修正量为:

$$\Delta B_j(q) = \mu \lambda_j(q)$$

式中: $\lambda_j(q) = V_j(q) \sum_{m=1}^M \lambda_m(q) W_{jm}(q)$ 。

结合附加动量法和自适应学习效率建立基于BP神经网络的预测模型,应用MATLAB中较完善的函数模块进行计算,简化神经网络在中小城市停车需求预测中的应用。其中:输入层与隐层之间的传递函数为tansig;隐层与输出层之间的传递函数为purelin;训练函数为trainglm;学习速率 μ 取0.01;最大迭代次数取1 000次;动量项系数 α 取0.5。通过不断调试进行参数修改,获得效率高、精度高的中小城市停车需求预测模型。

3 实例分析

以贵州省习水县城为例,利用上述模型进行停车需求预测。

3.1 主成分提取

在进行因子分析前,对停车管理政策定性指标进行量化,将习水县城规划区域分为三类交通区域,分别为严格控制、适度控制和适度发展,对应数值分别为10、30、50。

利用规划区域31个交通小区2016年的经济、土地、交通指标数据建立预测模型。以专用停车泊位需求A、建筑物配建停车泊位需求R和社会公共

停车泊位需求B作为主成分分析的因变量,就业岗位、营业建筑面积、高峰小时吸引量、居住用地面积、停车利用率、机动车保有量、停车政策倾向作为自变量,通过SPSS软件进行因子可行性分析,得出习水县城23个交通小区的数据之间的Bartlett显著性检验值为零,小于显著性水平,且KOM值达到0.691,数据适用于因子分析(见表2)。

表2 交通数据的显著性检验结果

项目	检验结果
KMO 取样适切性量数	0.691
近似卡方	65.022
巴特利特球形度检验	自由度 21.000
	显著性 0.000

应用SPSS软件计算得出相关系数矩阵的特征值 λ_i 、主成分贡献率 g_i 及累计贡献率 G_i ,结果见表3。由表3可知:前4个成分的特征值大于0.5,各自的贡献率 g_i 分别为38.138%、24.923%、17.964%、9.976%,其累计贡献率达到91.00%,即这4个成分所包含的信息占7个指标信息的91.00%。一般情况下,只要主成分的累计贡献率保持在90%以上即可反映各因子之间的影响关系。因此,选取这4个主成分替代原来的大量数据进行停车需求预测。

通过对中小城市停车需求影响因素的主成分分

表3 主成分特征值、贡献率及累计贡献率

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比/%	累积方差百分比/%	总计	方差百分比/%	累积方差百分比/%
就业岗位	2.670	38.138	38.138	2.670	38.138	38.138
营业建筑面积	1.745	24.923	63.061	1.745	24.923	63.061
高峰小时吸引量	1.257	17.964	81.025	1.257	17.964	81.025
居住用地面积	0.698	9.976	91.000	0.698	9.976	91.000
停车利用率	0.311	4.439	95.439			
机动车保有量	0.183	2.620	98.058			
停车政策倾向	0.136	1.942	100.000			

析,得出第一主成分的影响因素中机动车保有量的影响程度最大,达90.1%,营业建筑面积的影响程度较大;第二主成分影响中对城市产生较大影响的是停车利用率及停车管理政策(见表4)。因此,将营业建筑面积、机动车保有量、停车利用率及停车管理政策作为构建神经网络的输入样本。

3.2 改进BP神经网络预测

3.2.1 训练误差

使用Newff创建BP神经网络,运用L-M算

法对应的函数trainlm进行训练。整个神经网络分为3层,隐层的神经单元为15个,网络训练的误差函数选取工具箱中的MSE。将31个交通小区的样本输入网络中进行训练,迭代次数为5次,达到训练目标时停止,此时误差返回值为 5.3105×10^{-3} 。图3为训练误差曲线。

3.2.2 自身拟合和仿真检验

将31个交通小区中营业建筑面积、机动车保有量、停车利用率及停车管理政策样本量输入神经网

表 4 主成分荷载矩阵

影响因素	主成分			
	就业岗位	营业建筑面积	高峰小时吸引量	居住用地面积
就业岗位数	0.501	0.432	0.189	-0.231
营业建筑面积	0.830	-0.034	0.366	-0.042
高峰小时流量	0.328	-0.013	-0.730	0.130
居民用地面积	-0.349	-0.109	0.542	0.136
停车利用率	0.272	0.893	-0.029	0.097
机动车保有量	0.901	-0.395	0.029	-0.215
停车管理政策	-0.573	0.869	-0.046	0.142

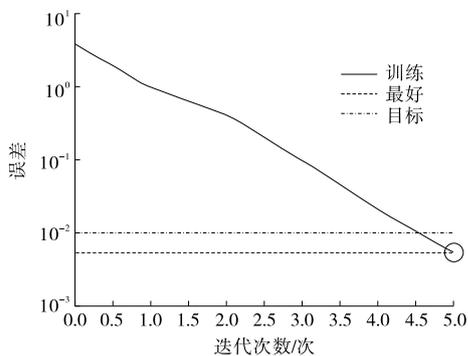


图 3 训练误差变化曲线

络进行训练,通过调试参数使其达到网络训练精度 0.001 的要求,自身拟合得到实际值与预测值的训练拟合曲线(见图 4)。训练完成并达到一定精度

后,形成稳定性较强的预测网络模型,将剩余的 8 个样本进行仿真检验,结果见表 5。

由表 5 可知:通过调试参数使网络达到了所需精度要求,总体拟合情况较好,配建停车泊位、专用停车泊位和社会公共停车泊位需求预测结果的相对误差均在 9.8% 以内,误差较小,BP 神经网络应用于中小城市停车需求预测的效果较好。

表 5 3 种停车类型拟合结果的相对误差

停车类型	相对误差			标准差
	最小	最大	平均值	
专用停车泊位	-0.078	0.098	0.001 0	0.008
建筑物配建停车泊位	-0.050	0.086	0.009 6	0.094
社会公共停车泊位	-0.074	0.025	-0.005 0	0.065

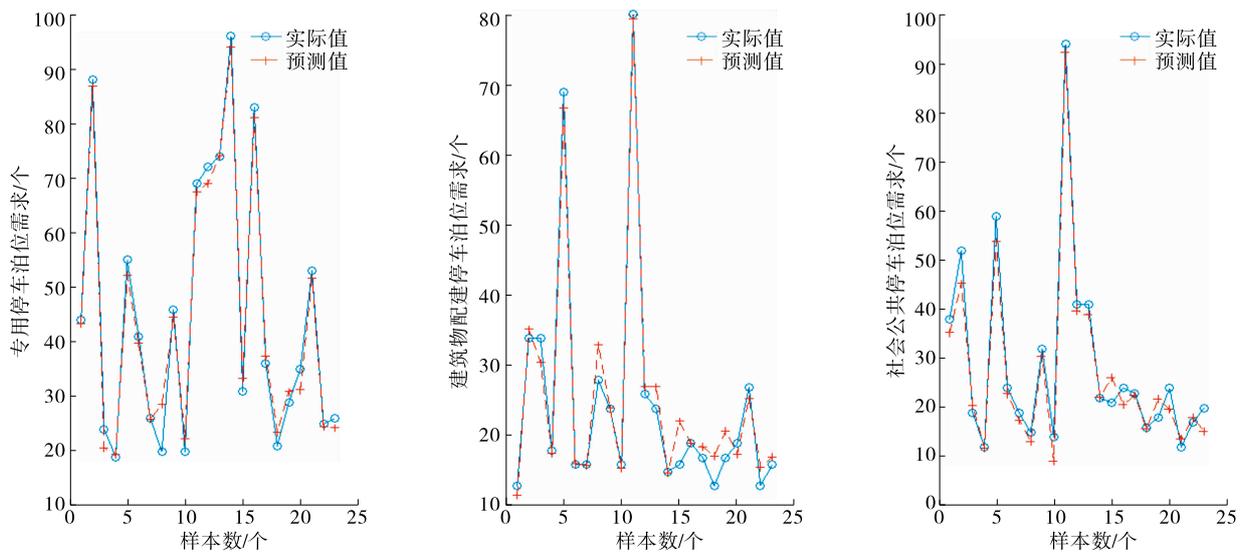


图 4 训练拟合曲线

4 结语

该文通过主成分分析对原始数据进行预处理并确定 BP 神经网络模型的输入和输出结构,以附加动量法和自适应学习效率为模型算法,构建基于 BP

神经网络的中小城市停车需求预测模型。该模型能在停车需求因素中映射出复杂的非线性关系,克服其他预测模型存在的数据量大且信息重叠、计算复杂、预测精度低等问题,其收敛速度快,可节约训练

(下转第 36 页)

完善的标志、标线、突起路标等安全设施引导车辆和行人有序通过,保证交通畅通、安全。

2.6 绿化工程设计

(1) 人行道绿化。以种植乔木为主,达到除尘降噪的效果。采用香樟和栾树间种的形式,树池尺寸为 1.2 m×1.2 m,间距为 8 m。这种种植方式能保持道路路段内的连续和完整常绿景观特色。

(2) 侧分带种植的乔木为银杏,灌木选用山茶(3株)和红继木(3株)交错种植,株距 2 m。低矮植被选用印度杜鹃和红叶石楠,每 20 m 交错种植;低矮植被间隙采用马尼拉洒铺。这种种植方式的特色是植物相互配合并协调空间层次,高低搭配,层次感丰富。

(3) 道路交叉口视距三角形范围内,行道树和绿化带采用通透式设计,以免遮挡司机视线,保证行人安全。

3 结语

城镇过境公路市政化改造不同于一般市政道路建设,需注意以下几方面:1) 充分了解公路目前的基本情况,合理确定道路平面、纵断面、横断面,最大程度利用现有老路,节约工程造价。2) 纵断面设计时应考虑道路两厢建筑物现状标高,确保设计高程能与周边地块顺接。3) 充分考虑施工期间交通疏

解方案,保证施工期间交通顺畅。4) 做好现有管线调查,保证新设计管线与现有管线顺接,确保系统正常运行。5) 收集相关规划资料,充分与相关部门及当地政府沟通,征求沿线居民意见,尽量满足沿线居民出行需求。

参考文献:

[1] CJJ 37-2012,城市道路工程设计规范[S].

[2] 顾天奇,高欣,薛长松,等.快速城镇化进程下公路市政化改造的关键技术问题研究:以苏州市 312 国道姑苏区段改造为例[J].中国市政工程,2015(2).

[3] GB 50014-2006,室外排水设计规范[S].

[4] 陶媛媛,李媛媛.公路市政化改造设计相关问题的研究[J].科技创新与应用,2017(4).

[5] 杨建超.南京绕城公路城市化改造方案设想[J].公路与汽运,2011(6).

[6] 朱莉,陈沐.浅谈深圳公路市政化设计中给排水工程的改造[J].山西建筑,2008,34(27).

[7] 王婧寰.过境公路改造型城镇街道景观规划研究[D].南京:浙江农林大学,2013.

[8] 邓立瀛,俞敏健,廖芳龄,等.公路市政化改造关键节点交通规划设计[J].现代交通技术,2017,14(3).

收稿日期:2018-02-10

(上接第 29 页)

时间。预测结果显示,其相对误差在 9.8%以内,可用于中小城市停车需求预测。

参考文献:

[1] 安实,马天超,尹缙瑞.基于 G-Logit 的停车需求预测模型[J].数量经济技术经济研究,2001,18(1).

[2] 易武,李硕.基于 Box-Cox Dogit 停车需求预测模型研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2006,30(2).

[3] 白玉,薛昆,杨晓光.基于路网容量的停车需求预测[J].交通运输工程学报,2004,4(4).

[4] 《中国公路学报》编辑部.中国交通工程学术研究综述:2016[J].中国公路学报,2016,29(6).

[5] 杨广威.人工神经网络在大城市中心区路内停车需求预测中的应用[D].武汉:华中科技大学,2007.

[6] Weinberger R,Kaehny J,Rufo M.US parking policies: an overview of management strategies [R].The Institute for Transportation and Development Policy,2010.

[7] Khaled A,Jamil H.Establishing parking generation rates/models of selected land uses for palestinian cities [J].Transportation Research Part A: Policy and Practice,2016,91(8).

[8] Milos B,Francesco C,Kay W.Modeling the impact of parking price policy on free-floating carsharing: case study for Zurich, Switzerland [J].Transportation Research Part C:Emerging Technologies,2017,77(4).

[9] Bo Xu,Han-Cheng Dan,Liang Li.Temperature prediction model of asphalt pavement in cold regions based on an improved BP neural network [J].Applied Thermal Engineering,2017,120(25).

[10] 朱兴林 范朋朋 饶彪.乌鲁木齐市主城区停车现状及需求预测[J].公路与汽运,2017(2).

[11] 王宇萍,马双全.哈尔滨市中心区停车问题及发展对策研究[A].城市时代,协同规划:2013 中国城市规划年会论文集(01-城市道路与交通规划)[C].2013.

收稿日期:2018-03-12