

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2022.04.008

基于BP神经网络的绿色出行 碳积分模块化系统设计

谢睿¹, 杨浩², 陈春照³, 梁后军³

(1. 安徽财经大学 会计学院, 安徽 蚌埠 233000; 2. 安徽财经大学 金融学院, 安徽 蚌埠 233000;
3. 安徽财经大学 管理科学与工程学院, 安徽 蚌埠 233000)

摘要: 基于用户绿色出行场景, 设计了一个结合技术、市场和激励机制的碳积分模块化运营系统。首先, 定义了有效的低碳行为; 然后建立参数评价指标体系与BP神经网络, 以检测用户的出行行为, 并对获取方式与归一化方式进行了说明; 其次修改权重和阈值, 通过不断地测算与优化, 识别检测其运动状态; 最后通过交通碳排放因素分解公式实现有效量化。实证分析结果显示, 设定的10个参数都用上时的识别效果最好, 识别率可达98.4%; 在各个独立变量中, 运动速度对判断的效果影响最大。

关键词: 绿色出行; 特征提取; BP神经网络; 碳积分模块化系统

中图分类号: TP315; X32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9833(2022)04-0054-08

引文格式: 谢睿, 杨浩, 陈春照, 等. 基于BP神经网络的绿色出行碳积分模块化系统设计[J]. 湖南工业大学学报, 2022, 36(4): 54-61.

A New Carbon Credit Modular System Design for Green Commuting Based on BP Neural Network

XIE Rui¹, YANG Hao², CHEN Chunzhao³, LIANG Houjun³

(1. School of Accountancy, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu Anhui 233000, China;

2. School of Finance, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu Anhui 233000, China;

3. School of Management Science and Engineering, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu Anhui 233000, China)

Abstract: Based on the user's green commuting scenario, a modular operation system of carbon credits has thus been designed with technology, market and incentive mechanism combined together. Firstly, the effective low-carbon behavior is to be defined, followed by an establishment of parameter evaluation index system with BP neural network to detect users' travel behaviors, with the acquisition and normalization methods explained as well; secondly, based on the modification of the weight and the threshold, an identification and detection can be achieved of their motion states through continuous measurement and optimization; finally, an effective quantification can be realized through the decomposition formula of traffic carbon emission factors. The results of the empirical analysis show that the best recognition effect can be obtained with all the 10 parameters used, when the recognition rate reaches as high as 98.4%; among the independent variables, the movement speed exerts the greatest influence on the effect of judgment.

Keywords: green travel; feature extraction; BP neural network; carbon credit modular system

收稿日期: 2021-08-10

基金项目: 安徽省教育厅人文科学研究基金资助项目(SK2018A0462)

作者简介: 谢睿(1984-), 女, 安徽蚌埠人, 安徽财经大学副教授, 硕士, 主要研究方向为农村合作金融,

E-mail: 20184807@aufe.edu.cn

1 研究背景

根据国际能源署 (International Energy Agency, IEA) 的研究报告,到2020年,全球运输业成为仅次于电力和热生产行业的第二大碳排放源,也是增长最快的碳排放源。而在全球碳排放量统计中,道路交通碳排放量占整个交通运输行业的70%^[1]。因此,如何有效控制道路交通产生的碳排放量是亟待解决的问题。

国内外学者对交通领域碳交易研究较多,但少有对交通运输中碳排放的动态监测。这与电力和生产等固定排放源不同,来源于交通系统的二氧化碳排放量不易确定,且大多数碳交易系统未纳入监管区域,很多针对交通领域的碳交易项目也比其他碳交易项目更为复杂^[1-3]。

交通出行碳排放量监测相关研究成果可以概括为以下3个方面。

1) 基于CCER (chinese certified emission reduction) 方法学进行核算设计的研究。黎炜驰等^[4]结合CCER方法学设计了公共自行车设施单项减排量的核算方法,并且结合文献统计说明了单项减排量的核算公式。万莉等^[5]认为,目前流行的交通CCER方法学,如在公交车上使用LNG (liquefied natural gas) 减排的方法学,借鉴了交通CDM (clean development mechanism) 方法学的专业知识,为中国在交通领域开展碳交易打下了坚实基础。郭洪旭等^[6]基于CCER方法并考虑交通信息的可获得性,预测了两种核算居民交通出行碳减排方法,即替代法和平均法,并且计算了2015年广州市居民交通出行的碳减排量。曹先磊等^[7]从碳交易视角,构建了中国核证减排量的核算机制框架和开发成本评估模型,并且通过实证分析了河北省丰宁县落叶松造林项目中国核证减排量的开发成本及其动态分布,探讨了其敏感性。

2) 技术创新对碳排放监测发展的探究。郭朝先^[8]认为,碳捕捉 (carbon capture, utilization and storage, CCUS) 和包括负排放技术在内的新能源将为实现碳中和目标提供自下而上的技术保障,应提前储备和部署生物质耦合CCUS技术 (bioenergy and carbon capture and storage, BECCS) 和直接空气捕捉 (direct air capture, DAC) 等负排放技术。刘航^[9]认为,应该始终加强与相关企业的沟通和协作,了解主管部门和运输公司相关的知识共享和合作,并加强对现代技术和碳包容系统的混合分析,如基于区块链的合理合约和碳包容系统方法的混合。吴嘉莹等^[10]认为,为了消除用户的欺诈行为,从而消除中央服务器对用

户知识的干涉,必须尝试开发一个区块链和低碳相融合的碳链。用户可以通过步行或者骑共享单车等行为来“挖矿”,并可能获得红包或者有实用价值的“物品”。何继江等^[11]认为,中国城市的二氧化碳排放清单是利用生产者平衡技术测算出来的,而且最近几年的中国碳排放清单尚未被公开或编制。

3) 碳交易理论对碳排放强度的影响研究。黄肖玲等^[12]建立了以价格下降为目标的钢铁产成品运输网络优化模型,采用融合和声搜索的环形拓扑结构PSO (particle swarm optimization) 算法进行求解,并对仓储价格进行灵敏度分析。李云燕等^[13]建立了CO₂和大气污染物排放量的LEAP (long-term energy alternatives planning system) 模型,设计了3种政策情境,并通过减排效应坐标系分析和减排弹性系数法,研究了不同措施下二氧化碳和大气污染物的协同减排效应。卢茗轩等^[14]基于合成控制法,以2006—2017年中国省级面板数据为例,讨论了中国碳交易试点政策对试点区域内交通碳排放强度的影响,进行了反事实分析,并通过中介效应方法分析了其影响机制。刘琦铀等^[15]基于Cobb-Douglas效用函数,在个人碳交易理论背景下,建立了选择节能汽车优化模型,并以此论证了市场碳排放权交易价格与临界碳价之间的关系。

综上所述,国内外学者对于交通领域碳核算的研究,多侧重于宏观层面的交通领域个人碳交易研究,而用机器学习理论进行交通大数据监测及核算的研究相对较少。因此,本研究拟从居民的“碳中和+交通出行”历程出发,提出个人碳积分账户基本思路,并从各模块功能设计算法上提供可实现依据;构建基于BP (back-propagation) 神经网络的绿色交通出行参数评价指标体系,以期改善当下复杂的出行碳排放核算提供参考。

2 设计原理

2.1 设计思路

个人碳积分账户设计思路如图1所示。首先,定义有效的低碳行为,如地铁、公交以及步行等。其次,建立参数评价指标体系与BP神经网络,并应用至自行开发的H5移动端程序,以检测用户的出行行为。然后,建立模型,量化使用者交通出行碳排放为可计量的碳积分。此时,使用者可以在自己的个人碳账户中实时看到自己的积分奖励情况等。最后,碳积分系统通过与碳交易所、有需求的企业等进行交易,获取相应的利润。



图1 个人碳积分账户设计思路

Fig. 1 Design flowchart of personal carbon credit account

碳积分激励系统开发的首要目标是个性化网页设计，其运用 HTML5 超文本标记语言实现；其次是后台管理系统设计，利用 JAVA 语言与数据库的互联实现。此外，系统通过大数据分析以及“双链”结合计算用户的“碳行为”以及云数据分析；通过权限获取及兼容处理获取用户个人设备权限，完成 APP 上的一些信息获取及处理；通过产品维护与客户体验完成系统后期的运营以及维护。

为使项目各功能模块能够有效地开发与运行，在开发中运用多种算法设计优化系统，如图 2 所示。初步搭建完碳积分运营系统后，通过不断地测试与维护工作来优化完善系统，合理地设计系统各个模块，将数据、文档，实时、准确、有效地记入数据库，并进行备份，以实现碳积分系统的有效运行。

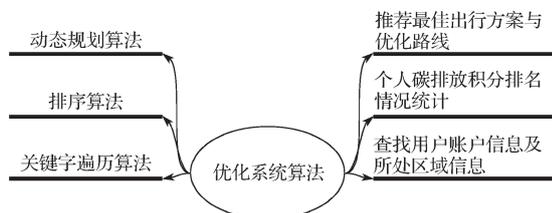


图2 碳积分算法设计

Fig. 2 Carbon integration algorithm design

2.2 有效低碳行为的设定

低碳行为意味着日常生活中环保出行（如乘坐地铁和骑自行车）用户的低碳行为。碳核算方法，是通过建立和运行有效的个人碳信用账户，并依靠手机 APP、云计算、WebService 及神经网络算法构建监控系统，以监测真实绿色低碳行为。为计算个体碳排放

量，需先判断个体的出行方式，本文采用 BP 神经网络，根据 10 个输入判断个体的 7 种不同出行方式。

2.3 BP 神经网络下的监测体系

2.3.1 移动程序监测

移动程序监测示意图如图 3 所示。

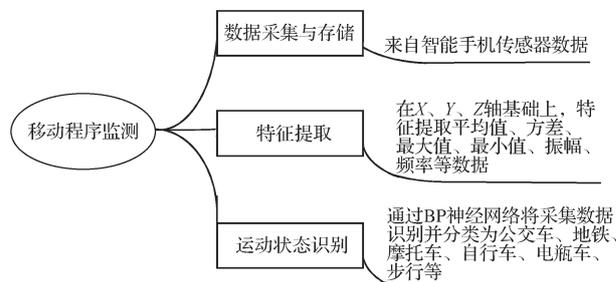


图3 移动程序监测示意图

Fig. 3 Mobile program monitoring schematic diagram

首先，智能手机传感器实时将目标用户的原始坐标信息数据发送至移动程序监测模块，实现实时追踪，并对移动目标进行数据采集与存储；其次，在 X、Y、Z 轴基础上实现对运动状态数据特征值的提取；最后，BP 神经网络将采集到的数据进行分析，识别目标用户实时运动状态。

2.3.2 需要采集的参数

为了能更好地判别用户的出行方式，创建了一个用于评估 12 个变量的评价指标系统，并对获取方式与归一化方式等进行说明，具体如表 1 所示。由于 BP 神经网络的输入最好是 $[-1, 1]$ ，因此各个输入参数需要映射到 $[-1, 1]$ ，如年龄的归一化方式为 $(\text{年龄} - 75) / 75$ ，为神经网络的输入做准备。

表 1 参数评价指标体系
Table 1 Parameter evaluation index system

变量名	获取方式	说 明	归一化方式
姓名	用户注册 APP 时填写		
身份证号	用户注册 APP 时填写		
年龄	成年人提取身份证信息, 儿童用 用户注册 APP 直接填写	老年人倾向坐公交或地铁, 儿童一般由家长接送, 中学生除乘坐公共交通、私家车外还可能步行或骑车	(年龄-75)/75
性别	用户注册 APP 时填写	男性和女性对出行方式的选择可能有差异, 比如不少男性喜欢骑摩托车	男: -1; 女: 1
运动速度	由 APP 采集手机中数据	运动速度对于识别有重要作用, 如摩托车速度明显快于电瓶车速度与步行速度	(速度-75)/75
当地 GDP	由 APP 程序调用 Webservice, 根据 GPS 得到的经纬度获取地名, 进而查询所在城市平均 GDP	当地 GDP 与个人收入密切相关, 收入高低会影响出行方式	(人均 GDP-5 万)/5 万
学历	用户注册 APP 时填写	学历的高低与收入密切相关, 也直接影响出行方式	初中及以下: -1; 高中及中专: -0.5; 大专或本科: 0; 硕士: 0.5; 博士: 1
环境温度	从气象局网站上抓取数据	温度对人们的出行也有重要影响, 温度太高、太低时人们偏好不选择自行车、步行	(温度-20)/20
职业	用户注册 APP 时填写	职业类型与收入密切相关, 对出行方式的选择有重要影响	年收入: 小于 1 万, -1.0; (1~5) 万, -0.6; (>5~10) 万, -0.2; (>10~20) 万, 0.2; (>20~50) 万, 0.6; 50 万以上, 1.0
天气	抓取气象局网站上的数据	天气对人们交通出行方式的选择有重要影响, 如下雨天人们不倾向选择自行车、电瓶车	晴天: -1; 阴天: -0.5; 雨天: 0.2; 雪天: 1.0
出行时间	由 APP 程序调用 Date() 函数获取	出行时间对交通方式选择有重要影响, 如凌晨 5 点前, 人们多选择出租车或自行车	(实时时间-12)/12
周历	由 APP 程序调用 WeekDay() 函数获取	判断工作日还是非工作日, 如非工作日, 原选择公共交通的人可能会选择开私家车出行	(周历-3)/3

对于不同的交通出行方式, 将其划分为公共交通与个人出行两种, 识别方式主要为从交通系统数据库中查询与神经网络识别, 具体如表 2 所示。

表 2 出行方式识别
Table 2 Travel mode identification

项目	公共交通	个人出行
出行方式	公交车、地铁	新能源车、摩托车、自行车、电瓶车、步行
识别方式	从交通系统数据库查询或通过神经网络识别	神经网络识别

2.3.3 BP 神经网络

本文构建的 BP 神经网络如图 4 所示, 其中 S 代表 Sigmoid 函数 (简称 S 型函数), 因为 S 型函数具有典型的非线性饱和和网络。S 型函数在负无穷末端趋于 0, 而在正无穷末端趋于 1, 呈现非线性饱和特性, 中间部分为线性, 类似于生物神经元的信号输出形式, 可以提高线性神经网络的映射功能。

S 型函数的数学表达式和一阶导数分别如下:

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x}), \quad (1)$$

$$\dot{f}(x) = f(x)(1 - f(x)). \quad (2)$$

BP 神经网络首先通过网络向前传播输入:

$$\mathbf{a}^0 = [P_1 \ P_2 \ \dots \ P_9 \ P_{10}]^T. \quad (3)$$

式中: $\mathbf{a}^{(0)}$ 为第 0 级输入, 为某一时刻的历史数据;

$P_1 \sim P_{10}$ 的意义与图 4 中相同。

中间各级输出为

$$\mathbf{a}^{(m+1)} = \mathbf{F}^{(m+1)}(\mathbf{n}^{(m+1)}) = \mathbf{F}^{(m+1)}(\mathbf{W}^{(m+1)}\mathbf{a}^{(m)} + \mathbf{b}^{(m+1)}), \quad m = 1, 2, \dots, M-1. \quad (4)$$

式中: M 为神经网络的总层数, 本文中 $M=2$;

\mathbf{b} 为神经元的偏置向量;

m 为当前层数;

$\mathbf{W}^{(m+1)}$ 为第 $m+1$ 层的权重矩阵;

$\mathbf{a}^{(m+1)}$ 为第 $m+1$ 层的输出, 最后一级输出是 $\mathbf{a}^{(M)}$, 一般直接用 \mathbf{a} 表示, 则最后一层的输出为

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}^{(M)} = \mathbf{F}^{(M)}(\mathbf{n}^{(M)}); \quad (5)$$

其中 $\mathbf{F}^{(M)} = [f_1^{(M)} \ f_2^{(M)} \ \dots \ f_7^{(M)}]^T$, 为最后一层所用的线性函数。

如图 4 所示, 本研究中网络最后一层的输出为 7 个, 判断行人是以哪种方式出行。理论上, 若神经网络判断出是哪种出行方式, 对应的输出应为 1, 其它 6 个输出应为 0, 实际的输出显然不会这么界限分明,

因此可以选择这7个输出中最大的一个值，此值对应的输出就是行人的出行方式。

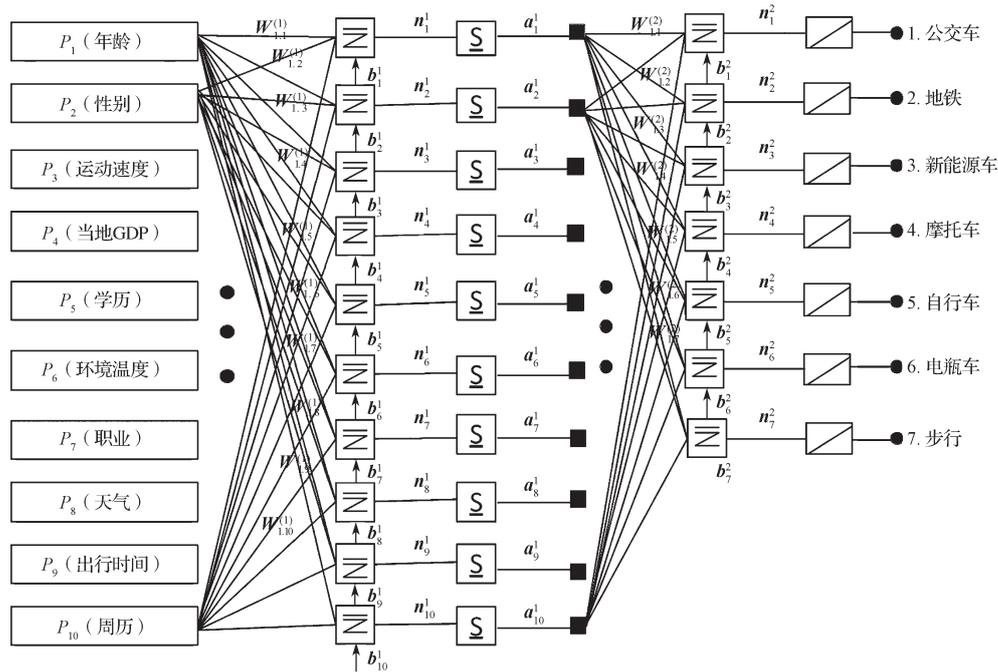


图4 绿色出行下BP神经网络训练算法

Fig. 4 BP neural network training algorithm for green commuting

接下来通过网络反向传播灵敏度，最后一层的反向传播表达式如下：

$$s^{(M)} = -2\dot{F}^{(M)}(n^{(M)})(t-a), \quad (6)$$

式中： $s^{(M)}$ 为第 M 层的敏感性；

$$\dot{F}^{(M)}(n^{(M)}) = \begin{pmatrix} \dot{f}^{(M)}(n_1^{(M)}) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dot{f}^{(M)}(n_2^{(M)}) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dot{f}^{(M)}(n_{10}^{(M)}) \end{pmatrix}$$

是一个矩阵，其中的转换函数是线性函数；

$n^{(M)} = [n_1^{(M)} \ n_2^{(M)} \ \dots \ n_7^{(M)}]^T$ 为最后一层函数的输入；

a 为最后一层函数的实际输出，与公式(5)中的含义相同；

t 为期望输出，比如若某人是乘坐地铁出行的，则其期望输出为 $t = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ ，在训练时往往 a 与 t 是不相同的，存在误差，所以要进行反向调整，以尽量减小误差。

由于式(6)最后一层没有使用 Sigmoid 函数，因此最后一层的误差反向传播灵敏度与前几层的不同。前几层误差的反向传播灵敏度如下：

$$s^{(m)} = \dot{F}^{(m)}(n^{(m)}) (W^{(m+1)})^T s^{(m+1)}, \quad (7)$$

式中， $m=M-1, M-2, \dots, 2, 1$ 。

最后，利用近似的最速下降法更新权值与偏置值进行比较：

$$W^{(m)}(k+1) = W^{(m)}(k) - as^{(m)}(a^{(m-1)})^T, \quad (8)$$

$$b^{(m)}(k+1) = b^{(m)}(k) - as^{(m)}. \quad (9)$$

经试验，每层设置 10 个神经元比较合适，不仅能解决问题，而且节点数不太冗余。

从参数评价指标体系中获取采集的数据建立 BP 神经网络模型，输入年龄、性别等变量数据。根据训练和预期结果计算误差分析结果，然后修改权重和阈值，通过不断测算与优化，最终识别其运动状态。

2.3.4 实证分析

为了验证出行方式判别算法的识别率，采集了 50 个人 1 周的出行数据（即图 4 中 $P_1 \sim P_{10}$ 的 10 个参数），数据采集时间间隔为 5 min。取其中 40 个人的出行数据对神经网络进行训练，用另外 10 个人的数据检验训练神经网络的正确性。实验共分为两组，一组是 10 个参数都用上，另一组是只用其中 9 个参数，以检验各参数对训练效果的影响程度。表 3 中列出了得到的实验结果数据。

由表 3 中的出行方式识别正确率数据可以得知，10 个参数都用上时，出行方式的识别效果最好；在各个独立变量中，运动速度对识别效果影响最大，

如果去掉运动速度这个参数,识别的正确率会下降很多;其余各个变量也对识别率有不同程度的影响,可见这10个参数都是有效的。

表3 出行方式识别正确率

Table 3 Accuracy rate of travel mode recognition

神经网络输入	出行方式识别正确率/%
$P_1 \sim P_{10}$	98.4
$P_2 \sim P_{10}$	95.1
$P_1 \sim P_{10}$, 不含 P_2	97.2
$P_1 \sim P_{10}$, 不含 P_3	91.2
$P_1 \sim P_{10}$, 不含 P_4	98.1
$P_1 \sim P_{10}$, 不含 P_5	96.4
$P_1 \sim P_{10}$, 不含 P_6	97.1
$P_1 \sim P_{10}$, 不含 P_7	95.6
$P_1 \sim P_{10}$, 不含 P_8	95.4
$P_1 \sim P_{10}$, 不含 P_9	95.7
$P_1 \sim P_9$	97.6

2.4 交通碳排放因素分解

根据 ASIF (activity、structure、intensity、fuels) 运输碳排放框架,道路运输碳排放可因素分解为交通活动需求、汽车能耗强度和燃料排放因子的乘积,分别对应于上游的汽车使用者、汽车生产企业、燃料供应企业,如图5所示。

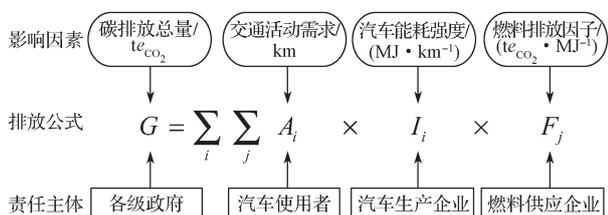


图5 道路交通碳排放因素分解

Fig. 5 Decomposition of road traffic carbon emission factors

为了计算道路交通年度能耗,人们向社区参与部门提供通勤信息,例如工作、生活和娱乐。温室气体排放因子可从多家公认的机构来源获得,用于估算 te_{CO_2}/km , 其中 e_{CO_2} 指二氧化碳当量(carbon dioxide equivalent)排放水平,具体如表4所示,表中数据来源于中国碳排放交易网,且交通工具主要用于通勤目的。

表4 各种交通工具的碳排放系数

Table 4 Carbon emission coefficients of various vehicles

交通工具	排放源排放量/L	温室气体排放因子/($te_{CO_2} \cdot km^{-1}$)
大型汽油车	大于2.0	0.297 94
中型汽油车	(1.4, 2.0)	0.207 65
小型汽油车	不大于1.4	0.165 22
小型柴油车	不大于1.7	0.142 97
中型柴油车	(1.7, 2.0)	0.177 55
大型柴油车	大于2.0	0.235 63

2.5 展现模式

程序框架搭建完成后,即可逐步展开运行测试,以H5内置于现有交通出行平台向使用者进行呈现。用户登录已内置交通出行APP,在相应功能板块登录即可使用。目前运营基于个人碳积分账户监测量化基础上,使用者可利用碳积分在市场交易运算下运行,系统主要以个人碳追踪、健康与健身、省钱工具、社交媒体、激励机制五大模块组建成相互关联的运行机制。前3个模块使用户可以设定目标并跟踪实现以下目标过程:1)绿色出行减少的碳足迹和能源消耗;2)改善健康状况;3)省钱并调整预算。社交模块利用游戏化和社会影响力以促进使用者朝着目标前进,并与同龄人比较。激励机制模块管理通过碳成果应用程序获得的碳配额和激励措施。每个模块将共享一个一致的应用程序接口(application programming interface, API),以集成多个服务和应用程序。一致的API将有助于平台适应未来发展,允许在构思和开发新服务和应用程序时对其进行集成,从而扩展平台功能。

系统五大运营模块将游戏化与公益化、经济利益与社交元素相互结合,最后以清新舒适的UI设计保证最完美的舒适体验。

3 应用前景

从以往城市交通二氧化碳排放的历史轨迹可以看出,大部分城市都遵守了交通碳排放发展规律,这说明经济发展和二氧化碳排放将尽快分开,然后将在城市扩张之前完成,而且城市居民的出行方式会更早稳定下来。

为分析交通碳排放量趋势,平均碳排放量是有益的,主要表现为2个方面,一个是人均碳排放量,另一个是单位GDP碳排放量。人均碳排放量将该城市交通 CO_2 总量均摊到个人而得,单位GDP碳排放量是将该城市交通 CO_2 总量均摊到对应国内生产总值而得到。为了更进一步地对交通碳排放量总量进行分析,应分别对各典型城市人均碳排放量和单位GDP碳排放量进行计算,从而从均量上再次对总量进行分析。因此建立3个指标转折点,其顺序为:单位GDP交通碳排放量、人均交通碳排放量^[16-17]和城市交通二氧化碳总排放量。基于城市交通碳足迹峰值3个指标出现的时间,城市交通低碳转型过程可分为如下4个阶段:未转型期、第I转型期、第II转型期、第III转型期,如图6所示。

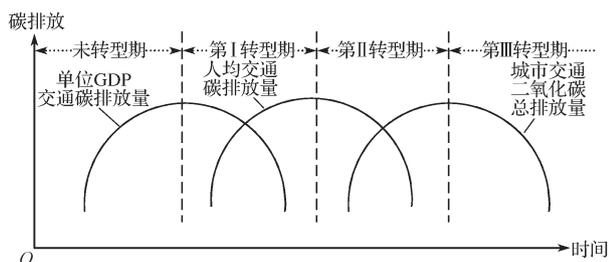


图6 城市交通低碳转型阶段划分示意图

Fig. 6 Schematic diagram urban transport low-carbon transition stage division

由图6可知,不同地区的城市低碳转型时间不同,早期发展的城市可能已经进入了第三次转型期,但后期发展的城市仍处于第I、第II转型期或尚未转型的发展阶段^[18]。发达城市单位GDP交通碳排放较早达到峰值,而在同一时期发展中城市单位GDP碳排放量已接近自身温室气体排放峰值,因此反而高出发达地区城市,反之亦然。其余两项指标均出现较单位GDP排放指标有较强的滞后性,下降幅度较小,而此时发展中城市还没有达到顶峰,这导致了很大的区域排放差异。

相关数据表明^[19],2020年我国II型小城市至II型大城市人均碳排放量处于一个相对低位水平,但从I型大城市至超大城市可以看出,人均碳排放量处于一个相对高位状态。无论是城市化扩张或是仍处于快速增长长期的城市,其交通系统都处于第I转型期或者尚未转型期阶段,短期人均碳排放指数不可能见顶。尽早发现城市交通碳排放问题,促使长期的低碳转型发展,探索减排的路径和结果,可为不同城市降低碳排放提供经验借鉴。

5 结语

目前碳资产管理各类场景下碳积分使用受限。而本研究提出的基于神经网络的绿色交通出行场景的个人碳积分账户系统设计,可突破以下目前市场上碳积分运行平台的局限性:

1) 本设计综合了信息源、计算机应用程序及奖励机制的个人碳积分账户,可帮助用户记录碳排放量并降低其碳排放量。

2) 建立了参数评价指标体系与BP神经网络,通过机器学习的方式进行数据监测、分析及判别用户出行方式,具有很强的科学性与实践性。

3) 基于各交通工具碳排放系数数据,构建道路碳排放因素公式,可以有效地衡量用户交通出行碳排放量。

可见,本研究基于绿色出行场景,将有效实现用

户出行行为监测、管理和优化调节,将长期的缓解气候变化措施与短期的个人和社会目标联系起来,从而发挥技术、行为和市场机制的协同作用。

引导居民积极选择绿色出行方式,结合具体的使用场景和系统特性,利用碳积分有效衡量用户贡献,并将其转化为实际收益,是系统开发的主要内容。基于碳积分管理和控制模型让每个人都参与到交通治理环境中,具有经济性和灵活性。在应用第一阶段,将优先在公交站点、共享单车等场景中实施,待运营变得成熟后,可逐步扩展至所有出行行为。有效控制道路交通温室气体排放,帮助国家实现“碳达峰、碳中和”目标,将对全球气候管理发挥关键作用。

参考文献:

- [1] PIECYK M I, MCKINNON A C. Forecasting the Carbon Footprint of Road Freight Transport in 2020[J]. International Journal of Production Economics, 2010, 128(1): 31-42.
- [2] 张新, 马金涛. 交通系统碳交易实现途径研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(3): 46-53.
ZHANG Xin, MA Jintao. Realization Method of Carbon Trading of Transportation System[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(3): 46-53.
- [3] CAI Y, DUDEK D, MA X M, et al. Research and Practice on Incorporating Mobile Sources into Shenzhen Carbon Emissions Trading System[J]. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2015, 7(4): 041502.
- [4] 黎炜驰, 曾雪兰, 梁小燕, 等. 基于碳普惠制的城市公共自行车个人碳减排量计算[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(12): 103-107.
LI Weichi, ZENG Xuelan, LIANG Xiaoyan, et al. Research on Carbon Emission Reduction Calculation of Urban Public Bicycle System Base Upon Generalised Carbon Trading[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(12): 103-107.
- [5] 万莉, 王靖添, 马晓明, 等. 交通运输领域清洁发展机制项目碳交易现状与启示[J]. 科技管理研究, 2017, 37(19): 233-238.
WAN Li, WANG Jingtian, MA Xiaoming, et al. Status and Experience of Carbon Trading Based on CDM Projects of Transportation[J]. Science and Technology Management Research, 2017, 37(19): 233-238.
- [6] 郭洪旭, 黄莹, 廖翠萍, 等. 碳普惠制下居民公交车出行减碳量核算方法研究: 以广州市为例[J]. 生态经济, 2019, 35(6): 44-48.
GUO Hongxu, HUANG Ying, LIAO Cuiping, et al. Methodology Study on Carbon Emission Reduction Calculation of Bus Travel: Taking Guangzhou as an

- Example[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(6): 44-48.
- [7] 曹先磊, 张颖. 落叶松碳汇造林项目 CCER 开发成本动态核算研究[J]. *统计与信息论坛*, 2019, 34(3): 43-49.
- CAO Xianlei, ZHANG Ying. Dynamic Accounting on the Development Costs of China Certified Emission Reduction Issued by *Larix Gmelinii* (Rupr.) Kuzen. Afforestation and Reforestation Project[J]. *Statistics & Information Forum*, 2019, 34(3): 43-49.
- [8] 郭朝先. 2060 年碳中和引致中国经济系统根本性变革[J]. *北京工业大学学报(社会科学版)*, 2021, 21(5): 64-77.
- GUO Chaoxian. Carbon Neutrality by 2060 Leads to Fundamental Changes in China's Economic System[J]. *Journal of Beijing University of Technology (Social Sciences Edition)*, 2021, 21(5): 64-77.
- [9] 刘航. 碳普惠制: 理论分析、经验借鉴与框架设计[J]. *中国特色社会主义研究*, 2018, 9(5): 86-94, 112.
- LIU Hang. Commonly Benefiting Carbon Institution: Theoretical Analysis, Referential Experience and Framework Design[J]. *Studies on Socialism with Chinese Characteristics*, 2018, 9(5): 86-94, 112.
- [10] 吴嘉莹, 毛庆庆, 董炳灿. 大数据时代下个人碳账户的可持续发展研究: 以蚂蚁金服为例[J]. *时代金融*, 2019(14): 103-107, 111.
- WU Jiaying, MAO Qingqing, DONG Bingcan. Study on the Sustainable Development of Personal Carbon Accounts in the Era of Big Data: Taking Ant Financial as an Example[J]. *Times Finance*, 2019(14): 103-107, 111.
- [11] 何继江, 于琪琪, 秦心怡. 碳中和愿景下的德国汉堡能源转型经验与启示[J]. *河北经贸大学学报*, 2021, 42(4): 59-66.
- HE Jijiang, YU Qiqi, QIN Xinyi. The Experience and Enlightenment of Energy Transition in Hamburg, Germany of Carbon Neutrality Vision[J]. *Journal of Hebei University of Economics and Business*, 2021, 42(4): 59-66.
- [12] 黄肖玲, 任宇婷, 张佳安, 等. 基于低碳环保因素的“前港后厂”钢铁产成品运输网络优化[J]. *运筹与管理*, 2021, 30(8): 59-66.
- HUANG Xiaoling, REN Yuting, ZHANG Jia'an, et al. Optimizing Transportation Network of Steel Products Under “Port Before Factory” Based on Low-Carbon Environmental Protection Factor[J]. *Operations Research and Management Science*, 2021, 30(8): 59-66.
- [13] 李云燕, 宋伊迪. 碳中和目标下的北京城市道路移动源 CO₂ 和大气污染物协同减排效应研究[J]. *中国环境管理*, 2021, 13(3): 113-120.
- LI Yunyan, SONG Yidi. Study on the Synergetic Emission Reduction Effect of CO₂ and Air Pollutants from the Mobile Source of Urban Roads in Beijing Under the Target of Carbon Neutralization[J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2021, 13(3): 113-120.
- [14] 卢茗轩, 谢如鹤, 陈培荣. 碳交易试点政策对交通运输碳排放强度的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(9): 25-30.
- LU Mingxuan, XIE Ruhe, CNEN Peirong. Impact of ETS Pilot Policy on Transport Carbon Emission Intensity[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2020, 34(9): 25-30.
- [15] 刘琦铀, 张成科, 石平, 等. 个人碳交易理论视域下的节能汽车选择及减排效果分析[J]. *工业工程与管理*, 2020, 25(5): 75-82.
- LIU Qiyu, ZHANG Chengke, SHI Ping, et al. Selection of Energy-Saving Vehicles and Analysis of Emission Reduction Effects Under Personal Carbon Trading Theory[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2020, 25(5): 75-82.
- [16] 杨向龙. 典型城市客运交通碳排放研究[D]. 太原: 山西大学, 2017.
- YANG Xianglong. The Study of the Carbon Emission of Passenger Transport in Typical Cities[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2017.
- [17] 武翠芳, 熊金辉, 吴万才, 等. 基于 STIRPAT 模型的甘肃省交通碳排放测算及影响因素分析[J]. *冰川冻土*, 2015, 37(3): 826-834.
- WU Cuifang, XIONG Jinhui, WU Wancai, et al. Calculation and Effect Factor Analysis of Transport Carbon Emission in Gansu Province Based on STIRPAT Model[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2015, 37(3): 826-834.
- [18] 王健夫. 武汉市 CO₂ 排放峰值目标下工业部门减排路径研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- WANG Jianfu. Study on Emission Reduction Pathway for Industrial Sector to Meet the CO₂ Peaking Target in Wuhan[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2019.
- [19] 张聪, 贾凤娇. 基于居民出行的城市交通碳排放特征及节能减排策略[J]. *交通与运输*, 2020, 36(3): 76-79.
- ZHANG Cong, JIA Fengjiao. Carbon Emission Characteristics and the Strategies of Energy Saving and Emission Reduction of Urban Transportation Based on Residents' Travel[J]. *Traffic & Transportation*, 2020, 36(3): 76-79.

(责任编辑: 廖友媛)