

中国 PPP 项目可融资性差吗？ ——基于集成 LightGBM – Blending 算法

沈俊鑫¹, 吕佳历¹, 程 墙¹, 张经阳²

(1. 昆明理工大学 管理与经济学院, 云南 昆明 650093;

2. 北部湾大学 经济管理学院, 广西 钦州 535001)

摘 要:可融资性是 PPP 可持续发展的前提和基础。针对 PPP 项目可融资性存在行业差异性高及评价类别型字段过多问题,为防止评估过程出现严重过拟合现象和因二次加工产生的误差,提出集成 LightGBM – Blending 算法。基于社会资本视角构建可融资性评估体系,借鉴集成思想按行业划分训练集,构建以 LightGBM 算法为基础的多基分类器,避免对类别特征进行二次处理,并通过网络爬虫爬取 CPPPC 项目数据进行模型训练及测试,设计 Blending 算法进行模型融合与优化。实验结果表明:相较于传统集成算法,集成 LightGBM – Blending 算法评估精确度更高,可有效解决高行业差异性问题;Blending 融合策略比其他赋权融合策略评估精度提升了 5.76%;引入低样本行业和高特质化行业样本进行验证,测试结果中百分比误差为低、中区间样本占比约为 79.5% 和 78.26%,该模型可有效应用于不同行业 PPP 可融资性评估,具有良好的泛化能力。

关键词:PPP;集成 LightGBM – Blending;可融资性;特质性差异;多类别字段

中图分类号:F840.612;F282 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2022)01-0050-12

Are PPP Projects Poor Financability in China? ——Based on the Integrated Light GBM-Blending Algorithm

SHEN Junxin¹, LÜ Jiali¹, CHENG Qiang¹, ZHANG Jingyang²

(1. Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Faculty of Economics and Management, BeiBu Gulf University, Qinzhou 535001, China)

Abstract: Financiability is a prerequisite and foundation for the sustainable development of PPP. In order to prevent serious overfitting and errors caused by secondary processing in the evaluation process, the ensemble LightGBM-Blending algorithm is proposed to address the problems of high industry variability and too many evaluation category-type fields in the financiability of PPP projects. Based on the social capital perspective, we construct a financiability evaluation system, divide the training set by industry with the integrated idea, and build a multi-base classifier based on the LightGBM algorithm to avoid secondary processing of category features; finally, we crawl project data in the CPPPC through a web crawler for model training and testing, and design the blending algorithm for model fusion and optimization. The experimental results show that: compared with the traditional ensemble algorithms, the ensemble LightGBM-Blending

收稿日期:2021-06-04 修回日期:2022-01-12

基金项目:国家自然科学基金项目(71964018,72163018);云南省省院省校合作项目(SYSX201911);广西哲学社会科学规划研究项目(18BGL014)。

作者简介:沈俊鑫(1978—),男,福建诏安人,博士,昆明理工大学管理与经济学院教授,博士生导师,研究方向为大数据驱动决策。通信作者:张经阳。

algorithm has higher evaluation accuracy and can effectively solve the problems such as high industry variability; the blending fusion strategy improves the evaluation accuracy about 5.76% compared with other empowerment fusion strategies; a low sample industry and a high idiosyncratic industry sample is introduced for validation, and the test results show that the proportion of the low error interval and the medium error interval samples is about 79.5% and 78.26%. The model has good generalization ability, it can be effectively used for PPP financiability evaluation in different field.

Key words: PPP; ensemble LightGBM-Blending; financiability; trait differences; multi-category type fields

政府与社会资本合作(Public-Private Partnership, PPP)作为新型融资模式,广泛应用于“两新一重”建设,已成为增加公共基础设施供给、提升项目运营效率、激发民间投资的重要政策工具^[1]。“落地难”“融资交割率低”等问题严重制约了我国 PPP 高质量发展。开展可融资性评估是提升 PPP“落地率”和“融资交割率”的重要手段之一,将有助于缩短 PPP 项目入库周期、优化入库流程、提高运作效率^[2]。社会资本往往从项目本身和地方政府两个维度评价 PPP 项目可融资性^[3]。本文将基于社会资本视角,以财政部政府和社会资本合作中心(China Public-Private Partnership Center, CPPPC)储备项目和示范项目为研究对象,建立 PPP 项目可融资性集成学习评价模型,开展中国 PPP 项目可融资性评价。

在 CPPPC 的 19 个应用领域中,不同行业之间的 PPP 项目往往存在相对较为特质化的交易结构^[4]和盈利模式^[5],行业间存在显著分布不均^[6]和应用模式选择差异等现象^[7]。如科技创新领域 PPP 项目通常具有运营周期较短、投资风险较大、收益率较低的特点^[8];养老行业具有前期投入成本低、政策不确定性高等特点^[9],而某些行业的项目优点则体现在建设期风险较低,回收成本快,运营难度低等特征。PPP 模式在实际应用中存在明显的行业特质性,这一特性同样将体现在 PPP 可融资性评估过程中。此外, CPPPC 管理库中不同行业样本数量极度不平衡,这些样本还会受地理位置、时下政策等因素影响,将大大增加可融资性评估噪音,采用传统机器学习方式进行 PPP 可融资性评估易导致模型偏向性,可靠性不高。与此同时,基于 CPPPC 挖掘的项目信息进行可融资性评估,模型输入的评估数据包含大量类别字段,而类别型字段由于无法直接作为输入字段使用,往往需要进行二次加工,将进一步加大模型误差。

为保证 PPP 可融资性评估的可信度,需寻找合理策略处理大量的类别型字段。

综述所述,基于社会资本视角采用机器学习方法进行 PPP 可融资性评估存在两大障碍:不同领域项目间存在高特质化,样本差距较大;样本存在大量类别型字段,影响评估模型精度。因此,本文将借鉴集成思想,设计集成 LightGBM-Blending 算法开展 PPP 可融资性评估研究,利用基分类器拟合各行业样本数据,以 LightGBM 算法作为基分类器模型,无需二次加工类别型字段,极大地提高模型的普适性和准确率。

一、文献回顾及理论机制

(一)文献回顾

PPP 可融资性受项目内外部因素影响。Li 等(2005)^[10]和 Chan 等(2010)^[11]认为项目质量及社会支持度会对 PPP 项目成功产生一定的影响;Deng 等(2021)^[12]认为项目投资、成本控制和收入分配等因素是 PPP 项目可持续发展的关键因素;Jin 等(2019)^[13]通过建立不完全信息讨价还价模型,发现投资的均衡收益与 PPP 成功有关;唐义等(2020)^[14]采用案例研究法和访谈法,分析 PPP 项目的动力机制、信息交流机制、投资回报机制以及监督机制存在的问题,并为推动 PPP 项目落地提出了对策建议;周正祥等(2015)^[15]指出加强 PPP 模式的类型识别、运行机制有助于提升 PPP 的治理能力;Liyanage 等(2015)^[16]运用定性比较分析法对 PPP 运输项目进行案例分析,得出合理的项目合作期限有助于促进 PPP 项目的成功;Madeleine 等(2021)^[17]提出增加采购阶段透明度和公众参与对基础设施 PPP 可持续发展尤为重要。此外,Aziz 等(2007)^[18]结合美国公私伙伴关系的经验教训,提出正确感知物有所值目标有利于 PPP 发展;Chen 等(2021)^[19]通过频率分析、变异系数分析和聚类分析,得出省际 PPP 发展的有明显区域差异特性;

Fleta 等(2021)^[20]通过研究可再生能源 PPP 项目样本得出良好的体制和经济环境可增强社会投资者参与 PPP 项目意愿;张牧扬等(2019)^[21]通过 2010—2018 年财政部 PPP 项目库中所有已发起 PPP 项目的数据,得出 PPP 项目财政支出责任将加大地方政府财政支出压力,且过高的财政支出压力会阻碍当地 PPP 项目发展的结论;谈婕等(2019)^[22]通过建立 Cox 比例风险回归模型,得出积极的政府财政能力与组织能力将显著推进 PPP 落地、人均财政收入与常住人口数量均对 PPP 落地快慢有显著影响的结论;王岭等(2019)^[23]从财政负担的视角出发,通过建立计量回归模型,发现地方政府财政负担严重影响 PPP 项目的落地并呈现一定的区域异质性。

(二)理论机制

PPP 模式具有伙伴关系、利益共享和风险分担三大特征^[24]。伙伴关系作为 PPP 的首要特征,需要公私双方综合考虑对方的实际情况以及项目具体的合作机制,合作期间彼此监督最终实现互利共赢。政府选择偏好^[25]、补偿及担保机制^[9,26]、腐败程度^[27-28]、PPP 项目发起的政府级别^[3]、地方政府的 PPP 经验^[27]、财政实力^[29-30]、管理能力与公信力^[31-32]等均会影响社会资本参与 PPP 项目的积极性。冯净冰等(2020)^[4]认为地方政府的收益支持、推进效率和权利让渡是吸引社会资本的重要因素。刘畅等(2020)^[33]认为提高政府财政透明度,可以消除 PPP 项目建设期间的隐性壁垒,吸引社会资本参与公共基础设施投资。项目相关的合作机制因素也是影响社会资本参与 PPP 项目的主要因素。曾莉等(2020)^[34]认为项目期限、项目类别、付费方式等对民营企业的参与意愿有显著影响。仇娟东等(2021)^[3]认为私人付费的回报方式对私人资本参与 PPP 项目投资具有正向作用。PPP 模式建立“伙伴关系”的目的是实现公私部门的“利益共享”和“风险分担”,社会资本作为逐利主体,参与 PPP 的主要目标是实现利润最大化,因此会着重考虑项目带来的收益,其中,PPP 项目的盈利能力,具体包括合理利润率^[25]、利润机会^[27]以及投资回报率^[35]对于吸引社会资本参与 PPP 项目至关重要;而合理的风险分配方式能够实

现项目管理过程中的风险最小化,进而实现利益共享,也是吸引社会资本参与 PPP 项目的关键^[25,36]。

金融界通常认为可融资性指:项目是否可以融资,是否具有积极的或明显的现金流^[37]。PPP 可融资性被认为是项目对社会资本、金融机构具有的吸引力^[38];可融资性研究是解决公共项目投资资本回收或贷款偿还问题的有效途径^[39];项目可融资性取决于项目主体、投资主体和地方政府三大信用组合^[40]。上述观点虽不完全一致,但基本都认为:融资是 PPP 项目落地和实施的关键,合理的融资方案和规范的融资行为是 PPP 项目成功的重要保障。PPP 可融资性评价可分为两个阶段:第一阶段是政府通过招标吸引社会资本,反映项目对社会资本的吸引力,从社会资本视角评价项目可融资性;第二阶段项目从采购阶段进展至实施阶段,反映项目是否实现融资交割,从金融机构视角判断项目还本付息的能力^[41]。本文受限于数据可获得性,从社会资本视角研究 PPP 可融资性。

综上所述,从社会资本视角,PPP 可融资性主要取决于项目本身和地方政府两个维度。具体样本集的字段构成、字段含义、数据类型如表 1 所示。

表 1 可融资性评价字段及描述

字段分类	字段标号	字段名称	数据类型
项目本身 相关字段	X1	可融资性	标签
	X2	项目发起时间	时间型
	X3	项目投资金额	数值型
	X4	项目回报机制	类别型
	X5	项目细分领域	类别型
	X6	项目所处阶段	类别型
	X7	行业壁垒	类别型
	X8	项目运作方式	类别型
	X9	合作年限	数值型
	X10	采购方式	类别型
	X11	物有所值指数	数值型
	X12	项目风险现值	数值型
	X13	项目内部收益率	数值型
	X14	折现率	数值型
	X15	合同透明性	类别型
地方政府 相关字段	X16	政府区域	类别型
	X17	地方人口数	数值型
	X18	城市评级	类别型
	X19	人均 GDP	数值型
	X20	财政风险	类别型
	X21	偿债压力	类别型
	X21	政府债务水平	数值型
	X22	廉洁程度	数值型
	X23	政府 PPP 项目经验	类别型
	X24	政府支持力度	类别型

二、研究思路及设计

(一) 解决思路

集成算法通常采用结合策略,通过融合多个基分类器完成模型训练,以提高模型的泛化能力。PPP 行业间存在高特质化和样本不平衡问题,直接采取单一机器学习算法训练模型容易导致误差。为解决该问题,本文借鉴集成思想,通过构建多基分类器完成样本学习。应用集成思想进行 PPP 可融资性评估需要考虑下述两方面问题:一是各基分类器输入训练集的构建方式,要求不同基分类器能有效描述项目所属行业特征,并实现基分类器模型匹配与选择;二是各基分类器训练完成后的集成策略,要求可有效降低整体误差,同时应具备良好的泛化能力,能够处理不同行业特质差异问题。

针对第一个问题,构建基分类器的输入训练集需要对原始数据集进行处理后形成新训练集。常见处理手段是给定一个原始数据集,有放回采样 n 次,形成单个分训练集,根据基分类器的数量要求多次重复上述步骤后完成输入多个分训练集。该方法操作简便,未被选中的样本可作为验证集对模型的泛化性能进行“包外估计”,但该方法不能划分 PPP 项目行业数据,因此无法有效解决 PPP 行业间高特质化和样本不平衡问题。为能够有效描述原始数据集中 PPP 项目行业特征,本文将根据行业属性划分原始数据集,然后对新样本集中类别较少的样本进行过采样处理,以保证单个行业分训练集正负样本集平衡,从而实现每个分训练集可有效描述其所属行业特征且保证行业内正负样本的平衡。

在基分类器模型的匹配和选择上,通常选择弱学习器进行基分类器模型训练,如神经网络、决策树、随机森林等算法,但这些方法无法解决 PPP 可融资性评估中存在大量类别型字段的问题。类别型字段通常采取人工赋值方式将其转化为数值型,或者采取 one-hot 编码方式进行处理,处理完成后和数值型字段进行拼接作为判别器的输入。Twumasi 等(2020)^[42]通过调查信贷对农村家庭清洁能源消费的影响因素时,对于被调查者的

性别、资产所有权等类别字段,均使用人工赋值的方式。Qiao 等(2019)^[43]使用 one-hot 编码来解决糖尿病治疗计划中输入变量为离散药物数据的问题。人工赋值方法解决了类别型字段无法直接输入模型问题,但是该方法往往主观性过强,容易产生误差;而 one-hot 编码对类别型字段本身要求较高,需字段值之间相互独立且不连续,且该方法容易导致处理后数据集维度过高,形成稀疏数据,尤其当类别型字段较多时,容易产生样本切分不平衡问题,导致切分增益非常小,甚至浪费该字段^[44]。目前,解决该问题较为有效的方法是结合 k-means 等无监督学习算法,对类别型字段进行重构,重设后构建新训练集建模训练,通过测试结果将单一类别字段转换为多维度字段,实现类别型字段的数值转换^[45]。也有学者取消直接赋值,以防止主观性带来的误差。如王婷等(2020)^[46]通过将类别特征权进行类内和类间的统计分析,获得方差和均值两个变量后,采用模糊距离计算等算法将类别型字段转换为可输入特征。显然,上述方法仅是对传统方法的延伸,本质思路并未有太大修正,切分不平衡问题仍然无法根除。本文试图从算法层面解决该问题,利用 LightGBM 算法作为基分类器模型,该算法可直接将类别型字段作为输入变量使用^[47],并借鉴直方图切分策略,利用 LightGBM 算法优化类别型字段的切割方式,避免进行多次再加工。

对于第二个问题,基分类器常见的集成策略有 Bagging 投票算法、Stacking 算法、Blending 算法三类。Bagging 投票算法更适合样本集可以笼统划分的情形,其原理是采用少数服从多数原则决定分类问题最终结果^[48],Bagging 投票算法融合策略过于简单,精细度不足以面对 PPP 可融资性评估复杂的场景。Stacking 集成算法实际上是把各初级学习器的预测结果作为下一层模型的输入训练集,从而训练生成最终模型^[49],该算法通常需要两层以上,模型复杂度较高,计算量较大,且极易造成过拟合,通常需采用 k-折交叉验证来避免过拟合现象发生,但计算量相对 Blending 算法而言仍然庞大,运算效率和精度均不如 Blending 算法^[50]。

相较这两类集成策略, Blending 算法既具备面对分析复杂场景的能力也不会面临过度复杂的计算过程, 兼顾了效率和精确度^[51]。故本文采取 Blending 算法为基分类器进行赋权处理, 针对 CPPPC 项目可融资性行业差异性及非平衡性, 提出集成 LightGBM – Blending 算法, 以消除行业间高特质化和样本不平衡等负面影响的同时, 避免从数据集上对类别型字段进行二次加工, 构建精确并极具可操作性的 PPP 可融资性评估模型。

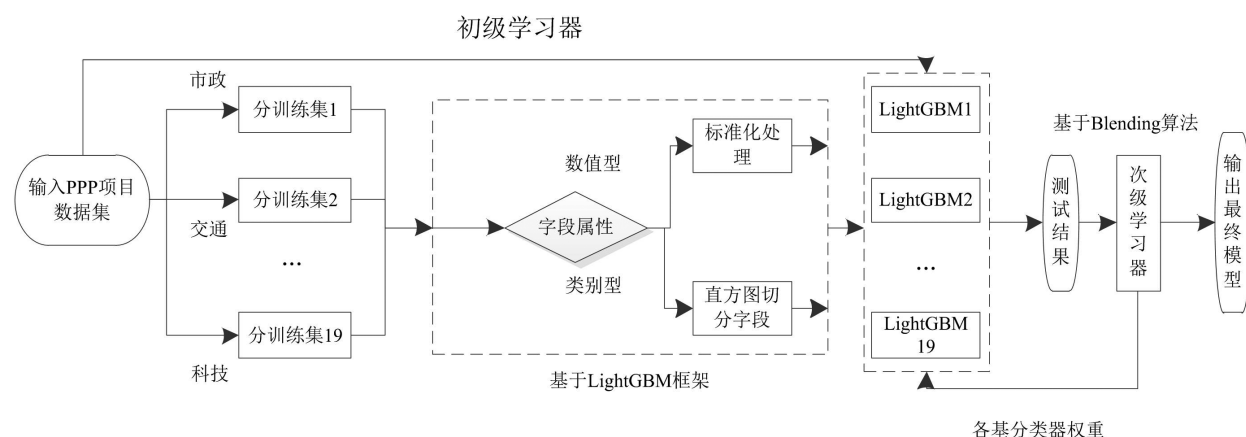


图 1 集成 LightGBM – Blending 模型

集成 LightGBM – Blending 算法步骤如下。

输入: PPP 项目数据集 D , 可融资性评估字段集 C

输出: PPP 可融资性评估模型

(1) 按行业字段对数据集 D 进行划分, 划分后形成 19 个子集, 对其中正负样本不平衡的分训练集进行过采样处理, 以实现正负样本平衡, 形成多行业 19 个分训练集 X ;

(2) 对分训练集 X_i 字段根据数值型和类别型进行分别处理。数值型字段统一进行标准化处理, 类别型字段按直方图算法原理求解最优切分策略;

(3) 对所有分训练集 X_i 重复步骤(2), 将处理完成的字段输入各基分类器中进行训练, 其中基分类器的弱学习器为 LightGBM 算法;

(4) 将各基分类器测试结果作为输入字段输入次级学习器 (Linear Blending 算法) 中, 对各基分类器进行赋权融合, 最终形成 PPP 可融资性评估最终模型。

(二) 模型设计

1. 集成 LightGBM – Blending 模型

本文基于集成思想, 采用 LightGBM 作为基分类器基础算法, 提出集成 LightGBM – Blending 算法, 根据项目行业属性划分 PPP 样本集, 将划分后的分训练集输入各基分类器进行训练, 训练结果通过 Blending 算法进行融合, 为各基学习器赋予权重。集成 LightGBM – Blending 实现过程如图 1 所示。

2. 类别指标切分算法设计

本文基于微软开源梯度提升框架 LightGBM, 该框架基于改进算法, 可有效增强 GBDT (Gradient Boosting Decision Tree) 性能^[52]。GBDT 算法作为一种迭代决策树算法, 由多棵决策树组成, 这些树共同形成最终结果。LightGBM 框架能直接支持类别型字段和直方图字段优化, 可以直接输入类别特征, 无需进行 one – hot 编码, 且能在决策树算法上增加类别特征决策规则。本文利用分箱机制, 可有效避免稀疏数据等问题, 并提高样本训练速度和精度。LightGBM 进行类别指标最优切分算法流程如下。

step1: 根据离散类别指标建立直方图

对类别指标中的每一类离散值进行计数, 统计后根据计数大小按降序排序。为该指标中单个离散值建立单独的 bin 容器, 并过滤在 bin 容器中出现较少的离散值。

step2: 计算分裂阈值并进行切分

对类别指标, 若 bin 容器 $< n$ (n 根据实际情况

确定),则采用 one vs other 方式,逐个扫描单个 bin 容器,寻找类别指标最优分裂点;若 bin 容器 $\geq n$,则优先过滤,仅让字段集合较大的 bin 容器参与划分阈值计算。根据上述标准对单个符合条件的 bin 容器进行分裂计算,获取相应值,按结果对 bin 容器进行升序排序,并一次按从左至右的次序、从右至左的次序进行搜索,获取最优分类阈值。

3. 模型集成策略

本文采用双层 Blending 算法进行基分类器集成,具体算法思路如下。

假设存在 N 个基分类器,这些基分类器统一被称为初级学习器,结合基分类器的学习器则称为次级学习器。在第一层中,将数据集划分为训练集和验证集,分别使用各初级学习器对训练集进行训练,将训练完成的模型对验证集进行验证,获取次级学习器的字段;在第二层中,将第一层训练结果作为输出字段输入次级学习器,使用训练好的次级学习器对预测特征进行预测,得到最终的预测结果作为各初级学习器权重。Blending 算法作为融合算法,次级学习器可以选择各类算法,不同算法能取得不一样的效果。PPP 可融资性评估问题本质上是二分类问题,因此采取 LinearBlending 算法作为赋权融合手段。LinearBlending 算法是一种加权平均法,将每个不同的基分类器组成一个线性组合^[53]。通过将 N 个独立的基分类器组成线性组合,计算得出每个基分类器的权重后确定最优权重,该方法可使整体误差最小,具体计算公式如下:

$$\min \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left(y_i - \sum_{n=1}^N a_n h_n(x_n) \right)^2 \quad (1)$$

在式(1), h_n 表示单个基分类器, a_n 表示第 n 个基分类器对应权重。

4. 模型性能评估

为验证集成 LightGBM - Blending 算法优越性,本文采用查准率(Precision)、查全率(recall)和 F1 值 3 个字段评价算法性能。对于二分类问题上述三个指标可有效评估模型性能,三者均基于混淆矩阵。具体计算公式如下:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$F1 = \frac{2 \times Precision \times recall}{Precision + recall} = \frac{2 \times TP}{M + TP - TN} \quad (4)$$

其中, TP 为真正例(true positive), FP 为假正例(false positive), TN 为真反例(true negative), FN 为假反例(false negative), M 为样本集样本总数。

同时,为验证集成 LightGBM - Blending 算法对于 PPP 项目行业间高特质化和样本数量不平衡问题的解决能力,本文采用百分比误差衡量输出结果与真实数据之间的差距。公式如下:

$$E = \left| \frac{p_i - \hat{P}_i}{p_i} \right| \quad (5)$$

在式(5)中, E 为百分比误差; p_i 表示第 i 个样本的真实数据; $\hat{P}_i$ 表示通过模型输出结果。定义百分比误差在 20% 以下区间为低误差样本,20% ~ 40% 区间内为中误差样本,40% 以上区间则称为高误差样本,通过该指标计算测试结果与真实数据之间的误差,更真实反映集成 LightGBM - Blending 算法输出结果的可信度。

(三) 数据处理

1. 实验 PPP 数据集

为验证模型的准确性和泛化能力,从项目本身和地方政府两个维度构建相关字段,组成 PPP 原始样本集。CPPPC 项目管理库收录了我国所有通过“两评一案”的 PPP 项目,本文通过网络爬虫获取 CPPPC 项目库 19 个应用领域共计 10848 个项目数据集;地方政府维度数据集来自《统计年鉴》《政府工作报告》《中国市级政府财政透明度研究报告》《中国检察年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国城市社会发展报告》《中国分省份市场化指数报告》《中国市级政府财政透明度研究报告》。其中,合同透明性由 CPPPC 项目库中项目必填信息完整程度以及必填信息完整程度按照 8:2 的比例计算得出,行业壁垒根据 PPP 项目所处行业划分为高、中、低行业壁垒,如市政工程属于高壁垒行业,科技属于低壁垒行业;其他项目相关指标数据均来自 CPPPC 项目信息;政府债务水平和偿债

压力分别用赤字率、负债率表示;财政风险反映区域全部 PPP 项目占一般公共预算支出比例,5% 以下为低风险,5% ~ 7% 为中风险,7% ~ 10% 为中高风险,10% ~ 15% 为高风险,15% 以上为超高风险;政府区域按县级、市级、省级 3 个等级划分;城市评级按《中国城市社会发展报告》划分为 1 至 5 级;政府清廉程度反映政府信誉,用职务犯罪人数体现政府清廉程度,即职务犯罪人数/地区人口;地方政府财政压力反映地方政府财政收支能力,用财政收入、支出评估政府履行支出责任能力;政府 PPP 项目经验用项目发起单位之前负责的 PPP 项目个数。本文对爬取的 10848 个 PPP 项目通过项目所处阶段和项目发起时间两个字段作为原始字段确定项目的标签。具体规则是:将收集的项目分为“强可融资性”和“弱可融资性”两种类别,其中发起年份在 2018 年之前且目前仍处于识别阶

段或者准备阶段的 PPP 项目,这类项目标签定义为“弱可融资性”;对于采购阶段或者执行阶段的 PPP 项目,这类项目标签定义为“强可融资性”。根据上述规则对原始数据进行处理,清除无法使用规则进行标签定义的项目共 475 个,最终样本集剩余 10373 个 PPP 项目。其中标签为“强可融资性”的 PPP 项目数为 7445 个,标签为“弱可融资性”的 PPP 项目数为 2928 个,两类样本数量比例约为 2.5:1。样本集中各行业 PPP 项目强弱可融资性数量占比如图 2 所示。从图 2 可知,市政工程、交通运输以及生态建设与环境保护三类行业的 PPP 样本数量远大于其他行业,其中市政工程项目 PPP 项目数量占了总行业数量约 38.53%;融资性强弱比例也存在较大的行业差异性,林业、能源远高于平均水平,社保、旅游和养老则低于平均水平。



图2 不同 PPP 项目可融资性比较

2. 数据集处理

对数值型字段进行 z -score 标准化处理,以消除因不同字段数据取值差异过大和量纲不同造成的负面影响。对任意序列 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 进行 z -score 标准化处理后,得出均值为 0、方差为 1 的无量纲化新序列 $y_1, y_2, \dots, y_n$, z -score 标准化公式如下:

$$y_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$$

$$\text{其中 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

(6)

为保证数据分布的一致性,避免因数据划分不当造成的偏差,本文采用留出法按 7:3 比例将样本集划分为训练集和测试集。

对于采用集成 LightGBM - Blending 算法的实验组,类别型字段通过 LightGBM 算法直接处理;对于其他对照组,类别型字段根据字段值之间是否为平行关系分别按人工赋值或 one-hot 编码处理。其中,合同透明性、城市评级、政府区域、财政风险、偿债压力、政府 PPP 项目经验、政府支持力度字段采用人工赋值方式,项目回报机制、项目细分领域、项目所处阶段、行业壁垒、项目运作方式、采购方式采取 one-hot 编码处理。

三、结果与分析

本文采用 Python 作为实验工具。为保证后续实验中进行多算法性能对比时每次均为相同的训练集和测试集,在划分数据集时将 random_state 值固定为同一常数,同时各基分类器中均保持统一的模型参数设置。为比较 Blending 融合算法相较于其他算法在 PPP 可融资性评估中的准确性,本文对 19 个基分类器采用另外两类集成策略(bagging 投票算法和 stacking 算法)进行赋权融合,最终结果如表 2 所示。采用 Blending 算法融合模型,测试结果各项性能明显优于另外两类融合策略, Precision 相较另外两类融合策略分别提高 7.42% 和 5.76%。就预测结果而言,使用 Blending 融合策略的模型最终测试结果中查准率与查全率高达 84.31% 和 88.65%,说明该模型可以识别近 90% 的“弱可融资性”PPP 项目。

表 2 各类融合策略结果对比

融合策略	Precision	recall	F1
Bagging	78.48%	84.62%	0.814
Stacking	79.72%	85.96%	0.827
Blending	84.31%	88.65%	0.864

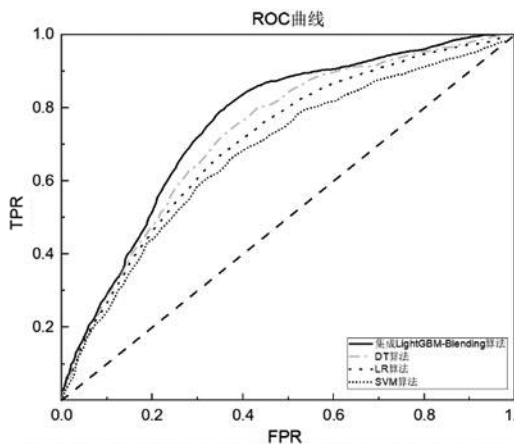
为证明集成 LightGBM - Blending 算法能有效解决类别字段过多的问题,本文将集成 LightGBM - Blending 算法和其他常用算法(逻辑回归、SVM 算法、神经网络、Bagging、随机森林等)进行对照实验,在对照组实验算法中,类别型字段的处理仍然采用人工赋值或 one-hot 编码两种方式。最终测

试结果如表 3 所示。

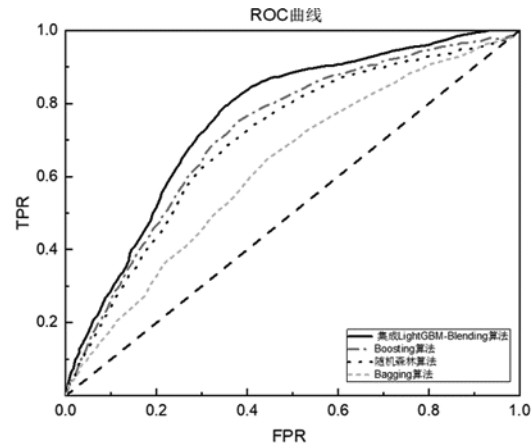
表 3 各类模型结果对比

模型	Precision	recall	F1
逻辑回归	76.65%	80.59%	0.786
SVM 算法	80.06%	85.36%	0.826
神经网络	77.58%	82.65%	0.800
Bagging	74.42%	79.25%	0.768
随机森林	78.74%	83.75%	0.812
Boosting	78.59%	83.57%	0.810
集成 LightGBM - Blending	84.31%	88.65%	0.864

由表 3 中可以看出,集成 LightGBM - Blending 算法在评价 PPP 可融资性问题性能明显优于其他传统算法, Precision 提升了 5.3% ~ 13.29%, recall 提升了 3.85% ~ 15.79%。这证明集成 LightGBM - Blending 算法能缓解传统方法对类别型字段处理不佳带来的负面影响,可更有效进行 PPP 可融资性评估。为进一步展示集成 LightGBM - Blending 算法的优越性,将不同算法的测试结果绘制成 ROC 曲线,如图 3 所示。其中图 3(a)为集成 LightGBM - Blending 算法和单一机器学习算法的性能比较,图 3(b)为集成 LightGBM - Blending 算法和集成算法的性能比较。从图 3 可以看出,ROC 曲线均在 45 度斜线上方,说明所有模型都可以有效地完成 PPP 可融资性评估,但是集成 LightGBM - Blending 算法的 ROC 曲线更靠近坐标轴的左上方,这意味着集成 LightGBM - Blending 算法相较于单一机器学习算法或者常规集成算法均具备更为优秀的性能。



(a) 与单一机器学习算法效果对比图



(b) 与集成算法效果对比图

图 3 各类算法 ROC 曲线结果对比

上述实验部分仅能证明集成 LightGBM - Blending 算法集成策略选择最为优秀,且可有效解决类别特征过多带来的负面影响,但仍然无法说明该算法能有效解决 PPP 项目多行业高特质化问题。PPP 项目样本集存在多行业特性可视为另一类样本不平衡问题,部分行业数量占比过多,直接训练容易导致模型对数量占比过多的行业(如市政工程等)产生过拟合现象。而在测试集中,由于分层分布采样,这类行业项目占比依旧较多,无法判断模型是否适应少数案例样本行业。集成 LightGBM - Blending 算法能否分辨 PPP 项目各行业间高特质化仍需进一步验证。因此,为验证集成 LightGBM - Blending 算法对 PPP 项目各行业样本不平衡问题的分类性能,本文选取训练集中 PPP 项目数量排名倒数后 10 名的行业,从中随机选取 50 个样本组成新验证集。由于 PPP 可融资性评估问题实际上为二分类问题,分类问题较难描述算法在验证集上训练的结果,故借鉴逻辑回归思想,将输出值限定在(0,1)区间。使用集成 LightGBM - Blending 算法对新验证集进行测试并输出结果,如图 4 所示。

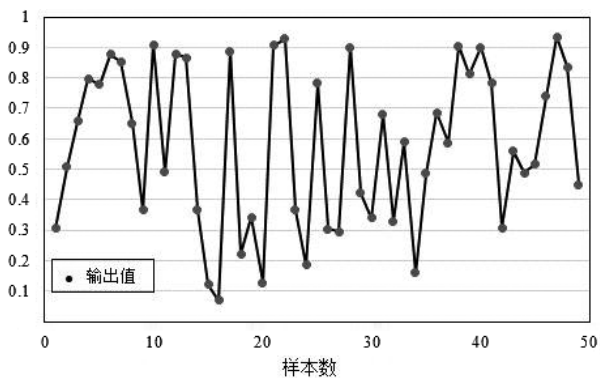


图4 低案例行业结果拟合曲线

由图4可知,完全分类错误的样本数量为6个,占比为12%;正确分类的样本数量为44个,占比为88%。计算正确分类样本的百分误差,属于低等误差区间的样本共计19个,中等误差区间的样本共计16个,高等误差区间的样本共计9个,低等误差区间和中等误差区间两类样本占比约为79.5%。实验结果表明,使用集成 LightGBM - Blending 算法运用在 PPP 项目数量较少的行业时,

能有效完成可融资性评估工作,并取得较好的准确率,证明了该算法具有优秀的泛化能力。

为进一步验证集成 LightGBM - Blending 算法对于 PPP 项目各行业高特质化问题的解决能力,从 19 个行业中选取行业特征差距明显的 5 个行业(交通、能源、养老、科技、旅游),随机选取 50 个样本作为新验证集。按与上述同样方式进行处理,最终模型输出结果与真实结果的拟合曲线如图 5 所示。

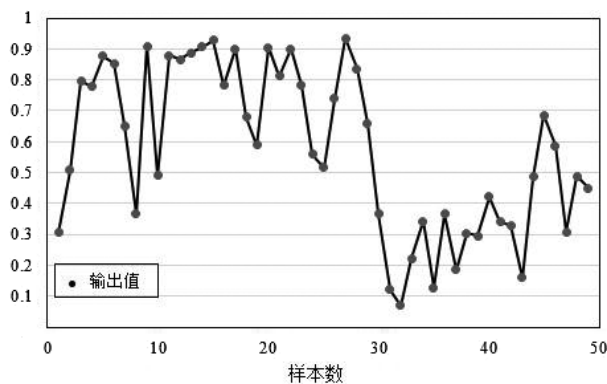


图5 高特质化行业结果拟合曲线

由图5可知,完全分类错误的样本数量为4个,占比为8%;正确分类的样本数量为46个,占比为92%。计算正确分类样本的百分误差,属于低等误差区间的样本共计21个,中等误差区间的样本共计15个,高等误差区间的样本共计10个,低等误差区间和中等误差区间两类样本占比约为78.26%。实验结果表明,使用集成 LightGBM - Blending 算法对高特质化 PPP 行业间进行可融资性评估能够取得较好的测试精度,证明了算法在解决这一类问题上的可行性,具备良好的行业泛化能力。

四、结论与启示

(一) 结论

在大数据时代背景下,使用机器学习方法研究 PPP 项目可融资性具有可行性。本文基于 CPPPC 项目数据作为基础样本集,综合多类机器学习算法,建立 PPP 项目可融资性评估模型。研究表明,集成 LightGBM - Blending 算法相对传统集成算法能更好解决评估类别型字段过多、行业间高特质化和样本不平衡问题,集成策略具备良好的性能和行业泛化能力。

第一,自 2017 年 11 月财政部办公厅印发 92 号文《关于规范政府和社会资本合作(PPP)综合信

息平台项目库管理的通知》、2018 年 4 月财政部印发 54 号文《关于进一步加强政府和社会资本合作 (PPP) 示范项目规范管理的通知》以来,对不合规、进展缓慢等项目进行退库处理,CPPPC 累计清理退库项目超过 3000 个,CPPPC 在库项目大都为优质项目,具有较高的可融资性,反映我国 PPP 项目可融资性和落地率持续上升,PPP 模式也从高速发展转向规范发展。

第二,PPP 可融资性不仅受合作机制、行业壁垒、回报机制等项目特性影响,地方政府能力与廉洁程度、PPP 支持力度、财政风险、区域经济水平均会影响社会资本参与 PPP 项目积极性,中国 PPP 项目可融资性具有地区、行业差异性。CPPPC 项目库近年来日益完善,数据权威性、准确度、全面性以及信息时效性相较以往均较大提升,地方政府和社会资本均可基于项目内外部大数据,借助机器学习模型开展 PPP 可融资性评价。

第三,集成 LightGBM – Blending 算法相对其他算法具备更为优秀的性能,能更有效处理全行业 PPP 可融资性评估问题。按行业建立基分类器,选择 Precision、Recall 和 F1 值作为模型性能的评价标准,采用 LightGBM 算法能有效解决传统算法中因类别型字段过多带来的误差。此外,Blending 算法为基分类器进行赋权相较其他集成策略效果更加优秀。当将算法应用至新的低数量行业样本集和高特质化行业样本集中,也取得良好的测试结果,这无疑证明该算法能有效解决 PPP 可融资性评估中面临的实际问题。

第四,集成 LightGBM – Blending 算法可有效解决原始数据集间不平衡问题。就全国 PPP 项目而言,地方政府管理水平、财政实力、经济发展水平、基础设施存在明显差异,发展不平衡、不充分导致各地方政府青睐的 PPP 项目有所不同。而由于社会资本专业性和行业背景,其偏向的 PPP 领域和项目也有所不同,公私合作双方利益诉求不同导致 PPP 样本集的不平衡必然且长期存在。可从数据源角度着手,将数据从不同层面进行分割,保证小样本群体的平衡性,提高评估精度。

第五,基于社会资本视角构建的集成 LightGBM – Blending 算法可融资性评估模型,可进一步扩展为基于金融机构视角,从金融机构视角评估 PPP 项

目可融资性。集成 LightGBM – Blending 算法能够更好地解决 PPP 可融资性评估过程中存在的行业间高特质化问题和样本不平衡问题,且该算法对于新场景的样本集有着优秀的泛化能力。该算法可为基于社会资本视角开展 PPP 可融资性评估提供参考,能有效帮助社会资本甄选高质量 PPP 项目,降低违约风险,也可以帮助地方政府客观评价拟采用 PPP 模式的项目,加快 PPP 项目推进进程,提高 PPP 项目“落地率”,推动 PPP 高质量发展。

(二)管理启示

第一,严格把控入库关,对不宜采用 PPP 模式、前期准备不充分、融资结构不合理、机制设计不完善等实施清理、退库,提升 PPP 项目可融资性,促进 PPP 项目规范和高质量发展,实现 PPP 模式正本清源。对采购文件设计不合理、项目异化、违规担保、项目进度迟缓、未按规定实施信息公开等实施清理、退库。加强 PPP 项目信息发布和公开,不仅能敦促地方政府采取措施及时整改,积极推进项目实施,同时有利于社会资本和金融机构筛选适合自身 PPP 项目,推动 PPP 项目健康发展。

第二,随着 CPPPC 项目信息的不断完善以及国家治理数字化的加速推进,以大数据为支撑的 PPP 管理决策成为新的趋势。应不断完善 CPPPC 数据库,建立健全动态化预警机制,为基于大数据的 PPP 管理决策问题提供数据支撑。丰富 PPP 决策数据,综合地方政府管理水平,实时监测地方政府财政支出压力,防范地方政府债务风险。

第三,不同领域 PPP 项目可融资性具有显著差异性,开展可融资性评价有利于追本溯源,也可作为项目整改、再谈判、退出机制设计奠定基调。对地方政府而言,识别可融资性差的项目可以及时、有效地对劣质项目进行改进,回炉重造或者寻找其他方式建设项目,可大大提高 PPP 整体可融资性和落地率水平。对社会资本而言,本文提出的 PPP 可融资性评估模型可以起到针对性推荐作用,有助于社会资本避开可融资性差的项目。

第四,丰厚的利润回报是社会资本参与 PPP 项目的首要因素,高可融资性是社会资本和金融机构选择 PPP 项目的重要指标。地方政府财政实力是政府偿付能力和履约能力的重要保障,是影响社会资本参与 PPP 项目的重要因素,财政风险

较高区域应谨慎推行政府付费型 PPP 项目,财政自给率较低且未来政府支出责任较高地区,为防止形成政府隐性债务,应重点通过降低政府持股比例,优化公私合作机制,建立良好伙伴关系,提升社会资本参与 PPP 项目积极性。同时,地方政府可以通过建立透明的监管机制,提高财政透明度、提升清廉程度、优化营商环境等提高所在地区 PPP 项目可融资性。

参考文献:

- [1] 廖振中, 刘嘉, 罗佳意. 政府与社会资本合作(PPP)的检视——一个文献综述[J]. 财经科学, 2018(3): 86-98.
- [2] 蒋晓妍, 刘爽, 占晓杰, 等. 民营企业融资困境的解决机制研究——以新常态下民营银行的发展为背景[J]. 经济问题, 2019(7): 60-67.
- [3] 仇娟东, 黄海楠, 马赫然. 多边金融机构如何影响 PPP 项目中私人部门的投资额? ——来自“一带一路”沿线经济体 3858 个项目的经验证据[J]. 中国软科学, 2021(1): 85-97.
- [4] 冯净冰, 章韬, 陈钊. 政府引导与市场活力——中国 PPP 项目的社会资本吸纳[J]. 经济科学, 2020(5): 19-31.
- [5] 冷奥琳, 王梦迪, 贾明. 无风险利率影响担保市场交易结构的效应研究[J]. 系统工程理论与实践, 2019(7): 1635-1642.
- [6] 姚东旻, 邓涵. 为什么 PPP 的行业使用分布不均——一个基于行业特征的最优合约设计[J]. 财贸经济, 2017(10): 82-98.
- [7] 钟玉英, 陈蔚, 苏晓舟. 治理现代化与交易成本: 临床实验室 PPP 项目的交易困境及治理对策[J]. 中国软科学, 2020(10): 70-78.
- [8] 张志娟, 郭铁成, 程如烟, 等. 科技创新领域运用公私合作的收益分配研究[J]. 中国科技论坛, 2016(11): 32-36, 69.
- [9] 沈俊鑫, 刘雅婷, 王潇涵. 基于系统动力学演化博弈的养老 PPP 项目三方合作共赢机制研究[J]. 河北经贸大学学报, 2019(2): 105-114.
- [10] LI B, AKINTOYE A, EDWARDS P J, et al. Critical success factors for PPP/PFI projects in the UK construction industry[J]. Construction management and economics, 2005(5): 459-471.
- [11] CHAN A P C, LAM P T I, CHAN D W M, et al. Critical success factors for PPPs in infrastructure developments: Chinese perspective[J]. Journal of construction engineering and management, 2010, 136(5): 484-494.
- [12] DENG B, ZHOU D, ZHAO J, et al. Fuzzy synthetic evaluation of the critical success factors for the sustainability of public private partnership projects in China[J]. Sustainability, 2021(5): 2551-2573.
- [13] JIN H Y, LIU S J, SUN J D, et al. Determining concession periods and minimum revenue guarantees in public-private-partnership agreements[J]. European journal of operational research, 2019(2): 512-524.
- [14] 唐义, 徐薇. 公共数字文化服务平台 PPP 模式应用研究——以“韵动株洲”云平台为例[J]. 国家图书馆学刊, 2020(2): 3-15.
- [15] 周正祥, 张秀芳, 张平. 新常态下 PPP 模式应用存在的问题及对策[J]. 中国软科学, 2015(9): 82-95.
- [16] LIYANAGE C, VILLALBA-ROMERO F. Measuring success of PPP transport projects: a cross-case analysis of toll roads[J]. Transport reviews, 2015(2): 140-161.
- [17] MADELEINE H, MARIANNE P, KENT E, et al. Toward life cycle sustainability in infrastructure: the role of automation and robotics in PPP projects[J]. Sustainability, 2021(7): 3779-3801.
- [18] AZIZ A. Successful delivery of public-private partnerships for infrastructure development[J]. Journal of construction engineering and management, 2007(12): 918-931.
- [19] CHEN S, XIANG L, JIN L H, et al. Development characteristics of public-private partnership projects using fuzzy approach in China during 2016 – 2018[J]. Journal of intelligent & fuzzy systems, 2021, 40(4): 8317-8331.
- [20] FLETA J, SÍN, MUOZ F. Renewable energy public – private partnerships in developing countries: determinants of private investment[J]. Sustainable development, 2021(3): 1-18.
- [21] 张牧扬, 卢小琴, 汪峰. 地方财政能够承受起 PPP 项目财政支出责任吗? ——基于 2010—2018 年 PPP 项目的分析[J]. 财政研究, 2019(8): 49-59.
- [22] 谈婕, 郁建兴, 赵志荣. PPP 落地快慢: 地方政府能力、领导者特征与项目特点 ——基于项目的连续时间事件史分析[J]. 公共管理学报, 2019(4): 72-82, 172.
- [23] 王岭, 闫东艺, 周立宏. 财政负担导致基础设施 PPP 项目“落地难”吗? ——基于城市面板数据的实证分析[J]. 财经论丛, 2019(8): 104-112.
- [24] 刘薇. PPP 模式理论阐释及其现实例证[J]. 改革, 2015(1): 78-89.
- [25] 王雨辰, 胡铁俊. 民营企业 PPP 项目参与度研究——基于公共性的风险分析[J]. 软科学, 2019(6): 89-94.
- [26] 沈言言, 刘小川. 促进私人部门 PPP 投资的政府担保政策研究——基于中低收入国家 PPP 项目的证据[J]. 财政研究, 2019(5): 33-46.

- [27] MOTA J A, MOREIRA A. The importance of non-financial determinants on public-private partnerships in Europe [J]. *International journal of project management*, 2015 (7): 1563-1575.
- [28] 王欢明, 陈佳璐. 地方政府治理体系对 PPP 落地率的影响研究——基于中国省级政府的模糊集定性比较分析 [J]. *公共管理与政策评论*, 2021(1): 117-128.
- [29] 沈言言, 李振. 地方政府自有财力对私人部门参与 PPP 项目的影响及其作用机制 [J]. *财政研究*, 2021(1): 116-129.
- [30] ZHANG Y. From state to market: private participation in China's urban infrastructure sectors, 1992–2008 [J]. *world development*, 2014, 64: 473-486.
- [31] YANG Y H, HOU Y L, WANG Y Q. On the development of public-private partnerships in transitional economies: an explanatory framework [J]. *Public administration review*, 2013 (2): 301-310.
- [32] PERCOCO M. Quality of institutions and private participation in transport infrastructure investment: evidence from developing countries [J]. *Transportation research part a: policy and practice*, 2014, 70: 50-58.
- [33] 刘畅, 郭雪萌, 王卓君. 中国式财政分权、财政透明度与地方政府选用 PPP 模式 [J]. *经济问题探索*, 2020 (2): 170-82.
- [34] 曾莉, 罗双双. 我国 PPP 实践中民营企业参与度及其影响因素研究——基于 731 个县域样本的实证分析 [J]. *软科学*, 2020(2): 33-8.
- [35] 龚军姣, 张敏. 民营企业参与城市公用事业 PPP 项目的影响因素研究 [J]. *经济理论与经济管理*, 2020(5): 100-112.
- [36] MARQUES R C, BERG S. Risks, contracts, and private-sector participation in infrastructure [J]. *Journal of construction engineering & management*, 2011(11): 925-932.
- [37] YOO J I, LEE E B, CHOI J W. Balancing project financing and mezzanine project financing with option value to mitigate sponsor's risks for overseas investment projects [J]. *Sustainability*, 2018(5): 1498-1518.
- [38] AKINTOYE A, HARDCASTLE C, BECK M, et al. Achieving best value in private finance initiative project procurement [J]. *Construction management and economics*, 2003 (5): 461-470.
- [39] 杨晓冬, 张家玉. 既有建筑绿色改造的 PPP 模式研究: 演化博弈视角 [J]. *中国软科学*, 2019(3): 188-197.
- [40] LIU T T, WANG Y, WILKINSON S. Identifying critical factors affecting the effectiveness and efficiency of tendering processes in Public-Private Partnerships (PPPs): a comparative analysis of Australia and China [J]. *International journal of project management*, 2016(34): 701-716.
- [41] WANG X Q, SHI L M, WANG B, et al. A method to evaluate credit risk for banks under PPP project finance [J]. *Engineering, construction and architectural management*, 2019 (2): 483-501.
- [42] TWUMASI M A, JIANG Y S, Ameyaw B, et al. The impact of credit accessibility on rural households clean cooking energy consumption: the case of Ghana [J]. *Energy reports*, 2020 (6): 974-983.
- [43] QIAO Y, YANG X, WU E. The research of BP neural network based on one-hot encoding and principle component analysis in determining the therapeutic effect of diabetes mellitus [J]. *IOP conference series: earth and environmental science*, 2019, 267(4): 1-6.
- [44] 刘欣阳, 曲彦文, 周琪云. 自注意力信用评估模型 [J]. *计算机工程与应用*, 2019 (13): 36-41.
- [45] 黄贤英, 熊李媛, 刘英涛, 等. 基于类别特征改进的 KNN 短文本分类算法 [J]. *计算机工程与科学*, 2018(1): 148-154.
- [46] 王婷, 夏阳雨新, 陈铁明. 基于多类别特征体系的股票短期趋势预测 [J]. *计算机科学*, 2020(S2): 491-495.
- [47] ZHANG J, MUCS D, NORINDER U, et al. LightGBM: an effective and scalable algorithm for prediction of chemical toxicity-application to the Tox21 and mutagenicity data sets [J]. *Journal of chemical information and modeling*, 2019 (10): 4150-4158.
- [48] 余乐安, 张有德. 基于关联规则赋权特征选择集成的信用分类研究 [J]. *系统工程理论与实践*, 2020 (2): 366-372.
- [49] 刘海洋, 王志海, 张志东. 基于 ReliefF 剪枝的多标记分类算法 [J]. *计算机学报*, 2019(3): 483-496.
- [50] RASTIN N, JAHROMI M Z, TAHERI M. Feature weighting to tackle label dependencies in multi-label stacking nearest neighbor [J]. *Applied intelligence*, 2021 (8): 5200-5218.
- [51] ALOBAIDI M H, CHEBANA F, MEGUID M A. Robust ensemble learning framework for day-ahead forecasting of household based energy consumption [J]. *Applied energy*, 2018(212): 997-1012.
- [52] LEE SEUNG-HYUN, SON JAE-HO. Development of a safety management system tracking the weight of heavy objects carried by construction workers using FSR sensors [J]. *Applied sciences*, 2021(4): 1378-1392.
- [53] EPPE M, MACLEAN E, CONFALONIERI R, et al. A computational framework for conceptual blending [J]. *Artificial intelligence*, 2018 (3): 105-129.

(本文责编:王延芳)