

基于算法的工程建设项目运维费用预警研究

许皓天 安镜如 赵微

沈阳城市建设学院

DOI:10.12238/jpm.v4i10.6332

[摘要] 随着全球经济稳步增长,大型复杂建设项目在国际国内不断增多。为了更有效地监控和管理这些复杂项目的成本,本研究首次引入了聚类算法,以确定建筑工程项目在运维阶段的费用偏差的预警范围。同时,我们提出了边界均值算法作为关键方法,以改进传统的费用预警方法,解决了样本数据分段间断的问题。此外,我们还采用了传统神经网络来进行非线性拟合,以适应工程费用的特性,并应用遗传算法来估计传统神经网络的初始权值和阈值,以提高模型的计算性能。

研究表明,相较于传统的经验性预警方法,利用人工智能算法和数据挖掘技术,可以降低运维管理人员主观判断的影响,对费用偏差的警报和预测模型进行了创新性和前瞻性的研究,对于丰富项目管理理论和方法以及项目实践具有重要意义。

[关键词] 聚类算法;神经网络;运维偏差费用预警

Research on the early warning of the operation and maintenance cost of engineering construction projects based on the algorithm

Xu Haotian, An Jingru, Zhao Wei

(Shenyang Urban Construction Institute, Shenyang, Liaoning, 110167)

[Abstract] With the steady growth of the global economy, the number of large and complex construction projects is increasing at home and abroad. In order to monitor more effectively and manage the cost of these complex projects, this study introduced the clustering algorithm for the first time to determine the early warning range of the cost deviation of construction projects during the operation and maintenance phase. At the same time, we propose the boundary mean algorithm as the key method to improve the traditional cost warning method and solve the problem of sample data segmentation. Moreover, we adopted traditional neural networks to perform non-linear fitting to accommodate the characteristics of engineering cost and apply genetic algorithms to estimate the initial weights and thresholds of traditional neural networks to improve the computational performance of the model.

The results show that compared with the traditional empirical early warning method, using artificial intelligence algorithm and data mining technology, can reduce the influence of operational management personnel subjective judgment, the cost of deviation alarm and prediction model for the innovative and forward-looking research, for rich project management theory and methods and project practice is of great significance.

[Key words] clustering algorithm; neural network; operation and maintenance deviation cost early warning

建设项目运维费用偏差控制是项目的核心控制目标,贯穿项目的全生命周期。在当今世界各国的项目建设进程中,纵使项目管理人员严谨遵守规章制度对工程费用从事管控约束,但是由于上述费用偏差控制体系的不足,不少项目仍旧出现严重的费用超支现象。因此,如何科学筛选出费用监管点,并且建立起有效的费用偏差预警体系对于愈加复杂的大型建设项目来说至关重要。

1. 聚类理论

在聚类算法的选择中,需要考虑多个因素,包括分析数据的规模和结构特点,以及算法本身的特性,以便选择最合适的方法。聚类分析不仅仅是定量分析的一部分,它也是无监督学习的一个重要分支,同时也在资料挖掘、机器学习和模式识别领域得到广泛研究和应用。在20世纪60年代引入的算法中,动态聚类算法是其中之一,其核心思想是通过随机选择聚类中心点,逐步将不同的样本集中到这些中心点附近,从而获得初步分类结果。然后,通过不断评估和更新这些初步分类,最终

得到合理的最终分类。该算法使用距离公式来度量不同对象之间的相似性，并只有在准则函数达到最优或达到最大迭代次数时才会停止。尽管这种聚类方法在无监督数据挖掘中具有重要作用，但在处理 N 个样本区间时，传统的聚类分割理论存在一个问题，即无法确保最终的分割区间是连续的。特别是在全生命周期的工程建设项目视角下，需要建立一个能够确定任意偏差值的警情划分体系。传统算法所得到的聚类结果存在不连续性，这使得难以将其应用于工程建设项目运维阶段的费用偏差预警和控制。此外，重新将新样本纳入聚类会变得繁琐。因此，迫切需要在聚类的基础上进行优化，以实现更连续的区间划分，以满足工程建设全生命周期视角下对能够确定任意偏差值的警情划分体系的需求。

2. 神经网络模型原理分析

人工神经元是一种结构，模拟大脑神经元的工作原理，将多个这种神经元单元连接在一起，构成了各种基于机器学习算法的框架，这就是人工神经网络。人工神经网络试图以逻辑性方式处理和分析信息，以近似人类思维的方式来工作。随着科技的不断进步，仿生学应用也在不断扩展。受到生物大脑神经元活动模式的启发，人工神经网络模拟了神经元之间的连接，这些连接类似于大脑中的突触，它们可以传递信号并处理信息，与其他神经元进行信息交流。早在 1943 年，逻辑学家 Walter Pitts 和神经学家以及控制专家 Warren McCulloch 提出了神经网络计算模型，该模型使用线性方式对不同类别的输入信息进行分类。然而，这种简单的感知机难以有效地处理非线性函数的组合。要解决这个问题，需要发展多层感知机，即包含至少一个隐层的多层神经网络结构。

遗传算法包括一系列基本步骤，包括选择、变异和交叉。简而言之，遗传算法用于优化特定问题，并遵循以下步骤：首先，对问题进行编码，通常采用二进制编码，因为它简单易行，便于后续的变异和交叉操作。这种编码方式使得全局搜索和并行处理成为可能。其次，构建一个适应度函数，其目标是最小化训练集输出与仿真结果之间的误差，从而引导算法朝着问题的最优解前进。然后，确定基于赌轮盘原理的选择算子，其中个体的选择概率与其适应度值成正比，以保留适应度高的个体。最后，交叉操作是保持个体多样性的重要手段，它基于非均匀概率分布的原理，在父代个体中进行位置交换，实现 0 和 1 之间的互换。

3. 案例分析

3.1 模型确定警情分区

选取 20 个类似建设工程项目为样本，已知运维阶段日常维护与保养费用发生了 16.3% 的费用偏差，下文进行运维费用预警的算例演示。通过分析费用监控点特性将费用发生节点的偏差情况映射于其他节点的影响因素，考虑费用影响因素的关联性及其延续效用对将来费用活动的偏差判定。假设建设项目正在处于工程运维阶段，主要费用包括三部分日常维护与保养费用、预防养护费用和大中修养护费用，将这三部分费用作为费

用偏差主要关键控制点。此外，导致费用波动的原因除了表面子目费用外，其实质还受到其他若干细微工程活动的实际状况和目标状况共同影响。根据工程项目运维费用的特点，对具有普适性的关键费用监控点进行结构化分解，确定每个费用监控点的子目费用，具体分解的费用：（1）日常维护与保养费用；（2）中大修养护。其中（1）中涵盖机电保养、土建保养、清洁、能源消耗、日常巡查、定期监测和日常养护维修管理；（2）中涵盖设备更换、路面工程和交通安全及附属设。

以日常维护与保养费用和大中修养护费用作为本文运维费用框架的研究载体，对费用偏差预警进行演示。日常维护与保养费用主要包括机电保养费、土建保养费、清洁费、能源消耗费等多个子目费用。为了对费用偏差进行全面剖析，应对子目费用偏差产生的原因进行深入挖掘，能为总费用偏差预警提供支撑。此外，项目寿命周期费用总某一阶段发生的项目活动会对后续费用活动产生一定的辐射作用，即该项目活动既能够为本费用产生偏差，也能对后续项目活动起到一定辐射作用。由此可知，子目费用背后的影响因素一个庞大的集合，通过将现阶段集合中的实际费用偏差原因带来的影响因素分析，对机电保养费、土建保养费、清洁费用、能源消耗等费用背后的因素进行深入剖析，并作为基础进行大中修养护费用偏差的预警，日常维护与保养费用资费用影响因素。收集 20 组类似项目的日常维护与保养费用和大中修养护的类似数据，获得的类似数据如表 3 所示；其次，利用改进算法对 20 个类似工程项目运维费用中的日常维护与保养费用、重大修养护费用偏差进行警情预警；最后，为了提高警情划分的普遍适用性，利用边界均值算子对非连续警情进行连续性划分，进而划分四种警情，分别为“无警”、“轻警”、“中警”以及“重警”，警情判别区域。

3.2. 基于 GA-BP 的运维费用偏差计算

实验环境为 Matlab R2022a，设计计算机操作系统为 64 位 Windows 10 系统，内存为 8GB。本文中玩过样本数据有限，数据样本分配为训练集、测试集和验证集为 60%，20%和 20%，适应度函数为拟合误差最小，激活函数为 tanh 激活函数，其取值范围为 $[-1, 1]$ 。抽取类似项目 20 个样本中的 60%对 GA 改进后的 BP 神经网络进行训练和调整，后选用 20%的训练样本对神经网络进行验证评价，迭代 50 次。

已经训练完成的模型对下一阶段建设工程项目运维费用进行偏差预警，结合已知的日常维护与保养费用发生了 16.3% 的费用偏差，属于轻度预警状态，管理方应进行纠偏管控，防止进入中度或者重度预警区域。此外，通过向工程管理及工程造价行业专家咨询，将运维阶段日常维护与保养费用影响因素对偏差贡献度进行科学分解，对产生偏差的基本情况进行分摊。同时，基于现阶段日常维护与保养费用对下一个运维阶段中大修养护费用进行偏差预警，得到下一阶段的大中修费用偏差为 17.02%，在本文界定的费用偏差预警区间 (13.5%, 17.05%)，属于中度偏差。值得注意的是，从现阶段日

常维护与保养费用 16.3%的轻度预警到下一阶段大中修费用 17.02%的中度偏差，这一现象体现出建筑工程项目费用偏差呈现出辐射性递增。若运维阶段早期阶段，管理人员没有足够的风险防范意识，负面影响会产生“牛鞭效应”拓展，导致最终项目严重偏离原计划，给管养部门造成极大的不良影响。

4. 结论

本文所构建的聚类算法和 GA-BP 模型对建设项目运维阶段费用偏差警情区域划分和费用偏差预警均遵循一定的逻辑关系，将建设项目费用偏差作为研究对象，摒弃了传统依据管养人员经验判断费用偏差威胁程度的方法。通过人工智算法和数据挖掘技术引入运维费用预警中，可以降低管理者的主观性，及时分析偏差原因并制定行之有效的纠偏方案以降低投资风险；

基于聚类将费用偏差警情区域进行离散划分，依据边界均值算子实现对离散的费用偏差区域连续化处理，提高了建设项目运维费用偏差警情划分在实际项目中的应用；为了有效的预测未来费用偏差情况，本文将运维阶段的日常维护与保养费用进行资费用分析，将本阶段总费用偏差分摊到每个子项目费用的影响因素中去，深入分析建设项目中不同子项目对费用偏差的影响；利用遗传算法改进 BP 神经网络，优化神经网络中的初始网络权值与阈值，能够提高模型效能，并将类似工程样本数据进行如数进行模型训练。

建设项目费用具有辐射性和放大性，上一阶段对下一阶段有深刻的影响作用，若前一阶段警情没有得到有效控制，管理人员没有建立风险防范和偏差预警意识，下一阶段造成的负面影响将更为严重，最终将对项目投资超出预算，给管养部门、社会经济带来极大的负面影响。

[参考文献]

[1]Piciullo L.; Gariano S.L.; Melillo M.; Brunetti M.T.;

Peruccacci S.; Guzzetti F.; Calvello M. Definition and performance of a threshold-based regional early warning model for rainfall-induced landslides. *Landslides* 2017, 14(3):995-1008.

[2]Sinaga K.P.; Yang M.S. Unsupervised Clustering Algorithm. *IEEE Access* 2020, 8:80716-80727.

[3]Wang X.Y.; Bai Y.P. The global Minmax algorithm. *SpringerPlus* 2016, 5:15.

[4]Ikotun A.M.; Ezugwu A.E.; Abualigah L.; Abuhaija B.; Heming J. clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Inf Sci* 2023, 622:178-210.

[5]Ran X.J.; Zhou X.B.; Lei M.; Tepsan W.; Deng W. A Novel Clustering Algorithm with a Noise Algorithm for Capturing Urban Hotspots. *Appl Sci-Base* 2021, 11(23):21.

项目来源：2023 年国家级大学生创新创业训练计划项目—基于 K-means 和改进神经网络的基础设施运维费用偏差预警研究（项目编号：202313208004），辽宁省教育厅基本科研项目（项目编号：LJKMZ20221925）

作者简介：许皓天（2003-），男，汉族，籍贯：河北高阳人，沈阳城市建设学院管理学院，21 级在读研究生，学士学位，专业：工程管理，研究方向：智慧运维管理。

安镜如（1989-），女，汉族，籍贯：辽宁省沈阳人，沈阳城市建设学院管理学院，讲师，在读博士研究生，硕士学位，专业：工程管理，研究方向：智慧运维管理、应急管理。

赵微（2003-），女，汉族，籍贯：辽宁省喀喇沁左翼蒙古自治县人，沈阳城市建设学院，21 级在读研究生，学士学位，专业：工程管理，研究方向：智慧运维管理。