

基于 BIM 技术的民用建筑造价风险评估及预警模型

李秀芳 贾筱睿 黄明强

厦门理工学院 福建省厦门 361024

摘要: 本研究主要探索 BIM 技术在造价管理全过程中的应用,建立了基于 BIM 的建筑工程造价影响参数的知识图谱模型,分析了风险因素和风险主体两部分,其中的风险因素包含了内部影响因素和外部影响因素两大类。在此基础上建立了一个 BP 神经网络预警模型,结合 BIM 模型的技术支持实现同步造价变更进行预测,实现造价指标的动态化;最后结合案例工程对工程项目造价控制的动态控制效果进行实证分析,验证本研究具有合理性和可行性。

关键词: BIM 技术;知识图谱;神经网络;风险评估;动态预警

前言

建筑工程项目由于投资额度大、周期长、参与单位众多,受到的影响因素较多,且随着技术的进步和城市化需求的增长,项目的规模和复杂性不断增大,建筑工程造价风险也随之增加。

BIM 技术是一种基于三维模型的建筑信息管理技术提供建筑项目全生命周期的详细数字描述。不仅包括图形表达,还包括时间管理,成本控制,项目建设项目的管理^[1-3]等方面。BIM 技术已经被运用到工程项目成本管理的各个阶段:设计阶段^[4]、施工阶段^[4],同时,涉及了水利工程^[5]、电力工程^[6],铁路^[7]等。

工程项目的造价动态控制是针对项目进行实时跟进的一种管理模式,需要跟踪项目造价的影响因素变化并进行相关度分析,通过监测项目影响因素诱发的概率及其引起的工程造价变化,有利于及时发现造价偏差,分析并确认偏差原因,从而进一步优化项目造价管控模式,将造价始终约束在可控的范围内^[8,9]。

本研究采用基于 BIM 和知识图谱的建筑工程造价影响因素识别技术和方法,探索融合 BIM 和知识图谱的建筑工程造价影响因素的新模式,继而探索与 BIM 模型的技术结合的 BP 神经网络预警模型,实现同步造价变更并进行预警。

1. 造价风险评价体系

工程造价即构成项目在建设期预计或实际支出的建设费用,现行的建筑安装工程费包含分部分项工程费、措施项目费、其他项目费组成。其中:分部分项工程费、措施项目费、其他项目费包含人工费、材料费、施工机具使用费、企业管理费、利润、规费、税金。在建设过程中影响因素众多,参与主体复杂,所以,既有风险因素,又有风险主体。

1.1 风险因素

影响因素可以分为外部因素和内部因素两个种类,外部因素是指可能影响项目全过程各个不同阶段的影响因素,包含社会因素、政治因素、法律因素、自然因素和经济因素等五大种类共 11 个因素。内部因素是项目实施全过程不同阶段所涉及的影响因素,按工程进度分为决策阶段、勘察设计阶段、招投标阶段、施工阶段和竣工验收阶段等六个阶段,影响因素共 10 大类,共计 31 种。

1.2 风险主体

建筑工程项目利益有关的主体之间存在立场和定位的不对称,各方人员的主观行为与意志不一致,导致了大量工程造价的浪费以及工程最大价值难以实现,也因此为工程造价带来了很大的不确定性。

工程造价的影响主体是多方面的,包括政府主管部门、业主单位、设计单位、施工单位及其配合部门等。这些主体与影响因素交叉相关,在三维的空间里共同影响着整个项目的造价走向。

1.3 影响参数的知识图谱模型

根据建筑工程造价影响因素识别评估的需求,结合 BIM 模型特点和项目施工的流程,采用自上向下的方式进行影响因素的识别与关联、语义属性逻辑映射、关系抽取等工作,构建出造价影响因素的知识图谱框架(图 1)。



图 1 执行阶段和执行主体不同层面下工程造价影响因素的知识图谱

在这种双层知识图下,不同类型、不同阶段的影响因素之间的层次关系清晰,执行机构与各种影响因素之间也有明确的相关性和方向性,可以解决影响因素类型多、缺失内容重叠、分布不均衡等问题。

2. 造价预警模型

施工项目造价的风险预警是根据影响因素的已经触发事实和即将触发假定,利用数学模型来计算项目的实际造价与预期造价,进行比较和评估风险水平,给出合适的建议或者随时纠正发生的偏差,保证工程项目目标的实现,从而取得较好的投资效益和社会效益。

2.1 预警模型

BP (back propagation) 神经网络是 1986 年由 Rumelhart 和 McClelland 为首的科学家提出的概念,是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络,典型的 BP 神经网络结构主要包含三层:输入层、隐含层和输出层。其结构如图 2 所示。

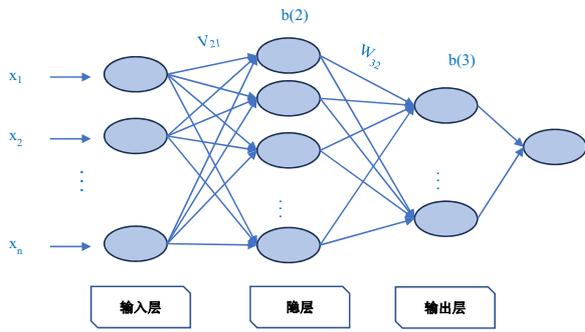


图2 BP神经网络基本结构

输入向量为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)^T$ ，隐层输出向量 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m)^T$ ，输出层输出向量 $O = (o_1, o_2, \dots, o_k, \dots, o_l)^T$ 。

输出层公示为：

$$O_k = f(\text{net}_k) \quad k = 1, 2, \dots, l$$

$$\text{net}_k = \sum_{j=1}^m w_{jk} y_j \quad j = 1, 2, \dots, m$$

隐层公示为：

$$y_i = f(\text{net}_i) \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$\text{net}_j = \sum_{i=1}^n v_{ij} x_i \quad j = 1, 2, \dots, m$$

激活函数为：

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x/s}}$$

式中 s 为 Logistic 参数，用于调整激励函数，取值在 0.9~1.0 之间。

2.2 指标归一化

为了消除不同特征指标间的量级不同带来的差异性，需要将数据现行统一映射到一定范围内，以加速模型收敛。采用最大最小值法 (Min-Max Normalization) 归一化方法，将所有样本的数据映射到 [0,1] 范围之内处理：

$$y_j = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中， x_{\min} 为 x 所在行的最小值， x_{\max} 为 x 所在行的最大值。

2.3 动态预警

根据良性区间 $[C_{\min}, C_{\max}]$ 区分偏差性质以及偏差程度的不同可以发出 I、II、III、IV 从低到高四个不同级别警报。如果 $C(t) < C_{\min}$ 且 $C(t+1) < C_{\min}$ ，则执行 I 警报；如果 $C(t) < C_{\min}$ ， $C_{\min} < C(t+1) < C_{\max}$ ，则执行 II 警报；如果 $C(t) > C_{\max}$ ， $C_{\min} < C(t+1) < C_{\max}$ ，则执行 III 警报；如果 $C(t) > C_{\max}$ 且 $C(t+1) > C_{\max}$ ，则执行 IV 警报。

3. 案例分析

以夏热冬暖地区一个建筑面积 1.5 万 m^2 的小型公共建筑为例，单方造价目标为 4811.53 $\text{元}/m^2$ ，幅度范围为 $[-7.55\%, 8.21\%]$ 。

预警阈值的确定。分析 14 个相似工程数据的造价历史数据离散度，选取 85% 内的点作为良性区间，造价幅度范围区间是 $[-9.43\%, 9.21\%]$ 。两者取交集，则 $[-7.55\%, 8.21\%]$ 为造价的偏差良性区间，单方造价区间为 $[C_{\min} = 4453.97, C_{\max} = 5213.24]$ 。

造价的预测。根据已经触发的因素和即将触发的因素，对原始数据进行归一化处理，将输入数据限制在 [0,1] 区间内。暂取网络输出和目标输出的 MSE=0.001，BP 模型通过调整权重矩阵达到期望目标。由构建的模型可以得到预测值 $C(t) = 4896.91 \text{元}/m^2$ 。

动态预警。根据构建的仿真预测模型，预测未来两个时间节点的单方造价数据，预测 $C(t) = 4896.91 \text{元}/m^2$ ，如果预测 $C(t+1) = 4126.21 \text{元}/m^2$ ，均未超出良性区间，无需执行警报。

4. 结论

本文通过对基于 BIM 的建筑工程造价影响因素分析，主要做了三件事情

- (1) 针对项目的全过程，分析了造价的影响因素，包括相互交叉内、外部因素和影响主体，从两个层级建立不同维度的影响参数的知识图谱。
- (2) 在此基础上建立了一个 BP 神经网络预警模型，结合 BIM 模型的技术支持实现同步造价变更进行预测，实现造价指标的动态化；
- (3) 最后结合案例工程对工程项目造价控制的动态控制效果进行实证分析，验证本研究具有合理性和可行性。

参考文献：

[1] M H XiuFang Li XiaoRui Jia. Digital Application of Construction Project Cost Risk Control and Management Based on BIM Technology [J]. Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2024, 9 (1): 1-21.

[2] 魏泽坤. BIM 技术在工程项目施工成本控制中的应用研究 [D]. 山东建筑大学, 2023.

[3] 穆磊, 王佳, 肖磊, et al. 基于 BIM 和知识图谱的建筑设计阶段火灾风险自动化评估 [C]// 首届中国国际城市安全发展研讨会论文集. 桂林: 2019: 170-174.

[4] 胡园园, 刘俊生, 王行风. 2023, 基于 BIM 与知识图谱的深基坑施工安全风险识别研究 [J]. 金属矿山. (9): 180-186.

[5] 柯妍, 李伟, 胡红兵. 2023, 基于 BIM 技术的水运工程设计阶段工程造价管理应用 [J]. 建筑经济. 44 (S2): 332-335.

[6] 周梅, 赵素娟, 朱姣兰. 2016, 基于支持向量机的输变电工程造价风险评价 [J]. 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版). 38 (2): 187-191.

[7] 林海香, 胡娜娜, 何乔, et al. 2024, 基于建筑信息模型数据驱动的铁路设备运维多模态知识图谱构建 [J]. 同济大学学报 (自然科学版). 52 (2): 166-173.

[8] 彭军龙, 胡珂, 王梦瑶, et al. 2023, 基于 SSA-LSSVM 的住宅工程造价预测研究 [J]. 长沙理工大学学报 (自然科学版). 20 (3): 137-145.

[9] 徐丹, 温卫宁, 卢艳超, et al. 2018, 基于 BP 神经网络的输变电工程造价偏差动态预警 [J]. 中国电力企业管理. (12): 75-76.

课题信息：福建省自然科学基金：《基于 BIM 技术的建筑工程造价风险及应对机制研究 (2020J01279)》；厦门理工学院研究生科技创新计划项目：《基于 BIM 技术的建设工程施工前阶段成本管控措施分析 (YKJXC2023257)》