

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.11.015

# 基于 GA 网络模型的工程造价 BIM 辅助分析<sup>①</sup>

张冰心

贵州师范大学材料与建筑工程学院, 贵阳 550025

**摘要:** 为了解决工程造价的分析预测问题, 提出了一种基于 GA(Genetic Algorithm)网络模型的 BIM(Building Information Modeling)辅助分析方法. 此方法采用 BIM 软件获取工程特征向量, 借助 GA 模型进行训练并在网络稳定后输出工程造价预测值. 针对恒祥城小区 20 栋高层住宅展开实验, 当 B17-B19 的 GA 预测结果和 B17-B19 的实际工程造价非常接近时, GA 达到了稳定. 据此, 可以预测出 B20 的工程造价为 2 393.51(元/m<sup>2</sup>), 为 B20 的施工和市场销售提供了有效的依据. 实验结果显示, 提出的 GA 模型结合 BIM 辅助分析方法, 可以准确便捷地完成工程造价的预测.

**关键词:** GA 模型; 工程造价; BIM; 辅助分析

**中图分类号:** TU723.31

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2019)11-0120-05

近年来, 我国城镇化建设进程逐步加快, 城市规模不断扩大<sup>[1]</sup>. 城市迅速发展, 对基础设施建设具有巨量的需求. 道路桥梁、居民小区、商业中心等各类工程项目, 在各个城市中如雨后春笋般出现, 也为建筑行业带来了一个飞速发展的春天<sup>[2]</sup>. 对于建筑商和开发商而言, 不断扩大的工程规模使得成本控制成为难题. 利用先进的信息技术、大数据处理技术、智能算法来完成工程造价的分析和预测, 已经成为建筑工程领域未来的发展方向<sup>[3-4]</sup>. BIM 技术, 即建筑信息建模技术, 是建筑工程领域数据分析的一种新方法<sup>[5]</sup>. BIM 技术的先进之处在于, 它采用了计算机辅助设计作为仿真手段, 对设计方案进行三维建模, 在仿真环境中对设计方案的合理性进行验证和评估, 不仅大大提升了后期实施的安全性, 也节省了前期设计方案的风险评估费用. 它通过 CAD, Solidwork 等软件完成工程项目的三维建模, 进而导入到 BIM 软件系统中, 从而迅速获得施工过程所需的各种建筑单元和相关数据, 是一种可视化、高共享、高协调的全新方法<sup>[6-7]</sup>. BP(Back Propagation)网络、RBF(Radial Basis Function)网络、GA 网络等神经网络算法<sup>[8-10]</sup>, 可以将各种建筑单元、建筑特征作为输入纳入网络之中, 进行不断迭代优化, 从而计算出工程项目最合理的结构和造价<sup>[11-13]</sup>. 如果能够将 BIM 软件的可视化和数据处理功能同智能算法结合在一起, 用于工程项目的造价判断和预测, 不仅会大大增强工程造价预测的准确率, 还可以全面提升工程造价预测的效率. 基于这种考虑, 本文将 GA 网络算法和 BIM 辅助分析结合起来, 用于工程造价的预测和分析, 以期达到更为理想的预测效果.

## 1 GA 网络模型及其算法设计

本文的 GA 网络采用标准的 3 层次结构, 即输入层、隐含层和输出层. 根据 GA 算法的执行思路, 首先

① 收稿日期: 2018-08-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51869005).

作者简介: 张冰心(1968-), 女, 硕士, 副教授, 主要从事创新、职业教育、工程管理、环保工程管理的研究.

对这个 3 层次网络进行初始化,即初始化输入层—隐含层之间的关联权重、隐含层各神经元之间的权重、隐含层—输出层之间的关联权重。

GA 网络初始化后,可以根据样本数据对这个网络进行训练,通过迭代不断优化各个权重以确定最佳的网络结构。在这个迭代过程中,GA 的优化处理通过适应度函数来完成。在本文中,为 GA 网络设定的适应度函数如公式(1)所示。

$$G = \lambda \left( \sum_{i=1}^n |c_i - o_i| \right)^2 \quad (1)$$

这里,  $G$  代表适应度函数,  $\lambda$  代表调整参数,  $i$  代表 GA 网络中的神经元编号,  $n$  代表 GA 网络中的神经元总数,  $c_i$  代表实际输出数据,  $o_i$  代表预期输出数据。

下面,对 GA 网络迭代过程中的选择优化处理、交叉优化处理、变异优化处理分别加以设置。

为了完成 GA 网络迭代过程中的选择优化处理,设定下面 2 个公式

$$g_i = \frac{\lambda}{G_i} \quad (2)$$

$$P_i = \frac{g_i}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (3)$$

这里,  $G_i$  代表了第  $i$  个神经元的适应度函数值。选择的要求是,能使得  $p_i$  更小的适应度函数将被接受。

为了完成 GA 网络迭代过程中的交叉优化处理,选取了 GA 算法中的实数交叉运算法则。设定第  $k$  个染色体可以用  $m_k$  来表达,第  $l$  个染色体可以用  $m_l$  来表达,那么这 2 个染色体在第  $j$  位上的交叉运算为

$$m_{kj} = m_{kj}(1 - R) + m_{lj}R \quad (4)$$

$$m_{lj} = m_{lj}(1 - R) + m_{kj}R \quad (5)$$

这里,  $R$  代表了参与交叉运算的一个随机数。

为了完成 GA 网络迭代过程中的变异优化处理,设定染色体  $m_{ij}$  的一个上界和一个下界,分别用  $m_{\max}$  和  $m_{\min}$  表示,变异优化的执行过程如公式(6)所示。

$$m_{ij} = \begin{cases} m_{ij} + (m_{ij} - m_{\max}) \times \rho(d) \\ m_{ij} + (m_{\min} - m_{ij}) \times \rho(d) \end{cases} \quad (6)$$

这里,  $\rho(d)$  代表了一个参与运算的函数,为

$$\rho(d) = R \left( 1 - \frac{d}{D_{\max}} \right) \quad (7)$$

这里,  $R$  表示一个参与变异运算的随机数。

变异运算的选择,取决于  $\rho(d)$  的计算结果:如果  $\rho(d) < 0.5$ ,执行公式(6)中的第 2 行操作;如果  $\rho(d) \geq 0.5$ ,执行公式(6)中的第 1 行操作。

## 2 基于 GA 模型的 BIM 辅助分析流程

本文针对工程造价的分析和预测,提出了一种 GA 模型和相应的算法。在这个模型中,为了实现工程造价的分析和预测,需要大量的样本数据作为输入来训练 GA 模型。这些样本数据是一个工程项目的相关数据,如果没有高效的数据分析方法与之配合,很难达到预期的效果。

BIM 辅助分析方法近年来在建筑领域中获得了广泛的应用,它通过工程项目的建筑模型导入,即可以迅速获取各个建筑单元、工程参数的相关信息。据此,本文考虑将 GA 模型和 BIM 辅助分析结合起来,以解决工程造价的分析和预测问题,具体流程如图 1 所示。

从图 1 中可以看出,本文设计的基于 GA 模型的 BIM 辅助分析流程包含以下主要步骤:① 将建筑信

息模型导入系统中；② 根据 BIM 模型生成工程特征向量；③ 将各工程向量代入 GA 网络进行训练；④ 当迭代过程结束时，确定 GA 网络达到稳定；⑤ 运用稳定后的 GA 网络，对实际工程问题进行预测，并输出分析结果。

### 3 实验结果与分析

为了便于阐述基于 GA 网络模型的 BIM 辅助分析方法如何应用于工程项目的造价分析预测，接下来展开如下的实验研究。

在实验中，要进行工程造价分析的是恒祥城小区。恒祥城小区由恒祥地产公司开发建设，前期已经完成了 19 栋钢混结构的高层住宅，目前要进行第 20 栋同类结构、同类样式的高层住宅建设。

第 20 栋高层住宅的 3D 模型已经设计完毕，各建筑单元、建筑特征参数可以进行微调修改。首先，将第 20 栋高层住宅的 3D 模型导入到 BIM 软件平台之下，效果如图 2 所示。

工程项目 3D 模型导入 BIM 软件平台后，不仅楼体外观、各层次内部单元的结构设计实现了可视化，还可以迅速提炼出影响工程造价的工程特征。在 BIM 软件的辅助分析下，将恒祥城小区中前 19 栋高层住宅和即将建设的第 20 栋高层住宅的工程特征，归并为建筑面积特征、地基形式特征、楼体层数特征、单元户型特征、门窗率特征这样 5 个特征，其向量分别用  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  来表示。

上述 5 个特征向量，因为物理意义的差别和量纲不同，如果直接代入 GA 网络模型进行训练和数据处理，会导致迭代收敛过慢甚至不能收敛的问题。为此，本文采取相对量的近 1 表达方式。以即将建设的第 20 栋高层住宅的各个特征向量值为基础数据，并全部用 1 表示，其余 19 栋已经建成的高层住宅的各个特征向量值除以对应的基础数据，得到近 1 的表达数据，如表 1 所示。

借助 BIM 软件平台，统计出表 1 中的各项数据。其中，B20 为即将建设的高层住宅，也是本文要执行工程造价分析的对象；B01-B19 为已经建成的高层住宅，也是本文用于 GA 网络模型训练的样本数据。

在 GA 网络模型的训练过程中，先将 B01-B16 这 16 个样本数据中的  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  作为输入代入 GA 的输入层神经元，再将 B01-B16 这 16 个样本数据中的工程造价作为输出代入 GA 的输出层神经元。逐步迭代到 40 次左右时，迭代误差趋于稳定并达到非常小的范围(图 3)。

从图 3 中可以看出，在迭代开始时，迭代误差较大；随着迭代过程的进行，迭代误差也逐步减小；当迭代次数进行到 35 次以后，迭代误差的大小趋于稳定，并且非常接近  $10^{-3}$ 。根据 GA 网络模型的训练原理，说明此时 GA 网络达到了稳定状态。

为了进一步确定此时的 GA 网络是否达到了稳定状态，将 B17-B19 的  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  作为输入代入 GA 的输入层神经元，根据此时的 GA 结构计算出其输出，即工程造价分别为  $2\,370.68$  元/ $m^2$ ， $2\,379.17$  元/ $m^2$ ， $2\,403.62$  元/ $m^2$ ，这和 B17-B19 的实际工程造价  $2\,369.83$  元/ $m^2$ ， $2\,382.55$  元/ $m^2$ ， $2\,412.53$  元/ $m^2$  非常接近，说明此时的 GA 网络确实达到了稳定状态，可以用于 B20 的工程造价预测。

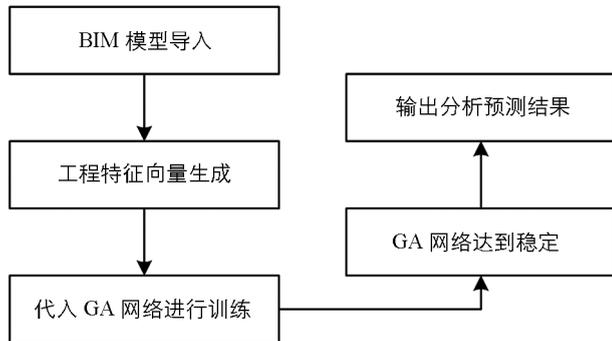


图 1 基于 GA 模型的 BIM 辅助分析流程

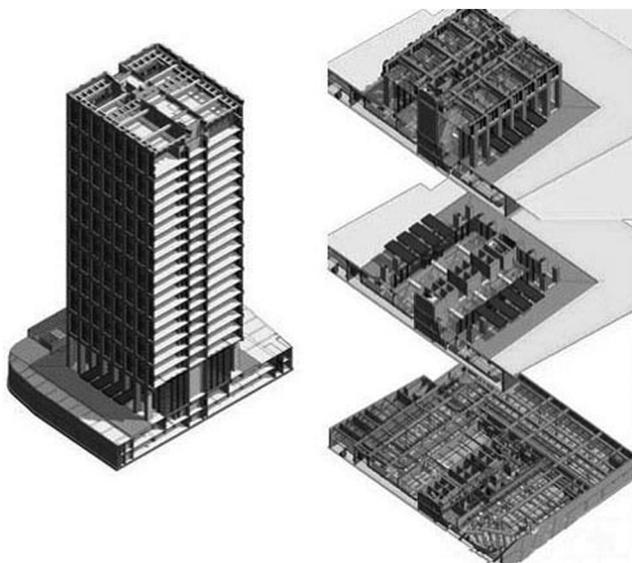


图 2 第 20 栋高层住宅的 BIM 模型

将 B20 的 C1, C2, C3, C4, C5 作为输入代入 GA 的输入层神经元, 根据此时的 GA 结构计算出其输出, 工程造价为 2 393.51(元/m<sup>2</sup>). 这个数值就是 GA 模型结合 BIM 软件平台数据给出的辅助分析结果, 可以为 B20 的实际建设提供参考依据.

表 1 恒祥城小区各高层住宅的工程特征向量数据

| 楼体代号 | 建筑面积<br>特征 C1 | 地基形式<br>特征 C2 | 楼体层数<br>特征 C3 | 单元户型<br>特征 C4 | 门窗率<br>特征 C5 | 工程造价 P   |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|----------|
| B01  | 0.572         | 1.000         | 0.800         | 0.750         | 1.051        | 2 357.02 |
| B02  | 0.687         | 1.000         | 1.000         | 1.000         | 0.983        | 2 468.79 |
| B03  | 0.934         | 1.000         | 1.100         | 0.800         | 1.122        | 2 218.35 |
| B04  | 0.899         | 1.000         | 1.000         | 1.000         | 1.165        | 2 376.92 |
| B05  | 1.021         | 0.700         | 1.000         | 1.000         | 1.271        | 2 406.51 |
| B06  | 0.965         | 1.000         | 1.000         | 0.750         | 1.089        | 2 411.64 |
| B07  | 0.993         | 1.000         | 0.900         | 0.750         | 0.856        | 2 385.27 |
| B08  | 1.142         | 1.000         | 0.600         | 0.600         | 0.899        | 2 374.46 |
| B09  | 1.381         | 0.600         | 1.000         | 1.000         | 1.012        | 2 293.52 |
| B10  | 1.424         | 1.000         | 1.000         | 1.000         | 0.913        | 2 503.26 |
| B11  | 1.351         | 1.000         | 1.000         | 0.800         | 0.972        | 2 466.89 |
| B12  | 1.272         | 1.000         | 0.900         | 0.900         | 1.018        | 2 471.21 |
| B13  | 1.583         | 1.000         | 1.000         | 1.000         | 1.215        | 2 418.59 |
| B14  | 1.266         | 0.500         | 1.000         | 1.000         | 1.166        | 2 388.35 |
| B15  | 0.975         | 1.000         | 0.700         | 0.650         | 0.915        | 2 402.39 |
| B16  | 0.806         | 1.000         | 1.000         | 1.000         | 1.021        | 2 375.20 |
| B17  | 0.754         | 1.000         | 1.000         | 0.900         | 1.033        | 2 369.83 |
| B18  | 1.191         | 0.600         | 1.000         | 1.000         | 1.106        | 2 382.55 |
| B19  | 1.053         | 1.000         | 1.000         | 1.000         | 0.945        | 2 412.53 |
| B20  | 1.000         | 1.000         | 1.000         | 1.000         | 1.000        | 待计算      |

## 4 结 论

准确高效地对工程项目的造价给出分析和预测, 对于建筑工程领域具有非常重要的意义. 本文在 BP 神经网络模型的基础上, 构建了一种 GA 网络模型用于工程造价的预测分析. 在 GA 网络的建模过程中, 详细地设计了适应度函数、选择运算、交叉运算、变异运算. 之后, 结合 GA 网络模型和 BIM 辅助分析, 设计了工程造价的分析预测流程.

针对恒祥城小区 20 栋高层住宅的相关数据展开实验研究, 结合 BIM 辅助分析和 GA 网络迭代训练

的结果, 当 B17-B19 的 GA 预测结果和 B17-B19 的实际工程造价非常接近时, GA 达到了稳定. 据此, 可以预测出 B20 的工程造价为 2 393.51 元/m<sup>2</sup>, 为 B20 的施工和市场销售提供了有效的依据.

实验过程和实验结果表明, 基于 GA 网络模型的 BIM 辅助分析方法, 可以实现工程造价的预测, 为建筑工程领域提供了一种新思路.

## 参考文献:

- [1] MOTE J E. The Architecture of Markets: an Economic Sociology of Twenty-First Century Capitalist Societies [J]. Academy of Management Review, 2016, 27(2): 304-306.
- [2] HEINZELMAN W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.

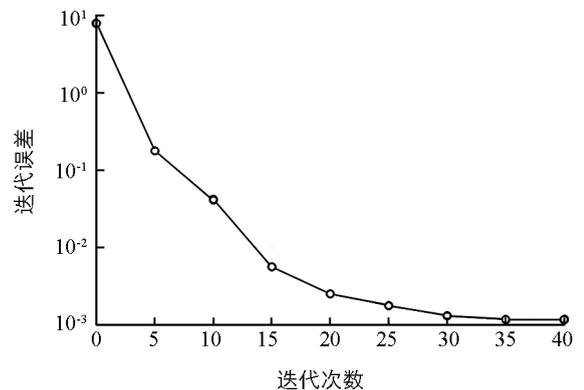


图 3 迭代误差的变化过程

- [3] GODMAN B, SAKSHAUG S, BERG C, et al. Combination of Prescribing Restrictions and Policies to Engineer Low Prices to Reduce Reimbursement Costs [J]. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research*, 2011, 11(1): 121-129.
- [4] 胡秀芝, 鲍安红, 曹树星, 等. 基于 PKPM 的重庆三峡库区农村建筑节能改造——以丰都县某村委会楼为例 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 38(10): 161-164.
- [5] 何海芹. 基于 BIM 的建筑工程可视化项目管理系统研究 [J]. *中国住宅设施*, 2013(25): 90-93.
- [6] 刘晓燕, 王 凯. 基于 BIM 的建筑性能化分析实践——绿色节能分析为例 [J]. *土木工程信息技术*, 2015, 7(1): 14-19.
- [7] KANG T W, HONG C H. A Study on Software Architecture for Effective BIM/GIS-Based Facility Management Data Integration [J]. *Automation in Construction*, 2015, 54: 25-38.
- [8] WANG R, ZHANG X, HAN T T. Research on Building Economic Indicators System and Evaluation Methods of Ancient Architecture Protection Scheme Based on BIM [J]. *Construction Economy*, 2014, 35(6): 110-114.
- [9] 刘晓东, 田 林, 高子钰. BIM 对建筑工程施工技术影响研究 [J]. *哈尔滨理工大学学报*, 2015, 20(3): 117-120.
- [10] 杨无疆, 林 玲. 基于 BP 神经网络的工程造价快速估算模型 [J]. *建筑经济*, 2011, 32(9): 53-55.
- [11] ARANDA-MENA G, CRAWFORD J, CHEVEZ A, et al. Building Information Modelling Demystified: Does it Make Business Sense to Adopt BIM? [J]. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2009, 2(3): 419-434.
- [12] 陈振虎. 基于 RBF 神经网络的配电网建设工程造价估算模型研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- [13] 潘雨红, 张宜龙, 蔡亚军, 等. 基于 GA-BP 算法的公路工程造价估算研究 [J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2016, 35(2): 141-145.

## BIM-Aided Analysis of Engineering Cost Based on GA Network Model

ZHANG Bing-xin

*College of Material and Architecture Engineering, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China*

**Abstract:** In order to solve the problem of analysis and prediction of engineering cost, a BIM(Building Information Modeling)-aided analysis method based on GA network model is proposed in this paper. In this method, BIM software is used to acquire loud engineering features, and GA model is used to train and give engineering cost prediction value after network stability. An experiment was carried out on a tall building with 20 storeys in Hengxiangcheng Residential District. When the GA prediction results of B17-B19 were very close to the actual cost, GA reached stability. Accordingly, the building cost of the B20 project was predicted to be 2 393. 51 yuan/m<sup>2</sup>, which provided an effective basis for the construction and marketing of B20. In conclusion, the proposed GA model combined with BIM-assistant analysis can accurately and conveniently complete the project cost prediction.

**Key words:** GA model; engineering cost; BIM(Building Information Modeling); aided analysis

责任编辑 夏 娟