

Design and Implementation of a Tender Evaluation IDSS System Based on DEA-GA-BP Neural Network

Zhuoyou Zhang, Kang Hu, Xiaoyan Jiang

School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei Anhui
Email: zzy_supreme1@163.com

Received: Mar. 4th, 2020; accepted: Mar. 19th, 2020; published: Mar. 26th, 2020

Abstract

Bid evaluation is a key link in the bidding of construction projects. Whether a bidder can be comprehensively, objectively and correctly evaluated is the key to successful bidding. With the rapid development of the Internet, the subjectivity, arbitrariness, and inclination of manual bid evaluation may cause deviations in the bid evaluation results of construction projects. Based on the establishment of a reasonable bid evaluation index system, this paper uses the network mean square error of the BP neural network algorithm to design the fitness function, and then uses MATLAB programming to establish a computer automatic bid evaluation model based on the GA-BP neural network. The evaluation effect of the model was tested by using a construction project example. In addition to the advantages of parallel processing, robustness, self-adaptation and self-learning of the BP neural network, compared with the model based on the traditional BP neural network, the model has obtained prediction performance, prediction accuracy and generalization ability. Effective improvement greatly improves the objectivity and work efficiency of bid evaluation, and is also applicable to the solution of non-linear problems in other types of bid evaluation of construction projects. This paper designs and implements an intelligent bidding decision-making system and introduces data mining and cloud computing related technologies into the system, which greatly improves the objectivity and efficiency of bid evaluation.

Keywords

Bid Evaluation System, DEA-GA-BP, Neural Networks, Data Mining, Cloud Computing

基于DEA-GA-BP的智能评标决策支持系统的设计与实现

张倬友, 胡 康, 江小燕

合肥工业大学土木与水利工程学院, 安徽 合肥
Email: zzy_supreme1@163.com

收稿日期: Mar. 4th, 2020; accepted: Mar. 19th, 2020; published: Mar. 26th, 2020

摘要

评标是建设工程招投标中的关键环节, 能否对投标人进行一个全面、客观且正确的评价是招标成功的关键。随着互联网的飞速发展, 针对人工评标的主观性、随意性和倾向性可能给建设工程招投标工作带来的评标结果偏差。本文在建立合理的评标指标体系的基础上, 以BP神经网络算法的网络均方误差进行适应度函数设计, 然后利用MATLAB编程建立了一种基于GA-BP神经网络的计算机自动评标模型, 并采用建设工程项目实例对模型的评价效果进行了检验。该模型除了具有BP神经网络的并行处理、鲁棒性、自适应和自学习的优势外, 与基于传统的BP神经网络建立的模型相比, 其预测性能、预测精度和泛化能力都得到了有效改进, 大大提高了评标的客观性和工作效率, 也适用于建设工程项目其他类型评标中的非线性问题的求解。本文设计和实现了智能评标决策系统并将数据挖掘和云计算的相关技术引入该系统中, 大大提高了评标的客观性和工作效率。

关键词

评标系统, DEA-GA-BP, 神经网络, 数据挖掘, 云计算

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着中国《招标投标法实施条例》的实施和互联网技术的发展, 电子招投标已成为建设工程招投标领域的主要交易方式[1]。智能算法、大数据、BIM技术和电子化等科技手段正在促进工程建设领域快速发展, 也给招投标行业带来了新的变化[2][3]。在中国, 对评标办法和评审标准的使用主要分为两类: 一是大型复杂项目多使用综合评估法; 二是一般项目使用经评审的最低投标价法。综合评估法是最常用的一种评标方法[4], 该方法是指评标委员会按照评标办法中规定的打分标准及分数比例, 获最高分者有可能中标, 多用于技术难度或建设规模较大的工程。对于采用综合评分法评标, 由于涉及到专家的知识、经验以及对评分标准的把握等主观随意性和招标人对评分方法的设定及其复杂性, 而在实践中往往限制了这种方法的应用。而运用最低价投标法时, 许多工程在采用最低价中标法进行招标时, 施工企业通过压低报价来取得中标, 导致投标价格低于成本价, 这不但严重影响了建筑行业的健康发展, 而且势必会造成工程质量、安全、工期难以保证等一系列问题[5]。传统建设工程项目评标方式中, 评标专家们自身主观因素对评标结果带来的主观性、随意性和倾向性问题一直未能得到解决。在现代互联网发展趋势下, 招投标模式已经逐渐由线下模式向电子招投标模式过渡。相比传统的线下招标模式, 电子招投标模式具有流程简化、信息畅通的优点[6]。但与此同时新兴的电子招投标系统存在效率低、可靠性差等局限性也严重约束了招投标行业的快速发展。将智慧方法与电子招投标相结合是解决上述问题的有效途径。因此, 本文在分析研究传统电子招投标系统的基础上, 基于DEA-GA-BP神经网络的智能评标方法设计和实现

了智能评标决策支持系统，且将数据挖掘和云计算等相关技术引入该系统中进行数据云处理计算，大大提高了评标的客观性、正确性和工作效率，且实现了异地评审和网络评审的需求。

2. 智统招投标系统的研究分析

针对传统建设工程项目评标方式中，评标专家们自身主观因素对评标结果带来的主观性、随意性和倾向性问题，一些学者提出了基于模糊综合评价建立了工程项目评标模型[7]、将层次分析法应用于施工招投标中[8]、引入灰色关联理论对建设工程评标方法进行研究[9]、运用遗传算法，引入排除选择法(ELECTRE)建立了工程项目优选模型[10]、运用组合优化思想，将经过粒子群算法优化过的径向基神经网络模型(PSO-RBF)运用到招标评标的实践中[11]等改善方法，对于上述问题的克服起到了积极的促进作用。但就前三种方法而言，都存在着主观性强、缺乏对定量指标的分析等缺陷；就 GA 而言，存在着局部搜索能力差和收敛速度慢等不足；而就 BP 神经网络法而言，存在着学习过程收敛速度慢，容易陷入局部极小点等不足，加之建设工程项目本身具有不确定性的特点，无形中又加大了建设工程项目的招标工作难度。根据国内外近年来的研究成果可知，上述方法均存在评价指标体系不完整、评价结果粗糙等缺点。

智能计算也有人称之为“软计算”，是人们受自然规律的启迪，根据其原理，模仿求解问题的一类算法[12]。这类算法主要有模拟退火，遗传算法，禁忌搜索，神经网络，粒子群算法等。文献[13][14]采用 BP 神经网络算法对建设工程评标方法进行优化。神经网络对解决非线性问题有强大且准确的映射能力，因而被越来越广泛地应用于招投标领域中；但神经网络存在收敛速度慢，易陷入局部极小点，以及网络参数(如隐含层神经元的个数)和训练参数(如学习速率、误差阈值等)难以确定等缺点。将遗传算法和 BP 神经网络相结合应用于工程项目的评标方法中[15]，该方法值得借鉴，但其适应度函数设计和一些相关指标设置若不够清晰则难以在实际工程中应用。

本文对相关文献的研究发现，传统招投标系统存在以下几个问题：1) 功能模块过于繁杂，且功能需求表现不集中；2) 辅助评标系统设计中，评标功能不够细致与合理，且评标专家的人为干预因素无法避免；3) 数据库管理系统中的数据存储方式不够理想，存储数据不全面；4) 数据分析与处理功能的设计与实现未突出说明，且未采用智能算法和数据挖掘算法等多功能辅助算法来提高数据处理效率和准确性。因此，为改进和优化现有招投标系统，本文通过深入研究智能算法，并结合数据挖掘和云计算等相关知识等，提出了智能评标系统是非常有必要的。

3. 智能信息化投标系统的原理

本文设计和实现智能信息化招投标系统中的智能评标决策支持系统。智能信息化招投标系统采用 Web 和 VS2010 作为开发环境，并使用了 Microsoft SQL Server 和 MATLAB 等工具，构建了由表示层、业务层、数据层和安全控制层组成的安全四层体系结构[16][17]，智能信息化招投标系统的主要原理是：招标阶段，招标方访问系统，发布招标信息及编制和分发电子招标文件；投标阶段，投标方访问系统，阅读相关信息，下载招标文件并编制和提交投标文件；评标阶段，智能评标决策支持系统调用数据库文件进行评标定标并输出评标报告。本文采用基于 DEA-GA-BP 神经网络的智能评标方法，其原理如下：

首先，根据建设工程项目的评标特点，建立合理完善的评标指标体系，在此基础上，抽取若干个评标专家依次对各投标方案进行“指标评价”和“综合评价”，得出网络训练样本集。然后，以各评价指标值为投入指标，各方案的综合评价值为产出指标，运用基于 DEA 法的 MaxDEA 软件对各投标方案进行初评，且筛选出有效投标方案，并依效率大小进行排序；如果有效投标方案数量为 1，则评

价完成，输出评价结果；如果有效投标方案数量为 2 或大于 2，则利用 GA-BP 神经网络评标模型进行二次评价。GA-BP 神经网络评标模型的二次评价过程为：先对最初得到的网络训练样本集进行数据处理，然后将处理后的数据输入到 GA-BP 神经网络评标模型中进行训练，得到各投标方案的实际综合评价值，最后按实际的综合评价值大小进行排序。如果非有效投标方案的排序结果与 DEA 法得到的相同且有效投标方案的评价结果高于非有效投标方案，则根据评价结果，确定最优的投标方案；否则，则再次进行 GA-BP 神经网络评标模型的二次评价，直到满足要求，输出最优的投标方案。基于 DEA 的 GA-BP 神经网络的智能评标方法见图 1。最后，在云计算平台实现智慧化电子评标系统，系统工作流程图见图 2。

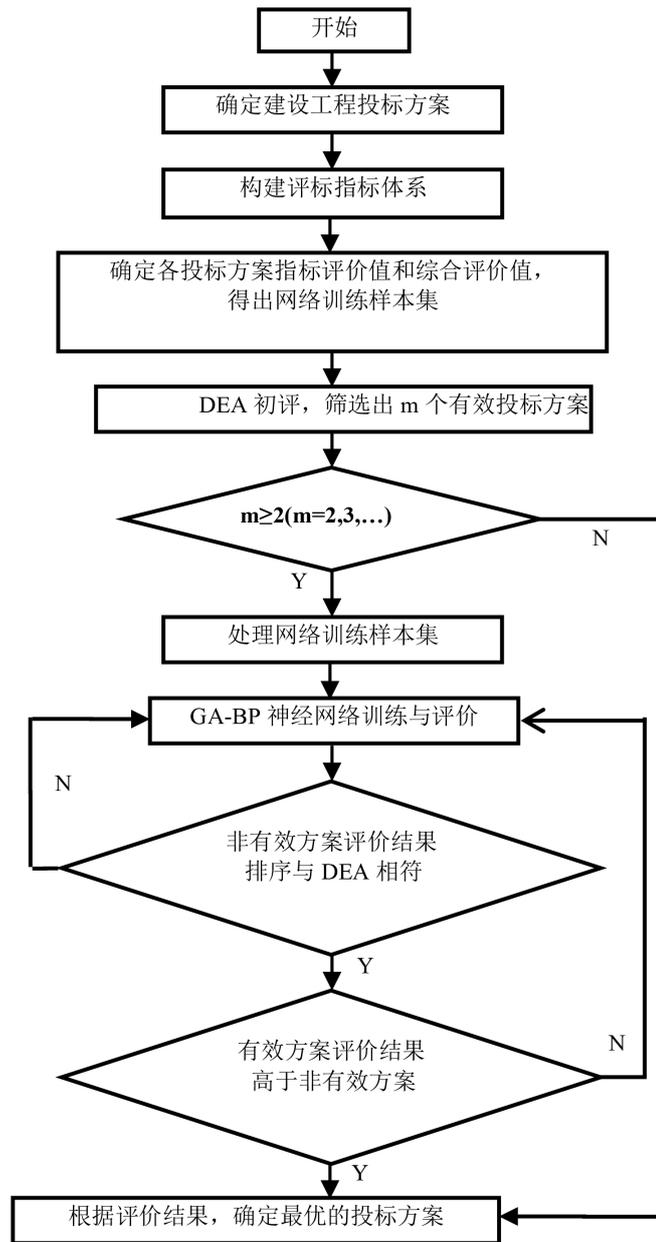


Figure 1. Intelligent method flow of GA-BP neural network based on DEA
 图 1. 基于 DEA 的 GA-BP 神经网络的智能方法流程

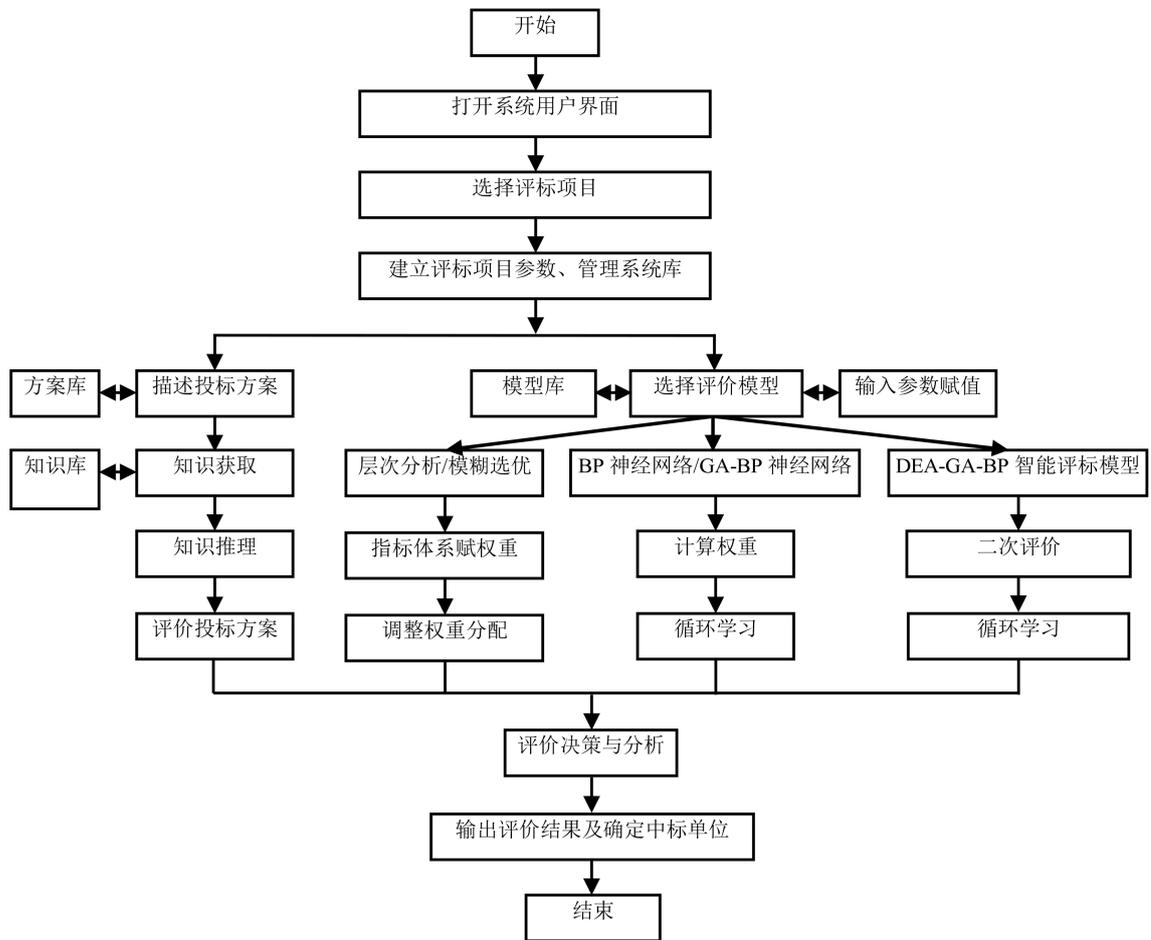


Figure 2. System work flow chart
图 2. 系统工作流程图

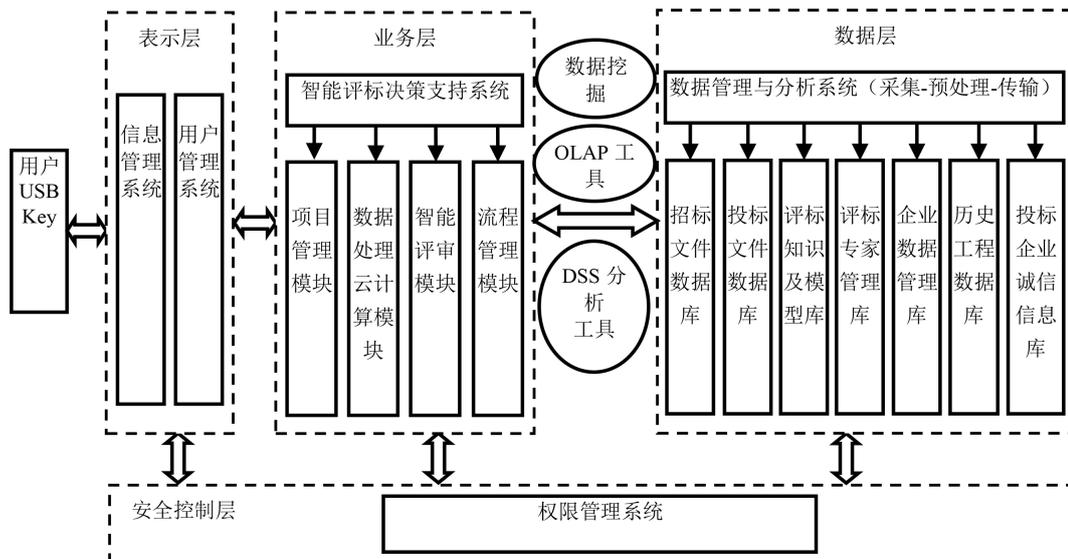


Figure 3. Architecture of intelligent information bidding system
图 3. 智能信息化招投标系统的架构

表示层由信息管理系统和用户管理系统组成,主要是处理用户的输入和接收需要显示的信息[12]。业务层的智能评标决策支持系统是智能信息化招投标系统的核心,主要由项目管理模块、流程管理模块、数据处理云计算模块和智能评审模块组成,其主要是处理项目招投标文件中的相关信息及数据,并进行评标定标输出评标报告。数据层由数据管理与分析系统组成,简称数据库系统,主要是新增、删除和导出数据,以及数据库被其他系统和功能模块进行查询和调用,返回相应的查询结果,同时也保存系统操作所产生的数据文件等,其相关模块见图3所示。安全控制层的权限管理系统主要是为各系统和功能模块提供权限检查的功能,其可采用加密和数字签名技术等技术进行设计和实现。系统的工作流程如图2所示。本文着重介绍智能评标决策支持系统的设计与实现。

4. 智能信息化投标系统的原理

4.1. 智能决策支持系统(IDSS)

智能决策支持系统(IDSS)是决策支持系统(DSS)和人工智能(AI)相结合的产物,它着重研究将AI的知识推理技术和DSS的基本功能模块有机结合起来。

在本研究中使用IDSS,目的在于直接利用其基本功能,并将AI的知识推理技术与数据云处理计算模块的功能相结合,提统在数据查询、数据获取和数据处理时的准确性及工作效率。

4.2. 智能算法

智能计算也有人称之为“软计算”,是人们受自然规律的启迪,根据其原理,模仿求解问题的一类算法[18]。这类算法主要有模拟退火,遗传算法,禁忌搜索,神经网络,粒子群算法等。

本研究中采用的基于DEA-GA-BP神经网络的评标方法[19]就是一种混合智能算法,其主要原理是:首先,根据建设工程项目的评标特点,建立合理完善的评标指标体系,并依此,抽取若干个评标专家依次对各投标方案进行“指标评价”和“综合评价”,得出网络训练样本集。然后,以各评价指标值为投入指标,各方案的综合评价值为产出指标,运用基于DEA法的MaxDEA软件对各投标方案进行初评,且筛选出有效投标方案,并依效率大小进行排序;如果有效投标方案数量为1,则评价完成,输出评价结果;如果有效投标方案数量为2或大于2,则利用GA-BP神经网络评标模型进行二次评价。

其中,GA-BP神经网络评标模型的二次评价过程为:先对最初得到的网络训练样本集进行数据处理,然后将处理后的数据输入到GA-BP神经网络评标模型中进行训练,得到各投标方案的实际综合评价值,最后按实际的综合评价值大小进行排序。

如果非有效投标方案的排序结果与DEA法得到的相同且有效投标方案的评价结果高于非有效投标方案,则根据评价结果,确定最优的投标方案;否则,则再次进行GA-BP神经网络评标模型的二次评价,直到满足要求,输出最优的投标方案。

4.3. 云计算

云计算(cloud computing)是基于互联网的相关服务的增加、使用和交付模式,通常涉及通过互联网来提供动态易扩展且经常是虚拟化的资源[13]。而云存储则是云计算的延伸,是指通过集群应用、网络技术或分布式文件系统同等功能,将网络中大量各种不同类型的存储设备通过应用软件集合起来协同工作,共同对外提供数据存储和业务访问功能的一个系统[14]。

在本研究中主要使用的是云存储技术,通过系统的网上招投标工作所产生的数据都将经过云存储而进入数据库系统中进行保存,以待以后查询和调用。本文所涉及的云存储数据主要包括业务数据和云系统配置信息。

4.3.1. 业务数据

业务相关的数据主要作用于业务层，包括项目信息、标段信息、招标信息、投标信息、评标信息、流程信息等，是对现实的招投标业务的抽象，其逻辑关系如图4所示。图4中，业务层的数据实体包括项目、标段、招标单位、投标公司、评标方法、评标专家、流程、流程配置和审批节点。

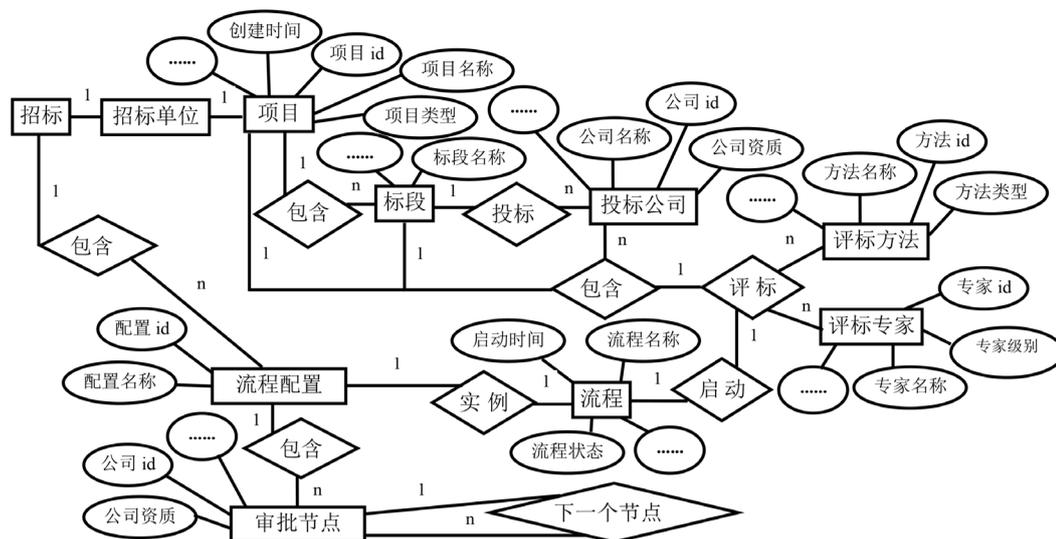


Figure 4. Business data logic diagram
图4. 业务数据逻辑关系图

4.3.2. 云系统配置信息

云系统配置信息主要作用于数据库系统，数据库系统根据云系统配置信息实现对不同项目的招投标文件数据库、评标知识库、评标专家管理库、历史工程数据库、投标企业诚信信息库和数据挖掘算法库等的不同对应选择。云系统配置信息的主要内容是匹配其他层与数据层之间的对应关系，以使查询和调用数据时能更快、更准确，也方便索引相似项目类型的数据文件。

4.4. 数据挖掘算法

数据挖掘一般定义为通过对大量的原始数据的分析，从中提取有效的、新颖的、潜在有用的、最终可理解的模式的非平凡过程。数据挖掘主要是利用相关算法对数据进行各种处理，这自然需要数据库系统提供诸如存储、索引和查询处理支持[20]。数据挖掘步骤一般分为3个阶段：1) 数据准备；2) 数据挖掘；3) 解释评估。

在本研究中主要利用数据挖掘算法从数据库系统的海量数据中筛选所需要的、有用的信息，如项目信息、控制价、投标报价、投标方案等。数据挖掘过程如图5所示。

5. 智能评标决策支持系统的设计与实现

5.1. 项目管理模块

项目管理模块主要处理表示层传递的被访问页面的信息，然后返回需要显示的结果信息。当用户访问时，该模块的主要任务是对输入信息进行校验，然后调用相应功能模块获取所需信息并显示查询结果。该模块在查询信息时，还需要对流程类型进行判断，从而决定后续操作。除此之外，为了对新用户友好，还需要查询业务流程具体步骤的信息[12]。

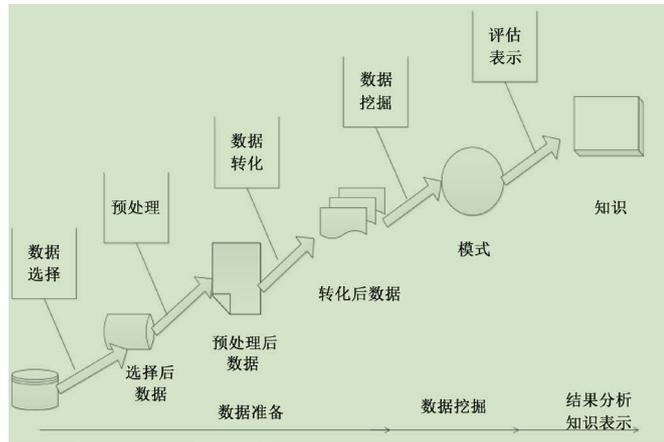


Figure 5. Data mining process diagram
图 5. 数据挖掘过程示意图

5.2. 流程管理模块

流程管理模块的输入来自整个系统，主要处理用户对流程的操作，如执行下一个步骤、返回上一个步骤和取消当前操作等等。该模块的核心是根据流程的当前状态(审批节点)、用户操作和流程配置的内容计算新的流程状态(即下一个审批节点)，并将新的状态持久化存入数据库。

5.3. 数据云处理计算模块

数据云处理计算模块(以下简称 A 模块)的基本功能是数据库信息的查询、分析、挖掘与调用等，其具体流程如图 6 所示。核心功能则是数据预处理与数据建模等。在评标阶段，当用户操作此模块的业务流程时，智能评标决策支持系统中会执行以下步骤(如图 7 所示)。

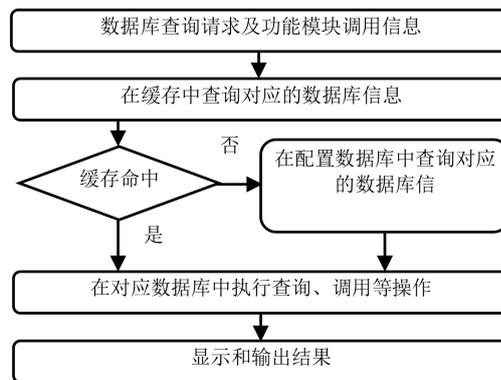


Figure 6. Introduce cached database information query and call flow chart
图 6. 引入缓存的数据库信息查询与调用流程图

- 1) 表示层向 A 模块传递待评审的项目；
- 2) A 模块分析项目信息及类型，从评标知识库中查询并选取合理的智能评标方法(评标知识库中一般可存储多种评标方法，如基于灰色关联、BP 或 GA 的评标方法等等，来进行多次评审而比较结果，以减小评审误差)；
- 3) A 模块从招投标文件数据库中调用招标方的标准投标方案和投标方的全部待评投标方案，并汇总、整理和保存；

4) A 模块利用数据挖掘工具正确找出各投标方案中全部单评价指标的信息(单评价指标可见于具体的智能评标方法,一般为工期、施工质量、安全保证措施、环境保护措施和企业资质、信誉等等),并形成特征集合,如不满意则返回 2),否则继续;

5) A 模块利用科学的智能算法自动计算与比较各待评投标方案中的单评价指标信息与标准投标方案中相应信息的优劣程度,并做出具体的评价(优、良、中、可、差);

6) A 模块利用 5)中的评价结果及评级方法对投标方案进行综合评价(说明:第 5、6 步的评价都要参考类似项目的历史工程数据库,以减小评价偏差,使评价更客观。);

7) A 模块利用从评标知识库中调用得到的标准化处理算法对全部评价数据进行标准化处理;

8) A 模块显示、保存和导出已处理好的评价数据。

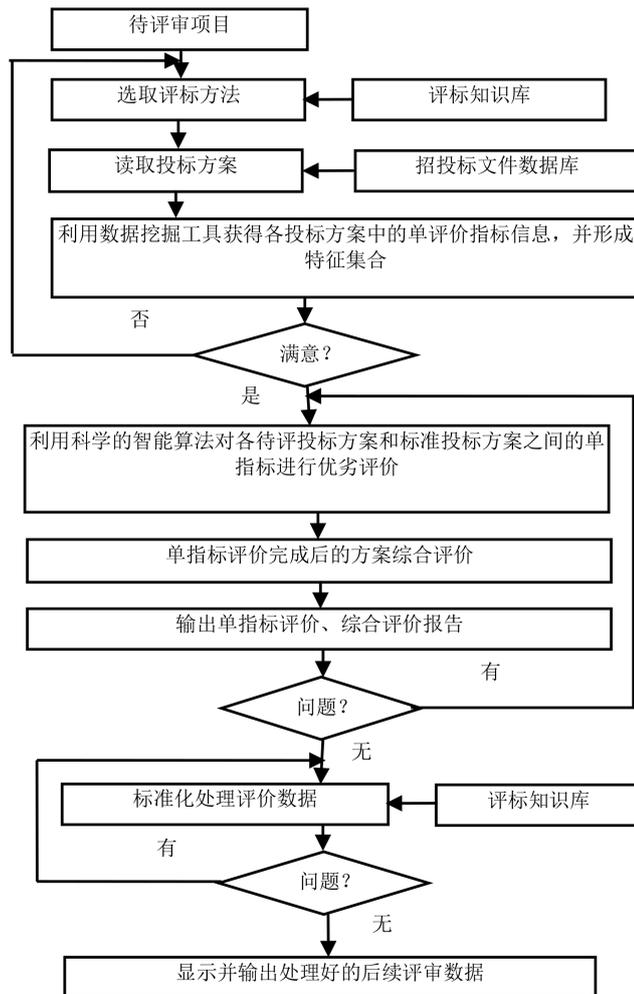


Figure 7. Business flowchart during module A operation chart
图 7. A 模块操作时业务流程图

5.4. 智能评审模块

智能评审模块(以下简称 B 模块)的主要功能是运用智能评标算法对 A 模块中得到的数据进行智能评审,得出评价结果并输出评价报告。本文拟采用的智能评标算法见 4.2 小节。在评标阶段,当用户操作 B 模块的业务流程时,智能评标决策系统中会执行以下步骤(如图 8 所示):

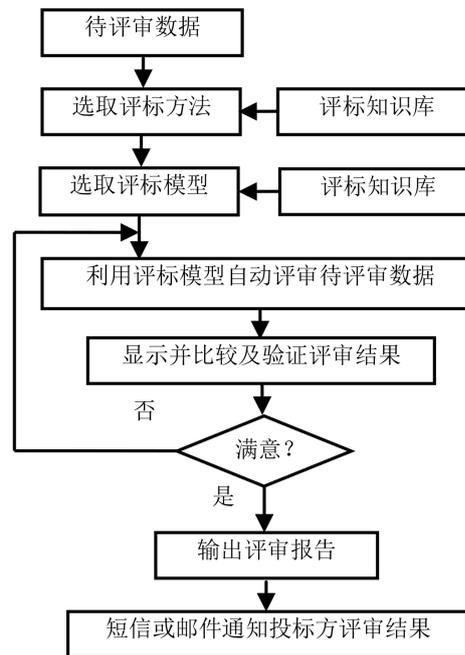


Figure 8. Business flowchart during module B operation chart
图 8. B 模块操作时业务流程图

- 1) A 模块向 B 模块传递待评审的数据;
- 2) 选取 A 模块中对应的智能评标方法;
- 3) 从评标知识库中选取该方法对应的评标模型;
- 4) 利用评标模型自动评审待评审数据;
- 5) 显示评审结果并验证, 如满意则输出评审报告, 否则返回 4);
- 6) B 模块以邮件或短信的形式向投标方发送评审报告及定标结果, 任务结束。

6. 工程实例验证

本文以合肥市 2013 昆仑花园二期三标段工程施工项目的实际招标文件为实例进行验证, 并预先在招标文件数据库中导入评标方制定的标准投标方案, 且在历史工程数据库中导入合肥市招管局建设项目统计 2010~2015 年的招投标数据文件, 以使验证更符合实际要求, 减小偏差, 评价效果更理想。按智能评标决策支持系统的要求, 导入全部投标方案, 经过评审后可得到如图 9 所示的某个投标方案的单指标评价结果, 最终得到如表 1 所示的评审结果, 且比较发现其与实际评审结果基本相符。所以, 验证表明该系统可实现对投标方案的智能优化评价。

7. 结论与展望

7.1. 结论

本文基于优化传统电子招投标系统的目的, 利用信息化系统和 IDSS 提出了智能信息化招投标系统的架构设想; 并基于 DEA-GA-BP 神经网络的智能评标方法和数据挖掘、云计算技术的一些内容给出了核心的智能评标决策支持系统的设计与实现方案, 介绍了其系统架构和模块的组成以及业务流程。最后通过实例验证, 发现该智能评标决策支持系统基本可实现对投标方案的自动评价, 保证了评审的客观性, 公正性, 也提高了工作效率。

Figure 9. Single index evaluation result of a bidding scheme

图 9. 某投标方案的单指标评价结果

Table 1. DEA preliminary evaluation results and GA-BP neural network evaluation results

表 1. DEA 初评结果与 GA-BP 神经网络评价结果

投标方案	DEA 效率值	DEA 评价排序	网络评价值	网络评价排序
A	0.8684	2	0.3186	12
B	1	1	0.5898	7
C	1	1	0.7270	4
D	1	1	0.8170	3
E	1	1	0.9099	2
F	1	1	0.9764	1
G	1	1	0.5901	6
H	1	1	0.5010	8
I	1	1	0.4541	9
J	1	1	0.6372	5
K	1	1	0.4086	10
L	0.7514	4	0.0287	14
M	0.8229	3	0.2275	13
N	1	1	0.3619	11

7.2. 展望

建筑信息模型(BIM, Building Information Modeling)是近十年来在 CAD 技术基础上发展起来的一种多维模型信息集成技术,可应用于建设工程全生命周期的各个阶段,具有可视化、协调性、模拟性、优化性、可出图性等特点。BIM 在国内现有的三种项目管理模式(传统、承包管理、集成创新型模式)中的应

用方式不同,因此综合以上研究成果,本文认为可从两个角度出发,在建设工程电子招投标系统建设中应用 BIM 技术:1) 在传统模式(DBB)下,引入 BIM 技术升级现有电子招投标系统;2) 在承包管理型模式和集成创新型模式中建立基于 BIM 技术的建设工程招投标管理信息系统。

基金项目

安徽省软科学项目(1402052016),安徽省建设厅软科学项目(2016YF-01)。

参考文献

- [1] 陈天福. 贵阳建设工程电子招投标系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [2] 楚英元. 基于 BIM 技术的招标控制价文件编制[C]//中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会. 2018 年“智慧建造与设计施工”学术论坛(IADC2018)论文汇编. 中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会, 2018.
- [3] 仇瑞雪. 浅析 BIM 技术在工程项目电子招投标系统建设中的应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2015(6): 52-54.
- [4] 刘玉美, 李青云. 浅谈综合评估法在建筑工程招投标中应用存在的几点问题及措施建议[J]. 居舍, 2019(23): 179-180.
- [5] 叶玉嫦. 工程量清单计价模式下最低价中标合理性评审研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [6] 袁相国. 国外公共合同的电子招投标程序及其管理初探[J]. 招标与投标, 2018, 6(11): 51-56.
- [7] 颜文华. 改进模糊综合评价法在工程监理评标中的应用分析[J]. 居舍, 2018(23): 248-249.
- [8] 何芙蓉. 层次分析法在施工招投标中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2014.
- [9] 赵振洋, 陆志峰. 灰色关联分析法在综合评标中的应用[J]. 中国水能及电气化, 2014(4): 30-34.
- [10] 张燕. 基于遗传算法的评标专家管理系统开发与研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2014.
- [11] 汪学清, 黄嘉林, 胡德俊. 基于 PSO-RBF 神经网络的项目招标评标应用研究[J]. 工程管理学报, 2014, 28(6): 96-101.
- [12] 徐若晨, 郑迪, 赵翔, 等. 云招标系统中业务管理功能的设计与实现[J]. 网络新媒体技术, 2016, 5(2): 48-58.
- [13] 杨思远, 田胜利, 方青, 张晶华. 基于 BP 神经网络的二阶段评标法效用分析[J]. 工程经济, 2018, 28(12): 66-69.
- [14] 吴筱娟. 网络招投标计划的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [15] 唐海荣, 尹贻林. 基于 GA-BP 神经网络的施工招标项目评标方法研究[J]. 项目管理技术, 2011, 9(9): 48-52.
- [16] Wan, D.S., Hu, Y.T. and Ren, X. (2009) BP Neural Network with Error Feedback Input Research and Application. *Proceedings of 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, **1**, 63-66. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2009.24>
- [17] Shi, H.W. (2009) Application of Unascertained Method and Neural Networks to Quality Assessment of Construction Project. *Proceedings of 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, **1**, 52-55. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2009.21>
- [18] 沈焱萍, 郑康锋, 伍淳华, 杨义先. 智能启发算法在机器学习中的应用研究综述[J]. 通信学报, 2019, 40(12): 124-137.
- [19] 江小燕, 胡康, 于竞宇. 基于 DEA-GA-BP 的建设工程评标方法研究[J]. 价值工程, 2016, 35(30): 27-31.
- [20] Chaovalitwongse, W.A., Wang, W., Williams, T.P., et al. (2012) Data Mining Framework to Optimize the Bid Selection Policy for Competitively Bid Highway Construction Projects. *Journal of Construction Engineering & Management*, **138**, 277-286. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000386](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000386)