

基于知识管理的 BIM 模型建筑设计合规性 自动检查系统研究

陈 远, 张 雨, 康 虹

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 建筑设计合规性自动检查对保证建筑信息模型(BIM)符合设计规范要求, 增加规范检查自动化程度具有重要意义。结合合规性检查理论与专家系统方法, 提出了以 BIM 模型为检查对象的合规性自动检查系统框架, 以规则知识与推理机制分开的方式实现合规性检查过程。以《住宅设计规范》为例, 对规范中的条文进行知识分析, 总结出规范知识表达式, 构建规则库和规则库访问机制; 建立了逻辑策略下推理机制, 将规则库中的规则信息与 BIM 信息进行推理, 输出检查结果; 最后构建了合规性检查系统验证平台, 通过 BIM 模型实例完成模型数据提取及规则推理的过程, 实现了合规性检查的功能, 验证了合规性检查方法框架。该方法在一定程度上能够指导后续的合规性检查相关研究, 有效提高 BIM 模型的建筑设计合规性检查效率, 保证检查质量, 促进建筑工程领域信息化的发展。

关 键 词: 合规性检查; 知识管理; 规则库; 建筑信息模型

中图分类号: TP 17

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2020030490

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2020)03-0490-10

Research on knowledge-based BIM for automated compliance checking system in architectural design

CHEN Yuan, ZHANG Yu, KANG Hong

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: It is of great significance to conduct the research on automated compliance checking system of architectural design, in terms of ensuring that the building information model (BIM) meets the design rules requirements and increasing the degree of automated compliance checking. Combined with the theory of compliance checking and the expert system method, this research proposed the framework of the automatic compliance checking system with BIM as the test target, and realized the compliance checking process by separating rule knowledge from reasoning mechanism. Taking the Design code for residential buildings as an example, this paper conducted the knowledge analysis on the provisions in the specification, summarized the expression of code knowledge, as well as built the rule base and the access mechanism to the rule base. Next, the reasoning mechanism under logical strategy was established. Through reasoning the rule information and BIM information in the rule base, checking results were output. Finally, this paper constructed a verification platform of compliance checking system, completed the process of model data extraction and rule reasoning through BIM examples, realized the function of compliance checking, and verified the framework of compliance checking method. The structure of the compliance checking method

proposed in this research is more comprehensive and can therefore guide the follow-up research. This automated compliance checking system can effectively improve the efficiency of BIM compliance checking, ensure the quality of checking, and promote the development of informatization in the field of construction engineering.

Keywords: automated compliance checking; knowledge management; rule database; building information model

设计是以国家、部门和行业的标准为基础完成的。设计审查是工程建设周期中的重要环节之一,其目的是在设计阶段检查工程图纸或者模型是否符合相关规范要求或是否存在设计缺陷。现阶段,我国常用的施工图审查工作模式还是以人工审查的方式为主,审查过程中需要检查人员参照大量的规范条款,审查结果很大程度上取决于检查人员对规范的了解程度和经验,导致检查结果具有较强的主观性。同时设计合规性检查是一个十分耗时,同时对知识、经验要求非常高的过程,在信息化时代,此种粗放的检查方式已经无法满足设计合规性检查的需求,亟需新的技术来推进规则检查技术的进程。

信息化是建筑业目前发展的大趋势,建筑信息模型(building information model, BIM)技术是近年来建筑业研究的热点问题, BIM 可以实现数据信息共享,有效解决“信息孤岛”的问题,提供各方协同的平台。另外,基于 BIM 的正向设计,有助于各专业在设计过程中高度协调,更加高效把握项目设计质量,因而基于 BIM 的正向设计被更多人提倡,设计交付成果也逐渐由 CAD 向 BIM 设计模型转变。但是基于 BIM 模型的所有应用的前提是模型本身必须符合相应的规范要求。在以 BIM 模型为交付设计成果的前提下,如何进行 BIM 规范检查是设计人员、审图机构及建设主管部门面临的新的问题。

当前 BIM 模型的合规性检查主要依靠三维浏览或者内部漫游人工检查的方式,需要时间长,效率低,当模型体量较大时,还会出现检查遗漏的情况。基于人工检查方式存在的问题,很多学者对 BIM 模型合规性自动检查的研究进行探索,尝试以计算机来辅助人工检查,提高检查效率。因此,基于 BIM 的设计合规性检查的研究逐渐被重视,是目前一个重要的研究方向,对提高审查工作的准确性和规范性,提高建筑工程领域的自动化水平具有重要意义。

1 基于 BIM 的合规性检查研究现状

设计合规性检查是一种系统方法,其不需要改变设计,而是通过模型对象的属性参数及属性间的关系来评价一项设计^[1]。随着 BIM 技术的发展和推广应用,基于 BIM 的规则检查技术也发展起来。

FENVES 等^[2]用决策表对规范结构化,将建筑规范以精确的决策表形式表示;EASTMAN 等^[1]提出建筑领域合规性检查的一般过程;ZHANG 和 EI-GOHARY^[3-4]提出了一种基于语义的、基于规则的自然语言处理方法来实现自动化信息提取,还提出了一种扩展 IFC 模式的新方法^[5],都用于支持自动合规性检查。MALSANE 等^[6]重点分析了英格兰和威尔士与住宅防火安全有关的建筑法规,以确定并优化自动合规性检查的潜力。BEACH 等^[7]提出了一种基于规则的语义方法,允许领域专家在其熟悉的语义领域内创建和维护自己的合规性检查系统,而不需要进行广泛的软件开发。MACIT 和 GÜNAYDIN^[8]提出了一种新的建筑规范表示模型和相应的建模方法,可用于未来自动合规性检查系统的开发。SOLIHIN 和 EASTMAN^[9]利用建筑、工程和施工领域的各种规范和规则检查,引入了一个通用的跨应用领域规则分类,使用的标准适用于自动合规性检查的所有方面。为了支持对建筑设计的评估,LEE 等^[10]提出了基于建筑环境规则扩展语言的自动合规性检查,以确保满足空间规划的要求和可视性。LUO 和 GONG^[11]重点研究了实现基于 BIM 的合规性检查的关键问题——校验知识库和所需信息标准的建立并且实现了基于 BIM 的深基坑工程合规性检查。FAN 等^[12]回顾了现有的基于 BIM 的合规性检查系统,对规则进行分类,并进一步开发了一个面向用户的界面,使用户能够根据自己的需求建立规则。ZHANG 和 BEETZ^[13]建议扩展 SPARQL 函数来查询建筑信息模型,从而简化编写查询和检索模型中隐含的有用信息,以进行合规性检查。KOO 和 SHIN^[14]通过训练算法来学习给定

IFC 类 BIM 元素的几何形状,可以自动检测出离群值,该算法可用于检查 IFC 数据的完整性,这是基于 BIM 合规性检查的前提。NAWARI^[15]通过为中立的数据标准 IFC 开发通用自适应框架来使合规性检查过程自动化,从而实现设计效率和成本效益。

目前,国内基于 BIM 的合规性检查研究还处于起步阶段。李雪等^[16]在 Revit 软件平台上结合专家系统和 Revit 二次开发技术,设计了建筑电气专业的审图专家系统。刘洪和辛文慧^[17]开展了基于 BIM 的构造配筋中规范的审查研究,实现了 BIM 模型与构造配筋规范的自动审查。孙澄宇和柯勋^[18]以轨道交通设计规范为例,在 BIM 模型中分别采取不同的验证算法验证了规范条款的自动检查技术。

综合国内外研究现状,当前研究还存在以下局限性:①建筑规范涉及范围较广且种类繁多,但大多数研究只关注一个特定的问题去研究,如结构配筋检查、防火、安全检查等,从而忽略了建筑规范的整体性,缺乏避免规则间相互矛盾的能力;②一些建筑规范被硬编码到系统中,规则编辑缺乏灵活性,规则可维护性差并且用户难以控制;③以硬编码的形式将规则编码到系统,规则与模型之间处于一种绑定的形式,而没有直接映射,从而使实际的建筑规范与系统代码的一致性检查变得困难。

基于当前研究存在的局限性,本文探索规范条文的知识表达形式,并结合合规性检查理论与专家

系统方法,提出了一种规则与系统独立的基于 BIM 的建筑设计合规性自动检查框架,弥补上述研究硬编码形式的局限性。该框架融合了专家系统原理及合规性审查的一般方法,既包含合规性审查一般过程中的准备审查数据、规范解读、合规性审查、报告审查结果这 4 个阶段,也包含专家系统中的推理机、知识库、交互界面等部分。这种新的合规性检查方法框架内容更为全面,能够指导后续的合规性检查相关研究。

以这种新的方法构建了合规性检查系统,实现了对 BIM 模型的建筑设计合规性自动检查。系统的规则库独立于软件系统,规则库以知识表达式的形式储存在数据库中,进行模型合规性检查时,由模型信息与规则建立映射关系在数据库中查找相应规则。此方式可以让检查人员自行添加规则,增加规则库的可维护性,避免大量的软件开发工作。

2 基于 BIM 的建筑设计合规性检查系统框架

本文在专家系统和合规性检查理论方法的基础上,结合两者的优势提出了基于 BIM 的设计合规性自动检查方法框架(图 1),由规则知识获取、模型信息准备、执行检查、输出检查结果 4 个部分。

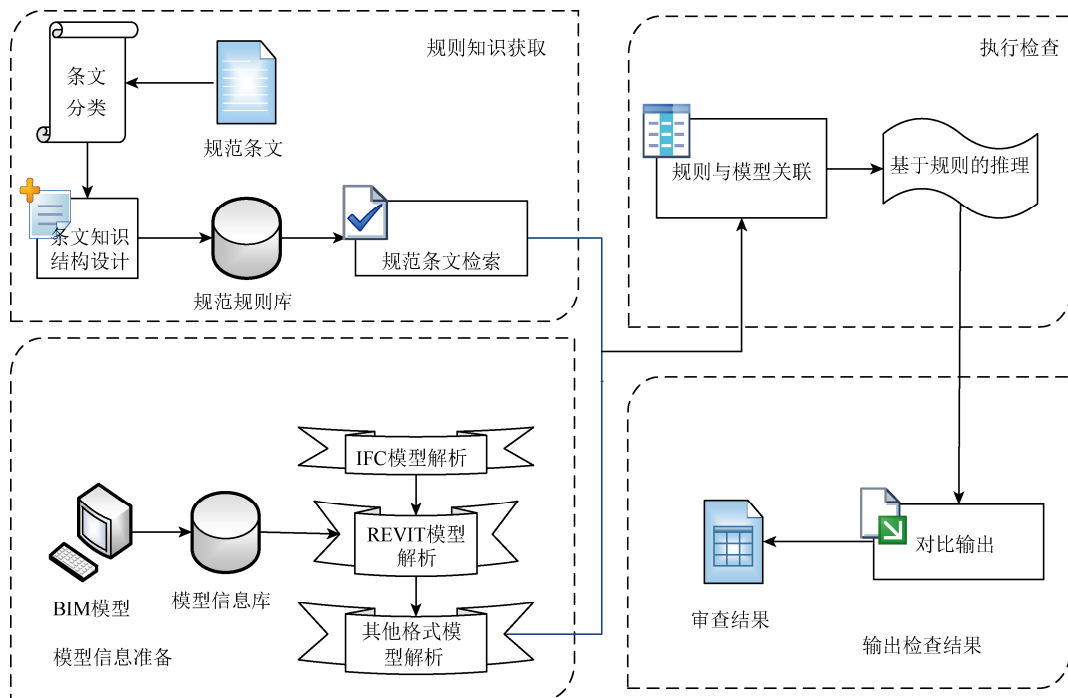


图 1 自动检查方法框架

Fig. 1 Automatic checking method framework

该方法在 BIM 平台上实现,利用 BIM 模型中对象的属性、空间位置及对象关系与对应的设计规范匹配比较,得出模型的合规性判断,以此来辅助建筑设计的评估与决策,从而获得符合规范要求的 BIM 设计模型。此方法框架各模块功能如下:

(1) 规则知识获取。该模块的主要功能是将规范条文通过知识获取的方式形成计算机可识别的规则,然后将规则以产生式的方式建立规则库。规则库在本文中以数据库形式表现,在建立规则库前,首先应对规范条文进行结构化设计,抽取知识表达式,以二维数据表来存储结构化的规则。

(2) BIM 设计信息获取。BIM 模型建立过程中需要定义构件名称、属性等信息,因而一个完整的 BIM 模型里包含了设计中的各类信息。BIM 设计信息的获取可以从基于 IFC 标准的 BIM 模型中获取,也可以从 Revit 或 ArchCAD 等建模软件创建的模型中获取。

(3) 规则执行及审查报告。规则执行将前面 2 个模块提供的规则数据与模型信息关联,构建了一定的推理规则。在检查过程中,程序不断调用规则库中的规则数据与模型中的信息,通过属性值的检查来判断模型是否满足规范要求。在执行规则后,每次会输出该次的检查结果,检查结果反映了每个构件的规范符合情况。

3 建筑设计规范知识结构设计

规范知识结构设计即通过规范描述规律找出逻辑结构,形成规范知识表达式。本研究以设计规范——《住宅设计规范》^[19](GB50096-2011,以下简称《规范》)为例,将此规范作为合规性检查系统的规则输入。知识表达式的建立过程如图 2 所示,主要包括知识表达式初定、知识表达式优化、确定知识表达式 3 个阶段。

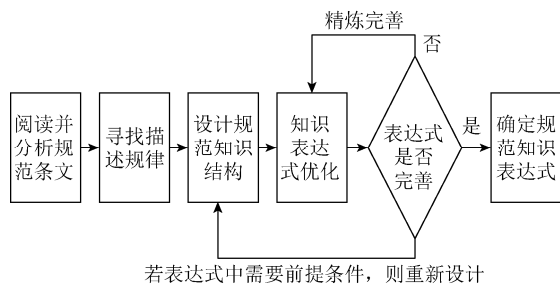


图2 规范知识结构设计过程

Fig. 2 Specification knowledge structure design process

(1) 知识表达式初定。针对可形式化规则,本文的规范知识表达式以词语为基本单元,根据规范描述组合成为规则知识表达式。每条约束条文都可以抽象为由多个词语序列组合表示汉语句子,即

$$\langle \text{词语}1 \rangle + \langle \text{词语}2 \rangle + \dots + \langle \text{词语}n \rangle \quad (1)$$

因此,本文的规范知识表达式以词语为基本单元,根据规范描述组合成为规则知识表达式。如图 3 所示,对《规范》中的条文进行分析得出,《规范》中可形式化规则均为属性约束类条文,主要由建筑构件、构件属性、比较词和属性值 4 个部分组成。

6.3.1 楼梯梯段净宽不应小于 1.10m,不超过六层的住宅,一边设有栏杆的梯段净宽不应小于 1.00m。
6.3.2 楼梯踏步宽度不应小于 0.26m,踏步高度不应大于 0.175m。扶手高度不应小于 0.90m。

图3 规范条文分解(红色:检查对象,黄色:对象属性,绿色:比较词,紫色:属性值)

Fig. 3 Breakdown specification (red: check object, yellow: object properties, green: comparator, purple: attribute value)

建筑构件是条文中的约束对象,需要根据条文内容具体分析,属性名称是针对建筑构件的约束内容,一般是属性的参数约束。属性值是为满足规则约束的数值信息,比较词包括“小于”、“等于”、“大于”、“不小于”、“不大于”等判断比较类词语。套用式(1)结果如下

$$(\text{建筑构件}) + (\text{属性名称}) + (\text{比较词}) + (\text{属性值}) \quad (2)$$

例如,《规范》6.3.1 条“楼梯梯段净宽不应小于 1.10 m”这种类型的约束条文可以按式(2)转换为“楼梯梯段”+“净宽”+“不应小于”+“1.1 m”,简单直接约束的条文可以以此种形式转换,可以发现,仍然有许多构件与属性一对多的条文或在某一前提下属性约束的条文难以适用上式。故需要进一步优化知识表达式,以期找到合适的表达式,将所有可形式化规则按表达式形式建模。

(2) 知识表达式优化阶段。规范条文中在比较词前往往具有对本条规范约束严格程度的副词,不同的用词分别表示不同的执行严格程度,例如从“不宜”和“严禁”2 个词中可以看出,后者约束的要求程度更加严格。因此,必须在表达式中增加此类情态副词,有助于判断规范条文约束的严格程度。另外,对于部分规范条文,需要在满足一定条件下才进行下一步约束,如《规范》5.6.3 条“阳台栏杆

及栏杆净高，六层及六层以下不应低于 1.05 m”中，阳台栏板及栏杆净高的判断需要建立在住宅层数在六层及六层以下的基础上，具有一定的前提条件。在不同的前提条件下，约束的内容也会存在不同，所以表达式中还需要增加前提条件一项。优化后的知识表达式如下

(前提条件)+(建筑构件)+(属性名称)+
(情态词)+(比较词)+(属性值) (3)

(3) 知识表达式确定阶段。由《规范》中可形式化规则可以总结出，可形式化规则 6 种类型见表 1。

表 1 可形式化规则类型

Table 1 Types of rules that can be formalized		
序号	分类	规范条文举例
1	无前提条件构件 属性一对一约束	卧室的室内净高不应低于 2.4 m
2	有前提条件构件 属性一对一约束	起居室内布置家具的墙面 墙长度宜大于 3.0 m
3	无前提条件构件 属性一对多约束	楼梯踏步宽度不应小于 0.260 m, 高度不应大于 0.175 m
4	有前提条件构件 属性一对多约束	套内楼梯的踏步宽度不应小于 0.22 m, 高度不应大于 0.20 m
5	无前提条件构件 属性多对一约束	厨房、卫生间的室 内净高不应低于 2.2 m
6	有前提条件构件 属性多对一约束	通往卧室、起居室的过道 净宽不应小于 1.0 m

表 1 种的 6 种类型分别讨论规范条文对式(3)

表达式:	前提条件	+	建筑构件	+	属性名称	+	情态词	+	比较词	+	属性值
第1类条文:	空		卧室		室内净高		不应		低于		2.400 m
第2类条文:	起居室内布置家具的墙面		墙		长度		宜		大于		3.000 m
第3类条文:	空		楼梯踏步	┌	宽度		不应		小于		0.260 m
				└	高度		不应		大于		0.175 m
第4类条文:	套内楼梯		楼梯踏步	┌	宽度		不应		小于		0.220 m
				└	高度		不应		大于		0.200 m
第5类条文:	空		厨房 卫生间	┌	室内净高		不应		低于		2.200 m
第6类条文:	通往卧室 通往起居室的		过道	┌	净宽		不应		小于		1.000 m
				└							

图 4 表达式对可形式化条文的适用情况分析

Fig. 4 Analysis of the application of expressions to formable clauses

在确定规范知识表达式后，选用关系型数据库 SQL Server 来建立规则库。本文采用先在 Excel 中建立规则表，再通过 C#语言编程开发，引入数据库 ADO.NET 程序集实现与数据源的交互。Excel

的适用程度如图 4 所示。第 1 类条文与第 2 类条文在结构上相似，套用表达式时，第 1 类条文前提条件为空，后续属性约束的词语与表达式一一对应，第 2 类条文与表达式完全对应。第 3 类条文与第 4 类条文结构相似，两者构件与属性呈现一对多的关系，即一个检查对象对应多个检查点。如图 4 所示，第 3 类和第 4 类条文约束主体都为楼梯踏步，但同一主体对应 2 个属性，即 2 个检查点，2 个属性约束是“且”的关系，需同时满足要求。第 5 类条文与第 6 类条文同为一组，其构件与属性是多对一的关系，即多个检查对象对应一种类型的检查点。图 4 中，约束主体分别为通往卧室的过道和通往起居室的过道，2 个不同的约束主体对应同一属性，约束主体是“并”的关系，两者互不影响。以上可以看出，虽然存在一些较为逻辑关系较为复杂的规范表述，不能直接转译为上述知识表达式，但可以将条文先分解，化繁为简再套用表达式，然后用逻辑连接词连接来综合表述一条规范条文。因此，式(3)的规范知识表达式可适用于对《规范》中所有可形式化规则的知识建模，在下一小节将重点论述利用知识表达式建立规则库的过程。对半形式化和不可形式化的规则，难以建立统一的知识表示形式，本文将此类条文按照“规范名称-章节号-建筑构件-条文描述”的格式创建规则表。

导入 SQL Server 实现过程的关键代码如图 5 所示，构建了方法 ReadRowContentMoveToSql (string sourcePath)，传入 Excel 表格文件地址，然后行列不断循环将数据插入数据库中。


```

15 1 个引用
16 public static void ReadRowContentMoveToSql(string sourcePath)
17 {
18     using(var excel=new ExcelPackage(new FileInfo(sourcePath)))
19     {
20         var sheet = excel.Workbook.Worksheets[1];
21         var rowCount = sheet.Dimension.End.Row;
22         using(var conn = SqlHelper.GetConnRulers())
23         {
24             for (var i = 2; i <= rowCount; i++)
25             {
26                 if (sheet.Cells[i, 1].Value == null)
27                     continue;
28                 var query = "insert into rulers (clause,sectionnum,scenariodescription,"+
29                             "buildingcomponents,attribute,modal,comparativewords,attributenum,description,unit)"+
30                             " values(@clause,@sectionnum,@scenariodescription,@buildingcomponents,@attribute,@modal,"+
31                             "@comparativewords,@attributenum,@description,@unit)";
32                 var res = conn.Execute(query, new { clause = sheet.Cells[i, 1].Value?.ToString(),
33                                                     sectionnum = sheet.Cells[i, 2].Value?.ToString(), scenariodescription =
34                                                     sheet.Cells[i, 3].Value?.ToString(), buildingcomponents = sheet.Cells[i, 4].Value?.ToString(),
35                                                     attribute = sheet.Cells[i, 5].Value?.ToString(), modal = sheet.Cells[i, 6].Value?.ToString(),
36                                                     comparativewords = sheet.Cells[i, 7].Value?.ToString(), attributenum = sheet.Cells[i, 8].Value?.ToString(),
37                                                     description = sheet.Cells[i, 10].Value?.ToString(), unit=sheet.Cells[i, 9].Value?.ToString() });
38             }
39         }
40     }

```

图5 Excel 导入 SQL Server 实现代码

Fig. 5 Excel imports SQL Server implementation code

4 推理机制设计

推理是从已知的事实出发,运用知识库中相关知识逐步推出目标结论的过程。本文的合规性检查系统是一种基于知识的产生式规则系统,其推理的形式是基于规则的推理。需要解决的问题是根据 BIM 模型中的数据信息,匹配规则库中的规则,推出模型是否符合规范的结果。推理过程与正向推理的推理过程一致,都是由条件向结果方向的推理。正向推理的基本思想是从已有事实出发,逐条搜寻知识库寻找可用知识,若前提条件中各子项在事实库中不存在,则放弃该条规则,否则执行该条规则。反复循环执行这一过程,直至问题解决。

结合正向推理的过程,本系统的推理思路为:推理机负责合规性检查系统整个问题求解过程,把规则中的条件部分与 BIM 模型中的信息进行比较,也可以称之为匹配,如果匹配成功,则判断出该模型构件是否符合规范。具体地说, BIM 模型可以作为一个储存构件信息的数据库,推理机根据 BIM 模型中的信息,决定在当前信息下能够匹配的所有规范规则,然后执行规则,按照规则的结构一层一层词语匹配,最后一级进行 BIM 信息与规则属性值的比较,推导出检查结果。接着继续检查其他建筑构件,如此循环把模型中所有构件全部检查,输出检查结果。系统的推理过程如图 6 所示,主要步骤如下:

- (1) 实现对规则数据库的访问,调取规则库中的规则信息。
- (2) 以规则表中的建筑构件为对象,生成规则选择树中的一级节点,并以面向对象的思想,将

相同构件对象的约束条文查询出来存储在一个集合中。

(3) 循环规则列表,如果约束条文中存在前提条件,生成规则选择树的二级节点,如果无前提条件,该规则对应的建筑构件就为选择树的根节点。

(4) 获取 BIM 信息,将 BIM 模型构件以选择树方式显示,选取所要检查的构件对象,通过插件界面的控件值将规则与模型信息关联,实现两者信息比对,最终输出检查结果。

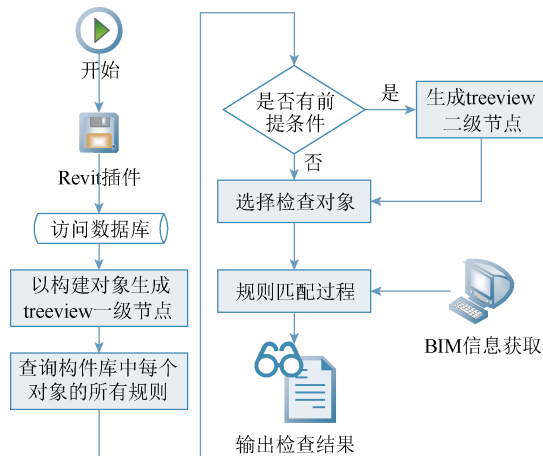


图6 系统推理过程

Fig. 6 Systematic reasoning process

在进行推理的过程中,需要在大量的规则知识中进行搜索,找到所需的规则,然后根据知识不断规则匹配。因而建立的推理机制的组成为

推理机制=搜索+匹配

系统的搜索在规则库导入之后完成,系统在规则库中搜索检查对象,以检查对象建立 treeview 节点,treeview 的一个节点下储存有该检查对象的所

有约束规则。规则的匹配是利用 BIM 模型中的数据信息来完成一条规则的推理。规则匹配的实现需要首先设计推理树，推理树的本质是一个层级式知识图，是对规则库中的知识进行合理的树形结构设计，表达了为实现某一组织目标而用到的相关知识间的因果关系和从属关系。推理树在知识库中以链表形式存放，推理树中的每个节点对应规则的一个关键节点。推理树的匹配过程是以一个参数为固定根节点，然后根据事实参数匹配，自上而下地不断进行节点匹配，逐一满足规则中的各子目标，直到得出最终结论。

依据上述推理树的匹配原理，本文构建了规则匹配推理树，如图 7 所示，显示了每一级匹配的过程，匹配顺序与知识表达式一致。在规则匹配前，

已经获得存储构件对象的列表集合，后续依次进入情态词匹配、比较词匹配、属性值比较。推理匹配过程中采用深度优先的策略，在推理树的每一层只扩展一个子节点，然后不断向深度方向前进，直到不能再继续前进。若能到达叶子节点，则推理结束，输出检查结果；若不能到达叶子节点，则从当前节点退出返回上一级节点，沿另一方向继续前进，直到得出最终结论。

5 基于知识管理的建筑设计合规性检查系统

基于 BIM 模型的建筑设计合规性检查系统是以 BIM 模型为检查对象，以相关住宅设计规范为规

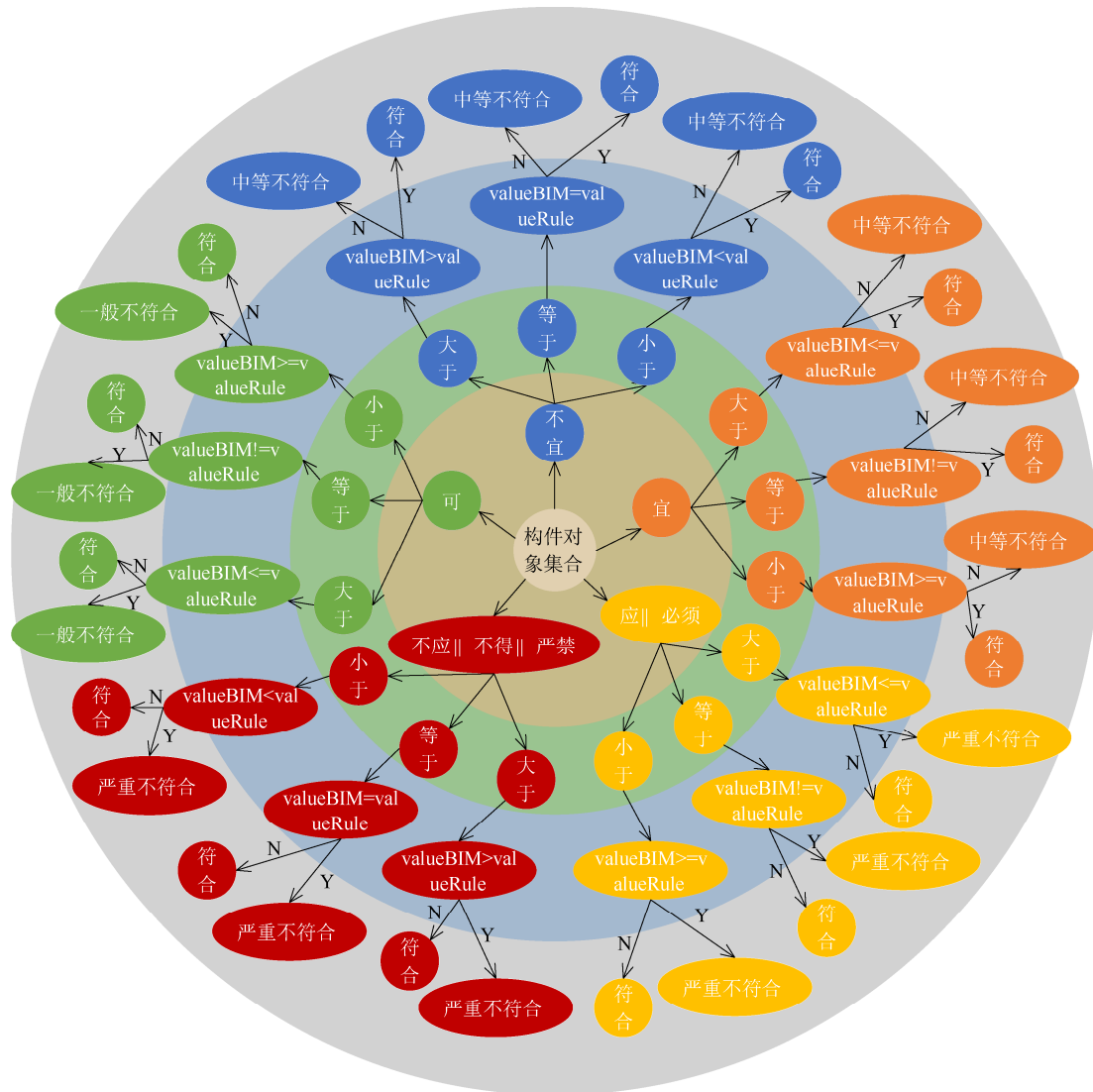


图 7 规则匹配过程(从内到外情态词匹配、比较词匹配、属性值比较、结果输出)

Fig. 7 Rule matching process (modality word matching from inside to outside, comparator matching, attribute value comparison, output)

则,在 BIM 平台系统集成两者信息,通过推理机对比建筑设计信息是否符合规范,最后输出检查结果。本文的合规性检查系统分为基础层、数据层、技术层、应用层,整体系统结构框架如图 8 所示。本文验证系统采用基于 Revit 平台的 .NET 框架开发实现,编程语言为 C#,模型软件为 Revit2016,数据库为 SQL Server 2008。

输入模块的应用主要是系统规则的输入,规则是模型合规性检查中对构件属性的约束。本系统提供了 2 种规则输入方式:①通过 Excel 表批量导入的方式;②手动输入增加规则。在系统左上角选项卡选择“规则编辑”,在下拉菜单里选择“增加规则”即可实现规则的输入功能。

存储模块的应用即系统数据层的实现。内部数据库即 BIM 模型本身,外部数据库是规则数据库,其借助 SQL Server 数据库应用程序实现,通过数据库访问技术为系统用户界面和数据库间搭建了桥

梁,使得在系统界面可直接查看存储在规则数据库中的规则。在系统左上角选项卡选择“规则编辑”,在下拉菜单里选择“查看规则”即可出现图 9 所示界面,界面显示了规则库中存储的所有规则信息,可对规则进行全面管理与展示。

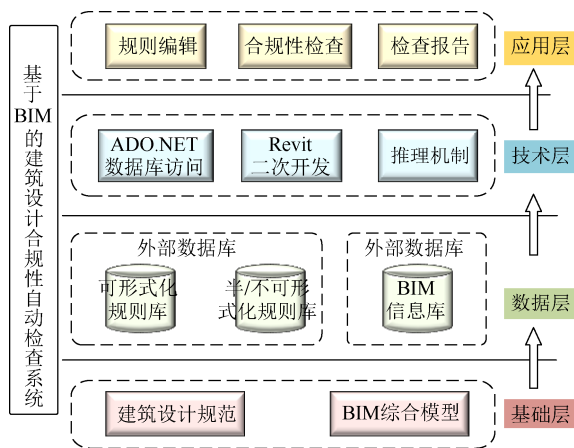


图 8 系统总体结构框架图

Fig. 8 System overall structure diagram

规则来源	章节	情景描述	建筑构件	属性	情态词	比较词	属性值	单位	描述
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.1.2	兼起居的卧室、厨房和卫生间组成的套型	套型	面积	不应	小于	22	平方米	由兼起居的卧室、厨房和卫生间等组成的最小套型,其使用面积不应小于22m ²
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.1.2	由卧室、起居室、厨房、卫生间组成的套型	套型	面积	不应	小于	30	平方米	由卧室、起居室、厨房和卫生间组成的套型,其使用面积不应小于30m ²
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.2.1	卧室兼起居	房间	面积	不应	小于	12	平方米	兼起居卧室面积不应小于12m ²
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.2.1	单人卧室	房间	面积	不应	小于	5	平方米	单人卧室面积不应小于5m ²
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.2.1	双人卧室	房间	面积	不应	小于	9	平方米	双人卧室面积不应小于9m ²
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.2.2	起居室	房间	面积	不应	小于	10	平方米	起居室面积不应小于10m ²
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.2.3	起居室内布置家具的墙面	墙	长度	宜	大于	3	米	起居室内布置家具的墙面墙长度宜大于3m
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.3.1	由卧室、起居室、厨房、卫生间组成的套型中的厨房	房间	面积	不应	小于	4	平方米	由卧室、起居室、厨房和卫生间组成的套型,其使用面积不应小于4m ²
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.3.1	兼起居的卧室、厨房和卫生间组成的套型中的厨房	房间	面积	不应	小于	3.5	平方米	由兼起居的卧室、厨房和卫生间等组成的最小套型厨房使用面积,不应小于3.5m ²
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.4.1	集中配置便器、洗浴器、洗面器三件卫生设备的卫生间	房间	面积	不应	小于	2.5	平方米	集中配置便器、洗浴器、洗面器三件卫生设备的卫生间,其使用面积不应小于2.5m ²
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.5.1		住宅	层高	宜	等于	2.8	米	住宅层高宜为2.8m
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.5.2	卧室	房间	净高	不应	小于	2.4	米	卧室的室内净高不应低于2.4m
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.5.2	起居室	房间	净高	不应	小于	2.1	米	起居室的室内净高不应低于2.1m
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.5.4	卫生间	房间	净高	不应	小于	2.2	米	卫生间的室内净高不应低于2.2m
《住宅设计规范》GB 50096-2011	5.5.4	厨房	房间	净高	不应	小于	2.2	米	厨房的室内净高不应低于2.2m

图 9 规则查看界面

Fig. 9 Rule view interface

计算模块的应用是合规性检查执行过程,此模块应用是整个系统的核心功能,其功能任务是检查案例 BIM 模型中的构件属性信息及空间关系数据是否符合《规范》中的要求。系统要实现 BIM 模型的建筑设计自动合规性检查,其自动化的过程主要体现在界面自动生成、BIM 信息自动匹配、自动检查 3 个方面。如果通过点选每个构件实例进行属性值匹配实现规范检查,这种方式操作过于繁琐,效率较低。因而,系统还需实现相同类型的构件实例的批量检查。同一类检查实例都集中在 BIM

信息选择树的二级节点,通过遍历二级节点下所有的构件实例的方式,读取属性参数与规则值进行比较,可以实现批量检查的功能,最终批量输出检查结果。

输出模块的应用为系统执行模型检查后输出检查报告的过程,检查报告是合规性检查的最后一个阶段的应用,是合规性检查的工作结果的呈现。检查结果报告以表格的形式展现,其内容主要有构件属性、是否满足要求、严重等级、详细原因。严重等级是根据规范用词的严格程度进行分级,

将不同等级分别以不同颜色图标显示，直观显示检查结果。

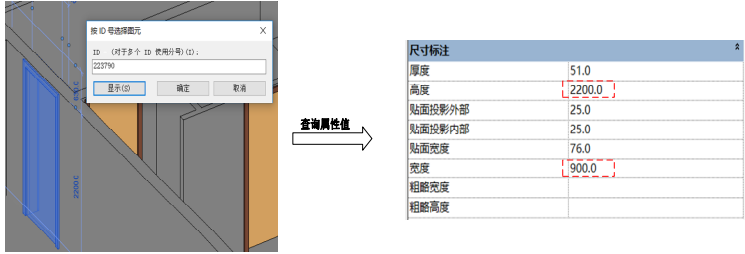
例如，《规范》中第 5.8.7 小节中规定：入户门宽度不应小于 1.0 m，高度不应小于 2.0 m。在系统界面中选择一个 ID 为 223790 的入户门进行合规性

检查，检查结果如图 10(a)所示，检查结果显示宽度不符合规范要求，高度符合要求，并给出详细的说明原因。输入 ID 选择图元后，验证其宽度属性值为 0.9 m，高度属性为 2.2 m，宽度值不符合《规范》要求，验证结果如图 10(b)所示。



(a) 检查报告

(a) Checking report



(b) 结果验证

(b) Result validation

图 10 入户门检查过程

Fig. 10 Door checking process

在系统应用过程中，同时也发现系统并不能对所有可形式化的规则实现合规性检查，主要原因是由于规范信息与 BIM 信息间的对应问题。以下分情况根据两者间对应关系讨论系统应用效果。表 2 展示了可形式化规则信息与 BIM 信息间的对应关系分类，表中 A 和 B 分别对应规范中的检查对象与 BIM 中构件对象， (a_1, a_2, a_3) 与 (b_1, b_2, b_3) 分别表示 A 检查对象与 B 构件对象下的属性集合。

表 2 规则信息与 BIM 信息间的对应情况分类
Table 2 Classification of correspondence between rule information and BIM information

类型代号	规范信息	BIM 信息	对应程度
I	$A(a_1, a_2, a_3)$	$B(b_1, b_2, b_3)$	A 与 B 直接对应， 属性集对应
II	$A'(a_1, a_2, a_3)$	$B(b_1, b_3)$	①A'在规范里有 复杂的前提条件 ②BIM 信息 b_2 属性缺失
III	$A(a_1, a_2, a_3)$	/	BIM 信息缺失
IV	/	$B(b_1, b_2, b_3)$	BIM 信息冗余

系统应用结果表明，对于类型 II 和类型 III 由于规范与模型间不是直接的对应关系，不能直接建立映射关系实现合规性检查。对类型 IV 的信息冗余问

题，本文给出了建立合规性检查模型视图的技术建议，即在规范检查之前，先筛选出需要的检查信息，构成轻量化的规则检查模型，以提高系统检查效率。但想要真正实现合规性自动检查不仅需要引入技术手段，更需要从行业发展的战略层面上来解决规范与模型间的对应问题。

6 结 论

本文着眼于建筑设计阶段的规范检查过程，以《住宅设计规范》为例构建规范规则库，选用 BIM 核心建模软件 Revit 平台建立 BIM 模型，探究了基于 BIM 的建筑设计自动化检查方法，并以此方法为基础，构建了合规性检查系统，实现了 BIM 模型的合规性自动检查。

本文对建筑设计规范知识结构分析，总结了规范条文的描述规律，提出条文的结构化知识表达式。以知识表达式构建了独立于程序的规则库，并实现了对规则数据库的访问。便于检查人员根据自己的需求更新和维护规则库，避免了大量的软件开发工作，具有实用的现实意义。设计了具有正向推

理策略的推理机制,实现了调用规则库信息与 BIM 模型信息匹配推理,输出检查结果的过程。基于逻辑推理准确完成规范检查的过程,解决了以硬编码形式进行规范检查的现状,这对合规性检查的相关研究具有一定的理论指导意义。本文在专家系统原理与经典的合规性一般过程的研究基础上,汲取了两者优势,提出了新的基于 BIM 模型的设计合规性检查系统框架,此框架推动了设计合规性自动审查的研究发展,为后续合规性检查的研究提供了新的思路。最后以新的框架为基础,构建了基于 BIM 模型的设计合规性检查系统,实现了对理论方法的验证。

参 考 文 献

- [1] EASTMAN C, LEE J, JEONG Y, et al. Automatic rule-based checking of building designs[J]. *Automation in Construction*, 2009, 18(8): 1011-1033.
- [2] FENVES S J, GAYLORD E H, GOEL S K. Decision table formulation of the 1969 Aisc specification[EB/LO]. [2019-10-19].http://fx.zzu.superlib.net/detail_38502727e7500f26abcf1b695ec4fe3b7da2c05683863d5a1921b0a3ea255101ff20232bc5d7271337c04e16bfbc57ffe59d6bd05488ee4b48f6ba0c52b7df30724ef3be7ada2083f21aa2309b1ea2af.
- [3] ZHANG J, EL-GOHARY N M. Automated extraction of information from building information models into a semantic logic-based representation[EB/LO]. [2019-10-19]. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784479247.022>.
- [4] ZHANG J S, EL-GOHARY N M. Semantic NLP-based information extraction from construction regulatory documents for automated compliance checking[J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2016, 30(2): 887-3801.
- [5] ZHANG J S, EL-GOHARY N M. Extending building information models semiautomatically using semantic natural language processing techniques[J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2016, 30(5): 887-3801; 1943-5487.
- [6] MALSANE S, MATTHEWS J, LOCKLEY S, et al. Development of an object model for automated compliance checking[J]. *Automation in Construction*, 2015, 49: 51-58.
- [7] BEACH T H, REZGUI Y, LI H, et al. A rule-based semantic approach for automated regulatory compliance in the construction sector[J]. *Expert Systems with Applications*, 2015, 42 (12): 5219-5231.
- [8] MACIT S, GÜNAYDIN H M. Computer representation of building codes for automated compliance checking[J]. *Automation in Construction*, 2017, 82: 43-58.
- [9] SOLIHIN W, EASTMAN C. Classification of rules for automated BIM rule checking development[J]. *Automation in Construction*, 2015, 53: 69-82.
- [10] LEE Y C, EASTMAN C M, LEE J K. Automated rule-based checking for the validation of accessibility and visibility of a building information model[EB/OL]. (2001-06-21) [2019-10-15]. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784479247.071>.
- [11] LUO H B, GONG P S. A BIM-based code compliance checking process of deep foundation construction plans[J]. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2015, 79(3-4): 549-576.
- [12] FAN S, CHI H, PAN P. Rule checking interface development between building information model and end user[J]. *Automation in Construction*, 2019, 105: 926-5805.
- [13] ZHANG C, BEETZ J. Querying linked building data using SPARQL with functional extensions[EB/OL]. (2016-09-07) [2019-10-16]. <http://apps.webofknowledge.com/InboundService.do?customersID=Alerting&mode=FullRecord&IsProductCode=Yes&product=WOS&Init=Yes&Func=Frame&DestFail=https%3A%2F%2Fwww.webofknowledge.com&action=retrieve&SrcApp=Alerting&SrcAuth=Alerting&SID=6AKe4pziS8xTAywbhK9&UT=WOS%3A000404459600006>.
- [14] KOO B, SHIN B. Applying novelty detection to identify model element to IFC class misclassifications on architectural and infrastructure Building Information Models[J]. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2018, 5(4): 391-400, 2288-4300.
- [15] NAWARI N O. A generalized adaptive framework (GAF) for automating code compliance checking[J]. *Buildings*, 2019, 9(4): 2075-5309.
- [16] 李雪, 马小军, 朱亮. 基于 BIM 的建筑电气审图专家系统的设计与实现[J]. *电气应用*, 2015(6): 83-86.
LI X, MA X J, ZHU L. The design and realization of the expert system based on BIM for building electrical drawing review[J]. *Electrical Application*, 2015(6): 83-86 (in Chinese).
- [17] 刘洪, 辛文慧. 基于 BIM 实现构造配筋中规范条文自动化审查[J]. *工业建筑*, 2017, 47(增刊III): 644-654.
LIU H, XIN W H. Supervision and examination of the code implementation in detailing reinforcement based on BIM[J]. *Industrial Architecture*, 2017, 47(S3): 644-654 (in Chinese).
- [18] 孙澄宇, 柯勋. 建筑设计中 BIM 模型的自动规范检查方法研究[J]. *建筑科学*, 2016, 32(4): 140-145.
SUN C Y, KE X. Method of automatic design code checking for BIM models[J]. *Building Science*, 2016, 32(4): 140-145 (in Chinese).
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50096-2011 住宅设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB50096-2011 Residential design code[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2011 (in Chinese).