

BIM 设计行为的多模态感知技术

倪相瑞, 郑哲, 林佳瑞*, 周育丞

(清华大学土木工程系, 北京, 100084)

【摘要】设计人员的 BIM 设计行为是影响设计效率、质量的重要因素。然而当前仍缺乏有效的设计行为数据获取手段, 难以充分利用 BIM 软件产生的大量设计行为数据, 以研究设计行为与设计效率之间的关系。本文提出了一种 BIM 设计行为的多模态感知技术, 在数据需求、特征及采集方法等方面进行了系统的分析, 最后基于 Revit 进行技术验证。研究表明, 本文提出的技术具有良好的可用性, 收集到的数据对于研究设计行为特征及其对设计效率的影响机制具有重要意义。

【关键词】BIM; 设计行为; 多模态感知; 设计效率; 数据挖掘

1 引言

1.1 研究背景

在建设项目全生命周期中, 设计过程对于整个项目的质量和效率起着决定性的作用^[1,2]。但是在传统的项目管理措施中, 对于设计效率缺少量化的分析手段^[3]。针对设计行为进行研究有助于理解设计行为与设计效率之间的关系, 但是相关研究需要足量设计行为数据的支持。近年来, 建筑业的数字化、信息化水平逐步提升, 建筑信息模型 (Building Information Modeling, BIM) 作为数据整合平台在建筑设计过程得到了越来越多的应用^[4]。基于 BIM 的设计行为产生的海量设计行为数据为相关研究提供了充足的数据支持。

当前, 与设计行为分析相关的研究大多仅使用 BIM 软件自动生成的日志文件中的数据, 面临着数据源单一, 完整性不足; 日志数据记录复杂, 难解析, 数据利用率低、精细度不足等问题^[5,6]。

1.2 研究思路与研究内容

本研究提出融合两种数据收集和提取方式的设计行为多模态感知技术, 以提高数据完整性与精细度^[7], 并通过具体的技术实现以及数据集实例分析验证了该方法的有效性和可用性。结合本研究中的数据流, 研究的思路以及主要的研究内容如图 1 所示。

本文首先分析在 BIM 设计过程中产生的设计行为交互数据类型, 确定了设计行为数据需求。针对现有研究数据来源单一, 日志数据利用率低的情况, 本文采用基于二次开发的实时监控和基于日志记录两种不同的设计行为感知方法, 并对于日志文件中复杂数据记录的含义进行了解析以提高日志数据的利用率。接着本文详细研究了原始数据需要进行的数

【基金项目】国家自然科学基金资助项目(项目编号 51908323, 72091512)

【作者简介】林佳瑞(1987-), 男, 助理研究员。主要研究方向为智能建造、数字孪生与数字防灾技术。E-mail: lin611@tsinghua.edu.cn

据预处理操作，以及从数据中提取出设计行为的数据特征提取方法。最后本文以 Autodesk Revit（以下简称 Revit）软件为例进行具体的算法、代码实现，接着通过实验验证了技术的可用性，并利用获取的数据集进行设计行为感知分析，以验证技术的有效性。

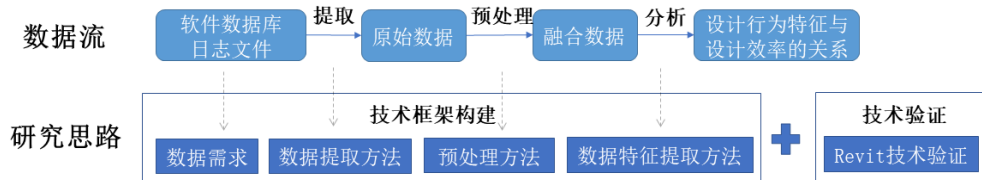


图1 研究思路与主要内容

2 设计行为数据需求分析

2.1 设计行为定义

本研究中设计行为被定义为：建筑设计者使用计算机软件对建筑模型文件进行编辑、观察的行为以及没有操作的空闲行为。三种设计行为如图 2 所示，观察行为频繁、长时间出现可能意味着设计效率相对较低，模型的编辑进度出现停滞；编辑行为中命令执行的数量、效率能够反映设计者的设计效率；空闲行为较长也可能意味着设计效率较低。

2.2 设计行为数据需求类别

设计行为的主体是设计者，设计行为会通过与人机交互方式，转换成相关的操作数据。结合人机交互领域的相关概念和基本理论进行分析^[8]，本研究关注的设计行为数据共五类如图 2 所示。考虑到本研究收集到的数据要用作对于设计效率的分析上，对于建模没有实际效果的命令或操作作为反映设计效率低的重要参考，因此无效操作数据也是关注的对象。

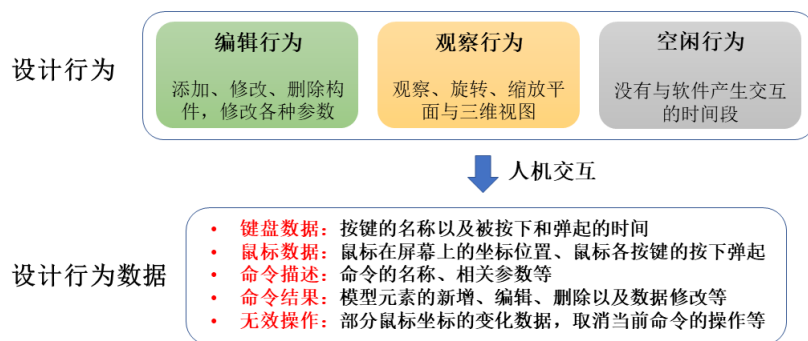


图2 设计行为定义与数据需求

3 数据采集方法分析

3.1 基于二次开发的数据收集方法研究

目前有相当多的 BIM 软件提供二次开发接口。Revit 软件提供了基于 C# 编程语言的二次开发接口，一般使用事件（Event）系统^[10]，实现插件对于特定事件的响应。

基于二次开发的数据收集方式的优势主要体现在，收集什么数据以及这些数据以怎样的方式输出出来均可以由开发者自由定义，数据的质量可控。局限性则体现在收集的数据以及需要用到事件受限于 API 框架，而且插件代码如果过于复杂，则可能影响 Revit 的运行性能。

3.2 基于日志文件的数据采集方法研究

常用的 BIM 软件均具备记录日志文件的功能，记录了大量的用户操作数据信息，是设计行为数据的重要来源。日志文件有以下的重要特点：（1）日志文件包含大量冗余、研究不关注的的数据，因此在使用日志数据前需要进行数据清洗工作。（2）日志文件记录包含大量的无法被解析的数据，并且缺少官方的说明文档，这导致日志数据的利用率很低。

针对日志文件的特点，为了提高数据的利用率，本研究对于日志文件中的记录进行了解析，分析了多数数据记录的含义，常见的典型记录及其含义如表 1。

表 1 典型日志记录数据解析

数据记录	描述内容	可获取的数据
Jrn.MouseMove	移动	坐标
Jrn.LButtonDown 等	按键	坐标
Jrn.Wheel	中键（滚轮）滚动	坐标以及滚动方向信息
Jrn.PushButton	按下对话框中按钮	按钮的信息
Jrn.Activate	加载视图	选中加载的特定视图
Jrn.RibbonEvent	Ribbon 菜单事件	启用的选项卡、参数组合的修改
Jrn.Data	数据修改	数据修改信息，构件选中行为等
Jrn.Command	命令	命令信息
Jrn.Edit	编辑一个数据	对于单个数据项的修改结果
上引号（'）	一条记录的记录时间	精确到毫秒的时间信息

3.3 数据需求与收集方法的对应关系

结合数据的需求以及两种数据收集方式的优缺点以及适用情况，表 2 给出了数据需求与数据收集方式的具体对应关系。命令描述信息两种方式都进行收集主要是考虑到数据融合时进行数据对齐，验证数据完整性的需求。构件 ID、构件类型等模型变更相关信息在日志文件中难以识别和提取，因此采用二次开发的方式获取。在插件中收集命令结果数据将会需要频繁地访问数据库，从而极大地影响 Revit 运行效率，因此命令结果数据采用基于日志文件的方式收集。而无效命令数据中部分鼠标键盘输入的无效数据由基于二次开发的方式获取，而另一些命令相关的数据则从日志中提取。

表 2 数据需求与收集方法的对应关系

数据需求	基于二次开发的方式	基于日志文件的方式
鼠标操作		√
键盘按键	√	
命令描述	√	√
模型变更	√	
命令结果		√
无效操作数据	√	√

4 数据预处理与特征提取

4.1 数据预处理

从BIM数据库以及日志文件中获取到的操作数据还需要经过数据的预处理过程才能用于数据分析。数据预处理主要包括数据结构化、数据清洗、数据融合等三个主要步骤。

数据结构化是要将数据库中原有的数据以及原始的日志记录，按照确定的方式转化成结构化的数据。在来自两种数据源，经过结构化处理的数据文件中，每一条数据记录包括三个字段，分别是：时间（Time）、类别（Category）、描述（Description）。时间是以常用时间格式表达的数据记录时间；类别则以字符串的形式表明该数据行描述的数据的类型，如键盘操作、鼠标操作等；描述则补充其他相关的信息。数据清洗过程需要去除原始数据中错误、重复的数据记录，比如重复的数据记录、特殊情况下错误或部分缺失的记录。数据融合则是将来自两个不同来源的数据，按照时间的顺序整理成一个完整的数据文件，在这个过程中借助两个数据源对于同一个命令的记录进行数据对齐，并检查数据的完整性。

4.2 数据特征提取方法

在数据清洗后，本节提出了基于规则的数据标签化的方法进行了设计行为模式提取与分析，具体包括两个步骤：单数据记录标签化和设计行为模式提取。

4.2.1 单数据记录标签化

首先对融合数据文件中数据行赋予标签，根据每条记录对于模型建模是否实际有效，选择三种标签：(1) 观察（View，简记V），(2) 命令（Command，简记C），(3) 效果（Result，简记R）。V标签表示该记录没有对模型有实际的更改，一般是观察行为的一部分；C标签指一个有效的建模相关命令或与建模密切相关的操作，如点击创建构件按钮、按下对话框按钮等；R标签指的是该条记录表示模型实际发生了变更，一般意味着某个命令执行完毕，可以标志一个命令的结束，如模型增加了一个构件、事务成功提交。C和R标签对应的数据记录，一般是编辑行为的一部分。而对于空闲行为，以一段没有任何记录的时间表征，因此不设对应的标签。

这个过程中并不是所有的记录均有标签，例如由于很难判断单个鼠标操作记录应该对应何种标签，又考虑到鼠标的操作一般对于判断设计行为意义很小，因此本研究中不对其

添加标签。

4.2.2 设计行为模式提取

从数据文件获得的一串按照时间排序的标签列，提取出对应的模式，即一组反映某种设计行为的标签序列。本研究提取出来五种主要的模式。

(1) C(V)R 模式：对应编辑行为最常见的模式，即由一个命令与一个效果构成一个完整的编辑行为。在编辑行为之内，可能存在若干观察操作，这些观察操作可以被认为是编辑命令的一部分。(2) 单 R 模式：对应快速编辑行为，即没有独立的命令数据行，而直接呈现命令效果。这种模式主要出现在对于单个数据进行编辑的行为中。(3) V 模式：对应于观察行为的主要模式，其中所有的记录不属于任何一个命令，常标志着设计效率较低的情形。(4) CV 模式：基于 V 模式的变体，该模式中命令没有产生相应的效果就戛然而止，转而进入观察，这种模式对应了设计行为中的无效操作。(5) 空闲模式：对应于空闲行为，体现为无交互数据的时间段。该模式不包含任何一个单数据行数据标签。

5 技术验证

5.1 基于 Revit 的原型系统构建

本研究基于 Revit 软件进行原型系统的构建以验证技术的可用性，主要包含四个程序开发任务：用于实时监测设计行为数据的二次开发插件、用于日志文件数据提取和预处理的程序、用于融合两个来源数据的程序以及进行数据特征提取的程序。从小规模的实验结果来看，插件的工作状态良好，收集到的数据量比较充足。

5.2 设计行为感知分析

为了验证本技术所获取的数据的质量和其对于设计效率相关研究的意义，本研究基于小规模实验收集到的数据集，结合设计行为模式进行数据分析，从中感知出具体的设计行为，并分析设计行为与设计效率之间的关系。

本研究截取了设计者 A 在一段时间内的设计行为数据记录，如图 3 所示，其中对于没有赋予标签的鼠标操作体现为了分布在前后两个带有标签的点之间连线上的点。通过人工对于设计行为种类、频率的判断，时间段被划分为了若干片段，包括有高频编辑行为的时段，低频编辑行为或者有长时间浏览行为的时段以及空闲行为时段。高频编辑行为一般可以表征设计效率较高，而低频编辑行为以及长时间浏览行为则一般会导致设计效率下降。空闲行为由于没有任何对于模型的实质性修改，因此也是设计效率较低的标志。从图中可以看出设计者 A 某次工作 30-70 分钟内各种时段的分布，能够反映设计者设计行为、效率随时间的变化情况。

[键入文字]

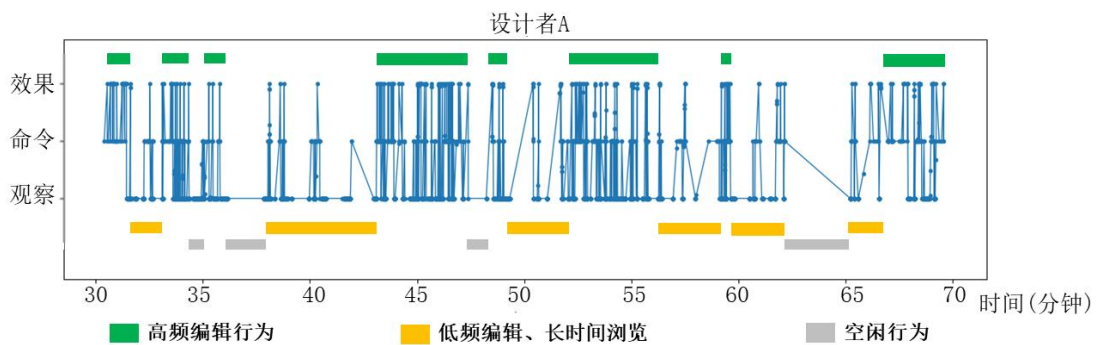


图3 设计者 A 设计效率时程分析

6 结论

为了从设计行为数据之中挖掘设计行为及其与设计效率的关系，本研究提出并验证了 BIM 设计行为的多模态感知技术，主要成果包括：（1）结合人机交互特点，提出了“设计行为数据”的定义及其数据获取需求；（2）分析评估了不同数据收集方法的特点和适用情况，并提出了有关数据需求的数据收集策略；（3）基于 Revit 软件实现了提出的技术框架，并初步验证了本研究有关方法的可用性和有效性。

由于研究时间和精力有限，本论文仍存在可进一步完善和补充的地方，主要有以下两点不足之处：（1）数据收集方式较少，未来还需要研究从摄像头、麦克风等其他硬件设备收集数据的方式，并将有关数据融为一体；（2）数据分析深度不足，未来需采用机器学习、知识图谱等方法，挖掘更深层的设计行为特征与规律。

参考文献

- [1] 陈洋俊, 郭文嘉, 谢洪涛. 房建工程设计质量缺陷成本分析[J]. 低温建筑技术, 2016, 38(01): 146 - 147. DOI:10.13905/j.cnki.dwjz.2016.01.054.
- [2] MOAYERI V, MOSELI O, ZHU Z. BIM-based model for quantifying the design change time ripple effect[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2017, 44(8): 626 - 642. DOI:10.1139/cjce-2016-0413.
- [3] 李柏, 初冰. 设计质量与设计工期[J]. 当代化工, 2006(06): 423-424+448.
- [4] 锥炯岗, 丁坤, 张梦涵. BIM 在建筑行业中的应用现状及前景分析[C/OL]//第七届全国 BIM 学术会议论文集. 中国重庆: 中国图学学会建筑信息模型 (BIM) 专业委员会, 2021: 6[2021 - 12 - 26]. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CPFD&dbname=CPFDTEMP&filename=JGCB202111001004&uniplatform=NZKPT&v=VvZao3HKM17FaE7FPtsY1JpYn2QGWojv2CDtXGGMtQRO3n9gpuvu7jOxchMIAF8_lqaAGtba7Y%3d.
- [5] PAN Y, ZHANG L. BIM log mining: exploring design productivity characteristics[J]. Automation in Construction, 2020, 109: 102997. DOI:10.1016/j.autcon.2019.102997.
- [6] YARMOHAMMADI S, POURABOLGHAEM R, CASTRO-LACOUTURE D. Mining implicit 3d

[键入文字]

modeling patterns from unstructured temporal bim log text data[J]. Automation in Construction, 2017, 81: 17 - 24. DOI:10.1016/j.autcon.2017.04.012.

[7] 王丽英, 何云帆, 田俊华. 在线学习行为多模态数据融合模型构建及实证[J]. 中国远程教育, 2020(06): 22-30+51+76.

[8] DIX A, FINLAY J, ABOWD G D, et al. Human-computer interaction[M]. Pearson Education, 2003.

[9] JACOB R J K. Human-computer interaction: input devices[J]. ACM Computing Surveys, 1996, 28(1): 177 - 179. DOI:10.1145/234313.234387.

[10] YARMOHAMMADI S, CASTRO-LACOUTURE D. Automated performance measurement for 3d building modeling decisions[J]. Automation in Construction, 2018, 93: 91 - 111. DOI:10.1016/j.autcon.2018.05.011.