

基于 BIM 与物联网技术的建筑施工进度实时监控与预警系统研究

蔡堃

江西礞溪建设工程有限公司

摘要: 建筑施工进度管理面临信息采集滞后、动态控制困难、协同效率低下等问题, BIM 与物联网技术的融合为进度实时监控与预警提供了创新解决方案。本文基于 BIM 与物联网技术原理, 分析施工进度监控系统的功能需求与技术架构, 探讨数据采集层、模型集成层、分析预警层及应用服务层的系统构建路径。研究表明, 物联网技术实现施工进度数据的实时采集与传输, BIM 技术提供可视化进度模型与冲突分析平台, 二者融合形成进度状态动态感知、偏差自动识别、预警信息精准推送的闭环管控机制。

关键词: BIM 技术; 物联网; 进度监控; 实时预警; 智能建造

建筑施工进度管理是工程项目管理的核心内容, 传统管理方式依赖人工填报进度信息, 存在数据采集滞后、信息失真、协同不畅等问题, 难以实现施工过程的动态管控。BIM 技术以三维数字模型为基础, 提供可视化的进度模拟平台; 物联网技术通过传感器、射频识别等设备实现施工现场数据的实时采集。二者的技术融合为施工进度实时监控与预警提供了新思路, 能够实现进度信息的自动采集、进度状态的动态映射、进度偏差的智能预警, 推动施工进度管理从经验驱动向数据驱动转变。

1 施工进度监控系统的基础理论与技术架构

1.1 施工进度管理需求与监控系统功能定位

施工进度管理对实时监控系统的核心需求体现在信息采集的及时性、进度状态的可见性、偏差预警的准确性及协同响应的有效性四个方面。信息采集及时性要求系统能够自动获取各施工部位的实际进度数据, 减少人工填报环节, 避免信息滞后。进度状态可见性要求系统将实际进度与计划进度在同一平台上直观呈现, 便于项目团队全面掌握工程进展。偏差预警准确性要求系统能够自动识别进度偏差, 并根据偏差程度分级预警, 为管理决策提供依据。协同响应有效性要求系统支持预警信息的精准推送与响应闭环管理, 确保问题及时处理。

1.2 BIM 与物联网技术融合的内在逻辑

BIM 与物联网技术的融合具有内在的技术互补性与逻辑契合性。BIM 技术擅长构建工程信息模型, 提供三维可视化的信息集成平台, 将抽象的工程数据转化为直观的图形表达, 但缺乏对施工现场实时状态的感知能力。物联网技术通过传感器、射频识别、定位系统等设备采集现场实时数据, 实现物理世界与信息

世界的连接, 但缺乏对工程信息的结构化表达与空间关联能力。二者融合的逻辑在于物联网为 BIM 模型提供实时数据输入, 使静态模型获得动态感知能力; BIM 为物联网数据提供空间定位与语义关联, 使零散的传感器数据在工程语境下获得意义。

1.3 系统总体架构与运行机制

基于 BIM 与物联网的施工进度监控与预警系统总体架构分为数据采集层、模型集成层、分析预警层与应用服务层四个层次。数据采集层部署各类传感器与识别设备, 包括定位传感器、视频监控设备、材料识别标签、设备状态监测器等, 实时采集施工人员位置、机械设备运行、材料进场消耗、关键工序完成等信息。模型集成层以 BIM 模型为核心, 建立施工进度计划与工程构件的关联映射, 将采集的进度数据与模型构件绑定, 实现进度状态的空间化表达。分析预警层负责实际进度与计划进度的对比分析, 构建偏差识别模型与预警判定规则, 自动识别进度偏差并确定预警等级。

2 系统关键技术实现与核心功能模块

2.1 基于物联网的施工进度数据实时采集技术

施工进度数据实时采集技术是系统的数据基础, 其核心在于建立覆盖人员、机械、材料、工序的全方位感知网络。人员定位采用超宽带定位或射频识别技术, 在施工区域布设定位基站, 作业人员佩戴定位标签, 系统实时获取人员位置分布与停留时长, 结合工序信息推算各区域的作业进度。机械设备监控通过设备终端传感器采集运行状态数据, 塔吊、升降机等大型设备的运行时长、工作循环次数自动记录, 用于推算设备相关工序的完成情况。材料追踪采用二维码或射频识别标签, 对预制构件、钢结构、管材等主要材料进行进场验收与消耗记录, 通过材料就位状态推断施工

进度。

2.2 BIM 与进度计划的动态关联与模型映射

BIM 与进度计划的动态关联是实现进度可视化的核心环节,其关键在于建立工作分解结构与 BIM 模型构件的对应关系。工作分解结构将项目分解为可管理的工作包,进度计划为各工作包赋予开始时间与结束时间,BIM 模型将工程实体分解为独立的构件单元。系统通过建立工作分解结构节点与 BIM 模型构件之间的映射关系,使每个构件都关联到具体的进度计划任务。映射关系建立后,系统根据进度计划生成四维度进度模型,按时间轴模拟施工过程的动态演进。当物联网采集的实际进度数据输入系统后,模型根据构件完成状态自动变更显示颜色,已完成构件显示绿色,滞后构件显示红色,正常进行构件显示蓝色,实现进度状态的空间化、可视化表达。

2.3 进度偏差识别模型与预警判定规则

进度偏差识别模型是系统的核心分析功能,其作用在于将采集的实际进度与计划进度进行定量比较,识别偏差程度与影响范围。偏差识别采用进度绩效指数与关键线路偏差双重指标,进度绩效指数通过已完成工程量与计划工程量的比值反映总体进度状况,关键线路偏差聚焦关键工序的实际进度与计划进度的时间差。偏差程度分级依据偏差值与总工期的比例关系,结合工序在关键线路上的位置确定预警等级。预警判定规则设定分级预警阈值,轻微偏差触发三级预警,提示关注;中度偏差触发二级预警,建议分析原因;严重偏差触发一级预警,要求立即采取纠偏措施。预警规则还考虑偏差的发展趋势,通过连续监测偏差变化率,对加速恶化的偏差提前预警,避免问题累积。

3 系统实施面临的关键问题

3.1 多源异构数据的采集与集成难题

系统实施面临的首要问题是多源异构数据的采集与集成。施工现场数据来源多样,传感器数据类型包括位置数据、图像数据、设备运行数据等,数据格式与传输协议各不相同,数据集成需要解决格式转换、时间同步、数据清洗等技术难题。不同供应商的设备采用私有通信协议,数据接口不开放,系统集成难度大。传感器布设环境恶劣,建筑工地粉尘、振动、电磁干扰等因素影响数据采集的稳定性与准确性。数据采集频率与系统响应速度存在矛盾,高频采集保证数据实时性但增加系统负载与通信成本,低频采集降低系统响应能力。

3.2 BIM 模型精细度与实时更新要求

BIM 模型的精细度直接影响系统分析的准确性与实用性。进度监控要求模型细化至构件层级,能够反

映各楼层、各轴线、各专业系统的施工进度,模型精细度不足时难以实现精确到构件的进度关联。施工过程中设计变更频繁发生,BIM 模型需随设计变更同步更新,模型更新不及时导致进度监控与实际情况脱节。施工过程存在大量临时结构与工序,模型构件划分与施工工作分解结构不完全匹配,模型映射困难。解决这些问题需要建立模型精细度分级标准,根据监控需求确定建模深度;建立设计变更与模型更新的联动机制,确保模型与图纸一致性;优化模型构件划分方式,使构件粒度与施工工序粒度相匹配,提高模型映射的准确性。

3.3 预警准确性保障与误报漏报问题

预警准确性是系统实用性的核心指标,误报与漏报问题直接影响用户对系统的信任度。进度偏差识别依赖实际进度与计划进度的准确对比,实际进度数据采集误差、计划进度编制不合理、工序逻辑关系变更等因素均可能导致偏差识别错误。预警阈值设置不当,阈值过小产生大量低价值预警,阈值过大错过重要预警时机。进度滞后原因复杂,单纯进度偏差预警难以区分是进度滞后还是计划安排不合理,预警信息价值不足。提高预警准确性需要优化进度数据采集质量,通过多源数据融合验证减少数据误差;采用动态阈值调整策略,根据工序类型、工期紧迫度、资源供应情况灵活设置预警阈值;开发偏差原因智能分析功能,结合资源供应、天气条件、施工效率等多维数据辅助判断偏差原因,提高预警信息的决策支持价值。

4 系统优化与推广应用策略

4.1 技术标准的统一与接口规范制定

技术标准统一是推动系统规模化应用的基础,需从数据采集、模型构建、平台接口三个层面建立统一标准。数据采集标准统一传感器类型、布设方案、数据格式、传输协议的技术要求,使不同厂商设备能够接入同一平台。模型构建标准明确 BIM 模型的精细度等级、构件编码规则、属性信息要求,确保模型在不同项目中的一致性与可复用性。平台接口标准规范系统各模块之间的数据交换格式与调用方式,支持第三方应用的接入与扩展。接口规范制定应借鉴行业成熟标准,结合施工进度管理的特殊需求进行本地化适配。

4.2 轻量化应用模式与云端服务架构

轻量化应用模式是降低系统应用门槛、扩大覆盖范围的重要途径。系统采用云端服务架构,将数据存储、模型处理、分析计算等核心功能部署于云端,用户通过浏览器或移动端应用访问系统,无需本地部署服务器与专业软件。云端架构支持多项目并行管理,

企业可在同一平台管理所有在建项目的进度监控系统,降低硬件投入与运维成本。轻量化应用采用模块化功能配置,项目可根据实际需求选择功能模块,基础监控模块提供进度数据采集与模型展示功能,高级分析模块提供偏差识别与预警推送功能,用户按需启用,降低初始投入。

4.3 人员培训体系与组织保障机制

人员培训是系统成功应用的关键保障,需要建立分层次、分岗位的培训体系。管理层培训聚焦系统价值认知与管理决策应用,使其掌握通过系统查看进度总览、分析偏差趋势、跟踪预警处理的管理功能。技术层培训面向 BIM 建模人员与系统维护人员,重点培训模型创建与更新、系统参数配置、数据异常处理等技术操作。操作层培训面向现场管理人员与作业人员,培训内容包括移动端数据采集、预警信息查看、问题反馈上报等日常操作。培训采用理论授课与实操演练相结合的方式,通过模拟项目场景进行操作练习,增强培训效果。

5 系统发展趋势与技术展望

5.1 人工智能赋能下的智能预警与决策支持

人工智能技术的发展为进度监控与预警系统提供了新的能力提升空间。机器学习算法可用于构建进度风险预测模型,通过对历史项目进度数据的训练学习,识别进度滞后的关键影响因素,在新项目进度计划编制时自动预警高风险工序。深度学习技术在图像识别领域的应用,可实现施工现场图像资料的自动分析,从监控视频中识别作业人员数量、设备运行状态、材料堆放情况,为进度判断提供辅助信息。自然语言处理技术可用于分析施工日志、会议纪要等文本资料,提取进度相关信息,补充传感器数据采集的盲区。

5.2 数字孪生驱动下的进度模拟与预测调控

数字孪生技术为施工进度管理提供了虚实映射、

动态交互的新范式,推动监控预警系统向更高层次发展。数字孪生模型在 BIM 模型基础上集成物联网实时数据,构建与物理施工现场同步映射的数字镜像,实现施工过程在虚拟空间的实时复现。基于数字孪生模型,系统支持施工过程的虚拟调试,在新工序开始前模拟不同施工方案的进度效果,优化工序安排与资源配置。进度预测调控功能利用数字孪生模型模拟未来施工进度,输入资源供应、天气条件、劳动力安排等变量,预测进度计划完成情况,对潜在进度风险提前调控。

6 结束语

基于 BIM 与物联网技术的建筑施工进度实时监控与预警系统,通过物联网实现施工进度数据的实时采集,通过 BIM 实现进度状态的可视化表达,通过偏差识别与预警机制实现进度风险的主动管控,形成了数据采集、模型关联、偏差分析、预警响应的闭环管理体系。系统实施面临多源异构数据集成、模型精细度保障、预警准确性提升、推广应用成本等现实问题,需要从技术标准统一、轻量化应用、人员培训体系等方面协同推进。

参考文献:

- [1] 林佳瑞. 基于 BIM 与物联网的施工进度实时监控技术研究[J]. 土木工程信息技术, 2022,14(02): 1-8.
- [2] 马智亮. 基于 BIM 和射频识别技术的施工进度自动监控系统[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2021,61(05): 468-475.
- [3] 谭丹. 基于 BIM 与物联网的智能建造管控平台研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2023,51(03): 389-397.
- [4] 李恒. 基于 BIM 与定位技术的施工现场人员进度监控方法[J]. 施工技术, 2022,51(01): 73-78.
- [5] 王婷. 基于 BIM 与数字孪生的施工进度智能预警系统研究[J]. 建筑科学, 2023,39(02): 106-114.