

文章编号: 1671-6612 (2022) 02-311-06

楼宇建筑空调系统 设备错误连接关系自动检测算法

高莉莉 高雪 林钰浩 吴钰博 范金鹏

(中建八局第三建设有限公司 南京 210000)

【摘要】 楼宇建筑空调系统容易受到设备错误连接关系的影响,为检验其连接关系的正确性与安全性,研究楼宇建筑空调系统设备错误连接关系自动检测算法。基于 BIM 技术建立楼宇建筑空调系统 BIM 模型,引入无向连通图表示楼宇建筑空调系统,在所建立的建筑空调系统 BIM 模型中,基于无向图,构建楼宇建筑空调系统设备逻辑关系,分析描述设备错误连接关系即几何错位断点和连接器方向错误,将楼宇建筑空调系统设备错误连接关系转化为无向连通图,自动检测设备中存在的连接方向错误、连接断点以及管道重合等错误连接关系。实例测试结果表明,该算法可快速获取设备所在位置,自动检测所建立楼宇建筑空调系统 BIM 模型设备的错误连接关系,实现楼宇建筑空调系统的高效运维。

【关键词】 楼宇建筑; 空调系统; 设备; 错误连接关系; 自动检测算法; BIM 模型
中图分类号 TP391 文献标识码 A

Automatic Detection Algorithm for Wrong Connection of Building Air Conditioning System Equipment

Gao Lili Gao Xue Lin Yuhao Wu Yubo Fang Jinpeng

(The Third Construction Co., Ltd. of China Construction Eighth Engineering Bureau, NanJing, 210000)

【Abstract】 Building air conditioning system is vulnerable to the influence of equipment wrong connection relationship. In order to test the correctness and safety of its connection relationship, an automatic detection algorithm of equipment wrong connection relationship in building air conditioning system is studied. The BIM model of building air conditioning system is established based on BIM Technology, and the undirected connected graph is introduced to represent the building air conditioning system. In the established BIM model of building air conditioning system, the equipment logical relationship of building air conditioning system is constructed based on undirected graph, and the equipment error connection relationship is analyzed and described, that is, geometric dislocation breakpoint and connector direction error, The wrong connection relationship of building air conditioning system equipment is transformed into undirected connected graph, and the wrong connection relationships such as connection direction error, connection breakpoint and pipe coincidence are automatically detected. The example test results show that the algorithm can quickly obtain the location of the equipment, automatically detect the wrong connection relationship of the BIM model equipment of the building air conditioning system, and realize the efficient operation and maintenance of the building air conditioning system.

【Keywords】 Building construction; Air conditioning system; Equipment; Wrong connection relationship; Automatic detection algorithm; BIM model

0 引言

随着科学技术的发展,为满足人们对高质量生活环境的需求,建筑越来越智能化。同时,由于其庞大的系统,能源消耗将增加^[1]。智能建筑包括电梯系统、照明系统、空调系统、消防系统、视觉系统、给排水系统等,建筑空调系统能耗占整个建筑能耗的一半以上。为了提高空调系统的制冷和制热性能,系统中增加了现代化的设备,主要包括风冷热泵、排烟设备、智能化风机盘管等^[2]。

空调系统的突发故障是指设备突然发生故障而不能运行。这类故障具有很强的随机性,不能被提前发现。空调系统的渐进性故障是由于系统参数和设备之间的错误连接引起的,通过早期检测可以减少这种情况^[3]。空调系统的管理和维护非常重要。在系统运行过程中,设备之间会发生错误的连接关系,导致系统能耗增加甚至设备故障,无法正常工作^[4]。

文献[5]的方法以提高冷站能效比为目标,对某大型公共建筑的冷站主要设备进行了智能优化控制,将群控系统优化后冷站的能效比由 2.6 提高到 5.5,虽然取得一定成效,但增加了人工成本,楼宇建筑空调系统设备错误连接关系复杂度高,人工检测存在滞后性。文献[6]的方法分析了当前空调系统能耗优化算法存在的不足,将空调系统分为 3 个目标解,提出了外部参照的多目标粒子群改进算法,但是其难以检验其连接关系的正确性与安全性。

为此,本文研究楼宇建筑空调系统设备错误连接关系自动检测算法,以 BIM 模型为基础,将系统转换成无向连通图,通过图论检测出楼宇建筑空调系统设备间的连接关系,并简化设备与管道的复杂连接关系,使建筑空调系统设备错误连接关系检测效果提升。

1 楼宇建筑空调系统设备错误连接关系自动检测算法

1.1 楼宇建筑空调系统 BIM 模型

楼宇建筑空调系统可确保空调设备正常有序进行,为整个建筑提供冷能与热能^[7,8]。利用 BIM 技术建立楼宇建筑空调系统 BIM 模型如图 1 所示。

由图 1 可知,管件、机电设备、连接器构成楼宇建筑空调系统 BIM 模型。为实现管件与管件、机电设备与管件的有效连接,需利用连接器连接

BIM 内构件,得出介质流动走势和相关关系数据。

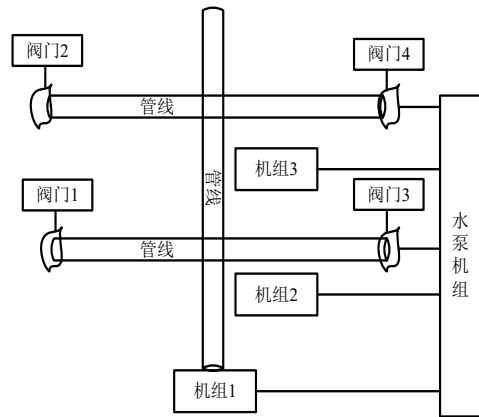


图 1 楼宇建筑空调系统 BIM 模型

Fig.1 BIM Model of building air conditioning system

1.2 设备逻辑关系提取

采用图论方法提取楼宇建筑空调系统设备逻辑关系,图论检测目标为图,事物连接关系是利用抽象数据结构表描述,通常事物用顶点描述,事物间连接关系用边描述,把系统 BIM 模型看作无向连通图,简化设备与管道的复杂连接关系^[9],使检测效果提升。

在所建立 BIM 模型中提取设备逻辑关系,需要先提取全部 BIM 构件,再提取有效连接器后构建无向连接图。设置楼宇建筑空调系统中包含 n 个节点,系统无向图用 $G(M,F)$ 描述,其中,全部边的集合用 F 描述,全部机电设备节点关联边集合用 F_c 描述,全部机电设备顶点集合用 M_c' 描述, M 是系统无向图每个顶点集合,排除节点关联边集合用 F_q 描述,设备连接关系子图集用 G_c' 描述,全部管件节点集合用 M_q' 描述,全部管件连接子图集用 G_q' 描述。

Step 1: 为筛除非联通管道团,将设备顶点集合实施删除,简化设备和众多管道连接关系^[10]。求解全部管件连接子图集 G_q' ,需要删除全部设备顶点集合 M_c' ,将图变分为割裂图,管道间联通模式用各子图描述。

Step 2: 设备连接子图构建是设备逻辑关系提取的核心。空调系统中设备重新连接 Step 1 求出管线团,就是为求解 G_c' ,需要在全部管件连接子图集 G_q' 重新连接删除全部设备顶点集合 M_c' 。有

时, 多个设备可以连接到同一子图, 或者多个子图可以连接到同一设备, 利用设备与管线组关系建立设备逻辑连接关系^[11], 将连接到同管线团的设备判定为有关系。

Step 3: 设备间连接方向的判定。为求解 G_c' 中各子图 G_i , 需构建完全二分有向图 G_{ci} , 依据设备连接器方向, 将全部连接至 G_i 的设备完成 G_{ci} 构建。为检测构件的两端逻辑关系, 利用设备间管路流向数据, 简化设备连接关系实现检测。

Step 4: 为得出楼宇建筑空调系统设备逻辑关系图, 需要将全部二分有向图合并。

1.3 设备错误连接关系自动检测

1.3.1 设备错误连接关系描述

(1) 跨文件断点

楼宇建筑空调系统 BIM 模型内存储不同设备的文件, 有时会引起不同设备文件发物理性错误连接^[12]。例如: 楼宇建筑空调系统设备 1 分别包括 E1、E2 两层管道, 位于每层构件上, 由连接器使两个构件相互连接, 但因不同文件划分, 无法创建连接器, 发生跨文件断点的楼宇建筑空调系统设备错误连接关系, 具体如图 2 所示。

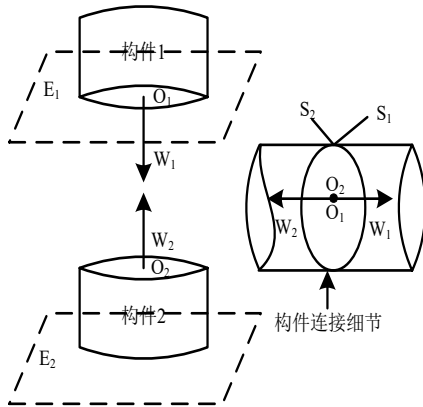


图 2 跨文件断点

Fig.2 Cross-file breakpoints

由图 2 可知, 连接器是管件和设备的连接工具, 构件 1、2 的接口法向量用 W_1 、 W_2 表示, 接口中心用 O_1 、 O_2 表示, 两个构件生成完整的连接关系。

(2) 几何错位断点

在同一文件中, 虽然建立了建筑空调系统设备的 BIM 模型, 但由于构件数量较多, 建模人员的误差也会导致管道位置或设备出口的误差^[13], 无法准确建立建筑空调系统设备的物理连接。例如: 管

道与管件的物理连接关系错误, 包括弯头连接管道时, 两个表面没有对接, 导致与连接面垂直错位; 管帽与管道连接时, 发生平面错位。

(3) 连接器方向错误

连接关系提取受上下游关系误差的影响较大。例如: 在 BIM 模型软件的构建过程中, 由于对设备进出关系没有明确规定, 无法通过人工检测实现设备连接关系的误差检测。在管道介质流动趋势下, 当建筑空调水泵设备接头两端发生相反方向力时, 信息提取失败, 无法得到介质流动趋势。

1.3.2 错误连接关系自动检测

(1) 跨文件断点与几何错位检测

楼宇建筑空调系统设备连接的构件 1 和构件 2, 依据下面流程检测两者间的连接关系:

Step 1: 重合检测

针对跨文件断点错误检测, 因不同模型均用相同的坐标系, 为检测出因文件拆分生成物理连接缺失问题, 需位于不同文件构件 1 和构件 2 连接平面满足: $O_1=O_2$, $W_1=W_2$, $S_1=S_2$ 条件。

Step 2: 方向检测

为检测构件 1 和构件 2 的物理连接关系, 通过 W_1 、 W_2 的夹角 α 与容差角 d_α 比较, 当 $\alpha < d_\alpha$ 时, 此时两个构件不存在物理连接关系。

Step 3: 连接平面内距离检测

为求解 O_1 到 O_2 的距离 d , 设置构件 2 接口中心为 O_2 , 在构件 1 接口平面的投影用 O_2' 描述。楼宇建筑空调系统中, 小管径管道稠密^[14], 大管径管道的轴线间距大, 假设管径连接器用 D 表示, 当 $d < D/2$ 时, 判断两个连接器存在连接关系, 有利于开展以后检测工作。

Step 4: 垂直于连接平面的距离检测

为检测两个连接器连接关系, 需求解构件 1 接口中心 O_1 到构件 2 接口平面 E_2 的距离 d 。当 d 小于容差时, 判断两个连接器存在连接关系。

(2) 连接方向检测

通过设备逻辑关系提取方法将楼宇建筑空调系统设备错误连接关系转化为无向连通图, 利用简单连接的管道团代替复杂的大量管道与设备链接, 改善楼宇建筑空调系统逻辑关系自动生成过于复杂的缺陷。

依据楼宇建筑空调系统 BIM 模型实际应用可知,多入口以及多出口情况将不存在于楼宇建筑空调系统中,通常情况下存在单个入口与出口、单个入口众多出口以及多入口单个出口的情况^[15]。设楼宇建筑空调系统中存在出口与入口的管路团数量为 n ,用 V_1, V_2, L, V_n 表示楼宇建筑空调系统的接口方向,检测系统中存在连接方向错误的公式如下:

$$n=2 \begin{cases} n=2, V_1=v, \text{可得 } V_2=-v \\ V_1=V_2=L=V_{n-1}=v, \text{可得 } V_n=-v \\ V_1=V_2=L=V_{n-2}=v, V_{n-1}=-v, \text{可得 } V_n=v \end{cases} \quad (1)$$

2 实例测试

为验证所研究算法自动检测楼宇建筑空调系统设备错误连接关系有效性,选取某建设公司新建规划区域作为研究对象,该规划区域包含住宅楼 4 栋,办公楼 1 栋。总规划区域面积为 11.52 万平方米,住宅楼均为地上六层,办公楼为地上四层。楼宇建筑空调系统中包含给排水、送排风、空调水、空调风等机电系统模型。

研究区域楼宇建筑空调系统包含设备统计结果如表 1 所示。

表 1 空调系统设备统计表

Table 1 Statistical table of air-conditioning system equipment

设备名称	设备数量/ 个	设备参数
空调供热燃气热水机组	8	额定制热量: 2100kW
卧式离心冷冻水泵	14	额定最大流量: 625m ³ /h
卧式离心冷却水泵	14	额定最大流量: 310m ³ /h
卧式离心热水泵	23	额定最大流量: 164m ³ /h
离心式冷水机组	8	额定制冷量: 3800kW
螺杆式冷水机组	4	额定制冷量: 1265kW

采用 BIM 技术建立研究区域办公楼建筑空调系统的 BIM 模型如图 3 所示。

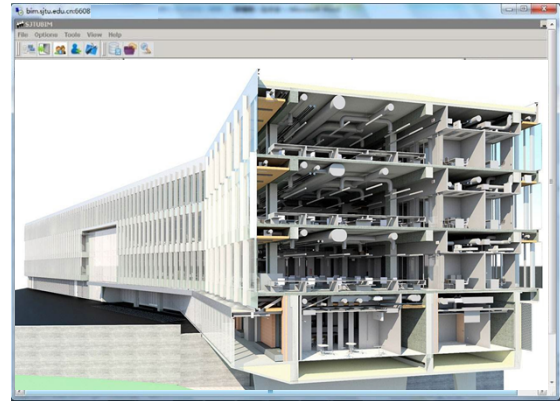


图 3 建筑空调系统 BIM 模型

Fig.3 BIM model of building air conditioning system

建筑空调系统 BIM 模型的信息查询效率表达式如下:

$$Q = m / T \quad (2)$$

式(2)中, m 与 T 分别表示待查询信息数量以及所采用时间。固定查询信息数量时,所需消耗的查询时间越短,查询效率越高。利用信息查询时间体现所建立 BIM 模型查询效率。对比未采用 BIM 技术所建立楼宇建筑空调系统模型与采用 BIM 技术所建立楼宇建筑空调系统模型的信息查询时间,对比结果如图 4 所示。

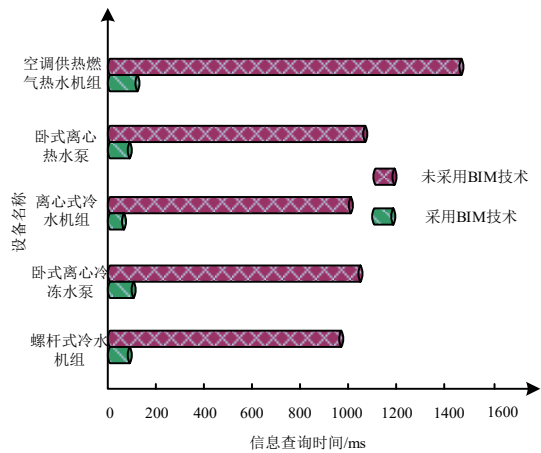


图 4 信息查询时间对比

Fig.4 Comparison of information query time

从建筑空调系统 BIM 模型中查询所包含的设备,对比 BIM 模型以及未采用 BIM 模型时的查询效率。由图 4 对比结果可知,采用 BIM 技术建立建筑空调系统设备模型时,可在 200ms 内快速获取

图 8 自动检测与修复结果

Fig.8 Automatic detection and repair results

由图 8 实验结果可知,所研究算法可有效实现楼宇建筑空调系统 BIM 模型中物理连接缺失、几何错位以及错误连接方向的自动检测与修复,误差在 20 个以下,具有较高的检测与修复效果。这是因为其获取正确的楼宇建筑空调系统设备逻辑关系后,依据重合检测、方向检测、连接平面内距离检测、连接方向检测等多方面的联合检测结果,依次检测设备错误连接关系具有序列属性与自动化属性,智能解决智慧运维管理楼宇建筑空调系统的重要问题,发挥所建立楼宇建筑空调系统 BIM 模型的重要价值。

截取采用本文算法检测建筑空调系统走廊交叉处管道存在重合情况结果如图 9 所示。图中红色标识处为本文算法检测出的管道重合问题。

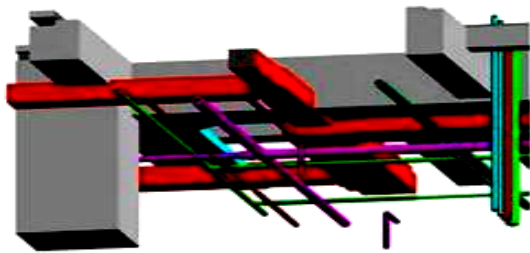


图 9 管道重合检测结果

Fig.9 Pipeline coincidence detection results

由图 9 实验结果可知,楼宇建筑空调系统设备连接间存在错误时,当原有 BIM 模型中存在原始信息缺失情况,而图纸中未显示设备之间所存在关系以及管道流向时,需充分结合设备在系统中的拓扑关系以及工程经验。所研究算法虽可自动检测楼宇建筑空调系统设备之间存在的物理连接丢失情况,但无法实现自动检测问题的全部修复,实际应用过程中仍需将本文算法与人工修复相结合,提升算法的应用性能。

3 结论

针对楼宇建筑空调系统设备会发生错误连接问题,研究楼宇建筑空调系统设备错误连接关系自动检测算法,提高空调系统的运维管理水平。在楼宇建筑空调系统采用建筑信息模型,提高空调系统的机电设备有序组合,但设备和管线间会发生连接关系错误,导致系统设备无法正常运行,对此,将

图论技术应用在楼宇建筑空调系统设备错误连接关系自动检测中,以无向连通图的形式,使设备和复杂的管道连接关系变得简单化,提高检测效率,使其在 200ms 内快速获取所需查询空调系统设备具体位置以及信息,并将提取时间控制在 3s 之内,几何错位数量的自动检测与修复误差控制在 20 个以下,本文算法检测楼宇建筑空调系统设备错误连接速度快。

因本人时间与精力有限,仍有许多不足,本文仅涉及对楼宇建筑空调系统设备错误连接关系自动检测,今后将研究方向进一步扩展:

(1) 楼宇建筑空调系统中的故障种类繁多,需要研究其他故障的检测与维修;

(2) 需要深入研究空调系统多重故障现象;

(3) 全面分析空调系统设备运行情况。

在本文算法的基础上,不断添加新的技术,提高对楼宇建筑各系统的检测与管理。

参考文献:

- [1] 周璇,字学辉,闫军威.基于信息熵的建筑空调异常日常用能模式检测方法[J].建筑科学,2019,35(12):88-98.
- [2] 唐然,赵迎新,吴虹.基于改进反馈判决的自动识别系统信号解调算法[J].上海交通大学学报,2019,53(5):610-615.
- [3] 郑恒河.智能楼宇网络中冗余信息并行采集方法仿真[J].计算机仿真,2019,36(6):455-458.
- [4] 许伯强,郑泽慧.基于 Duffing 系统与 APES 算法的 DFIG 定子匝间故障检测新方法[J].电力自动化设备,2019,39(5):103-108.
- [5] 李强,袁合勇,贾善杰,等.利用实时优化算法提高建筑空调系统能效的技术及实践[J].建筑科学,2019,35(12):81-87.
- [6] 谢金鑫,张九根,张宏伟.基于外部参照优化算法的空调系统节能控制[J].暖通空调,2019,49(7):138-143.
- [7] 高浩瀚,张利,梁军,等.基于改进排列熵算法和 Yamamoto 算法的非侵入式用电设备状态变化检测[J].电力自动化设备,2020,40(1):192-197.
- [8] 陈剑波,郭春璐,陈付齐.夏热冬冷地区户式辐射空调住宅建筑能耗分析[J].流体机械,2020,574(4):76-79,85.
- [9] 卢万杰,付华,赵洪瑞.基于深度学习算法的矿用巡检机器人设备识别[J].工程设计学报,2019,26(5):527-533.
- [10] 董海,徐晓鹏,谢英红,等.无先验知识的仪表自动检测

