

基于 IFC 的室内地图模型构建研究

黄楠鑫¹, 王 佳¹, 李 智², 周小平^{1,3}, 张 纯⁴, 宋冰玉⁴

- (1. 北京建筑大学电气与信息工程学院, 北京 100044;
2. 北京市首都公路发展集团有限公司, 北京 100161;
3. 中国人民大学信息学院, 北京 100872;
4. 盈嘉互联(北京)科技有限公司, 北京 100041)

摘 要: 室内地图构建属于一项基础性研究, 可为导航、疏散等建筑室内智能化应用提供数据与技术支持。室内环境的复杂性, 存在信息提取耗时且成本高, 提取的室内信息不完整等问题, 而已有的室内地图模型通常体量庞大, 数据复杂且冗余严重, 实用性较低。为此, 将 BIM 技术与室内地图研究相结合, 以 BIM 通用交互格式工业基础类(IFC)文件为数据源, 提取几何与语义信息, 提出一种室内地图模型的构建方法。内分类定义地图节点, 完成对建筑室内信息的抽象表达; 通过设置阈值来简化地图中节点数量以达到模型的优化。该模型中可导入经典寻路算法生成最短路径, 并且设计路径优化方法。

关 键 词: 工业基础类; 室内地图; 节点选取; 路径优化

中图分类号: TU 17

DOI: 10.11996/JGj.2095-302X.2019010186

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2019)01-0186-07

Research on the Construction of Indoor Map Model Based on IFC

HUANG Nan-xin¹, WANG Jia¹, LI Zhi², ZHOU Xiao-ping^{1,3}, ZHANG Chun⁴, SONG Bing-yu⁴

- (1. School of Electrical and Information Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;
2. Beijing Capital Highway Development Group Co. Ltd., Beijing 100161, China;
3. School of Information, Renmin University of China, Beijing 100872, China;
4. BIM Winner (Beijing) Technologies Co. Ltd., Beijing 100041, China)

Abstract: Indoor map model construction is a basic research, which can provide data and technical support for indoor intelligent applications such as indoor navigation, emergency evacuation, and robot services. Traditional indoor information extraction methods are time-consuming and costly, and the extracted indoor information is usually incomplete. In the existing indoor map research, the model usually has a large volume, the data is complex and the redundancy is serious, and the application rate is low. With the development of BIM technology and the advancement of national policies, this study provides new ideas for indoor map model research. The paper combines BIM technology with indoor map model research, using BIM universal interactive format (industry foundation classes) IFC file as data source to extract geometric and semantic information and puts forward a new construction method of indoor map model. By defining three types of nodes in the model, the abstract expression of the internal information of the building monolayer is completed.

收稿日期: 2018-06-11; 定稿日期: 2018-07-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(71601013); 北京市自然科学基金项目(4174087); 北京市教委面上项目(SQKM201710016002); 北京市建筑大学建大英才项目

第一作者: 黄楠鑫(1994-), 男, 福建龙岩人, 硕士研究生。主要研究方向为 BIM 技术在空间分析领域应用研究。

E-mail: nanxinhuangkodo@foxmail.com

通信作者: 王 佳(1969-), 女, 北京人, 教授, 博士, 硕士生导师。主要研究方向为 BIM 技术、建筑消防等。E-mail: wangjia@bucea.edu.cn

Using the idea of node normalization, set the threshold to simplify the number of nodes in the indoor topology network and achieve the purpose of optimizing the indoor map model. In the indoor map model, the shortest path can be generated by the classic path finding algorithm, and the design algorithm will realize the path optimization.

Keywords: industry foundation classes (IFC); indoor map; node selection; path optimization

随着城市发展, 建筑越来越密集精细, 人们的移动范围从室外平面向建筑内纵向深入, 对于空间信息技术的需求也日益提高。但室内区域通常是封闭或半封闭空间, 且相比于户外要复杂得多, 由于传统测绘技术的局限, 室内信息的收集是高成本且耗时的, 收集到的信息也通常是不完整的^[1]。对此人们需要构建室内地图模型, 完成对建筑室内的信息化集成。室内地图的几何坐标精确性、层次关系清晰性以及数据信息的丰富性, 对于像室内导航、机器人服务、无人驾驶自动泊车、应急疏散等场景是至关重要的。与 GIS 为基础的室外路网系统相比, 室内地图不仅有很高的研究前景, 而且具有巨大的应用价值。

随着建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术的日益发展和国家政策推进, BIM 模型在设计和施工过程中已得到大规模应用, 使之成为建筑信息的重要来源^[2]。BIM 模型强调微观空间信息描述, 包含大量建筑内部结构信息, 其完

整的几何及语义信息是可以作为室内地图的重要信息来源。

目前, 国内外学者对于将 BIM 应用与室内空间分析进行了许多研究, 其主要有网格法与几何图法。LIN 等^[3]提出运用网格方法处理 3D 室内空间路径规划, 但其地图模型存在数据复杂、实用性低的问题。在几何图研究中, 文献[4]从 BIM 中进行图形构建和路线寻找, 从而解决救援和撤离等应急决策相应问题; 文献[5]构建室内地图模型并完成与室外 GIS 路网的集成并进行路径规划; 但由于地图模型忽略构件的语义信息, 易造成模型数据不准确。本文提出以工业基础类(industry foundation classes, IFC)为数据源, 提取与构图相关室内构件的建筑信息, 设计包含室内信息的关键节点选取, 构建地图模型并对节点进行优化, 最后在构建好的地图模型上, 任意输入起始位置, 利用经典寻路算法, 即可生成最短路径并优化。研究基本框架如图 1 所示。

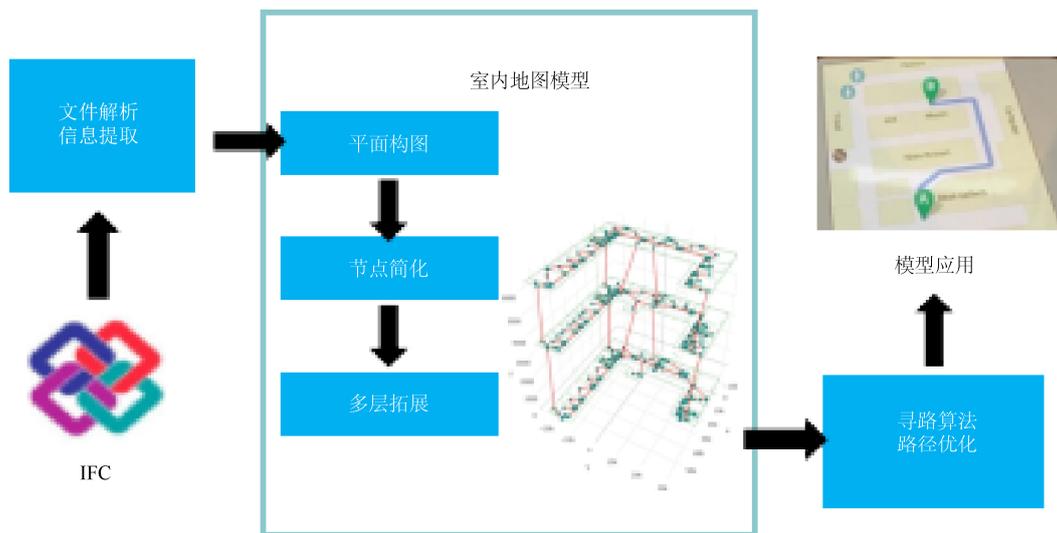


图 1 室内地图模型构建研究框架

1 BIM 与室内信息

BIM 是建设项目的物理特性与功能特性的数字化表示, 且是从建设项目的最初概念设计开始的整个生命周期里做出任何决策的可靠共享信息资

源。在 BIM 领域中, IFC 是建筑信息资源传输与交互的重要组成部分^[6]。

1.1 IFC 概述

IFC 是国际协同联盟为实现建筑信息的共享与交换建立的标准^[7]。IFC 作为开放的国际标准, 具

有完善的信息分类和数据结构,易于信息的提取和相关应用的开发,是数据交换和信息共享的良好媒介^[8]。该标准自 1997 年以来共更新发布了十多个版本,本文提出的室内路网构建数据源均为目前市场较通用的 IFC 2x3 标准文件。

1.2 源文件解析

为获取 IFC 文件中的建筑数据,需对 IFC 标准使用的形式化的数据规范语言 EXPRESS 进行

解析。本文使用开源软件 IfcOpenShell 作为解析器,首先将 IFC 的实体类型进行映射对象化^[9],解析后的数据,以 JSON 对象的形式进行存储。JSON 格式轻量、自我描述性强且独立于编程语言,之后的研究也将在此格式的 IFC 数据之上进行。图 2 为一个门构件解析前后的几何信息表达。接下来面向室内路径规划需求,提取 IFC 模型内建筑构件的室内信息。



图 2 某门构件解析前(左)与解析后(右)几何表达对比图

1.3 面向室内构件的信息提取

IFC 中定义了 600 多个建筑实体与 300 多个建筑类型,以及定义了建筑构件间的连接关系。在 IFC 标准规范中,实体类型是数据模型的核心,所有对象实体都继承于父类 IfcObject^[10]。整个 IFC 模型通过树状结构层层递进,从而囊括不同种类的建筑构件要素。表 1 为本文构建室内路网需要的建筑构件,以及构件对应的 IFC 中实体名称。

表 1 室内地图相关的建筑构件与 IFC 实体对应表

建筑构件名称	IFC 实体名称
门	IfcDoor
落地窗	IfcWindow
墙	IfcWallStandardCase
柱	IfcColumn
楼梯	IfcStair
楼板	IfcSlab

1.3.1 语义信息提取

语义信息主要提取构件的属性信息与楼层信息,IFC 文件通过自身的属性机制能够对实体对象

关联的所有属性进行抽象性概括。IfcProperty 定义 IFC 文件中实体对象的属性信息,包含简单属性 IfcSimpleProperty、复杂属性 IfcComplexProperty 以及属性关系 IfcPropertyDependencyRelationship。其中 IfcSimpleProperty 类型表示单一属性对象的泛化,其各种子类型建立了各种属性值设置的方式;IfcComplexProperty 用于定义属性集内复杂属性,通过定义属性列表使复杂信息能在不同属性集中复用;IfcPropertyDependencyRelationship 描述了两个属性值之间的一种确定的依赖关系。

实体中 IfcBuildingStorey 类型表示建筑物的层,其始终与一个 IfcBuilding (建筑或建筑物)相关联。建筑楼层包括对属于该楼层空间的引用,所有建筑构件都被分配到其所在的建筑物层。如果建筑元素(或空间)跨越许多楼层,且与其他连接元件(例如开口或门窗)分别直接分配给所在层。通过对 IfcBuildingStorey 的信息提取,可得到整个建筑物的楼层信息。

1.3.2 几何信息提取

几何信息方面,IFC 内与室内地图相关的建筑

室内构件都继承于 `IfcProduct`, 其定义的子类型中包含几何信息的实体类为 `IfcProductRepresentation` 与 `IfcObjectPlacement`。其中 `IfcProductRepresentation` 定义构件的形状、轮廓等几何表示; `IfcObjectPlacement` 定义构件的位置与坐标系, 包括绝对坐标与相对坐标^[11]。

IFC 内采用计算几何实体表达方法, 其中定义了精确几何描述、构造实体几何模型(constructive solid geometry, CSG)、半空间定义、扫掠实体(SweptSolid)、边界表达模型(B-rep)、表面模型和几何集等 7 种表达形式。这些机制构建了 IFC 中实体模型的精确表达, 但是不利于计算机数据处理与可视化显示^[12]。IFC 解析器, 可以将 IFC 内实体几何表达转换为三角网格(triangle mesh)数据。三角网格结构简单清晰, 易于读取, 是目前在图形研究上较通用的几何表达格式。

室内地图对构件的几何要求为其基本轮廓与位置布局, 因此构件中有许多几何数据是多余的, 同时过大的数据量也会影响地图构建的效率, 本文引入 OBB 包围盒算法, 遍历表达构件几何的三角网格顶点, 通过主成分分析获得始终沿构件主体方向的 OBB 主轴。主成分分析中引入协方差矩阵概念(如式(1)), i 与 j 为构件内任意三角网格点, 通过计算其 x, y, z 值的协方差表达 2 个三角网格点相关性, 协方差矩阵的特征向量即为构件主体方向。由包围盒提取到建筑构件的外轮廓坐标信息, 将作为路网构建的几何数据源, 即

$$A = \begin{bmatrix} \text{cov}(x_i, x_j) & \text{cov}(x_i, y_j) & \text{cov}(x_i, z_j) \\ \text{cov}(x_j, y_i) & \text{cov}(y_i, y_j) & \text{cov}(y_i, z_j) \\ \text{cov}(x_j, z_i) & \text{cov}(y_i, z_j) & \text{cov}(z_i, z_j) \end{bmatrix} \quad (1)$$

2 地图模型构建

本文构建的室内地图模型以几何图网模型为基础, 建筑室内空间中的三维对象和其关联关系将被转换为对偶空间内的节点与边。转换后, 整体建筑信息变成节点边连接的关系结构。其结构简单, 已被广泛应用于室内外空间网络分析。结合经典图论, 本文提出一种包含节点选取与节点优化的多层次、轻量化路网模型构建方法。图 3(a)为一简单单层办公楼 IFC 模型。

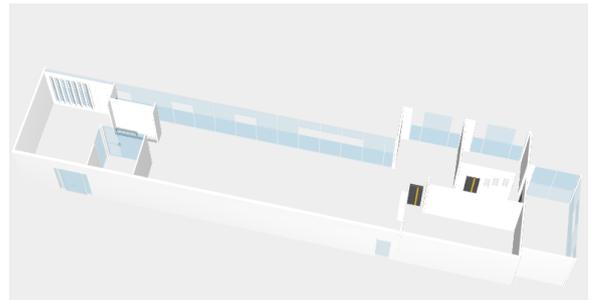
首先进行平面地图构建, 根据楼层信息筛选同层的建筑构件, 将同层内的墙、柱、窗、门等构件

的几何信息平面二维化, 投影在楼层平面上。然后提取本层中建筑外墙的几何数据, 将其作为地图外边界。

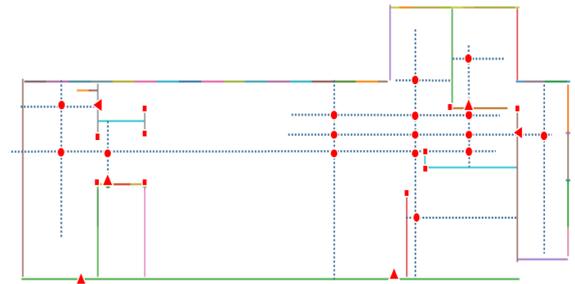
2.1 节点选取

对于室内平面地图的节点选取, 根据室内构件的特点, 将节点定义为 3 大类, 以便于节点的简化。

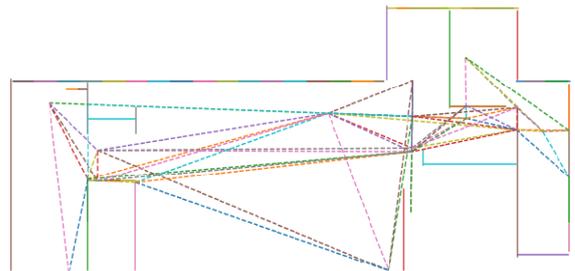
在第一类节点选取中, 筛选门、落地窗和墙上门洞等含出入口属性的建筑构件, 将其平面几何中心抽象为节点, 定义为门点, 如图 3(b)中三角形点。在第二类节点中, 筛选内墙等含大型建筑构件, 将这些构件投影外轮廓相交线的中点抽象为节点, 定义为拐点, 如图 3(b)中方形点, 若遇到墙柱相连的情况, 直接定义柱的几何中心为拐点, 拐点的定义完成路网中障碍信息的储存。



(a) 某办公楼单层 IFC 模型



(b) 平面地图节点图



(c) 平面拓扑路网模型

图 3 平面室内地图构建

在最后一类节点中,结合图论知识,沿门等出入口构件连通方向,取门等出口前对面墙距离一半位置的点为门前点,过门前点做其对应墙面的水平线与中垂线,线的交点抽象为节点,定义为连接点,如图3(b)中圆点。连接点作为门点与拐点的中介,定义了连通两点间的最短距离,避免了绕路的产生。选取的节点间通过边连接,两点间直线距离抽象为边的权值,生成平面拓扑路网模型,如图3(c)所示。

2.2 节点简化

由于IFC标准定义的多样性与广泛性,一些模型在通过计算机技术进行节点选取处理后,可能会产生体量庞大的节点数据,容易形成数据冗余。在实际生产生活中,对于路网模型的精度是有需求的,过大的数据量将影响空间分析效率。不利于路网模型应用的展开。对平面地图的节点进行简化,是对IFC中室内信息输出智能控制的体现。本文提出了一种地图节点简化算法,其基础是节点归一化思想,具体流程如图4所示。

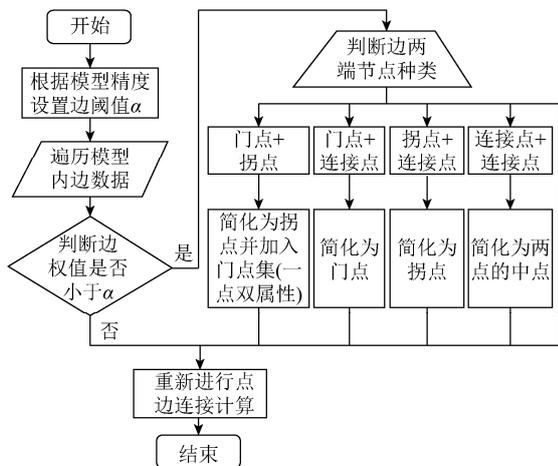
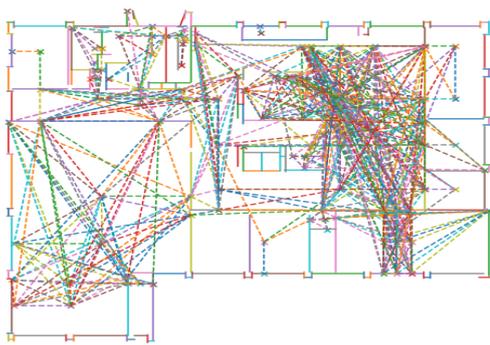


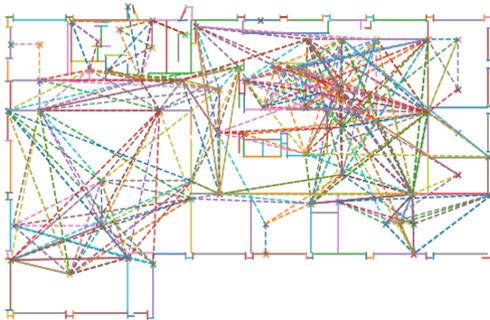
图4 节点简化流程图

本算法引入阈值 α (单位为mm)。阈值 α 的下限应大于地图内移动体的基本尺寸,如移动体为人则 α 应高于1 000 mm;上不设限,若 α 大于平面地图内最大边,则默认平面内所有节点进入分类简化。 α 值的具体设置将取决于用户对地图模型输出要求的高低,这也是对模型精度控制的体现。将 α 与平面地图内两节点间的最短距离,即边的权值进行对比,若边权值小于 α ,则两端节点需要进行分类简化。在对单层平面模型内的边数据进行遍历,选取满足条件的节点后,进入分类节点简化。

节点简化分为4类:①如果边两端为门点与拐点,将两点归一为拐点,并将该点加入门点集,即一点双属性;②如果边两端为门点与连接点,将两点归一为门点;③如果边两端为拐点与连接点,将两点归一为拐点;④如果边两端都是连接点,则将两点归一化为边上中点,4类情况外的两端节点将保留,最后对简化之后的3类点集重新进行点边连接与权值计算。图5为某单层路网模型节点简化前后对比,其 $\alpha=3\ 500\text{ mm}$ 。



(a) 节点简化前



(a) 节点简化后

图5 节点简化前后模型拓扑网络对比

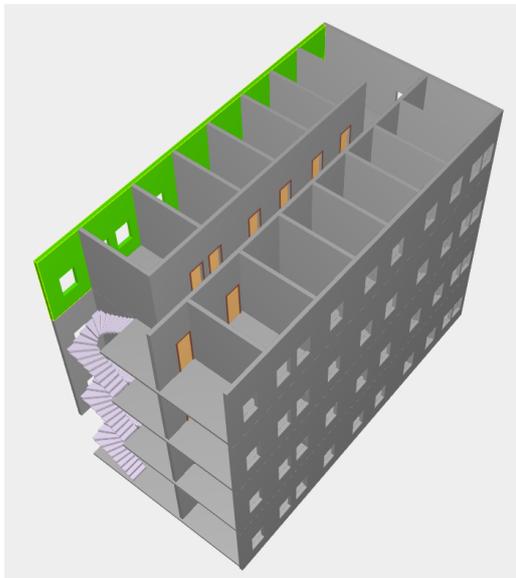
2.3 多层构建

完成平面地图后需将模型内的节点网络拓展到多层,需要建立楼层地图。本文将楼梯口或电梯口抽象为单层平面地图的终点节点,根据层数,建立纵向的建筑层关联,楼梯口作为建筑楼层过渡元素将抽象为节点,相互连接,形成室内地图模型从水平到垂直的拓扑关系。楼梯的节点提取较为复杂,由于楼梯类型多样,以及可能出现的错位和分层现象,需要对楼梯的起点和终点进行楼层划分。楼梯的类型主要分为2类:

(1) 上层和下层楼板之间楼梯是相连的,为一

个联通的整体。层间的楼梯部分只需选取 2 个节点, 即楼梯口的中点(如图 6 中 As, Ae)。边连接先通过对楼梯正面、侧面与顶面三方向投影, 然后提取外轮廓的几何中心线为边。

(2) 层与层之间的楼梯中存在隔断楼板(如图 6 中蓝框部分)。该楼板信息可以在 `IfcSlab` 中提取, 但其不属于上下任一个楼层。这种情况需要添加中间节点, 选取楼梯与隔断楼板界面为中间节点(如图 6 中 Bs, Be), 边连接方法与第一类相同。最后将平面与楼层的地图相连接, 完成立体化的多层建筑



(a) 某多层 IFC 模型

室内地图模型构建(图 7)。

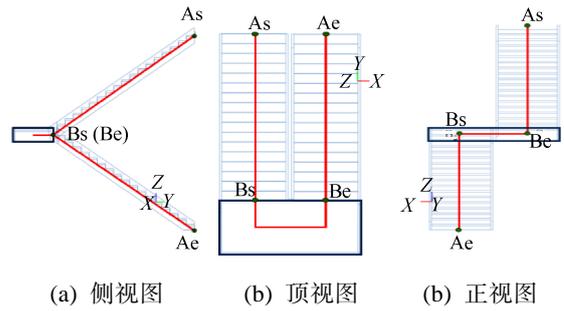
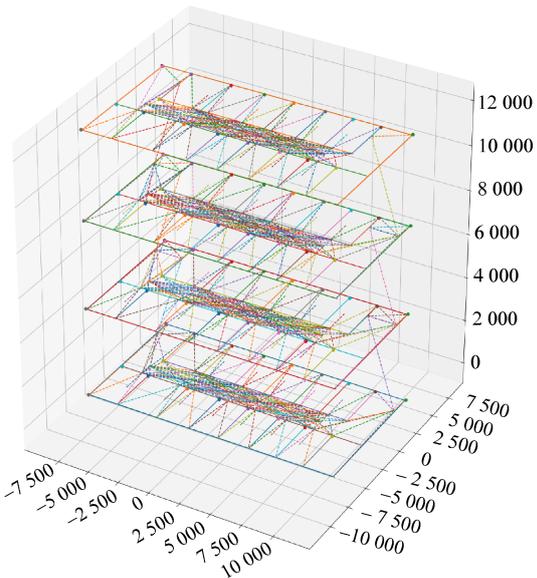


图 6 楼梯在点边选取时的正侧顶三视图



(b) 多层室内地图拓扑模型

图 7 多层室内地图模型

3 模型应用

完成室内地图模型构建后对模型进行应用试验, 可以根据实际设置需求, 选定相应的空间点作为路径规划的起点与终点, 运用迪杰斯特拉算法(Dijkstra)进行计算, 生成最短路径。该过程可任意计算一个节点到其他任意节点的最短路径, 该算法快捷有效且拓展性强。

在生成最短路径的过程中, 由于起点和终点的随机性, 首先需搜索最近范围内地图节点作为地图模型内起点与终点, 再进行路径计算。最后生成连接路径时, 在起点和终点位置会存在部分的转折, 并不是从起点到终点的最短路径。因此, 需要对当前层生成的路径进行优化。

对于当前层生成路径上的所有点, 按照路径顺序依次与起点直线相连, 若连线不穿过任何墙体时, 说明起点可以直接到达当前路径点而不经查找出的最邻近节点, 则可以优化起点至当前路径点

处, 终点算法相同。

以图 8 为例, a 为起点, e 为终点, 路径为 $a-b-c-d-e$ 。可以看出, $a-b$ 路径为冗余路径, 因此分别连接 $a-b$ 与 $a-c$ 后, 判断是否与墙体相交。可发现, $a-b$ 未与墙体相交, 因此可优化 $a-b-c$ 至 $a-c$, 新的路径为 $a-c-d-e$ 。将该优化算法应用至多层地图模型中, 最终生成立体化的最优路径。路径的可视化展示如图 9 所示, 以图中 4 层办公楼 IFC 模型为源文件, 构建室内地图模型后输入随机跨楼层起点与终点, 运用算法生成最优路径(折线)。

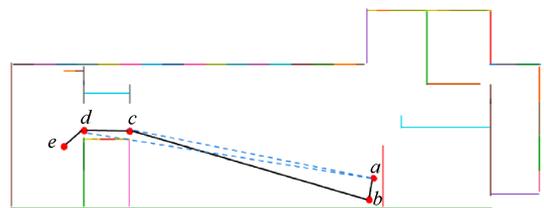


图 8 办公室平面内路径优化图

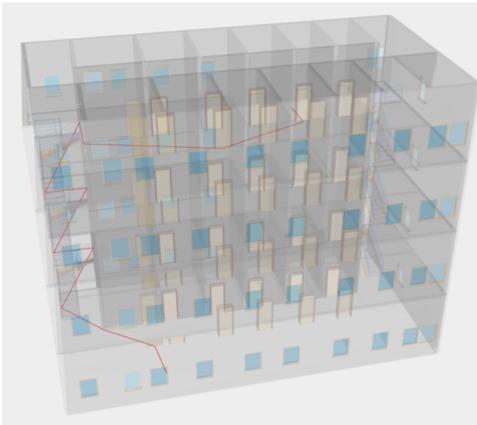


图9 模型内路径展示

4 总结与展望

面对室内空间分析研究中对于信息高精度需求与传统室内信息提取困难、信息不完整等现状、本文以 BIM 模型为数据来源,通用数据标准 IFC 为数据基础,提出了一种多层次、立体化的建筑室内地图模型的构建方法与地图模型的简化方法,并通过实验得以验证,可实现对数据模型的精度控制,提高计算效率。本文构建的室内地图模型,能为应急疏散、室内导航、机器人等智能应用提供技术与数据支持。未来丰富路网信息多样性和路网模型交互等都将是研究重点。本文的室内地图模型构建思路,同样适用于室内外管网、交通工程和道路桥梁建设管理领域。

参考文献

- [1] 李佩瑶, 汤圣君, 刘铭崑, 等. 面向导航的 IFC 建筑模型室内空间信息提取方法[J]. 地理信息世界, 2015, 22(6): 78-84.
- [2] 王婷, 池文婷. BIM 技术在 4D 施工进度模拟的应用探讨[J]. 图学学报, 2015, 36(2): 306-311.
- [3] LIN Y H, LIU Y S, GAO G, et al. The IFC-based path planning for 3D indoor spaces [J]. Advanced Engineering Informatics, 2013, 27(2): 189-205.
- [4] CHEN A Y, HUANG T. Toward BIM-enabled decision making for in-building response missions [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(5): 2765-2773.
- [5] TEO T A, CHO K H. BIM-oriented indoor network model for indoor and outdoor combined route planning [J]. Advanced Engineering Informatics, 2016, 30(3): 268-282.
- [6] 高雪, 王佳, 衣俊艳. 基于 BIM 技术的建筑内疏散路径引导研究[J]. 建筑科学, 2016, 32(2): 143-146.
- [7] 刘强, 张建平, 胡振中. 基于键-值缓存的 IFC 模型 Web 应用技术[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2016, 56(4): 348-353.
- [8] 朱亮, 邓非. 基于语义映射的 BIM 与 3D GIS 集成方法研究[J]. 测绘地理信息, 2016, 41(3): 16-19.
- [9] 徐照, 徐夏炎, 李启明, 等. 基于 WebGL 与 IFC 的建筑信息模型可视化分析方法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2016, 46(2): 444-449.
- [10] 张寅宝. 基于建筑信息模型的室内空间基础数据提取方法[J]. 地理空间信息, 2015(5): 92-93.
- [11] 施平望, 林良帆, 邓雪原, 等. 基于 IFC 标准的建筑构件表达与管理方法研究[J]. 图学学报, 2016, 37(2): 249-256.
- [12] ZHOU X P, WANG J, GUO M, et al. Cross-platform online visualization system for open BIM based on WebGL [J/OL]. Multimedia Tools & Applications, 2018: 1-16[2018-05-26]. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11042-018-5820-0>.