

密级：\_\_\_\_\_

# 浙江大学

## 硕士学位论文



论文题目 室内空间信息可视化技术研究与实践

作者姓名 于志超

指导教师 陈刚

学科(专业) 计算机技术

所在学院 计算机科学与技术

提交日期 2017.03.10

A Dissertation Submitted to Zhejiang  
University for the Degree of  
Master of Engineering



TITLE: Research and Implement on  
Indoor Space Information Visualization

Author: Yu Zhichao

Supervisor: Chen Gang

Subject: Computer technology

College: Computer science and technology

Submitted Date: 2017.03.10

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 浙江大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：

签字日期：

年 月 日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 浙江大学 有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 浙江大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期： 年 月 日

签字日期： 年 月 日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：

电话：

通讯地址：

邮编

---

## 摘要

大数据的热潮使得可视化技术得到更多的重视并得到快速发展，然而室内空间信息可视化技术的发展却显得有些滞后。与室外空间相比，室内空间的微观性，其对尺度的敏感性导致它不能将室外空间信息可视化技术照搬使用。当前虽有包括室内 GIS 技术、虚拟现实、图像识别等多种可应用于室内的室内空间信息可视化技术，但却有着应用场景单一、使用复杂、成本高昂、稳定性弱、通用性差的种种不足。

基于上述问题，本文提出了一种新的室内空间信息可视化系统，该系统以普通的室内空间平面地图为基础，依据系统定义和算法设计，构建出一套室内空间地图编辑工具，利用该工具用户可以个性化绘制矢量室内空间电子地图，并能够得到可被进一步挖掘处理的 JSON 结构的室内空间信息数据。与其它技术相比，该系统具有绘制工具轻量性、绘制过程云存储、绘制元素可搜索、绘制结果可挖掘、临摹绘制准确性高等特性。该系统的设计与实现使得室内空间信息数据的可视化变得简单易行，并能为其它技术研究提供帮助。

该工具以某大型购物中心室内空间平面电子地图为输入，成功实现了基于 web 的开发应用，通过所展示的室内空间地图表明该系统具有使用简单、成本低廉、通用性强、准确性高、复用性强等的优势。

**关键词：**数据可视化，室内空间信息可视化，地图可视化

## Abstract

Large data boom accelerated the development of visualization technology and get more attention, and the visualization technology gets rapid development. However, the development of indoor spatial information visualization technology is lagging behind. Compared with the outdoor space, indoor space has features like micro-space, high sensitivity to the scale, which can not use technology used in outdoor space. Although there are many kinds of indoor spatial information visualization technology including indoor GIS technology, virtual reality, image recognition and so on, there are many problems such as single application scene, complex use, high cost, weak stability and poor universality.

Based on the problems above, this paper presents a new visualization system of indoor spatial information, which is based on the common indoor spatial plane map, and builds a set of indoor spatial map editing tools based on system definition and algorithm design. Can be personalized drawing vector interior space electronic map, and can be further excavated JSON structure of the indoor space information data. Compared with other technologies, the system has a mapping tool lightweight, drawing process cloud storage, drawing elements can be searched, drawing results can be excavated and other features. The design and implementation of the system makes the visualization of indoor spatial information data easy, and can help other technical research.

The tool is a kind of large-scale shopping center indoor space plane electronic map as input, the successful realization of the web-based development and application,

through the display of the indoor space map shows that the system has a simple to use, low cost, versatility, high accuracy, Strong and so the advantages of strong.

**Keywords:** data visualization, indoor spatial information visualization, map visualization

# 目录

摘要 .....	i
Abstract.....	ii
目录 .....	I
图目录 .....	IV
表目录 .....	VI
第 1 章 绪论 .....	1
1.1 课题背景及意义 .....	1
1.2 国内外发展现状 .....	4
1.3 本文的工作和贡献 .....	6
1.4 本文组织 .....	7
1.5 本章小结 .....	8
第 2 章 相关技术介绍 .....	9
2.1 室内空间信息可视化技术介绍 .....	9
2.1.1 室内空间信息可视化技术概念 .....	9
2.1.2 室内空间信息可视化技术特征 .....	10
2.1.3 室内空间信息可视化技术展现形式 .....	10
2.2 基于室内 GIS 技术的室内空间信息可视化技术 .....	11
2.3 基于虚拟现实技术的室内空间信息可视化技术 .....	14
2.4 基于室内空间地图的室内空间信息可视化技术 .....	15
2.5 其他室内空间信息可视化技术 .....	18
2.5.1 基于图像识别技术 .....	18
2.5.2 基于矢量绘图工具 .....	19
2.6 室内空间信息可视化技术总结 .....	20
2.7 本章小结 .....	22
第 3 章 系统设计 .....	24
3.1 系统目标 .....	24
3.2 技术探索 .....	25
3.2.1 应用形式 .....	25
3.2.2 制图方式 .....	26
3.2.3 存储技术 .....	27

3.2.4 数据表达 .....	28
3.3 整体设计 .....	29
3.4 系统流程 .....	34
3.5 系统创新 .....	36
3.6 本章小结 .....	39
第4章 系统核心功能设计 .....	40
4.1 系统抽象 .....	40
4.1.1 基本元素抽象 .....	40
4.1.2 空间图层抽象 .....	41
4.2 数据结构设计 .....	43
4.2.1 空间元素数据结构 .....	43
4.2.2 系统状态树数据结构 .....	46
4.3 文件服务设计 .....	48
4.3.1 文件管理 .....	48
4.3.2 文件导入 .....	50
4.3.3 文件导出 .....	51
4.4 事件处理 .....	51
4.4.1 事件流 .....	52
4.4.2 事件流操作 .....	52
4.4.3 事件流处理 .....	55
4.5 核心算法设计 .....	58
4.5.1 自动对齐算法 .....	58
4.5.2 自动吸附算法 .....	60
4.5.3 撤销/重做算法 .....	62
4.5.4 元素搜索算法 .....	67
4.6 本章小结 .....	69
第5章 系统实现与实例展示 .....	70
5.1 技术实现 .....	70
5.1.1 应用功能 .....	70
5.1.2 技术选型 .....	72
5.1.3 应用架构 .....	74
5.2 实例展示 .....	76
5.2.1 输入及环境描述 .....	76
5.2.2 功能展示 .....	76
5.3 系统性能分析 .....	82



---

5.4 系统可靠性检测 .....	88
5.5 结果分析 .....	82
5.6 本章小结 .....	89
第 6 章 总结与展望 .....	91
6.1 本文的工作和贡献 .....	91
6.2 未来的研究展望 .....	92
参考文献 .....	93
攻读硕士学位期间主要的研究成果 .....	96
致谢 .....	97

## 图目录

图 2.1 基于 GIS 技术的空间信息可视化过程.....	12
图 3.1 系统整体设计 .....	30
图 3.2 系统工作流程图 .....	35
图 3.3 绘制过程流程图 .....	36
图 4.1 系统状态树 .....	47
图 4.2 文件管理模块示意图 .....	49
图 4.3 简单的 MouseMove 事件流 .....	53
图 4.4 MouseMove 事件流节流 .....	53
图 4.5 不合理的事件顺序流入 .....	54
图 4.6 事件转换 .....	55
图 4.7 绘制矩形区域的事件流处理流程图 .....	56
图 4.8 绘制矩形区域事件流伪代码 .....	57
图 4.9 自动对齐示意图 .....	59
图 4.10 自动吸附效果前后对比图 .....	61
图 4.11 系统的状态变化 .....	63
图 4.12 共享结构示意图 .....	64
图 4.13 状态记录栈撤销重做的变化情况 .....	64
图 4.14 选择性记录效果对比 .....	66
图 4.15 历史状态合并举例 .....	66
图 5.1 应用架构图 .....	74
图 5.2 应用的图层及布局 .....	75
图 5.3 查看功能 .....	77
图 5.4 绘制功能 .....	78
图 5.5 绘制过程中的辅助功能 .....	79
图 5.6 图层特性 .....	80
图 5.7 搜索功能 .....	81
图 5.8 应用导出的 JSON 文件片段.....	82
图 5.9 绘制区域数目耗时变化 .....	87
图 5.10 浏览器每帧耗时随绘制区域数目变化情况 .....	88
图 5.11 使用工具前的可视化地图（整体） .....	83
图 5.12 使用工具后的可视化地图（整体） .....	83

---

图 5.13 使用工具前的可视化地图（局部） .....	84
图 5.14 使用工具后的可视化地图（局部） .....	84

表目录

表 5.1 应用实现功能表 ..... 70

表 5.2 应用输出与输入的对比 ..... 85

表 5.3 本文系统与其他室内空间可视化技术对比 ..... 86

# 第1章 绪论

## 1.1 课题背景及意义

随着经济的发展，大型室内购物中心兴起并得到快速发展，机场、医院、仓储物流等民生建筑也变得更加庞大，室内便成了人类生活生产关系最为密切的场合，将室内空间信息可视化展示的需求也越来越大。室内空间信息可视化展示不仅有利于快速掌握室内空间信息，更是室内位置服务、室内导航服务、室内应急管理、室内疏散救援等其他服务的基础<sup>[1][2]</sup>。

对于室内空间信息可视化，目前主要有两种技术方案：一是表格式列举<sup>[3]</sup>，即以类表格的形式列举出空间实体属性信息（名称、描述等）和位置信息（楼层、方位周边设施等），这种技术最为古老，表达的空间信息最为匮乏，表现形式单一。根据这种技术表达出来的室内空间信息去探索室内空间实体的实际位置比较困难，并且这种方式无法得到对空间布局和实体位置信息整体的把握，也无法得知空间结构的拓扑结构和连通性，只能靠人脑主观地想象。另一种也是目前广泛使用的技术方案是室内电子地图可视化<sup>[4]</sup>，这种方式可以较为直观得看到室内空间的整体结构和实体的空间位置关系。利用室内空间电子地图进行室内空间信息可视化，可以分为四类：

第一类是使用室内 GIS 技术输出的电子地图进行可视化展示<sup>[6]</sup>。GIS 技术可以将室内空间信息转化为室内平面地图，并用这些平面地图来表达室内空间拓扑关系。这种方式需要研究者掌握准确的空间结构源信息，需要进行数据采集并对这些数据进行建模处理然后有效存储在空间数据库中，最后通过 GIS 技术生成室内地图进行可视化展示。这种方式对不同的室内建筑，都要搭建不同的模型和相

应的数据库。GIS 系统通常比较庞大，因此常用在国土资源管理、城市建设、环境监测及政府各职能部门，需要进行很大的改进和优化才能适用于室内环境。

第二类是使用 CAD 矢量工程图进行可视化<sup>[5]</sup>，但是这种格式的地图虽然包含了空间结构信息，但也包含了大量的噪声，并且这类地图数据文件一般体积较大，数据结构复杂，面向特定的领域，需要专业的人员使用专业的工具来对地图进行编辑使用，较强的专业性使其不具有通用性。额外的学习成本和较高的入门门槛使其无法广泛普及。

第三类是使用非矢量的室内空间平面效果图<sup>[9]</sup>。这类地图最大的问题是不支持编辑修改，缩放操作图像会失真，学者更无法拿到室内空间的连通信息。坐标信息、面积信息和边界位置等需要通过专业的工具进行测量获取，整个过程较为复杂。如果通过图像识别技术或解析专业格式的方式得到室内地图空间数据，该方案不仅局限性大，而且准确性较低。如果地图数据有误差或者准确性较低，那后续的定位和导航服务也会因为不准确而变得不值得依赖。

第四类是使用 3D 室内空间电子地图，通过 3D 地图进行可视化，虽然立体性强，用户体验好，真实性强，但是 3D 地图难于制作，并且无法通过任意视角看到空间的拓扑结构，同时对地图进行编辑修改也需要强大的专业能力。

其他的室内空间信息可视化技术有基于虚拟现实技术的室内空间信息可视化技术和基于图像识别的室内空间信息可视化技术以及通过专业制图软件手工绘制。使用虚拟现实技术构造虚拟的室内空间，用户通过可穿戴设备仿佛进入真实的室内空间，通过视觉、触觉等感官方式主动发现和体验室内空间信息。基于图像识别技术进行室内空间信息可视化是指通过计算机视觉技术，将普通的室内地图作为输入，识别出地图中具有明显特征的墙、门、窗等空间实体，然后根据识别出来的空间实体构建更好的室内空间室内地图。该技术需要高质量的图片作

为输入和较高的图像处理技术。基于图像识别的室内空间信息可视化技术需要读取室内空间非矢量地图，通过计算机视觉技术识别出图像中包含的空间元素和空间结构，进而生成个性化的矢量室内空间地图。该技术需要较强的计算机视觉技术门槛，并且识别的准确率更多的依赖非矢量地图的质量，在实际应用中具有较大的局限性。通过使用专业的绘制地图软件如 Photoshop、Inkscape 等进行室内空间矢量地图的绘制不仅工作量大绘制效率低，并且在空间实体尺寸的把握和比例的一致性上很难统一。

综合看来上述通过电子地图进行可视化技术专业性强，学习成本高，可编辑性差，准确性低，无法个性化定制并且都不能做到在线地图和地图综合<sup>[3]</sup>的特性。因此，对于研究室内空间信息可视化的学者，和基于室内空间信息可视化之上研究室内定位、室内导航、室内空间数据分析等的学者而言，迫切需要一种既简单灵活、易于简析和修改编辑，又能保持空间信息拓扑结构的准确性和空间结构的连通性的建模技术。如果可视化后的地图拥有明显的语义特性，更有利于基于语义特性进行空间数据分析。目前业界还没有这样一种室内空间信息可视化技术解决此问题，而本文提出的系统便很好地解决了这个问题。

本文结合了当前室内空间信息可视化技术发展的状况，提出了一种新的室内空间信息可视化系统。该系统对空间对象进行建模，不仅能够准确地保留空间拓扑结构信息，还能获得语义层次的室内空间信息，使得空间数据易于理解，更能挖掘出空间结构的连通信息。该技术不仅能够保留地图的所有有效信息，还极大缩小存储室内空间信息所需的磁盘空间，并提供足够强大的多次修改灵活性，个性绘制性，跨系统使用通用性和查询计算便捷性。该技术对科研人员没有任何的入门门槛，可以大范围普及和应用，不论是对致力于室内定位研究的学者还是室内导航或是室内空间数据分析的学者而言，都可以快速理解和掌握。实验证明该

技术是可行的、易行的。

## 1.2 国内外发展现状

室内空间信息可视化伴随着研究者的研究重点由室外转向室内而逐步兴起并发展,适用于室内空间信息可视化的方法有很多,其中被广泛研究和使用的有基于地理信息系统(GIS)的可视化技术、用于室内空间环境的虚拟现实技术、基于室内地图的可视化技术等。

罗杰·汤姆林森于 1967 年提出并建立了完整的 GIS 系统,用于存储,分析和利用加拿大土地统计局的数据,并被认为是 GIS 之父,Aronoff S<sup>[10]</sup>对 GIS 技术进行了详细的介绍和总结,其主要介绍 GIS 的特性和功能以及主要的应用领域。龚建华,肖乐斌<sup>[11]</sup>等人根据 GIS 技术的特性和系统输出,提出将 GIS 技术与可视化技术进行有机结合,形成基于 GIS 的可视化技术。该技术可以应用于分析空间实体的时空发展规律或推算空间实体的未来发展趋势等,同时还提供支持通过网络查询需要进一步分析的数据的查询服务。基于 GIS 技术,可以把室内空间信息数据转化为室内空间电子地图,其最终的表现形式依然是用地图进行可视化表达。

虚拟现实(Virtual Reality, VR)概念的产生和理论初步形成于 1973 年,经过不多完善和发展,应用范围也极为广泛,主要应用在娱乐、教育、艺术、军事、航空、医学、商业等方面,同时在可视化计算上也有一定的应用。虚拟现实技术可以将室内空间数据库进行可视化展示,创造了虚拟环境,人们可以感受到数据所描述的环境,体验不同室内环境的差异<sup>[7][8]</sup>。通过人与虚拟环境的交互还可分析室内空间环境的合理性和可扩展性。但是由于硬件技术的局限性和软件较低的可用性使得在实际的生产领域 VR 技术并没有得到广泛应用。

以室内空间地图进行可视化方面,近几年,提供室外地图定位及导航的各大



公司陆续推出了室内地图服务，这些服务将室内空间信息可视化成室内地图提供给用户<sup>[4]</sup>。百度室内地图已经推出了室内空间信息可视化的服务，用户可以在大型商场、机场、医院等公共场所进行体验，并且可以根据切换楼层查看室内空间。高德也相继发布了室内地图的服务支持，从北京上海等一线城市慢慢拓展到二线三线等城市；Google 推出的室内地图服务需要用户不断放大室外地图，便会有室外无缝过渡到室内环境<sup>[13]</sup>。这些室内空间信息可视化的地图虽然是矢量的，也有大量的信息标注，然而却无法对地图内容进行自由的编辑修改，由于这些地图服务提供商的面向群体是大众，想个性化展示或标注是不能够的。

CAD 工程图<sup>[14]</sup>由于是保留室内建筑空间信息的原始图，可以用来进行室内空间信息可视化。但是使用特定的工具查看和编辑 CAD 工程制图，才能够得到详细的室内空间信息，当然其中也包含了许多无用的脏数据，需要手工进行清除，有些情况下还要对 CAD 图进行空间结构调整、颜色配置、标签添加，这就要求科研工作者具有较强的工程制图技能。更重要的是这些工程制图只能应用在特定的领域。周宏亮<sup>[15]</sup>认为 web 服务的便捷性和跨平台性使得通过 PC 端和手机端 APP 或 H5 页面进行数据可视化已经是业界潮流。因此，CAD 图不能很好的应用在通过 web 服务进行可视化的领域。

Mikkel, Boysen 等人提出了一个简单的原型系统来进行室内空间信息的可视化展示<sup>[16]</sup>，该系统主要解决了两个问题：1) 通过 DBI 文件建立室内空间模型；2) 室内兴趣点之间距离的计算。该原型系统可以从 DBI 文件中提取出相关的数据，以 PostgreSQL 和 PostGIS 进行数据管理。对提取的数据进行清洗之后，构建室内空间拓扑关系，然后对构建好的区域进行规范化（将不规则的区域通过切分的方式划分为规则区域），最后对区域建立索引，并存储到数据库中。最后根据数据库中的数据按照定义的规则产生室内空间电子地图进行可视化展示。整个系统构

建较为复杂，需要很强的领域知识和专业知识，门槛较高。

在开源工具方面，可跨平台使用的矢量图形编辑软件 Inkscape<sup>1</sup>使用 W3C 标准的 SVG (Scalable Vector Graphics) 文件格式，用户可以使用该软件进行室内空间电子地图的绘制和编辑，并能够将绘制后的地图导出为矢量电子地图以供可视化展示。由于该软件不是面向室内空间绘图而设计开发，而是面向绘制普通的矢量图形，在室内空间地图绘制的便捷性和修改的灵活性上并没有突出的优势。也无法支持特定元素和空间元素特定属性的便捷查询和批量修改。其他可进行室内空间地图绘制的非开源工具有如 Photoshop、Sketch 等工具都可以进行矢量图形绘制与编辑，在室内空间地图的绘制上与 Inkscape 并无大的不同，因此这些工具也具有 Inkscape 所具有的缺陷。

针对室内空间信息可视化技术，国内外研究的重点集中在空间数据的获取和处理上，主要有人工采集、图像识别、虚拟现实等。这几种方式在实际的应用中，在人力成本上具有较大的消耗，在数据准确度上根据不同的环境有较大的偏差。

### 1.3 本文的工作和贡献

本文根据当前室内空间信息可视化技术发展的状况，提出了一种新的室内空间信息建模技术，并利用该技术进行室内空间信息可视化。目的是为那些基于室内空间信息可视化服务而进行的室内定位，室内导航，室内空间数据分析，室内路径分析研究的科研工作者提供一套正确性高，可扩展性强，上手简单，使用方便，可个性化绘制，可以跨平台使用的室内空间信息可视化工具。在此基础上，本文的贡献如下：

- 1) 本文分析了室内空间信息可视化技术的概念、特征、展现形式等，并结合

---

<sup>1</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Inkscape>

相关文献详分析了当前主流的室内空间信息可视化技术，并分析了各自技术的优缺点。

2) 引申出了本文需要解决的技术问题和解决该问题的意义，详细设计了本文提出的室内空间信息可视化系统，对关键部分的数据结构和核心算法进行了设计。

3) 完成了一个以本文提出的系统设计为依托的空间数据可视化编辑平台应用，并以某大型购物中心室内空间地图为输入，对该地图进行空间数据可视化，展示了该应用的主要功能特性，最后得到了预期的新的室内空间可视化地图，证明了本文提出的技术系统的正确性、可行性、易用性。

## 1.4 本文组织

本文一共分为六个章节，每一章节的内容如下：

第一章节介绍了本文所涉及的系统的研究背景和主要内容，阐述了国内外的的发展状况以及本系统的创新性和必要性。

第二章节分析了当前主流的室内空间信息可视化技术方案和各自的技术实现，集中讨论了当前各室内空间信息可视化技术的优缺点。

第三章节引申出了本文的要解决的问题，介绍了本文提出的新的室内空间信息可视化技术系统，分析了系统的特点和系统的创新性及亮点。

第四章主要对本文提出的系统进行详细设计与实现，包括对空间实体进行抽象，定义了一系列用户行为和必须的文件服务。对系统的核心功能进行了设计，主要包括核心部分的数据结构和算法设计。

第五章节以本文提出的新技术为依托开发出一个室内空间信息可视化编辑平台应用，并以某大型购物中心室内空间地图为输入，展示了该应用的主要功能特性。最终得到了新的室内空间地图，并与原地图进行了分析总结。

第六章节总结了本文的工作，并对未来的工作进行了展望。

## 1.5 本章小结

本章介绍了本文的研究背景和国内外课题研究的现状，提出了本文所设计系统的主要贡献及其创新之处，并给出了全文组织。

## 第2章 相关技术介绍

室内空间信息可视化目标的实现按照使用的技术，可以分为四类：基于室内GIS技术的室内空间信息可视化、基于虚拟现实技术的室内空间信息可视化、基于室内空间地图的室内空间信息可视化、其他可行的室内空间信息可视化技术。本章将围绕这四类技术的室内空间信息的可视化实现进行详细分析。

### 2.1 室内空间信息可视化技术介绍

#### 2.1.1 室内空间信息可视化技术概念

室内空间信息可视化是指运用地图学、计算机图形学和图像处理等众多技术，将空间信息进行采集输入、加工处理、查询计算、分析预测，并最终将分析预测的结果采用人类能够轻易理解的符号、文字、图像、表格、视频等众多手段进行可视化展示的技术。

室内空间信息可视化是将空间信息可视化技术应用在室内环境中。但是与室外空间环境不同的是，室内空间是相对微观的空间，其对尺度的敏感性更强<sup>[18]</sup>。室内作为人造空间，在空间结构上几何规则性很强，上下层结构类似。楼梯、扶梯、开放门的存在，使得空间的连通性较室外环境更为复杂，通路更多。很多大型商场、购物中心为了增加顾客的滞留时间，提高顾客逛店时间，将室内空间布局复杂化，无形中提高了顾客的购物时长。室内空间的实体，没有自然要素，人工设施繁多且细小，加之复杂的空间布局，这些特征导致了室外空间信息可视化的技术应用在室内环境具有一定的难度。

### 2.1.2 室内空间信息可视化技术特征

室内空间信息可视化具有如下特征<sup>[19]</sup>:

1) 交互性,是空间信息可视化技术为了方便用户能够自主发现、自主控制的进行室内空间信息的获取和学习的主要手段。交互性给了用户极大的自由度和主动权,用户可以根据自己的实际情况挖掘室内空间信息,找出自己的感兴趣的现象或规律,甚至作出对于未来的预测等。一般情况下,交互性体现在用户界面的可操作性、空间信息的可检索性等。

2) 信息表达方式的多样性,是指室内空间信息的表达方式多种表达形式多种多样,不再局限于数字和文本,更多的可以使用图像、声音、动画、音频、视频、虚拟现实等多种方式进行信息的表达。表达方式的多样性,促使空间信息可视化可以快速帮助用户获取到空间环境的主要信息。

3) 信息表达的时序性,是指由于时间的变化导致室内空间信息发生巨大变化的场景。时间维度的加入可以帮助用户了解到室内空间信息的变化状况,学习空间信息变化规律,甚至对于未来的推演也能够给予帮助。

### 2.1.3 室内空间信息可视化技术展现形式

空间信息可视化的主要展现形式分为以下几种:

1) 纸质地图,纸质地图是将地图打印在纸张上,是最原始、最传统的室内空间信息可视化表达。虽然计算机的发展使得纸质地图的表达方式显得有些没落,但是作为一种基本的可视化表达方式,特别是使用电子设备不方便和不能够的环境下,该方式是最值得信赖的。当然该方式最大的缺点是时效性的问题。

2) 电子地图,是指通过计算机或其他显示设备进行显示的存储于某种存储介质的地图。电子地图的特点是必须有相应的电子设备才能查看,但是电子地图可

以保持较高的时效性和交互性，并能够通过网络广泛传播和分享，是室内空间信息可视化最主要的表达形式。

3) 虚拟现实，是指通过虚拟现实技术，在用户没有置身于特定的空间环境下却因为听觉、视觉、触觉、嗅觉的刺激使得用户有仿佛置身于真实的空间环境之下。该技术是可视化表达的最真实的方式也是难度最高的方式。

总结以上形式的室内空间信息可视化表达方式，可以发现纸质地图和电子地图是最简单、最便捷也是代价最低的表现方式。虚拟现实却有着较好的用户体验，但成本和代价也很高昂。电子地图由于其独特的廉价性和可以短时间内广泛传播分享，方便查看等特性，是室内空间信息可视化最为主要的表现形式。

## 2.2 基于室内 GIS 技术的室内空间信息可视化技术

GIS 技术，又称地理信息系统，该技术主要为实现资源监控、环境监测、城市规划等政府职能而提出，后期通过不断的发展和优化，其应用领域也逐步扩大，主要应用在环境测绘、城市规划、交通管理、军事领域、室外地图绘制等众多领域。因此 GIS 的主流技术大多是应用在较大的室外空间，主要是因为室外空间尺度较大，地理信息随着时间存在明显的变化。通过 GIS 技术可以将可读性差的空间信息可视化展示在电脑屏幕上，使用者根据可视化表达结果方便感知到系统存在的问题、发现异常、甚至是提供决策的依据。图 2.1 是利用传统 GIS 技术进行空间信息可视化表达的主要流程：

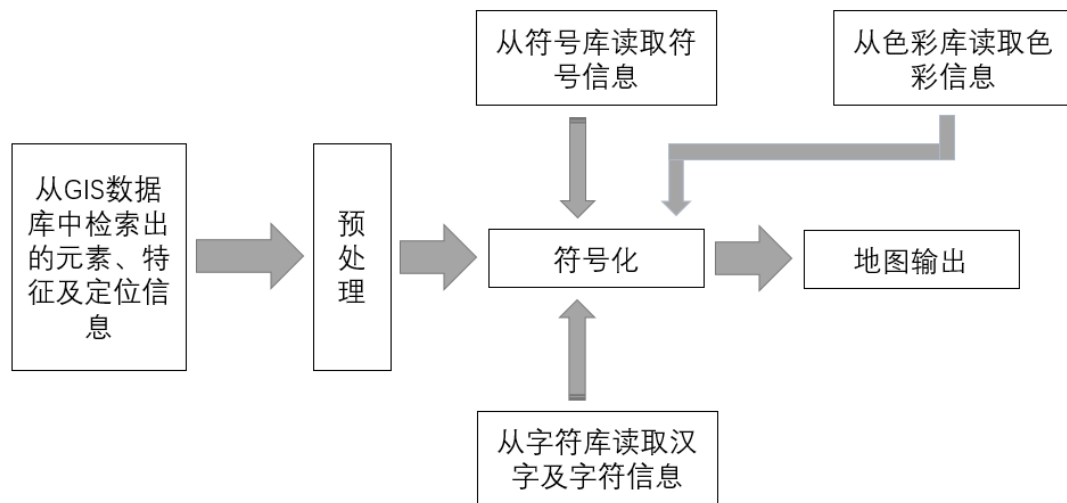


图 2.1 基于 GIS 技术的空间信息可视化过程

室内 GIS 技术与室外 GIS 技术虽很大程度上类似，但亦有不同之处。室内 GIS 系统由硬件设施、数据采集人员、应用软件、数据模型、GIS 数据库等五部分组成<sup>[20]</sup>，其实现的基础依然是建立在地理空间模型之上。而其中最重要的是 GIS 地理空间数据模型的建立和 GIS 空间数据库的搭建。室内 GIS 空间数据库需要具有处理大量数据的能力，因为空间结构较室外更加复杂，空间实体也更多。如果室内定位服务也是建立在该数据库之上，要求 GIS 数据库的动态检测时间间隔更短、精度更高、存储的数据量更大，这无疑提高了管理难度。空间数据模型一般采用适量数据模型来表示，矢量数据模型一般由点、线、面等基本元素组成，并最终用来表示空间中的独立实体。不同于室外 GIS，室内环境下空间实体受到的约束更多，如门、墙、窗、电梯、地面等多种因素的制约。室内 GIS 的数据模型主要有以下四类：建筑规划延伸模型、语义模型、拓扑模型、网格模型等。建筑规划延伸模型是面向建筑行业人员的，该模型忽略了地理空间上的属性信息，因此需要在原有模型的基础上做一点的修改才能适合室内 GIS 的应用需求。语义模型大部分是由空间本体来表示实体间的关系。但是室内环境下，地址位置因素是非常



重要的，单纯的用语义模型来描述是有所欠缺的，加入实体间的拓扑信息可以优化该模型。拓扑模型主要描述空间的拓扑结构，忽略了实体间的关联关系。网格模型是在空间实体上覆盖网格，用网格来描述空间实体信息。

室内 GIS 技术由于其对空间数据库的高要求性和研究经费的高额性，其中 Michael F. Goodchild<sup>[22]</sup>提出，要建立全球的室内 GIS 空间数据库将会花费美国 10 年 GDP 的 10%，因此国内外对于室内 GIS 空间数据库的研究相对而言较少。

Hyeyoung Kim<sup>[23]</sup>提出在空间句法模型的基础上，添加距离与时间的关系，计算空间兴趣点的可达性。该模型引入了时间的概念，认为耗时过长的路径是不可达的。Dandan Li<sup>[24]</sup>等人在 R. H. Atkin 的 Q-Analysis 理论上，利用拓扑结构延伸了 n 元的描述关系，将室内空间的结构的语义信息进行了扩展。该方法虽然将空间结构的层次上升到了语义的空间，但是却是以提高模型复杂度和计算量为代价的。Bernhard Lorenz<sup>[25]</sup>等人将室内的二维空间划分成一个个的小单元，并将其视为节点，门或者走廊是连接单元节点的边，拓扑关系构建完毕后再加入结构化且丰富的属性信息，这种做法不仅能够表达实体之间的相对关系，还能保留实体的重要的细节信息（如实体的大小、面积、距离等）。

伴随着智慧化概念的普及和智慧城市的热度持续升温，室内 GIS 也吸引越来越多人的关注，室内 GIS 与虚拟现实及物联网技术的结合使得室内空间的管理变得更加智能和高效。从海量室内人类的活动数据中挖掘出有价值的信息并进行可视化展示将是未来研究的重点。但是，室内 GIS 还有很长的路要走，其中基于室内 GIS 技术的室内空间信息可视化作为室内 GIS 中的一环，该可视化目标的实现需要搭建完整的室内 GIS 系统，该系统在数据采集、数据表达、数据转换、模型建立及数据库设计等方面仍存在较多难点。

## 2.3 基于虚拟现实技术的室内空间信息可视化技术

虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术是一种借助计算机技术及众多传感器设备,通过一定的手段,模拟出真实的自然环境或人造环境,并能够让使用者因为视觉、触觉、听觉等的刺激使人感到真实,并能够与人类进行正确的人机交互技术<sup>[12]</sup>,VR技术的核心是建模和仿真。该技术虽在上世纪80年代被提出,但最近几年才正式成为研究热点。人们通过带上包含多种传感器设备和显示设备的可穿戴设备,通过计算机技术使人感受到自己处于一个真实的有计算机生成的特殊的三维图形环境中,并且人可以通过一些行为动作来影响或改变三维图形环境,从而使人得到与在真实世界中极度相似的交互体验。

典型的虚拟现实系统包括效果发生器、实景仿真器、应用系统、几何构造系统等部分组成。效果发生器是完成人与设备进行交互的硬件接口,包括各种输出体验设备,如效果显示器、立体声耳机等,输入设备如各种传感器进行人的动作采集和交互行为采集等。实景仿真器是虚拟实现系统的核心,其任务是接受处理和发送各种数据信号和人的交互信号。应用系统是虚拟现实系统的软件部分,它主要用来根据用户行为和其他输入信息生成虚拟的具体内容,建立设备与用户的交互关系等。几何构造系统主要描述仿真对象的属性信息,这些属性信息是生成虚拟对象的必须信息,如虚拟对象的外观形状、颜色、位置等基础属性信息。

虚拟现实技术最大的优势是良好的用户体验,其真实性的感官体验是其他3D效果图无法比拟的。将虚拟现实技术应用在室内环境中可以使人不用走遍建筑的每一个角落便能感受到建筑的室内空间实体、布局、连通关系等。虚拟现实技术可以将室内空间数据库进行可视化展示,创造了虚拟环境,人们可以感受到数据所描述的环境,体验不同室内环境的差异。通过人与虚拟环境的交互还可分析室内空间环境的合理性和可扩展性。

周廷美<sup>[26]</sup>等人提出将虚拟现实技术用在家庭室内空间设计领域,通过房屋建模、家具建模、运动物理建模、室内装饰建模等一系列建模过程,经过计算机渲染和灯光渲染等众多手段得到设计的室内环境,设计人员可以实现“设计即所得,修改即所得”的效果,这样的技术应用极大提高了设计人员的设计效率,具有较强的用户体验。毛福春<sup>[27]</sup>等人提出了一种将虚拟现实技术和 WIFI 空间场强进行结合来实现室内定位的方法,该方法通过虚拟现实技术将定位的结果进行展现,使得用户仿佛置身于真实的室内环境中,定位的结果更容易让用户理解和接受。

虚拟现实系统的复杂性和穿戴设备的高价特性使得虚拟现实技术很少用于简单的可视化展示,更多是用在室内设计、建筑设计、文化娱乐等方面。

## 2.4 基于室内空间地图的室内空间信息可视化技术

室内空间地图是室内空间信息可视化表达的最常见、最主要的展示形式。室内空间地图根据媒介不同分为纸质地图和电子地图两类。二者的特性在本章的第一小节已经进行了分析。对于电子地图,根据其特性又分为普通标量地图和矢量地图。

普通标量地图也称为位图、点阵图、栅格图、像素图等,其最大的特点是图片由像素组成,缩放会失真。因此以该种形式的室内空间地图进行可视化表达的时候,如果用户有对空间地图进行缩放的交互行为时,图片的失真使得用户体验急剧下降。

矢量图,又称向量图,是根据几何特性来绘制图形,矢量可以是一个点或一条线。一个矢量图中可以包含多个分离的图像,这些分离的图像可以自由无限制的组合,使得矢量图可以表达多种类型的图像。矢量图的特点是放大后图像不会失真,和分辨率无关,因此矢量图一般用在图形设计、LOGO 设计、海报设计、板

式设计等设计领域。当采用地图进行可视化表达时候, 缩放行为是不可避免的, 因此采用矢量图进行室内空间信息可视化表达已经成为学者研究的共识。

针对矢量室内空间地图, CAD 工程图和 SVG 地图是最为常见的地图形式。

(1) CAD 的全名是 Computer Aided Design 即计算机辅助设计。现在大楼的建设之前都会通过 CAD 技术进行大楼空间结构设计, 施工方根据建筑图纸进行建设。相比于非矢量图, 矢量图的最大特点就是缩放不失真, 即能够在保持图像质量的情况下进行缩放。

矢量图是根据几何特性来绘制图形, 矢量可以是一个点或一条线。一个矢量图中可以包含多个分离的图像, 这些分离的图像可以自由无限制的组合, 使得矢量图可以表达多种类型的图像。矢量图的特点是放大后图像不会失真, 和分辨率无关, 因此矢量图一般用在图形设计、LOGO 设计、海报设计、板式设计等设计领域。CAD 工程图也是矢量图, DWG 格式是 CAD 默认的文件类型。通常情况下每栋建筑都会有它自己的 CAD 矢量图, 可以利用相应的软件将这种矢量图转变为位图。

DXF-Drawing Exchange File(图形交换文件)是 Autodesk 公司开发的用于 AutoCAD 与其它软件之间进行 CAD 数据交换的 CAD 数据文件格式。DXF 作为开放的矢量数据格式, 可以分为两类: ASCII 格式和二进制格式; ASCII 优点是可读性好, 缺点是占有空间较大; 二进制格式优点是占有空间小、读取速度快, 缺点是可读性差。DXF 文件是由“数据对”构成的<sup>[28]</sup>。这里的“数据对”是有“代码”和“值”组成的, 代码亦称“组码”(group code)。DXF 文件有着严格的数据格式, 整个文件由多个段组成, 每个段由组码和值组成。严格的文件格式使得 DXF 文件具有较高的可读性, 用户可以对它进行编辑修改, 软件生成, 从而达到间接修改地图的目的。

(2) SVG 即 Scalable Vector Graphics, 可缩放的矢量图形。它是基于 XML

(Extensible Markup Language), 由 World Wide Web Consortium (W3C) 联盟进行开发的, 是一种开放标准的矢量图形语言, 可以用来设计高分辨率的 web 图形页面<sup>[29]</sup>。有了 SVG, 用户就可以直接用代码来绘制图形。SVG 图像可编辑性强, 可以使用文字处理工具打开 SVG 图像并进行修改和保存。HTML5 中包含了 SVG 标签, 支持将 SVG 文件嵌入到浏览器中进行查看。SVG 图形是可交互的和动态的, 可以在 SVG 文件中嵌入动画元素或通过 JavaScript 脚本来自定义动画。

SVG 格式提供了目前网络流行的 GIF 和 JPEG 格式无法具备的优势: 可以任意放大图形显示, 但绝不会以牺牲图像质量为代价; 可在 SVG 图像中保留可编辑和可搜寻的状态; 平均来讲, SVG 文件比 JPEG 和 GIF 格式的文件要小很多, 因而下载也很快。综合看来, 使用 SVG 的优势在于:

- 1) SVG 是可伸缩的, 具有矢量性, 缩放不失真
- 2) SVG 可被非常多的工具读取和修改
- 3) SVG 图像可在任何的分辨率下被高质量地打印
- 4) SVG 与 JPEG 和 GIF 图像比起来, 尺寸更小, 且可压缩性更强。
- 5) SVG 文件是纯粹的 XML
- 6) SVG 图像中的文本是可选的, 同时也是可搜索的
- 7) SVG 是开放的标准
- 8) SVG 可以与 Java 技术一起运行

目前主流浏览器都支持在浏览器中直接嵌入 SVG 标签, 可以通过 SVG 标签和其图形对象, 在浏览器环境中画各种复杂的图形, 包括平面地图等。通过 SVG 格式地图进行可视化与其他格式地图相比, 具有较大的优越性, 也受到越来越多人的青睐。

通过矢量空间地图进行室内空间信息可视化, 各地图服务提供商早已进行

了尝试，以百度地图为例。百度室内地图展现的过程是将室外地图放大到一定的比例后，就可以无缝展示室内地图状况，包括楼层的选择和切换。由于室内信息较室外粒度更细，要求形状和边缘位置等信息更加精确，室内空间相对狭小，因此要求室内信息可视化精度要更高。所以，室内空间信息可视化最重要的一环是数据采集。百度室内地图数据采集的过程是通过人工现场采集的方式或从其他室内地图数据提供商如点道、图渊、寻鹿等处获取。该方式获取的数据存在以下特点<sup>[21]</sup>：一是数据获取周期长，通过人工采集的方式需要耗费很长的时间，精度无法保证；二是更新滞后性，如果室内空间信息发生改变，由于可能空间数据需要重新采集和更新。

张兰<sup>[4]</sup>等人分析了室内空间地图设计和生成过程中需要注意的主要问题，尤其对空间实体的抽象和模型定义需要引起关注。考虑到室内空间不同于室外，张兰等人认为在设计地图的过程中需要考虑到室内空间对认知的影响。考虑到室内地图信息的密度高，使用简单灵活的数据结构进行存储和表达可以更有效的进行室内地图信息的传递。

## 2.5 其他室内空间信息可视化技术

### 2.5.1 基于图像识别技术

Rybski 等人提出新的室内信息可视化技术<sup>[17]</sup>，该技术核心是利用图像识别等计算机视觉的技术，具体是首先通过可移动机器人不断拍摄室内照片的方式来增量地构建室内地图空间结构图片库，该过程可视为数据采集。机器人上需要安装有全景摄像头，然后按照预设好的路径行进并拍下路径上的照片，接下来后台服务程序提取照片中的图像特征来构建室内空间结构模型。该方法虽具有较强的通

用性,可以在不同的室内环境下进行构建工作,与其他技术相比,在理想环境下,该技术具有较高的准确性,但是在现实情况下,特别是不同光照强度下,该技术对室内空间实体识别的正确性有着很大的不同,稳定性无法保证。其中机器人和全景摄像头设备的加入,提高了实际应用的成本。

Plans A F<sup>[30]</sup>通过图像识别和分析处理技术,将普通的室内空间图片作为输入,识别出空间中的墙、门、窗体等具有明显特征的空间结构,并根据识别出的结果构建房间实体的边缘最后生成三维室内空间结构。该论文提出的方法在预处理的时候会过滤掉房间内部的实体,对一些具有特殊结构的空间实体是无法识别出来的。该论文提出的算法对图片的质量要求较高,如果图片中含有大量的噪音点,会大大降低识别的准确率。

### 2.5.2 基于矢量绘图工具

使用专业的绘图工具进行绘制矢量室内空间地图,并以该地图进行室内空间信息可视化展示是一种被使用过也是行得通的方法。**Inkscape** 是一款开源的、可跨平台使用的矢量图像编辑软件。该软件基于 **SVG** 文件格式,可以通过多种空间元素的绘制并导出为 **SVG** 格式的矢量空间电子地图。该工具主要提供包括画布浏览、图形选取和绘制、群组管理、图形填充与轮廓、图形对齐和叠放等多种功能。具体表现为:

画布浏览: 该软件提供基本的画布移动、缩放、平移操作,也支持绘制图形的缩放编辑、旋转操作等。多种绘制图形的支持和基本的交互行为可以拓展用户绘制元素的多样性,使得绘制的室内空间地图真实性更强。

图形选取和绘制: 用户可以使用该工具绘制矩形、圆角矩形、圆形、椭圆形、弧形、星形、多边形、螺旋形等多种图形。用户选择相应的图像按钮后就可以绘

制对应的图形，并支持绘制后的修改。

群组管理：用户可以将多个绘图对象组合为一个群组，使得用户可以对这个群组进行批量管理，包括移动和变换等。

图形填充与轮廓：该软件提供为绘制的图形进行颜色填充的功能，这样可以为不同的图形填充不同风格的颜色和轮廓，使得绘制的空间元素可以有明显的区分。

图形对齐和图层叠放：该软件抽象了图层的概念，不同类型的对象可以分布在不同的层次中，某个对象可以覆盖在其他对象之上，也可以置于其他对象之下。此外，多个选中的图像可以按照一定的规则进行对齐，如水平等间距分布、中心水平对齐等。图形对齐可以使得空间元素摆放整齐，富有条理，图层叠放可以体现空间元素的层次性，给用户更好的可视化感官。

总体而言，使用 **Inkscape** 工具可以绘制出一个较为真实的矢量室内空间电子地图，但是该工具不能提供智能搜索、批量修改、在线编辑和存储和多用户合作等实用功能。并且在用户交互、坐标关系、空间关系表达上都有欠缺。虽然该软件可以导出 **SVG** 格式地图，但是无法针对该地图进行空间拓扑结构分析和空间实体可达性分析，这也是该软件不能很好地用于室内空间信息可视化地图的绘制上的原因。

其他地图编辑和绘制工具如 **Adobe After Effects**、**SVGDeveloper**、**Photoshop**、**Sketch** 等绘图工具可以自由的绘制室内空间地图，但其具有与 **Inkscape** 相同的局限性，无法广泛用于室内空间信息可视化地图的绘制。

## 2.6 室内空间信息可视化技术总结

室内空间信息可视化技术虽有多种，但各有优劣。在用户体验中最优的是基



于虚拟现实技术的室内空间信息可视化。虚拟现实系统的搭建和维护以及相应的物理设备的代价较为高昂,使得该技术无法普及,因此该技术主要应用在设计领域和娱乐等方面。利用虚拟现实技术进行可视化,不论在实现上还是便捷性上都面临巨大挑战。

基于室内 GIS 技术的室内空间信息可视化技术需要用户搭建庞大的系统,并且需要进行数据采集、处理、存储、查询转化、符号表达、地图输出等一系列操作。该方法虽然可行,空间数据的采集、空间数据库的管理与维护等都需要额外的人力成本, GIS 数据模型的设计要求学者具有较强的专业理论基础。室内 GIS 系统最后需要生成电子地图进行可视化表达,对于这样的地图如何共享使用在别的应用中是室内 GIS 技术需要解决的问题。

矢量电子地图的便捷性使得其成为室内空间信息可视化展示的最主要的形式。使用 CAD 工程图进行室内空间信息可视化,由于 CAD 工程图格式的原因,只能通过相应的专业工具进行查看,这种局限性使得在“互联网+”的大潮中,无法通过移动设备进行方便的查看。CAD 工程图的文件体积较大,对网络的传输也造成了一定的压力。与 CAD 工程图相比, SVG 格式地图有着巨大的优越性,在网络化的今天,将 SVG 地图嵌入浏览器中,用户可以随时随地通过移动设备进行访问, SVG 的矢量特性和可交互特性又可以为用户提供较好的交互体验。

通过图像识别技术构建室内空间结构地图需要较高的图片质量和较高的计算机视觉技术,该技术在识别的结构是构建室内空间的房间轮廓,对一些特征不明显的空间实体是无法进行识别和标注的。

通过专业的绘图工具进行室内空间地图的绘制,该技术虽可行,但却要解决空间实体比例协调一致的问题,和绘制出的空间地图无法进行数据分析和空间实体可达性分析等问题。

地图综合<sup>[3]</sup>是指在实际情况下,用户对地图不同的缩放等级需要展示不同尺寸的地图。例如需要查看一个城市位置的时候,该城市可能只以一个点的形式存在国家地图中,而如果要查看城市中的某条街道时,呈现给用户的可能是街道的详细信息和街道两边的建筑状况,此时可能无法看到整个城市的轮廓。因此不同的缩放等级,呈献给用户的信息是不同的。如何在不同的缩放等级下对需要展现的信息进行筛选和过滤是地图综合需要研究和解决的问题。如何根据具体的应用和使用场景,结合地图本身的特点,可视化最重要的地图信息给用户,并保持这些信息能够美观、清晰的呈现给用户,是地图综合研究中面临的主要挑战。可以发现基于 GIS 技术的室内空间信息可视化技术、基于虚拟现实的室内空间信息可视化技术和 CAD 工程图及通过专业绘图工具手工绘制的地图都无法解决地图综合的问题。

可以总结发现,不论是主流的室内空间信息可视化技术方案或是基于图像识别等技术进行的室内空间信息可视化技术方案,无法满足信息传播网络化、信息获取移动化、用户设置个性化、产品更新快速化等特性。更无法将可视化结果作为输入提供给更高层次的室内定位、室内导航、室内空间数据分析等研究作为基础服务。本文题目的引出便为了解决这样的室内空间信息可视化技术难题。

## 2.7 本章小结

本章节主要进行对本系统所需要的相关技术的背景知识进行调研,主要分成了六个部分,首先室内空间数据可视化技术进行了介绍,然后分别围绕基于室内 GIS 技术的室内空间信息可视化技术、基于虚拟现实技术的室内空间信息可视化技术、基于室内空间地图的室内空间信息可视化技术进行了分析,并综述了相应的技术实现。然后分析了其他室内空间信息可视化技术,最后对本章提出的技术

方案进行了综合的优劣分析。

## 第3章 系统设计

### 3.1 系统目标

根据上一章节的相关技术分析可知，互联网时代下，使用矢量电子地图的表达方式进行室内空间信息可视化展示是最便捷也是使用最广泛的表达方式。然而这些室内空间信息可视化技术，都伴随种种不足，具体表现为：

- 1) 高学习成本，如室内 GIS 技术，基于图像识别的技术，基于虚拟现实技术。
- 2) 高物理设备成本，如虚拟现实技术。
- 3) 低开发效率和准确率，如使用专业矢量图像编辑工具等。
- 4) 无法查询搜索，如基于图像识别的技术，基于虚拟现实技术，专业矢量图形编辑工具等。
- 5) 技术产出功能单一，现有的技术在除虚拟现实技术外，都是电子地图，技术产出只具有简单的可视化展示功能，不能将得到的室内空间信息进一步挖掘与应用。虚拟现实技术的产出更多的是感官体验，无法网络传播和分享科研。

如何克服当前室内空间信息可视化技术在实际应用上的弊端，并且能够在可视化展示室内空间信息的同时将室内空间信息进一步挖掘应用在室内定位、室内导航等科研领域，是本文需要解决的问题。

针对本文要解决的问题，基于当前室内空间信息可视化技术的调研分析和应用上的弊端，和研究室内定位、室内导航技术对室内空间结构信息的需求，提出一种新的室内空间信息可视化系统，该系统为多种技术的综合体现，其主要目标为：

- 1) 系统轻量，无需下载安装便可在任何计算机操作系统中使用。

2) 低使用门槛和学习成本，却有高开发效率和准确率。

3) 支持数据实时云端存储，无数据丢失风险。

4) 支持对空间实体的查询搜索。

5) 能够输出高质量的矢量室内空间电子地图。

6) 能够输出格式化的室内空间实体的空间信息，该信息可以被进一步用于空间实体间可达性分析、路径分析等高阶研究。

本文室内空间信息可视化系统的设计与实现将极大方便室内空间信息可视化和室内空间定位、导航等技术的研究。

## 3.2 技术探索

针对第一小节中提出的系统目标，本小节将分别从应用形式、制图方式、存储技术、数据表达等四个方面对相关技术进行探索。其中应用形式部分是为了实现第一条技术目标，制图方式部分是为了实现第二条技术目标，存储技术部分是为了实现第三条技术目标，数据表达是为了实现第四、五、六条技术目标。

### 3.2.1 应用形式

C/S (Client/Server) 架构和 B/S (Browser/Server) 架构是当前软件发布的主要形式。为实现第一条技术目标，系统采用 B/S 架构进行设计。纵观现有的室内空间可视化技术方案，都没有选择以浏览器作为电子地图的获取方式，其原因在于：

1) 方便用户能够在无网络情况下使用。

2) 利用系统硬件优势，提高软件响应速度，为用户提供流畅的交互性。

3) 面向宽领域，没有为室内空间专门开发。

4) 绘制功能强大, 计算量大, 高级操作需要消耗大量计算机资源, 而浏览器无法满足。

办公移动化, 应用 web 化已经是互联网环境下应用开发的趋势, 实现基于 B/S 架构的矢量地图绘制工具, 可以充分利用 B/S 架构的优势, 使得软件真正可以跨平台使用, 并将复杂的计算置于浏览器端, 降低对客户端系统性能的要求。要实现 B/S 架构的矢量地图绘制工具, 需要科学的数据结构设计和高效的绘制状态管理控制, 设计高效的算法, 充分利用浏览器提供的资源, 提供流畅交互体验。详细设计在第四章进行阐述。

### 3.2.2 制图方式

根据 CAD 工程图绘制电子地图和通过矢量地图绘制工具绘制电子地图是两种最主要的制图方式。“工程制图”是一门专业基础学科, 绘图者需要制图基本知识、技能、绘图理论、空间投影、图样表达、构型设计等多种专业技能, 同样的解读与分析 CAD 工程图也需要强大的专业技能和 CAD 领域基础知识。通过解读 CAD 工程图然后通过矢量地图绘制工具绘制室内空间电子地图的方式需要使用者具有较高的领域专业知识。通过使用矢量图绘制工具进行绘制室内空间电子地图, 即使在空间比例得到保证的情况下, 也需要绘制者有丰富的软件使用经验。

“以图制图”的制图思路虽然不是第一次提出, 但却没有被学者应用到室内空间矢量电子地图的获取上。“以图制图”是指根据已有的低质量图片获取高标准高质量要求的图片绘制过程。“临摹制图”是“以图制图”的一个具体实现, 其原理是将目标画板置于源画板之上, 通过合适的透明度设置, 使得层级高的画板能够看清层级低的画板的纹理和线条。新的地图将产生于层级高的画板之中。

“临摹制图”的绘图方式, 完美的解决了第二条技术目标。“临摹制图”对绘

图者没有任何的技术要求，只需要按照绘制规则进行临摹绘制即可得到比例统一、还原度高的新室内空间地图。

### 3.2.3 存储技术

实时存储技术主要分为实时本地存储和实时网络存储两种技术方案。实时本地存储是将应用数据实时保存在本地，根据不同的技术方案，实时本地存储又分内存存储和缓存存储两种。内存存储是将数据存于计算机内存中，在用户进行保存操作时，将内存中的数据写到磁盘文件中；缓存存储技术使用临时文件，将用户数据实时保存到缓存文件中，当用户执行保存操作时，系统将缓存文件中的数据写入到磁盘文件中。两种实时存储技术对网络情况没有任何要求，实时存储速度快且稳定。但是在突然断电情况下，内存存储技术会导致数据丢失且不可恢复，缓存存储技术却可以根据临时缓存文件恢复数据，但也存在缓存内容来不及写入缓存文件而导致该部分数据丢失的情况。实时本地存储给用户个人系统造成额外的负担和磁盘消耗。

“实时网络存储”虽说实时，却存在较大时延，该技术是通过设置定时器的方式，在定时器出发时，将应用数据通过网络的形式发送到远程服务器中进行保存，因此该技术依赖于稳定的网络连接。因为定时器的存在，该技术在实际上会有一段时间内的数据没有“实时”保存。实时网络存储将数据的处理和存储压力放在远程服务器上，虽减轻了用户个人计算机的处理负担和磁盘空间需求，但也存在用户数据安全性、网络状况异常导致无法保存等问题。

基于“应用形式”部分对 B/S 架构的选取，因此用户可以在任意带有浏览器、可以连入互联网的终端上使用本系统。例如台式机、笔记本、智能手机和平板电脑。而若采用本地存储的方式，用户虽然能够在多个终端上使用本系统，却不能

跨终端的访问自己创建的地图文件，大大降低了本系统的灵活性。此外，云端存储还便于地图文件的共享。用户在共享文件时无需再进行文件传输，而只需要在服务器端共享文件的访问权限即可。这在企业用户中更为重要，能够大大提升协作办公的效率。最后，采用云端存储技术还有扩展性高的优势，特别是对于小容量的智能手机和平板电脑用户，随着绘制的地图数量增加，势必会对存储容量造成一定压力。而云端存储有着便于扩展的特性，可以根据用户需要分配存储空间，减轻了用户的使用负担。因此在云端建立文件服务功能，对用户绘制信息进行存储和管理会给用户带来极大的工作便利性。

### 3.2.4 数据表达

基于射频识别、红外线、超声波、蓝牙、WiFi 指纹等室内定位和导航技术分别是基于室内空间位置点和位置点间可达性的研究与探讨。将室内空间置于坐标系中是常用的室内空间研究方法。将室内空间坐标化之后，室内定位即获取位置点在室内空间的坐标，室内导航即研究室内空间两个位置点之间可达性和最短路径的问题。因此室内定位及导航技术的研究需要室内空间实体的空间信息，并对这些空间信息数据进行区域邻接性判断、位置点所在区域计算、区域可达性判断、位置点间距离计算等一系列处理。为了获取室内空间信息数据，科研工作者更多的通过图像识别技术将室内空间建模处理，识别出空间中的门、墙、区域等特征明显的空间实体。然后根据地图像素信息建立坐标系计算空间实体的坐标信息，最后根据获取的空间信息数据进行室内定位及导航的技术研究。

当前室内空间信息可视化技术的输出除了矢量空间电子地图外，并没有为其他研究室内空间相关技术的学者提供帮助，导致可视化研究与其它室内空间技术研究脱节。实际上，在获取室内空间电子地图的过程中，室内空间信息已经包含



在地图中，但是这些信息并没有格式化保存下来无法读取。技术目标四、五、六便是在绘制过程中能够将室内空间信息格式化保存下来，为其它科学研究提供数据源。

JSON 数据结构可以方便的通过异步请求在客户端和服务端进行传递，并且易于解析、读取、序列化，考虑到“应用形式”部分对 B/S 架构的选取，将室内空间信息数据转化为 JSON 结构的数据并进行存储和表达，不仅能够通过反序列化重新室内空间电子地图，更能把这些数据传递给其它研究室内空间的服务进行使用，极大释放了他们室内空间信息获取的工作量。

### 3.3 整体设计

通过上文的技术探索，针对本文要解决的问题和技术目标，定义本文设计的系统实际上是对空间实体建模并构建一套灵活易用的能在 web 浏览器中使用的空间结构编辑工具。该工具作为一种 web 应用，可以根据已有地图产生新的矢量地图，而此新地图是通过手工基于原始地图临摹而成，在临摹的过程中保存了室内空间实体的位置信息、相对位置信息及拓扑信息，去除了不需要的脏信息，并将这些信息建模保存到 JSON 数据中。该工具产生的新的矢量电子地图可以灵活应用在 web 页面中或其他 web 应用中，产生的 JSON 数据文件包含了室内空间复杂的实体间关系，可以通过该数据文件还原室内空间地图，也可以通过该数据文件分析空间结构的连通性、空间实体间的可达性。该系统的整体设计如图 3.1 所示：

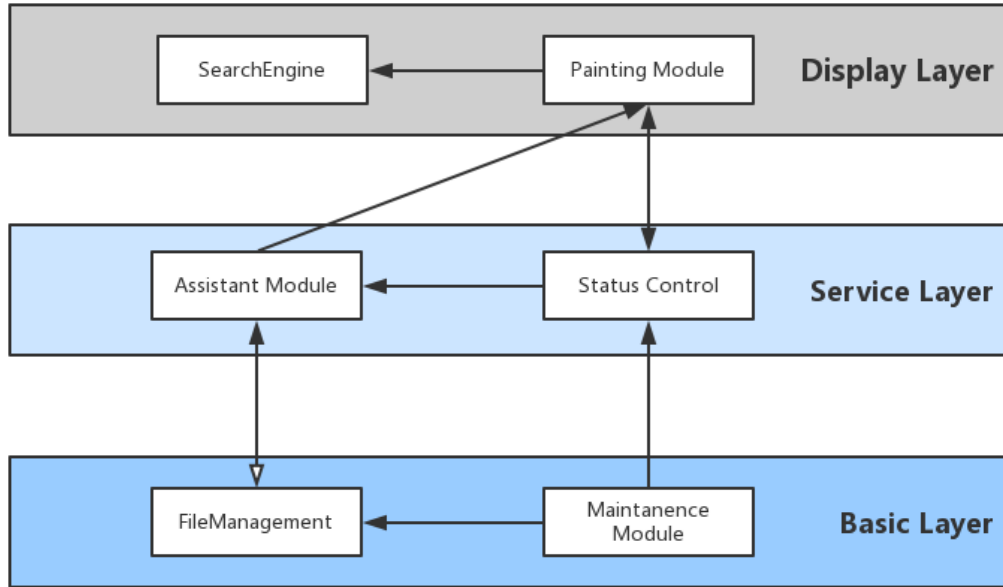


图 3.1 系统整体设计

通过图 3.1 可以发现，整个系统划分成三层六个模块，分别是 Display Layer（展示层）、Service Layer（服务层）、Basic Layer（基础层）。

Display Layer 主要负责展示绘制内容和搜索绘制内容，该层主要包括 Search Engine（查询搜索模块）、Painting Module（绘制模块）两部分。

Service Layer 作为中间模块，是 Display Layer 与 Basic Layer 进行信息交换的桥梁，其主要功能是辅助绘制和绘制状态控制。该层包括 Assistant Module（辅助功能模块）、Status Control（状态控制模块）。

Basic Layer 是系统的基础层，主要负责文件相关操作和维护系统正常运行，该层包括 File Management（文件管理模块）和 Maintenance Module（系统维护模块）。

下面对系统中的六个模块进行详细分析：

1) File Management，该模块主要包括用户管理、文件夹管理、文件管理等三

个子模块，用户拥有文件夹和文件，文件和文件夹互相映射。该模块与绘制模块进行信息交流，交流的内容是用户绘制好的空间元素信息。用户绘制模块绘制的内容可以通过保存操作影响文件管理模块，绘制模块也可以通过打开操作读取文件管理模块的有关内容。该模块主要有以下功能：

文件导入：指从用户账户中导入地图文件或从用户本地文件系统中导入地图文件或之前系统导出过的文件，开始或继续绘制工作。

文件导出：将用户绘制的室内空间元素信息以 SVG 矢量地图的形式保存到本地和将用户绘制信息转化为室内空间信息数据以 JSON 文件的形式保存在本地。地图文件以 SVG 格式导出可以将绘制的地图使用浏览器直接打开查看或引入其他 web 应用中作为基础服务。地图信息以 JSON 数据进行导出是因为 JSON 数据格式的巨大优越性，可以方便地通过异步请求在客户端和服务端进行传递。JSON 数据结构易于解析和读取，便于室内空间数据分析的学者对 JSON 数据进行解析分析，进一步探索空间实体的拓扑结构和连通信息，利于进行室内定位、室内导航的研究。该结论的论证具体请参阅第四章中数据结构设计小节。

文件保存：用户绘制的室内空间元素信息以 SVG 矢量地图的形式保存到用户账户目录下和将用户绘制信息转化为室内空间信息数据以 JSON 文件的形式保存在账户目录下。

2) **Painting Module**，该模块是绘制功能的主要管理模块，主要用来绘制多种空间实体，该模块主要与 **Assistant Module**、**Status Control**、**Search Engine** 进行信息交流。在绘制过程中，用户需要 **Assistant Module** 辅助绘制，**Assistant Module** 为 **Painting Module** 提供绘制辅助线和绘制提示信息等辅助信息，帮助提升绘制效率。同时绘制的状态需要 **Status Control** 进行状态管理和控制，它们之间互相传递绘制状态控制字段，统一的绘制状态控制字段可以避免绘制状态的混乱。**Painting**

Module 为 Search Engine 提供查询的数据源，供 Search Engine 进行搜索显示。该模块主要有以下几种功能：

元素抽象与绘制：将空间实体抽象为空间元素，便可以将空间中实体符号化，符号化的空间实体方便进行空间拓扑结构的计算和实体间位置关系的计算。符号化空间实体，也可以为其他室内空间技术研究提供源数据。

地图标注和地图综合：是室内空间信息可视化技术发展面临的挑战，根据不同的缩放比例展示不同尺度的室内空间信息是决定交互体验好坏的重要参考点之一。与其他技术相比，系统可以通过脚本和地图当前的缩放比例，实现地图标注和地图综合，使得地图的表现不是一成不变的，而是根据用户的不同行为有着不同的表现。

语义区域标注：空间区域使用语义标签进行标注，使得空间实体具有较强的语义特性而不单单具有形状、大小、面积等基础的物理属性。语义特性的加入，为空间数据分析提供了极大便利，根据语义特性更容易分析出用户行为特性。

事件处理：该功能是 Painting Module 最重要的、最复杂的功能之一，主要是处理复杂的事件流，保证绘制的有条不紊，具体在下一章节中进行阐述。

3) Search Engine，主要用来满足用户对绘制内容的条件检索，该模块需要绘制模块提供数据源作为输入。该模块的主要功能是搜索，即从用户当前绘制的空间信息中搜寻符合搜索条件的元素进行特殊显示，呈现给用户。

4) Assistant Module，主要用来提供绘制的辅助功能，包括自动对齐、自动吸附、快捷键操作等。该模块主要与 Painting Module 进行交互，为 Painting Module 提供绘制辅助信息，提升绘制效率。自动对齐算法、自动吸附算法的设计与实现是本模块的重要组成部分。

方向限制：限制用户在绘制过程中只能水平绘制或垂直绘制，该功能在用户

需要绘制严格的水平或垂直对齐的空间元素很有帮助。

绘制预览：保证用户在绘制的过程中能够实时看到自己当前已经绘制的元素的状态，方便用户根据已有绘制状况进行下一步的绘制或回退到上一步的绘制状态。

自动对齐：在用户的过程中，以绘制辅助线的形式提示用户当前位置与已有绘制元素位置的邻近关系，为用户绘制元素与已有元素需要对齐是提供帮助。

快捷操作：快捷键的存在是提高用户工作效率的重要因素，与大多数软件或系统一致，本文系统中为用户提供快捷键操作的功能，用来提升用户绘制地图的效率。

5) **Status Control**，该模块主要对全局的绘制状态、地图的显示状态、绘制内容的记录与更改提供帮助，因此主要与 **Painting Module** 和 **Assistant Module** 进行交互，该模块为 **Painting Module** 提供绘制状态字段，为 **Assistant Module** 提供辅助状态是否开启和开启怎样的辅助功能等状态控制字段。**Status Control** 主要有以下几种功能：

图层控制：控制各图层显示状态，具体请看下一章节的阐述。

绘制常量：定义和维护绘制空间元素的通用常量，这些常量通常表现为多种空间元素的共有属性。

辅助设置：定义和维护 **Assistant Module** 的功能。

6) **Maintenance Module**，该模块主要用来保障系统在遇到各种不利情况下依然能够稳定运行，该模块主要与 **File Management** 和 **Status Control** 进行信息交流，该模块主要有以下几种功能：

权限控制：不同登录用户对同一文件具有不同的访问权限，权限控制保证登录的用户对正确的文件具有正确的操作访问权限，严格控制越权操作行为。

错误处理：用户绘制过程中总会出现多种难以遇到的异常，如断电、宕机、系统崩溃、网络异常、权限错误、绘制错误、错点关闭等情况，错误处理功能能够友好地处理这些异常情况，保证应用的正常使用。

实时存储：用户在绘制过程中实时将绘制结果通过网络保存在云端服务器中，保证即时用户在忘记保存或其它原因导致不能及时保存的情况下，绘制数据不会丢失或仅丢失很小的一部分数据。在用户下次打开保存的绘制文件时，能够继续绘制。

根据系统设计，确定系统使用的流程为：用户通过浏览器访问 web 应用，可以登录个人账户，打开文件服务器中已有的地图文件进行绘制或导入本地新的室内空间地图到个人账户空间进行绘制，室内空间地图绘制完毕后可以导出到本地 SVG 地图或 JSON 文件或保存到云服务器上以便后续继续进行绘制或查看。

### 3.4 系统流程

根据上一小节中对系统整体的设计，设计系统工作流程如图 3.2 所示：

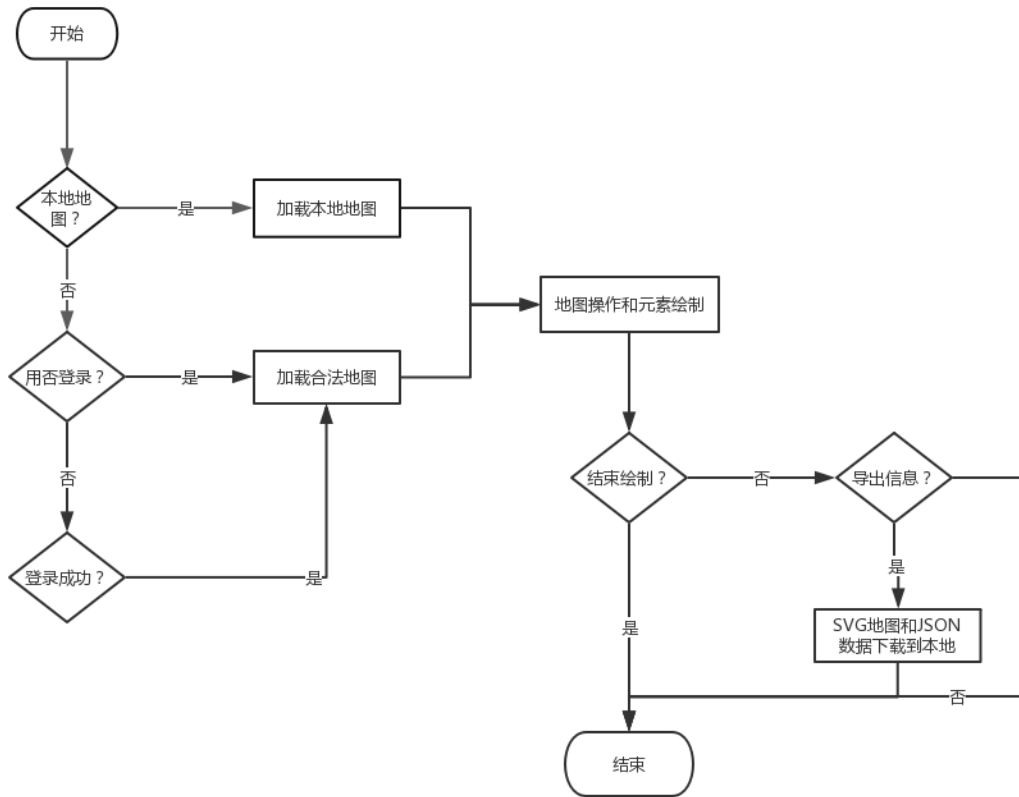


图 3.2 系统工作流程图

如图 3.2 所示，系统的输入可以有两部分，从本地地图加载和从云服务器加载。如果选择云服务器加载，需要验证用户是否成功登录，否则需要登录才能够使用云端服务器上的地图文件。当用户成功加载地图之后，可以对地图进行常规操作如旋转、平移、缩放等操作，也可以进行新的室内空间地图的绘制。当用户要结束绘制的时候，可以选择是否将绘制的信息进行导出，用户可以选择保存直接退出系统，也可以将必要的电子地图和空间信息保存到 JSON 文件中并下载到本地。

其中绘制流程可以用图 3.3 简单表示：

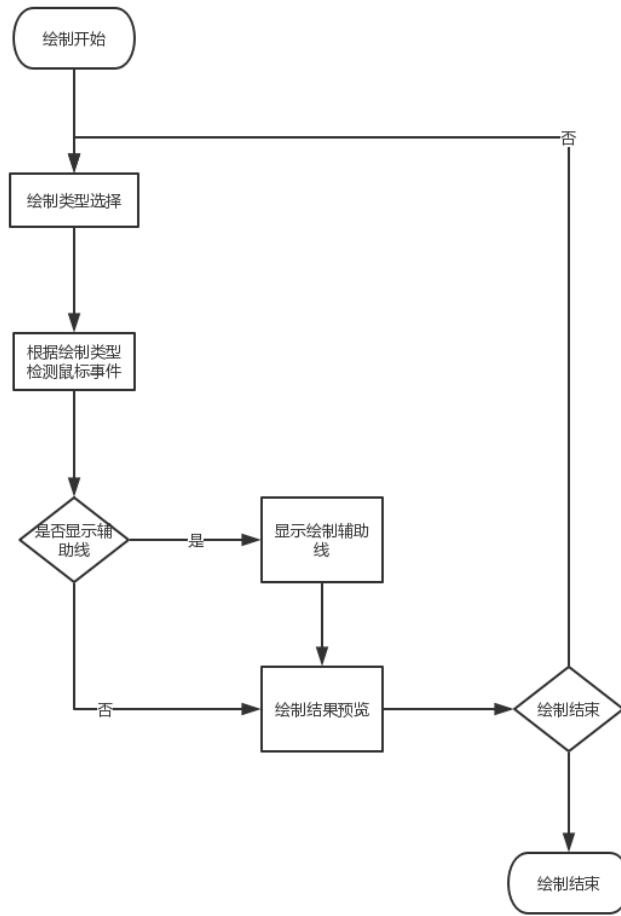


图 3.3 绘制过程流程图

如图 3.3 所示，绘制过程中首先选择绘制的元素类型，根据不同的类型，对鼠标事件做不同的回调处理。在绘制过程中会根据辅助绘制模型的设置，进行绘制辅助线和绘制结果预览的帮助，在监听到用户的绘制结束信号时，绘制过程结束，返回地图查看阶段，否则绘制过程循环执行。

### 3.5 系统创新

基于本章中对系统的设计和功能定义，对比第二章相关技术介绍，可以发现依据本文提出的系统技术得到的空间地图绘制工具较其它室内空间信息可视化



技术和矢量空间电子地图制图工具相比具有明显的创新点和亮点，具体表现为：

1) 绘制工具轻量性：本文提出系统技术是一款运行于 web 浏览器的 web 应用。不同于专业的矢量图形绘制与编辑应用软件(Inkscape、Photoshop、Sketch、SVGDeveloper 等)，动辄几十兆甚至几百兆的存储空间，该工具不需任何的下载和安装，通过浏览器和网络即可使用，省去了用户下载安装和环境配置的麻烦。室内 GIS 系统的搭建和虚拟现实技术的应用，都需要庞大的环境搭建，整个系统较为笨重，无法快速成型，与之相比，本文提出的具有明显的创新点和亮点。

2) 绘制过程云存储：本文提出的系统中的文件服务，用户登录个人账户后，个人的绘制内容会实时存储于云端服务器中。用户无需担心宕机或断电引起绘制数据丢失，也无需担心电脑更换和办公场所更换需要备份绘制数据的问题，云存储的特性可以使用户在任何地方、任何设备进行地图绘制的无缝过渡。如有必要，用户亦可以将云端文件存于本地或将本地文件上传至云端。与其他矢量图像绘制工具和室内空间信息可视化技术相比，绘制过程云存储的创新点极大满足了用户移动办公的需求。

3) 绘制元素可搜索：本文提出的系统具有绘制元素可搜索的特性。当用户绘制的空间元素越来越多时，用户会有查看元素属性满足特定条件的所有空间实体在空间分布情况的需求。面对这样的需求，室内 GIS 技术、虚拟现实技术、专业的矢量地图绘制与编辑工具等无能为力。本文提出的系统由于对空间实体进行建模并设计相应的数据结构，使得用户的搜索需求实际是对空间实体数据结构的查询与处理，并将处理的结果特殊体现。系统将空间实体模型化并设计对应的数据结构，该创新点的提出使得空间实体可以被搜索查询和处理分析。

4) 绘制结果可挖掘：本文提出的系统可以绘制结果导出为 JSON 数据结构。该数据结构由于可以重现绘制的室内空间电子地图，所以该数据结构包含了所有

的空间实体信息。JSON 数据结构由于其可解析和易于读取的特性，系统导出的 JSON 数据结构可进一步用于研究空间实体间的邻接关系和空间位置点间的可达性判断和最短路径计算等众多空间数据分析研究。基于室内 GIS 技术、图像识别技术和矢量地图绘制编辑工具绘制室内空间电子地图，由于它们的输出是电子地图，没有可分析的数据产出，使得绘制的室内空间地图只能用于基本的地图展示，无法用于深一层次的空间数据分析和空间结构分析。可以看出，绘制结果可挖掘的创新点，更能满足学者进行室内空间结构建模、空间结构分析、分析结果可视化等一站式研究需求。

5) 临摹绘制：本文提出系统的基本出发点是能帮助所有研究室内空间信息可视化学者快速获取高效、可控、可探索的矢量室内空间电子地图。基于低质量位图的临摹来获取高质量的矢量室内空间电子地图，这一思路的提出完美地绕过了室内 GIS 技术中数据采集的繁琐和低容错性的弊端和其他矢量地图绘制编辑工具绘制上高复杂性、空间实体比例难统一的劣势，使得本文提出系统对研究者而言具有低门槛使用的巨大优势。临摹的过程可以保证得到的高质量矢量空间电子地图具有百分之百的准确率和比例统一性。临摹绘制这一创新思路的提出与其它技术相比，使得系统可以帮助学者在不需要其它先验知识的情况下快速准确获取高质量的矢量室内空间电子地图。

可以看出，与其它技术相比，本文系统中众多创新点和亮点的提出，使得系统可以帮助学者避免应用下载、安装、环境搭建等众多繁缛问题，消除绘制过程意外丢失的担忧，满足用户移动办公，异地异环境使用的需求，降低用户工具使用的学习成本，并最终可以快速获取准确有效的矢量室内空间电子地图。在此基础上还能为用户提供元素查询搜索、绘制结果可深层次挖掘等增值特性。综合看来，与其它技术和工具相比，本文提出的系统具有巨大的优越性。

### 3.6 本章小结

本章主要根据第二章节的相关技术分析，引申出业界需要解决的主要问题，并对该问题进行详细的定义。然后指出本文的贡献是解决这个问题：在低门槛、低学习成本、高实现效率的前提下，通过某种技术可以得到矢量的室内空间电子地图，该电子地图可以供学者进行数据解析和空间拓扑结构分析，可以嵌入到其他已有的 web 应用中进行可视化展示，并且能够使得用户在移动设备或任意 PC 设备的浏览器中，方便地查看感兴趣的室内空间地图，与此同时还能够为用户提供良好的交互体验和视觉体验。接下来根据需解决的问题，引出本文提出的技术系统，并对系统进行了定义，设计了系统流程。然后对系统的使用方式进行了简要的定义，最后详细分析了本文系统的创新点和亮点。系统的核心功能设计将在下一章节展开。

## 第4章 系统核心功能设计

本章节先将空间实体抽象为空间元素，并对空间元素进行数据结构定义和论证数据结构定义的必要性和重要性。然后对文件服务进行设计，定义好的数据结构设计结合自动对齐算法、自动吸附算法、撤销/重做算法、元素搜索算法等，完善系统功能，体现系统的创新性。本章节主要介绍本文系统不同于其它技术或工具的主要特性和各个模块的核心设计。

### 4.1 系统抽象

系统抽象是绘制模块的基础功能，是实现绘制结果可挖掘特性的基本前提，也是将空间实体对应到数据存储的必要途径。将复杂的、计算机难以理解的空间实体抽象为空间元素，然后将其符号化表示出来以便计算机理解和计算是系统实现的必经步骤，空间元素抽象实际就是将空间实体映射为计算机符号。

#### 4.1.1 基本元素抽象

室内空间不同于室外空间，室内空间的是实体都是人工建造，因此可以将室内空间的实体进行归类，可归类为位置点、门、墙、区域等四类。然后此四类对应的几何图形可分为：点、线、几何图形区域（矩形、多边形、圆、椭圆）等。除了基本的几何图形，空间元素还包含一定的语义，这些语义可以通过文字标签的形式进行表达。由于空间结构具有严谨的布局和对对应的位置关系，因此需要建立平面坐标系，利用坐标点来描述集合图形的位置特性和相对位置关系。如第三章所述，本文研究的对象是平面二维地图。针对任意平面地图都可以进行一定的

缩放平移操作，将地图中的某一个点与平面的坐标原点进行贴合。现将系统的相关概念进行抽象：

平面直角坐标系：以平面中某点为坐标原点，水平向右为 X 轴正方向，竖直向下为 Y 轴正方向。

点：平面中的点可以定义为以某一坐标点为圆心，以某一指定长度为半径实心有色圆形，关键属性是圆心坐标和半径。

线：平面中的线可以定义为从平面中的某个点到另一个点之间的连线，该连线是宽度很小的实心有色矩形。

矩形：平面中的矩形可以定义为从平面中的某一坐标点和另一坐标点为矩形的对顶点，通过该对顶点，可以唯一决定一个矩形区域。

多边形：平面中的多边形可以定义为从平面中的某一个坐标点开始，依次连接顺序出现的点，直到连接所有的点后回到起始坐标点，此时围成的图形就是多边形区域。

圆：平面中的圆可以定义为具有较大半径的特殊点。

椭圆：平面中的椭圆可以根据平面中的矩形获得，即为矩形的内接椭圆。该椭圆的长轴为矩形的长，短轴为矩形的宽。

文字标注：文字标注可以定义为是对平面几何图形区域的文字性说明。

通过上述抽象，可以视为室内空间平面地图是上述基本元素的组合而成。考虑到可编辑修改的特性，每一种元素应该具有其自身的元素属性，每种元素的属性可能会各不相同，后面的章节会详细解释。

#### 4.1.2 空间图层抽象

我们将空间抽象为点、门、墙、几何图形区域等四类，每一类对应一个图层，

这样的好处是在绘制地图的时候可以有选择的控制显示和隐藏甚至以半透明的方式显示某一类空间元素。考量到底图和文字标注及元素属性等多种情况，现定义图层结构如下：

底图图层：最底层图层，用来存放输入室内空间平面图的图层，该图层可以进行一定的旋转，使得边界对齐坐标轴，为画空间元素提供一定的便捷性。该图层可设置的显示级别为显示、半透明、隐藏等三个级别。

点图层：该图层主要用来记录标记点，标记点可以代表空间区域的关键点或兴趣点，如 WiFi 接入点、收银台、客服咨询处等，存放的是室内空间的点元素。同样可以设置显示、半透明、隐藏三个显示级别。

墙图层：该图层主要用来记录室内空间的墙结构，该结构通常是人不可通过的，具有一定的厚度。该图层主要存放室内空间的线元素，同样可以设置显示、半透明、隐藏三个显示级别。

门图层：该图层主要用来记录室内空间的门结构，该结构通常是人可以通过的，并且通常门也是安装在墙上的，所以门的位置需要墙的约束，并且门图层一定在墙图层之上。该图层主要存放室内空间的矩形元素（此处为宽度较小的矩形），同样可以设置显示、半透明、隐藏三个显示级别。

区域图层：该图层主要用来记录室内空间的区域结构，该结构通常面积较大，功能明确，语义明确，对于室内购物城，通常是店铺，如果是大型医院，通常是科室等。区域主要存放的是室内的矩形、多边形、圆、椭圆等多种空间元素。同样可以设置该图层显示、半透明、隐藏三个显示级别。

绘制辅助图层：该图层主要提供辅助绘制的功能，绘制空间元素的时候，该图层就充当一个临时的画板，绘制元素完成之后，将绘制的元素添加到其对应的图层中，并擦除该画板。撤销重做的行为及绘制过程中的辅助线提示也是发生在

该图层之中。同样可以设置该图层显示、半透明、隐藏三个显示级别。

文字图层：该图层主要提供元素的属性信息。其层级是所有图层中最高的。该图层在非编辑状态下可用。

上述除了文字图层外的各个图层在缩放和平移上是动作一致的，即所有图层同步缩放和平移，这样才能够保持相对关系的正确性。

## 4.2 数据结构设计

数据结构是绘制模块的重要组成部分，也是绘制模块的主要数据源。绘制模块中的空间数据为查询搜索模块和文件模块提供数据源。因此，为了实现绘制结果可搜索、绘制结果可挖掘的创新点，在进行了系统抽象之后，需要为空间元素进行数据结构设计，并论证该数据结构设计能够被继续挖掘处理的原因。

### 4.2.1 空间元素数据结构

数据结构的定义不仅要考虑到能充分表达空间元素的属性信息，还要考虑到导出的 JSON 数据能够还原为空间元素，并能够作为输入，提供给室内空间数据分析服务，从 JSON 数据结构中挖掘出空间元素的拓扑信息和连通关系。数据结构的设计有点设计和线段设计两类。点设计是指将空间元素视为通过一个或多个点的连接形成的。由于空间画点只需要通过鼠标点击即可生成，该方式简单易行，由 JSON 数据重现空间元素也较为方便，但是不同的元素有不同的点的序列，要区分对待。线段设计是将空间区域视为被长短不一的线段划分而成，一个闭合的空间区域可以通过线段的连接关系，通过计算得到由线段围成的区域。这种方式对于矩形和多边形区域的描述具有较大的便利，但是对于圆形椭圆等区域的描述显得表达能力不强。同时由于需要通过计算所有线段的连接关系来获取空间的拓

扑结构，可能会导致空间结构分析时巨大的计算量。特别是数据分析服务要通过线段数据分析空间的元素的连通信息具有较大的难度。因此出于可扩展性的考量和绘制的便捷性，空间元素的数据结构采用点设计，点设计重点强调空间元素的位置坐标信息。

室内空间元素包括位置点、墙、门、几何区域等四大类。元素的数据结构由元素的具体含义和其属性共同决定的，由于所有的元素具有通用的属性和各自私有的属性，因此定义一个基本信息的数据结构，用来描述元素的基本属性信息如下所示：

```
basicInfo: {  
    type: // element type  
    label: // element label  
    semanticLabel: // semantic label  
    colorLabel: // element color label  
}
```

元素不仅具有自己的基本属性信息的数据结构，还需要能够表征其位置的坐标信息，不同类元素的位置信息使用不同的表示方法，需要根据上一小节中对元素的抽象定义进行设计。例如矩形区域的位置信息表示方式如下：

```
rect:{  
    x1: // top-left horizontal axis  
    y1: // top-left vertical axis  
    x2: // bottom-right horizontal axis  
    y2: // bottom-right vertical axis  
}
```



点 $(x1,y1)$ 和点 $(x2,y2)$ 是矩形区域的对顶点，可以根据坐标唯一决定矩形区域元素在空间中的位置。因此空间元素的基本数据结构有两部分组成，基本属性信息和位置信息：

$$\text{Element} = \{ \dots \text{attributeInfo}, \dots \text{positionInfo} \}$$

定义了空间元素的基本的数据结构，编辑行为中的批量元素编辑行为体现在数据结构中特定字段的共同修改，如果选中的所有元素都具有某个共同的属性，且属性值相同，则可以修改该属性的值，这样所有的选中元素的该属性值都会被修改。如果选中的所有元素都具有某个属性，但属性值并未完全相同，此时可以对单个元素的该属性值单独修改。如果选中的所有元素都不含有某个属性，则无法对这个属性进行批量修改。通常情况下，批量元素的修改应该是针对用一类元素的批量修改。

需要指出的是该数据结构的定义是系统将室内空间实体位置关键结构化存储和能被继续深度挖掘的关键。每一类空间元素都会保存该元素在空间中的位置信息，利用位置信息就可以得到空间实体间的连通信息。在介绍如何根据坐标信息计算连通信息之前，先介绍空间可达性的规则如下：

- 1) 两个区域之间相邻且没有墙，认为两个区域可达。
- 2) 两个区域之间相邻有墙，但墙上有门，则认为两个区域可达。
- 3) 位置点在某个区域之内，则该位置点到区域内的任意点都是可达的。

判断区域是否相邻可以通过判断一个区域的边或一个区域的 MBR 与另一个区域的位置关系来判断。在得到区域之间的相邻关系之后，便可以根据相邻关系构建空间区域的图结构。有了空间区域图结构之后，判断空间两个位置点是否可达或者两个位置点的最短路径便有了清晰的计算方法：

判断两个位置点各在所在的空间区域，根据空间区域图结构判断两个位置点

是否可达，在两个位置点可达的情况下，通过计算所有可达路径的距离计算空间两个位置点之间路径的最小值。

通过上述简单的分析可以得出，将用户绘制空间元素信息的时候能够保存并导出空间元素的信息，不仅能够根据这些信息重现空间实体，更能计算空间实体间的可达性和距离等深层次信息。因此，本小节对空间元素进行数据结构设计是系统重要的创新性之一。

#### 4.2.2 系统状态树数据结构

系统的内容复杂，行为多样，绘制状态各异，使得系统的使用过程中会产生多种多样的状态，需要对这些状态进行有效管理且不能影响整个系统实际的使用性能。此外系统状态树可方便撤销重做行为的实现。状态是对任一时刻整个系统快照的反映。各种行为的发生都会导致状态的变化，在设计状态树之前，需要先定义两种状态：主要状态和非主要状态。这两种状态区分的主要依据是是否有必要撤销重做。类似于鼠标移动这样的行为和查看行为是不需要支持撤销重做行为的，并且用户也不关心，因此这类状态归属于非主要状态。而主要状态通常是绘制行为发生导致改变的状态和元素属性值的更改导致改变的状态。有了上述状态的定义，设计系统有图 4.1 所示的状态树：

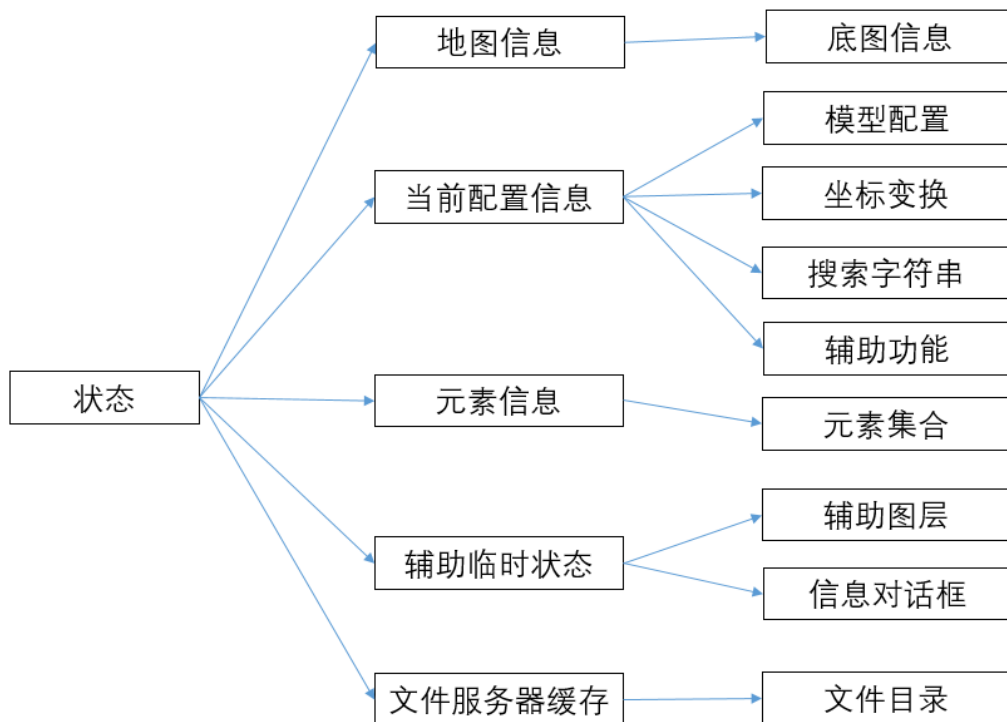


图 4.1 系统状态树

地图信息状态：主要用来记录地图底图的数据，这个状态只有在文件导入的时候才会发生改变，并且是非主要状态。

当前配置信息状态：包括当前系统配置信息状态（颜色配置、图层配置、绘制配置等，非主要状态）、坐标变换状态（主要为地图的平移和缩放，主要状态）、搜索字符串（用于搜索行为，非主要状态）、辅助功能的启用状态（自动对齐、方向限制等，非主要状态）。

元素信息状态：记录所有空间元素的状态（主要状态），主要是一些属性信息，这些信息是元素间进行区分的依据也是描述空间实体最重要的信息。

辅助临时状态：用于记录辅助图层的状态（非主要状态）、提示信息对话框状态（非主要状态）等。辅助图层的状态重要用来标注辅助图层的显示状态，不同的图层可以具有不同的显示状态，这些状态需要借助辅助临时状态进行状态维护

和管理。提示信息对话框是对用户查看行为及绘制行为的辅助操作，为用户提供必要的信息提示或错误提示，起到丰富用户交互的作用。对话框的弹出和隐藏及对话框内容的设置需要借助临时辅助状态进行为何和管理。

文件服务器缓存状态：用于记录后台文件服务器的文件目录的映射状况（非主要状态）。

有了这样的状态树，系统状态的变化变得容易管理，方便撤销重做的实现。用户的每一次行为都会导致状态树的变化，有效的管理状态树将是实现的难点。

### 4.3 文件服务设计

文件服务是体现绘制过程云存储创新点的关键服务，也是文件管理模块的核心功能。该服务的实现可以帮助用户在任何环境下使用系统和访问之前的绘制结果。文件服务类似于云服务，使用者可以把精力集中在地图编辑上，地图编辑的结果也可以保存在服务器上。当需要的时候，也可以把编辑好的地图文件导出下载到本地。

#### 4.3.1 文件管理

在云端服务器上，设计文件服务器功能为地图文件管理。对原始室内地图文件和绘制的新的室内地图进行管理可以方便不同的用户对同一地图的编辑修改，避免了不同用户之间频繁的文件交换。用户绘制地图过程中，可以实时将文件保存到服务器上面，避免由于不可抗拒因素导致绘制成果丢失，并能够保证下一次用户打开地图工具的时候，可以直接从文件服务器打开之前保存的文件。为了不同用户之间明显的区分，为文件管理增加用户登录特性，每个登录的用户可以拥有私人文件夹，未登录的用户只能读写公共文件夹。

文件管理模块包含三个子模块，分别是用户账户管理、文件夹管理、文件管理，子模块间的关系如图 4.2 所示。

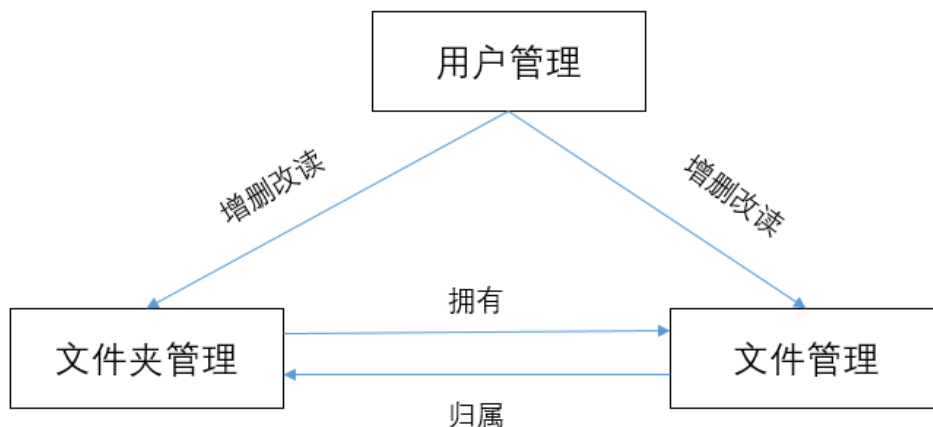


图 4.2 文件管理模块示意图

图 4.2 反映了各模块之间的关联关系，用户可以对文件夹和文件进行增删改读，文件夹和文件通过数据库表的映射进行关联。

文件服务器性能和设置的优劣会直接影响到编辑器使用的舒适感，设计文件服务器需要考虑到两个重要问题：

1) 单节点故障问题：是指当文件服务器发生故障时，对整个系统的影响评估。本文系统中的文件服务器用来存储用户绘制室内空间地图的临时结果和最终结果，如果文件服务器发生故障，会导致用户的绘制数据无法实时存储，无法打开历史绘制文件，直接导致绘制工作无法正常工作。

解决单节点故障问题最简单的方案是使用备份服务器即文件服务器由主从（master-slaver）节点组成。如果用户规模扩大，文件服务器可能有一台服务器变成服务器集群，此时可以参考 Hadoop 集群 HA 方案设计如 Second NameNode 方案、Backup NameNode 方案、Avatar NameNode 方案。

由于单节点故障问题是一个常见却不易解决的问题，解决方案根据服务器规

模、集群状态、应用场景等影响较大。本文提出的系统假设用户群不大，服务器能够应对多用户的并发请求，所以采用简单的主从服务器解决单点故障问题，用户在保存用户的绘制数据时，master 服务器在保存数据的同时，添加用户操作日志。slaver 服务器以固定的时间间隔  $t$  从 master 服务器获取最新操作日志，保持主从服务器的数据一致性。由于 slaver 服务器以固定时间间隔  $t$  获取 master 服务器上的数据，因此最坏情况下，系统会丢失  $t$  秒内的用户操作数据。如果将  $t$  设置的很小，将增加主从服务器之间的通信频率，造成网络资源浪费。在 slaver 服务器  $t$  时间范围内无法获取 master 服务器的响应时，slaver 服务器可自主升级为 master 服务器，并处理用户请求，在本系统中  $t$  可设置为 10s。

2) 文件保护问题：由于系统中有用户管理模块，因此用户具有权限的划分。在多用户文件系统中，文件夹分为共享文件夹和私有文件夹，因此必须对文件进行标识，防止不具有对文件操作权限的用户对文件进行修改和删除。因此在文件服务器中必须提供访问表的管理，访问表标记文件对应的用户及用户权限。这样在每次用户访问文件时，都必须查阅访问表，系统校对访问表给出的信息，判定用户是否对该文件有正确的访问权或修改权，最终保证用户能够以正确的权限操作正确的文件。

### 4.3.2 文件导入

文件导入服务是向编辑平台导入本地室内空间地图文件的服务，该文件可以是 JSON 文件（曾经导出成 JSON 的文件），也可以是其他的平面图文件，如 JPEG、PNG、SVG、BMP，导入的文件应该置于底图图层中。如果是 JSON 文件，系统会解析转换此 JSON 文件中的文本为系统能够处理的 JSON 数据结构，然后遍历该数据结构，并根据上一小节中对空间元素数据结构定义中元素类型、元素位置坐标、

元素颜色等属性信息绘制出对应的空间元素，还原出该 JSON 文件所表示的空间实体。文件导入的功能的加入，使得该系统实现后能够运行的本地环境（即没有网络环境），扩大了系统的应用环境。

### 4.3.3 文件导出

按照技术目标中提出的内容，文件导出定义为两类文件，一种是 JSON 文件，这个文件的内容是一个 JSON 数据结构，包含一个地图的所有结构数据，可再次通过编辑工具解析还原成可视地图，其他服务也可以解析该 JSON 数据，挖掘室内空间区域间的连通关系。另一种导出文件是 SVG 文件，该文件可能直接打开，在浏览器中查看，也可以以矢量地图文件的形式嵌入到其他应用中。

JSON 文件信息是在绘制空间元素信息时候保存下来的，用户在绘制特定类型的元素时，会将该类元素按照其定义的数据结构形式和必要的属性信息加入到该类元素对应的集合中。最终导出的 JSON 文件信息实际上是所有空间元素集合的综合，这样导出的信息才能够被重新解析还原为空间元素。

导出的 JSON 文件包含了所有空间实体的位置信息，是系统重要的输出之一。第二小节中已对其重要性进行了详细阐述，此处不再赘述。

## 4.4 事件处理

事件处理是根据第一小节中的抽象，系统支持多种类型的空间元素的绘制，系统也提供快捷键操作的功能。绘制元素时，绘制元素类型的多样、快捷键事件的存在等使得系统的事件系统异常庞大，良好的事件注册、处理是保证系统能够有条不紊运行的关键。本小节研究的事件仅指与绘制过程相关的事件。

#### 4.4.1 事件流

根据事件与绘制状态的关系，将事件分为以下四类：

1) 快捷键事件：是指定义好的键盘快捷键，如定义 Esc 事件表示退出绘制状态，Ctrl 与 S 键一起表示保存操作等。

2) 绘制事件：鼠标事件是指在绘制过程中由鼠标引发的与绘制有关的事件，包括 MouseMove、MouseDown、MouseUp、Click、DoubleClick、MouseWheel 等。

3) 异常事件：是指在绘制过程中发生的与绘制无关的事件，一般为鼠标的 Click 事件。一般情况下，异常事件会打断当前的绘制行为或改变当前的绘制行为。举例表示为：当绘制矩形区域的时候，鼠标移动到绘制功能选择按钮并 Click 后会结束当前绘制状态，并开启新的绘制状态。

4) 外来事件：是指暂停当前绘制状态而得到优先处理的事件，通常是指在绘制过程中对地图底图的缩放平移事件。

这四类事件共同组成事件流，在用户绘制的过程中，事件源源不断产生并不断加入到事件流中。假设用户可以绘制  $M$  类空间元素，定义的键盘事件有  $N_1$  种，鼠标事件有  $N_2$  种，异常事件  $N_3$  种，外来事件  $N_4$  种，则系统最多可能需要注册  $M * (N_1 + N_2 + N_3 + N_4)$  个事件监听器，同样的需要  $M * (N_1 + N_2 + N_3 + N_4)$  个事件处理函数。因此科学有效的事件流处理将是保证绘制过程正常的关键。

#### 4.4.2 事件流操作

1) 事件流节流。鼠标事件中 MouseMove、MouseWheel、Mouseover 是持续多次发生的事件，这样的事件插入到事件流中首先会导致事件流变长，其次会导致事件对应的处理函数会多次调用，如果处理函数复杂，耗时过长，严重影响页面性能。图 4.3 是简单的 MouseMove 事件流：



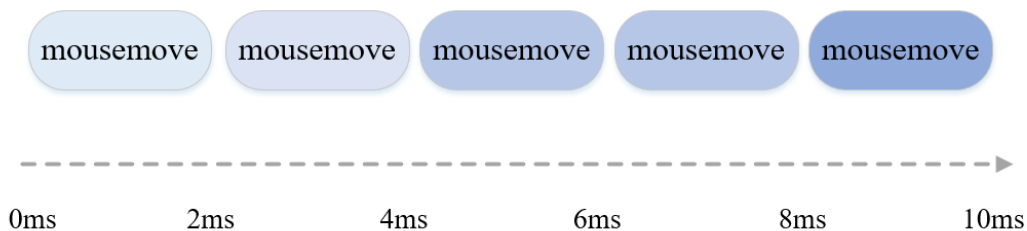


图 4.3 简单的 MouseMove 事件流

从图 4.3 可以发现，在 10ms 范围内发生了五次 MouseMove 事件，10ms 的时间，人眼完全分辨不出变化，因此可以将上述五次事件的触发合并为一次事件触发，如图 4.4 所示：

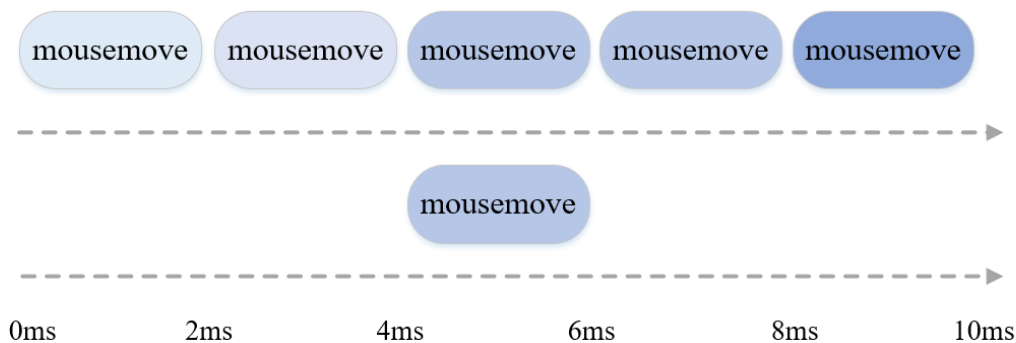


图 4.4 MouseMove 事件流节流

其它连续多次触发的事件如 MouseWheel 事件、MouseOver 事件等都可以采用该方法进行事件流的节流。事件流的节流，在绘制预览时，极大降低了浏览器的性能损耗。

2) 事件转换。事件流并不是一尘不染的，在实际的应用过程中，事件很可能出现不合理的顺序流入事件流中，对这些事件必须加以甄别和转换。

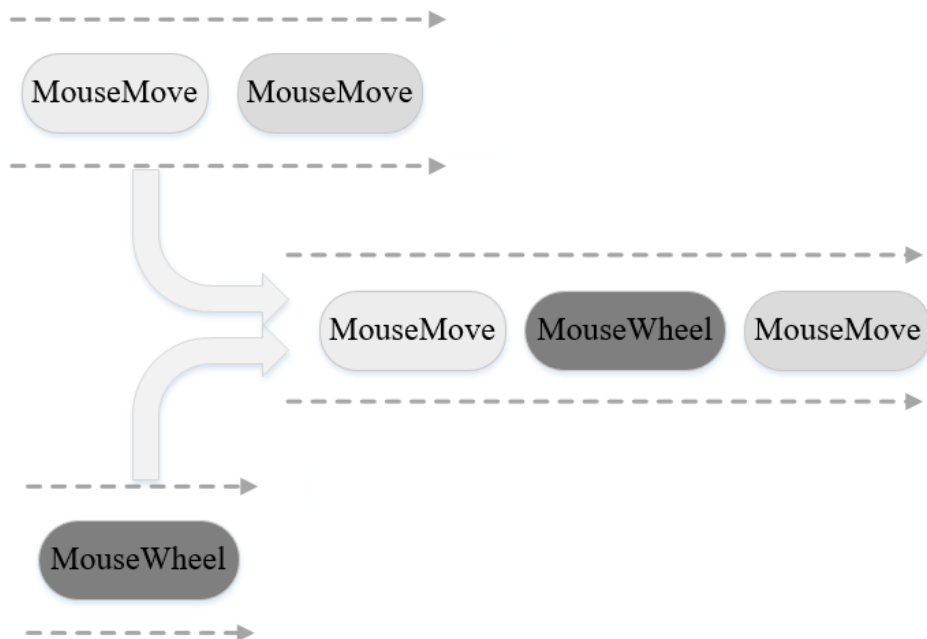


图 4.5 不合理的事件顺序流入

图 4.5 展示了不合理的一种事件流入方式，用户在拖动地图时，连续触发 MouseMove 事件，而此过程中用户突然滚动了一下鼠标滚轮，然后继续拖动地图触发 MouseMove 事件，导致 MouseWheel 不合理得插入到了两个 MouseMove 中间。因为 MouseWheel 会导致地图比例尺突变，用户鼠标拖动同样的距离，而实际作用在地图上的距离可能变成滚动前的几倍，这样的交互体验是用户不友好的，解决此问题的办法是事件转换，即将 MouseWheel 事件转换成能合理触发且对用户友好的事件，下图 4.6 的展示了转换后的结果：

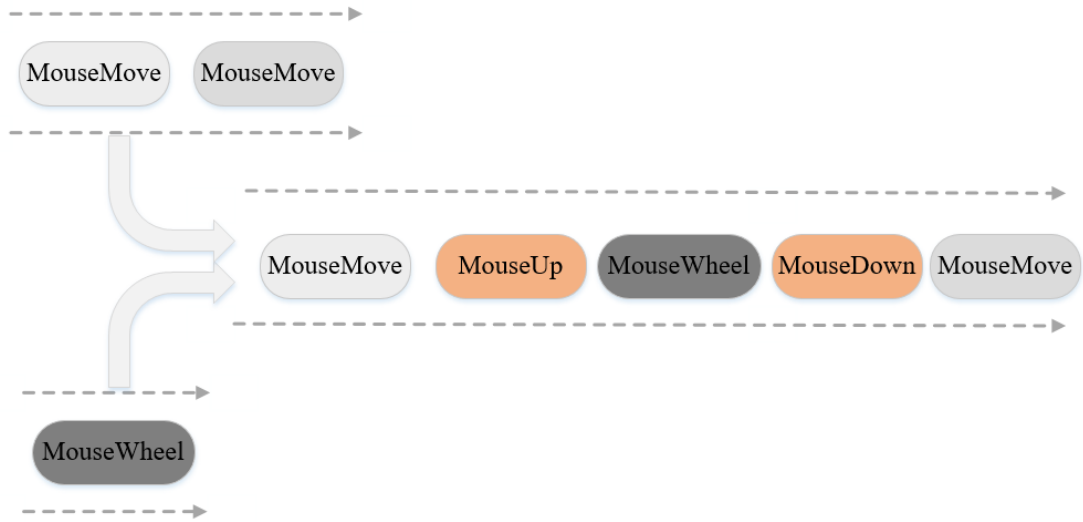


图 4.6 事件转换

图 4.6 展示事件转换的过程，即将原来的 `MouseWheel` 事件前后加入了能够顺利过渡的伪事件 `MouseUp` 和 `MouseDown`，这两种伪事件的加入使得事件流变成用户抬起鼠标，暂停了鼠标拖动地图，滚动了鼠标滚轮之后，又按下鼠标进行地图拖拽，该过程自然合理，符合用户习惯，这样计算后的拖拽后的距离不会因为滚动滚动而出现位置跳跃的情况。事件转换能够合理解决事件流乱入的问题。

#### 4.4.3 事件流处理

本小节以绘制矩形的事件流为例，设计事件流的处理方法。图 4.7 展示了绘制矩形区域时的事件流：

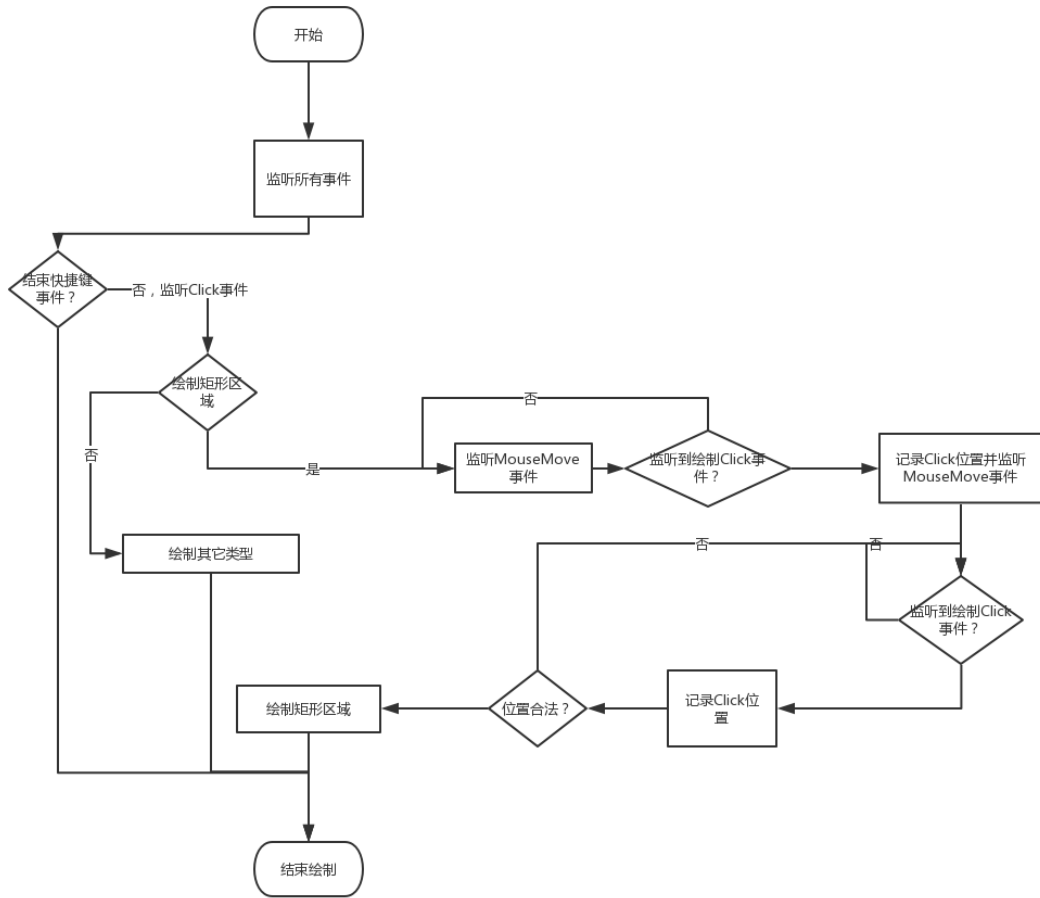


图 4.7 绘制矩形区域的事件流处理流程图

图 4.7 表示绘制空间矩形区域时的事件流处理流程，可以发现在绘制矩形区域的时候，键盘快捷事件和鼠标事件都能够影响到正常的绘制矩形区域的流程。面对如此复杂的绘制流程，需要定义绘制矩形区域的阶段：第一阶段绘制矩形区域的第一个点，第二阶段鼠标移动绘制矩形区域的预览，第三阶段绘制矩形区域的对定点并判断正误完成绘制。根据绘制阶段定制绘制函数如图 4.8 所示：

```
stageManager.add('rect.first')
    .mix('$region-base')
    .on(OP.MOVE, drawRectRegion.firstMove)
    .on(OP.CLICK, drawRectRegion.drawFirstPoint)
    .end()
    .add('rect.later')
    .mix('$region-base')
    .on(OP.MOVE, drawRectRegion.laterMove)
    .on(OP.CLICK, drawRectRegion.drawLaterPoint)
    .end()
```

图 4.8 绘制矩形区域事件流伪代码

图 4.8 的伪代码阐明了对事件流的处理分阶段进行, `paintingMananger` 表示绘制管理器, `rect.first` 表示用户没有开始绘制矩形区域, `rect.later` 表示用户正在绘制矩形区域且已经绘制了第一个点, 此时处于第二个阶段, 绘制预览阶段。前面部分的伪代码表示处于绘制的第一阶段。

`on(OP.CLICK, drawRect.drawFirstPoint)` 表示绘制开始后, 发生鼠标 `CLICK` 事件, 执行 `draw.drawFirstPoint` 事件回调, 然后继续监听, 期望发生鼠标在画板上的 `MOVE` 事件, 如果发生则表示可以进入绘制矩形区域的第二阶段。

`drawRect.drawLaterPoint` 表示完成绘制矩形区域的另一个点, 处于绘制的第三个阶段最后调用 `end()` 完成绘制。其中 `mix()` 函数将快捷键相关的处理事件和对地图进行操作的处理函数插入到事件流中, 使得在绘制矩形区域的过程中依然可以对地图底图进行缩放平移操作。实际上还要将异常事件处理函数使用 `mix()` 方法加入到事件流中, 使得在绘制过程中绘制异常事件时, 绘制过程能够正常终止。

绘制其它类型的空间元素时亦是用这样的事件流处理方法进行处理, 这样便将  $M * (N_1 + N_2 + N_3 + N_4)$  个事件处理的更有条理, 绘制过程更不易出错。

## 4.5 核心算法设计

核心算法设计是对辅助功能模块、查询搜索模块、状态控制模块等多个模块中核心功能实现的核心。

### 4.5.1 自动对齐算法

自动对齐算法是辅助功能模块的重要算法之一，该算法的设计与实现是辅助绘制模块，提供绘制的友好交互，提高绘制效率。

当用户绘制空间元素的时候，良好的对齐关系既符合人的审美需求也符合实际室内空间实体的位置关系。如果单纯靠人眼进行空间实体的对齐，则可能的情况是人眼认为对齐而实际并没有对齐。因此自动对齐的需求在多种绘制软件或应用中都具有，本文提出系统为了给用户提供良好的绘制体验，需要为系统添加自动对齐功能。

自动对齐功能是体现在绘制行为发生的时候。当绘制空间元素的时候会根据鼠标当前位置，计算得出与当前鼠标位置最接近的空间点，并绘制出辅助线，绘制的辅助线分为水平和垂直两条线。绘制矩形区域时，一个简单的示例如图 4.9 所示：

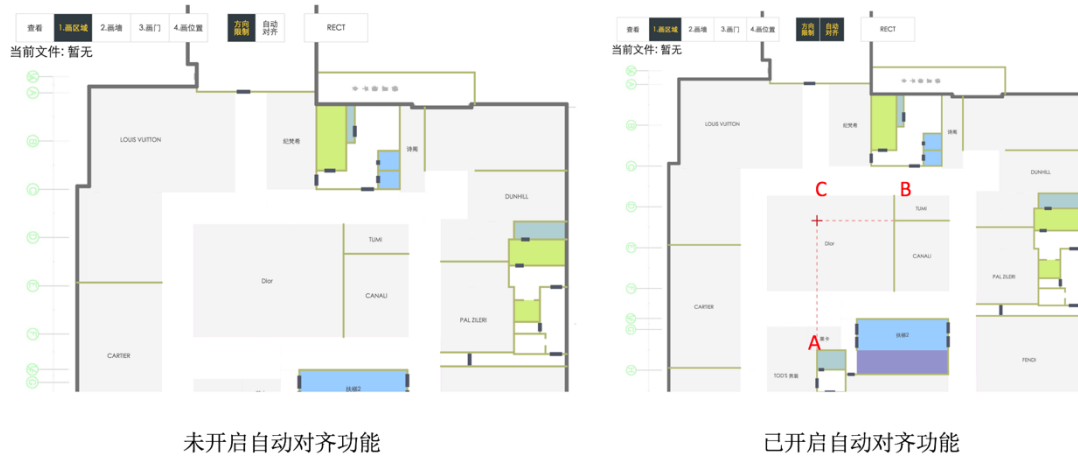


图 4.9 自动对齐示意图

其中左图是未开启自动对齐功能时候的效果图，右图是开启自动对齐功能的效果图。可以发现，未开启自动对齐功能时绘制矩形区域的时候，当用户需要满足对齐的需求时候，通过肉眼无法做到准确的对齐，开启之后绘制的辅助对齐线为绘制行为提供极大便利。图 4.9 右图中，点C是鼠标当前位置，通过算法可以得到距离C点最近的、已经绘制完成的、并且与C点坐标在某一维度上相同的点有A,B 两个点，并进行了展示。

该算法的输入为空间所有的元素信息和当前鼠标的位置，输出为一条水平的辅助线和垂直的辅助线。具体算法如下：

```

C(x0,y0) = getPositionOfMouse()// 得到鼠标当前位置
points = getAllPointsOfElements()// 得到所有空间元素的点的集合
var pointA,pointB,distanceX = 100000,distanceY = 100000
for point in points
    var d1 = calculateDistanceX(point,x0) // 计算点到直线x = x0的距离
    var d2 = calculateDistanceY(point,y0)// 计算点到直线y = y0的距离
    if (d1 < distanceX) pointA = point
  
```

```
    if (d2 < distanceY) pointB = point  
end for  
printf(pointA, pointB)
```

### 4.5.2 自动吸附算法

自动吸附算法是辅助功能模块的重要算法之一，该算法的设计与实现是辅助绘制模块，提供绘制的友好交互，提高绘制效率。

用户在绘制多边形区域的时候，需要完成首尾的连接，而通过鼠标的操作很难将最后一个点的位置点击在起始点的位置，但是如果用户在绘制最后一个点的时候，当鼠标足够靠近第一个绘制点的时候，能够自动提示用户此时鼠标位置与第一个绘制点足够靠近，对用户来说会提供极大的绘制便利性。因此自动吸附功能的添加将丰富系统的功能特性和绘制体验。

自动吸附功能主要体现在绘制行为发生时，主要应用在如下两种情况：

1) 绘制多边形区域时，当鼠标足够靠近绘制的起始点时（足够靠近是指鼠标位置到起始点坐标的距离在一个阈值范围内），会自动连接最后一个绘制顶点与起始点，单击鼠标即可完成多边形区域的绘制。

2) 绘制门的时候，当鼠标位置足够靠近墙的时候（足够靠近是指鼠标位置到墙的垂直距离在一个阈值范围内），会自动在墙上绘制出门的样子。

该算法的一个简单实例如图 4.10 所示：



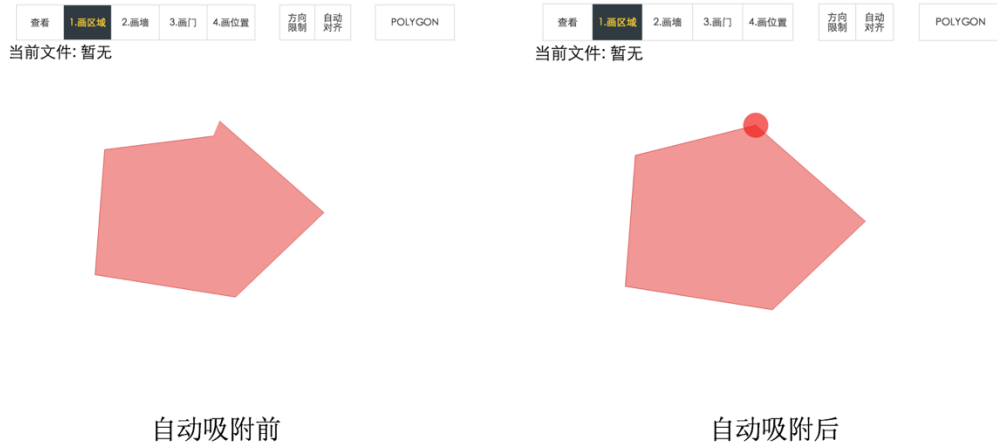


图 4.10 自动吸附效果前后对比图

从图 4.10 可知，在绘制多边形区域的时候，如果没有自动吸附，最后一个点要准确点在起始点的位置是很难的，有了自动吸附功能，只需要鼠标位置处于起始点位置左右就可以自动完成最后一个点与起始点的重合，提高绘制区域的准确性。

该算法的输入为空间所有的元素信息和当前鼠标的位置，输出是点的坐标，具体算法如下：

```

C(x0, y0) = getPositionOfMouse()// 得到鼠标位置
var α = definedValue// α 为预定义的值
if(painting == ' polygon'){// 如果绘制多边形
    point A(xa, ya) = getFirstPaintPoint()//得到多边形第一个点的坐标
    point B(xa, ya) = getLastPoint()//得到多边形最近一次点的坐标
    var distance = getDistance(A, C)// 得到 AC 的距离
    if(distance < α){ attach(AB) }// 如果距离小于阈值，连接 AB，结束

```

```
    } else { // 绘制墙元素

        var wallSet = getAllWalls(A,B) // 得到墙的集合

        var minDistance = 100000, minWall

        for wall in wallSet

            var d = calculateDistanceX(C, wall) // 计算点 C 到墙的距离

            if (d < minDistance) minDistance = d, minWall = wall

        end for

        var R = NULL

        if(minDistance <  $\alpha$ )  $R(x_r, y_r) = getPedal(minWall, C)$  // 计算垂足

        return R // 返回垂足 R

    }
```

### 4.5.3 撤销/重做算法

撤销/重做算法是状态控制模块的重要算法之一，该算法的设计与实现是允许用户在绘制过程中出错从而进行撤销重做操作。撤销重做方便用户进行前后绘制效果的对比。

在用户实际绘制空间元素或设置元素属性等操作的时候会发生偶然的操作失误或绘制错误的时候，也会有用户取消之前操作状态的需求和重做上次操作的需求，此时撤销/重做的必须性显得尤为突出。撤销/重做可以方便用户擦除错误的操作或快速浏览操作后的效果，不仅能使系统可以提供更加人性化的交互体验，也提高了用户使用应用的舒适感。

通常的撤销/重做的算法是：应用程序在每次操作之后都改变了他的状态，也就是说一个应用程序一旦被操作，它的状态就会被改变。如果要撤销到以前的状

态，在应用程序运行的时候就需要存储它的状态。为了支持重做，还必须能够从当前的状态回到下一个状态。因此需要维护应用的状态来实现撤销/重做。在维护过程中需要两个栈，一个存放撤销操作的状态，另外一个存放重做操作的状态。执行撤销操作，撤销堆栈弹出，就能得到应用程序的前一个状态。执行重做操作，重做堆栈弹出，获取下一个状态，然后用它们来设置应用的状态。

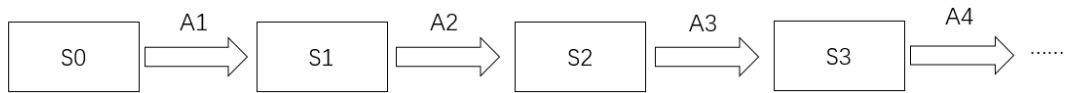


图 4.11 系统的状态变化

对应于本文提出的系统，如图 4.11 所示的状态变化时间线，该状态时间线表示了整个系统的状态变化， $S_0$  为初始状态，用户操作行为引发动作  $A_1$ （鼠标操作或快捷键操作）之后，系统的状态变为了  $S_1$ 。用户然后发起动作行为  $A_2$ ， $A_3$  之后，系统的状态从  $S_1$  变化为  $S_2$ ，然后又从  $S_2$  变为  $S_3$ ，这里的每一个  $S$  都是系统完整的状态树，保存了系统的所有状态。可以看出，如果每次用户行为都要产生一个新的状态树，由于要考虑到用户的撤销行为，全部保存用户操作过程中所有的状态会增加资源的开销和管理的成本，因此需要一种算法能够帮助共享状态树。

为了实现状态树共享，在系统中提出状态树的共享数据结构，如下图 4.12 所示， $S_0$ （浅绿色）和  $S_1$ （橙色）之间共享相同部分状态（浅绿色）。当状态由  $S_0$  变为  $S_1$  时，只需要更改状态改变的部分节点和其父节点，一直回溯到根节点；其他节点状态均可以进行共享。系统的状态变量会有很多，前后两个状态往往相差不大，因此可以共享大部分的结构（即图中绿色的部分保持不变），故共享状态树结构可以有效降低存储空间并提升运行速度。

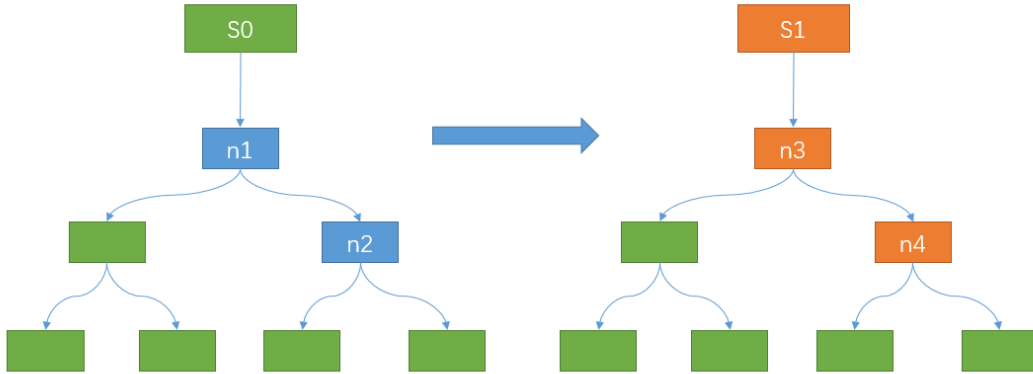


图 4.12 共享结构示意图

本文采用了状态栈的数据结构来实现撤销/重做算法，共享结构算法又使得不必担心系统的性能表现。如下图 4.13 所示，该图是某一时刻的历史记录栈，系统把所有的历史状态都放在一个栈中，同时用一个指针来指向当前的状态。撤销时，将指针向左移动一格。重做时，将指针向右移动一格。用户进行操作时，先将当前指针右边的格子清空，然后把新的状态放入当前状态右边的格子，并将指针指向新的状态。

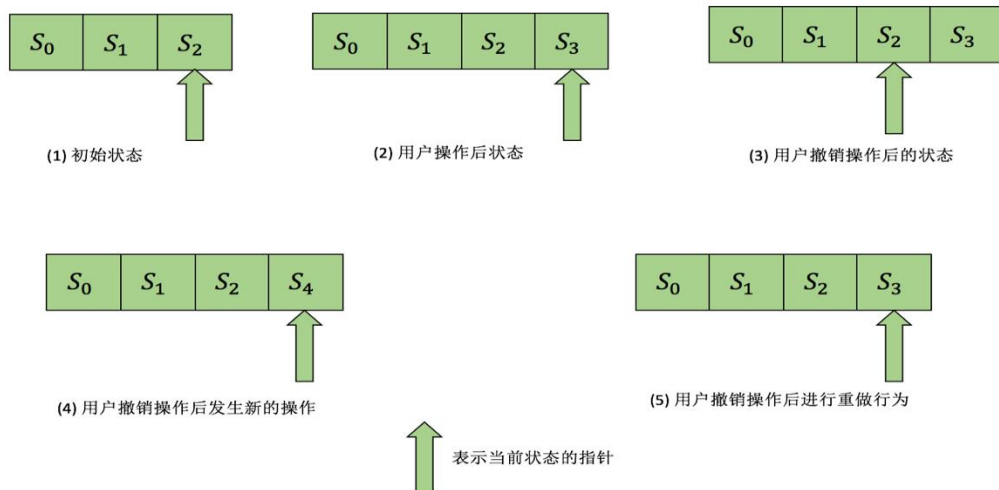


图 4.13 状态记录栈撤销重做的变化情况

图 4.13 中假设初始状态为(1)，状态指针指向的是状态 $S_2$ 。

(2) 表示经过用户操作后，新的状态 $S_3$ 加入到状态栈中，并使得状态指针指向 $S_3$ 。

(3) 表示在(2)情况下用户发生撤销行为，状态指针回退，指向 $S_2$ 。

(4) 表示在(3)的基础上用户发生新的操作，产生新的状态，此时清空状态指针右侧所有的状态，并将新的状态 $S_4$ 加入的状态栈中，最后将状态指针指向 $S_4$ 。

(5) 表示在(3)的基础上用户发生重做行为，此时状态指针右移，指向状态 $S_3$ ，此时的状态栈与(2)完全一致。

在实际应用中，如果将每一次用户行为都加入到历史记录中，会导致有太多的状态被加入到栈中。而有些行为撤销/重做是没有意义的，如用户的查看行为，鼠标的移动，连续的绘制行为等。因此需要两种算法来减少历史记录的数量：状态的选择性记录、历史状态的合并。

1) 状态的选择性记录。当前应用状态为 $S_{cur}$ ，如果接下来用户的行为导致的是非主要状态发生了变化，只需要保持 $S_{cur}$ 不发生改变即可，如何不使用状态的选择性记录，则会将 $S_{next}$ 加入到栈中，并且会连续加入，后续的撤销重做行为并不是用户想要的结果。特别是对于类似鼠标移动这样的操作和用户的查看行为，因为用户肯定不需要一帧一帧地撤销鼠标的移动，系统使用该方法对其进行过滤。示意图如图 4.14 所示：

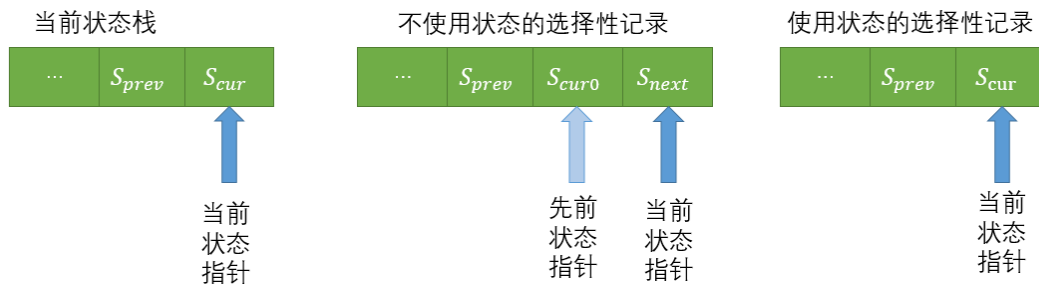


图 4.14 选择性记录效果对比

2) 历史状态合并。有些用户行为不能被忽略，如绘制行为及地图的查看行为中的地图缩放行为。这些行为会产生一系列相似多很高的状态，这些连续相同的行为从语义上讲是一个操作目的，可以把这些连续的行为视作一个状态，因此可以将这些连续的状态进行合并为一个，这样便减少了历史记录栈的大小，也更符合实际语义。以通过鼠标滚轮方式进行放大地图为例，当滚动滚轮的时候，会发生连续的缩放行为，该行为应用历史状态合并算法的示意图如图 4.15 所示：

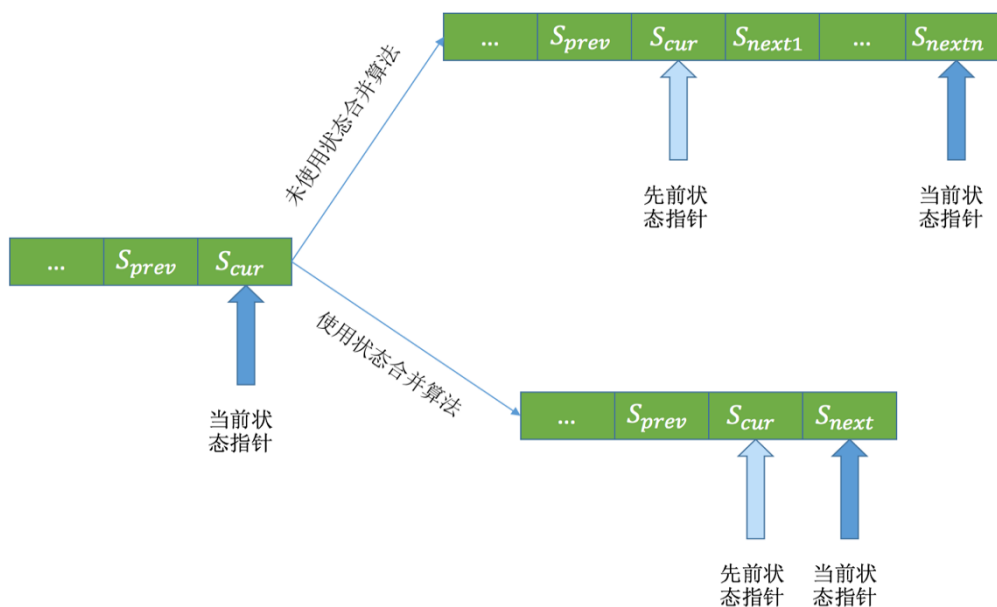


图 4.15 历史状态合并举例

从图 4.15 可以看出,在经过鼠标滚轮一系列滚动后,未使用状态合并算法会使得状态栈变得十分庞大,状态 $S_{next1} \dots S_{nextn}$ 都是相似度很高的状态,如果不经过程合并,如果用户发生撤销行为,则用户需要很多次撤销才能恢复到鼠标滚轮滚动之前的状态。采用相似状态合并算法之后,状态 $S_{next1} \dots S_{nextn}$ 合并为状态 $S_{next}$ ,不仅减少了状态栈的空间大小,也方便用户进行撤销重做的用户行为。

历史状态的有效维护,使得该系统有更大的灵活性,撤销/重做也变得更加高效。

#### 4.5.4 元素搜索算法

元素搜索算法是体现绘制元素可搜索创新点的关键算法,也是元素搜索模块的主要算法。该算法主要通过语法规则和词法分析器,找到符合特定条件的空间元素。

元素搜索是指用户从系统所有的元素中找到符合某个语义条件的元素集合,并高亮显示,以便用户去有选择性的去查看。元素搜索可以帮助用户查看具有特定特性的空间元素,也可以查看具有某类特性的空间元素,利于用户对空间元素的整体把握和元素的个性化绘制。如用户搜索空间中所有的门,可以看到室内空间中门的分布状况,并且可以对搜索出来的门整体设置门元素的属性,如设置门元素的颜色、宽度等属性信息。

在设计搜索算法前,首先需要确定能够被搜索的字段,将可以被搜索的字段进行列举如下:

- 1) *id*:标识符,用来唯一确定一个元素,对应于数据库中的主键。
- 2) *type*: 元素的类型,有如下取值:

*RECT*:矩形区域, *POLYGON*:多边形区域, *WALL*:墙, *DOOR*:门, *POSITION*:

位置点, *CIRCLE*:圆形区域, *ELLIPSE*:椭圆区域。

3) *label*: 元素的标签, 文本类型。

4) *color*: 颜色标签, 用来确定该元素的显示的颜色。

5) *width*: 墙的厚度。

6) 特定元素自身的几何信息 (不同类型的元素对应不同类型的几何信息):

*line* (墙/门的几何信息), *box* (矩形区域的几何信息), *points* (多边形区域的几何信息), *position* (位置点元素的几何信息), *circle* (圆形区域几何信息), *ellipse* (椭圆区域几何信息)

搜索功能必须支持上述字段的搜索, 其次需要支持多个属性组合搜索的情况, 因此需要支持一些逻辑运算如*and*和*or*等。最后可以为搜索字符串添加括号的形式改变优先级。

定义简单的搜索条件的语法规则如下:

[*ATTR*] [*OR*] [*VALUE*]

[*ATTR*]表示属性, 即要查找的属性, [*OR*]表示操作, 即用来判断是否满足搜索条件的函数或方法, [*OR*]可以为下面多个选项中的一个: *~, like, =, ==, is, <, >, ≤, ≥*。*like*和*~*等价, 表示“包含”; *<*表示“小于”; *>*表示“大于”; *is, =, ==*这三者等价, 表示“相等”或“相同”; *≤*表示“小于或等于”; *≥*表示“大于或等于”。

例如: *color is /门*, 表示“找出所有颜色标签为‘门’的元素”。*type is /门*, 表示“找出所有的‘门’元素”。[*VALUE*]表示搜索值, 即操作的参数, 该语法表示: 搜索“某个属性满足某个条件”的元素集合。

为了支持更广泛的搜索形式, 支持搜索同时满足多个条件的元素, 所以给语法规则中添加*has/empty/and/or*关键字与括号, 用来表示复合搜索语法。语法如下:



$$[EXPR - 1]and[EXPR - 2]$$
$$[EXPR - 1]or[EXPR - 2]$$

*EXPR*表示搜索的表达式, *has*用来表示搜索的元素必须含有某个属性且属性值不能为空, *empty*用来表示搜索的元素可以不包含某个属性或者这个属性为空值。*and*用来表示元素必须同时满足两个搜索条件, *or*用来表示元素满足两个条件其中之一就可以。*and*的优先级高于*or*, 如果需要改变该优先级关系, 可以使用圆括号来实现, 即括号的优先级最高, 例如:

*label is 墙 and type is RECT*, 表示找出所有标签为‘墙’并且是矩形区域, 根据实际情况去理解该语法的返回值应该是 FALSE。

*color is DOOR and (type is WALL or type is DOOR)*, 表示找出颜色标签为“门的颜色”的墙和门(括号提升了优先级)。

利用这样的语法规则, 可以通过搜索条件找到符合某些条件的元素。系统可以结合词法分析、语法分析技术如 LL(K)、LR(K)、PEG(programming expression grammar)等对用户的搜索字符串进行处理, 根据处理的结果过滤出符合搜索要求的元素并进行高亮显示。

## 4.6 本章小结

本章主要描述了对本文提出的技术系统的核心功能进行了详细设计。设计了空间元素的数据结构和系统的状态树的结构。设计了文件服务器和事件流的处理。针对系统提供的功能, 提出了几种重要的算法: 绘制行为发生时候的自动对齐算法和自动吸附算法、针对状态树的撤销/重做算法等。这些核心功能的设计, 使得系统在实际应用的时候会给用户提供极大的便利。

第5章 系统实现与实例展示

5.1 技术实现

本文所描述的系统可以应用在生活中常见的大型室内空间，如飞机场、医院、购物中心等，也可以作为科研工作者进行室内定位和导航研究的基础服务。本文采用 web 技术和 Django 框架来实现整个了系统，做出了一个符合预期的小型应用。Web 技术主要用来实现前端页面，Django 框架主要用来实现简单的文件服务的后台。技术实现主要参照系统设计中

对系统模块的划分进行设计与实现。

5.1.1 应用功能

根据系统的行为和核心功能设计，总结该应用实现的功能如表 5.1 所示：

表 5.1 应用实现功能表

分类	行为	实现方式
基本绘制行为	绘制位置元素	用户在画板中通过单击绘制位置元素
	绘制墙元素	用户在画板中通过绘制两个端点来绘制墙
	绘制门元素	用户在画板中通过指定门的厚度和位置来绘制门，门必须绘制在墙上
	绘制矩形区域元素	用户在画板中绘制矩形，通过绘制两个对角点的形式得出矩形
	绘制多边形元素	用户在画板中通过依次绘制出多边形的各个顶点来绘制多边形区域

续表 5.1 应用实现功能表

编辑行为	给单个元素设置属性	选中一个元素，并打开“元素属性”面板，在该面板中可设置该元素各个属性的信息
	给多个元素同时设置属性	通过使用 Ctrl 键或搜索功能选中多个元素，在“元素属性”面板中可以设置多个元素的共同属性
查看行为	普通查看行为	用户通过鼠标操作查看整个地图（缩放平移）以及查看已绘制好的各个元素的详细信息
	图层查看行为	应用中有默认的图层设置，不同图层上的元素显示的层级不同，在“图层设置”面板中可以设置各个图层显示的透明度级别
	底图旋转行为	用户在“图层设置”面板中可以根据坐标系和地图的状态设置底图的旋转角度
搜索功能	搜索功能	用户可以在应用的搜索栏中输入满足语法要求的搜索条件，应用将高亮显示符合搜索条件的元素
辅助功能	自动对齐	用户打开“自动对齐”功能之后，在绘制空间元素的过程中，如果目前鼠标的位置与已经绘制的元素的点（一般指顶点）在同一水平线或同一竖直线附近，画板中会出现虚线提示给用户
	方向限制	用户打开“方向限制”功能之后，则在绘制墙元素的时候，只能绘制水平方向或竖直方向上的墙，关闭该功能则可以绘制任意方向的墙

续表 5.1 应用实现功能表

	撤销重做	将用户行为所产生的关键操作记录在历史记录栈中，用户可以对关键操作进行撤销和重做
	快捷键	使用快捷键来进行操作，提高绘制地图的效率
	绘制预览功能	用户在绘制墙/门/区域的时候，能够一边绘制一边看到绘制后的最终结果
文件功能	本地文件的导入与导出	用户可以将已经绘制的内容保存为 JSON 文件，并导出下载到本地。可以将导出的本地文件重新导入到应用中继续进行绘制
	SVG 文件的导出	用户可以将绘制的内容导出为 SVG 文件（不包含底图）并下载到本地
	文件服务器	存储用户绘制的地图和导入的地图，及时保存用户绘制的内容到服务器，防止绘制内容丢失。更能方便多个人进行协作绘制。

### 5.1.2 技术选型

本文实现的应用前端页面通过使用 React<sup>2</sup>/Redux<sup>3</sup>框架技术结合 HTML5、CSS3 等前端技术进行开发完成。React 是视图层的工具库，核心思想是组件式开发。利用 React 技术，设计组件并组装组件来构建整个应用前端视图。应用状态的更新和维护使用 Redux 技术进行管理和操作。Redux 通过 action 来描述用户的操作行为，使用 dispatch action 来触发操作，通过 reducer 来处理不同的 action 并维护和更新应用的状态。应用状态的改变，会最终反映在视图层的表现。连接视

<sup>2</sup> <http://facebook.github.io/react/>

<sup>3</sup> <http://redux.js.org/>

图层（React）和状态层（Redux）使用 `react-redux` 库来实现。

为了实现快捷操作行为，本应用使用了 `Mousetrap`<sup>4</sup>库来定义和捕获快捷键事件。基于 `Mousetrap` 库，应用可以方便地实现下面三类快捷行为：简单快捷键（一个按键被按下），组合快捷键（多个按键同时被按下），以及顺序快捷键（多个按键按一定次序被按下）。为了实现搜索功能，本应用使用了 `PEGJS` 库来实现系统的搜索算法设计。`PEGJS` 是一个 JavaScript 解析器生成器。他可以产生性能优异、报错精准的解析器。它可以用来处理复杂的数据或计算机语言，也可以用它来方便地构建转换器，解释器和编译器等工具。

根据上一章节对系统状态树结构的描述和定义，使用 `Immutable.js`<sup>5</sup>所提供的数据结构来维护和管理应用的状态树。同时，为了提升应用性能，降低组件的复杂度和组件间的耦合度，大量的 `React` 组件都使用了 `pure-render` 的方式来实现。

用户在使用应用进行绘制空间元素的时候，得到的是 SVG 格式的空间地图，这样的地图保持了矢量性。

其他方面，本应用使用了 `stylus/babel/webpack/redux-devtools` 等工具来进行 CSS 书写、JavaScript 代码转换、应用开发环境配置、代码编译、打包、发布等。开发环境是 window10 下的 IDE Webstorm，测试和运行环境为最新版 chrome 浏览器。

`Django` 是一个开源的 web 应用框架，该框架采用 MVC 的框架设计模式，可以快速创建系统的对象关系映射，因此可以根据此特性快速将本地文件夹映射为服务器文件系统。

---

<sup>4</sup> <https://craig.is/killing/mice>

<sup>5</sup> <https://facebook.github.io/immutable-js/>

### 5.1.3 应用架构

根据应用所使用的技术特点，和 React/Redux 框架的特性，结合其他的库，设计应用的整体架构如下图 5.1 所示：

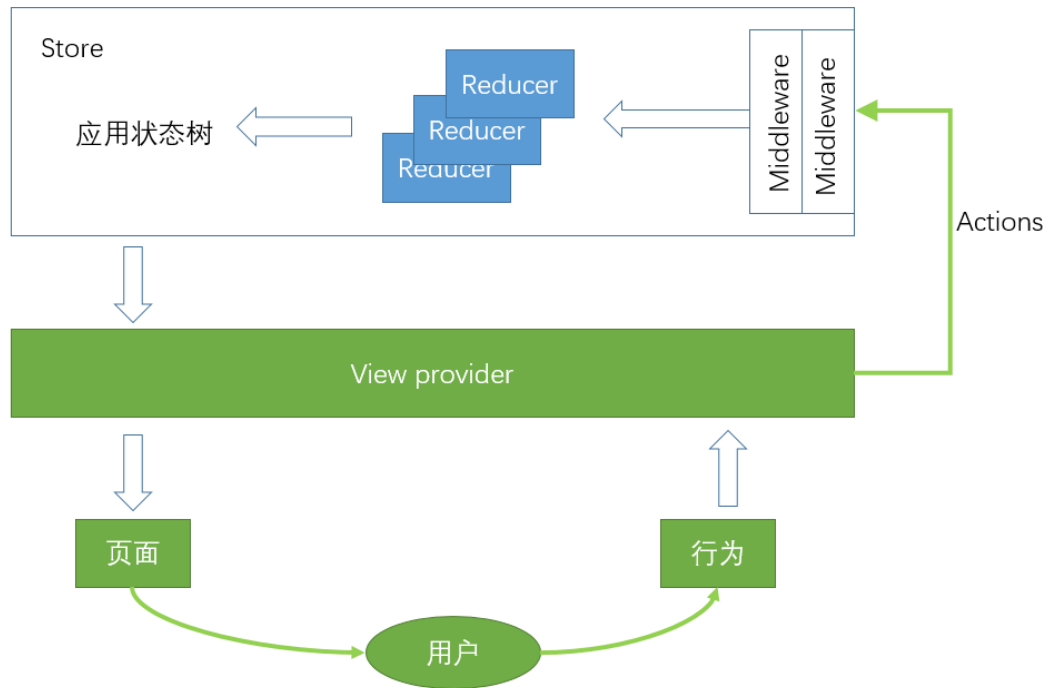


图 5.1 应用架构图

Store 维护和保存了整个应用的状态 (state)，即应用状态树，store 将 state 传递给 View Provider，View Provider 组合不同的自定义组件显示出应用需要呈现的内容，View Provider 会给予组件传递他们需要的回调函数，当用户与应用进行交互时，子组件会调用相应的回调函数进行响应并更新。具体表现为：当用户进行某种具体操作时，会产生相应的 action 来描述用户的操作，这些 action 可能很简单，也可能很复杂，但都会被传递到 Store 中，在 Store 中注册的 Middleware 会尝试翻译这些传进来的 action，最终将 action 翻译为 reducer 可以接收的简单 action。

Reducer 在获取到最终的 action 后, 根据 action 的内容和当前的状态计算得到下一个状态, 即根据原状态和用户行为产生新状态。最后用新得到的状态来替换原来的状态, 新状态的出现会通知 View Provider, 更新需要显示的应用的内容并反映在页面视图中。Mousetrap 会监听键盘事件, 当用户按下的键符合预定义的快捷键的时候, Mousetrap 也会向产生快捷键 Action, 并将这些 Action 发送给 Store 进行下一步处理。

根据系统中的图层抽象概念和系统模块设计思路, 设计应用的图层及高层组件布局组合如下图 5.2 所示:

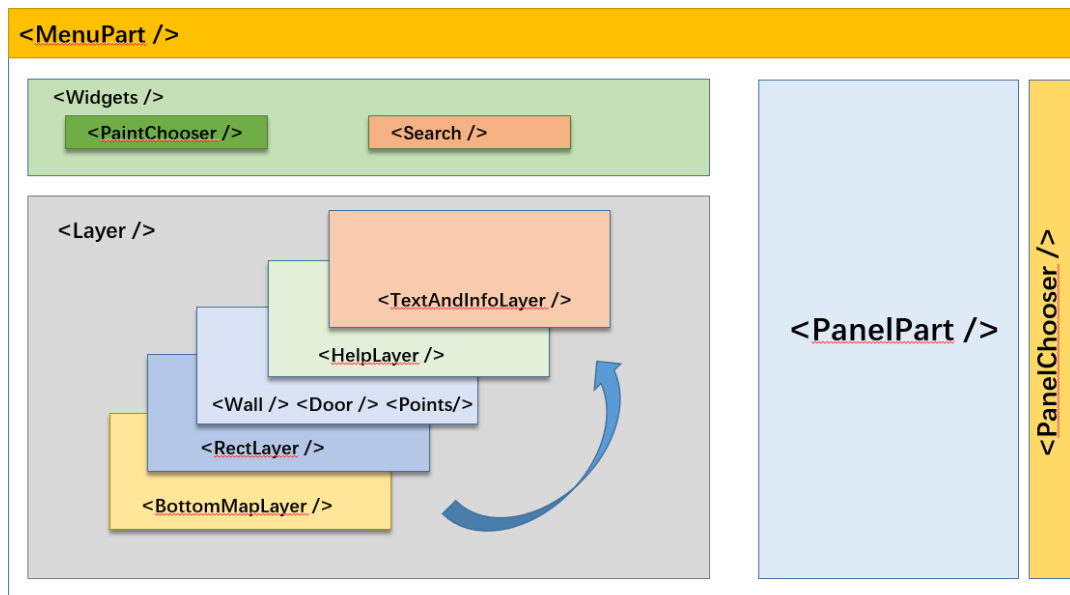


图 5.2 应用的图层及布局

<MenuPart/>表示菜单栏, 位于页面最上方, 该部分包括“文件”、“编辑”、“帮助”三个子菜单。

<PanelPart/>表示面板栏, 位于页面右侧, 在该面板中可以对选中的元素进行设置或批量设置, 也可以对整个地图的样式进行调整等。应用含有多个不同的面板可以进行切换, 最右边的<PanelChooser/>用来进行面板的切换。

<Widgets/>组件栏，位于菜单栏的下方，根据不同的绘制阶段，组件栏中将显示不同的子组件。子组件<PaintChooser/>用来切换不同的绘制状态，如绘制矩形区域、墙、门、多边形区域等。子组件<Search/>可以搜索符合搜索条件的已经绘制的元素。

<Layer/>图层，用来显示地图底图与所有的绘制好的空间元素。如图可以看到，<Layer/>内包含五个图层，越靠上的图层其级别越高，上面的图层可以覆盖下面的图层。图 5.2 已经根据实际需要确定了各层的层级关系。

有了图 5.2 的设计，整个应用的组件化的开发思路非常明确，使得应用的显示逻辑更加清晰和明确。

## 5.2 实例展示

### 5.2.1 输入及环境描述

应用的输入为某购物中心的室内空间地图，地图格式为 SVG 格式，为了体现应用支持输入多样性，也将另一张 PNG 格式的购物中心室内地图作为输入。应用运行在 Chrome 浏览器上，版本为 54.0.2840.99 m。

电脑环境：Windows10 教育版，Intel Core [i3-3240@3.40GHz](#)，内存 8G，64 位操作系统。

### 5.2.2 功能展示

#### 1) 文件服务器功能

用户只有正确的输入用户名、密码后才能登入系统，访问私人专有文件夹，否则只能访问公有文件夹，其它用户的文件夹及文件无法看到。不论有无网络，



用户可以选择打开本地文件进行绘制。有网络并且已正确登录系统的情况下，用户可以打开云端服务器上已有的文件进行绘制、下载、删除等操作。已经绘制好的地图可以保存至云端服务器上，也可以下载到本地保存。

## 2) 查看功能

如图 5.3 所示，用户选择查看行为，查看高亮，表示用户正在查看室内地图。用户选中了“Dior”语义区域，信息框中显示了该区域的具体位置及宽高属性。此时打开应用右边的“元素属性”面板，该面板包含了元素更多的属性，包括标签、语义区域、颜色、字号、坐标位置、是否显示标签等。在该面板中用户可以点击编辑进行相应属性的修改操作。并且从图中可以看到 Dior 区域已经用黄色进行高亮显示，并且该区域是一个矩形区域。该区域的语义就是“Dior 店铺”。



图 5.3 查看功能

## 3) 绘制功能

图 5.4 展示了基本的绘制行为，图中绘制了简单的位置点、墙、墙上的门、矩形区域，多边形区域。可以在右边的元素属性面板查看元素的具体属性并可以

实时修改。与查看行为中的面板展示相同，也可以展开当前工作状态面板查看当前绘制行为的工作状态。

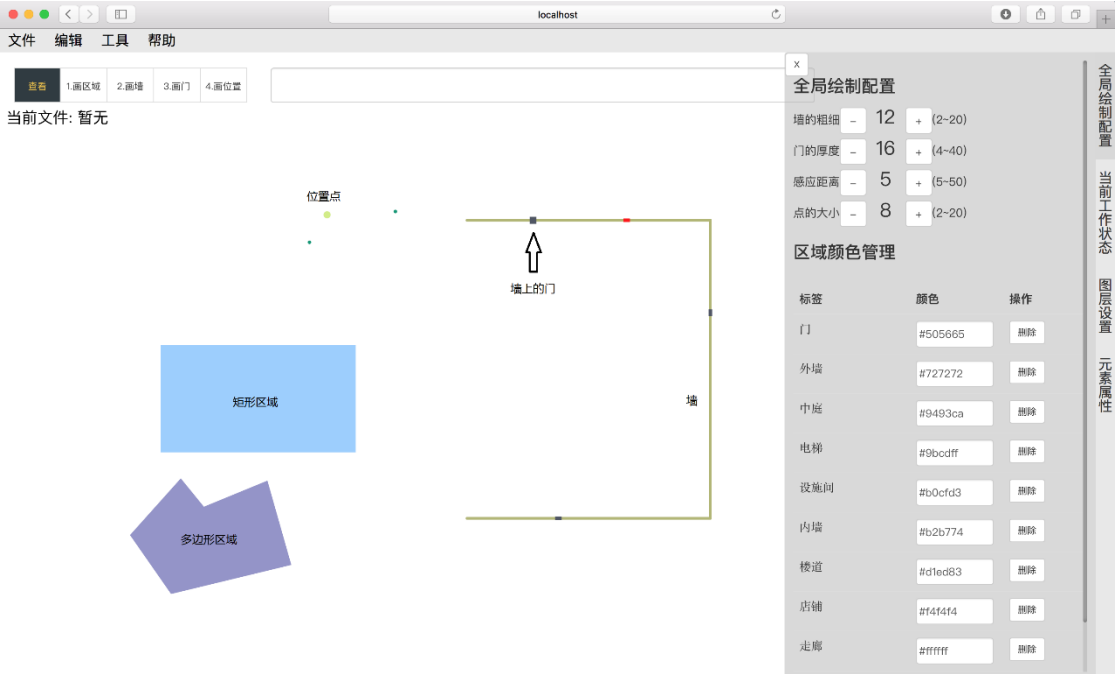


图 5.4 绘制功能

绘制过程中可以使用绘制的辅助行为：自动对齐和方向限制。打开自动对齐时候，当鼠标位置与已绘制元素中的某个元素具有类似的高度时，会出现红色的虚线表示对齐。如果打开方向限制，则在画墙时，只能画水平的墙或竖直的墙。效果如图 5.5 所示：



图 5.5 绘制过程中的辅助功能

#### 4) 图层特性

如图 5.6 所示, 根据技术实现中对应用的设计, 不同的图层可以有不同的显示层级, 通过“图层设置”面板, 可以设置不同图层的透明度。设置区域显示层级为半透明, 因为没有底图, 底图为隐藏, 文字也半透明显示, 位置点半透明显示, 最终的显示效果如图 5.6 所示。通过图 5.6 与图 5.3 比较, 可以看到设置不同图层显示级别的差异。注意到最下方可以设置底图的旋转角度, 可使得底图的横纵特性与坐标系的横纵轴保持一致, 方便绘制。



图 5.6 图层特性

5) 搜索功能

如图 5.7 所示，用户想要搜索所有设置了标的门元素的时候，输入了“has label and type is door”可以看到画板中有 10 个元素被高亮显示（黄色显示），表示有空间中有 10 个门被设置了标签，并且将这 10 个元素同时选中。此时用户可以对这 10 个元素共有的可以修改的属性进行修改，这样对应的元素的属性就会修改为同一个值。从下图可以看到，搜索到的 10 个元素的 id 列表和可以修改的元素属性，此时可以修改标签为统一值，设置颜色、厚度、类型等属性。



图 5.7 搜索功能

### 6) JSON 文件导出功能

图 5.8 是地图导出为 JSON 数据结构中的部分代码，从导出的结构中可以看到导出的元素是矩形区域，该区域的颜色是颜色标签“走廊”代表的颜色，该区域的空间位置的左上角坐标为（1057.02，693.36），宽度 194.27px，高度 473.87px。通过该信息，该编辑工具可以重现该代码片段代表的空间元素。同时 box 信息和 type 信息也可以提供给空间数据分析人员结合其他元素的空间信息计算该空间元素与其他空间元素的邻接关系和空间可达性。

```
"299": {
  "id": 299,
  "type": "RECT",
  "label": "",
  "labelConfig": {
    "show": false,
    "pos": {
      "x": 0,
      "y": 0
    },
    "fontSize": 18
  },
  "semanticLabel": "",
  "colorLabel": "走廊",
  "style": "NONE",
  "box": {
    "x": 1057.02,
    "y": 693.36,
    "width": 194.27,
    "height": 473.87
  }
},
```

图 5.8 应用导出的 JSON 文件片段

### 5.3 结果分析

如图 5.9 与 5.10 为使用该应用重新得到的室内空间信息可视化新地图与原来的 CAD 地图（整体）进行对比的效果图，可以看到新地图将用户不关心布线方案、消防设施等实体除去了，并且将重点放在语义区域的定义和空间连通结构的定义上，如门、墙、店铺、电梯等。这样便将原地图中理解性差的物理信息映射成了便于理解和研究的语义区域，门和墙元素使得空间的连通性变得显而易见，这样的可视化效果对于室内定位导航及空间行为分析来说变得十分有益并易于理解。可以发现通过该应用生产出来的地图比旧地图无论从欣赏美观性和语义信息的表达性、空间信息的展现性都有了质的提升。

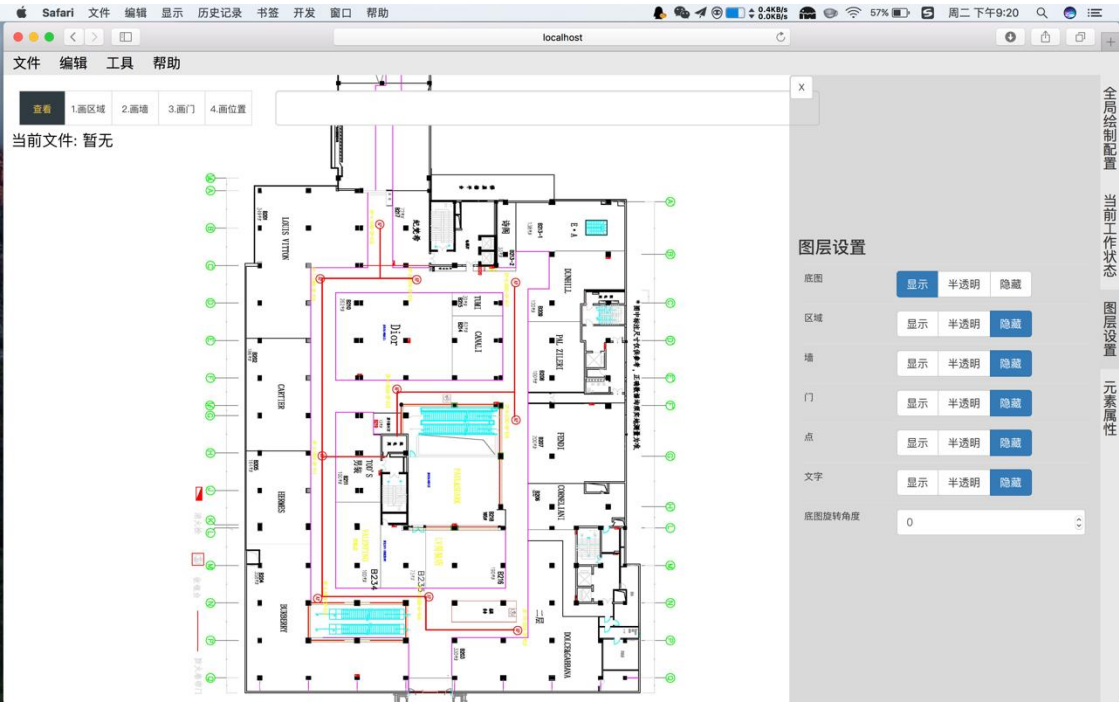


图 5.9 使用工具前的可视化地图（整体）

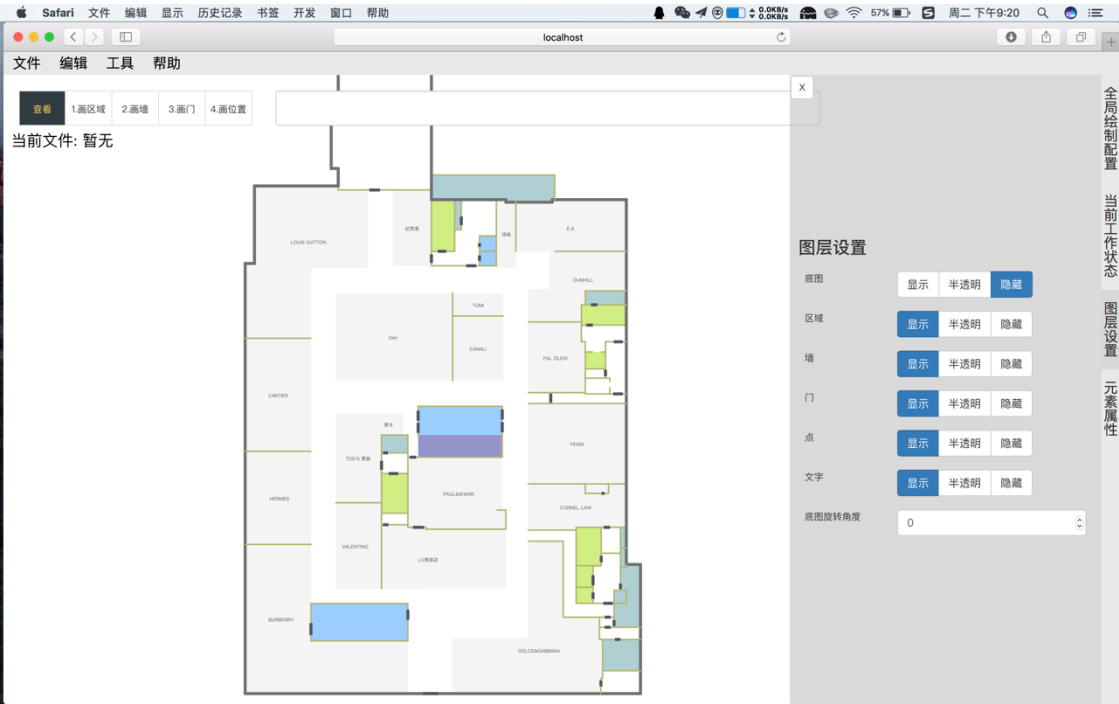


图 5.10 使用工具后的可视化地图（整体）

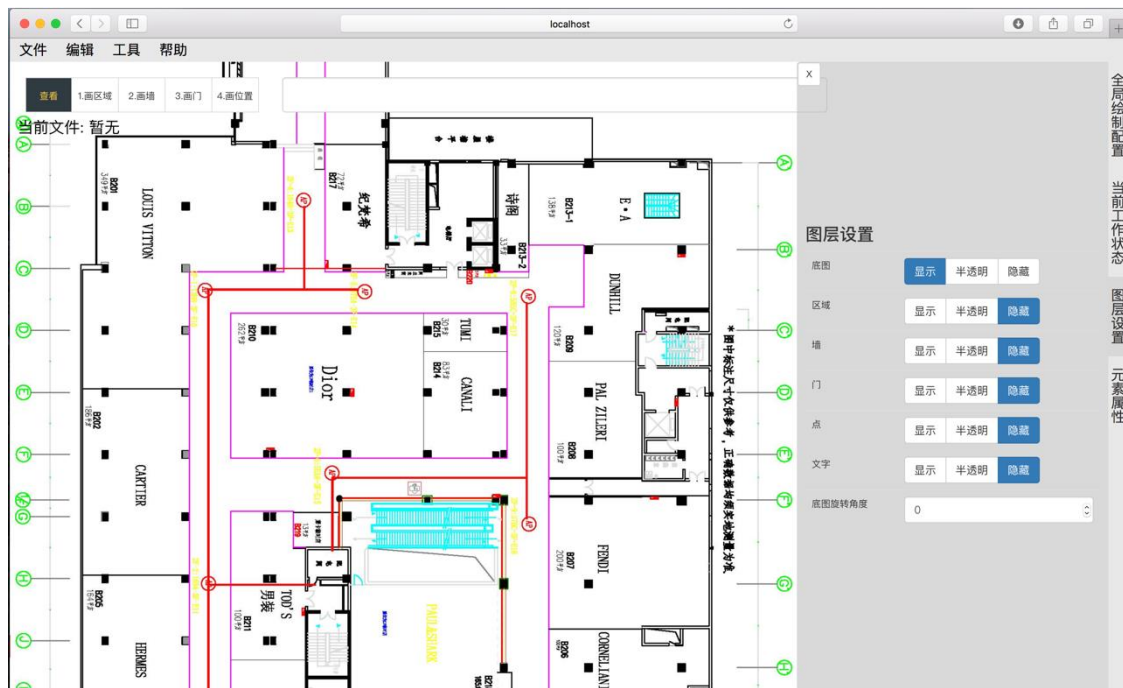


图 5.11 使用工具前的可视化地图（局部）

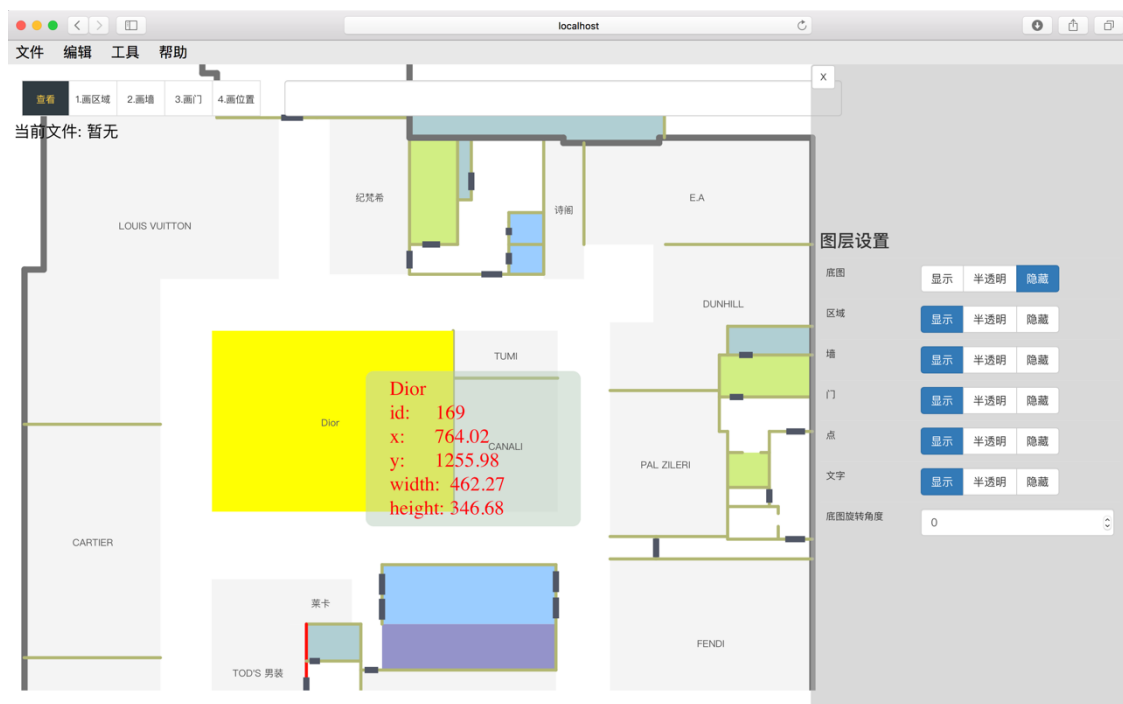


图 5.12 使用工具后的可视化地图（局部）

从图 5.11 与图 5.12 是使用应用前后电子地图局部详细信息的对比可以发现，



使用该应用得到的室内空间地图较原来不仅更加美观，保留了用户感兴趣的空间信息，并且可以方便查看实体的空间坐标位置和语义区域名字（如图 5.12 中的 Dior 语义区域提示信息）。表 5.2 对比了原地图与现地图在存储空间上的变化：

表 5.2 应用输出与输入的对比

	格式	大小
绘制前地图	JPEG	1482K
绘制后地图	SVG	37K
空间数据文件	JSON	72K

通过图 5.2 可以看出，编辑器不仅在得到矢量空间电子地图，而且大大缩小了存储电子地图所需要的存储空间，提高了约 40 倍，此外编辑器的另一个产出包含空间信息的 JSON 数据文件，相当于用原来二十分之一的存储空间却能得到更有用的空间信息。

通过对比可以发现，该应用得到的室内空间地图比原地图具有了更大的修改灵活性和主题个性，并且可以有高层的语义特征。颜色的区分、空间元素的差别、语义的提升使得可视化后空间信息重点突出、层次分明、空间拓扑结构更加清晰明确。

经过实验结果的分析，可以得到本文提出的系统较其他室内空间信息可视化技术相比具有较大优势，表 5.3 总结了在在线地图、地图综合、文件服务、语义性、资金成本、扩展性、个性化、入门门槛、背景知识、用户体验、环境适应性、地图数据复用性等方面与其他相关室内空间信息可视化技术进行了对比的结果，可以发现，本文提出的技术除了在用户体验上不如基于虚拟现实的室内空间信息可视化技术之外，其他方面的表现都是优秀的。

表 5.3 本文系统与其他室内空间可视化技术对比

	本文系统	室内 GIS	虚拟现实	CAD 矢量图	图像识别	绘图工具
在线地图	支持	支持	不支持	不支持	不支持	不支持
地图综合	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
文件服务	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
语义性	支持	支持	不支持	不支持	不支持	支持
资金成本	低	高	高	低	低	低
扩展性	强	弱	弱	弱	弱	弱
个性化	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
入门门槛	低	高	高	高	高	中
背景知识	低	高	高	高	高	中
用户体验	中	中	高	低	低	中
环境适应性	强	中	弱	弱	中	中
地图数据复 用性	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持

通过实验论证,可以总结出本文提出的系统与其他室内空间信息可视化技术和专业矢量地图绘制工具相比,具有较为明显的绘制工具轻量性、绘制过程云存储、绘制元素可搜索、绘制结果可挖掘等众多创新特性。

## 5.4 系统性能分析

前端文件在使用 webpack 进行打包后 JS 文件大小为 523k,css 文件大小为 10k。以本地机器模拟 web 服务器,使用浏览器打开页面,页面加载时间为 423ms,打开迅速。打开速度已经远远大于专业矢量图形绘制工具的打开时间(Photoshop

打开时间 5.23s, Inkscape 打开时间 2.37s)。

系统测试主要测试在复杂情况下应用在绘制室内空间电子地图上的表现。现在用 JavaScript 脚本模拟实现人为随机绘制 100 个至 10000 个室内空间矩形区域, 得到绘制这些区域所花费的时间, 结果如图 5.13 所示:

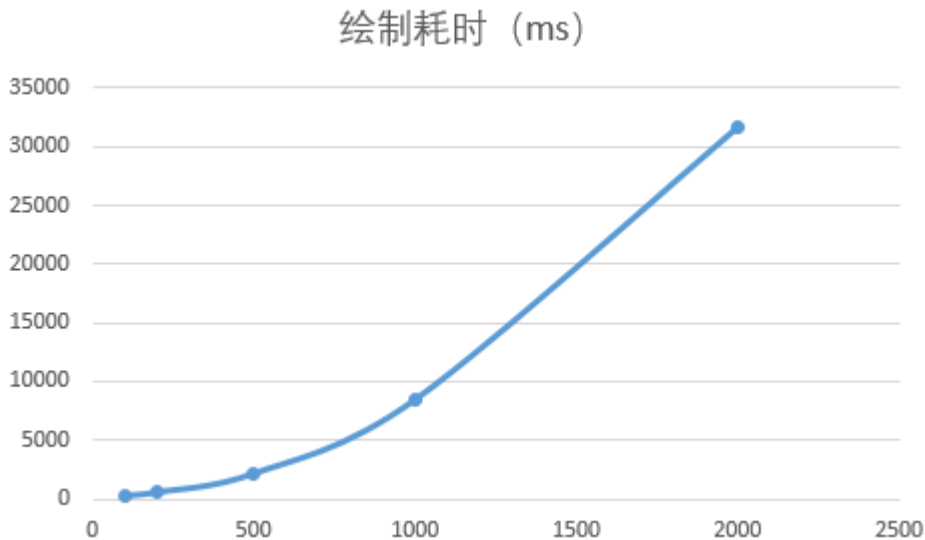


图 5.13 绘制区域数目耗时变化

图 5.13 展示了随着绘制数目变多情况下, 绘制所需要的时间变化, 可以发现在绘制区域数目小于 1000 个情况下, 该工具的性能表现可以接受, 耗时均在 1s 以下。但当区域数目更多, 2000 甚至更多时, 耗时明显加长, 绘制体验也会急剧下降。

在上一小节中描述的电脑环境下, 测试绘制不同数目区域情况下, 对地图进行基本的平移操作时, 浏览器平均每帧的耗时情况, 如图 5.14 所示:

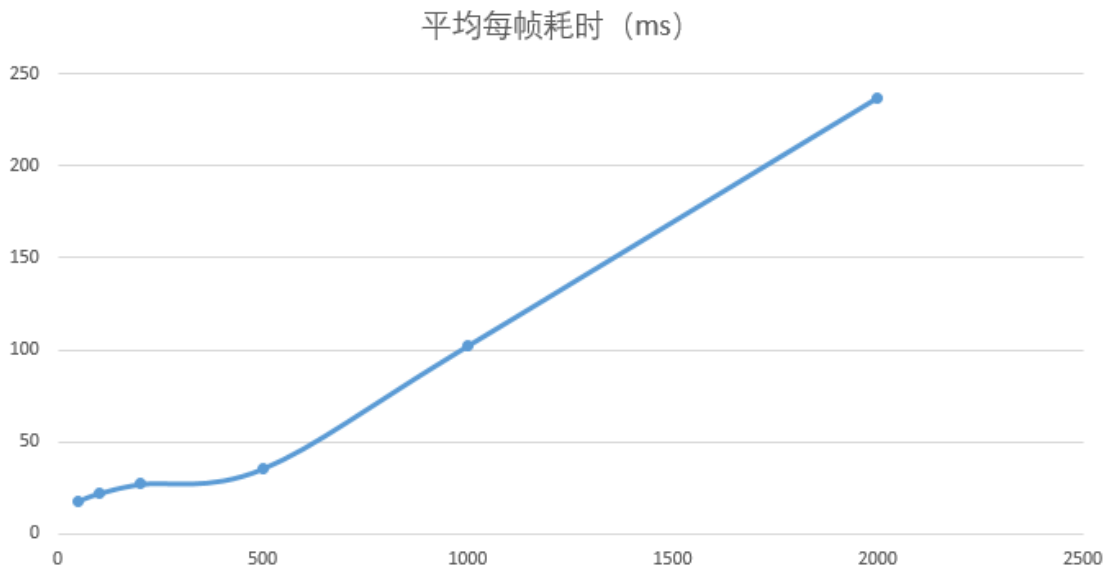


图 5.14 浏览器每帧耗时随绘制区域数目变化情况

从图 5.14 可以看出,随着绘制区域数目的增加,每帧耗时明显提高。大约绘制区域数目在 500 个左右时,平均每帧耗时大约在 30ms 左右,即帧率大约为 30 帧,在更多绘制区域数目的情况下,地图平移操作会出现轻微的卡顿现象,在区域数目达到 1000 个区域时,会出现较为明显的卡顿现象。其原因在于在拖动地图的过程中,页面是不断刷新的。绘制区域过多导致页面 DOM 节点过多,绘制信息过多,使得页面刷新一次耗时显著增加,最终导致每帧耗时增加。

结合图 5.9 和图 5.10 可看出,在用户体验优先考虑的前提条件下,空间区域数目在 500 个左右时该工具可以正常使用,在区域数目过多情况下,用户体验度将会有所降低。而在实际情况下,空间区域 200 至 300 较为常见,该应用可以应对绝大多数的应用场景。

## 5.5 系统可靠性检测

本文系统可靠性主要从以下几个角度进行测试:

### 1) 用户权限限制

实验发现，设置了 test 用户和 admin 用户不同的文件夹权限。test 用户具有操作文件夹 FloorInfo 的权限，test 用户没有。当使用 test 用户登录系统时，test 用户不能够看到 FloorInfo 文件夹。给 Basic 文件夹中 floor1.jpg 文件 admin 用户读写权限，test 用户读权限，用户 test 在登录系统后，即使加载了 floor1.jpg 文件，并进行了修改或重新绘制，在保存数据时，系统会提示当前用户没有对该文件进行修改的权限，但可以将修改的内容加载到本地。

#### 2) 网络故障

实验发现，当绘制过程中人工断掉网络时，自动保存绘制信息时候会出错，提示用户网络断开，但是绘制数据并没有丢失，用户可以继续进行绘制，并将绘制信息保存到本地。

#### 3) 误操作提示

当用户不小心点击关闭应用的按钮时，浏览器不会直接退出，不会导致绘制信息的丢失，而是会给用户友好提示，进行二次确认是否退出。即使用户此时退出，之前绘制的信息也会保存到云端服务器中。

其它用户误操作如删除元素、元素属性设置出错、绘制过程出错等都会进行弹框提示，提醒用户需要留意。

#### 4) 内存泄漏保障

实验进行了用户使用应用长达 3 小时的操作，未发现明显的系统内存增加和浏览器使用卡顿的情况，应用没有明显的内存泄漏情况。

## 5.6 本章小结

本章节主要是利用前端技术(React 框架, Redux 技术及 HTML5 等)和 python 后台(Django 框架)技术实现了本文提出的技术系统，得到了一个可在主流浏览

器上轻松使用的 web 应用。然后介绍了该应用的整体框架，展示了应用所实现的功能及功能截图。可以看出，该应用基本上实现了系统中提到的各种用户行为和核心功能。然后对该应用的输出结果与原来的地图对比进行了分析，得出新地图的可视化效果较原地图具有明显的提升，语义信息更强，具有很强的个性和美观性，体现出了本文系统的创新性。最后对应用的性能和可靠性进行了测试，表明应用能够在大多数应用场景下正常使用，但也存在绘制区域数目过多时用户体验下降的问题。

## 第6章 总结与展望

### 6.1 本文的工作和贡献

本文在研究国内外空间信息可视化技术的基础之上，分析了目前室内空间信息可视化发展的状况，提出了一种新的室内空间信息可视化技术系统并用 web 技术对本文提出的系统进行了实现。主要的工作和贡献如下：

（1）针对当前室内空间信息可视化技术的主要特征、形式，并围绕当前主流的室内空间信息可视化技术进行了详细的分析和应用综述。

（2）针对主流室内空间信息可视化技术中存在的问题，本文设计了一套室内空间信息可视化模型。该系统具有绘制工具轻量性、绘制过程云存储、绘制元素可搜索、绘制结果可挖掘、临摹绘制等特点。该系统具有良好的数据结构设计，并采用自动对齐算法、自动吸附算法、撤销/重做算法、元素搜索算法等丰富了系统的功能。

（3）利用前端 web 相关技术和 Python 的 Django 框架对本文提出的可视化技术模型进行了实现。相较于主流的可视化技术，本文实现的室内空间信息可视化系统在地图绘制的个性化、语义性、表达性、灵活性和扩展性等方面都有所改进。

（4）以某大型购物中心室内空间地图为例，利用本文设计并实现的室内空间信息可视化系统，绘制得到具有预期特点的室内空间地图。验证了本文提出的技术模型的有效性，可行性。

## 6.2 未来的研究展望

在大数据时代的背景之下，数据可视化变得愈发重要。室内空间环境也已成为人类生活的主要环境，加之室内空间定位、室内导航及室内空间数据分析技术的出现和发展，使得室内空间信息可视化服务变得越来越重要。针对室内空间信息可视化技术面临的诸多问题，本文提出的技术系统不仅能够降低室内空间信息可视化的技术门槛，并能提供高层的语义特性和可继续挖掘性，具有较强的灵活性、易用性、美观性。

但是，本文提出的技术系统没有考虑到用户可能要导入自定义图标的情况，即用户可能使用某些图标来表示特定的实体，可以为系统引入图标库的概念，使得系统具有更强大的通用性。同时更多特殊形状的区域引入也显得十分必要，如扇形几何区域、圆环区域等。在文件服务上，会有多用户同时编辑一张地图时，后保存的会覆盖前面用户保存的地图的状况，这个问题也是后续需要解决的。



## 参考文献

- [1] Hölscher C, Brösamle M. Capturing indoor wayfinding strategies and differences in spatial knowledge with space syntax[C]//Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium, İstanbul. 2007.
- [2] Hajibabai L, Delavar M R, Malek M R, et al. Spatial cognition and wayfinding strategy during building fire[C]//Proc. 3rd International Conference on Spatial Cognition, Rome, Italy, 8p. 2006.
- [3] 唐泽圣、陈为.可视化条目.中国计算机大百科全书,2011 年修订版
- [4] 张兰, 王光霞, 袁田, 等. 室内地图研究初探[J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(9): 43-47.
- [5] Aditya T, Iswanto F, Wirawan A, et al. 3D cadastre web map: Prospects and developments[C]//2nd International workshop on 3D cadastres. 2011: 16-18.
- [6] 吴加敏, 孙连英. 空间数据可视化的研究与发展[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(10): 85-88.
- [7] Steuer J. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence[J]. Journal of communication, 1992, 42(4): 73-93.
- [8] Buziek G, Döllner J. Concept and implementation of an interactive, cartographic virtual reality system[C]//Proceedings of the International Cartographic Conference ICC. 1999, 99: 637-648.
- [9] 蔚元方, 郑秋生, 李向东. 基于 D3 的地图信息可视化研究[J]. 中原工学院学报, 2015 (2015 年 04): 59-64.

- [10] Aronoff S. Geographic information systems: a management perspective[J]. 1989.
- [11] 龚建华, 肖乐斌. 地学可视化探讨[J]. 遥感学报, 1999, 3(3): 236-244.
- [12] Burdea G C, Coiffet P. Virtual reality technology[M]. John Wiley & Sons, 2003.
- [13] 张兰, 王光霞, 袁田, 等. 室内地图研究初探[J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(9): 43-47.
- [14] Farin G. Curves and surfaces for computer-aided geometric design: a practical guide[M]. Elsevier, 2014.
- [15] 周宏亮. 室内即时定位系统的可视化监控技术研究 with 实现[D]. 上海交通大学, 2012.
- [16] Mikkel Boysen, Christian de Haas, Hua Lu. Constructing indoor navigation systems from digital building information. Data Engineering (ICDE), 2014 IEEE 30th International Conference on , Issue Date: March 2014
- [17] Rybski, Paul E.; Zacharias, Franziska; Lett, Jean-Francois; Masoud, Osama; Gini, Maria; Papanikolopoulos, Nikolaos. Robotics and Automation, 2003.Proceedings. ICRA '03. IEEE International Conference on.
- [18] Michael Worboys, Lisa Walton. Towards a model of indoor space [R]. Maine: University of Maine, 2008
- [19] 高俊. 地理空间数据的可视化[J]. 测绘工程, 2000, 9(3): 1-7.
- [20] 钱小敏, 陈斌. 室内 GIS 的研究现状与前景[J]. 地理空间信息, 2012, 10(4): 73-75.
- [21] 潘正风. 城市地图数据库及地图更新[J]. 测绘工程, 1999, 8(4): 1-5.
- [22] Goodchild M. Looking forward: Five thoughts on the future of GIS[J]. 2011—02—24/2012—09, 2011.

- [23] Kim H, Jun C, Cho Y, et al. Indoor Spatial Analysis Using Space Syntax, The[C]//International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B2. 2008.
- [24] Li, Dandan, and Dik Lun Lee. "A topology-based semantic location model for indoor applications." Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL international conference on Advances in geographic information systems. ACM, 2008.
- [25] Lorenz, Bernhard, Hans Jürgen Ohlbach, and Edgar-Philipp Stoffel. "A hybrid spatial model for representing indoor environments." International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [26] 周廷美, 肖文, 陈定方. 虚拟现实与室内设计[J]. 计算机工程, 2002, 28(9): 182-183.
- [27] 毛福春, 黄铭, 杨晶晶. 一种基于虚拟现实和 WIFI 空间场强的室内定位方法: CN, CN103384358A[P]. 2013.
- [28] Linardakis S, Mileham A R. Manufacturing feature identification for prismatic components from CAD, DXF files[C]//Proc 9th National Conference on Manufacturing Research-Advances in Manufacturing Technology VII. University of Bath, 1993: 37-41.
- [29] Ferraiolo J, Jun F, Jackson D. Scalable vector graphics (SVG) 1.0 specification[M]. iuniverse, 2000.
- [30] Plans A F. Generating 3d building models from architectural drawings: A survey[J]. 2009.

## 攻读硕士学位期间主要的研究成果

[1]

[2]

## 致谢

本论文是在实验室导师组陈刚老师，寿黎但老师，陈珂老师，伍赛老师、江大伟老师和胡天磊老师的悉心指导下完成的。导师们渊博的专业知识，严谨的治学态度，精益求精的工作作风，诲人不倦的高尚师德，严以律己、宽以待人的崇高风范，朴实无华、平易近人的人格魅力对我影响深远。不禁使我树立了远大的学术目标、掌握了基本的研究方法，还使我明白了许多待人接物与为人处事的道理。本论文从选题到完成，每一步都是在实验室导师组的指导下完成的。在此谨向导师组表示崇高的敬意和感谢。

另外特别感谢项目组的所有成员，本文实现应用工作量大，逻辑控制功能复杂，感谢项目组的师兄师弟们提供热心的帮助、耐心的测试、真诚的修改意见。骆歆远师兄和李环师兄在论文的书写上和系统的设计上都提供了非常重要的参考意见和帮助，史飞超师弟在应用的实现上和技术的选型上提供了无私的帮助，在此要真诚地感谢他们提供的帮助。

本论文的顺利完成，离不开各位实验室同仁和朋友的关心和帮助。在此感谢实验室的小伙伴们，因为你们的朝夕相伴，相互鼓励才能使得我顺利的完成毕业设计。特别感谢实验室金明建、张也、任伟超、陈欣、王凌阳、喻影等在写论文过程中的鼓励和支持，在此表示深深的感谢，没有他们的帮助和支持是没有办法完成我的硕士论文的，同窗之间的友谊永远长存。

最后感谢浙江大学的栽培，转眼在浙大已经呆了将近三年，我在三年内的成长，大家有目共睹，是浙大的求是精神让我如沐春风，不断地滋养着我。我今后走上工作岗位也希望可以延续求是风范，为社会主义做出自己力所能及的贡献。

署名

当前