

# 一种顾及拓扑关系的室内三维模型组织和调度方法

王行风<sup>1,2</sup> 汪云甲<sup>1,2</sup>

1 中国矿业大学国土环境与灾害监测国家测绘局重点实验室,江苏 徐州,221116  
2 中国矿业大学环境与测绘学院,江苏 徐州,221116

**摘 要:**针对室内空间三维导航、几何模型高质量渲染的需求与个人移动平台资源、计算能力有限之间的矛盾,在分析室内空间区域功能、明确室内单元类型的基础上,构建了能够表达室内空间各部分拓扑特征,且支持三维路径分析的室内空间网络拓扑关系模型,并在准确把握室内空间区域拓扑逻辑关系的前提下,探讨了顾及室内拓扑关系的空间分割和几何模型的组织和调度策略,以实现室内模型的动态遮断和剔除。实验结果表明,利用所提方法可以实现几何模型的实时遮断和剪裁,大幅度减少模型绘制的数量和数据量,提升数据传输和绘制的效率,为高逼真度的三维模型可视化绘制奠定了数据基础和保证。

**关键词:**室内三维导航;拓扑关系;移动地理信息系统;虚拟现实;个人移动平台

**中图法分类号:**P208      **文献标志码:**A

随着城市室内空间应用规模的大幅增加以及物联网感知定位技术的发展<sup>[1-2]</sup>,基于大型场馆的室内定位导航受到越来越多的关注<sup>[3-6]</sup>。传统的导航应用主要集中于室外区域,技术上也多基于二维矢量/影像实现<sup>[7-8]</sup>。但在室内复杂环境下,尤其在多层大型建筑物内部,基于二维矢量/栅格的导航地图往往因为不够直观而难以为用户提供足以快速理解周边环境及所处方位的信息。因此,基于增强现实技术,面向个人移动平台研制室内三维导航系统已成为位置服务研究的重点领域<sup>[9]</sup>。与室外三维显示重点表达建筑物的位置、分布及其之间的关系不同,室内场景不仅要表达室内空间三维结构,而且还需渲染大量高逼真度的几何模型。较多的室内模型及较精细的渲染表达造成模型数据量飞速增长,常导致一个数据页内需渲染的模型和数据量是“海量”的,难以确保高质量实时渲染的帧率需求。因此,室内模型轻量化建模以及室内场景管理与调度方法被越来越多的学者所关注<sup>[10-12]</sup>。

室内生活经验告诉人们,视域范围内的众多房间与模型由于受到墙壁的遮挡、门的开关等因素的影响难以被用户观察到。以简单几何体作为建模基本单位的室内三维模型缺乏对室内空间单元的定义以及室内单元之间拓扑关系及其属性信

息的描述<sup>[13]</sup>,传统的三维场景组织管理方法(几何空间分割技术、视域裁切算法等)难以处理和实时检测室内模型单元之间的遮挡,因为它们总是依赖于场景中的其他物体,从而造成系统不得不处理和渲染用户实际上看不到的几何模型,这对于存储容量和计算能力有限的个人移动平台来说,极易导致系统绘制效率低下<sup>[14]</sup>,难以满足室内场景流畅渲染的需求。因此,本文在分析室内空间区域功能、布局和区域之间空间关系的基础上,借鉴空间网络模型理论<sup>[15-18]</sup>,从加强室内导航体验的角度出发,构建一个能够准确描述室内单元几何特征和拓扑特征,融有语义信息且支持三维空间路径分析的室内空间模型<sup>[14-15,19]</sup>;并在准确把握室内空间单元拓扑逻辑关系的前提下,探讨基于拓扑网络的室内空间分割以及视锥体动态遮断剔除的室内模型组织和调度方法,通过大幅减少需绘制模型的数量与数据量,提升数据传输和绘制的效率,改善个人移动平台的三维场景渲染效果。

## 1 室内空间拓扑关系模型

### 1.1 室内空间区域类型

为了给室内模型增加拓扑信息以实现利用拓

扑关系表达室内空间,本文将室内空间区域按照功能作用的不同,划分为有界空间、联系通道两种类型。

1) 有界空间:指占据一定空间,具有明确的边界形态(不一定完全封闭),有一个或多个通道与其他区域相连,体现出一定的内向性、收敛性和向心性的特征<sup>[20]</sup>,多表现为具有一定独立功能的房间,如教学单位的教室、办公室和教师休息室等单元。

2) 联系通道:为有界空间之间的缓冲区,功能上主要是为了解决室内联系和疏散问题,具有开放性的空间界线,但空间限定性弱,具有通透性、流动性和发散性<sup>[20]</sup>。根据沟通联系的方向,可进一步将其划分为:① 水平联系通道。用来实现水平空间的联系和疏通,如过道、走廊、门厅及出入口等。② 垂直联系通道。用来实现垂直方向的沟通,且多与水平通道网络有结点相连,如联系不同楼层的电梯、楼梯、自动扶梯等。

## 1.2 室内拓扑基本元素

室内通道网络与交通路网、地下管网有着众多相似之处<sup>[21-22]</sup>。因此,可借鉴地理信息系统中拓扑网络原理,将室内空间中的联系通道抽象为空间弧段,有界空间退化为点,形成由弧段和结点组成的通道网络模型,具体如图 1 所示。

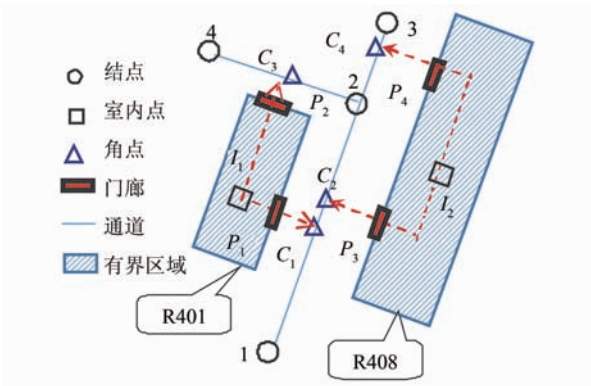


图 1 室内拓扑要素类型

Fig. 1 Topological Element Type of Indoor Space

### 1.2.1 点元素

点元素主要表达室内通道网络上的结点,如建筑物入口、电梯出口、楼道拐弯处等。依据作用以及连接情况,可将点元素划分为室内点、门廊点、通道结点、通道角点与立体联系点 5 类。

1) 室内点。在有界空间内部,由有界空间退化而成,应用时可由有界空间的边界信息获得。在室内定位或路径导航时可以代表有界空间。如图 1 中的  $I_1$ 、 $I_2$  即为室内点,分别代表了房间 401

(R401)和房间 408(R408)。

2) 门廊点。处在室内点和外部通道联系的路径上,由于室内空间多通过门和主通道(走廊)相连,故称之为门廊点,该类点位置可由门的位置获得。图 1 中  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  和  $P_4$  为门廊点,实际就是各个房间的门位置。

3) 通道结点。是指楼层内主通道之间的交叉点,表现为通道弧段端点或通道弧段之间的汇聚点、交叉点,图 1 中 1、2、3、4 为通道结点。通道结点和弧段联系在一起构成了室内空间的通道网络。

4) 通道角点。通道网络内除了端点、交叉点和汇聚点之外的中间点,其特点是和有界空间直接相连,一般通过门廊点和室内点相连。图 1 中  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  和  $C_4$  为通道角点。

5) 立体联系点。为联系不同楼层的结点,和水平楼层有交点,可根据需要在垂直方向上向上或向下进入到水平楼层的通道网络内,如电梯、楼梯口的点。立体联系点实际是通道结点的一种,由于作用不同,本文将其单独归为一类。

### 1.2.2 弧段元素

室内空间的各种通道可以用弧段来表达,这些通道弧段多具有通行时间、类型(水平/竖直)、长度和连接顶点数等属性。根据弧段的联系情况,室内弧段可以分为:

1) 水平联系弧段。为楼层内水平联系的主通道弧段,构成了楼层内联系的主干道网络,如图 1 中的 12、23 和 24 弧段。

2) 垂直联系弧段。为沟通不同楼层之间联系的通道,弧段上的点由立体联系点构成。

3) 室内点-门廊-通道联系弧段。主要指有界空间和主通道之间的联系弧段,例如房间通过门廊联系通道角点从而实现了有界区域和主通道网络的联系。如图 1 中的  $I_1$ - $P_1$ - $C_1$  弧段就属于室内点-门廊-通道联系弧段。

按照通道功能的不同,室内通道可划分为两个等级。水平联系弧段和垂直联系弧段紧密联系构成了一级通道网络,它们构成了室内联系和沟通的骨架通道网络。室内点-门廊-通道联系弧段构成了二级通道网络,可视为主通道分支,呈现为有界空间和主要通道之间的联系。一级通道和二级通道密切配合,确保了室内通道网络模型的完整性。在实际应用中,二级通道可以根据需要来确定是否保留,若导航目的地不需要进入室内,那么二级通道就可以不必构建。

### 1.3 室内拓扑关系

由于室内通道网络是由点(室内点、门廊点、通道结点、通道角点和立体联系点)、弧段所组成,因此室内网络的拓扑关系可表示为以下方面。

1) 包含关系。表达了有界区域、通道和结点之间的包含关系。主要有:①有界区域包含室内点。一个有界区域只包含一个室内点,如图 1 中的 R401 包含了  $I_1$  点,R408 包含了  $I_2$  点;②有界区域包含门廊点。如图 1 中 R401 包含了  $P_1$  和  $P_2$  两个门廊点,R408 包括了  $P_3$ 、 $P_4$  门廊点;③廊道包含通道角点。如图 1 中廊道 12 包括  $C_1$ 、 $C_2$ ,廊道 23 包括  $C_4$  等通道角点。

2) 通道弧段-通道结点的拓扑关系。弧段是由通道中的结点、角点构成的,如图 1 中弧段 12 是结点 1、2 和通道角点  $C_1$ 、 $C_2$  构成的,弧段 23 是由结点 2、3 和通道角点 4 组成的。

3) 通道结点-通道弧段关联关系。表达了结点和主通道弧段的关系,根据点的类型和连接作用可以概括为:①实相连(物理关联)关系。表达的是通道角点、结点和弧段关系。通道角点和结点都在通道弧段上,通道弧段实际就是由这些点所组成的。如图 1 中结点 2 关联弧段 12、23 和 24。②虚关联(逻辑关联)关系。主要指室内点、门廊点和通道弧段的关系。室内点、门廊点和通道弧段之间存在一定的空间距离,并不直接相连,但室内点、门廊点所关联的通道是有界区域和外部空间联系的必然通道,因此可以认为他们逻辑上是相连的。如图 1 中  $I_1$  逻辑关联弧段 12、24,  $P_1$  逻辑关联弧段 12,  $P_2$  逻辑关联弧段 24。图 1 中虚线表示逻辑相连关系。

### 1.4 室内空间拓扑关系表达

应用中可利用数据库来存储和表达室内要素的空间拓扑关系。以图 1 为例,空间拓扑关系可以表达为:

1) 有界区域-室内点表。有界区域包含室内点,且一个有界区域只有一个室内点。表 1 表达了有界区域和室内点的这种关系。室内定位时可根据传感器所获得的位置信息来确定所在的有界区域。导航搜索目标时,用户可利用有界区域的名称(如 R408)来进行查找,所以表 1 中使用有界空间的名称作为其身份标识(identification, ID)表示,以方便用户查找,进而关联有界区域的室内点。

2) 区域-门廊-角点表。一个有界区域可能有多个通道和外界相连,因此一个区域可包含有多

个门廊,区域-门廊表(见表 2)表达了区域和廊道的关系,明确了区域和门廊之间的包含关系。

表 1 有界区域-室内点

Tab. 1 Bounded Space-Indoor Point		
有界区域	室内点	边界
R401	$I_1$	...
R408	$I_2$	...
⋮	⋮	⋮

表 2 有界区域-门廊点-通道角点

Tab. 2 Bounded Space-Portal Point-Corner Point			
门廊点	有界区域	通道角点	坐标
$P_1$	R401	$C_1$	$(x_1, y_1, z_1)$
$P_2$	R401	$C_3$	$(x_2, y_2, z_2)$
$P_3$	R408	$C_2$	$(x_3, y_3, z_3)$
$P_4$	R408	$C_4$	$(x_4, y_4, z_4)$
⋮	⋮	⋮	⋮

3) 通道结点表。保存了室内所有结点信息,包括通道结点和连体联系点两种类型,它们构成了建筑物室内骨架通道网络,图 1 的通道结点信息见表 3。除了给出结点标识和坐标信息之外,为了分析的需要,可添加类型字段和所在楼层字段。类型字段用来区分结点类型,类型=0 表示该结点为立体联系点;类型=1 表示在楼层范围内沟通和联系的通道结点。

表 3 结点表

Tab. 3 Node Information			
ID	坐标	类型	所在楼层
1	$(x_1, y_1, z_1)$	0	2
2	$(x_2, y_2, z_2)$	1	1
3	$(x_3, y_3, z_3)$	1	2
4	$(x_4, y_4, z_4)$	1	2
⋮	⋮	⋮	⋮

4) 通道角点-通道-门廊表。角点-通道-门廊表(见表 4)体现了有界区域和弧段之间的关联关系,有界区域通过门廊和通道连接于某个角点上,是外界进入有界区域的通道。

表 4 角点-通道-门廊

Tab. 4 Corner Point-Contact Channel-Portal Point			
角点	通道	门廊	坐标
1	12	1	$(x_0, y_0, z_0)$
2	12	3	$(x_1, y_1, z_1)$
3	24	2	$(x_2, y_2, z_2)$
4	23	4	$(x_4, y_4, z_4)$
⋮	⋮	⋮	⋮

5) 结点-水平通道表。表达了结点和弧段的关联关系,反映了相交于某结点的通道弧段(见表 5)。

表 5 结点-水平通道表

Tab. 5 Node Point-Horizontal Contact Channel

结点	水平通道
1	12
2	12,24,23
3	23
4	24
⋮	⋮

6) 水平通道-结点表。表 6 表示了弧段的起止点,由于在室内网络中可能存在某方向禁行的实际情况,因此在表 6 中给出了单双向标志,0 表示双向,1 表示单向。

表 6 通道弧段-结点表

Tab. 6 Horizontal Contact Channel-Node Point

水平弧段	起始结点	终止结点	单双向标志
12	1	2	0
23	2	3	0
24	2	4	0
⋮	⋮	⋮	⋮

7) 楼层联系表。反映了楼层之间的连接关系(见表 7),表 7 中的结点是立体联系结点。应用时若发现出发点和目标点分属于两个不同的楼层,导航计算路径时就可分 3 步进行:① 查找起始点到出口点集;② 查找目标点所在房间到本层的入口点集;③ 利用以上 2 步的结果所获得的路径集合确定查找的路径(集)。

表 7 楼层联系表

Tab. 7 Floor Contact

楼层弧段	点数组	单双向标志
0	1,2,3,	0
1	1,4,5	1
⋮	⋮	⋮

2 顾及拓扑关系的室内几何模型组织和调度

由于室内空间墙壁以及模型之间的遮挡,视锥体内的众多房间以及模型用户可能是看不到的,但由于模型之间的遮挡依赖于场景中的其他物体,传统的几何模型组织和管理方案(如四/八叉树分割等)实时检测物体之间的遮挡是非常复杂和困难的<sup>[23]</sup>,从而造成系统不得不处理本不需要渲染的众多几何模型。这种开销加重了系统负担,导致系统绘制效率低下<sup>[14]</sup>,难以满足个人移动平台三维模型及场景流畅渲染的需求。

因此,本文根据前文的室内空间拓扑关系的表达与分析,利用室内空间不同部分之间的拓扑逻辑关系探讨室内场景的空间分割和视锥体的遮断剔除<sup>[10]</sup>,从而实现室内几何模型的组织 and 调度。

2.1 室内空间拓扑模型构建

1) 按照室内区域功能,将室内空间分割为由有界区域和门廊。

2) 根据室内空间单元之间的连通关系,进行几何分割,构建室内空间的区域-门廊拓扑关系,利用区域表、门廊表和区域-门廊关系表来表达(见图 2)。在区域-门廊关系表中,边表示门廊,节点表示房间区域(含走廊)。编码需要建立文件:① 区域表。包含了区域 ID、区域名称和区域边界字段信息。② 门廊表。包含门廊 ID,门廊边界字段。③ 区域-门廊表。表达了区域和门廊之间的关系,每个区域拥有几个门廊。门廊是图中连接两个区域的边,注意一些房间之间是有门联通的。

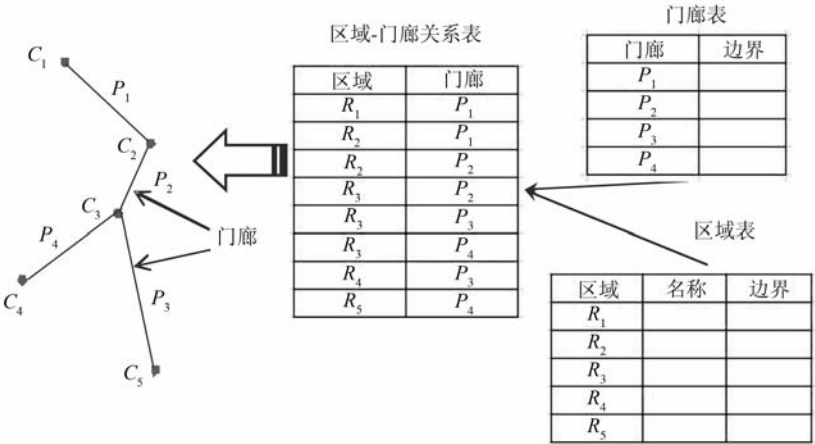


图 2 区域-门廊的拓扑逻辑结构  
Fig. 2 Topological Structure of Region-Portal

2.2 基于门廊的视锥体自适应调整

在系统进行渲染之前,可根据观察者所处的位置,利用区域-门廊表获得需要处理的模型集合,具体步骤为:

1) 定位视点所在区域,设该节点为  $C_0$ ,初始的视锥体  $F_0$ ,通过检索区域模型表,利用  $F_0$  和  $C_0$  模型集合中各模型的边界信息获得  $C_0$  中的需要渲染的模型集合。

2) 利用区域-门廊表,获得该区域与  $C_0$  相关联的门廊,并获得  $F_0$  内的门廊集合  $P_j(j=0,1,2,\dots)$ 。

3) 获得  $P_j$  集合中的  $j$  门廊的边界信息,并与当前的视锥体进行视锥体调整和裁剪,获得新的  $F_j$ 。如果  $P_j$  不为空,将当前的视锥体压入堆栈,将  $P_j$  设定为当前的新的视锥体。

4) 获得与  $P_j$  所关联的区域(也就是检查和  $V$  相邻的边),利用当前视锥体与区域空间内的模型

边界之间的关系获得该区域内的可视模型集合,并添加到模型集合中去。

5) 检查  $P_j$  集合是否处理完毕,如没有,返回步骤 2) 继续处理。

6) 渲染模型集合中的模型。

3 实验应用

3.1 研究区域

为验证本文所提方法的实用性,选择单位某行政楼进行实验测试(见图 3)。大楼共 6 层,每层分为 A、B 和 C 共 3 个区域。测试平台为三星 Galaxy Note 10.1,处理器为 Exynos 5420,屏幕为 10.1 英寸,分辨率为  $2\,560\times1\,600$  像素,操作系统为 Android 4.3,室内几何模型的空间拓扑关系通过区域表、门廊表和区域-门廊关系表来进行表达,利用 SQLite 数据库进行存储。

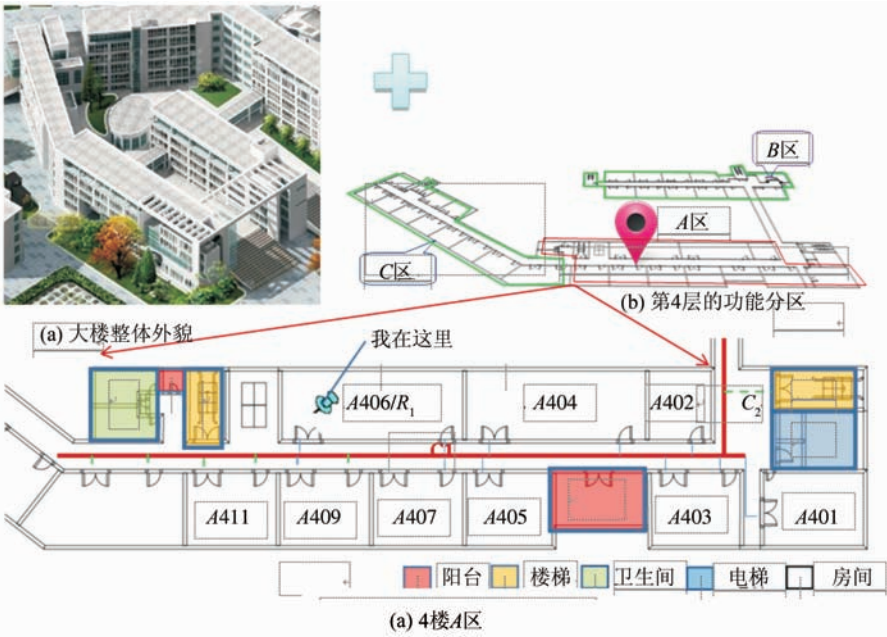


图 3 研究区域  
Fig. 3 Study Area

3.2 顾及室内网络拓扑关系的模型组织和管理

为对比测试所提方法的实用性,本文设计了两种视角(室内环视、走廊漫游)的 4 种方案:1) 方案 1。室内环视,观察者在室内(会议室)旋转观察,仅采用八叉树结构进行空间几何分割;2) 方案 2。室内环视,观察者在室内(会议室)旋转观察,在采用八叉树空间分割的基础上利用室内网络拓扑结构进行几何模型的实时遮断;3) 方案 3。走廊漫游,穿越路径为走廊 4→走廊 1→B 区,采用八叉树结构进行空间几何分割;4) 方案 4。走廊

漫游,穿越路径与方案 3 相同,在采用八叉树空间分割的基础上,利用室内网络拓扑结构进行视锥体的调整。将 4 种方案在实验平台上进行测试,研究区 4 楼 A 区的室内楼层拓扑图见图 4,运行效果如图 5。

这 4 种方案运行的帧率随时间变化的曲线如图 6 所示。方案 2 和方案 4 由于采用了室内网络拓扑结构,帧率明显高于采用同样视角而未采用网络拓扑结构的方案 1 和方案 3,帧率可以达到 20 帧/s 以上,完全可以满足个人移动平台三维



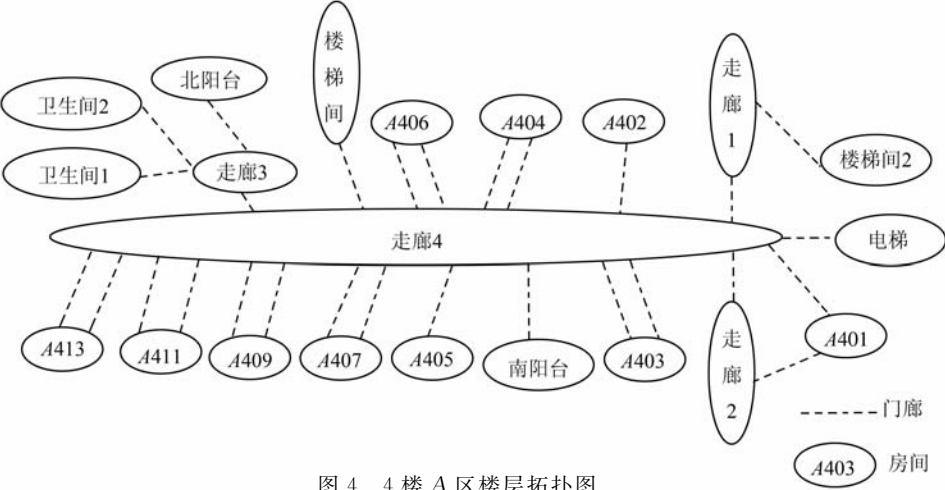


图 4 4 楼 A 区楼层拓扑图  
Fig. 4 Topological Map in Floor 4, Block A

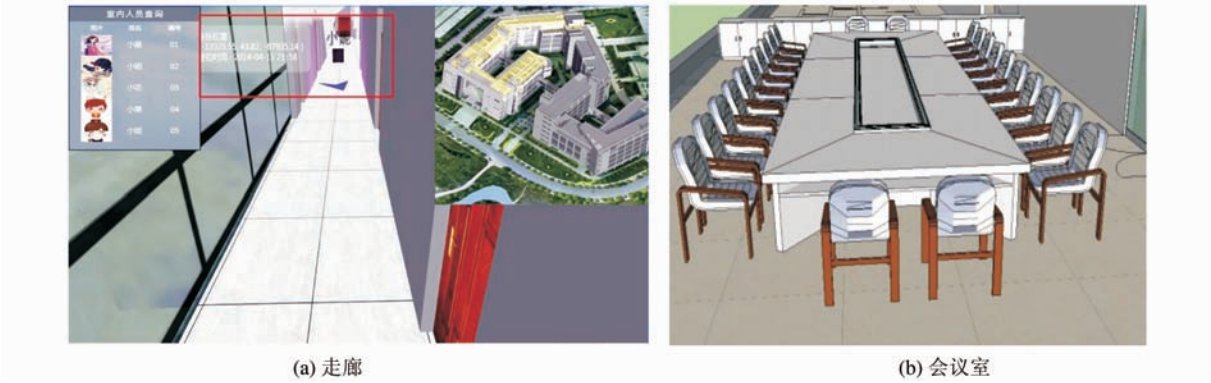


图 5 室内三维交互系统  
Fig. 5 Indoor 3D Interactive System

模型流畅渲染和交互漫游的实时要求。方案 2 采用了室内网络拓扑结构,在一个室内单元内,查询、检索和剪裁的模型都较少,而且该室内单元有两个门廊,涉及到与这两个门廊视锥体相关的模型裁剪,渲染率略有下降。在走廊内行走时,走廊内的模型较少,渲染速率速度略高于室内的渲染,但是由于与走廊相关联的门廊较多,因此在每个打开的门,由于需要判断和分析与该门廊相关的模型,需要进行判断和裁剪视锥体,因此渲染速率都有所下降。在穿越房间的过程中,可见的室内单元数目大致在 1~5 个之间,就保证了显示效率。而仅采用八叉树结构,在刚刚进入房间的时候对速度并没有多大改善,因为一个视锥体内的点状地物非常多,而只在穿越的过程中,才慢慢有所改善。

4 结 语

本文面向室内定位和导航问题,基于增强现

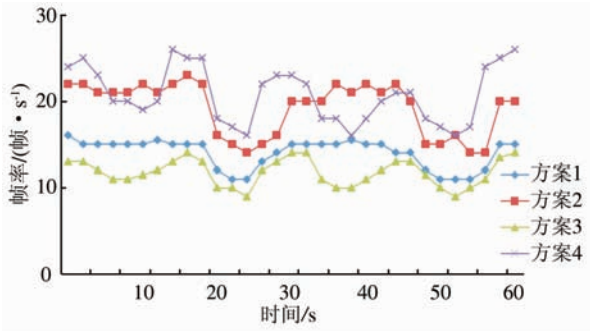


图 6 不同方案下的帧率变化曲线  
Fig. 6 Change Curves of Frame Rate Under Different Scenarios

实技术,在分析室内空间区域功能,总结室内空间拓扑基本元素和概括室内不同拓扑元素之间空间关系的基础上,研究和探讨了室内三维导航模型的构建,并在个人移动平台上以实际案例分析和讨论了模型的应用性、可行性和有效性。本文将室内网络拓扑模型引入到三维模型数据组织中,提出了一种基于拓扑网络模型的模型调度和场景

管理方法。实验结果表明,该方法是一种行之有效的方法,拓扑关系数据可以以预处理的方式,利用数据库来实现存储,不会加大模型应用中的数据计算工作量,对于改善三维模型的渲染效率具有一定的提升。下一步工作是进一步完善模型,实现网络模型的动态构建,解决该技术在其他方面所存在的一些问题,改善和拓宽模型应用,在进一步的研究中去探索其在室内空间中潜在的可能应用。

### 参 考 文 献

- [1] Cao Chong. Chinese Satellite Navigation and Strategic Emerging Industries [J]. *Digital Communication World*, 2010(1):24-27(曹冲, 中国的卫星导航与战略性新兴产业[J]. 数字通信世界, 2010(1): 24-27)
- [2] Gao Rui, Cheng Lianglun, Hu Xin. Indoor Positioning Method Based on Space Division Using Passive RFID [J]. *Application Research of Computer*, 2012,29(1):184-186(高锐, 程良伦, 胡莘. 一种基于空间分割的无源 RFID 室内定位方法[J]. 计算机应用研究, 2012,29(1):184-186)
- [3] Qian Weixing, Peng Chen, Tian Engang, et al. Pedestrian/Mobile Robot Cooperative Navigation Method Based on Navigation Information Bidirectional Fusion[J]. *Journal of Chinese Inertial Technology*, 2014, 22(1):74-78(钱伟行, 彭晨, 田恩刚, 等. 基于导航信息双向融合的行人/移动机器人协同导航方法[J]. 中国惯性技术学报, 2014,22(1): 74-78)
- [4] Adesso P, Bruno L, Garufi R, et al. A Model-Based Approach for WLAN Localization in Indoor Parking Areas[C]. *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, Zurich, Switzerland, 2010
- [5] Bill R, Cap C, Kofahl M, et al. Indoor and Outdoor Positioning in Mobile Environments: A Review and Some Investigations on WLAN Positioning[J]. *Geographic Information Sciences*, 2004, 10(2): 91-98
- [6] Retscher G, Kealy A. Ubiquitous Positioning Technologies for Modern Intelligent Navigation Systems [J]. *Journal of Navigation*, 2006, 59(1):91-104
- [7] Sheng Qing, Deng Zhongliang, Xu Lianming, et al. The Design and the Application of Electronic Maps of Indoor Location and Navigation Based on GIS [J]. *Journal of Beijing Union University (Natural Sciences)*, 2012, 26(1): 23-27(盛庆, 邓中亮, 徐连明, 等. 基于 GIS 室内定位和导航的电子地图设计与应用[J]. 北京联合大学学报(自然科学版), 2012,26(1):23-27)
- [8] Zhang Donghai, Han Lihua, Xiao Xiongbing, et al. Analysis of the State and Trend of Navigation Map [J]. *Geomatics World*, 2013, 20(2): 20-23(张栋海, 韩丽华, 肖雄兵, 等. 导航地图发展现状和趋势分析[J]. 地理信息世界, 2013, 20(2): 20-23)
- [9] Huang B, Gao Y. A Floor Plan Based Vision Navigation System for Indoor Navigation with Smart Device [J]. *Global Positioning Systems*, 2012, 11(1): 71-79
- [10] Yang Weijun, Gong Jianhua, Xu Zhiyong. Application of Cell-Portal in Indoor Scene Management of Cyber City GIS [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007,32(3):271-274(杨卫军, 龚建华, 徐智勇. Cell-Portal 技术在数码城市 GIS 室内场景管理中的应用[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007,32(3): 271-274)
- [11] Liu Z, Zhang Y, Yan Q, et al. Implementation of a 3D Personal Navigation Visualization Engine and Its Demonstration in Shanghai World Exposition 2010 [C]. *The 7th International Symposium on LBS and Tele Cartography*, Guangzhou, China, 2010
- [12] Worboys M. Modeling Indoor Space[C]. *The 3rd ACM SIGSpatial International Workshop on Indoor Spatial Awareness*, Chicago, USA, 2011
- [13] Yin X, Wonka P, Razdan A. Generating 3D Building Models from Architectural Drawings: A Survey [J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2009, 29(1): 20-30
- [14] Chen Jing, Wu Si, Xie Bingxiong. A GPU Rendering-Oriented Visualization Method for Complex 3D Models [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014,39(1): 106-111(陈静, 吴思, 谢秉雄. 面向 GPU 绘制的复杂三维模型可视化方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014,39(1): 106-111)
- [15] Chi Guanghua, Xie Jun, Li Qiang, et al. A Method for Planning Multilayer and Multi-exit Indoor Emergency Evacuation [J]. *Remote Sensing Information*, 2013, 28(6): 116-121(迟光华, 谢君, 李强, 等. 一种用于制定多层多出口的室内应急疏散规划的方法[J]. 遥感信息, 2013,28(6):116-121)
- [16] Kim H, Jun C, Cho Y, et al. Indoor Spatial Analysis Using Space Syntax[C]. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China, 2008
- [17] Yu Fangwen, Zhou Zhiyong, Wang Xiaonan, et al. Indoor Navigation Location Model Fused Various of Context for Emergency Evacuation [J]. *Application Research of Computers*, 2014,31(4):981-984

- (余芳文,周智勇,汪晓楠,等. 融合多种上下文的室内应急疏散导航位置模型[J]. 计算机应用研究, 2014,31(4): 981-984)
- [18] Brown G, Nagel C, Zlatanova S, et al. Modelling 3D Topographic Space Against Indoor Navigation Requirements[M]//Pouliot J, Daniel S, Hubert F, et al. Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences. Berlin: Springer, 2013
- [19] Lee J, Zlatanova S. A 3D Data Model and Topological Analyses for Emergency Response in Urban Areas [M]// Zlatanova S, Li J. Geospatial Information Technology for Emergency Response. London: Taylor & Francis Group, 2008
- [20] Liu Yue. The Transitional Space Design of City Commercial Building Interior and the Surrounding Areas [D]. Xian: Xi'an University of Architecture and Technology, 2010(刘越. 城市商业建筑内部及周边区域过渡空间设计初探[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2010)
- [21] Zhang Hairong. Theory and Application of GIS [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2008(张海荣. 地理信息系统原理与应用[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2008)
- [22] Atila U, Karas I, Rahman A A. A 3D-GIS Implementation for Realizing 3D Network Analysis and Routing Simulation for Evacuation Purpose [M]// Pouliot J, Daniel S, Zamyadi A. Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences. New York: Springer, 2012
- [23] Shi Yinxue, Chen Hong, Wang Rongjing. 3D Math Primer for Graphics and Game Development [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005(史银雪, 陈洪, 王荣静, 等. 3D 数学基础: 图形与游戏开发 [M]. 北京:清华大学出版社, 2005)

## Organization and Scheduling of Indoor Three-Dimensional Geometric Model Based on Spatial Topological Relation

WANG Xingfeng<sup>1,2</sup> WANG Yunjia<sup>1,2</sup>

1 Key Laboratory for Land Environment and Disaster Monitoring of SBSM, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

2 School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

**Abstract:** Based on the analyses of unit functions and unit function types of the interior space, an interior-space network-topology model that contained semantic information, supported path analysis, and fully expressed the topological logic of the various parts of the interior space was constructed after considering the demand for three-dimensional (3D) high-quality space navigation rendering, and limitations in personal mobile platform resources and computing power. In addition, by accurately determining the regions and topological logic of the interior space, strategies for space division and organization and strategy adjustment of geometric models based on topological relations of the interior space were explored, achieving the goal of dynamic interruption and elimination of interior models. The applicability, feasibility, and effectiveness of the proposed model were verified by performing actual tests using personal mobile platforms. The results indicated that the methods proposed in this study could interrupt and eliminate geometric models in real time, significantly reducing the number of models rendered and enhancing data transmission and rendering efficiency. This method provided reliable data and assurance concerning the visualization and rendering of high-fidelity 3D models.

**Key words:** three dimensional indoor navigation system; topological relation; mobile GIS; virtual reality; personal mobile platform

**First author:** WANG Xingfeng, PhD, associate professor, specializes in the theories and methods of mobile GIS and mining coal GIS. E-mail: xzwind@cumt.edu.cn

**Foundation support:** The Key Research Project for 13th Five-Years of China, No. 2016YFB0502100.