



室内位置信息模型与智能位置服务

朱庆^{1,2} 熊庆² 赵君峤³

(1 西南交通大学高速铁路运营安全空间信息技术国家地方联合工程实验室,成都市二环路111号,610031;

2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路129号,430079;

3 同济大学电子与信息工程学院,上海市四平路1239号,201804)

Indoor Location Information Model and Intelligent Location Service

ZHU Qing^{1,2} QING Xiong² ZHAO Junqiao³

(1 National-local Joint Engineering Laboratory of Spatial Information Technology for High-speed Railway Running Safety, Southwest Jiaotong University, 111 Erhuan Road, Chengdu 610031, China; 2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China; 3 School of Electronics and Information Engineering,

Tongji University, 1239 Siping Road, Shanghai 201804, China)

摘要: 商业中心、交通枢纽、医院、停车场等复杂室内及地下空间的安全管理与应急响应对室内外无缝导航与位置服务的需求日益迫切,提出了一种室内位置信息模型,扩展了OGC标准CityGML和IndoorGML中的位置信息描述,提供了描述室内相对位置和室内绝对位置的本体,介绍了一种针对三维建筑物模型的室内空间自动提取方法,为智能位置服务奠定了重要基础。

关键词: 室内位置;信息模型;位置服务;位置智能;室内空

间提取

中图法分类号: P285

Abstract: The seamless indoor and outdoor navigation and location-based services for the safety management and emergency response of shopping centers, hospitals, airports, subways and other underground complex interior space are increasingly urgent, this article proposed an indoor location information model which extends the location descriptions of OGC standards

CityGML and IndoorGML, provides the ontology of relative and absolute indoor locations and lays an important foundation for intelligent location-based services with presenting an automated indoor space extraction of complex 3D building models.

Key words: indoor location; information model; location service; location intelligence; indoor space extraction

在过去的十几年里,个人导航系统已经成为人类日常生活中不可或缺的工具,包括车载的导航系统和个人手机终端的位置服务,这些基于卫星定位的室外导航与位置服务已成为人们习以为常的工具。据统计,人们平均87%的时间在室内活动^[1],社会经济生活各领域对于购物中心、医院、机场、矿山等复杂室内及地下空间的安全管理与应急响应,对室内外无缝导航与位置服务的需求日益迫切。例如,相比较大空间尺度的汽车导航地图和城市规划与土木工程等专业地图的用户,室内空间行人导航地图的潜在用户数量激增。随着移动互联网、智能终端与定位设备集成、新型 SoLoMo 服务业态的兴起,导航与位置服务范围已具备从室外地面服务发展到海洋、航空、太空和室内(及地下)的能力,服务对象也将涉及个人、移动目标、专业应用、军事等。

1 室内位置服务

室内位置服务指采用 Wi-Fi 等多种室内定位技术和数据处理手段融合的信息服务模式,可向终端用户提供精准的室内空间位置,并提供各种与位置相关的集成服务。其中,能够表达室内位置与位置信息的模型是室内位置服务的基础。然而,现有面向室内的位置服务(location based service, LBS)大都基于简单二维地图模式,采用建筑物概况和楼层平面地图,难以实现用户关心的室内三维空间精准导航、用户室内行为分析和位置个性化服务。笔者在分析总结目前室内位置服务产品及研究现状的基础上,提出室内多维位置信息模型及面向此模型的位置智能服务实例,为室内位置服务相关领域的研究提供参考。

近年来,室内位置服务成为了国际学术界的 research 热点,一些实用的室内位置服务已经开始商业化运行。以谷歌地图(google map)为例,其已在全球范围提供了超过 10 000 幅特定公共建筑,如机场、百货公司、购物商场等的楼层平面图。用户可查看和搜索对应的室内地图,并查询室内地图路线。诺基亚的室内导航服务(destination maps)与微软公司的必应地图(bing map)合作提供了特定公共建筑,如机场、购物

商场等的楼层平面图,并提供了类似于谷歌地图的室内地图路线查询功能。此外,还有室内位置服务商 StoreMode 公司的 PointInside 室内地图,主要针对大型购物商场或机场,实现由零售商向消费者主动推送位置服务、信息服务,例如商品折扣信息等。

在我国,百度地图已提供国内主要机场、博物馆和大型购物商场等特殊场所的楼层平面图,用户可查看对应的室内地图(<http://map.baidu.com/>)。高德地图目前已收录全国数千个建筑的室内地图,类型包括商场、医院、博物馆等,提供室内场景浏览、楼层切换等功能,并支持在室内、外地图之间进行切换(<http://www.amap.com/>)。

可见,室内地图已经成为学术界和工业界近年来十分关注的一种新型地图,其潜在的应用具有十分巨大的商业价值。目前,室内地图数据主要来自于专业数据公司线下采集以及用户在线提交等等途径^[2],缺乏统一有效的形式与标准,导致室内位置服务商提供服务的方法和形式五花八门,造成用户在使用过程中的理解差异。同时,缺少三维室内地图生产的方法,特别是缺乏由精细三维建筑物模型到符合人们对室内位置服务所需的室内地图自动化或半自动化生产技术体系。

关于室内地图的数据标准, BuildingSmart 组织制定的 IFC(industry foundation classes)标准正在致力于室内相关数据标准的扩展^[2]。国际开放地理信息组织 OGC(open geospatial consortium)发布的 CityGML 标准(OGC12-019)已经对建筑物室内几何以及其拓扑关系表达进行了基础定义,同时,该组织在制定专门的室内空间数据模型标准 IndoorGML,目前,已经发布了预览版本(OGC14-005)。

相比室内位置服务方面,室外的移动地图服务模式的探讨已比较充分,且室外的 LBS 发展也已日臻成熟。餐饮、购物、地铁交通是人们生活中十分重要的组成部分,这些日常生活使得人们对室内位置服务的需求迅速增加^[3]。与室内位置服务息息相关的室内空间认知目前有从建筑学角度出发的研究,如室内格式塔空间定义^[4]; Michael 等人探讨了构建室内模型数据所必需的元素与逻辑方法^[5]; Richter 等人从室内空间的功能分类和人类认知的角度对其进行了分层定义和描述^[6]; Isikdag 等人探讨了面向 BIM (building information model)的室内导航模型^[7],但是缺少从位置角度出发对室内空间认知的研究。当前室内地图设计与数据生产中也没有考虑这一点,即如何更好地迎合用户从室内空间位置的角度和认知

方式来设计室内地图。

2 室内位置信息模型

室内位置信息模型是室内导航与位置服务的基础,也是室内地图表达的基本依据。其定义室内位置信息的组成要素以及相关概念、室内位置信息本体及其分类体系,描述一个基于空间和事件定义的多层次细节室内多维位置模型,能够支持室内地址寻径、室内语义导航和针对不同角色的定制导航服务等应用。以位置为核心向用户提供室内环境空间的描述,建立可拓展的室内位置信息模型,为室内位置智能服务提供可用的位置信息关联方法基础。根据室内位置的描述方式,可分为绝对位置描述和相对位置描述。

绝对位置是指在地理参考坐标系统中对室内空间中的某一点或某一区间的坐标位置描述;相对位置是指室内空间中某位置通过与同一坐标参考系统中其他位置的相对位置关系的描述。同时,室内位置描述也包含对应的功能语义,否则就会造成认知上的困难。如室内位置描述[“311, LIESMARS, 公共机房”],定义了室内位置[“311室”],所属建筑[“LIESMARS”]和对应的功能[“公共机房”]。

结合 CityGML 中 LOD4 建筑物模型对室内空间语义的定义,笔者所定义的室内多维位置信息模型不仅包含绝对位置或相对位置等必要的定义信息,而且包含与位置相关联的多种室内位置信息,从定性和定量两个不同的角度对抽象的室内位置进行标准化描述。

由于 CityGML 和 IndoorGML 中缺少对室内位置信息的定义和描述,而室内位置服务是与位置相关的应用,笔者提出的室内多维位置信息模型从位置智能服务需求出发,以位置为核心对室内空间进行定量和定性描述。室内多维位置信息模型 UML 类设计如图1所示。

室内位置类是对室内位置的抽象表达,包含有时间、生命周期、位置和位置信息定义。其中,顾及室内位置服务对位置信息的时效性要求,室内位置均具有生命周期属性。位置生命周期类是基于 ISO 19108 国际标准中 TM-Reference System 对生命周期描述的拓展,包含有时间参考系统和周期描述定义;位置信息类是与位置关联的信息描述,是实现室内位置服务的关键,包含有 ID、信息源、信息头和信息体等描述和定义。

室内位置类由室内绝对位置类和室内相对位

置类进行实现。

2.1 室内绝对位置

室内绝对位置由几何绝对位置和语义绝对位置聚合而成。几何绝对位置包含室内空间体元位置定义和基于笛卡尔坐标系定义的空间参考坐标系。其中,室内空间体元位置和几何坐标是位置定量描述的互补。室内空间体元位置通过定义体元起始位置和终止位置,以及空间粒度对室内空间中某区域范围进行定义。语义绝对位置包含地址和位置属性。其中,位置属性包含有楼层、所属及其他描述信息。如图2所示,可通过笛卡尔坐标(100,100,10)来描述人员在室内所处的几何绝对位置;通过室内空间体元位置(A, B, C, I)来描述房间的几何绝对位置;通过[“101室”,“1楼”,“刘波”,“办公室”]来定义相关人员在室内的绝对语义位置。

2.2 室内相对位置

室内相对位置同理可分为几何相对位置和语义相对位置,但其描述较室内绝对位置描述更为复杂。

几何相对位置包含一组几何参考位置。几何参考位置包含几何距离度量、几何方位度量、参考对象和被参考对象。其中,参考对象和被参考对象由几何参考对象定义,包含对象描述信息及其几何绝对位置。

同理,语义相对位置包含一组语义参考位置。语义参考位置包含空间距离关系、空间方位关系、拓扑关系、位置关系、参考对象和被参考对象。其中,空间距离关系和空间方位关系分别是基于几何距离度量和几何方位度量的扩展;拓扑关系包括邻接、包含、相交和连接等定义;位置关系包括上、下、左、右以及第三方参考对象;参考对象、被参考对象和第三方参考对象由语义参考对象定义,包含对象描述信息及其语义绝对位置定义。如图3所示,可通过[10 m, 方位角 90°, 109室, 110室]定义从109室到110室的几何相对位置;通过[“110室邻接109室,在其东方向,相距10步远”]定义110室与109室之间的拓扑关系、空间方位关系和空间距离关系。

3 室内空间自动提取

三维室内空间信息是复杂建筑物室内导航与位置服务的关键基础信息。三维建筑物室内空间是由天花板、内墙面和地板这些基本建筑要素构成的封闭的功能区间(如房间、走廊或楼梯间)。为了定量表达这些区间,每个室内空间可由一组最小单元格进行表示,最小单元格的尺寸由室内空间活动对象

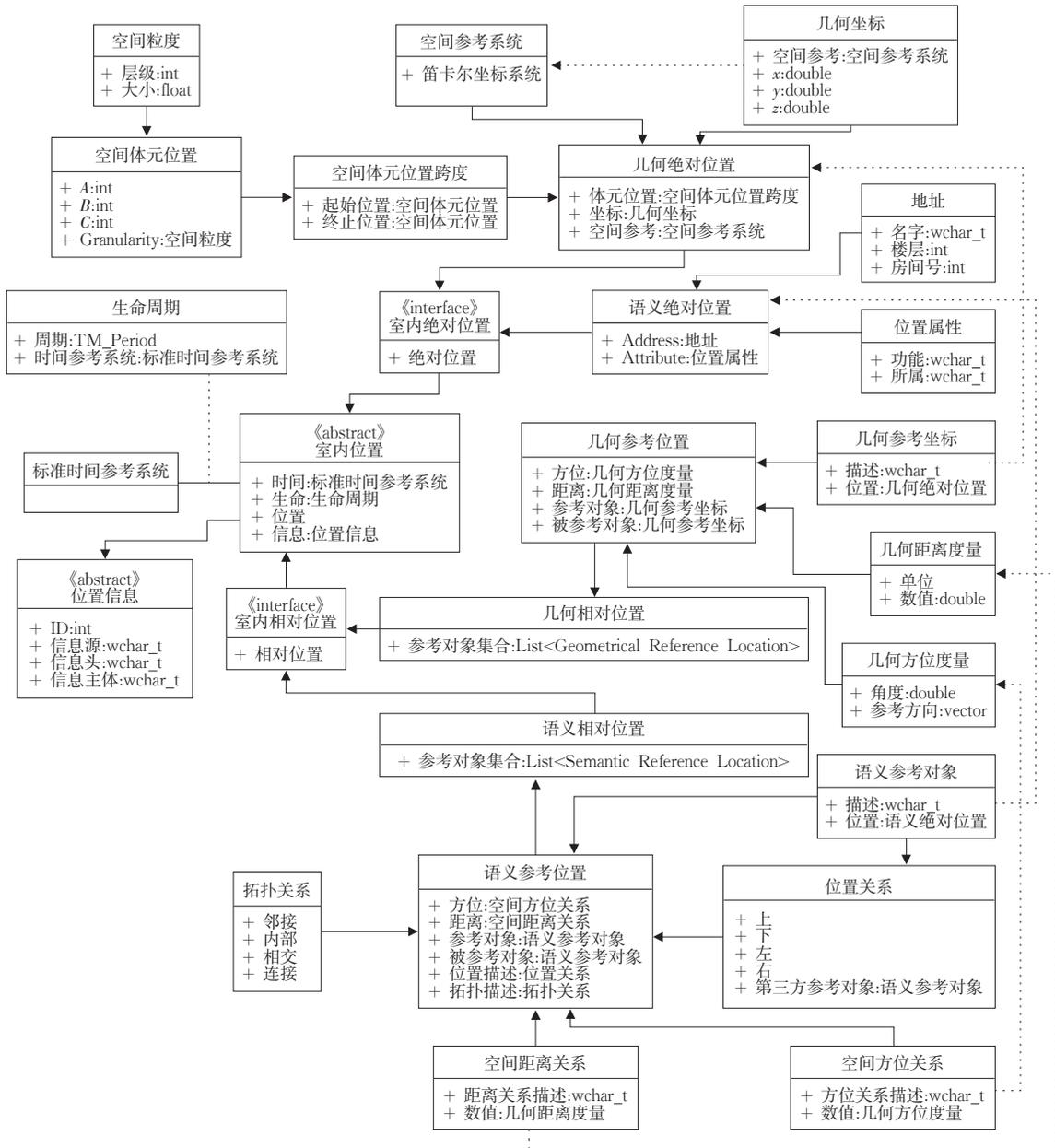


图1 室内多维位置信息模型类设计图

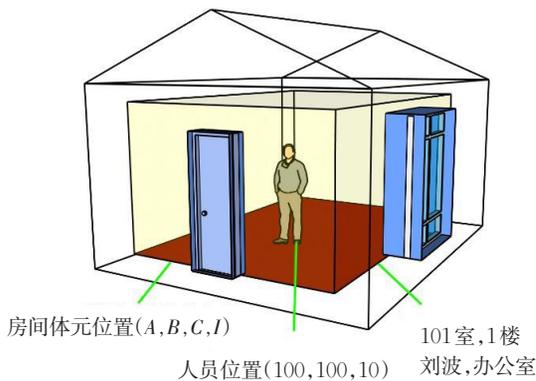


图2 室内绝对位置描述示意图

的大小决定。

房屋由屋顶、门、窗户、外墙、内墙、地板和

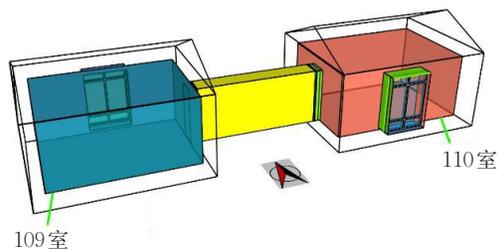


图3 室内相对位置描述示意图

天花板等基本要素构成,如图4(a)所示。房屋对应的室内空间可定义为内墙面、地板、天花板、门和窗户共同构成的封闭区间,同时空间由一组最小单元格组合而成,这些最小单元格可用体素单元Cell进行定义。

对于走廊或大厅这类非密封的空间,由具体的

天花板、地板和内墙面,以及虚拟的门对象共同组成了一个封闭的走廊或大厅的空间,如图4(b)所示。走廊连接房间1和房间2,是一个非密封的空间,但可由天花板、地板、内墙面和虚拟门对象共同组成一个封闭的走廊空间,同样可以由一组体素单元组成。

目前,复杂三维建筑物模型的室内空间提取方法主要依靠人工交互完成,此过程工作量大,而且一旦出现错误,需要耗时耗力进行返工修改,存在低效和不可靠等瓶颈问题。因此,急需一种能够自动完成空间提取过程的方法。

针对室内空间自动提取的需求,如图5所示,这里提供一种基于三维模型体素化的室内空间提取思路。

1)通过体素化过程,对建筑物所在的空间进行体素化表达;

2)利用体素所在的空间位置和建筑物模型的几何进行求交提取,从而得到对室内占据空间(occu-

ped)以及非占据空间(non-occupied)的体素集合;

3)对体素集合基于其所处的空间位置和周边的几何信息进行进一步分类,提取得到表达可导航空间(navigable)的体素集合,这样就实现了对室内空间的自动提取;

4)可以借助CityGML标准中的LOD4语义及其层次关系约束,对室内空间体素集合进行多个尺度上的聚类,并进行不同尺度上的拓扑重建,从而实现室内多尺度精细空间的提取;

5)在此基础上,结合室内多维位置信息模型的定义,对已提取得到的室内空间结果进行位置信息赋值,为智能位置服务提供可靠的基础。

4 室内智能位置服务

笔者通过一个简单的室内导航案例,在室内多维位置信息模型基础上描述室内位置智能服务的实现方法与过程。

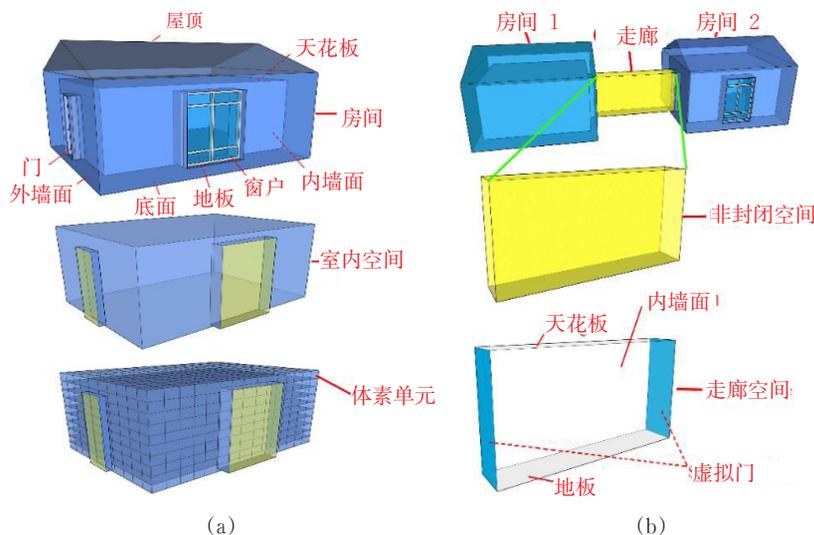


图4 室内空间定义

根据人们对于室内空间的认知^[8],定义了建筑物室内空间语义结构,如图6所示。室内空间语义被定义为4类:入口、室内道路面、障碍物和容器。

1)入口可分为连接室内外入口和连接室内入口。连接室内外入口指的是在空间上分布于室内外过渡空间,且是连接室内外空间的节点对象,如建筑物出入口和窗户;连接室内入口指的是在空间上分布于室内空间,且是连接室内不同功能空间的节点,如窗户、门和门洞等。不论何种入口对象,均具有连通状态,上锁指的是此入口对象暂时或永久失去连接两个或多个空间对象的功能;未上锁指的是此入口对象具有连接两个或多个空间对象的功能,人或

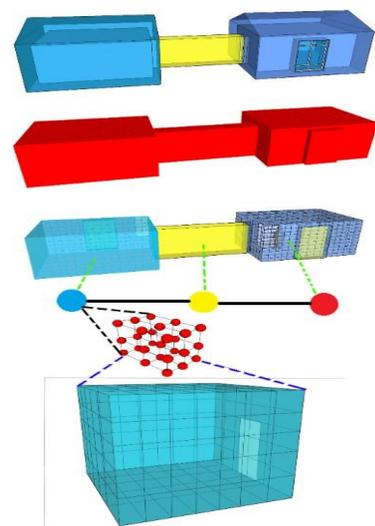


图5 室内空间自动提取原理图

其他移动对象在与此入口相关的空间之间,可由此入口自由穿行。

2)室内道路面由地板组成,这是进行室内导航的主要语义部件。

3)障碍物由家具组成,在进行室内导航时,需要考虑到避让障碍物。

4)容器由房间和通道组成,是室内的功能空间对象。其中,道路可分为连接件和走廊。连接件按照其所在的空间位置,可分为室内外连接件和室内连接件。①根据连接件的时效性,室内外连接件默认是非时限连接件,即在场景时间范畴内,其永久具有可用的功能性和可通行性,如空间位置处于室内

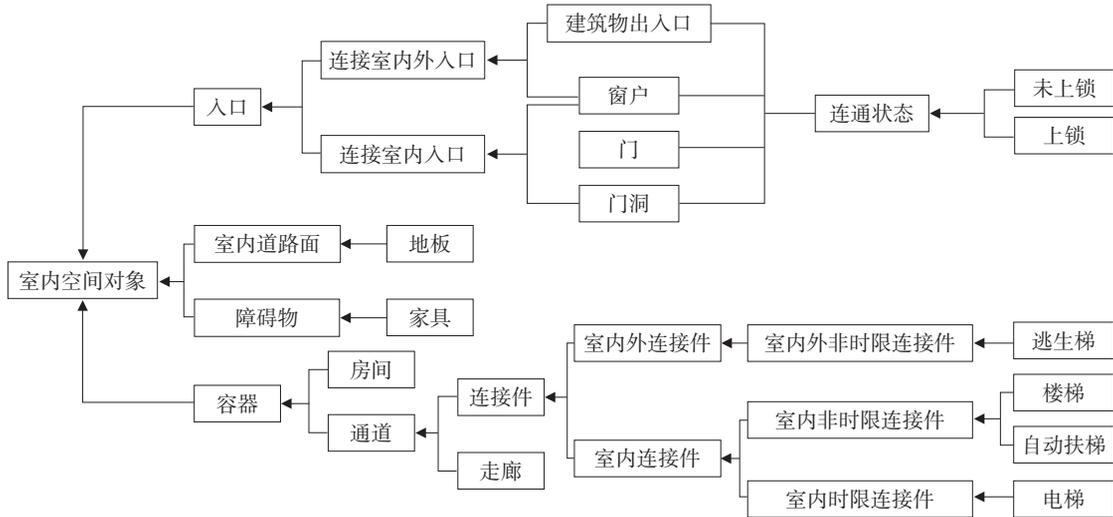


图6 建筑物室内空间语义结构描述图

外过渡空间的逃生梯。②室内连接件可分为室内非时限连接件和室内时限连接件。室内非时限连接件包括有室内的楼梯和自动扶梯等；室内时限连接件指的是在某些时间段内，此连接件对象存在不可用性和不可通行性，而在其他时间段内，又具有可用的功能性和可通行性，是具有时间约束条件的室内空间对象，如电梯等。

通过室内空间自动提取方法，根据建筑物室内空间语义结构定义，将实验三维模型分为不同的功能区域及基于功能区所生成的三维导航面片，如图7所示。为便于描述，将各室内空间以数字代号进行区分，如表1所示。

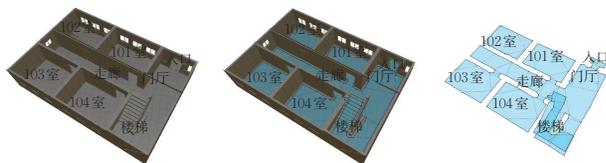


图7 三维室内模型功能区定义图

表1 室内空间标识

代号	1	2	3	4	5	6	7	8
室内空间名称	入口	门厅	走廊	101室	102室	103室	104室	楼梯

在完成室内空间自动提取过程后，同步将得到各室内空间之间的连接关系，如结合室内多维位置信息模型的定义，在上述基础上，按照室内绝对位置和室内相对位置对实验模型中的室内空间进行描述和定义。如表2所示为“103室”和“门厅”的室内绝对位置定义和二者之间的室内相对位置定义。

室内空间拓扑关系如表3所示，符号“√”表示对应的两个室内空间具有连接关系，符号“×”表示不具

表2 103室与门厅的室内位置定义

位置类型	103室	门厅
室内语义绝对位置	103室,1楼,刘波,办公室	门厅,1楼, NULL,公共空间
室内语义相对位置	103室邻接走廊,在门厅的西方向,相距15m	门厅邻接走廊,在103室的东方向,相距15m
室内几何绝对位置	(12,6,1.2,0)	(-3,6,1.2,0)
室内几何相对位置	15m,方位角270°,103室,门厅	15m,方位角90°,门厅,103室

表3 室内空间拓扑关系表

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	√	×	×	×	×	×	×
2	√	-	√	×	×	×	×	×
3	×	√	-	√	×	√	√	√
4	×	×	√	-	×	×	×	×
5	×	×	×	×	-	×	×	×
6	×	×	√	×	×	-	×	×
7	×	×	√	×	×	×	-	×
8	×	×	√	×	×	×	×	-

有连接关系。

针对“从门厅到刘波办公室”的室内导航服务需求，选取“门厅”作为室内导航起点，“103室”作为室内导航终点，依据A*算法计算得出导航线路，并且在导航过程中，通过已存储的室内位置信息，向导航用户实时发送与其位置相关的信息，如图8所示。

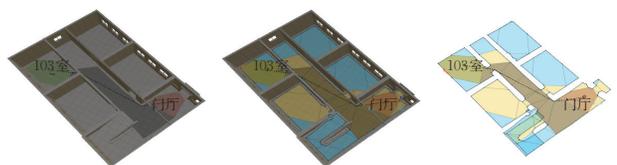


图8 室内导航示例图

5 结束语

笔者通过室内绝对位置和室内相对位置的定义对室内多维位置信息模型进行了描述,并提出了一种针对复杂三维建筑物模型的室内空间提取方法,以及基于室内多维位置信息模型的室内导航服务案例。室内建模技术的快速发展和室内地图的日益广泛应用,标准化的室内位置信息模型和规范化的室内建模与动态更新技术成为国际学术研究的前沿。不同用户(行人、轮椅、机器人)的室内外无缝导航与精细化智能化的位置服务需求成为推动导航与位置服务产业发展的重要动力。

参考文献

- [1] 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
- [2] Lin Y. The IFC-based Path Planning for 3D Indoor Spaces [J]. Advanced Engineering Informatics, 2013, 27(2):189-205
- [3] 导航与位置服务科技专项总体专家组与地球观测与导航技术领域导航主题专家组. 室内外高精度定位导航白皮书 [EB/OL]. 2013-09-30. <http://wenku.baidu.com/view/daocddaobceb19e8b9f6ba04.html>
- [4] 牛力,徐磊青,汤众. 格式塔原则对寻路设计的作用及寻路步骤分析[J]. 建筑学报,2007(5):89-91
- [5] Michael W. Modeling Indoor Space [C]. Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness, New York, USA, 2011
- [6] Richter K F, Winter S, Santosa S. Hierarchical Representations of Indoor Spaces [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2011, 38(6):1 052-1 070
- [7] Isikdag U, Zlatanova S, Underwood J. A BIM-Oriented Model for Supporting Indoor Navigation Requirements [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2013, 41:112-123
- [8] Yang L, Worboys M. A Navigation Ontology for Outdoor-indoor Space [C]. Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness, New York, USA, 2011

收稿日期:2014-04-30。

第一作者简介:朱庆,博士,教授,教育部长江学者特聘教授,新世纪百万人才工程国家级人选,四川省特聘专家,主要从事地理信息科学和摄影测量方面的教学与研究。

E-mail: zhuq66@263.net



武汉大学与荷兰 Twente 大学联合培养博士