

面向实时定位的室内空间结构分析及制图方法

闫金金^{1,2} 尚建嘎^{1,2} 余芳文^{1,2} 汤欣怡^{1,2} 周智勇^{1,2}

1 中国地质大学(武汉)信息工程学院,湖北 武汉,430074

2 国家地理信息系统工程技术研究中心,湖北 武汉,430074

摘要:在室内空间提供高精度的实时定位服务非常重要。室内数字地图是室内实时定位的基础和信息载体。研究了面向实时定位的室内空间理论,包括室内空间的定义、室内空间及室内实时定位的特点。分析了地图可视化和基于地图约束的定位精度改进等室内实时定位应用对室内地图的要求,明确了需要表达的室内空间结构为建筑体和室内家具。设计了一种轻量室内地图数据结构,探索了基于该数据结构的室内 2D 和 2.5D 地图的制图方法。最后以工程实验楼室内空间为例开展了制图实践。

关键词:室内空间;实时定位;2D/2.5D 地图;室内制图

中图分类号:P209; P282 **文献标志码:**A

室内空间理论、室内实时定位^[1]、室内空间建模^[2]、全息位置地图^[3]的研究已经引起了国内外学者和商业界的广泛关注。Goodchild^[4]在其对未来 GIS 发展的几点思考中指出, GIS 将会从室外走进室内,室内移动 GIS、实时 GIS 等将成为未来 GIS 发展的新方向。未来针对室内移动 GIS 问题的解决方案,整合室内和室外 GIS 应用将拥有巨大的潜力市场。2012 年 8 月, Sony、Nokia、Samsung 等 20 多家厂商联手成立了室内定位联盟^[5],欲发展高精度室内定位技术和相关服务,共同推动室内定位的技术发展与应用普及。据估计,人们获取的信息中有 80% 都与位置相关^[6],而每人每天平均有多达 90% 的时间都生活在室内空间^[7],因此,解决 GPS 等广域定位向室内延伸的“最后一公里”问题,实现室内实时位置服务显得尤为重要。

GNSS 导航及应用能获取高精度的经纬度数据,但依然需要室外的数字地图,也无法使用。室内实时定位亦是如此,室内地图是室内实时位置服务的基础和信息载体,无论采用何种室内定位技术,都必须有详实的室内数字地图用于确认和展示定位结果。室内地图不仅仅是日常在商场的消防疏散及安全通道连通示意,而是至少包含室内的建筑结构信息(如房间、门、墙、走廊、楼梯)

和室内较少改变位置的设施信息(多人位组合办公桌、橱柜等)的数字地图。

目前,面向实时定位的室内地图的研究更多集中于地图的使用,如地图可视化,基于地图约束的定位精度改进^[8-12]等。这些研究虽然都提出自身算法对于地图的需求,却鲜少涉及面向实时定位的室内空间结构本身及制图。可用于描述室内空间结构且能实现制图的方式有 CAD、IFC/BIM^[13]、CityGML^[14]和 IndoorGML^[15]等。CAD 主要是建筑施工过程中用于表达建筑的尺寸和方位,仅用线条的颜色和粗细表示实体,除注记外没有任何语义信息,无法直接作为室内地图。IFC/BIM 在建筑行业扮演的更多是对三维模型的精细表达和分析信息的角色,该技术能记录建筑物的几何数据和属性信息(比如构件的尺寸、材料种类、墙体的颜色、开口方向等)。而在面向实时定位的室内空间制图中,IFC/BIM 仅可作为面向室内实时定位的室内空间制图的一种数据来源。CityGML 将城市地形和三维物体分为 5 个层次细节(levels of detail, LOD)来描述,侧重于建筑物本身结构体系的分析与三维表达,且模型的制作技术不完备^[16]。IndoorGML 为自成体系,几何借用了 CityGML 的表达方式,其侧重点在于描述室内空间建筑及室内设施语义信息,但该模

收稿日期:2015-07-22

项目资助:国家自然科学基金(41271440);中国地质大学(武汉)教学实验室开放基金(SKJ2013049)。

第一作者:闫金金,硕士,主要从事室内导航与位置服务和室内空间建模及管理研究。jinjinhanyu@126.com

通讯作者:尚建嘎,博士,副教授。jgshang@cug.edu.cn

型兼顾了空间结构几何和语义,较为复杂。对于室内实时定位的地图表达, CityGML 和 IndoorGML 的内容过分全面,在实际中难以使用。室内实时定位中的移动设备屏幕大小都有限,会导致频繁的交互操作如定位、缩放、旋转等,还需保持比例尺不变,对数据的处理效率要求很高。这也是上述多种空间结构描述方式均无法很好地适用于室内实时定位制图的主要原因。

基于此,本文研究了面向实时定位的室内空间理论,包括室内空间的定义,室内空间及室内实时定位特点。

1 室内空间概述

1.1 室内空间的定义

室内空间最直观的定义是被墙面、地板面和屋顶面围合而成的有界空间。室内空间是由外围实体组合而形成的内部空间,是一个用于容纳人及其行为,并为人提供便利的容器,且核心是内部的空旷部分,而非围成内部空间的“外壳”^[17]。

Winter^[18]将人体看作是一个由皮肤包围,并且与外界相隔离的容器,皮肤因此有了内部和外部的概念。类似地,室内空间可看作由墙壁、围栏等包围,使之封闭并与外界隔离,但规模大于人体的容器。容器的内部便是室内,外部是室外空间,门提供出入口。Afyouni 等^[19]将室内空间简略地定义为人们通常活动的建筑环境(如房子、商业购物中心等),该定义包含的室内空间内容有一定的局限性。Yang 等^[20]认为室内空间是一个相对于自然环境中开阔的空间而提出的概念,是位于地表及以上的建筑内部和地表以下为人类活动提供平台的封闭空间。该定义全面地囊括了室内空间的内容,如地表建筑物内部、地下洞室、隧道、地下停车场等,是室内空间的广义定义。

1.2 室内空间的特点

(1) 空间约束

室内空间与室外空间最大的不同在于室内空间天生就有来自建筑物组件的约束^[21],如墙壁、楼层等。建筑物内,人不能穿墙且不能穿行障碍物而到达另外一个房间,而须经过相连的门和走廊;不能直接穿越地板或楼板到达另一个楼层,必须经过电梯或楼梯。

(2) 变动性强

室内空间由于人类的特殊行为或意外事件,导致所包含实体的变动,均会导致室内空间结构、连通性发生改变。如家具类型的改变,摆放位置的变

动、墙体的拆除与新增等;或者某楼栋某时间段,因停电或电梯故障而禁止通行等突发事件^[22]。

(3) 私密性

室外空间绝大部分是共享和公开的。而室内空间通常是一个私密的空间,即某些空间是有一定的社会、时间和功能的私密性限制(即便是公共场所)。如仓库、银行的现金储存柜等,都是某些时段选择性地对某些人员开放。

(4) 符号坐标

人类根据思维习惯,对已由墙体完成自然分割的室内空间进行相应的语义化编号,同时冠以特有的名称,为室内实时定位提供了一种特殊的符号坐标,如工程实验楼学术报告厅。

(5) 垂直重叠性

室外空间大部分都是平面上的扩展,而以建筑物为代表的室内空间通常是多楼层结构,在垂直方向上要用楼梯或电梯等来连通,所以至少需要 2.5D 的地图才能完整地描述该类结构。

(6) 实体特殊

室内空间的实体中自然要素少,都是人工设施,细小而繁多,如家具、落地式设备等。人是室内空间不同时间有不同的活动和需求的特殊实体。

1.3 室内空间实时定位

室内实时定位是基于信号的无线电定位方式,实时定位和追踪资产或人员位置信息,典型应用是实时定位系统^[23,24](Real Time Location System, RTLS)。室内空间实时定位可用于商场、医院、大型仓库等,实现资产管理、人员管理、车位管理、安全监测、巡检、广告推送等服务^[25,26]。

Want 于 1989 年率先研发了 Active Badge^[27]用红外技术来定位人员位置的室内 RTLS。而后许多主要面向室内的 RTLS 也逐渐问世,如 Cricket^[28]、ActiveBat^[29]和 Ubisense^[30]等,其采用的定位技术各异。国内的室内 RTLS 研发及应用尚处起步阶段,许多企业正在从事相关产品的研发与应用推广,如青研讯科的 Local Sense 系统、上海锐帆信息科技有限公司的 CO-EYE 电子复眼实时定位系统等。

2 室内地图分析

2.1 地图需求分析

室内地图滤波^[9]可用于限定行人定位过程中的漂移,从而降低位置的不确定性。室内空间结构就是约束的一个主要来源,用室内的墙、楼层等

将行人的运动限定在墙体划分的区域内。开阔的办公环境中,桌子、书架等通常也限制行人的运动。本文将桌子、文件柜及其他固定在地面上且不可穿行的设施统称为障碍物。

地图滤波的精度依赖于细致的环境约束,而且约束越细致,定位滤波精度越高。障碍物能够增强环境约束的细致性,尤其在开阔的办公区,虽然没有太多的墙,但有许多的障碍物约束。Woodman^[8]的实验中,行人定位精度在有内部墙体约束时实时定位精度是 0.64 m,没有时则为 1.58 m。Widyawan^[9]的实验结果为,有详细的 2D 室内地图约束时,平面定位精度为 1.34 m,只有部分墙体约束时为 1.89 m,没有任何约束时,平均为 8.04 m。但由于不太可能将所有的障碍物都用作约束,像一些经常被搬动的桌椅,因位置变动频繁,又无法实时更新,在地图约束中往往被忽略。因此,只取大而且很少改变摆放位置的家具作为空间约束中的障碍物,如多人位组合办公桌。

在基于地图约束的行人实时定位中,为简化算法,常使用粒子滤波进行位置估计。通常情况下,行人和障碍物都在同一平面上,且行人和粒子不能穿墙和障碍物,此时仅需判断有无墙和障碍物,使用 2D 地图便可完成。但实际上,行人经常会通过楼梯到达不同的楼层,此时则 2D 平面图无法满足需求,需要 2.5D 的地图。2.5D 的地图由多个添加了楼层间连接关系的 2D 平面图垂直叠加而成,是多个楼层的集合,每个楼层包含多个房间,房间通过门连接,除了门外,房间的其他边界及障碍物区域是不可通行的。很容易将仅有室内空间结构的室内地图的空间约束细致化,即在每个楼层平面的对应位置添加障碍物,定位结果被限制在房间和走廊内,并保证不在障碍物区域内^[10]。

2.2 空间结构分析

面向室内空间实时定位制图需要表达空间结构,主要包括建筑物的结构体系(楼层、房间、门、墙体)、障碍物及多楼层之间的连接关系。图 1 是一个多楼层(Storey)室内空间示意图(图 1(a))。不同的楼层通过电梯(Elevator)连接,图中用虚线表示。每个楼层由多个房间(Room)构成,房间之间相互没有重叠,并且由门(Door)和走廊(Corridor)连接(图 1(b))。移动要素在房间内运动受墙和障碍物(Obstacles)的限制,从一个房间到另外一个房间必须经过 Door 或 Corridor,不得穿行障碍物区域。

Storey 是按照自然建筑层划分,处于同一楼

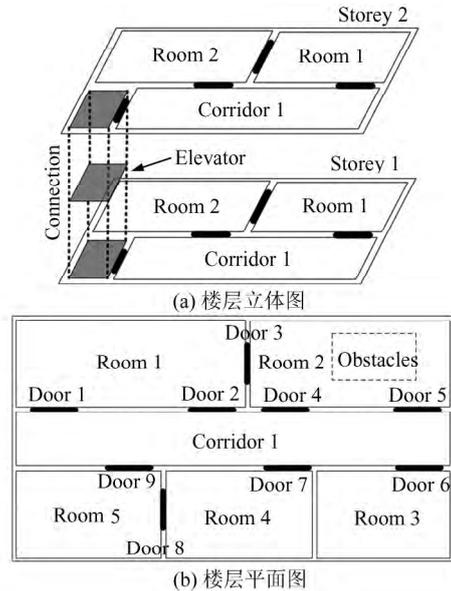


图 1 多楼层室内空间结构示意图

Fig. 1 Multi-floor Structure of Indoor Space

层的一组房间、门、走廊和障碍物的集合,需要明确楼层的名称,以及该楼层所有的房间、走廊、门和障碍物。

Room 是由实际的墙体分割而形成的一个个独立的区域(如房间和大厅),或是有特定功能的区域(如电梯区域)。墙体仅表示空间的边界,无需语义信息。房间的几何信息包括唯一的几何编号,房间多边形的中心点及几何坐标串。语义信息包括房间名称、类型、包含的所有门的名称(可能有多扇门)、所在楼层号及可用状态。

Door 是由墙分割的不同区域的连接者,人从一个区域到达另一个区域,必须穿过 Door。Door 用线段表示,且有唯一几何编号。语义信息包括门牌号、类型(双向门/单向门)、所属的房间名称及可用状态。

Corridor 切割后的走廊多边形需要有唯一的几何编号,几何中心点和几何坐标串。语义信息包括走廊边界上的门的列表,及当前走廊所在的楼层号。

Obstacles 为无法穿行的实体,使用点、线、面分别表示点状、线状和面状障碍物。障碍物区域可作为实时定位结果的约束,即定位的结果不能在障碍物区域内。基本信息包括障碍物的唯一几何编号、中心点、类型(点状/线状/面状)及障碍物名称。

连接关系(Connections)存在不同楼层之间,使用线段表示,且有唯一的几何编号。语义信息为上一楼层和下一楼层的名称及连接方式,包含楼梯(Stair)、扶梯(Escalator)和电梯(Elevator)。

2.3 制图要求

(1) 规模和维度^[31]

面向实时定位的室内空间的场景规模一般都比较小,其定位单元是室外空间的更细粒度的表现,为房间级或更小的功能区域。场景基本的划分为建筑(群)→单体建筑→楼层(区)→房间(区)→功能区。室外空间是平面上的延展,而室内空间一般都是垂直方向上的重叠,所以用2D地图表达单楼层,2.5D地图表达垂直方向上的多楼层叠加性。

(2) 几何要素

室外空间的距离、角度和坐标在实时定位中起到至关重要的作用,而室内由于空间的约束,且在尺寸方面是一个有限空间,需要重新定义距离、角度和坐标的使用。室内最短距离概念不同于欧氏空间的距离,由于要素的状态,距离会随之有改变。

如图2所示,从房间外部到房间内目标点的最短距离。若无空间约束,由Door 1、Door 2和Door 3的直达距离分别为12.1 m、14.8 m和15.5 m,但由于障碍物的阻隔,到目标点的实际距离为18.85 m、20.1 m和20.4 m。如果三个门都是正常开放,Door1到目标点的距离最短,但Door1(Door2/Door3)可能是关闭的,所以最短距离视情况而定。

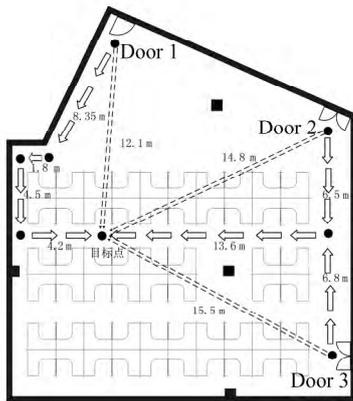


图2 室内空间实时定位中的距离

Fig. 2 Distance of Indoor Space Real-time Localization

(3) 符号标识

室外定位结果通常是坐标对的形式,而室内则需用符号坐标表达,如楼宇号、房间号等,对张三的室内定位结果是“工程实验大楼4楼434房间52号办公桌”,用坐标对表示显然不合适。

(4) 制图精度要求

建筑设计相关规定中,室内过道(走廊)净宽不应小于1.2 m,最窄净宽不应小于1.0 m,普通

楼层高度为3 m,经过装修之后 ≤ 0.6 m,所以制图精度要求为平面方向 ± 1 m,垂直方向 ± 3 m。

3 室内空间结构制图方法

本文设计了一种室内地图的数据结构,并探索了室内2D平面图和2.5D地图的制作方法。该地图可用于室内空间实时定位中获得定位主体的几何位置和符号位置,并可满足地图约束滤波等应用需求。

3.1 场景及表达要素

本文按照建筑类别分析,在确定室内空间信息前,首先确定室内场景和表达要素。不同的室内场景,其规模、用途、性质及其内部的基础设施均不同。建筑结构体系相似,但每个场景中的障碍物各异(表1)。

表1 典型场景障碍物表

Tab. 1 Obstacles in Typical Scenes

场景	障碍物
写字楼	大型沙发、固定的茶几、衣柜、储物柜等
商场	固定货架、收银台、储物柜等
旅馆	餐厅餐桌、客床、衣柜等
实验楼	固定的实验机床、大型试验仪器、储物柜等
医院	固定的病床、手术台、大型诊疗机器等

3.2 要素数据结构设计

将场景按照自然楼层分层,不同的楼层通过Connections连接(如电梯)。每个Storey由若干个Room构成。Room之间没有重叠,由Door和Corridor连接。其他基础设施实体为Obstacles。房间和切割后的走廊抽象为面要素(Polygon),门为线要素(Line),根据障碍物在房间内的占据范围,分为点状(Point)、线状(Line)、面状(Polygon)三类,如图3所示。

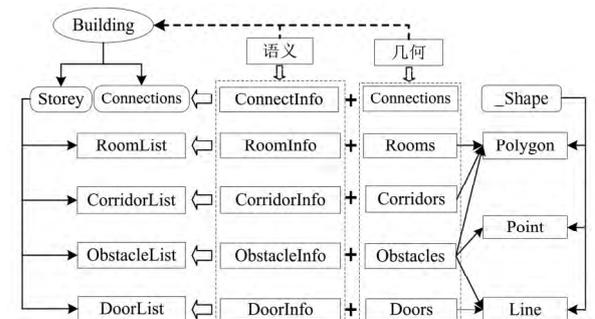


图3 空间结构的关系图

Fig. 3 Spatial Structure of Indoor

其中_Shape为基本图元的抽象类,Point、Line、Polygon分别为点线面的几何表达。

Room 的属性有编号 FID, 房间的中心点 RcenterPoint, 其类型为 RoomType, 及顺时针首尾相接代表房间多边形坐标串 RoomPoly。因此可描述为 Room (int FID, Point RCenterPoint, Polygon RoomPoly)。

RoomInfo 的属性有编号 FID, 与 Room 中的 FID 相同, 当前建筑的房间名称 RName, 该房间包含的门的名称 DoorsName(可能有多扇门), 当前房间所在楼层号 Level, 及当前房间的可用状态 State。因此可描述为 RoomInfo (int FID, String RName, String Function, String Usage, String DoorsName, int Level, bool State)。

Door 的属性有编号 FID 和表示门的线段 DoorLine。因此可描述为 Door (int FID, Line DoorLine)。

DoorInfo 的属性有编号 FID, 与 Door 中的 FID 相同, 门牌号 DName, 门的类型 DType(双向门/单向门), 门所属的房间名称 RName, 以及当前的可用状态 State。因此可描述为 DoorInfo (int FID, String DName, String DType, String RName, bool State)。

Corridor 的属性有编号 FID, 该属性是所有切割后的走廊多边形的唯一编号, 走廊多边形的中心点 CCenterPoint, 其类型为 CorridorType, 以及走廊多边形的多边形坐标串 CorriPoly。因此可描述为 Corridor(int FID, Point CCenterPoint, Polygon CorriPoly)。

CorridorInfo 的属性有编号 FID, 与 Corridor 中的 FID 相同, 走廊边界上的门的列表 DoorsName, 及当前走廊多边形所在的楼层号 Level。因此可描述为 CorridorInfo (int FID, String Doors Name, int Level)。

Obstacles 的属性有编号 FID, 障碍物的中心点 OCenterPoint, 其类型为 ObstacleType, 分为点状、线状和面状。因此可描述为 Obstacles (int FID, Point OCenterPoint)。

ObstaclesInfo 的属性有编号 FID, 与 Obstacles 中的 FID 相同, 及当前障碍物的名称 OName。因此可描述为 ObstaclesInfo (int FID, String OName)。

Storey 的属性有编号 FID, 是多栋建筑物的多楼层中唯一的编号, 楼层的名称 StorName, 房间、门、走廊及障碍物的集合, 分别为 RoomList/DoorList/CorridorList/ObstaclesList。因此可描述为 Storey (int FID, String StorName, List < Room > RoomList, List < Door > DoorList, List

< Corridor > CorridorList, List < Obstacles > ObstaclesList)。

Connections 的属性有编号 FID, 是多栋建筑物的楼层间连接关系唯一的编号, 待连接的两个楼层的唯一编号, 分别为 StoreyID1 和 StoreyID2, 且 StoreyID2 的楼层在 StoreyID1 的楼层的上一层, 及连接类型 Type, 有楼梯 (Stair)、扶梯 (Escalator) 和电梯 (Elevator)。因此可描述为 Connections (int FID, int StoreyID1, int StoreyID2, String Type)。

3.3 2D/2.5D 地图制图

CAD 制图技术已经广泛用于医院、商场、写字楼等室内公共场所消防应急疏散图、楼层导航示意图、商家商品区域图等领域。本文首先使用 CAD 完成前两步的几何处理, 并完成 2D 几何图制作, 软件使用 GIS 完成语义信息及出图。对于 2.5D 地图, 只需使用 CAD 软件绘制连接关系, 并在 GIS 软件中定义连接关系属性, 其余步骤与 2D 地图制图相同, 如图 4 所示。

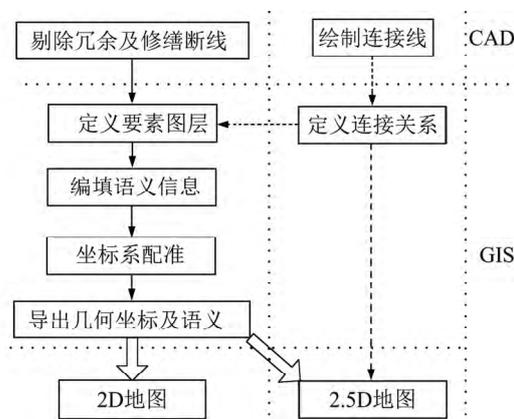


图 4 2D/2.5D 制图流程

Fig. 4 Drawing Process of 2D and 2.5D Map

(1) 剔除冗余及修缮断线。由建设单位提供的建筑施工图中包含许多冗余要素, 如图幅信息、尺寸标记等。2D 平面图无须展示过多的细节, 仅保留楼层、房间、门、墙、走廊和障碍物要素; 修缮断线是将表示同一实体的线段合并, 以便准确提取实体特征点的几何信息;

(2) 定义要素图层。将 CAD 处理好的数据导入 GIS 中, 并分别定义、提取和编辑对应的要素的 GIS 图层, 具体见表 2;

(3) 编填语义信息。使用 GIS 的要素属性编辑功能, 按照实际情况, 编填要素的语义, 如房间编号、名称、用途等;

(4) 坐标系配准。原始的建筑施工图是施工局域坐标系, 为方便室内定位相关的应用, 制图完

表2 要素分层

Tab. 2 Hierarchical Elements

要素名	CAD 图层	GIS 图层	几何类型
楼层	STOREY	storey	Polygon
房间	ROOM	room	Polygon
门	DOOR	door	MultiCurve
走廊	CORRIDOR	corridor	Polygon
障碍物	OBSTACLES	obstacles	-
连接关系	CONNECTIONS	connections	MultiCurve

成后,需要将地图的全部的几何数据与自定义坐标系配准;

(5) 导出几何坐标及语义信息。除了导出绘制好的 2D 平面图形外,还须导出对应的几何信息及语义信息,用于定位计算及地图滤波等。

4 制图实践

本文选取中国地质大学(武汉)工程实验大楼为制图实践场景。该大楼为 4 层,每层面积约 3 305 m²,主要用于教学实践与科研活动。实体为建筑体(房间、门、走廊)和障碍物(固定办公桌、书柜等)。场景中的实体为 4 个楼层,121 个房间,即 121 个房间多边形,178 扇门,即 178 条门线段,4 组不规则走廊,为方便处理,划分为 40 个多边形,12 组连接关系,楼梯 9 组,电梯 3 组,障碍物若干。几何要素和语义属性遵循 § 3.2 中的定义。

使用 CAD 简化工程实验楼的建筑施工图纸,删除图幅信息、尺寸标记等,导入 GIS,分别定义、提取和编辑要素,按实际情况编填属性,用 GIS 导出地图及其数据,便完成了 2D 平面图,如图 5 所示。

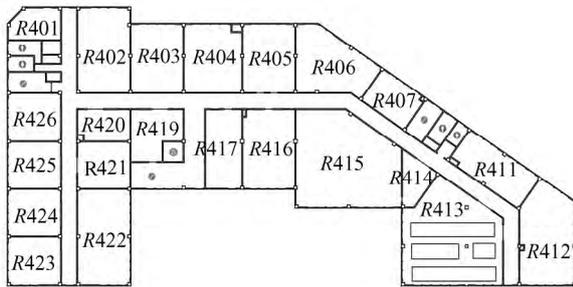


图5 工程实验楼 2D 平面图

Fig. 5 A 2D Map of Engineering Laboratory Building

分别制作四个楼层的 2D 楼层平面图,将其垂直叠加,调整透视效果,并定义 12 组连接关系,在绘图上对应位置添加垂直连接线,即可得 2.5D 地图,如图 6 所示。图 6 中虚折线表示楼梯,虚直线表示电梯。

接下来对空间结构约束的位置进行估计。

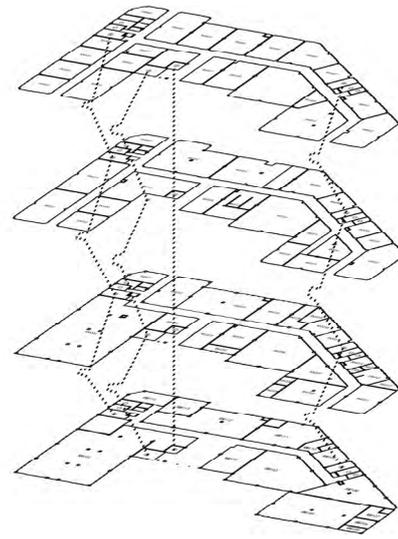


图6 工程实验楼 2.5D 地图

Fig. 6 The 2.5D Map of Engineering Laboratory Building

1) 判断估计位置的合法性。利用该地图的空间约束信息,在室内行人实时定位中,已知行人前一位置情况下,判断下一位置估计结果的合法性。地图约束了行人的运动,将其下一步可能的位置限制在一个更小的概率空间,自动排除一些错误的位置估计结果,以达到定位精度改进的目的^[32]。假设行人前一时刻的位置已知,因行人在室内环境的运动速度有限,所以下一时刻(如 2 s 间隔)的位置应该是在一个以前一时刻位置为中心的一个可预测的范围内(0.7~1.0 m)。当估计位置与已知位置出现在一面墙的两边,若两个位置的连线与墙的交点处有门,则该估计位置是合法的,表明行人由门到达另一个空间,否则则不合法,因为行人不可穿墙。

在粒子滤波中^[33],室内空间结构地图所表达的空间约束主要用于更新粒子的权重,当一个粒子预测的位置被认为是无效位置时,如前后两次结果穿墙或者定位到障碍物区域内,则该粒子的权重被赋为 0。

2) 确定符号位置。对于任意一个定位目标点,首先用该点的 z 坐标与连接线的端点匹配,即可得到该点所在的楼层,完成楼层定位。然后在单楼层中匹配房间,遍历房间多边形;判断点是否多边形内,如果是,则定位成功,逐级返回房间,最终确定该点在地图中的几何位置是房间,符号位置为房间的语义信息;当目标点正好位于房间多边形的边上,则判断是否在门上,如果是,则按照门的几何索引逐级返回,最终得到该点在地图中的门上。目标点在走廊上的符号位置确定过程

与房间类似。

5 结 语

面向室内实时定位的制图方法中许多深层次的问题,如全息位置地图^[3]及动态制图等,均需更多的研究和实践才能得到逐步的解决。本文设计了一种室内地图的数据结构,并探索了室内 2D/2.5D 地图的制作方法。该地图可用于室内空间实时定位中获取定位目标的几何位置和符号位置,同时可满足地图滤波等应用需求。但该制图方式的数据源是建筑物的 CAD 施工图,目前较新的方式是利用众包、SLAM(simultaneous localization and mapping)等技术作为数据源。所以本文下一步的工作是研究不依赖于 CAD 的室内制图,以及基于该图的室内实时定位精度评估。

参 考 文 献

- [1] Liu Chunyan, Wang Jian. A Constrained KNN Indoor Positioning Model Based on a Geometric Clustering Fingerprinting Technique[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(11): 1 287-1 292(刘春燕,王坚. 基于几何聚类指纹库的约束 KNN 室内定位模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(11): 1 287-1 292)
- [2] Zhu Qing, Hu Mingyuan, Xu Weiping, et al. 3D Building Information Model for Facilitating Dynamic Analysis of Indoor Fire Emergency [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(7): 762-766(朱庆,胡明远,许伟平,等. 面向火灾动态疏散的三维建筑信息模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(7): 762-766)
- [3] Zhu Xinyan, Zhou Chenghu, Guo Wei, et al. Preliminary Study on Conception and Key Technologies of the Location-based Parr Information Map [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(3): 285-295(朱欣焰,周成虎,芮维,等. 全息位置地图概念内涵及其关键技术初探[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(3): 285-295)
- [4] Goodchild M F. Looking Forward: Five Thoughts on the Future of GIS [OL]. <http://www.esri.com/news/arcwatch/0211/future-of-gis.html>, 2014
- [5] Boc L Y. New Alliance Helps You Find ‘Needle in a Haystack’[OL]. <http://lumia.conversations.microsoft.com/2012/08/23/new-alliance-helps-you-find-needle-in-a-haystack/>, 2014
- [6] Dean M, Ressler J, Kolas D. Geospatial Ontology Trade Study [C]. 2010 Conference on Ontologies and Semantic Technologies for Intelligence, Washington D C, USA, 2010
- [7] Worboys M. Modeling Indoor Space [C]. 3rd ACM Sigspatial International Workshop on Indoor Spatial Awareness, Chicago, USA, 2011
- [8] Woodman O, Harle R. Pedestrian Localisation for Indoor Environments [C]. International Conference on Ubiquitous Computing, Seoul, Korea, 2008
- [9] Widyawan, Klepal M, Pesch D. A Bayesian Approach for RF-based Indoor Localisation [C]. ISWCS, Nonwag, 2007
- [10] Li F, Zhao C S, Ding G Z, et al. A Reliable and Accurate Indoor Localization Method Using Phone Inertial Sensors [J]. *UbiComp*, 2012:421-430
- [11] Toftkjær T, Kjærgaard M B. The Impact of Sensor Errors and Building Structures on Particle Filter-based Inertial Positioning [J]. *Pervasive & Mobile Computing*, 2012, 8(5):764-776
- [12] Widyawan, Klepal M, Beauregard S. A Backtracking Particle Filter for Fusing Building Plans with PDR Displacement Estimates [C]. Wpnc’08, Germany, 2008
- [13] Hitchcock R J, Wong J. Transforming Ifc Architectural View Bims for Energy Simulation: 2011 [C]. Building Simulation, Sydney, Australia, 2011
- [14] OGC. CityGML [OL]. <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml/>, 2015
- [15] OGC. IndoorGML [OL]. <http://stem.cs.pusan.ac.kr/indoorgml/>, 2015
- [16] Sun Xiaotao. Study of City 3D Modeling and Sharing Based on CityGML [D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2011 (孙小涛. 基于 CityGML 的城市三维建模和共享研究 [D]. 重庆: 重庆师范大学, 2011)
- [17] Wang Dangrong. Integration of Outdoorspace with Interiorspace [D]. Heibei: Hebei University, 2009 (王党荣. 室内外空间环境的融合与统一 [D]. 河北: 河北大学, 2009)
- [18] Winter S. Indoor Spatial Information [J]. *International Journal of 3-D Information Modeling (IJ3DIM)*, 2012, 1:31-34
- [19] Afyouni I, Ray C, Claramunt C. A Fine-grained Context-dependent Model for Indoor Spaces [C]. The 2nd ACM Sigspatial International Workshop on Indoor Spatial Awareness, San Jose, USA, 2010
- [20] Yang L P, Worboys M. A Navigation Ontology for Outdoor-indoor Space: (Work-in-progress) [C]. The 3rd ACM Sigspatial International Workshop on Indoor Spatial Awareness, Chicago, USA, 2011
- [21] Li K J. Indoor Space: A New Notion of Space [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2008

- [22] Karimi H A. Universal Navigation on Smartphones [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2011
- [23] Boulos M N K, Berry G. Real-time Locating Systems (RTLS) in Healthcare: a Condensed Primer [J]. *International Journal of Health Geographics*, 2012, 11(1):25
- [24] Wikipedia. Real-time Locating System[OL]. https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_locating_system, 2015
- [25] Gu Y Y, Lo A, Niemegeers I. A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks [J]. *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, 2009, 11(1):13-14
- [26] Harle R. A Survey of Indoor Inertial Positioning Systems for Pedestrians [J]. *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, 2013, 15(3):1 281
- [27] Want R, Hopper A, Falcao V, et al. The Active Badge Location System [J]. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 1992, 10(1):91-102
- [28] Priyantha N B, Chakraborty A, Balakrishnan H. The Cricket Location-support System[C]. The 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, ACM, New York, USA, 2000
- [29] Harter A, Hopper A, Steggles P, et al. The Anatomy of a Context-aware Application [J]. *Wireless Networks*, 2002, 8(2/3):187-197
- [30] Fontana R J, Richley E, Barney J A. Commercialization of an Ultra Wideband Precision Asset Location System[C]. IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, Virginia, USA, 2003
- [31] Yang L P, Worboys M. Similarities and Differences Between Outdoor and Indoor Space from the Perspective of Navigation [J]. *Poster Presented at CO-SIT*, 2011
- [32] Shang Jianga, Hu Xuke, Gu Fuqiang, et al. Improvement Schemes for Indoor Mobile Location Estimation: A Survey [J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015
- [33] Widyawan, Klepal M, Beauregard S. A Backtracking Particle Filter for Fusing Building Plans with PDR Displacement Estimates[C]. WPNC, Germany, 2008

Indoor Spatial Structure and Mapping Methods for Real-time Localization

YAN Jinjin^{1,2} SHANG Jianga^{1,2} YU Fangwen^{1,2} TANG Xinyi^{1,2} ZHOU Zhiyong^{1,2}

¹ Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

² National Engineering Research Center for Geographic Information System, Wuhan 430074, China

Abstract: People generally spend around 90% of their time in indoor space every day. And they hope to have a high-precision real-time location based system for indoor navigation. Indoor digital maps are the basis and information carrier of indoor real-time positioning. In this paper, we discuss the theory of real-time location, including the definition of indoor place, features of indoor space and indoor space real-time location characteristics. The demands for visualization and map-filtering-based location accuracy improvement are analysed. In order to meet the needs of real-time indoor location, the building structures such as rooms, walls, doors, and corridors as well as furniture and other obstacles must be expressed. We also detail a light data structure for indoor maps and explore mapping methods for 2D floor plans and 2.5D maps of indoor space. We map the indoor space of a Engineering Laboratory building as an experimental case.

Key words: indoor space; real-time localization; 2-dimensional and 2.5-dimensional map; indoor mapping

First author: YAN Jinjin, postgraduate, specializes in the indoor navigation, location based services and indoor spatial information modeling and management. E-mail: jinjinhanyu@126.com

Corresponding author: SHANG Jianga, PhD, associate professor. E-mail: jgshang@cug.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41271440; China University of Geosciences (Wuhan) Teaching Laboratory Open Fund Project, No. SKJ2013049.