

一个情境相关的双层室内空间数据模型

李敬雯 刘宇雷 秦小麟

(南京航空航天大学计算机科学与技术学院 南京 211106)

摘要 在室内空间的移动对象管理中,如何建立数据模型是要解决的首要问题。随着情境感知信息系统的发展,情境的概念得到越来越多的关注,如何在室内空间数据管理中融入情境信息已经成为人们关注的焦点问题。针对这一问题,综合考虑几何、拓扑、情境3类信息,建立了一个情境相关的双层室内空间数据模型。在分析了经典的空间划分方法后,提出了室内空间细粒度划分方法,并给出其形式化定义;引入层次互补的思想来组织室内空间,采用本体的方法将情境信息加入到模型中,使该模型对室内空间的表达更加灵活;最后,通过实例分析和列举模型的优势说明了建模方法的可行性和有效性。

关键词 情境,室内空间,数据模型,情境本体

中图分类号 TP311 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.08.033

Context-dependent Double-layered Data Model for Indoor Space

LI Jing-wen LIU Yu-lei QIN Xiao-lin

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

Abstract In the management of moving objects for indoor space, how to build the data model is the most important problem to be solved. With the development of context-aware information system, the concept of the context is getting more and more attention. How to integrate the context and preference information into the indoor spatial data management has become the focus of attention. Aiming at this problem, considering three kinds of information, such as geometry, topology and context, a context-dependent double-layered data model for indoor space was built. After analyzing the classical methods of space partition, we introduced a new method called the fine-grained partition for indoor space and gave its formal definition. We adopted the idea of hierarchical complementary to organize the indoor space, and the context information was added to the model by using ontology, which provides a flexible representation for indoor space. Finally, the feasibility and validity of the modeling method are illustrated by the examples and the advantages of this model.

Keywords Context, Indoor space, Data model, Context ontology

1 引言

近年来,地理信息科学应用的范围逐渐从宏观向微观转变,处理的空间尺度已经从开放的室外环境转向复杂的室内环境^[1],现在人们更多地关注室内空间中的各种位置相关的信息及服务。随着普适计算和定位技术的发展,室内空间中的移动对象管理得到了极大的支持。室内空间可以非正式地定义为人们日常活动的建筑场所,如:房屋、商场等^[2],它在空间约束、定位技术和距离度量等方面与室外空间不同^[3]。在室内空间中,通过部署在环境中的传感器提供离线或实时数据以得知室内空间中的变化,传感器的数据包含了对象的时空信息以及情境信息。由于室内位置服务与情境、用户偏好密切相关,因此如何将情境和偏好信息融入室内空间移动对象管理中是一个亟待解决的关键问题。

目前,对于室内空间的研究主要集中在处理对象的时空信息,以满足查询、路径规划、导航、可视化等室内空间的应用和服务,但忽略了对象所具有的情境信息。相对于室外而言,室内需更加强调个性化的位置服务,因此需要将更多的情境信息纳入室内位置服务的考虑之中。情境信息描述了环境本身以及环境中各个实体所明示或隐含的、可用于描述其状态(含历史状态)的任何信息,其中的实体可以是人、地点等物理实体,也可以是程序、网络等虚拟实体^[4]。充分利用情境信息来分析其他组成实体及其之间的关系,可以使各项技术更好地支持室内位置服务。

室内位置服务需要解决的一个关键性问题就是如何对室内空间建模^[5]。目前,学术界已提出了多种室内空间模型,对室内空间采用不同的方式进行划分,从而可以灵活地表达空间内的各种信息。但现有的大部分模型缺少对情境信息的描述

到稿日期:2016-07-19 返修日期:2016-12-02 本文受国家自然科学基金项目(61373015,61300052,61402225),江苏高校优势学科建设工程资助项目,南京航空航天大学研究生创新实验室开放基金项目(kfjj20151603),中央高校基本科研业务费专项资金资助。

李敬雯(1991—),女,硕士生,主要研究方向为移动对象情境感知技术,E-mail:lijingwen@nuaa.edu.cn;刘宇雷(1974—),男,副研究员,硕士生导师,主要研究方向为无线传感器网络与数据库技术;秦小麟(1953—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为分布式环境的数据管理与安全。

和使用,难以很好地支持情境相关的室内空间的应用和服务。

针对室内环境的特性,下面给出两种室内场景下情境相关的实例:1)在某个商场内,顾客逛街时会根据自己的喜好选择要浏览的店铺,并且希望避免客流量过大、过于拥挤的区域。这时,对逛街路径进行规划时就要考虑环境中的情境信息。2)候车室内的旅客查询一处靠近2号检票口、温度舒适且光线较暗的候车位置。除此之外,在突发事件处理、供应链管理等领域增加情境信息的使用,可以使得路径规划、查询等服务更加切合实际。因此,情境相关的需求普遍存在,然而现有的室内空间模型并没有对此进行关注。

本文提出了一种新型的室内空间数据模型,重点研究了几何、拓扑以及情境信息的集成。首先,给出室内空间细粒度划分的形式化定义和划分方法,并定义了带障碍的室内空间距离的概念,为室内空间建模提供了理论基础,而且划分后的子区域方便模型对不同信息进行了扩展;然后,给出了情境本体的概念及其形式化定义,将情境和偏好信息融入模型之中,详细描述了情境相关的双层室内空间数据模型,其包含空间层和情境层,层次之间互为补充,能够很好地表达室内空间中的各类信息;最后,通过实例分析和模型比较说明了建模方法的可行性。

2 相关工作

目前,室内空间表示模型可以大致分为3类:几何模型、符号模型和语义模型。几何模型将空间看作是连续或离散的,主要包括基于单元和基于边界的几何表示。基于单元的模型将室内空间细分成一组数量有限且不重叠的区域,并提供了一种隐式地得到相邻单元之间邻接关系的能力^[6]。文献^[7]将室内空间细分成形状和大小相同的正方形,使模型可以很好地应用于机器人导航领域。文献^[8]提出了一种不规则的三角形细分方式,考虑了室内空间中障碍物的存在,实现了高效的查询。基于边界的模型用一系列原始的几何体(例如点、线、面等)表示室内空间中的实体。与基于单元的模型相比,基于边界的模型表示室内空间时更直接,可以被高度简化。文献^[9]提出了一个基于CAD的室内拓扑模型,其可以用于导航服务。符号模型使用符号元素描述空间中的对象,可以反映空间中的拓扑关系,主要包括基于集合的模型和基于图的模型。Li等人^[10]于2008年提出了基于格的几何模型。在给定的空间中有两种实体:出口和位置。出口是作为允许进入或离开一个位置的边界门,位置是一个有界的几何区域。这种模型可以用于室内最近邻查询,寻找最佳路径。基于图的模型是当下应用最普遍的室内空间表示模型,根据抽象方式的不同又可分为:基本连通图模型^[11]、部署图模型^[12]以及门图模型^[13]等。基于图的模型将室内空间表示成由结点和边组成的图,结点代表空间中的对象,边代表对象间的关系。语义模型通过对不同类型的室内空间对象的区分,重点描述各类空间对象的属性、操作以及相互之间的关系,不仅包括描述性的功能,还包括空间推理功能,通常和本体论相联系^[4]。文献^[14]提出了一种基于分层的室内空间模型,其能描述室内元素、传感器以及对象之间的关系,表达室内空间的语义信息。文献^[15]提出了一种基于本体的模型和算法,为有着不同需求和偏好的人提供了路径导航。文献

^[16]构建了顶层本体、领域本体、任务本体和应用本体4个层次的室内外一体本体建模框架,为室内外一体化服务提供了新的解决方法。

几何模型可以描述室内空间的形状、大小等丰富的几何信息,但是缺少对连通性、包含关系、紧密度以及重叠关系的描述;符号模型利用符号ID表达室内空间实体之间的拓扑关系,符号ID是可以被人阅读和理解的表示,但是缺少空间中实体和场所的几何详细信息;语义模型利用本体论在模型中加入了空间推理功能,而室内更加强调个性化的位置服务,因此需要更多地利用情境信息。在现有的模型中提出的划分方法较为成熟,但是大多都没有将情境信息纳入支持范畴之内,没有将几何、拓扑、情境等信息统一起来。因此,本文考虑将几何模型、符号模型和语义模型的优势相结合,提出一种室内空间的细粒度划分方法,并在此基础上扩展模型的情境信息,从而更加灵活完整地表达室内空间。

3 室内空间的细粒度划分方法

完整的室内空间信息量庞大,每次对空间进行全局扫描时都为数据存储和查询带来巨大压力。为了解决此问题,提出室内空间的细粒度划分方法对室内空间进行划分。划分后得到的子区域使模型具有可扩展性,可以与本体相结合来构建双层模型。目前,室内空间划分方法包括规则划分和不规则划分。本节首先定义了室内空间的低连通区域和高连通区域,并给出了其子区域的形式化定义,然后结合一个室内空间场景的例子来说明室内空间的细粒度划分方法,给出了相应的细粒度划分;最后,定义了带障碍的室内空间距离的概念。

3.1 形式化定义

室内空间的细粒度划分方法指将室内空间划分为多个子区域的集合,并以子区域作为基本几何体,描述室内空间中对象的空间位置和对对象间的距离。

定义1(低连通区域和高连通区域) 设在二维空间 R^2 上存在多个区域 $Region$,将每个区域所有边界包含的门个数之和记为 $DoorNum$ 。对于一个划分后的室内空间,如果某个区域 $Region_i$ 的 $DoorNum \leq 1$,则区域 $Region_i$ 是低连通区域;如果某个区域 $Region_j$ 的 $DoorNum > 1$,则区域 $Region_j$ 是高连通区域。

室内空间中的元素可以分为房间、墙体、门、走廊、楼梯以及移动元素等。根据定义1,由墙体等围成的房间为低连通区域,而门、走廊、楼梯等开放式场所为高连通区域。低连通区域采用最小矩形框的形式进行划分,得到低连通的子区域,保留区域的形状、大小、边界信息等几何要素;高连通区域采用划分Voronoi区域的方法。Voronoi图是一种广泛应用于空间分割的几何结构,它能清晰表现平面空间内实体间的邻近关系^[17],是解决相关几何问题的有效的工具。Voronoi图由空间对象和与它们对应的Voronoi区域组成,Voronoi区域表示平面上一些到某对象的距离较到其他对象近的点的集合^[18]。高连通区域以空间元素中的门和楼梯口作为Voronoi区域的生成点,按照离每一目标最近的原则,将连续空间走廊等公共区域划分为若干个Voronoi区域,且每一个Voronoi区域只包含一个生成点,从而得到高连通的子区域。下面给出对室内空间进行细粒度划分后得到的子区域的形式化定义。

定义 2(子区域) 室内空间细粒度划分子区域的形式化定义为:

$$SubRegion = (type, id, loc)$$

其中, $type$ 为子区域的类型, 分为低连通子区域 ($type=0$) 和高连通子区域 ($type=1$); id 为子区域的标识, 使用子区域的标识作为唯一标识; loc 为子区域中门的空间位置。

3.2 划分方法

为了方便描述, 下面给出一个室内空间场景的例子。如图 1 所示, 商场的其中一层空间由若干个店铺房间、卫生间和走廊、楼梯等区域组成, 其中 R_i 表示店铺编号, P_i 表示门及楼梯口编号。不同的区域之间由墙体隔开, 房间之间和房间与走廊、楼梯等公共区域之间由门连接, 不同楼层间由楼梯连接。移动对象进出房间需要经过门, 移动到不同楼层需要经过楼梯。在门和楼梯口等区域部署传感器, 可以收集移动对象的位置和室内空间的信息。

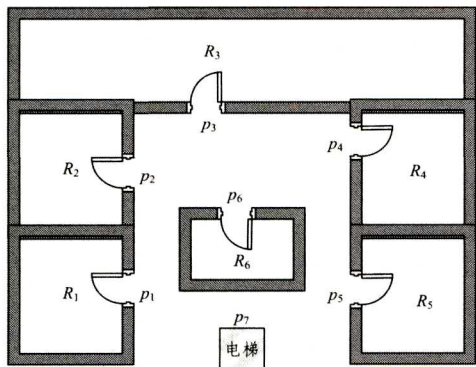


图 1 室内空间场景的例子

下面给出图 1 中的场景对应的室内空间细粒度划分。首先, 将室内空间分为高连通区域和低连通区域。根据定义 1 可知, 店铺房间 (R_1-R_6) 为低连通区域, 而走廊、电梯口等为高连通区域。然后, 对于高连通区域, 以边界上的门 (p_1-p_6) 以及电梯口 p_7 作为生成点, 划分出 Voronoi 区域, 如图 2 所示。而对于低连通区域, 采用最小矩形框的形式, 根据墙体的位置进行划分, 再结合之前高连通区域的划分, 最终图 1 中的室内空间可以表示为图 3 中的细粒度划分形式, 图 3 中的虚线所围成的区域就是对室内空间进行细粒度划分后得到的子区域, 且每个子区域都有一个生成点, 子区域与子区域之间互不相交。

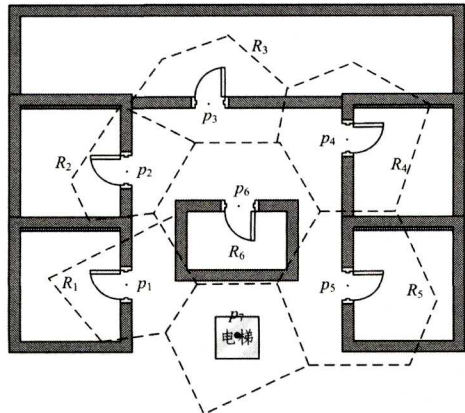


图 2 室内空间高连通区域划分

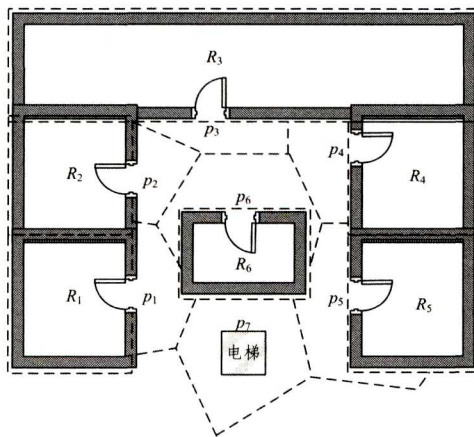


图 3 室内空间的细粒度划分

3.3 带障碍的室内空间距离

室内空间是带障碍的欧氏空间, 由于障碍物的存在, 室内空间中两点间的距离可能不再是欧氏空间下两点间的直线距离, 而是移动对象从一点 p_i 移动到另一点 p_j 的最短距离。在对室内空间进行细粒度划分之后, 子区域以门作为唯一标识, 考虑将子区域间的距离表达为子区域中门之间的距离。因为门总是位于高连通区域的边界上的, 而高连通区域可以认为是自由空间, 所以门之间的距离可以用欧氏空间下两点间的直线距离表示。下面给出子区域间距离的定义。

定义 3(子区域间的距离) 室内空间细粒度划分的子区域 SR_i 和 SR_j 间的距离 $SRDist(SR_i, SR_j)$ 定义为:

$$SRDist(SR_i, SR_j) = \sqrt{(loc_i - loc_j)^2}$$

其中, SR_i 和 SR_j 的空间位置 loc_i 和 loc_j 就是子区域中门的空间位置。

因此, 对于室内空间中的两点 p_i 和 p_j , 如果 p_i 和 p_j 位于同一子区域, 由于子区域中不存在障碍物, 则它们之间的距离可以用欧氏空间下两点间的直线距离表示; 如果 p_i 和 p_j 位于不同的子区域, 则它们之间的距离可以看作是 p_i 和到各自所在子区域中门的距离与子区域间的距离之和。这样就得到了带障碍的室内空间中任意两点之间的距离。

4 情境相关的双层室内空间数据模型

情境相关的双层室内空间数据模型采用室内空间细粒度划分方法, 将室内空间划分成多个子区域的集合, 可以通过在子区域上增加不同的属性来表达更多的室内信息, 使模型具有可扩展性。

现在, 很多领域都已经引入本体来解决知识不一致和推理相关的问题。本体提供了一个可共享的概念模型和强大的交互机制来处理情境信息, 为客观世界中的实体建立层次联系, 可以支持情境推理。与其他模型相比, 基于本体的模型在语义表达、形式化归纳和推理等方面具有优势, 能够较好地表达情境信息的概念和概念之间的联系。由于本体模型利用概念和事实对实体进行形式化描述, 基于本体的建模方式有利于分布式合成和部分验证^[19]。因此, 本体可以作为描述情境信息的有效工具, 对划分后的子区域增加了情境属性, 使模型能够处理情境相关的需求。

本节首先对情境本体以及其中的概念集合进行形式化定义; 然后描述了情境相关的双层室内空间数据中的空间层和

情境层的详细构成;最后,解释了模型的组织方式和层次间的互补关系。

4.1 情境本体

采用本体表达情境信息已经成为一种逐渐被认可的表达情境的方式,而由本体派生出的情境本体用于描述涉及情境信息的领域的概念与概念之间的关系,属于领域本体的一种。情境本体可以对领域中的情境信息进行分类描述,共享和同步领域中的情境信息。

定义4 情境本体的形式化定义为:

$$ContextOntology=(C,R,I)$$

其中,C是领域中的概念集合,包括所有涉及情境信息的概念;R是概念之间的关系,即 $R \subseteq C \times C$;I是一组实例,是情境本体描述的对象。而在情境本体中的概念集合C中,涉及情境信息的概念被分为以下几类:标识(identity)、活动(activity)、位置(location)、时间(time)、状态(state)和偏好(preference)等。下面给出概念集合C的形式化定义。

定义5 概念集合C可以表示成一个六元组的形式:

$$C=(identity,activity,location,time,state,preference)$$

标识代表情境信息的来源,对应环境中所有的实体(移动对象和物理对象),能够为合并用户相关情境提供各种数据类型属性。活动代表由实体主导发生的事件或者与它相关的事件。位置是对物理空间地点的抽象,与地理上的点或者符号相关联。时间包括与其他概念相关的任何有效的的时间值。状态表示实体本身对环境的反应,其具有不同的程度。偏好代表用户根据自己的喜好更倾向的选择,是一种重要的情境信息,可以为情境本体提供大量信息。用六元组形式描述概念集合C给出了一种统一的格式,其可表示各种不同情境信息,将情境信息集中组织便于情境本体使用。

4.2 模型的形式化描述

情境本体为模型提供了一个描述情境信息的方法,模型将情境本体提供的情境信息作为子区域的情境属性,增加了模型的表达能力。情境相关的双层室内空间数据模型包括空间层和情境层两个层次,而不同的层次采用不同的方法组织室内空间信息,使模型可以很好地表达整个室内空间。图4给出了情境相关的双层室内空间数据模型的具体组织方式。

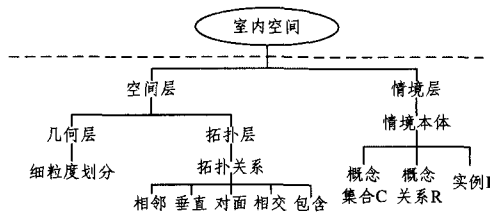


图4 情境相关的双层室内空间数据模型

下面给出情境相关的双层室内空间数据模型的形式化定义。

定义6 情境相关的双层室内空间数据模型可以表示成一个三元组的形式:

$$InDC_Model=(SR,TR,CO)$$

其中,SR表示几何层,是室内空间细粒度划分后子区域的集合;TR表示拓扑层,是室内空间元素间拓扑关系的集合;CO表示情境层,使用情境本体对情境信息进行描述,即子区域的情境属性。

4.3 模型的层次关系

考虑到室内空间中信息的丰富多样,把室内空间分为不同的层次表示可以提高模型的表达能力,将更多的信息集成到模型中,使模型可以定性和定量地表示室内空间,以支持不同种类的应用与服务。模型采用两个互补的层次来表示室内环境:空间层和情境层。这种层次互补方法的原则是区分构成室内空间元素的特征,使得层次之间互为补充,表达整个空间。空间层和情境层提供的信息附属在模型划分后的子区域上,成为了子区域的属性以及模型的输入。图5给出了模型层次间的互补关系。

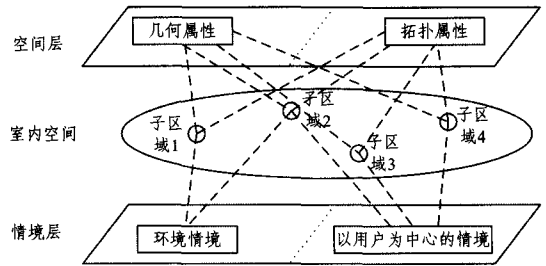


图5 模型层次间的互补关系

在空间层中,室内空间的实体被表达为两层:几何层和拓扑层。其中,几何层针对具有几何意义的元素,包括点、线、面等,元素具有确定的位置和度量值(长度和面积),构成模型的几何信息。几何层采用细粒度划分方式组织室内空间,将整个二维室内空间作为模型的输入,并根据连通度的不同将其划分为不同类别的连续网格。拓扑层针对表示模型拓扑信息的元素,包括点、线、面之间的连接关系、邻近关系及边界关系。拓扑层定义了室内空间元素间的拓扑关系,包括相邻、相离、相交和包含等。根据最基本的二元关系 $C(x,y)$ ‘它表示区域x和y是连通的’,可以表示出上述几种拓扑关系。

相离: $D(x,y) := \neg C(x,y)$

包含: $T(x,y) := \forall z(C(z,x) \rightarrow C(z,y))$

相交: $S(x,y) := \exists z(T(z,x) \wedge T(z,y))$

相邻: $A(x,y) := C(x,y) \wedge \neg S(x,y)$

情境层中集成了环境情境和以用户为中心的情境两种情境信息。环境情境包括时间、位置、天气、温度、湿度等自然情境元素,以用户为中心的情境包括用户的年龄、性格、社交关系、偏好、兴趣点和行为规律等人为情境因素。情境层利用情境本体组织两种情境信息,能够完整地描述当前室内空间中的情境信息,并且支持情境推理,使模型具有可推导性;同时,情境本体可以灵活地根据需求添加或者删除情境信息,提高模型的可扩展性。

5 实例分析与模型比较

下面通过实例分析和模型比较来说明情境相关的双层室内空间数据模型的可行性和优势。

5.1 实例分析

从第4节可知,模型通过将空间层和情境层提供的信息附属到划分后的子区域上,使之成为子区域的属性,为模型提供信息输入,能够灵活地表达不同类别的信息,支持不同层次的数据操作,因此可以满足多种室内空间下的应用和服务。

许多室内路径规划问题与情境、偏好密切相关,如顾客在

商场购物逛街时想要规划出一条到达目的店铺的距离较短、时间较少而且最好避免路径中客流量过大的路线。在模型中加入子区域的空间属性(即几何属性和拓扑属性)为室内路径规划问题提供空间信息;而针对该室内空间生成的情境本体可以为模型增加子区域的情境属性,如子区域的温度、湿度、客流量等,这些情境信息是解决情境相关的室内路径规划问题的依据之一。

在考虑这一问题时,根据定义 6 对图 1 所示的室内空间进行建模,得到 $InDC_Model=(SR,TR,CO)$ 。其中,几何层 SR 中子区域的集合包括低连通区域 R_1-R_6 和高连通区域 p_1-p_7 ,细粒度划分后的结果如图 3 所示。例如,对于低连通区域 R_1 ,此时 $SubRegion=(0, p_1, (x_1, y_1))$,而对于高连通区域 p_2 ,此时 $SubRegion=(1, p_2, (x_2, y_2))$,则子区域 R_1 和 p_2 之间的距离是 $SRDist(R_1, p_2) = \sqrt{(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2}$ 。

拓扑层 TR 包括相离、包含、相交和相邻等拓扑关系。例如, R_1 和 R_3 相离,即 $D(R_1, R_3)$; R_1 和 R_2 相邻,即 $A(R_1, R_2)$ 。而在情境层 CO 中,该室内场景对应的情境本体 $ContextOntology=(C,R,I)$ 的概念集合 C 包括时间、店铺房间标识、门标识、移动对象标识、店铺房间位置、门位置、移动对象位置、移动对象活动(移动或静止)、店铺房间状态(光线强度、温度等)、门状态(开放或关闭)、移动对象状态(密集或稀疏)和移动对象偏好等元素;概念间的关系 R 包括是、包含、属于、位于等元素,实例 I 包括“门包含开放和关闭两种状态”等。图 6 中给出了以图 1 描述的室内空间场景为例的情境本体,室内空间中存在移动对象、房间、出入口、环境等几类实体,每一类实体下包含相应的概念集合,如移动对象下包含移动对象的运动、状态及偏好等,这些概念之间的关系将概念联系在一起。

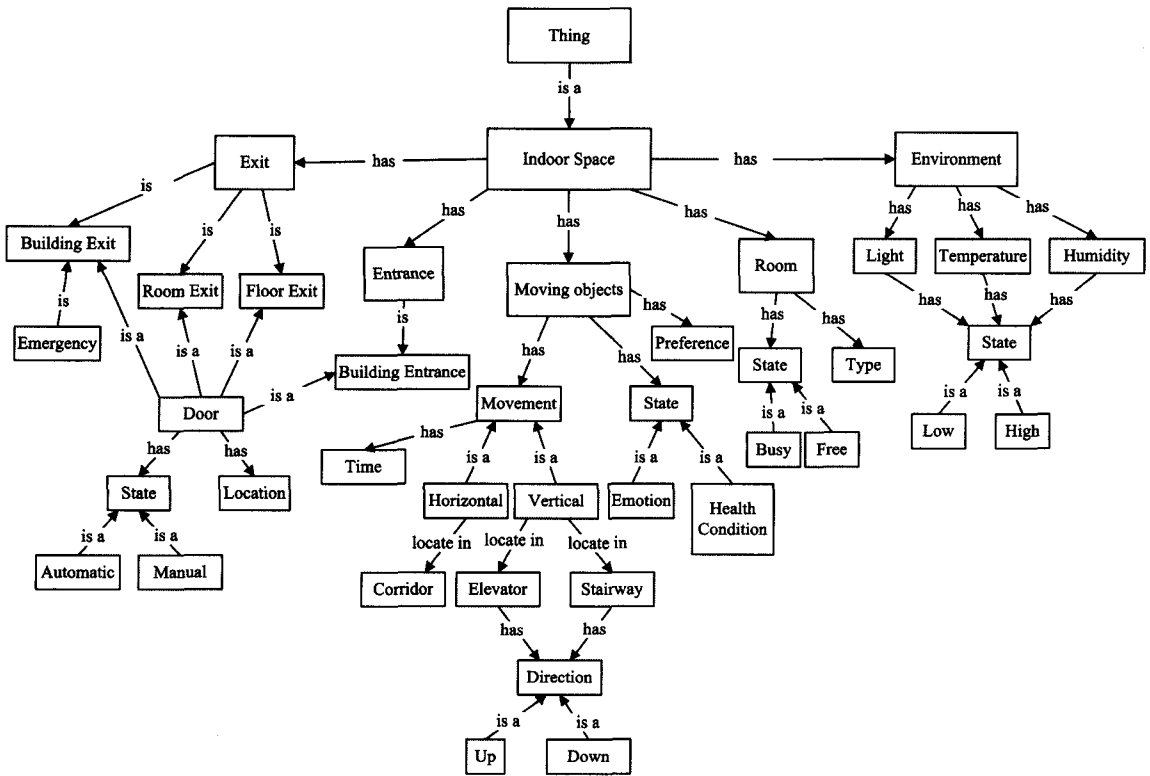


图 6 室内空间场景的情境本体

因此,室内路径规划可分为静态和动态两个阶段进行。其中,静态阶段包括一个最短路径生成过程,首先根据几何属性和拓扑属性找到初始位置 loc_s 和一系列目标位置 loc_{e_i} ($i=1,2,\dots$) 对应的细粒度划分单元 sr_s 和 sr_{e_i} ($i=1,2,\dots$),然后采用 Dijkstra 算法,根据子区域间的距离,从当前位置到所有目的地之间生成一条最短路径 $path$;而动态阶段配合静态阶段,根据对路径的要求,以子区域的情境属性作为依据,调整 $path$ 的每一步结果,最终生成一条符合要求的最佳路径。例如,若要规划一条从 R_2 到 R_5 的路线,因为 p_7 区域内有电梯,导致人流量过大,最终规划的路径应为 $R_2 \rightarrow p_2 \rightarrow p_6 \rightarrow p_5 \rightarrow R_5$ 。

5.2 模型比较

相比于已有的室内空间模型,本文提出的情境相关的双层室内空间数据模型 $InDC_Model$ 在以下方面做出了改进,

具有一定的优势。

(1)对室内空间的抽象层次更加细粒度。经典的基于单元的室内空间模型中,比如文献[6-8]提出的模型都是在单元房间的粒度上对室内空间进行描述;而 $InDC_Model$ 将室内空间划分成更加细粒度的子区域,不仅对房间等由墙壁分割的空间进行划分,还将走廊、出口等开放空间划分成不同的区域,得到低连通区域和高连通区域,然后结合 Voronoi 图得到最终的子区域。定位服务的准确性取决于室内空间模型的抽象层次,因此,更加细粒度的划分有利于定位和导航服务。

(2)为模型提供了更方便有效的扩展。与文献[6-8]中提出的模型相比, $InDC_Model$ 在对空间进行细粒度划分后,室内信息可以作为子区域的属性,为模型提供输入,使其可以方便地进行增加、删除、更新等操作,而且情境信息也可作为属性附加在子区域上,使空间层与情境层相结合构成双层模型,

有利于提供个性化的位置服务。

(3)对室内空间信息的表达能力更强。现有的室内空间模型通常只针对某一特定领域,只表达部分的室内信息,应用范围有限。而 *InDC_Model* 在对室内空间建模时,集成了室内空间的几何信息、拓扑信息和情境信息,文献[6-8]等重点描述了室内空间的空间信息,而文献[15-16]只关注了在室内环境中使用情境信息。第4节给出了 *InDC_Model* 及其建模方法的形式化定义,模型的形式化程度直接决定了信息理解共享的程度,而引入情境本体使模型增加了对情境信息的表达能力,本体可以针对不同的室内空间场景生成不同的情境本体,能够很好地表达出空间内的各类概念以及它们之间的关系和实体所含有的情境语义。

结束语 已有的室内移动对象建模技术从不同角度对室内空间进行描述,如几何模型、符号模型和语义模型等,但是没有很好地表达完整的室内空间信息,尤其是情境信息。相比于已有工作,本文的主要贡献在于以下几个方面:1)给出了室内空间细粒度划分的形式化定义、划分方法以及带障碍的室内空间距离,提供了一个对室内空间的灵活表示,也使模型便于扩充情境信息。2)对情境本体以及其中的概念集合进行形式化定义,作为工具将情境信息加入到模型之中;针对室内场景建模对情境信息的需求,提出了一个情境相关的双层室内空间数据模型,该模型用两个互补的层次来表示室内环境,区分构成室内空间元素的特征,层次之间互相补充,其中情境信息的加入使得模型更加贴近现实情况。3)通过实例分析和模型比较说明了建模方法的可行性以及模型的优势。同时,本文也存在一些不足,如当情境较为复杂、情境信息较为丰富时,情境本体的结构过于庞大,未能实现定向查找。在下一阶段的研究中将进一步提出解决这些问题的方法。

参 考 文 献

- [1] WORBOYS M. Modeling indoor space[C]//ACM Sigspatial International Workshop on Indoor Spatial Awareness. 2011:1-6.
- [2] AFYOUNI I, RAY C, CLARAMUNT C. A fine-grained context-dependent model for indoor spaces[C]//2nd International Workshop Indoor Spatial Awareness(ISA 2010). San Jose, CA, USA, 2010:33-38.
- [3] JIN P Q, WANG N, ZHANG X X, et al. Moving object data management for indoor spaces[J]. Chinese Journal of Computers, 2015(9):1777-1795. (in Chinese)
金培权,汪娜,张晓翔,等.面向室内空间的移动对象数据管理[J].计算机学报,2015(9):1777-1795.
- [4] LI H F, ZHANG P, HUANG H, et al. Context aware applications based on ontology model with certainty factor and uncertain reasoning[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2013,33(11):1145-1150. (in Chinese)
李慧芳,张平,黄鸿,等.基于可信度本体模型及不确定性推理的情境感知应用[J].北京理工大学学报,2013,33(11):1145-1150.
- [5] LIN D, SONG G M, JIA F L. Review of the research progresses in spatial model for indoor location-based service[J]. Journal of Navigation and Positioning, 2014(4):17-21. (in Chinese)
林雕,宋国民,贾奋励.面向位置服务的室内空间模型研究进展[J].导航定位学报,2014(4):17-21.
- [6] AFYOUNI I, RAY C, CLARAMUNT C. Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey[J]. Journal of Spatial Information Science, 2012,4(4):85-123.
- [7] ELFES A. Using occupancy grids for mobile robot perception and navigation[J]. Computer, 1989,22(6):46-57.
- [8] DEMYEN D, BURO M. Efficient triangulation-based pathfinding[J]. AAAI, 2012,1338(9):161-163.
- [9] GILLIÉRON P Y, MERMINOD B. Personal navigation system for indoor applications [C] // Proceedings of the 11th IAIN World Congress. 2003.
- [10] LI D, LEE D L. A lattice-based semantic location model for indoor navigation[C]//International Conference on Mobile Data Management. 2008:17-24.
- [11] JENSEN C S, LU H, YANG B. Graph model based indoor tracking[C]//Tenth International Conference on Mobile Data Management(MDM 2009). Taipei, Taiwan, 2009:122-131.
- [12] YANG B, LU H, JENSEN C S. Scalable continuous range monitoring of moving objects in symbolic indoor space[C]//ACM Conference on Information and Knowledge Management(CIKM 2009). Hong Kong, China, 2009:671-680.
- [13] YANG B, LU H, JENSEN C S. Probabilistic threshold k nearest neighbor queries over moving objects in symbolic indoor space [C]//International Conference on Extending Database Technology. 2010:335-346.
- [14] ZHAO L, JIN P Q, ZHANG L L, et al. LayeredModel: a data model for indoor space moving object[J]. Journal of Computer Research and Development, 2011,48(S3):274-281. (in Chinese)
赵磊,金培权,张蓝蓝,等. LayeredModel: 一个面向室内空间的移动对象数据模型[J].计算机研究与发展,2011,48(S3):274-281.
- [15] DUDAS P M, GHAFOURIAN M, KARIMI H A. ONALIN: Ontology and algorithm for indoor routing[C]//Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and MIDDLEWARE. IEEE Computer Society, 2009:720-725.
- [16] YANG L, WORBOYS M. A navigation ontology for outdoor-indoor space (work-in-progress)[C]//ACM Sigspatial International Workshop on Indoor Spatial Awareness. 2011:31-34.
- [17] SAYE R I, SETHIAN J A. Analysis and applications of the Voronoi Implicit Interface Method[J]. Journal of Computational Physics, 2012,231(18):6051-6085.
- [18] GOLD C M. The use of the Dynamic Voronoi Data Structure in Autonomous Marine Navigation[OL]. http://www.researchgate.net/publication/228823998_The_use_of_the_Dynamic_Voronoi_Structure_in_Autonomous_Marine_Navigation.
- [19] ZHOU S J, QIAN Z Z, LU S L, et al. Research on Ontology-based Context Modeling [C]//National Software and Application 2008. 2008:167-171. (in Chinese)
周思佳,钱柱中,陆桑璐,等.基于本体的情境信息建模技术研究[C]//2008全国软件与应用学术会议. 2008:167-171.