

基于语义和访问权限的室内移动对象索引

贵婷婷 秦小麟 王 丽

(南京航空航天大学计算机科学与技术学院 南京 210016)

摘 要 随着无线通信和室内定位技术的发展,室内移动对象索引技术在基于位置的服务等方面越来越重要。室内场景结构复杂且形式多样,现有的室内移动对象索引技术的研究都是将室内实体抽象为单元,将移动对象抽象为查询点,不区分它们之间的语义,也不考虑对象和单元之间的访问权限。针对这一问题,研究了一种基于语义的室内移动对象索引方法,并提出了基于语义和访问权限的轨迹推荐查询算法。另外,将室内场景、移动对象的语义和访问权限信息进行了形式化定义,提出了一个新的室内语义模型。通过大量实验,从多个方面与现有室内移动对象索引方法进行对比分析,验证了所提索引的高效性和鲁棒性。

关键词 移动对象,室内环境,索引,语义,轨迹查询

中图分类号 TP311.13 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.3.037

Index of Indoor Moving Objects Based on Semantics and Access Permission

BEN Ting-ting QIN Xiao-lin WANG Li

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract With the development of wireless communication and positioning technology, the index techniques for indoor moving objects are more and more important in location-based services (LBSs). The structure of the indoor scenes structure is complex and diverse, while previous studies regard rooms, corridors, stairways and other indoor entities as the same cells and model a moving object by a moving point, which do not distinguish different semantic meanings between them and do not consider access issues between the objects and cells. To solve this problem, this paper studied a new method of indoor index technique based on semantics and presented an efficient trajectory query processing algorithm based on semantics and access permission. In addition, this paper also proposed an indoor semantic-based model, which gives the formal description of semantics and accesses permission of indoor cells and moving objects. Extensive experiments demonstrate that the proposed index structure is effective, robust and more efficient than the ACII and RTR-tree in several aspects.

Keywords Moving objects, Indoor scene, Index, Semantics, Trajectory queries

1 引言

随着感知技术、定位技术的快速发展,人们对于位置服务的需求越来越多。日常生活中,人们通常会花费大量的时间在诸如办公楼、购物中心、会展中心、机场等各种室内空间^[1],室内移动对象管理已经成为当前信息技术领域的一个研究热点,其中移动对象索引问题尤为受到关注。这是因为室内空间日益复杂,移动对象位置随时间不断变化,其数据海量且通常具有时空属性,需要处理多种不同的查询请求,传统的关系数据库已经难以对其进行有效的组织。

针对室内移动对象的特性,我们分别给出两种室内场景下的查询实例。在某公司办公大楼里,某部门主管准备开会,查询到他权限内离他最近且可容纳 10 人的空闲视频会议室的推荐路径;或者是,有紧急任务待处理的主管,查询如何在

附近找到离他最近的管辖部门员工。又如,某大型商城中,正在餐饮区吃饭的某人,查询离他最近且店内打折活动低于 7 折的女装商铺的有效路径。在这些查询实例甚至是其它很多场景的查询请求中,语义和访问权限约束普遍存在,然而现有的室内移动对象处理技术并没有对此予以关注。

与现有室内移动索引技术相比,增加语义和访问权限的考虑将会面临 3 大挑战。第一,室内空间是有限的,通常由房间、走廊、楼梯等实体组成,现有移动对象处理技术将这些室内实体统一视为单元,不区分各单元之间的差异,没有考虑室内单元的语义信息。第二,室内空间中的实体间存在各种障碍和可达性限制,现存的处理技术以门的开关作为能否连通的准则,忽略了两点:1)对象是否有权限访问该单元;2)语义信息造成的室内单元状态的变化,如当对象在会议室中处于“开会”状态,或者是当盥洗室处于“清洁中”状态时,不论门是

到稿日期:2014-05-22 返修日期:2014-07-29 本文受国家自然科学基金项目(61373015,61300052),国家教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20103218110017),江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD),中央高校基本科研业务费专项项目(NP2013307)资助。

贵婷婷(1990—),女,硕士生,主要研究方向为移动对象索引技术,E-mail:ben_tingting@126.com;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;王 丽(1989—),女,硕士生,主要研究方向为移动对象建模与查询处理。

否开关,其它人员都应该不能进入。第三,现有的室内查询只关注于对象、位置、时间,忽略了查询中的语义和访问权限约束,从而使得无法处理如“查询到我权限范围内可使用的带视频播放功能的空闲休息室的的路径”等常用查询。语义约束查询在室内应用场景中普遍存在,使得对于基于语义的室内移动对象索引技术的研究变得尤为重要。

针对上述挑战,本文提出基于语义和访问权限约束的室内移动对象处理技术。以某办公大楼为例,首先提出了室内语义模型,形式化描述了室内单元、室内对象的语义和其之间的访问权限约束信息;然后,基于室内语义信息,设计了一种新的索引结构,即 SAPII (Semantics and Access Permission based Indoor Index) 索引,包含语义层、对象层和拓扑层;重新定义室内场景中的轨迹推荐查询,引入语义约束和访问权限控制,并基于索引结构,设计了有效的查询算法;最后,通过对比实验对索引的查询性能进行有效评估。

2 相关工作

移动对象数据管理中,索引技术对查询性能的影响至关重要。在过去的数十年里,绝大多数的研究都仅针对室外空间,如 TPR*-tree^[2]、3DR-tree^[3]、TR-tree^[4]、TB-tree^[5]等。随着人们在室内场景中活动的比重不断增加、室内环境的日益复杂,室内移动对象索引技术在近几年得到了很大的关注,但是由于室内外场景的差异以及定位技术的不同,成熟的室外移动对象处理技术不能直接应用于室内空间^[6]。随着室内定位技术的快速发展,如 RFID^[7]和蓝牙^[8]等,现有的室内移动对象索引技术主要有如下几种。

Jensen 等人最早提出室内移动对象索引 RTR-tree^[9],通过对 R-tree 的结点组织策略进行优化来降低 MBR 之间的重叠,以提高索引效率,其空间范围用阅读器的集合标识,要求阅读器基于空间邻近部署。RTR-tree 可以有效处理范围查询,但当处理对象位置、轨迹查询时,几乎需要遍历全部的结点才能获取所需的记录,效率很低;当处理语义约束查询时,需要多次验证查询结果是否符合语义信息,如果不符合,则需要继续查询,重复操作将造成索引效率低下。DR-tree^[10],以 RTR-tree 为基础,在保留时空维度的基础上,增加对象维,提高了对象轨迹查询的效率,但同样缺少基于语义的检索,不能有效处理语义约束查询。

文献^[11,12]提出了一个复杂的索引结构,能够有效处理室内移动对象距离感知查询,除了考虑室内移动对象的变化外,首次考虑室内环境的变化,但仍然仅仅局限在以门的开关决定室内环境空间的可用,忽略了室内静态对象的实际语义信息;同时索引中的对象更新采取即插即删的方法,这对于频繁更新而言,负载较大。此外,该索引同样没有考虑单元和对象的语义信息,无法高效处理语义约束相关查询。

ACII 索引^[13],基于象征空间模型,包含两个主要结构:MC 和 MEMO,其中 MC 是一个基于单元的可扩展结构,存放在单元中最新的移动对象的信息,能够支持移动对象当前位置查询;MEMO 基于对象存储信息,依次存储移动对象不同时间段的所有信息,有效支持对象轨迹查询。当处理范围查询时,由于存储的大量信息都基于对象,几乎要遍历所有信息才能获取所需记录,因此效率极低。同时,当处理语义约束查询时,由于不存在语义相关的索引,查询效率低下。

Sultan Alamri 等人基于室内空间的单元特征,引入单元间“邻近”的概念,提出了一种基于“连通”的索引结构^[14-16]。该技术将室内单元之间的邻近关系存储到一张对象邻接表中,用单元之间的间隔数代替实际距离,以定位设备的覆盖区域来划分单元,基于对象位于“相似”单元中的性质来创建 MBR。索引结构能够有效处理室内空间范围查询,但由于索引中没有考虑语义,同样不能有效处理语义约束查询。

综上,现有的室内移动对象索引技术仅仅关注于对象的位置、范围、时空查询,将室内多种不同的实体,如房间、走廊、楼梯等,统一视为相同的“单元”,将移动对象视为移动点,忽略了室内环境以及移动对象的语义信息和访问权限信息。当处理类似于本文第 1 节提出的基于语义约束的查询时,现有技术效率低下。然而,语义约束查询在现实生活中大量存在,且现有的索引技术不能高效处理这些查询,使得本文的研究更加富有实际意义。

3 SAPII 索引

针对现有室内移动对象索引方法无法解决语义约束查询的情况,本文考虑室内环境、对象的语义和访问权限信息,提出了室内语义模型,并在此基础上提出 SAPII 索引,其能够解决传统索引在处理语义约束查询时效率低下的问题。

3.1 室内语义模型

室内场景有很多,如办公大楼、购物商城、住宅楼、机场等,针对不同场景,室内单元和对象的语义信息也会发生变化。为了便于问题的描述,本文以某办公大楼的室内拓扑结构为基础,提出语义模型,给出了室内单元和对象信息的形式化描述,其余室内场景可以进行类推研究。某办公大楼平面图的一部分如图 1 所示。

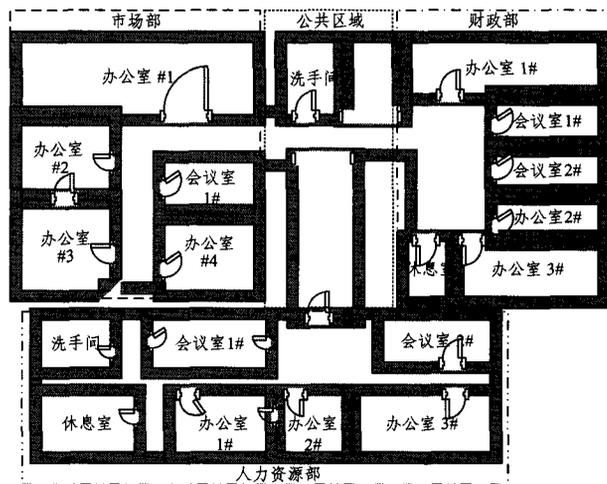


图 1 室内平面图

从图 1 中可以看出,室内空间基于整体语义信息可分为 4 个部分:市场部(Marketing Department, MD)、人力资源部(Human Resources Department, HRD)、财政部(Treasury Department, TD)、公共区域(Public Region, PR),每个部分又由多个不同语义的单元组成,如:办公室(Office Room, OR)、会议室(Meeting Room, MR)、休息室(Resting Room, RR)、洗手间(Water Closet, WC)、走廊(Corridor, CR)、楼梯(Hallway, HA)等。图 2 是图 1 中市场部的详细子图,其中 R_i 表示单元编号, d_i 表示门的编号, O_i 表示移动对象编号,虚线表示对象移动的路径。为了简化模型,对于一些特殊的单元,如长走

廊,我们将它分解为多个小且规则的单元,每两个单元之间通过门进行连通。图3是图2对应的门图^[17],用来表示室内单元之间的连通性,图中的箭头表示两门之间可达,且不需要经过其它的门。

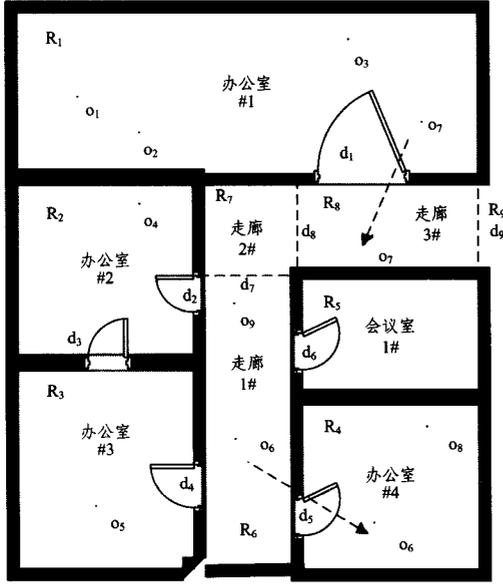


图2 市场部详细图

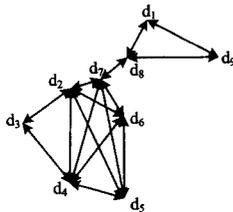


图3 门图

单元作为室内环境的最小单位,其语义信息可以形式化地表示为:

$$\{(cp, (ct, cr), level) \mid ct \in CType, cr \in Region, level \in D_m\}$$

其中, cp 表示单元的物理属性, (cr, ct) 表示单元的逻辑属性, $level$ 表示单元的访问权限属性, 对应于对象能够进入该单元的权限大小。 cp 可细化表示为:

$$cp = \{(cn, s, max, now, dp) \mid cn \in D_{string}, s, dp \in \{0, 1\}, max, now \in D_m\}$$

其中, cn 表示单元的名称; s 表示单元的状态, 为1时单元处于激活状态, 对象可以自由进出, 为0时表示单元处于非激活状态, 对象不可自由进出, 状态 s 由单元的实际语义和性质决定; max 表示单元最大可容纳人数; now 表示单元中的现有人数; dp 表示单元的硬件设施配备情况, 针对不同类型的单元, 硬件设施配置不同, 如办公室对应是否配置打印机、会议室对应是否配置视频投影、休息室对应是否配置饮料区等, 为1时表示配备, 为0时表示没有配备。

(cr, ct) 表示单元的逻辑属性, 由语义概念划分生成。首先, 将单元分为不同的种类, 用 ct 表示, 如图1中可分为办公室、会议室、休息室、卫生间、楼梯、走廊, 此时 $CType$ 可表示为:

$$CType = \{OR, MR, RR, WC, CR, HA\} = \cup ct$$

其次, 将整个室内空间分为若干区域, 每个区域由一部分

相对集中的单元构成, 对象所属的区域用 cr 表示。如图1中的办公大楼则可分为市场部(MD)、人力资源部(HRD)、财政部(TD)、公共区域(PR), 此时 $Region$ 可表示为:

$$Region = \{MD, HRD, TD, PR\} = \cup cr$$

根据空间属性, 参数之间的关系满足如下约束条件:

$$\begin{cases} MBR(cr_i) = \{c \mid c.cr = cr_i, c \in C\}, i = 1m \\ MBR(ct_j) = \{c \mid c.ct = ct_j, c \in C\}, j = 1n \\ C = \bigcup_{i=1}^m MBR(cr_i) = \bigcup_{j=1}^n MBR(ct_j) \end{cases}$$

室内移动对象 o 的语义信息可表示为:

$$\{(op, ((c, t), (x, y))) \mid c \in C, t \in D_{time}, x, y \in D_{real}\}$$

表示对象 o 在 t 时刻位于单元 c 中, 其位置坐标为 (x, y) , op 表示对象的语义属性集合, 表示为:

$$op = \{(on, ot, or, pm) \mid on \in D_{string}, ot \in OType, or \in Region, pm \in D_m\}$$

其中, on 表示对象的名称, ot 表示对象的身份类型, or 表示单元所属的区域, pm 表示对象的访问权限级别。

以某公司办公楼为例, ot 可分为总经理(General Manager, GM)、部门经理(Branch Manager, BM)、普通员工(Ordinary Employee, OE), 此时 $OType$ 可表示为:

$$OType = \{GM, BM, OE\} = \cup ot$$

权限 pm 取正整数, 取值越大表示其权限越大, 这里定义了3个级别, 各级含义如下:

1) $pm=1$, 对应低级权限, 这里指普通职工可以自由出入所属部门级别低于自身权限的单元即 $\{c_i \mid c_i.cr = o.or \& c_i.level \leq o.pm \& c_i.s = 1\}$;

2) $pm=2$, 对应中级权限, 这里指部门经理可以自由出入所属部门级别低于自身权限的单元即 $\{c_i \mid c_i.cr = o.or \& c_i.level \leq o.pm \& c_i.s = 1\}$;

3) $pm=3$, 对应高级权限, 这里指可以自由出入室内任何地方即 $\{c_i \mid c_i \in C \& c_i.s = 1\}$ 。

本文指的是通常情况, 不包括临时更改权限或进行授权等特殊情况。

3.2 SAPII 索引结构

基于室内语义模型, 提出 SAPII 索引, 索引由3部分组成, 分别为语义层、对象层、拓扑层, 其中对象层还包含一个 o -table, 用来存储对象信息。本文以图1和图2所示的室内场景为例, 构建其对应的索引结构, 如图4所示。

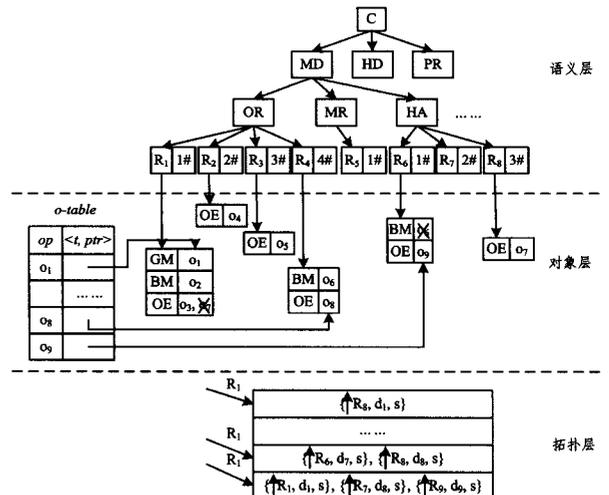


图4 SAPII 索引结构

1) 语义层

语义层结构是基于传统 R^* -tree 结构的改进, 主要与室内空间结构有关。中间结点存储形式为 (sem, P) , sem 表示单元的逻辑属性信息, P 表示指向下一层节点的指针的集合。叶子节点形式为 (cp, Po, Pt) , 其中 cp 存储单元的物理属性信息, Po 表示指向对象层的指针, Pt 表示指向拓扑层的指针。

索引采用自底向上的方法构建, 首先根据单元的类型语义, 把同种类型的单元聚合在一起, 此时 $sem = ct_i$; 在此基础上, 基于 $cr_i = \{c | c.cr = cr_i, c \in C\}$ 原则, 再将相同区域的单元聚合在一起, 此时 $sem = cr_i$ 。为了减少索引存储开销, 单元语义信息仅存储于叶子节点中。

针对同一室内空间, 对象层信息的变化对语义层结构的影响很小, 只有当底层具体单元的参数信息发生变化时, 需要调整单元中的部分属性。这种结构有效降低了对对象频繁更新对整个索引结构动态调整的开销, 稳定且易于扩展。

2) 对象层

语义层的每个叶子节点的 Po 指针指向对象层, 对应一个对象桶链表, 将对象按照其类型信息进行分类, 同一类型的对象存放于一个桶中。

为加快对象查找的速度, 引入 o -table 来存储对象的语义信息和对象在索引中的存放位置, 存储结构为 $(op, (t, ptr))$, 其中 op 为对象的语义属性信息, t 为时间, ptr 为指针, 指向对象存储到索引中的具体位置。将对象语义信息存储在 o -table 中, 能降低对象更新开销, 同一对象不断更新时, 无需重复存储对象语义信息。

3) 拓扑层

存储室内各单元之间的连通关系, 语义层每个叶子节点的 Pt 指针指向拓扑层, 每个单元对应于拓扑层的一条记录, 存储形式为 (P_i, d_i) , P_i 为指向邻接单元的指针, d_i 表示连通两个单元的门, 表示单元可以通过门 d_i 进入 P_i 所指的单元。如图 4, 对于单元 R_1 , 我们存储了指向 R_8 的指针和连接两单元之间的门 d_1 。

单元的连通状态由自身的状态属性决定。如果 $s=0$, 则视为该单元对应的拓扑层中的门都处于关闭状态, 查询时不考虑从该单元往外延伸的路径。

3.3 索引更新

SAPII 索引结构具有良好的稳定性和可扩展性。当移动对象位置发生变化时, 语义层的叶子节点和对象层有动态操作。语义层是基于室内单元语义信息的概念划分而创建的, 结构稳定, 移动对象的频繁更新不会造成索引结构大幅调整或者重建的开销。

为了降低频繁更新对索引带来的负载, 只有当对象从一个单元移动到另一个单元时, 才更新对象的信息; 而且事实上, 对象更新往往只能移动到所处单元的邻接单元, 根据这一性质, 基于索引拓扑层查找可以降低在语义层逐个查找单元的开销, 从而进一步提高对象更新效率。

索引更新算法如算法 1 所示。首先, 基于 o -table 表中存储对象的旧位置信息, 查找对象所在旧单元 (Line 1), 如果单元未变化, 则不更新信息 (Line 2), 否则删除单元对应的对象桶中该对象的信息 (Line 4), 修改单元 now 属性 (Line 5); 然

后查找单元邻接单元, 匹配对象更新单元 (Line 6), 找到后将对象记录添加到新单元对应的对象桶中, 修改单元 now 属性 (Line 7, 8); 最后, 更新 o -table 中对象信息 (Line 9), 使之存储的信息为该对象在索引中的最新存储位置。

算法 1 索引更新算法 (Update)

输入: 对象更新数据信息 $new = \{op, (c, t), (x, y)\}$

输出: 新的索引结构 SAPII

1. oldcell = find the o -table to get on. ptr;
2. if (oldcell=cn) then break; //不更新信息
3. else
4. delete on from oldcell. Po;
5. oldcell.now--;
6. newcell=search oldcell's adjacendy partition to find cell=cn;
7. add (on, (x,y)) into newcell. Po based on ot;
8. newcell.now++;
9. adjust (t,on.ptr) in o -table
10. end if

3.4 查询处理

路径规划、轨迹查询问题应用广泛, 如“查询对象 q 到离他 500 米内的权限范围内的空闲视频会议室的有效路径”等, 给出了一个查询对象 q 和一个语义约束集 $E_s, Q(q, E_s)$ 返回查询对象到满足对象、单元语义信息约束以及访问权限要求的单元或对象的轨迹记录。

$Q(q, E_s) \rightarrow \{Trajectory Records\}$

现有的查询处理算法由于没有针对语义信息的索引技术, 在处理此类查询时, 需要多次遍历数据库中存储的语义信息来匹配查询项, 效率很低。而 SAPII 索引对移动对象的时间、位置、对象、语义 4 维进行索引, 与现有室内移动对象索引技术不同, 添加了语义维。在查询路径时, 除了可以考虑对象以及时空属性, 还可以考虑语义约束, 值得注意的是, 这里还关注室内单元的连通状态 s , s 可能会由于室内活动而发生变化。

路径推荐查询分为两种情况, 即查询对象 q 到某一单元的路径或者是到某一对象的路径, 分别定义如下。

定义 1 (基于单元的室内轨迹推荐查询) 给定一个查询点 q 和一个单元语义约束集 $E_{sc} = \{sc_1, \dots, sc_i\}, i \in N$, 查询结果返回查询点 q 到满足约束集 E_{sc} 的单元的最优路径。

定义 2 (基于对象的室内轨迹推荐查询) 给定一个查询点 q 和一个对象语义约束集 $E_{so} = \{so_1, \dots, so_i\}, i \in N$, 查询结果返回查询点 q 到满足约束集 E_{so} 的单元的最优路径。

查询算法主要分为 3 个阶段: 1) 根据查询约束条件确定候选集; 2) 根据候选对象的区域建立子图, 通过距离计算进行剪枝; 3) 返回最优结果。

基于单元的室内轨迹推荐查询算法如算法 2 所示。首先, 返回对象 q 所在的单元 (Line 1), 根据 $(cr, ct, cp, level)$ 的语义约束条件顺序查找符合语义约束的单元, 基于语义层自顶向下查找的方式进行剪枝, 得到满足基本语义约束的单元候选集 (Line 2-11)。然后基于候选集, 逐一计算查询点到单元的最短路径, 同时需要考虑路径中单元状态信息和对象的访问权限信息 (Line 12-15), 最终返回最优结果 (Line 16)。

算法2 基于单元的室内轨迹推荐查询算法(TrajectoryQuery_Cell)

输入: 查询对象 q , 语义约束条件集合 $E_{sc} = \{sc_1, \dots, sc_i\}, i \in N$

输出: 轨迹集合 Result

1. $c_q = o\text{-table.lookup}(q)$;
2. if ($cr \in E_{sc}$) then
3. prune semantic layer of SI;
4. else if ($ct \in E_{sc}$) then
5. future prune semantic layer of SI;
6. else if ($cp \in E_{sc}$) then
7. future prune semantic layer of SI;
8. else if ($level \in E_{sc}$) then
9. future prune semantic layer of SI;
10. end if
11. Candidate cellset $C =$ the set of cells left after pruning;
12. for all cells c in C do
13. construct the subgraph based on cells' permissions and state;
14. Dijkstra(c_q, c) to find the shortest trajectory;
15. end for
16. Result = the trajectory from q to the shortest distance cell;

基于对象的室内轨迹推荐查询算法如算法3所示。首先,返回对象 q 所在的单元(Line 1),从查询对象所在单元开始查找满足条件的对象(Line 2-6),如果没有满足条件的对象,则基于索引的拓扑层,进一步查找其邻接单元,确定满足对象候选集(Line 7-13)。基于候选集,参考所经过单元的状态和权限信息,计算到查询点的距离,返回最优结果(Line 14-18)。

算法3 基于对象的室内轨迹推荐查询算法(TrajectoryQuery_Object)

输入: 查询对象 q , 语义约束条件集合 $E_{so} = \{so_1, \dots, so_i\}, i \in N$

输出: 轨迹集合 Result

1. $c_q = o\text{-table.lookup}(q)$;
2. if ($c_q.now > 1$) then
3. for each $o \in c_q$ satisfy E_{so} do
4. add the object into the candidate objectset O ;
5. end for
6. end if
7. while ($sizeof(O) < 3$)
8. for each adjacendy cell of the current cell do
9. for each o_j in c_j satisfy E_{so} do
10. add the object into the candidate objectset O ;
11. end for
12. end for
13. end while
14. for all objects o in O do
15. construct the subgraph based on cells' permissions and state;
16. Dijkstra($c_q, o, cell$) to find the shortest trajectory;
17. end for
18. Result = the trajectory from q to the shortest distance object;

4 实验与性能评估

为了验证本文提出的 SAPII 索引结构的有效性,采用 C++ 对 SAPII 索引和两个典型的室内移动对象索引技术

RTR-tree、ACII 索引进行了实现。实验的硬件环境是: Intel (R) Core(TM) i3-2120 3.30GHz CPU, 4.0GB 内存, 软件环境是 Windows 7 操作系统和 Visual Studio 2010 开发环境。

实验中的数据集使用文献[18]中的 MWGen 数据生成器模拟生成。为了使实验更加贴近实际生活,本文采用了一个开放的室内环境^[19],并在此基础上进行扩展研究,房间和楼梯口都是通过门与走廊相通,移动对象可以在单元内部移动,也可以移动到与之相连的其它单元。

模拟 10k-100k 个随机的移动对象的运动情况,每个移动对象有一个生命周期,在生命周期内按照随机生成的运动轨迹移动。实验结果均是 500 个查询的平均性能,查询参数都是基于随机选取原则。实验参数如表 1 所列,默认参数加粗显示。

表 1 实验参数设置

参数	设置
移动对象数目	10k, 30k, 50k, 70k, 90k
室内场景复杂度	2层, 8层, 20层
查询个数	500

4.1 索引更新性能

图 5 显示了 3 种索引在设定的实验条件下,更新操作的实验结果对比。由实验结果可以看出, SAPII 索引更新效率高,且随着移动对象数目的增加,更新处理的性能保持平稳,稳定在 0.08ms。这意味着索引的更新性能不受移动对象数目的影响。

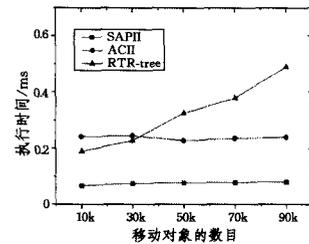
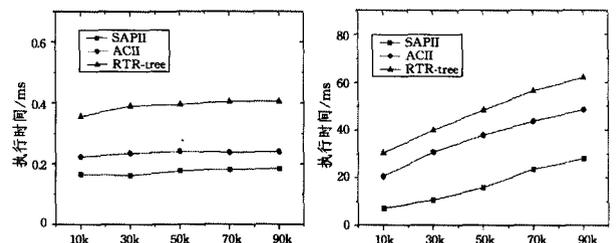


图 5 更新性能对比图

4.2 移动对象数量对索引查询性能的影响

如图 6 所示,移动对象的数目从 10k 变化到 100k,无论是对于基于单元还是基于对象的室内轨迹推荐查询, SAPII 索引的性能都优于 ACII 和 RTR-tree 索引,这是因为通过索引语义层,可以根据语义约束条件快速排除大量单元。而为了查找符合查询语义约束的对象, ACII 和 RTR-tree 需要多次查找存放对象语义信息的数据库进行匹配,从而导致它们的查询性能降低。



(a) 基于单元的室内轨迹推荐查询 (b) 基于对象的室内轨迹推荐查询

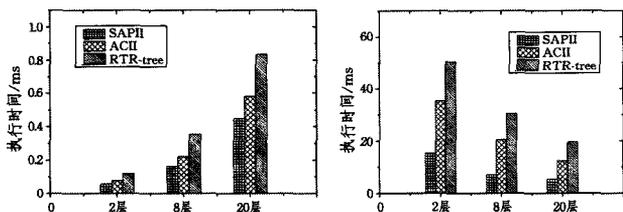
图 6 移动对象数目对查询性能的影响

当移动对象数目增大时,基于单元的室内轨迹推荐查询

实验结果相对平稳,这是因为移动对象数目的增加不会影响到需要检查的单元数目;而对于基于对象的室内轨迹推荐查询而言,移动对象数目的增加导致索引查询处理时间增加,这是因为随着每个单元中平均对象数目的增加,需要查找的对象数目也相应增加。

4.3 室内场景的复杂度对索引查询性能的影响

实验中我们测试了室内场景从2层增加到20层情况下3种索引的查询性能,固定移动对象数目为10k,实验结果如图7所示,无论是对于基于单元还是基于对象的室内轨迹推荐查询,SAPII索引查询的平均查询响应时间均少于ACII和RTR-tree。随着室内环境的复杂和楼层数的增加,对于基于单元的室内轨迹推荐查询,查询响应时间不断增大;而对于基于对象的室内轨迹推荐查询,查询响应时间却越来越小。



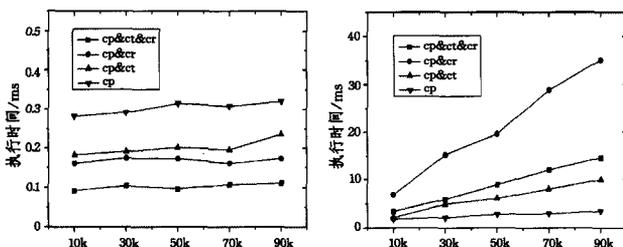
(a) 基于单元的室内轨迹推荐查找 (b) 基于对象的室内轨迹推荐查询

图7 室内场景复杂度对查询性能的影响

4.4 语义约束数目对索引查询性能的影响

基于单元的室内轨迹推荐查询分4种情况进行讨论,其中 cp 、 ct 、 cr 分别表示单元的物理属性、单元的类型以及单元所属的区域,查询时考虑对象的访问权限约束限制,实验结果如图8(a)所示。从图中可以看出, $cp&ct&cr$ 共同约束比其它3种情况需要的查询时间都少,这符合语义约束条件越多,候选集中单元数目越少,计算距离的开销越小的理论分析。

对于基于对象的室内轨迹推荐查询,同样分4种情况对查询情况进行分析, op 、 ot 、 or 分别表示对象的物理属性、对象的种类以及对象所属的区域,考虑对象的访问权限约束限制。实验结果如图8(b)所示,随着约束条件的增加,查询性能降低,含有 ot 约束情况下的查询性能明显优于不含 ot 属性的查询。这是因为在索引的对象层,桶链表的头节点被设置为 ot ,可以有效地排除不满足 ot 约束条件的对象;此外,约束条件越少,满足条件的对象越多,需要检索的单元数越少,查询性能越高。



(a) 基于单元的室内轨迹推荐查询 (b) 基于对象的室内轨迹推荐查询

图8 语义约束条件的数目对查询性能的影响

结束语 现有的室内移动对象索引技术仅关注于移动对象的时间、位置、对象3维。本文针对室内移动对象基于语义和访问权限约束的查询,提出了一种新的室内移动对象索引

技术,即SAPII索引,新增语义信息维度的考虑。与传统室内移动对象索引相比,本文所提技术引入了室内对象和单元的语义信息与访问权限关系,同时,定义了基于单元和基于对象的室内轨迹推荐查询。此外,通过实验将SAPII索引与现有典型室内索引ACII和RTR-tree的查询性能进行了对比,分析了移动对象数目、室内场景的复杂度以及语义约束数目对索引查询性能的影响。实验结果表明,SAPII索引是高效的和鲁棒的。

参考文献

- [1] Jensen C S, Li K J, Winter S. The other 87%: a report on The Second International Workshop on Indoor Spatial Awareness [J]. SIGSPATIAL Special, 2011, 3(1): 10-12
- [2] Tao Y, Papadias D, Sun J. The TPR* -tree: an optimized spatio-temporal access method for predictive queries[C]//Proceedings of the 29th international conference on Very Large Data Bases (VLDB). Volume 29, 2003: 790-801
- [3] Theodoridis Y, Vazirgiannis M, Sellis T. Spatio-temporal indexing for large multimedia applications[C]//Proceedings of the Third IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, 1996. IEEE, 1996: 441-448
- [4] Nascimento M A, Silva J R O. Towards historical R-trees[C]//Proceedings of the 1998 ACM Symposium on Applied Computing. ACM, 1998: 235-240
- [5] Pfoser D, Jensen C S, Theodoridis Y. Novel approaches to the indexing of moving object trajectories [C] // Proceedings of VLDB. 2000: 395-406
- [6] Alamri S, Taniar D, Safar M. Indexing moving objects in indoor cellular space[C]//2012 15th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS). IEEE, 2012: 38-44
- [7] Want R. RFID explained: A primer on radio frequency identification technologies [J]. SyntheSAPII Lectures on Mobile and PervaSAPIIve Computing, 2006, 1(1): 1-94
- [8] Feldmann S, Kyamakya K, Zapater A, et al. An Indoor Bluetooth-Based PoSAPIIitioning System: Concept, Implementation and Experimental Evaluation[C]//International Conference on Wireless Networks. 2003: 109-113
- [9] Jensen C S, Lu H, Yang B. Indexing the trajectories of moving objects in symbolic indoor space[M]//Advances in Spatial and Temporal Databases. Springer Berlin Heidelberg, 2009: 208-227
- [10] 甘早斌,袁永光,赵贻竹,等. 基于DR-tree的室内移动对象索引研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(10): 177-181
- [11] Lu H, Cao X, Jensen C S. A foundation for efficient indoor distance-aware query procesSAPIIing[C]//2012 IEEE 28th International Conference on Data Engineering (ICDE). IEEE, 2012: 438-449
- [12] Xie X, Lu H, Pedersen T B. Efficient distance-aware query evaluation on indoor moving objects[C]//2013 IEEE 29th International Conference on Data Engineering (ICDE). IEEE, 2013: 434-445
- [13] Shin S S, Kim G, Bae H Y. Adaptive Cell-Based Index For Moving Objects In Indoor[J]. KSAPII Transactions on Internet & Information Systems, 2012, 6(7): 1815-1830
- [14] Alamri S. Indexing and querying moving objects in indoor spaces

[C]//2013 IEEE 29th International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW). IEEE,2013;318-321

[15] Alamri S, Taniar D, Safar M, et al. Spatiotemporal indexing for moving objects in an indoor cellular space[J]. Neurocomputing, 2013,122:70-78

[16] Alamri S, Taniar D, Safar M, et al. A connectivity index for moving objects in an indoor cellular space[J]. Personal and Ubiquitous Computing,2014,18(2):287-301

[17] Yang B, Lu H, Jensen C S. Probabilistic threshold k nearest neighbor queries over moving objects in symbolic indoor space [C]//Proceedings of the 13th International Conference on Extending Database Technology. ACM,2010;335-346

[18] Xu J, Guting R H. MWGen: a mini world generator[C]//2012 IEEE 13th International Conference on Mobile Data Management (MDM). IEEE,2012;258-267

[19] <http://www.modulargenius.com/default.aspx>

(上接第 161 页)

查询范围无法覆盖用户期望的 k 近邻结果的范围,而新的方法首先估算出 k 近邻结果范围,并将需求空间定义为不小于该范围,所以查询结束时得到的查询结果能基本满足实际情况。

算法复杂度和结果集的通信开销都会影响到如图 5(b) 所示的查询响应时间。新的方法由于返回的结果数稳定,其响应时间也相对稳定;而 SpaceTwist 在查询点距离增加时,返回结果数迅速增加,查询响应会变得很慢。但在算法复杂度方面,新的方法需要构造匿名区、估算查询点,所以在返回相同结果数时的响应时间比 SpaceTwist 的更多,但这些时间消耗完全在可以承受的范围内。

结束语 本文提出了一种新的基于增量近邻查询思想的位置隐私保护方法,该方法使用 P2P 系统结构,查询用户委托代理用户完成查询请求,并且考虑了路网环境对查询结果的影响。本文提出的方法与现有的 SpaceTwist 方法相比具有以下优点:

1) 查询用户以匿名区代替真实位置向代理用户发起查询请求。移动 P2P 结构不能保证每个对等点是可信的,用户发起查询请求时要将请求发送给代理用户,为了防止不可信的代理用户带来的隐私威胁,用户在寻求代理用户前首先要构造匿名区,以匿名区代替真实位置来保证位置隐私需求,而且查询用户在构造匿名区时考虑了路网密度因素。

2) 通过估算用户期望的 k 近邻查询范围来确定增量近邻查询的查询点。代理用户向位置服务器发起以查询点为中心的增量近邻查询,在 SpaceTwist 方案中,查询点是随机选择的,这样会带来查询通讯开销和查询结果集不可控制的问题。本文考虑了路网密度对查询结果的影响,通过估算用户期望的 k 近邻查询范围来确定增量近邻查询的查询点。

3) 增量近邻查询可以覆盖查询用户期望的 k 近邻结果范围。确定了查询点之后,代理用户向位置服务器提出增量近邻查询,本文对 SpaceTwist 方案中的增量近邻查询进行了改进,改变了需求空间的定义和查询结束的条件,使查询范围可以覆盖查询用户期望的 k 近邻结果范围。

参 考 文 献

- [1] 周傲英,杨彬,金澈清,等. 基于位置的服务:架构与进展[J]. 计算机学报,2011,34(7):1155-1171
- [2] Kido H, Yanagisawa Y, Satoh T. An anonymous communication technique using dummies for location-based services[C]//International Conference on Pervasive Services, 2005 (ICPS '05). IEEE,2005;88-97

[3] Gruteser M, Grunwald D. Anonymous usage of location-based services through spatial and temporal cloaking[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Mobile Systems, Applications and Services. ACM,2003;31-42

[4] Gedik B, Liu L. Protecting location privacy with personalized k-anonymity: Architecture and algorithms[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing,2008,7(1):1-18

[5] Mokbel M F, Chow C Y, Aref W G. The new Casper: query processing for location services without compromising privacy[C]//Proceedings of the 32nd International Conference on Very Large Data Bases. VLDB Endowment,2006;763-774

[6] 黄毅,霍峥,孟小峰. CoPrivacy: 一种用户协作无匿名区域的位置隐私保护方法[J]. 计算机学报,2011,34(10):1976-1985

[7] Li Qian-mu, Li Jia. Rough Outlier Detection Based Security Risk Analysis Methodology[J]. China Communications, 2012,5(7):14-21

[8] Yiu M L, Jensen C S, Huang X, et al. Spacetwist: Managing the trade-offs among location privacy, query performance, and query accuracy in mobile services[C]//IEEE 24th International Conference on Data Engineering, 2008 (ICDE 2008). IEEE, 2008:366-375

[9] Pan X, Xu J, Meng X. Protecting location privacy against location-dependent attacks in mobile services[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering,2012,24(8):1506-1519

[10] Li Qian-mu, Zhang Hong. Information Security Risk Assessment Technology of Cyberspace: a Review[J]. Information- an International Interdisciplinary Journal,2012,15(11):4677-4684

[11] Brinkhoff T. A framework for generating network-based moving objects[J]. GeoInformatica,2002,6(2):153-180

[12] Li Qian-mu, Hou Jun, Qi Yong, et al. The Rule Engineer Model on the high-speed processing of Disaster Warning Information [J]. Disaster Advances,2012,5(4):432-437

[13] Shin K G, Ju X, Chen Z, et al. Privacy protection for users of location-based services [J]. Wireless Communications, IEEE, 2012,19(1):30-39

[14] Li Qianmu. Multiple QoS Constraints Finding Paths Algorithm in TMN[J]. Information-an International Interdisciplinary Journal,2011,14(3):731-738

[15] Li Qian-mu, Hou Jun, Qi Yong. A classification matching and conflict resolution method on meteorological disaster monitoring information[J]. Disaster Advances,2013,6(1):415-421

[16] 蔡朝晖,张健沛,杨静. 一种基于多态关联挖掘的位置服务优化查询方法[J]. 计算机科学,2014,41(1):286-289