

扩展SPARQL的室内空间语义查询研究

李 灿¹, 朱欣焰^{1,2*}, 吴 维¹, 黄 亮¹, 杨龙龙¹

(1. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079;

2. 地球空间信息技术协同创新中心, 武汉 430079)

摘要 针对室内空间特点以及人类对室内位置服务的迫切需求,探讨了适合室内空间语义查询的方法。基于全息位置地图室内空间本体模型,描述室内空间对象及与之相关的人、事的属性信息及其关系,以室内空间本体概念及其属性作为查询原语,增加查询函数实现室内特有的空间关系(如“对面”、“楼上”和“楼下”等)的计算与查询,扩展了SPARQL查询语言基本语法。设计了室内本体查询语言IndoorSPARQL,开发自定义查询语言解析器,初步实现了顾及空间计算的室内空间语义查询。最后,利用Protégé本体建模工具对试验区进行本体实例建模,采用自定义查询语言IndoorSPARQL进行室内语义查询,并将结果可视化。实验结果表明,基于自定义语言IndoorSPARQL的查询方法可有效地支持顾及室内空间计算的复杂语义查询。

关键词 IndoorSPARQL;室内语义查询;本体建模;室内空间关系

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2015.01456

1 引言

当今社会,人类80%以上的活动都在室内进行^[1],人类生活对于室内位置服务的需求日益迫切^[2]。然而,传统空间地理信息系统主要关注室外位置服务,对于室内空间的研究相对较少。随着建筑物结构愈发复杂,为更好地支持丰富的室内活动,如何提供室内外一体化的位置服务成为全息位置地图要解决的重要问题^[3-4]。室内空间模型是实现室内位置服务的先决条件和关键所在。目前,室内空间描述模型主要包括几何模型、符号模型等^[5]。几何模型以坐标的形式对室内实体进行几何描述,提供丰富的室内几何数据,可作为其他室内空间模型的数据源或用于路径导航和空间分析,文献[6]将路径图模型构建方法用于室内导航和路径描述。符号模型则将室内空间对象表示为带有特定标识的符号元素^[5],可用于支持基于简单语义的室内位置查询、范围查询、导航等位置服务,文献[8-9]采用室内符号模型分别实现室内的范围查询以及k邻近查询;文献[10]顾及到室内空间距离对室内范围查

询进行定义,为高效距离感知的室内信息查询提供一套完整的技术。

对于复杂的室内环境,上述以几何模型及符号模型为基础的室内空间信息查询方式不足以支持复杂的室内语义查询(如查询某建筑物“204号房间对面办公室及该办公室的老师”),原因有如下2个方面:(1)几何和符号形式的室内位置坐标信息不足以表达室内空间对象丰富的语义信息,例如,室内不同类型功能区域的属性,以及相关人、事、物与室内空间对象的关系等;(2)一些室内空间特有且被广泛使用的空间关系表达,如“对面”、“楼上-楼下”等缺乏相应关系描述及动态计算的支持。

相对于几何模型以及符号模型,面向全息位置地图对室内空间进行语义建模,可对不同类型功能区域的属性及其空间或非空间关系进行描述,为室内复杂语义查询提供基础。这种建模方式通常与本体论相联系^[6]。例如,文献[9]提出室内本体模型服务于室内个性化导航,文献[12]则描述室内空间领域本体层不同方面的特性。然而当前针对于标准OWL (Ontology Web Language)的本体查询语

收稿日期 2015-10-08;修回日期:2015-11-02.

基金项目 国家科技支撑计划项目(2012BAH35B03);武汉市科技计划项目(2013010501010146)。

作者简介 李灿(1992-),女,硕士生,河北石家庄人,研究方向为网络GIS。E-mail:lican1992@whu.edu.cn

*通讯作者 朱欣焰(1963-),男,博士,教授,江西婺源人,研究方向为分布式空间数据库。E-mail:geozxy@263.net

言的研究还未开展,较多研究集中于对资源描述框架(RDF)的标准查询语言——SPARQL的研究^[13],用于查询访问任何可映射到RDF模型的数据资源。而GeoSPARQL则在SPARQL语法的基础上进行扩展,包括增加几何体的表示以及几何查询函数,从而提供地理空间信息的表示与查询。目前GeoSPARQL语法提供的空间查询函数对于实例空间关系的表达局限于基本拓扑关系(如“相交”、“包含”、“覆盖”等),对室内特有的且广泛应用的空间关系(如“对面”、“楼上”、“楼下”等)无法表达。

针对当前室内空间信息查询方法存在的问题,本文首先在本体技术对室内空间相关的人、事、物信息及其关系进行本体建模的基础上^[12],扩展了SPARQL基本查询语法,设计针对于室内本体查询的查询语言IndoorSPARQL,以本体类及其属性作为查询原语,并设计查询函数实现室内特有空间关系的计算。最后,设计相应的语言解析工具,实现顾及空间计算的室内复杂语义查询。

2 IndoorSPARQL室内本体查询语言

SPARQL是W3C组织设计用于搜索RDF数据的一种查询语言^[14]。本文加入室内空间对象本体概念以及室内空间特有的空间关系计算,扩展SPARQL基本语法。以室内本体模型中本体类及其数据属性、对象属性等作为查询原语,描述与建筑物相关的人、事、物信息及其关系,室内特有空间关系计算以函数的形式实现,并被定义为IndoorSPARQL本体查询语言中的查询函数,支持定量空间计算。

2.1 查询原语

本文所设计的查询语言IndoorSPARQL,针对室内本体语义查询,因此,在IndoorSPARQL查询语言中采用室内本体模型中的类及其数据属性、对象属性作为查询语句中的基本查询原语。

一个本体概念代表了能被用户和计算机共享的领域知识^[11],它能具体地表示某个领域的分类(类和属性)并存储大量的知识(实例和关系)^[15]。本文选择武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室为研究区,并采用文献[12]所提出的面向全息位置地图的室内空间建模方式。该文献首先根据语义认知将室内空间分层抽象为一组本体概念,如“房间”、“通道”、“出入口”等。在室内空间本体概念的基础上,设计满足实验室建筑物复杂语义查询的本体模型。该本体模型描述了与室内环境相关的人、事及建筑物空间对象的各类属性信息,并清晰地表达了本体概念之间的空间与非空间关系。该本体模型所描述的丰富的语义及空间信息可有力地支持室内复杂语义的空间查询。

在IndoorSPARQL查询语言中,室内本体模型中的本体概念类(如“Teacher(教师)”、“Student(学生)”、“ComputerRoom(机房)”),以及本体类所拥有的数据属性(如“Name(名称)”）、对象属性(如“Teach(指导)”）等均作为查询原语来代表室内空间相关人、物的信息及其之间的关系。

2.2 查询函数

为满足人类丰富的室内活动,针对室内环境特征,本文面向室内本体概念提供4种室内特有的空间关系的详细定义并实现其计算,即室内空间本体概念之间的“对面关系”、“楼上-楼下关系”、“相邻(隔壁)关系”、“包含关系”,同时,将4种室内空间关系的计算定义为语言IndoorSPARQL中的查询函数,对本体实例之间的空间关系进行动态计算以及判断。IndoorSPARQL语言中空间关系查询函数及其对应的描述如表1所示。

“对面关系”表示2个本体实例的空间结构与同一水平通道相连,且位于水平通道两侧,相互之间位于直观可视范围内,主要描述房间、子空间等本体概念类之间的关系,如“205房间”在“204房间”对面等。“楼上-楼下关系”则描述了任意2个室内空间

表1 室内空间关系查询函数

Tab. 1 Query function of indoor spatial relation

空间关系	查询函数	函数描述
对面关系	boolean Opposite(String iri1, String iri2)	判断2个本体实例是否存在对面关系
楼下关系	boolean DownStairs(String iri1, String iri2)	判断iri2代表的本体实例是否在iri1代表的本体实例的楼下
楼上关系	boolean UpStairs(String iri1, String iri2)	判断iri2代表的本体实例是否在iri1代表的本体实例的楼上
相邻关系	boolean Adjacent(String iri1, String iri2)	判断2个本体实例是否有相邻关系
包含关系	boolean Contain(String iri1, String iri2)	判断iri1代表的本体实例在空间上是否包含iri2代表的本体实例

本体概念在垂直方向上的序列关系,如“101 房间”在“201 房间”的楼下。“相邻关系”主要描述房间、子空间、通道3种本体概念之间的关系,要求室内2个本体实例空间结构位于同一楼层,并且几何上至少有一个公共边,即日常口语中使用的“隔壁关系”,如“325 房间”与“327 房间”相邻,“202 房间”在“204 房间”的隔壁等。“包含关系”指一个本体实例空间结构在另一个本体实例的空间结构内,例如,“2 楼”包含“202 房间”和“204 房间”、“327 机房”包含“0302 号机位”等。

根据对室内空间关系不同的定义应利用不同的空间关系,来实现 IndoorSPARQL 语言中的查询函数。在实现部分本文采用基本几何计算的方式。以对面关系为例介绍其定义及对应的计算流程。

(1) 定义

以“大厅”、“走廊”等水平通道概念作为第三方参照物,即当2个功能区域的出入口属于同一个走廊或者大厅,分别位于走廊/大厅的两侧,且出入口连线与所在走廊/大厅方向呈一定角度时,说明这2个功能区域符合本文所定义的“对面”关系。

(2) 约束条件

基于室内空间本体模型,2个室内空间对象“对面”关系的存在,应当基于一定的约束条件:

- ① 空间对象属于同一楼层;
- ② 对面概念只针对于空间对象具有出入口的一侧;
- ③ 2个空间对象“对面关系”的存在一定以第三方室内空间对象作为参照物。

满足以上约束条件的“对面关系”具有实际意义。对于第3个约束条件,本文定义“对面关系”的第三方参照物为本体模型中通道类(Passage)下的子类——水平通道类,即以“走廊”、“大厅”等作为第三方参照物来判断2个空间对象之间是否存在“对面关系”,这样的定义符合人类对室内特有建筑物结构的空间关系的认知。

(3) 计算方式

根据“对面关系”的约束条件以及定义,计算房间 roomID 符合“对面关系”的空间对象主要过程可分为以下几个步骤:找到房间 roomID 所在的走廊;找到在同一走廊的所有房间;计算房间 roomID 所在走廊一侧的方向;计算房间 roomID 与其他房间出入口的连线的方向,判断与走廊方向的夹角是否满足“对面关系”条件。算法1为实现“对面关系”

计算的伪代码。

计算房间的出入口及其所在的走廊或者走廊上的房间,采用室内对象类型判断以及基本拓扑关系判断的方式,即存储在空间数据库中代表室内空间对象的几何图像满足邻接拓扑关系。计算走廊的某个出入口所在一侧的方向时,遍历代表走廊的几何图形的所有线对象,计算出入口的几何图形存在拓扑邻接关系的线对象的方向。

算法1 算法 oppositeRoom(String roomID)伪代码

输入: roomID: 室内空间对象在空间数据库中存储的 ID
 输出: List<String>; 与 ID 为 roomID 的对象符合对面关系的空间对象的 ID 列表

```

room_IDs = List /*对面关系计算结果列表*/
door_IDs = found_doors(roomID) /*找到房间 room_IDs 的所有出入口对象的 ID 列表*/
cooridor_ID = found_cooridor(roomID) /*找到房间 roomID 所在走廊的 ID*/
candidate_IDs = found_rooms(cooridor_ID) /*找到走廊上所有房间作为候选结果*/

for each door_id in door_IDs do
  cooridor_dir = cooridor_direction(cooridor_ID, roomID) /*计算走廊 cooridor_ID 的出入口 door_id 所在一侧的方向*/
  for each candidate_id in candidate_IDs do
    connect_dir = connectline_direction(roomID, candidate_id) /*计算两个房间对象出入口连接线的方向*/
    angle = cooridor_dir - connect_dir
    if angle < 0 then
      angle = angle + 360
    if angle > 180 then
      angle = 360 - angle
    if angle >= 45
    if angle <= 135 then
      room_IDs.add(connect_dir)
  
```

2.3 查询语法

(1) IRI 语法

IRI 在本体知识中,代表本体实例的资源地址;在 IndoorSPARQL 查询语言中,利用关键字“PREFIX”定义 IRI 前缀的缩写。同时可利用关键字 BASE 代表根 IRI,其他以此为根的 IRI 可写成相对形式。例如,同一个 IRI 在查询语言中有以下3种表达方式:

- ① <http://example.org/building/building1>
- ② BASE < http://example.org/building/>
<building1>
- ③ PREFIX building: <http://example.org/book/>
Building:building1

(2) 查询文字语法

在本体查询中,可使用查询文字来表达或者约束本体概念所具有的数据属性。查询术语可能是

字符串类型、数字类型或者布尔类型变量。

(3) 查询变量语法

在查询语句中,使用字符“?”或者“\$”标识查询变量,但标识字符不属于变量的一部分。

(4) 三元组语法

本体模型描述了本体概念的属性及其关系,在 IndoorSPARQL 查询语言中,三元组语句可表达实例与对象属性、数据属性之间及本体实例之间的关系,从而对变量所代表的实例或属性等进行描述为变量赋值。三元组语句由主语、谓语、宾语3部分组成,变量可出现在主语或者宾语部分,宾语部分既可为查询文字,也可为变量。而谓语部分则代表主语与宾语之间即实例与对象属性、数据属性之间的某种关系。三元组查询语句是室内本体查询语句的主要组成部分,表达了变量之间的关系,对查询范围进行限定。

(5) Filter 约束语句语法

三元组语句描述实例与其数据属性、对象属性之间的关系,但有时在进行查询时,希望对实例的属性值进行约束从而过滤变量,限制查询的结果。此外,对于需通过计算来获取的空间关系表达,同样可利用 Filter 语句来对实例间的关系进行约束。Filter 语句的约束条件是对布尔值进行计算的逻辑表达式,表达式包括“&&”、“||”等逻辑操作符,以及计算室内空间关系的查询函数。例如,Filter Opposite(?Room_X, ?Room_Zhu). 语句,采用查询函数“Opposite()”对变量“?Room_X”、“?Room_Zhu”所代表房间实例的“对面关系”进行判定与约束,从而对变量进行过滤。针对不同空间关系的定义,应当实现不同的查询函数。本文面向室内本体概念采用几何计算的方式提供一种空间关系的计算。

(6) 查询形式

在 IndoorSPARQL 本体查询语言中,标准查询由 Select、From、Where 构成。Select 关键字代表标准查询,返回与查询变量绑定的值;From 是一个可选的子句,提供要查询的数据集地址;Where 关键字代表查询逻辑中的约束集,由一组三元组语句以及 Filter 约束语句构成。

3 IndoorSPARQL 查询语言解析

IndoorSPARQL 自定义本体查询语言的解析流程如图1所示。

解析流程可分为以下几个步骤:(1)对查询语句进行词法解析、语法解析;(2)生成查询表达式对应的抽象语法树;(3)遍历语法树对节点绑定处理逻辑;(4)执行节点查询逻辑处理。实现 IndoorSPARQL 查询语句解析流程算法的伪代码如算法2所示。

3.1 IndoorSPARQL 语法解析器设计及语法解析

IndoorSPARQL 查询语言具有形式化的语法描述,对于用户输入的查询表达式,首先需根据查询语言的语法定义判断该表达式是否符合 IndoorSPARQL 的语法规则,即利用词法及语法分析器进行语法解析的过程^[16]。

(1) 生成 IndoorSPARQL 语法解析器

ANTLR 是一种基于 JAVA 的语言识别工具,它提供一个框架,用户通过在其中添加领域语言对应的文法,ANTLR 将自动生成该文法对应的编译器^[17-18]。本文利用 ANTLR 工具生成 IndoorSPARQL 语言的解析器,步骤如下:

① 根据 IndoorSPARQL 语法规则,编写符合 ANTLR 文法识别器的文法描述文件,包括词法规则及语法规则;

② 利用 ANTLR 工具编译文法文件生成词法及语法分析器。

(2) IndoorSPARQL 语法解析

利用 ANTLR 工具根据 IndoorSPARQL 文法描述生成词法、语法分析器后,需对用户输入的 IndoorSPARQL 查询语言进行语法解析,包括词法分析、语法分析、错误检测。

① 词法分析

根据 IndoorSPARQL 语言词法规则对用户输入的查询表达式逐个字符进行识别,最终输出单词序列。例如,“select”、“where”等查询关键字,以及表示室内本体概念的变量等。

② 语法分析

利用语法分析器对词法分析阶段产生的单词符号序列进行识别,根据文法描述分析输入的查询表达式是否符合 IndoorSPARQL 语言的语法规则。若满足,则语法分析器会生成该查询表达式对应的抽象语法树,否则 ANTLR 工具的检错机制将会提供相应查询表达式的错误报告。例如,对 IndoorSPARQL 语言中的三元组语句进行语法分析,判断该语句是否满足“主语”、“谓语”、“宾语”的语法构成,主语部分是否为变量或宾语部分是否为查询文字等。

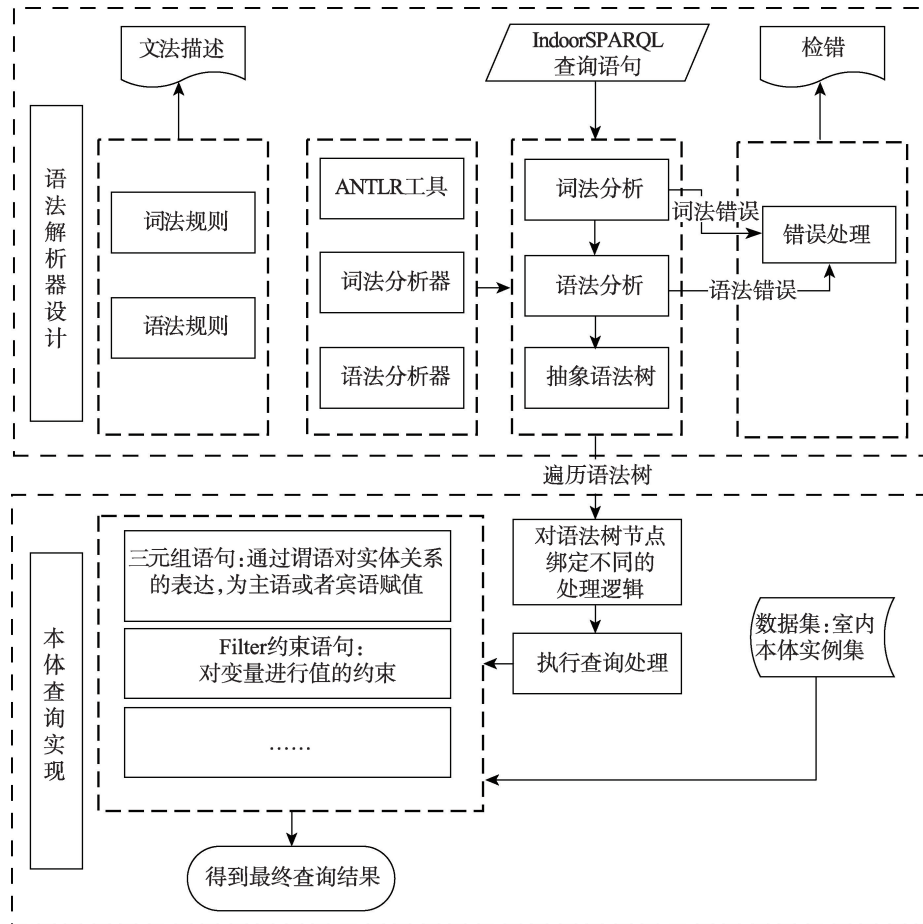


图1 IndoorSPARQL查询语言解析流程

Fig. 1 The process of parsing IndoorSPARQL language

③ 错误检测

ANTLR工具提供错误检测机制,包括词法错误及语法错误。当词法、语法分析器发现输入的查询表达式不符合文法描述规则时,会提供相应的错误报告。

3.2 IndoorSPARQL本体查询实现

利用ANTLR工具生成IndoorSPARQL语言的语法解析器后,通过对查询表达式进行语法规则的判断生成查询对象即语法解析树。要实现对本体实例集的数据查询,需在遍历抽象语法树时,对于语法树的不同节点执行不同的处理逻辑,从而完成相应的查询逻辑功能。语法树节点处理逻辑的执行主要包括以下内容:

(1)IRI扩展:根据PREFIX关键字得到本体实例集的IRI地址,同时也是查询过程中使用的实例、属性地址的根地址,据此根地址扩展解析树相关节点中的相对IRI。

(2)获取查询形式:根据Select关键字得到查询

需要返回的内容所绑定的查询变量。

(3)三元组查询:对于三元组查询语句,本文设计了三元组查询逻辑类来进行查询处理。提取语法树中三元组主语、谓语、宾语节点部分的变量或者查询文字,根据谓语所表达的主语与宾语的关系从本体实例集中检索出相应的实例结果赋予主语或者宾语。

(4)Filter语句查询:对于Filter约束语句,通过语法分析,提取解析结果,得到约束条件语句所包含的逻辑运算符或者查询函数,提取关键字进行计算或调用相应的查询函数,对变量的值进行约束,从而更新其所绑定的变量。在对filter约束语句进行解析时,采用对语句中需进行值约束的变量嵌套循环进行约束判断的算法,算法3为处理filter约束语句算法的伪代码。

(5)回溯解析三元组:三元组及Filter约束语句查询处理完成后,需利用逻辑处理结果回溯解析上层三元组查询语句,即在回溯解析过程中,查询表

算法2 算法 panMapSearch(String queryStatement)伪代码

输入: queryStatement: 符合 IndoorSPARQL 查询语言语法的查询表达式
 输出: Map<String, ArrayList<String>>: 查询结果, key 值为查询变量名称, value 值为查询结果实例 IRI 列表

```
lexer = SparqlLexer(queryStatement);
tokens = CommonTokenStream(lexer) /*对查询表达式进行词法分析*/
parser = SparqlParser(tokens) /*对查询表达式进行语法分析*/
treePackage = parser.query() /*生成查询表达式对应的抽象语法树*/
walker.walk(this, treePackage) /*遍历抽象语法树, walker 为 Parse-TreeWalker 类实例*/
executeVar = ParseExecuteVar() /*保存查询过程中间变量*/
Triples = List<Triple> /*保存查询语句中的三元组语句信息, 如主语、谓语、宾语等*/
Filters = List<Filters> /*保存查询语句中的约束语句信息, 如空间关系计算函数、逻辑运算符等*/
if node 为 prefix 节点 do /*node 表示某一个语法树节点*/
  variable = Variable(node)
  executeVar.Vars.add(variable) /*保存查询 IRI 根地址, 用于扩展解析相关节点的相对 IRI*/
if node 为 select 节点 do
  variable = Variable(node)
  variable.IsSelected = true
  executeVar.Vars.add(variable) /*保存查询语句需要返回的变量信息*/
if node 为三元组语句节点 do
  triple = Triple(node)
  Triples.add(triple) /*保存三元组语句信息, 为其绑定三元组语句处理逻辑*/
if node 为 filter 约束语句节点 do
  filter = Filter (node)
  Filters.add(triple) /*保存 Filter 语句信息, 为其绑定 filter 语句处理逻辑*/
foreach triple in Triples do
  triple.triple_execute()
  foreach filter in Filters do
    executeVar.FilterVars.clear(); // 进入新的 filter 要清空此变量
    executeVar.FilterVars.add() /*保存约束语句中需要进行值约束的变量*/
  filter.triple_execute()
  filter_loop(executeVar.FilterVars.size()-1, filter) /*嵌套循环处理 filter 约束语句*/
  filter_execute_update(); 执行完一个 filter 约束语句后对约束的变量 FilterVars 进行更新到 Vars 变量中
for each triple in Triples do /*回溯三元组语句, 从后往前遍历*/
  if triple 包含 FilterVars 中的变量 then
    triple.tripleExecute()
resultSet = SelectResult() /*得到最终查询语句需要的结果*/
```

达式均需在其下一条语句处理结果的基础上进行再一次的约束处理, 最终完成整个本体实例集的查询过程。

4 室内本体查询实验

实验区域为测绘遥感信息工程国家重点实验室实验楼, 基于文献[9]所设计的室内本体人、事、物

算法3 算法 filter_loop(int count, Filters filter)伪代码

输入: count: 需要约束的变量在约束变量 FilterVars 数组中的位置; Filter: Filters 类对象, 保存 filter 约束语句信息, 包括函数调用信息或者逻辑运算符等

输出: 无

```
Vars = executeVar.FilterVars.get(count) /*当前层循环需要约束的变量值数组*/
for each var in vars do
  if count != 0 then
    Temp = count - 1
    filter_loop(Temp, filter)
  if count = 0 then /*到达最底层循环*/
    if filter 为空间关系判断函数 then
      result = filter_execute_exper() /*根据函数名称调用相应的空间关系判断函数*/
    else filter 逻辑操作符运算语句 then
      result = filter_execute_exper()
    if result = true then
      更新被约束变量
    else if result = false then
      剔除当前变量的当前值
```

关系模型, 利用 Protégé 软件对该室内空间以及人事物信息进行实例录入构成查询本体实例集合。包括实验室部分办公室、机房等房间实例, 实验室部分教师、学生等实例, 以及本体关系模型中所描述的人、物等实例之间的关系。利用本文所设计的自定义本体查询语言 IndoorSPARQL, 实现对该建筑物的复杂语义查询。为验证实验结果的准确性, 本文设计前端可视化界面供用户根据需输入查询语言, 并将查询结果进行可视化。前端可视化界面采用 HTML5+CSS+Javascript+Ajax 技术实现, 查询界面主要包括 3 个部分: 查询语言输入及本体实例结果列表显示面板; 二维地图显示面板; 本体模型查询面板。用户根据查询目的输入基于 IndoorSPARQL 语言语法的查询语言, 查询结果分为 2 个部分: 查询本体实例结果(如“学生”、“老师”等), 在界面左侧面板列表显示; 室内空间对象结果在二维地图中进行高亮显示。

以下为 2 个查询实例, 分别查询“206 房间对面办公室及该办公室的老师”以及“学生韩会鹏所在机房相邻(隔壁)的机房以及该机房的老师”。

实例 1: 查询 206 房间对面的办公室及该办公室的老师。

PREFIX IndoorOWL:

<<http://www.semanticweb.org/dell327/ontologies/2014/10/Ontology1415628375607.owl#>>

Select ?Teacher_X ?Room_X

Where


```
{
?Room_206 a IndoorOWL:Office .
?Room_206 IndoorOWL:Name "206".
?Teacher_X a IndoorOWL:Teacher .
?Teacher_X IndoorOWL:Has_Office ?Room_X .
Filter Opposite(?Room_206, ?Room_X) .
}
```

如图2所示,查询结果包括在实验室建筑物二维地图中高亮显示的205办公室,它位于206房间的对面,以及在左侧查询面板中显示的该办公室的老师信息。该查询的可视化结果显示,以上查询语句可准确地获取与206房间具有“对面关系”的房间实例205,以及与205房间具有“所属关系”的教师实例。

实例2:查询学生韩会鹏所在机房相邻(隔壁)机房以及该机房的學生。

PREFIX IndoorOWL: <http://www.semanticweb.org/dell327/ontologies/2014/10/Ontology1415628375607.owl#>

```
Select ?Room_X ?Student_X
Where
{
?Student_han a IndoorOWL:Student .
?Student_han IndoorOWL:Name "韩会鹏" .
?Student_han IndoorOWL: Locate_Computer-Room ?Room_han .
?Room_X a IndoorOWL:ComputerRoom .
```

```
?Room_X IndoorOWL:Has_Student ?Student_X.
FILTER (Adjacent (?Room_han,?Room_X)) .
}
```

实例2查询某一房间的相邻(隔壁)房间,根据上述,对于口语化表达“隔壁房间”,在IndoorSPARQL自定义查询语言中将实例间的“隔壁关系”定义为“相邻关系”,因此在上述查询语言实例中采用相应的计算函数“Adjacent”函数来实现“相邻(隔壁)房间”的查询。如图3查询结果信息所示,韩会鹏同学所在机房为325机房,相邻(隔壁)机房为327机房和323机房,高亮显示在建筑物二维模型中,以及相邻(隔壁)机房的杨龙龙等学生信息显示在界面左侧的面板中。该查询的可视化结果显示,以上查询语句可准确地获取与某学生具有“所在”关系的机房实例,以及与该机房具有“相邻(隔壁)关系”的其他机房实例。

5 结语

随着室内建筑结构愈发复杂,人类对室内位置服务的需求愈发迫切。本文针对室内空间特点,初步探索了室内空间语义查询的方法,并基于全息位置地图室内空间本体模型,提出了一种实现室内活动中常用空间关系查询的技术途径。扩展SPARQL语言语法,实现室内活动中常用空间关系的初步计算,设计了室内本体查询语言IndoorSPARQL,并实现自定义语言解析器,支持室内位置语义查询

室内语义查询工具

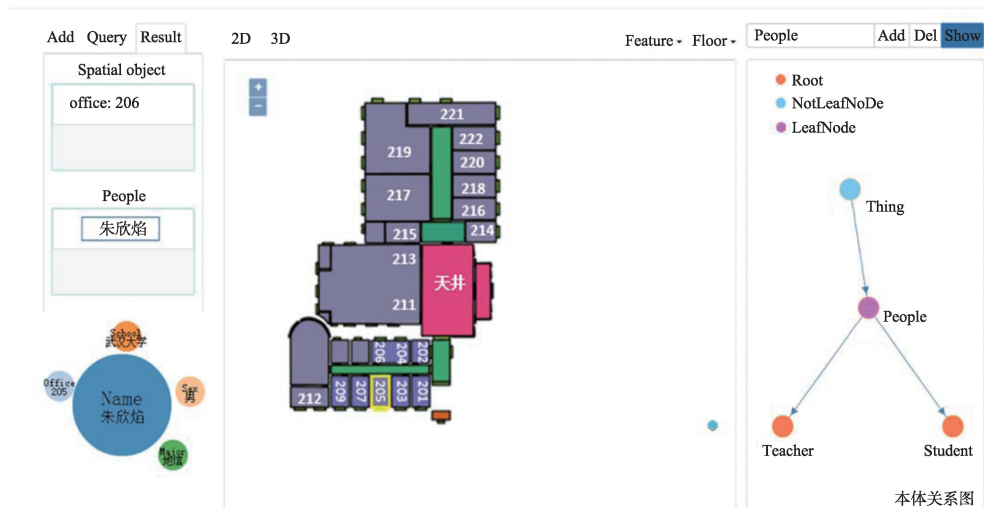


图2 实例1查询结果

Fig. 2 The results of example query 1

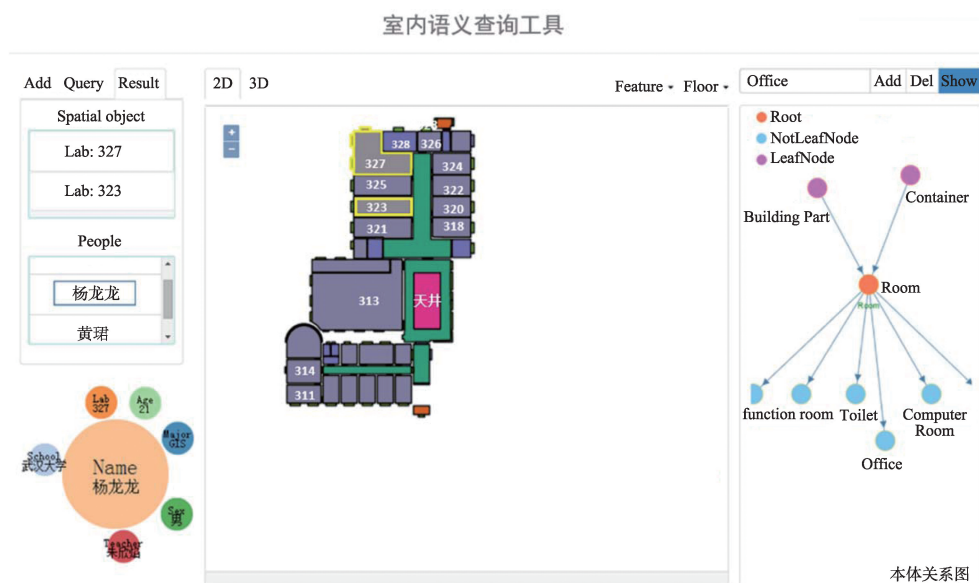


图3 实例2查询结果

Fig. 3 The results of example query 2

服务。本文目前的工作仅是初步探索,很多问题还需后续继续深入:(1)本文所采用的室内空间描述的概念体系仍然不够完善,需进一步深化研究;(2)在 IndoorSPARQL 自定义查询语言中,室内复杂空间关系的计算仍需深入与细化。

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] 朱庆,熊庆,赵君峰.室内位置信息模型与智能位置服务[J].测绘地理信息,2014,39(5):1-7.
- [3] 周成虎,朱欣焰,王蒙,等.全息位置地图研究[J].地理科学进展,2011,30(11):1331-1335.
- [4] 朱欣焰,周成虎,吕维,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.
- [5] 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):17-21,26.
- [6] Rabiee H R, Kashya P R, Safavian S R. Multiresolution segmentation-based image coding with hierarchical data structures[C]. Proceedings of 1996 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP-96), 1996:1870-1873.
- [7] Li D, Lee D L. A lattice-based semantic location model for indoor navigation[C]. The 9th International Conference on Mobile Data Management, 2008:17-24.
- [8] Yang B, Lu H, Jensen C J. Scalable continuous range monitoring of moving objects in symbolic indoor space [C]. Proceedings of the 18th ACM conference on Information and knowledge management, 2009:671-680.
- [9] 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, 2010:335-346.
- [10] Xie X, Lu H. Efficient distance-aware query evaluation on indoor moving objects[C]. 29th IEEE International Conference on Data Engineering, 2013:434-445.
- [11] Tsetsos V, Anagnostopoulos C, Kikairas P, et al. Semantically enriched navigation for indoor environments[J]. International Journal of Web and Grid Services, 2006,2(4):453-478.
- [12] 朱欣焰,杨龙龙,吕维.面向全息位置地图的室内空间本体建模[J].地理信息世界,2015,22(2):1-7.
- [13] 倪欢,许卓明.OWL 本体查询技术研究[J].河海大学学报(自然科学版),2006,34(3):333-336.
- [14] 谢桂芳.SPARQL——一种新型的 RDF 查询语言[J].湖南学院学报,2009,30(2):80-84.
- [15] 张宗仁,杨天奇.基于自然语言理解的本体语义信息检索[D].广州:暨南大学,2011.
- [16] 陈彦.SPARQL 查询引擎设计[J].电脑知识与技术(学术交流),2007,10(20):947-949.
- [17] 马竹根.利用 ANTLR 生成 C++ 描述的分析程序[J].福建电脑,2006(1):170-171.
- [18] 肖丽,校景中.基于 ANTLR 的领域语言构造[J].计算机科学,2011,38(7A):91-92.

Research on Indoor Semantic Query Based on Expansion of SPARQL

LI Can¹, ZHU Xinyan^{1,2*}, GUO Wei¹ and HUANG Liang¹

(1. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Collaborative Innovation Center of Geospatial Technology, Wuhan 430079, China)

Abstract: Recently, human activity focuses have expanded from outdoor to indoor space. Since building construction is becoming more and more complex, in order to better support the indoor activities, there is an urgent need for the querying services of indoor space. According to the characteristics of indoor space, this paper puts forward a method suitable for the complex indoor semantic query. An ontology model describing the indoor space and the relevant information of humans, events and space objects as well as their relations is adopted to meet the demand of indoor semantic query. This paper also designs the IndoorSPARQL ontology query language which is an extension of the SPARQL syntax to support the indoor semantic query. Ontology concepts and their attributes are used as query vocabularies. In addition, query functions are designed to compute unique indoor space relations, such as “opposite relation”, “upstairs relation” and “downstairs relation”. A method is proposed in analyzing IndoorSPARQL query language to support indoor ontology query, which considers the computation of indoor spatial relations. Finally, based on the ontology model, experiments within the study area are constructed using a software named Protégé. Examples of indoor semantic query that use the IndoorSPARQL query language are provided, with the visualization of their results. The results show that the proposed query method based on IndoorSPARQL could effectively support indoor space complex semantic query. This method has presented the following advantages: (1) the ontology model provides a complete and clear expression of the space related information on humans, events and indoor space objects (e.g. the “Storey” and “Room”) as well as their inner relations, which is taken as the basis of the complex semantic query; (2) the specific primitives for indoor query, including “Adjacent”, “Opposite”, “Vertical” and “Contain”, are defined as the query functions in IndoorSPARQL to support the quantitative indoor spatial computations; (3) the query language IndoorSPARQL is designed and testified in this paper to support the proposed method of indoor semantic query.

Key words: indoor space; ontology; semantic query; SPARQL; indoor spatial relation

*Corresponding author: ZHU Xinyan, E-mail: geozxy@263.net