

基于本体的城市交通的知识分析和推理^{*})

黄珂萍 蒋昌俊

(同济大学电子与信息工程学院计算机科学与工程系 上海 201804)

(国家高性能计算机工程技术研究中心同济分中心 上海 201804)

摘要 以城市交通为研究和应用背景,基于本体模型的知识表示技术,建立城市交通本体。对城市交通领域知识进行规范描述,详细描述了定义类层次及类的属性和关系,以及实例的基本规则,并从领域知识中提取出类内公理和类间公理,建立公理库,用于领域知识的一致性分析和知识推理。解决了语义层次上信息共享和交互的问题,为上海城市交通信息网格的交通信息服务提供语义支撑。

关键词 城市交通,本体,知识获取,公理,推理

Analyzing and Reasoning Knowledge of Urban Transportation: Based on Ontology

HUANG Ke-Ping JIANG Chang-Jun

(Department of Computer Science and Engineering, School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804)

(Tongji Branch, National Engineering & Technology Centre of High Performance Computers, Shanghai 201804)

Abstract In the background of urban transportation, based on the techniques of knowledge representation of ontology model, we develop urban transportation ontology. The standard description and the basic rules are introduced which clearly define the classes hierarchy, properties, relations and instances. A set of domain-specific axioms are derived from classes and slots. Axioms base are used in consistency checking and knowledge reasoning which solve the problems of information sharing and interoperability in semantics and is the semantic base for transportation services of Shanghai transportation grid.

Keywords Urban transportation, Ontology, Acquiring knowledge, Axioms, Reasoning

1 引言

目前,全世界交通需求日益增加,城市交通面临交通拥挤、事故频发和环境污染等问题。自 20 世纪 80 年代以来,智能交通系统(ITS)成为解决这些问题的技术手段,是城市交通进入信息时代的重要标志。其中有代表性的是美国 MIT 的交通仿真系统和日本东京大学的大规模交通网络交通状态动态分析系统。我国自 90 年代以来也将 ITS 作为城市交通发展的方向。

智能交通系统由分布在各地相互独立的系统协同工作,整合而成^[1]。由于城市道路上的信息瞬息万变,造成交通信息容量的海量性、内容的多样性,不同区域、不同部门难以达到交通信息资源有效的共享和利用。而各分布系统间的集成决定着 ITS 整体效益的发挥。所以,解决各异构系统之间信息共享和资源互操作的问题成为智能交通系统中的核心问题。

本体(Ontology)作为一种能在语义和知识层次上描述信息系统的类模型建模工具,本质就是领域知识的共享和复用。标准化和形式化的领域本体为信息系统之间的互操作提供很好的解决方案,自被提出来就在很多领域得到了广泛的应用和研究。美国 D. Lenat 教授领导研制的大型常识知识库系统 Cyc^[2],目标是建成百万级数量的断言知识库,在此基础上对自然语言理解、学习、问题求解等人类智能活动的机理进行研

究。Princeton 的 Berkeley 分校研制的语言知识 WordNet^[3],以同义词集为单位组织信息,是基于心理语言学规则的英文词典。本体在数字图书馆中的应用,已基本实现知识图书馆中知识的划分、分类和组织模型的建立,从而方便知识的面向主题的存放和智能检索等。在医学领域中,阿姆斯特丹自由大学和荷兰 Elsevier 出版社合作研制了一个医学文献语义检索工具 DOPE^[4],其中的本体是以 EM 树状叙词表为其术语结构,提供与疾病相关的药物本体信息。国内北京大学遥感中心开展了本体在地理空间信息系统中的应用,通过建立共享地理领域信息的公共词汇集 Geo-Ontology 提供知识查询系统和知识系统的查询推理^[5]。

本文通过本体对城市交通领域知识进行规范描述,对类和类之间的关系进行精确定义,建立起城市交通本体,从而解决了语义层次上信息共享和交互的问题。该系统已集成到上海城市交通信息网格平台,为交通信息服务提供语义支撑。

2 城市交通本体

2.1 本体的描述

本体(Ontology)即共享概念模型的明确的形式化规范说明^[6]。它有 5 个基本元素:类或概念(Categories or Concepts)、属性(Properties)、实例(Instances)、关系(Relations)、公理(Axioms)。从语义上分析,(1)类就是对现实世界抽象得到的概念。类的定义一般采用框架(Frame)结构,包括类

^{*})国家 973 计划(2003CB316902)资助。黄珂萍 硕士研究生,主要研究方向:语义 Web、本体论;蒋昌俊 教授,博士生导师,主要研究方向:Petri 网理论与应用、网格计算、并发理论与并行处理。

的名称、与其他类之间关系的集合,以及用自然语言对类的描述。(2)属性是对类特征或性质的描述。(3)关系是在领域中概念之间的交互作用,形式上定义为 N 维笛卡儿积的子集^[7]: $R: C_1 \times C_2 \times C_3 \dots \times C_n$ 。基本的关系有 4 种: part-of, kind-of, instance-of, attribute-of。Part-of 表达类之间部分与整体的关系; kind-of 表达类之间的继承关系,类似于面向对象中父类和子类之间的关系; instance-of 表达类的实例和类的关系,类似于面向对象中的对象和类之间的关系; attribute-of 表达某个类是另外一个类的属性。(4)公理是定义在类和属性上的限定和规则。(5)实例表示的是对象,而类表示的是对象的集合,关系对应于对象元组的集合。

类定义包括类知识描述和槽定义。槽定义包括定义槽类型和槽名^[8]。槽定义代表了本体的属性、类相关的知识,是类定义的重要组成部分。槽分为 3 个类型: 1) 属性槽。属性为名词,例如“名称”。2) 关系槽。关系为动词,例如“经过”。3) 属性关系槽。既可为名词也可为动词的槽,例如“位置”或“位于”。

类之间的基本关系是继承(Inheritance)和实现(Implement)。一个类 A 继承另一个类 B,表示 B 类的知识可以被 A 使用,B 的槽可以被 A 继承,A 的相关公理可以被 B 使用。父类和子类之间就是继承的关系。一个类 A 实现另一个类

B,表示 A 可以使用 B 的词汇,如属性和关系,可以继承 B 的所有公理。

开发一个本体,须完成如下内容: 1) 定义本体中的类; 2) 将已定义类和子类按照分类法定义在不同的层次上; 3) 定义槽并且描述槽的取值范围和约束; 4) 对初步获取的知识做一致性分析,提取公理,去除矛盾和定义不合理之处,完善本体; 5) 使用公理对类和类的属性、关系进行推理。

2.2 城市交通本体的类

城市公共交通是指在城市及其郊区范围内,为方便公众出行,用客运工具进行旅客运输的总称。首先,城市交通领域本体可以分为以下 6 类: 交通工具、交通线路、单位、站点、道路、路口。我们使用 Protégé 本体编辑工具建立本体,如图 1 所示。

(1)交通工具: 主要包括公共汽车、有轨电车、出租汽车、轨道交通(包括地铁、轻轨、磁悬浮列车等)。出行方式包括居民出行所采用的方法或使用的交通工具。居民出行有单一和复合出行两种方式。单一出行方式是一次出行只用一种出行方式,或虽然使用了多种方式,但以其中一种主要方式为代表。复合出行方式是列出一次出行中所使用的所有方式。但步行同其他方式合用时,则不再把步行方式列出。

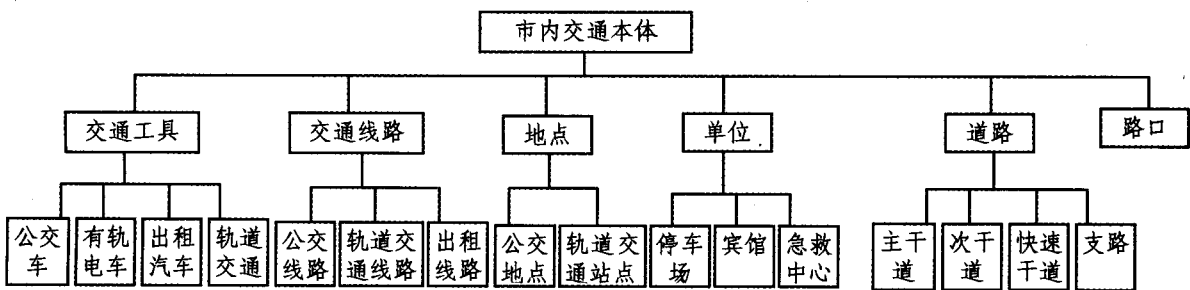


图 1 城市交通分类表

(2)交通线路: 分为固定线路和非固定线路两种。其中固定线路有: 公交车行驶线路、地铁、轻轨和磁悬浮列车行驶线路,非固定线路有出租车行驶线路。公交线路是指公共交通工具从起点站始发,按规定走向到达终点站的通路。按不同的线路设置,可区别为: 市内路线、市郊路线、郊县路线、长途路线、全日路线、夜宵路线、高峰路线、区间路线、临时路线、高架路线、地下路线、环形路线和游览路线等。因选用的车种不同,路线名称有区别,路线装备亦各异。

(3)单位: 为了快速寻找目的地,单位分类如下: 停车场、加油站、旅游中心、宾馆、急救中心、药房、餐饮场所、娱乐场所、大卖场和其他公共设施。

(4)站点: 交通线路经过的站点是城市交通中很重要的类。公交站点类和轨道交通站点类分别是它的子类。

(5)道路: 根据城市交通的需要和道路的不同作用,我们把道路类划分为 4 个子类: 主干道、次干道、快速干道、支路。主干道是连接城市各主要部分交通的道路,是城市道路网的骨架。次干道是城市一个区域内的主要道路。快速干道是具有较高车速和较大通行能力的一种特殊道路系统,为城市远距离交通服务。支路是一个地区如居住区内部的道路。

(6)路口: 两条或以上道路的交叉口。

2.3 城市交通本体的槽

以上给出了城市交通的分类方法。下面具体说明类中的

槽,包括属性和关系。以公交线路类的槽为例来说明。它是交通线路类的一个子类,可以继承交通线路的槽并添加新的槽。在描述一条公交线路时,出行者首先关注的是这条线路的线路号,同一个线路号可以由不同的交通公司来运营,一般应取不同的名称,以示区别。交通线路采取的票制,分为以下几类: 常有计程票制、计时票制和复合票制。计程票制即按运营里程制定票价,它是一种国际通用的收费方式。又分为单一票制和多级票制。单一票制为不论乘行里程远近,票价均相同,目前公交汽车和磁悬浮列车一般采取该方法。多级票制也称为梯形票制,就是将线路从起点至终点按照站点划分成几级,每一级实行不同的票价。这种票制常用在公交汽车和轨道交通中。计时票制是按租用车辆的时间计算票价的方法,未来轨道交通也会将计时票制纳入票价计算方法中,按在付费区内停留的时间计费。复合票制是计程和计时共用,是出租车经常使用的计费方法。出租车运行时按里程计价,停车等待时则按时间计价。票制决定着票价。票价有基本票价和全程票价。基本票价指乘用公共交通工具的起始收费金额。

其次描述线路的信息。该线路的车是否电车,是否月票有效等。为了用户查询信息的方便,需要包含如下信息: 该线路经过站点个数、首班车时间和末班车时间、运营时间、单程时间。另外,该线路经过的站点序列是重要的属性,也要求记

录到属性之内,我们用第一站、第二站、...第 N 站来表示经过的站点序列。同一条线路有上行线和下行线之分。通常情况下,上行线和下行线经过的站点序不完全相反,所以有必要记录各自经过的站点序列。表 1 记录了公交线路的槽定义。

表 1 公交线路的槽

槽	类型	注释
线路名	字符串	该线路的编号,不同公司可以运营同样线路,线路名可不同
所属公司	字符串	该线路所属公司名称
起点站	字符串	该线路的起始站点
终点站	字符串	该线路的终止站点
票制	字符串	计时票制;计程票制(单级票制,多级票制,月票票制)
基本票价	实型	乘用交通工具的起始收费金额
全程票价	实型	从起点站到终点站的收费金额
方向	布尔型	1 为下行,0 为上行
运营时间	时间	从头班车发车时刻起至末班车收车时刻止的时间
单程时间	时间	平均情况下车辆从起始站点起至终止站点的时间
首班时间	时间	该线路最早班车出发的时间
末班时间	时间	该线路最晚班车出发的时间
是否电车	布尔型	1 为电车,0 为非电车
空调车	布尔型	1 为空调车,0 为非空调车
月票有效	布尔型	1 为月票有效,0 为月票无效
站点个数	整型	经过站点个数,大于 0 的整数
第一站	字符串	是站点类型,等于起始站
第二站	字符串	是站点类型
...
第 N 站	字符串	是站点类型,等于终点站

2.4 城市交通本体中的关系

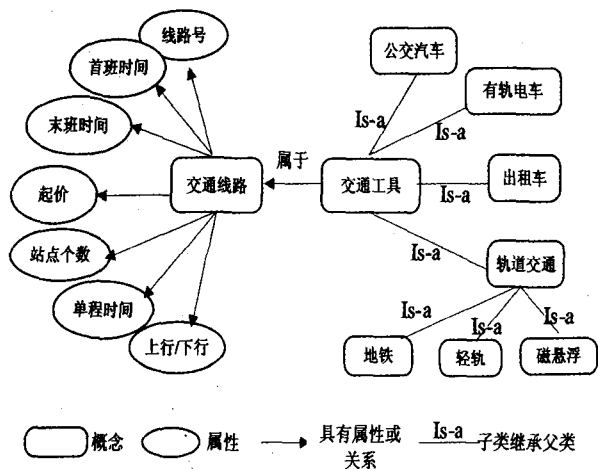


图 2 交通线路和交通工具之间的关系

在城市交通本体中存在一些关系,将概念之间联系起来,具有很重要的作用。例如交通线路和交通工具两个概念之间的关系是某交通工具运行在某条交通线路上,是属于的关系,如图 2 所示。属于关系:交通工具行使在固定的交通线路上,即交通工具属于交通线路;交通工具属于单位拥有;道路属于单位负责。

停靠关系:交通线路停靠在站点。临近关系:站点和单位相互临近。位于关系:站点或单位位于固定道路上;路口位于两条或以上道路的交叉口。

图 3 则表示了交通本体中所有类之间的关系。概念间的关系为本体推理提供了重要的基础。

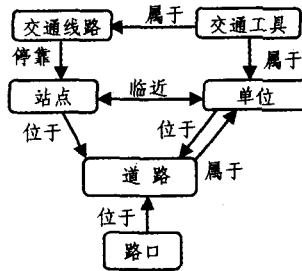


图 3 类间关系图

3 知识的一致性分析

在建立了城市交通本体和知识库之后,还有一个非常重要的任务,即对知识的检查和推理。而仅依据现有的本体是无法实现的,这就需要建立一个满足一致性的公理库,根据公理库对知识库中的知识进行检查和推理。公理的实质是描述了不同概念所对应的客观对象间的真实关系。公理本身也是知识,而且应该是更高层次的知识。一个本体建得好不好,很大程度上取决于它的公理库建得如何,因为公理主要是保证了知识之间以及知识库与本体之间的一致性。另外,还可以利用公理对知识进行推理和利用公理实现知识之间的联通。

3.1 公理表示法

城市交通本体的公理使用一阶逻辑来表示^[8]。使用“X:(类)”表示 X 是一个类变量,X 的取值是类中的一个实例;使用“X.S”表示 X 的槽 S 的值。S(X,Y)表示 X 的槽 S 取值为 y。在城市交通本体中存在表 2 所示的函数和谓词。

表 2 城市交通本体中的函数和谓词表

函数或谓词	含义
上位类(B)	函数:A 是 B 的上位类,A 所从属的概念或类为 B
下位类(A)	函数:B 是 A 的下位类,B 从属于类 A
加(A,B)	函数:求 A 和 B 的和
乘(A,B)	函数:求 A 和 B 的积
属于(A,B)	谓词:a 属于 A
等于(A,B)	谓词:A 的值等于 B 的值
大于等于(A,B)	谓词:A 的值大于等于 B 的值
小于等于(A,B)	谓词:A 的值小于等于 B 的值

3.2 城市交通本体中的公理

我们从类内公理和类与类之间公理两个方面分别加以考察。

3.2.1 类内公理获取

城市交通的类内公理是对本体类中的槽及槽间关系的一种约束。我们对每一个槽进行分析,把类内公理分为值域公理、属性关系公理。

3.2.1.1 值域公理

对槽值的值域限定在一个合理范围内,用于知识的错误检查,发现常识上的一些矛盾,如表 3 所示。

3.2.1.2 属性关系公理

对于类内属性间、关系间进行限定,用于知识的错误检查

和知识推理,如表 4 所示。

表 3 类的值域公理

公理 1	所有 X:出租车[大于等于(X.载客数,0) and 小于等于(X.载客数,4)]
公理 2	所有 X:交通线路[大于等于(X.营运车辆个数,1)]
公理 3	所有 X:交通线路[大于(X.停靠站点个数,1)]
公理 4	所有 X:主干道[小于等于(X.车速,最大车速值)]
公理 5	所有 X:公交线路[等于(X.方向,0)or 等于(X.方向,1)]
公理 6	所有 X:公交线路[大于等于(X.起价,1) and 小于等于(X.起价,2)]

表 4 类的属性关系公理

公理 7	所有 X:交通线路[小于(起始时间,结束时间)]
公理 8	所有 X:交通线路[小于等于(起价,全程票价)]
公理 9	所有 X:交通线路[等于(起始站,第一站)]
公理 10	所有 X:轨道交通线路 [等于(乘(每站运行时间,站数),全程时间)]
公理 11	所有 X:出租车 [等于(加(起价全程,乘(每公里金额,公里数)),金额)]
公理 12	所有 X:公交汽车 [自动投币(X,是)→票制(X,单级票制)]

3.2.2 类间公理

类间公理分为类与类公理和类槽与类槽间公理。我们获取这一类公理的方法是对每个类都从交通领域的涵义上找出该类与其他类的关系,再把这种关系用一阶逻辑的方式表示出来。

3.2.2.1 类与类公理

类与类的公理是对两者关系的约束,表 5 是一部分类与类公理的实例。

表 5 类之间的公理

公理 13	所有 X:交通工具,所有 Y:交通线路[isa(线路号(X),Y)]
公理 14	所有 X:公交线路,所有 Y:公交站点[isa(停靠站点(X),Y)]
公理 15	所有 X:单位,存在 Y:道路[属于(X,Y)]
公理 16	所有 X:道路,存在 Y:单位[负责(Y,X)]

表 6 类槽与类槽之间的公理

公理 17	所有 X:公交车,所有 Y:轨道交通 [小于(X.载客数,Y.载客数)]
公理 18	所有 X:公交线路, [属于(X.线路号,X.第i站站点,经过线路号)]
公理 19	所有 X:快速干道,所有 Y:主干道 [小于(X.最大车速,Y.最大车速)]
公理 20	所有 X:公交线路,所有 Y:轨道交通线路 [小于(X.起价,Y.起价)]
公理 21	所有 X:公交线路,存在 Y:轨道交通线路 [属于(X,Y.附近公交线路)]
公理 22	所有 X:轨道交通线路,存在 Y:公交线路 [属于(X,Y.附近轨道交通线路)]
公理 23	所有 X:站点,存在 Y:道路[属于(X.所在道路,Y)]
公理 24	所有 X:站点,存在 Y:单位[属于(X.临近单位,Y)]
公理 25	所有 X:单位,存在 Y:站点[属于(X.临近站点,Y)]
公理 26	所有 X:道路,存在 Y:单位[属于(X.责任单位,Y)]

3.2.2.2 类槽与类槽间公理

用于约束一个类的槽及另一个类的槽,表示了多个类之

间的内在联系及约束。表 6 是一部分类槽间公理的实例。

3.3 基于公理的城市交通知识的一致性分析

公理库的每一类公理都可用于一致性分析,包括知识完备性检查、值错误检查、知识矛盾检查等。以下是公理在这些方面应用的例子。

例 1 我们知道每个站点必然位于某条道路上,依据表 4 的公理 23,站点的“所属道路”这个属性值为道路。如果一个站点的知识中没有关于道路的知识,那么关于该站点的知识是不完备的。

例 2 例如我们有以下关于 123 路公交车和人民广场站点的两条知识:

```

123 路:公交线路
{ 首班时间:6:20
  方向:上行
  起点站:人民广场
  .....
}
人民广场站:站点
{ 经过公交线路:18 路,23 路,46 路,108 路,109 路,112 路,518 路
  经过轨道交通线路:地铁一号线,地铁二号线
  .....
}
    
```

由第一条知识我们可知 123 路公交车经过人民广场站点,由表 5 的公理 14 知道人民广场站点经过的公交线路中一定存在 123 路公交汽车,而在第二条人民广场站的属性“经过公交线路”中并没有 123 路。由此我们发现关于 123 路公交车和 123 路公交线路和人民广场站点的知识存在着不一致。

4 基于公理的城市交通知识推理

公理库不仅有在一致性分析上的作用,而且更重要的是在知识推理方面的应用。我们可以从已知的概念出发,由公理库推理出未知概念的知识;也可以从概念的已知属性出发,推理出概念的未知属性知识。

例 1 假如我们有以下关于 67 路公交车和长风公园站点的两条知识。

```

67 路:公交线路
{ 停靠站点:.....花溪路站,长风公园站,.....
  .....
}
长风公园站:站点
{ .....
  所在道路:金沙江路
  临近单位:长风公园,.....
}
    
```

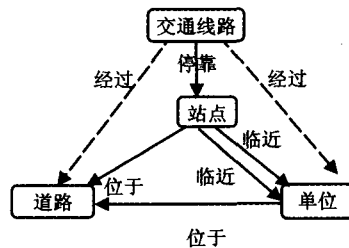


图 4 类间关系子图

由图 4 可以看出,已知交通线路停靠在站点,站点位于道路上,可以推出交通线路经过道路。可以为交通线路添加一个属性“经过的道路”,那么这条推理结果为知识库增加了新的知识,并为出行者提供“交通线路经过的道路”查询,将交通查询更加细致和具体化。如例 1 中 67 路公交车停靠长风公园站,而长风公园站位于金沙江路上,如上所述可以推出该 67 路公交车一定经过金沙江路。故属性“经过的道路:金沙江路”即可作为一条新的属性添加进 67 路公交车的类中。

同理,已知交通线路停靠站点,站点和附近单位有临近关系,则可推出交通线路经过单位。那么可以在单位类中添加一个“经过公交线路”的属性。对出行者来说,只要提供单位名称,即可查询附近有哪些交通线路可以乘坐。如例1中长风公园站临近单位有长风公园,可以推理出如果出行者的目的地是长风公园,可以考虑乘坐67路公交车,并且可以在长风公园类的属性“经过公交线路”中添加进一条记录为67路。

5 城市交通本体在语义查询系统中的应用

由上述方法设计的本体及获取的知识库可以应用在城市交通语义查询系统。系统设计模型如图5所示。该系统由以下几个模块构成:

(1)城市交通元数据库。保存城市交通元数据信息和属性。

(2)城市交通本体库。是领域概念化模型的形式化表示,包括概念、属性、关系、实例等,以附加文件形式保存,或和城市交通元数据一体化存储。

(3)推理引擎。主要是本体推理。根据用户概念化的信息需求描述和出行方式的显式规则选择,结合本体库对用户需求进行分析,生成针对视图的查询计划,然后把结果返回给用户界面。

(4)查询。包括数据查询和本体查询。本体查询对城市交通本体所包含的概念、属性、关系和实例进行检索和查询,将查询结果返回。

结论和进一步的工作 本文从本体论的角度出发探讨城市交通本体建立和获取公理的方法,建立了比较完善的城市交通本体,包括类和公理集合,其中类定义了属性和关系集。形成了城市交通本体的知识库,公理用来对已经获取的知识进行分析,从而确保知识的一致性和对未知知识的推理。

由于城市交通是门类众多、变化迅速的知识领域,下一步我们需要不断补充完整和添加新的概念、属性和关系集;其次,也是很重要的一点,公理库中要添加更多的公理,以保证

知识的完备性和一致性。继而我们需要开展城市交通本体的应用研究,将交通本体和知识推理应用在城市交通查询系统中,并进一步研究城市交通本体与交通信息服务结合的可行性和有效性。

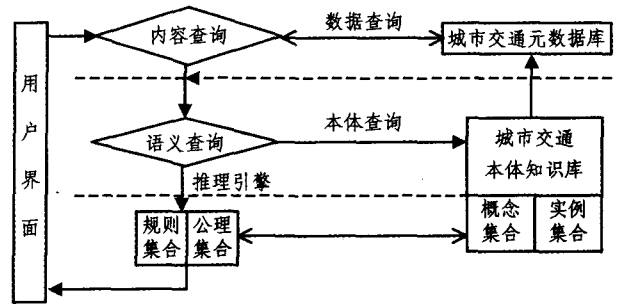


图5 语义查询系统设计模型

参考文献

- Smith B L, William T S. Development of integrated intelligent transportation system [A]. In: Transportation Research Record 1675 [C], Washington D C: TRB, 1999. 85~90
- Cycl. <http://www.cyc.com/tech.html#cycl>
- Worldnet. <http://www.cogsci.princeton.edu/~wn/>
- DOPE. <http://aduna.biz/dope/>
- 宋炜. 语义网络教程. 北京: 高等教育出版社, 2004
- Borst W N. Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse: [PhD thesis]. University of Twente, Enschede, 1997
- 邓志鸿, 唐世渭, 张铭, 等. Ontology 研究综述. 北京大学学报(自然科学版), 2002, 38(5): 730~738
- 周肖彬, 曹存根. 基于本体的医学知识获取. 计算机科学, 2003, 30(10): 35~39
- Staab S, Stude R. Knowledge processes and ontologies [J]. IEEE Intelligent Systems, 2001(1): 26~34
- rules. In: VLDB'94, 1994. 487~499
- Agrawal R, Srikant R. Fast algorithms for mining association rules: [IBM Research Report RJ9839]. IBM Almaden Research Center, San Jose, California, June 1994
- Park J S, Chen M S, Yu P S. An effective hash based algorithm for mining association rules. In: Proceedings of the 1995 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, SIGMOD Record, ACM Press, 1995, 24(2): 175~186
- Han Jiawei, Pei Jian, Yin Yiwen. Mining Frequent Patterns without Candidate Generation. ACM SIGMOD, 2000, 29(2): 1~12
- Dong G, Zhang X, Wong L, et al. Caep: Classification by aggregating emerging patterns. Discovery Science, 1999
- Wei W A, Zhang A. Evaluation of low-level features by decisive feature patterns [content-based image retrieval]. Multimedia and Expo. ICME'04, 2004, 2: 1007~1010
- Fayyad U M, Irani K B. Multi-interval discretization of continuous-valued attributes for classification learning. In: Proc. of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Chambéry, France: Morgan Kaufmann, 1993. 1022~1029

(上接第173页)

- Shi J, Malik J. Normalized cuts and image segmentation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 25(9): 1075~1088
- Mori Y, Takahashi H, Oka R. Image-to-word transformation based on dividing and vector quantizing images with words. In: Proc. of the First International Workshop on Multimedia Intelligent Storage and Retrieval Management, 1999
- Duygulu P, Barnard K, de Freitas N, et al. Object recognition as machine translation: Learning a lexicon for a fixed image vocabulary. In: Proc. of the Seventh European Conference on Computer Vision, Copenhagen, Denmark: Springer, 2002. 97~112
- Jeon J, Lavrenko V, Manmatha R. Automatic Image Annotation and Retrieval using Cross-Media Relevance Models. In: Proc. of the 26th Annual International ACM SIGIR Conference, Toronto, Canada: ACM, 2003. 119~126
- Wang J Z, Li J. Learning-based linguistic indexing of pictures with 2-d mhmm. In: Proc. ACM Multimedia, 2002
- Joachims T. Making large-scale svm learning practical. advances in kernel methods - support vector learning, MIT-Press, 1999
- Agrawal R, Srikant R. Fast algorithms for mining association