

基于本体的交通状态信息统一语义理解机制^①

王 坚^② 阳其凯 凌卫青

(同济大学电子与信息工程学院 CIMS 研究中心 上海 201804)

摘 要 为了提高交通信息系统的集成化水平,研究了交通状态信息语义的准确理解,提出了一种基于本体的交通状态信息统一语义理解机制。该机制引入了数据登记簿制度和利用了本体的语义表达能力,因而能够解决在交通信息系统建设中因缺乏统一规划与协调导致交通信息系统集成化水平较低,无法广泛实现智能交通系统子系统间信息共享和重用的问题。为了验证该机制的正确性与有效性,构建了交通状态信息云服务平台及其子模块——交通事件管理语义检索系统。平台示范表明,该机制可用于智能交通系统海量多源多维交通状态信息的理解与交互,对我国交通系统的信息化建设具有参考与应用价值。

关键词 交通状态信息,语义,本体,数据登记簿,云服务

0 引 言

进入 21 世纪以来,信息技术与网络技术的快速发展推动了我国交通基础设施的建设和以智能交通系统(intelligent transport systems, ITS)为代表^[1,2]的交通信息系统的发展。但在交通信息系统建设过程中,由于城市内部、城市与城市之间缺乏统一协调和规划,往往只注重单一业务的实现,在管理等方面比较欠缺,因而建成的系统具有深度异构特征,导致难以实现多部门间信息共享与重用,系统互操作性差。提高系统间的交互理解,实现各种海量多源多维交通数据的综合利用与共享,将交通运营管理上升到全局的高度,则成为我国交通信息系统建设所面临的迫切任务。

针对上述问题,国内许多学者开始了交通共用

信息平台的研究,尤其以关继珍^[3]、李瑞敏^[4]、刘卫宁^[5]、史其信^[6]等人为代表。同时,我国智能交通系统(ITS)共用信息平台的建设工作已在北京、上海等 10 个 ITS 示范城市展开,对共用信息平台的建设机制进行了探索。但是建设成果并不理想,交通信息系统的集成化水平仍较低,信息的共享和深层次综合性应用依然无法得到实现^[7],原因在于交通状态信息的语义理解以及 ITS 共享数据的有效集成方面比较欠缺。目前,国内外关于交通状态信息的语义理解研究主要集中在引入本体的概念。Wu 等^[8]提出了基于语义网格的 ITS 框架,较早考虑了交通数据的语义问题;黄珂萍、蒋昌俊等提出了基于本体模型的交通知识推理与数据查询^[9];李阳提出了 ITS 的本体框架,把本体的理论引入到 ITS 来实现语义的集成^[10];阳王东等通过城市交通本体建立了静态和动态的城市交通信息的统一语义模型^[11];

① 863 计划(2012AA112307)和国家自然科学基金(71273188)资助项目。

② 男,1961 年生,博士,博士生导师,教授;研究方向:智能计算,仿真技术研究等;联系人,E-mail:jwang@tongji.edu.cn
(收稿日期:2014-06-13)

李文雄等提出了 ITS 本体数据集成框架,该框架将分布于不同数据源的异构数据映射为具有统一语义描述的本体数据,最大程度地减小 ITS 内部对共享数据的二义性理解^[12]。但是上述的研究多侧重于本体建模的研究或者系统框架设计,且基于本体的语义理解研究在系统应用中较少。本文利用本体丰富的语义表达能力,提出了基于本体的交通状态信息统一语义理解机制。该机制为了增强系统间共享数据的能力,引入了中央数据登记簿(central data registry,CDR)。同时,将该机制置于交通状态云计算的环境中,构建了交通状态信息云服务平台及其子模块—交通事件管理语义检索系统。系统示范应用表明,本研究的成果对实际交通系统建设有应用价值和指导意义。

1 交通状态信息云服务平台

云计算技术为解决交通信息系统的集成化提供了新的思路与方法^[13-17]。本文提出的交通状态信息云服务平台是文献[18]提出的基于云计算的面向智能交通海量信息的高性能计算支撑公共服务框架的一个局部实现,是对交通系统集成向大集成方向发展的尝试。一方面本文提出的基于本体的交通状态信息统一语义理解机制依托该平台付诸实施,另一方面该平台的设计理念也考虑到交通状态信息统一语义理解的需求因素。

图 1 所示为交通云服务模式图。图中基础设施即服务(infrastructure as a service,IaaS)提供硬件基础设施部署服务,为用户提供虚拟的计算、存储和网络等资源;平台即服务(platform as a service,PaaS)把软件开发环境作为服务提供给用户,如操作系统、编程语言运行环境、数据库等;软件即服务(software as a service,SaaS)是基于云计算基础平台,以互联网为载体,为用户提供软件应用服务,在交通云服务模式中,SaaS 层包括各种数据应用服务、交通事件管理服务、流程服务、出行者个性化应用等。

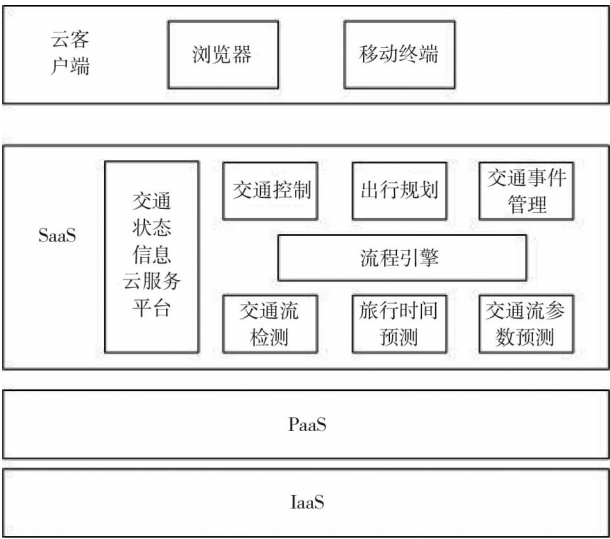


图 1 交通云服务模式

本文提出的统一语义理解机制的依托环境——交通状态云服务平台处于 SaaS 层,该平台提供的是交通状态元服务信息,即描述服务的信息,并不提供实现具体服务的功能。平台最终将实现一个云服务集群目录,并提供相应的检索和维护接口。平台用户可以通过平台提供的接口注册发布服务,也可发现服务。平台是服务请求者和服务提供者间的桥梁,可为双方提供交互的管道。

2 交通状态信息统一语义理解机制

2.1 交通状态信息统一语义理解机制

交通状态信息统一语义理解机制通过图 2 平台知识库与用户的交互进行展现。交通状态云服务平台的知识库由中央数据登记簿(CDR)^[19]、本体库和服务库组成。服务平台采用数据登记簿机制,一方面可有效保证平台内数据的统一,另一方面也提供了一种开放的注册机制。

在系统建设时,通过需求分析建立中央数据登记簿,并依照数据登记簿内容建立服务平台本体库。在系统运营时,根据需求变化及时有效地对数据登记簿内容进行数据更新,并同步触发本体库进化。

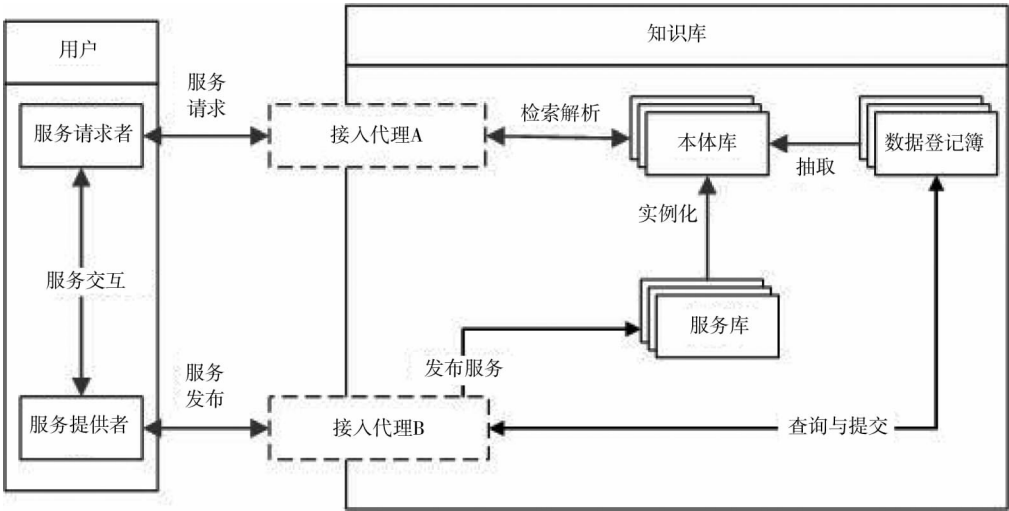


图 2 交通状态信息统一语义理解机制

图 3 以统一建模语言 (unified modeling language,UML)活动图展现了服务发布过程。服务提供者根据市场需求信息,向服务平台提交

服务发布请求。服务平台通过接入代理 B 获得发布信息后,查询中央数据簿中描述该服务所需关键元数据(即服务类别,服务输入、输出数据)是否存在。

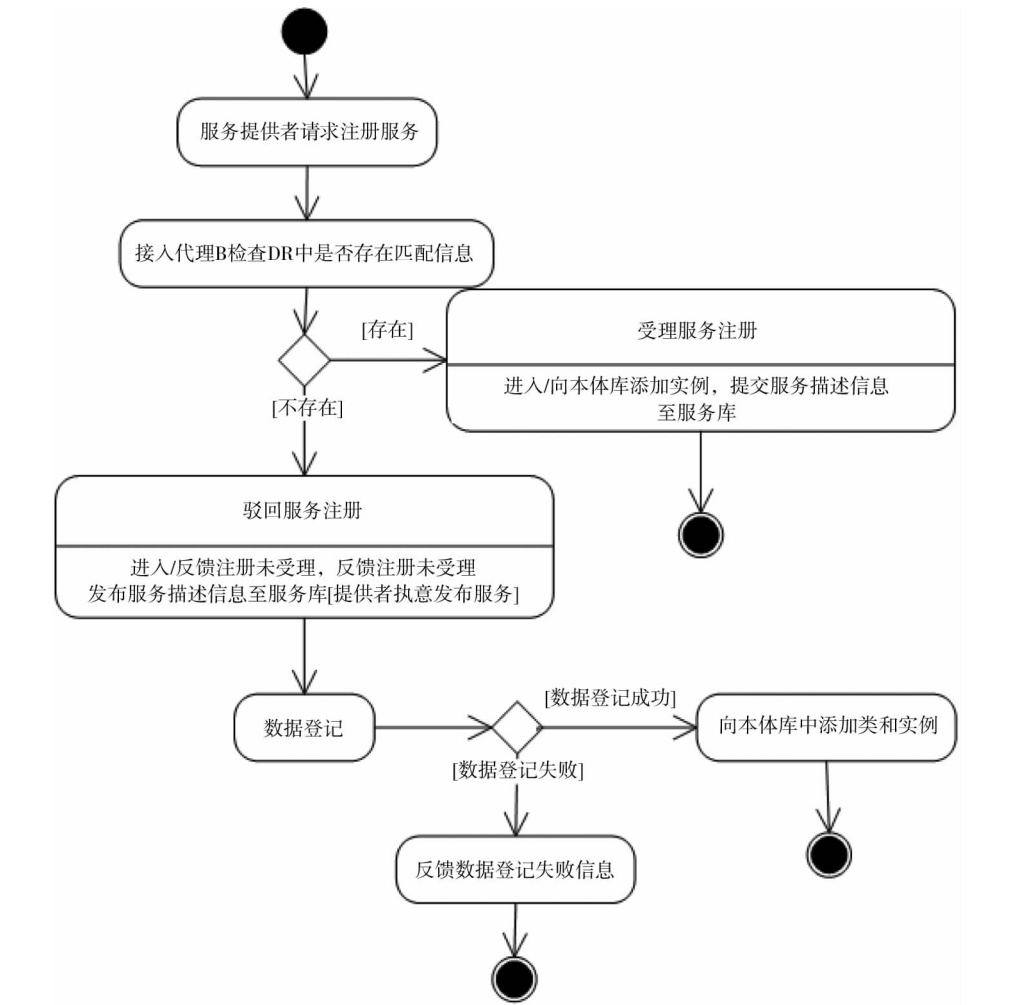


图 3 服务发布活动图

如果存在,则向本体库中所对应的服务类添加实例,并反馈发布成功信息。如果不存在,则记录相关信息,并向服务提供者反馈无匹配数据项,如服务提供者执意继续发布服务,则由服务提供者根据具体情况自行确定描述服务的关键元数据,但不会向本体库添加实例,此时服务请求者无法直接通过云服务平台获得该服务信息(此机制在以下情况中是有用的,如果服务提供者和服务请求者存在沟通管

道,又无法等待平台数据登记过程)。服务代理 B 将服务提供者确定的元数据提交给数据登记簿机构申请数据登记,数据登记簿机构会根据数据登记章程对提交的数据进行审核,如果审核通过,登记簿机构同意对数据进行登记,并同步触发本体的进化(类的更新与实例的添加)。

图 4 通过 UML 活动图展现了服务请求过程。

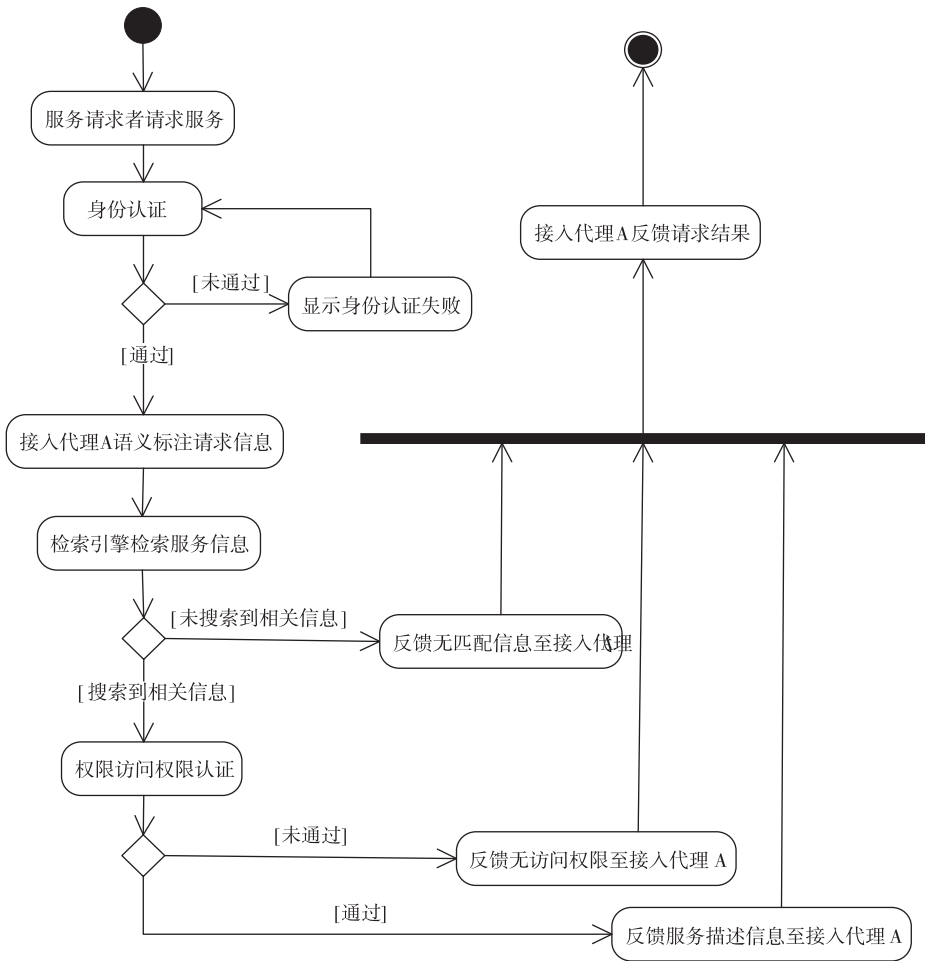


图 4 服务请求活动图

服务请求者通过接入代理 A 提交请求信息,在服务请求者身份以及权限认证通过之后,服务代理 A 对服务请求信息进行本体的语义标注后,向检索引擎提交检索请求,基于本体的检索引擎在完成检索后将结果反馈给接入代理 A,接入代理 A 则将与检索结果中的本体实例相关联的元服务信息反馈给服务请求者。服务请求者根据反馈的元服务信息列

表,选择合适的服务并获取与其交互所需要的信息,进而直接访问服务。

2.2 中央数据登记簿(CDR)

中央数据登记簿是实现交通状态信息统一语义理解机制的关键内容。在本机制中,中央数据登记簿标准为 ISO 14817 - 2002,由于著录范围不同,本机制中的数据登记簿与 ISO 14817 并非完全对等。

机制中的数据登记簿著录交通状态信息领域的共享词汇,这些词汇涵盖交通状态服务、交通状态数据、交通服务核以及它们三者的关联关系。下面仅以交通状态数据(5min 交通流量)为例,给出其在数据登记簿中的著录形式。

图 5 给出了交通状态数据著录示例。图 5(a)所示为 5min 交通流量实体作为对象类的著录,给出

了其关键属性(attributes)统一标识符、描述名称、定义以及同义描述名。5min 交通流量实体需要检测器 ID、起始时间和数值三个属性(property)来描述,图 5(b)以检测器 ID 属性为例对属性的著录进行说明。数据元素概念和数据元素的著录仅给出叙述名,如图 5(c)和 5(d)所示。

对象类: 5min交通流量	
1.标识符	100 001
2.描述名	FiveMinutesTrafficFlow
3.定义	步长为5分钟的交通流量实体
4.同义描述名	FiveMinutesFlow FiveMinuteStepTrafficFlow

(a)对象类著录示例

属性: 检测器ID	
1.标识符	400 001
2.描述名	detectorID
3.定义	设置在道路上的检测交通流参数的仪器的唯一编号

(b)属性著录示例

数据元素概念: 5min交通流量检测器ID
数据元素概念: 5min交通流量起始时间
数据元素概念: 5min交通流量数值

(c)数据元素概念示例

数据元素: 5min交通流量检测器ID: identifier
数据元素概念: 5min交通流量起始时间: time
数据元素概念: 5min交通流量数值: quantity

(d)数据元素示例

图 5 交通状态数据著录示例

2.3 交通事件管理领域本体库

交通状态云服务平台知识库中的本体库涉及的本体众多,本文仅从交通事件管理领域出发研究了交通事件管理领域本体库的构建。本文借鉴文献[20]中的方法,手工构建交通事件管理领域本体。该方法通过提出问题进行需求分析,然后利用 UML 对领域知识进行建模,最后通过 Protégé 本体编辑工具将领域知识形式化。

在对交通事件管理领域知识进行分析后,本文提出以下问题:(1) 服务的框架体系是怎样的?(2)交通事件管理领域中的服务应该如何组织?

(3)交通事件管理中涉及到哪些数据信息?

为了回答第(1)个问题(服务框架体系是怎样的?),本文遵循面向服务的架构(service oriented architecture,SOA)设计理念,服务由接口和服务核(算法或模型)构成,服务可以通过组合形成粒度更大的服务,具体细节如图 6 所示。

服务接口由三种类型组成,分别是单请求(Input)、单响应(Output)和请求/响应(Input&Output)。一个服务(或者说是一类服务)可以通过调用不同的算法和接口来实现。

通过图 7 回答第(2)个问题(交通事件管理领域

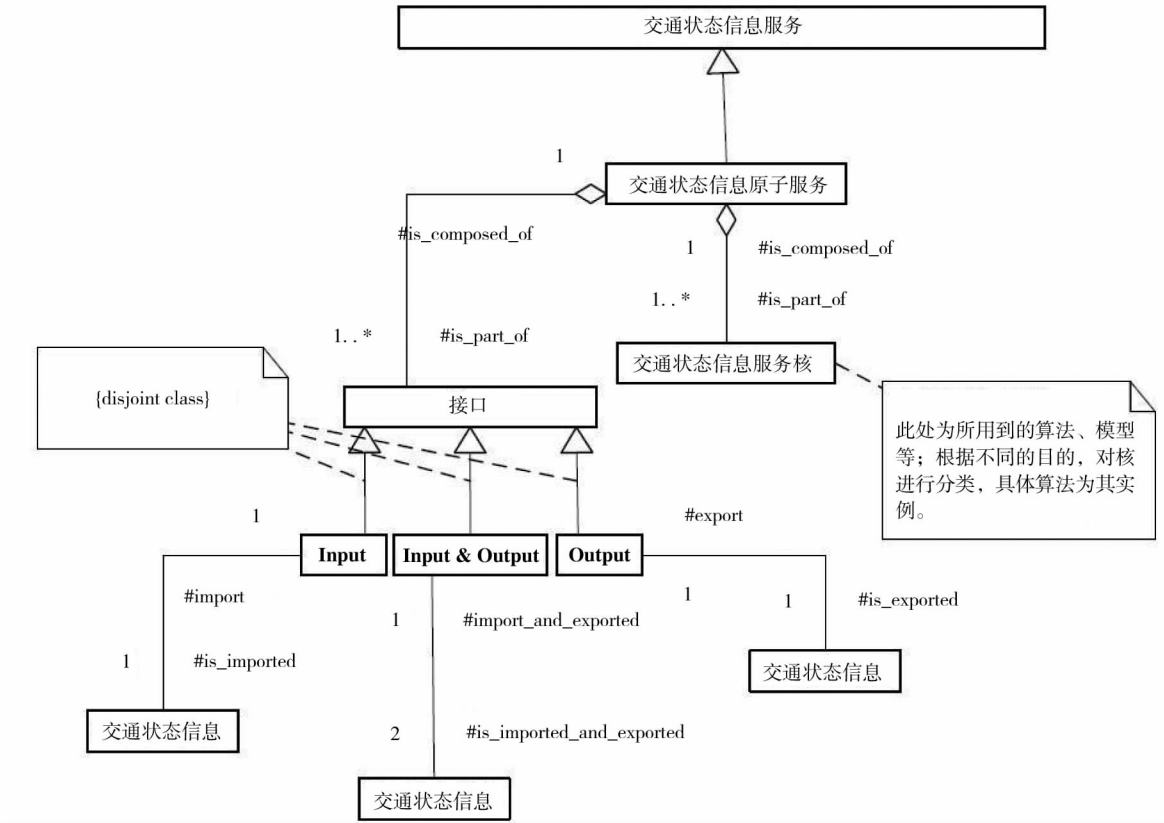


图 6 交通状态服务框架体系

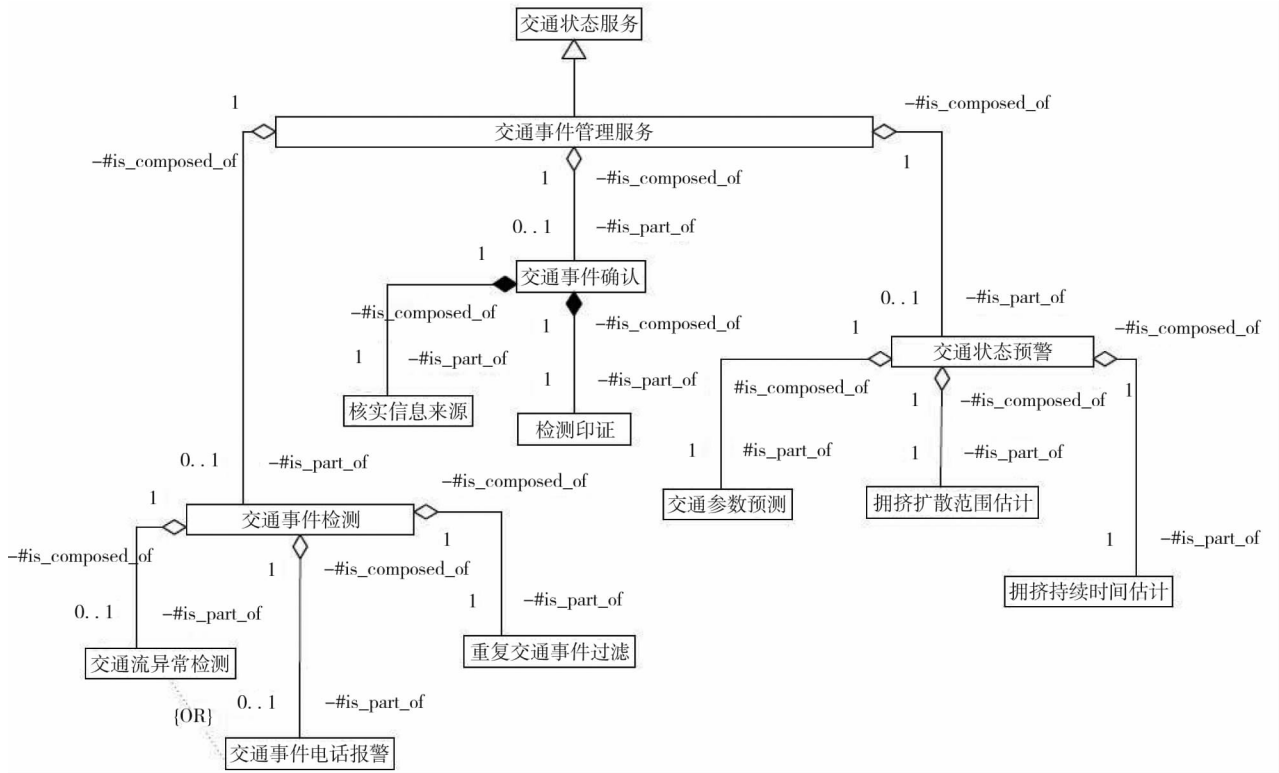


图 7 交通事件管理服务

的服务应该如何组织?)。

交通事件管理服务由交通事件检测、交通事件确认和交通状态预警组成。交通事件检测可利用交通流异常检测服务(自动检测)或交通事件电话报警(人工检测)进行,在检测出交通事件之后,需要核实该事件是否是之前已经检测出来的事件,以减轻处理后续工作的负荷。通过核实检测信息来源

(ITS 子系统,驾驶员等)和对检测结果进行印证通过后,确认发生交通事件。交通事件发生后,需要启动交通状态预警服务,对事件造成的拥挤扩散的时空范围进行预测和预警,并发布诱导信息。

第(3)个问题(交通事件管理中涉及哪些数据信息?)的回答由图 8 进行说明。

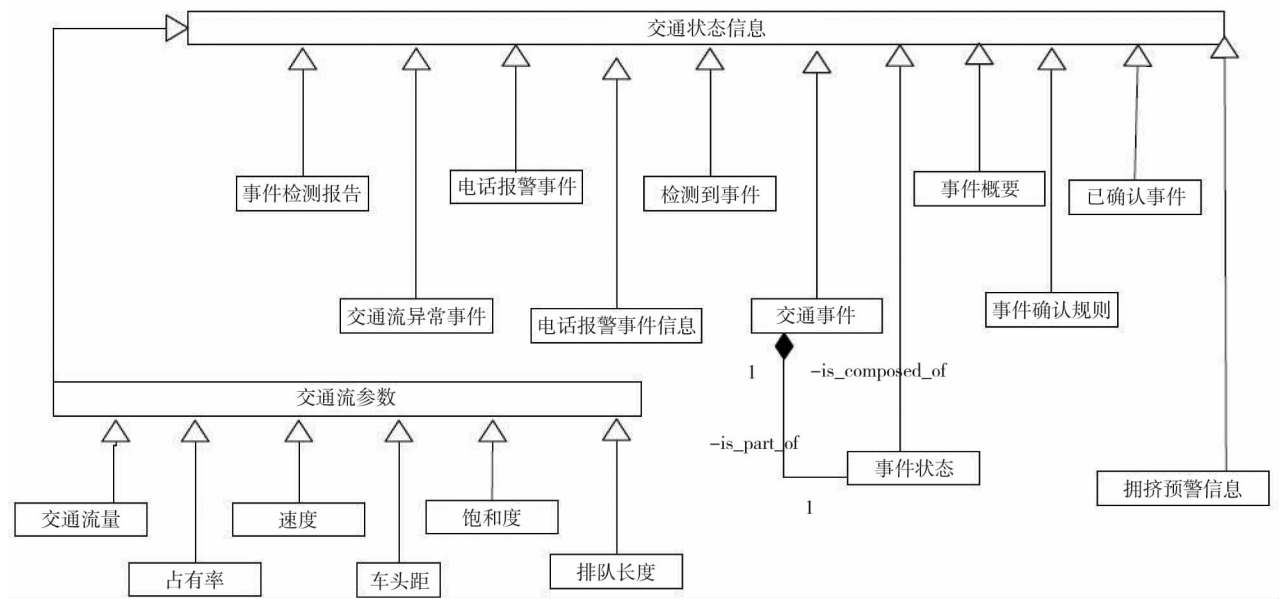


图 8 交通事件管理数据信息

以上通过统一建模语言(UML)对交通事件管理领域知识进行了建模,建模完成之后,采用网络本体语言(OWL)通过 Protégé 工具对领域知识进行形式化。在本体形式化过程中,最为关键和困难的部分是对关联的形式化。本文采用文献[21]给出的方法,通过属性限制定义对象完成对关联关系进行形式化。图 9 为本体构建完成后,本体的等级结构,其中,OWL Classes 下包括 Interface(服务接口)、MeasureUnit(测量单位)、swrla:Entity(规则)、TrafficStateInformation(交通状态信息)、TrafficStateService(交通状态服务)、TSSCore(服务核)。

3 交通事件管理语义检索原型系统

基于以上提出的交通状态信息统一语义理解机

制,本文设计并开发了交通事件管理语义检索原型系统,它是交通状态信息云服务平台的一个模块,服务请求者通过对平台范围内的服务进行发现。本系统基于开源的 Jena^[22] 框架实现了对交通事件管理领域本体的查询和推理。图 10 为平台的支撑技术,其中 Xfire 为 Java Web 服务引擎,负责服务的发布与调用。

图 11 为原型系统的系统框架图,系统框架分为四层:数据层、业务逻辑层、视图层与用户层。数据层不仅包括以 OWL 文件格式存储的本体文件以及服务库,同时还包含使用 SPARQL 语言对本体库进行检索得到的结果;业务逻辑层包括 XML/RDF 解析模块、SPRQL 查询模块以及 SQL 查询模块;视图层为语义查询接口以及服务展现模块,主要使用 JSP/Servlet 实现;用户层主要为面向系统的用户组,用户组使用

浏览器或移动终端进行服务的搜索与发现。

下面以“5min 交通流量”(FiveMinutesStepFlow)为例进行验证。图 12 为系统查询界面,图 13 为系统查询结果。从查询结果图中可知,语义检索不仅得到其初始结果,同样可以检索出其同义结果。通过进行本体与服务的关联,进而可以实现服务的发现。

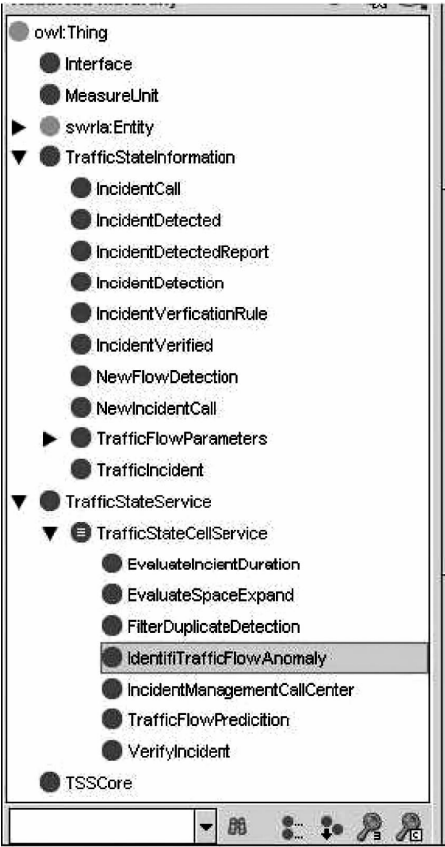


图 9 本体的等级结构

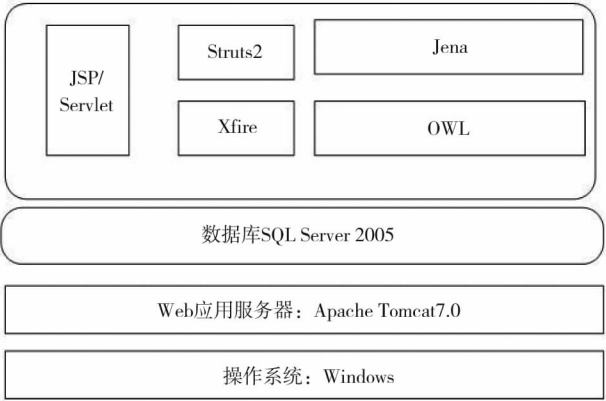


图 10 交通事件管理语义检索原型系统支撑技术

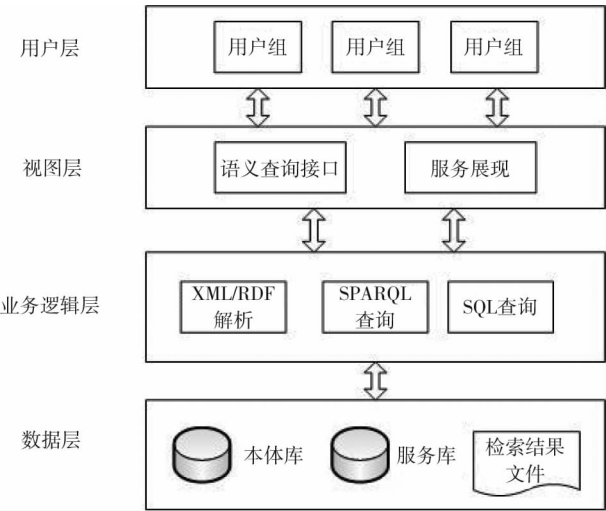


图 11 交通事件管理语义检索原型系统框架



图 12 系统查询页面

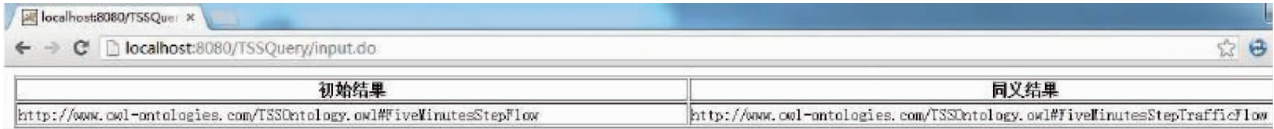


图 13 系统查询结果页面

4 结 论

高效准确地实现交通状态信息的无歧义理解,对信息系统集成及数据信息的共享利用具有重要的意义。本文依托“交通状态云服务平台”,通过引入中央数据登记簿,提出了基于本体的交通状态信息统一语义理解机制,同时探讨了机制中数据登记簿关于交通状态信息领域共享词汇的著录以及交通事件管理领域本体库的构建。为了验证该机制的有效性与正确性,设计开发了交通事件管理语义检索原型系统,给出了系统的支撑实现技术与系统框架。系统示范应用表明,本文成果在实际交通系统建设中具有指导与应用价值。如何有效地将该机制投入具体的系统建设将是下一步研究的重点。

参考文献

- [1] 《中国公路学报》编辑部. 中国公路交通学术研究综述. 中国公路学报,2012,25(2):2-50
- [2] Farooq U, Siddiqui M A, Gao L, et al. Intelligent transportation systems: An impact analysis for Michigan. *Journal of Advanced Transportation*, 2012, 46(1):12-25
- [3] 关积珍. ITS 共用信息平台系统结构及集成. 交通运输系统工程与信息, 2002, 2(4):11-16
- [4] 李瑞敏, 陆化普, 史其信. 智能交通系统综合信息平台研究. 中南公路工程, 2005, 30(2):30-33
- [5] 刘卫宁, 孙棣华, 宋伟等. 智能交通虚拟共用平台研究. 中国公路学报, 2004, 17(4):79-84
- [6] 史其信, 郑为中. 智能交通系统(ITS)共用信息平台架构及解决方案初步分析. 交通运输工程与信息学报, 2003, 1(1):41-47
- [7] 陈茜, 裘红妹, 林群等. 全国智能交通系统示范城市建设示例. 城市交通, 2008, 6(1):33-55
- [8] Wu Z, Deng S, Wu J, et al. DartGrid II: A semantic grid platform for ITS. *IEEE Transactions on Intelligent Systems*, 2005, 20(3):12-15
- [9] 黄珂萍, 蒋昌俊. 基于本体的城市交通的知识分析和推理. 计算机科学, 2007, 23(3):191-195
- [10] 李阳, 翟军, 陈燕. 用本体实现智能交通系统的语义集成. 信息技术, 2005, 4(6):10-14
- [11] 阳王东, 吴宏斌, 黄雪华等. 在城市交通信息集成中基于本体的语义融合模型. 交通运输系统工程与信息, 2012, 10(2):42-48
- [12] 李文雄, 闫茂德, 王建伟. 智能交通系统本体数据集成. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(7):3038-3045
- [13] 钱哨, 张云鹏, 黄少波. 智能交通云:基于云计算的智能交通系统. 计算机与现代化, 2010, (11):168-171
- [14] 石建军, 李晓莉. 交通信息云计算及其应用研究. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(1):179-184
- [15] Brizgalov V V, Chukhantsev V, Fedorkin E. Architecture of traffic control systems using cloud computing. In: Xi International Conference and Seminar EDM' 2010. Novosibirsk, Russia, 2010, 215-216
- [16] Prasad D K. Adaptive traffic signal control system with cloud computing based online Learning. In: Proceedings of the 8th International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS), Singapore, 2011. 1-5
- [17] Jaworski P, Edwards T, Moore J, et al. Cloud computing concept for Intelligent Transportation Systems. In: Proceedings of the 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Washington, USA, 2011. 391-936
- [18] 徐恩虎, 凌卫青, 王坚等. 基于云计算的面向智能交通海量信息的高性能计算支撑公共服务框架. 机电产品开发与创新, 2013, 26(1):87-89
- [19] 王笑京, 张可, 张建通. ITS/TICS 中央数据登记簿标准及其在交通共用信息平台建设中的应用. 交通运输系统工程与信息, 2002, 2(4):5-10
- [20] Houda M, Khemaja M, Oliveira K, et al. A public transportation ontology to support user travel planning. In: Proceedings of the 4th International Conference on Research Challenges in Information Science(RCIS), Nice, France, 2010. 127-136
- [21] Noy N, Rector A, Hayes P, et al. Defining n-ary relations on the semantic web. *W3C Working Group Note*, 2006, 12:4

An ontology based mechanism for unified understanding of the semanteme of traffic state information

Wang Jian, Yang Qikai, Ling Weiqing

(CIMS Research Center, School of Electrical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804)

Abstract

To improve the integration level of traffic information systems, the subject on correct semantic understanding of traffic state information was studied, and a mechanism for achieving the unified semantic understanding of traffic state information based on ontology was proposed. The mechanism introduces the data registry to strengthen the data share and makes use of the ontology's semantic expression, so it can overcome the current problem that traffic information systems' integration level is relatively low and intelligent transport systems' information sharing and reuse cannot be widely implemented owing to the lack of unified planning and coordination in construction of traffic information systems. In order to verify the correctness and effectiveness of the mechanism, a cloud platform for traffic state information and its sub-module, the traffic incident management semantic retrieval system, were built. The application demonstration shows that the research results are applicable in intelligent transportation systems, and can promote understanding and interaction for massive multi-source and multi-dimensional traffic state information. Therefore, the proposed mechanism has the application and reference values to the information construction process of china's transportation systems.

Key words: traffic state information, semantics, ontology, data registry, cloud service