

语义仓储 Virtuoso 的技术分析和应用*

邹益民^{1,2} 张智雄¹ 钱力^{1,2} 王颖¹

¹中国科学院国家科学图书馆,北京 100190 ²中国科学院大学,北京 100190

摘要 指出如何对海量的 RDF 数据进行存储、查询、获取和推理是 RDF 数据管理研究领域最关心的问题之一。分析语义仓储 Virtuoso 的系统架构,在同其他语义仓储存储模式对比的基础上,剖析基于扩展三元组表存储模式的 Virtuoso 的 RDF 数据存储模式和索引机制;对 Virtuoso 扩展的 SPARQL 查询语言 SPARUL 的优点及采用后向推理引擎的方法进行研究;利用 Virtuoso 和 Solr 构建基于图模式的 UKAT 的术语服务原型系统,讨论系统存在的不足及未来的工作方向。

关键词 Virtuoso 语义仓储 术语服务 RDF 存储

分类号 TP392

Technical Analysis and Application of Semantic Repository-Virtuoso

Zou Yimin^{1,2} Zhang Zhixiong¹ Qian Li^{1,2} Wang Ying¹

¹National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

Abstract Vast amounts of RDF data storage, query, access and reasoning is one of the greatest concern of the RDF data management research areas. This paper analyzes the system architecture of the Virtuoso. Comparing with other storage modes of semantic repository, it discusses the RDF data model which based on the extended triple table model and index mechanism of the Virtuoso, and studies the advantages of the SPARUL-SPARQL Update Language and the consideration of using the backward inference. It also builds the prototype system of terminology services for UKAT based on Virtuoso and Solr, and points the problems and future works about the system.

Keywords Virtuoso semantic repository terminology services RDF store

1 引言

越来越多的 RDF (Resource Description Framework) 数据集被生成、发布、检索和重用,在 2011 年 9 月发布的最新关联开放数据云图 (linking open data cloud diagram) 中已经包含了 295 个数据集和超过 310 亿个三元组^[1],而截至 2012 年 3 月,在 OpenLink 公司的关联数据云缓存 (LOD cloud cache) 中也包含超过 510 亿个三元组^[2]。如何对这些大量的 RDF 数据进行管理,提供高效的数据存储、查询、获取甚至推理机制是目前 RDF 数据管理研究领域最关心的问题之一。

在国内,对海量 RDF 数据的管理也有着迫切的实际需求,国家科技文献中心正在进行超级英文科技词表的建设,并利用知识组织系统 (Science & Technology

Knowledge Organization System, STKOS) 对词表进行组织,以支持在海量科技文献中的知识发现和推理。为了能够利用由超级词表组成的 RDF 数据进行有效的存储和管理,笔者对基于内存存储模式的语义存储 SwiftOWLIM^[3-4]、基于传统数据库存储模式的语义仓储 CumulusRDF^[5]、3Store^[6]、Virtuoso^[7]、Oracle^[8] 等以及采用原生方式进行存储的语义仓储 AllegroGraph^[9]、BigOWLIM^[3-4,10]、Bigdata^[11]、Jena TDB^[12] 等,进行了分析和实际的测试,最终选取 Virtuoso 对超级英文科技词表进行存储和管理。主要出于以下考虑:①与采用原生方式和基于内存存储的模式相比,Virtuoso 在现有的关系数据库上加入了对 RDF 数据的支持,可以充分利用现有关系数据库的查询优化、事务处理、访问控制、日志和数据恢复等技术,技术成熟度高;②基于 Virtuoso 进行 RDF 数据存储的应用也越来越多,例如:

* 本文系国家十二五科技支撑计划项目“面向外科技文献信息的知识组织体系建设与应用示范”(项目编号:2011BAH10B00)课题三“科技知识组织体系共享服务平台建设”研究成果之一。

收稿日期:2012-08-17

修回日期:2012-10-16

本文起止页码:97-102

本文责任编辑:王传清

BioGateway^[13]、Bio2RDF^[14]、DBpedia-live^[15]和 Neurocommons^[16]等而 VIVO 项目^[17]也计划在 1.5 版本中采用 Virtuoso 作为底层语义仓储,应用的广泛性从侧面反映了 Virtuoso 的优越性,减少了项目的风险;③Virtuoso 提供的开源版本能支持数十亿规模的三元组存储和管理,满足了超级英文科技词表的实际需要。但目前关于 Virtuoso 的技术分析的文献还相对较少,尤其是国内还尚未出现以 Virtuoso 为主题的文章,本文主要围绕 Virtuoso 的系统架构、内部存储和检索机制以及查询和推理策略进行研究,同其他语义仓储的相关技术进行对比和分析,并利用 Virtuoso 设计开发基于图模式的 UKAT(UK Archival Thesaurus)^[18]术语服务原型系统,以期对关注 RDF 数据管理的研究人员有所帮助。

2 Virtuoso 系统架构

Virtuoso 是 OpenLink 公司开发的一款跨平台的对象关系数据库、虚拟/通用数据库,拥有强大的过程语言,支持 Java 和 .Net 语言的内嵌,可以通过 Web、Web Services、ODBC 和 JDBC 等进行数据的访问^[7]。加上 Virtuoso 对 RDF 数据强大的存储和管理机制使其在 Web 2.0 时代作为存储语义数据的仓储拥有巨大的吸引力,系统架构见图 1。目前 Virtuoso 对外提供开源和商业两种版本,开源版本比商业版在系统性能上有所降低,并且在功能上有所减少,例如:缺少对第三方数据库的集成、地理空间数据的索引和查询以及对分布式集群的支持等^[19]。

语义仓储与(对象)关系数据库管理系统相比最大的不同在于:①用本体作为语义模式,并允许在这些数据上进行推理;②采用了更加灵活和通用的数据模式(例如:图),这使其能够快速解释和适应新的本体和元数据模式。Virtuoso 和一些专门针对 RDF 图模式设计的语义仓储 AllegroGraph^[9]、4Store^[21]和 BigOWLIM^[3-4,10]等不同,它采用与 Oracle^[8]相似的策略,即在现有(对象)关系数据库上增加了对 RDF 数据的支持,一方面可以充分利用传统数据库的事务处理、查询优化、访问控制、日志和数据恢复等功能,技术成熟度高、系统稳定,另一方面可以实现语义数据和其他数据的无缝连接。目前,Virtuoso 能够对超过 510 亿个三元组进行管理,并且可以为 Jena、Sesame 和 Redland 等语义网架构提供底层数据库的支持^[22]。

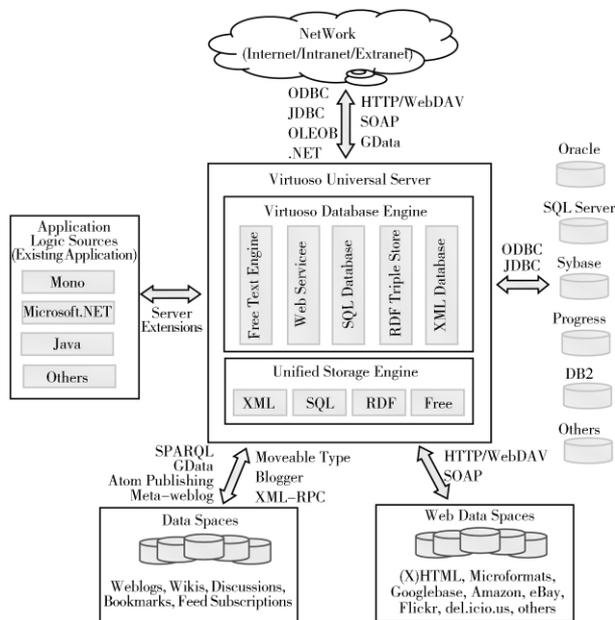


图 1 Virtuoso 系统架构^[20]

3 存储和索引机制

3.1 RDF 的存储模式

存储模式是数据存储面临的基本问题,是指数据逻辑上和物理上如何在存储设备上组织,根据存储介质的不同,语义仓储大致可以分为基于内存的存储模式、基于传统数据库的存储模式和原生方式(native)模式,而基于传统数据库的存储模式,以基于(对象)关系数据库为例,又可分为:三元组表模式(triple table)、垂直分割模式(vertical partitioning)和属性表模式(property table)。Virtuoso 的 RDF 存储机制则是对三元组表模式的一种扩展形式,增加了一列 G 用于对命名图(name graph)的支持,把所有的三元组连同命名图信息存放在四元组表 DB.DBA.RDF_QUAD 中,如表 1 中(a)所示,表中的 G、S、P 和 O 列分别对应命名图、主语、谓语和宾语,为了减少存储空间,将 IRI(或 URI)和一些长的 Literal 存放在一些辅组表中,增加两种新的数据类型 IRI_ID 和 ANY 来支持不同表中的数据映射,IRI_ID 为一个 32 位的无符号整数,允许 4G 个不同的 IRI,可以支持数十亿三元组的数据规模,如果数据集规模较大,还可以将 IRI_ID 动态升级到 64 位。ANY 可以用于保存任意序列化的 SQL 标量,包括 IRI。在 DB.DBA.RDF_QUAD 表中的 G、S 和 P 列的数据类型为 IRI_ID 与 DB.DBA.RDF_IRI 表中的 RI_ID 列的值相对应,表中的 RI_NAME 列用于存放 IRI 的值,如表 1 中(b)所

示。DB、DBA、RDF_QUAD 表中的 O 列则为 ANY 类型,当 O 列的值为整数或短字符串时,直接存储在 DB、DBA、RDF_QUAD 中,而当 O 为长的字符串时其值存储在 DB、DBA、RDF_OBJ 表的 RO_LONG 列中,如表 1 中(c)所示。这一点与 Oracle 不同——Oracle 将所有值都分配一个 ID,不考虑其具体的类型和长度^[23]。

表 1 Virtuoso 基于扩展三元组的存储模式

(a) DB、DBA、RDF_QUAD Table		(b) DB、DBA、RDF_IRI Table		(c) DB、DBA、RDF_OBJ Table	
列名	数据类型	列名	数据类型	列名	数据类型
G	IRL_ID	RI_NAME	VARCHAR	RO_ID	BIGINT
S	IRL_ID	RI_ID	IRL_ID	RO_VAL	VARCHAR
P	IRL_ID			RO_LONG	LONG VARCHAR
O	ANY			RO_FLAGS	SMALLINT
				RO_DT_AND_LANG	INTEGER

这种通过增加辅组表和内部 ID 来减少存储空间的方式,增加了查询的响应时间,是在存储空间和响应时间之间的一种平衡方式。另外,Virtuoso 不建议用户直接去操作这些表,因为系统通过一种特殊的方式对这些表中的数据进行了索引和缓存,而这些索引和缓存不会随着这些表中的数据的变化而自动进行更新,如果直接对这些表进行数据更新,将会造成数据的不一致性,形成一些脏数据^[22],对这些表中的操作则可通过系统提供的 ISQL、SPARQL 或 HTTP 等方式进行。

3.2 RDF 的索引机制

Virtuoso 采用扩展的三元组表模式对 RDF 数据进行存储,这种方案简洁、明了且易于实现,并独立于具体的本体模式,但存在查询处理效率低的问题。这是因为所有的数据都存放在一张表中,一个复杂 SPARQL 查询将会被转换成存在大量自连接的 SQL 查询,如果三元组的数量巨大,随着自连接次数的增加,查询时间也会随之显著增长,并且有可能导致内存溢出。为了提高查询效率,采用该模式的语义仓储多是在三元组表下增加索引,将三元表中的每列都放在索引中,以此来减少自连接查询带来的开销。

Virtuoso 也不例外,在系统默认情况下,其在 DB、DBA、RDF_QUAD 表下构建了 5 个索引,即所谓的“2+3 索引”,两个全索引(PSOG 和 POGS)和三个部分索引(SP、OP 和 GS),并将 POGS 设计成位图索引,通过存储键值的起止位置来减少占用的存储空间,用于对宾语的查找;三个部分索引不对重复的条目进行多次存储,通过缩小索引的尺寸来提高查询的效率。例如:当 P 明确,而 S 和 O 其中一个已知的情况下,可以通过 SP 和 OP 索引查找到 SP 和 OP 对,然后通过 PSOG 索引查找到 <G S P, O> 四元组。另外,在数据更新的时候

部分索引中的条目不会被删除,这并不会引起错误的查询结果,因为查询结果总是会在全索引 PSOG(或 POGS)得到确认,这样的设计保证了数据更新的效率。例如:对于删除一个图后,又重新插入一个相似的图的操作,SP、OP 和 GS 索引受到的影响比较小,但如果数据被频繁更新,也需要通过重建部分索引来保证系统的性能。5 个索引的设计比采用 4 个全索引(PSOG、OPGS、POGS 和 GPOS,其中后三个为位图索引)的方式节约了 30% - 40% 的存储空间^[22],并且能够满足绝大多数应用情景的需要,不需要用户对其进行优化。但有时也需要通过增加其他索引来满足实际的需求,例如:在对 RDF 数据进行分面检索时就需要 4 个完全索引来提供支持。

4 查询和推理策略

4.1 SPARQL 查询

SPARQL 是 W3C 提出的针对 RDF 数据的查询语言标准,为了利用(对象)关系数据库成熟的查询处理技术来支持 SPARQL 查询,流行的方式采用将 SPARQL 直接映射到 SQL 的方式来实现,这样仅需编写 SPARQL 编译器,简化了实现 SPARQL 查询执行引擎的工作量。Virtuoso 采用了一种更加高效的方式^[24],其对原有的 SQL 编译器进行了函数扩充,像 GROUP BY 和其他聚合函数子句一样,Virtuoso 将 SPARQL 查询模式当成一个子查询(派生表)内嵌在 SQL 中,该方法类似于 Oracle 表函数 RDF_MATCH 的功能^[25]。这样就避免了编写 SPARQL 编译器的工作,还可以避免 SPARQL 与 SQL 转换后可能出现的 SQL 语句代价过高的问题^[23]。将 SPARQL 内嵌在 Virtuoso SQL 中执行的优点还有:①重用客户端,包括:ODBC、JDBC、ADO.NET 和 OLE/DB 等,只需在查询语句前用“SPARQL”关键字进行标识,系统即可识别出执行的语句为 SPARQL;②重用 SQL 查询优化器,可以隐式利用 SQL 所有的聚合函数,例如:GROUP BY 和 ORDER BY,目前标准的 SPARQL 还不支持这些聚合函数,但其在语义仓储查询和展示上发挥着重要的作用;③可以实现 SPARQL 和 SQL 查询的无缝连接,Virtuoso 扩展了 SQL 92 语法,可以将 SPARQL 查询结果返回给 SQL 查询语句。

Virtuoso 除了使 SPARQL 支持聚合函数外,对其的扩展还主要体现在全文检索和 RDF 数据管理上,首先在全文检索上,并没有像 YARS2^[26]一样采用 Lucene 作为全文索引,而是利用 C 语言开发了自己的全文索

引 并将 bif: contains 内嵌在 SPARQL 中 ,例如:

```
SELECT * FROM <http://www.ukat.org.uk>
WHERE { ? S skos: prefLabel ? lable. ? lable
bif: contains 'Education' }
```

能够将符合条件且包含“Education”或“edacation”的首选词查找出来 ,例如 “Comparative education” ,但不会查找出 “Educational environment” ,这也是其与 SPARQL 中 regex 函数的区别 ,regex 更多地相当于 SQL 语句中 like 的功能。同时 ,bif: contains 也可以实现模糊匹配的功能 ,例如将上例中的 bif: contains ‘Education’ 改为 bif: contains " 'Education* ' "。另外 ,SPARQL 1.0 不支持对 RDF 数据的更新功能 ,Virtuoso 将其扩展成 SPARUL ,可以对 RDF 数据进行插入和删除等更新操作。

4.2 后向推理引擎

语义仓储不但应具有管理显式 RDF 数据的能力 ,还应该可以根据规则和显式数据推理出隐含表达的 RDF 语义信息 (隐式数据) 。例如: 已知 { XPY} 和 { YPZ} 且属性 P 具有传递性 ,即可推理出事实 { XPZ} 。根据是否对隐式数据进行物化 ,可以将语义仓储分为采用前向推理引擎的语义仓储和采用后向推理引擎的语义仓储。前者在数据导入过程中即将隐式数据存入语义仓储中 ,这种方式在查询时不再执行推理操作 ,减少了查询响应时间 ,但也增加了存储空间的消耗 ,并且在数据更新时要重新进行推理 ,此类语义仓储有: Jena 和 BigOWIM 等。而 Virtuoso 和 4Store 则属于后者 ,Virtuoso 认为在开放的网络环境下 ,事实易于改变 ,容易被撤销或事实之间相互矛盾 ,甚至有些是恶意的 ,并认为使用前向推理时 ,首先对推理出的事实进行物化是不现实的。另外 ,大量的经验也表明 ,用户只对语义仓储中的一小部分内容感兴趣 ,特别是对等价和传递的推理 ,因此 Virtuoso 实施了后向推理的策略^[27]。

在 Virtuoso 中 ,大部分的 TBOX 推理 ,例如: rdfs: subClassOf 和 rdfs: subPropertyOf ,都可以通过查询重写来实现 ,并将其直接融入到了 SQL 执行引擎中 ,例如:

```
SELECT? person WHERE { ? person alubm: Professor }
```

Virtuoso 会加入一些额外的查询 ,对所有类 lubm: Professor 的子类进行遍历 ,并返回所有这些类中的人员。

对于 ABOX 推理 ,Virtuoso 采用了特殊的方式来支持 owl: sameAs ,首先对于 S 和 O 的推理 ,例如: SELECT? lat WHERE { < Berlin > has_latitude? lat} 尽管

< Berlin > 没有直接的纬度信息 ,如果 geo: Berlin 具有纬度信息 ,并且声明和 < Berlin > 为同义词 ,geo: Berlin 的纬度信息将被作为结果进行返回。另外在对 P 的推理上 ,Virtuoso 采用与 TBOX 推理相似的方式 ,并且可以通过加入条件 (例如: 推理的深度) 来限制返回的结果^[27] ,例如: 模式 < John > foaf: knows ? person option (transitive) 将返回所有 John 认识的人和这些人认识的所有人等 ,一直到全传递闭包 ,而查询:

```
select? p2where{
  { select? p1? p2where{
    p1foaf: knows? p2. ? p2foaf: knows? p1}
  } option transitive( in( ? p1) out( ? p2) ) .
filter( ? p1 = < John > ) }
将仅返回和 John 相互认识的人。
```

5 基于 Virtuoso 术语服务系统的设计和 实施

术语服务是知识组织系统共享的重要平台 ,是知识组织系统由理论走向实际应用的关键环节 ,为了利用 Virtuoso 对国家科技文献中心正在组织开发的超级英语科技词表进行组织和发布 ,笔者设计开发了基于 UKAT 的术语服务原型系统 ,以对相关的设计和技术进行验证。UKAT 即英国档案叙词表 ,该词表是专门为英国档案部门编制的 ,可以在其网站上下载 SKOS Core 格式的数据 ,其共包含 13 976 个概念、84 个概念范畴和 120 090 个三元组^[18]。整个系统架构从下到上共分为 4 个层次: 数据层、数据持久层、逻辑控制层以及 Web 展示层 ,如图 2 所示:

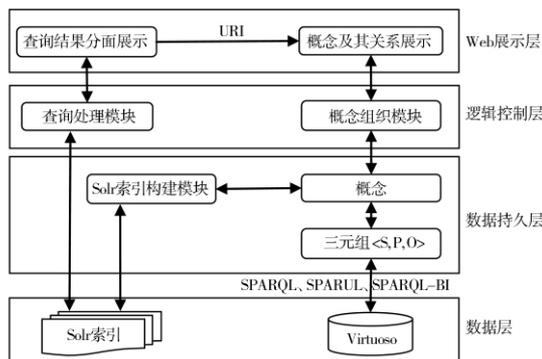


图 2 基于 Virtuoso 术语服务的系统架构

5.1 数据层

该层是数据存储层。Virtuoso 支持对 RDF/XML、TURTLE 以及 N3 等格式的 RDF 数据进行存储 ,并为数

据导入提供多重机制,包括: Web 页面进行小数据的导入、ISQL 进行的批量导入以及通过 SPARQL 进行的数据导入等。笔者通过 ISQL 命令: DB. DBA. RDF_LOAD_RDFXML_MT (file _ to _ string _ output(' UKAT=skos. rdf') , 'http://www.ukat.org.uk'); 将 UKAT 导入 Virtuoso 中,并使用“http://www.ukat.org.uk”作为其命名图的 IRI。虽然 Virtuoso 提供了全文和分面检索功能,但考虑到 Solr 在全文和分面检索上的突出性能和灵活的组织方式,笔者采用 Solr 对 UKAT 中的概念和范畴以及概念之间、概念和范畴之间、范畴之间的相互关系建立索引,并通过 HTTP 协议对外提供全文检索服务。

5.2 数据持久层

主要对存储在 Virtuoso 里的数据进行读取,并进行逻辑上的封装。通过 JDBC 执行 SPARQL 查询,利用编写的 Triple 类对查询结果进行封装形成三元组的形式,利用 Concept 类将三元组组织成概念。其中,Concept 类中包含了 getConceptPrefLabel、getConceptAltLabels、getConceptInSchemes、getConceptBroaders、getConceptNarrowers、getConceptScopeNote 和 getRelateConcepts 等方法,分别用于获取概念的属性和相关概念。Solr 索引构建模块通过 getConcept 方法从三元组中获取 Concept 类的实例,实例中包含了概念之间以及概念和范畴之间的相互关系,通过 SKOSDocument 类将 Concept 实例与 Solr 索引字段相映射,并写入索引文件中。

5.3 逻辑控制层

该层负责查询处理和组织概念之间的关系,为 Web 展示层做数据上的准备。概念组织模块根据用户的请求对概念的相关关系进行计算,通过设定相应的参数来规定概念之间的相关性(概念之间的远近程度),以此来限制返回的概念层级数。查询处理模块通过 SolrSearcher 类对用户的请求进行处理,添加相应的参数,如:分面设置、返回条数等,并将其通过 URL 传递给 Solr 索引,并在索引中获取相应的结果,利用 Solr-ResultVo 类对返回结果进行组织,以便页面能够被更加方便地展示。

5.4 Web 展示层

利用 Spring 架构和 JSP 页面对获取的相关结果进行展示。在查询结果中对概念所属范畴、相关概念、上位概念以及下位概念等进行了分面,其展示页面见图 3。点击相应的分面选项,可进行分面导航,执行二次分面,点击相应的概念,可进入概念展示页面,见图 4,页面的左侧展示了概念的属性及其相关概念的首选术

语,而右侧则对概念的 RDF 片段进行了揭示。



图 3 查询结果分面展示页面



图 4 概念展示页面

6 结论

本文对 Virtuoso 的系统架构、存储和索引机制以及查询和推理策略做了分析,同其他语义仓储进行对比,并利用 Virtuoso 构建了 UKAT 的术语服务原型系统,为基于超级英语科技词表的科技知识组织体系共享服务平台建设做了技术上的探索,但在很多方面还需要进一步的完善,下一步工作包括:在概念的展示上引入可视化的方式,更加直观地揭示概念之间的更多关系;在数据存储上,充分利用 Virtuoso 对命名图的支持,在更小的粒度上对概念进行组织;在数据规模上,使其达到超级词表预期的数量级;在性能上,做进一步的测试。另外,在权限控制、用户接口以及相关的辅助功能等方面还需要进一步的探索。

参考文献:

[1] LinkingOpenData [OL]. [2012 - 04 - 22]. http://www.w3.org/wiki/SweoIG/TaskForces/CommunityProjects/LinkingOpenData.
 [2] LOD Cloud Cache [OL]. [2012 - 04 - 22]. http://lod.openlink-sw.com/.
 [3] OWLIM [OL]. [2012 - 04 - 22]. http://www.ontotext.com/owlim.
 [4] Bishop B , Kiryakov A , Ognyanoff D , et al. OWLIM: A family of scalable semantic repositories [J]. Semantic Web , 2011 (2) : 33 - 42.

- [5] Ladwig G , Harth A. CumulusRDF: Linked data management on nested key-value stores [OL]. [2012-04-22]. <http://iswc2011.semanticweb.org/fileadmin/iswc/Papers/Workshops/SSWS/Ladwig-et-au-SSW2011.pdf>.
- [6] Harris S , Gibbins D N. 3store: Efficient bulk RDF storage[OL]. [2012-04-22]. <http://eprints.aktors.org/273/01/pass03-swh.pdf>.
- [7] Virtuoso universal server[OL]. [2012-04-22]. <http://virtuoso.openlinksw.com/>.
- [8] Oracle [OL]. [2012-04-22]. <http://www.oracle.com/tech-network/database/options/semantic-tech/index.html>.
- [9] AllegroGraph[OL]. [2012-04-22]. <http://www.franz.com/agraph/allegrograph/>.
- [10] Kiryakov A , Bishop B , Ognyanoff D , et al. The features of Big-OWLIM that enabled the BBC's World Cup website [C]//Proceedings of the Workshop of Semantic Data Management , Singapore 2010: 1-4.
- [11] Bigdata [OL]. [2012-04-22]. <http://www.bigdata.com/blog/>.
- [12] Jena[OL]. [2012-04-22]. <http://incubator.apache.org/jena/>.
- [13] Biogateway [OL]. [2012-04-22]. <http://www.semantic-systems-biology.org/biogateway>.
- [14] Bio2RDF[OL]. [2012-04-22]. <http://bio2rdf.org/>.
- [15] DBpedia-live[OL]. [2012-04-22]. <http://dbpedia.org>.
- [16] NeuroCommons [OL]. [2012-04-22]. <http://neurocommons.org>.
- [17] ViVo[OL]. [2012-04-22]. <http://vivoweb.org/>.
- [18] UKAT[OL]. [2012-04-22]. <http://www.ukat.org.uk/>.
- [19] Virtuoso commercial and open-source version comparison [OL]. [2012-04-22]. <http://virtuoso.openlinksw.com/features-comparison-matrix/>.
- [20] The unique hybrid server architecture of Virtuoso [OL]. [2012-06-22]. <http://virtuoso.openlinksw.com/images/varch625.jpg>.
- [21] Harris S , Lamb N , Shadbolt N. 4store: The design and implementation of a clustered rdf store[C]//Proceedings of the 5th International Workshop on Scalable Semantic Web Knowledge Base Systems. Washington DC ,2009:94-109.
- [22] OpenLink Virtuoso universal server: Documentation [OL]. [2012-04-22]. <http://docs.openlinksw.com/virtuoso/>.
- [23] Implementing a SPARQL compliant RDF triple store using a SQL-ORDBMS[OL]. [2012-04-22]. <http://virtuoso.openlinksw.com/dataspace/dav/wiki/Main/VOSRDFWP>.
- [24] Erling O , Mikhailov I. Virtuoso: RDF support in a native RDBMS [J]. Semantic Web Information Management , 2010 (1) : 501-519.
- [25] Erling O , Mikhailov I. RDF support in the virtuoso DBMS [J]. Networked Knowledge - Networked Media , 2009 (221) : 7-24.
- [26] YARS2 [OL]. [2012-04-22]. https://grenada.lumc.nl/LOVD2/mendelian_genes/home.php?select_db=YARS2.
- [27] SPARQL and scalable inference on demand [OL]. [2012-04-22]. http://www.openlinksw.com/weblog/oerling/scalable_inference.pdf.

(作者简介) 邹益民,男,1983年生,助教,博士研究生,发表论文8篇,出版著作1部;张智雄,男,1971年生,研究馆员,博士生导师,博士,发表论文100余篇;钱力,男,1981年生,馆员,博士研究生,发表论文8篇;王颖,女,1982年生,馆员,博士,发表论文10余篇。

(上接第73页)

要在广泛征求志愿者和图书馆员工意见的基础上出台一套大多数人认可的制度,并予以公布,在激励中严格按制度执行。

参考文献:

- [1] 丁刚. 哈佛里的中国天才们(详细报道) [EB/OL]. [2012-09-20]. <http://www.people.com.cn/GB/paper68/5027/535995.html>.
- [2] 共青团中央.《中国注册志愿者管理办法》[EB/OL]. [2012-09-20]. http://www.ccyll.org.cn/documents/zqf/200611/t20061128_1545.htm.
- [3] 程荣芳. 高校图书馆学生志愿者培训研究[J]. 图书馆建设, 2011 (8) : 88-90, 93.
- [4] 李晋瑞,吕芳. 书香传递志愿情——浅谈高校图书馆开展志愿服务的管理模式[J]. 高校图书馆工作, 2011 (1) : 42-44.
- [5] 程荣芳. 高校图书馆志愿者管理探析[J]. 图书馆学研究, 2011 (7) : 39-42.
- [6] 颜先卓. 高校图书馆引入义工初探[J]. 图书馆杂志, 2010 (6) : 46-47.
- [7] 唐增增. 学生培训大使参与图书馆培训讲座[EB/OL]. [2012-09-28]. <http://news.hzau.edu.cn/showarticle.php?aid=44267>.
- [8] 规范化管理 [EB/OL]. [2012-09-20]. <http://baike.baidu.com/view/1442588.htm>.

(作者简介) 唐增增,女,1984年生,馆员,硕士,发表论文9篇。

张俊,女,1966年生,副教授,党总支书记,硕士生导师,发表论文90余篇,出版专著1部。

吴天吉,女,1982年生,馆员,硕士,发表论文10余篇。