

# 网络虚拟化环境下虚拟网络资源描述及发现模型

贾 伟, 夏靖波

(空军工程大学 信息与导航学院, 陕西 西安 710077)

**摘 要:** 网络虚拟化本质是一种资源共享技术. 在网络虚拟化环境中, 各种物理资源都要虚拟化为抽象的逻辑资源, 从而实现资源与需求的灵活匹配. 资源描述和发现是资源匹配的基础. 由此构建了一种分层分域的资源运行管理框架, 在此基础上针对虚拟网络资源的特点, 提出了一种基于 OWL 的虚拟网络资源描述及发现机制. 从而为虚拟网络资源的描述及发现提供了一种行之有效的新途径.

**关键词:** 网络虚拟化; 虚拟网络请求; 资源描述; 资源发现

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2016)01-0104-06

## Virtual Network Resource Description and Discovery Model Under Network Virtualization Environment

JIA Wei, XIA Jing-bo

(College of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** Network virtualization is essentially a resource sharing technology. In network virtualization environment, all kinds of substrate network resource were abstracted as logical network resource, so as to realize the flexible matching of resources and traffic demand. Resource description and discovery is the basis of matching. A hierarchical domain resource management framework was proposed. On this basis of it, a virtual network resource description and discovery mechanism based on OWL was given out. Thus, an effective new way is provided for virtual network resource description and discovery.

**Key words:** network virtualization; virtual network request; resource description; resource discovery

### 1 引言

网络虚拟化是为了解决互联网的僵化问题而提出的<sup>[1]</sup>. 其核心思想是通过将底层物理网络资源进行抽象, 构建虚拟网络资源池, 在可共享的网络资源池上构建各种满足不同业务需求的虚拟网络. 这样实现了基础设施与服务提供相分离, 改变了以往两者紧密耦合的特点, 从而可以根据用户的业务需求灵活高效地进行资源匹配. 在网络虚拟化环境下, 基础设施提供者负责物理网络资源的虚拟化, 并提供给服务提供者. 服务提供者根据抽象后的虚拟资源完成业务需求与虚拟资源的匹配. 资源描述是物理网络资源抽象为虚拟网络资源的关键, 在有效资源描述的基础上服务提供者就可以完成资源的注册、

发布和匹配过程. 因此如何以有效的方式实现资源的描述和发现成为亟待解决问题.

目前关于虚拟网络资源描述的方法相对较少, 文献[2]中针对虚拟网络资源的特性提出了一种基于混合粒度的资源描述方法, 可以对不同粒度的资源进行描述. 文献[3]中提出了一种基于 WSDL 的虚拟网络资源描述方法以及虚拟网络运行管理框架. 文献[4]中认为资源匹配和虚拟网络划分是跨域虚拟网络映射问题的关键, 并基于 OWL 语言创建了资源描述知识库, 为后续的资源匹配以及虚拟网络划分提供了有效支撑. 但它主要针对节点资源进行描述, 并且侧重点在虚拟网络映射. 文献[5]中提出了基于 XML-Schema 的资源描述方法, 但是 XML-Schema 的语义仍然是隐含的, 并且需要用户

去进行推断或者通过文档进行描述. 因此难以满足虚拟网络资源描述的要求. 除了上述较少针对虚拟网络资源描述的研究之外,还有许多典型的资源描述方法<sup>[6]</sup>.

上述方法应用于虚拟网络资源描述中时或多或少都存在一定的缺陷. 因此本文在借鉴前人经验的基础上,围绕着虚拟网络资源的有效描述展开研究.

2 虚拟网络资源运行管理架构

在进行虚拟网络资源描述之前,有必要首先明确虚拟网络资源的运行管理流程. 在网络虚拟化环境中,基础设施和服务提供相分离,这是一种全新的理念,和传统的网络模式存在很大区别. 如图 1 所示.

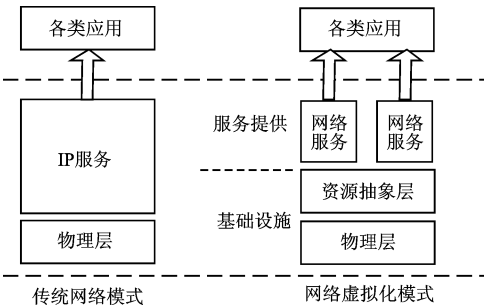


图 1 网络虚拟化与传统网络的区别

基于全新的网络模式,传统的网络运行管理必然发生转变. 本文构建了集中式管理、分布式控制的运行管理框架. 如图 2 所示.

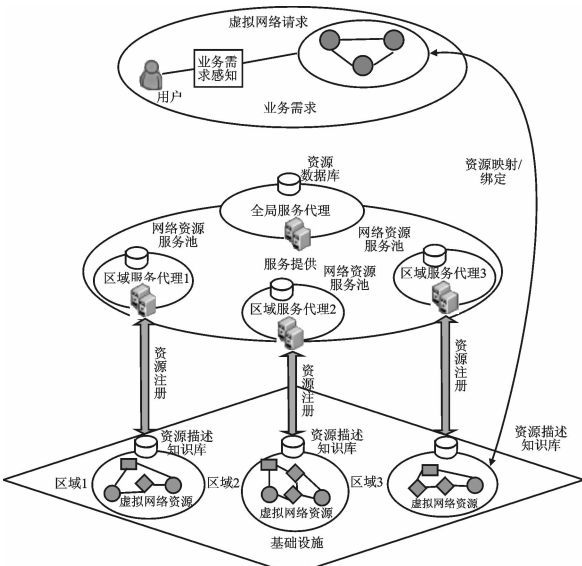


图 2 运行管理架构

图中整个基础设施划分为不同自治域,每个自

治域要将抽象后的虚拟网络资源进行标准的形式化描述,并将描述文档存放于资源描述知识库中. 基于此向区域的服务代理完成资源的注册发布,最终以服务的形式提供给用户. 用户的业务需求通过需求感知抽象成为相应的虚拟网络请求,最终由服务代理完成资源和请求的绑定. 可见虚拟网络资源的描述是实现整个流程的基础.

3 虚拟网络资源特性

资源描述的对象是抽象后的各种虚拟网络资源. 因此,必须首先了解各种虚拟网络资源类型及其相关属性. 图 3 表示典型的网络虚拟化模型.

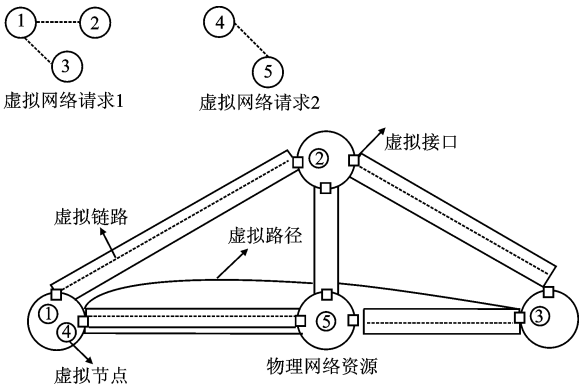


图 3 网络虚拟化模型

如图 3 所示,在网络虚拟化环境中,包括了虚拟网络请求和抽象后的网络资源. 根据图论的相关理论,一个网络可以被描述成加权无向图  $G = (N, L)$ , 其中  $N$  表示网络节点集合, 表示为  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$ ;  $L$  表示网络链路集合, 表示为  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ .

其中一个网络节点在满足最大节点能力(以 Cpu 能力为例)的前提下可以被虚拟成为具有不同节点能力的多个虚拟节点. 具体表示如下:

$$n_k = \{n_{k1}, n_{k2}, \dots, n_{kj}\}, n_k \in N, \\ \sum_{\alpha=1}^j \text{Cpu}(n_{k\alpha}) \leq \text{Cpu}(n_k),$$

式中,  $j$  表示该节点承载了  $j$  个虚拟节点.

一条网络链路在不超过最大带宽的前提下可以被虚拟成为多条具有不同带宽虚拟链路. 虚拟链路通过接口和虚拟节点进行连接. 具体表示如下:

$$l_k = \{l_{k1}, l_{k2}, \dots, l_{kj}\}, l_k \in L, \\ \text{Interface} = \psi(N, L),$$

$$\sum_{\alpha=1}^j B(l_{k\alpha}) \leq B(l_k).$$

式中,  $j$  表示该链路承载了  $j$  条虚拟链路.

基于上述分析,网络资源包括了节点、链路、路径和接口等不同的网络元素.网络元素是一个网络组成的基本构件,这些元素共同构成了一个网络,支撑着整个网络的正常运行.每种网络元素都具有相应的属性.由此看来,虚拟网络资源是一种典型的概念-属性的关系.具体如图 4 所示.

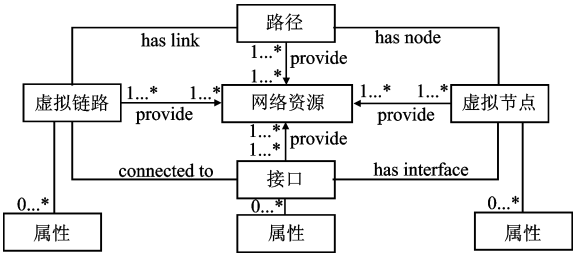


图 4 网络资源关系图

图 4 中所描述的只是一种粗粒度的关系,这种关系还可以进一步细分.每个网络元素的属性又可以划分为多个可枚举属性和数值型属性.可枚举属性又可以泛化出不同的子概念,并与之对应.它表示了网络元素的基本特性;数值型属性则由相应的数值表示(可能是具体数值也可能为一个数值范围).它与网络元素的能力息息相关,并随着时间或者环境的变化而动态变化.表 1 表示了细分后概念.这里的资源描述同样适用于虚拟网络请求.因为对于一个虚拟网络请求而言,它本身是以粗粒度的形式存在,并且具有一定的生命周期,将其看作一个业务的话,具体的节点、链路和接口资源需求就可以看作细粒度的子业务.为了更好地进行全面描述,这里加入了生命周期和可用性两种属性.

表 1 资源的属性

| 资源名称 | 可枚举属性                        | 数值型属性                |
|------|------------------------------|----------------------|
| 节点   | 标识、类型、注册时间、提供者、操作系统、可用性      | Cpu、内存、生命周期          |
| 链路   | 标识、类型、连接方式、网络协议、注册时间、提供者、可用性 | 带宽、QoS(时延、丢包率等)、生命周期 |
| 接口   | 标识、类型、连接的链路和节点               | —                    |
| 路径   | 源节点、中间节点、目的节点、包含的链路          | 带宽、QoS               |

表 1 中的节点、链路和接口又被划分为若干个子概念和子属性.具体的关系如图 5 所示,由于路径包括了节点和链路的相关属性,所以图 5 中未进行表示.

4 虚拟网络资源描述遵循的原则

本节根据虚拟网络资源的特性定义虚拟网络资源描述时应该遵循的几点原则,具体如下.

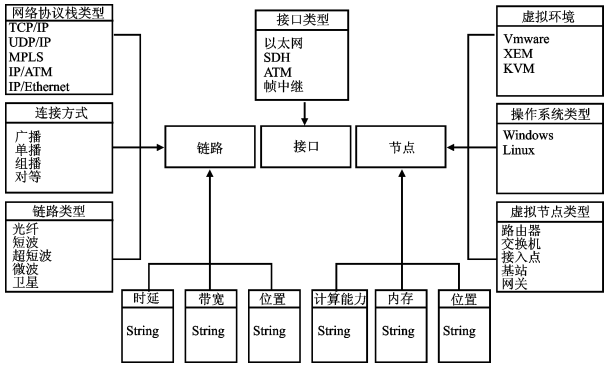


图 5 属性关系图

(1)在资源描述的基础上,虚拟网络资源最终要在注册中心以服务的形式进行封装、注册和发布提供给用户.因此资源描述机制应该可以被计算机自动识别,以便更好地实现服务的智能化、自动化调用;

(2)虚拟网络资源具有不同的粒度,如一条路径通常由多条链路和多个中继节点组成.因此资源描述应该能够以不同的粒度对资源进行描述,并且明确不同元素之间的关系;

(3)虚拟网络请求具有一定的生命周期,因此为了保证资源的可持续利用,资源描述必须能够支持资源的动态变化.

(4)随着信息技术的飞速发展,未来可能会出现各种各样新型网络资源.因此描述模型应可以进行动态扩展.

5 基于 OWL 的虚拟资源描述

虚拟网络资源需要作为 Web 服务进行发布.传统的基于语法的资源描述方法都只是提供了资源的基本描述格式,缺少语义信息.本体由于天然的优势非常适合描述各种不同的、分散的网络资源以及资源间的语义关系.通过本体描述的语义文档可以被计算机理解 and 处理.OWL 是 W3C 推荐的一种标准的本体描述语言<sup>[10]</sup>.因此本文基于 OWL 语言进行了虚拟网络资源描述.在进行资源描述之前首先明确 OWL 和 XML、RDF/RDFS 之间的关系.如下所示.

|      |
|------|
| OWL  |
| PDFS |
| RDF  |
| XML  |

从图中可以看出,从 XML 到 OWL 是逐渐丰

富完善的过程. XML 提供了基本的描述语法. RDF<sup>[11]</sup>是基于 XML 的数据模型. RDFS<sup>[12]</sup>补充 RDF,并提供了类和属性的定义. OWL 在 RDFS 的基础上,加入了许多属性约束和规则,提供了类、属性以及基数等概念描述能力,具有更强大的表达能力.

### 5.1 XML、RDF 和 RDFS

XML 语言可以用来实现 Web 上的信息存储和传递信息,并且可运行在不同的平台之间. 它提供了基本的语法支持.

RDF<sup>[7]</sup> (Resource Description Framework, 资源描述框架)是一种通用的资源描述框架,具有结构简单、实用性强、容易扩展和可开放性等特点. RDF 提供了一种细粒度的资源描述机制,在 RDF 中,资源的属性也可以作为资源,属性的值也可以作为资源. 通常其模型由资源、属性和声明三部分组成. 声明部分是对资源及其属性的具体描述,描述由一个三元组构成:主体、谓词和客体.

RDFS 以 RDF 为基础,描述了模型中的资源类别和属性,为 RDF 加入了语义信息. 但其表达能力非常有限.

### 5.2 基于 OWL 的资源描述

在 OWL 语言中,一个本体的基本元素包括类、个体和属性.

#### 5.2.1 类的定义

OWL 中以 owl:class 来进行类的定义,下面以节点资源的特性进行描述.

```
<owl:Class rdf:ID="virtual network resource"/>
<owl:Class rdf:ID="node">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="# virtual network resource"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="eAttribute">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="# node"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="nAttribute">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="# node"/>
</owl:Class>
```

上述代码定义了节点类,它是虚拟网络资源类的子类.

#### 5.2.2 属性的定义

属性的定义分为对象属性和数值属性. 对于节点而言,它包括了可枚举属性和数值型属性类. 结合属性的定义表示如下.

##### (1)对象属性

可枚举属性可以通过对象属性进行定义,具体定义如下:

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID="eAttribute"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="# node"/>
  <rdfs:range rdf:resource="# Enumeration"/>
</owl:ObjectProperty>
```

同时对于可枚举属性,它又包括了多个不同的子属性. 具体定义如下:

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID="functionType"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="# eAttribute"/>
  <rdfs:range rdf:resource="# Enumeration"/>
  < rdfs: subProperty rdf: resource = " # eAttribute"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="osType"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="# eAttribute"/>
  <rdfs:range rdf:resource="# osType"/>
  < rdfs: subProperty rdf: resource = " # eAttribute"/>
</owl:ObjectProperty>
```

每个子属性可以通过枚举类 owl:oneOf 来描述该类包含的所有个体. 具体定义如下:

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID="osType"/>
  < rdfs: subProperty rdf: resource = " # eAttribute"/>
  <owl:oneOf rdf:parseType="Collection">
    <owl:Thing rdf:about="# windowsXP"/>
    <owl:Thing rdf:about="# fedora"/>
    <owl:Thing rdf:about="# ubuntu"/>
    ...
  </owl:one of>
</owl:ObjectProperty>
```

##### (2)数值属性

数值型属性可以通过数值属性进行定义,具体定义如下:

```
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="cpuCapability"/>
<rdfs:domain rdf:resource="# nAttribute"/>
  <rdfs:range rdf:resource="String"/>
</owl: DatatypeProperty>
```

上述代码定义了数值属性 cpuCapability,它的定义域是 nAttribute,值域为 String. 如 cpuCapability=3.0 GHz.

对于上述属性服务提供者都可以根据资源的实时状态对其进行相应的添加、删除和更改操作.

#### 5.2.3 属性约束的定义

属性约束的定义既可以用来表示虚拟资源的相关属性约束,OWL 语言提供了 owl:minCardinali-

ty,owl:maxCardinality 和 owl:cardinality 来描述资源属性的约束. 其中 owl:minCardinality 和 owl:maxCardinality 表示最大最小数值,可以用来表示一定的取值范围. owl:cardinality 表示一个精确的数值. 这里以一条链路的需求为例,带宽为 20 Mb,时延 $\leq 10$  ms,丢包率 $\leq 1\%$ ,生命周期 10 天,具体描述如下:

```
<owl:Class rdf:about="bandwidth">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#link1">
    <owl:Restriction>
      < owl: onProperty rdf: resource = " #
hasValue"/>
      < owl: cardinality rdf: datatype = " &-xsd;
string">
        20Mb
      </owl: cardinality>
    </owl:Restriction>
  </rdfs subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="delay">
  <owl:Restriction>
    < owl: onProperty rdf: resource = " #
hasValue"/>
    <owl:maxCardinality
rdf:datatype="&-xsd:string">
      10ms
    </owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="lossratio">
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty rdf:resource="# hasValue"/>
    < owl: maxCardinality rdf: datatype = " &-xsd;
double">
      20Mb
    </owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
</owl:Class>
<owl:Class>
<owl:Class rdf:about="lifetime">
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty rdf:resource="# hasValue"/>
    < owl: maxCardinality rdf: datatype = " &-xsd;
string">
      10days
    </owl: maxCardinality>
  </owl:Restriction>
</owl:Class>
```

以上是对于虚拟网络的资源的基本描述,相比其他描述语言,OWL 提供了更加丰富的语义信息,通过属性的交、并、补等运算以及属性的声明可以更具具体地对虚拟资源及其之间的关系进行进一步描述,使计算机可以更好地理解,为资源的服务化封装、服务的发现、匹配提供更好地支持.

5.2.4 虚拟网络资源描述的实现流程

基于上面的描述方法,资源描述的具体实现流程如下:

- (1)各个区域的服务代理获取本区域的网络资源的类型、数量和状态等相关信息;
- (2)根据各种资源的属性生成区域资源描述模型;
- (3)根据模型生成基于 OWL 的资源描述文档并存放于本区域的资源知识库.

基于此各个区域都可以实现对区域内各种资源的描述,并可以根据用户需求的不同提供不同粒度的描述. 基于 OWL 的描述机制提供了更加丰富、全面的网络资源的语义信息,为业务需求和资源的匹配提供了更为灵活的支撑.

6 虚拟资源的发现

高效地资源描述机制是为资源的发现、匹配服务的. 本节主要构建虚拟网络资源的发现模型.

6.1 聚类框架

由于虚拟网络资源包括了各种各样类型的资源,为了更好地实现资源的发现. 可以对资源进行聚类操作,将相似的资源聚为一类,从而提高资源发现的效率. 由于虚拟网络资源是一种概念与属性的关系,本文采用层次化概念聚类方法<sup>[8]</sup>,根据不同的概念层次可以进行不同级别的聚类操作. 这里以 8 个节点及对应的链路为例,聚类框架如图 6 所示.

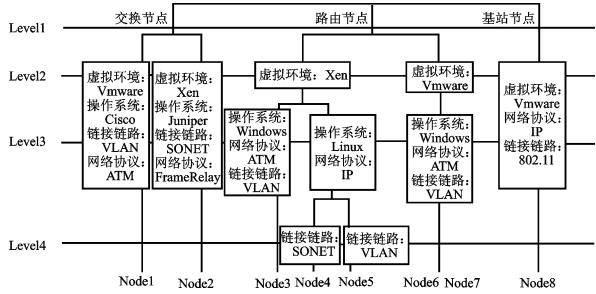


图 6 资源聚类框架

6.2 发现模型

虚拟网络资源的发现模型如图 7 所示. 对于任意一个资源请求,它包括了对资源的功

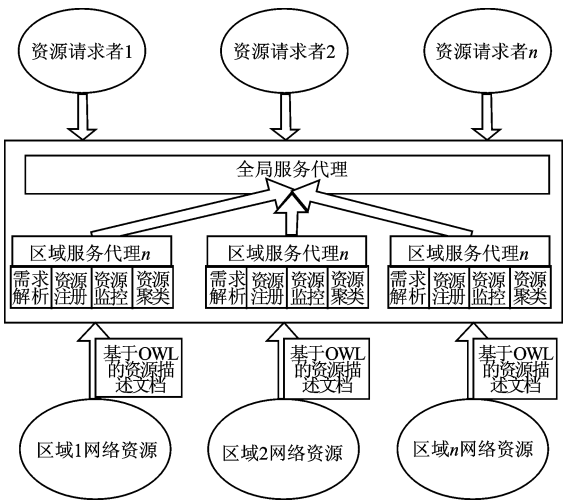


图7 资源发现模型

能属性和非功能属性的请求. 这些属性所包含的内容都可以作为资源发现的基础,如资源的接口、类型以及资源的实时状态数据. 发现过程中可以以一种属性或者多种属性的组合,通过计算资源请求与实际资源之间的相似度来实现资源发现. 具体的流程如图8所示.



图8 资源发现的具体流程

图8中,资源请求就近接入区域服务代理,代理的需求解析模块将用户的请求解析为具体的资源需求,并采用 SPARQL<sup>[9]</sup>语义查询规范根据区域资源的 OWL 描述文档进行查询. 并对用户进行回应(接收或者拒绝),如果进行接收则进行资源匹配操作.

7 结束语

本文针对虚拟网络资源描述及发现模型进行研究. 首先构建了一种分层分域的资源运行管理框架,在此基础上提出了基于 OWL 语言的虚拟网络资源描述模型,使得资源描述具有更加丰富的语义信息.

最后结合资源的描述构建了资源的发现模型. 资源描述和发现是资源匹配的基础. 下一步将针对虚拟网络资源的匹配问题进行研究.

参考文献:

[1] Wang A, Iyer M, Dutta R, et al. Network virtualization: technologies, perspectives, and frontiers [J]. Journal of Lightwave Technology, 2013, 31 (4): 523-547.

[2] 苏喜娟, 徐名海, 徐玉, 等. 基于混合粒度的虚拟资源描述和发现模型[J]电信科学, 2013, 29(2): 43-50.

[3] Yuemei Xu, Yanni Han, Wenjia Niu, et al. A reference model for virtual resource description and discovery in virtual network[C]// Proceedings of Computational Science and Its Applications-ICCSA2012. Berlin Heidelberg: springer Verlag, 2012: 297-310.

[4] 肖葛玲, 王颖, 孟洛明, 等. 基于知识描述和遗传算法的跨域虚拟网络映射[J]. 2014, 25(10): 2189-2205.

[5] Houessem Medhioub, Ines Houidi, Wajdi Louati, et al. Design, Implementation and evaluation of virtual resource description and clustering framework[C]// 2011 International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Biopols: IEEE, 2011: 83-89.

[6] Koslovski G P, Primet P V-B, Charao A S. VXML: virtual resources and interconnection networks description language[C]// Proceedings of GridNets 2008, Springer, Heidelberg: IEEE, 2009: 138-154.

[7] RDF concepts and abstract syntax[EB/OL]. [2015-04-20]. <http://www.w3.org/TR/rdf-concepts/>.

[8] Ines Houidi, Wajdi Louati, Djamel Zeghlache, et al. Virtual resource description and clustering for virtual network discovery[C]// Proceeding of IEEE International Conference on Communications Workshops. Presden: IEEE, 2009: 1-6.

[9] 段红伟, 孟令奎, 黄长青, 等. 面向 SPARQL 查询的地理语义空间索引构建方法[J]测绘学报, 2014, 43(2): 193-199.

作者简介:

贾伟男, (1986-), 博士研究生. 研究方向为网络虚拟化. 夏靖波男, (1963-), 博士, 教授. 研究方向为网络虚拟化. E-mail: william-1282008@163.com.