

语义虚拟环境本体可视化模型的研究

刘一松 赵吉庆 许祥虎 王昌海

(江苏大学计算机科学与通信工程学院 镇江 212013)

摘 要 当前信息可视化所面临的一个瓶颈就是,需要一种模型来把场景图形内容和特定领域的语义信息进行有效集成,使用户可以有效地解释个性化可视化信息。基于 X3D 标准以及本体用本体描述语言 OWL 描述 X3D 标准,构建了一个 X3D 标准本体和一个映射本体来实现 X3D 标准本体和其他具体领域本体之间类和属性的映射,以达到丰富虚拟场景语义的目的。基于 X3D 标准本体和映射本体设计了语义虚拟环境本体可视化模型,从而为具体领域本体实现可视化提供了一种方法。实验结果证明了该模型的可行性。

关键词 X3D,语义虚拟环境,本体,OWL,本体映射

中图分类号 TP18 **文献标识码** A

Research of Semantic Virtual Environment Ontology Visualization Model

LIU Yi-song ZHAO Ji-qing XU Xiang-hu WANG Chang-hai

(School of Computer Science and Telecommunication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract Currently, information visualization is facing a bottleneck a model is needed to integrate the scene graphics content and the semantic information of specific areas effectively so that the users can effectively interpret, personalize the visualized information. Based on the X3D standard and Ontology, the Web ontology Language named OWL was used to descript the X3D standard and then a X3D standard ontology and a mapping ontology used to implement the mapping of classes and attributes between the X3D standard ontology and the other specific domain ontology were built to enrich the semantics of virtual scene. Based on the X3D standard ontology and the mapping ontology, a semantic virtual environment ontology visualization model was designed to provide a method for the visualization of specific ontology. The feasibility of this model was proved by the experimental results.

Keywords X3D, Semantic virtual environment, Ontology, OWL, Ontology mapping

在当前虚拟现实的研究中,为了把信息表示为计算机能够理解和处理的形式,即带有语义,将语义 Web 应用于虚拟现实领域,提出了语义虚拟环境的概念,即在场景内容中加入表示其含义的语义信息,让计算机可以自动与人协调工作,从而提高计算机处理信息的自动化和智能化。

在语义虚拟环境的研究方面,文献[1]用本体来描述虚拟环境中虚拟对象的存取信息,虚拟对象及其属性分别以外部文件的形式存在,且定义的虚拟对象的属性只考虑到文中所应用到的,具有一定的局限性,描述虚拟环境的时候,需要同时维护虚拟场景文件和本体描述文件。文献[2]提出了一个描述互动数字对象的模型,并通过集成 MPEG-7 标准和域知识为虚拟对象添加语义信息,却忽略了虚拟对象的几何信息。综上所述,二者并未统一地集成虚拟场景图形内容和场景语义信息。

针对以往工作中出现的一些不足,本文基于 X3D 标准,利用 Web 本体描述语言(Web Ontology Language, OWL)构

建了一个 X3D 标准本体(X3D-Standard-Ontology, X3DSO),来集成虚拟场景图形内容和场景语义信息;同时利用一个映射本体(Mapping-Ontology, MO)来实现 X3DSO 和具体领域本体间类和属性的映射,丰富场景的语义;并基于 X3DSO 和 MO 设计了语义虚拟环境本体可视化模型,通过该模型实现了一个飞碟本体和台球本体的可视化,证明了该模型的可行性。

1 语义虚拟环境本体

基于 X3DSO 构建的语义虚拟场景有几个重要的优点。首先,在语义场景中可以描述节点之间的语义内部关系,而在 X3D 严格的层次模型中做不到。例如,可以描述一个属于多个类共享的属性(如, height 高度属性)。其次,场景的本体可以描述场景中有意义且有效的多对多关系,如本体场景图中孩子节点可以共享多个父节点。再次,OWL 提供了大量的描述逻辑,可以为图形和虚拟现实概念及其原语提供完整丰富

到稿日期:2011-08-05 返修日期:2011-11-22 本文受江苏大学高级专业人才科研启动基金项目(10JDG063),江苏省社会发展计划(BS2001046),江苏省高校自然科学基金计划(03kj520075)资助。

刘一松(1966—),男,博士,教授,主要研究方向为人工智能、智能虚拟主体、虚拟现实, E-mail: zhaojiqing_123@163.com; 赵吉庆(1985—),男,硕士生,主要研究方向为语义网、虚拟现实; 许祥虎(1987—),男,硕士生,主要研究方向为几何造型; 王昌海(1987—),男,硕士生,主要研究方向为语义网、描述逻辑。

的语义描述,此外,本体的应用允许在开发过程中加入一些智能推理,因此关于虚拟现实的推理成为可能。

1.1 X3D 标准本体(X3DSO)

在 X3D 标准中,节点(Node)是 X3D 文件最基本的组成要素,节点由节点名和包含各种数据类型的域组成,其中域由域名和域值组成。节点示例如图 1 所示。

```
<Appearance>
  <Material shininess="0.3"/>
</Appearance>
```

图 1 节点示例

在建立 X3DSO 的时候,对照 X3D 节点对 OWL 中类、属性以及实例进行了定义,如表 1 所列。

表 1 X3D 元素与 OWL 元素对照表

X3D	OWL
节点 (Node without Property Value)	owl:Class (类)
域-域值(field-value)	owl:ObjectProperty (对象属性) owl:DatatypeProperty (数据属性)
属性赋值的节点 (Node with Property Value)	Owl:Individual(实例)

OWL 本体中类是对现实世界中个体的抽象,表示的是个体的集合。一个属性是一个二元关系,在 OWL 中有两类属性:对象属性和数据属性。对象属性用 owl:ObjectProperty 定义,并可以用 rdfs:domain 和 rdfs:range 指明它们的定义域和值域,而数据属性和对象属性的区别在于其值域只能是数据类型。实例表示的就是对象,具有类描述的属性和具体的属性值。

对照图 1,在 X3DSO 中对类、属性的定义示例如图 2 所示。

```
// Appearance 类
<owl:Class rdf:about="# Appearance">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="# Shape"/>
</owl:Class>
// Material 类
<owl:Class rdf:about="# Material">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="# Appearance"/>
</owl:Class>
//对象属性 hasChild
<owl:ObjectProperty rdf:about="# hasChild">
  <rdfs:domain rdf:resource="# Appearance"/>
  <rdfs:range rdf:resource="# Material"/>
</owl:ObjectProperty>
//数据属性 shininess
<owl:DatatypeProperty rdf:about="# shininess">
  <rdfs:domain rdf:resource="# Material"/>
  <rdfs:range rdf:resource="# &xsd:SFloat"/>
</owl:DatatypeProperty>
```

图 2 X3DSO 中类、属性定义示例

1.2 X3D 标准本体中的属性与类

根据 X3D 标准以及 OWL 中对象属性和数据属性的定义方法,把节点数据结构中的域值取节点时(节点-节点)的域名定义为本体中的对象属性,而域值为具体数据类型的(节点-数据类型)则定义为数据属性。

在 X3DSO 中,定义对象属性的定义域和值域为节点类。与对象属性不同的是,数据属性的值只能是数据类型(string, Boolean, float 等)。如对象属性 hasChild,它的定义域为类 Appearance,而值域为类 Material,表示 Material 是 Appearance 的子类。数据属性 shininess,它的定义域为类 Material,而值域就是单值浮点型(SFloat),表示 Cone 具有数据属性 shininess 且它取值类型为单值浮点型。

在 X3D 标准中,节点的某些属性的域值定义为诸如 MFString(多值字符串型)、MFFloat(多值浮点型)等,而在 OWL 中并不存在这样的数据类型。此外,同一个数据属性可能同时存在于多个节点的数据结构中而域数据类型却不同,如数据属性 height 既属于 Cone(圆锥节点)又属于 ElevationGrid(海拔栅格节点)。Cone 中 height 的域数据类型为 SFloat(单值单精度浮点型),而 ElevationGrid 中 height 的域数据类型为 MFFloat(多值单精度浮点型),在 X3DSO 中把上述数据类型统一定义为 String(字符串型)。因为无论何种类型的数,计算机在进行处理时都是按照字符串类型来处理的。

OWL 中的属性具有传递性、对称性、函数性等特性。对不同的实例,数据属性的值都是唯一的,如实例 Cone 的 height 属性值取 1.0 的同时,就不能是 2.0。因此,在 X3DSO 中定义所有数据属性为函数性(Functional),即单值性(Single-value)。而针对节点之间的关系,根据类之间的关系分别指定对象属性的特性。如对象属性 hasChild 声明了类之间的父子关系,则定义为传递性(Transitive)。

X3D 标准中的一个节点在 OWL 中表示为一个类,类名即节点名。如 Transform 节点在本体中定义为带有对象属性 hasChild 以及 translation、rotation、center 和 scale 等数据属性的类 Transform。

1.3 X3D 标准本体中类的分类

X3D 标准中节点之间也有某些特定的关系,如 X3D 标准中 Shape 节点下只能有一个 Appearance 节点,则此时在 X3DSO 中可以约束为图 3 所示。

```
<owl:Class rdf:about="# Shape">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="# hasChild"/>
      <owl:onClass rdf:resource="# Appearance"/>
      <owl:qualifiedCardinality
        rdf:datatype="# &xsd:nonNegativeInteger">1
    </owl:qualifiedCardinality>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
```

图 3 匿名类定义示例

类似定义方法产生的类即为匿名类。

X3D 标准中某些节点之间拥有共同的属性,如节点 NurbsCurve、NurbsSet、NurbsPathSurface 等都是和曲面设计相关的节点,将它们归为 X3D 曲面节点类。同理,可以将 X3D 中基本节点归类为 13 个大类:基本几何节点类、复杂节点类、组节点类、纹理节点类、效果节点类、组件节点类、人性化节点类等。这样定义可使本体的条理清晰,便于用户理解,同时有利于生成虚拟对象后 Jena 推理机对本体的查询和推理。X3DSO 本体中类的分类示意图如图 4 所示。

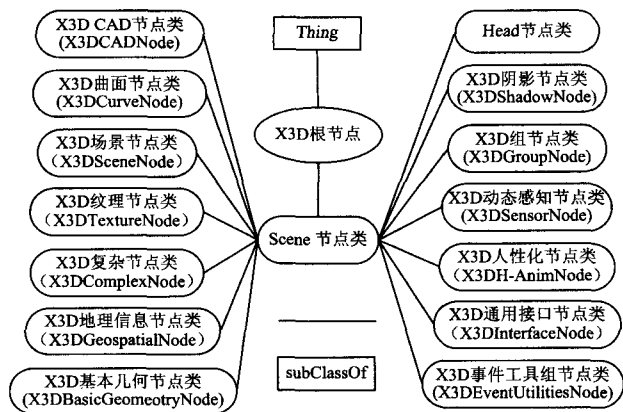


图4 本体中类的分类示意图

OWL中的所有类都是类 owl:Thing 的子类,因此将其定义为整个本体根类。根据 X3D 标准 Scene(场景)节点是包含所有 X3D 场景语法结构的根节点。以此根节点增加需要的节点和子节点来创建场景,在每个文件里只允许有一个 Scene 根节点。因此在构建本体的时候,把 Scene 类作为 owl:Thing 的唯一子类。

在这些大类的不同子类之间也存在除公共属性外的其他共同属性。如纹理节点(TextureNode)可以作为 Appearance 节点的子节点,因此为纹理节点建立一个公共父类(X3DTextureNode)作为 Appearance 类的子类,同时根据不同纹理节点之间的属性,进一步进行分类。如 ImageTexture、MovieTexture、PixelTexture 主要映射二维图像到几何形体的表面,因此将其归类为二维纹理节点类(X3DTexture2DNode)。其他节点分类可以依此类推。具体节点类的定义,图5中给出了一个简单的例子,用来说明与 Shape 类相关的一部分本体。

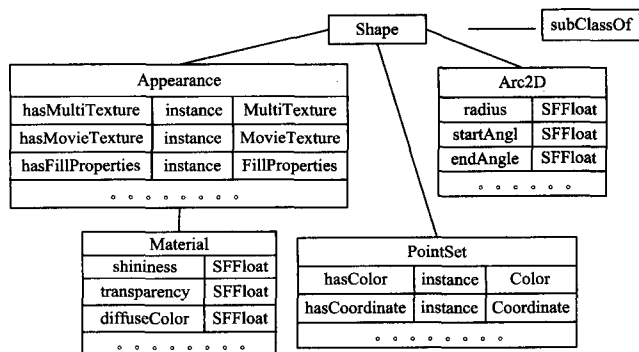


图5 X3DSO 中 Shape 类的部分描述

基于该本体,可直接对其进行 OWL 描述的添加、修改、删除等操作,即基本的本体类、属性和实例的管理。在此基础上研究语义虚拟环境,协助用户方便地建立和维护领域本体。因此,首先,在 X3DSO 基础上很容易建立各种语义虚拟现实应用;其次,X3DSO 是基于图形标准(X3D/VRML)、本体描述语言(OWL)标准的,并利用 OWL 把场景图形内容的描述提升到了语义网的本体层。

1.4 映射本体(MO)

通过本体映射在异构本体间建立联系规则后,本体就能根据映射规则进行交互。现有的大多数本体映射主要考虑的是几种最基本、常见的映射功能,如类间的等价和包含,以及属性间的等价等,而没有充分考虑异构本体间各种有用的映

射功能。据此,基于文献[3]的思想,提出了 13 种本体间的映射关系,分为类映射和属性映射;并用 OWL 描述这些语义关系,建立了一个映射本体,用来支持已有的 X3DSO 和具体知识域本体的映射。具体的映射说明如下,它们分别对应了中间本体中的 13 个类。

类映射(ClassMapping)

(1)等价映射(EqualMapping):表示类之间的对应,异构本体通过该映射可以实现操作过程中类之间的相互代替。如 X3DSO 中的 Sphere 可以直接代替台球本体中的 Ball。

(2)同形异义映射(DifferentMapping):表示相同名称的类在不同的本体中具有不同的含义。如术语“Conductor”在音乐领域和电子工程领域的含义分别是“指挥家”和“半导体”。

(3)上义映射(Is-aMapping):表示类之间的层次关系,即不同本体类之间的继承关系。

(4)下义映射(IncludeMapping):它是上义关系的逆映射。

(5)相似映射(SimilarlyMapping):表示类之间的相似性,权值为(0,1),权值越大说明越相似。

(6)包含映射(HasPartOfMapping):表示该类包含它所映射的类。如台球洞的网(Net)类包含多个 NurbsCurve(几何曲线)类。

(7)部分映射(IsPartOfMapping):它是包含关系的逆映射。

(8)对立映射(OppositeToMapping):表示 X3DSO 和具体领域本体类之间的对立。

(9)覆盖映射(CoverMapping):表示具体领域中几个类的析取可以代替 X3DSO 中几个类的析取,反之亦然。

(10)连接映射(ConnectlyMapping):表示通过一些特定的术语可以把两个本体之间的类进行映射。

属性映射(AttributeMapping)

(1)等价映射(EqualMapping):表示属性之间可相互代替。如台球的颜色(color)属性等价于 Material 类的 diffuseColor(漫反射颜色)属性。

(2)逆映射(InverseMapping):表示两个本体的属性之间的互逆性。

(3)包含映射(SubsumeMapping):表示 X3DSO 中的属性和具体域本体中某个属性之间的相互继承关系。

在 MO 中,定义了对象属性 from,它的值域对应源本体(如台球本体)中的类或属性,同样地定义了 to 属性,它的值域对应目标本体(如 X3DSO)中的类或属性。通过中间本体将两个本体中的类和属性来进行关联,基于这种关系就可以利用 X3DSO 中的类和属性来实现领域本体的可视化。

1.5 语义虚拟环境本体可视化模型

语义虚拟环境在为浏览者提供查询功能、场景理解以及复杂难以理解的可视化信息进行简单、直观和用户友好的交互方面,发挥着重要作用。3D 模型和 3D 场景包含语义之后可以极大地加强搜索引擎的检索能力,用户通过输入关键字或者输入 2D/3D 的描述轮廓可找到一个 3D 对象。

为实现语义虚拟环境本体的信息可视化,基于 X3DSO 和 MO 设计了一个语义虚拟环境本体可视化模型。该模型借助 HP 公司语义 Web 研究组开发的、基于 Java 的、用于建

立语义 Web 应用程序的开源应用编程接口 Jena 来实现虚拟环境本体解析,并通过 XML DOM API 提供的方法将本体生成 X3D 文件。语义虚拟环境本体可视化模型如图 6 所示。

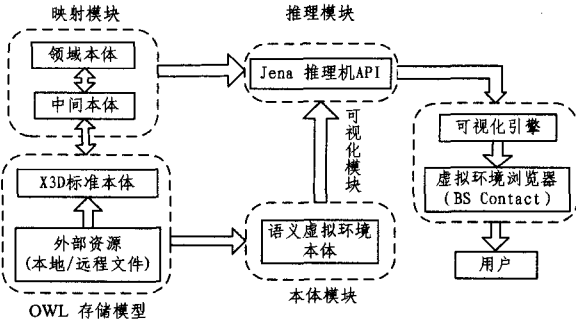


图 6 语义虚拟环境本体可视化模型

如图 6 所示,该模型共包含 5 个模块:

(1)映射模块:该模块功能是通过中间本体(MO)建立 X3DSO 和具体领域本体之间的映射,并将映射关系传给推理模块。

(2)OWL 存储模块:该模块的功能主要是存储 X3D 标准本体以及对外部资源的调用。

(3)本体模块:该模块功能是存储用户基于 X3DSO 建立的语义虚拟环境本体,并将其传给推理模块。

(4)推理模块:该模块主要是完成映射关系和语义虚拟环境本体的解析和推理,并将推理结果传给可视化模型。

(5)可视化模块:可视化引擎把推理模块传来的推理结果生成为用户可视化文件(如 X3D 文件),用户就可以通过语义虚拟环境浏览器查看生成的 X3D 文件。

1.6 应用实例

基于 X3DSO 建立了一个飞碟本体和一个台球本体(table tennis Ontology),台球本体通过 MO 和 X3DSO 建立映射关系。并实现了两个本体的可视化,如图 7 和图 8 所示。

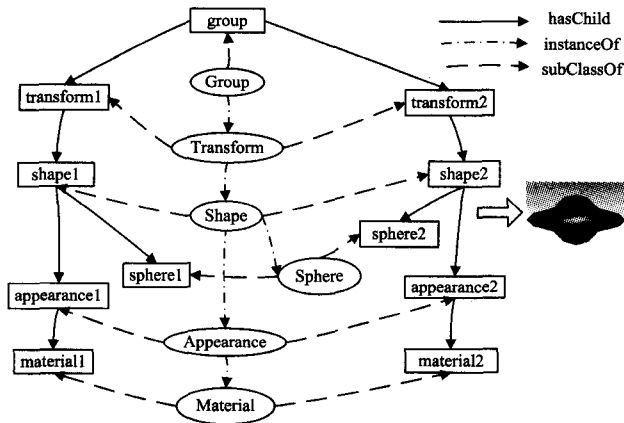


图 7 飞碟本体示意图

如图 7 所示,基于 X3DSO 用户可以定义带有数据属性和对象属性的实例集合(transform1, transform2, shape1 等),用实例来描述场景节点,不同的边分别代表类与类、类和实例以及实例与实例之间的关系。如对象属性“hasChild”定义了场景中节点之间的父子关系,它是一个可传递的属性。Appearance 是 Shape 的语义孩子,Shape 是 Transform 的语义孩子,那么 Jena 推理机就可以推出 Appearance 是 Transform 的语义孩子,而不用执行任何复杂的算法去遍历 OWL 图中的

每个节点。

图 7 在实现描述场景图形内部多层次关系的同时,也可以把图形中的类和实例以及属性通过映射本体(MO)来实现和其他本体中的类和实例以及属性的映射,从而达到丰富场景语义的目的。我们描述了一个场景图形和台球本体之间的映射实例,该映射以 MO 作为中间桥梁,通过语义虚拟环境本体可视化模型实现台球本体可视化,如图 8 所示。

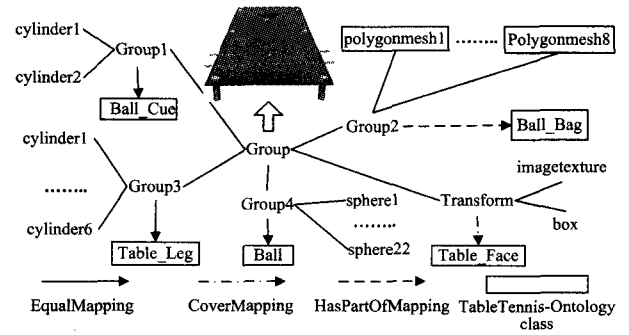


图 8 台球本体映射示意图

通过映射模块,具体领域的专家(如台球设计者)不必具有虚拟现实相关知识(X3D、VRML)以及掌握特定的虚拟现实开发工具(如 3D studio max)就可以实现自身领域本体的可视化,这样在开发具体的语义虚拟现实应用的时候,他们可以始终参与到应用开发的不同阶段,从而更好地提供必要的反馈信息。因此,具体领域的专家只需建立本领域的本体,就可以用他们所掌握的领域专业知识和术语更直观地参与到虚拟现实应用的开发中来。

为方便系统实现,传统的实验只是对虚拟对象的部分公共属性(如长、宽、高、颜色等)进行了定义,不利于对虚拟对象进行更复杂的设计,在本文中对 X3D 标准用本体进行了描述,构建的 X3DSO 包含了 X3D 标准中描述虚拟现实所需的所有节点及其属性。其次,传统的本体只是对语义虚拟环境进行抽象的描述,生成虚拟场景时还要根据本体中虚拟对象的路径加载并解析外部虚拟现实文件(VRML/X3D 文件)。而在本文中,用户可以直接对 X3DSO 进行编辑并生成所需的语义虚拟环境本体,SVEOVM 可以直接解析生成的本体,提高了生成语义虚拟环境的速度。最后,传统实验着重于自身理论的验证,实验结果具有一定局限性。中间本体扩展了可视化模型的应用范围,用户只需设计出自身领域的本体就可通过中间本体实现和 X3DSO 的映射,进而实现具体领域本体的可视化。功能对比如表 2 所列。

表 2 语义虚拟环境可视化模型和传统实验对比

	SVEOVM	传统实验
虚拟对象属性	X3DSO 包含 X3D 标准所有节点及其属性	只定义了部分节点的公共属性
虚拟对象生成	直接解析语义虚拟环境本体,速度较快	需加载外部文件,速度较慢
应用	具有一定通用性	针对性较强

结束语 语义虚拟环境所包含的信息是计算机可以理解的,这就利于计算机对信息的分析和处理。文中的 X3D 标准本体充分整合了 3D 图形标准及其语义信息,中间本体则在一定程度上扩展了 X3DSO 的应用,从而使语义虚拟环境本体可视化模型适合于各种各样的虚拟现实应用知识域,具有

(下转第 269 页)

结束语 人脸图像的信息表达及预处理、训练样本中标注样本过少和分布不均匀是实际监督式人脸识别应用面临的重要问题。本文采用 MB-LBP 计算模式对图像进行过滤预处理,使得过滤后的纹理图像具有良好的局部结构和整体描述性。同时考虑到 LFDA 的标注样本的局部学习局限性,通过分析训练样本的全局结构,提出了一种基于 MB-LBP 和改进的 LFDA 的人脸识别算法。算法利用 MB-LBP 在图像局部和整体结构的准确描述能力强化了局部和全局分析,改进了类内散度的计算参数,在保留标注样本局部结构的同时,保持了训练样本的全局结构,有效地克服了少量标注样本和类别标注数量不均匀而引发的局部散度计算和过度拟合问题。实验结果表明,本文算法极大地提高了人脸图像的信息描述能力,在少量标注样本的情况下具有良好的适应性和识别率。目前图像稀疏保持投影理论是机器学习研究热点,将稀疏保持投影作为一种新的全局保持方法与 LFDA 相结合,是下一步研究方向。

参考文献

- [1] Duda R O, Hart P E, Stork D. Pattern Classification (2nd Edition)[M]. New York, USA: John Wiley & Sons, 2000: 121-125
- [2] Mika S, Ratsch G, Weston J, et al. Fisher discriminant analysis with kernels[C]//Proceedings of the 1999 IEEE Signal Processing Society Workshop. Madison, WI, USA, 1999: 41-48
- [3] Struc V, Vesnicer B, Pavesic N. The Phase-based Gabor Fisher Classifier and Its Application to Face Recognition Under Varying Illumination Conditions [C]//Proceedings of the International IEEE Conference on Signal Processing and Communication Systems. Gold Coast, QLD, 2008: 1-6
- [4] 王成章, 白晓明. 基于 Fisher 块对角 LNMF 的彩色人脸识别[J]. 计算机工程, 2010, 36(16): 24-26
- [5] 魏莱, 王守觉. 基于流形距离的半监督判别分析[J]. 软件学报, 2010, 21(10): 2445-2452

- [6] 刘典婷, 华顺刚, 等. 基于 Fisher 投影的多光谱人脸融合识别[J]. 计算机工程, 2010, 36(8): 180-182
- [7] 桑海峰, 金云平. 基于二维 Fisher 线性判别的人脸耳组合识别[J]. 光电子·激光, 2010, 21(4): 588-590
- [8] 卢桂馥, 林忠, 等. 基于最大差值的二维边界 Fisher 的人脸识别[J]. 计算机科学, 2010, 37(5): 251-253
- [9] Yang M H. Kernel eigenfaces vs. kernel Fisher-faces; face recognition using kernel methods [C]//Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. Washington, DC, USA, 2002: 215-220
- [10] Sugiyama M. A real-time face recognition method on video sequence using KFDA and NIB2DPCA[C]//Conference on Wireless, Mobile and Sensor. Networks, USA, 2007: 845-848
- [11] Sugiyama M. Dimensionality Reduction of Multimodal Labeled Data by Local Fisher Discriminant Analysis[J]. Journal of Machine Learning Research, 2007, 8(5): 1027-1061
- [12] He X F, Niyogi P. Locality Preserving Projections [C]//Proceedings of Neural Information Processing System. Vancouver, Canada, 2003: 153-160
- [13] Ahonen T, Hadid A, Pietikäinen M. Face description with local binary patterns; application to face recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(12): 2037-2041
- [14] Fang Yu-chun, Luo Jie, Lou Cheng-sheng. Fusion of Multi-directional Rotation Invariant Uniform LBP Features for Face Recognition[C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Information Technology Application. NJ, USA, 2009: 332-335
- [15] Topi Mäenpää, Pietikäinen M. Multi-scale Binary Patterns for Texture Analysis[C]//Proceedings of the 13th Scandinavian Conference on Image Analysis. Berlin, Germany, 2003: 885-892

(上接第 243 页)

一定的通用性。目前国内语义虚拟环境的相关研究也已展开,我们的工作为语义虚拟环境构建提供了一种基础的方法。

参考文献

- [1] Li Cai-yan, Zhu Yu-lin. Realizing Customizable Semantic Virtual Environment with the Concept of Web[C]//the 13th Conference on Artificial Intelligence and Applications. Taiwan: TAAI press, 2008
- [2] Gutierrez M, Vexo F, Thalmann D. Semantics-based representation of virtual environments[J]. Computer Applications in Technology Journal, 2005, 23: 229-238
- [3] Kalogerakis E, Christodoulakis S, Moutoutztsl N. Coupling Ontologies with Graphics Content for Knowledge Driven Visualization [C]//IEEE Virtual Reality Conference. Virginia: IEEE VR '06, 2006: 43-50
- [4] 陆建江, 张亚菲, 苗壮, 等. 语义网原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2008

- [5] Halabala P. Semantic Metadata Creation[C]//the 7th Central European Seminar on Computer Graphics CESC. Bratislava Comenius University: CESC press, 2003: 15-25
- [6] ISO/IEC 19775-1 Information technology — Computer graphics and image processing — Extensible 3D (X3D) [S]. Geneva: Web3D Consortium, Inc, 2008
- [7] ISO/IEC FEIS 19775-2. 2 Information technology-Computer graphics and image processing Extensible 3D (X3D) [S]. Geneva: Web3D Consortium, Inc, 2010
- [8] Antonio G, Harmelen F. 语义网基础教程[M]. 陈小平, 译. 北京: 机械工业出版社, 2008
- [9] Tangelder J W H, Veltkamp R C. A Survey of Content Based 3D Shape Retrieval Methods [C]//Shape Modeling International 2004. Genova: SMIPress, 2004: 145-156
- [10] 李林尧, 张兆翔, 王蕴红, 等. 基于图像运动的三维重建及虚拟化应用[J]. 计算机科学, 2011, 38(7): 273-276