



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105808706 A

(43)申请公布日 2016.07.27

(21)申请号 201610124906.3

(22)申请日 2016.03.06

(71)申请人 中国人民解放军国防科学技术大学
地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路
109号

(72)发明人 姚莉 刘斌 郝智勇 许珺怡
丁哲元 吴俊锋 封孝生 刘芳

(74)专利代理机构 国防科技大学专利服务中心
43202

代理人 郭敏

(51)Int.Cl.
G06F 17/30(2006.01)

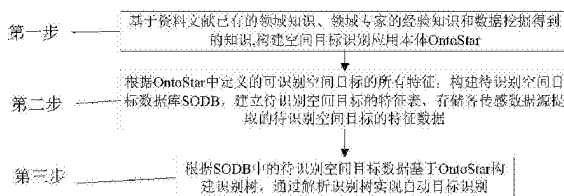
权利要求书5页 说明书12页 附图5页

(54)发明名称

基于应用本体的空间目标识别方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于应用本体的空间目标识别方法,目的是解决如何在多源信息条件下,完成对空间目标的有效识别。技术方案是首先建立空间目标识别应用本体OntoStar,并构建待识别空间目标数据库SODB,根据OntoStar中定义的可识别空间目标的所有特征,在SODB中建立待识别空间目标的特征表,存储各传感数据源提取的待识别空间目标的特征数据,然后根据SODB中的待识别空间目标数据基于OntoStar构建识别树,通过解析识别树实现自动目标识别。采用本发明可以有效克服目标识别关注的视野局限于目标本身的缺陷,识别精度高,在缺失某些特征属性取值时,仍然能够对一些空间目标进行正确分类,且识别单个目标平均耗时更少,效率更高。



1.一种基于应用本体的空间目标识别方法,其特征在于包括以下步骤:

第一步,基于资料文献已有的领域知识、领域专家的经验知识和数据挖掘得到的知识,构建空间目标识别应用本体OntoStar;

1.1建立空间目标识别领域要素的分类体系TaxoS0,分类体系最上一个层次的概念有特征、轨道、载荷、空间目标、传感器、无线电波,然后对这些概念进一步划分;

1.2构建空间目标识别相关背景知识库BGKB,包括:空间目标及其有关特性的描述,空间目标可测特性的描述,空间目标类型与其特征之间关系的知识即空间目标分类知识,空间目标的上下文知识;

1.3使用语义Web本体语言OWL和语义Web规则语言SWRL的知识表示方法,表示TaxoS0和BGKB,形成初始知识库TaxoKB,所述SWRL为一种组合OWL和RuleL的语义Web规则语言;对SWRL表示的目标识别规则增加新的表示规范SOClassifyNorm:不能同时存在两条规则,使得从同一空间目标类型推导出的两个空间目标类型之间存在父子关系;

1.4使用RIPPER方法即“重复增量修枝”方法从空间目标特征数据集中挖掘空间目标分类识别规则,得到空间目标分类识别规则集RuleSetR;使用TFPC方法即“从部分到全局的分类”方法从空间目标特征数据集中挖掘空间目标分类识别规则,得到空间目标分类识别规则集RuleSetT;合并规则集RuleSetR和RuleSetT得到规则集RuleSet,并将RuleSet中的规则转换为与1.2中的空间目标分类知识相同的表达形式,得到挖掘规则集DMRules;

1.5采用SWRL表示DMRules中的分类识别规则,得到分类识别规则库DMKB;

1.6将DMKB与TaxoKB组合在一起,形成初始应用本体Pre-OntoStar,对Pre-OntoStar的每一空间目标分类,使用本体编辑工具添加至少10个不同实例及其数据属性关系和对象属性关系,形成中间应用本体Mid-OntoStar;对Mid-OntoStar进行一致性检测并删除导致不一致的规则,直到通过一致性检测,形成空间目标识别应用本体OntoStar;

1.7删除Mid-OntoStar中的实例,得到空间目标识别应用本体OntoStar,对OntoStar的规则进行划分,方法是:对于OntoStar的SWRL规则,其规则头使用了特征分类概念或属性概念的,标记为特征计算规则;其规则头使用了目标分类概念的,标记为目标识别规则;剩下的标记为其他规则;

第二步,构建待识别空间目标数据库SODB,根据OntoStar中定义的可识别空间目标的所有特征,在SODB中建立待识别空间目标的特征表,存储各传感数据源提取的待识别空间目标的特征数据,具体方法如下:

2.1建立一个待识别空间目标数据库,命名为SODB;

2.2根据目标的数据属性在SODB中建立待识别目标的基础属性特征表,基础属性特征表包含的域有:待识别目标ID,类型为整型即int;雷达散射截面积RCS,类型为浮点型即float;RCS序列均值,类型为float;RCS序列方差,类型为float;材料,类型为字符型即String;比热,类型为float;质量,类型为float;形状,类型为String;尺寸,类型为float;姿态,类型为String;亮度,类型为float;面质比,类型为float;

2.3根据目标的对象属性建立待识别目标的对象属性特征表,包括发射信息表、载荷表、TLE轨道元素表和无线电波信息表;

2.4将各传感数据源提取的待识别空间目标的特征数据存入SODB的特征表中的相应位置,未能获取某一特征数据时,各表中相应属性值置为空值;

第三步,根据SODB中的待识别空间目标数据基于OntoStar构建识别树,通过解析识别树实现自动目标识别:

3.1将OntoStar调入内存,形成可使用的知识库,使用数据库查询语言查询SODB中待识别空间目标的特征,得到查询结果集合ObjFeatureList,ObjFeatureList中的每一条数据记录即为一个待识别空间目标的特征数据集,识别一个目标时将该目标对应的记录赋予数据记录变量FeatureRecord;

3.2如果ObjFeatureList为空,转3.7;如果ObjFeatureList不为空,取ObjFeatureList中一个待识别目标的数据记录赋予数据记录变量FeatureRecord,将FeatureRecord从ObjFeatureList移除。

3.3新增特征计算:取OntoStar中标记为特征计算规则的SWRL规则构成特征计算规则集合RS1,根据RS1和FeatureRecord中的已知特征数据,计算FeatureRecord中的未知特征值,并将计算所得的特征数据存入FeatureRecord;

3.4采用自顶向下的方式构建识别树,识别树根节点的分类命名为“空间目标”,定义变量RecognitionTree表示待识别目标的识别树,识别树中每一节点的数据结构为五元组 $\langle \text{ObjectType}, \text{FirstChildNode}, \text{FatherNode}, \text{BrotherNode}, \text{Check} \rangle$,分别表示 \langle 目标分类,第一个子节点,父节点,兄弟节点,一致性检测标识位 \rangle ,设有节点Node,分别用Node.ObjectType、Node.FirstChildNode、Node.FatherNode、Node.BrotherNode、Node.Check表示节点Node的目标类型、第一个子节点、父节点、下一个兄弟节点、一致性检测标识位;定义变量CurrentNode表示识别树的当前节点,初始状态:RecognitionTree仅有根节点为 \langle ‘空间目标’,null,null,null,false \rangle ,将CurrentNode赋值为根节点;所述一致性检测标识位默认为false,检测一致时赋为true;

3.5定义一个链表变量leafNodes,用于记录识别树的当前所有叶节点,并设其初始值为空表,将FeatureRecord数据表示成本体实例知识库ABox_so,采用自底向上的方式检测ABox_so是否满足OntoStar中有关识别树节点中目标分类的知识一致性,并删除不满足一致性的树节点;

3.6遍历RecognitionTree,获得RecognitionTree的所有叶节点,取这些叶节点的ObjectType值构成分类概念集合ClsSet;若ClsSet中仅有一个分类概念元素,则将该分类概念元素输出,该分类概念元素作为这一次待识别目标分类识别的结果,转3.2;若ClsSet为包含多个分类概念的集合 $\{C_1, \dots, C_n\}$,则根据OntoStar中定义的分类知识,获取 C_1, \dots, C_n 的最低层次共同父类并输出, C_1, \dots, C_n 的最低层次共同父类作为这一次待识别目标分类识别的结果,转3.2;若集合为空,说明该目标无法识别,不识别该目标的类型,转3.2;

3.7结束。

2.如权利要求1所述的基于应用本体的空间目标识别方法,其特征在于所述1.1步对分类体系TaxoS0最上一个层次的概念进一步划分的方法是:

1.1.1按照空间目标可测特性对特征进一步划分,包括电磁散射特性、频谱特性、常见形状、尺寸、姿态、运动模式;

1.1.2分别依据轨道倾角、轨道高度、轨道形状和轨道周期对轨道进一步划分;

1.1.3依据用途对载荷进一步划分;

1.1.4将空间目标划分为陨石、飞船、导弹、空间站、火箭、卫星、碎片;

1.1.5采用空间目标探测设备的划分方法对传感器的类型进一步划分;

1.1.6根据无线电业务划分方法对无线电波根据其业务类型进行划分。

3.如权利要求1所述的基于应用本体的空间目标识别方法,其特征在于所述1.6步对Mid-OntoStar进行一致性检测并删除导致不一致的规则,直到通过一致性检测,形成空间目标识别应用本体OntoStar的方法是:

1.6.1选择OWL本体推理机,检测Mid-OntoStar的一致性,如果通过一致性检测,则得到空间目标识别应用本体OntoStar,结束;如果未通过一致性检测,转1.6.2;

1.6.2使用OWL本体推理机获取Mid-OntoStar的最小不一致集合,对集合中的规则进行排序,然后使用本体编辑工具将排序最后的一条规则从Mid-OntoStar中删除,得到新的Mid-OntoStar,转1.6.1。

4.如权利要求1所述的基于应用本体的空间目标识别方法,其特征在于所述2.3步建立的发射信息表、载荷表、TLE轨道元素表和无线电波信息表分别包含以下域:

2.3.1发射信息表包含5个域,分别为:待识别目标ID,类型为int;发射地点,类型为String;发射时间,类型为日期即Date;承包商,类型为String;运载工具,类型为String;

2.3.2载荷表包含7个域,分别为:待识别目标ID,类型为int;设备,类型为String;应用类型,类型为String;波段,类型为float;分辨率,类型为float;准确率,类型为float;刈幅,类型为float;

2.3.3TLE轨道元素表包含15个域,分别为:待识别目标ID,类型为int;保密分级,类型为String;国际标志符,类型为String;两行轨道根数TLE历时,类型为Date;平均运动的一阶时间导数,类型为float;平均运动的二阶时间导数,类型为float;BSTAR阻力系数,类型为float;星历表类型,类型为String;轨道的交角,类型为float;升交点赤经,类型为float;离心率,类型为float;近地点角距,类型为float;平近点角,类型为float;平均运动,类型为float;在轨圈数,类型为float;

2.3.4无线电波信息包含3个域,分别为:待识别目标ID,类型为int;波长,类型为float;频率,类型为float。

5.如权利要求1所述的基于应用本体的空间目标识别方法,其特征在于所述3.3步新增特征计算的具体方法为:

3.3.1检测RS1中是否存在一条规则RuleX满足以下条件:RuleX的规则头中的概念对应FeatureRecord中的未知特征值的属性,且FeatureRecord中的已知特征数据使得RuleX的前提条件成立,如果存在RuleX满足上述条件,转3.3.2;如果不存在RuleX满足上述条件,结束;

3.3.2将使用FeatureRecord中的已知特征数据和规则RuleX推导出的属性取值存入FeatureRecord,转3.3.1。

6.如权利要求1所述的基于应用本体的空间目标识别方法,其特征在于所述3.4步构建识别树的具体方法如下:

3.4.1根据OntoStar中定义的分类知识,获取CurrentNode.ObjectType的子孙目标分类概念构成的集合SubClassSet,如果SubClassSet不为空,转3.4.2;如果SubClassSet为空,转3.4.7;

3.4.2取OntoStar中标记为目标识别规则的SWRL规则构成目标识别规则集RS2;按以下

条件从RS2中筛选规则,构成规则集RS3:规则体中必须出现CurrentNode.ObjectType的目标分类概念,并且规则体出现的所有特征属性在FeatureRecord中相应的属性值不为空;RS3即为识别树RecognitionTree的当前节点可检测的所有规则集合;根据RS3和SubClassSet按照如下条件构建集合ConceptSet:提取RS3中规则头使用的目标分类概念构成集合与SubClassSet求交集,得到ConceptSet,ConceptSet为依据RS3从当前节点可进一步判别的子类节点集合,如果ConceptSet不为空,转3.4.3;如果ConceptSet为空,转3.4.7;

3.4.3建立一个目标分类概念链表ConceptList,对集合ConceptSet中的每一个元素CurrentE,检测RS3中是否存在一条规则RuleY满足以下条件:规则RuleY规则头中的概念为元素CurrentE,且FeatureRecord中的已知特征数据使得RuleY的前提条件成立;如果存在RuleY满足上述条件,则将CurrentE加入到ConceptList;如果ConceptList为空,则转3.4.7;如果ConceptList不为空,转3.4.4;

3.4.4建立一个节点链表NodeList:对链表ConceptList中的每一个元素CurrentConcept,构建一个节点NewNode=<CurrentConcept,null,CurrentNode,null,false>,将NewNode加入到NodeList;

3.4.5将CurrentNode.FirstChildNode设为NodeList中的第一个节点:对NodeList中的i个节点,将其BrotherNode设为NodeList中第i+1个节点,i=1,2,...,NodeList中节点数-1;如果NodeList中的所有节点都作为根节点完成了识别树子树的构建,转3.4.7;如果NodeList中还存在节点未作为根节点构建识别树子树,转3.4.6;

3.4.6对NodeList中的第j个未作为根节点扩展识别树子树的节点Node_j,将CurrentNode赋值为Node_j,j=1,2,...,NodeList中节点数,以CurrentNode为根节点,转3.4.1;

3.4.7如果CurrentNode为<‘空间目标’,null,null,null,false>,结束;如果CurrentNode不为根节点,转3.4.8;

3.4.8CurrentNode赋值为CurrentNode.FatherNode,NodeList赋值为前面构建的包含CurrentNode的链表,转3.4.6。

7.如权利要求1所述的基于应用本体的空间目标识别方法,其特征在于所述3.5步检测ABox_so是否满足OntoStar中有关识别树节点中目标分类的知识一致性的树节点的具体方法是:

3.5.1遍历RecognitionTree,如果其中的节点node满足node.ChildNode为null且node.Check为false,则将node加入链表leafNodes;如果leafNodes为空,则一致性检测结束,转3.6;如果leafNodes不为空,转3.5.2;

3.5.2选择leafNodes中的最后一个元素currentLeaf,并从leafNodes中移除currentLeaf;从OntoStar中提取与currentLeaf.ObjectType相关的本体知识构成知识库KB1,将ABox_so和KB1合并得到知识库soKB;使用Tableau算法检测soKB是否满足一致性,如果soKB满足一致性,转3.5.3;如果soKB不满足一致性,转3.5.5;

3.5.3更新一致性检测标识位,currentLeaf.Check置为true;如果currentLeaf.FatherNode不为null,转3.5.4,将祖辈节点的一致性标识位皆赋为true;如果currentLeaf.FatherNode为null,转3.5.1,继续进行其他的叶节点检测;

3.5.4currentLeaf=currentLeaf.FatherNode,转3.5.3;

3.5.5如果currentLeaf.FatherNode为null,结束;如果currentLeaf.FatherNode不为

null,转3.5.6;

3.5.6从RecognitionTree上删除不一致叶节点currentLeaf,转3.5.1。

8.如权利要求7所述的基于应用本体的空间目标识别方法,其特征在于所述3.5.6步删除不一致叶节点的currentLeaf的具体方法是:

3.5.6.1设置临时变量node=currentLeaf.FatherNode.ChildNode;

3.5.6.3检查node.BrotherNode是否为currentLeaf,如果不是,转3.5.6.4;如果node.Br otherNode为currentLeaf,转3.5.6.5;

3.5.6.4将node.BrotherNode设为node,转3.5.6.3;

3.5.6.5如果currentLeaf为currentLeaf.FatherNode.ChildNode,则currentLeaf.FatherNode.ChildNode置为currentLeaf.BrotherNode;如果currentLeaf不为currentLeaf.FatherNode.Chi ldNode,node.BrotherNode置为currentLeaf.BrotherNode。

9.如权利要求3所述的基于应用本体的空间目标识别方法,其特征在于所述1.6.2步对集合中的规则进行排序的方法是通过咨询领域专家对经验知识形成的规则和挖掘规则进行排序、挖掘规则之间按可信度和支持度从大到小排序。

基于应用本体的空间目标识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及航天目标识别技术,尤其涉及基于应用本体的空间目标识别方法,属于空间目标多源信息融合识别技术领域。

背景技术

[0002] 随着空间技术的迅猛发展,现代战争对空间技术的依赖性逐渐增强,空间攻防对抗日益受到重视。在空间攻防对抗中,天基武器系统发挥着重要的核心作用,而该系统的攻击目标监视、选择和杀伤力评估均需依赖于空间目标识别技术。

[0003] 空间目标识别技术主要作用是对太空中的人造卫星、碎片、导弹、空间站、飞船和陨石等空间目标进行探测和跟踪,提取出目标的特征信息,进而实现对各类空间目标的识别。目前各国使用的空间探测设备主要为地基探测设备,该类设备可分为光学探测设备和雷达探测设备两类。光学探测设备的优点是作用距离远,缺点是容易受到气象条件的限制、不能实现全天候探测;雷达探测设备的优点是可以实现全天候、多目标同时探测,缺点是作用距离较近。

[0004] 目前对空间目标识别的研究已经有了多年的发展,虽然已经取得了一定成果,但是尚未有解决空间目标识别问题的有效方法。现有对空间目标进行分类识别的研究成果可归为以下几类。

[0005] 1. 基于单一信息源识别特定类型的空间目标

[0006] 中国专利201110205838.0公布了一种空间目标图像分类与识别方法,该方法根据空间目标图像训练样本构造过完备稀疏表示字典,利用随机观测矩阵对测试样本进行线性观测,通过求解最小优化问题得到测试样本在过完备稀疏表示字典上的稀疏表示系数,即测试样本在训练样本上的线性表示,以此计算最小残差,最后,根据最小残差所对应的类别确定测试样本的归属。该方法在获得空间目标图像小样本库的基础上,对两类目标的识别问题具有极高的准确率和时间效率。

[0007] 文献“马君国,空间雷达目标特征提取与识别方法研究.国防科技大学:湖南,长沙.2006”公开了一种基于RCS观测序列的低分辨雷达空间目标识别的方法,该方法通过对低分辨雷达观测数据进行离散小波变换,从时间-尺度平面提取十个有效统计特征,计算各类目标各个特征的均值及其对应的标准差,以此计算只应用某一特征进行目标分类时各类目标的隶属度函数,选择最大的隶属度函数值所对应的分类为目标所属类别。该方法对四类目标的识别在高信噪比25dB和20dB下具有较显著的识别效果,但在低信噪比下容易受到噪声的影响。

[0008] 基于单一信息源识别空间目标的方法对特定场景下特定类型的空间目标具有较好的效果,但是信息来源往往不具有充分的排他性并且适用的场景和目标类型的范围有限,其稳定性得不到充分保障。

[0009] 2. 利用多源信息融合识别某一或者某些空间目标

[0010] 文献“肖旭光,空间目标融合识别算法设计与系统实现,上海交通大学:上海

.2010”公开了一种基于红外和可见光图像的特征级融合识别空间目标的方法,该方法首先分别对红外和可见光图像进行图像增强和目标区域选取,分别使用特征描述方法提取目标特征,得到红外与可见光两组特征向量;然后,使用基于PCA的特征融合方法将红外与可见光两组特征向量融合为一个新的特征向量;最后,分别计算新的特征向量与数据库中各样本特征向量的欧氏距离,数据库中跟其距离最小的样本的类别为目标所属类别。

[0011] 受环境因素影响,可观测到以及能够提供的空间目标识别信息往往有限,不引入有关空间目标的上下文知识,识别的视野局限于目标本身,目标识别的准确率和稳定性不能有效提高。

[0012] 3. 基于全局的分类体系,利用单个特征逐层分类空间目标

[0013] 文献“Space object classification and characterization via Multiple Model Adaptive Estimation,2014 17th International Conference on Information Fusion,2014.p1-7.”(通过多模型自适应估计对空间目标进行分类和刻画)公开了一种多模型自适应估计的空间目标识别方法。该方法首先建立了一个空间目标分类体系,然后通过多模型自适应估计方法完成对目标在分类体系上的逐层识别:在第一个层次上使用目标尺寸判断目标是否为碎片;在第二个层次上使用姿态控制类型判断目标是否为活动目标;在第三个层次上使用形状判断目标是否为有效载荷;在第四个层次上使用目标旋转方式确定有效载荷类型。

[0014] 文献“Matthew P.Wilkins,Towards an Artificial Space Object Taxonomy, Applied Defense Solutions,MD,2013,21044.”(接近一种人造空间目标分类体系)公开了一种基于人造空间目标分类体系的空间目标识别方法。该方法首先根据空间目标的观测手段、轨道高度、任务属性和承包商等提出人造空间目标分类体系,并在该分类体系中,对每一空间目标类型使用单一特征和粒度较大的离散值进行了刻画。然后根据每一类目标在各个特征上的先验分布和空间目标特征的取值,使用Figaro编程语言进行贝叶斯推理,实现对空间目标在分类体系中从上一层次分类到下一层次分类的识别。

[0015] 相对于针对一类目标使用一个目标识别模型,基于全局的分类体系进行目标识别,可以有效克服目标识别关注的视野局限于目标本身的缺陷。但上述方法在单个概念层次上的分类识别过程中,仅使用了单一特征,缺乏对多个特征的充分综合利用,当分类识别过程中使用的某一特征数据缺失或存在较大误差时,将会影响其识别结果,算法的稳定性因此受到影响。同时,缺乏空间目标上下文知识的运用。

发明内容

[0016] 本发明要解决的技术问题是:如何在多源信息条件下,完成对空间目标的有效识别。

[0017] 为了解决上述技术问题,本发明提供一种基于应用本体的空间目标识别方法。该方法首先建立空间目标识别应用本体OntoStar,然后根据各传感数据源提取的待识别空间目标特征数据基于OntoStar完成对空间目标的识别。

[0018] 具体技术方案如下。

[0019] 第一步,基于资料文献已有的领域知识、领域专家的经验知识和数据挖掘得到的知识,构建空间目标识别应用本体OntoStar。

[0020] 1.1建立空间目标识别领域要素的分类体系TaxoS0。分类体系最上一个层次的概念有特征、轨道、载荷、空间目标、传感器、无线电波,然后对这些概念进一步划分:

[0021] 1.1.1按照空间目标可测特性对特征进一步划分,包括电磁散射特性、频谱特性、常见形状、尺寸、姿态、运动模式。

[0022] 1.1.2分别依据轨道倾角、轨道高度、轨道形状和轨道周期对轨道进一步划分,划分方法参看文献“张云飞,基于数据库的空间目标分类方法及统计分析研究.解放军信息工程大学:河南,郑州.2006.p7-10”。

[0023] 1.1.3依据用途对载荷进一步划分,参看文献“THE EARTH OBSERVATION HANDBOOK,2015CEOS,2015.p22-47”(地球观测手册)的table of satellite instruments(卫星设备表)部分。

[0024] 1.1.4将空间目标划分为陨石、飞船、导弹、空间站、火箭、卫星、碎片,参照文献“吴连大,人造卫星与空间碎片的轨道和探测,中国科学技术出版社,2011.p1”对碎片的类型进一步划分,参照文献“陈求发(编),世界航天器大全,中国宇航出版社,2012.p1-2”中的图0-1、“张云飞,基于数据库的空间目标分类方法及统计分析研究,解放军信息工程大学,2006.p15-16”中的北美防空军司令部的卫星分类分别对卫星的类型进一步划分。

[0025] 1.1.5根据“吴连大,人造卫星与空间碎片的轨道和探测,中国科学技术出版社,2011.p264-266”所述的空间目标探测设备的划分方法对传感器的类型进一步划分。

[0026] 1.1.6根据“信息产业部,中华人民共和国无线电频率划分规定,人民邮电出版社,2002.p3-7”所述的无线电业务划分方法对无线电波根据其业务类型进行划分。

[0027] 1.2构建空间目标识别相关背景知识库BGKB,包括:空间目标及其有关特性的描述,空间目标可测特性的描述,空间目标类型与其特征之间关系的知识即空间目标分类知识,空间目标的上下文知识。其中,空间目标的上下文知识的定义参考文献“胡卫东,雷达目标识别技术的再认识,现代雷达,2012,34(8)”中“上下文知识是目标或组成部分与相邻客体之间关系的描述”。

[0028] 1.3使用文献“Tan Horrocks,SWRL:A semantic web rule language combining OWL and RuleML,W3C Member submission,2004,21:79.”(SWRL:一种组合OWL和RuleL的语义Web规则语言)定义的语义Web本体语言(OWL)和语义Web规则语言(SWRL)及其知识表示方法,表示TaxoS0和BGKB,形成初始知识库TaxoKB。在这里,对SWRL表示的目标识别规则增加新的表示规范SOClassifyNorm:知识库中不能同时存在两条规则,使得从同一空间目标类型推导出的两个空间目标类型之间存在父子关系。例如,A、B、C为三个分类且满足 $C \subset B \subset A$,则知识库中不能同时出现形如“A(?X),条件₁,...,条件_n→B(?X)”(即目标属于A类,根据条件可以推导出该目标也属于B类)和“A(?X),条件_{m+1},...,条件_{m+k}→C(?X)”(即目标属于A类,根据条件可以推导出该目标也属于C类)的SWRL规则。

[0029] 1.4使用文献“Han Jiawei,Micheline Kamber,Jian Pei,Data mining:concepts and techniques(Third Edition),Elsevier,2011.p359-361”(数据挖掘:概念与技术(第三版))公开的“重复增量修枝”(Repeated Incremental Pruning to Produce Error Reduction,RIPPER)方法从空间目标特征数据集中挖掘空间目标分类识别规则,得到规则集RuleSetR、使用“Coenen F,Leng P,Zhang L,Threshold tuning for improved classification association rule mining.In Advances in Knowledge Discovery and

Data Mining, ed.; 'Ed.' 'Eds.' Springer: 2005; 'Vol.' 'p' 'pp' 216-225" (用于提高分类关联规则的阈值调整) 提出的“从部分到全局的分类”(Total From Partial Classification, TFPC) 方法从空间目标特征数据集中挖掘空间目标分类识别规则, 得到规则集RuleSetT。合并规则集RuleSetR和RuleSetT得到规则集RuleSet, 并将RuleSet中的规则转换为与1.2中的空间目标分类知识相同的表达形式, 得到挖掘规则集DMRules。

[0030] 1.5采用SWRL表示DMRules中的分类识别规则, 得到分类识别规则库DMKB。

[0031] 1.6将DMKB与TaxoKB组合在一起, 形成初始应用本体Pre-OntoStar, 对Pre-OntoStar的每一空间目标分类, 使用本体编辑工具(如Protégé4.2)添加至少10个不同实例及其数据属性关系和对象属性关系, 形成中间应用本体Mid-OntoStar。对Mid-OntoStar进行一致性检测并删除导致不一致的规则, 直到通过一致性检测方法是:

[0032] 1.6.1选择文献“Sunitha Abburu, A Survey on Ontology Reasoners and Comparison. International Journal of Computer Applications, 2012, 57(17):33-39.”(本体推理机及其比较综述)中介绍的OWL本体推理机, 检测Mid-OntoStar的一致性。如果通过一致性检测, 则得到空间目标识别应用本体OntoStar, 转1.7; 如果未通过一致性检测, 转1.6.2。

[0033] 1.6.2使用OWL本体推理机获取Mid-OntoStar的最小不一致集合, 对集合中的规则进行排序(通过咨询领域专家对经验知识形成的规则和挖掘规则进行排序、挖掘规则之间按可信度和支持度从大到小排序), 然后使用本体编辑工具将排序最后的一条规则从Mid-OntoStar中删除, 得到新的Mid-OntoStar, 转1.6.1。

[0034] 1.7删除Mid-OntoStar中的实例, 得到空间目标识别应用本体OntoStar。对OntoStar的规则进行划分, 方法是: 对于OntoStar的SWRL规则, 其规则头使用了特征分类概念或属性概念的, 标记为特征计算规则; 其规则头使用了目标分类概念的, 标记为目标识别规则; 剩下的标记为其他规则。

[0035] 第二步, 构建待识别空间目标数据库SODB, 根据OntoStar中定义的可识别空间目标的所有特征, 在SODB中建立待识别空间目标的特征表, 存储各传感数据源提取的待识别空间目标的特征数据, 具体方法如下:

[0036] 2.1建立一个待识别空间目标数据库, 命名为SODB。

[0037] 2.2OntoStar中定义的表示空间目标特征的属性包括目标的数据属性和目标的对象属性。根据目标的数据属性在SODB中建立待识别目标的基础属性特征表, 包含的12个域为: 待识别目标ID, 类型为整型即int; 雷达散射截面积(Radar Cross Section, RCS), 类型为浮点型即float; RCS序列均值, 类型为float; RCS序列方差, 类型为float; 材料, 类型为字符串即String; 比热, 类型为float; 质量, 类型为float; 形状, 类型为String; 尺寸, 类型为float; 姿态, 类型为String; 亮度, 类型为float; 面质比, 类型为float。

[0038] 2.3根据目标的对象属性建立待识别目标的对象属性特征表, 包括发射信息表、载荷表、TLE轨道元素表和无线电波信息表。

[0039] 2.3.1发射信息表包含5个域, 分别为: 待识别目标ID, 类型为int; 发射地点, 类型为String; 发射时间, 类型为日期即Date; 承包商, 类型为String; 运载工具, 类型为String。

[0040] 2.3.2载荷表包含7个域, 分别为: 待识别目标ID, 类型为int; 设备, 类型为String;

应用类型,类型为String;波段,类型为float;分辨率,类型为float;准确率,类型为float;刘幅,类型为float。

[0041] 2.3.3TLE轨道元素表包含15个域,分别为:待识别目标ID,类型为int;保密分级,类型为String;国际标志符,类型为String;两行轨道根数(Two Line Elements,TLE)历时,类型为Date;平均运动的一阶时间导数,类型为float;平均运动的二阶时间导数,类型为float;BSTAR阻力系数,类型为float;星历表类型,类型为String;轨道的交角,类型为float;升交点赤经,类型为float;离心率,类型为float;近地点角距,类型为float;平近点角,类型为float;平均运动,类型为float;在轨圈数,类型为float。

[0042] 2.3.4无线电波信息包含3个域,分别为:待识别目标ID,类型为int;波长,类型为float;频率,类型为float。

[0043] 2.4将各传感数据源提取的待识别空间目标的特征数据存入SODB的特征表中的相应位置,未能获取某一特征数据时,各表中相应属性值置为空值。

[0044] 第三步,根据SODB中的待识别空间目标数据基于OntoStar构建识别树,通过解析识别树实现自动目标识别:

[0045] 3.1将OntoStar调入内存,形成可使用的知识库,使用数据库查询语言查询SODB中待识别空间目标的特征,得到查询结果集合ObjFeatureList,ObjFeatureList中的每一条数据记录即为一个待识别空间目标的特征数据集,识别一个目标时将该目标对应的记录赋予数据记录变量FeatureRecord。

[0046] 3.2如果ObjFeatureList为空,转3.7;如果ObjFeatureList不为空,取ObjFeatureList中一个待识别目标的数据记录赋予数据记录变量FeatureRecord,将FeatureRecord从ObjFeatureList移除。

[0047] 3.3新增特征计算。取OntoStar中标记为特征计算规则的SWRL规则构成特征计算规则集合RS1,根据RS1和FeatureRecord中的已知特征数据,计算FeatureRecord中的未知特征值,并将计算所得的特征数据存入FeatureRecord,具体方法为:

[0048] 3.3.1检测RS1中是否存在一条规则RuleX满足以下条件:RuleX的规则头中的概念对应FeatureRecord中的未知特征值的属性(第二步中建立特征表时,表的属性根据OntoStar表示空间目标特征的属性(即概念)而确立),且FeatureRecord中的已知特征数据使得RuleX的前提条件成立。如果存在RuleX满足上述条件,则转3.3.2;如果不存在RuleX满足上述条件,转3.4。

[0049] 3.3.2将使用FeatureRecord中的已知特征数据和规则RuleX推导出的属性取值存入FeatureRecord。转3.3.1。

[0050] 3.4采用自顶向下的方式构建识别树。由于已确认待识别目标为“空间目标”,所以识别树根节点的分类命名为“空间目标”。定义变量RecognitionTree表示待识别目标的识别树,识别树中每一节点的数据结构为五元组<ObjectType,FirstChildNode,FatherNode,BrotherNode,Check>,分别表示<目标分类,第一个子节点,父节点,兄弟节点,一致性检测标识位(默认为false,检测一致时赋为true)>,设有节点Node,分别用Node.ObjectType、Node.FirstChildNode、Node.FatherNode、Node.BrotherNode、Node.Check表示节点Node的目标类型、第一个子节点、父节点、下一个兄弟节点、一致性检测标识位;定义变量CurrentNode表示识别树的当前节点。初始状态:RecognitionTree仅有根节点为<‘空间目

标',null,null,null,false>,将CurrentNode赋值为根节点。构建识别树的具体方法如下:

[0051] 3.4.1根据OntoStar中定义的分类知识,获取CurrentNode.ObjectType的子孙目标分类概念构成的集合SubClassSet。如果SubClassSet不为空,转3.4.2;如果SubClassSet为空,转3.4.7。

[0052] 3.4.2取OntoStar中标记为目标识别规则的SWRL规则构成目标识别规则集RS2。按以下条件从RS2中筛选规则,构成规则集RS3:规则体中必须出现CurrentNode.ObjectType的目标分类概念,并且规则体出现的所有特征属性在FeatureRecord中相应的属性值不为空(即该特征属性的值存在)。RS3即为识别树RecognitionTree的当前节点可检测的所有规则集合(即待识别目标具有相应的特征属性,这些规则可检验)。根据RS3和SubClassSet按照如下条件构建集合ConceptSet:提取RS3中规则头使用的目标分类概念构成集合与SubClassSet求交集,得到ConceptSet,ConceptSet为依据RS3从当前节点可进一步判别的子类节点集合。如果ConceptSet不为空,转3.4.3;如果ConceptSet为空,转3.4.7。

[0053] 3.4.3建立一个目标分类概念链表ConceptList。对集合ConceptSet中的每一个元素CurrentE,检测RS3中是否存在一条规则RuleY满足以下条件:规则RuleY规则头中的概念为元素CurrentE,且FeatureRecord中的已知特征数据使得RuleY的前提条件成立。如果存在RuleY满足上述条件,则将CurrentE加入到ConceptList。如果ConceptList为空,则转3.4.7;如果ConceptList不为空,转3.4.4。

[0054] 3.4.4建立一个节点链表NodeList。对链表ConceptList中的每一个元素CurrentConcept,构建一个节点NewNode=<CurrentConcept,null,CurrentNode,null,false>,将NewNode加入到NodeList。

[0055] 3.4.5将CurrentNode.FirstChildNode设为NodeList中的第一个节点。对NodeList中的 $i(i=1,2,\dots,\text{NodeList中节点数}-1)$ 个节点,将其BrotherNode设为NodeList中第 $i+1$ 个节点。如果NodeList中的所有节点都作为根节点完成了识别树子树的构建,转3.4.7;如果NodeList中还存在节点未作为根节点构建识别树子树,转3.4.6。

[0056] 3.4.6对NodeList中的第 $j(j=1,2,\dots,\text{NodeList中节点数})$ 个未作为根节点扩展识别树子树的节点Node_j,将CurrentNode赋值为Node_j,以CurrentNode为根节点,转3.4.1扩展识别树的子树。

[0057] 3.4.7完成了以CurrentNode为根节点的识别树子树的构建。如果CurrentNode为<'空间目标',null,null,null,false>(即根节点),转3.5;如果CurrentNode不为根节点,转3.4.8。

[0058] 3.4.8CurrentNode赋值为CurrentNode.FatherNode,NodeList赋值为前面构建的包含CurrentNode的链表,转3.4.6。

[0059] 3.5定义一个链表变量leafNodes,用于记录识别树的当前所有叶节点,并设其初始值为空表,将FeatureRecord数据表示成本体实例知识库ABox_{so},表示方法参考“Ontology Development 101:A Guide to Creating Your First Ontology.Stantford Medical Informatics Technical Report,SMI-2001-0880,2001.p1-25”(本体开发101方法:一种创建你的第一个本体的方法指南)。采用自底向上的方式检测ABox_{so}是否满足OntoStar中有关识别树节点中目标分类的知识一致性,并删除不满足一致性的树节点,方法是:

[0060] 3.5.1遍历RecognitionTree,如果其中的节点node满足node.ChildNode为null且node.Check为false,则将node加入链表leafNodes。如果leafNodes为空,则一致性检测结束,转3.6;如果leafNodes不为空,转3.5.2。

[0061] 3.5.2选择leafNodes中的最后一个元素currentLeaf,并从leafNodes中移除currentLeaf。从OntoStar中提取与currentLeaf.ObjectType相关的本体知识构成知识库KB1,将ABox_so和KB1合并得到知识库soKB。使用“A tableau decision procedure for *SHOIQ*. Journal of Automated Reasoning, 2007, 39(3): 249-276.”(*SHOIQ*的Tableau决策过程)中的Tableau算法检测soKB是否满足一致性。如果soKB满足一致性,表明待识别空间目标属于currentLeaf.ObjectType分类,转3.5.3;如果soKB不满足一致性,转3.5.5。

[0062] 3.5.3更新一致性检测标识位,currentLeaf.Check置为true。如果currentLeaf.FatherNode不为null,转3.5.4,将祖辈节点的一致性标识位皆赋为true;如果currentLeaf.FatherNode为null(即根节点),转3.5.1,继续进行其他的叶节点检测。

[0063] 3.5.4currentLeaf=currentLeaf.FatherNode,转3.5.3。

[0064] 3.5.5如果currentLeaf.FatherNode为null,转3.6;如果currentLeaf.FatherNode不为null,转3.5.6。

[0065] 3.5.6从RecognitionTree上删除不一致叶节点currentLeaf,转3.5.1,删除不一致叶节点的currentLeaf,具体方法是:

[0066] 3.5.6.1设置临时变量node=currentLeaf.FatherNode.ChildNode。

[0067] 3.5.6.3检查node.BrotherNode是否为currentLeaf,如果不是,转3.5.6.4;如果node.BrotherNode为currentLeaf,转3.5.6.5。

[0068] 3.5.6.4将node.BrotherNode设为node,转3.5.6.3。

[0069] 3.5.6.5如果currentLeaf为currentLeaf.FatherNode.ChildNode,则currentLeaf.FatherNode.ChildNode置为currentLeaf.BrotherNode;如果currentLeaf不为currentLeaf.FatherNode.ChildNode,node.BrotherNode置为currentLeaf.BrotherNode。

[0070] 3.6遍历RecognitionTree,获得RecognitionTree的所有叶节点,取这些叶节点的ObjectType值构成分类概念集合ClsSet;若ClsSet中仅有一个分类概念元素,则将该分类概念元素输出,该分类概念元素作为这一次待识别目标分类识别的结果,转3.2,对下一个待识别空间目标进行分类识别;若ClsSet为包含多个分类概念的集合 $\{C_1, \dots, C_n\}$,则根据OntoStar中定义的分类知识,获取 C_1, \dots, C_n 的最低层次共同父类并输出, C_1, \dots, C_n 的最低层次共同父类作为这一次待识别目标分类识别的结果,转3.2;若集合为空,说明该目标无法识别,不识别该目标的类型,转3.2。

[0071] 3.7结束基于OntoStar对SODB中待识别空间目标的识别。

[0072] 与现有技术相比,采用本发明可以达到以下技术效果:

[0073] 1)步骤1.3将空间目标的分类体系及空间目标识别的相关背景知识集成到知识库,使得基于OntoStar的空间目标识别能够在全局的分类体系上进行,可以有效克服目标识别关注的视野局限于目标本身的缺陷。步骤1.3和步骤1.5分别将空间目标识别的相关背景知识和空间目标的多重特征分类识别规则集成到知识库,使得基于OntoStar的空间目标识别在单个概念层次上的分类识别过程中,能够利用背景知识,并充分综合利用多个特征,

进行分类识别,从而,当分类识别过程中使用的某一特征数据缺失或存在较大误差时,该方法能够保持稳定性和目标识别的准确率。基于OntoStar的识别过程达到了集成多源信息并在全局分类下完成对空间目标的识别效果,其效果示意图如图4所示。

[0074] 2)步骤1.6使用本体一致性检测工具检测包含多个实例中间应用本体Mid-OntoStar 的一致性,并通过挖掘最小不一致集合,发现Mid-OntoStar中的“劣质”规则并删除了这些规则。通过不断查找并删除“劣质”规则,提高了最终形成的OntoStar中知识的质量,使得基于OntoStar的空间目标识别的错误识别率降低,从而保持了较高的精度。

[0075] 3)实验结果表明,与背景技术相比,本发明具有较好的稳定性和较高的识别率。使用1044个测试样本数据(目标类型分布在两个层次:空间碎片、火箭、人造卫星分类层次和人造卫星分类子类层次)进行实验的结果显示,本发明的正确识别率较高(96.65%)。与背景技术中国专利201110205838.0相比,在对更多类型的目标进行识别时,本发明保持了相同的正确识别率。随着空间目标信息空值(即一些空间目标在某一特征属性上取值未知)率增加,本发明识别精度平稳下降(即1044个测试样本数据中正确识别的空间目数与错误识别的空间目标数之比减小),如图3所示。本发明在缺失某些特征属性取值时,仍然能够对一些空间目标进行正确分类,与背景技术一种多模型自适应估计的空间目标识别方法、一种基于人造空间目标分类体系的空间目标识别方法不同缺失某一特征属性取值时不能识别相比,优势明显。

[0076] 4)与使用支持SWRL和ABox的通用本体推理机进行问题求解相比,本发明第三步的计算过程充分利用了OntoStar的特性,分类树构建阶段的复杂度不超过 $O(N^C)$ (C为概念层次数,N为本体中的公理数),低于通用推理机EXPTIME的复杂度(通用推理机的复杂度参考“Donini F M,Lenzerini M,Nardi D,et al.AL-log: Integrating datalog and description logics. Journal of Intelligent Information Systems,1998,10(3):227-252.”)。使用1044个测试样本数据进行实验,使用通用推理机Pellet和本发明第三步的计算过程,识别单个目标平均耗时分别为179.6毫秒和52.7毫秒,实验表明,本方法效率更高。

附图说明

[0077] 图1是本发明总体流程图。

[0078] 图2是本发明是第一步的流程图。

[0079] 图3是第二步的流程图。

[0080] 图4是第三步的流程图。

[0081] 图5是本发明1.7步形成的空间目标识别应用本体OntoStar的上两层分类、第三层部分分类及其层次关系图。

[0082] 图6是本发明和机器学习分类方法Prism分别对1044个测试样本数据进行识别的精度随空值率变化图。

[0083] 图7是本发明综合运用知识基于全局分类体系识别空间目标的效果示意图。

具体实施方式

[0084] 图1是本发明总体流程图。如图1所示,本发明包括以下步骤:

[0085] 第一步,基于资料文献已有的领域知识、领域专家的经验知识和数据挖掘得到的

知识,构建空间目标识别应用本体OntoStar。

[0086] 第二步,根据OntoStar中定义的可识别空间目标的所有特征,构建待识别空间目标数据库SODB,建立待识别空间目标的特征表,存储各传感数据源提取的待识别空间目标的特征数据。

[0087] 第三步,根据SODB中的待识别空间目标数据基于OntoStar构建识别树,通过解析识别树实现自动目标识别。

[0088] 图2是基于资料文献已有的领域知识、领域专家的经验知识和数据挖掘得到的知识,构建空间目标识别应用本体OntoStar的流程图。如图2所示,本发明第一步构建空间目标识别应用本体OntoStar包括以下步骤:

[0089] 1.1建立空间目标识别领域要素的分类体系TaxoS0,TaxoS0的上三层分类及其层次关系如图2所示。

[0090] 1.2构建空间目标识别相关背景知识库BGKB。

[0091] 1.3在本体编辑工具Protégé4.2上,将分类体系TaxoS0、空间目标及其有关特性的描述、空间目标可测特性的描述、空间目标的上下文知识中非目标分类识别的知识使用OWL表示,将空间目标类型与其特征之间关系的知识即空间目标分类知识用SWRL表示,形成初始知识库TaxoKB。当同时出现“A(?X),条件₁,...,条件_n→B(?X)”(SWRL规则1)和“A(?X),条件_{m+1},...,条件_{m+k}→C(?X)”(SWRL规则2)时,作如下处理,使得SWRL表示的知识符合表示规范SOClassifyNorm:则将SWRL规则2改写为“B(?X),条件_{m+1},...,条件_{m+k}→C(?X)”。

[0092] 1.4使用RIPPER从空间目标特征数据集中挖掘空间目标分类识别规则,得到空间目标分类识别规则集RuleSetR;使用TFPC方法从空间目标特征数据集中挖掘空间目标分类识别规则,得到空间目标分类识别规则集RuleSetT。合并规则集RuleSetR和RuleSetT得到规则集RuleSet,并将RuleSet中的规则转换为与空间目标分类知识相同的表达形式,得到挖掘规则集DMRules。

[0093] 1.5采用SWRL表示DMRules中的分类识别规则,得到分类识别规则库DMKB。

[0094] 1.6将DMKB与TaxoKB组合在一起,形成初始应用本体Pre-OntoStar。在Pre-OntoStar的每个空间目标分类下,使用Protégé4.2添加至少10个实例,并为该实例的数据属性赋值,添加该对象的载荷、无线电波和轨道三个类实例并为这些实例的数据属性赋值,添加三个对象属性关系:实例-hasPayload-载荷类实例关系、实例-emmit-无线电波类实例关系、实例-hasOrbit-轨道类实例关系,得到Mid-OntoStar。

[0095] 1.6.1使用Protégé4.2打开Mid-OntoStar,使用Protégé4.2的Pellet插件进行一致性检验,通过了一致性检测,转1.7;如果没有通过一致性检测,转1.6.2。

[0096] 1.6.2则使用Pellet的“Explain Inconsistency”功能得到最小不一致集合,对集合中的规则按一下准则进行排序:通过咨询领域专家对经验知识形成的规则和挖掘规则进行排序、挖掘规则之间按可信度和支持度从大到小排序。使用Protégé4.2将排序最后的一条规则从Mid-OntoStar中删除,得到新的Mid-OntoStar,转1.6。

[0097] 1.7使用Protégé4.2删除Mid-OntoStar的所有实例,得到OntoStar。使用Protégé4.2编辑OntoStar,使用annotation功能,将规则头使用了特征分类概念和属性概念的SWRL规则,标记为“特征计算规则”;将规则头使用了目标分类概念的SWRL规则,标记为“识别规则”;将剩下的SWRL规则标记为“其他规则”。

[0098] 图3是根据OntoStar中定义的可识别空间目标的所有特征,构建待识别空间目标数据库SODB、建立待识别空间目标的特征表、存储各传感数据源提取的待识别空间目标的特征数据的流程图。如图3所示,本发明第二步构建待识别空间目标数据库SODB的步骤如下。

[0099] 2.1在数据库管理系统MySQL中构建待识别空间目标数据库SODB。

[0100] 2.2根据OntoStar中定义的目标的数据属性,建立待识别目标的基础属性特征表。

[0101] 2.3根据OntoStar中定义的目标的对象属性建立待识别目标的对象属性特征表,包括发射信息表、载荷表、TLE轨道元素表和无线电波信息表。

[0102] 2.4将各传感数据源提取的待识别空间目标的特征数据使用如下SQL语句插入SODB的特征表中的相应位置(设待识别目标ID为I,特征数据值为V,该特征在表table中对应属性attr):

[0103] 当表中已经存在ID为I的待识别目标时,Update table set attr=V where id=I;

[0104] 当表中不存在ID为I的待识别目标时,insert into table(ID,attr)values(I,V)。

[0105] 图4是根据SODB中的待识别空间目标数据基于OntoStar构建识别树,通过解析识别树实现自动目标识别。如图4所示,本发明第三步读取待识别空间目标数据、基于OntoStar构建识别树、解析识别树实现自动目标识别的步骤如下。

[0106] 3.1首先编写Java程序使用OWL-API将OntoStar调入内存,形成可使用的知识库。然后,使用JDBC和以下SQL语句查询SODB待识别空间目标的特征表,得到查询结果集合ObjFeatureList:

[0107] Select*from BasicFT,LaunchFT,PayloadFT,TLEFT,RadioWaveFT where BasicFT.ID=LaunchFT.ID and LaunchFT.ID=PayloadFT.ID and PayloadFT.ID=TLEFT.ID and TLEFT.ID=RadioWaveFT.ID。

[0108] 3.2如果ObjFeatureList为空,则转3.7;如果ObjFeatureList不为空,取ObjFeatureList中一个待识别目标的数据记录赋予数据记录变量FeatureRecord,将FeatureRecord从移除。

[0109] 3.3从OntoStar中提取标记为“特征计算规则”的SWRL规则构成规则集RS1,使用FeatureRecord中的已知特征数据,检测RS1中的每一条规则是否满足。

[0110] 3.3.1对FeatureRecord中取值为空的所有属性,取其属性名构成词汇集attrSet。检测RS1中是否存在一条规则RuleX满足以下条件:RuleX的规则头中的概念headAtom \in attrSet,且FeatureRecord中的已知特征数据使得RuleX的前提条件成立。如果存在RuleX满足上述条件,则转3.3.2;如果不存在RuleX满足上述条件,转3.4。

[0111] 3.3.2使用FeatureRecord中的已知特征数据和规则RuleX,计算RuleX的headAtom值vh,将vh设为FeatureRecord中headAtom属性的值,转3.3.1。

[0112] 3.4定义变量RecognitionTree表示待识别目标的识别树,识别树中每一节点的数据结构为元组<ObjectType,FirstChildNode,FatherNode,BrotherNode,Check>;变量CurrentNode表示识别树的当前节点;变量CurrentSubNode表示当前节点的当前子节点;变量CurrentClass表示当前节点的目标类型;节点中的Check位表示该节点是否已进行一致

性检测,默认为false。初始状态:RecognitionTree仅有根节点为<‘空间目标’,null,null,null,false>,CurrentNode赋值为根节点。

[0113] 3.4.1根据OntoStar中定义的分类知识,获取CurrentNode.ObjectType的子孙类概念构成的集合SubClassSet。如果SubClassSet不为空,转3.4.2;如果SubClassSet为空,转3.4.7。

[0114] 3.4.2从OntoStar中提取标记为“目标识别规则”的SWRL规则构成目标识别规则集RS2,按以下条件从RS2中筛选规则,构成规则集RS3:规则体中必须出现CurrentNode.ObjectType的分类概念,并且规则体出现的所有特征属性在FeatureRecord中相应属性值不为空(即该特征属性的值存在)。根据RS3和SubClassSet按照如下条件构建集合ConceptSet:提取RS3中规则头使用的目标分类概念构成集合与SubClassSet求交集,得到ConceptSet。如果ConceptSet不为空,转3.4.3;如果ConceptSet为空,转3.4.7。

[0115] 3.4.3建立一个分类概念链表ConceptList。对集合ConceptSet中的每一个元素CurrentE,使用FeatureRecord中的特征数据,检测相应的RS3中以元素CurrentE为规则头的规则是否满足,如果有规则满足,将CurrentE加入到ConceptList。如果ConceptList不为空,转3.4.4;如果ConceptList为空,转3.4.7。

[0116] 3.4.4建立一个节点链表NodeList,对链表ConceptList中的每一个元素CurrentConcept,构建一个节点NewNode=<CurrentConcept,null,CurrentNode,null,false>,将NewNode加入到NodeList。

[0117] 3.4.5将CurrentNode.FirstChildNode设为NodeList中的第一个节点。对NodeList中的 $i(i=1,2,\dots,\text{NodeList中节点数}-1)$ 个节点,将其BrotherNode设为NodeList中第 $i+1$ 个节点。如果NodeList中的所有节点都作为根节点完成了识别树子树的构建,则转3.4.7;如果NodeList中还存在节点未作为根节点构建识别树子树,转3.4.6。

[0118] 3.4.6对NodeList中的第 $i(i=1,2,\dots,\text{NodeList中节点数})$ 个未作为根节点扩展识别树子树的节点Node _{i} ,将CurrentNode赋值为Node _{i} ,以CurrentNode为根节点,转3.4.1扩展识别树的子树。

[0119] 3.4.7完成了以CurrentNode为根节点的识别树子树的构建。如果CurrentNode为<‘空间目标’,null,null,null,false>,转3.5;如果CurrentNode不为<‘空间目标’,null,null,null,false>,转3.4.8。

[0120] 3.4.8CurrentNode赋值为CurrentNode.FatherNode,NodeList赋值为前面构建的包含CurrentNode的链表,转3.4.6。

[0121] 3.5定义链表变量leafNodes并设初始状态为空,将FeatureRecord数据表示成本体实例知识库ABox_{so}。

[0122] 3.5.1宽度优先遍历RecognitionTree,如果其中的节点node满足node.ChildNode为null且node.Check为false,则将node加入链表leafNodes。如果leafNodes为空,则转3.6;如果leafNodes不为空,转3.5.2。

[0123] 3.5.2选择leafNodes中的最后一个元素currentLeaf,并从leafNodes中移除currentLeaf。从OntoStar中提取与currentLeaf.ObjectType相关的本体知识构成知识库KB1,将ABox_{so}和KB1合并得到知识库soKB。使用基于Tableau算法的本体一致性检测工具Pellet检测soKB是否满足一致性。如果soKB满足一致性,转3.5.3;如果soKB不满足一

致性,转3.5.5。

[0124] 3.5.3 currentLeaf.Check置为true。如果currentLeaf.FatherNode不为null,转3.5.5,如果currentLeaf.FatherNode为null,转3.5.2。

[0125] 3.5.4将currentLeaf赋值为currentLeaf.FatherNode,转3.5.3。

[0126] 3.5.5判断currentLeaf.FatherNode是否为null(即根节点),如果currentLeaf.FatherNode为null,则转3.6;currentLeaf.FatherNode不为null,转3.5.6。

[0127] 3.5.6从RecognitionTree上删除不一致叶节点currentLeaf,转3.5.1。

[0128] 3.6遍历RecognitionTree,获得RecognitionTree的所有叶节点,取这些叶节点的ObjectType值构成分类概念集合ClsSet;若ClsSet中仅有一个分类概念元素,则将该分类概念元素输出,该分类概念元素作为这一次待识别目标分类识别的结果,转3.2,对下一个待识别空间目标进行分类识别;若ClsSet为包含多个分类概念的集合 $\{C_1, \dots, C_n\}$,则根据OntoStar中定义的分类知识,获取 C_1, \dots, C_n 的最低层次共同父类并输出, C_1, \dots, C_n 的最低层次共同父类作为这一次待识别目标分类识别的结果,转3.2;若集合为空,说明该目标无法识别,不识别该目标的类型,转3.2。

[0129] 3.7结束。

[0130] 图5是本发明1.7形成的空间目标识别应用本体OntoStar的上两层分类、部分第三层分类及其层次关系图。如图5所示,OntoStar的分类体系第一个层次分类概念有:特征、轨道、载荷、空间目标、传感器、无线电波。其中,空间目标特征进一步划分为:电磁散射特性、频谱特性、常见形状、尺寸、姿态、运动模式;轨道划分为:地心轨道、月心轨道、土星轨道、金星轨道、水星轨道、火星中心轨道、木星中心轨道和其他轨道;空间目标进一步划分为陨石、飞船、导弹、空间站、火箭、卫星、碎片。图中显示的第三层分类,地心轨道进一步划分为:高椭圆轨道、高轨道、中轨道、低轨道和地球同步轨道;卫星划分为:科学研究卫星、地球探测卫星、通信卫星、侦察监视卫星、导航定位卫星、业余无线电卫星、天文卫星、小型化卫星、杀手卫星、修复卫星。

[0131] 图6是本发明和机器学习分类方法Prism分别对1044个测试样本数据进行识别的精度随空值率变化图。图3横轴是测试数据中包含属性取值为空的空间目标占测试数据的比率,纵轴为精度;红线为Prism方法测试的精度,蓝线为本发明测试的精度;标“o”的线为对碎片分类识别的精度,标“+”的线为对火箭分类识别的精度,标“*”的线为对卫星分类识别的精度。如图3所示,随着空间目标信息空值(即一些空间目标在某一特征属性上取值未知)率增加,本发明识别精度平稳下降(即1044个测试样本数据中正确识别的空间目标数与错误识别的空间目标数之比没有剧烈减小);如图6所示,本发明识别精度下降率小于空值增加率,这表明,本发明在缺失某些特征属性取值时,仍然能够对部分空间目标进行正确分类。

[0132] 图7是本发明综合运用知识基于全局分类体系识别空间目标的效果示意图。由图7可见,对空间目标从上一个层次到下一个层次分类识别过程中,本发明依据使用了多个特征(多源数据)推导结论的规则或背景知识形成的类约束,进行分类识别。

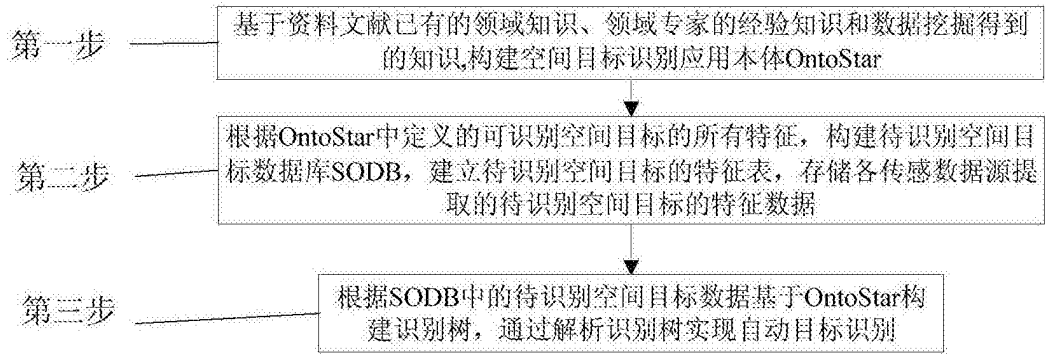


图1

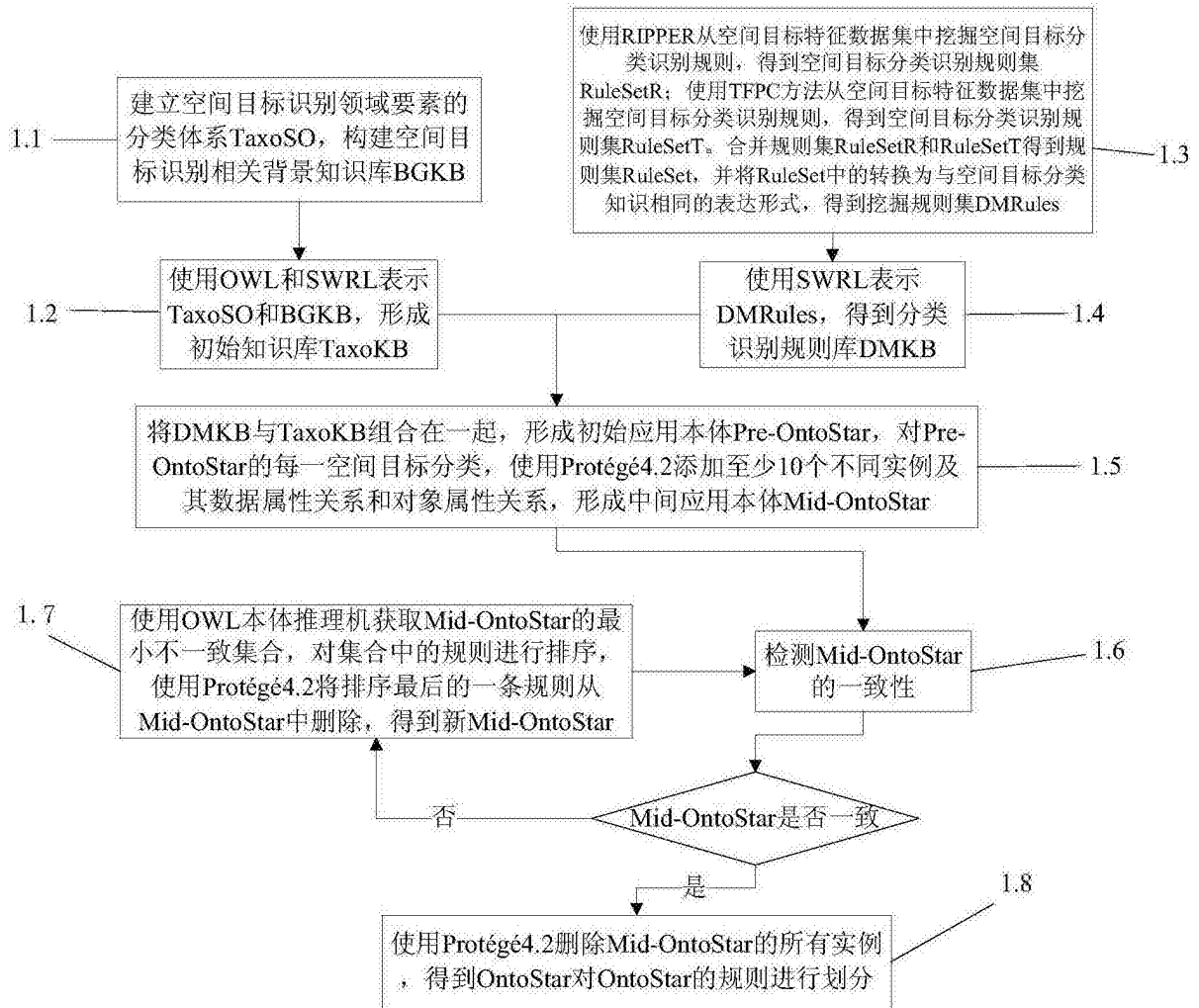


图2

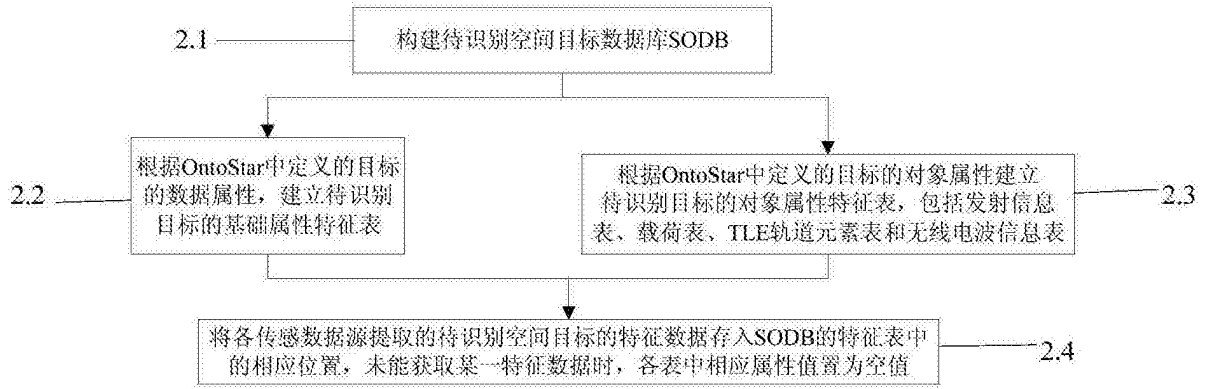


图3

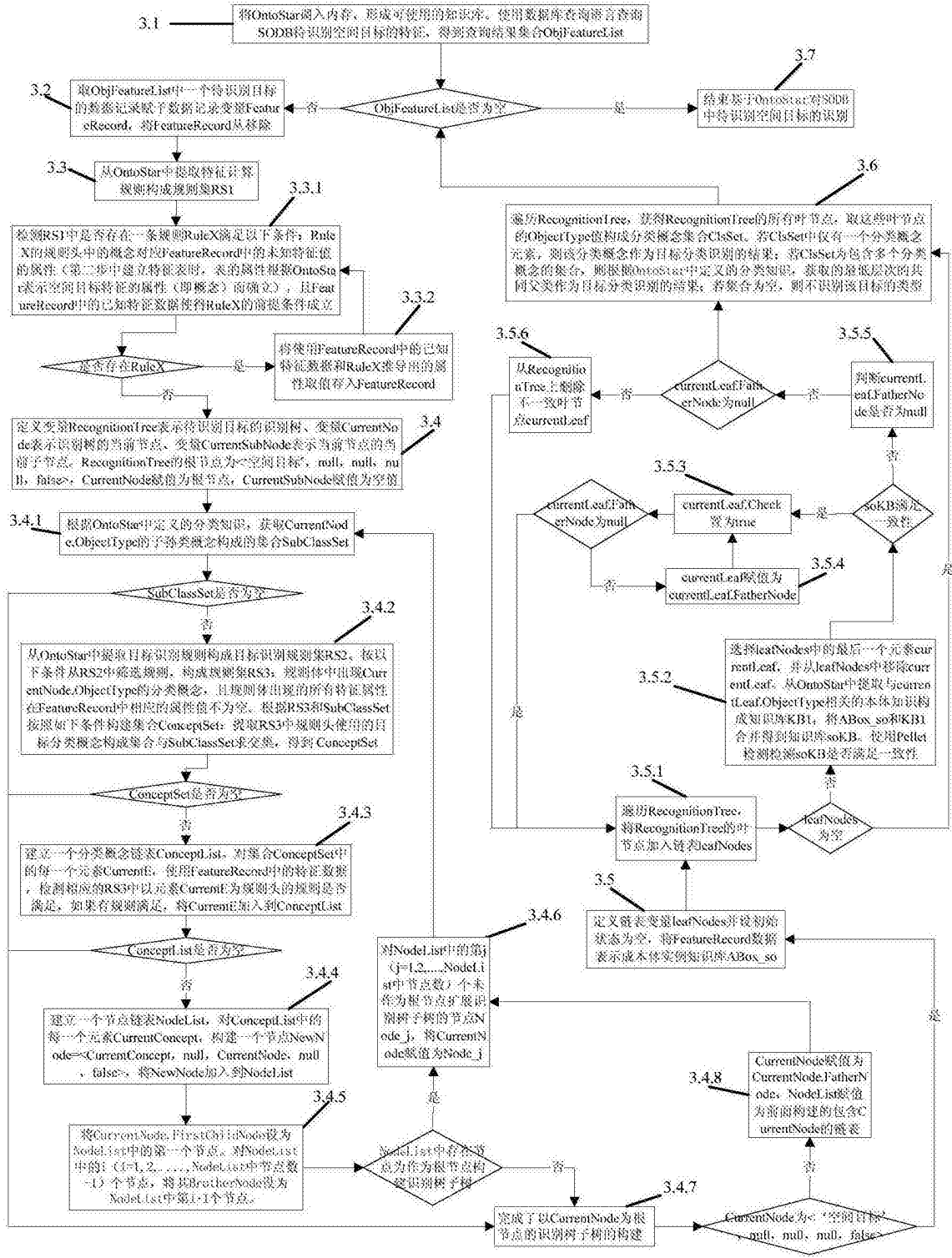


图4

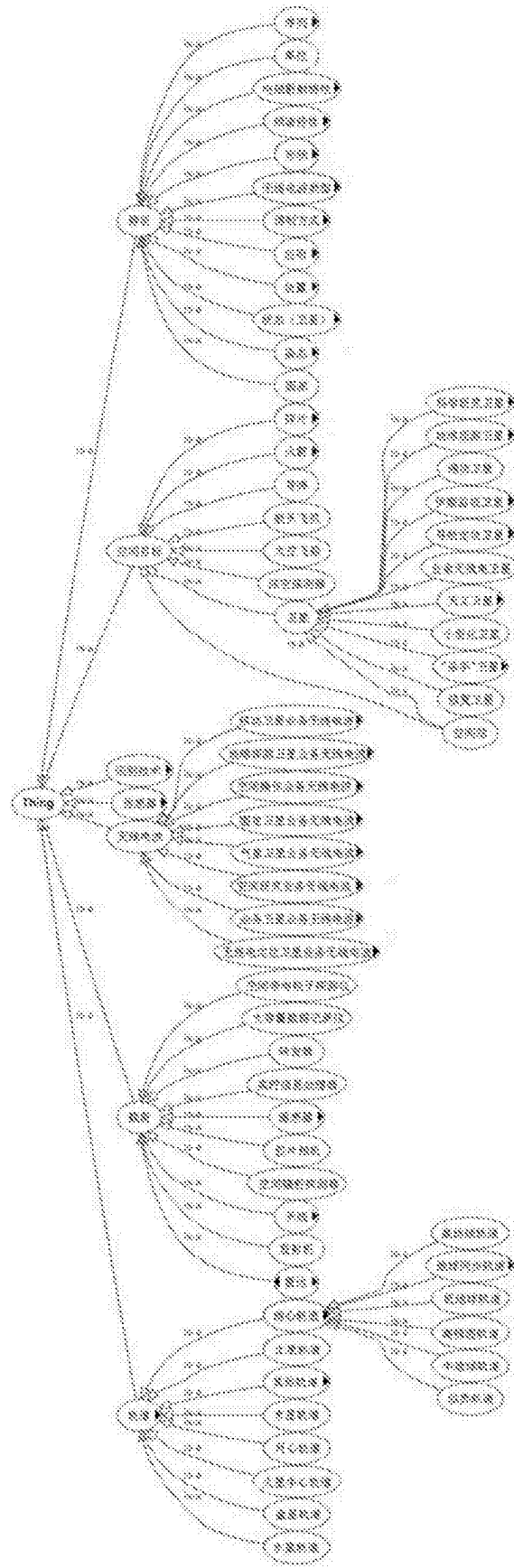


图5

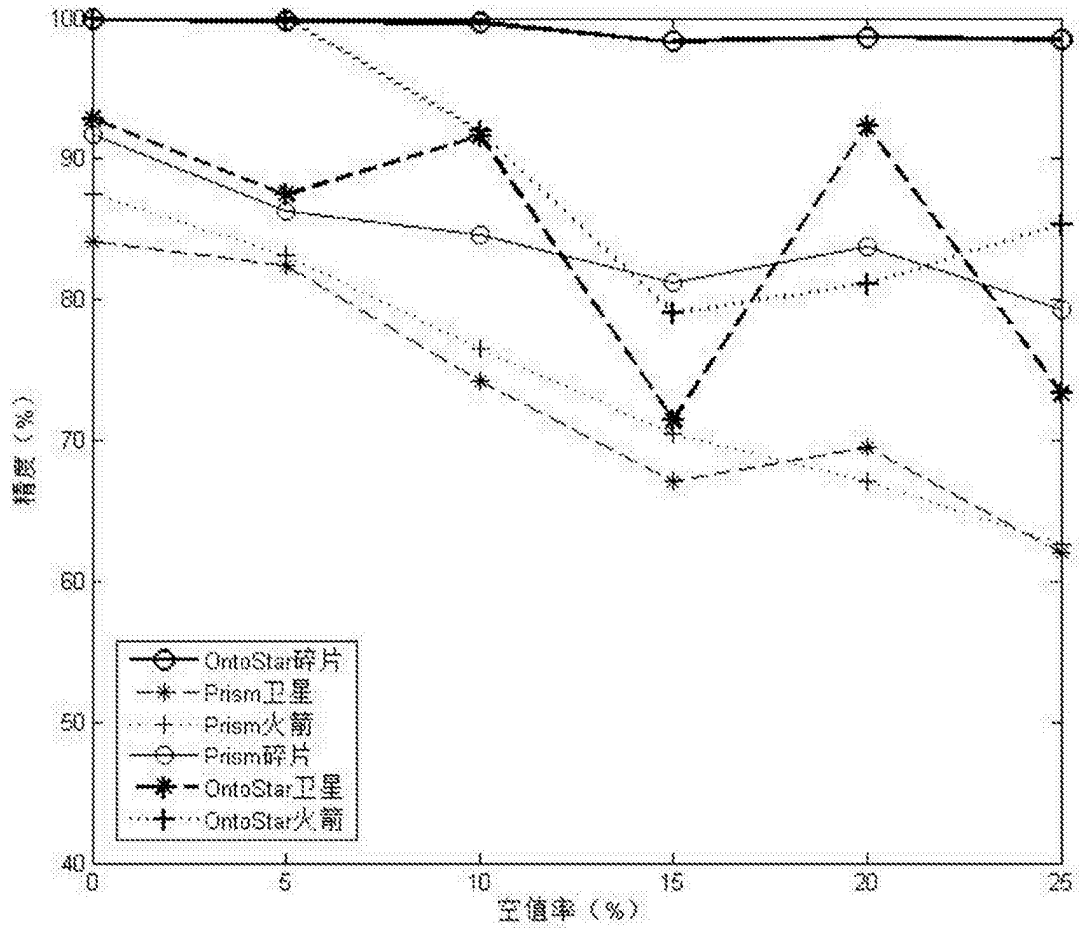


图6

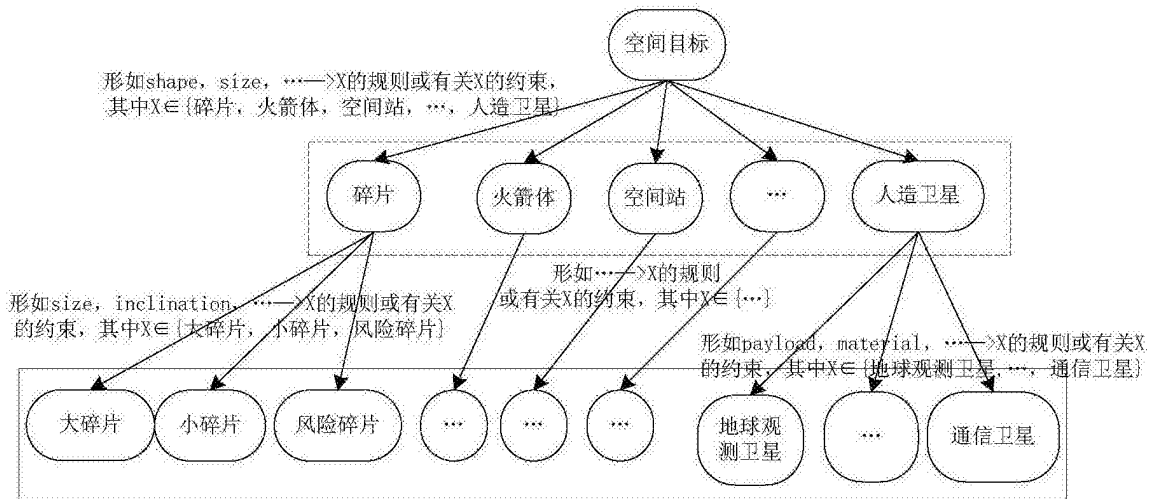


图7