

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201711019



运用覆盖模型的遥感时序 数据 Web 互操作

陈远杰^{1,2}, 余劲松^{1,2}, 佟瑞菊³

- (1. 福州大学 空间数据挖掘和信息共享教育部重点实验室, 福建 福州 350003;
2. 福州大学 福建省空间信息工程研究中心, 福建 福州 350003;
3. 福建工程学院 交通学院, 福建 福州 350118)

摘要: 提出从概念、逻辑、物理三个层次实现遥感时序数据覆盖模型(RSTSDCM),并补充遥感影像元数据,使其能被有效解析.该模型遵循覆盖标准,支持基于 Web 覆盖服务(WCS)/Web 覆盖处理服务(WCPS)的互操作挖掘应用.为实现此应用,设计基于该模型快速原型,通过中间件连接 Rasdaman 覆盖数据处理引擎和 Rserve 服务,耦合二者特性,在 WCPS 计算基础上,利用 R 建立数据挖掘模型,使遥感信息互操作挖掘能力提升到更高层次.进行郑州市主城区遥感生态指数(RSEI)互操作计算的试验.结果表明:该模型不仅支持遥感时序数据互操作,更能挖掘出隐含的时空动态变化信息及专题时态数据相关关系.

关键词: 覆盖模型; 遥感时序数据; 互操作; 数据挖掘; 遥感生态指数

中图分类号: TP 393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2018)06-0899-07

Remote Sensing Time-Series Data Web Interoperability Using Coverage Model

CHEN Yuanjie^{1,2}, YU Jinsong^{1,2}, TONG Ruiju³

- (1. Key Laboratory of Spatial Data Mining and Information Sharing of Ministry of Education,
Fuzhou University, Fuzhou 350003, China;
2. Spatial Information Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou 350003, China;
3. Transportation College, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: A remote sensing time-series data coverage model (RSTSDCM) is proposed and implemented from the three levels of concept, logic, and physics, and the metadata of remote sensing image is supplemented so that it can be effectively resolved. RSTSDCM follows coverage standard, supports interoperable mining applications based on Web coverage service (WCS)/Web processing coverage service (WCPS). To implement the application, a middleware application prototype based on RSTSDCM is designed to connect Rasdaman and Rserve. On the basis of WCPS computing, a data mining model is established by R. In this way, interoperability of local remote sensing information mining is promoted to a higher level. Finally, an interoperability experiment of Zhengzhou city remote sensing ecological index (RSEI) calculation shows RSTSDCM not only supports Web interoperation of remote sensing data, but also reveals implicit spatio-temporal dynamic informa-

tion and correlation of thematic temporal data.

Keywords: coverage model; remote sensing (time-series) data ; interoperability; data mining; remote sensing ecological index

空天地一体化对地观测网作为保障国家安全、经济社会发展的重要基础设施,对提高我国核心竞争力具有重大意义. 其研究核心是解决地球空间信息获取、处理、应用和服务中的基础理论问题^[1]. 随着遥感技术的发展,遥感数据呈现海量、多元、异构等特征,如何有效集成这些数据,提取出其中隐含但又具有潜在价值的信息是空天地一体化对地观测应用服务的关键问题之一^[2]. 遥感时序数据蕴含丰富的历史信息,在水体面积变化监测、地物信息特征提取、精准农业产量预估等领域发挥重要作用^[3-5]. 为了深入挖掘遥感时序信息,学者们开展了遥感时序数据建模研究^[6],可有效解决领域内问题,但未涉及分布式异构遥感时序数据互操作问题. 开放地理空间信息联盟(open geospatial consortium, OGC)和 ISO/TC 211 推出了一系列面向 Web 服务的地理信息共享和互操作规范. 其中,OGC Web 覆盖服务(Web coverage service, WCS)规范^[7]基于覆盖模型反映地理现象的真实状态,保持了地理数据原始语义并支持机器解译和判读^[8]. 文献^[9]研究了基于覆盖模型的遥感时序信息表达,并通过 Web 覆盖处理服务(Web coverage processing service, WCPS)^[10]进行互操作挖掘,但遥感数据的描述未完全涉及,不利于互操作的解析. 因此,本文构建了可满足遥感时序数据互操作解析的遥感时序数据覆盖模型,并设计了相应快速原型,实现遥感时序数据互操作挖掘,为区域时空大数据互操作挖掘研究提供新思路.

1 遥感时序数据覆盖模型

1.1 概念模型

概念层次上,ISO 19123^[11]将覆盖模型定义为:在给定时空范围内,任意位置到该位置上相关地理现象属性值的映射,即空间和/或时间到属性值的映射. 主要涉及覆盖模型索引域、值域和值域类型的定义. 索引域实现覆盖模型的时空定位;值域存储了该位置上的属性值;值域类型描述了属性值代表的含义. 覆盖模型以映射方式建模,契合遥感时序信息的表达.

遥感时序数据覆盖模型除了具备索引域、值域和值域类型信息外,还需相应元数据,使该模型能被有效解析. ISO/TC 211 提出了 ISO 19163-1^[12]影像和格网内容模型标准. 该标准对影像和格网数据进行分类,分析了类别间的继承关系,并指出此类数据继承于覆盖模型. 同时,以最低需求制定此类数据的基础元数据,使元数据冗余较少. 其中,针对影像数据类,定义了获取时间、影像描述、镶嵌情况、波段信息、卫星平台、传感器等元数据项. 针对影像数据类的子类,如光学影像等,则在基础元数据上,又定义了光学影像类型、光学传感器类型元数据项.

遥感影像应用前,通常需要进行 2 次预处理,分别是地面接收站获取遥感影像时所做预处理,以及用户使用遥感影像前所做二次预处理. ISO 19163-1 缺乏相应的元数据记录这两次预处理信息,欧洲航空航天局归档格式标准 SAFE 定义的“provenance”^[13]支持遥感影像历史处理信息的记录,可弥补这一不足. 此外,为了反映研究对象的作用域,还需感兴趣区域的范围信息. OGC Web 覆盖服务对地观测应用(Web coverage service earth observation, WCSEO)^[14]定义的“footprint”支持这一信息的记录. 综上所述,即可构建遥感时序数据覆盖模型的元数据集,使该模型能被有效解析,如表 1 所示.

表 1 遥感时序数据覆盖模型元数据

Tab. 1 Remote sensing time-series data coverage model metadata

遥感数据描述需求	互操作元素	相关标准	必要性说明
获取时间	acquisitionTime	ISO 19163-1, 引用自 ISO 19108	影像获取时间,便于影像的检索和查询
影像描述	imageDescription	ISO 19163-1, 引用自 ISO 19115-1	影像的相关情况,如数据产品级别、太阳方位角、太阳高度角等信息
镶嵌情况	isMosaic/IE_MosaicElement	ISO 19163-1	影像镶嵌信息,若是,则记录各镶嵌影像相应信息等,可进一步校验感兴趣区范围的有效性

续表			
Continue table			
遥感数据描述需求	互操作元素	相关标准	必要性说明
波段信息	numberOfBands/MI_Band	ISO 19163-1, 引用自 ISO 19115-2	判定影像波段是否满足应用需求
卫星平台信息	platformInfo	ISO 19163-1, 引用自 ISO 19115-2	影像成像的载体信息,如 Landsat 系列卫星,便于影像的检索和查询
传感器信息	sensorInfo	ISO 19163-1, 引用自 ISO 19115-2	影像成像的传感器,如 TM 传感器,可推断该传感器影像的空间分辨率、时间分辨率等
光学影像类型	opticalImageType	ISO 19163-1	光学影像类型信息,如多光谱影像
光学传感器类型	opticalSensorType	ISO 19163-1	光学影像的成像方式,如摆扫式
感兴趣区域	footprint	OGC 10-140r1	感兴趣区域边界点坐标, 便于影像的检索和定位
影像处理信息	provenance	ESA PGSI-GSEG- EOPG-FS-05-0001 issue 2 revision 4	数据存储、处理流程及有关负责人信息 等信息. 其中 processing 元素记录遥感数据 历史处理信息,包括地面接收站的处理、 用户的二次处理,用于判定影像进行的 预处理是否达到应用的要求

1.2 逻辑模型

逻辑层次上,主要涉及了遥感时序数据覆盖模型的编码. 该编码的实现是基于 OGC GML coverage^[15] 编码标准进行的,能通过 WCS/WCPS 互操作一致性检验. GML coverage 是 ISO 19123 覆盖模型的标准编码实现,定义了 XML Schema,使覆盖模型的各个地理要素以结构化信息树的形式组织起来. 主要包括 4 个模块:索引域(DomainSet)、值域(RangeSet)、值域类型(RangeType)及元数据(MetaData). 其中,元数据模块通过使用<any>元素,允许自定义扩展.

对于遥感时序数据覆盖模型而言,也具备 GML coverage 4 个模块. 各模块记录信息如下:索引域记录了时空混合坐标系下的遥感影像各像元位置坐标;值域记录了遥感影像不同波段的亮度值,并允许同时存储多个波段;值域类型记录了每个波段的含义;元数据记录了遥感时序数据元数据信息.

遥感时序数据覆盖模型的逻辑模型,如图 1 所示. 图 1 中:“AbstractRSTSDCMMetadata”对象作为抽象元数据类,遵循影像数据类的继承关系,且包含了相应元数据的编码元素. 该对象可分为共有特征元数据和独有特征元数据两大类.

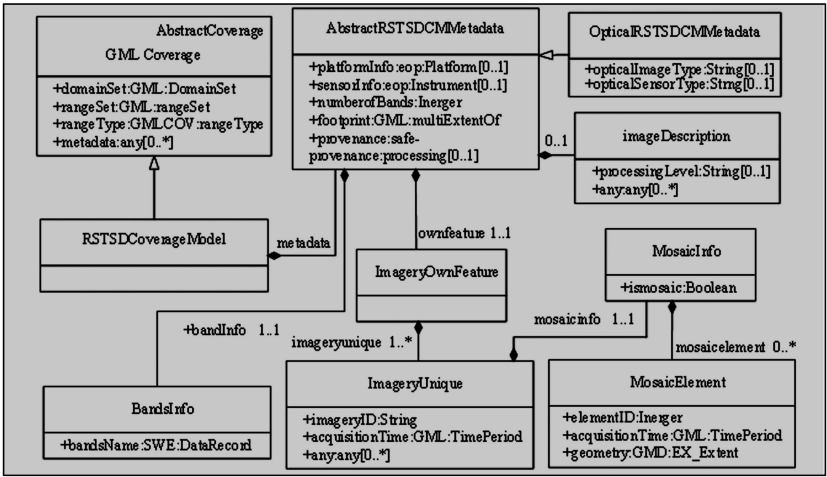


图 1 遥感时序数据覆盖模型

Fig. 1 Remote sensing time-series data coverage model

共有特征元数据记录了影像数据集相同的特征信息,包括影像处理级别、卫星平台、传感器信息、影像范围、历史处理信息、影像波段等. 独有特征元数据记录了每幅影像不同的特征,主要涉及各个影像的获取时间、镶嵌信息等. 实际编码时,“AbstractRSTSDCMMetadata”需要被实例化为具体的影像类,并补充该类别的元数据. 以光学影像为例,需被实例化为光学影像类遥感时序数据覆盖模型元数据,即“OpticalRSTSDCMMetadata”,并补充“opticalImageType”和“opticalSensorType”.

1.3 物理模型

物理层次上,主要涉及遥感时序数据覆盖模型 XML 数据的数据库存储. 基于模板驱动的映射规则算法进行 XML 数据的关系数据库存储,其映射规则算法为:复杂元素映射为数据表,当其子元素为简单元素时,则直接构成该数据表的列;当其子元素为复杂元素,则映射为新数据表,并以外键进行关联. 但是,有的复杂元素嵌套引用其他复杂元素,存在多层子节点,且部分子节点没有实值. 这种情况下,上述算法规则下建表存在大量空表,形成冗余. 因此,文中以基于模板驱动的映射规则算法为指导思想,结合实例化的 XML 数据,仅对有实值的元素进行存储,实现 XML 数据的关系数据库存储. 遥感时序数据覆盖模型的索引域、值域、值域类型及元数据信息分别由“domainset”“rangeset”“rangetype”“rstsdcm-metadata”表记录,并通过外键“rscmid”与主表“rstsdcm”进行关联,如图 2 及表 2 所示.

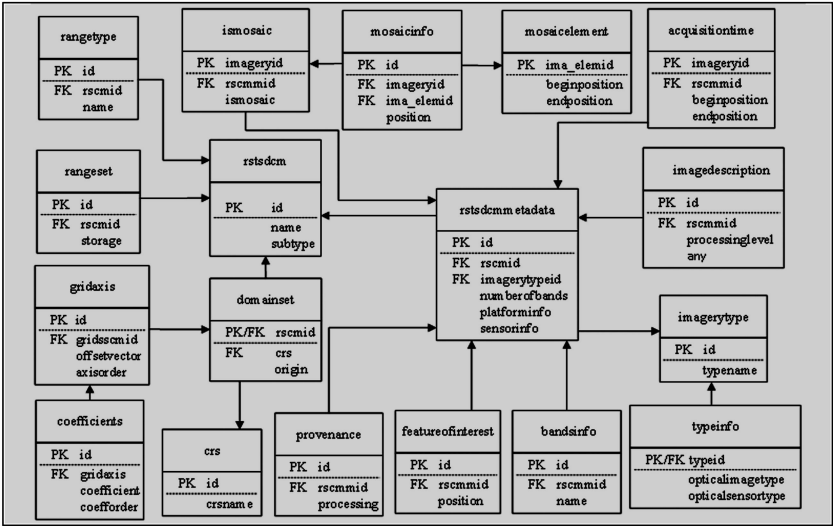


图 2 遥感时序数据覆盖模型物理结构

Fig. 2 Physical structure of remote sensing time-series data coverage model

表 2 遥感时序数据覆盖模型数据库建表情况

Tab. 2 Database table of remote sensing time-series data coverage model

项目	索引域	值域	值域类型	元数据
数据库表名	domainset, gridaxis, coefficients, crs	rangeset	rangetype	rstsdcmmetadata, imagerytype, typeinfo, imagedescription, provenance, featureofinterest, bandsinfo, acquisitiontime, ismosaic, mosaicinfo, mosaicelement
记录内容	索引域时空混合坐标系、原点坐标、各轴步进、不规则时间轴时间点信息	二进制遥感数据存储信息	遥感影像各波段信息	遥感影像的元数据信息, 具体对应于表 1

由图 2 及表 2 可知:“domainset”表记录了时空混合坐标系和该坐标系表示的原点坐标,其关联对象“gridaxis”及“coefficients”表记录了索引域每个轴的步进信息和不规则时间轴上时间点信息;“range-set”表记录了二进制遥感数据存储信息;“rangetype”表记录了值域类型信息,即遥感影像波段信息;“rstsdcmmetadata”表记录了波段数、影像类别、卫星平台、传感器信息. 其中,影像类别信息由“imagery-type”及其关联表记录;“imagedescription”表记录影像的处理级别等信息;“provenance”表记录影像历史处理信息;“featureofinterest”表记录研究区域 4 个边界点坐标信息;“bandsinfo”表记录各波段信息;“acquisitiontime”表记录每幅影像的获取时间;“ismosaic”记录每幅影像是否经过镶嵌处理,若是,则以其关联表记录具体镶嵌信息. 这些表均由外键“rscmid”与元数据主表“rstsdcmmetadata”相关联.

2 Web 互操作快速原型

Rasdaman(<http://www.rasdaman.org/>)是德国不莱梅大学和 Rasdaman 公司合作开发的覆盖数据处理引擎,较为全面地实现了 OGC 的 WCS 和 WCPS 服务. 其中:WCPS 是覆盖数据互操作查询语

言,支持覆盖数据的信息提取、处理、分析等操作. WCPS 的语法结构为

```
for $c in (coverageList)
  * (, $d in (coverageList))
  [where booleanScalarExpr]
return encode(coverageExpr,formatName)
```

为了提升覆盖数据统计分析能力,在 WCPS 计算基础上,提出 WCPS 和 R 语言协同计算方法,并构建相应快速原型,其原型架构如图 3 所示. WCPS 计算和 R 语言计算分别是由覆盖数据处理引擎 Rasdaman 和 Web 环境下 R 平台 FastRWeb(<http://rforge.net/FastR-Web/>)实现. 该快速原型以一个部署在 Tomcat 服务器的 Web 应用连接 Rasdaman 和 FastRWeb 的中间件. 用户通过浏览器向该中间件发送访问请求,Web 服务器动态返回服务器中可用的覆盖数据. 用户发送覆盖数据 WCPS 计算请求,Web 服务器将该请求发送至 Rasdaman,并将返回的计算结果写入数据库中. 用户通过与 FastRWeb 动态交互,调用部署在 FastR-Web 服务器上 R 脚本即可实现这些数据的更深层次计算.

3 Web 互操作应用案例

为检验遥感时序数据覆盖模型 Web 互操作计算,深层次挖掘遥感时序信息的能力,以 Web 互操作快速原型为实验平台,实现遥感生态指数(RSEI)互操作计算. RSEI 利用主成分分析技术集成了绿色、湿度、热度和干度 4 个评价指标,是较好的城市生态环境快速评价的指标^[16-17].

实验数据源可通过 USGS 下载,产品级别为 L1T 的 Landsat 5 影像,研究区域介于东经 113.48°~113.85°,北纬 34.62°~34.87°,日期分别为 1999 年 5 月 13 日,2006 年 5 月 16 日,2011 年 5 月 14 日. 这些遥感影像建模前进行相关预处理. 由于计算不同指标的遥感影像的预处理不相同,计算湿度指标的影像是表观反射率定标;计算绿色和干度指标的影像是辐亮度定标,且进行了大气校正;计算热度指标的热红外波段影像并未进行辐射定标. 因此,需对这 3 种预处理后的遥感影像数据集分别建模,实现遥感时序数据覆盖模型的 3 种实例化,并将预处理信息记录在元数据“provenance”中予以区分. 通过这 3 种覆盖数据,即可计算绿色、湿度、热度和干度指标. 热度指标公式各参数含义可参见文献[17],以热度指标为例,介绍 WCPS 语句语法规则,即

```
for c in (ZhengzhouMul),d in (ZhengzhouTem)
return encode((K2/ln(K1/(gain * d[x,y,t]+bias)+1))/(1+λ * K2/ln(K1/
(gain * d[x,y,t]+bias)+1)/ρ * ln(f((c. 3[x,y,t]-c. 2[x,y,t])/(c. 3[x,y,t]+
c. 2[x,y,t])))),“csv”)
```

该 WCPS 语句中,ZhengzhouMul,ZhengzhouTem 表示遥感时序数据覆盖模型的 2 种实例化;c. 2,c. 3 分别表示用于计算 NDVI 的红色和近红外波段,NDVI 是计算地表比辐射率的参数;d 表示热红外波段;[x,y,t]是该模型索引域的子集,表示在该时空范围内计算目标对象,其表示方法如[Lat(i;j),Long(m;n),ansi(t)]. 其中,经纬度应位于元数据 footprint 坐标区间内,时间应与元数据 acquisition-Time 相一致. 通过该 WCPS 语句可计算出目标时空域各位置点上的热度值. 其他 3 个指标计算与此类似,不再赘述.

通过 FastRWeb 读取 WCPS 数据库中的上述 4 个指标数据,并构成了 $4 \times n$ 的矩阵,利用 R 语言可进行下述计算. 首先,对上述 4 个指标进行归一化处理;然后,通过 princomp 函数进行主成分分析,并以 predict 函数获得第一主成分 PC1;最后,以 1 减去 PC1,并对结果归一化,使其取值区间为[0,1],从而计算出 RSEI. 其中,RSEI 的计算公式为

$$RSEI = 1 - \{PC1[f(WET,NDVI,NDSI,LST)]\}.$$

(1)

Web 互操作快速原型界面,如图 4 所示. 计算后 RSEI 的统计数据及可视化结果,如表 3 及图 5,6

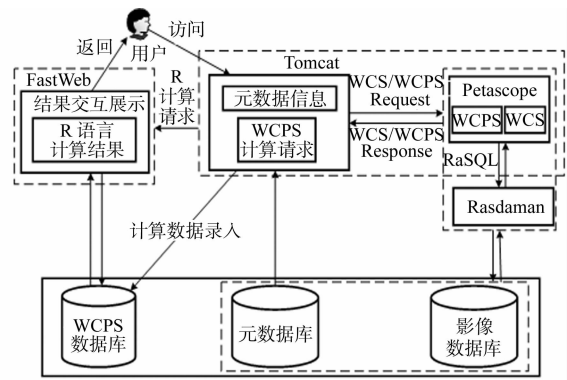


图 3 快速原型架构
Fig. 3 Architecture of rapid prototyping

所示. RSEI 变化统计是将各年份的 RSEI 以 0.2 为间隔分成 5 级, 分别代表差、较差、中等、良、优 5 个等级, 在此基础上进行分级面积统计和差值变化检测所得.



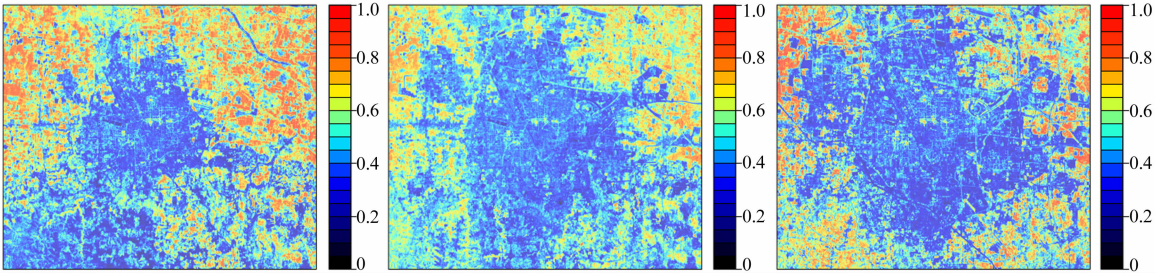
图 4 中间件 Web 界面

Fig. 4 Web UI of middleware

表 3 指标主成分分析及 RSEI 均值统计

Fig. 3 Principal component analysis and the means of RSEI

年份	项目	WET	NDVI	NDSI	LST	RSEI 均值
1999	PC1 载荷值	-0.366	-0.491	0.607	0.506	0.525
2006	PC1 载荷值	-0.416	-0.319	0.649	0.552	0.489
2011	PC1 载荷值	-0.277	-0.683	0.598	0.316	0.479



(a) 1999 年 (b) 2006 年 (c) 2011 年

图 5 RSEI 可视化结果

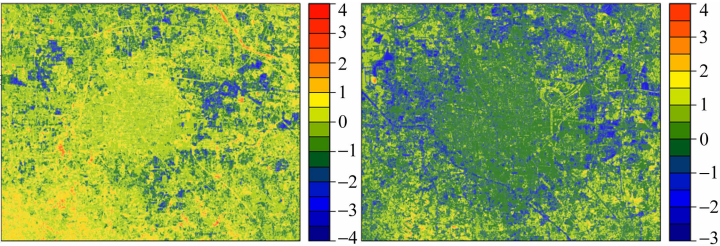
Fig. 5 Visual results of RSEI

由表 3 及图 5,6 可知:在研究时间内,郑州市主城区的生态环境呈恶化趋势.从空间上看,生态环境变化具有空间差异性,由 RSEI 变化图可知,生态环境恶化区域主要集中于城市周边地区.由指标对第一主成分载荷值可知,干度指标代表的建筑用地对 RSEI 影响最大,绿度指标代表的植被用地次之,建筑用地的增加和植被用地的减少会对城市生态环境产生一定消极影响,这是生态环境质量下降的主要原因.因此,城市发展过程中应参考生态环境各指标的影响度,合理规划土地利用,因地制宜,促进城市可持续发展.

遥感时序数据覆盖模型有效支持 Web 互操作计算,挖掘出城市生态环境质量时空动态变化信息及其原因,有助于决策者制定适宜的城市发展政策.

4 结论

在分析遥感数据互操作方法的基础上,从概念、逻辑、物理三个层次对遥感时序数据覆盖模型进行



(a) 1999—2006 年 (b) 2006—2011 年

图 6 RSEI 变化可视化结果

Fig. 6 Visual results of RSEI change

实现.同时,针对遥感时序数据覆盖模型的解析需求,构建基于 ISO 19163 影像数据类标准的元数据集.利用覆盖模型元数据模块的可扩展性,对该元数据集进行集成,使遥感时序覆盖模型能较好地支持遥感时序数据 Web 互操作应用.应用案例表明,该模型可充分发挥 WCPS 和 R 语言的优势,实现遥感时序数据的互操作挖掘,提取出遥感影像专题信息和时序影像间隐含动态关联信息.

在后续工作中,将进一步研究影像和格网数据类的继承关系及其元数据表达,以期完成基于影像和格网数据类的时序数据覆盖建模.此外,该模型编码数据入库需结合 XML Schema 实例化数据,而如何基于 XML Schema 实现自动化数据库建库也将是今后的研究重点.

参考文献:

- [1] 李德仁.论空天地一体化对地观测网络[J].地球信息科学学报,2012,14(4):419-425. DOI:10.3724/SP.J.1047.2012.00419.
- [2] 李德仁,张良培,夏桂松.遥感大数据自动分析与数据挖掘[J].测绘学报,2014,43(12):1211-1216. DOI:10.13485/j.cnki.11-2089.2014.0187.
- [3] 孔美美,陈锻生.采用混合像元分解的水库面积提取及变化监测[J].华侨大学学报(自然科学版),2017,38(3):385-390. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.201703018.
- [4] 王乾坤,于信芳,舒清态.基于时间序列遥感数据的森林火烧迹地提取[J].自然灾害学报,2017,26(1):1-10. DOI:10.13577/j.jnd.2017.0101.
- [5] 刘焕军,康苒,USTIN S,等.基于时间序列高光谱遥感影像的田块尺度作物产量预测[J].光谱学与光谱分析,2016,36(8):2585-2589. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2016)08-2585-05.
- [6] 李寅超,李建松.一种基于对象和快照的混合地表覆盖时空数据存储模型[J].测绘学报,2016,45(7):858-865. DOI:10.11947/j. AGCS. 2016. 20150176.
- [7] BAUMANN P. 09-110r4 OGC[®] WCS 2.0 interface standard-core; Corrigendum[S]. [S. l.]:OGC,2012.
- [8] 龚健雅,高文秀.地理信息共享与互操作技术及标准[J].地理信息世界,2006,4(3):18-27. DOI:10.3969/j.issn.1672-1586.2006.03.003.
- [9] CAMPALANI P,BECCATI A,MANTOVANI S,*et al.* Temporal analysis of atmospheric data using open standards [C]//ISPRS Technical Commission IV on Geospatial Databases and Location Based Services. Suzhou:[s. n.],2014:21-27. DOI:10.5194/isprsannals-II-4-21-2014.
- [10] BAUMANN P,YU Jinsongdi. 08-059r4 OGC[®] Web coverage service WCS interface standard; Processing extension[S]. [S. l.]:OGC,2014.
- [11] ISO Copyright Office. 19123 Geographic information; Schema for coverage geometry and functions; ISO/TC 211 N 1475[S]. [S. l.]:ISO Copyright Office,2003.
- [12] ISO Copyright Office. 19163-1 Geographic information; Content components and encoding rules for imagery and gridded data (Part 1); Content model[S]. [S. l.]:ISO Copyright Office,2015.
- [13] ESA,GMV. Standard archive format for Europe; PGSI-GSEG-EOPG-FS-05-0001[S]. [S. l.]:ESA,2015.
- [14] BAUMANN P,MSL S,EISYU Jinsongdi. 10-140r1 OGC[®] Web coverage service 2.0 interface standard; Earth observation application profile[S]. [S. l.]:OGC,2014.
- [15] BAUMANN P. 09-146r2 OGC[®] implementation schema for coverages[S]. [S. l.]:OGC,2012.
- [16] 余劲松弟,承达瑜,吴升. WCPS 与 Web 传输协议的地理格网互操作耦合模型及应用研究[J].地球信息科学学报,2015,17(2):191-196. DOI:10.3724/SP.J.1047.2015.00191.
- [17] 徐涵秋.城市遥感生态指数的创建及其应用[J].生态学报,2013,33(24):7853-7862. DOI:10.5846/stxb201208301223.

(责任编辑:钱筠 英文审校:吴逢铁)