

引用格式:李俊杰,陈舒博,张文,等.基于ODC的国产卫星影像存储与应用研究[J].地球信息科学学报,2020,22(9):1860-1867. [Li J J, Chen S B, Zhang W, et al. Management and application of domestic satellite imagery based on Open Data Cube[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(9):1860-1867.] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.190351

基于ODC的国产卫星影像存储与应用研究

李俊杰¹, 陈舒博², 张文¹, 余长慧¹, 张志远^{1,3}, 孟令奎^{1*}

1. 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079; 2. 中国地质大学(武汉)数学与物理学院, 武汉 430074;
3. 水利部信息中心, 北京 100053

Management and Application of Domestic Satellite Imagery based on Open Data Cube

LI Junjie¹, CHEN Shubo², ZHANG Wen¹, YU Changhui¹, ZHANG Zhiyuan^{1,3}, MENG Lingkui^{1*}

1. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. School of Mathematics and Physics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. Information Center (Hydrology Monitor and Forecast Center), Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China

Abstract: As earth observation enters the big data era, the traditional data management technology has often become insufficient in meeting research needs. As a new open source earth observation data management and analysis platform, Open Data Cube (ODC) is suitable for high-performance computing and exploratory data analysis of time series data. It's an important technical support platform for Asia-Oceania Global Earth Observation System of Systems (AOGEOSS). However, few attempts have been made on domestic satellite imagery data management using ODC. The current ODC lacks automated data organization tools for China's satellite imagery. Therefore, this paper took the domestic GF-1 imagery as an example to explore the automated management of domestic imagery data under the ODC framework by developing middleware called ODC_GFTool. The middleware's development environment is .NET Framework 4.0, which supports the current mainstream Windows 10 operating system. Based on GDAL, YamlDotNet and other components, ODC_GFTool achieves spectral information, band information, spatial reference, and other contents from high-resolution image files. In addition, with the strong matrix computing ability of the Matlab software, ODC_GFTool realizes high score image processing and visualization through mixed programming. The main processes of importing domestic satellite data into ODC using ODC_GFTool include defining GF-1 image products, building indexes, and ingesting data. For demonstration, the paper took Poyang Lake as the test area and did an experimental water extraction. Results show that ODC has obvious efficiency advantage compared with traditional data processing tools. The use of ODC for domestic satellite imagery management increased the storage space by 7.2% and reduced the processing time to one third of the traditional methods. In addition, compared to Google Earth Engine and EarthServer, ODC has the following advantages: (1) ODC supports localized database storage, considering the security of some satellite imagery, data storage and computing need to be local, not in the cloud.

收稿日期:2019-07-03;修回日期:2019-10-16.

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0405806)。[**Foundation item:** National Key Research and Development Program of China, No.2017YFC0405806.]

作者简介:李俊杰(1996—),男,湖北宜昌人,硕士,主要从事水利遥感监测研究。E-mail: junjieli@whu.edu.cn

*通讯作者:孟令奎(1967—),男,河南信阳人,教授,博士生导师,研究方向为网络GIS、水利遥感技术及应用。
E-mail: lkmeng@whu.edu.cn

(b) As an open source earth observation data management framework, ODC facilitates integration and secondary development according to actual project requirements. Research on ODC data management and application for domestic satellite imagery not only can enrich new ways of domestic image data management in China and increase the practical application value of ODC in the world, but also promote international cooperation and respond to the national earth observation infrastructure construction.

Key words: Open Data Cube; ODC; domestic satellite images; data management; image storage; GF-1; Poyang Lake

***Corresponding author:** MENG Lingkui, E-mail: lkmeng@whu.edu.cn

摘要:随着地球观测进入大数据时代,传统的数据管理技术已经难以适应大数据需求,Open Data Cube (ODC)作为新型的开源的地球观测数据管理与分析平台,适合进行时间序列数据的高性能计算和探索性数据分析,是亚大区域综合地球观测系统AOGEOSS的重要技术支撑平台。但当前ODC对国产卫星影像支持不友好,缺乏自动化管理和数据组织工具,使用ODC进行国产卫星影像数据管理的技术不成熟。因此,本文以高分一号卫星影像为例,通过开发ODC_GFTool中间件和自定义高分卫星影像产品格式探索ODC框架下国产影像数据自动化管理流程,最后以鄱阳湖为试验区,进行了基于ODC框架的水体提取应用实验,论证了ODC框架下国产卫星数据存取的可行性,研究结果表明相较于传统的数据处理工具ODC具有明显的效率优势,能够为AOGEOSS基础设施建设和国产卫星影像数据管理提供一定的参考。

关键词:Open Data Cube; ODC; 国产影像; 数据管理; 影像存储; 高分一号; 鄱阳湖

1 引言

随着航空航天技术和对地观测技术的不断发展,影像的空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率不断提高,对地观测能力和数据保障能力大幅提升,地球观测进入到了大数据时代^[1]。而传统的数据管理技术难以适应大数据需求,亟需建立灵活的数据基础架构,实现对多源、海量、分布式和异构的地球观测数据的存储、管理、分析和共享^[2-3]。

为应对大数据挑战,许多科研机构设计和实现了新一代的地球观测数据管理方案,旨在结合云计算等技术,摆脱传统的本地处理和数据分发方法,降低数据存储和处理所需的工作成本,使得用户和科研工作者不再受限于计算机硬件和网络环境限制^[4-7]。具有代表性的有以下3种:① Google Earth Engine:谷歌开发的PB级地球观测数据科学分析和可视化云平台,能够存取和访问本地以及其他地球观测数据库中的数据,包括全球Landsat、MODIS、Sentinel、ASTER以及各类社会经济数据集,同时借助谷歌的云计算技术能够实现在线的实时数据处理与分析^[8-9]。② EarthServer:符合OGC标准的地球科学大数据访问和分析引擎,其核心是RasDaMan(栅格数据管理器)^[10],RasDaMan允许存储和查询大量多维数组,并且支持基于地理语义的SQL查询,当前EarthServer已应用于地球观测、海洋科学和行星科学等领域^[11]。③ Open Data Cube(ODC):

开源的地球观测数据管理分析平台,适合进行时间序列数据的高性能计算和探索性数据分析,目前ODC已运用于植被覆盖监测、地表水分布、作物估产和生物量估计等方面,是全球地球综合观测系统(GEOSS)和亚大区域综合地球观测系统AOGEOSS(Asia-Oceania GEOSS)的重要技术支撑平台^[12]。AOGEOSS是我国首次牵头发起的地球观测领域战略性国际合作计划,旨在协助亚洲大洋洲区域发展中国家增强地球观测技术,提升区域可持续发展能力,为“一带一路”倡议提供决策支持,同时基于ODC进行亚大地区数据协同处理技术研究和产品规范制定,建立AO-DataCube是AOGEOSS的一项重要任务^[13]。但当前ODC仅支持Landsat 5/7/8、Sentinel-1/2、ALOS-1/2、ASTER和MODIS数据集,不支持国产遥感影像的自动化组织和管理^[14],且国内缺乏ODC相关的理论与技术研究。高分一号(GF-1)是我国高分辨率对地观测卫星系统重大专项的首发卫星,对提高我国高分辨率数据自给率具有重大意义。为此,本文以高分一号影像为例,尝试探索ODC开源框架下国产影像存储及管理的流程,为AOGEOSS基础建设提供一定的参考。

2 ODC介绍

2.1 基本概念

2015年Lewis和Lymburner等^[15]建立了EO Data

Cube(地球观测数据立方体),通过集成的高性能计算-高性能数据(HPC-HPD)环境,高效实现了澳大利亚大陆地表水的快速时间序列分析。在此基础上,澳大利亚地球科学局、国家计算基础设施中心(NCI)和联邦科学与工业研究组织(CSIRO)研发了Australian Geoscience Data Cube(AGDC v2.0),用于对海量地球观测数据进行储存、组织和分析,并于2017年开源命名为Open Data Cube。

ODC由ODC核心、ODC算法和ODC应用程序3个部分组成,提供了一个通用的开源分析框架,用于组织和分析大型网格数据集,具有以下特点:① 免费开源、灵活易扩展的跨平台框架;② 基于溯源的方式实现数据版本控制和更新;③ 采用基于像素的影像读取和分析方式,例如通过框架内的像素质量评估(PQA)模型可以筛选出影像中不受云层遮挡的区域^[6]。目前,基于ODC建设的地球观测数据管理平台包括瑞士数据立方体(Swiss Data Cube)^[7]、澳大利亚数字地球(Digital Earth Australia)^[17]、非洲区域数据立方体(Africa Regional Data Cube)等。

2.2 ODC 架构

ODC 分层架构如图 1 所示,自下而上分为 4 层。数据采集层负责管理用户输入系统的各类地

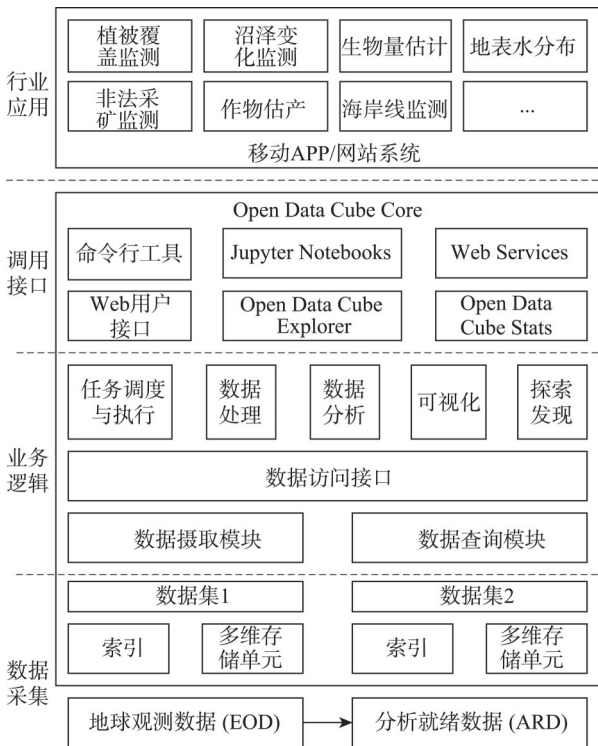


图1 ODC基础架构

Fig. 1 Architecture of ODC

球观测数据(Earth ObservationData, EOD)和经过预处理的分析就绪数据(Analysis Ready Data, ARD)^[8],同时 ODC 数据摄取模块对 ARD 数据进行大气校正、辐射校正、影像分块和二次投影等处理,以 NetCDF 格式的多维存储单元进行分块存储。业务逻辑层是 ODC 的核心层,一方面负责底层输入数据的处理、分析和可视化实现,另一方面负责 ODC 平台的任务调度、系统容错等全局任务。用户开发的移动 APP 和网站系统可以通过接口层提供的 Web Services、Open Data Cube Explorer、Jupyter Notebook 等多种接口工具与业务逻辑层进行交互,最终服务于植被覆盖监测、作物估产、地表水分布探测和生物量估计等行业应用。

3 基于 ODC 的国产影像数据存储方法研究

3.1 高分影像数据导入

ODC 提供了 Landsat、MODIS 等地球观测数据产品的定义文件和组织脚本,能够从影像文件中自动生成 YAML 配置文件和影像元数据文档,但当前缺乏支持国产卫星影像的存取方法和工具。为此,本文设计并实现了 ODC_GFTool 中间件,软件开发环境为 .NET Framework 4.0,支持当前主流的 Windows 10 操作系统,开发语言为 C#、Python 和 Matlab。ODC_GFTool 的基础架构如图 2 所示,基于 GDAL、YamlDotNet 等组件,实现了从高分影像文件中获取光谱信息、波段信息、空间参考等内容,生成符合 ODC 标准的 YAML 元数据文档。此外,凭借 Matlab 工具强大的矩阵运算能力,ODC_GFTool 通过混合编程的方式实现了基于 Matlab 的高分影像处理与可视化,避免了 ODC 原生 Python 接口效率低的问题。

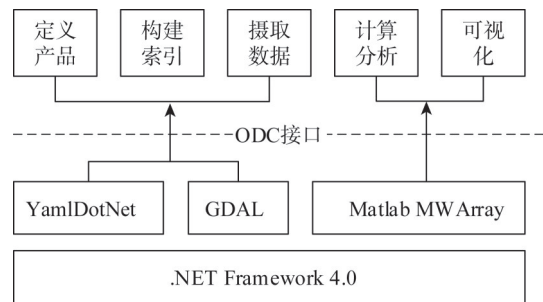


图2 ODC_GFTool基础架构

Fig. 2 Architecture of ODC_GFTool

基于 ODC_GFTool 中间件导入高分影像的数据流程图如图 3 所示,主要包括定义产品、构建索引和摄取数据 3 个步骤。定义产品阶段 ODC_GFTool 生成统一的高分一号影像产品文件(GF-1.yaml),构建索引阶段 ODC_GFTool 为每幅影像生成具有唯一标识 UUID 的索引文件(agdc-metadata.yaml),最后通过 ODC_GFTool 配置切片参数文件(ingest-config.yaml),切片完成后高分影像将以 NetCDF 格式的数据保存在本地。具体如下:

(1)定义高分影像产品。该步骤是对预存储的高分影像的类型进行定义和说明,结合高分卫星数据元数据特点,定义的信息包括产品名称、基本的元数据信息(遥感平台、传感器、影像格式等)、空间参考和波段信息(波段数据类型、数据单位、光谱信息等)。最终定义信息保存在 YAML 文件中, YAML 是一种类似于 XML 格式的能够被计算机自动识别的数据序列化文档格式^[19]。定义文件 GF-1.yaml 树状结构如图 4 所示。

(2)构建索引。该步骤主要是记录每幅高分影像的采集时间、空间参考、波段信息和存储位置等。ODC 采用了分波段存储的方法,且影像的 No-Data 值需要在产品定义文件中声明。为避免高分影像元数据 XML 文档中 NoData 空缺的情况, ODC_GFTool 通过 GDAL 将原始影像的 NoData 值统一设置为 GF1.yaml 定义的参数。考虑到高分一号影像为多光谱数据,包含红、绿、蓝和近红外 4 个波段,因此该步骤中还需将原始高分影像提取为单波段存储,同时获取影像的空间范围、WKT 格式空间参考等信息,从高分影像元数据文档中读取影像的产品生产时间、影像开始成像时间、结束成像时间、中心成像时间等信息,存入到 YAML 相对应的参数中。

(3)摄取数据。主要是将用户导入的影像进行切块、压缩、重采样等操作,生成易于计算分析的 NetCDF 格式切片。NetCDF 能够在异构网络环境下实现阵列数据的高效存储和管理,是一种不依赖

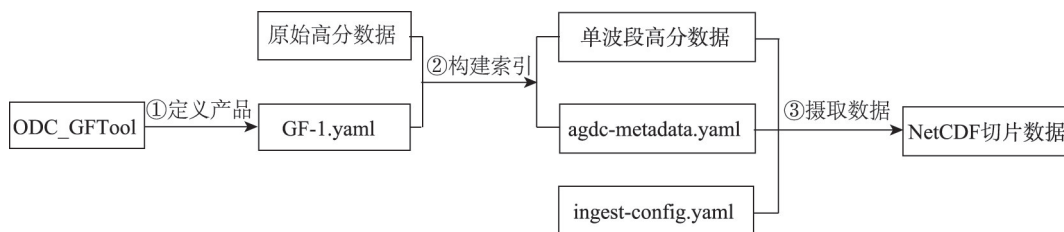


图 3 基于 ODC_GFTool 导入 GF-1 的数据流程
Fig. 3 Processes of importing GF-1 based on ODC_GFTool

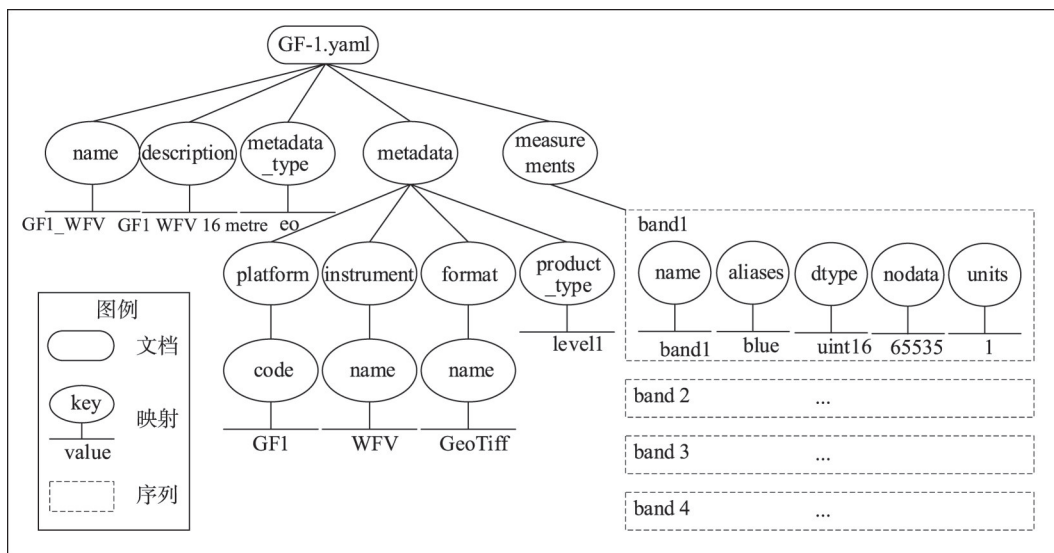


图 4 GF-1.yaml 树状结构
Fig. 4 Tree structure of GF-1.yaml

于计算机和应用程序的自描述文件格式,广泛应用于气象科学和地球物理等领域^[20]。摄取数据过程中需要定义参数信息包括存储的波段信息、投影方式、分辨率、重采样方法和切片尺寸等。

3.2 高分影像数据组织

ODC平台支持分布式的数据存储架构,提供了本地存储和云存储两种数据管理方式,云存储要求用户数据存储在Amazon S3云服务器中,然后通过ODC提供的数据接口进行调用。本地存储采用PostgreSQL数据库,数据表如图5所示。经过定义产品步骤后会在数据类型表中增加GF-1产品类

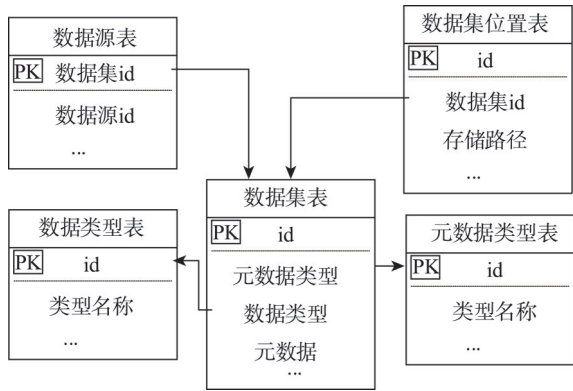


图5 ODC本地数据库数据表
Fig. 5 Data table of ODC local database

型,用户构建索引后数据保存在数据集表中,并且为每条记录生成32位通用唯一识别码(UUID)作为主键。数据表中每条数据的物理存储地址通过数据集位置表进行存储。经过摄取数据步骤后生成的NetCDF数据也保存在数据集中,且通过数据源指定切片数据与原始数据的对应关系,方便溯源管理。

3.3 存储应用实例

为验证ODC管理国产高分影像数据的可行性,本文选取了鄱阳湖作为试验区进行水体提取实验。鄱阳湖位于江西省北部,是中国最大的淡水湖,其年水位变化受气候、地形、长江以及五河等多重因素影响,高水位时间主要集中在6—9月,低水位时间主要集中在12月至次年3月^[21-23]。本文以2013—2018年丰水期覆盖鄱阳湖区域的高分一号影像为例,基于ODC探究鄱阳湖水体时间序列动态变化。

基于ODC使用高分一号影像提取鄱阳湖水体的流程如图6所示,首先调用ODC数据访问接口计算NDWI^[24],ODC能够直接按波段查询数据库中的高分影像且去除nodata值,其关键接口代码如算法1所示。根据文献[25]中鄱阳湖水体提取阈值,设定水体分割阈值为0.3,对NDWI进行二值化处理。

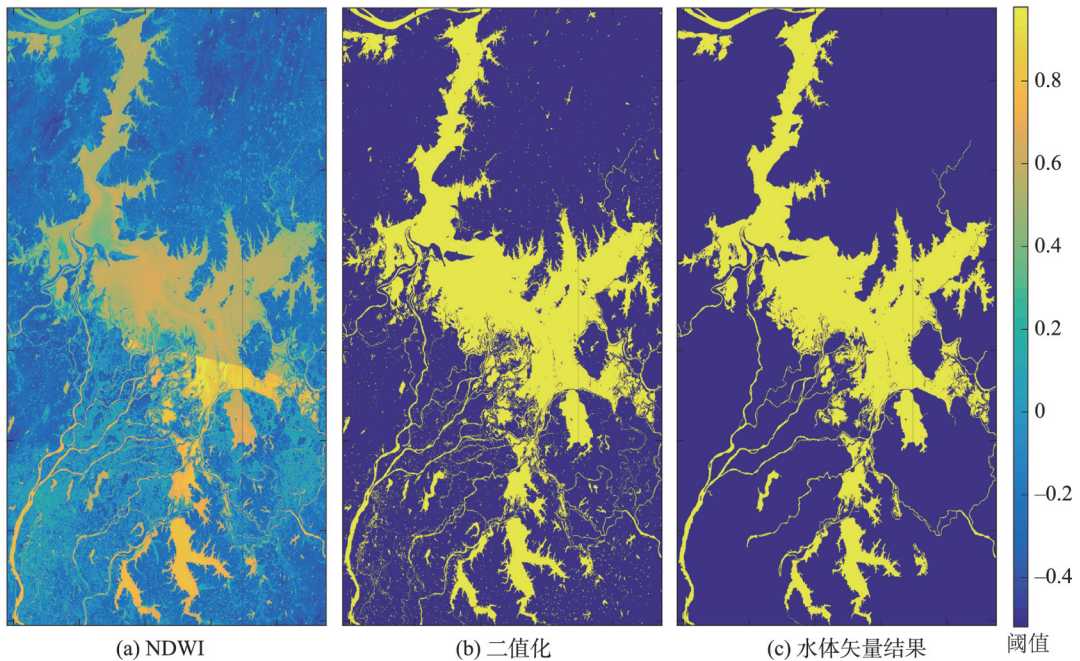


图6 水体提取流程

Fig. 6 Water extraction processes

算法1 ODC计算NDWI接口示例

```

input: GF-1 images
import datacube
dc = datacube.Datacube(app='test')
data = dc.load(product='GF1_WFV_CHUNK')
green = data.green
green = green.where(green != green.attrs['nodata'])
nir = data.nir
nir = nir.where(nir != nir.attrs['nodata'])
ndwi = (green-nir)/(green+nir)
output: NDWI

```

最后去除细碎的孤立图斑,得到鄱阳湖主体水体区域。按照以上方法,得到2013—2018年鄱阳湖丰水期水体,如图7所示,从图中能够直观反映出不同年份鄱阳湖丰水期水域覆盖范围的动态变化。基于实验结果,进一步估算水体和植被覆盖面积、探究

湖区洪涝范围和干湿变化的时空演变规律,为鄱阳湖流域及长江中下游地区的防汛抗旱、湿地保护、水文情势分析等提供科学依据。

为进一步探究ODC的高分影像处理效率,使用IDL、ArcPy传统影像处理工具重复上述步骤,实验在普通PC机上进行,处理器为Intel Core i7-6700 3.40 GHz,内存RAM为32 GB。原始6景高分一号影像大小共为14.04 GB,多次实验取平均值,得到的实验结果如表2所示。定义空间冗余率的计算公式如式(1)所示。从表2中可以看出,ODC通过重新对影像切片和重采样,存储为NetCDF格式文件,增加了7.2%的存储空间,但极大提高了处理效率,处理时间缩短为传统方法的30%,表明ODC处理国产影像不仅是可行的,且综合了数据管理和数据

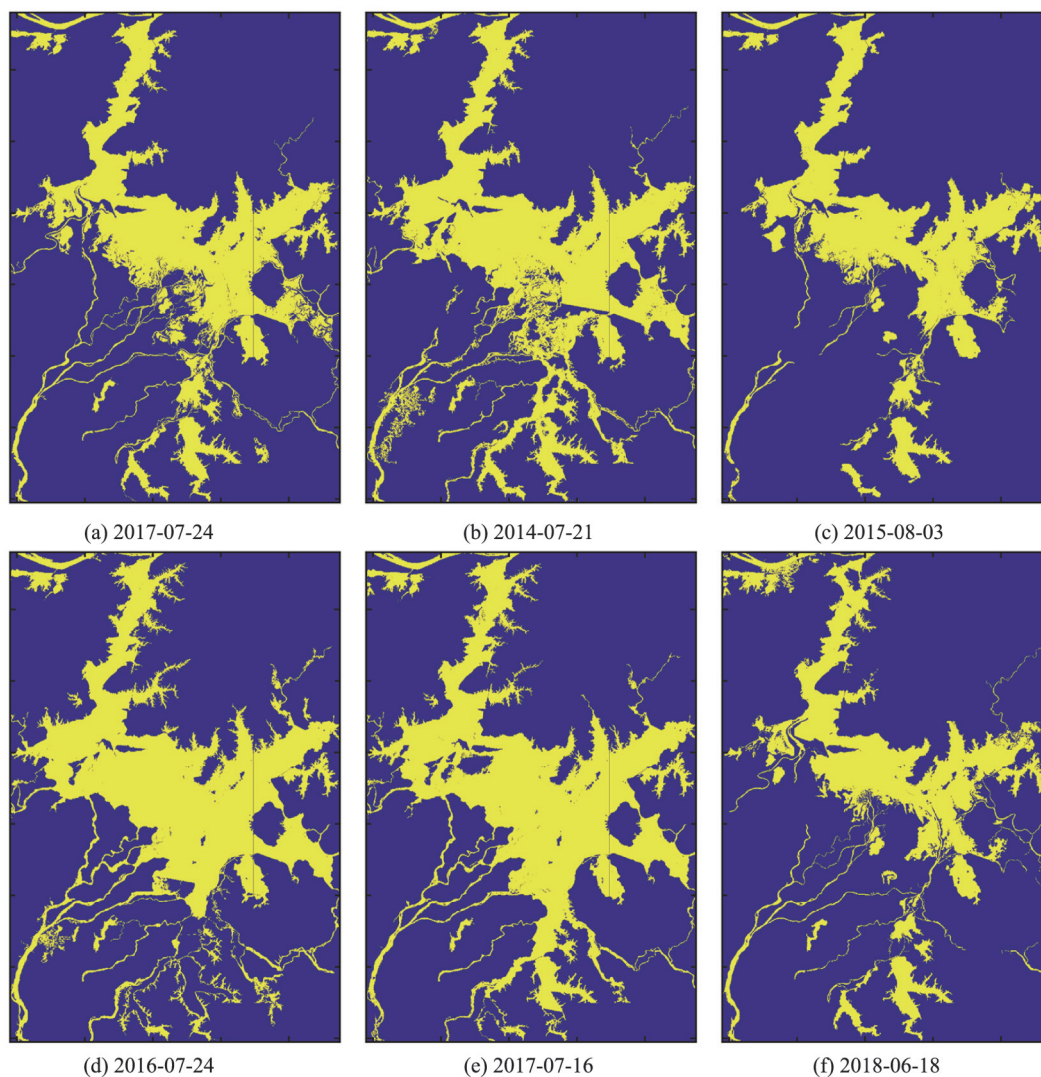


图7 不同时相鄱阳湖水体提取结果

Fig. 7 Extraction results of the Poyang Lake water body at different time periods

表2 不同工具处理效率对比
Tab. 2 Comparison of processing efficiency of different tools

	处理时间/s	占用空间/GB	空间冗余率/%
ODC	79.06	15.05	7.2
IDL	227.55	14.04	0.0
ArcPy	245.41	14.04	0.0

处理分析,具有明显的效率优势。空间冗余率计算公式如下:

$$\alpha = \frac{V - V_0}{V_0} \quad (1)$$

式中: V 表示不同处理工具处理时影像占用的物理存储空间; V_0 代表初始影像大小,这里取值14.04 GB。

4 存储意义分析

使用ODC对国产影像数据进行存储是当前遥感大数据时代国产影像数据管理的一次全新的尝试与探索,旨在通过业务化的数据管理流程提高数据的管理效率,从而更好地为辅助决策提供数据支撑。其意义主要体现在以下3个方面:

(1)增加了国产影像数据管理新途径。目前我国的遥感数据基础设施在容量、可扩展性、易用性和性能等方面都难以满足遥感应用的需求,遥感大数据基础设施的集成、管理与按需服务成为了遥感科学与工程瓶颈^[26]。ODC作为开源的、易用的影像数据管理平台,集成数据的预处理、存取与分析于一体。相较于Google Earth Engine和EarthServer,ODC具有以下优势:①保障数据安全,ODC支持本地化数据库存储,高分系列卫星影像在捍卫我国国家领土主权、国防安全及提升我国相关产业竞争力等方面都具有重要作用,实际项目和研究中需要保障数据安全性和隐私性;②方便集成与二次开发,ODC作为开源的地球观测数据管理框架,方便根据实际需求进行集成与二次开发,减轻项目成本。

(2)提升了ODC的实际应用价值。ODC起初为澳大利亚团队研发的针对澳大利亚卫星数据和USGS数据的影像管理分析平台,根据国产高分卫星影像在元数据标准等方面存在的差异性进行改进和适配,集成ODC运用于国产影像数据管理能够极大扩展ODC的实际应用价值,完善ODC多源影像数据集成机制,增加ODC的鲁棒性和可扩展性。

(3)加深国际合作,响应国家地球观测基础设施建设。AOGEOSS计划是我国首次牵头发起的地

球观测领域战略性国际合作计划,基于ODC研发AO-DataCube是AOGEOSS的一项重要任务,而当前国内关于ODC的研究较少,积极开展基于ODC的国产影像数据管理与应用研究有利于促进AO-DataCube的建设,为“一带一路”倡议提供决策支持。

5 结论与讨论

针对当前卫星影像存储需求,本文引入了新型的开源地球观测数据管理与分析平台Open Data Cube(ODC)用于国产卫星数据管理,并以高分一号影像为例进行了鄱阳湖水体提取应用试验,论证了ODC框架下国产卫星数据存取的可行性,具体的研究成果如下:

(1)针对ODC对国产卫星影像数据支持不友好的问题,设计并实现了Windows环境下的ODC_GFTool中间件。该组件解决了ODC和高分影像数据的兼容性问题,通过良好的用户交互实现了高分影像数据的自动化存储与管理。

(2)基于ODC的国产高分影像数据管理主要包括定义高分数据产品、构建影像索引和摄取数据3个步骤,完成后高分影像将以NetCDF格式的切片数据保存在本地。

(3)在鄱阳湖多时相水体提取实验中,相较于传统的影像数据处理工具,ODC处理时间缩短为传统方法的30%,表明ODC处理国产影像不仅是可行的,而且具有明显的效率优势。

当前国内关于ODC的理论研究和实际应用较少,在大数据生产和实践中,影像数据来源复杂、项目需求多样化,如何将ODC进行有效集成并根据实际需求进行完善和适配是今后需要解决的重要问题。此外,本文将ODC与传统数据处理工具进行了对比,但未与Google Earth Engine等平台进行存储与计算的定量对比分析,需要进一步的实验论证。

参考文献(References):

- [1] 李国庆,庞禄申.公众化驱动的地球观测发展新时代[J]. 中国科学:信息科学,2017,47(2):193-206. [Li G Q, Pang L S. A new age of public-oriented Earth observation development[J]. Scientia Sinica(Informationis), 2017,47(2): 193-206.]
- [2] Mattmann C A. Computing: A vision for data science[J]. Nature, 2013,493(7433):473-475.
- [3] 李国庆,张红月,张连翀,等.地球观测数据共享的发展和

- 趋势[J].遥感学报,2016,20(5):979-990. [Li G Q, Zhang H Y, Zhang L C, et al. Development and trend of Earth observation data sharing[J]. Journal of Remote Sensing, 2016,20(5):979-990.]
- [4] Committee on Earth Observation Satellites (CEOS). The Open Data Cube Initiative[EB/OL]. [2019-04-30]. https://docs.wixstatic.com/ugd/f9d4ea_1aea90c5bb7149c8a730890c0f791496.pdf.
- [5] B Killough. Overview of the Open Data Cube Initiative [C]// 2018 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Valencia: IEEE, 2018:8629-8632.
- [6] Matthew B J, Lewis A, Oliver S, et al. Unlocking the Australian landsat archive- from dark data to High Performance Data infrastructures[J]. GeoRes Journal, 2015,6:135-140.
- [7] Giuliani G, Chatenoux B, De B A, et al. Building an Earth Observations Data Cube: Lessons learned from the Swiss Data Cube (SDC) on generating Analysis Ready Data (ARD)[J]. Big Earth Data, 2017,1(2):100-117.
- [8] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. Remote Sensing of Environment, 2017,202:18-27.
- [9] 何昭欣,张森,吴炳方,等. Google Earth Engine 支持下的江苏省夏收作物遥感提取[J].地球信息科学学报,2019, 21(5):752-766. [He Z X, Zhang M, Wu B F, et al. Extraction of summer crop in Jiangsu based on Google Earth Engine[J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21 (5):752-766.]
- [10] Baumann P, Dehmel A, Furtado P, et al. The multidimensional database system RasDaMan[J]. Acm Sigmod Record, 1998,27(2):575-577.
- [11] Baumann P, Mazzetti P, Ungar J, et al. Big data analytics for Earth sciences: The EarthServer approach[J]. International Journal of Digital Earth, 2016,9(1):3-29.
- [12] Lewis A, Oliver S, Lymburner L, et al. The Australian Geoscience Data Cube - Foundations and lessons learned [J]. Remote Sensing of Environment, 2017,202:276-292.
- [13] 顾行发,周翔,张松梅,等.亚洲大洋洲区域综合地球观测系统计划进展[J].遥感学报,2018,22(4):658-671. [Gu X F, Zhou X, Zhang S M, et al. Asia-Oceania GEOSS: A GEO initiative to implement GEOSS for sustainable development in Asia-Oceania[J]. Journal of Remote Sensing, 2018,22(4):658-671.]
- [14] Open Data Cube. Data Catalog: Getting Into the Cube[EB/OL]. [2019-05-02]. <https://www.opendatacube.org/installation>.
- [15] Lewis A, Lymburner L, Purss M B J, et al. Rapid, high-resolution detection of environmental change over continental scales from satellite data-the Earth Observation Data Cube[J]. International Journal of Digital Earth, 2016,9 (1):106-111.
- [16] Sixsmith J, Oliver S, Lymburner L. A hybrid approach to automated landsat pixel quality[C]// Geoscience & Remote Sensing Symposium. Melbourne: IEEE, 2013:4146-4149.
- [17] Dhu T, Dunn B, Lewis B, et al. Digital earth Australia - unlocking new value from earth observation data[J]. Big Earth Data, 2017,1(1):64-74.
- [18] Dwyer J L, Roy D P, Sauer B, et al. Analysis ready data: Enabling analysis of the landsat archive[J]. Remote Sensing, 2018,10(9):1363.
- [19] O Ben-Kiki, C Evans, B Ingerson. YAML Ain't Markup Language[S/OL]. (2009- 10- 01) [2019- 05- 15]. <https://yaml.org/spec/cvs/spec.pdf>.
- [20] Rew R, Davis G. NetCDF: An interface for scientific data access[J]. IEEE Computer Graphics & Applications, 1990, 10 (4):76-82.
- [21] 况润元,谢佳,张萌,等.基于实测数据的鄱阳湖悬浮泥沙粒度遥感反演模式分析[J].长江科学院院报,2017,34 (11):132-137. [Kuang R Y, Xie J, Zhang M, et al. Models of remote sensing retrieval of suspended sediment particle size in the Poyang Lake based on measured spectral reflectance data[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2017,34(11):132-137.]
- [22] 万松贤,兰志春,刘以珍,等.基于NDVI指数的鄱阳湖丰水期湿地植被覆盖对水文情势变化的响应[J].南昌大学学报(理科版),2017,41(4):341-348. [Wan S X, Lan Z C, Liu Y Z, et al. The response of wetland vegetation cover to hydrological regime change in Poyang Lake during the wet season based on NDVI index[J]. Journal of Nanchang University(Natural Science), 2017,41(4):341-348.]
- [23] 方朝阳,邹浩,陶长华,等.鄱阳湖南矶湿地景观信息高分辨率遥感提取[J].地球信息科学学报,2016,18(6):847-856. [Fang C Y, Wu H, Tao C H, et al. The wetland information extraction research of Nanji wetland in Poyang lake based on high resolution remote sensing image[J]. Journal of Geo-information Science, 2016,18(6):847-856.]
- [24] McFEETERS S K. The use of the Normalized Difference Water Index(NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996,17 (7):1425-1432.
- [25] 朱小强,丁建丽,夏楠,等.一种稳定阈值的湖泊水体信息提取方法[J].资源科学,2019,41(4):790-802. [Zhu X Q, Ding J L, Xia N, et al. Temperature vegetation water index: A novel stabilized threshold method for lake surface water mapping[J]. Resources Science, 2019,41(4):790-802.]
- [26] 李国庆,黄震春.遥感大数据的基础设施:集成、管理与按需服务[J].计算机研究与发展,2017,54(2):267-283. [Li G Q, Huang Z C. Data infrastructure for remote sensing big data:integration,management and on-demand service [J]. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54(2):267-283.]