

“中国西部环境与生态科学数据中心”在国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学研究计划”的支持下,建设特色数据共享平台,为用户提供在线自主下载服务和离线服务,为西部地区环境和生态建设以及管理决策提供科学依据,同时也积累了丰富的数据共享与服务经验。为此本刊特以“科学数据集成与共享”专题的形式,向读者呈现该中心的研究成果,以期提升国内科学数据共享氛围,促进科学数据共享。

——编者

# 开源技术在地球科学数据中心中的应用

王亮绪 吴立宗 南卓铜 李 新

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃兰州 730000)

**摘 要:** 开源技术在近年得到了极大的发展,地理空间开源软件也被广泛应用。针对地球科学数据中心的特点,介绍开源软件许可及可用于地球科学数据中心的四大类开源地理空间软件:服务器端应用、空间数据库、元数据应用和客户端应用,提出利用开源地理空间软件构建地球科学数据中心共享门户系统,并以中国西部环境与生态科学数据中心为实例介绍了如何利用开源地理空间软件构建空间数据共享门户。

**关键词:** 开源软件; 开源技术; 科学数据中心; 数据共享; 空间数据; 元数据; 科学数据

**中图分类号:** TP3

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3772/j.issn.1674-1544.2010.03.003

## Application of Open Source Technologies in Geoscientific Data Centers

Wang Liangxu, Wu Lizong, Nan Zhuotong, Li Xin

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000)

**Abstract:** Over the last few years, great changes have taken place in the domain of free and open source geospatial software. This paper will give an overview on the existing free and open source geospatial softwares to establish a geoscientific data center data sharing platform, and demonstrate how to build the whole system with Environment and Ecological Science Data Center for western China.

**Keywords:** open source software, open source technologies, scientific data center, data sharing, geospatial data, metadata, scientific data

## 1 引 言

科学数据是现代科学可持续发展的重要资源,是进行科学研究的基础,不但具有科学价

值,还具有很高的社会价值和经济价值<sup>[1]</sup>,并在应用过程中得以增值<sup>[2]</sup>,受到了世界各国的普遍重视。但是大量投入产生的海量科学数据并不能得到充分利用,一方面是科学家很难得到研究所需的资料,另一方面是各种科学数据重复采集产

**作者简介:** 王亮绪(1976—),男,工程师,研究方向:科学数据共享,陆面数据同化系统。

**基金项目:**“中国西部环境与生态科学研究计划”重点项目“中国西部环境与生态科学数据中心”(90502010);中国科学院西部行动计划(二期)项目“黑河流域遥感—地面观测同步试验与综合模拟平台建设”(KZCX2-XB2-09)。

**收稿日期:** 2010年5月6日。

生了极大的浪费,已成为当前亟待解决的尖锐问题<sup>[3-4]</sup>。因此,必须建立专门的科学数据中心发挥数据共享作用,让海量的科学数据在全社会流动起来,规范科学数据的管理,最大限度地发挥科学数据的作用。美国自20世纪90年代以来,在科学数据方面实行了“国有科学数据完全与开放共享政策”<sup>[5]</sup>,让科学数据的价值得到了极大的扩展。

我国也非常重视科学数据的战略作用,科技部在“十一五”期间资助建立了若干国家级的数据中心<sup>[6]</sup>,国家自然科学基金委也进行了建立科学数据中心的尝试<sup>[7]</sup>,不同的部门机构建立了多个世界数据中心中国学科中心<sup>[8]</sup>。科学数据中心只有在最新共享技术的支持下,才能满足日益发展的各种各样的实际需求,否则就只能做到开放而很难实现有效的共享<sup>[9]</sup>。网络技术以及大容量存储设备的飞速发展,为科学数据快速便捷地发布提供了强有力的支持,可视化技术和Web交互处理技术的发展拓展了科学数据的应用范围。但在实际应用过程中,科学数据中心的技术平台只能满足建立数据中心时的数据共享功能,很难做到及时更新技术以满足新的需求。而对于发展中国家的科学数据中心来说,财政支持都是非常有限的,多数都用于科学数据的支持,很难保证对系统的维护以及对新技术的跟踪应用,迫切需要采用新的手段能以低成本方式对信息系统进行更新维护以支持新的共享需求。开源技术的开发利用就可以很好地解决此问题。

空间数据提供者、空间信息服务提供者和空间数据用户从各自的应用需求来看都有不同的软件要求,空间数据提供者侧重于空间数据处理软件,空间信息服务提供者侧重于空间数据服务软件,空间数据用户侧重于数据的读取和使用。对于地球科学数据中心而言,要全部都采用自主开发或购买商业软件的办法来解决这些需求,在财力和人力上都是十分困难的,迫切需要利用开源技术来满足用户的需求,但目前还没有一个可用的完整开源解决方案,科学数据中心的建设还需要结合已有的开源软件进行二次开发和集成。本文在阐述开源地理空间软件的基础上,以我国西部环境与生态科学数据中心为例展示了开源技术在科学数据中心的集成应用。

## 2 开源技术

开源描述了一类广泛应用的软件许可,使软件的源代码能被大众所获取,而不受版权的限制<sup>[10]</sup>。开源软件就是指这些采用开源技术进行开发的、采用开源许可的一类软件,任何人都可以修改、使用、拷贝、分发软件的源代码。开源技术改变了传统的软件开发模式,能更好地聚集大众的智慧,提高软件的质量,增强软件的稳定性和安全性。

### 2.1 开源软件许可

开源软件,实际上代表了两个名词:自由软件(free software)和开源软件(open source software),分别来自两个机构的定义,一是自由软件基金会(Free Software Foundation, FSF)定义的自由软件,一是开放源代码促进会(Open Source Initiative, OSI)定义的开源软件。二者强调的侧重点有所不同,FSF强调软件的运行自由、修改自由、分发自由和发布自由,而OSI专注于创造可靠有效的技术价值,因此相比FSF更容易被业界接纳。本文介绍的软件包括这两个定义下的软件,因为对于用户来说,二者的定义区别并不大,仅存在哲学上的差异。开源领域有非常多的授权许可,最常见的授权许可有GPL、LGPL、BSD、MIT等,一些大的开源项目也会采用自己的许可,如Apache、Mozilla等。表1提供了一些常见开源许可的比较。GPL许可是开源领域中使用非常广泛的一种授权协议,由于GPL许可要求其衍生代码也必须采用GPL许可,因此很多人在使用GPL时存在一定的误区(表2)。在理解了开源软件的许可后,就可以根据自己开发系统的需求去选择不同的开源软件。

表1 开源许可的比较

| 许可      | 能和专利软件混合使用 | 能进行修改并且不公开 | 能采用不同的许可发布修改 |
|---------|------------|------------|--------------|
| GPL     | 不可以        | 不可以        | 不可以          |
| LGPL    | 可以         | 不可以        | 不可以          |
| BSD/MIT | 可以         | 可以         | 可以           |
| Public  | 可以         | 可以         | 可以           |
| 专利软件    | 可以         | 不可以        | 不可以          |

表 2 GPL 许可的理解误区

| 错误理解                  | 正确理解                     |
|-----------------------|--------------------------|
| 使用了GPL代码就必须公开发布       | 如果软件不对外分发就不需要发布          |
| GPL软件必须是免费，不能销售       | 可以销售软件的硬拷贝               |
| 使用GPL工具开发的代码必须采用GPL许可 | 新开发的代码如果不含GPL代码，就无需采用GPL |

## 2.2 地理空间开源软件的发展

目前，开源软件涵盖了各个领域，在不同行业都得到了广泛应用。近年来，在地学领域，各类地理空间开源软件也有了长足发展，如在著名的开源软件集散地 sourceforge.net 上标明 GIS 类别的软件有 885 个，专门关注开源 GIS 的 FreeGIS.org 网站上有 349 个，覆盖了地理空间软件的各个方面。在 2006 年由开源 GIS 社区成立的 OSGeo (Open Source Geospatial Foundation, 开源地理空间基金会) 是一个关注开源地理空间软件的非盈利组织，其主要目标旨在建立和支持高品质的空间信息处理工具，并推动项目的协作开发和使用，目前 OSGeo 已有 20 个项目。开源地理空间软件增长的趋势非常明显，应用也非常广泛。John Reid<sup>[11]</sup> 和 Steiniger Stefan<sup>[12]</sup> 都探讨过开源技术在空间数据共享中应用的可能性，Jolma 等介绍了开源技术在环境建模及管理中的应用<sup>[13]</sup>，Steiniger Stefan 等介绍了开源技术在景观生态中的应用<sup>[14]</sup>，Steiniger Stefan 等对开源桌面 GIS 作了一个总结，介绍了 10 款开源桌面 GIS 软件<sup>[15]</sup>。

# 3 空间数据共享技术

## 3.1 空间数据共享的技术标准

在地球科学数据中心或与空间数据有关的科学数据中，应采用什么技术标准来处理和分发共享空间数据？科学数据中心的首要目标是提供一个获取科学数据的快速通道，以减少数据维护和使用的成本。国际标准化组织 (ISO) 和开放地理信息联合会 (OGC) 都推出了一系列的技术标准，用于解决空间数据共享和处理中遇到的问题，包括 ISO 19xxx 系列国际标准和 OGC WxS 系列服务规范。这些标准规范描述了在数据服务器

之间以及客户端软件之间的显示和处理空间数据的通讯协议。ISO 19115 地理元数据标准和 19119 地理信息服务标准是和地球科学数据中心紧密相关的两个国际标准。在地球科学数据中大量使用了这些技术标准。在开源地理空间软件中，能否支持这些标准，或支持到什么程度，都对其实际的应用有很大的影响。

OGC 相关规范涉及多个方面，包括数据分发服务、数据格式标准、元数据搜索、数据处理等方面。数据分发相关服务标准包括 Web 制图服务 (WMS)、Web 要素服务 (WFS)、Web 要素事务服务 (WFS-T) 和 Web 栅格数据服务 (WCS)。数据格式标准有简单要素标准 (SFS)、地理标记语言 (GML) 和 Keyhole 标记语言 (KML)。数据搜索标准有元数据目录服务 (CS-W) 和地名辞典服务。数据处理方面有 Web 处理服务 (WPS)、坐标转换服务 (CTS)、Web 地形服务 (WTS) 等。

## 3.2 空间数据共享技术的发展

空间数据的特殊性在于其属性数据和空间位置的对应，从而导致从数据库底层的存储到 Web 的外部展示都与普通的关系数据有很大差异。同时由于空间数据的复杂性，现在的科学数据在进行数据共享时，都会提供空间数据对应的元数据，并通过元数据来扩展数据共享的功能，如元数据注册服务和目录服务等。在进行空间数据共享时，从空间数据的使用角度来看，有 4 个层次的服务：

(1) 提供空间数据的下载服务。这是空间数据共享服务的基础和核心功能，用户通过数据目录、查找等多种技术方法找到自己所需的数据后直接下载使用。

(2) 提供空间数据的在线地图或在线浏览服务。这种服务的受众面最广，如 Google Maps 等，其直接提供预制作好的地图给用户使用。还有一种模式不但可以提供预定义的地图给用户，还可以针对空间数据定制自己的在线地图并和其他用户共享。

(3) 提供各种空间数据服务。如 OGC WMS、WFS 等服务，扩展了空间数据共享系统的用户范围，因为这些服务可以非常方便地让第三方程序 / 服务器使用。

(4) 提供空间数据的计算服务。即不但可以直接提供数据, 还可以提供基于服务器端甚至多个服务器端数据的联合计算, 从而产生新的空间数据, 既避免了海量数据的下载, 节省了网络带宽, 还充分利用服务器端的高级计算能力、网络处理能力。但由于受资源的限制, 此种服务的受众面窄, 仅面向对应领域的专业用户。

目前这4个层次的服务在地球科学数据中心中都有应用, 但目前多数还是以空间数据的直接下载为主要服务手段, 然而服务共享和计算共享是地球科学数据中心的发展方向。

## 4 地球科学数据中心中的开源应用

目前, 很多地理空间开源软件都会在开源许可的前提下吸收其他开源软件的优秀功能, 致使很多开源软件之间的功能有很强的交叉和重复, 如 uDig 既是一个桌面 GIS 又支持很多 WebGIS 服务, 因此在构建空间数据共享应用时需要根据自己的实际需求选择合适的软件。对于地球科学数据中心而言, 开源地理空间软件的应用大致可以分为服务器端应用、空间数据库、元数据应用和客户端应用四大类。

### 4.1 服务器端应用

地球科学数据中心的服务器端应用主要包括两个方面: 以空间数据处理和服务为目标的 WebGIS 服务器和基于 WebGIS 服务器进行二次开发的各种应用。WebGIS 服务器通常都支持多种服务, 如生成地图图像的 WMS 服务、获取矢量数据的 WFS 服务、获取栅格数据的 WCS 服务。Web 制图服务也可以和客户端通过传递参数进行交互, 即进行数据处理和数据编辑, 如 OGC WPS 数据处理服务和 OGC WFS-T 数据编辑服务。这方面最有名的开源软件包括 MapServer 和 GeoServer, 具有非常强的功能, 和商业软件相比也毫不逊色。Autodesk 也贡献了 MapGuide 源代码给 OSGeo, 形成了一个开源的 MapGuide。也有专注于空间数据处理服务的项目, 如 PyWPS 和 ZOO。PyWPS 在后台通过 GRASS 提供各种分析处理功能, ZOO 通过提供封装已有的开源软件 (已完成了 GDAL/OGR 封装) 提供服务。FeatureServer 提供了矢量

数据的 REST 式服务。基于服务器端 WebGIS 进行二次开发的各种应用, 有 TileCache、ka-Map、MapBender 等。TileCache 通过创建磁盘缓存提供快速 WMS 服务。ka-Map 是一个基于 MapServer 的脚本开发的空间数据分片浏览系统。MapBender 是一个空间数据管理、浏览查看系统, 同时也能管理空间数据服务。

### 4.2 空间数据库应用

目前用户数最多、最有名的开源空间数据库是 PostGIS, 是在 PostgreSQL 对象关系型数据库的基础上实现了空间数据的支持。PostGIS 遵循 OGC 简单要素 SQL 规范, 不仅可以直接存贮矢量数据, 而且可以提供空间索引、空间操作等。同支持空间数据的商业数据库相比, PostGIS 提供了毫不逊色的功能、性能、稳定性、支持, 并且开源。

另外, 两个开源空间数据库是 MySQL 的空间扩展和 SpatiaLite (在 SQLite 基础上实现空间数据支持)。MySQL 空间扩展目前仅提供了基础的 SFS SQL 实现, 在查询和分析的精度上存在缺陷。SpatiaLite 采用 GEOS 库实现了 OGC 简单要素 SQL 规范。

### 4.3 元数据应用

侧重于元数据应用的开源软件有 GeoNetwork、MDweb、deegree、CatMDEdit, 其中前3个侧重元数据注册和目录服务。GeoNetwork 设计用来管理各种空间元数据, 以促进基于 Internet 的空间信息交换和共享, 提供了功能强大的元数据编辑和搜索功能, 广泛应用于 FAO、WFP、UNEP 等机构。MDweb 是另外一个空间元数据管理和工具, 主要目标是促进环境科学数据的共享并提供目录服务。deegree 框架侧重于元数据的 Web 服务实现。CatMDEdit 是一个桌面版的空间元数据编辑器, 用于创建和修改元数据。

### 4.4 客户端应用

对于科学数据中心而言, 有两大类客户端应用: 一类是桌面 GIS 客户端, 用于空间数据的更新和分析; 另一类是 WebGIS 的浏览器客户端工具。成熟 (指功能全面且可扩展, 跨平台支持, 有活跃的国际化社区支持) 的开源桌面 GIS 客户端有很多<sup>[12]</sup>, 如 GRASS、SAGA 等。为了使用地

球科学数据中心的各种数据服务。能够开源桌面 GIS 客户端至少应该支持 OGC WMS 服务。能够满足这样要求的有 GRASS、QGIS、uDig、gvSIG 等。WebGIS 的浏览器客户端工具是桌面 GIS 客户端的一个轻量代替品，用来显示和查询空间数据。这方面的开源软件有 OpenLayers、OpenScale 等。OpenLayers 是基于 JavaScript 实现的支持 OGC WMS/WFS 服务的空间数据浏览。OpenScale 提供了基于 Adobe Flex/ActionScript 实现的支持 OGC WMS/WFS 服务的空间数据浏览。

## 5 西部环境与生态科学数据中心应用

国家自然科学基金委员会于 2001 年启动了针对西部开发战略的重大科学研究计划“中国西部环境与生态科学研究计划”(以下简称“西部计划”)。西部计划的总体目标是逐步实现对中国西部环境变化过程和机理的整体性深入认识，为解决西部环境和可持续发展中的重大科学问题提供更加充足的依据<sup>[16]</sup>。“中国西部环境与生态科学数据中心”(以下简称“西部数据中心”，<http://westdc.westgis.ac.cn>)的建设正是在这样的大背景下，在国家自然科学基金委员会资助下于 2005 年启动。“西部数据中心”的定位首先是直接服务于“西部计划”的科学目标，建成地域特色鲜明，信息高度综合，突出数据集成，同时又能够带动整个地球表层科学研究的数据中心<sup>[17]</sup>。西部数据中心数据共享系统于 2006 年底正式提供服务，截至 2009 年底，数据下载总量达 6.2TB，向 100 余家教育和科研单位提供了数据服务。西部数据中心的数据共享系统最终选用基于开源技术的方案，并在开源软件的基础上进行了自己的扩展和补充。

### 5.1 系统结构

西部数据中心是以元数据为核心进行数据共享，后台实现对元数据的创建、编辑和同步，在前台通过元数据信息实现数据的导航、查找、搜索和下载等功能，同时提供各种 Web Services 开放标准功能。在具体实现过程中，选择了国际元数据标准 ISO 19115 作为元数据标准，并利用 OGC CS-W 服务连接不同的数据中心，实现元数据的互通互联。系统采用三层结构，即数据 - 元

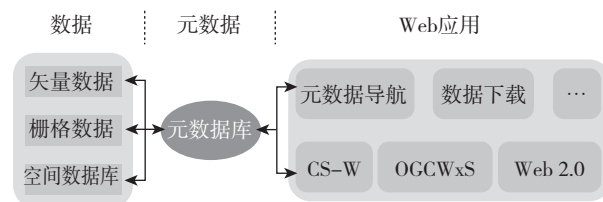


图 1 西部数据中心整体结构

数据 - Web 应用，如图 1 所示，以元数据为纽带连接数据和 Web 应用，空间数据的相关信息全部从元数据中提取，而对空间数据提供哪些对应的服务，也由元数据决定，这样就可让数据生产者和科学数据中心维护人员各司其职，充分提高工作效率。西部数据中心的一部分功能可以采用开源软件来实现，如元数据管理、OGC 服务等功能，其他的功能则需要进行自主开发，如元数据的快速导航、数据的定制下载等。

### 5.2 集成与实现

为减少系统开发时间，降低系统开发复杂度，充分利用现有开源系统的功能，西部数据中心使用 Zend Framework 框架并利用 MVC 设计模式进行开发实现，同时集成了一系列开源工具(图 2)。使用 PostgreSQL 数据库管理数据，使用 PostGIS 管理空间数据，使用 GeoNetwork 管理元数据并提供 OGC CS-W 服务，WebGIS 服务器使用 MapServer 和 GeoServer 并使用其提供的各种 OGC WxS 服务，客户端脚本使用 prototype 提供 AJAX 支持，使用 OpenLayers 提供客户端的 Web 制图支持，使用 Timeline 和 TimeMap 实现基于时间的数据快速导航。

目前，针对元数据的各种应用，如数据快速导航等，还没有合适的开源软件可以支持，因此西部数据中心进行了自主的开发，最终实现的功能如图 3 所示，并依赖此系统作为西部数据中心

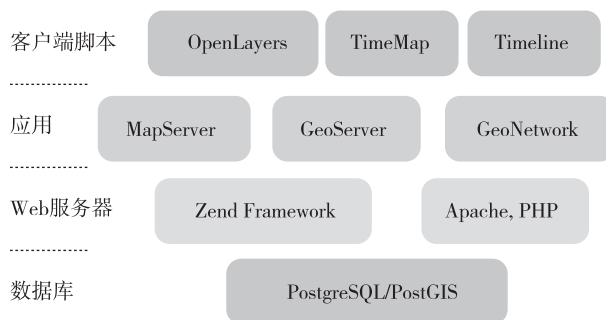


图 2 开源软件集成

的门户网站，进行开源软件的集成，如客户端的开源脚本 OpenLayers、TimeLine 和 TimeMap 是直接嵌入此系统，帮助实现客户端的时空地图浏览，GeoNetwork 作为后台元数据管理平台，可以和门户的元数据库同步，保证在 GeoNetwork 中对元数据的编辑都能在门户网站上反映。

6 讨论

开源软件通常都支持开放标准，因此对于地球科学数据中心而言，支持地理空间相关的技术标准是非常重要的，而采用开源技术构建后，地球科学数据中心可以很好地支持这些技术标准

(表 3)。支持 CS-W 服务后，就可以通过此服务构建分布式的科学数据中心群，能更好地促进各个科学数据中心间实现数据资源的互通，最大限度地减少重复投资，也能让用户找到更多的科学数据，扩大科学数据的影响范围。支持 WMS 和 WFS 后就可以通过客户端软件直接调用科学数据进行显示等操作。成熟的开源软件都有一个非常活跃的社区，如 MapServer、GRASS 等，用户可以在此社区内进行讨论学习。上述介绍的开源地理空间软件全都是跨平台的，即可以在不同的操作系统下使用，可以最大限度地利用已有的投资。

如果地球科学数据中心基于开源技术构建，那么还需要从功能、标准支持、平台支持（是否

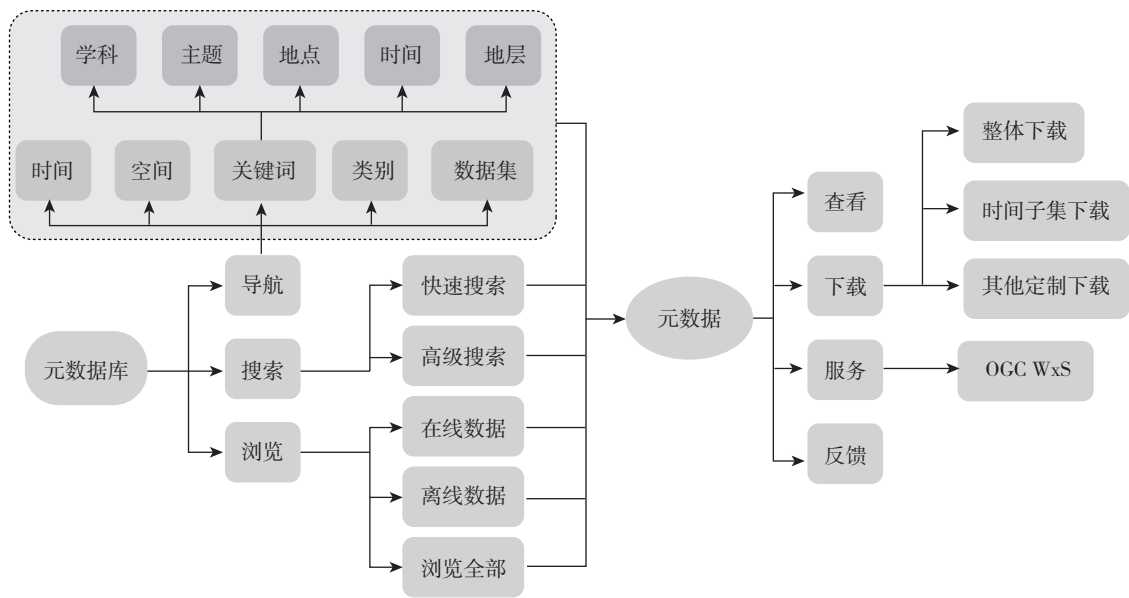


图 3 元数据功能图

表 3 开源软件对标准的支持

| 分类   | 开源软件       | 支持标准                           | 许可   |
|------|------------|--------------------------------|------|
| 服务器端 | MapServer  | WMS、WFS、WCS、SLD、WMC、GML        | MIT  |
|      | GeoServer  | WMS、WFS、WFS-T、WCS、SLD、GML、KML  | GPL  |
|      | MapGuide   | WMS、WFS                        | LGPL |
| 元数据  | GeoNetwork | CS-W、ISO 19115                 | GPL  |
|      | MDweb      | ISO 19115、ISO 15836            | LGPL |
|      | deegree    | ISO 19115、ISO 19139、ISO 19107  | LGPL |
|      | CatMDedit  | ISO 19115                      | LGPL |
| 客户端  | QGIS       | WMS、WFS、GML、KML                | GPL  |
|      | GRASS      | WMS、WFS、GML、WPS                | GPL  |
|      | gvSIG      | WMS、WFS、WFS-G、WCS、GML、KML、CS-W | GPL  |
|      | uDig       | WMS、WFS、WFS-T、SFS、GML、SLD、WPS  | LGPL |

支持主要的操作系统)、稳定性、扩展性、分发成本、维护成本(包括培训、商业支持)等方面对开源软件(除地理空间软件外,还包括其他相关开源软件)进行更仔细的评估。同时每个地球科学数据中心都有自己的实际需求和人力资源条件,就需要根据具体的情况来选择合适的开源软件。在选择开源软件时,也要考虑授权许可,有些开源软件采用了严格的授权协议,要求用户在采用其软件时,如对外发布就需要提交改进的代码。若对开源软件进行修改定制后,通过合适的许可对外发布,并反馈回开源社区,就能形成一个良好的开源社区开发模式。GeoNetwork 就是一个非常好的例子。但目前开源软件在地理元数据自动/辅助生成、空间数据共享门户等方面,都还有很大的改进余地,地球科学数据中心需要贡献自己的力量来促进这方面的发展。

## 7 结 论

随软件技术的进步,开源技术更加成熟、稳定,得到了广泛推广和应用。开源软件可以使科学数据中心的系统开发从底层功能实现中解脱出来,可以更专注于科学数据用户的需求。在科学数据中心采用开源技术构建数据管理组织、共享服务系统,已经成为共识。中国西部环境与生态科学数据中心以大量开源地理空间软件为基础开发了空间数据共享平台,实证了开源技术的能力。开源软件的授权许可方式保证了其低成本或无成本的获取,同时又保证了扩展性和可定制性,对于发展中国家的地球科学数据中心,更能满足其实际需求。开源软件在 WebGIS、元数据管理等方面已形成很大优势,但目前科学数据中心还必须立足开源技术,进行自主的开发和集成。依托开源许可架构,科学数据中心也能对开源技术的应用和发展起到很好的推动作用,特别是各种不同开源软件之间的集成以及科学数据中心所急需的软件,在科学数据中心对开源社区进行更多的反馈后,开源技术定能在科学数据中心的进一步发展和应用,形成开源社区到科学数据中心再到开源社区的良好循环。

致谢: 感谢 Stefan Steiniger 的帮助, 感谢所

有的开源地理空间软件的开发者和参与者。

## 参考文献

- [1] Sun Jiulin. Scientific Data Resource and Sharing[J]. China Basic Science, 2003(1):30-33. (in Chinese)  
[孙九林. 科学数据资源与共享[J]. 中国基础科学, 2003(1):30-33. ]
- [2] Li Jiming. Scientific Data Publish Strategy Discussion and Climate Data Sharing Practice[J]. China Basic Science, 2003(1):56-62. (in Chinese)  
[李集明. 科学数据发布策略探讨与气象数据共享实践[J]. 中国基础科学, 2003(1):56-62. ]
- [3] Cheng Jinpei. Scientific Data Sharing—The Strategic Choice of Contemporary Science and Technology[J]. China Basic Science, 2004(4):3-5. (in Chinese)  
[程津培. 科学数据共享——当代科技界的战略抉择[J]. 中国基础科学, 2004(4):3-5. ]
- [4] Ran Y, Li X, Wang J. The Current Key Problems and Potential Solutions for Geosciences Data Sharing in China[J]. Data Science Journal, 2007, 6: S250-S254.
- [5] Liu Chuang. Scientific Data Sharing Mechanism in US and Its Implications for China[J]. China Basic Science, 2003(1):34-39. (in Chinese)  
[刘闯. 美国国有科学数据共享管理机制及对我国的启示[J]. 中国基础科学, 2003(1): 34-39. ]
- [6] Scientific Data Sharing Working Group. The Framework of Scientific Data Sharing Project[J]. China Basic Science, 2003(1):63-68. (in Chinese)  
[科学数据共享调研组. 科学数据共享工程的总体框架[J]. 中国基础科学, 2003(1): 63-68. ]
- [7] Li Xin, Nan Zhuotong, Wu Lizong, et al. Environmental and Ecological Science Data Center for West China: Integration and Sharing of Environmental and Ecological Data[J]. Advances in Earth Science, 2008, 23(6):628-637. (in Chinese)  
[李新, 南卓铜, 吴立宗, 等. 中国西部环境与生态科学数据中心: 面向西部环境与生态科学的数据集成与共享[J]. 地球科学进展, 2008, 23(6): 628-637. ]
- [8] Wang Juanle, Sun Jiulin. Development of China Systems for Data Sharing[J]. China Basic Science, 2007(2):36-40. (in Chinese)  
[王卷乐, 孙九林. 世界数据中心(WDC)中国学科中心数据共享进展[J]. 中国基础科学, 2007(2): 36-40. ]
- [9] Huang Dingcheng. Theoretical Basis of Scientific Data Sharing and Sharing Mechanisms[J]. China Basic Science, 2003(2):22-27. (in Chinese) (下转第 35 页)