

Doi :10.11840/j.issn.1001-6392.2018.03.006

全球 Argo 资料共享与服务平台设计与实现

吴森森^{1,2}, 曹敏杰^{3,4}, 杜震洪^{1,2}, 张丰^{1,2}, 刘仁义^{1,2}, 董贵莹^{1,2}

(1. 浙江大学 浙江省资源与环境信息系统重点实验室, 浙江 杭州 310028; 2. 浙江大学 地球科学学院, 浙江 杭州 310027; 3. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室, 浙江 杭州 310012; 4. 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘 要: Argo 资料已成为海洋环境和气候变化研究重要的实测资料来源和基础数据支撑。自 2007 年全球 Argo 实时海洋观测网建成以来, 每年产生的 Argo 资料稳固增长, 数据总量呈现出海量增长趋势, 如何实时有效地对 Argo 数据进行组织管理与信息服务已成为当前 Argo 资料共享的关键难题。本文针对 Argo 数据多源异构的时空特性及多元化的信息服务需求, 综合运用分布式混合数据库架构, 设计了一种适用于全球 Argo 资料组织管理的弹性扩展云存储模型, 建立了基于 Matlab 的 Argo 网格化产品高效可视化方法, 构建了基于 Flex RIA 的 WebGIS 服务框架, 并研制了“全球 Argo 资料共享与服务平台”实例。平台实现了对全球 Argo 资料的查询浏览、快速下载及可视化分析等功能, 并已在中国 Argo 实时资料中心部署及对外服务。

关键词: Argo 浮标; Flex RIA WebGIS; 弹性扩展云存储; 可视化分析; 资料共享与服务

中图分类号: P715.2; TP392

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2018)03-0287-09

Design and implementation of the global Argo data sharing and service platform

WU Sen-sen^{1,2}, CAO Min-jie^{3,4}, DU Zhen-hong^{1,2}, ZHANG Feng^{1,2}, LIU Ren-yi^{1,2}, DONG Gui-ying^{1,2}

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China; 2. Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 3. State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Hangzhou, 310012, China; 4. Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

Abstract: The Argo data has become an important data source and basic support for the marine environment and climate change researches. Since the accomplishment of the Global Argo Real-time Ocean Observing Network in 2007, the annual quantity of data obtained from this network has increased steadily and the total amount of Argo data shows a massive growth trend. How to effectively manage, access and use Argo data in real-time has become a key issue in terms of data sharing. According to the spatio-temporal characteristics and the information service requirements of Argo data, this paper adopted the distributed hybrid database architecture to build a flexible and extendable cloud storage model, which was suitable for the global Argo data organization and management. Moreover, an efficient visualization method for the Argo gridded product based on Matlab was developed. Using the Flex RIA WebGIS service framework, we designed and realized a “Global Argo Data Sharing and Service Platform”. This platform consists of three main functions, including data query, data download and visualization, and now it has been deployed in the China Argo Real-time Data Center and has been providing services for data users.

Keywords: Argo float; Flex RIA WebGIS; flexible and extendable cloud storage; visualization and analysis; data sharing and service

收稿日期: 2017-05-09; 修订日期: 2017-08-25

基金项目: 国家科技基础性工作专项 (2012FY112300); 国家海洋公益性行业科研专项 (201305012; 201505003)。

作者简介: 吴森森 (1991-), 博士, 主要从事海洋时空建模与可视化研究。电子邮箱: wusensengis@zju.edu.cn。

通讯作者: 杜震洪, 博士, 副教授。电子邮箱: duzhenhong@zju.edu.cn。

<http://hytb.nmdis.org.cn>

国际 Argo 计划自 2000 年正式实施以来, 美国、澳大利亚、法国、英国、德国、日本、韩国、印度和中国等 30 多个国家和团体在全球海洋共布放了超过 13 600 个 Argo 浮标, 组成了全球 Argo 实时海洋观测网, 首次真正意义上实现了对全球海洋中上层温盐度的实时观测 (刘增宏等, 2016)。该观测网如今每年可提供多达 15.8 万条海水温盐度剖面资料, 已累计获得了约 176 万条剖面数据, 为人们更好地认识海洋和气候的变化起到了非常重要的作用。

随着浮标数目的不断增加, 今后每年获取的 Argo 数据还将不断上升, 为了方便 Argo 资料直观、高效的检索与共享, Argo 资料共享从刚开始的光盘分发逐渐发展成通过互联网平台进行共享。如国际海洋学和海洋气象学联合技术委员会 (The Joint WMO/IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology, JCOMM) 发布了海洋实测观测资料平台 (JCOMMOPS), 可实现对 Argo 资料的交互式检索和获取, 但对基于空间位置的查询分析及可视化能力较为薄弱。目前, 国外 Argo 资料的获取方式依然以传统的 FTP 下载为主。国内学者结合 WebGIS (网络地理信息系统) 和地理空间技术, 曾研发了许多基于地理空间位置的 Argo 资料网络共享平台, 如浙江大学刘仁义等 (2004) 开发的“Argo GIS 系统”、浙江大学王帅等 (2011) 研发的“基于 WebGIS 的 Argo 数据共享服务系统”、中国 Argo 实时资料中心的“Argo 网络数据库可视化平台” (宁鹏飞等, 2007; 孙朝辉等, 2006) 等。然而, 上述系统的体系架构在数据存储与共享方面均存在一定局限性: 单节点服务器模式的存储空间有限, 无法扩展存储快速增长的 Argo 观测资料及其衍生产品; 基于页面/服务器端的数据传递模式 (付达杰, 2013), 对 Argo 数据基于空间的可视化分析和复杂的用户交互功能响应速度较慢。此外, 现有平台系统的查询功能界面不够友好, 提供的功能略显单薄, 基于空间区位的检索能力较弱, 且多采用静态轨迹图和剖面图方式对动态更新的 Argo 资料进行展示, 灵活性、可读性有限, 不利于对 Argo 资料进行深入分析与挖掘。

考虑到分布式文件存储系统具有高可靠、高扩展等特性, 能为海量增长的 Argo 资料提供硬件

级的弹性扩展支持; 同时, 空间数据库可以有效管理 Argo 资料中结构化的空间信息和元数据信息。因此, 本文采用分布式文件系统和空间数据库混合的云存储架构, 构建了全球 Argo 资料综合数据库, 实现了对大规模 Argo 数据的高效管理; 基于分布式网络环境下富客户端 (Rich Internet Applications, RIA) 的 WebGIS 框架, 采用 Flex、Matlab 等技术方法, 解决了浮标轨迹动态展示、剖面实时绘制及复杂用户交互响应较慢等难题, 建立了全球 Argo 资料共享与服务平台 (以下简称平台), 实现了 Argo 资料的高效检索、在线浏览、快速下载及可视化分析, 快捷地为国内外用户提供全球 Argo 资料及其数据产品服务。

1 平台设计

1.1 平台框架设计

Argo 资料共享与服务平台的本质特征是基于空间位置信息的 WebGIS。与一般 Web 信息系统相比, WebGIS 的最大特点是在空间框架下实现图形对象与属性数据的动态关联, 提供可视化查询和空间分析的能力 (张宏等, 2007)。但是, 传统 WebGIS 是基于服务器端的模型, 客户端处理能力低, 难以满足用户更高、更快、更全方位的 GIS 体验。

RIA 是集桌面应用程序的最佳用户界面功能与 Web 应用程序的快速、低成本部署及互动通信于一体的网络应用程序 (陈爽, 2010)。Flex 则是一种基于组件实现 RIA 的应用技术。Flex RIA 与 WebGIS 结合, 可以为 Argo 资料共享提供一种基于标准的、更灵活、更高效的解决方案。

采用传统 WebGIS 技术难以满足 Argo 资料快速检索和高效处理的需求, 而若在 RIA 环境下进行数据的管理和表达, 则可以利用客户端计算资源进行运算, 减少客户端与服务器间的交互, 减轻服务器负载, 提高系统效率 (汪林林等, 2008), 从而取得比较令人满意的结果。

因此, 本文基于 Flex RIA 的 WebGIS 技术对平台框架进行设计, 如图 1 所示。

框架分为三层, 分别为表现层、逻辑层和数据层。

(1) 表现层。以 Web 浏览器, 通过 Flash 播放

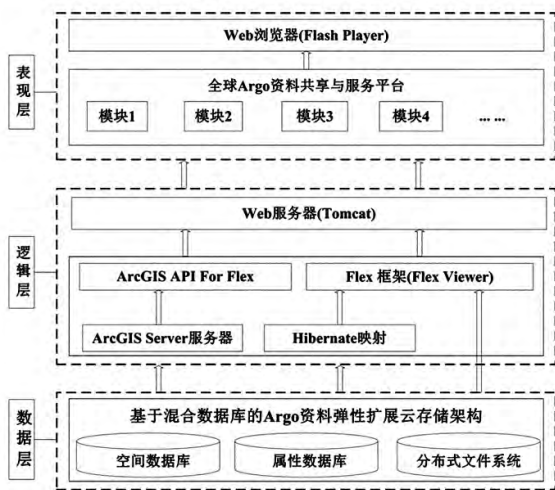


图1 基于 Flex RIA 的 WebGIS 平台框架

器为载体对 Argo 资料进行显示和表达，是直接为用户交互的层，具有丰富的可视化界面，为用户提供地图交互、信息检索、数据分析。

(2) 逻辑层。作为框架的核心层，用于连接表现层和数据层，通过接收处理来自客户端的请求，处理业务逻辑，并根据请求类型和请求内容调用数据层的 Argo 数据服务，对数据进行分析、处理，再将结果反馈给表现层。

(3) 数据层。作为框架的底层，负责对多源异构 Argo 数据进行组织和管理，维护各类数据之间的关系，为系统存取数据提供保障。

1.2 存储方案设计

Argo 数据的存储格式有 NetCDF、ASCII、TESAC 和 BUFR 等几种 (孙朝辉等, 2006)，本平台涉及的 Argo 数据类型包括 3 类：全球 Argo 浮标元数据、全球 Argo 浮标观测剖面数据和 Argo 网格化数据产品。

针对 Argo 数据来源不一、结构多样的特性，本文采用分布式混合数据库的方式对 Argo 资料进行统一组织、管理与建模。利用 Hadoop 分布式文件系统 (Hadoop Distribute File System, HDFS) 管理 Argo 浮标观测剖面原始数据和 Argo 网格化数据产品；浮标元数据及剖面参数信息、网格化数据产品元数据信息和其他结构化数据则采用关系型数据库 PostgreSQL 进行管理，空间对象存放在 PostGIS，从而实现异构 Argo 数据的一体化组织和分布式存储。

此外，本平台引入 Hibernate 对象持久化技术，有效地将 Argo 数据库表与业务对象进行 O/R 映

射，提高了业务应用的性能，提供了更灵活的业务逻辑。其中 Argo 原始数据、数据库表、Java 类映射关系如图 2 所示。

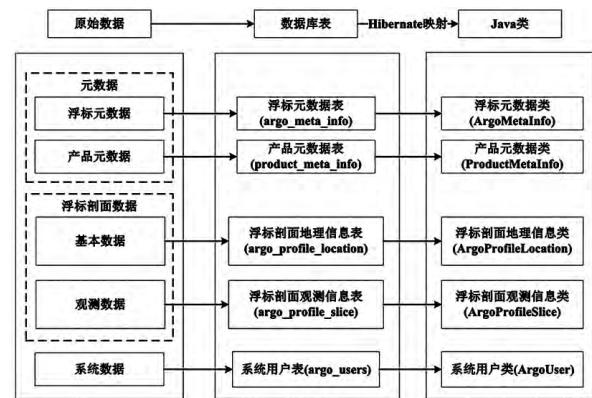


图2 Argo 原始数据、数据库表、Java 类映射图

1.3 功能模块设计

平台的功能组成与模块设计如图 3 所示，主要功能具体介绍如下。

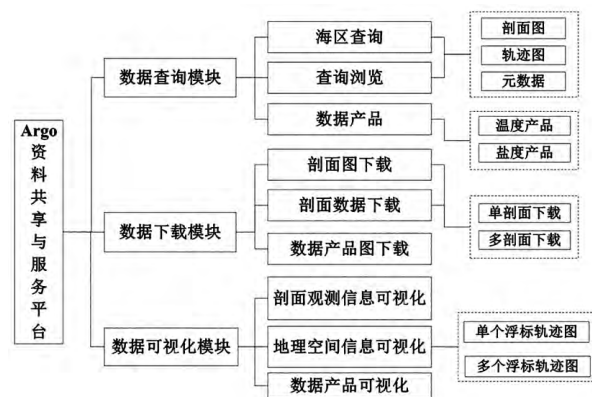


图3 功能组成与模块设计图

1.3.1 数据查询模块

数据查询模块实现对数据库中 Argo 资料的查询，并将查询结果显示在地理底图上。根据查询条件的不同，又可分为基于浮标元数据信息查询和基于浮标位置信息查询。

1.3.2 数据下载模块

用户输入相关查询条件，获得所需剖面数据列表，在提交个人信息后，可进行单个或多个剖面文件的打包下载。

1.3.3 数据可视化模块

根据用户的查询条件，可叠加浮标点位信息、多浮标实时漂移轨迹信息及网格化的 Argo 数据产品；针对单个观测剖面数据，可绘制温盐度曲线 (T-S)、温度垂直分布 (T-P) 和盐度垂直分布

(S-P) 等剖面图, 并可对图表中的坐标轴、观测值等进行交互操作。

2 关键技术

2.1 Argo 资料弹性扩展云存储模型

Argo 资料具有海量、实时、分布广泛、更新速度快等特点。平台涉及的数据包括栅矢混合的基础地理空间数据、海量的 Argo 元数据、观测剖面资料及网格化数据产品等, 数据量十分巨大, 同时数据来源和数据格式也非常丰富。虽然现有的空间数据库可以支撑大规模异构空间数据的管理, 但其存储的容量和灵活性存在一定局限性; 同时, 与日俱增的 Argo 观测资料与大批量的衍生数据产品让磁盘空间频频受挫, 单点文件存储或者简单的集群共享已无法应对爆炸式增长的海量数据, 存储系统的弹性扩展能力和性能需进一步提高。

HDFS 是 Hadoop 实现的一个分布式文件系统, 具有高可靠性/可用性、高扩展性、低成本等多方面优点 (Shvachko et al, 2010; 范远超等, 2011)。PostgreSQL/PostGIS 数据库是一个轻型、开源的空间关系型数据库, 支持复杂查询、事务完整性等, 可通过增加新的数据类型、函数、索引等进行扩

展, 并且提供了几何对象类型以及空间索引和空间操作等能力 (Stones et al, 2006)。考虑到 Argo 数据兼具结构化与非结构化的数据特性, 采用传统单一的数据存储方式难以进行有效组织与管理。因此, 本文采用 HDFS 分布式文件系统和 PostgreSQL/PostGIS 数据库混合存储的架构, 对其进行组织。

其中, HDFS 可对 Argo 剖面观测原始资料和网格化数据产品等非结构化数据提供较好的支持, 其可扩展性也为日益增加的非结构化数据提供了硬件级的弹性扩展能力。Argo 浮标元信息及观测剖面参数信息等数据相对体积较小、结构统一, 如果大量存储于 HDFS 中, 将会成倍地增加主节点的内存消耗, 降低其响应速度, 并不适合大规模地存放在 HDFS 中。因此, 本文引入 PostgreSQL/PostGIS 体系构成混合数据库, 建立 Argo 资料弹性扩展云存储模型, 来解决主节点性能问题和结构化数据存储问题。利用 PostgreSQL/PostGIS 存储 Argo 数据的检索信息、空间信息和元数据信息, 不仅降低了主节点的检索压力, 还通过将元数据进行结构化存储来提高查询效率。此外, 本文将系统信息、用户权限信息和系统日志等信息一并放入关系型数据库中, 从而构成了完整的数据系统。

图 4 为基于 HDFS 和 PostgreSQL/PostGIS 混合

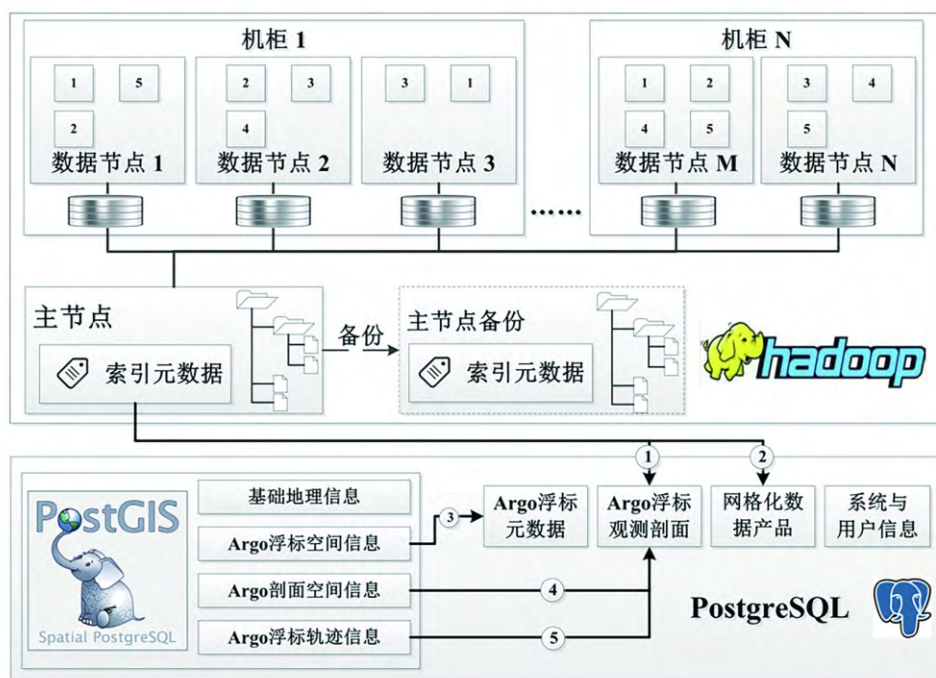


图 4 Argo 资料弹性扩展云存储架构

数据库的 Argo 资料弹性扩展云存储架构。其中，HDFS 集群的主节点采用双备份机制，仅一个节点负责与客户端和子节点交互，另一个备份节点仅负责主节点的备份。数据节点内的 Argo 剖面观测原始资料和网格化数据产品被分块到多个物理节点上存储，其网络路径索引不仅存放在主节点上，也被记录到 PostgreSQL 中（线 1 和线 2）。同时，Argo 浮标元数据和剖面观测数据中的结构化信息以表格形式存储于 PostgreSQL。带有空间位置属性的 Argo 浮标空间信息、观测剖面空间信息以及浮标轨迹信息等则从 Argo 浮标元数据和剖面观测文件中抽取存放在 PostGIS 中（线 3、线 4 和线 5）。

2.2 基于 Matlab 的 Argo 网格化产品可视化方法

本文涉及的 Argo 网格化数据产品由中国 Argo 实时资料中心提供，主要指基于 2002 年 1 月–2015 年 12 月的全球范围（80°S–80°N，180°E–180°W）所有的 Argo 温、盐度剖面资料，利用逐步订正法制作的全球海洋逐年逐月 Argo 资料网格化数据集（BOA_Argo）（李宏 等，2013；赵鑫 等，2016）。

BOA_Argo 数据采用 NetCDF 网络通用数据格式进行存储，是一种包含多要素的三维场数据，存储的物理变量包括温度、盐度及混合层深度等，空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ，深度层数为 58，单个文件数

据量较大。按照时间尺度划分，BOA_Argo 数据可分为年平均、月平均和逐年逐月平均三种类型。

Matlab 是一款由美国 The Math Works 公司出品的科学计算软件，提供了大量高效的数值计算模块和丰富的数据显示功能，便于用户进行科学建模和快速算法研究。

近年来，Matlab 被越来越多地运用于海洋、气象等数值产品可视化中，包括时间序列分析、空间数据分析、信号处理、图像处理等（吴清松 等，2016）。考虑到 Argo 资料共享与服务平台对 BOA_Argo 数据产品的快速可视化需求，采用常规的数据处理方法无法及时地生成产品，因此，本文充分利用 Matlab 的高效计算能力，设计并实现了一套 BOA_Argo 可视化产品的自动预处理流程。

BOA_Argo 可视化产品包括全球海洋温、盐平面分布图和沿 180°E 断面温、盐分布图，下面以一个三维 BOA_Argo（经度、纬度、深度）数据处理过程为例（图 5a），其步骤如下：

(1) 读取 BOA_Argo 的元数据信息；根据输入条件，筛选提取全球温、盐平面分布图的空间范围和深度信息，或者断面温、盐分布图的断面经度和纬度范围信息；

(2) 根据筛选条件，读取相应范围的数据块，并根据输出分辨率及坐标系统做插值处理，生成

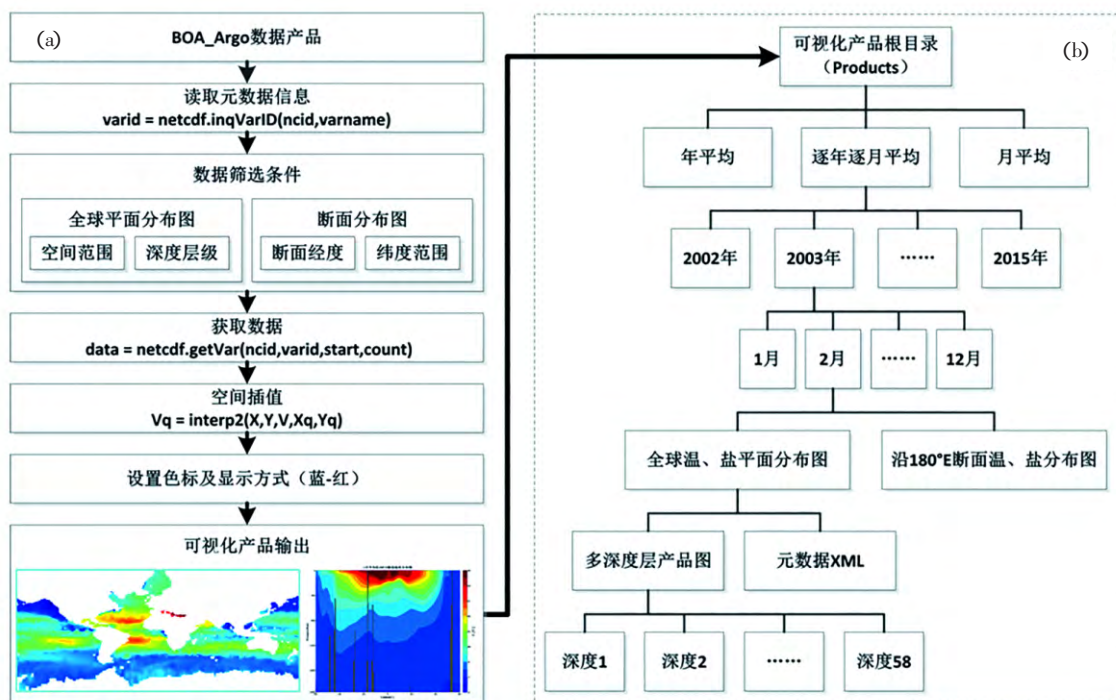


图 5 基于 Matlab 的 BOA_Argo 数据产品处理 (a) 及组织 (b) 流程

当前坐标系统的规则格网数据；

(3) 设置色标, 利用绘图指令生成图片文件, 并生成元数据信息；

(4) 重复 (2)、(3) 步骤, 直到所有产品处理完毕。

为了满足 Argo 资料共享服务平台对 BOA_Argo 数据产品的高效检索需求, 本文对生成的 BOA_Argo 产品采用分级分层的目录结构进行存储(图 5b), 平台可根据用户检索条件, 直接进行目录字符串拼接获得产品的 url 请求路径, 无需对数据库进行检索。

例如本文对逐年逐月平均的 BOA_Argo 数据产品采用了年、月、产品类型、深度级别等多层目录结构划分。假设用户请求 2015 年 12 月的全球海洋 0 m 层温度分布图, 可利用路径拼接获得以下 url 请求：

<http://ServerId/Products/OneMonth/2015/12/temp-0.png>

通过以上路径即可便捷地获取可视化产品, 提高了数据产品请求与访问的效率。

3 平台实现与应用

3.1 平台实现

根据平台所涉及的 Argo 数据特点, 本文选择 HDFS 和 PostgreSQL/PostGIS 混合数据库设计 Argo 资料弹性扩展云存储模型, 并通过编程完成批量数据的自动入库工作, 实现了 Argo 元数据、观测剖面数据及其衍生产品的一体化管理。利用 WebGIS 技术将基础空间数据在 ArcGIS Server 中进行服务发布, 通过 Hibernate 对象持久化技术将 Argo 数据库中数据库表进行 O/R 映射, 提高数据访问效率, 并通过 J2EE 和 RIA 技术实现对 Argo 数据的处理、分析和显示, 最终利用 Web 服务器 Tomcat 将 Argo 资料共享与可视化平台进行发布, 以供用户访问。平台技术路线实现方案如图 6 所示。

基于以上技术路线, 本文选用 Windows Server 2008 操作系统作为网站发布服务器、选用 SUSE Linux Enterprise Server 11 系统作为分布式文件系统的主节点与子节点, 以 Java 和 MXML 作为主要开发语言进行平台研发。

为验证平台技术框架的可行性, 本文对平台

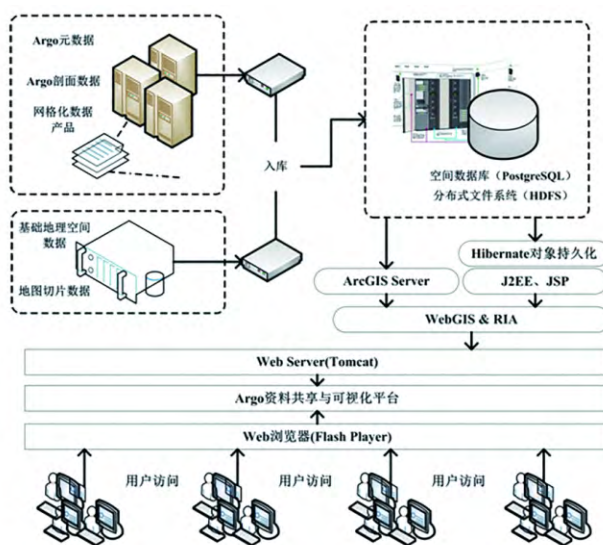


图 6 平台技术路线实现方案

剖面资料并发下载、功能响应时间、客户端资源占用情况等进行了测试。

考虑到平台的实际运行情况, 本文剖面资料并发下载采用的测试环境如下: 服务器上传带宽为 20 MB/s, 本地下载带宽为 200 KB/s; 剖面文件下载测试数量为 250 个, 总数据大小为 725 KB。不同的并发环境下平均下载耗时结果如图 7 所示。

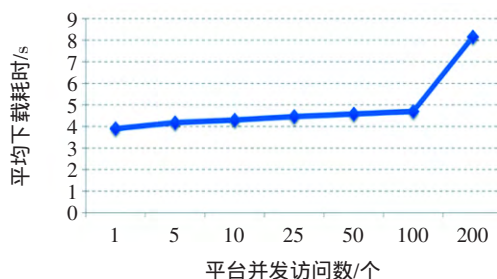


图 7 Argo 剖面资料并发下载性能分析

从图 7 中可以看出, 当平台并发数不超过 100 时, 剖面资料下载的网络带宽主要受限于本地的下载带宽, 因此利用 Argo 资料弹性扩展云存储模型的分布式访问能力, 数据下载的平均耗时可基本维持不变; 而当平台并发数量达到 200 时, 由于数据上传带宽的限制, 造成网络访问大量拥堵的情况, 因此数据下载的平均耗时大幅上升。

此外, 经测试表明, 当平台并发访问数量不超过 200 时, 浮标数据查询浏览、轨迹动态显示、剖面图实时绘制、网格化产品检索展示等功能的响应时间均控制在 2s 以内, 可较好地满足用

户动态交互的响应速度要求。在平台运行期间，浏览器端（客户端）资源占用一直处于较低水平（<300 MB），波动幅度较小，不会影响其他系统软件的正常运行。

3.2 平台应用

全球 Argo 资料共享与服务平台已在中国 Argo 实时资料中心部署并对外服务，可通过以下链接进行访问：

<http://101.71.255.4:8090/flexArgo/out/index.html>

图 8 为平台 Argo 信息查询界面，提供了丰富的多条件组合查询的用户交互能力，用户可以根据自身需求选择进入不同的查询面板：属性查询面板（图 8a）中可以选择查询浮标编号、投放国家、投放时间等查询条件，海区查询面板（图 8b）中可以根据浮标投放海区位置进行查询。剖面资料查询下载面板（图 8c）可根据剖面循环号区间、生成时间、生成位置等进行剖面资料的检索与下载。

图 9 为浮标数据多种可视化结果。例如：平台将符合条件的浮标最新位置以浮标图标的形式

显示在地理底图上，图 9a 为 2010–2017 年间中国投放的 Argo 浮标，图 9b 为 2010–2017 年间太平洋海区投放的 Argo 浮标。点击地图上的浮标图案可在地图上动态绘制该浮标的实时漂流轨迹（图 9c），选中轨迹点可实时绘制该点的多深度轴剖面图（图 9d），并可交互式显示剖面观测值信息，响应速度较快，较为有效地克服了传统 Argo 资料共享平台交互能力薄弱的问题。

进入数据产品模块，可以在地图上叠加“BOA-Argo”数据产品图。图 10a 为 2015 年 12 月全球海洋 0 米层上的温度大面分布，用蓝红渐变色带表示温度由低到高的变化过程。图 10b 为 2015 年 12 月 0 米层上的盐度大面分布。通过图片预览功能，可以一键制作“BOA-Argo”数据产品专题图，在原始大面分布图上添加图名、经纬格网、图例等信息，即可将结果进行保存或打印（图 10c）。图 10d 为 2015 年 12 月沿 180°E 断面温度分布图。

图 8 查询面板

(a：多属性查询面板；b：海区查询面板；c：剖面资料查询下载面板)

<http://hytb.nmdis.org.cn>

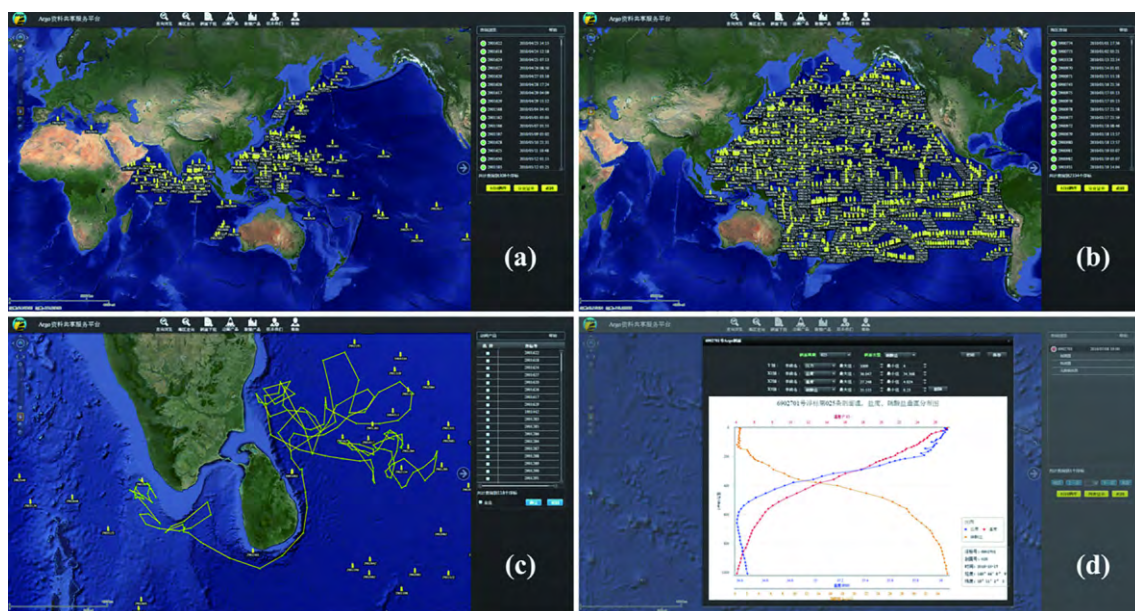


图9 Argo 浮标信息查询、浏览及可视化

(a: 多属性查询结果; b: 太平洋海区查询结果; c: 浮标漂移轨迹动态显示; d: 多深度轴剖面图可视化)

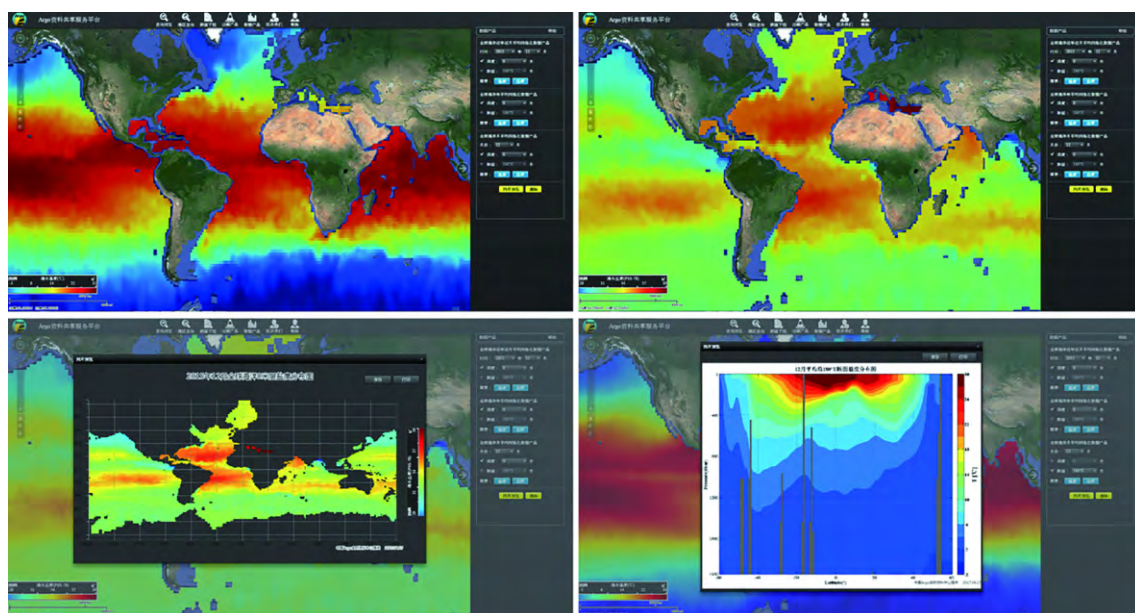


图10 Argo 网格化产品可视化

(a: 温度大面分布; b: 盐度大面分布; c: 产品保存下载; d: 180°E 断面温度分布图)

4 结语

随着 Argo 计划的不断拓展, Argo 浮标观测数据及产品的数据量激增, 本文综合运用分布式混合数据库架构, 设计了一种适用于全球 Argo 资料的弹性扩展云存储模型, 基于 FlexRIA WebGIS 框架研制了全球 Argo 资料共享与服务平台, 实现了

Argo 资料的自动入库、产品制作、查询分析及 GIS 可视化等功能, 不仅较有效地解决了当前 Argo 资料快速增长和用户实时获取之间的矛盾, 而且克服了传统 Argo 资料共享平台存在的交互性差、响应速度慢等不足, 提供了更加丰富、体验性更强的用户交互界面, 更加快捷地为国内外用户提供全球 Argo 资料及其数据产品服务。

<http://hytb.nmdis.org.cn>

致谢：本研究得到国家海洋局第二海洋研究所中国 Argo 实时资料中心许建平研究员、刘增宏副研究员的大力支持，为文章修改提出宝贵意见并予以帮助，在此由衷地表示感谢。

参 考 文 献

- Shvachko K, Kuang H, Radia S, et al, 2010. The hadoop distributed file system: Mass storage systems and technologies (MSST), 2010 IEEE 26th symposium on, IEEE.
- Stones R, Matthew N, 2006. Beginning databases with Postgre SQL: from novice to professional. Apress.
- 陈爽, 2010. Flex 与 Action Script 3 程序开发. 北京交通大学出版社.
- 范远超, 徐辰, 于政, 等, 2011. FDSS: 基于 HDFS 的海量音乐特征数据存储系统. 计算机研究与发展, 48(s2): 374-378.
- 付达杰, 2013. 基于 Flex RIA WebGIS 的新农村数字社区管理系统设计与实现. 计算机与现代化, (4): 125-127.
- 李宏, 许建平, 刘增宏, 等, 2013. 全球海洋 Argo 网格资料集及其验证. 海洋通报, (6): 615-625.
- 刘仁义, 刘南, 尹劲峰, 等, 2004. 全球海洋环境观测数据 (ARGO)及 ARGOGIS 系统. 自然灾害学报, 13(4): 93-98.
- 刘增宏, 吴晓芬, 许建平, 等, 2016. 中国 Argo 海洋观测十五年. 地球科学进展, 31(5): 445-460.
- 宁鹏飞, 孙朝辉, 刘增宏, 等, 2007. Argo 网络数据库可视化平台技术及其应用. 海洋技术学报, 26(4): 77-82.
- 孙朝辉, 刘增宏, 孙美仙, 等, 2006. Argo 数据的网络可视化集成平台开发及其应用. 海洋技术学报, 25(3): 135-139.
- 汪林林, 胡德华, 王佐成, 等, 2008. 基于 Flex 的 RIA WebGIS 研究与实现. 计算机应用, 28(12): 3257-3260.
- 王帅, 徐从富, 陈雅芳, 2011. 基于 WebGIS 的 Argo 数据共享服务系统. 海洋科学, 35(3): 32-36.
- 吴清松, 王琪, 应剑云, 等, 2016. 基于 Matlab 的 DGPS 数据实时可视化与走航观测. 海洋学研究, 34(2): 60-64.
- 张宏, 丰江帆, 闫国年, 等, 2007. 基于 RIA 技术的 WebGIS 研究. 地球信息科学学报, 9(2): 37-42.
- 赵鑫, 李宏, 刘增宏, 等, 2016. 基于混合层模型反推 Argo 表层温度和盐度. 海洋通报, 35(5): 532-544.

(本文编辑 宋雪莲)