

doi: 10.11720/wtyht.2020.2405

张盛, 张明华, 任伟, 等. 基于 Web 的重磁网格数据处理系统设计及其实现 [J]. 物探与化探, 2020, 44(4): 914-918. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.2405>

Zhang S, Zhang M H, Ren W, et al. The web-based gravity and magnetic grid data processing tool and its implementation [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(4): 914-918. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.2405>

基于 web 的重磁网格数据处理系统设计及其实现

张盛, 张明华, 任伟, 杨燕

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要: 云计算为地质行业软件提供了新的发展方向, 笔者采用云计算技术, 研发了一个基于 web 的在线重磁网格数据处理系统, 使得用户无需安装即可便捷获取滤波、延拓、导数计算等数据处理功能。该工具采用了三层架构设计, 分别为展现层、计算服务层和逻辑控制层。其中展现层利用 web2.0 前端技术开发, 提供用户交互界面及数据可视化功能。计算服务层封装了一系列网格数据处理算法, 用于处理用户提交的数据处理任务并返回数据处理结果, 该层包括滤波计算、频率域向上延拓方法和差分迭代向下延拓算法等。逻辑控制层连通展现层和计算服务层, 根据用户提交的数据处理请求调用所需算法并返回计算结果。我们利用 RGIS 软件对比检验了系统可用性, 通过不同计算平台对比, 验证了系统的跨平台适应性。

关键词: 网格数据; 在线处理; 云计算

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2020)04-0914-05



0 引言

重磁勘探方法广泛应用于矿产资源勘探、气候环境变化、大地构造研究等方面^[1]。为了从重磁数据资料中获得研究区的地质解释结果, 必须利用专业软件系统对重磁数据进行专业化数据处理和分析^[2-5]。现有重磁数据处理软件以单机桌面应用程序为主, 这些软件在使用过程中往往存在以下限制: ① 在使用便捷性方面, 软件在 Windows、Linux 等平台之间无法自由切换使用, 并且这些软件通常授权给单一终端, 很难实现多用户跨平台协同工作; ② 在软件的更新维护方面, 软件开发商在完成更新包之后, 单机软件用户需要去主动更新应用终端程序, 这往往需要经过获取更新软件包、卸载已有程序、安装新程序、重新授权等一系列繁琐的操作步骤, 在这一过程中还可能遇到诸如动态库缺失、版本不兼容等问题; ③ 在计算性能方面, 随着航空物探、物联网技术的应用, 现代物探方法获取了海量数据, 这些数

据的存储计算对软件计算性能提出新要求, 单机应用程序往往受限于宿主计算机硬件性能, 将会越来越难以满足海量数据即时处理计算需求^[6-7]。

随着信息技术的发展, 云计算这一新的计算模式成为当今信息技术发展主流, 该计算模式的典型特征是将计算、存储和网络资源作为在线服务提供给用户, 用户可以通过瘦终端与 Web 浏览器一起按需访问^[8-10]。云计算有 3 种典型服务模型: IaaS (基础架构即服务), PaaS (平台即服务) 和 SaaS (软件即服务)。在云计算中, 应用程序或软件运行在云基础设施之上, 而无需本地软件安装和维护, 这能够有效提高多用户软件和硬件基础设施利用率, 大大降低了用户本地计算资源的成本。此外, 由于软件应用程序是云托管的, 并且没有明显的平台限制, 因此服务提供商可以轻松升级维护它们。所有用户都使用相同版本的软件, 这使得用户之间的协作更容易, 因此软件版本不匹配等问题也可以得到快速修复。由于上述云计算带来的优点, 在地质领域已经开发了许多在线数据处理程序。例如, 中石化开

收稿日期: 2020-02-20; 修回日期: 2020-06-11

基金项目: 科技部“科技助力经济 2020 重点专项”“频率谱探测新技术的云计算推广与应用示范”(SQ2020YFF0426563); 国家重点研发计划项目(2016YFC060110203); 中国地质调查局地质调查项目“资源环境地质调查数据集成与综合分析”(DD20190427)

作者简介: 张盛(1987-), 博士后, 助理研究员, 主要从事重磁数据处理、地质信息化相关研究工作。Email: zhangsheng261@163.com

发了 π -Frame 地震数据处理平台,这是一个用于地球物理数据处理和解释的云平台^[11]。北京桔灯勘探公司提供全套专业软件远程桌面服务,而 Plotly 科学绘图软件提供在线数据处理和绘图服务等^[12]。

网格数据广泛应用于重磁数据处理、分析和解释各个环节,是最为常用的物探数据格式之一。为探索云计算技术在地球物理软件中的应用方法、技术和效果。笔者研发了一个网格数据在线处理系统,通过对比分析验证了该系统的正确性和使用的便捷性,为云计算技术在地球物理软件应用方面提供技术储备。

1 功能设计与算法

网格数据处理算法是软件的核心基础之一,因此有必要对该系统所采用的数据处理算法进行简要描述。本系统主要集成了常用的滑动平均滤波、方向导数计算、频率域滤波、位场解析延拓功能。

1.1 滑动平均滤波

滑动平均滤波方法对周期性干扰有良好的抑制作用,平滑度高,适用于滤除高频干扰和随机噪声。缺点是灵敏度较低,对偶然出现的脉冲性干扰的抑制作用较差。其计算方法为:对 $M \times N$ 个采样值的网格数据,任意网格节点滤波结果为计算点周围半径为 w 方形区域内数据点的算术平均值,按照如下公式进行计算:

$$ss(i, j) = \sum_{ii=i-w}^{i+w} \sum_{jj=j-w}^{j+w} s(ii, jj) / (2w + 1)^2, \quad (1)$$

其中: $ss(i, j)$ 为滤波结果, w 为滤波窗口半径, $s(ii, jj)$ 为原网格数据。

1.2 方向导数

重磁异常的方向导数通常指异常场沿某一特定方向的空间变化,常用于突出异常梯级带,区分不同构造走向的叠加重磁异常,进而划分特定地质构造界线。笔者采用空间域差分算法替代微分近似估算重磁场的方向导数,网格数据 x 方向、 y 方向导数及总水平导数计算公式如下:

$$\begin{aligned} dx_{i,j} &= \frac{(d_{i+1,j} - d_{i-1,j})}{2\Delta x} \\ dy_{i,j} &= \frac{(d_{i,j+1} - d_{i,j-1})}{2\Delta y} \\ dt_{i,j} &= \sqrt{(dx_{i,j}^2 + dy_{i,j}^2)} \end{aligned} \quad (2)$$

其中: $dx_{i,j}$ 为 x 方向导数; $dy_{i,j}$ 为 y 方向导数; $dt_{i,j}$ 为总水平导数。

1.3 频率域滤波

为了获得与地质相关的异常信息,需要对网格数据进行滤波处理。频率域滤波主要采用如下计算步骤进行:

1) 将网格数据进行二维 FFT 变换,获得频率域网格数据;

2) 按照给定截断频率和窗函数(本系统中采用矩形窗),对频率域网格数据进行滤波,得到频率域滤波结果;

3) 对频率域滤波结果进行 FFT 逆变换即可得到空间域滤波结果。

1.4 延拓计算

将地面实测异常换算到不同高度来划分场源深度不同的叠加异常,这种方法叫做重磁异常的解析延拓,实际工作中常用于压制噪声干扰,突出有用异常,重磁异常解析延拓通常有向上延拓和向下延拓两类。在本研究中主要采用频率域向上延拓算法^[1]和迭代向下延拓算法^[13]。频率域延拓计算可以看作是一种频率域滤波算法,计算公式如下:

$$F(u, v, h + \Delta h) = F(u, v, h) * H(\Delta h)$$

$$H(\Delta h) = e^{-\Delta h \sqrt{u^2 + v^2}} \quad (3)$$

其中: Δh 为延拓高度。

2 系统实现与关键技术

在线软件系统通常采用分层架构进行设计,分层架构实现了各个逻辑功能的解耦,规范化了各层间的调用关系,降低各层之间的依赖关系,利于各层逻辑重用与更新。我们采用典型的 3 层架构实现该在线网格数据处理系统,这 3 层架构分别是展现层、计算服务层和逻辑控制层。

2.1 展现层的实现

展现层又称为表现层,运行于客户端浏览器,用于提供用户交互操作界面,接受用户输入数据和数据可视化表达。该层利用 Html5 + CSS3 + JavaScript 等 web2.0 前端技术进行实现。系统主界面如图 1 所示,该软件界面上部为系统标题,左侧为功能菜单,主要包括网格数据输入输出、绘图参数设置及数据处理等操作按钮,界面右侧为数据展示区,采用“Plotly.js”函数库进行数据可视化,提供等值线、热度图以及三维表面图 3 种数据展示方式。为兼容已有数据处理软件,输入、输出数据文件采用 Surfer 6 明码及二进制格式的 grd 文件。

2.2 计算服务层实现

计算服务层运行在服务器端,用于接收用户数

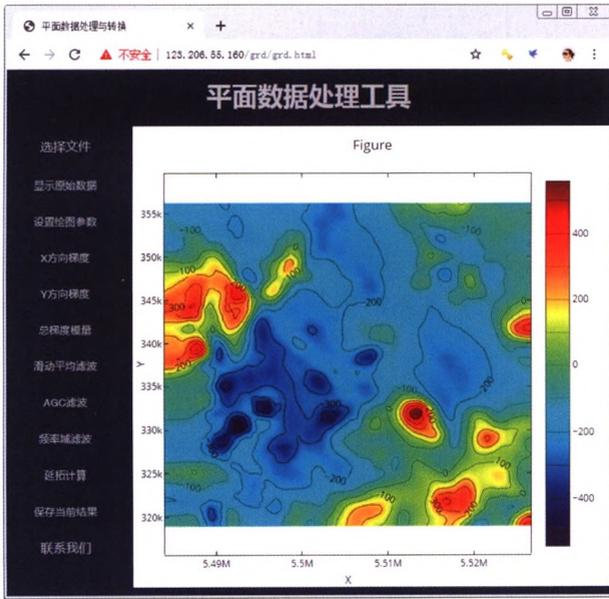


图 1 用户界面

Fig.1 Software user interface

据处理请求并返回数据处理计算结果,图 2 为该层典型的数据处理过程。

由于历史原因,核心数据处理程序由 C、C++和 Fortran 等多语言混合开发完成,很难直接作为网络应用程序直接使用,为此我们将各个数据处理程序生成外部可以直接调用的独立数据处理模块。此外,由于每种数据处理算法的输入输出数据内容各不相同,在数据处理 web API 接口必须进行一定规范化处理,因此我们采用 PHP 语言开发了一个中间件,用于统一接收用户数据计算请求并解析数据处理算法参数,根据参数内容启动特定数据处理算法模块处理请求参数中的数据处理任务,待处理程序完成之后,收集数据处理结果并 JSON 序列化后返回。

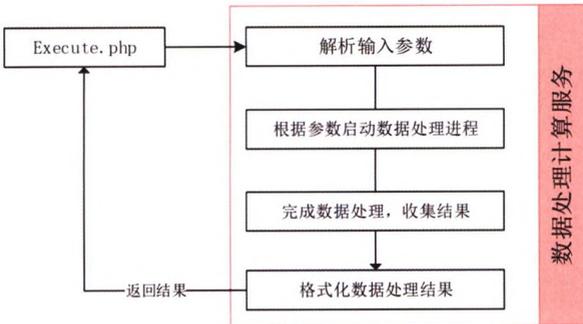


图 2 典型的数据处理过程

Fig.2 Typical data processing

2.3 逻辑控制层实现

逻辑控制层连接展现层与计算服务层,运行于

客户端浏览器,采用 JavaScript 语言开发。该层主要实现如下逻辑控制过程:① 接收用户在界面提交的数据处理请求,对界面参数进行 JSON 格式化封装;② 采用 POST 方法调用计算服务层统一数据处理接口 API,接收数据处理结果序列化数据,为了提高数据传输效率,兼容大规模数据处理请求,本研究采用 JSON 格式进行数据传输;③ 根据数据处理结果,调用展现层对应模块进行数据可视化。该层实现的逻辑过程如图 3 所示。

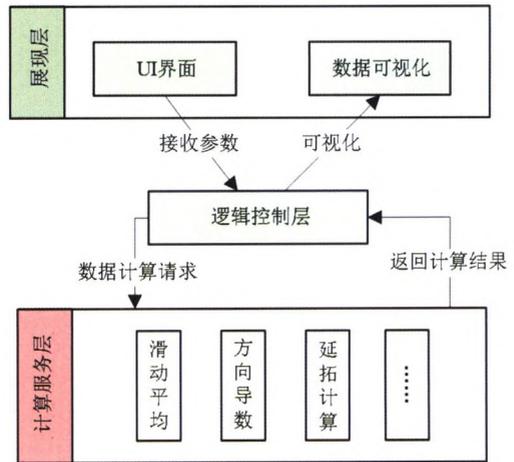


图 3 逻辑控制层

Fig.3 The logical layer

3 部署测试

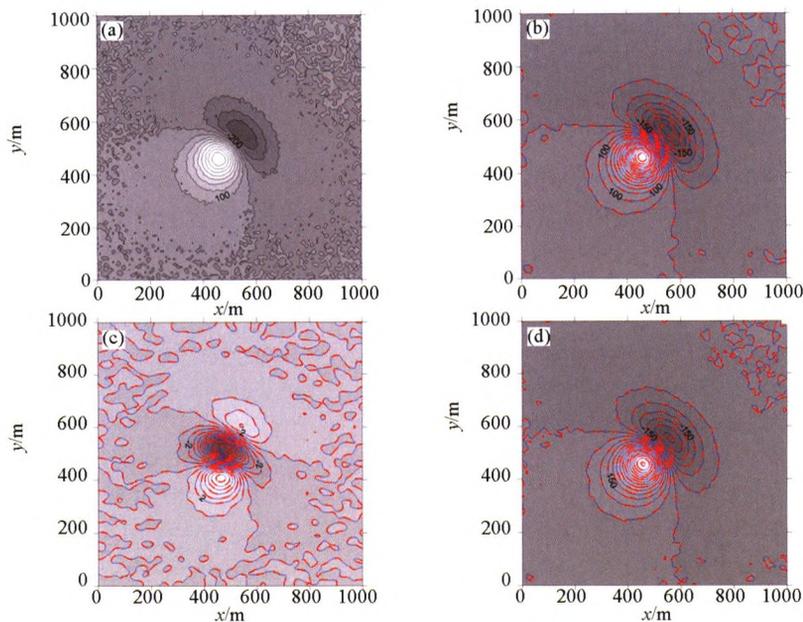
我们的部署环境是阿里云 ECS 服务器,采用 CentOS 7.5 X64 操作系统,用 Apache 服务器作为中间件,服务器配置为 4 核 CPU,主频 2.5 GHz,内存 8 GB,互联网带宽 5 MB,测试端采用谷歌浏览器。

3.1 可用性测试

我们利用 RGIS 软件对本工具数据处理结果进行对比试验。试验数据采用了磁偏角 45°,磁倾角 45°,球体磁异常正演数据,为验证数据处理效果,在正演数据中加入随机干扰作为噪声。该数据网格大小为 101×101。

利用本系统滑动平均滤波、方向导数计算及向上延拓功能计算结果和 RGIS 软件计算结果进行了对比,结果如图 4 所示,其中蓝色等值线为 RGIS^[7] 软件处理结果,红色虚线等值线为本工具数据处理结果。可以看出算法与现有权威专业软件处理结果一致,数据处理结果正确可靠。

对于在线应用程序而言,用户体验在很大程度上取决于系统响应时间,这包括数据上传时间、计算时间、结果下载时间和数据图形绘制时间。在实际



a—含噪声球体模型磁异常;b—5×5 窗口滑动平均滤波;c—y 方向一阶导数;d—向上延拓 10 m 磁异常

a—magnetic anomaly of a sphere model with white noise;b—5×5 window moving average filtering;c—first derivative in y direction;d—upward continuation magnetic anomaly for 10 m

图 4 部分数据处理结果对比

Fig.4 Comparison of data processing results

环境中测试,系统处理 101×101 规模数据时,总响应时间不超过 1 s;由于浏览器本身性能限制,经测试,目前系统支持处理最大 900×400 规模网格数据,满足常规数据处理性能需求。

3.2 跨平台适应性测试

我们使用手机、pad、笔记本电脑在 Windows、Linux、安卓等多个平台进行数据处理测试。结果显示该工具均能正确运行数据导入、处理和结果导出功能,该工具具有较好跨平台应用性能,如图 5 为安卓移动终端应用效果图。

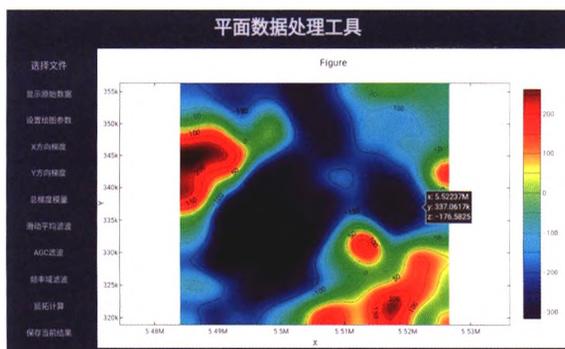


图 5 移动终端应用效果

Fig.5 Mobile terminal application effect

4 结论

本研究采用云计算技术,在通用网格数据处理算法基础上,设计并实现了一个在线网格数据处理系统,该系统具有对网格数据进行滑动平均滤波、方向导数计算、频率域滤波以及解析延拓等常见功能。通过对比实验验证了该系统的正确性,通过不同平台应用测试,验证了该工具的跨平台适用性。该研究为在线物化探数据处理系统的设计开发提供了技术解决方案。目前系统尚处在原型系统开发阶段,在投入实用化之前,建议在以下方面进一步研究,例如地球物理数据处理算法通常耗时较长,如何发挥云计算优势高效处理多用户并发请求有待进一步研究解决;如何有效提高大规模网格数据 Web 端实时渲染可视化急需进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] 曾华霖. 重力场与重力勘探[M]. 北京:地质出版社, 2005.
Zeng H L. Gravity field and gravity exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- [2] Zhang M H, He H, Wang C X. The launch of a large regional gravity information system in China[J]. Applied Geophysics, 2011, 8(2):170-175.
- [3] 陈靖, 王万银. 重磁处理及反演软件发展现状及未来趋势探讨[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(3):1106-1113.

- Chen J, Wang W Y. Discussion on the development and future trends of gravity and magnetic software for data processing and inversion[J]. *Progress in Geophysics*, 2017, 32(3):1106-1113.
- [4] 张明华, 乔计花, 黄金明, 等. 重磁电数据处理解释软件 RGIS [M]. 北京: 地质出版社, 2011.
- Zhang M H, Qiao J H, Huang J M, et al. Gravity and magnetic data processing and interpretation software RGIS [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [5] 张新兵, 朱自强, 王家林. 重磁数据处理系统设计[J]. 物探化探计算技术, 2001, 23(3):267-271.
- Zhang X B, Zhu Z Q, Wang J L. The design of a gravity and magnetic data processing system[J], *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2001, 23(3):267-271.
- [6] 王林飞, 熊盛青, 何辉, 等. 非地震地球物理软件发展现状与趋势[J]. 物探与化探, 2011, 35(6):837-844.
- Wang L F, Xiong S Q, He H, et al. Current status and future trends of non-seismic geophysical software [J]. *Geophysical and Geochemical exploration*, 2011, 35(6):837-844
- [7] 赵改善. 地球物理软件技术发展趋势与战略研究[J]. 勘探地球物理进展, 2010, 33(2):75, 77-86, 92.
- Zhao G S. Trends and strategic studies of geophysical software development[J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 2010, 33(2):77-86, 92.
- [8] 陈康, 郑纬民. 云计算: 系统实例与研究现状[J]. 软件学报, 2009, 20(5):1337-1348.
- Chen K, Zheng W M. Cloud computing: system Instances and current research[J]. *Journal of Software*, 2009, 20(5):1337-1348
- [9] 连剑波, 张明华, 董红, 等. Web 服务在重磁数据处理中的应用[J]. 桂林理工大学学报, 2005, 25(1):72-75.
- Lian J B, Zhang M H, Dong H, et al. Web services in gravitational and magnetic data processing[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2005, 25(1):72-75.
- [10] 袁志俊, 夏红霞. 基于 SaaS 模式在线软件系统开发方案的研究[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(11):2714-2717.
- Yuan Z J, Xia H X. Research of online software system development solution based on SaaS[J]. *Computing Engineering and Design*, 2009, 30(11):2714-2717.
- [11] 赵改善, 王伟涛, 魏嘉, 等. π -Frame 地震软件平台 [N/OL]. [2019-07-12]. <http://www.pi-frame.org>.
- Zhao G S, Wang W T, Wei J, et al. π -Frame Seismic software platform [N/OL]. [2019-07-12]. <http://www.pi-frame.org>.
- [12] 张政. 基于 WebGIS 的地球物探数据网络在线交互式可视化研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2018.
- Zhang Z. Research on online interactive visualization of geophysical prospecting data based on WebGIS [D]. Beijing: China University of Mining and Technology(Beijing), 2018.
- [13] 徐世浙, 余海龙. 位场曲化平的插值-迭代法[J]. 地球物理学报, 2007, 50(6):193-197.
- Xu S Z, Yu H L. The interpolation-iteration method for potential field continuation from undulating surface to plane[J]. *Chinese J. Geophys.*, 2007, 50(6):193-197.
- [14] 张新兵, 朱自强, 王家林. 重磁数据处理系统设计[J]. 物探化探计算技术, 2001, 23(3):267-271.
- Zhang X B, Zhu Z Q, Wang J L. The design of a gravity and magnetic data processing system[J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2001, 23(3):267-271.

The web-based gravity and magnetic grid data processing tool and its implementation

ZHANG Sheng, ZHANG Ming-Hua, REN Wei, YANG Yan

(Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Cloud computing provides a new development direction for the geological software. The authors have used cloud computing technology to develop a web-based online grid data processing system that allows users to easily obtain data processing capabilities such as filtering, extension, and derivative calculation without installation. The tool uses a three-layer architecture, namely the presentation layer, the logic layer, and data processing service layer. The presentation layer is developed using web 2.0 front-end technology to provide user interaction interface and data visualization functions. The data layer encapsulates a series of grid data processing algorithms, which are used to process data-processing tasks submitted by users and response data processing results. This layer includes filter calculation, frequency domain upward continuation method, and differential iterative downward continuation algorithm and some other means. The logic layer connects the presentation layer and the data layer, and calls the required algorithm and returns the calculation result according to the data processing request submitted by the user. The authors tested the correctness of the tool using magnetic data from a synthetic model, and verified the cross-platform convenience of the tool by comparative study of this means on different computing platforms.

Key words: grid data; online data processing; cloud computing

(本文编辑:王萌)