

气象要素空间插值图像处理系统的研究与实现

杨 雪^{1,2}, 徐晓莉^{1,2}, 宋 智^{1,2}, 江 蕾^{1,2}

(1. 四川省气象探测数据中心, 四川 成都 610072;

2. 高原与盆地旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都 610072)

摘 要:针对全国气象部门推进省级气象数据支撑环境建设,构建省级统一气象数据加工处理流水线的目标需求,研发了省级气象要素插值图像产品处理系统。提出了省级各类气象要素插值图像产品加工处理流程的整合思路,建立了统一的图像产品数据加工处理流水线,设计了系统的总体架构、插值算法和基于 GP 服务制作图像产品的方案。采用 MVC 框架、Quartz 调度器和 jQuery Grid Plugin 等技术框架对系统功能进行了实现,面向全省用户提供了各类气象要素插值图像产品的存储管理、共享展示和应用服务。系统采用了较为先进的技术和成熟的框架,生成产品在“四川省气象业务内网”中投入业务使用,投入使用后得到专业用户的肯定。有效提高了气象预报预测和服务业务的工作质量和效率,对推进气象业务的规范化、标准化,推进气象业务综合改革和气象现代化建设具有重要意义,并且对各类气象产品的加工处理有较好的参考作用。

关键词:气象要素;插值图像;GP 服务;协同克里金法

中图分类号:TP302

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2019)08-0179-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2019.08.034

Design and Implementation of Meteorological Element Image Product Generation System

YANG Xue^{1,2}, XU Xiao-li^{1,2}, SONG Zhi^{1,2}, JIANG Lei^{1,2}

(1. Sichuan Meteorological Observation and Data Centre, Chengdu 610072, China;

2. Key Laboratory of Sichuan Province of Heavy Rain and Drought-flood Disasters in Plateau and Basin, Chengdu 610072, China)

Abstract: In view of the current needs for promoting the construction of provincial meteorological data environment, and building the provincial unified data processing and processing line, we develop the meteorological element image product generation system. The integrated idea of provincial meteorological elements interpolation image processing process is proposed, the unified image products data processing line is established, and the platform's architecture, interpolation algorithm and the scheme of image production based on GP service are designed. This system is implemented by MVC framework, Quartz scheduler and jQuery Grid Plugin, which provides storage management, sharing display and application services of weather elements interpolation image products. The products has been put into service in Sichuan meteorological service Intranet, and recognized by professional users. The system has effectively improved the work quality and efficiency of meteorological forecast and service business, which is of great significance to advancing the normalization and standardization of meteorological business, promoting the comprehensive reform of meteorological business and the modernization of meteorology, with better reference to each kind of meteorological product processing.

Key words: meteorological element; interpolation image; geoprocessing service; Co-Kriging

0 引言

在气象预报预测业务工作及其服务领域中,有大量的数据资料及产品需要绘制成插值图像产品。插值

图像产品是以相等数值点的连线或色块表示连续分布且逐渐变化的数量特征的一种图像^[1],是气象业务中最为常用的气象要素图像显示方法。插值图像产品能

收稿日期:2018-08-27

修回日期:2018-12-28

网络出版时间:2019-03-27

基金项目:中国气象局山洪地质灾害防治气象保障工程;公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY201506025)

作者简介:杨 雪(1986-),女,硕士研究生,工程师,研究方向为气象信息系统研发;徐晓莉,高级工程师,通讯作者,研究方向为气象信息系统研发。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190327.1620.012.html>

够直观、准确地显示出气象要素的分布情况,便于气象业务人员对天气情况进行高效快捷的分析和决策。

在气象行业中,许多业务系统中都涵盖了制作气象要素插值图像产品的工作,但目前大部分产品制作都缺乏统一标准的业务流程和规则,没有建立一步到位的统一业务流程,导致各系统在产品制作方面都有功能交叉重叠,相同或相似功能被重复开发,集约化程度不高;各系统和数据源之间的数据处理流程过于复杂,数据传输和交换流程繁杂紊乱,有些相同的图像产品在不同服务器的存储次数过多;而且各系统缺乏统一的制作标准,同一气象要素生成的插值图像产品结果都各不相同,对气象业务人员的分析和判断造成了一定困扰。因此,建立一个气象要素空间插值图像处理系统,实现图像产品的统一加工处理、信息化管理和高效检索共享,使业务人员能迅速、准确地查看所需图像产品,是十分必要的。

文中基于省级统一气象数据环境,对省级各类气象要素插值图像产品的加工制作流程进行整合,建立了气象要素插值图像产品的统一数据加工处理流水线,实现统一、规范的原始数据收集,插值图像的加工处理,图像产品的存储管理和共享应用。并且针对四川省气象要素的空间分布特点,采用了一种协同克里金法的插值算法,基于在线 GP 服务实现了插值图像产品的制作。该系统能够有效提高气象预报预测和服务业务的工作质量和效率,对推进气象业务的规范化、标准化,推进气象业务综合改革和气象现代化建设具有重要意义。

1 气象要素插值方法

空间插值算法是影响气象要素插值效果的重要因素,气象要素插值图像产品制作优劣的关键点是空间插值算法的选取。目前国内外成熟的空间插值算法有很多,包括克里金插值法、反距离权重法、最小曲率法、样条函数法、自然邻域法、最近邻点法等^[2]。对于各类气象要素的空间数据的插值,在不同的地域和不同的时空尺度内,所谓的最优插值算法也是相对的。在气象要素分布较为密集的区域,各类算法的结果差异较小,但是在气象要素分布较为稀疏的区域,结果的差异则较大^[3]。

由于四川省位于中国西南地区,地跨青藏高原、横

断山脉、云贵高原、秦巴山地、四川盆地等几大地貌单元,省内地貌类型复杂多样,垂直地带明显,地势变化较大。四川省气象要素的空间分布与地形海拔关系密切,地形的水平地带性和垂直地带性分布特征对气象要素插值结果会产生很大的影响^[4]。所以文中选取基于 DEM 高程数据计算的协同克里金法,该算法是一种多元地质统计学方法,考虑了地形环境对气象要素的影响,将海拔高度等地形地势信息应用加入到插值过程中^[4-5],增加四川省 DEM 高程数据作为气象要素插值的协同区域化变量,参与到空间插值计算中,以提高四川省气象要素插值精度。

协同克里金法是普通克里金法的扩展^[6],协同克里金插值法利用多个协同区域化属性对所需计算的要素值进行插值计算。通过建立交叉协方差函数或交叉变异函数模型,用易于观测的变量对不易观测的变量进行估算^[7-9]。其插值计算公式为:

$$Z = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_i y_i \tag{1}$$

其中, Z 为协同克里金法对待计算要素点的估算量; n 为输入的全部样本点数量; α_i 和 β_i 分别为协同克里金法的区域化变量的权重系数; x_i 为输入各点的气象要素数据; y_i 为协同变量 DEM 高程数据的数据值。

在使用协同克里金法进行空间插值时,满足无偏和最优条件下,一般假设区域内对空间插值影响满足二阶平稳分析。 α_i 和 β_i 可由线性方程组求得,计算公式为:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \alpha_i C(x_i, x_j) + \sum_{j=1}^n \beta_j C(x_i, y_j) - u_1 = C(Z, x_i) \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i C(x_i, y_j) + \sum_{j=1}^n \beta_j C(y_i, y_j) - u_1 = C(Z, y_j) \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \\ \sum_{i=1}^n \beta_j = 1 \end{cases} \tag{2}$$

以 2017 年全国 2 000 多个自动气象站和四川省 4 700 多个自动气象站的气象观测记录为验证测试数据,选取克里金插值法、径向函数法与协同克里金法进行对比分析验证。对降水量观测要素的插值结果如表 1 所示,结果证明协同克里金法与原始数据最为接近。

表 1 插值方法比较

方法	最小值	最大值	平均值	标准差
原始数据	0	51	0.189 817	0.958 617
协同克里金法	-3.607 133	50.972 009	0.183 701	0.957 631
克里金插值法	-3.903 571 5	51.060 839	0.190 628	1.004 464
径向基函数法	-15.343 088	52.313 184	0.302 679	1.745 467

2 系统设计与实现

平台遵循《气象信息化行动方案(2015-2016)》中气象业务流程优化与业务系统集约化整合的方针^[10],采用多层架构体系,建立统一的规范化、标准化的产品制作业务流程。提升气象插值图像产品制作质量和效率,实现各类产品在省级的统一收集分发、加工处理、存储管理和共享服务。

2.1 总体设计

系统的总体设计综合考虑到软件的性能,系统的可扩展性、稳定性、可维护性、安全性等多方面因素。采用 Java EE 技术体系,基于 B/S 的模式架构,在 Server 服务端,包含对原始数据的收集、加工处理、生成产品、提供服务等各种业务逻辑;在 Browser 浏览端,则主要用于图像产品的应用展示。整个系统总体架构采用多层架构体系,包括数据收集层、数据加工处理层、数据层、数据服务层和应用功能层一共五个部分,如图 1 所示。

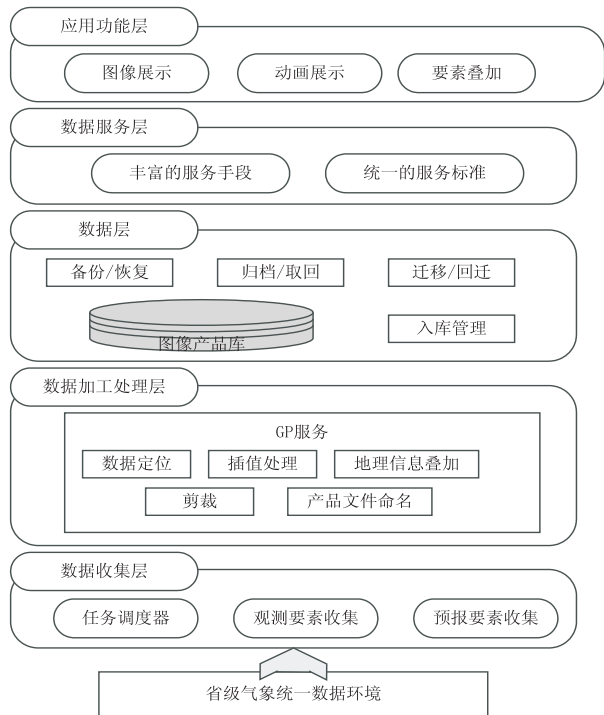


图 1 系统总体结构

(1)数据收集层:该层是平台的原始数据收集部分,采用 Quartz 调度器,根据预先设置的各类气象资料要素的收集策略,定期从省级气象统一数据环境中获取相应的气象要素原始数据,包括气象观测数据、预报产品、历史数据等资料中的气象要素数据,用于制作各类气象插值图像产品。

(2)数据加工处理层:该层是平台的预处理部分。该系统采用 ArcGIS 提供的在线 GP 服务,建立气象要素插值图像产品的自动化加工处理流程,利用 GP 服务调用智能插值算法,对数据收集层采集的气象要素

进行处理,快速生成气象要素的插值图像产品,如色斑图或等值线图等;并根据数据类型添加图像信息,最终遵照产品命名规范对图像进行命名,生成气象要素的插值图像产品。

(3)数据层:数据层主要负责整个系统中数据的存储,是整个系统的数据支撑。存储的信息包括管理数据和图像产品数据等。该系统采用 Oracle 数据库管理软件,遵照全国综合气象信息共享业务的流程规范,制定产品的存储规范,其中存储了图像产品的结构化部分和非结构化部分,即对产品索引信息的入库和对产品文件的归档。其中产品的结构化部分以数据库的方式存储,存储了产品的索引信息,非结构化部分以文件系统的方式存储,存储了产品的文件本体,所以数据层是以数据库和文件系统相结合的方式构建的。数据层还具有相应的数据存储策略,包括数据入库策略、表分区策略、数据备份/恢复策略、数据归档/取回策略、数据迁移/回迁策略、数据清除策略等。

(4)数据服务层:数据服务层是一个承上启下的层次,该层面向应用功能层提供统一、标准、丰富的数据访问服务和应用接口。数据接口提供包括图像产品的查询、文件的下载等功能,即根据应用功能层发出的各种请求,从数据层获取数据,进行相应的组织,返回所需数据提交给应用功能层使用。

(5)应用功能层:应用功能层是系统应用的表现层,主要对应系统用户可以直接在系统的展示平台上使用的各种功能,系统通过图像展示等方式向用户提供制作的气象插值图像共享。该层使用 MVC 模型和 jQuery Grid Plugin 技术,将数据服务层和应用展示层相分离,具有较高的可靠性和较低的耦合性。图像产品显示界面采用了 GIS 地理信息服务,在提供产品图像显示的同时,还提供了气象要素的叠加与图像动画播放等功能。

2.2 基于在线 GP 服务的插值图像产品制作技术

系统采用 ArcGIS 提供的在线 GP 服务中的智能插值算法,快速生成气象要素的插值图像产品(如色斑图、等值线图)^[11-12]。GP 服务即地理处理服务,是一种能够创建并执行 GIS 任务(包括空间分析和建模任务)的方法。它提供了对地理空间数据进行的操作服务和增值服务。通过 GP 服务可以将一系列的 GIS 工具以流的方式组成集成度更高的 GIS 工具处理规则,将所需处理的原始数据作为输入数据传入 GP 工具,按照 GP 模型所规定的处理规则自动执行计算分析,并返回处理结果^[13]。GP 服务避免大量重复性工作,可以让用户用很少的代码就可以完成一个复杂的操作,简化了大量的程序编码,用最简单的方式处理各类复杂的 GIS 任务,从而提高效率。

ArcGIS Server 作为一个企业级的 GIS 平台,提供了大量的地理处理工具,供 GP 服务使用,可根据需要对这些工具进行组合构造自己的 GIS 分析模型,然后发布成 GP 服务,以方便各种客户端调用。ArcGIS 的 GP 服务将脚本工具和模型工具相结合^[14],在 ArcGIS Server 中发布为服务,供各类编程语言使用,包括 Javascript、Flex、Silverlight 等。

系统利用 GP 服务建立制作气象要素插值图像产品的模型,即自动将收集到的站点或格点数据定位到地图上,然后调用智能插值算法对数据进行处理,根据

需求对图像进行地理信息的叠加和裁剪,生成色斑图或等值线图,并在图像上添加文字和图例信息,最终遵照全国综合气象信息共享业务的存储规范,生成标准格式和大小的图像格式产品,遵照制定好的产品文件名命名规范,对图像产品按照规范进行命名。图像加工处理流程如图 2 所示。

GP 服务通过预先制作好的模型,实现对 ArcGIS 服务端各类 GIS 任务自定义流程的自动化处理。通过站点或格点数据制作气象插值图像产品的 GP 模型,如图 3 所示。

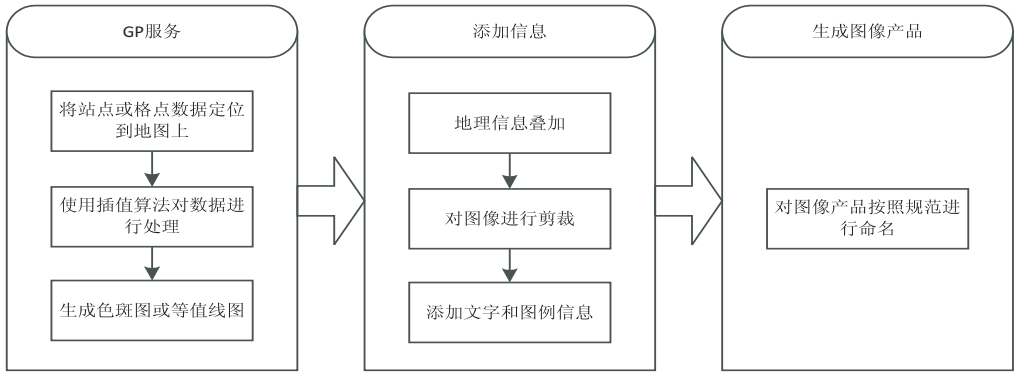


图 2 图像加工处理流程

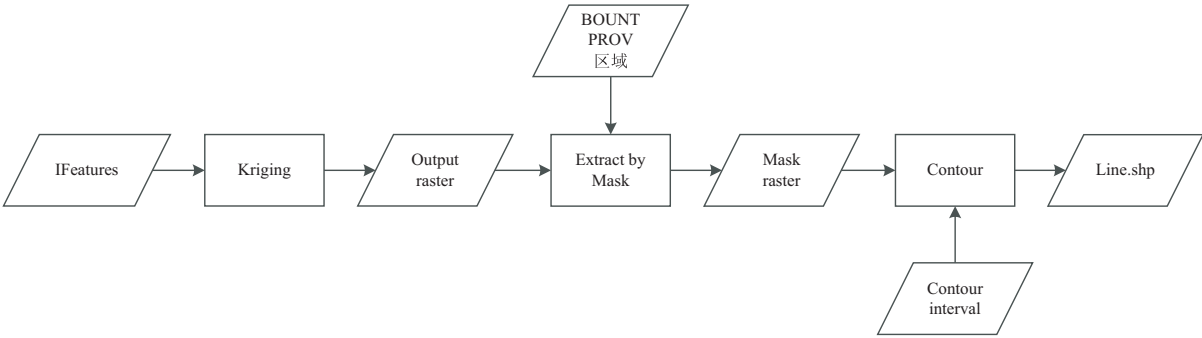


图 3 在线 GP 服务模型

(1) IFeatures 为输入的气象要素站点或格点数据,然后利用插值算法对数据进行插值处理。GP 服务根据若干要素点 (IFeatures) 的位置和其观测值 (如某站点的降水量,气温等),利用预先选取的插值方法对 IFeatures 进行插值。

(2) 插值完成之后,得到矩阵式的格点结果 Output raster,先依据四川省省级边界信息 (BOUNT PROV 区域)对生成的等值面图层进行裁剪 (Extract by Mask),得到剪裁后的格点结果 Mask raster。

(3) 需要依据插值结果 Mask raster 绘制等值线 (Contour),将具有相同属性值的点连接起来得到最终的等值线结果。

2.3 多种气象插值图像产品定时制作策略

因为系统中提供对多种类型、多种时间属性的气象插值图像产品制作,并且可以根据全省用户的需求自适应地添加新的气象资料产品类型制作流程。所以

采用基于节目表的多线程和多进程方式进行插值图像产品的制作。系统采用的定时策略如下:

(1) 因系统需要制作不同时间属性、不同类型的图像产品,所以设置定时生成节目表策略。每日在固定时间点 (一般设置为世界时 23 点),根据系统配置信息,自动生成下一日的产品制作节目表。节目表中包括要制作的产品资料类型、资料时间、预计开始制作时间、制作周期、预计完成数量、实际完成数量等信息。

产品的预计开始制作时间根据产品资料类型和资料时间生成,考虑到某些资料的特殊性,加入时间偏移方法计算产品的预计开始制作时间。如气象资料精细化预报产品,其数据的资料时间与发布时间存在一定偏差,故需在一定的偏差时间后,制作该资料的产品才有数据,所以开始制作时间应为资料时间加时间偏移量。

为了保证资料采集的完整性和实效性,采用循环

制作的方式,对气象资料进行重复多次制作。制作周期是产品制作任务循环重复执行的时间周期,预计完成数量是执行的次数,根据资料类型进行设置。比如5分钟降水量资料采用的周期为1分钟,预计完成数量是5次;1小时累计降水量资料采用的周期为5分钟,预计完成数量是6次。系统根据产品节目表中的预计开始制作时间、制作周期和预计完成数量,从某个时间节点开始,定时循环制作某一特定产品,直至制作完成预计数量的产品为止。

(2)系统每日根据产品节目表中的预计开始制作时间,定时制作各类图像产品。首先依据节目表中的产品资料类型和产品时间属性,按照配置好的获取资

料接口信息,通过气象数据统一服务接口自动获取所需的站点或格点数据。

(3)获取资料数据后,根据制作产品的配置信息,进行插值图像制作。配置信息中包括该资料类型使用的插值算法、该资料类型使用的色标信息、剪裁的地理信息范围(如四川省范围)。

在功能的实现上,系统基于 Quartz 调度器,读取节目表中存储的全省资料制作信息。每个节目生成一个定时运行的产品制作任务,每个任务按照周期循环执行,获取相应资料的数据,制作成插值图像产品,最终将产品入库存储。详细的执行流程如图4所示。

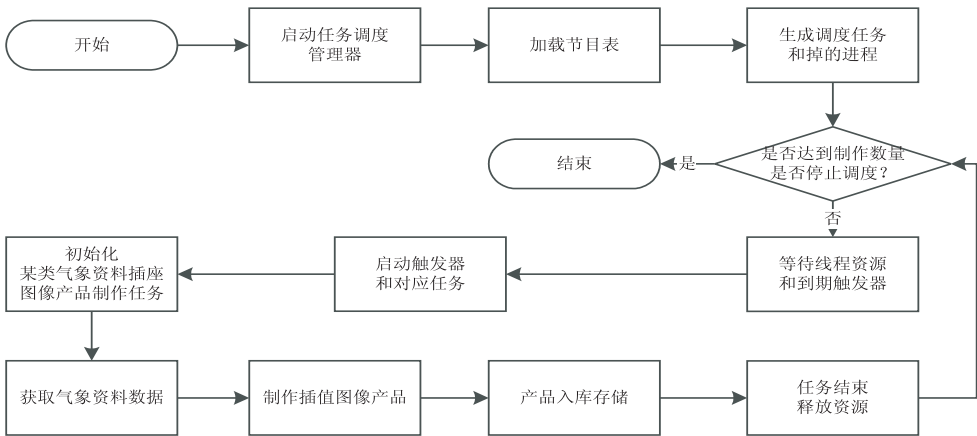


图4 产品制作流程

3 系统运行效果

(1)系统生成的图像产品。
图5即为文中实现的四川省气温实况色斑图。在图像产品顶部是产品名称和产品资料时间;中间是色斑图显示,以网格形式标注了经纬度;右下角为色斑图的图例显示,标注了观测要素的量级划分和在色斑图中的显示颜色;左下角标注了图像产品的制作单位。

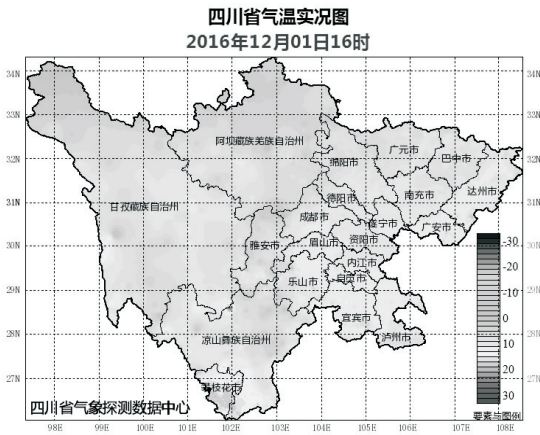


图5 四川省气温实况色斑图

(2)图像产品在四川省气象业务内网中的应用。

针对本省气象预报与服务业务的需求,在四川省气象局研发的“四川省气象业务内网”中,通过系统提供的图像产品统一服务接口,获取该系统制作的地面、高空、数值模式等资料的图像产品,进行共享展示。

如图6所示,在“四川省气象业务内网”的实观测模块,展示包括地面常规资料中的小时降水量、降水量统计、气温、本站气压、相对湿度、能见度等观测要素的图像产品。

4 结束语

针对目前省级气象集约化建立数据产品加工处理流程的需求,在分析现有气象要素插值图像产品业务流程的基础上,提出一种基于省级统一数据环境制作气象要素插值产品的新流程。对系统的业务流程设计、结构设计、基于在线 GP 服务的插值图像产品制作技术和产品存储管理、共享服务技术进行了详细阐述。系统采用了较为先进的技术和成熟的框架,基于省级统一气象数据环境,集成基础地理信息数据服务,选取协同克里金插值算法,生成要素级图像产品,对产品进行统一的存储管理,并通过服务接口面向全省气象部门提供统一的共享服务。生成产品在“四川省气象业务内外”中投入业务使用,投入使用后得到专业用户

的肯定,有效提高了气象预报预测和服务业务的工作质量和效率。满足综合观测、预报预测、气象服务等多方面的应用需求,对一线气象预报服务等业务人员提

供了很大帮助,减少了业务中的人力成本投入,提高了工作效率。对推进气象业务的规范化、标准化,推进气象业务综合改革和气象现代化建设具有重要意义。



图 6 四川省气象业务内网

系统基于省级统一数据环境实现了产品的收集、处理、存储、管理和服务,是一套参考了世界气象组织(WMO)建议的标准和国内气象行业标准的数据流程。遵照这一严密的、规范的流程,实现数据加工预处理流程的再造,可以轻松地加工处理省级特有的气象产品。各省对省级特有产品的管理与共享业务需求基本相同,因此,该平台在全国各气象部门都具有良好的可推广性和复用性。

参考文献:

[1] 高艳芳,陈军威,张玉领,等.对地球化学图编制过程的深层探究[J].物探化探计算技术,2015,37(4):538-546.

[2] 张智邦,李桂清,韦国栋,等.形状插值算法综述[J].计算机辅助设计与图形学学报,2015,27(8):1376-1387.

[3] 刘旭林,赵文芳.气象观测数据等值线自动绘制系统[J].气象,2009,35(4):102-107.

[4] 王丽,王培法,刘爱利,等.基于DEM的江苏气温空间插值研究[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2015,7(1):79-85.

[5] PARDO-IGÚZQUIZA E. Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography[J]. International Journal of Climatology, 2015, 18(9): 1031-1047.

[6] 向晶,孙金彦,张国玉,等.基于协同克里金法的取用水量审核模型[J].计算机与数字工程,2014,42(8):1321-1324.

[7] 王丽,王培法,杨珊珊,等.DEM数据对气温插值精度的

影响分析[J].西北大学学报:自然科学版,2015,45(3):485-488.

[8] WANG Ku, ZHANG Chuanrong, LI Weidong. Predictive mapping of soil total nitrogen at a regional scale: a comparison between geographically weighted regression and cokriging[J]. Applied Geography, 2013, 42(8): 73-85.

[9] BORGES P D A, FRANKE J, WEISS H, et al. Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil[J]. Theoretical & Applied Climatology, 2016, 123(1-2): 335-348.

[10] 向筱铭,徐晓莉,宋智,等.基于CTS的台站上行气象数据传输监控平台的设计与实现[J].气象科技,2017,45(4):647-652.

[11] CASTRONOVA A M, GOODALL J L, ELAG M M. Models as web services using the Open Geospatial Consortium (OGC) Web Processing Service (WPS) standard[J]. Environmental Modelling & Software, 2013, 41(3): 72-83.

[12] PETERSON E, HOEF J V. STARS: an ArcGIS toolset used to calculate the spatial information needed to fit spatial statistical models to stream network data[J]. Journal of Statistical Software, 2014, 56(2): 1-17.

[13] 檀丁,李明峰,张蔚,等.GP服务在基于SOA的Web-GIS空间分析中的应用研究[J].测绘通报,2011(7):70-73.

[14] 周曦,范娟娟.GP服务在环境地理信息公共服务平台空间分析中的应用[J].测绘与空间地理信息,2013,36(4):72-74.