

焦圣明,郑媛媛,王宏斌,等,2017. 灾害性天气个例库智能分析系统的设计与实现[J]. 气象,43(3):354-364.

灾害性天气个例库智能分析系统 的设计与实现^{*1}

焦圣明^{1,2} 郑媛媛¹ 王宏斌¹ 徐 芬¹ 鲍婷婷² 王啸华³

1 中国气象局交通气象重点实验室,江苏省气象科学研究所,南京 210009

2 江苏省气象信息中心,南京 210008

3 江苏省气象台,南京 210008

提 要: 灾害性天气个例库智能分析系统是由基础数据支持子系统(数据层)、气象数据应用中间件子系统(服务层)和个例库综合分析业务子系统(应用层)3部分组成,综合运用 HTML5 Canvas 技术、数据库技术、GIS 技术、高效可视化渲染技术等实现了气象灾害性天气个例的交互式录入、关键词查询与检索以及相关气象资料智能再分析等功能。文章针对系统的组成架构、个例库设计、功能特点等关键技术进行了重点探讨,并详细介绍个例库录入与查询、WebGIS 组件、可视化渲染以及气象资料再分析等功能的设计和实现。系统投入业务运行结果表明,页面响应速度快、兼容浏览器性能佳、人机交互体验好,能够满足高效、智能、灵活的业务需求,在为预报员建立正确的预报思路、提升天气过程分析能力等方面发挥了重要作用。

关键词: 气象灾害,个例库,地理信息系统,天气过程,智能分析,预报思路

中图分类号: TP,P49

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.03.012

Design and Implementation of an Intelligent Analysis System for Disaster Weather Cases

JIAO Shengming^{1,2} ZHENG Yuanyuan¹ WANG Hongbin¹ XU Fen¹

BAO Tingting² WANG Xiaohua³

1 Key Laboratory of Transportation Meteorology, CMA, Jiangsu Institute of
Meteorological Sciences, Nanjing 210009

2 Jiangsu Meteorological Information Centre, Nanjing 210008

3 Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008

Abstract: Intelligent analysis system of a case base for disastrous weather includes three parts: basic data support subsystem (data layer), meteorological data application middleware subsystem (service layer) and integrated analysis service of case base subsystem (application layer). It can achieve the interactive input of meteorological disaster weather, query and retrieval of keywords, intelligent analysis of related meteorological data and other functions by comprehensively using various technologies in HTML5 Canvas, database, GIS, efficient visual rendering, etc. This paper mainly discusses the key technologies in the system architecture, design of case library and functional features, and instructs in detail the design and implementation of the functions such as data entry and query, WebGIS components, visual rendering, and reanalysis of meteorological data. The result operation application shows that the Web page responds

* 国家科技支撑计划(2014BAG01B01 和 2014BAG01B02)、国家自然科学基金项目(41575036)、江苏省科技厅社会发展项目(BE2015732)和北极阁基金(BJG201301)共同资助

2016 年 4 月 28 日收稿; 2016 年 9 月 19 日收修定稿

第一作者:焦圣明,主要从事应用气象和气象信息技术研究. Email:jandyjsm@126.com

通信作者:郑媛媛,主要从事雷达气象和天气预报研究. Email:zhengyy63@sina.com

quickly and has a good performance in compatible with browser and good human-computer interaction experience. It can meet the needs of high efficiency, intelligence and flexibility, playing an important role in the establishment of the correct forecast ideas and the ability to improve in the analysis of the weather process.

Key words: meteorological disaster, case base, Geographic Information System (GIS), weather process, intelligent analysis, forecasting ideas

引言

长江中下游地区灾害性天气频发,尤其冰雹、龙卷、雷暴大风、短时强降水等强对流天气可造成巨大破坏和灾情损失(范雯杰和俞小鼎,2015;郑永光等,2016;张小玲等,2016),因此不断提高影响天气的监测预警预报能力是每一位气象工作者的重要职责。随着气象探测技术和数值预报水平的飞跃发展,监测预警预报手段日益丰富,涉及的气象资料种类和数量也随之暴增。面对海量的气象数据,帮助预报员提高使用海量数据效率,加强应用海量数据监测预警预报各种灾害性天气的能力成为当务之急。因此急需建立针对江苏灾害性天气个例、资料较全面、查询显示较方便并且又具备天气系统分析能力的灾害性天气个例库智能分析系统。该系统的建成将能帮助预报员从大尺度环流背景、中尺度系统特征、卫星和多普勒雷达及特种观测资料上快速分析提炼灾害性天气过程的发生、发展和消亡特征,提高预报员监测预报灾害性天气的技术水平,成为业务人员灾害性天气学习的参考平台,也能够为科研人员提供基础数据的共享平台。方便快捷、功能强大的网络综合应用业务平台和交互综合应用业务平台是提高强对流天气业务预报水平的重要方面(郑永光等,2015)。

在气象数据库的设计方面,已有一些针对综合气象数据、专业气象服务和特定灾害性天气建立的气象数据库。何彬方等(2009)针对省级农业气象数据组成特征,分类设计了农业气象数据库。叶金桃等(2013)提出基于元数据的暴雨数据库系统设计与实现方法,建立以暴雨过程为核心的暴雨基础数据库系统。谭晓光(2006)针对天气预报决策特点提出以天气系统分析为主的数据聚集处理,并增加比较分析、多元分析和相似分析等功能。

在数据的可视化显示方面,目前很多气象业务软件是基于地理信息系统(GIS)建立的(刘品高等,

2005;吴焕萍等,2008;刘旭林等,2008;唐卫和吕终亮,2009;万文慧等,2009;吴焕萍,2010;郑卫江等,2010;王英等,2010)。高梅等(2011)基于 WebGIS 技术建立中尺度灾害天气分析与预报系统(MWAFS)。吕终亮等(2012)基于 GIS、数据库、可视化、多媒体和 Web 等综合技术建立气象服务信息系统(MESIS),实现决策气象服务产品的共享体系、服务产品的显示。钱建梅等(2012)在对 Internet 的全集数据共享技术、运用 WebGIS 的全球卫星影像发布技术、可视化处理与显示技术及多源数据融合处理技术等进行研究和应用的基础上,建立了风云气象卫星数据存档服务系统。胡争光等(2014)基于气象 GIS 网络平台搭建了国家级和省级气象应用业务系统。薛丰昌(2012)应用 GIS 结合 MCE 技术对农业气象灾害风险评价进行了研究,实现气象灾害风险的定量化评价。李兰等(2013)运用基于 GIS 的暴雨洪涝淹没模型计算不同水位下重现期降水的淹没范围和水深。彭涛等(2014a;2014b)运用 GIS 技术,利用定量降水预报、水文气象监测数据、洪水预报技术等,建立了汉江丹江口流域水文气象预报系统。赵文芳等(2015)提出在 MapServer 开源的 pMapper 框架下构建了基于 Ajax 的 WebGIS 气象综合显示系统。

上述业务系统和研究在不同程度上存在着一定的局限性:(1)系统大多基于传统技术的商业或开源 GIS 组件实现,可扩展性差,建设成本高。(2)缺少针对气象标准数据显示功能的封装,软件开发接口复杂,开发难度大。(3)均未使用最新 HTML5 Canvas 技术,在海量气象数据渲染时性能不佳,用户体验差。(4)等值线、面显示时多数是使用图片方式显示,不能进行矢量方式的放大与缩小操作。(5)无法应用多维的分析方法自动关联检索结果实现产品的多样化输出,产品表现形式较为单一。

因此,为了解决以上问题,本文基于 HTML5 Canvas 技术自主研发的 WebGIS 组件构建了灾害性天气个例库智能分析系统,针对系统的组成架构、

个例库设计和功能特点等关键技术进行了探讨,并详细介绍个例库录入与查询、WebGIS 组件、可视化渲染以及气象资料再分析等功能的设计和实现。

1 系统总体设计

1.1 组成架构设计

灾害性天气个例库智能分析系统在总体设计上遵循气象业务的先进性、智能性、高效性、共享性和开放性原则;在软件系统架构上采用 Browser/Server(浏览器/服务器,B/S)和 Client/Server(客户

机/服务器,C/S)相结合的设计思路;在技术体系上,使用最新的 HTML5 Canvas 技术结合 JavaScript 语言自主研发了 WebGIS 的核心组件,基于 JDBC 和 Servlet 构建了个例库气象数据访问应用中间件。灾害性天气个例库智能分析系统由基础数据支持子系统(数据层)、气象数据应用中间件子系统(服务层)和个例库综合分析业务子系统(应用层)3 部分组成(如图 1 所示)。其中个例库综合分析业务子系统分为网络版和单机版,网络版基于 B/S 架构设计如图 2 所示;而单机版是基于 C/S 架构,便于用户在无网络环境的单机上独立展现灾害天气个例,具有和网络版一样强大的再分析功能。

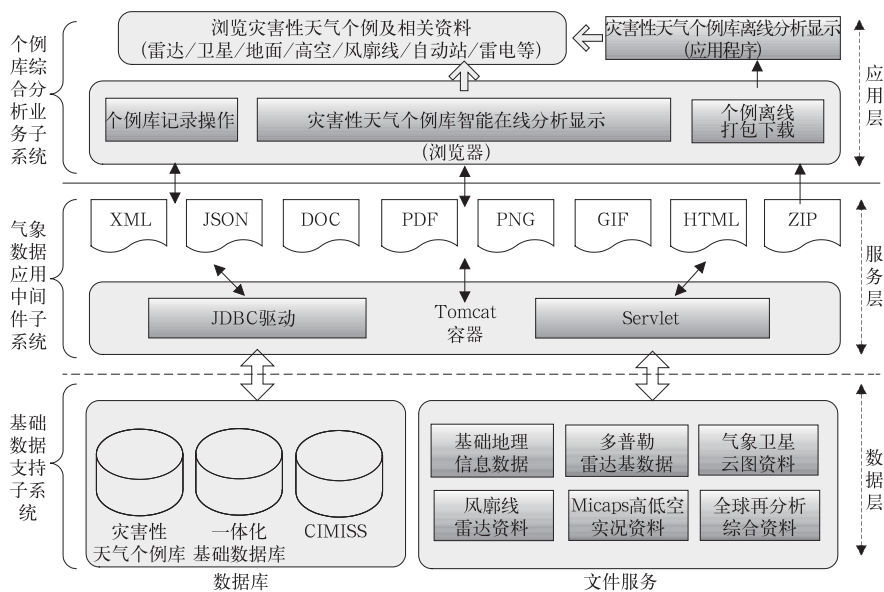


图 1 系统组成架构图

Fig. 1 System frame diagram



图 2 灾害性天气个例库智能分析系统主页

Fig. 2 Homepage of intelligent analysis system of a case base for disastrous weather

(1) 基础数据支持子系统(数据层)基础地理信息数据使用 KML 文件格式进行组织,便于分析平台的 WebGIS 访问使用且能加快图层的加载速度;灾害性天气个例档案以 MySQL 数据库记录形式存贮和管理;为保证系统数据的一致性、可靠性和及时性,按照集约化、标准化建设要求,系统涉及到的基础数据和产品文件直接从省级统一数据环境中获取,自动站和闪电数据来源于全国综合气象信息共享平台(CIMISS)、数据文件来源于省内一体化的数据环境。

(2) 气象数据应用中间件子系统(服务层)基于 Tomcat 的 Web 容器使用 Java 作为后台模块的开发语言,完成灾害性天气个例记录的插入、修改、删

除系列操作以及相关数据管理、分析、查询和分发等后台模块。这些模块都是以 Web 服务的形式进行高度封装,转化成前端可视化业务平台需要的各种文档格式,提高了气象数据的复用性和共享性。

(3) 个例库综合分析业务子系统(应用层)为用户提供可视化界面的客户端,为用户提供灾害性天气个例的编辑录入、查询统计、相关资料智能再分析和个例在线打包输出等服务。

1.2 主要功能设计

系统在设计时紧紧围绕用户的使用习惯来进行,尽量简化操作方便用户使用,主要模块如图3所示。

1.2.1 个例库录入编辑模块

主要包括灾害性天气个例的录入、编辑、删除、

查询统计分析 and 个例在线打包下载等功能。一个气象灾害天气个例录入需要完成个例基本信息、灾害情况、天气实况、天气过程分析等数据的输入和与此个例相关的各种气象资料的收集、整理、分析与上传工作,系统提供非详细的选项内容,录入操作简单易用,极大地减少了输入人员的工作量。系统将一些可能变化的条目(如分析过程中使用的天气系统名称、各种特征关键字等)以配置文件形式来存贮和管理,并提供在线修改功能,提高个例录入的灵活性和可扩展性。把气象上使用的词条按类划分做成词条选择面板,用户只需点击词条便可实现快捷输入,提高个例录入效率。已完成输入的个例记录系统提供在线浏览、编辑修改和删除功能。图4为灾害性天气个例在线编辑修改界面。同时,系统还提供了丰

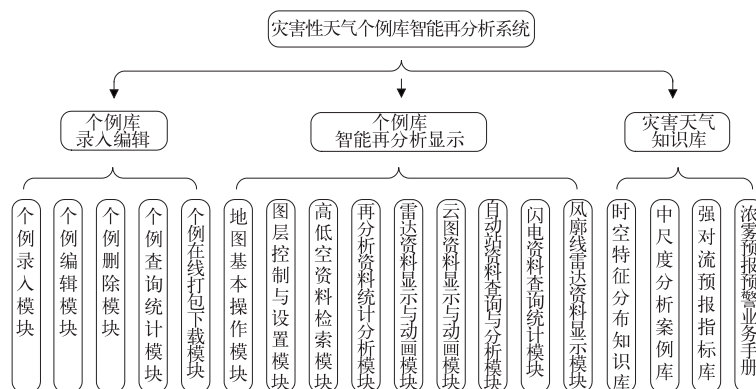


图3 灾害性天气个例库智能分析系统功能模块

Fig.3 Function module of intelligent analysis system of a case base in disastrous weather

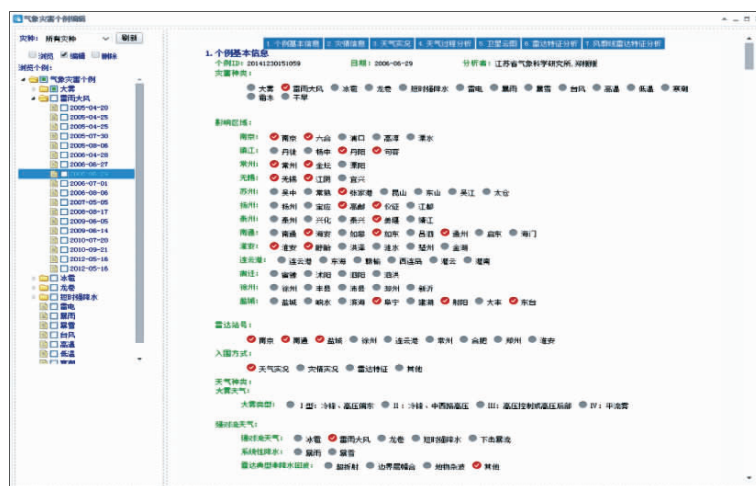


图4 灾害性天气个例在线编辑修改界面

Fig.4 Online editing interface of meteorological disastrous weather cases

富的检索、查询功能,用户可以按气象灾害种类分类、时间范围、入围方式、强对流天气、系统性降水、典型非降水回波类型、影响天气系统、卫星云图和雷达回波等特征关键词进行任意组合查询,并能将所有与此个例相关的气象数据资料自动关联起来,实现所有资料的快速智能回放和综合再分析功能。在线打包下载功能模块将个例记录在线转化后的 DOC 和 PDF 文档、与其相关的所有气象资料以及离线浏览分析应用程序集在服务器端按一定目录结构组织后进行打包压缩成 ZIP 文件供用户下载使用。

1.2.2 个例库智能再分析显示模块

该模块是本系统研发气象信息查询、检索、再分析以及可视化等功能的核心应用体现,不仅提供了基于地理信息系统的气象资料综合再分析的常规功能,而且还实现一些在时间序列上对各种物理量进行复杂计算的特殊功能。主要功能包括:地图操作与管理、数据接入、实时资料查询、历史资料统计和数据空间分析等。系统对各类数据进行基于地理信息系统的图层叠加和显示,实现数据图层多种强大而灵活的操作功能。能够提供基于时间范围、空间范围、站点、网格点、气象要素、物理量及其阈值范围等复杂组合的条件查询。查询或统计分析结果可以以表格、曲线、直方图、等值线或是色斑图等多种方式展示,并提供基于文本、Excel、图片、DOC 或是 PDF 等多种文件格式的保存方式。

1.2.3 灾害天气知识库模块

该模块主要由强对流天气时空分布特征、强对流预报指标、中尺度典型案例分析、浓雾预警预报业务手册和气象灾害简介五部分组成。如图5所示,



图5 强对流灾害天气空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of severe convective weather disaster

强对流天气时空分布特征选取了 2001—2010 年江苏境内所有被观测到的强对流天气案例共计 2055 例。通过对个例数据的统计分析,指出了江苏省强对流天气时空分布的主要规律,2001—2010 年发生强对流最多的射阳达 84 次,最少沛县仅 9 次,全省 68 个县平均 32 次。江苏长江以北的中东部地区是强对流发生高发区,同时还表现出沿海多于内陆,江淮多于淮北两大特点。

同时还对冰雹给出了 K、SI、TT、850 hPa、dt (850~500)等物理量指数逐月平均值的预报参考指标,从强对流天气发生的必要条件和天气尺度背景等方面对其机制进行分析探讨,并对 2009 年 6 月江苏三次大范围飑线和 2009 年 7 月 7 日南京短时暴雨典型案例进行了详尽的中尺度特征剖析。浓雾预警预报业务手册从雾的分类和定义、江苏浓雾时空分布特征、江苏能见度观测方法及站网建设、江苏浓雾出现的天气形势分型、利用监测资料建立浓雾预测模型、基于数值释用技术的浓雾预报模型研发、江苏浓雾预警预报实用业务系统及使用操作和江苏浓雾过程典型案例等方面搭建了一个内容较为详尽丰富的浓雾业务知识库。

1.3 气象数据特征和个例库设计

1.3.1 气象数据特征

灾害性天气个例库涉及的相关气象数据呈现多源化特点,存在形式也多种多样,但其最终转化后的内容基本是以矢量数据或是栅格数据这两种结构在系统中展现出。表 1 给出了灾害性天气个例涉及的相关气象数据的类型与特征。按照省局统筹规划、统一标准、集约建设要求,本系统所需的多源观测数据和各类数据产品从省级统一的基础数据环境获取,基础数据的完整性和及时性能得到保证,满足本系统查询显示和资料再分析要求,无需重复解析和入库,同时也减少了对原始数据的管理和管理工作。

1.3.2 个例库结构设计

数据库系统是灾害性天气个例库智能分析系统的重要组成部分,其性能的优劣直接影响到整个系统的查询效率和人机交互体验,良好的库结构设计和优化策略是数据库性能提升的关键和保障。本系统从经济适用性和产品性能方面考虑选用开源数据库软件 MySQL 作为系统的基础数据库。灾害性天气个例库数据类型多样、结构较为复杂,除了常规的

数值型数据以外,大量数据以文本、图像和 PDF 等文件形式存在。针对个例信息特点在 QXDisaster 库下建立 10 张数据表,并对其表结构和存贮过程进

行了设计。其中灾害性天气个例信息表是系统中最重要的一张信息表,详细表结构设计见表 2,天气实况表和雷达特征分析表都是依附个例信息表存在

表 1 灾害性天气个例库涉及的相关气象数据类型与特征

Table 1 Types and characteristics of meteorological data related to disastrous weather cases

资料来源名称	数据类型名称	主要用途	更新频率	存储方式	数据格式
自动站数据	MICAPS 第一类	用于自动站填图	5 min 1 次	数据库	矢量
地面资料	MICAPS 第一类	用于地面填图	3 h 1 次	文本	矢量
高空资料	MICAPS 第二类	用于高空填图	3 h 1 次	文本	矢量
各类单要素格点资料	MICAPS 第四类	用于格点填图、等值线(面)分析	3 h 1 次	文本	栅格
雷达体扫数据	雷达基数据	回波基本反射率叠加显示	6 min 1 次	二进制	
雷达产品数据	GIF 图片	雷达各类产品的显示与动画	6 min 1 次	图像	
卫星云图	GIF 图片	云图产品的显示与动画	1h 1 次	图像	
闪电数据	MICAPS 第一类	闪电定位、查询、统计分析	不确定	数据库	矢量
全球再分析资料	MICAPS 第四类	用于格点填图、等值线(面)分析	6h 1 次	文本	矢量

表 2 灾害性天气个例信息表结构设计

Table 2 Information table structure design of meteorological disastrous weather cases

字段说明	字段名	数据类型	长度	精度	允许空	主键
个例编号	id	VARCHAR	20	0	否	是
日期	date	DATE			否	
个例分析人	analyzer	INTEGER	11	0	否	
灾害种类	disasterType	VARCHAR	40	0	否	
影响区域	affectRegion	VARCHAR	500	0	否	
雷达站号	radarNum	VARCHAR	50	0	是	
入围方式	finalistWays	VARCHAR	10	0	是	
大雾类型	fogType	VARCHAR	20	0	是	
强对流天气	strongConvectionWeather	VARCHAR	20	0	是	
系统性降水	systemicPrecipitation	VARCHAR	10	0	是	
雷达典型非降水回波	noPrecipitationEcho	VARCHAR	20	0	是	
灾情开始时间	beginTime	DATETIME			否	
灾情结束时间	endTime	DATETIME			否	
灾情等级	disasterLevel	INTEGER	11	0	否	
灾情描述	disasterDescription	VARCHAR	2000	0	是	
灾情图片文件名	disasterImageName	VARCHAR	100	0	是	
天气实况图片文件名	weatherImageName	VARCHAR	100	0	是	
200 hPa 天气系统	weatherSystem200	VARCHAR	50	0	是	
500 hPa 天气系统	weatherSystem500	VARCHAR	50	0	是	
700 hPa 天气系统	weatherSystem700	VARCHAR	50	0	是	
850 hPa 天气系统	weatherSystem850	VARCHAR	50	0	是	
925 hPa 天气系统	weatherSystem925	VARCHAR	50	0	是	
地面天气系统	surfaceWeatherSystem	VARCHAR	50	0	是	
其他天气系统	otherWeatherSystem	VARCHAR	50	0	是	
影响中尺度系统	mesoScaleSystem	VARCHAR	50	0	是	
天气过程分析	weatherProcessDesc	VARCHAR	100	0	是	
资料分析图片文件名	analysisImageName	VARCHAR	100	0	是	
卫星云图特征关键字	cloudFeatureWords	VARCHAR	50	0	是	
特征描述	cloudFeatureDesc	VARCHAR	1000	0	是	
云图图片文件名	cloudImageName	VARCHAR	100	0	是	
风廓线雷达特征关键字	WPRFeatureWords	VARCHAR	50	0	是	
特征描述	WPRFeatureDesc	VARCHAR	1000	0	是	
风廓线雷达图片文件名	WPRImageName	VARCHAR	100	0	是	

的,它们之间是通过个例编号字段进行关联。为了保证灾害性天气数据信息的共享,个例库设计必须保证数据的标准化、规范化。个例库基本信息内容的确定是参照了中国气象局预报减灾司下发的《气象灾情收集上报调查和评估规定》,根据灾害性天气种类、影响系统(包括大尺度影响系统和中尺度特征)以及在雷达和卫星资料特征进行录入。灾害种类严格依据规定划分为 28 类;“灾害开始日期”、“灾害结束日期”指本次灾害性天气过程发生的起止时间,两个时间可以相同;气象灾害评估分级处置标准,按照人员伤亡、经济损失的大小,分为 4 个等级:特大型、大型、中型、小型。灾害名称、灾害开始日期、灾害结束日期、灾情等级等信息内容参照规范要求填写。

2 系统实现及关键技术

2.1 轻量级 WebGIS 组件研发

目前主流的 WebGIS 大部分是使用 Flex 或是 JavaScript 的 GIS 商业组件库和瓦片地图服务来实现(刘俊等,2010)。这种方式对绘制模型有一定数量限制,绘制内容太多系统内存开销剧增,性能大大下降,交互体验效果会变得很差。通过瓦片切图提供地图服务在加载速度上虽有一定优势,但图片内容杂乱、图层控制灵活性差。瓦片地图多数是使用墨卡托投影进行切图,不能满足气象业务多种地图投影的需求。

HTML5 技术的兴起,Canvas 的出现为我们解决以上问题提供了可能。本文研发的基于 Canvas 的 WebGIS 组件是一个轻量级小型地理信息渲染系统,是系统能否实现好的一个关键核心技术。原理如图 6 所示,主要目的是为了能够较好地解决目前基于 WebGIS 的气象业务系统中普遍存在的两个问题,一是加载海量气象数据时显示速度慢,二是单一的地图投影。

系统基于 Canvas 研发的 WebGIS 组件是像素级层次的 2D 图形处理,最适合图像密集型的绘图,具备高效的图形绘制渲染性能。利用 JavaScript 语言开发了 WebGIS 核心组件,该组件为开发人员提供了一系列属性和方法,能够完成地图放大、缩小、漫游、各种矢量图层加载、图层的显隐、简单的空间计算和地图投影变换等功能。系统使用类 KML 文

件或网络流对各种数据进行存贮与传输,通过 AJAX 技术进行客户端与服务端的异步数据交互,改善了体验性能。根据地图投影转换原理从底层上实现了气象业务上常用的兰伯特投影、墨卡托投影、等经纬度投影、南半球极射赤面投影和北半球极射赤面投影五种地图投影,而且兰伯特投影以 110°E 为对称轴把 $-70^{\circ}\sim-180^{\circ}$ 进行了地图位置调整,达到和 MICAPS 业务软件一样的投影效果,十分符合预报人员的业务使用习惯,目前基于 WebGIS 实现的气象业务系统还没有出现过类似这样的功能。图 7 为轻量级 WebGIS 核心组件实现的投影功能示例图。

2.2 数据访问中间件

数据访问中间件通过它可以十分便捷地实现用户和各类气象资料间的数据交换,输入源是用户的数据请求链接,输出结果大多数是基于点、线、面等矢量的类 KML 格式文件或网络数据流。在 Tomcat 容器里系统提供了多个 Servlet 小应用,使用超链接地址就能获取到用户需要的资料,读取相对应的数据文件进行加工,处理成系统能识别的 XML 文档,通过 Ajax 异步返回给用户端由 WebGIS 进行图层加载显示。系统的数据访问中间件解决不同格式资料来源的加工与处理,保证输出结果格式相对固定,具有一定的标准性。

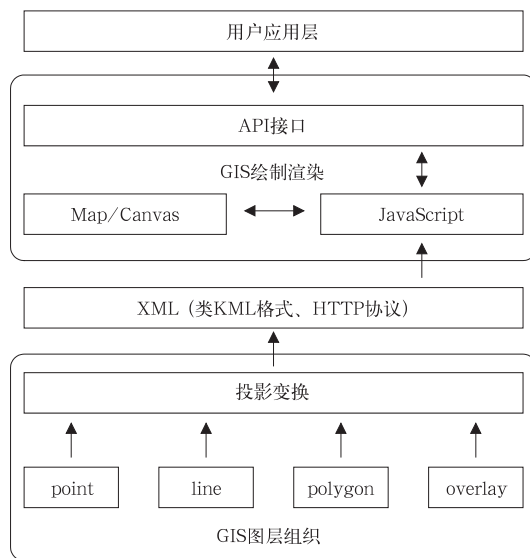


图 6 基于 HTML5 Canvas 的 WebGIS 原理

Fig. 6 WebGIS principle based on
HTML5 Canvas

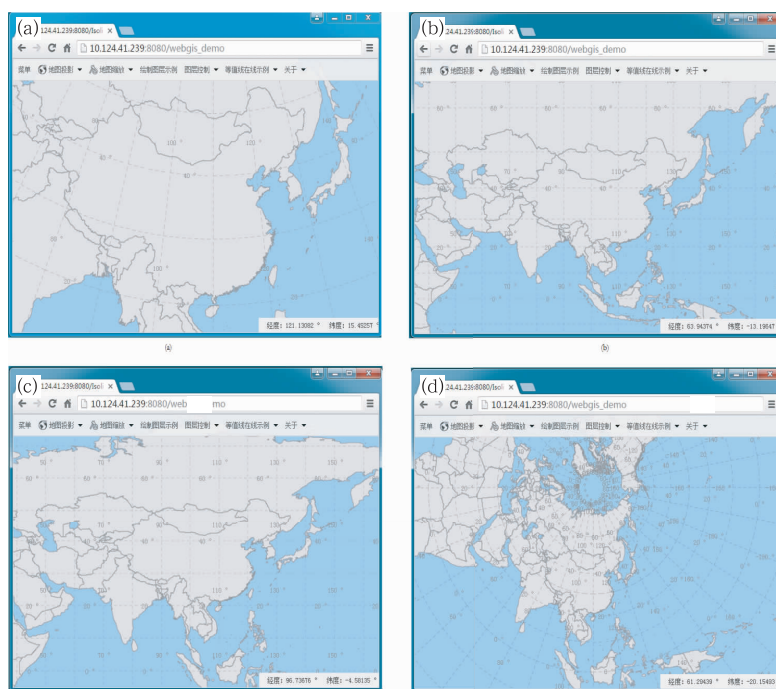


图 7 WebGIS 核心组件实现的投影功能示例图

(a) 兰伯特投影, (b) 墨卡托投影, (c) 等经纬度投影,
(d) 北半球极射赤道面投影

Fig. 7 Sample graphs to achieve the projection function from WebGIS core components

(a) Lambert projection, (b) Mercator projection, (c) Geographic lat/lon projection,
(d) Northern Hemisphere stereographic projection

2.3 可视化渲染

无论是 WebGIS 系统还是个例库回放以及与其相关的气象资料的智能再现,从根本上来讲它们其实都是可视化范畴的内容,可视化渲染技术选型与实现对系统整体性能优劣起到决定性作用,对图形绘制效率、访问速度以及人机交互体验等方面尤为重要(高宇等,2008)。

为了提高复杂图形绘制效率,改进系统可视化效果,本系统从以下几个方面进行了优化。

(1) 图形绘图方法

系统图形的绘制功能大部分是通过点、线、面这三种矢量图形绘制完成,还有些少量功能是通过文字输出完成。在图形绘制前都会把要绘制的内容和当前的可视区域作交集运算处理,得到可视区域内需要绘制的图形元素,从而减少图形绘制操作次数;在绘制线与面时,还进行了屏幕坐标相同点的去除操作,减少一些无效重复点的绘制;避免不必要的 Canvas 绘制状态频繁切换,尽量把相同的绘制操作

放在一起一次绘制完成。

(2) 等值面生成并行算法

针对传统串行等值面提取算法在处理离散点数量多、网格点密度大的数据时生成效率差的问题,对串行提取算法中的关键步骤进行了并行计算可行性分析,综合考虑整个计算任务在所有计算资源上的分配(吴石磊等,2012),提出一种新的基于 Fork/Join 框架下的等值面快速生成并行算法。通过将并行计算(陈国良等,2008)作用于等值面生成过程中的四个步骤:离散点数据网格化处理、等值点计算、等值线追踪与光滑和等值面标记识别,从而减少算法执行时间,加快等值面的生成速度。

(3) 系统缓存机制

系统缓存机制的应用主要体现在数据加载和 Canvas 绘制这两个方面。数据加载方面主要包括中间数据缓存的生成和 Ajax 缓存策略的使用,中间数据缓存的生成是指气象产品被用户在首次访问时系统根据被访问产品的类型、时次等按命名规则在服务器端生成具有一定生命周期的临时文件作为其

他用户再次访问的缓存。针对一些静态不经常变化的文件在访问时允许 Ajax 直接调用浏览器缓存,加快数据加载。Canvas 绘制方面主要是先将内容绘制到一个离屏 Canvas 中,把需要重复绘制的画面数据进行缓存起来,再通过 drawImage 把离屏 Canvas 画到主 Canvas 中,减少调用 Canvas API 的性能消耗。

(4) JavaScript UI 框架

系统用户端研发主要是使用 HTML、DIV + CSS、JavaScript 等技术来实现完成,使用 jQuery EasyUI 作为前端开发框架,一来能简化开发难度提高开发效率,二来能获得和 C/S 应用程序一样强大的交互体验,起到了事半功倍的效果。

2.4 个例离线浏览

个例离线浏览是对个例在线浏览的有效补充,其目的是让用户在无网络环境下可以单机独立浏览某个个例信息及其相关气象资料。个例离线浏览程序除了没有个例录入功能外,其他功能基本和在线的相似,具备个例信息浏览和相关气象资料智能再分析功能。其主程序是使用 Delphi 工具开发完成,离线系统实现的基本原理及功能和在线的相似,只不过是使用 Object Pascal 语言改写而成。

3 业务应用

2014 年 5 月上旬,灾害性天气个例库智能分析系统开始投入业务试运行,在此期间为南京青奥气象服务和全省预报员业务培训等工作提供了预报技术参考,取得了一些初步的应用效果。系统通过系统管理员、个例分析员、普通用户三种角色用户的权限设置实现对个例库信息数据的安全管理。系统管理员具有所有的管理和操作权限,而个例分析员只能对自己增加的记录进行编辑和删除操作,对其他个例和一般用户一样只具备浏览权限。个例分析员可以对发生在江苏的大雾、雷雨大风、冰雹、龙卷和短时强降水等多种气象灾害进行资料收集整理、天气过程分析与个例信息录入等工作。普通用户通过个例查询工具栏(图 8a)就可以检索到任意灾害性天气个例(图 8b),点击相关资料的各个导航按钮(图 8c)就可以实现与该个例相关的天气过程智能回放和各种气象资料历史重现(地图资料如图 9 所示)。图 10 中的红色框标注的地方为全球再分析资料处理工具,通过它不仅可以完成各个物理量的格点输出和等值线分析功能,而且还可以实现同一物理量不同时次或不同高度上格点值的数学计算功能。



图 8 个例查询导航工具栏

(a) 个例检索, (b) 查询结果, (c) 相关资料

Fig. 8 Navigator toolbar of case query

(a) case retrieval, (b) query results, (c) related data

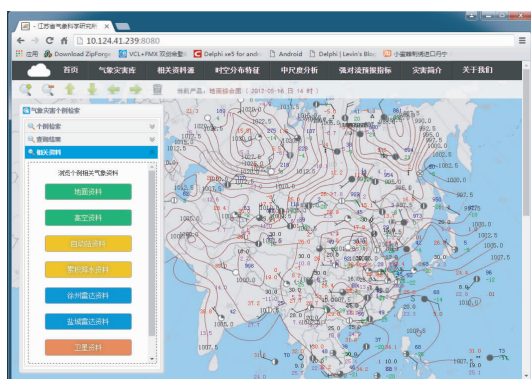


图9 2012年5月16日雷雨

大风个例地面综合图

Fig. 9 Ground integrated image of thunderstorm case in 16 May 2012

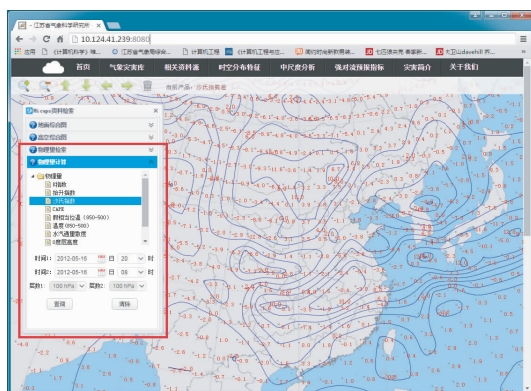
图10 2012年5月16日雷雨大风个例再分析
资料物理量(沙氏指数)等值线分析和
20时与08时间的 Δ 计算

Fig. 10 Isoline analysis of the physical quantity (Showalter Index) of the reanalysis data and delta calculation between 20:00 BT and 08:00 BT of thunderstorm case in 16 May 2012

4 结 论

本文对灾害性天气个例库智能分析系统的总体设计、功能特点、关键技术以及灾害个例的应用实例等内容进行了详细的阐述,系统综合运用 HTML5 Canvas 技术、数据库技术、GIS 技术和高效可视化渲染技术等不仅实现了气象灾害个例的交互式录入、关键词查询与检索以及相关气象资料智能再分析等功能,资料显示形式多样,具有多种天气个例查找方式,操作简单实用,容易查找到满足天气业务人

员所需的个例,易于推广使用,而且研制的轻量级 WebGIS 组件还能开发人员提供简洁、方便的二次开发接口,系统具有较好的开放性和扩展性。

目前该系统自投入业务化使用后,运行十分稳定,页面的平均响应时间均在 2 s 之内、响应速度快,兼容浏览器能力强,用户在实际业务应用中获得了良好的人机交互体验,能够满足高效、智能、灵活的业务需求,在为预报员提升灾害性天气过程分析能力与建立正确的预报思路等方面发挥了重要作用。该系统还有待进一步完善。如:目前在查找历史相似个例方面也存在不足,仅能通过人工已整理的个例查找,预报员再进行分析选取最相似个例。下一步工作将考虑基于数据挖掘技术,可以通过天气形势图等自动查找个例信息,并按照相似程度主动推送个例信息。

参考文献

- 陈国良,孙广中,徐云,等,2008. 并行算法研究方法论[J]. 计算机学报,31(9):1493-1502.
- 范雯杰,俞小鼎,2015. 中国龙卷的时空分布特征[J]. 气象,41(7):793-805.
- 高梅,倪允琪,张文华,等,2011. 中尺度灾害天气分析与预报系统综合显示平台[J]. 应用气象学报,22(5):621-630.
- 高宇,吴玲达,魏迎梅,2008. 海量模型实时交互可视化技术综述[J]. 中国图象图形学报,13(9):1633-1640.
- 何彬方,杨太明,王海军,等,2009. 省级农业气象数据库及管理系统的设计和实现[J]. 中国农学通报,25(24):520-524.
- 胡争光,郑卫江,高嵩,等,2014. 气象 GIS 网络平台关键技术研究与应用[J]. 应用气象学报,25(3):365-374.
- 李兰,周月华,叶丽梅,等,2013. 基于 GIS 淹没模型的流域暴雨洪涝风险区划方法[J]. 气象,39(1):112-117.
- 刘俊,谭建军,邵长高,2010. 基于 Flex 的 WebGIS 框架设计与实现[J]. 计算机工程,36(10):242-244.
- 刘品高,江南,谭萍,等,2005. 气象地理信息系统的设计与实现[J]. 应用气象学报,16(4):547-553.
- 刘旭林,赵文芳,刘国宏,2008. 基于 WebGIS 的气象信息显示和查询系统[J]. 应用气象学报,19(1):116-120.
- 吕晓亮,罗兵,吴焕萍,等,2012. MESIS 信息检索及可视化产品制作平台实现[J]. 应用气象学报,23(5):631-637.
- 彭涛,位承志,叶金桃,等,2014a. 汉江丹江口流域水文气象预报系统[J]. 应用气象学报,25(1):112-119.
- 彭涛,殷志远,李兰,2014b. 水文模型在计算中小流域致汛临界雨量中的应用[J]. 气象,40(11):1354-1362.
- 钱建梅,孙安来,徐喆,等,2012. 风云气象卫星数据存档与服务系统[J]. 应用气象学报,23(3):369-376.
- 谭晓光,2006. 数据库技术在天气预报决策中的应用探讨[J]. 应用

- 气象学报, 17(3): 325-332.
- 唐卫, 吕终亮, 2009. 基于 GIS 的气象服务产品后台制作系统[J]. 计算机工程, 35(17): 232-234.
- 万文慧, 胡友彬, 陈柏华, 等, 2009. 基于 GIS 的地理气象信息查询系统的设计[J]. 计算机与现代化, 2009(6): 21-22.
- 王英, 常骏, 李永利, 等, 2010. 内蒙古气象综合信息系统功能设计与实现方式[J]. 气象, 36(4): 80-84.
- 吴焕萍, 2010. GIS 技术在气象领域中的应用[J]. 气象, 2010, 36(3): 90-100.
- 吴焕萍, 罗兵, 王维国, 等, 2008. GIS 技术在决策气象服务系统建设中的应用[J]. 应用气象学报, 19(3): 380-384.
- 吴石磊, 安虹, 李小强, 等, 2012. 组网雷达估测降水系统并行化方案的设计与实现[J]. 气象, 39(3): 271-275.
- 薛丰昌, 2012. GIS-MCE 技术在农业气象灾害风险评价中的应用[J]. 气象, 38(9): 1140-1144.
- 叶金桃, 王志斌, 彭涛, 等, 2013. 基于元数据的暴雨基础数据库系统设计与简介[J]. 暴雨灾害, 32(1): 83-87.
- 张小玲, 杨波, 朱文剑, 等, 2016. 2016 年 6 月 23 日江苏阜宁 EF4 级龙卷风天气分析[J]. 气象, 42(11): 1304-1314.
- 赵文芳, 刘旭林, 聂凯, 2015. 基于 WebGIS 的气象综合显示系统改进与实现[J]. 应用气象学报, 26(3): 378-384.
- 郑卫江, 吴焕萍, 罗兵, 等, 2010. GIS 技术在台风预报服务产品制作系统中的应用[J]. 应用气象学报, 21(2): 250-255.
- 郑永光, 周康辉, 盛杰, 等, 2015. 强对流天气监测预报预警技术进展[J]. 应用气象学报, 26(6): 641-656.
- 郑永光, 朱文剑, 姚聘, 等, 2016. 风速等级标准与 2016 年 6 月 23 日阜宁龙卷风强度估计[J]. 气象, 42(11): 1289-1303.