

文章编号: 2096-1618(2022)06-0662-06

# 毕节市气象灾害预警调度系统的设计与实现

肖楠<sup>1</sup>, 田兰<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学软件工程学院, 四川 成都 610225; 2. 贵州省毕节市气象局, 贵州 毕节 551700)

**摘要:** 毕节市复杂的地理环境, 在夏季容易引发山洪、泥石流等自然灾害, 如何高效地实时监测气象要素并及时发布预警信息是防灾减灾需要关注的一项重要课题。为提供一个可统一调度指挥的跨层级、跨部门的工作平台, 文中设计了毕节市气象灾害预警调度系统。该系统采用分布式数据存储技术对业务数据进行存储, 结合 GIS 和可视化技术, 完成气象灾害数据的实时监测与展示; 在基于规则的预警模型上利用 IVR 技术, 当监测数据到达所设阈值时自动生成预警叫应, 实现了市县单位间工作协同和工作量分流, 建立了精准指挥调度的气象服务可视化平台。

**关键词:** 气象灾害; 监测; 预警; 指挥调度; 规则

**中图分类号:** TP311

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2022.06.008

## 0 引言

灾害的潜在性、突发性和复杂性导致灾害的成因各不相同, 复杂多变的气象环境给社会生产、人类活动和生命财产带来了巨大威胁。毕节市位于贵州省西北部, 属于亚热带季风湿润气候, 由于夏季风不稳定, 降水受季风影响明显, 因此毕节市频繁发生洪涝、暴雨和泥石流等自然灾害<sup>[1-3]</sup>。近些年, 由于网络、信息管理和数据存储等技术基础设施的快速发展和实施, 数据量出现了爆炸式增长, 在面对多类型、分布广、多来源的气象数据和地理数据时, 毕节市县两级气象部门对服务产品的存储比较分散凌乱、对数据处理和分类操作切合度不高。同时在气象服务工作中, 灾害预警的监测主要依赖值班人员人为跟进, 当发生灾害后只能通过人工拨打电话进行呼叫, 这会导致叫应出错。因此, 建立一个能够在灾害发生前自动化监测预警, 灾害发生后自动通知相关部门采取措施的集约化气象服务可视化系统尤为重要。

以 B/S 架构为应用框架, 利用分布式数据存储技术对地理数据和气象数据进行存储和计算, 结合 GIS 技术和可视化技术, 实现气象数据实时监测与显示, 并通过设置自定义规则来动态配置气象灾害阈值, 实现适应不同时间、不同气候的自动化监测预警功能。同时, 采用 IVR 技术完成应用系统与电话之间的通信, 在能够自动且不占线的同时拨入多部分机号进行通话的情况下, 实现智能化精准叫应。该系统自投入试运

行以来, 不仅成为毕节市气象部门监测灾害性天气、提高预警预报能力的有力支撑, 而且提高了市县之间的联动性, 有效地分工协作, 实现了精准统一的指挥调度。

## 1 系统关键技术

### 1.1 分布式数据存储技术

在面对多类型、分布广、多来源的气象数据和地理数据时, 毕节市县两级气象部门对服务产品的存储较分散凌乱, 气象灾害监测预警指挥调度系统针对这一问题采用了分布式数据存储技术。分布式存储是指按照一定的规则将数据拆分成多个独立单元分散存储到多台独立的物理主机上。该技术基于多源异构的数据集成方法, 把从 CIMISS、FTP、共享文件夹等多种途径中导入的数据按照数据格式(结构化、非结构化、半结构化、站点、格点)、气象要素(地面、雷达、卫星)、监测对象(地面观测资料、数值预报)等多种分类方式划分为若干个相对独立且密切联系的数据集合, 并存储到多台独立的物理节点上<sup>[4]</sup>。

由于单个数据节点的存储容量有限, 因此在进行数据分布式存储前需要对目标存储数据进行评估。具体做法是: 根据每个监测点每天产生的数据推算出总的的数据量, 并采用数据拆分算法进行数据近似均等拆分, 使每个主机完成数据的最佳存储。

### 1.2 基于规则的气象灾害预警模型

基于规则的气象灾害预警模型, 是指根据用户创建

的自定义气象规则建立气象灾害与气象观测数据之间的映射关系,嵌入到应用程序中的规则引擎从业务数据库和规则库中读取相关数据之后进行匹配,一旦达到或超过所设置的报警阈值,则通过闪烁、语音播报、电话等方式进行提醒,以实现自动化监测预报的目的。

气象预警规则是对气象灾害的致灾因子满足何种条件下会触发报警的逻辑描述。在整个模型实现规则推理的过程中引入谓词逻辑,将所有气象灾害术语中抽象出来的对象—属性—值之间的三元关系转换为同一形式逻辑范式,是规则形成的基础。属于二值逻辑的谓词逻辑,在复杂多变的气象领域具有唯一性,消除了表述气象灾害术语中存在的歧义<sup>[5-6]</sup>。

**定义 1** 一阶谓词逻辑。定义  $x$  是导致灾害发生的致灾因子,  $f(x)$  为致灾因子的命题函数,  $z$  为灾害种类,对任意的灾害种类  $z$  都有  $z \subseteq \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ , 其中  $z_i$  表示该灾害种类的灾害等级。鉴于气象规则的定义可能存在模糊边界,如“积雪厚度可能影响交通”。针对这一问题,本模型将隶属函数和一阶谓词逻辑相结合,设隶属函数  $\theta(x) \rightarrow [0, 1]$ , 把模糊逻辑清晰化。 $z_i$  用一阶谓词逻辑可表示为:

$$z_i \equiv \exists_x f(x_1) \wedge \exists_x f(x_2) \wedge \dots \wedge \exists_x f(x_n) \vee \theta(x), x_i \in [y_1, y_2]$$
 (1)

其中,  $\theta(x)$  需要根据实际情况进行设定,  $y_1$  和  $y_2$  为某个致灾因子的阈值范围。式(1)利用合式复合命题,将 2 个或 2 个以上的一阶谓词逻辑通过逻辑词连接。

以暴雪灾害为例,根据积雪厚度和降雨量的强弱程度,将暴雪灾害划分为 4 个子类,暴雪灾害  $\subseteq \{$  蓝色预警,黄色预警,橙色预警,红色预警  $\}$ , 其中暴雪的积雪厚度与其对交通的因影响程度成正比关系。对于暴雪预警来说,该积雪厚度不存在上限,下限为 3 mm,以 10 mm 为分界线。暴雪橙色预警可用一阶谓词逻辑表示为

$$\theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 3 \\ \frac{x}{10}, & 3 \leq x < 10 \\ 1, & x \geq 10 \end{cases}$$
$$f(y) \equiv \exists_x, y \geq 4$$

暴雨橙色预警  $\equiv \exists_x \theta(x) \vee \exists_y f(y)$  (2)

其中,  $x$  表示积雪厚度,  $y$  表示此刻 6 小时降雨量。

**定义 2** 谓词公式。对于规则性的语义描述,谓词演算通常使用蕴涵符号( $\rightarrow$ )连接一阶谓词形成谓词公式,蕴涵符号的前半部分为规则的执行条件,后半部分为规则的执行结果。定义  $m$  为气象要素到达阈值之后所触发的报警形式,对任意的报警形式  $m$  都有  $m \subseteq \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ , 设  $P(z_i)$  和  $Q(m)$  为分别是执行

条件和执行结果的谓词。一条气象灾害预警规则可以表示为

$$P(z_i) \rightarrow Q(m_1) \wedge Q(m_2) \wedge \dots \wedge Q(m_n)$$
 (3)

以暴雪橙色预警为例,当积雪厚度和降雨量到达所设定的阈值时,便会触发以闪烁、语音播报、弹出提示框等多种方式进行提示的报警行为。设报警形式  $\subseteq \{$  橙色闪烁,语音播报,弹出提示框:“发布橙色预警公告”  $\}$ 。由式(2)可知暴雪橙色预警阈值的大小,则激活触发暴雪橙色预警的报警行为的气象预警规则可表示为

$$\text{Reach(暴雨橙色预警)} \rightarrow \text{Active(橙色闪烁)} \wedge \text{Active(语音播报)} \wedge \text{Active(弹出提示框)}$$
 (4)

该模型使用 J2EE 技术框架体系,业务人员通过在浏览器中输入关键词和配置参数实现对气象规则的逻辑建立。后台接收到 Ajax 请求后对传来的自定义规则进行语义解析,利用中文分词、归一化处理等语义分析技术结合逻辑转换规则生成逻辑表示,并建立以谓词逻辑为基础的气象规则库,以便规则引擎进行访问。

规则引擎是气象灾害规则库工程化的关键步骤,能作为独立组件嵌入在应用程序中。按照功能分为规则收集器、工作存储区和推理引擎 3 个模块。本模型采用 OWL API、Jena 推理机对规则引擎进行设计。由图 1 可见,该模型以先期构建的气象灾害规则库作为输入,存储于系统业务数据库中的观测数据作为引擎驱动。根据气象资料推送频率,工作存储区定期提取气象观测数据,为逻辑推理模块提供匹配事实,触发规则引擎从规则库中读取规则并传递给规则收集器。推理引擎取出规则收集器和工作存储区中的数据,采用模式匹配算法依次进行迭代匹配。匹配成功的规则加入议程,基于冲突消解处理策略按优先级顺序执行结果。

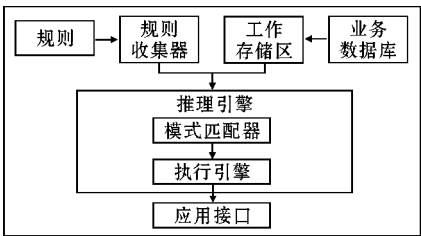


图 1 规则引擎工作机制

1.3 基于 IVR 技术的叫应模型

IVR 技术即交互式语音应答,将计算机数字语音处理技术与语言处理技术结合,允许计算机通过电话来监测和播放语音信息,实现应用系统与电话之间的通信。该技术结合计算机和语音电话各自的优点,将

保存在计算机中的数据通过电话来达到信息的传输和获取,成功完成了全自动的电话服务,极大提高了呼叫质量。

在当前的气象服务中,灾害发生时主要依赖值班人员人为跟进,人工拨打电话叫应相关部门展开救援,这样增大了操作人员的工作强度,办事效率低。针对这一问题,本系统采用了基于 IVR 技术的叫应模型。当值班人员收到报警装置的提示后,该模型基于 IVR 技术将规则库中的叫应内容翻译为语音信息,通过电话接口自动向某级气象部门拨打电话。利用录音功能,使叫应任务记录留痕,方便业务单位根据需要收集信息。此外,服务器采用多用户分发模式,各级气象部门拥有各自的叫应内容、叫应对象信息和历史叫应记录等相关信息,通过消息推送功能,依据不同的报警提示开展市、县两级气象部门分工协作,实现了市县单位间工作协同和工作量分流。

2 总体设计

2.1 总体框架设计

毕节市气象灾害监测预警指挥调度系统使用 B/S 结构框架进行搭建,采用了 Spring MVC 技术架构,同时通过建立基于规则的灾害天气预警模型和利用 IVR 技术进行精准叫应,实现了实时监测数据和自动化报警,为市县两级用户在防灾减灾问题上提供了数据和决策支持。如图 2 所示,该系统采用了结构分层的设计思想,将整个系统框架分为 4 层,由上至下分别为表示层、应用层、数据层和基础设施层<sup>[7-8]</sup>。

表示层:灾害预警系统各功能的访问接口,为用户提供人机交互界面,满足市县两级用户操作系统实现业务的需求。其实现技术框架采用 MVC 模式,通过业务管理控制中心来接收前端用户的操作请求,调用相应业务模型处理用户的请求,最终由业务控制中心调用相应的视图模型展示数据,并提供数据信息查询、可视化显示数据和自动监测预警等功能,直观可视地将系统数据及运行状况集中展示给用户。

应用层:系统业务逻辑功能实现层,主要负责处理该气象灾害监测预警系统的各项基础业务,包括实时监测、三个叫应、预报预警、产品服务、资料查询、手机应用、系统管理 7 大功能。利用气象 GIS 技术在地图上叠加降水、气温、雷达、卫星云图等综合气象要素展示和服务产品展示,并且通过对气象灾害阈值的动态配置以及利用 IVR 技术精准叫应,实现精准统一的指挥调度。

数据层:系统的核心支撑层,该层由各类数据抽取服务、数据处理以及数据存储模块组成,为系统上层应用提供运行的各类基础数据。利用 CIMISS、FTP 服务器等多种技术方法获取数据源,并将收集到的结构化数据、半结构化数据、非结构化数据和实时数据进行格式转化和数据清洗,转化为系统可以直接使用的业务数据,最后存储到关系数据库 MySQL 数据库、分布式数据库 PostgreSQL 和 postGis 数据库以及分布式文件系统 HDFS 中,方便数据的使用与查询,提高数据的检索效率。同时,通过 PGpool 负载均衡中间件来实现 PostgreSQL 集群搭建,使用 Redis 作为分布式的高速存储缓存,以提高响应速度,提高了存储系统的容错和可用性。

基础设施层:基础设施层位于系统的最下层,主要为系统正常运行提供基础资源,包括各种气象监测设备、数据采集设备和网络设备。软硬件基础设施层采集的地理数据信息和气象数据信息,用于数据层。

2.2 总体业务流程

针对当前气象服务平台存在的一些问题,设计了毕节市气象灾害监测预警指挥调度系统的业务流程,通过全国综合气象信息共享系统(CIMISS)、FTP 服务器等途径获取基础数据,运用分布式数据存储技术将数据分散存储到系统的服务产品库和系统业务数据库,在气象数据环境下建立灾害天气报警规则库,通过自定义设置规则和模式匹配算法,动态计算被监测气象数据与规则的匹配度,解决了气象灾害阈值不可动态配置的问题;当达到报警条件时触发三个叫应模块,实现市县单位间工作协同和工作量分流。总体业务流程如图 3 所示。

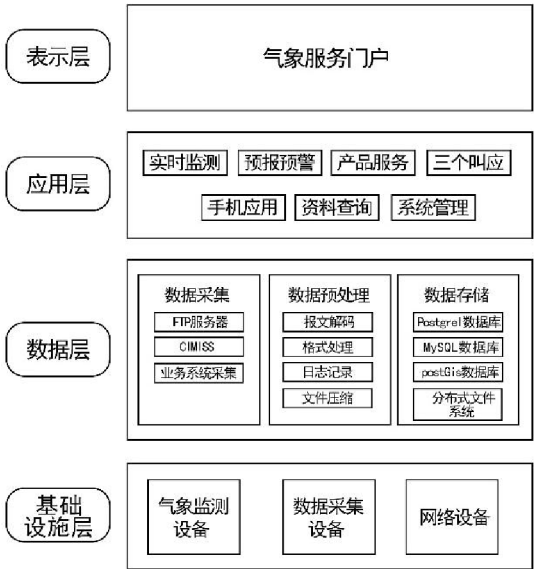


图 2 系统总体架构图



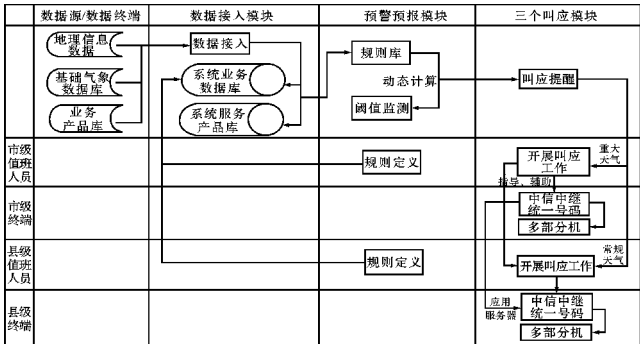


图 3 总体业务流程图

2.3 功能模块设计

基于上述架构描述,结合毕节市气象灾害监测预警的需求,对毕节市气象灾害监测预警指挥调度系统进行搭建。如图 4 所示,平台主要包含 7 大功能模块,分别为实时监测、三个叫应、预报预警、产品服务、资料查询、手机应用以及系统管理。这 7 大功能模块又由多个功能组合而成。

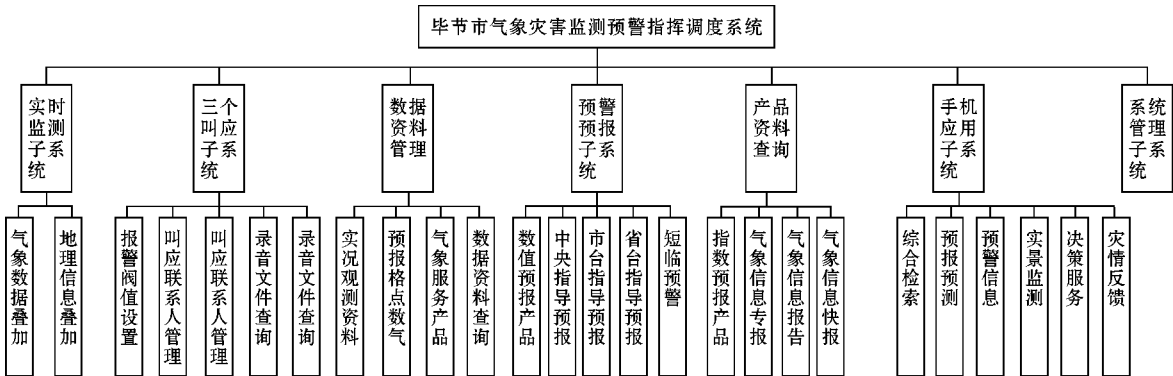


图 4 系统功能设计图

3 系统实现

阐述实时监测、三个叫应和预报预警 3 大核心模块的实现。

3.1 实时监测子系统

一般来说,对灾害性天气的识别不能只凭借一种气象要素来定夺,有时还需要同时对多种要素进行叠加来分析判断。该子系统融合了天气、雷达、卫星云图、农情实景等各类气象要素,同时结合水库、学校、旅行景点、地质灾害隐患点等重点防汛区域的地理信息,将这些气象要素与地理信息与 GIS 进行叠加显示。利用 GIS 技术结合多维度信息集成、信息可视化和空间分析等技术,将现实世界里地理要素的空间位置和空间关键展示出来,对重点防汛区域可以进行随时访问和在线浏览,并且矢量地图、地形图、影像地图之间可以自由切换显示图像和数据。同时,该子系统以任务驱动动态计算,实时监测灾害发生的时间、地点、观测值变化等信息,关注灾害性天气从即将发生到结束的整个过程,为指挥调度提供有力支撑和数据依据。实时监测界面图如图 5 所示。

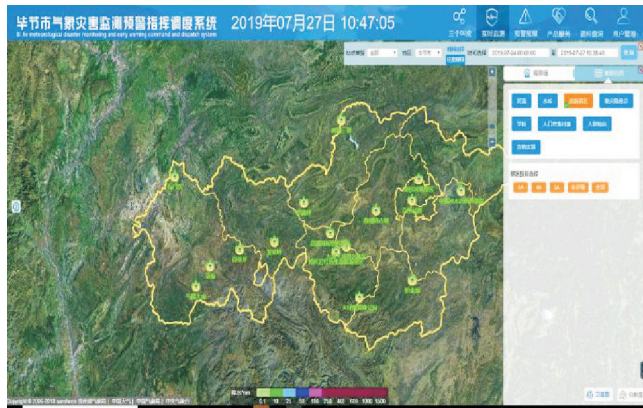


图 5 实时监测界面

3.2 预警预报子系统

该子系统为用户提供一个可规则编制的交互界面,将收集的气象灾害数据划分成不同的指标,通过配置气象灾害与气象数据的映射关系,将气象要素数据归类梳理,保证生成规则的规范性。预警预报子系统处理的对象是监控设备传送到业务数据库的实时气象数据流,根据气象资料推送频率,基于规则的灾害预警模型将实时数据流与用户自定义规则进行匹配,通过逐一比对动态计算出被监测数据是否超出预先设置的气象阈值。当气象灾害规则引擎推理出气象观测数据超出阈值范围时,激活规则中的执行操作,后台自动调用 JAVA 编写的 API 程序进行数据存储,用于以文本

作为基础数据对接信息提醒和语音提醒。同时,该系统通过建立显示控件与推测结果的注册关系表,利用控件数据绑定操作,使得推测结果绑定到触发实时报警的相应显示控件中,实现气象自动化预警<sup>[10]</sup>。

与此同时,该系统借助空间分析、雷达回波图、天气分析图等地理信息工具,结合气象预报资料,实现气象灾害静态数据向动态图形产品的可视化提醒展示,便于值班人员根据不同类型的提醒启动叫应任务,解决了以往值班人员在开展叫应工作中缺乏气象数据参考的问题,使气象服务更加精细化。基于这套模型,该子系统实现了气象灾害智能化规则配置、气象灾害规则自动检测,为“三个叫应”核心服务提供辅助支持。规则配置界面如图 6 所示。

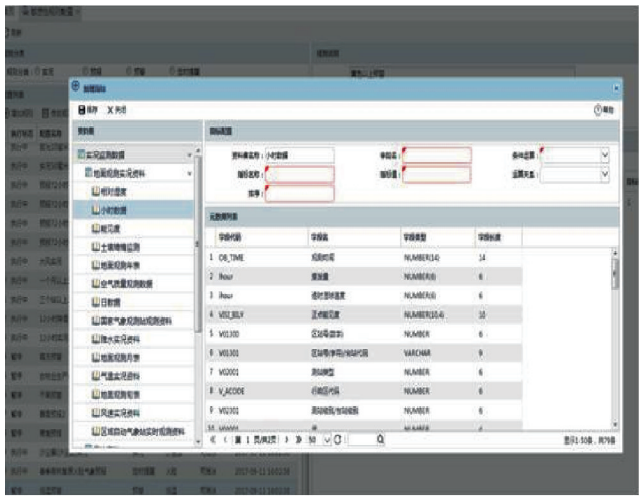


图 6 规则配置界面

3.3 “三个叫应”子系统

该系统基于 IVR 技术的叫应模型完成了“1 市+多县”的两级通信,并且通过市县安装电话语音盒,方便汛期指挥调度和工作问责追踪。当系统发出报警提示后,值班人员在叫应界面中勾选叫应内容和叫应对象,并点击电话图标,系统发送数据包向服务器请求空闲座席,并向客户端返回座席 IP、通讯信息等相关参数。基于 IVR 技术的叫应模型会将所选的叫应内容转换自动语音信息,由后台语音联动程序处理语音内容,最后根据参数连接客户端的语音接口,自动与叫应对象实现通话,触发多气象部门协同工作,解决了人工拨号易出错的问题,提高了工作效率,达到了系统自动受理的目的。同时,该系统能根据系统资源的实时运行情况和呼叫时间序列,进行自反馈学习,动态地调整后续呼叫,实现不占线地拨出多部分机号进行通话。另外,该系统对叫应的联系人进行管理、配置叫应规则等功能,实现了服务可记录、可追踪、可查询,解决了在

汛期值班员能够精准智能化叫应。县级用户三个叫应工作界面图如图 7 所示。



图 7 县级用户三个叫应工作界面

4 结束语

由于毕节市有复杂的地理环境,洪涝、干旱、泥石流等自然灾害频繁发生。为了应对极端天气对毕节市的影响,需要对其进行准确的、科学的气象灾害影响评估,快速启动应急响应,并发布预报预警信息。

毕节市气象灾害监测预警指挥调度系统可以提高气象灾害快速预警和响应能力,为政府部门的应急指挥决策提供技术支持服务。系统支持自动站、雷达、云图、台风、预警信息、降雪、水位、地质灾害等多种气象要素与 GIS 进行叠加综合显示和分析,通过动态计算配置出适应不同时间、不同空间的气象灾害阈值,解决了手动拨号易出错的问题,不仅减轻了值班人员工作压力,还提供了一个跨层级、跨部门的工作纽带平台,实现精准统一的指挥调度。

参考文献:

[1] 熊安元,赵芳,王颖,等. 全国综合气象信息共享系统的设计与实现[J]. 应用气象学报,2015,26(4):500-512.  
[2] 吕终亮,罗兵,吴焕萍,等. MESIS 信息检索及可视化产品制作平台实现[J]. 应用气象学报,2012,23(5):631-637.

- [3] 阎丽凤,周雪松,吴炜,等. 灾害性天气监测预警平台设计与开发[J]. 气象科技,2014,42(5): 804-810.
- [4] 付博,王文文,张诗檬,等. 基于多异构城市地质数据集成关键技术研究[J]. 城市地质,2020(1).
- [5] 何险峰,张祥锋,郑利娟,等. 气象灾害本体设计[J]. 气象科技,2021,40(6):1007-1012.
- [6] 何险峰,雷升锴,张祥峰,等. 本体化气象服务实现与应用[J]. 计算机应用,2021,32(A02):226-231.
- [7] 周运丽. 地市级灾害天气监测预警系统设计与实现[J]. 软件工程,2020,38(20):86-96.
- [8] 陈磊,李斌,彭程,等. 岩溶山区滑坡监测预警云平台设计与实现[J]. 长江科学学院院长报,2021(1).
- [9] 李新庆,卫建国,王凡,等. 基于 PostgreSQL 的气象业务数据存储应用研究[J]. 气象水文海洋仪器,2017(4):13-17.
- [10] Amodaran S, Sachin KR, Kumar R. Big data implementation of natural disaster monitoring and alerting system in real time social network using Hadoop technology[J]. Indian Journal of Science and Technology,2015,8(22):1-4.
- [11] Dhamodaran S, Raja A. Prediction of weather using probability function[J]. Int J ApplEng Res, 2015,10(4):10665-10670.
- [12] Pandey AK, Agrawal CP, Agrawal M(2017) A hadoop based weather prediction model for classification of weather data[C]. In:2017 Second international conference on electrical, computer and communication technologies(ICECCT),2017:1-5.

## Design and Implementation of Bijie Meteorological Disaster Early Warning and Dispatching System

XIAO Nan<sup>1</sup>, TIAN Lan<sup>2</sup>

(1. College of Software Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Bijie Meteorological Bureau of Guizhou, Bijie 551700, China)

**Abstract:** The complex geographical environment of Bijie city, especially in summer, is easy to cause natural disasters such as mountain floods and debris flows. How to effectively monitor meteorological elements in real time and issue early warning information in time is an important topic that needs to be paid attention to in disaster prevention and mitigation at both city and county levels. In order to provide a cross-level and cross-department working platform for unified dispatching and commanding, a meteorological disaster early warning and dispatching system for Bijie city was designed. The system uses distributed data storage technology to store business data, and combines GIS and visualization technology to complete the real-time monitoring and display of meteorological disaster data. In the rule-based warning model, IVR technology is used to automatically generate warning response when the monitoring data reaches the set threshold, which realizes the work coordination and workload distribution between the city and county units, and establishes the meteorological service visualization platform for precise command and dispatch.

**Keywords:** meteorological disasters; monitoring; ezhilary warning; command and dispatch; rule