

基于遥感卫星的极端气象观测 数据安全预警系统设计

刘丽景

(西安培华学院 智能科学与信息工程学院, 西安 710125)

摘要: 影响极端气象产生与演变的因素众多, 给极端气象的预警工作带来较大难度, 为及时对极端气象作出有效防御, 利用遥感卫星观测数据设计并开发了极端气象观测数据安全预警系统; 设计遥感卫星观测数据校准器、观测数据采集器、处理器、安全报警器, 调整通信模块的连接方式, 完成安全预警系统硬件的优化; 通过遥感卫星、暴雨极端天气等数据库表的构建与连接, 建立系统数据库; 在系统硬件和数据库的支持下, 利用遥感卫星观测数据获取气象观测数据, 通过气象观测数据特征的提取, 估算极端气象参数, 将其与设置的安全阈值进行比对, 综合极端气象强度和紧迫度参数, 实现系统的安全预警功能; 实验结果表明, 所设计系统的平均预警时间偏差为 0.18 h, 误警率和漏警率平均值分别为 2.8% 和 2.7%, 响应时延平均值为 16.4 ms。

关键词: 遥感卫星; 极端气象观测; 数据安全; 预警系统

Design of Extreme Meteorological Observation Data Security Early Warning System Based on Remote Sensing Satellite

LIU Lijing

(School of Intelligent Science and Information Engineering, Xi'an Peihua University, Xi'an 710125, China)

Abstract: There are many factors that affect the generation and evolution of extreme weather, making it difficult to early warning extreme weather. In order to timely and effectively defend against extreme weather, a security early warning system for extreme weather observation data is designed and developed using the remote sensing satellite observation data. Design a remote sensing satellite observation data calibrator, observation data collector, processor, and security alarm, adjust the connection mode of communication modules, and optimize the hardware of the security early warning system. The system database is established through the construction and connection of the remote sensing satellite, rainstorm extreme weather and other database tables. With the support of system hardware and database, the remote sensing satellite observation data is used to obtain the meteorological observation data. The characteristics of meteorological observation data are extracted to estimate the extreme meteorological parameters, compared with the setting safety threshold, and the extreme meteorological intensity and urgency coefficient are integrated to achieve the safety warning function of the system. The experimental results show that the average warning time deviation of the designed system is 0.18 hours, the average false alarm rate and false alarm rate are 2.8% and 2.7%, respectively, and the average response delay is 16.4 ms.

Keywords: remote sensing satellites; extreme meteorological observation; data security; early warning system

0 引言

随着气候变化的日益加剧, 极端天气事件如暴雨、洪水、干旱、风暴等频率和强度不断增加, 给人类社会和经济活动带来了巨大的影响和挑战。极端天气是指天气和气候的状态与正常状态有很大的偏差, 发生几率很低。极端天气包括: 高温、低温、降水、冰雹、大风、龙卷风、雷暴等。极端天气的发生往往伴随巨大的自然灾害, 对社会影响较大, 引起巨大的经济损失。为降低极端天气对经济以及人身安全产生的威胁, 最大程度地避免或者减少其所带来的冲击, 保护公众的安全, 需要对极端气象进行提前预警。由于极端天气的形成与发展与局部地区地形、地貌

以及气候特征之间存在密切联系, 给极端气象观测数据安全预警工作带来较大难度和挑战。为此, 研究人员对极端气象观测数据安全预警系统进行了设计。

文献 [1] 提出基于密度峰值聚类的气象预警系统, 计算出每一个数据点的密度、距离、路径、分布四大属性。之后, 通过回归分析, 提取出簇心, 并对其灾害类型及级别进行判断。最终, 将同簇的剩余数据点划入相应的灾害, 从而获得识别结果。该系统可以同时对多种类型和级别的灾害天气进行定位, 具有适用性强、速度快、控制参数少的优势, 但该方法的漏警率较高。文献 [2] 提出基于深度学习方法的天气预警系统, 结合相应时间尺度上的实测数

收稿日期: 2023-09-22; 修回日期: 2023-11-22。

基金项目: 西安市科技计划项目-高校院所科技人员服务企业项目(22GXFW0098)。

作者简介: 刘丽景(1985-), 女, 硕士, 高级工程师。

引用格式: 刘丽景. 基于遥感卫星的极端气象观测数据安全预警系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(5): 193-200.

据,构建基于深度学习的多层次全连通神经网络模型,实现对未来地表温度的修正预警。该方法在进行极端天气预警时的误警率较大。文献 [3] 提出基于 LSTM NN 特征提取的气象预警系统,结合了长短期记忆神经网络、随机森林和优化支持向量机回归等各自的优点,首先通过长短期记忆神经网络提取数据特征,然后根据随机森林中的特征性特征,对 LSTM 所提取的特征进行筛选,最后通过训练最优 SVM,构建基于随机森林的低温冷害预报模型。该方法主要针对某一类型的极端天气进行安全预警,预警误差较大。文献 [4] 提出一种天气雷达产品故障识别预警系统,提出基于 WinForm 三层体系结构及 ORM 模型架构的新方法,利用统计纹理分析和灰度特征分析等方法对雷达异常产品进行自动识别,从而实现雷达产品数据中异常回波的有效识别,保障气象雷达网络产品的质量。该方法能够提升气象雷达的识别准确性,但对于其应用于极端气象观测数据预警中的实际效果仍有待验证。文献 [5] 提出基于 WebGIS 的特殊气象安全预警系统,融合分析地理信息数据和气象信息数据,精确预报气象特性,将 GIS 应用于系统软件,剔除环境因子对天气特性预报的影响,实现对特定天气特性的预报。该方法对特殊气象的预警准确性较好,但预警响应耗时较长。

针对上述方法存在的极端气象观测数据安全预警漏警率、误警率较大,系统响应时延较大的问题,本文设计了基于遥感卫星的极端气象观测数据安全预警系统。为了确保遥感卫星观测数据的准确性和可靠性,该系统设计和开发了数据校准器和数据采集器。这些设备可以校准和采集遥感卫星观测数据,提高了数据的精度和可靠性。通过构建和连接遥感卫星、暴雨极端天气等数据库表,建立了系统数据库,系统可以更加高效地存储和处理大量数据,提高了系统的性能和稳定性。遥感卫星观测数据可以提供大范围、高精度的气象观测数据,通过使用遥感卫星观测数据,提取气象观测数据的特征,估算极端气象参数,更加准确地预测极端气象事件。在实现安全预警功能时,该系统不仅考虑了极端气象的强度,还考虑了其紧迫度参数。这种综合考虑可以更加全面地评估极端气象的风险,从而做出更加准确的安全预警。

1 极端气象观测数据安全预警系统整体技术路线

优化设计的极端气象观测数据安全预警系统利用遥感卫星观测数据对区域内的气象现状进行观测,通过对观测数据的分析与对比,判断当前气象类型,并计算气象现象的相关参数系数,通过与极端气象阈值的对比,判断当前区域在未来一段时间内是否会出现极端气象,若区域存在极端气象则启动安全预警程序,否则无需执行相应的预警操作。此次安全预警系统分别从硬件、数据库和软件 3 个部分进行优化,系统硬件为软件功能的运行提供硬件支持,数据库主要用来存储极端气象观测数据,而软件主要执行数据观测、气象参数计算、安全预警等功能。

系统硬件包括遥感卫星观测数据校准器、遥感卫星观测数据采集器、观测数据处理器、通信模块、安全报警器。在系统中构建相应的数据库,为气象观测数据提供充足的存储空间。系统软件首先利用遥感卫星观测数据获取气象观测数据,以获取的气象观测数据为处理对象,提取气象观测数据特征,根据观测数据特征估算极端气象参数,设置极端气象观测数据安全阈值,将极端气象参数的估算结果与预设的观测数据安全阈值进行比较,当估算结果超过安全阈值时,启动系统安全预警程序,并依据超过的程度设定相应的安全预警等级,实现极端气象观测数据安全预警。

2 极端气象观测数据安全预警系统硬件设计

2.1 遥感卫星观测数据校准器

为保证利用遥感卫星观测数据得出气象观测数据的精准度,安装观测数据校准器设备用来实现对实时遥感卫星传输数据的校准。遥感卫星观测数据校准器的内部结构如图 1 所示。

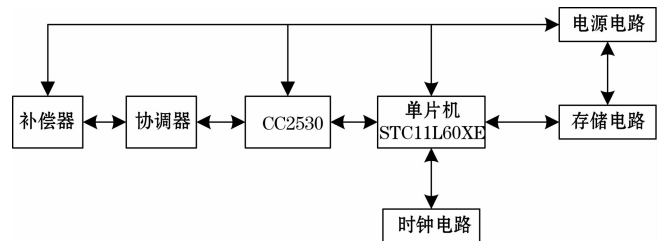


图 1 遥感卫星观测数据校准器内部结构图

图 1 中 CC2530 为校准芯片,主要用于观测数据入网判断、数据的接收转发、观测数据误差计算和补偿等,校准芯片接收到遥感卫星数据时,将观测数据转发给协调器,将当前接收到的遥感卫星数据与标准卫星数据进行比对,得出观测数据的校准偏差,利用补偿设备实现对遥感卫星观测数据的校准。校准器中使用的单片机选用 STC11L60XE 型号芯片,不需要专门的记录器,只需要一个串行接口就可以完成一个程序的记录,而且它的 FLASH 擦除次数超过 10 万次。STC11L60XE 有 36 个 I/O 端口,1 个 DART,3 个计时器,1280B 的 SRAM,64KB 的 Flash,内部集成看门狗电路。

2.2 遥感卫星观测数据采集器

遥感卫星观测数据采集器主要用来采集气象数据,具体包括温湿度、风速风向、雨量等,遥感卫星观测数据采集器主要由两个部分组成,分别为采集端和遥感卫星传输端,观测数据采集器具体的内部组成结构如图 2 所示。

在特定的天气条件下,利用采集器对温度变化、降雨量和风向进行了观测。该显示器支持红外摄像双滤镜,可在 3 MP 的高清模式下监视图像的像素。在收集机内部,采用了三天线结构,以增强收集机的工作稳定性。采集器可实现 360 度无死角地旋转观察,对观察到的数据进行加密,保证观察结果的安全性。遥感卫星观测数据采集终端以 CC2530 为基础,获取温度、湿度、光线和其他数据,运用

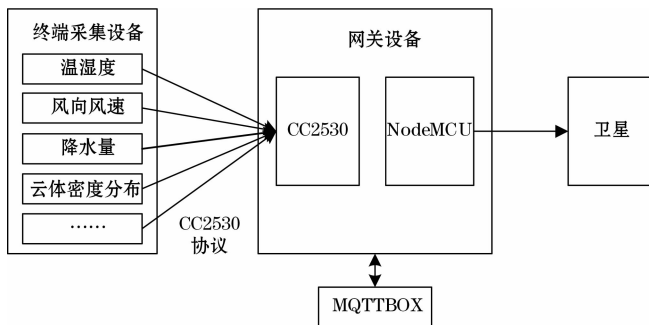


图 2 遥感卫星观测数据采集器内部组成结构图

5G 通信技术将数据发送到物联网网关，进而传输至系统处理器中。

2.3 观测数据处理器

考虑到遥感卫星极端气象观测数据的处理需求，选择 Intel 80386/80486 型号的 32 单核处理器作为观测数据处理器器的微处理器芯片，处理器的寻址空间为 4 G，完全可以满足操作系统加载所需要的存储空间，可以安装在 64 位任何操作系统中，CPU 的主频为 4.2 GHz，为提高系统的运行速度，配置两个 CPU。该处理器具有 32 G 的内存，在系统运行的过程中，可以按照需要自动地对存储空间进行扩展。观测数据处理器实物图如图 3 所示。



图 3 观测数据处理器实物图

2.4 通信模块

为保证极端气象观测数据能够通过遥感卫星传输至系统运行终端，需要对系统的通信环境进行布设。通过实现遥感卫星和接入设备的连接，提供多种通信通道^[6]。通过将 DART 和 CC2530 通讯插头连接在一起，使报警系统的终端能够接收到上传的数据。然后，以 ESP8266 为基础，设计了一个节点 MCU，并利用 MATT 将数据发送到服务器端^[7]。网关方案将 ZigBee 技术与节点单片机技术相结合，在保证系统高效率、高安全性的前提下，大大降低了系统的开发费用。

2.5 安全报警器

安全报警器是极端气象观测数据安全预警系统的执行元件，所设计系统中使用报警器的工作电路如图 4 所示。

在图 4 表示的安全报警器中添加一个阈值开关，反映

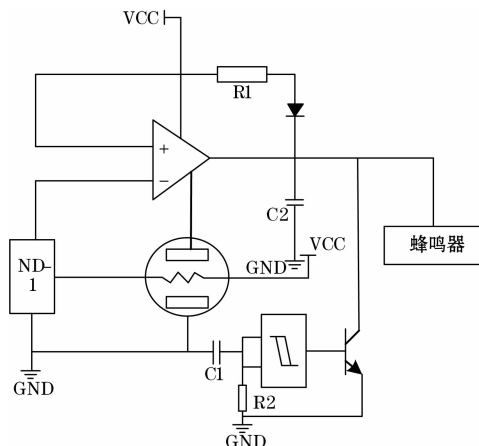


图 4 极端气象观测数据安全报警器工作电路图

极端气象观测数据的判断条件，当观测到极端气象数据高于报警器能够承受的压力范围，并输出一个数字信号^[8]。在数字信号的驱动下，实现阈值开关状态的切换，从而执行相应的报警任务。从图 4 中可以看出，安全报警器的输出包括蜂鸣器驱动信号和安全信息发送驱动信号，根据极端气象的强度与急迫程度生成相应的驱动信号，完成系统的安全报警任务。

3 极端气象观测数据安全预警系统数据库设计

为了给极端气象观测数据安全预警系统中的气象观测数据提供充足的存储空间，在系统中构建相应数据库。所设计系统采用局部扩张法的方法进行数据库构建，首先对核心内容进行设计，根据需求不断地在核心的基础上对需求进行扩展，从而得到一个完整的数据库设计结果^[9]。构建的系统数据库由卫星基本信息、卫星观测数据、极端天气数据等部分组成。其中遥感卫星基本数据库表的构建结果如表 1 所示。

表 1 遥感卫星基本数据库表

字段名称	字段说明	存储类型	字节长度	是否主键
Satellite_ID	遥感卫星编号	number	10	是
Satellite_NAME	遥感卫星名称	varchar	50	否

另外，以极端天气数据中的暴雨极端天气为例，观测数据库表的构建结果如表 2 所示。

表 2 暴雨极端天气观测数据库表

字段名称	字段说明	存储类型	字节长度
area number	区域编号	int	10
Precipitation date	日期	datetime	16
Precipitation time	降水时间	int	10
Rain1 min	1 分钟降雨量	double	32
Rain10 min	10 分钟最大降雨量	double	32
Rain60 min	60 分钟最大降雨量	double	32

同理可以得出其他类型极端天气的数据库表构建结果。

除数据库表的组成结构外，还需要对数据在物理设备上的存放方法进行设计。根据数据库表之间的逻辑关系形成连接，使得数据实现了有效管理与快速检索的功能^[10]。在数据库的运行与检索过程中，持续地对数据库中存在的不足进行改进，对其实现方式进行优化和提升，从而可以极大地降低数据的丢失、冗余等风险，从而可以对数据进行更加有效地管理。

4 极端气象观测数据安全预警系统软件功能设计

在安全预警系统硬件和数据库的支持下，利用遥感卫星观测数据，实现对系统软件功能的设计与开发，从而得出极端气象观测数据的安全预警结果^[11]。所设计系统软件功能的基本执行原理为：在遥感卫星观测数据的支持下，获取当前气象观测数据，通过预处理后观测数据以图像形式输出。提取观测数据的变化特征，以此作为当前气象状态的判断对象，同时为气象走向的预测提供演化参考规律。根据观测数据特征的提取结果，计算能够反映极端气象的相关参数，并保证气象参数与极端气象之间存在对应关系，将计算的气象参数与设置的安全预警阈值进行对比，判断当前或未来一段时间内是否会发生极端气象，根据极端气象强度和紧迫性启动不同等级的安全预警程序，完成系统的预警响应功能。

4.1 利用遥感卫星观测数据获取气象观测数据

以目标区域对应的大气环境作为观测对象，利用图 5 表示的遥感卫星观测数据原理，获取相应的气象观测数据。

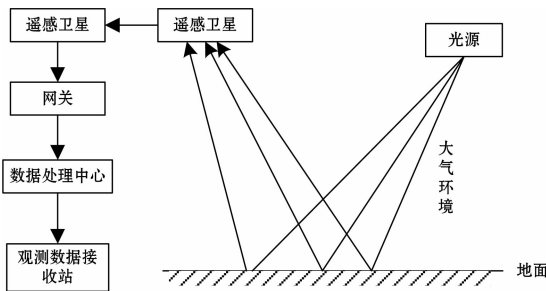


图 5 遥感卫星观测数据原理图

遥感卫星技术利用卫星对地表进行观察与测量，由卫星搭载的各种传感器采集并记录地表电磁波，并将采集到的信息传送到地表作进一步的处理与分析^[12]。从图 5 中可以看出，遥感卫星观测数据大体可以分为两个步骤，第一步是对地表反馈数据进行采集与处理，第二步是将实时采集的地表数据传输给系统终端。采集的气象数据具体包括云体分布、水汽分布、沙尘分布、温湿度、风速风向等，其中云体分布、水汽分布以及沙尘分布数据包含在遥感图像中，遥感卫星观测数据输出的气象图像采集结果为：

$$I_r(x, y) = \begin{cases} \kappa_r x_0 + \Delta x \\ \kappa_r y_0 + \Delta y \end{cases} \quad (1)$$

式中， (x_0, y_0) 为目标区域对应大气环境中任意位置的实际值， κ_r 为卫星的遥感系数，该系数的具体取值由遥感卫星工作参数、大气光透射系数等因素决定，另外变量 Δx 和 Δy

分别为遥感图像在水平和竖直方向上的校正量。按照公式 (1) 的处理方式，可以得出目标区域内所有位置的遥感卫星观测像素点生成结果，根据像素点之间的空间位置关系对像素点进行组合连接，得出气象观测图像数据的采集结果。在无风的情况下，地球表面的辐射量能够直接到达卫星。不过，由于有云层在，从地表发出的射线，便被云区挡住了。而在云厚得多，从地球表面发出的射线，很难穿透云区，抵达卫星，则会造成严重的阻碍^[13]。因此，在有云区的情况下，从卫星上得到的亮温相对于晴空区的亮温是不同的，因此可以通过遥感卫星观测图像反映云体、水汽、沙尘等现象。在极端气象监测预警系统中，记录到的卫星遥感数据通常都含有多个辅助说明信息，如果不能把这些信息文件单独地存储在不同的数据结构中，就会给遥感图像的分布、管理和统计带来不便^[14]。为了满足预警系统不断读取和写入卫星遥感观测数据的需要，设置遥感卫星观测数据的读写程序为：

$$I_{out} = \frac{1}{2} \|\zeta\|^2 I_r(x, y) + \frac{q}{2} \sum_{\xi=1}^{\xi} |\psi_{\xi} - \phi_{\xi}|^2 \quad (2)$$

式中，变量 ζ 为与主机匹配的观测数据感应系数， q 为读写程序的运行强度， ψ_{ξ} 和 ϕ_{ξ} 分别表示不同读写条件下的遥感卫星数据特征值， ξ 为遥感卫星观测图像的读写条件^[15]。根据遥感卫星观测数据获取的电磁波反馈结果，观测气象温度、湿度、风速风向等信息，其中气象温度数据的观测结果为：

$$x_T = \lambda I_{out} (1 + \alpha T + \beta T^2) \quad (3)$$

式中， λ 为遥感卫星的地磁波反馈信号， α 和 β 分别为一次项和二次项温度系数， T 为气象环境中的实际温度值。同理可以得出区域环境内其他气象观测数据的采集结果，并按照公式 (4) 采用多线程同步的方式将气象观测数据传输给系统的地面基地接收终端。

$$x_i = x_T \frac{\kappa_{s1}}{\kappa_{s2}} \gamma \left[2 \sqrt{1 - \frac{3\rho}{Y \cdot x}} \right], x \in I_{out} \cup x_T \quad (4)$$

式中， κ_{s1} 和 κ_{s2} 分别表示两个不同的遥感卫星传输线程同步系数， γ 为特定的预警指令线程同步系数项， ρ 和 Y 分别为数据传输密度和遥感系数项， x 为气象观测数据传输速率。按照上述流程，完成气象观测数据的获取操作。

4.2 提取气象观测数据特征

以利用遥感卫星观测数据获取气象观测数据为处理对象，分别针对遥感卫星观测图像数据和信号数据，提取相应的数据特征。遥感卫星观测图像的特征提取目标为纹理特征，用来反映图像中云体、沙尘等气象因素的分布情况，纹理特征也是一种全局特征，它也描述了图像或图像区域所对应景物的表面性质^[16]。气象观测图像数据中纹理特征的提取过程可以量化描述为：

$$\tau(x, y) = x_i \frac{f(x, y) - f_{min}}{f_{max} - f_{min}} (L_f - 1) \quad (5)$$

式中， f_{max} 和 f_{min} 分别为气象观测图像中像素的最大值和最小值， $f(x, y)$ 为气象观测图像数据中 (x, y) 位置上的像素值， L_f 为观测图像的纹理梯度值。通过连续气象观测图像纹

理特征的提取结果,即可得出云体、水汽、沙尘等气象因素的分布变化特征^[17]。另外,温度观测数据的变化特征可以量化表示为:

$$\tau_T = \frac{\left(\frac{1}{n_T} \sum_{i=1}^{n_T} \sqrt{|x_T|} \right)^2}{n_T} \quad (6)$$

式中, n_T 为气象温度观测数据的采集量,同理可以得出湿度以及风速风向等观测数据变化特征的提取结果,并对所有提取的观测数据变化特征进行融合处理,处理结果为:

$$\tau = \tau(x, y)\omega_l + \tau_T\omega_T \quad (7)$$

式中, ω_l 和 ω_T 分别表示观测数据特征对应的融合权重值,将公式(5)得出的气象观测图像数据中纹理特征和公式(6)得出的温度观测数据的变化特征计算结果代入到公式(7)中,即可得出观测数据的融合特征提取结果。

4.3 根据观测数据特征估算极端气象参数

根据提取的气象观测数据特征,估算降水量、最大风速、气流涡度和最高温度等极端气象参数。其中降水量对应的是暴雨极端天气,最大风速和气流涡度反映台风极端天气,而最高温度反映的是极端天气中的极端高温。以降水量为例,该参数的估算公式为:

$$M_r(t) = W_c(t_0)\tau_c \times \delta(t_0)\tau_\delta \times (t - t_0), \tau_c, \tau_\delta \in \tau \quad (8)$$

式中, $W_c(t_0)$ 为 t_0 时刻当前区域内的云体大小, τ_c 为观测图像数据中云体大小的变化特征, $\delta(t_0)$ 为 t_0 时刻湿度值, τ_δ 对应的是湿度特征,由此可以得出 t 时刻区域内降水量的计算估算结果^[18]。同理可以完成对气象环境中最大风速和气流涡度参数的计算,具体的计算公式如下:

$$\begin{cases} u_{\text{wind}}(t) = \tau_{\text{wind}}u_{\text{wind}}(t_0) \\ \varphi(t) = \tau_\varphi\varphi(t_0) \end{cases}, \tau_{\text{wind}}, \tau_\varphi \in \tau \quad (9)$$

式中, $u_{\text{wind}}(t_0)$ 和 $\varphi(t_0)$ 分别为 t_0 时刻区域环境中的风速值和气流涡度值, τ_{wind} 和 τ_φ 分别为风速和气流涡度的变化特征。另外最高温度参数的估算结果为:

$$T_{\text{max}} = \frac{T(t_0)}{\sqrt{\kappa^{\text{bright}}\tau_T}} \quad (10)$$

式中, κ^{bright} 为遥感卫星观测图像中的亮温值。按照上述方式可以得出所有反映极端气象的参数进行估算,输出参数估算结果。

4.4 设置极端气象观测数据安全阈值

根据不同极端天气的划定标准,设置极端气象观测数据安全阈值,以此作为判定极端气象的条件。以暴雨极端气象为例,对应观测数据安全阈值的设置情况为:

$$\epsilon_{M_i} = A \quad (11)$$

式中, A 为常数系数,根据暴雨等级划分标准确定该系数的具体取值^[19]。

4.5 实现极端气象观测数据安全预警

将极端气象参数的估算结果与设置的观测数据安全阈值进行比对,以此作为系统安全预警程序的启动条件,并设置对应的安全预警等级^[20]。其中暴雨气象安全预警的启动条件可以量化表示为:

$$M_r(t) \geq \epsilon_{M_i} \quad (12)$$

若公式(12)表示公式成立,证明当前区域存在暴雨气象,此时需要启动系统的安全预警程序,否则无需执行预警程序。针对存在极端气象安全风险的区域,根据极端气象强度和紧迫性选择安全预警等级,其中极端气象强度和紧迫性参数的计算公式如下:

$$\begin{cases} Q = c_g - \epsilon_c \\ \varphi = t_{\text{occur}} - t_0 \end{cases} \quad (13)$$

式中, c_g 和 ϵ_c 表示任意极端气象参数的估算结果与安全阈值设定结果, t_{occur} 为极端气象的发生时刻,通过任意时刻气象参数估算结果与安全阈值的比对,可以得出极端气象发生时刻的具体取值,最终计算得出极端气象强度和紧迫性参数取值越大,启动的安全预警等级越高。在优化设计的预警系统中,设置三级预警,分别以红色预警、黄色预警和蓝色预警3种形式表示,其中红色预警等级最高,在执行蓝色预警程序过程中,将相关的预警信息发送给系统管理人员,无需启动报警器中的蜂鸣器装置,若经过判断执行观测数据安全黄色预警程序,在蓝色预警的基础上启动蜂鸣器装置,而启动红色预警时,则需要启动蜂鸣器装置,并将预警信息发送至目标区域内所有的用户终端,当极端气象观测数据低于设置的安全阈值条件时,退出预警程序。

5 实验分析

系统测试实验的目的是验证优化设计基于遥感卫星的极端气象观测数据安全预警系统各部件是否都能正常工作并完成预期任务,极端气象是否能够被及时、准确地预警。系统测试的基本思路是将其布设在多个研究环境下,系统执行预警任务并发出预警指令后,获取预警时间段内实际气象数据,判断该时刻是否发生预警的极端气象,进而得出系统的测试数据结果。极端气象观测数据安全预警的精准度和时效性对于极端气象的防御效果起到重要的影响作用,因此此次系统测试实验分别从预警精度和预警速度两个方面进行测试,并通过与传统预警系统的对比,体现出所设计系统在预警功能方面的优势。

5.1 研究区域概况

此次实验分别选择多个不同城市作为研究对象,其中A地区受台风影响较为严重,B地区和C地区极易出现以暴雨为主要形式的强对流天气,D地区每年会出现2次以上沙尘暴天气,E地区在冬季会发生多次冰雹现象。上述选择的研究区域均属于温暖湿润的亚热带海洋性季风气候和热带季风气候,由于上述地区发生极端气象事件的频率较高,具有安全预警价值,也满足系统测试实验的基本要求。

5.2 部署系统硬件设备

在选择的研究区域内,根据优化设计基于遥感卫星的极端气象观测数据安全预警系统的组成结构,对相关硬件设备进行布设与调试。将观测器、处理器以及报警器等设备安装在目标研究区域内,将5V电源插到输电线上,然后用一根串行电线连接到整个系统硬件,电源电路输出电压为4.2V和3.3V。极端气象观测数据安全预警系统运行

主机至少要有 512 M 的内存和 218 G 的硬盘，显卡不得低于 256 M。当准备工作做好后，用万用表测量硬件电路中电压，检查硬件设备是否存在运行错误，直到调试成功为止。另外，系统选择“泰罗斯”气象卫星作为遥感卫星观测数据的硬件支持，该气象卫星上装有实况转播和录音重放的摄像机和辐射计，可以在 12 个小时内一天一次地拍摄一幅照片，此外，它还增加了极高分辨的辐射计，中分辨力的辐射计，以及自 ITOS-D 以来的太阳质子监测器。

5.3 描述系统测试实验过程

优化设计的基于遥感卫星的极端气象观测数据安全预警系统在二维/三维地理信息系统 ArcGIS Engine 10.1 基础上，利用 VS2010 环境下 C# 编程实现对极端天气事件的 C/S 模型，实现对极端天气事件的快速、准确地预警。系统数据库使用了支持当前主流软件和硬件平台的 SQL Server 2012 R2；支持客户端/伺服器技术，浏览器/伺服器技术；对 C2 及以上的数据进行安全控制，并对其进行权限控制，可实现不同的数据备份模式；支持多个数据库的开发，并提供了一个三层体系，客户端/服务器体系的应用程序开发工具；并具备数据备份、恢复等功能。在系统运行前首先利用遥感卫星观测数据对气象观测数据进行采集，其中 A 地区的气象观测数据如图 6 所示。

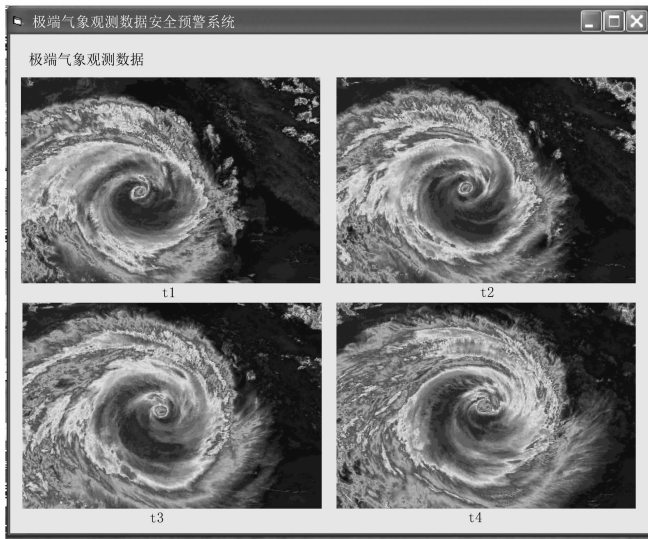


图 6 遥感卫星观测图像数据示意图

按照上述方式可以得出其他所有研究区域遥感卫星观测数据样本的收集结果。根据图 6 表示的观测数据，通过参数估算、预警响应等步骤，得出极端气象观测数据安全预警系统的输出结果，如图 7 所示。

重复上述流程，即可得出各个研究区域实时安全预警的响应与输出结果，若系统执行安全预警程序，则启动对应地区的气象数据采集任务，获取极端气象预警时刻前后 3 天的气象数据，以此作为验证系统预警功能的比对标准。为体现出所设计系统在预警功能方面的优势，设置传统的基于密度峰值聚类的气象预警系统和基于深度学习方法的

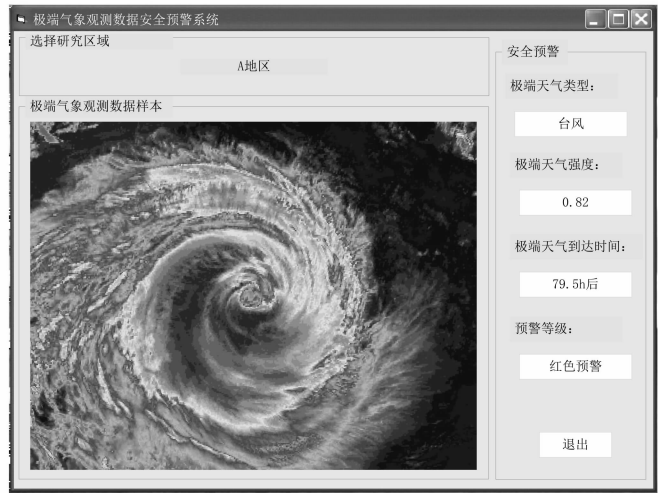


图 7 极端气象观测数据安全预警系统输出界面

气象预警系统作为实验的对比系统，在相同的实验环境下，完成对两个传统系统的开发并得出相应的预警结果。

5.4 系统测试指标的计算公式

根据实验目的分别从观测数据预警精度和预警速度两个方面设置系统测试指标，反映预警精度的测试指标为预警时间偏差、误警率和漏警率，反映预警速度的测试指标为系统响应时延。各个指标的含义及计算公式如下。

1) 预警时间偏差：预警时间偏差通常定义为实际预警时间与实验预警时间之间的差异。实际预警时间是指极端天气的实际发生时间。实验预警时间则是指系统对观测数据的安全预警时间。预警时间偏差指标可以用来评估预警系统的准确性和及时性。如果实际预警时间早于理想预警时间，说明预警系统可能存在超前预警的情况；如果实际预警时间晚于理想预警时间，则说明预警系统可能存在滞后预警的情况。计算公式如下：

$$\sigma = |t_{\text{early warning}} - t_{\text{occur}}| \quad (15)$$

式中， $t_{\text{early warning}}$ 和 t_{occur} 分别表示系统对观测数据的安全预警时间和极端天气的实际发生时间。

2) 误警率和漏警率：误警率是指系统错误地发出预警信号的概率。误警率反映预警系统的准确性，如果误警率过高，可能会对公众产生误导，甚至可能影响应急响应效率。漏警率是指预警系统未能检测到实际出现的极端气象条件的概率。漏警率反映预警系统的完整性，如果漏警率过高，可能会对公众的安全造成威胁。计算公式如下：

$$\begin{cases} \mu_{\text{false alarm}} = \frac{n_{\text{false alarm}}}{n_{\text{expect}}} \times 100\% \\ \mu_{\text{Miss Alarm}} = \frac{n_{\text{expect}} - n_{\text{early warning}}}{n_{\text{expect}}} \times 100\% \end{cases} \quad (16)$$

式中， $n_{\text{false alarm}}$ 、 n_{expect} 和 $n_{\text{early warning}}$ 分别为误警次数、预期的安全预警次数以及系统的实际预警次数。最终计算得出预警时间偏差值越低、误警率和报警率取值越小，证明对应系统的预警精度越高。

3) 系统响应时延：系统响应时延通常定义为从遥感卫

星探测到极端气象事件发生到系统生成并发送预警信息的时间差。系统响应时延指标可以用来评估预警系统的及时性和效率。如果系统响应时延过长，可能会导致预警信息失去时效性，无法及时传递给用户，影响应急响应效果。计算公式如下：

$$\delta = t_{\text{observe}} + t_{\text{operation}} + t_{\text{execute}} \quad (17)$$

式中，变量 t_{observe} 、 $t_{\text{operation}}$ 和 t_{execute} 分别表示的是系统观测、运算和执行环节的运行时间。计算得出指标 δ 取值越小，证明对应系统的响应速度越快。

5.5 系统测试实验结果与分析

测试以 ABCDE 地区作为研究区域，在系统运行前利用遥感卫星观测数据对这 5 个地区的气象观测数据进行采集，作为极端天气的实际数据，输入系统作为初始数据。系统预警时间偏差的测试数据以目标时间与当前时间的距离来表示，通过系统的预警结果，得出系统预警时间偏差指标的测试结果如表 3 所示。

表 3 系统预警时间偏差测试数据表

研究区域编号	预警目标时间/h	基于密度峰值聚类的气象预警系统输出预警时间/h	基于深度学习方法的天气预警系统输出预警时间/h	基于遥感卫星的极端气象观测数据安全预警系统输出预警时间/h
A	79.6	78.7	79.1	79.5
B	104.3	105.2	104.8	104.5
C	85.5	84.3	84.7	85.2
D	62.3	63.5	62.9	62.4
E	75.8	74.6	75.2	75.6

将表 3 中的数据代入到公式 (15) 中，计算得出两种传统系统输出极端气象观测数据安全预警时间偏差的平均值分别为 1.08 h 和 0.60 h，所设计系统的平均预警时间偏差为 0.18 h。由此可见，所设计系统的预警时间偏差较小，证明系统的准确性和及时性较好。通过公式 (16) 的计算，得出系统误警率和漏警率的测试结果，如图 8 及表 4 所示。

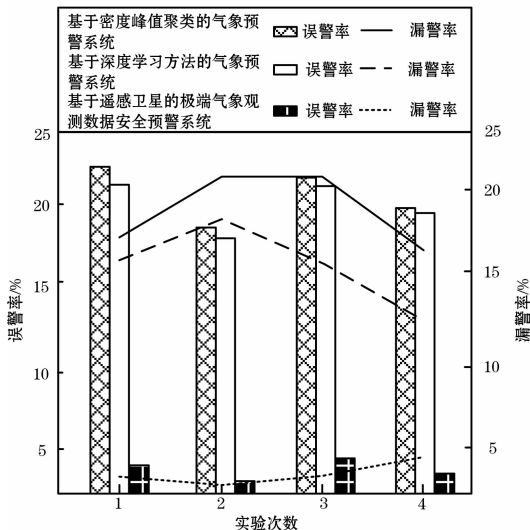


图 8 系统误警率和漏警率测试对比结果

表 4 系统误警率和漏警率测试数据表

实验次数	基于密度峰值聚类的气象预警系统		基于深度学习方法的天气预警系统		基于遥感卫星的极端气象观测数据安全预警系统	
	误警率 /%	漏警率 /%	误警率 /%	漏警率 /%	误警率 /%	漏警率 /%
1	23.0	17.5	21.6	16.1	3.4	2.4
2	18.4	22.1	19.8	18.3	1.7	1.7
3	22.5	22.1	22.1	15.8	3.8	2.7
4	19.2	16.8	19.0	13.8	2.1	4.1

系统误警率指标的测试综合考虑预警等级错误和预警状态错误两个部分，且在系统预警性能测试过程中假设研究区域只发生一次极端气象。从图 8 及表 4 中可以看出，所设计系统的安全误警率和漏警率平均值分别为 2.8% 和 2.7%，基于密度峰值聚类的气象预警系统的安全误警率和漏警率平均值分别为 20.7% 和 19.6%，基于深度学习方法的天气预警系统的气象预警系统的安全误警率和漏警率平均值分别为 20.6% 和 16.0%。与两种传统系统相比，所设计系统的误警率和漏警率明显降低。所设计系统利用遥感卫星观测数据获取气象观测数据，通过提取气象观测数据特征，估算极端气象参数，能够更加准确地反映天气状况，有助于提高预警的准确性和降低误警率。

通过系统运行数据的统计与公式 (17) 的计算，得出系统预警速度的测试结果，如图 9 及表 5 所示。

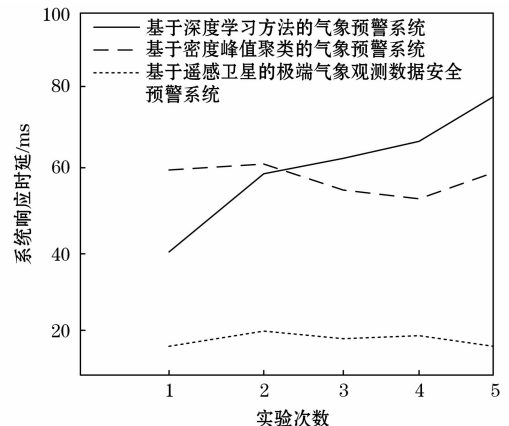


图 9 极端气象观测数据安全预警系统响应时延测试曲线

表 5 极端气象观测数据安全预警系统响应时延测试数据表

实验次数	基于密度峰值聚类的气象预警系统响应时延/ms	基于深度学习方法的天气预警系统响应时延/ms	基于遥感卫星的极端气象观测数据安全预警系统响应时延/ms
1	60.4	40.6	14.1
2	61.1	58.1	20.4
3	55.3	61.6	15.8
4	53.9	68.2	17.1
5	58.7	77.9	14.6

从图 9 及表 5 中可以看出，所设计系统响应时延平均值为 16.4 ms，基于密度峰值聚类的气象预警系统响应时延为 57.6 ms，基于深度学习方法的天气预警系统响应时延为

57.1 ms。所设计系统明显优于两种传统安全预警系统。所设计系统通过设计并优化遥感卫星观测数据校准器、观测数据采集器、处理器、安全报警器等硬件设备,提高了系统的性能和稳定性。通过构建和连接遥感卫星、暴雨极端天气等数据库表,建立了系统数据库,使得系统能够更加高效地存储和处理数据,为快速预警提供了数据支持。

6 结束语

针对极端天气事件预警精度低的问题,提出基于遥感卫星的极端气象观测数据安全预警系统设计。该方法构建了遥感卫星、暴雨极端天气等数据库表,并实现了与系统的连接,通过系统硬件和数据库的支持,提高了气象观测数据的获取和处理速度,为及时预警提供了保障。利用遥感卫星观测数据获取气象观测数据,能够更加及时和全面地提取气象观测数据特征,估算极端气象参数。在安全预警系统中综合极端气象强度和紧迫度参数,实现系统的安全预警功能,有助于提高预警的准确性和及时性。实验结果证明,该系统具有较高的预警精度和响应速度,能够实现极端气象观测数据准确、全面的预警,节省了部分人力,提升了工作效率,能够为极端气象灾害的防御提供有效参考。

参考文献:

- [1] 樊仲欣, 焦圣明, 谭桂容. 基于密度峰值聚类的气象灾害识别[J]. 自然灾害学报, 2023, 32 (1): 171-182.
- [2] 陈鹤, 蔡荣辉, 陈静静, 等. 基于深度学习方法的气温预报技术应用与评估[J]. 气象, 2022, 48 (11): 1373-1383.
- [3] 罗芳琼, 陆虹, 秦川, 等. 基于 LSTM NN 特征提取的低温气象灾害预报方法研究[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51 (10): 169-182.
- [4] 张东明, 卢兴来, 杨豪, 等. 新一代天气雷达产品故障识别及监测预警系统设计实现[J]. 气象科技, 2023, 51 (3): 381-387.
- [5] 雒福佐. 基于 WebGIS 的特殊气象特征安全监测预警系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30 (1): 41-46.
- [6] 何遵文, 杜川, 张焱, 等. 多场景卫星通信信道动态建模

(上接第 192 页)

- [20] AZURMENDI I, ZULUETA E, LOPEZ J, et al. Cooktop Sensing Based on a YOLO Object Detection Algorithm[J]. Sensors, 2023; 23 (5).
- [21] 陈嘉靖, 李龙飞. 基于 YOLOv5 神经网络模型的违采视频检测[J]. 水利技术监督, 2021 (8): 61-63.
- [22] 周裔扬, 邓三鹏, 祁宇明, 等. 基于 YOLOv5 的移动机器人目标检测算法的研究[J]. 装备制造技术, 2021 (8): 15-18.
- [23] HU J, SHEN L, SUN G. Squeeze-and-Excitation networks [C] //Salt Lake City: Computer Vision and Pattern Recognition, 2018; 7132-7141.
- [24] WOO S, PARK J, LEE J, et al. CBAM: Convolutional Block Attention Module [C] //European: European Conference on Computer Vision, 2018; 3-19.

- 与仿真实现[J]. 电波科学学报, 2023, 38 (1): 87-95.
- [7] 尤嘉铖. 面向气象观测设备的移动边缘计算卸载算法[J]. 信息技术, 2022, 46 (3): 78-83.
- [8] 赵彦阳, 惠小东, 金鑫. 基于气象精细化数据的电网灾害监测预警系统设计[J]. 电子设计工程, 2021, 29 (16): 185-188, 193.
- [9] 江威. 多源卫星遥感数据陆表水体产品生成方法研究[J]. 测绘学报, 2023, 52 (2): 347-347.
- [10] 孙健, 曹卓, 李恒, 等. 人工智能技术在数值天气预报中的应用[J]. 应用气象学报, 2021, 32 (1): 1-11.
- [11] 王小兰, 张雪芬, 张婷, 等. 气象观测设备测试与试验系统设计及实现[J]. 气象科技, 2021, 49 (5): 707-715.
- [12] 肖柳斯, 张华龙, 张旭斌, 等. 基于 CMA-TRAMS 集合预报的“5·22”极端降水事件可预报性分析[J]. 气象学报, 2021, 79 (6): 956-976.
- [13] 杨扬, 卢冰, 王薇, 等. 基于 WRF 的积云对流参数化方案对中国夏季降水预报的影响研究[J]. 气象学报, 2021, 79 (4): 612-625.
- [14] 侯奇奇, 杨柳, 张秀琼, 等. 基于 GIS 的水稻气象灾害风险评估——以四川广元旺苍县为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43 (5): 35-45.
- [15] 于文颖, 纪瑞鹏, 李卓群, 等. 辽宁省玉米复合农业气象灾害判识及特征[J]. 应用生态学报, 2021, 32 (1): 241-251.
- [16] 张昕冉, 孙洪运, 张立涛. 多场景智慧高速公路的交通气象观测站点布设[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19 (11): 3447-3456.
- [17] 杨秋明. 冬季长江下游地区气温低频振荡和低温天气的延伸期预报研究[J]. 大气科学, 2021, 45 (1): 21-36.
- [18] 夏网萍, 汤洁, 庄潇然, 等. 淮安一次强风雹天气超级单体风暴观测分析[J]. 气象科学, 2022, 42 (6): 835-843.
- [19] 孙宇婷, 郑向东, 卞建春, 等. 夏季青藏高原北部对流层臭氧垂直分布的观测研究[J]. 气象学报, 2022, 80 (5): 806-818.
- [20] 管理, 戴建华, 陶岚, 等. QVP 方法在双偏振雷达冬季降水观测中的应用[J]. 应用气象学报, 2021, 32 (1): 91-101.
- [25] NINGNING M, XIANGYU Z, JIAN S. Funnel Activation for Visual Recognition[J]. arXiv: 2007.11824v2, 2020.
- [26] 林思克, 陈金伟, 黄思桦. 基于深度学习的学生行为检测研究[J]. 中国多媒体与网络教学学报, 2022 (6): 237-240.
- [27] MARTINEZ F, FERREIRO J, FRAILE E, et al. A comparative study of six model complexity metrics to search for parsimonious models with GAParsimony R Package[J]. Neurocomputing, 2020 (prepublish)
- [28] ANSHUL G, ABHISHEK S, ANUJ K, et al. Video Fire and Smoke Based Fire Detection Algorithms: A Literature Review[J]. Fire Technology, 2020, 56 (prepublish).
- [29] 马琳琳, 马建新, 韩佳芳, 等. 基于 YOLOv5s 目标检测算法的研究[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17 (23): 100-103.