

利用多普勒天气雷达资料建立 灾害性天气的监测和预警系统

段文广¹, 安林², 魏敏³

(1. 甘肃省兰州市气象局, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省兰州市人工影响天气办公室, 甘肃 兰州 730020;
3. 山东省滨州市气象局, 山东 滨州 256600)

摘要:多普勒天气雷达是目前对短时强对流天气进行监测的主要手段之一。为了能够使多普勒天气雷达资料在业务预报中得到更加准确、方便的使用,设计开发了利用 CINRAD/CC 新一代多普勒雷达资料建立对临近灾害性天气的监测和预警数据库系统。该系统采用 Visual C++ 6.0 + SQL Server 2000 为开发环境,由雷达原始数据采集和处理系统、雷达图像的显示系统、雷达数据库系统、监测及预警信息的发布系统、客户端应用系统等部分组成,有较好的兼容性和可移植性。实现了实时显示、入库、监测和预警、动画回放等功能,并且系统资源占用少、效率高。能够方便地为气象业务人员使用,帮助预报人员更好地分析天气系统的内部结构及发展趋势,特别是在临近预报和帮助人影值班人员指导防雹作业等方面均能发挥十分重要的作用。

关键词:多普勒天气雷达;实时显示;数据库;监测和预警

中图分类号:P456.9

文献标识码:A

引言

多普勒天气雷达是目前研究中尺度对流系统的主要观测手段之一,能够准确、迅速、细致地提供时空连续的云体内部结构的演变过程,在对暴雨、雷雨大风、冰雹等灾害性天气的警戒和临近预报中发挥了重要的作用。随着新一代多普勒天气雷达在全国各地相继投入使用,气象部门对雷达产品及其用途有了更深的认识,并积累了丰富的经验,在开发利用雷达产品、产品本地化工作、建立自动识别系统及短时临近预报等方面取得了很大的进步。

甘肃地处青藏、蒙古、黄土 3 大高原交汇处,地形异常复杂。局地暴雨、冰雹等强对流天气给当地农业经济造成巨大损失。兰州市气象局针对灾害性天气预报做了大量工作。但预报员对于雷达资料的应用还处于看图识字的水平,在做预报时还在手工调取雷达图,常常因为没有方便的预报工具而发愁。

为了能够使多普勒天气雷达资料在业务预报中得到更加准确、方便的使用,使预报员的经验能够转化为实际的预报产品,我们开发了利用多普勒天气雷达资料建立对临近灾害性天气的监测和预警数据库系统。本系统能够实时显示皋兰山顶的 CINRAD/CC(3830)新一代 C 波段全相干脉冲多普勒天气雷达每 6 min 图像资料,界面除提供常规的回波强度、径向速度和速度谱宽的显示功能外,增加数据的后台数据库的存储功能、动态调用雷达图像、利用预警规则进行预警通告等功能。该系统功能齐全、界面简洁,能够方便地为气象业务人员使用,帮助预报人员更好地分析天气系统的内部结构及发展趋势,特别是在临近预报和指导防雹作业等方面均能发挥十分重要的作用。

1 系统设计原理

为了更好地配合气象业务系统对灾害性天气的变化进行实时监测,为各级政府提供决策信息服务,

收稿日期:2008-10-07;改回日期:2009-02-06

基金项目:“2007~2008 年度甘肃省气象局青年优秀人才”基金资助

作者简介:段文广(1975-),男,甘肃酒泉人,网络工程师,在读硕士,主要从事气象信息网络维护工作。

我们利用气象信息共享系统提供的网络基础,设计并建立了雷达资料监测和预警及数据库系统。它可以收集、处理、管理、提供雷达观测系统得到的各类实时产品资料,能够定量描述天气变化的精确图像,并可提供基于广域网网络的实时信息浏览、查询等功能。该系统既为灾害性天气的监测和防灾、减灾提供了及时有效的监测手段;也为更有效地应用雷达资料进行气象科学研究提供了方便。

本系统采用了软件工程中自顶向下、逐步求精的设计思想,采用 Visual C++6.0 + SQL Server 2000 作为开发环境,支持 WindowsNT/XP/2000。Visual C++是面向对象的语言,编写的代码具有较好的可用性、可靠性和连续性,可以方便快捷地制作友好的图形用户界面。软件系统利用 VC++面向对象的特征,采用模块化的设计思想,每个功能模块由一个或者多个类来实现,模块之间的数据传递是通过类的公有变量和公有函数来实现的,为了确保类的封装、独立和安全特性,尽量少使用公有成员,通过指针变量来存储和交换数据,提高动态利用内存的效率。

2 系统功能

按功能和处理流程不同将程序划分为几个不同的子系统,如图 1 所示,系统功能和处理流程依次是雷达原始数据采集和处理系统、雷达图像的显示系统、雷达数据库系统、监测及预警信息的发布系统、客户端应用系统等。

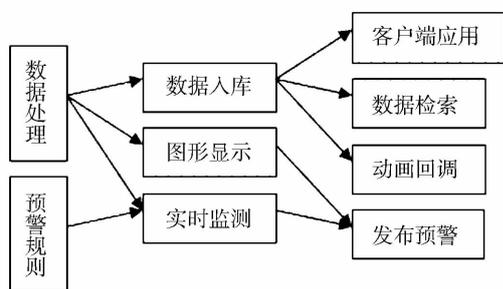


图 1 系统功能和处理流程

Fig. 1 The function and flowchart of the system

2.1 雷达原始数据采集和处理系统

(1)雷达数据的采集。通过已建成的全省气象广域网系统,利用 FTP 传输协议,实时下载省局服务器上的最新雷达资料,使用 WIN32 的 API 函数,监听本地目录雷达资料改变的事件,及时触发雷达

数据的处理。

(2)雷达数据的处理。根据 38 所(四创公司)提供的雷达数据格式,分析雷达的数据部分。雷达报文使用的是极坐标,3 个维度分别是仰角(用仰角层索引)、方位角(用径向索引)、距离(用径向库索引),该数据首先通过仰角层索引,即有 14 块数据(可以称为仰角层数据),分别对应从最低仰角层到最高仰角层所采集的数据。其次每一块仰角层数据按径向进行索引(从 1 到 512),共有 512 个二级数据块(方便起见称为径向数据)。再次每一块径向数据又由物理要素索引,共有 3 个 3 级数据块(方便起见称为要素数据块),分别代表了回波强度、径向速度、速度谱宽。最后每一块要素数据块由径向库进行索引,共有 500 个径向库数据块,每一个径向库数据块大小为 2 byte,在 C 语言里可以由 unsigned short 表示。综上,雷达数据部分由仰角层、径向、要素、径向库作为其索引,如图 2 所示的雷达报文结构。雷达所能扫描的半径(150 km)等分为 500 份,这样,扫描的网格点数有 $14 \times 512 \times 500$ 个,每个点采集 3 个物理量,即回波强度、径向速度、速度谱宽。

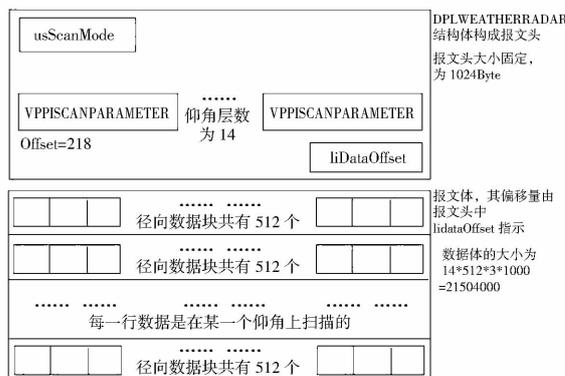


图 2 雷达报文结构

Fig. 2 The structure of radar message

(3)基础的物理量数据及计算方法。 Az 为方位,计数单位为 0.01° ; Z 为雷达回波强度:0 表示无回波,64 表示 0 dBz,0.5 dBz 为量化单位; V 为径向速度: -128 表示无回波, -127 ~ +127 表示测速的范围,该范围为最大不模糊速度,远离雷达为正,朝向雷达为负; W 为谱宽: -128 表示无回波,0 ~ 127 表示谱宽的范围,该范围为最大不模糊速度。

2.2 雷达图像的显示

(1)显示方法。使用强大的 C++ 图像库 Cx-Image,用于进行动画、图像在内存中的操作、图像的加载和保存。具体算法是将某一个仰角的所有点

(位于锥形面上)拓展在平面(屏幕所在的面)上,根据物理要素的强度标以不同的颜色值,然后根据需要进行插补,使显示更为平滑。

(2)图像显示。根据采集和处理系统得到的雷达数据,实时显示多普勒天气雷达观测的最新数据,方便预报员分析雷达回波。各模块由相应的下拉菜单项或工具完成,鼠标所指位置的信息均在状态栏显示(图略)。各功能的操作几乎只需用户在选项间进行选择,无需手工输入。显示包括不同距离的多层体扫回波强度、径向速度和速度谱,并且可方便快速的实现图像的缩放功能。

2.3 雷达数据库系统

雷达资料数据库系统用以实现雷达信息的存储、检索等服务。它将多普勒天气雷达系统观测的数据通过雷达原始数据采集和处理系统的处理之后,存入雷达资料数据库中,并通过客户端进行调用显示。雷达资料数据库的设计充分考虑了雷达资料数据量大、实时性要求高的特点,配以高性能服务器、大容量数据存储设备,使用 SQL Server 数据库系统,系统结构模式采用 Client/Server(客户/服务器)体系结构,方便客户端的使用,实现了基于网络的雷

达资料共享。

(1)雷达数据的入库。使用微软的 ADO 等数据库访问接口和 COM 编程技术,访问 SQL Server 数据库。利用多线程技术在雷达图像显示的同时进行入库操作。由于经常要将在线数据离线存放并且数据库存储量比较大,增加了一些入库判断条件,过滤掉了一些不重要天气的雷达数据。在数据库结构的设计中,其中雷达二进制报文字段采用 image 类型的字段,这种类型的字段有效地解决二进制大对象(BLOB)的存储问题。

(2)历史雷达资料的数据库查询。可查询数据库里保存的各类历史雷达产品的数据和图像。查询方式分为按时间段和历史查询,可以方便地查询到历史上任何时刻的雷达资料,查询结果可以即时显示(图3)。在雷达资料数据库中建立2张表,一张是图像表,一张是数据表。雷达数据将以2种形式分别写入雷达数据库中的两张表,并进行关联。用户查询资料时,通过雷达图像查询即可得到所需要的图像产品和与之相关联的数据产品,在客户应用程序上可以显示图像,也可以下载原始数据,为进一步分析研究提供了方便。

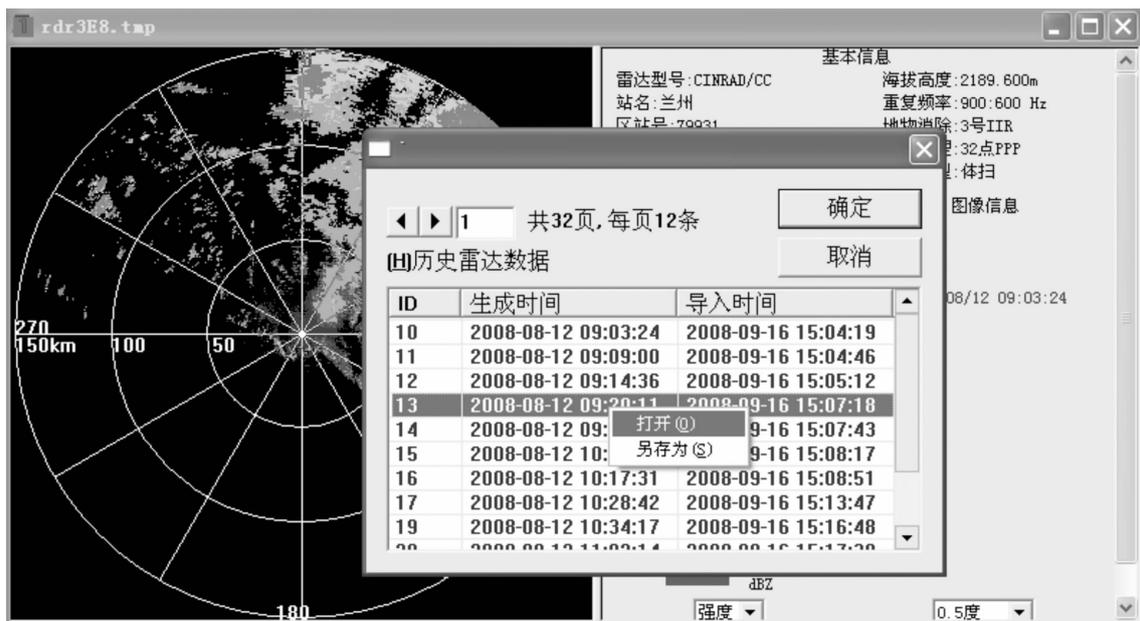


图3 雷达资料的查询

Fig. 3 The inquiry interface of radar images

(3)雷达图像的回调和动画显示。可以指定时间界,从数据库中调取保存的图像,以帧的方式播放相关

的雷达动画,时间间隔可以选择0.5 s到5 s不等(图4)。并且使用双缓冲技术,实现动画的平滑切换。

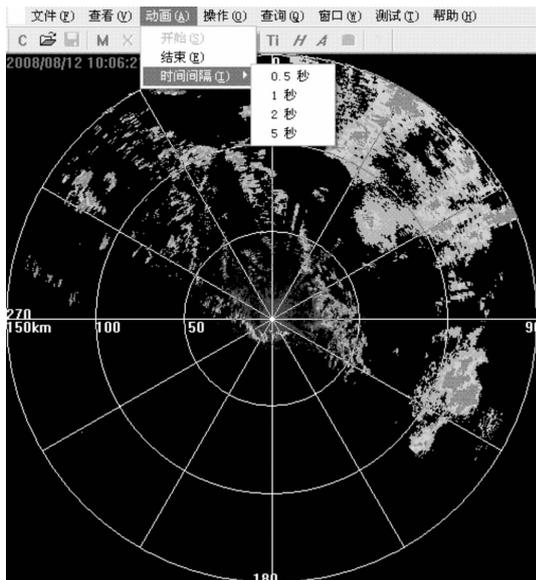


图4 雷达图像的动画显示

Fig.4 The dynamic display interface of radar images

2.4 监测及预警信息发布系统

使用多线程技术监测新采集的雷达报文,判断是否与预警规则匹配,如果匹配则发布包括文字和声音的预警信息,提醒预报员注意(图5)。预警信息的主要内容包括预警时间、强回波中心出现的坐标值、强回波中心的最大回波的回波强度、速度、谱宽等。

2.5 客户端应用系统

利用数据库的客户/服务器模式,开发客户端应用程序,实时对数据库记录进行监控,根据数据库中的最大的ID进行比较,判断是否是新增加的报文,如果是,则显示最新的雷达资料。否则,线程休眠一段时间(1 min),重新连接数据库进行查询。并可开启预警功能,对重要的天气现象进行监测和预警。县站的预报和人影业务人员可以很方便地利用该系统在本地自动调取数据库中的雷达资料,避免了人工操作。



图5 预警信息

Fig.5 Warning information interface

3 预警规则和方法

3.1 预警规则的制定

天气雷达是对强对流天气(冰雹、大风、暴雨)进行监测和预警的主要工具之一。为了提高本系统的预警能力,必须对业务运行中所探测到的强对流天气个例进行归类分析和总结,建立基于多普勒天气雷达产品的、适用于本地的强对流天气预警预报方法。但由于强对流天气的天气过程相当复杂,很

难给出一个针对某一类型强对流天气的预警阈值。以冰雹天气为例,根据有关本地预报经验值:回波强度是区别强雷暴和冰雹的重要特征参量。从永登防雹试验区自1973年以来36次典型冰雹云过程回波强度的变化情况可以看出,不同的降雹云有不同的Ze值和不同的回波顶高,涡旋雹暴起始发展高,强度最强达50 dBz;龙卷雹暴高度为10 200 m,最大强度40 dBz;飢线雹暴最大高度为9 100 m,最大强度达40 dBz;强单体最大高度为8 300 m,强度达45

dBz;一般单体回波高度在 6 000 m,最大强度达 48 dBz。雹暴在不同时段也有较大变化。大量不同冰雹云过程在各回波高度层的回波强度最大贡献区在 8 000 m 以上^[1]。无论哪一种雹暴,都有一个共同点,即在雹云的上半部维持较大的反射率,对于绝大多数雹云强回波区域均 > 6 km;对某些强雹云,高度达 8 km 以上。强反射率区伸展越大,雹云越强,地面降雹越大^[2-3]。初夏冰雹云的生成与盛夏有较大区别,初夏冰雹云的云体较低,云体一般在 10 ~ 12 km 左右,45 dBz 高度在 7 ~ 8 km 左右,而盛夏冰雹云的云体一般在 12 ~ 14 km;45 dBz 高度在 9 ~ 10 km 左右。不同季节冰雹云的标准也不同,不同强度冰雹云的标准也不同^[4]。但是无论何种季节,雹云的平均回波顶高均 > -20 °C 等温线高度值,一般雷雨云的平均回波顶高对应的温度为 -23.0 °C 左右。弱雹云的平均回波顶高对应的温度为 -37 °C 左右;中等强度的雹云的平均回波顶高对应的温度为 -42.6 °C 左右;强雹云的平均回波顶高对应的温度为 -45.6 °C^[5-6]。根据以上经验值制定规则如下:强回波区域均 > -20 °C 等温线高度值,强回波中心 \geq 45 dBz 为一般单体预警阈值;强回波区域均 > -37 °C 等温线高度值,强回波中心 \geq 45 dBz 为强单体预警阈值;强回波区域均 > -42.6 °C 等温线高度值,强回波中心 \geq 40 dBz 为飏线雹暴预警阈值;强回波区域均 > -45.6 °C 等温线高度值,强回波中心 \geq 40 dBz 为龙卷雹暴预警阈值。另外,多普勒天气雷达可探测到数百范围内的平均径向风场资料,低空急流与雷雨大风的关系十分密切,这条强劲的气流是向雷雨大风区输送水汽、热量和不稳定能量的快速输送带,所以可将低空的径向速度大值区做为雷雨大风天气预警的一项规则,但我们目前对多普勒天气雷达径向速度大值区进行定量读取时,还暂时无法在系统应用中制定出相应的临界预警值,还需在实践应用中进一步探讨。

3.2 预警方法的描述

本系统将预先制定的预警规则,形成一定的预警专家库,当监测到有最新的雷达回波时,提取所需的雷达回波信息与预警专家库中各个规则的条件进行匹配,并把被匹配规则的结论存放到综合数据库中。最后,系统将得出最终的预警结论进行发布。预警结论的正确取决于预警专家库的优劣,而对于预警规则的制定需要预报员经过多年大量的观测形成专家经验,本文所涉及的规则是有关专家总结的

经验应用。在以后的应用当中可进一步对专家库进行修正、补充和完善,提高系统的预警能力。

4 系统使用效果分析

该系统在气象台近 4 个月的业务试运行当中,经过不断的修改和完善,基本上得到了预期的效果,对预报临近灾害性天气有一定的帮助。

(1)能够对超过预警阈值的一些强雷达回波及时发出报警信息。对冰雹等灾害性天气的预报提供一些便利,尤其是雷达图像的回调和动画显示,对于分析雹云移动路径、移动速度和强度变化提供了一个很便利的工具。有助于预报员形成正确的预报结果。但是由于本系统运用的预警规则比较单一,且粒度较粗,误报率比较大,经常出现对回波强度很大的单点发出误报的错误信息。

(2)能够对重要天气过程的雷达回波进行保存,方便预报员对历史的数据进行查询和分析。但是后台的所需的数据库对计算机存储和性能要求比较高,气象台现有的计算机还无法满足要求,只能存储少部分的数据。

5 结 语

本系统实现了对雷达数据的读取、预处理、入库、显示、预警等功能,具有良好的兼容性和可移植性,可以在 WindowsNT/2000/XP 等操作系统下运行,系统具有如下特点:

(1)系统采用数据库管理系统对资料进行建库和管理,形成 Client/Server(客户端/服务器)的体系结构,服务灵活方便,数据管理规范,易于查询和使用。

(2)建立的雷达资料监测和预警系统具有实时性,它与省局雷达资料服务器系统连接,可将观测数据实时入库,提供监测预警和实时查询功能,并且可以动画显示多幅图像。

(3)用户界面友好,用户只需要客户端应用程序即可监测、查询、浏览、下载所要的数据。操作简单、明了,查询速度快。

由于缺乏多普勒雷达对灾害性天气临近预报的资料,本系统只是一个简单的监测和预警。进一步的利用雷达资料进行外推,对系统的移动路径和强度变化趋势进行预报,开发灾害性天气临近预报系统;使用多普勒雷达体扫资料,计算垂直累积液态含水量等将是下一步的工作重点。

参考文献:

- [1] 渠永兴,张强,康凤琴. 甘肃永登强对流云的雷达气候学特征分析[J]. 高原气象,2004,23(6):774-780.
- [2] 廖远程. 甘肃冰雹云结构研究[M]. 北京:气象出版社,1990. 42-49.
- [3] 廖远程. 甘肃省降雹时段强度与区域的研究[A]. 全国减轻自然灾害论文集[C]. 北京:科学出版社,1990. 491-495.
- [4] 刘勇,张科翔,周丽峰,等. 2002年陕西冰雹特点及雷达回波特征[J]. 陕西气象,2003(1):14-17.
- [5] 吴玉霞,胡朝霞,李宏宇,等. 旬邑地区冰雹云的早期识别及数值模拟[J]. 高原气象,2002,21(2):159-166.
- [6] 廖远程. 强雹暴与强雷阵雨的某些异同分析[J]. 高原气象,1988,7(4):382-386.

Monitoring and Warning System for Severe Weather Based on Doppler Radar Data

DUAN Wenguang¹, AN Lin², WEI Min³

(1. Lanzhou Meteorological Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Lanzhou Weather Modification Office, Lanzhou 730020, China; 3. Binzhou Meteorological Bureau of Shandong Province, Binzhou 256612, China)

Abstract: The Doppler weather radar has become one of the chief means to monitor short-term severe convective weather at present. We designed and developed the monitoring and warning database system for severe weather based on the CINRAD/XD Doppler weather radar data. The system uses Microsoft Visual C++ 6.0 programming languages and SQL Server 2000 database as the development environment. It contains five important parts: data acquisition and processing system, image display system, database system, monitoring and warning system, client application system. The system can achieve some functions such as real-time display, storage, monitoring and warning, animation playback, and has good compatibility and portability. It can be used very easily and conveniently. The system can help forecasters analyze the internal structure and developing trend of weather system. Especially in some respects, for example, nowcasting and weather modification, it can play very important role.

Key words: Doppler weather radar; real-time display; database; monitoring and warning