

基于 GIS 的内蒙古中部地区多源雷达回波拼图

于雪涛^{1,2}, 余志伟^{1,2}, 芮小平³, 奚砚涛⁴, 董前林^{1,2}

1. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083
2. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083
3. 中国科学院研究生院资源与环境学院, 北京 100049
4. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏徐州 221116

摘要 为了做到内蒙古中部地区天气的实时监测, 研究了该地区新一代天气雷达基本反射率产品和 713 雷达平显回波等多源雷达回波数据的拼合方法。首先阐述了两类回波数据的存储结构和格式, 然后设计了两类径向数据向二维矩阵数据转换的算法, 研究了该类数据转为栅格类型存储的直角坐标绘制模式, 并采用 ArcGIS Engine 二次开发组件进行了实现。最后基于 GIS 技术研究了两种回波图像进行区域拼图的方法, 并设计了回波图像拼合平台, 其能够根据用户的选择条件实时对该地区 4 部雷达的回波图像进行拼合。在包头市气象局的测试应用表明, 该平台可实现内蒙古中部地区天气的实时监测, 同时为气象预报员制作气象预警预报提供辅助决策。

关键词 内蒙古中部地区; 多源雷达; ArcGIS Engine; 回波拼图

中图分类号 P412.25

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.28.005

Mosaics of Multi-source Radar Echoes in Central Region of Inner Mongolia Based on GIS

YU Xuetao^{1,2}, YU Zhiwei^{1,2}, RUI Xiaoping³, XI Yantao⁴, DONG Qianlin^{1,2}

1. State Key Laboratory of Coal Resources and Mining Safety, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China
2. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China
3. College of Resources and Environment, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
4. School of Resources and Earth Science, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu Province, China

Abstract In order to monitor the regional weather in the central region of Inner Mongolia in real time, the radar mosaic obtained from the base reflectivity products of the new generation of weather radar and the Plane Position Indicator (PPI) echoes from 713 radar is studied. Firstly, the storage structure of the two types of echo data is analyzed in detail. And then, a translation algorithm is developed to turn both types of data into two-dimensional matrices, and the drawing mode of converting both types of files to the raster files under the rectangular coordinate system is used, and implemented by ArcGIS Engine. Finally, the paper considers the radar mosaic obtained from the two types of echo images, and has designed and developed the regional echo mosaic platform to merge the four radar echo images in real time according to the user's requirements. The application of this system produces very good results in the weather bureau of Baotou City, and it is shown that this platform can monitor the regional weather in the central region of Inner Mongolia in real time, to supply supplementary decision information for weathermen to make weather forecast and warning.

Keywords central region of Inner Mongolia; multi-source radar; ArcGIS Engine; mosaics of the radar data

收稿日期: 2011-07-15; 修回日期: 2011-09-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901191); 中国矿业大学(北京)中央高校基本科研业务费专项资金研究生科研专项(2010YD04)

作者简介: 于雪涛, 博士研究生, 研究方向为地理信息系统的气象应用, 电子信箱: yuxuetaoxp@163.com; 芮小平(通信作者), 副教授, 研究方向为地理信息系统的开发与应用, 电子信箱: ruixp@yahoo.com.cn

0 引言

提高强降水、冰雹等灾害性天气监测能力,对经济社会发展、人民生命财产安全等有重要意义。新一代天气雷达探测资料具有很高的时空分辨率,显著提高了对中小尺度天气系统的监测能力。但单部天气雷达的探测范围有限,不能探测大范围的天气系统,例如梅雨锋、台风等。为了提高对中尺度灾害性天气的研究以及预警能力,多部天气雷达组网联合探测是有效手段之一。要实现天气雷达的组网联合探测,关键是组网雷达资料的拼图。通过近几年新一代多普勒天气雷达布网工程的实施,中国新一代天气雷达已初步实现全国范围内的组网,并且组网拼图产品也已经广泛地应用于大范围的天气监测之中^[1-4]。

非新一代天气雷达所在地由于业务条件的差异,对雷达产品的应用明显有别于雷达布点区域,往往存在资料获取渠道单一、邻近雷达对其无法实现全境探测的问题,制约了雷达产品在本地业务工作中的应用。因此,地市级气象局结合本局的雷达资料,同时应用附近其他气象局的雷达资料,研究实现本市及周边范围内雷达回波的区域拼图,将对本区域的天气监测具有重要的意义。就内蒙古包头市而言,该市装备的气象雷达为 713 数字化天气雷达,其西面的巴彦淖尔市和东面的呼和浩特市装备的雷达为新一代天气雷达 CINRAD/CD 型雷达,南面的鄂尔多斯市装备的雷达为 CINRAD/CB 型雷达,因此如何实现这 3 种型号雷达回波资料的拼图与显示,做到对内蒙古中部地区天气的实时监测,成为气象研究工作者十分关注的问题之一。

国内外对于雷达组网拼图有关问题已有多方面研究成果,并且在实验中得到了应用^[1-5]。但在实际工程应用中还存在一些值得进一步研究的问题,现有研究大部分都没有结合 GIS,且研究的侧重点不一,如肖艳姣等^[3,5]重点研究资料插值方法与比较,胡胜等^[6]主要研究了雷达重叠区域的处理,王庆东等^[7]主要研究拼图的二维显示。对于多源异构雷达回波数据的拼合,目前还鲜有人研究。本文以内蒙古中部地区为例,结合 GIS 技术研究了该地区新一代天气雷达基本反射率产品和 713 雷达平显回波数据的拼合方法,设计开发了回波图像拼合平台,实现了该地区天气的实时监测。

1 回波数据介绍

呼和浩特、鄂尔多斯和巴彦淖尔市装备的新一代天气雷达,其生成的数据有很多种。其中第 19 类雷达产品基本反射率表示的是单位体积中降水粒子直径 6 次方的总合,其值大小反映了气象目标内部降水粒子的尺度和密度分布,主要用来表示气象目标的强度,单位为 dBZ。包头市装备的 713 雷达生成的平显回波图像数据 PPI,其记录内容的方式是以观测点为圆心,固定长度为半径,以某一个仰角值扫描一个圆锥面,并记录这个圆锥面的雷达反射因子 z 值,即回波强度值。反演该数据的一般方法是将该圆锥面上的数据投影到一个圆形范围内。它主要用来了解降水回波的平面分布。欲实现

上述两大类回波数据的拼合,首先要了解两种数据的格式、存储原理及结构。

1.1 基本反射率产品

基本反射率产品的数据存储结构包括信息头块(Message Header Block)、产品描述块(Product Description Block)和产品符号表示块(Product Symbology Block)。文件以二进制方式存储,采用高字节在前低字节在后的编码方式(Big Endian 方式),这和现在操作系统普遍采用的低字节在前高字节在后的编码方式(Little Endian 方式)正好相反。

产品文件的信息头块共占用 18 个字节,分别存储了产品号、生成时间、雷达站和接收站代号及文件包含的数据块的数目等。产品描述块共占用 102 个字节,分别存储了雷达站经纬度坐标、海拔高度、操作模式、体扫模式、体扫开始时间、产品生成时间和仰角代号等。产品符号表示块存储结构比较复杂,该块存储了块代号、块长度、数据层数及数据层信息。数据层中又存储了层长度及该层的径向数据包,其中块长度指的是整个块的字节数,层长度指的是径向数据包(Radial Data Packets)的字节数。该块的具体存储结构示意图如图 1 所示。对于径向数据包,该数据包内存储包识别码、第一个距离库的位置、组成一条径向数据的库数、扫描中心点的 I 和 J 坐标、比例因子、径向数据条数和多条扫描径向数据。每条扫描径向数据下,又存储了组成一组径向数据的双字节数、径向扫描的起始角、径向展角、径向距离和颜色等级。径向数据包的具体存储结构示意图如图 2 所示。径向数据包的识别码为 0xAF1F(0x 表示 16 进制数),其中径向数据是由 NumberOfRadials 个扇形组成,每个扇形又由 $2 \times$ NumberOfRLE 个小扇形环构成^[7-8]。

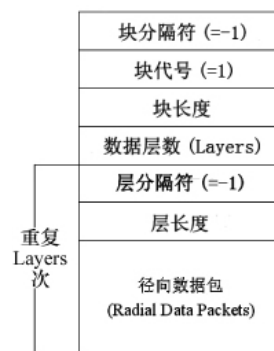


图 1 产品符号块存储结构

Fig. 1 Storage structure of product symbology block

在了解了基本反射率产品的数据存储结构后,作者采用 C# 编程语言实现了对回波数据的解析。首先根据各个数据块的存储结构建立嵌套的结构体,并根据各项数据所占的字节数定义大小,以临时存储回波数据。由于回波数据的编码为二进制格式,故采用 BinaryReader(二进制读取器)类依次实现对回波数据中三大数据块中所有数据项的读取。此外,由于数据采用高字节在前低字节在后的编码方式,和现在操作

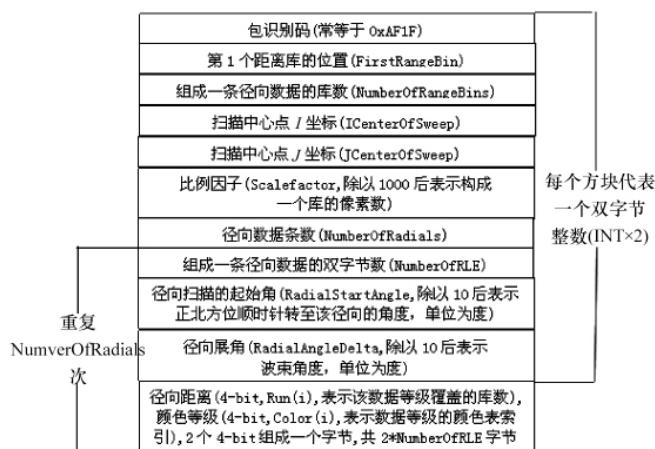


图 2 径向数据包存储结构

Fig. 2 Storage structure of radial data packet

系统普遍采用的编码方式正好相反,故在读取数据时,对于短整型和整型的数据,需对读到的几个字节做顺序调换,然后再根据数据的类型采用 BitConverter 类实现调换后的字节数组向短整型和整型的转换。

1.2 713 雷达平显数据

713 雷达的平显数据文件具有统一的命名格式,其基本形式为 xyymddhh.mms,通过首字母 x 可判断回波的扫描半径 (w:500km,p:250km,y:125km,l:62.5km),后面的数字则可以判定回波的获取时间。

713 雷达回波数据的编码为二进制格式。它的内容包括两部分,数据头和数据区。数据头共 1024 个字节,记录了雷达数据的基本信息,包括国名、省名、区站号、雷达型号、天线所在经纬度、海拔高度、扫描层数、扫描观测开始时间及结束时间、站代码等信息。这些信息所占用的字节数都是固定的,可以自定义一个结构体,以存储雷达图像的基本信息。除头信息外,其他都是数据区,数据区是由多条记录构成(按极坐标径向线排列),一条记录又有记录头和数据两部分组成,存储扫描仰角、方位角、当前扫描时间和 250 个回波反射率因子值(单位:dBZ)。对于 PPI,它的扫描范围为 360°,且它的扫描径线一般为 512 根,即 512 根扫描径线把 360°分成了 512 份,如果均匀分配,则每份占的角度为 0.703125°。每根扫描径线上,根据离扫描中心的远近均匀分配了 250 个数据,即对应位置处的回波反射率因子值^[9-11]。

2 栅格格式表示

在将回波数据读到内存中后,将回波采用矢量还是栅格格式表示是一个应该注意的问题。矢量格式的回波图能够比较容易地借助 GIS 的空间分析功能对之分析,但该格式回波也存在着明显的缺点,即实现该类数据的组网拼图不太容易。而栅格格式的回波数据,借助 GIS 的空间叠置分析可相对容易地实现回波拼图,故本文采用栅格格式表示雷达回波。栅格 img 格式的数据结构实际即为一个二维矩阵,而如何

从原始基本反射率产品和 713 雷达平显回波的极坐标存储结构中获取该二维矩阵就成了研究的难点。下面以基本反射率产品为例,讲述该类数据转换为栅格回波图像的方法,713 雷达平显回波的转换方法与之类似,不再赘述。

2.1 栅格矩阵获取

在获取栅格矩阵之前,首先需计算出雷达中心处在所在纬线圈和经线圈中每公里的经度增量 Ikmdx 和纬度增量 Ikmdy,由于涉及的范围不太大,故可以认为经纬度值在中心点坐标附近是均匀变化的。如下为经纬度增量的计算公式,其中 centerY 为雷达中心纬度值。

$$\begin{cases} Ikmdx=360/[\cos(centerY\times\pi/180)\times40075.67] \\ Ikmdy=360/40009 \end{cases} \quad (1)$$

然后计算单位库长在经度和纬度上的增量 AddXPerFactor 和 AddYPerFactor,其计算方法如下:

$$\begin{cases} AddXPerFactor=ScaleFactor/1000\times Ikmdx \\ AddYPerFactor=ScaleFactor/1000\times Ikmdy \end{cases} \quad (2)$$

其中,ScaleFactor 为组成一个库的像素数。从原始数据的径向数据包中可获得雷达扫描中心的 I 坐标和 J 坐标的值,即 ICenterOfSweep 和 JCenterOfSweep 的值,从而可知二维矩阵的行列数为 ICenterOfSweep $\times$ 2 和 JCenterOfSweep $\times$ 2。为了临时存储该二维矩阵的值,可定义一个二维数组 pupdata 存之,并且对该二维数组以 0 值进行初始化。在计算该二维数组的值之前,需对该二维矩阵中一个单位在 I 和 J 方向上的增量 AddXPerI 和 AddYPerJ 的值进行计算,其计算方法如下:

$$\begin{cases} AddXPerI=AddXPerFactor\times numberOfRangeBins/ \\ (ICenterOfSweep-1) \\ AddYPerJ=AddYPerFactor\times numberOfRangeBins/ \\ (JCenterOfSweep-1) \end{cases} \quad (3)$$

其中 AddXPerFactor 和 AddYPerFactor 为单位库长在经度和纬度上的增量,前面已经计算过。numberOfRangeBins 为组成一条径向数据的库数。此外,还需计算该产品的扫描半径 ScanRad,计算公式如下:

$$ScanRad=ScaleFactor/1000\times numberOfRangeBins \quad (4)$$

其中,ScaleFactor 为比例因子,除以 1000 后表示组成一个库的像素数。最终,作者设计二重循环来为二维数组 pupdata 赋值,外循环为遍历所有的行,内循环为遍历所有的列,以第 m 行第 n 列值的计算方法为例,其计算步骤如下:

(1) 定义布尔类型的标记变量 findValue 并赋为 false,该变量存储是否已得到计算值;

(2) 计算当前点的坐标,其中 centerX 和 centerY 为雷达中心的经纬度坐标,

$$\begin{cases} x=centerX+(m-ICenterOfSweep)\times AddXPerI \\ y=centerY+(n-JCenterOfSweep)\times AddYPerJ \end{cases} \quad (5)$$

(3) 然后计算雷达中心点到该点的方位角 Azimuth 和距离 TmpRange;

(4) 如果 TmpRange 大于扫描半径 ScanRad,即该点在雷达的扫描范围外,则第 m 行第 n 列的值为 0,findValue 设为

true;反之,则开始遍历径向数据包中的所有径向数据,并执行以下步骤,直到读到最后一条或者 findValue 等于 true。

如果该点的方位角 Azimuth 大于等于当前径向数据的 StartAngle (径向扫描的起始角)且小于 StartAngle 与 AngleDelta(AngleDelta 为当前径向数据的方向展角)的和,则首先定义临时变量 r_1 和 r_2 并统一赋值为 0,两个变量临时存储当前径向距离处的距离总和与当前径向距离处下一点的距离总和,然后开始遍历该条径向数据中所有的径向距离值,并执行以下步骤。

(1) 设定 $r_2=r_1+\text{radial.runs}[k]$,其中 $\text{radial.runs}[k]$ 为第 k 处的径向距离值;

(2) 计算 r_1 和 r_2 处的经纬度坐标,其中 r_1 处的坐标计算公式如下, r_2 处与之类似,

$$\begin{cases} r_1.x=\text{centerX}+\frac{\sin}{\cos}(\text{StartAngle})\times r_1\times\text{AddXPerFactor} \\ r_1.y=\text{centerY}+\frac{\sin}{\cos}(\text{StartAngle})\times r_1\times\text{AddYPerFactor} \end{cases} \quad (6)$$

(3) 然后计算 r_1 和 r_2 处的点到雷达中心的距离 TmplonghR1 和 TmplonghR2;

(4) 如果 TmplonghR1 小于等于 TmpRange 且 TmplonghR2 大于 TmpRange 且 $\text{radial.colors}[k]$ 大于 0,则第 m 行第 n 列的值为 $\text{radial.colors}[k]$,并且设定 findValue 为 true,然后跳出循环,否则 $r_1=r_2$ 。

通过以上方法,就为二维数组中应该有值的地方赋了值,而没有赋值的的地方采用了 0 值进行了初始化。从而也就得到了回波数据的颜色等级二维矩阵。

2.2 栅格图像生成

在 ArcGIS 软件下,单波段的栅格数据的绘制显示方法主要有 3 种:通过用分等级的颜色来绘制分级后的象元、用分等级颜色拉伸后绘制各象元和用特定值绘制象元。采用分等级的基于一个色系的颜色来绘制雷达回波,虽能有颜色区分,但不能做到根据雷达回波的 16 色色标来渲染象元,故不能满足要求。通过特定值绘制象元的方法是为栅格的象元值建立 RGB 颜色对照表并与之关联,使栅格象元值与 RGB 颜色值对应,通常特定值的数目不会超过 25。由于雷达回波的颜色等级就 16 个,故采用该方法即可实现雷达回波图像的真实显示。于是采用 ArcGIS Engine,实现了单波段栅格 img 回波图像的生成,并采用特定值渲染的方法进行了可视化,其中栅格 img 回波图像的生成步骤如下:

(1) 定义并计算单个栅格象元的大小。该栅格象元的大小前面已经计算,即 AddXPerI 和 AddYPerJ。

(2) 设置栅格图像的起始坐标。在 ArcGIS Engine 下,栅格数据集的起始点在左下角。因为雷达中心处的坐标已知,且单个象元在 X 和 Y 方向上的增量和象元数也能够计算得到,故只需做相减处理即可得到栅格图像的起始坐标。

(3) 设置坐标系。在 ArcGIS 软件下,坐标系分投影坐标系和地理坐标系。投影坐标系是将三维地理坐标系

上的经纬网投影到二维平面地图上使用的坐标系,其实质就是平面坐标系,通常以长度如米为单位;地理坐标系是确定地物在地球上位置的坐标系,是最常用的坐标系对象,它是以角度即经纬度为地图的存储单位。由于经纬度等用得比较普遍,因此设置回波图的坐标系为地理坐标系下常用的 WGS-1984 系统。

(4) 创建栅格工作空间(RasterWorkspace)和栅格数据集(RasterDataset)。在 ArcGIS Engine 中,RasterWorkspace 对象就是一个要素数据集的容器,其主要用于在该工作空间下打开、创建和设置数据集对象。在创建工作空间后,根据前面栅格数据的设置,在该空间下创建空的栅格数据集,并指定波段数为 1。

(5) 根据回波图在 X 和 Y 方向上象元的个数,创建 PixelBlock (像素块,实际为二维灰度矩阵)对象,其主要用来临时存储单波段的回波数据。

(6) 采用二重循环,将先前创建的 pupdata 中的颜色等级值保存到 PixelBlock 对象中。然后将 PixelBlock 写入到栅格数据集中,并保存。则就完成了栅格雷达回波图的转换输出。

按照以上步骤生成栅格回波图后,然后为回波图像的颜色等级创建属性表,并根据颜色等级值查询到各个等级对应颜色的 RGB 值,此外还设置栅格图层的透明度为 35%,以利于透过雷达回波图实现地理底图中的大致目标定位。最终生成经渲染的呼和浩特市栅格雷达回波图见图 3。

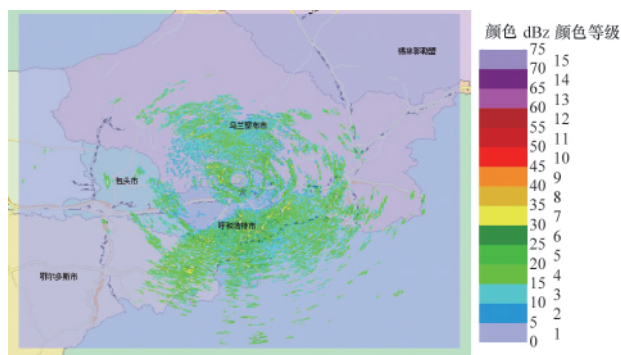


图 3 呼和浩特市栅格化的回波图

Fig. 3 Echo data of Hohhot in raster format

3 回波拼图

基本反射率产品和 713 雷达平显回波等雷达数据,经过前文中的栅格 img 格式转换过程即可得到统一投影直角坐标系下的单站回波资料。如果仅采用低仰角的回波图,同时只是考虑云层离地面的高度则在中尺度的天气监测中可以近似地认为以上雷达回波数据能够进行拼合。则接下来的问题是如何将不同雷达站点不同时间相位的图像拼合成一幅回波图像。其中的关键问题就是探测重叠区域回波值的确定。

3.1 拼图原理

目前,对于重叠区域回波值的求解算法主要有以下几种

方法。

方法 1:重叠区域回波值取最大值。就是在拼图过程中,把覆盖同一网格单元的多个雷达反射率分析值中的最大值的权重赋为 1,其他的权重全赋为 0,即把覆盖同一网格单元的多个雷达反射率分析值中的最大值赋给网格单元。这种方法的实现比较简单,出发点是从坏处着眼。但当某部雷达校准不好,其观测区域回波较强时,会造成重叠区域明显误差。

方法 2:加权平均法。就是对所有在同一网格点上有探测值的雷达反射率因子进行加权,再除以在该点有值的雷达个数。该方法实现起来也比较容易,且对重叠区域造成的误差比前一种方法要少,但还不是最有效的方法。

方法 3:最近邻居法。就是把来自最靠近网格单元的那个雷达的分析值的权重赋为 1,其他的权重全赋为 0,即把最靠近网格单元的那个雷达的分析值赋给网格单元。该方法可视为方法 2 的一种特例。

方法 4:权重函数法。就是权重基于单个网格点与雷达站位置之间的距离,权重函数有多种,本文不对各种权重函数进行评优,仅说明两种权重函数指数权重函数和 Cressman 权重函数^[1-4,6,12-13]。

指数权重函数:

$$w=e^{-\frac{r}{R}} \quad (7)$$

其中, R 为适当的长度比例, r 为网格点到雷达的距离。

Cressman 权重函数:

$$w=\begin{cases} (D^2-d^2)/(D^2+d^2) & d \leq D \\ 0 & d > D \end{cases} \quad (8)$$

其中 D 为影响半径, d 为网格点到雷达的距离。

3.2 拼图实现

以上方法中,方法 2 相对于方法 4 来说较易实现,且其精度相对于本文研究的中尺度的天气观测来说已满足要求,故本文重点研究了该种方法的实现。前文已将基本反射率产品和 713 雷达平显文件转成了栅格 img 格式表示,故后面所研究的回波拼图,其实质也就转换成了多个栅格图层的条件叠加运算。

为了方便研究区域内各气象局充分利用本站及附近气象局的雷达数据,设计各气象局可以修改本站雷达的权重比例,以体现到就近原则。即据雷达中心越近的回波,其精度也越高,因此并不是新一代天气雷达的数据就比 713 雷达的精度高,如果能够充分利用数据的特点合成雷达拼图数据,将是符合实际的。图 4 为设计的区域拼图界面,用户可交互地选择拼图时间和拼图站点,然后根据时间间隔范围自动在共享文件夹目录中搜索满足检索条件的拼图文件。如果选择的拼图站点没有符合检索条件的文件,则该站点不参与拼图;如果检索到多个符合检索条件的文件,则默认指定时间差最小的文件参与拼图。系统首次运行时默认所有参与拼图的站点的权重都相同。

本文中研究的区域为内蒙古中部 4 市的范围,包括包头

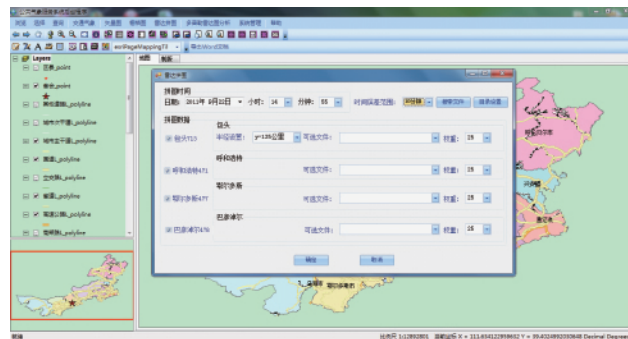


图 4 区域拼图界面

Fig. 4 Interface of regional mosaic system

市、呼和浩特市、鄂尔多斯市和巴彦淖尔市。故参与拼图的最多 4 个图层,下面以 4 个图层参与叠加运算为例,介绍区域回波拼图的实现。

假设包头、呼和浩特、鄂尔多斯和巴彦淖尔 4 市的权重设置分别为 40%,20%,20%和 20%,对于这 4 个图层的叠加运算,可以拆为 3 次的 2 个图层的叠加运算。即先前 2 个图层根据各自的权重比例叠加生成 temp1 图层,然后后 2 个图层也根据各自的权重比例叠加生成 temp2 图层,最后 temp1 图层和 temp2 图层根据权重运算比例再参与叠加运算,生成最终的拼图结果 rstLyrJigsaw 图层。

对于其中权重比例的运算,第 1 次参与栅格叠加运算是包头和呼和浩特图层,由于其开始时权重比为 2:1,则设置 2 个图层的权重分别为 67%和 33%,近似 2:1。第 2 次参与栅格叠加运算的鄂尔多斯和巴彦淖尔图层,其权重计算方法同上。第 3 次参与叠加运算的 temp1 和 temp2 图层,其未百分比化的权重比为 (40+20):(20+20),即 6:4,则 2 个图层的权重分别为 60%和 40%。此时就解决了具体权重分配的运算问题。

对于其中的栅格图层叠加原则,下面以包头市和呼和浩特市 2 个图层的叠加来说明。分别标记 2 个图层为 L_1 和 L_2 ,2 个图层的权重分别记为 W_1 和 W_2 。则 2 个图层中网格的运算原则是:如果 L_1 和 L_2 都为无值,则取 0;如果 L_1 有值 L_2 无值,则取值 L_1 ;如果 L_1 无值 L_2 有值,则取值 L_2 ;如果 L_1 有值且小于 1 而 L_2 有值,则取值 L_2 ;如果 L_1 有值 L_2 有值且小于 1,则取值 L_1 ;如果 L_1 有值 L_2 有值,且都大于等于 1,则取值 $W_1 \times L_1 + W_2 \times L_2$ 。其在 ArcGIS 中最终的运算表达式如公式 9 所示:

$$\begin{aligned} \text{strOprate} = & \text{con}(\text{IsNull}([L_1]), \text{con}(\text{IsNull}([L_2]), 0, [L_2]), \\ & \text{con}(\text{IsNull}([L_2]), [L_1], \text{con}([L_1] < 1, [L_2], \\ & \text{con}([L_2] < 1, [L_1], \text{int}(W_1 \times [L_1] + W_2 \times [L_2]))) \end{aligned} \quad (9)$$

采用以上方法,最终生成的某时的内蒙古中部地区的雷达拼图,如图 5 所示。

4 结论

结合地学中的 GIS 技术,研究实现内蒙古中部多源雷达回波数据的实时拼合,对实时监测区域天气具有重要的现实

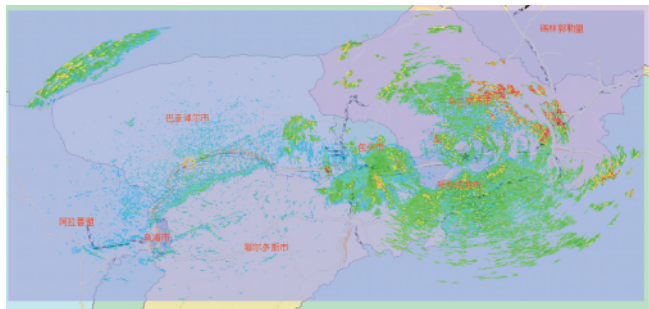


图 5 内蒙古中部地区的雷达拼图

Fig. 5 Regional mosaic in central region of Inner Mongolia

意义。本文重点研究了内蒙古中部地区新一代天气雷达基本反射率产品和 713 雷达平显回波的栅格转换及实时拼合的实现方法,同时建立了多源雷达回波拼图的生成平台,实现了研究区天气的实时监测。但是该平台还不够完善,如果能够结合 GIS 技术研究雷达回波的三维立体拼图同时解决参与拼图回波的时间相位差的问题,对提高气象预警预报的准确率具有重要的意义,也是本文进一步的研究方向。

参考文献 (References)

- [1] 李红玉, 李晓勇, 刘鹏. 跨省区新一代多普勒天气雷达 PUP 产品调用与拼图实现[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2009, 28(5): 78-82.
Li Hongyu, Li Xiaoyong, Liu Peng. *Journal of Xihua University: Natural Science*, 2009, 28(5): 78-82.
- [2] 王庆东, 严卫, 马宁. 数字化天气雷达组网拼图算法[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2002, 3(2): 90-93.
Wang Qingdong, Yan Wei, Ma Ning. *Journal of PLA University of Science and Technology: Natural Science*, 2002, 3(2): 90-93.
- [3] 肖艳娇, 刘黎平. 新一代天气雷达网资料的三维格点化及拼图方法研究[J]. 气象学报, 2006, 64(5): 647-657.
Xiao Yanjiao, Liu Liping. *Acta Meteorologica Sinica*, 2006, 64(5): 647-657.
- [4] 梁成根, 黄云仙. 天气雷达网资料拼图方法研究 [J]. 计算机与现代化, 2008(4): 54-57.
Liang Chenggen, Huang Yunxian. *Computer and Modernization*, 2008(4): 54-57.
- [5] Xiao Yanjiao, Liu Liping, Shi Yan. Study of methods for three-dimensional multiple-radar reflectivity mosaics [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2008, 22(3): 351-361.
- [6] 胡胜, 伍志方, 刘运策, 等. 新一代多普勒天气雷达广东省区域拼图初探[J]. 气象科学, 2006, 26(1): 74-80.
Hu Sheng, Wu Zhifang, Liu Yunce, et al. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2006, 26(1): 74-80.
- [7] 陈海泉, 廖仕湘. 新一代天气雷达产品数据格式分析 [C]//中国气象学会. 中国气象学会 2007 年年会气象综合探测技术分会论文集. 北京: 气象出版社, 2007: 390-396.
Chen Haiquan, Liao Shixiang. Analysis of cinrad products data format[C]//Chinese Meteorological Society. Proceedings of 2007 Annual Conference on Meteorological Comprehensive Detection Technologies of Chinese Meteorological Society. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 390-396.
- [8] 崔晓东, 于海磊, 王莉萍, 等. 利用三次卷积方法实现新一代天气雷达产品电视播出[J]. 气象科技, 2009, 37(3): 369-373.
Cui Xiaodong, Yu Hailei, Wang Liping, et al. *Meteorological Science and Technology*, 2009, 37(3): 369-373.
- [9] 芮小平, 宋现锋, 于雪涛. 基于 GIS 的雷达回波提取及人工降雨作业点确定方法研究 [J] 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2009, 1(2): 156-160.
Rui Xiaoping, Song Xianfeng, Yu Xuetao. *Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition*, 2009, 1(2): 156-160.
- [10] 于雪涛, 奚砚涛, 芮小平, 等. 713 雷达数据判读与地学可视化 [J]. 气象科技, 2010, 38(4): 463-466.
Yu Xuetao, Xi Yantao, Rui Xiaoping, et al. *Meteorological Science and Technology*, 2010, 38(4): 463-466.
- [11] 刘继东, 胡新波, 刘士军, 等. 解密 713C 天气雷达平显 dBZ 数据文件内部格式[J]. 科技资讯, 2008(7): 37.
Liu Jidong, Hu Xinbo, Liu Shijun, et al. *Science & Technology Information*, 2008(7): 37.
- [12] 何红红, 刘宪勋, 李洪绩. 天气雷达回波区域拼图实现方法 [J]. 气象科技, 2004, 32(1): 52-56.
He Honghong, Liu Xianxun, Li Hongji. *Meteorological Science and Technology*, 2004, 32(1): 52-56.
- [13] 潘留杰, 朱伟军, 周毓荃, 等. 天气雷达资料的三维格点化及拼图初探[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(5): 2517-2519.
Pan Liujie, Zhu Weijun, Zhou Yuquan, et al. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(5): 2517-2519.

(责任编辑 代丽)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。