

文章编号: 2096-1618(2017)02-0134-07

基于 Windows 系统的 CINRAD 体扫基数据回放软件设计

郝倚天<sup>1</sup>, 王旭<sup>1,2</sup>, 张 扬<sup>1</sup>, 何建新<sup>1,2</sup>

(1. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225; 2. 中国气象局大气探测重点开放实验室, 四川 成都 610225)

**摘要:**目前中国布网的新一代天气雷达由多个厂家生产,不同型号的雷达体扫基数据格式不同,回放显示软件也不相同。且有些厂家的多普勒天气雷达不支持直接查看体扫基数据,这就给雷达体扫基数据的使用者带来不便。论文设计能自动识别和回放新一代天气雷达不同格式体扫基数据的软件。实现对 SA、SB、CB、SC、CD、CC、CCJ 和 WSR-88D 8 种型号雷达格式的体扫基数据的不同仰角的反射率因子、径向速度和速度谱宽 3 个基数据产品的绘图回放,并实现放大缩小、鼠标取值、同屏比较、截图保存等功能。通过与各种格式的业务回放软件结果进行对比,说明本软件使用简单,数据回放结果准确。

**关 键 词:**CINRAD;体扫基数据;自动识别;数据回放;Windows 程序设计;雷达

**中图分类号:**TP959.4                      **文献标志码:**A

**doi:**10. 16836/j. cnki. jcuit. 2017. 02. 005

0 引言

1998 年,中国开始建设新一代天气雷达监测网(China new generation radar, CINRAD),以提高对冰雹、台风、暴雨、暴雪等灾害性天气的监测能力,促进短时和实时天气预报、人工影响天气以及气象灾害预警等业务的发展。中国气象局计划在全国建设由 S 波段(雷达波长为 10 cm 左右)和 C 波段(雷达波长为 5 cm 左右)<sup>[1-2]</sup>共 8 种型号的天气雷达共同组成的新一代多普勒天气雷达网<sup>[3]</sup>。这 8 种型号的多普勒天气雷达分别是 CINRAD-SA(简称 SA)、CINRAD-SB(简称 SB)、CINRAD-SC(简称 SC)、CINRAD-CB(简称 CB)、CINRAD-CD(简称 CD)、CINRAD-CC(简称 CC)、CINRAD-CCJ(简称 CCJ)和 WSR-88D。

这些雷达分别由国内外 5 个不同的厂家研制生产,详细信息见表 1<sup>[4-5]</sup>。

表 1 新一代天气雷达型号列表

雷达型号	型号简称	雷达波段	生产厂家
CINRAD-SA	SA	S 波段	北京敏视达雷达有限公司
CINRAD-SB	SB	S 波段	北京敏视达雷达有限公司
CINRAD-SC	SC	S 波段	成都锦江电器制造有限公司
WSR-88D	WSR-88D	S 波段	美国洛克希德·马丁公司
CINRAD-CB	CB	C 波段	北京敏视达雷达有限公司
CINRAD-CD	CD	C 波段	成都锦江电器制造有限公司
CINRAD-CC	CC	C 波段	安徽四创电子股份有限公司
CINRAD-CCJ	CCJ	C 波段	安徽四创电子股份有限公司

雷达体扫基数据是雷达通过体积扫描获得的最原始的数据,以二进制形式保存,包括反射率因子、径向速度和速度谱宽。但基数据文件具体的存储格式由不同的雷达生产厂家定义,另外,同一厂家不同型号雷达性能的差异也可能导致出现不同的存储格式,所以导致雷达基数据文件格式多样化。现在业务运行的气象雷达显示软件大多是以一种文件格式为基础进行开发,不能用于另一种文件格式的雷达数据显示,给用户带来诸多不便。所以开发一种能自动识别显示多种格式的 weather radar 体扫基数据回放软件是解决这一问题的途径。

设计可以对 SA、SB、CB、SC、CD、CC、CCJ 和 WSR-88D 8 种型号雷达基数据进行回放,并实现缩放、鼠标取值、同屏比较、截图保存功能。在 Windows 下开发的程序,具有直观地显示和灵活的交互性,而且 Windows 程序是基于消息,由事件驱动,可以灵活响应鼠标键盘发出的消息。因此该软件采用 C++ 语言在 Microsoft Visual Studio 2010 环境下开发,在 Windows XP SP3, 7 (64 位), 8.1 (64 位), 10 (64 位) 下测试通过。

1 识别原理

体积扫描(简称体扫)是指雷达在不同仰角上进行全方位扫描探测。体扫基数据文件由头文件和产品数据区构成,头文件记录的是雷达的基本信息和观测参数等,数据区保存的是雷达观测数据。数据区的数据以径向为单位存放,一个径向的数据指雷达在某个仰角层某方位范围内的一组观测数据,一个仰角层的

所有径向数据组成一个平面位置显示 (PPI),全部仰角层的 PPI 组成一个完整的体积扫描 (VOL)。

不同格式的体扫基数据文件在文件头长度、每个仰角层径向数、径向数据长度等可能存在差异 (比如 SAB 格式的径向数据长度是 2432 个字节、SCD 格式的文件头长度是 1024 个字节)。可以利用这些差异来设定判别条件。

选择参数信息作判据的原则是:首先选择关联类参数,其次选择不变类参数,最后选择区间变化类参数。例如文件长度、一个体扫的总径向数、信号传输通道号、日期时间的有效性等<sup>[6-7]</sup>。

在自动识别程序开始时,首先设置一个全局变量 flag,该全局变量 flag 的值代表雷达型号。当用户确定所需识别的文件后,读取文件内容到内存,并获取文件长度。因为针对所需识别的体扫文件选取的判别条件中均有一个判据与文件长度有关 (除 CC2.0 格式外),所以将文件长度作为第一个判据,当满足该判据后,跳转到其所对应的雷达类型判据实现部分,然后进行后面的判据比较,判据实现流程如图 1 和图 2 所示。

当自动识别流程跳转到判据实现时,程序将根据定义的每个类型的 5 个判据,与文件信息进行一一对比,看是否满足该类型的每个判据,如果判据满足,则对应的标识符为 1,否则为 0;当 5 个判据都实现之后,判断 5 个标识符是否都为 1,如果是,则赋相应的值给全局变量 flag,并返回,后面将根据 flag 的值判断文件格式类型。flag 取值与雷达型号对应关系见表 2。

表 2 flag 取值与雷达型号对应关系表

flag 取值	雷达型号简称
1	SA、SB 或 WSR-88D
2	CB
3	SC 或 CD
4	CC 或 CCJ
5	CC 或 CCJ

如果 flag=1,则代表该文件格式是 SAB,存储的是 SA 或 SB 型号雷达的基数据;如果 flag=2,则代表该文件格式是 CB,存储的是 CB 型号雷达的基数据;如果 flag=3,则代表该文件格式是 SCD,存储的是 SC 或 CD 型号雷达的基数据;如果 flag=4,则代表该文件格式是 CC1.0,存储的可能是 CC 雷达的基数据,也可能是 CCJ 雷达的基数据;如果 flag=5,则代表该文件格式是 CC2.0,存储的同样可能是 CC 雷达的基数据,也可能是 CCJ 雷达的基数据。

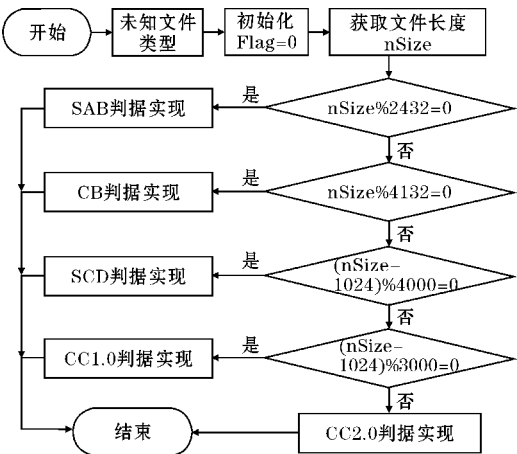


图 1 自动识别流程图

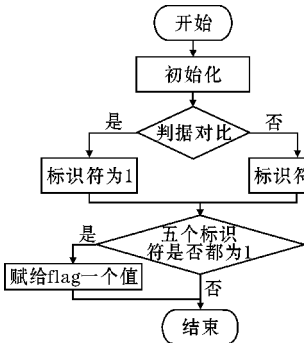


图 2 判据实现流程图

## 2 软件设计

### 2.1 软件框架

下面首先列出软件功能,再描述如何设计窗口、菜单。

软件总体设计流程如图 3 所示。

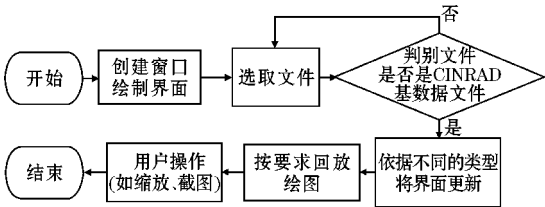


图 3 流程框架

软件界面如图 4 所示。界面由 3 个区域组成,分别是信息显示区,主 PPI 显示区和辅助 PPI 显示区。主 PPI 显示区是位于屏幕中间的正方形区域,在此区域单击鼠标右键会弹出快捷菜单,用以实现缩放和隐藏网格功能。辅助 PPI 显示区则负责不同于主显示区的产。点击辅助显示区的内容可将其切换到主显示区。通过仰角菜单切换仰角层,在工栏中可切换产品 (“V、R、W” 图标) 和截屏保存 (保存图标)。

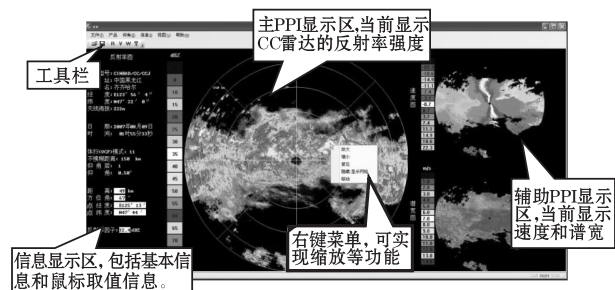


图4 工作界面

## 2.2 体扫基数据回放

打开文件判定了文件格式之后需要描点绘图。描点绘图步骤如下:

- (1) 获取某点的仰角、径向和距离库编号;
- (2) 通过以上3个变量获取这一点的反射率因子、径向速度和速度谱宽值;
- (3) 通过该值对应的色标图返回值来确定该点的颜色,描点。

要描点绘制PPI图,需要3个参量,仰角层数、径向和距离库,分别用  $EI$ 、 $Rad$ 、 $Rot$  表示。

(1) 仰角层数  $EI$  开始默认为0,代表第一层,这里建立一个仰角层的选择菜单,其消息映射函数改变  $EI$  为对应的值;

(2) 径向号的计算除了CC格式和CCJ格式外,其他格式均采用  $Rad = 180 - Azimuth(x, y, x0, y0)$ ,其中  $Azimuth(x, y, x0, y0)$  计算点  $(x, y)$  以  $(x0, y0)$  为原点的方位角的补角,而CC和CCJ格式还要再加一句  $Rad = (int)(Az * 512.0f/360)$ ,这是因为这两种雷达的体扫是512个径向为一周,而其他格式雷达的体扫一周为360个径向;

(3) 距离库号  $Rot$  由  $Rot = (int)Distance(x, y, x0, y0)$  计算,其中  $Distance(x, y, x0, y0)$  是计算点  $(x, y)$  到点  $(x0, y0)$  的距离。

### 2.2.1 绘制反射率、速度、谱宽图

当用户在工具栏中选择了绘制反射率因子图,对应的提示信息和色标图显示为反射率因子图的信息。反射率因子图的绘制使用逐距离库的方式描点绘图:

```
ColorNum1 = color_ref_number(gRef[EI][Rad][Rot]); //按照色标赋颜色
```

```
MemDC.SetPixel(CPoint(x, y), RGB(colorRef[ColorNum1].r, colorRef[ColorNum1].g, colorRef[ColorNum1].b)); //描点
```

$color\_ref\_number$  是反射率值色标对应的值,  $gRef$  用来获取在当前仰角层、径向和距离库上的反射率值,而  $SetPixel$  函数的功能是将某坐标点  $(CPoint(x, y))$  指

定),设置成某个选定的颜色(指定颜色用  $RGB(r, g, b)$  函数实现),简单来说就是即描点上色。通过  $CPoint(x, y)$  将每个仰角、方位角、距离库对应的点和屏幕坐标联系起来,  $CPoint(x, y)$  是返回当前鼠标坐标值的函数。综上,当仰角层数  $EI$ ,径向  $Rad$  和距离库  $Rot$  这3个参量选定,就可以绘制反射率图。

径向速度和速度谱宽图的绘制过程与反射率因子相同,不再赘述。

### 2.2.2 色标与数值对应说明

反射率因子、速度、谱宽每个产品在绘制时,某个范围内的数值都对应该产品相应的色标。以反射率因子为例,其实现方法如下。

确定了仰角,算出径向和距离库之后,利用  $gRef[EI][Rad][Rot]$  获得反射率因子的值,该值作为函数  $int\ color\_ref\_number(float\ x)$  的参数,在  $color\_ref\_number(float\ x)$  函数中将  $x$  划分范围,每个范围对应一个返回值,如图5所示,将这个返回值存在变量  $ColorNum$  中,将  $ColorNum$  作为  $colorRef[]$  的下标,  $colorRef$  就是雷达反射率因子色标,共16色。如图6所示。

```
int CcssView::color_ref_number(float x)
{
    int ColorNum=0;
    if (x)>-5 && x<=0) ColorNum=0;
    else if (x)>0 && x<=5) ColorNum=1;
    else if (x)>5 && x<=10) ColorNum=2;
    else if (x)>10 && x<=15) ColorNum=3;
    else if (x)>15 && x<=20) ColorNum=4;
    else if (x)>20 && x<=25) ColorNum=5;
    else if (x)>25 && x<=30) ColorNum=6;
    else if (x)>30 && x<=35) ColorNum=7;
    else if (x)>35 && x<=40) ColorNum=8;
    else if (x)>40 && x<=45) ColorNum=9;
    else if (x)>45 && x<=50) ColorNum=10;
    else if (x)>50 && x<=55) ColorNum=11;
    else if (x)>55 && x<=60) ColorNum=12;
    else if (x)>60 && x<=65) ColorNum=13;
    else if (x)>65 && x<=70) ColorNum=14;
    else if (x)>70) ColorNum=15;
    return(ColorNum);
}
```

图5 反射率与数值对应关系



图6 反射率色标

需要说明的是,色标图中每个色块中的数字代表该色表示的最大值,例如黄色色标上数字为45,这表明黄色区域反射率在40~45。



径向速度和速度谱宽值的色标对应原理与反射率因子相同,不同的是色标颜色以及显示范围。此外,最后一个色标“RF”意为距离折叠(range fold)。距离折叠是指目标处于最大不模糊距离之外,这时雷达却将目标误判在了最大不模糊距离之内,此时,目标的方位正确但距离是错误的。

2.3 附加功能

2.3.1 雷达基本信息显示

软件左边显示体扫基数据的基本信息,包括站点信息、扫描方式和数据信息,如图 7 所示。

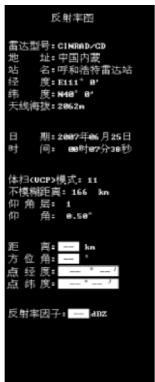


图 7 基本信息显示

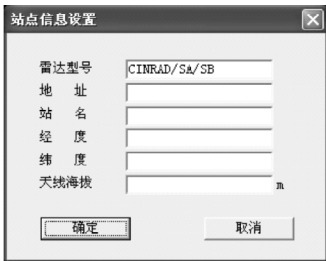


图 8 站点信息设置

因为有些雷达站的基数据没有包含站点信息(如 SA、SB、CB 雷达),所以支持人工设置站点信息。信息菜单下的站点信息设置弹出菜单,用以更改显示的站点信息。如图 8 所示。

2.3.2 放大缩小

放大和缩小以及复位视图实现,其实质上是对“贴图”函数中控制贴图尺寸大小的参量的操作。贴图函数的原型如下:

BOOLStretchBlt ( HDC hdc, int X, int Y, int Width, int Height, HDC Src, int XS, int nYOS, int WidthS, int HeightS, DWORD dwRop)。其中:

- (1)hdc:目标设备环境句柄。
- (2)X:目标矩形左上角 X 轴坐标。
- (3)Y:目标矩形左上角 Y 轴坐标。

- (4)Width:指定目标矩形的宽度。
- (5)Height:指定目标矩形的高度。
- (6)Src:源设备环境句柄。
- (7)XS:源矩形区域左上角 X 轴坐标。
- (8)YS:源矩形区域左上角 Y 轴坐标。
- (9)WidthS:源矩形的宽度。
- (10)HeightS:源矩形的高度。
- (11)dwRop:指定光栅操作。操作包括刷子、源位图和目标位图等对象<sup>[8]</sup>。

函数的第四和第五个参数指定目标矩形的宽度和高度,按逻辑单位表示宽度。而“放大”和“缩小”的消息映射函数就是改变这两个参数,“复位”的消息映射函数是令这两个参数回到初值。放大效果如图 9、图 10 所示。

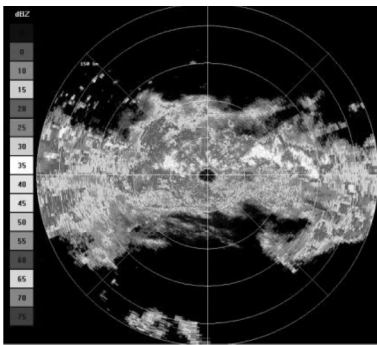


图 9 原始倍率

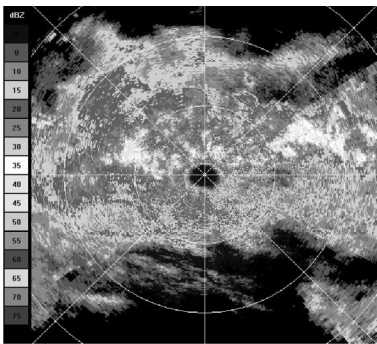


图 10 放大(2 倍)

2.3.3 鼠标取值

鼠标取值的实质是获取在规定范围内的鼠标指针的坐标,通过该点坐标和逻辑原点坐标计算方位角和距离库,仰角已知,利用这 3 个参量获取反射率、速度和谱宽,然后将值显示在规定的位置。以反射率取值为例,具体实现如下。

```
str.Format( "% 3. 1f", gRef [ El ] [ 180 - Azimuth  
( point. x, point. y, m_nX_RAD, m_nY_RAD ) ] [ ( int )  
DistanceReal ( point. x, point. y, m_nX_RAD, m_nY_  
RAD ) ] );  
dc. TextOut ( 80, 310+yscreen/10×5, str );
```

gRef 取反射率, El 是仰角, 180-Azimuth ( point. x, point. y, m\_nX\_RAD, m\_nY\_RAD) 计算方位角, (int) DistanceReal ( point. x, point. y, m\_nX\_RAD, m\_nY\_RAD) 计算距离库, 其中 point. x, point. y 是鼠标指针当前所在位置的坐标, m\_nX\_RAD, m\_nY\_RAD 是逻辑原点的坐标。

为获取鼠标所在点的经纬度, 采用雷达图像坐标的逆转换公式<sup>[9]</sup>, 如下:

$$\varphi = \arcsin \left[ \cos \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{R} \right) \cdot \sin \varphi_r + \sin \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{R} \right) \cdot \cos \varphi_r \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right] \quad (1)$$

$$\lambda = \arcsin \left[ \frac{x \cdot \sin (\sqrt{x^2 + y^2} / R)}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos \varphi} \right] + \lambda_r \quad (2)$$

式中  $\varphi_r$  和  $\lambda_r$  为雷达站的纬度和经度;  $x$  和  $y$  为雷达 PPI 图上任意点相对于雷达站的横纵坐标。  $\varphi$  和  $\lambda$

即任意点的纬度和经度。  
利用上述公式即可算出任意点的经纬度, 将之显示在相应位置, 取值显示结果如图 11 所示。

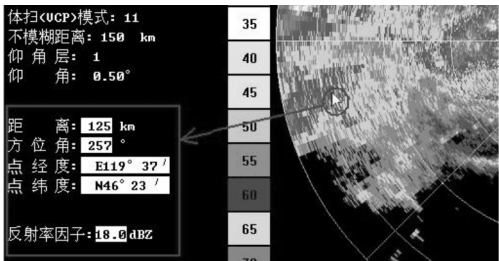


图 11 鼠标取值

2.3.4 截图保存

功能的实现思路是如下:“保存”的消息映射函数中打开“另存为”对话框, 设置属性, 文件名, 路径, 获取要截图的区域大小, 最后调用“SaveBitMapToFile()”函数。该函数流程如图 12 所示。上一节中的截图, 均是采用此功能保存的图片。

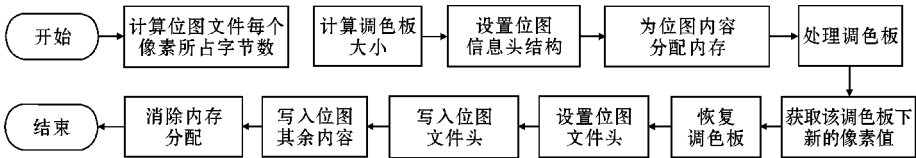


图 12 SaveBitMapToFile 函数流程

下一节中所有用于对比的截图均使用软件自带截图保存功能。

3 测试对比

为验证软件回放结果的准确性, 选择 3 个厂家气象业务中使用的体扫基数据回放软件回放同一体扫基数据文件, 将回放结果作对比。

3.1 SA 雷达回放结果对比

选用 2006 年 8 月 10 日 06:55 温州站观测到的一次台风(第八号台风“桑美”)的基数据文件, 用该软件回放, 仰角 0.48°, 其反射率和速度如图 13 和图 14 所示。

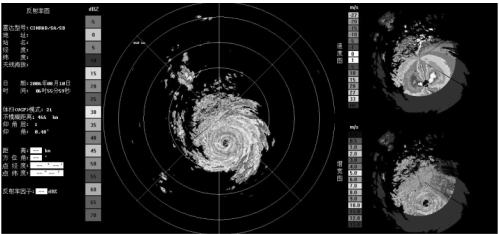


图 13 反射率图

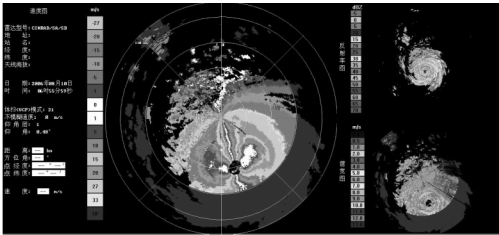


图 14 速度图

作为对比, 采用北京敏视达公司的 CINRAD PUP 软件回放同一体扫的基数据。PUP 的全称是 Principal User Processor, 意为主用户处理器, 即雷达显示工作站, 它是在业务上和 CINRAD 配套的软件。用该软件回放, 其反射率和速度如图 15 和图 16 所示。

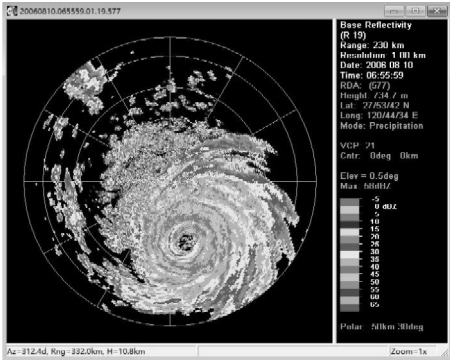


图 15 反射率图

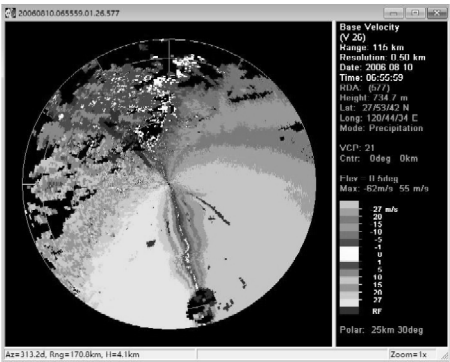


图 16 速度图

需要注意的是软件中反射率和速度的最大显示范围分别是460 km和230 km,而敏视达公司的 PUP 软件则是230 km和115 km。另外 PUP 软件进行了速度退模糊处理,除此之外,两个软件回放结果特征和数值基本相同,反射率和速度图都可以明显识别出台风的特征。

3.2 CD 雷达回放结果对比

选用 2007 年 6 月 25 日 00:07 呼和浩特站的基数据文件,仰角 0.5°,用软件回放,其反射率和速度如图 17 和图 18 所示。

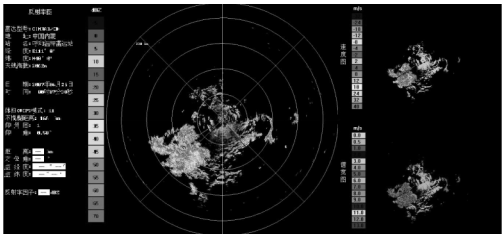


图 17 反射率图

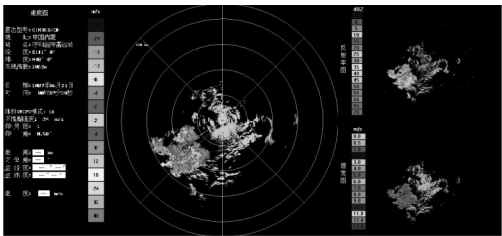


图 18 速度图

作为对比,采用成都锦江电子系统工程有限公司的多普勒天气雷达产品显示及处理软件来回放 CD 雷达的体扫基数据。用该软件回放,其反射率和速度显示如图 19 和图 20。通过对比发现两次回放结果特征、数值和方位都基本相同。

3.3 CC 雷达回放结果对比

选用 2007 年 6 月 25 日 01:55 齐齐哈尔站的基数据文件,仰角 0.5°,用本软件回放,其反射率和速度如

图 21 和图 22 所示。

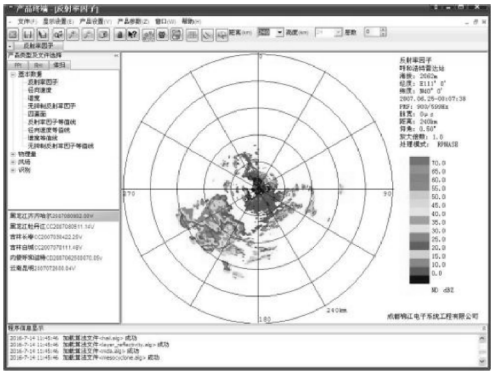


图 19 反射率图

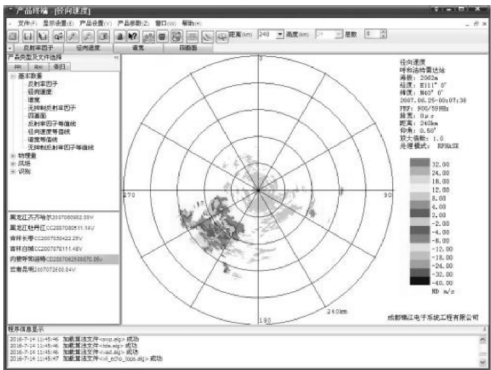


图 20 速度图

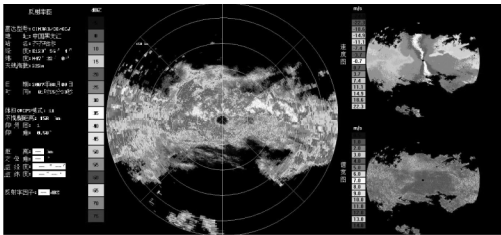


图 21 反射率图

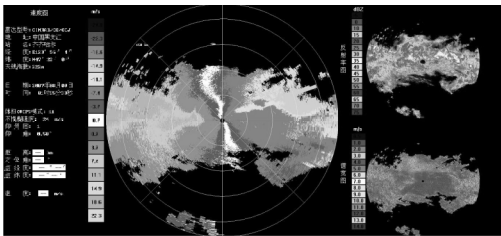


图 22 速度图

作为对比,采用云南省气象局开发的 CINRAD-CC 雷达基数据浏览器来回放 CC 雷达的体扫基数据。用该软件回放,其反射率和速度显示如图 23 和图 24。同样,通过对比发现两次回放结果特征、数值和方位基本相同。

通过上述几组雷达基数据回放的对比分析,可以看出软件回放结果较准确,因为可以支持各种格式CINRAD 体扫基数据回放,给用户提供了方便。



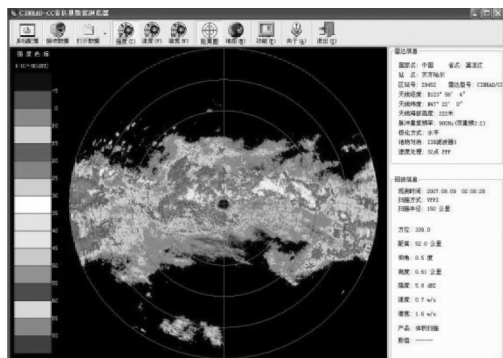


图23 反射率图

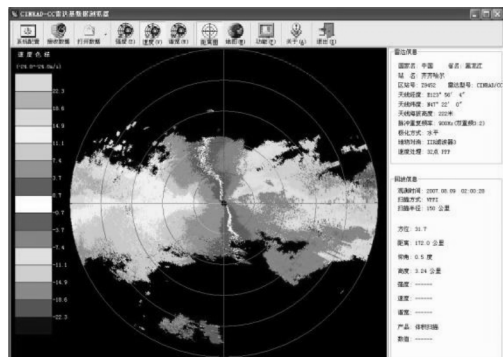


图24 速度图

## 4 结语

主要实现对新一代天气雷达体扫基数据的自动识别和绘图回放,并支持用户进行如缩放,截图保存等简单的操作。

成功识别出以下型号雷达的体扫基数据:SA、SB、CB、SC、CD、CC 和 CCJ 格式。识别成功之后,通过对体扫文件的解析,提取文件的基本信息,回放显示,采用分屏显示,用户可以更方便对比3种不同的雷达产品。通过与其他各格式回放软件的回放结果对比,认为设计的回放结果是准确的。

不过本软件目前还未实现3种产品鼠标同步取值、动画显示、地图叠加等功能,在将来的工作中,还将完善这些功能。

## 参考文献:

- [1] Zhang, P D Zrnice, A Ryzhkov. Partial beam blockage correction using polarimetric radar measurements[J]. Atmos. Oceanic Technol, 2013, 30: 861-872.
- [2] 许致火,何建新. 我国地基天气雷达技术系统发展介绍[J]. 气象科技, 2012, 40(3): 321.
- [3] 张培昌,杜秉玉. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社, 2000: 272-273.
- [4] 许小峰. 中国新一代多普勒天气雷达网的建设与技术应用[J]. 中国工程科学, 2003, 5(6): 10.
- [5] 李容,李庆. 新一代天气雷达基数据业务传输的设计与探讨[J]. 高原山地气象研究, 2011, 31(2), 67-69.
- [6] 楚志刚,顾松山,王成刚,等. 新一代天气雷达基数据兼容方法的分析[C]. 北京:第27届中国气象学会年会雷达技术开发与应用分会场论文集, 2010.
- [7] 楚志刚,银燕,顾松山,等. 新一代天气雷达基数据文件格式自动识别方法研究[J]. 计算机与现代化, 2013, (7): 181-183.
- [8] 孙鑫,余安萍. VC++深入详解[M]. 北京:电子工业出版社, 2012.
- [9] 万玉发,陈少林. 雷达和卫星图像的坐标同化及其实现[J]. 南京气象学院学报, 1990, 13(4): 640.

## Software Design for Replaying Volume Scan base Data of CINRAD on Windows

HAO Yi-tian<sup>1</sup>, WANG Xu<sup>1,2</sup>, ZHANG Yang<sup>1</sup>, HE Jian-xin<sup>1,2</sup>

(1. College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Key Laboratory of Atmospheric Detection, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** The current national network of Doppler weather radars are from a number of manufacturers. The volume scanning base data formats and the replay software of different radar models often varies. Furthermore, the Doppler weather radars from some manufacturers do not support reviewing the base data directly, which brings inconvenience to users. In this paper, we have designed a software capable of automatic recognition and replay of different volume scanning base data formats of CINRAD. It supports the base data formats of SA, SB, CB, SC, CD, CC, CCJ and WSR-88D, specifically the replay of the reflectivity factor under different elevation angles, the radial velocity and the velocity spectrum width. It also includes the functionalities of zooming, reading values from mouse, split window comparison, saving screenshots and etc. After comparing the results with other formats of replay software, it is shown that the developed software is easy to use with accurate replay results.

**Keywords:** CINRAD; volume scan base data; auto-recognition; replay; windows programming; radar