

文章编号: 2096-1618(2019)01-0007-06

基于 Qt 的天气雷达数据处理软件系统设计及实现

魏 玮¹, 高必通², 杜宇飞³, 倾鹏程⁴, 龙桂才⁵

(1.成都信息工程大学电子工程学院,四川 成都 610225; 2. 广东省连州市气象局,广东 连州 513400; 3.重庆市防汛抗旱抢险中心,重庆 401100; 4.广东省中山市气象局,广东 中山 528401; 5.广西壮族自治区梧州市气象局,广西 梧州 543002)

摘要: 在气象领域,天气雷达是观测降水过程的主要工具。随着雷达技术的快速发展,中国新一代多普勒天气雷达开始逐渐升级改造为双线偏振雷达,提供更多的雷达偏振参量,从而更充分地分析天气过程的特征,并不断提高对暴雨、龙卷和冰雹等强对流天气过程的观测和预报能力。为了适应雷达发展过渡期的需求,方便用户使用和查看不同雷达产品,设计了基于 Qt 的多波段多型号雷达数据处理软件系统。最终实现反射率因子、径向速度、速度谱宽、差分反射率因子、相关系数等基本数据产品和回波顶高、组合反射率因子、垂直积分液态水等衍生产品的生成和预览功能。通过对产品效果进行验证,系统基本能满足使用需求。

关键词: 新一代多普勒天气雷达; 双线偏振雷达; Qt; 数据处理软件; 基本数据产品; 衍生产品

中图分类号: TN957

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcui.2019.01.002

0 引言

雷达是一种电子设备,可以向空中发射并接收返回的电磁波。由于电磁波接触到降水粒子等目标物时会发生散射现象,部分返回到雷达并被接收,由此可计算出目标物到雷达的距离、高度、速度及方位等信息。雷达现在广泛应用到气象观测和预报、军事和航空监控等很多领域^[1]。气象雷达是观测天气过程的重要工具,能够实现观测和预警暴雨、冰雹等强对流天气过程^[2]。20世纪70年代中国就开始了天气雷达的研究和应用,并不断建设新一代天气雷达系统业务网^[3]。截至2016年底,新一代天气雷达业务网已初见规模,共计有二百多部建成并投入运行,同时又将少数单偏振天气雷达升级为双线偏振雷达,实现了约220万平方公里的近地面覆盖范围。到2020年,新一代天气雷达业务网将更加优化完善,东部和东南沿海地区基本由双线偏振雷达覆盖。此外继续开展新型气象雷达技术的研究、观测和试验,形成完善的气象雷达发展体系。

新一代多普勒雷达是单偏振的,只能发射一个方向上的偏振波,因此所能获得的雷达参量也相对较少,仅有反射率因子 Z_H 、速度 V 、谱宽 W 3种数据。从1976年 Seliga 提出双线偏振理论至今,双线偏振雷达已经在全球得到充分、快速的研究和应用^[4]。双线偏振雷达能发射、接收水平和垂直极化方向相互正交的

电磁波,具有测量不同极化方向上回波功率和相位的功能。除可获取新一代多普勒雷达的探测量外,还能够得到差分反射率因子 Z_{DR} 、差传播相移 Φ_{DP} 、相关系数 ρ_{HV} 等与降水粒子密切相关的多个偏振参量^[5]。随着双线偏振雷达的不断发展,更多天气过程中的关键信息变得更容易获得,从而不断提高对强对流天气过程的观测和预报能力^[6]。

中国新一代多普勒天气雷达大多数为 S 或 C 波段的型号,而升级改造到双线偏振雷达后发展到更多的波段(S、C 和 X 波段)和型号,由于生产厂家不同,各型号保存的基数据格式不统一,存在差异,格式多样制约了天气雷达软件的使用范围,依据特定格式研发的软件不能被直接适用于其他格式的天气雷达^[7-8]。周鑫等^[9]放弃常规天气雷达应用软件的设计方式,使用相关的地理信息系统软件进行了研发、设计。楚志刚^[10]提出了多种天气雷达基数据格式的兼容方法,设计了适用多种格式的天气雷达软件,实现不同格式间的自动判断及相互转化。赵坤等^[11]设计了一种 WINDOWS2000/9X 系统下的实时信号处理软件,并实现了相关产品的显示。王美娟等^[12]设计了基于 Linux 系统的天气雷达显示控制系统,实现了多型号雷达参量 PPI、RHI、VOL 和 FFT 4 类扫描数据产品,以及雷达整机状态、故障和日志的实时和非实时显示。为了使雷达应用软件可以兼容多种基数据格式,满足处于新一代多普勒天气雷达向双线偏振雷达更新换代过渡期的使用需求,设计基于 Qt 的多波段多型号基数据处理

收稿日期: 2018-06-08

软件,实现基本数据产品和相关衍生产品的生成。

1 软件系统设计

1.1 开发环境

1991年,Trolltech发布了一种可跨平台的C++图形用户界面应用程序开发框架Qt^[13]。应用其可以开发GUI和非GUI程序,例如控制台工具和服务器等。该框架应用特定的程序来生成扩展和部分宏,用户能够快速入门,从而相对容易开发。同时,为软件研发人员提供了构建艺术级的图形用户界面需要的所有功能^[14]。有极强的兼容性,能够实现一次编写,多系统编译。Qt同X Window上的Motif,Openwin,GTK等图形界面库和Windows平台上的MFC,OWL,VCL,ATL等类似。目前,Google Earth、Adobe Photoshop Elements等软件都是基于Qt编写。

Qt引入了信号与槽的机制^[15]。信号可以被认为是一种标识符,而槽则为一种函数,两者联系紧密。槽函数和普通函数有所差别,它可以与信号进行关联,也能如普通函数那样被直接在程序中调用。若某一事件发生,作为特定标识的信号被发送,触发了相关联的槽函数,并开始执行指定的操作。在编写程序时,通过框架内的QObject类中connect()函数将某一信号与槽函数关联起来。信号与槽之间有多种关联情况,例如某一信号可以与一个或同时与多个槽函数关联,此外还允许多个信号同时与一个槽函数关联,其中任何一个信号发出都会触发槽函数的执行。当某一信号已经与多个槽函数进行关联,发出信号后多个槽函数则按照随机顺序运行。信号之间也可以进行关联。若两个信号进行关联,先发出的信号将会触发另外一个信号^[16],随后再执行与信号关联的槽函数代码。

使用Qt能够更简单、快速地开发有更强交互能力的应用软件,所以基于Qt开发了一个完整的能够单个或批量处理各波段各型号雷达基数据的系统。系统采用版本为Qt5.8.0作为开发人机交互界面的工具。

1.2 软件结构

根据天气雷达软件的设计需求,软件共包含如下模块:用户界面、功能选择、单一或批量处理选择、数据读取、数据预处理、产品生成和保存、产品显示和浏览等多个模块。各模块之间联系紧密,根据单一或批量处理模式的选取,决定后续对数据的处理方式,模块关系如图1所示。系统使用多线程设计结构,由1个主线程2个次线程组成。使用线程可以把占用内存时

间长的操作独立出来运行,避免了单一线程出现卡顿,以及处理能力不足的问题。

当主程序运行后,系统进入用户界面模块,并完成系统初始化,等待用户指令。用户选择需要处理的雷达型号及生成的产品种类。系统产品主要分基本数据产品(反射率因子、径向速度、速度谱宽等的PPI或RHI等)和相关衍生产品(如垂直积分液态水、组合反射率因子、回波顶高等)。根据实际需求选择单一或批量处理模式,然后加载目标数据。当单一处理雷达数据时,会对生成的产品进行显示和保存,并提供预览功能。而使用批量处理模式时,系统只生成和保存产品,不提供显示功能。系统生成一次PPI产品流程如图2所示。

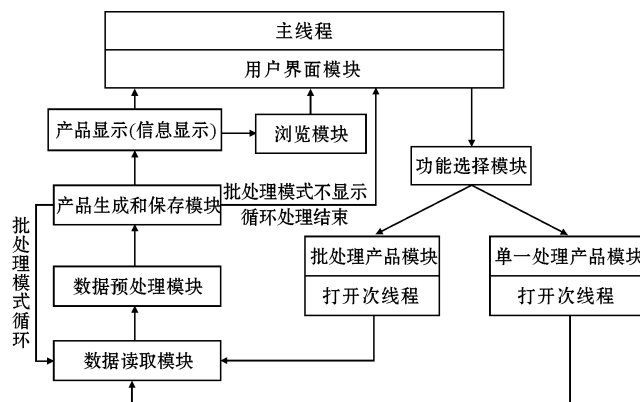


图1 系统模块关系

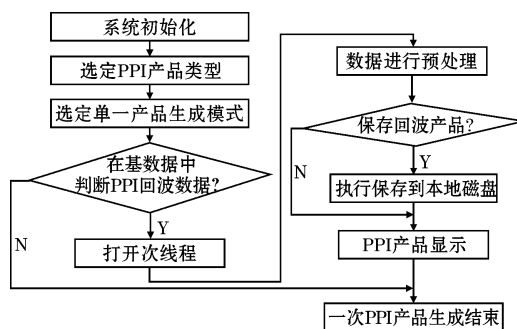


图2 一次PPI产品生成流程

2 主要功能模块和运行效果

用户界面在人机交互中起到桥梁的作用,能够让用户一目了然,极简操作是设计的目的。系统用户界面设计直观、简单,使用户不需要特别的指导就可以快速上手操作。界面包含菜单栏、产品类别、单一或批量处理模式选择部分。菜单栏中同样提供文件加载、产品选择功能,除此之外还增加了帮助功能,介绍了软件的设计目的和操作方法,为用户提供使用便利。通过在用户界面中选择雷达型号、产品种类、数据处理方式

及数据加载和产品保存路径,便可生成所需产品。用户界面如图3所示。



图3 系统用户界面

软件设计采用多线程的编程方法^[17-18]。线程是系统进程中的实体,也是系统能够单独支配的最小单元。线程不单独占有系统资源,在同进程内运行的所有线程间共享全部资源。Qt 软件提供了多线程 QThread 类,用户通过继承 QThread 类得到自己需要的线程类,并定义线程对象便可设定系统线程的数量。在设计专属线程类时,经过改写软件提供的 QThread 类中 run() 函数实现具体要执行的任务。若要启用线程,使用线程类定义的对象调用 start() 函数后即可进入目标线程的 run() 函数,触发并开始执行相应操作。若要终止线程运行,可先后调用 QThread 类中 stop() 和 wait() 函数实现。Qt 中还能利用信号与槽机制的跨线程连接特性,用某一线程的信号触发另一线程的槽函数实现线程间的通信。系统引入多线程设计,可以明显提升整体的运算能力。系统设计为 1 个主线程,2 个次线程,分别负责单一或批量数据处理。程序设计时,考虑到某些因素的影响,若线程在执行任务期间便被强行中断,程序中立即响应操作,终止线程,并释放处理任务时占用的内存。

单一或批量处理模式为用户使用提供很大的方便。单一处理模式通过对基数据的读取、预处理及绘图后,可以将产品图像显示出来。而且在显示界面右击鼠标时,会弹出菜单栏,提供对产品的预览功能选项,实现对产品的放大缩小,有助于查看天气过程的细节变化。批量处理模式预先获取需要生成产品的所有数据路径,按照顺序循环读取数据和生成产品,并将产品保存在目标路径文件内,不提供产品显示和预览功能。产品图像保存为.png 格式,文件名由雷达站点、仰角层或方位角信息、产品类型、数据日期及使用的数据类型组成,例如 HZDMS_Layer1_PPI_20151205_080354_ref.png。系统设计时,产品

生成过程提供进度显示功能。单一处理模式的进度显示包括目前执行的操作步骤,能够更透明的让用户了解生成产品的状态。批量处理模式提供了列表式的进度显示,将还未生成产品的数据标记为“未处理”,而处理完后则将该数据标记为“已处理”,此外,界面上还提供处理文件总数和剩余未处理文件数量的显示,批量处理界面如图4所示。

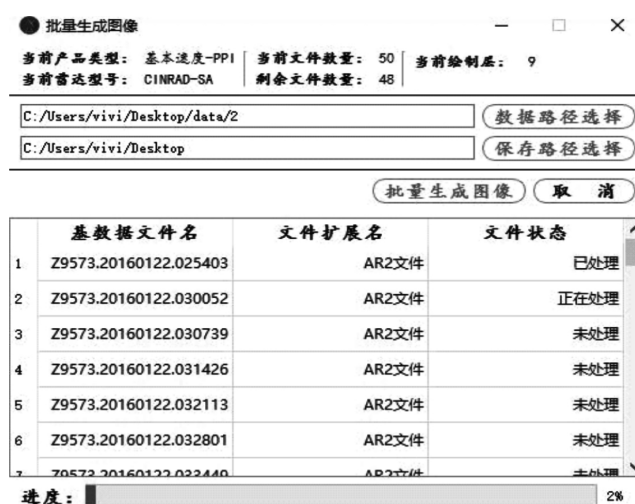


图4 批量处理数据界面

新一代多普勒天气雷达与双线偏振雷达的基数据格式并不相同,所以在读取时需要进行区分。在读取数据时,通过选择的雷达型号能够确定数据格式,从而调用对应的数据读取函数。按照官方给定的基数据格式,通过编写通用头块、站点配置块、任务配置块、扫描配置块、径向数据块等的结构体,便能够循环获取到雷达各个距离库内的反射率因子、径向速度等回波数据^[19]。双线偏振雷达基数据提供了更多与站点、信号处理等相关的信息,保存格式更加规范化。双线偏振雷达基数据结构如下:

```
class Dual_Polarization
{
    typedef struct sGENERIC_HEADER //通用头
    {
        GENERIC_HEADER;
    }
    typedef struct sSITE_CONFIG //站点配置
    {
        SITE_CONFIG;
    }
    typedef struct sTASK_CONFIG //任务配置
    {
        TASK_CONFIG;
    }
    typedef struct sCUT_CONFIG //扫描配置
    {
        CUT_CONFIG;
    }
    typedef struct sRADIAL_HEADER_BLOCK //
   径向头
    {
        RADIAL_HEADER_BLOCK;
    }
    typedef struct sMOMENT_HEADER_BLOCK //
```

径向数据头

```
{ } MOMENT_HEADER_BLOCK;
};
```

由于电磁波的传播距离、噪声因素等的影响,在数据读取的同时需要进行预处理。数据预处理主要包含地物滤除、速度退模糊、平滑滤波和衰减订正等。系统对数据仅做了平滑滤波,消除存在的噪声。利用常见

的九点平滑滤波算法,其原理为取某一雷达距离库周边的一个固定区域,一般为该距离库前后左右等库组成的 3×3 区域,对此区域内的各个距离库的参量值相加后求平均值,将该平均值作为目标距离库新的取值,这样能够有效去除杂点。最后,利用此原理对整个扫描中的每个径向都作平滑滤波处理。

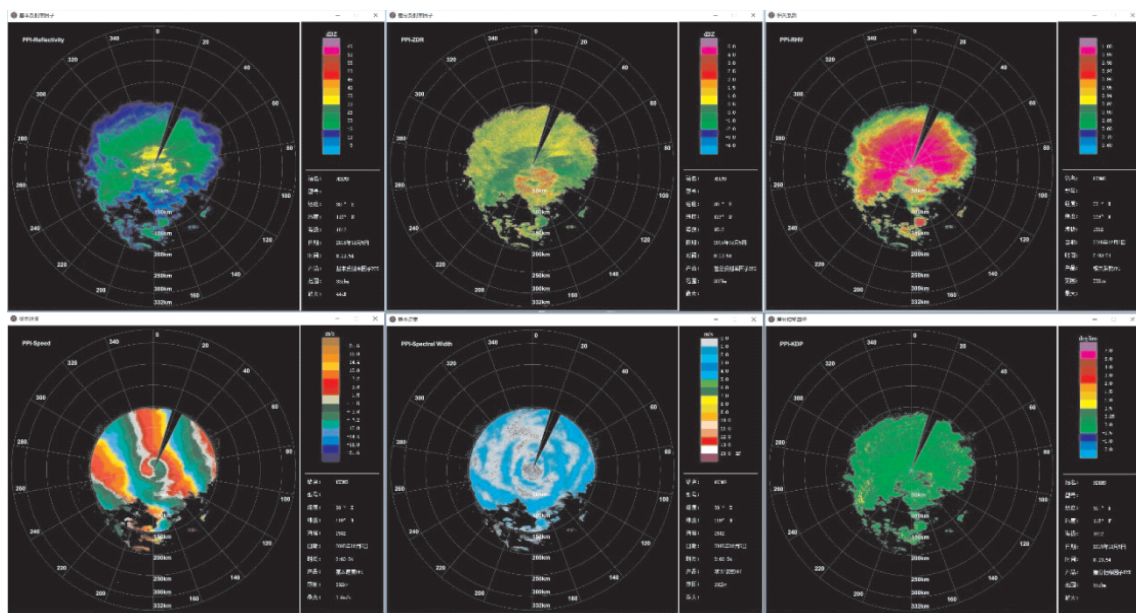


图5 反射率因子、差分反射率因子、相关系数、径向速度、速度谱宽和差分相移因子等产品

Qt 提供的绘图框架主要由 3 个类组成:QPainter、QPaintDevice 和 QPaintEngine。QPainter 用来执行与绘图相关的具体操作,其既可以绘制点、线、矩形、多边形等等基本图形,也可以绘制比较复杂的图形。在绘图时,可以通过画笔(QPen)改变 QPainter 的属性(颜色、线宽等),也可以使用画刷(QBrush)对图形进行颜色填充。在绘制文字时,字体由 QFont 类定义,通过 setFont() 函数完成字体属性修改。QPaintDevice 是 QPainter 用来绘图的设备,Qt 提供了多种已经预定义的绘图设备,如从 QPaintDevice 继承而来的 QWidget、QPixmap、QImage 等。系统使用 QPixmap 作为绘图设备,绘图时建立长宽均为 2 倍径向距离库数的 QPixmap 画布,以画布中心为雷达站点位置。而在绘图时将画布中心定为坐标系原点,通过选取各坐标点并计算出对应的距离库编号和方位角,匹配到当前方位角上该距离库的数据值或衍生出的其他产品数据值,通过对比色标,便可在每个坐标点(像素点)上着色。最终绘图结果返回给显示部分,展现在电脑屏幕上。使用 2015 年杭州临安双线偏振雷达数据生成的部分产品如图 5 所示,显示界面中提供了参考色标、雷达站点信息和产品信息,为用户使用提供便利。绘图时色标

选取步骤如下:

```
if (eDataType == base_ref_raw_log) //判断产品类型
{
    if (fDataIn > -999 && fDataIn <= 5) //判断取值范围,在范围内则取该色标
        clrRe = RGB(0, 236, 236);
    else if (fDataIn > 5 && fDataIn <= 10)
        clrRe = RGB(1, 160, 247);
    else if (fDataIn > 10 && fDataIn <= 15)
        clrRe = RGB(0, 0, 247);
    else if (fDataIn > 15 && fDataIn <= 20)
        clrRe = RGB(0, 254, 0);
    else if (fDataIn > 20 && fDataIn <= 25)
        clrRe = RGB(0, 200, 0);
    else if (fDataIn > 25 && fDataIn <= 30)
        clrRe = RGB(0, 144, 0);
    else if (fDataIn > 30 && fDataIn <= 35)
        clrRe = RGB(254, 254, 0);
    else if (fDataIn > 35 && fDataIn <= 40)
        clrRe = RGB(231, 192, 0);
```



```

else if( fDataIn>40 && fDataIn<= 45)
    clrRe=RGB( 254 ,144 0) ;
else if( fDataIn>45 && fDataIn<= 50)
    clrRe=RGB( 254 0 0) ;
else if( fDataIn>50 && fDataIn<= 55)
    clrRe=RGB( 210 0 0) ;
else if( fDataIn>55 && fDataIn<= 60)
    clrRe=RGB( 174 0 0) ;
else if( fDataIn>60 && fDataIn<= 65)
    clrRe=RGB( 254 0 254) ;
else if( fDataIn>65)
    clrRe=RGB( 153 85 201) ;
}

```

图像浏览功能主要依托 Qt 中的 QGraphics View 图形视图框架,该框架可以利用 Qt 绘图系统的反锯齿、OpenGL 工具来改善绘图性能,支持时间传播体系结构,能够使图元在场景中的交互能力成倍提高,此外图元能够处理键盘事件和鼠标事件。在系统中通过使用该框架实现了对应的产品图像的浏览功能,能够执行放大、缩小、拖动等操作。框架提供了多种函数实现对图形的操作,如放大、缩小功能的实现主要依靠 scale() 函数实现。产品预览界面如图 6 所示。最终导出开发程序时,设置了应用图标,从而形成了完整的应用程序,如图 7 所示。

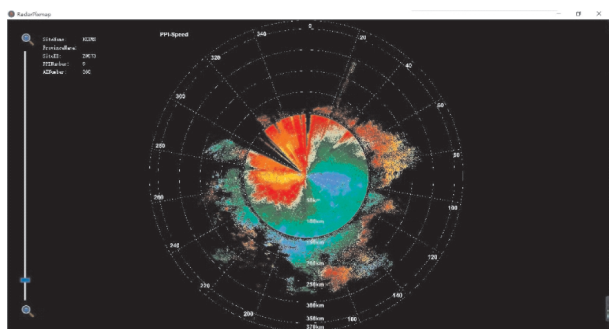


图 6 图像预览界面

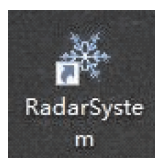


图 7 生成应用软件后的图标

3 结束语

基于 Qt 平台设计了适用于多波段多型号新一代多普勒天气雷达和双线偏振雷达的基本数据产品和衍生产品的处理生成系统,实现产品的生成和浏览等功

能,从而满足正处于升级改造为双线偏振雷达的阶段性能需求。通过查看生成的反射率因子、差分反射率因子、相关系数等 PPI 和 RHI 产品及回波顶高、组合反射率因子、垂直积分液态水等衍生产品,系统基本满足用户的使用要求。系统对于雷达数据预处理只进行平滑滤波,这远远不够日常使用时的预处理要求,后期还需要查阅文献,对相关双线偏振雷达参量做衰减订正处理,从而提高输出的衍生产品质量。此外,绘制的 PPI、RHI 或者其他衍生产品都是二维空间上的,后期增加立体的三维空间产品生成和浏览功能,提供更直观的产品结构。

参考文献:

- [1] 刘柏兵.气象雷达在民航安全中的应用浅析[J].河南科技,2015(21).
- [2] 张欢.基于风场信息的强对流天气预报研究[D].天津:天津大学,2010.
- [3] 李柏,古庆同,李瑞义,等.新一代天气雷达灾害性天气监测能力分析及未来发展[J].气象,2013,39(3):265-280.
- [4] Seliga, T A, Bringi, V N. Potential use of radar differential reflectivity measurements at orthogonal polarizations for measuring precipitation[J]. Journal of Applied Meteorology, 1976, 15(15): 69-76.
- [5] 曹俊武,刘黎平.双线偏振雷达判别降水粒子类型技术及其检验[J].高原气象,2007,26(1):116-127.
- [6] 陈程,肖辉,冯亮,等.北京地区强冰雹风暴的双偏振特征观测分析[J].安徽农业科学,2014(22):7511-7515.
- [7] 楚志刚,顾松山,王成刚.新一代天气雷达基数据兼容方法的分析[C].中国气象学会年会雷达技术开发与应用分会场,2010.
- [8] 楚志刚,银燕,顾松山.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):180-184.
- [9] 周鑫,何建新,刘艳,等.利用 GIS 软件实现多普勒天气雷达产品设计[J].现代雷达,2010,32(7):106-108.
- [10] 楚志刚.天气雷达开放式数据处理系统设计[D].南京:南京信息工程大学,2009.
- [11] 赵坤,陈建军,方德贤,等.数字天气雷达虚拟终端的硬件和软件设计[J].高原气象,2006,25(2):335-343.

- [12] 王美娟.基于 Linux 平台的天气雷达显控系统软件的研制 [D].南京: 南京航空航天大学,2009.
- [13] 吕林森,周磊,胥济国,等.一种面向服务的航电任务系统软件架构 [J].航空计算技术,2014,44(6): 84-87.
- [14] 陆文周.Qt5 开发及实践 [M].2 版,北京: 电子工业出版社,2015.
- [15] Blanchette J,Summerfield M.C++ GUI Programming with Qt 4 [M].America: Prentice Hall Press,2006.
- [16] 龚凌璞.Qt 框架中信号和槽机制的研究 [J].计算机光盘软件与应用,2013(11): 281-281.
- [17] Yacci M.Threads primer: a guide to multi-threaded programming [Book Review] [J].IEE Software,1997,14(5): 116.
- [18] Lewis B, Berg D J.Threads primer: a guide to multithreaded programming [M].America: Prentice Hall Press,1995.
- [19] 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 2007 年年会气象综合探测技术分会场论文集,2007.

Design and Implement Weather Radar Data Processing System based on Qt

WEI Wei¹, GAO Bitong², DU Yufei³, QING Pengcheng⁴, LONG Guicai⁵

(1. College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Guangdong Lianzhou meteorological service, Lianzhou 513400, China; 3. Chongqing flood control and drought relief center, Chongqing 401100, China; 4. Guangdong Zhongshan meteorological service, Zhongshan 528401, China; 5. Guangxi Zhuang Autonomous Region Wuzhou meteorological service, Wuzhou 543002, China)

Abstract: In the field of meteorology, weather radar is the main tool for observing precipitation processes. With the rapid development of radar technology, the new generation Doppler weather radar in China has gradually upgraded to dual-linear polarization radar. It provides more radar polarization parameters, thus being able to more fully analyze the characteristics of weather processes and continuously improve the observation and forecast capabilities of severe convective weather processes such as heavy rain, tornado and hail. In order to meet the needs of the transition period of radar development and make it convenient for users to use and view different radar products, this paper designs a multi-band and multi-model radar data processing software system based on Qt. Finally, the basic data products such as reflectivity factor, radial velocity, velocity spectrum width, differential reflectivity factor, correlation coefficient and other derivative products such as echo tops, combined reflectivity factor and vertically integrated liquid water are generated and previewed. Through the verification of the product effect, the system can basically meet the use requirements.

Keywords: new generation Doppler weather radar; dual-linear polarization radar; Qt; data processing software; basic data products; derivative products