

新一代天气雷达标准化信号处理器设计与应用

崔劫 张垚 孙召平 刘强
(北京敏视达雷达有限公司, 北京 100094)

摘要: 为了解决新一代天气雷达信号处理算法升级和双线偏振升级的问题, 研制了标准化信号处理系统。设计中采用了软件无线电体系设计思路, 把信号处理按照处理的不同对象划分, 划分后将不同类别的处理功能封装到不同平台上, 由信号处理器和计算机软件分别处理。这种设计架构具有开放灵活、可继承移植、升级快捷等特点, 在此系统平台上研发的信号处理算法程序, 能够快速地将国内外最先进的天气雷达信号处理研究成果转化成应用, 并扩展到各种型号的天气雷达系统中; 同时, 在硬件设计上, 信号处理器性能优异, 支持天气雷达双线偏振升级, 具有标准化特性, 通过更换此模块能解决历史上使用过的各型号各版本信号处理器的技术差异问题。应用本系统后的天气雷达, 观测天气目标的准确性和全面性都大幅提高。

关键词: 天气雷达, 软件无线电, 信号处理, 模数转换

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.06.014

The Design and Applications of a Standardized Signal Processors in the New Generation of Weather Radar

Cui Jie, Zhang Yao, Sun Zhaoping, Liu Qiang
(Beijing Metstar Radar Co., Ltd., Beijing 100094)

Abstract: In order to solve the problem of the signal processing algorithm upgrade and the dual polarization upgrade in the new generation of weather radar, a standardized signal processing system is developed in this paper. Adopted the idea of designing the software radio system, we divide the signal processing in accordance with the processing of different objects, then the divided categories of processing functions are capsulated into different platforms, and let the signal processor and the computer software to process signals respectively. This design architecture is open and flexible, inheritable transplantation and upgrade quickly. The signal processing algorithm procedures on this system platform can make the achievements of the most advanced weather radar signal processing at home and abroad to be transfer to applications quickly and can be expanded to all kinds of weather radar system as well. Meanwhile, on the hardware design, the signal processor has a good performance to support the double polarization weather radar upgrades, to have the standardized characteristics. By changing the module, it can solve the technological differences of signal processor in the used versions of various sizes in the history. With applying the weather radar of this system, the accuracy and comprehensiveness of weather targets are greatly improved in the observation.

Keywords: weather radar, software radio, signal processing, ADC.

0 引言

天气雷达在气象短临预报、防灾减灾等方面发挥着巨大的作用。目前, 我国已经完成近200部天气雷达的布设, 在气象业务和科研中发挥了重要作用。但与国外天气雷达相比还存在一定技术差距, 这主要有两点原因: 1) 受限于多年前的电子技术和设计思路, 信号处理器的处理能力不足, 集成度低、指标不

够先进, 导致我国天气雷达的探测表现上如地杂物抑制、退距离模糊和退径向速度模糊等方面不如国外雷达; 2) 国外天气雷达已经向双线偏振升级的路线上迈进, 其可以获得更准确、更全面的观测数据^[1]。此外, 由于历史原因, 我国业务雷达型号众多, 对应信号处理器种类繁多, 在信号处理技术算法上存在很大差异^[2], 使雷达探测数据质量不能保持一致, 也给运行、管理、维护等工作造成困难。因此, 研制能够适用于当前所有型号天气雷达且具有双线偏振化处理能力的标准化信号处理器, 成为新一代天气雷达技术升级中的一项极为重要的任务。

我们分析了国内主要天气雷达当前使用的信号处理器(包括过去的CINRAD SA/SB/CB型信号处理器

收稿日期: 2018年5月22日; 修回日期: 2018年10月23日
第一作者: 崔劫(1980—), Email: Jie.cui@metstar.net
资助信息: 新一代天气雷达升级主要技术研究项目
(GYHY200906034); 双线偏振技术业务化应用研究项目(GYHY201306075)

及其他厂家自行研制的信号处理器)，相对过去这些专用的信号处理器，我们采用了具有诸多优点的软件无线电接收体系作为设计架构；同时，学习了国外先进的、具有代表性的RVP900信号处理器，以之为性能参考（表1）。在两个公益性行业（气象）科研专项（新一代天气雷达升级主要技术研究，双线偏振技术业务化应用研究）资助下，研制出新一代天气雷达标准化信号处理器。通过实际使用结果表明，该信号处

理器性能优异，适用于CINRAD/SA、CA、XA等多型号天气雷达，达到国际同类先进水平，已在浙江、福建、广东等省的多个双线偏振天气雷达上应用，作为新一代天气雷达技术升级中一个重要的组成部分在全国天气雷达网中推广。其中，最早应用的天气雷达已连续运行超过了4年，如临安天气雷达对地区科研观测起到了促进作用，广东省天气雷达大幅度提升了业务组网拼图能力^[3]。

表1 标准化信号处理器与RVP900主要技术指标对比
Table 1 Comparison of the main technical indexes of standardized signal processor with the RVP900

技术指标	RVP900	标准化信号处理器
中频输入范围	5~120 MHz	5~120 MHz
动态范围	90~105 dB	90~120 dB
A/D转换	16位最大100 M采样频率，抖动小于1.0 ps	16位最大100 M采样频率，抖动小于0.6 ps
运算能力	每秒能执行384亿次累乘	每秒能执512亿次累乘
相位稳定度	速调管：优于0.1°	速调管：优于0.1°
处理模式	支持PPP, FFT	支持PPP, FFT
数据输出	支持8/16位Z, V, W, SQI, Zdr, Ldr, ρ _{hv} , ϕ _{dp} 和Kdp, I/Q, 多普勒功率谱	支持8/16位Z, V, W, SQI, Zdr, Ldr, ρ _{hv} , ϕ _{dp} 和Kdp, I/Q, 多普勒功率谱
双PRF速度解模糊	支持2:3, 3:4和4:5模式	支持2:3, 3:4和4:5模式
距离解模糊	基于随机相位的二次回波消除，但不能恢复	基于SZ相位编码的二次回波过滤和恢复
地物杂波过滤	支持固定和自适应宽度滤波器以及GMAPTM滤波，地物抑制能力达60 dB。	支持IIR和自适应频域滤波，地物抑制能力达60 dB。支持的实时杂波识别技术，能够减少地物滤波对天气信号的影响。

1 信号处理器的软件体系架构概述

借鉴国外天气雷达信号处理系统的设计经验，舍弃传统硬件体系架构的设计思路，采用了接近软件无线电接收体系的架构设计新的信号处理器系统^[4]。传统硬件体系主要使用两种核心器件，数字信号处理器（Digital signal processing, DSP）和现场可编程门阵列（Field-programmable gate array, FPGA）作为处理媒介。但它们在天气雷达信号处理上有一定劣势，在下文中详细阐述。

首先，分析一下雷达回波数据块的主要模型^[5]（图1）。图1中，y轴表示距离，y轴上的任意一条线代表雷达发射一个脉冲后接收到不同径向距离上的所有目标的回波。x轴表示脉冲序列中的脉冲数，x轴上的任意一条线代表雷达发射多个脉冲后，接收到同一目标不同时间的所有回波信号的序列。z轴表示通道数，其上任意一条线代表了两个通道同一时间接收到的回波。

在处理模型中，y轴称为快时间轴。该轴上信号处理的对象是模拟数字转换器（Analog-to-digital converter, ADC）采样后的中频数字信号，数据间隔是ADC采样时间。处理的目的是滤除雷达带宽外的

噪声和解调雷达波形，提高有用信号的信噪比。主要算法包括下变频、抽取内插、匹配滤波和脉冲压缩等。处理的结果是以 $1/\beta$ （ β 为雷达带宽）为单元（或称为距离单元），包含信号幅度和相位信息的IQ（同相/正交矢量信号，In-phase/Quadrature）数据。在信号处理器中，因具有数据量大、速率快和实时性要求高等特点，所以该工作由FPGA来完成。x轴称为慢

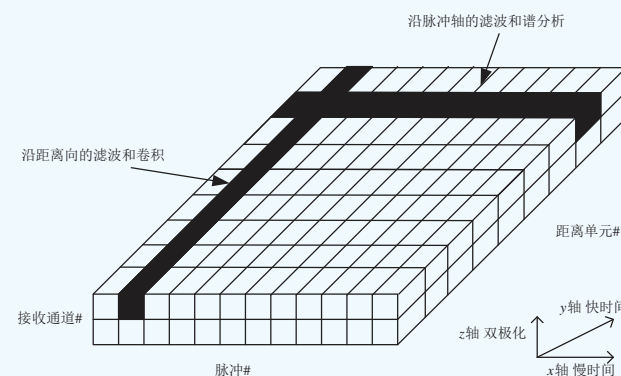


图1 双线偏振多普勒天气雷达关键处理函数与雷达数据块运算关系示意图

Fig. 1 A schematic diagram of the relationship between the key processing function and the block computation of radar data in a dual polarized Doppler weather radar

时间轴，该轴上信号处理的对象是y轴处理后的IQ数据，将其在x轴上按照脉冲重复频率（Pulse repetition frequency, PRF）的倒数脉冲重复周期为间隔二次采样，采样后的每一数据序列是同一目标的回波。处理目的和结果是解析目标物，提取天气目标有用信息，得出目标基数据。因此慢时间维范畴的处理方法是当前天气雷达信号处理技术研究的主流方向。z轴表示不同通道，其处理对象与x轴相同，处理的目的是解析双通道相关性，产生双线偏振化的基数据，如Zdr（差分反射率）、 ϕdp （差分传播相移）、 ρhv （相关系数，简称为CC）、Kdp（差分传播相移率）、Ldr（退偏振比）。在信号处理器中，慢时间维和通道轴之间的信号处理相对复杂，大多使用DSP来完成。

图2为传统天气雷达数字信号处理器的设计架构框图。在图2的设计架构中，接收到的回波在ADC采集之后的数字信号处理的全部由FPGA和DSP来完成，最后将得出的基数据传输给雷达数据采集（Radar data acquisition, RDA）计算机，RDA控制软件（RDA status and control, RADSC）负责雷达监控控制，伺服控制，基数据显示、存储与传输；RDA标定软件（RDA system operational test, RDASOT）负责雷达离线标定。后端的雷达产品生成软件（Radar product generator, RPG）和雷达产品显示软件（Principal user processor, PUP）完成气象产品的生成和显示工作。

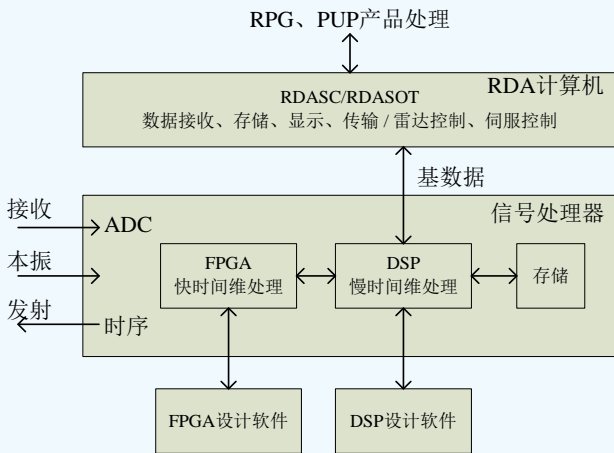


图2 硬件信号处理器设计架构框图

Fig. 2 The design framework diagram of hardware for the signal processor

这种硬件体系架构在天气雷达信号处理中相对劣势是：

1) DSP处理软件和气象软件的设计与运行均处

于不同载体上，DSP软件开发人员更注重函数本身模型和运行效率，而气象软件开发人员则更注重目标模型和目标被函数处理后的效果，彼此的建模思路有偏差。此外，DSP处理软件的数据分析功能较为薄弱，目前的DSP+Matlab的数据分析功能主要针对处理算法程序的仿真和硬件电路的调试，并非针对雷达应用中的实际数据。

2) 随着天气雷达信号处理算法的不断推陈出新，以及雷达功能的不断扩展，作为信号处理器核心平台的DSP和处理程序需要不断升级，以便为理论研究成果提供应用。但是DSP设计软件编写的算法处理程序与DSP硬件平台联系紧密，不可分割，存在功能单一性和不可移植性。

3) 信号处理软件升级会周期性受限于硬件平台，而新的硬件平台研发周期长，使成果应用滞后，与新技术快速应用的发展需求相悖。另外，在研发和应用的过程中，遗留了型号繁多、性能滞后的信号处理器，还给天气雷达的备件维护造成了困难。

在本信号处理系统的研发中，依据软件无线设计理念设计开放的信号处理体系架构（图3）。该架构采用信号处理技术分工的方式，由信号处理器中的FPGA完成面向ADC采样数据块和实时性要求较高的快时间维信号处理；由计算机软件来完成面向IQ数据阵的慢时间维信号处理。近年来，电子计算机技术飞速发展，使得计算机能够满足天气雷达信号处理工作需求，且计算机还具有升级扩展便捷的优势。这种设计架构相对应的优势：

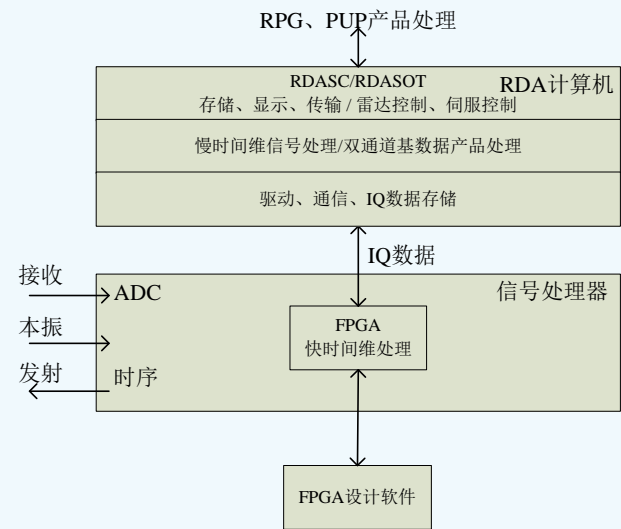


图3 标准化信号处理器的设计架构框图

Fig. 3 The design architecture block diagram of the standard signal processor

1) 天气雷达信号数据处理需求与天气雷达软件

设计人员可无缝衔接，使雷达产品相关的算法设计与气象应用更加紧密。此外，基于IQ数据的软件设计过程中可以预留出更多的真实数据验证环节，便于在实践中验证并促进相关技术的不断发展。

2) 软件采用分层架构，可以实现与硬件信号处理平台的剥离。雷达信号处理算法程序设计可以采用面向对象的方法，增强了扩展性和移植性。由此，该信号处理系统具有被应用于各种型号的天气雷达的可能。

3) 雷达信号处理软件，特别是个别功能算法可采用模块化实现。模块开发完全独立且开发更为快捷，使得新技术能够即插即用。基于这种技术方法，可以做到信号处理器的标准化，有利于统一技术标准、处理方法等，解决国内天气雷达型号众多等历史遗留问题。

图3中，信号处理器硬件采用FPGA为核心，实现ADC数据采样、雷达系统时序生成和快时间维数据处理。慢时间维信号数据处理和双通道间的基数据产品生成在计算机中由软件完成。软件采取分层方式，包括面向底层的驱动、数据通信、IQ数据存储，面向IQ数据的慢时间维数据处理、双通道基数据处理，以及

面向应用的基数据存储、显示、通信与雷达控制。各层模块之间相对独立。只需要统一数据接口，就可将它们之间进行搭配组合。新增加的IQ数据存储功能，有利于分析和研究具体的天气现象过程。

2 信号处理器的设计

新的标准化信号处理器拥有优异的性能，这是提高雷达数据质量的重要因素之一。该处理器具备一致性好和隔离度高的多采集通道，能够满足天气雷达双极化技术升级的需求；拥有极高的信噪比、幅度/相位精度与稳定性；具备快速实时处理能力，能够同步完成多通道气象回波快时间维的处理运算；生成高质量IQ数据并通过高速数据交互端口，实时传输给处理计算机。此外，该标准化信号处理器设计了大量通用的各类标准电平接口，可将产生的时序信号送至雷达各模块，控制雷达同步运转，使之可以成为各型号天气雷达的时序控制中心。

2.1 信号处理模块设计

2.1.1 信号处理器硬件及要完成的整体功能概述

图4是信号处理器的主要电路和处理逻辑框图。中间的框内为信号处理器的处理逻辑，其功能由一片高集成度的FPGA来实现。

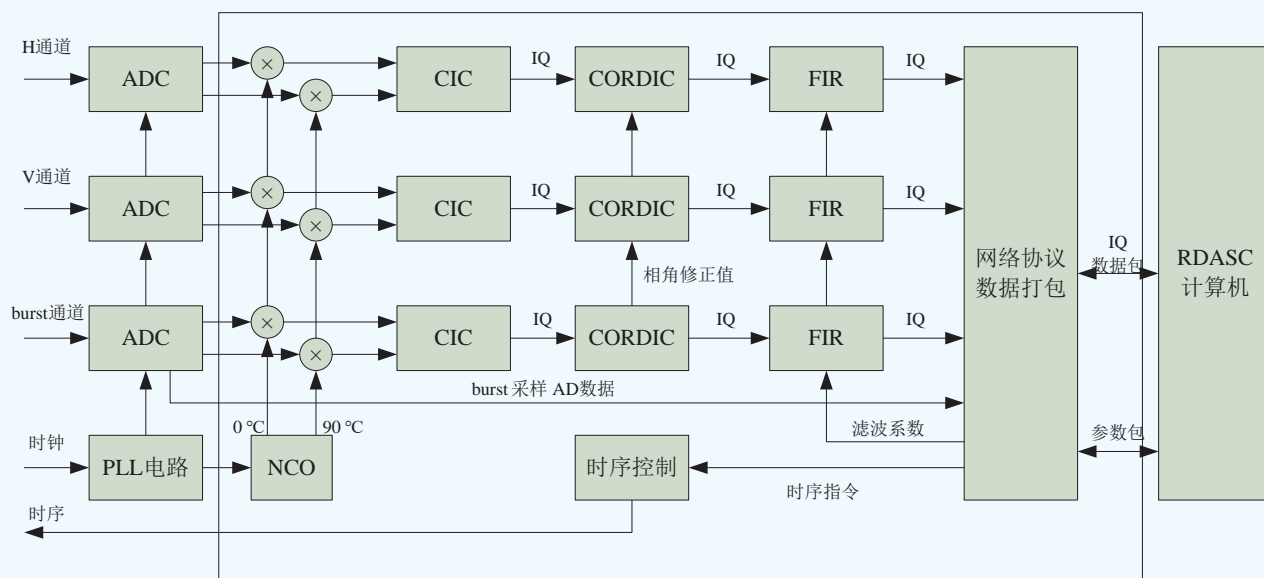


图4 信号处理器主要电路及处理逻辑框图

Fig. 4 The main circuit and processing logic block diagram of the signal processor

水平（H）通道、垂直（V）通道（可选）和burst通道（发射机脉冲束采样，以下简称“burst”）的回波模拟量，由信号处理器ADC采集转化成数字信号。其中采样时钟由软件设定，由数控锁相环（Phase-locked loop, PLL）电路产生。数字化后

的各路数据通过与数控振荡器（Numerical control oscillator, NCO）产生的两路正交中频本振信号相乘，变成包含I和Q的零频复信号。burst通道的ADC数据通过FPGA内嵌的以太网访问模块（Embedded tri-mode Ethernet media access control, Tri-MAC）被直

接打包上传至计算机，由信号处理软件分析、计算出滤波器的滤波系数，匹配雷达带宽。所有通道数据依次经过下变频积分梳状滤波器（Cascaded integrator-comb filter, CIC）抽取滤波，坐标旋转数字计算模块（Coordinate rotation digital computer, CORDIC）相位修正，有限长单位冲激响应滤波器（Finite impulse response, FIR）滤波。最终产生消除带外噪声后的基带IQ信号，由Tri-MAC模块打包上传至计算机，信号处理软件进行后续处理，产生雷达基数据。

2.1.2 ADC 与时钟电路设计

ADC采样电路的设计是信号处理器能够获得高信噪比的关键，良好的ADC电路设计可以将信噪比提升几个分贝。首先，在适合的频率范围内，ADI公司的16位ADC——AD9446，其两项主要技术指标信噪

比（Signal-to-noise ratio, SNR）和无杂散动态范围（Spurious free dynamic range, SFDR）达到83.6 dBFS和89 dBFS，为同类产品最高，被设计采用，以保证能够获得最好的整体指标。其次，为了获得更好的幅相一致性和通带平坦度，ADC之前采用放大器来调谐，级联带通抗混叠滤波器和调谐匹配电路来降低噪声和信号反射。图5是ADC调谐电路的设计原理框图，放大器（ada4938）将注入的信号转换成差分平衡信号，之后通过一个四阶巴特沃斯滤波器，降低放大器带来的一部分负面噪声。再通过调谐匹配电路，消除ADC内部的等效电容，形成谐振。

ADC采样时钟的电路设计同样至关重要^[6]，当引入时钟抖动后，ADC的信噪比由时钟抖动Jitter的公式决定

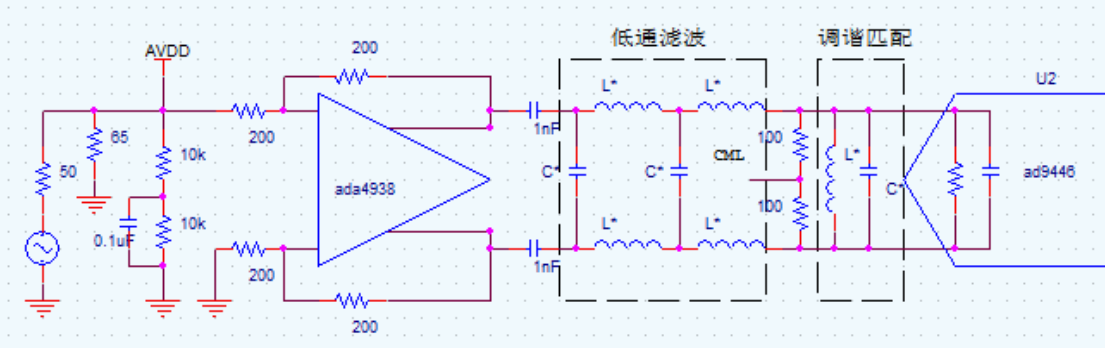


图5 ADC调谐电路设计
Fig. 5 ADC matching circuit design

$$SNR_{jitter} = 20 \log \left(\frac{S_{rms}}{N_{rms}} \right) = 20 \log \left(\frac{1}{2\pi f t_{jitter}} \right) \text{dB}, \quad (1)$$

式中，rms为均方根， S_{rms} 为均方根信号功率， N_{rms} 为均方根噪声功率， f 为采样频率， t_{jitter} 为均方根时钟抖动时间。

当采样时钟有一个误差为 d_t 的抖动，在被采样信号上就会产生一个 dV 的信号误差，信号摆率越大，那么造成的误差 dV 值也就越大。时钟抖动造成的采样失真对处于大动态信号应用的情况会产生较大影响。

本系统本着通用性的设计原则，采样时钟由计算

机软件设定。信号处理器存储设定参数后，每次开机时自动调整PLL芯片的输出频率。其具体电路如图6所示，左侧输入时钟为参考时钟，该时钟接入到鉴相器中。经过环路滤波器、压控振荡器、低通滤波器输出给ADC作为采样时钟，压控振荡器反馈给鉴相器以锁定频率。其框图中黑色虚线框内为锁相环芯片所包含的功能。

2.1.3 数字下变频

数字下变频分为两个基本的模块^[7]：混频模块和抽取滤波模块。其中，混频模块使用NCO产生与信号

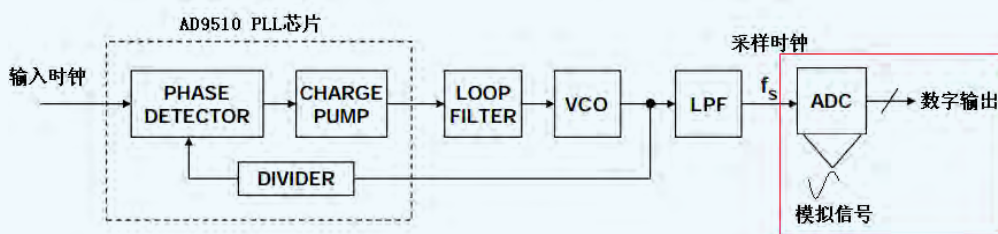


图6 时钟电路的设计框图
Fig. 6 Design block diagram of clock circuit

同频的正余弦波样本值，然后分别与输入数据相乘，完成混频，将信号变为IQ复信号。在信号处理中，由于采样信号的数据率较高，后续的处理模块处理速度压力较大，因此通过抽取滤波器来降低数据率。采用CIC滤波器作为第一级滤波器来实现抽取、低通滤波。CIC滤波器不需要做乘法运算，仅使用加法器和

减法器，架构简单，十分经济方便，被广泛采用。在使用中，由于单级CIC阻带衰减较小，故多采用级联的方式（图7）。其传递函数为

$$H(z) = \left(\frac{1-z^{-RM}}{1-z^{-1}} \right)^N, \quad (2)$$

式中， R 表示降采样的倍数； M 为每个微分延迟环节的个数，通常为1或2； N 为级联的级数。

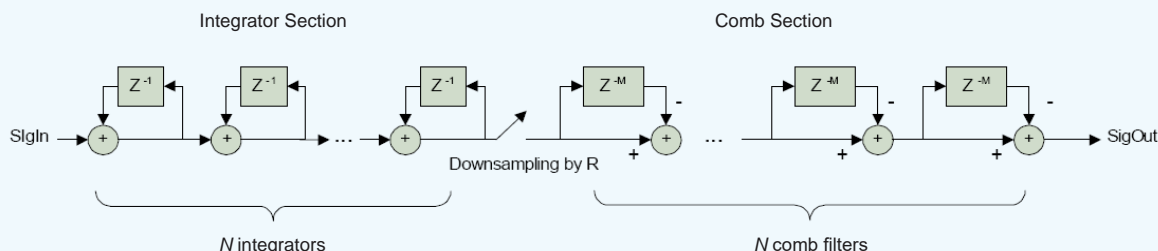


图7 多级CIC抽取滤波器级联架构

Fig. 7 Multi-level CIC extraction filter cascade architecture

2.1.4 burst 信号处理

在使用速调管发射机的系统中，调制器会使发射脉冲产生微小的失真，并增加了相位抖动误差。这些失真和误差会降低回波信噪比、地物抑制能力和速度判别精度^[8]。信号处理器采用两种方法来补偿这些失真和误差。

1) 在标定中将burst信号采样的ADC数据直接打包传给RDASOT。RDASOT通过检波算法，计算出脉冲包络数据并导出给滤波器设计程序设计与实际发射波形相匹配的滤波器，调整信号处理器上FIR滤波器的频率响应，补偿波形失真。burst信号的IQ数据也在相位编码处理中应用。

2) 在采集处理过程中，对CIC滤波后的burst信号进行瞬时捕捉，将脉冲峰值点的IQ值锁存并转换成幅度相位形式的极坐标数据。相位值被送入水平和垂直通道，通过CORDIC算法^[9]进行相位修正，补偿相位误差。

2.1.5 匹配滤波器设计

匹配滤波器的作用是抑制雷达带宽外的噪声，使输出的有用信号成分尽可能强，减小噪声对信号判决的影响。当匹配滤波器的频率响应与信号频谱的复共轭相一致时，其输出的信噪比最大。其公式为

$$H(\omega) = S^*(\omega) e^{-j\omega t_0}, \quad (3)$$

式中， $H(\omega)$ 为匹配滤波器的频率响应， $S^*(\omega)$ 为输入信号频率响应的共轭。

FIR滤波器，又称非递归型滤波器。是数字信号处理中的基本元件，它可以在保证任意幅频特性的同时具有严格的线性相频特性，同时其单位抽样响应是

有限长的，因而是稳定的系统，被广泛采用。其传递函数为

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)a(n-k), \quad (4)$$

式中， $x(k)$ 为输入信号， $y(n)$ 为输出信号， $a(n-k)$ 为滤波器系数， N 为滤波器阶数， k 取0至 $N-1$ 的整数值。

在ADC包络数据被RDASOT导出后，由matlab专用程序读取并设计匹配滤波器，生成FIR滤波器的所有系数，得到匹配的频率响应。

2.2 通信协议设计

以太网接口的物理层围绕CAT-5e标准千兆以太网来构建。允许处理后所有通道的I/Q信号以1000 Mbps速率进行数据上传。协议上为了保证实时性，采用自定义用户数据协议（User datagram protocol, UDP），确保传输效率。

使用以太网接口的信号处理器不再使用PCI/PCIe板卡的形式，可独立置于更加靠近雷达接收前端的位置，减少了模拟信号传输距离，可更好保障ADC采样前的模拟信号质量。

2.3 时序与通用接口设计

天气雷达系统由许多具有不同功能的分机组成。这些分机必须按照一定的节拍进行工作^[10]。标准化信号处理器的时序模块产生一系列触发脉冲，为这些分机提供所需的精确节拍。其时序设计主要由主脉冲定时信号的时序设计和波门定时信号的时序设计两大部分组成。主脉冲定时信号利用接收机送来的时钟生成雷达工作脉冲重复频率的方波、发射主脉冲以及雷达

工作所需的各种主脉冲导前或滞后信号；而波门定时信号主要控制ADC采样和信号处理。

标准化信号处理器的电气接口上采用通用电气标准，接口是可编程配置的，通过定制多种可配置的输入输出接口板，最终由雷达控制软件配置不同参数后，产生发射机和接收机的时序和控制信号，实现对不同型号天气雷达的控制。

3 应用实例展示

3.1 相位编码解距离折叠

新一代天气雷达的速度产品一直受距离折叠的困扰，尤其是台风登陆等大面积回波时速度场出现大面积“紫色区”（距离折叠，速度不可用）。图8a为2015年10月4日“彩虹”台风期间广州雷达的速度图，远距离的速度数据几乎全部模糊不可用，近处的

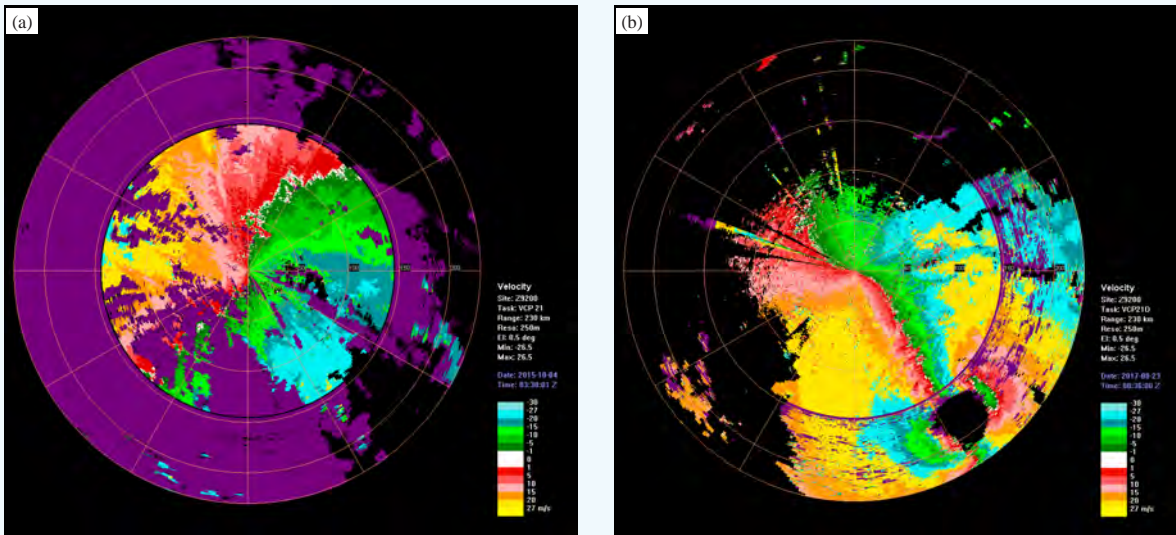


图8 广州雷达速度图对比 (a: 升级前, b: 升级后加入了SZ相位编码技术处理)

Fig. 8 Comparison of speed maps of the Guangzhou radar (a: before upgrading, b: after upgrading added SZ phase coding technology processing)

速度也有大面积不可用。在雷达升级之后，使用了SZ相位编码技术^[11]，该技术能够恢复最强的两程回波的速度。图8b为升级后2017年8月23日“天鸽”台风的速度图，距离折叠（紫色区域）显著减少，速度数据的可用性显著提高。

3.2 地物抑制能力提高

图9为厦门雷达的一次实际滤波效果图。图9a和

图9b为滤波前后回波的强度显示对比，可以发现，新的信号处理器使用了地物杂波识别算法和频域自适应滤波器^[12]，有效解决了现有雷达地物杂波过滤的问题，既能自动滤除地物杂波，又能保持和恢复天气信号，还能自动识别和过滤超折射回波。图10为滤波效果分析，横坐标为目标回波滤波前的回波强度（单位：dBz），纵坐标为算法对地物杂波滤除的强度

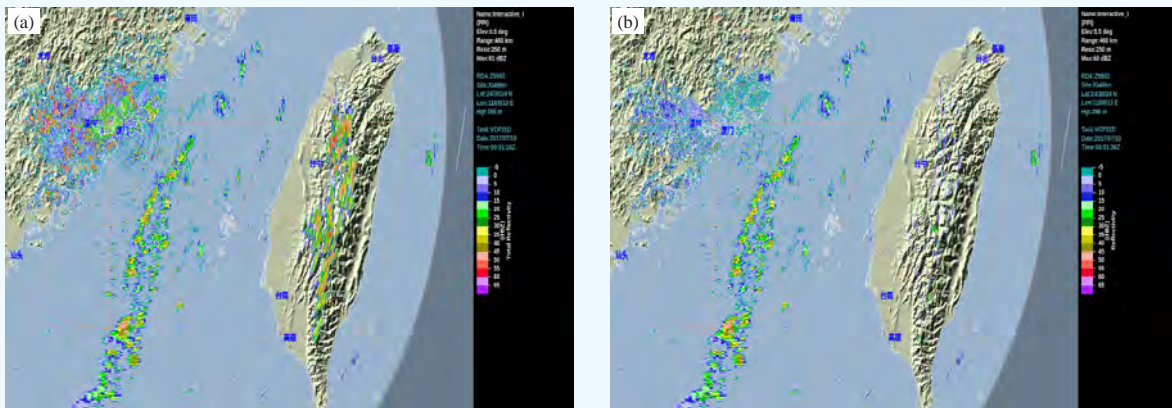


图9 厦门雷达滤波效果展示 (a: 滤波前, b: 滤波后)

Fig. 9 The Xiamen radar filtering effect (a: before filtering, b: after filtering)

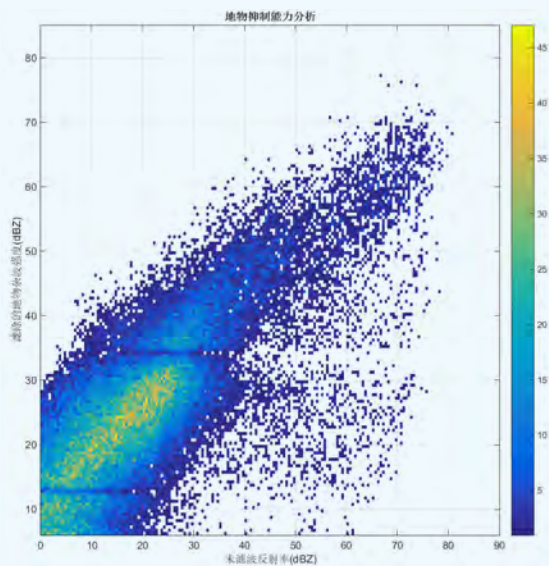


图10 厦门雷达滤波效果展示
Fig. 10 The Xiamen radar filtering analysis

(单位: dBz), 右边的色标代表参与统计的目标数。从图中可以看出大部分回波强度在60 dBz以下地物杂波都得到很高的滤除, 地物抑制制度大于60 dBz, 部分目标地物抑制制度接近70 dBz。

3.3 双线偏振观测

图11为广州双线偏振雷达的一次降水观测^[13]。在

图中的高反射率区域, 通过观测双线偏振参数Zdr和phv, 可以区别降水区域和冰雹区域(冰雹区域的Zdr和phv值较低), 为冰雹这种灾害性天气的识别和预警提供了更多的参考。

4 结语

应新一代天气雷达技术升级和双线偏振升级需求, 研制出的标准化信号处理器具有以下特点:

1) 信号处理系统上采用了处理对象分级的软件体系架构, 信号处理算法程序具有扩展性好、移植性强、开发快捷等特点。

2) 硬件电路和处理逻辑设计上采用先进的电子和信号处理技术, 性能优异; 并且在设计中针对雷达实际使用情况, 做出有效改进, 为提高数据质量提供保证。

3) 兼容性强, 可适用于各种型号天气雷达。满足当前及后续不断改进的天气雷达信号处理技术升级需求, 满足天气雷达双线偏振升级需求。

该系统已经在国内多个天气雷达上升级完成, 新的处理算法程序诸如频域自适应滤波算法、双PRF退速度模糊处理^[14]和SZ相位编码退距离模糊处理等也在雷达业务运行中得到有效应用。相较之前, 升级之后的雷达系统在地物抑制能力、退距离和速度模糊能力等方面均有较大提升。

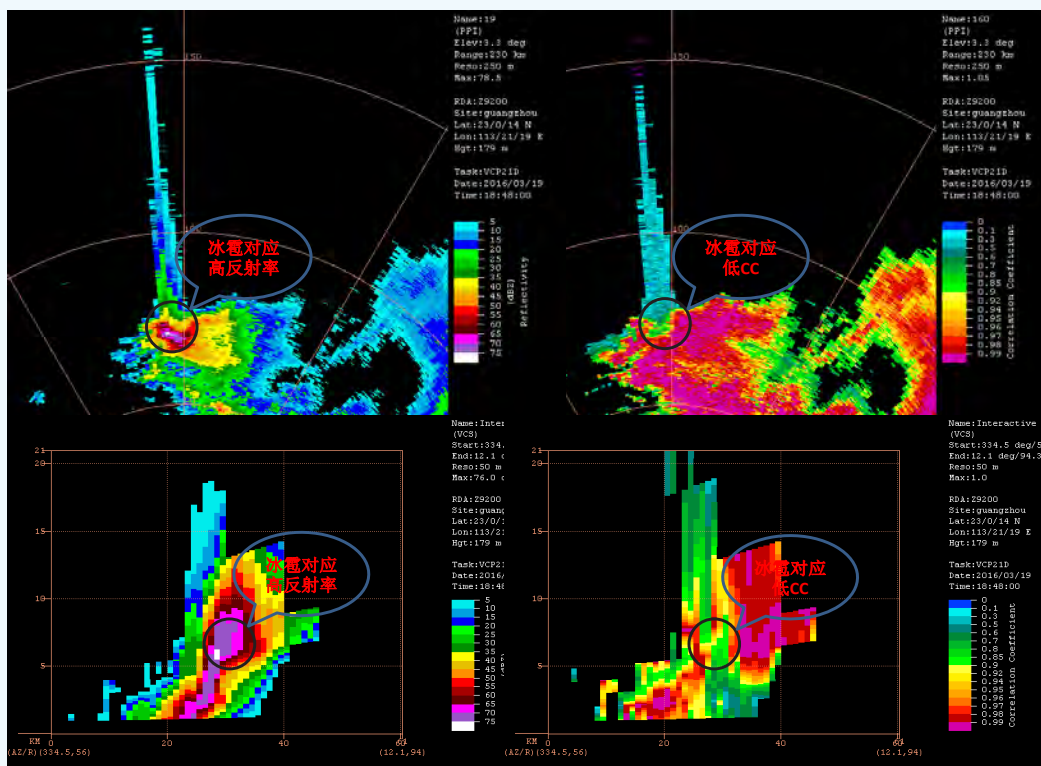


图11 广州双线偏振雷达降水图
Fig. 11 Precipitation maps of the Guangzhou dual polarization radar

在全国多地的推广中，很多天气雷达站点进行了双线偏振的数据质量分析和业务化应用评估与验证。初步验证表明，该系统取得的双线偏振产品数据稳定可靠，可以使气象观测获得更加准确全面的效果，为极端天气预警提供更好支持。

参考文献

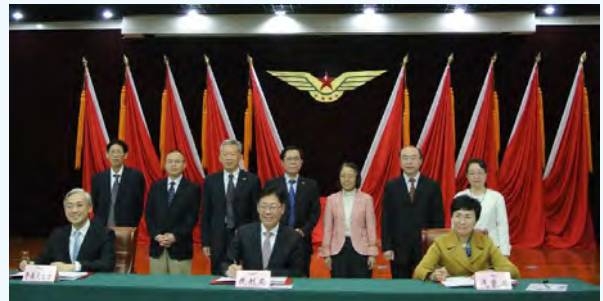
- [1] 刘黎平. 双线偏振多普勒天气雷达估测混合区降雨和降雹方法的理论研究. 大气科学, 2002, 26(6): 761-772.
- [2] 梁海河, 张沛源. 全国天气雷达信号处理系统. 应用气象学报, 2002, 13(6): 749-754.
- [3] 蒯葭. 省大气探测技术中心在全国首次制定气象灾害预警信号新一代天气雷达组网技术提升我省气象应急能力. 广东科技, 2016, 25(12): 40-43.
- [4] 李辉, 方天翔, 姜俊. 软件无线电在雷达信号处理中的应用. 战术导弹技术, 2006(1): 92-96.
- [5] Richards M A著, 邢孟道译. 雷达信号处理基础. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [6] 张珪, 崔劼, 刘强. 天气雷达信号处理中的高性能时钟设计与实现. 电子科技, 2017, 30(12): 4-8.
- [7] 向新. 软件无线电原理与技术. 西安: 电子科技大学出版社, 2012.
- [8] 周伟光, 王其冲, 伍光新, 等. 相位噪声对目标微动特征提取的影响. 现代雷达, 2012, 34(8): 81-84.
- [9] 杨宏, 李国辉, 刘立新. 基于FPGA的CORDIC算法的实现. 西安邮电大学学报, 2008, 13(1): 75-77.
- [10] 朱毅, 何建新, 李飞, 等. 天气雷达数据处理系统的设计与实现. 成都信息工程学院学报, 2010, 25(3): 237-241.
- [11] 王旭, 谢承华. SZ相位编码与批处理退距离折叠的比较分析. 计算机应用与软件, 2012, 29(1): 74-77.
- [12] 孙召平, 张持岸, 张建云. 一种基于高斯模型的自适应地物杂波滤波算法. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013(2): 250-253.
- [13] 张羽, 胡东明, 李怀宇. 广州双偏振天气雷达在短时强降水中的初步应用. 广东气象, 2017, 39(2): 26-29.
- [14] 张建云, 张持岸, 孙召平. 用频域滤波和双PRF技术提高新一代天气雷达数据质量. 气象科技进展, 2012, 2(1): 6-11.

亚洲航空气象中心成立简介

■ 王婷波

2004年，中国气象局（以下简称“气象局”）联手中国民用航空局（以下简称“民航局”）与香港天文台（以下简称“天文台”），共同争取了世界气象组织（WMO）二区协的航空气象示范项目，国家气象中心与民航局合作开发的“亚洲航空气象服务网”（以下简称“亚网”，提供英文服务），于2007年3月进入准业务化运行阶段。2010年11月，亚网正式运行，免费提供多种航空气象指导产品，覆盖了亚洲和非洲20多个国家和地区。2015年，气象局、民航局和天文台联合筹建WMO亚洲航空危险天气咨询中心。

2016年1月，气象局、民航局和天文台开始联合建设亚洲航空气象中心，民航局空中交通管理局航空气象中心是亚洲航空气象中心建设和运行的主体单位，国家气象中心是其技术支持中心，天文台则为备份中心。2016年2月，气象局与民航局在京签署《中国气象局与中国民用航空局共同推进航空气象战略合作协议》，在共建亚洲航空气象中心等方面强化战略合作。2018年7月11日，亚洲航空气象中心正式成立并开始运行，同时继续提供“亚洲航空气象服务网”服务，为亚洲区域内的用户提供航空气象服务。



中国民用航空局、中国气象局、香港天文台三方在京签署合作协议



中国民用航空局、中国气象局、香港天文台三方共同启动亚洲航空气象中心

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）