

航管一次雷达气象通道相关设计

金毅仁¹ 张晓飞²

JIN Yiren ZHANG Xiaofei

摘要

在设计航管一次雷达气象通道时,在保证飞机目标探测不受影响的条件下,可设计独立气象通道,进行气象信息的检测。机场附近气象信息的收集,对保障飞行安全具有极其重要的作用。航管一次雷达馈线系统中采用正交模耦合器耦合出信号送气象通道处理,在气象通道信号处理设计中采用了STC补偿、FIR滤波、视频积分处理DVIP、距离强度订正、门限控制等多种技术。航管一次雷达气象通道通过在雷达整机上进行测试和连续运行,能满足航管一次雷达在飞机目标观测的同时进行气象信息观测的相关需求。航管一次雷达气象通道具有观测性能稳定、设备冗余度高等优点,为各个机场飞机的正常起降提供了强有力的保障能力。

关键词

航管一次雷达;气象通道;高/低波束;STC补偿;FIR滤波;DVIP;距离强度订正

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.06.030

0 引言

伴随着空中交通管制技术的不断发展和空中运输流量的日益增加,航管一次雷达技术也取得了飞速的发展,航管一次雷达在雷达发射系统、接收系统、信号处理系统、伺服系统等多个方面都取得了长足的进步。各国研制出一批具有代表性的航管一次雷达,如:RAYTHEON公司的ASR-10SS、ASR-11,GRUMMAN公司的ASR-12,THOMSON公司的STAR-2000,WSET-INGHOUSE公司的ARSR-4等。我国在航管一次雷达技术发展上紧跟世界先进水平,先后研制出JY-21型S波段全固态航管一次雷达^[1]、3821型近程空管一次雷达等,各类指标与国际标准相接轨^[2]。航管一次雷达目前具有诸多技术特点:采用高/低波束、线极化/圆极化反射面天线,发射分系统采用全固态发射机,接收分系统采用低噪声、大动态、多频分集技术,信号处理分系统采用ATMD检测技术和独立气象通道处理系统,整机采用双套冗余工作体制,保证目标观测的可靠性及连续性^[3]。

1 概述

航管一次雷达目标通道与气象通道共用发射机和天线,高/低波束喇叭分别接收到高波束回波和低波束回波,再分别通过变极化馈电网络和正交模耦合器,正交模耦合器输出

信号送目标通道处理,从正交模耦合器耦合出来的信号送气象通道处理^[4]。

高波束回波信号用来检测近距离目标信息及气象信息,低波束回波信号用来检测远距离目标信息及气象信息。目标通道和气象通道中接收前端、接收机、信号处理均采用冗余设计,通过波束开关和冗余开关进行不同状态的组合^[5],具体如图1所示。其中,目标通道的目标高波束、目标低波束并行处理,处理结果选目标高波束或目标低波束信息由优化参数决定;气象通道选择气象高波束或气象低波束中的一个进行相关处理工作。

航管一次雷达气象通道信号处理硬件由信号接口板、PCIE光纤接口卡、气象处理计算机组成。信号接口板对数据预处理,去除干扰和脉冲压缩;PCIE光纤接口卡安装在气象处理计算机内,接收预处理后产生的数据,并通过PCIE总线传送到气象处理计算机;气象处理计算机完成气象数据处理,将气象图从极坐标形式转换为直角坐标形式,并产生警报气象图和告警气象图,警报气象图用两个级别表示,告警气象图用6个级别表示;再通过网络送给数据处理计算机,经过综合后输出,具体如图2所示。气象通道数据率大约为160 Mbit/s,利用光纤能满足数据流量的要求,PCIE带宽能达到6.4 Gbit/s,也能满足使用需求。气象处理计算机主要完成滤波处理、相关积累处理、建立多个晴空杂波图等,商用服务器运算能力和存储容量能满足处理要求。

1. 中国电子科技集团公司第三十八研究所 安徽合肥 230088

2. 四创电子股份有限公司 安徽合肥 230088

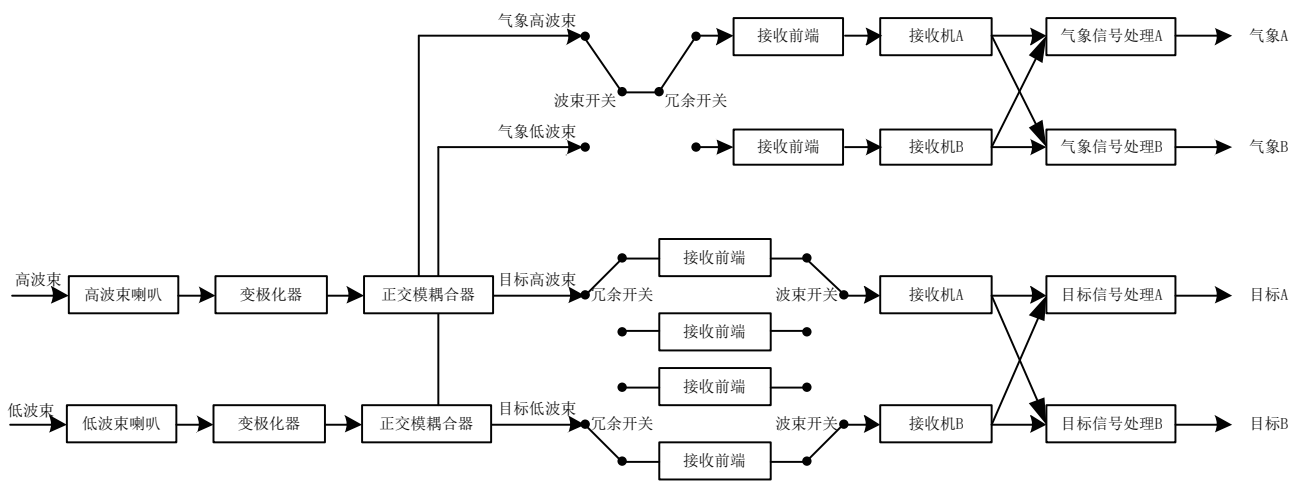


图1 航管一次雷达组合框图

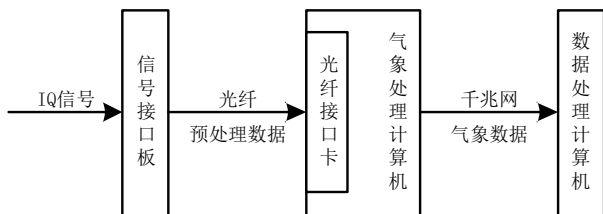


图2 气象通道信号处理硬件框图

2 相关要求

机场空域有时出现的恶劣气象条件，是引起飞行延误和飞行事故的主要原因。通常会在附近设置专业气象探测设备，但需要增加额外的设备量和运营成本，也会对机场雷达之间形成辐射干扰。需要在航管一次雷达中设计气象探测功能，来保障飞机飞行及训练的安全。航管一次雷达在探测飞机目标的同时，需要具有探测气象目标的功能。S波段航管一次雷达气象探测典型设备要求如表1所示。

表1 S波段航管一次雷达气象检测要求

气象参数名称	典型数据
探测距离范围 /nmile	0.125 ~ 7
检测概率（单个脉冲，18 dBz）	50%
气象分辨率（nmile×nmile）	1×1
最低灵敏度 /dBz	18
动态范围 /dBz	18 ~ 76
地杂波抑制度 /dB	> 40
反射率因子估算精度 /dB	< 2
气象廓线偏差 /dB	< 2
脉压副瓣 /dB	< -40

航管一次雷达设计有独立气象通道，利用发射电磁波后得到的回波信息，将气象回波幅度分级处理。航管一次雷达中的气象通道受到各种体制的限制，探测性能不能与专业气

象雷达相比，目前国际上通用方式是利用气象通道完成对气象强度的检测。航管一次雷达采用高/低波束，不能进行仰角分层扫描确定气象高度，不能精确探测复杂天气高度变化细节，只对影响飞行因素较大的降雨强度进行测量，为飞机飞行提供安全保障^[6]。航管一次雷达探测气象目标幅度6个等级如表2所示。

表2 气象回波6个等级

等级	反射率因子 /dBz	降水率 /(mm·h ⁻¹)	降水类型
1	18 ~ 30	0.49 ~ 2.7	薄雾
2	30 ~ 41	2.7 ~ 13.3	小雨
3	41 ~ 46	13.3 ~ 27.3	中雨
4	46 ~ 50	27.3 ~ 48.6	大雨
5	50 ~ 57	48.6 ~ 133.2	暴雨
6	57 以上	133.2 以上	大暴雨

3 相关设计

航管一次雷达天线采用赋形双弯曲反射面天线，高/低波束喇叭采用偏馈形式位于反射面焦距附近^[7]，低波束喇叭在上，高波束喇叭在下，为了实现线极化和圆极化之间极化方式的转换、目标通道和气象通道的同时检测，在高/低波束喇叭后面安装变极化器和正交模耦合器。

高波束只有接收通道，低波束同时具有发射和接收通道，低波束通道采用波导传输方式减少信号衰减。航管一次雷达采用线极化/圆极化两种极化方式。通常情况下，航管一次雷达工作在垂直线极化方式下，在雨、雪天气情况下，为了更好地观测目标，需要加大对雨、雪的衰减，通常使用圆极化方式进行观测。

航管一次雷达工作在线极化模式下，气象通道检测到的回波强度小于20 dBz时，继续工作在线极化方式下；当气象通道检测到的回波强度大于20 dBz时，启动圆极化工作方式，

抑制气象回波，利于目标检测。

气象回波信号经过低噪放、滤波后，通过下变频组件变换为中频信号，再经过中频数字处理组件进行 A/D 处理和 IQ 变换，送到信号处理系统进一步处理。气象信息信号处理阶段主要包括剔除窄脉冲、脉冲压缩、FIR 滤波、数字视频积分处理 DVIP、距离订正、参数修正、形成点迹输出等。在雷达观测近区域，雷达接收机常常容易被较强的地物杂波信号影响，造成接收机通道的饱和。在设计中通过 STC 技术对接收机中频衰减量进行调整，从而保证输入信号处于合理范围之内。

气象信息信号处理是气象通道处理中最重要的一环。气象信息信号处理框如图 3 所示。

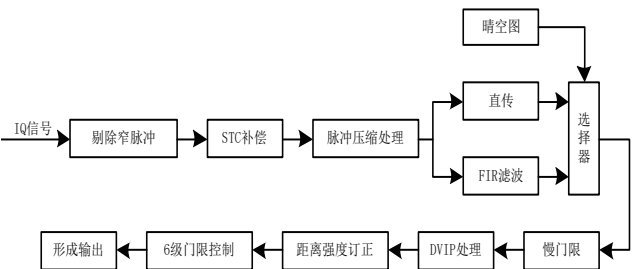


图 3 气象信息信号处理框图

（1）剔除窄脉冲

剔除达不到标准脉冲宽度的窄脉冲，替换为回波的平均值，避免其在后续的脉冲压缩处理被展宽，干扰相邻单元气象回波的检测。

（2）STC 补偿

为了减少脉冲压缩副瓣的影响并恢复出真实的气象信号强度，在数字脉冲压缩之前对数字 IQ 信号进行 STC 补偿处理。STC 补偿按照接收机中设置的 STC 值处理，同时还要考虑输入信号经过了高 / 低波束、线极化 / 圆极化、长 / 短脉冲等不同工作状态，计算出每个方位 / 距离单元所需要的补偿数据，在应用上提供补偿。

（3）FIR 滤波

气象通道滤波器选择受晴空杂波图控制，对脉冲压缩处理后的数据，杂波区采用滤波处理，无杂波和弱杂波区采用直接传送形式。通过气象滤波器的处理，可以去除地物杂波对气象回波的影响。

为了保证能对气象回波正确进行检测，必须将地杂波等滤除，常常采用 FIR 滤波器来滤除地杂波并满足杂波抑制制度。气象通道使用 4 个多普勒滤波器，1 个全通滤波器用于无杂波和弱杂波区，其它 3 个滤波器为 4 阶横向滤波器，提供不同的地杂波抑制能力，滤波器的选择根据 6 个气象等级和存储在晴空杂波图中的地杂波强度确定。

（4）晴空图

在无气象杂波的情况下形成地物分布情况，即晴空杂

波图，并将地物分布情况存入 Flash，进行气象观测时调入 RAM 使用，利用晴空杂波图选择合适的 FIR 滤波系数，达到自适应的滤波效果。针对不同脉冲形式、高 / 低波束、极化形式建立晴空杂波图^[9]，具体如表 3 所示。通过建立晴空杂波图，可以选择最优的滤波器，最大程度抑制地杂波，减少气象回波的损失。

表 3 晴空杂波图列表

脉冲形式	波束形式	极化方式
短脉冲	高波束	线极化
短脉冲	低波束	线极化
短脉冲	高波束	圆极化
短脉冲	低波束	圆极化
长脉冲	高波束	线极化
长脉冲	高波束	圆极化

（5）DVIP 处理及距离强度订正

数字视频积分处理 DVIP 在方位和距离上进行相关平均处理，并形成气象图。形成气象图的同时，完成消除距离上不相关回波的工作。通过收发馈线损耗、信号处理综合损耗、信号处理改善因子等参数，可得到信号处理的信噪比，通过该信噪比，得到气象反射率因子。

在实际应用中，发射信号会随着距离的不断增加而逐渐变小，同样强度的气象在不同距离上所呈现的回波强度不同，DVIP 输出的气象信息不能正确反映整个探测区域内实际的气象分布状况，需要对 DVIP 输出的气象信息必须经过距离 - 幅度校正，得到正确的气象强度分布数据。对收发馈线损耗、信号处理综合损耗、信号处理改善因子参数按照实际情况修正，从而对不同距离上的气象幅度均值，加上一个修正值。

（6）6 级门限控制

气象图将雷达覆盖区域进行分解，变为方位上以 1.25° 为单元、距离上以 16r 为单元的众多小区域。在每个区域上，经过处理得到多次扫描的气象平均值，形成气象信息^[10]。

为了获得气象回波的真实值，需要一定的样本参与平均处理，即对某一扇区的所有数据样本进行平均处理，得到的平均值就作为该扇区的气象回波强度值。每个脉冲组对 16 个连续距离波门的气象回波强度进行估值，每一个距离波门内的视频信号与 6 级反射电平门限进行比较，对每一级反射电平在每一个 16 距离波门滑窗进行距离积累去除小的回波信号，根据 K/N 准则，只有当 16 个距离波门中有 K 个距离波门的视频回波信号电平超过某级反射电平门限值时，该 16 距离波门的反射电平值确定为对应的级别。对 6 级门限重复操作，最大值被确定为气象单元的发射电平值。该值再经过若干扫描周期积累以消除干扰。

（下转第 145 页）

3 结语

传统的单路信号采集方式效率低下,易受外界环境干扰。5G 通信环境提高了信号传输性能,但仍存在准确性和可靠性不高的问题。为此,本研究提出了一种基于压缩感知的风电场运行信号多路采集方法。实验结果表明,所提方法能够实现 对风电场运行信号的精准感知采集,采集召回率和数据覆盖率始终保持在较高水平。尽管该方法在风电场信号采集方面取得了显著成效,但仍存在一些不足之处。例如,风机安装测控装置的过程中可能会遇到安装位置选择、设备兼容性问题,这些都可能影响到信号采集的质量和稳定性。此外,数据采集的稳定性问题也是当前需要解决的关键问题之一,因为不稳定的采集过程可能导致数据丢失或失真,进而影响到后续的分析和决策。在今后的研究中,将根据风电场规模的不断扩大和运营需求的变化,对所提出的方法进行灵活的配置和升级,以确保其能够适应不同阶段的风电场运营需求,实现更高效、准确的信号采集与分析。

参考文献:

- [1] 陈禹,高翔,徐建航,等.多源数据聚类下电力二次系统故障检测方法[J].自动化技术与应用,2023,42(9):45-48.
- [2] 王海安,郭改枝,张鹏举.基于 ATmega128 的连续信号压缩感知实现方法[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2023,

(上接第 141 页)

4 结语

航管一次雷达将飞机目标监视与气象探测功能集于一体,具备独立的气象通道用于气象检测。提供高数据率的飞行和气象信息,可以准确探测出各种危险天气,特别是对于影响航行的短时危险天气,能有效增加预警的时间。气象信息能反映暴雨、冰雹、风切变等多种天气过程及其发展趋势。航管一次雷达如何利用气象数据服务于各个机场的飞机起降和飞行训练,具有十分重要的意义,也是航管一次雷达未来需要重点研究的方向之一。

参考文献:

- [1] 张辉.航管一次监视雷达—JY-21[J].现代电子,2000(3):14-19+29.
- [2] 张尉,张兴敢.空管一次雷达[M].北京:国防工业出版社,2015.
- [3] 陈忠先,王景嗣.JY-21 全固态航管一次监视雷达[J].现代电子,2002(3):10-16+32.
- [4] 马晓艳.寄生于航管一次雷达中的气象检测系统[D].南京:南京理工大学,2008.

54(2): 206-212.

- [3] 何炜琨,张莹,王晓亮,等.基于 LRMO 及 MCA 的机载雷达风电场杂波抑制方法[J].信号处理,2022,38(4):759-769.
- [4] 丁毅,王亚林,李文艺,等.基于 SHF 信号采集和下混频技术的方波下局部放电测试方法[J].高电压技术,2022,48(3): 1133-1141.
- [5] 杨挺,杨风霞,叶芷杉,等.基于动态采集压缩感知的超谐波监测方法[J].中国电机工程学报,2023,43(16):6278-6288.
- [6] 王艳茹,尹喜阳,欧清海,等.基于能量共享与交易协同的 5G 融合配电网基站储能调控方法[J].中国电力,2023,56(6): 61-70.
- [7] 岳衡,张小飞,石莎.基于压缩感知平行因子分解的电力系统谐波与间谐波频率估计方法[J].数据采集与处理,2023,38(1):74-84.
- [8] 郝金鹏,吴波,马云龙,等.基于数据挖掘的电力在线技术监督平台设计[J].电气自动化,2023,45(4):20-22.

【作者简介】

樊志勇(1982—),男,内蒙古呼和浩特人,本科,工程师,研究方向:电力工程。

(收稿日期:2024-03-29)

- [5] 俞中良.3821 近程空管一次雷达产业化进展情况[J].空中交通管理,2010(8):10-12.
- [6] 张辉.航管一次监视雷达中气象通道的设计[J].现代电子,2001(2): 5-9+24.
- [7] 牛忠文,任翠锋,鞠金山,等.大口径高精度航管雷达天线结构设计与应用[J].雷达科学与技术,2015,13(1):103-108+112.
- [8] 张焱.航管一次雷达接收/信号产生子系统[J].现代雷达,2011,33(6):83-86.
- [9] 孙实泽.航管一次机场监视雷达信号处理设计[J].现代电子技术,2007(23):4-6.
- [10] 颜波涛.远程航路监视一次雷达信号处理实现[J].雷达与对抗,2011,31(2):58-62.

【作者简介】

金毅仁(1978—),男,安徽合肥人,硕士研究生,工程师,研究方向:计算机控制技术。

张晓飞(1982—),男,安徽宿州人,本科,工程师,研究方向:雷达总体技术。

(收稿日期:2024-03-31)