

机载气象雷达风切变信号模拟系统设计与应用*

Design and Application of Airborne Weather Radar Wind Shear Signal Simulation System

孙焱¹ 马存宝² 陈杰²

1 中航工业雷达与电子设备研究院第七研究室 2 西北工业大学航空学院

摘要: 为了对某型民机气象雷达系统的前视风切变探测技术进行功能验证和性能评估, 组建了一套风切变信号模拟系统。根据风切变气象条件发生时间短, 发生区域小的特点, 通过在实验室条件下对风切变气象回波信号进行研究, 建立用于验证和评估前视风切变气象雷达性能的信号模拟平台, 为自主研制具有风切变探测能力的机载气象雷达提供技术途径, 系统联试实验验证了该系统的有效性和工程实用性。

关键词: 气象雷达; 风切变; 模拟系统; 回波信号

Keywords: weather radar; wind shear; simulation system; echo signal

0 引言

气象因素是影响民机飞行安全的主要因素之一, 而起飞、着陆等飞行过程中的低空风切变是民航飞行的“隐形杀手”。机载多普勒气象雷达(见图1)的前视风切变探测能力, 能使驾驶员在繁重的进场和离场飞行任务过程中提前知晓低空风切变的信息, 帮助飞

行员驾驶飞机回避灾难性的微下冲暴流低空风切变区, 达到确保民机飞行安全的目的^[1-4]。由于风切变气象具有发生时间短(通常维持1~10分钟)、发生区域小(直径1~10km)的特点, 属于小概率事件, 且不具备重复性。因此在实验室条件下对风切变气象回波信号进行研究, 建立具备验证和评估前

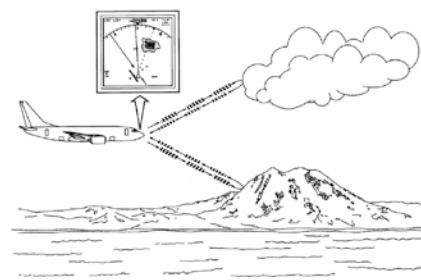


图1 气象雷达系统

踪仪的最大转站误差为0.3mm。该容差保证在地标点包容的区域内, 测量点综合误差不会超过0.3mm, 从而保证了测量的精度。转站过程中如果有测量点的转站误差大于0.3mm, 表明该地标点出现了异常变化, 必须弃用该点而选用其他满足容差要求的地标点来进行转站计算。实际使用时, 各检测点的转站误差误差范围一般为0~0.2mm, 转换为角度误差为2.3'。

综上所述, 激光跟踪仪完全满足

飞机机载设备装配精度的最小测量误差要求。

5 结束语

在总装配过程中使用激光跟踪仪进行测量后得到了一致好评。与传统的测量方法相比, 激光跟踪仪不仅测量精度高, 测量速度也有很大提升, 能在短时间内采集大量数据信息, 并可以直接对数据进行处理, 输出测量报告。一般只需要一名计算机操作员和

一名手持反射镜的工作人员就可以完成整个测量过程, 大大提高工作效率, 节省了资源。

AST

参考文献(略)

作者简介

詹玉凤, 助理工程师, 主要从事航空雷达系统工艺技术支持工作。

韩永伟, 工程师, 主要从事飞机总装配技术管理工作。

视风切变气象雷达性能的条件,是自主研制具有风切变探测能力机载气象雷达的必要技术途径。

新一代相参体制的气象雷达,在功能性能上比老一代气象雷达有了很大提高,采用了一些新技术,如湍流检测技术、前视风切变检测技术、固态发射机技术等。因此,需要有相应的系统/分析测试环境,为产品的研制、调试和试飞过程提供测试条件,以保证产品研发的顺利进行,同时对机载气象雷达的维护和使用提供支持,提高我国民机机载关键产品的设计与研制能力。本文在借鉴国外系统设计与验证方法的基础上,设计了机载气象雷达风切变信号模拟系统,完成对某新型气象雷达风切变探测能力的测试和验证,系统扩展性好,仿真精度、安全性和可靠性满足雷达研制的需求^[5]。由于系统庞大,且采用多项

软硬件技术,这里仅对模拟系统研制过程中的需求与功能分析、风切变信号模拟方法、系统模块设计等几个关键问题加以分析和总结。

1 模拟系统需求与功能分析

低空风切变是一种严重危害飞机安全的气象现象,同时又是一个小概率事件,所以机载风切变雷达进行飞行验证具有很大的工程难度及技术风险^[6-8]。世界上只有美国在经历了近二十年的研究和发展之后,具备了研制前视风切变探测气象雷达的能力。要自主研制前视风切变气象探测雷达,也必须在实验室内对风切变气象回波信号进行重现、分析和研究,从而具备验证和评估前视风切变气象雷达性能的条件。目前国内尚无机载复杂气象信号的研究及验证设备,包括针对风切变气象信号进行模

拟和目标雷达验证的对应系统。为了降低研制成本,制定了前视风切变雷达系统设计与验证流程,如图2所示。

在前视风切变雷达系统设计与验证流程中,用于先进风切变复杂气象探测功能和性能验证的信号模拟系统是必备的辅助设备,对于某型机载气象雷达的功能实现和性能评估起着重要的作用。首先,需要验证的某型民机气象雷达的指标满足五项指标:载频在8~18GHz范围内,脉冲重复频率在100~10kHz范围内,脉宽在1~20μs范围内,天线增益为30dB,最大探测距离为15km。

根据上述需求分析,所设计的风切变信号模拟器应根据雷达工作状态、发射波形以及当前目标状态,产生包含距离及速度信息的回波信号,通过喇叭天线向外辐射,并具备以下7个基本功能:

1) 建立微下冲暴流气象数学模型,可设置相关的参数,仿真绝大多数类型的风切变现象;

2) 设置待测雷达的相关参数(如发射功率、频率、距离分辨率、天线增益、波束宽度等),使模拟系统能够针对具体型号的雷达产生匹配的气象回波信号;

3) 设置雷达载机飞行航路,包括载机位置、速度、姿态,并实时计算载机飞行参数的变化;

4) 风切变回波计算模型:根据雷达参数、载机参数和微下冲暴流气象数学模型,计算气象回波的信号功率和频率;

5) 时域数据生成模型:根据每个距离门的功率谱,生成每个距离门的回波,按距离门顺序重排成展宽的时域脉冲序列;

6) 地杂波模型:实时产生地杂波数据;

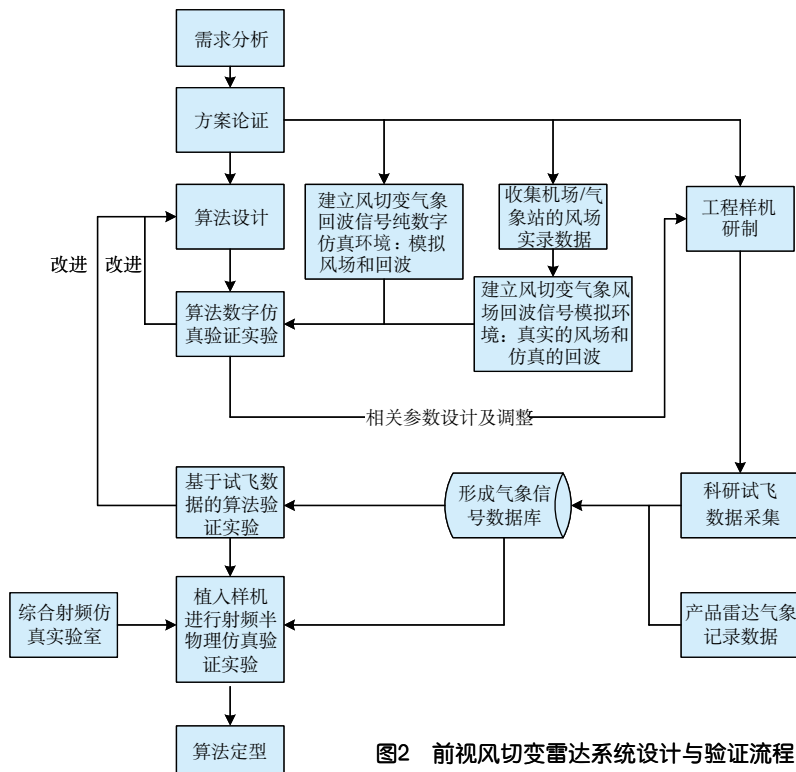


图2 前视风切变雷达系统设计与验证流程

* 基金项目:国家自然科学基金(60572173)

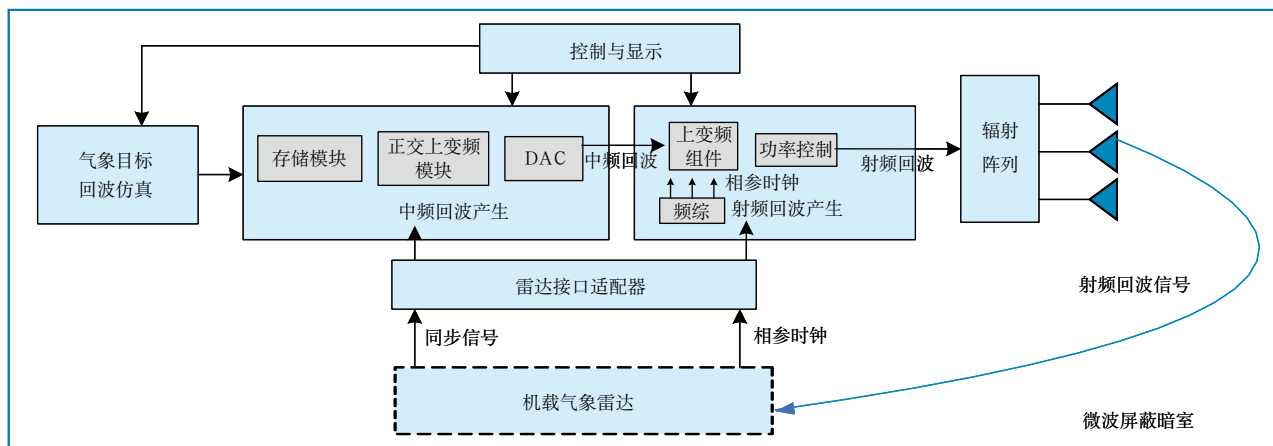


图3 风切变信号模拟系统模块框图

7) 考虑到风切变经典模型与实际模型的差异,该系统还可以进行功能扩展,使得用户可以自定义每个距离门的功率谱,计算回波序列。

2 风切变气象回波信号模拟方法

湍流/风切变气象的回波信号数据可由三种方法获得。

1) 建立风切变气象回波信号纯数字仿真环境(即仿真的风场和仿真的回波),模拟气象回波信号数据;

2) 基于收集的机场/气象站的风场实录数据建立电磁波回波仿真模型(即真实的风场和仿真的回波),模拟气象回波信号数据;

3) 通过工程样机的试飞,获取风切变的回波数据。

采用实录数据建立回波模型,需要动用大量的经费、资源和设备,且实施周期长,鉴于我国科研条件的现状,短期内实施这种方法并达到预期目标具有较大风险。在前期首先采用第一种方法,然后扩展至第二种方法。第一种方法最简单,投入最少,研制周期短,可以在一定程度上满足科研上的迫切需求,但该方法仿真程度不够高,无法模拟出实际风切变风场复杂多变情况;第二种方法需要购买机场或气象站实录的风

切变数据,在真实风场上,模拟出复杂气象目标的回波信号,保障科研项目。而第三种方法更是需要后期专门的试飞科目加以完成。

因此气象回波数据仿真包含两套软件 and 一组数据:风场仿真软件、风场雷达回波仿真软件、实录风场数据。通过不同的数据方式相结合,可以使得在研制初期通过简单方法满足科研节点需求,在研制后期采用较真实方法满足精度和功能指标的验证和测试需要,保证科研生产。

3 模拟系统模块设计

回波信号模拟系统由六大部分组成,分别为气象目标回波仿真分系统、中频回波产生分系统、射频回波产生分系统、辐射阵列、控制与显示分系统和雷达接口适配器,如图3所示^[9-10]。

1) 控制与显示

模拟器控制系统采用彩色点阵液晶屏作为显示系统,组合按键进行数据输入。控制系统由操作人员通过人机界面手动设定初始距离和速度,接收来自雷达的工作频点和方式控制字,以及基

准频率、本振和脉冲重复频率数据。并通过输入数据对气象风切变参数进行计算并送入中频回波产生单元。

数据输入显示部分CPU选用嵌入式芯片,显示选用5.7inch、320×240彩色液晶显示屏,在操作系统基础上编制用户界面;配以数字键和功能键进行数据输入,显示器分别显示RF1和RF2输出信号的距离、速度和幅度值,留有上位机控制总线接口发送。控制部分输入输出接口均采用串行方式。

2) 气象目标回波仿真

雷达气象回波信号主要包括普通降雨云团气象回波信号、湍流回波信号、风切变回波信号三种。为了保证本信号模拟系统的可扩展性和工程实用性,气象目标回波产生单元采用数据管理技术对三种不同的产生方法所得到的数据进行分类管理。

a. 通过建立风切变风场仿真模型

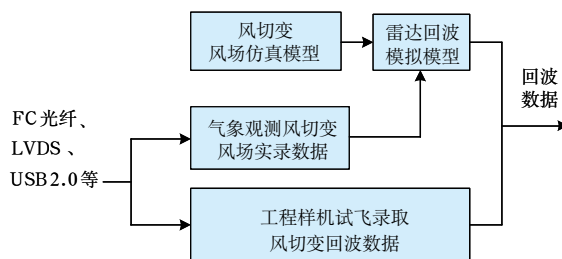


图4 气象数据及信息管理系统

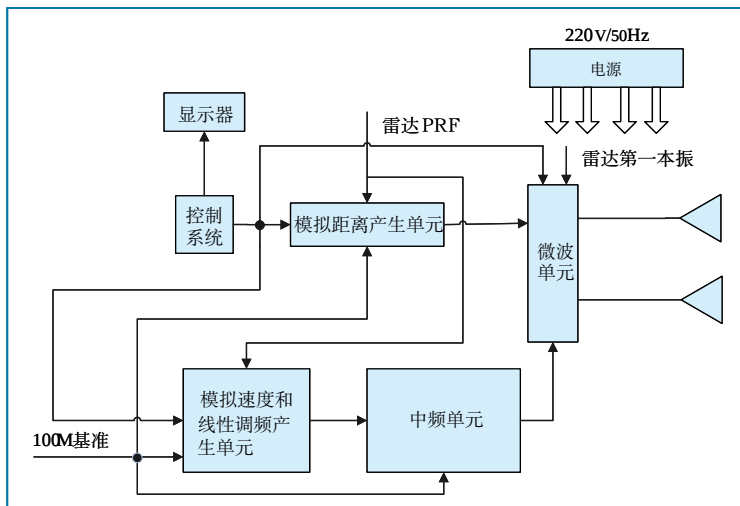


图5 目标模拟原理图

和雷达回波模拟模型,模拟出风切变回波数据;

b. 借用地面气象观测的风切变风场实录数据结合雷达回波仿真,模拟风切变回波数据;

c. 通过工程样机的试飞,录取风切变的回波数据,如图4所示。

3) 中频回波产生模块

中频回波生成模块接收并存储来自气象目标回波仿真模块的信号数据,按雷达信号处理帧选择基带数据,通过数据变换,形成气象回波模拟的基带数据。

4) 射频回波产生模块

频综组件根据气象雷达的本振信号通过上变频组件将数据信号上变频至雷达发射频段,通过功率放大产生模拟射频回波。

5) 辐射阵列

辐射阵列接收来自射频回波产生模块的回波信号,在暗室环境内空间辐射给雷达,或者衰减后直接注入雷达接收机,并保证信号特征与实际场景空间、时间相匹配,具体信号产生原理如图5所示。

6) 雷达接口适配器

适配器模块一边与模拟系统的接口连接,另一边与雷达分机连接,起到

表1 风切变信号模拟系统指标

模拟系统性能指标	数据范围
模拟信号俯仰范围	$\pm 20^\circ$
模拟信号方位范围	$\pm 30^\circ$
方位扫描速率	$0 \sim 90^\circ /s$
方位扫描增量	$0 \sim 1^\circ$
俯仰扫描增量	$0 \sim 1^\circ$
模拟距离门数	$0 \sim 100$
距离分辨率	$10 \sim 100m$
距离门的气象回波多普勒带宽	$\pm 10kHz$
气象回波多普勒分辨率	$1Hz$
雷达载机引起的多普勒频率	$0 \sim 30kHz$
回波信号的幅度动态范围	$70dB$
距离门内回波功率谱寄生分量	$< -50dB$

将雷达相参和同步信号转接至模拟系统的目的。

4 结论

在研制机载气象雷达风切变信号模拟系统中利用了多项技术,采用了标准化和开放式系统结构的设计思想,使所设计的信号模拟系统能够对雷达风切变探测功能进行验证和评估,系统最终达到如表1所示的技术指标。所设计系统还具有自检能力及数据记录/回放功能,具有较高的可靠性及通用性。

参考文献

- [1] 王军, 林强, 米兹中, 译. 雷达手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [3] 蔡成仁. 现代气象雷达系统[M]. 北京: 中国民航出版社, 2004.
- [4] 王玉鑫, 贾宝惠, 田正平. 基于模糊数学的民机机载气象雷达故障诊断[J]. 航空维修与工程, 2011(5): 59-60.
- [5] 马存宝, 王彦文, 王传清. 基于P89C51RD2H和LabWindows/CVI的自动测试系统设计[J]. 机械与电子, 2009, 197(3): 46-48.
- [6] Roland L B, Bill K B. A methodology for determining statistical performance compliance for airborne doppler radar with forward-looking turbulence detection capability[Z]. 2009.
- [7] 蒋庆全. 浅析民用机载气象雷达的发展[J]. 电子工程信息, 2003(1).
- [8] 王雪松, 李盾, 王伟, 等. 雷达技术与系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [9] 贲德, 韦传安. 机载雷达技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [10] 中航雷达与电子设备研究院. 雷达系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.

作者简介

孙焱, 高级工程师, 主要研究方向为机载雷达设计、通信与信号处理。

马存宝, 教授, 主要研究方向为航空电子系统、自动化测试和故障诊断技术。

陈杰, 讲师, 主要研究方向为航空电子系统、自动化测试与故障诊断技术。