

机载 SAR 天线稳定平台测试 系统专用测试模块设计

刘万富^{1,2},许猛^{1,2},张平²

(1. 中科院研究生院, 北京 100039; 2. 中科院电子所, 北京 100080)

摘要 简述了机载 SAR 天线稳定平台的结构以及国内第一个针对机载 SAR 稳定平台的自动化测试系统的结构,设计并实现了专用于该系统的基于 PXI 总线的测试模块的电路以及计算机端驱动、数据处理等软件,它模拟惯导姿态信号给平台伺服系统,采集平台跟踪误差信号并通过 PXI 总线传到主机中进行分析、处理和显示。

关键词 机载 SAR 天线稳定平台, PXI 总线, 惯导数据模拟, 跟踪误差

中图分类号 TN 959.73 文献标识码 A 文章编号 1008-1194(2005)04-0057-04

The Special Testing Module for Stabilization Platform of Airborne SAR

LIU Wan-fu^{1,2}, XU Meng^{1,2}, ZHANG Ping¹

(1. Graduated Institute, China Academy of Science, Beijing 100039, China;

2. Institute of Electronics, China Academy of Science, Beijing 100080, China)

Abstract : Based on introducing the structure of an automatic test system such which is the first one in our country for of airborne SAR stabilization platform. Designed and implemented its special test module based on PXI bus. It simulates signals of INS and outputs to the serve the system of the platform, synchronously acquires track errors of the platform. And then it transmits these data to host through PXI bus. These data are analyzed and displayed in host. It has testified that it can fully implement functions on the schedule.

Key words : stabilization platform of airborne SAR; PXI bus; simulate data of INS; trace error

0 引言

机载 SAR(Synthesis Aperture Radar, 合成孔径雷达)因其受限制条件少,容易实现,灵活性强,而且容易实验新技术,并得到及时维护的特点成为 SAR 的首要发展目标。机载 SAR 系统提供的实时成像功能,无论是在灾害预防以及军事侦察应用方面有着不可估量的作用。

为了使天线发射的微波波束方向总是垂直于飞行的地速方向,天线安装在天线平台上。天线平台是受平台控制电路控制的,平台控制从惯性导航设

备取出飞机的即时偏流角、俯仰角、滚动角数据,利用这些数据控制平台,使平台在方位向保持与飞行地速方向一致,在俯仰和滚动方向保持水平。所以,天线平台是一个三轴伺服稳定平台。同时,在飞机很慢地转弯时,平台也要跟着转弯,因此,在方位向它又具有跟踪特性。平台还能控制天线波束对地面的俯角,以适应远近不同的测绘带位置需要。

在中科院创新基金的支持下,我们以电子所研制的某型机载 SAR 稳定平台为基本测试对象,研制了基于 PXI 总线虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)的自动化 SAR 稳定平台测试系统。本文介绍的专用测试模块是该测试系统的主要子仪器,它主要完成

* 收稿日期 2004-07-15

作者简介: 刘万富(1977—),男,河南郑州人,博士研究生,主要从事机载 SAR 运动补偿研究。

平台伺服系统激励信号输出、响应信号采集以及信号分析处理等功能。

1 测试系统方案及模块参数设计

中科院电子所研制的某型机载 SAR 的稳定平台是陀螺稳定的自稳式平台,主要完成控制功能的平台控制机箱与平台台体分离,通过电缆连接。该平台的伺服系统具有方位、横滚、俯仰以及天线倾角四个调整回路,采用三轴位置随动环分别独立跟踪飞机惯导提供的偏流角、横滚角和俯仰角,克服常值风的影响。同时,在方位环和横滚环中引入挠性陀螺稳定以克服脉动风引起的随机扰动。天线倾角为开环手动控制,电锁显示实际位置。

我们主要关心其在方位和横滚两个方向的稳定性能(俯仰向对成像的影响相对比较次要)。而实际工作中承载雷达的某型飞机在受到常值风干扰时的偏流角信号和横滚角信号的频率也小于0.1 Hz。根据雷达系统对平台伺服系统提出的要求,我们提出以 PXI 虚拟仪器设备为核心,采用高位置测量精度、高轴系垂直度和回转精度的二维电控转台模拟载机的角运动,利用高精度的 PSD(Position Sensitive Device,光敏位置器件)构成激光测量装置采集平台在工作状态下的动态跟踪误差数据(平台在正常工作时隔离载机角运动,其相对地面的角运动即为平台伺服误差和测试系统误差的合成)的机载 SAR 平台自动化测试系统,该系统结构如图 1 所示。将平台安装在模拟载机方位向和横滚向角运动的电控转台上,将转台的实际姿态信号转换成惯导输出的自整角机信号输出给平台伺服系统,由激光测量装置采集其动态响应的误差,并通过实时监测平台的辅助数据检测故障。其中 PXI 虚拟仪器设备包括 0 槽控制器、自研专用 PXI 仪器测试模块、控制电控转台的运动控制卡、平台辅助数据采集的数据采集 PXI 卡以及 PXI 机箱等设备。

本文介绍的基于 PXI(PCI extension in instrument)仪器总线的专用仪器模块是该测试系统的核心模块之一。它接收电控转台的增量式编码器的脉冲信号,通过解码转换成姿态信号,并将其转换成惯导输出的自整角机信号输出给平台伺服系统,同时接收 PSD(Position Sensitive Device)激光测量装置测得的平台姿态响应的误差,并定时将伺服系统的激励和平台误差信号送到上位机显示、处理。

该模块的数据采样率和自整角发送器输出信号误差是影响测试系统性能优劣的主要参数。由于常值风引起的载机方位向和横滚向扰动信号的频率远小于 1 Hz,而且挠性陀螺所能隔离的脉动风引起的扰动信号低于 50 Hz,考虑到自整角发送器的响应速度,我们选择 PSD 处理电路的数据采样率 200 个/s(5 ms 一个)作为测试系统给平台的激励和平台响应信号(实际测得误差信号)的采样率能够满足要求。平台伺服系统的自整角接收机精度为 0.1°,我们选用了目前国内精度最高的十六位两块式自整角发送器用来模拟惯导输出,它具有 0.02° 的误差,能够满足测试要求。

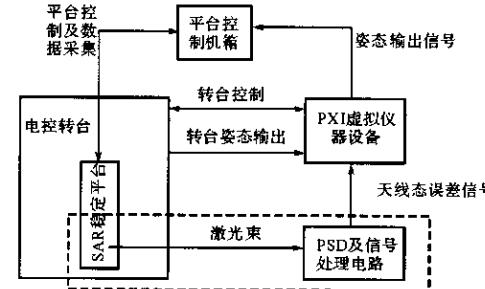


图 1 自动化测试系统结构框图

2 自研 PXI 测试模块结构

PXI 仪器总线在电器规范上比较 PCI 和 CPCI 主要是增加了多卡同步触发以及卡与卡间的直接数据交换功能,由于本模块独立完成测试系统的一部分功能,各路信号不需要与其他 PXI 模块的信号同步,不需要这些额外的功能,所以我们只使用了其中的 PCI 标准信号,而卡的机械结构则符合 CPCI (CompactPCI)规范。

作为基于 WINDOWS 平台的 PXI 总线测试卡,该仪器模块包括下位测试插卡和上位计算机软件两部分。其中测试卡定时向上位机发送请求,软件部分接到请求后从测试卡中读出测试数据、显示并处理。

2.1 PXI 插卡的结构

PXI 插卡从功能上分为增量式编码器解码模块、RS-232 接口模块、惯导数据模拟模块、主处理器以及 CPCI 接口五部分,该测试卡的结构如图 2 所示。为了适应数字惯导,我们将惯导数据模拟模块独立于 PXI 插卡,RS-232 接口模块的作用是将 PSD 处理电路的串行输出信号转换成 DSP 的 McBSP(Multi-channel Buffered Series Port, 多缓冲串口)兼容的

3.3 V 电平 增量式编码器解码模块与 422 差分接收器配合用于两轴位置的解码 ;CPCI 接口模块主要完成 PCI 总线信号到本地总线的转换接口。

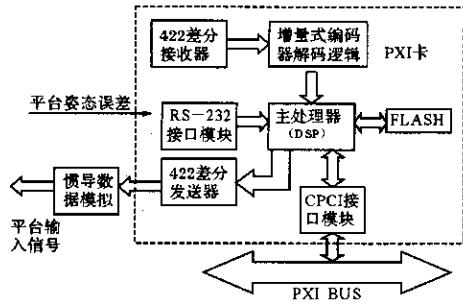


图 2 PXI 插卡的结构

2.1.1 PSD 输出平台响应误差数据的读取

该测试系统使用的 PSD 的处理电路通过标准异步串口每 5 ms 发送一帧数据 , 我们使用的 TI 的 TMS320VC5510 作为主处理器 , 满足了数据存储空间的要求 (内部有多达 176 千字 RAM) , 但它只有用于同步通信的 McBSP , 不能直接实现异步串行通信 , 需要在如图 3 所示的连接下配合 DSP 的 DMA 通道通过软件实现。将 PSD 发送的一帧数据的每一个字节作为一帧数据 , 以起始位的下降沿作为帧同步信号 , 采用过采样的方法 , 将每一位 (包括起始位) 作为一个 16 位 WORD , 停止位仅采 8 位 WORD (见图 4)。将一个字节通过 DMA 通道缓冲到固定

存储、模拟惯导数据产生以及与上位机通信等任务。它以 PSD 发送数据为时间基准 , 接收到 PSD 每隔 5 ms 发来的数据并存储后 , DSP 首先通过 EMIF(External Memory Interface , 外部存储器接口) 从增量式编码器解码模块中读取计数器的计数值 , 经比例运算转换成两个 16 位角度量后 , 存储并通过 EMIF 接口发送给外部的惯导数据模拟模块 , 转换成惯导输出的自整角机信号发送给稳定平台。为了保证连续记录数据 , 数据存储在 DSP 的 DARAM(Dual - Access RAM 双口 RAM) 中 , 并采用乒乓式的存储 , 即有两个存储区 , 当其中一个存储区满之后 , 开始向另一个存储区写入数据并通过 PCI 总线向上位机发送中断请求。我们设定每存储 1 024 组数据 (每组包括电控转台方位、横滚姿态以及平台在这两个方向上的跟踪误差四个数据) , 包括转台过两个方向的零位时 PSD 输出的 X 、 Y 两个方向上的位置 (用于解算误差角度在 PSD 上产生的相对位移) 故每个存储区包括 4 098 Words 。 DSP 的主程序的功能流程如图 5 所示。该测试卡还可以根据上位计算机对特定内存单元的修改对雷达稳定平台进行不依赖于电控转台的指定频率的正弦激励输出以及静态位置量输出。

同时 , 处理器还要对 DMA 中断之外的两个中断——方位向和俯仰向的增量式编码器的过零脉冲产生中断进行处理 , 记录零点对应的 PSD 的光点位置 , 并将其存储于 PCI 数据缓冲区。

2.1.3 DSP 与 CPCI 总线的通信接口

本测试卡使用 DSP 的 16 位 EHPI(Enhanced Host—Port Interface , 增强主机接口) 与 CPCI 接口芯片的 Local 总线相连 , EHPI 可以通过 DMA 控制器在不干扰 DSP 系统正常工作的情况下读取 DSP 内部 DARAM , 内部 SARAM(Single - Access RAM , 单口 RAM) 以及部分 CE0 片选的外部存储空间 , 多达 1 M 字。我们在设置时将 PCI 的本地中的 128 K 字节地址映射到 DSP 的内部存储空间的低 64 K 字地址中 , 这样保证了上位计算机可以通过它将执行代码下载到 DSP 的内存中。为了防止存取冲突 , 将供 CPCI 总线存取的存储空间分配在 DSP 内部的 DARAM 空间。

同时由于使用 EHPI 口可以随时给 DSP 下载执行代码 , 实现了实时快速更新 , 便于对测试卡的功能在硬件电路允许的范围内进行升级。

缓冲区 , 当一帧数据 (10 个 WORD) 全部采完之后 , 发送 DMA 中断通知 DSP 进行处理。对于串行通信普遍存在的开机错位乱码现象 , 通过对特殊位的判断进行丢弃处理。

2.1.2 主处理器的工作流程

DSP 是该测试卡的关键部件 , 担负着数据处理、

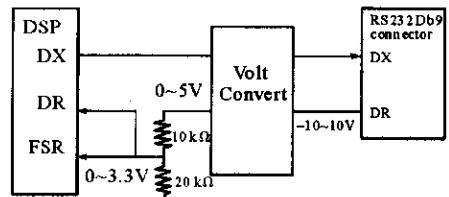


图 3 McBSP 实现 RS232 通信的电路连接

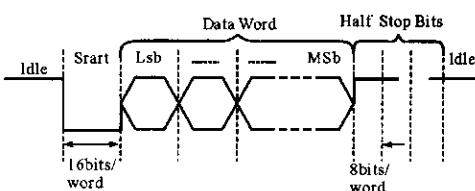


图 4 McBSP 的过采样处理

2.2 上位机软件结构

上位机软件通过响应测试卡的中断请求读写

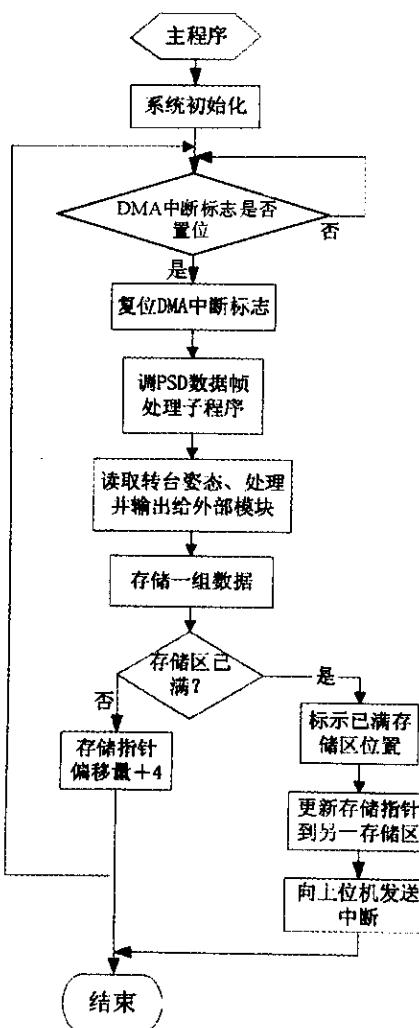


图 5 DSP 主程序流程

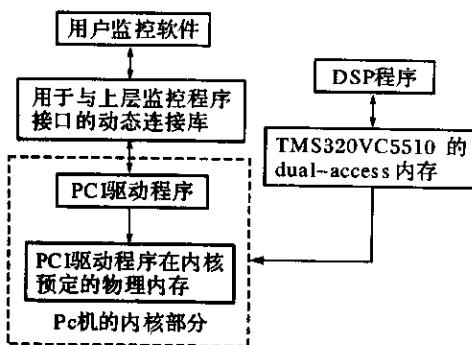


图 6 上位机软件结构

DSP 的内存空间或是对 DSP 的约定内存地址写入控制命令与 DSP 进行通讯。它主要包括 PCI 设备驱动程序、WIN32 子系统和用户监控程序三部分，其结构见图 6。PCI 设备驱动程序作为 OS(即 WIN-
DOWS2000 痕核)的一部分和系统提供的 PNP、HAL

部件进行交互来完成对设备的读写操作，WIN32 子系统部分是一个动态连接库，为上层软件提供一个简单高效的 API 函数接口。上层监控软件主要是进行 DSP 执行代码下载、测试卡的工作方式控制以及测试数据处理、显示、存储等。

由于本专用测试卡应用于以嵌入式的 WIN2000 为操作系统的 PXI 便携式计算机上，我们使用 WINDOWS2000 DDK(Driver Development kit，驱动开发软件包) 编写了符合 WDM(Windows Driver Model) 标准的驱动程序，它需要响应标准 WINDOWS 事件，如 PNP(Plug and Play，即插即用) 事件，根据测试数据流速较低的特点，我们采用中断方式进行数据传输，在响应测试卡的中断请求时，通过延迟过程调用(DPC ,Deferred procedure call) 例程读取 DSP 中约定的状态寄存器，然后将 DSP 中的已满存储区的测试数据拷贝到上层软件指定的用户内存空间，同时驱动程序还要响应 WIN32 子系统的 IO 请求，配置设备或读写数据。

动态连接库和用户监控软件用美国 NI(National Instrument) 公司的 Lab Windows/CVI 虚拟仪器开发工具编写。Lab Windows/CVI 将功能强大、使用灵活的 C 语言与用于数据采集分析和显示的测控专业工具有机地结合起来。使用它方便地实现了专用测试模块 DSP 的代码下载，测试方式控制，测试数据频域、时域分析和测试结果的显示。

3 专用测试模块的关键技术

作为基于虚拟仪器的机载 SAR 天线稳定平台自动化测试系统的中心，该模块以主流的仪器总线 PXI 总线为载体，完成对天线稳定平台伺服系统性能的自动化测试。该模块通过实时采集电控转台的位置姿态，在外部子模块中实现对惯导的自整角机信号的模拟，通过标准串行接口读取平台伺服系统的响应(误差)，实现了对平台静态跟踪误差的测试和动态响应的实时数据采集，采用虚拟仪器技术，实现了易于操控的友好的仪器界面。这些关键技术是该自动化测试系统实现设计功能的基础，同时也使该模块不仅具有独立于测试系统的通用性，而且具有通过更换惯导模拟字模块而实现对使用不同类型惯导的机载 SAR 稳定平台的通用性。

(下转第 64 页)

和最小值相差最大,为0.27。这说明在所计算的时间跨度内,声纳探测距离等值线随时间在空间上的相对变化很小,即声纳探测距离等值线的空间复杂度在一年内变化很小,这与同一点声纳探测距离随时间变化很大并不矛盾。有资料表明,在长时间范围内,分形维数将发生变化^[4]。相关系数值接近于1,可以通过相关性检验。②文中给出的声纳作用距离指的是最优探测深度或最优规避深度上的声纳作用距离,其基本原理是根据目标声源声传播损失特性,依据确定的对策模型,综合考虑敌我双方利用水声环境对抗能力、海底底质、海水深度、海水透明度、平均声道轴等因素,通过计算,分析确定出有利的搜索深度和规避深度。从表1~表4可以看出,探测潜艇和规避潜艇两个战术目的的分形维数总体上略大于探测和规避水面舰艇的分形维数,在探测和规避潜艇中,双方所处深度将随声速剖面的变化而变化,这种变化增加了声纳作用距离的空间复杂度,导致分形维数略大。

4 结束语

本文应用分形分析技术的网格算法,以声纳

探测距离等值线为研究对象,进行分维计算,初步得出三个结论:一是声纳探测距离具有空间分形特征;二是声纳探测距离等值线随时间在空间上的相对变化很小,即声纳探测距离等值线的空间复杂度在一年内变化很小;三是探测和规避潜艇时的分形维数略大于探测和规避水面舰艇的分形维数。总之,本文对声纳探测距离的空间分形特征进行了初步的研究,它为描述声纳探测距离的空间分布提供了一个新的有用的参量。

参 考 文 献 :

- [1]孙霞,吴自勤.分形原理及其应用[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2003.
- [2]朱晓华.中国地理信息中的分形和分维(博士后研究报告)[R].北京:北京大学,2004.
- [3]朱晓华,查勇. MapInfo 与 ArcView GIS 软件在线体分形中的应用[J]. 测绘信息与工程,2002,27(5):4~5.
- [4]Zhu Xiaohua, Cai Yunlong, Yang Xiuchun. On Fractal Dimension of China's Coastlines[J]. Mathematical Geology, 2004, 36(4):447~461.

(上接第60页)

4 结束语

机载SAR稳定平台的自动化测试系统研制成功对于利用经典的稳定平台作为载机角运动补偿的加载SAR的技术改进具有重要的意义,它填补了国内空白。自研PXI仪器模块在该系统中起着分析评价平台伺服性能的重要作用。实际测试证明,该模块实现了预定的功能,能够可靠的工作。

参 考 文 献 :

- [1]TI. TMS320VC5510 Fixed – Point Digital Signal Processor

Data Manual[Z]. USA: Texas Instrument, 2000.

- [2]张风均. LabWindows/CVI 开发入门与进阶[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2001.
- [3]张乐平. 虚拟仪器技术概论[M]. 北京:电子工业出版社, 2003.
- [4]PXI Arly Specification[Z]. USA: PXI System Alliance, 2000.
- [5]Microsoft Inc. WIN2000 DDK Document[Z]. USA: Microsoft Inc. 2000.
- [6]Art Baker Jerry Lozano. Windows2000 设备驱动程序设计指南[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.
- [7]张澄波. 合成孔径雷达的原理、系统分析及应用[M]. 北京:科学出版社, 1989.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>