

雷达测试用标准增益天线智能伺服系统设计与实现

刘 辉

(中国人民解放军 63870 部队, 陕西 华阴 714200)

摘要: 微波标准增益喇叭天线由于增益准确、轻质便携等优点, 经常用于雷达外场测试; 然而极易被人们所忽略的是: 天线的架设精度对于能否准确测量同样影响很大; 传统测量架设天线的方法是: 根据天线所接仪器功率示值变化, 人工调节天线姿态, 找出最强信号位置后再将天线固定, 其缺点是人员遭受辐射, 架设效率和准确度较低; 该系统采用硬件部件集成, 软件优化控制, 实现了标准增益天线的快速自动精确架设, 通过天线架设时间、架设准确度和重复性等试验数据表明, 相比传统方法其测试效率和测量准确度均大为提高。

关键词: 雷达测试; 标准增益天线; 智能伺服系统

Design and Implementation of Smart Servo System for Standard Gain Antenna in Radar Measurement

Liu Hui

(Unit 63870, PLA, Huayin 714200, China)

Abstract: Standard gain antenna is generally used in radar measurement as its accurate gain and portable characteristic. The tradition method of setting antenna up is adjusting antenna position artificially according to the indicating value of the instrument, then finds out the maximum signal position and fixes the antenna. The defect is personnel's suffering radiation with low efficiency and accuracy. This article design and implements smart servo system for standard gain antenna by hardware integration and software optimize. It realized the servo system more quickly and accurately setting standard gain antenna up, avoiding suffering radiation and raised the test efficiency and percent of accuracy.

Key words: radar measurement; standard gain antenna; smart servo system

0 引言

在精密测量雷达外场测试时, 微波标准增益喇叭天线通常架设在满足被测设备远场条件的高塔上, 由于天线的互易性, 其既可用作辐射源测量雷达接收天线方向图、接收系统灵敏度等, 也可用作接收耦合装置来测量雷达发射系统的有效全向辐射功率、雷达发射天线方向图等参数。通过实验测试表明, 传统手动架设天线引入了较大的人为误差, 而本文设计并实现了标准增益天线智能伺服系统, 不仅避免了测试人员架设天线时遭受辐射, 还大大提高测试效率及准确度。

1 设计要求

微波标准增益喇叭天线, 根据工作频段、增益大小、极化方式以及材质等特征, 体积和重量通常各不相同, 但一般体积都较小, 重量也较轻, 架设姿态调整精度要求一般。根据雷达外场测试实际应用提出以下基本设计要求:

(1) 具备天线姿态的远程测控功能, 通过判读仪器示值变化, 自动调整锁定天线姿态, 且测控精度可以根据需要设定调整, 以提高效率。

(2) 方位角度测控范围: $-135^{\circ} \sim +135^{\circ}$, 准确度: $\pm 0.5^{\circ}$; 俯仰角度范围: $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$, 准确度: $\pm 0.5^{\circ}$ 。

(3) 负载: ≤ 5 kg, 配有专用夹具, 便于与标准天线、三

脚架固定安装。

(4) 其他功能: 为方便天线做辐射源或接收用, 在伺服内部安装微型微波继电器, 可通过程序控制天线信号的切换。

2 系统硬件和软件设计

为了便于使用, 降低成本, 且满足技术要求, 本文在硬件上以一种成熟产品——某型监控摄像用室内吊装云台为基础, 利用其本身的伺服电机和较大的内部空间, 将其传统的编码器控制电路改换成兼容无线遥控以及微处理器程控电路: 为其加装粗调遥控装置、微调程控电路、微波继电器以及有线和无线程控接口。可以根据需要利用无线数据传输模块、有线串口(经计算机远程控制)或简易遥控器3种方式远距离对天线姿态进行遥控; 具备串口转发功能, 可以通过无线转发命令控制配套的仪器设置和读取仪器测量结果; 支持手动遥控天线姿态和微波继电器切换, 方便在不接计算机时简易控制等。由于一般的伺服设计控制需要较为复杂的算法^[1], 为了简化软件设计, 本文配合相应的测量仪器, 模拟优化人工调整过程, 进行上、下位机的编程, 实现了标准增益天线的快速自动精确架设, 不仅避免了架设人员受辐射, 而且较大地提高了测试效率和测量准确度。

2.1 系统硬件模块化设计

按照功能模块, 伺服系统主要包括以下几个部分: 水平俯仰电机(原云台部件)、电机控制模块、简易遥控模块、无线数传模块、微处理器模块(微型开发板)、光耦隔离模块、水平俯仰角度传感器、串口模块、微波继电器模块以及供电模块等, 基本框图如图1所示^[2]。

收稿日期: 2013-12-25; 修回日期: 2014-02-19。

作者简介: 刘 辉(1980-), 男, 安徽滁州人, 工学硕士, 主要从事微波计量与测试工作方向的研究。

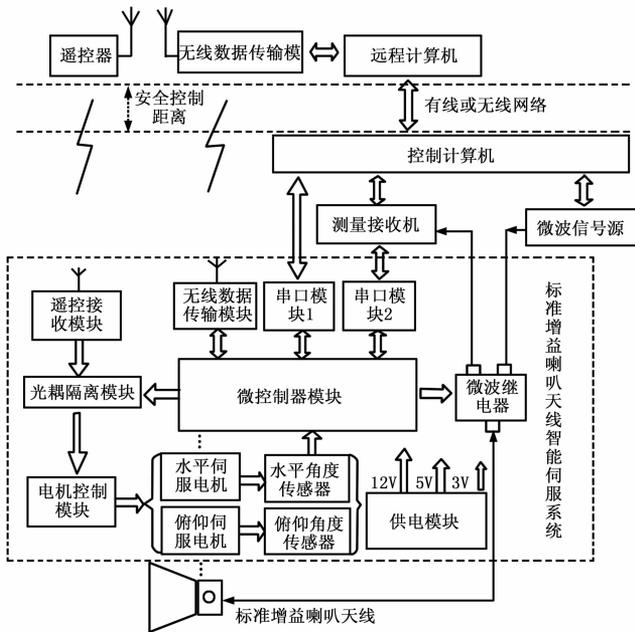


图 1 测试系统硬件总体结构

其中，遥控模块可以在一定范围内利用遥控器手动控制天线伺服，用于粗调。微控制器模块是整个伺服系统的核心控制电路，它与上位机通信接收指令，通过光电耦合器和继电器控制伺服电机，来调整天线姿态，并将伺服水平俯仰角度数据传回计算机。供电模块分别为微处理器电路、遥控接收电路、伺服电机以及角度传感器等模块供电。

根据设计要求，为减少设计工作量，均选用成熟的部件以及电路模块。微控制器选择 TI 公司推出的 MSP430 系列混合信号处理器作为主控芯片，直接应用其最小系统开发板，可以通过 JTAG 接口，实现在线编程、调试和扩展升级^[3]。选用串口模块实现微控制器与上位机或仪器间的有线通信。选择合适的室内监控云台，其性能稳定，可靠性高，内部空间较大；所有的部件必须注意尺寸、散热以及安装方式等，确保均可以在云台内部空间合理布局安装。

2.2 系统软件设计

2.2.1 下位机驱动设计

因为 C 语言程序的可读性、可靠性和可移植性好，所以下位机程序设计采用了 C 语言。为了编程思路清晰，便于各种子模块程序调试、调用，均按照执行功能分别编制子程序函数。关键的模块有：主程序模块、AD 转换初始化子模块、串口初始化、串口命令解释执行模块（内含多个子功能模块）以及通信模块等。如图 2 所示，系统主程序模块在首次完成单片机系统的初始化、时钟设置等工作并开启手动模式后，即进入睡眠状态（CPU 停止，其他外围模块继续工作），等待外部中断的到来，处理完后再次进入睡眠模式，如此交替。

串口命令解释执行模块包含了所有的伺服执行功能，包括电机姿态调整、上传天线姿态数据、设置判读仪器、微波继电器切换等，如图 3 所示，为下位机独立自动架设天线程序，根据上位机的命令，进入该模式后，微控制器通过发送命令读取测量接收机的峰值大小，并判断其变化，来改变天线的姿态，先大步进粗调找到该方向峰值附近，稍越过后再小步进反向微

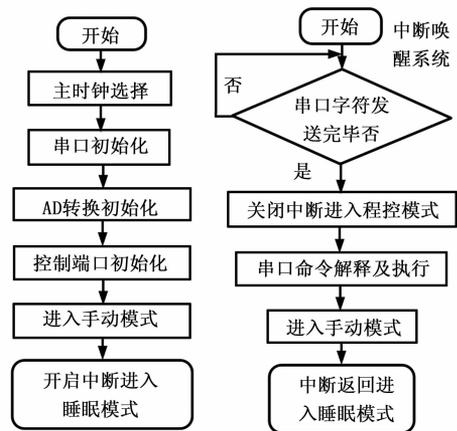


图 2 系统主程序及中断服务程序框图

调，完成水平、俯仰方向的姿态调整，当幅度变化小于设定值，即认为架设完毕。其中，步进的设置可利用微控制器的延时功能来实现，根据实际测量用天线方向图宽窄，选定不同的延时常数，达到快速调整的目的。

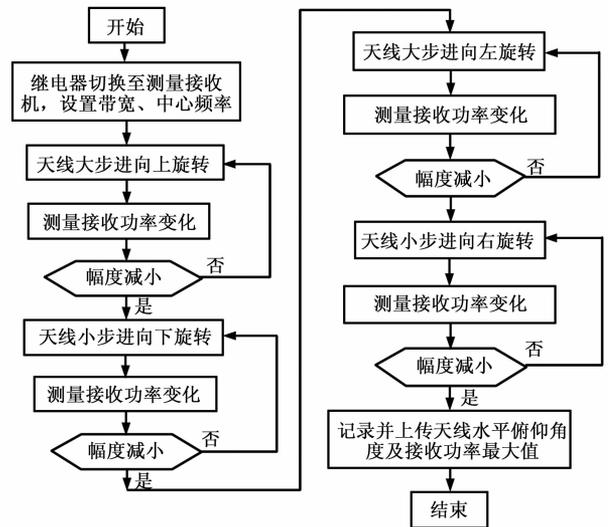


图 3 标准增益天线自动架设程序

2.2.2 上位机控制程序设计

上位机程序是在美国 NI 公司推出的 LabVIEW 开发平台下^[4]，通过 GPIB 接口控制测量仪器进行数据采集^[5-6]，采用 RS-232 接口和下位机 MSP430 进行通信方式（需加电平转换），最终完成天线伺服上位机控制及其人机界面。上位机的主要功能是将各种动作指令通过串口传送至下位机，实时显示天线姿态角度，可以手动控制天线伺服，可以让下位机独立完成自动架设（自行通过简单命令判读仪器），也可以用上位机判读仪器示值变化自动指挥控制云台，完成天线自动调整。

2.2.3 远程控制设计

远程控制可以利用无线串口传输模块实现无线传输，但无线串口模块数据传输速率较低；还可以利用 LabVIEW 提供的 Remote Panels 技术即网页发布功能，可实现本地打开并操作远程计算机上 VI 的前面板（本文采用该种方式）；或是利用 NI 提供的 DataSocket 网络测控系统技术，其特点是使用方便，

（下转第 1505 页）

theory: a framework for developing real - time systems [C]. Proceedings of the IEEE, 1994, 82 (1): 68 - 82.

[4] Ian Broster, Alan Burns, Guillermo Rodriguez - Navas. Probabilistic Analysis of CAN with Fault [J]. IEEE, 2002.

[5] Natale M D. Scheduling the CAN bus with earliest deadline techniques [C]. 21st IEEE Real - Time Systems, 2000.

[6] Moke A K. Fundamental design problems of distributed systems for the hard - real - time environment [D]. Laboratory for Computer Science, MIT, Cambridge, Mass, 1983.

[7] 吴 涛. 基于 CAN 总线的工业测控通信系统的研究 [D]. 南昌: 江西师范大学, 2011.

[8] Stankovic J A, Spuri M, Ramam ritham K, et al. Deadline scheduling for real - time system: EDF and related algorithms [M]. Boston: Kluwer Academic, 1998.

[9] 谌介人, 彭 军, 吴 敏, 等. CAN 总线中 EDF 调度算法的研究与改进 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (11): 1678 - 1681.

[10] Tindell K, Burns A, Wellings A. Calculating Controller Area Network (CAN) message response time [J]. Control Engineer-

ing Practice, 1995, 3 (8): 1163 - 1169.

[11] Tindell K. An Extendible approach for analysing fixed priority hard real - time systems [J]. Journal of Real - Time System, 1994, 6 (2): 133 - 152.

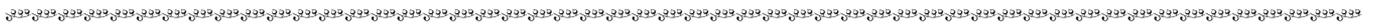
[12] Burns A. Preemptive Priority - Based Scheduling: an appropriate engineering approach [J]. Advances in Real - Time system, 1994: 225 - 248.

[13] 陈 曦, 刘鲁源, 吕伟杰, 等. 基于排队论的 CAN 总线消息响应时间建模与分析 [J]. 天津大学学报, 2012, 45 (3): 228 - 235.

[14] Ian Broster, Alan Burns, Guillermo Rodriguez - Navas. Timing Analysis of Real - Time Communication Under Electromagnetic Interference [J]. Real - Time System, 2005, 30: 11.

[15] 李明波. 基于 CAN 总线的实时通讯研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2006.

[16] 周时莹. CAN 网络控制系统的智能调度研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2009.



(上接第 1468 页)

数据传输量比较大, 将现场数据高速传给远端客户; 也可以利用操作系统的远程桌面等技术, 均可方便实现远程控制天线伺服^[7]。具体使用时, 可根据被测雷达的远场条件, 现场具备的设施, 灵活应用上述远程控制方式。

3 与传统方法应用比较

传统架设一般要两人配合, 由于仪器放置位置一般在天线侧后较低位置, 调整天线的人一般无法直接看清仪器示值变化, 需一人实时判读仪器指挥另一人实时调整天线。而本文设计研制了智能天线伺服系统, 可实现 4 种天线调整方式: 遥控器调整、下位机程序自动调整、上位机程控自动调整以及上位机人机界面根据仪器峰值示值趋势, 人工手动控制伺服调整。

为了对比传统架设方法和伺服系统自动架设效果, 先架设标准信标, 信标的全向有效功率、距离已知, 可计算出测试点的功率约定真值, 在同一个测试点, 分别用两种方案进行标准增益天线的多次架设测试, 架设效率以及测量结果等参数如表 1 所示。

表 1 人工架设与伺服架设天线对比

架设方法	人工架设	伺服架设	备注
人员情况	2 人处于辐射区	1 人在辐射区外	测量同一已知信标
准备时间 (min)	20	8	6 次重复架设从运输装箱状态到架设调整完毕
测量重复性 (dB)	0.6	0.2	6 次重复架设测量计算标准偏差
测量准确度 (dB)	1.2	0.5	6 次重复架设测量平均值与约定真值的差值

由实验数据可见, 智能伺服系统用人少, 避免了人员遭辐射, 架准备时间短, 测量重复性好, 架设准确度高。

4 结论

本文利用模块化设计思路, 在硬件设计上, 利用部件集成技术, 选用各成熟模块完成了硬件系统, 降低了硬件设计成本; 在软件设计上, 避开复杂的传统伺服控制设计思路, 配合仪器判读, 模拟人工调整过程, 设计了简易实用的伺服自动架设控制程序。根据雷达测试专用需要, 还增加了信号切换, 仪器控制等功能, 具有较高的性价比; 通过与传统人工架设天线试验数据相比较, 该伺服系统避免了架设调整人员遭受辐射, 提高了测试效率和测量准确度, 可以推广应用到类似的测试中。

参考文献:

[1] 樊 东, 周国荣. 永磁同步伺服电机智能控制器的研制与开发 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (3): 324 - 326.

[2] 马 骏, 黄攀峰. 一种网络化伺服电机运动控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (1): 69 - 70.

[3] 马小陆, 陶维青. 基于 430 单片机的远程测控单元 [J]. 仪器仪表用户, 2004, 11 (5): 69 - 70.

[4] 杨井胜. 基于 Labview 的雷达接收自动测试系统设计 [J]. 四川兵工学报, 2009, 30 (7): 24 - 27.

[5] 李培元. LabVIEW 下 GPIB 仪器网络测试研究 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2004, (6): 17 - 19.

[6] 吕继宇, 张华春, 阴和俊. 基于 LabVIEW 的频谱仪控制系统设计 [J]. 测试技术学报, 2005, 19 (4): 426 - 431.

[7] 鲍连升, 赵 峰. 基于 LabVIEW 的微波射频器件自动化测试系统设计 [J]. 电子测试, 2009, (5): 44 - 46.