



现代测控技术与系统是一门随着计算机技术、检测技术和控制技术的发展而迅猛发展的综合性技术,是在传统的测控技术的基础上,融现代传感技术、通信技术和计算机技术于一体,将现代最新科学研究方法与成果应用于测控系统中。例如,基于网络的测控技术、基于计算机视觉的测控技术、基于雷达与无线通信的测控技术、基于全球卫星定位系统(GPS)的测控技术以及基于虚拟仪器(VI)的测控技术等,已随着工农业生产现代化水平的不断发展和提高,广泛应用于科学研究、国防安全和各种社会生产中,并起着越来越重要的作用,成为国民经济发展和社会进步必不可少的重要技术,以及我国传统生产制造装备竞争力提升的核心与关键技术。

1.1 测控技术在自动化中的应用

现代测控技术是在工业测控发展中由现代测试技术与现代控制技术形成的综合性技术,而现代工业技术水平的不断提高,也不断促进现代测控技术向着更高的层面发展。

1.1.1 现代测控技术的发展

在一个稳定的闭环自动控制系统中,既包括控制单元,也包括检测单元。在实现对象的控制过程中,必须首先实现对被控对象的认识与了解,因此,需要对被控对象的特性进行测量。反之,对被控对象特性测量的目的是为了加深对其认识并进而实现控制和利用。即使最简单的开环控制系统,也需要检测被控对象的状态信息;检测系统中最基本的传感器,也会由于增加控制处理功能而成为智能传感器,所以检测与控制密不可分。将检测与控制概念分开的传统方式不利于自动化测控系统技术的学习和大型复杂测控集成系统的设计。

测控系统的基本任务是借助专门的传感器感知对象信息并传输到系统处理器,在系统处理器中,通过信号处理方法对对象信息进行处理与数据分析,得到控制对象的有效状态信息和测试结果,进而将这些对象的控制信息传输给控制环节进行对象的行为控制,并将测试结果通过显示装置输出。实现测控系统所涉及的感知技术、通信技术、控制技术、处理技术以及软硬件集成技术都是测控技术的重要内容。

近年来出现的各类现代测控系统遍及社会方方面面,从卫星发射、定姿定位、远洋测量船数据采集的大型现代测控系统,到无线遥控玩具车运动的小型测控系统,无不涉及现代测控技术的感知技术、处理技术、通信技术和控制技术,因此学习以信息获取、信息传输、信息处理和信息利用为基础的现代测控技术、方法和工具,对研究、设计和开发各种类型的现代测控系统是十分必要的。

作为现代信息技术的三大基础之一的传感器技术,应用遍及各个领域,是生产自动化、科学实验、计量核算、检测诊断等现代测控系统中不可缺少的重要组成部分,传感器技术是测控技术的重要内容之一。传感器位于测控系统的最前端,其特性的好坏、输出信息的可靠性对整个测控系统至关重要。传感器在工业、农业、国防、科学技术等各个领域都极为重要,具有不可替代的重要作用。世界各国投入大量财力、人力进行新型传感器技术的研究,我国政府已连续多年支持新型传感器技术的研究与开发,目前现代新型传感技术已成为最活跃的研究领域之一。传感器从传统的压力、温度、流量和液位四大热工量的测量发展到目前具有光、电、磁、力以至生物等信息的感知,各种新型物理量传感器不断涌现,如光纤、色敏、光栅等光敏传感器,DNA、免疫等生物敏传感器,超声波等声敏传感器,可燃性气体、氧气、电子鼻等气敏传感器,可见光、红外光等图像传感器,具有智能信息处理功能的智能传感器,以及具有模拟量输入、频率输出的Z元件传感器等相继问世并得到广泛应用。

20世纪80年代以来,为适应现代化工农业生产以至于国防尖端武器的新需求,测控技术与仪器设备不断进步,相继诞生了智能仪器、PC仪器、VXI仪器、虚拟仪器等微机化仪器及其测控系统,计算机与现代仪器设备间的界限日渐模糊,测量领域和范围不断拓宽。近10年来,以Internet为代表的网络技术的出现以及它与其他高新技术的相互结合,不仅将智能互联网产品带入现代生活,而且为测控技术带来了前所未有的发展空间和机遇,网络化测量技术与具备网络功能的远程测控系统应运而生。

随着计算机技术和微电子技术在测控领域的发展与应用,相继出现的智能仪器、总线仪器和虚拟仪器等微机化测控系统,都充分利用了计算机的软件和硬件优势,既增加了测量功能,又提高了技术性能。近年来,新型微处理器的速度不断提高,采用流水线、RISC结构和CACHE等先进技术,又极大提高了计算机的数值处理能力和速度。在数据采集方面,数据采集卡、仪器放大器、数字信号处理芯

片等技术的不断升级和更新,也有效地加快了数据采集的速率和效率。与计算机技术紧密结合,已是现代测控技术发展的主流。配以相应软件和硬件的计算机能够完成许多仪器、仪表的测控功能,实质上就是一台多功能的通用测控仪器。现代测控仪器设备的功能已不再由按钮和开关的数量来限定,而是取决于测控系统软件功能。控制器从早期的单片机、PLC、个人机迅速发展 to 工控机和嵌入式机。在现代测控领域中,嵌入式计算机与测控仪器设备日渐趋同,两者间已表现出全局意义上的相通性。

软件是基于虚拟仪器测控技术的关键。虚拟仪器软件开发工具多种多样,如 NI 公司的 LabVIEW 和 LabWindows/CVI,HP 公司的 VEE,微软公司的 VB、VC 等,它们都有开发网络应用项目的工具包。以 LabVIEW 和 LabWindows/CVI 为例,它们不仅使基于虚拟仪器的测控系统开发变得简单方便,而且为测控系统的网络化提供了可靠、便利的技术支持。LabWindows/CVI 中封装了 TCP 类库,可以开发基于 TCP/IP 的网络应用。LabVIEW 的 TCP/IP 和 UDP 网络 VI 能够与远程测控应用程序建立通信,Internet 工具箱为应用测控系统增加了 E-mail、FTP 和 Web 的能力;利用远程自动化 VI,还可对其他设备的分散 VI 进行远程控制。

Unix/Linux、Windows NT、Windows 2000、Windows Vista 等网络化计算机操作系统,为组建网络化测控系统带来了方便。标准的计算机网络协议(如 OSI 的开放系统互连参考模型、Internet 上使用的 TCP/IP 协议)在开放性、稳定性、可靠性方面均有很大优势,采用它们很容易构建测控系统网络的基础体系结构。

总线式仪器(由 ISA 到 PCI、PXI、VXI、USB 等总线虚拟仪器)微机化测控技术的应用,使组建集中和分布式测控系统变得更为容易。但集中测控越来越满足不了复杂、远程(异地)和范围较大的测控任务的需求,因此,组建网络化的测控系统就显得非常必要,而计算机软、硬件技术的不断升级与进步给组建测控网络系统提供了越来越优异的技术条件。

将计算机、高档外设和通信线路等硬件资源以及大型数据库、程序、数据、文件等软件资源纳入测控网络,可实现测控资源的共享。同时,通过组建网络化测控系统增加系统冗余度的方法,可以提高测控系统的可靠性,便于测控系统的扩展和变动。由计算机和 workstation 作为节点的网络系统就是一种现代网络测控系统,计算机已成为现代测控系统的核心。

1.1.2 现代测控技术的应用

现代测控技术在工业、农业、国防、航空航天等领域的自动化发展过程中发挥着巨大作用,主要表现在以下方面。

1. 在工业生产中的应用

现代测控技术是现代工业的核心技术之一,测控系统和关键测试仪器是生产加工设备的重要组成部分。在电力、石化、冶金等大型企业的生产过程中,自控系统及测试设备监测和控制整个工艺流程及产品质量,保障重大装备的安全可靠和高效优化运行,是整个生产系统的神经中枢,起着不可替代的重要保障作用。没有相应的测控系统,大型、多参数、工况复杂的现代工业生产装备将不可想象。

现代测控技术是节约能源、保护环境、实现循环经济的重要手段。无论是合理利用资源还是保护环境,首要问题都是测量问题。离开了测量,生产成本的控制和质量保证、节约能源和环境治理都无从谈起。例如,在工业生产过程中需要对原材料、零部件性能以及成品质量进行一致性检验,在农业生产中对土壤、种子和作物质量的分析,在环境保护工程中对江河水质、污染源等实时监测,都必须通过现代化的检测仪器系统才能完成。

2. 在国防安全中的应用

国防安全系统的高科技含量很大程度上反映了一个国家的综合技术水平。现代武器系统离不开现代先进测控技术的支持,要实现武器系统的现代化,除了先进的武器制造技术外,还要以先进的测控技术为支撑。如高炮雷达探测系统、激光测距仪、预警雷达和预警机中大量使用的现代测控技术、先进的雷达探测技术和智能传感器技术等,都属于现代测控技术的范畴。

以导弹为例,导弹研制过程中必须进行研制飞行试验、定型飞行试验、抽检飞行试验和战斗使用性飞行试验。每一种飞行试验对地面和空中的测控系统都是不可缺少的,要求测控系统通过外测和遥测等方式,获取导弹的飞行弹道和各测控部件工作状态等有关数据,以便分析检验导弹武器系统的总体方案和战术技术性能。尤其是远程导弹,在进行特殊弹道飞行模拟试验时,完全依靠各种测控系统获得的测量数据来分析和检验飞行模拟的逼真程度。

3. 在航天领域中的应用

在航天领域,测控系统是直接为导弹、火箭、卫星等飞行器发射和运行服务的重要设施。例如,卫星工程包括卫星系统、运载火箭系统、发射场系统、测控系统 and 应用系统五大分系统;载人航天工程包括载人航天器系统、航天员系统、运载火箭系统、发射场系统、着陆场系统、测控系统 and 应用系统七大分系统。无论是何种飞行器工程,测控系统都是航天发射和飞行必不可少的重要支持系统。而且,在每一种分系统中都不同程度含有自己的子测控系统和技术。

在航天工程中,确定航天器的运动状态和工作状况,对航天器的运动状态进行控制、校正,建立航天器的正常工作状态,以及对航天器进行运行状态下的长期

管理等,都含有现代测控技术和系统的应用。

1.1.3 现代测控系统的特点

现代测控系统充分利用计算机资源,在人工最少参与的条件下尽量以软代硬,并广泛集成无线通信、计算机视觉、传感器网络、全球定位、虚拟仪器、智能检测理论方法等新技术,使得现代测控系统具有以下特点。

1. 测控设备软件化

通过计算机的测控软件,实现测控系统的自动极性判断、自动量程切换、自动报警、过载保护、非线性补偿、多功能测试和自动巡回检测等功能。软测量可以简化系统硬件结构,缩小系统体积,降低系统功耗,提高测控系统的可靠性和“软测量”功能。

2. 测控过程智能化

在现代测控系统中,由于各种计算机成为测控系统的核心,特别是各种运算复杂但易于计算机处理的智能测控理论方法的有效介入,使现代测控系统趋向智能化的步伐加快。

3. 高度的灵活性

现代测控系统以软件为核心,其生产、修改、复制都较容易,功能实现方便,因此,现代测控系统实现组态化、标准化,相对硬件为传统的测控系统更为灵活。

4. 实时性强

随着计算机主频的快速提升和电子技术的迅猛发展,以及各种在线自诊断、自校准和决策等快速测控算法的不断涌现,现代测控系统的实时性大幅度提高,从而为现代测控系统在高速、远程以至于超实时领域的广泛应用奠定了坚实基础。

5. 可视性好

随着虚拟仪器技术的发展、可视化图形编程软件的完善、图像图形化的结合以及三维虚拟现实技术应用,现代测控系统的人机交互功能更加趋向人性化、实时可视化的特点。

6. 测控管一体化

随着企业信息化步伐的加快,一个企业从合同定单开始,到产品包装出厂,全程期间的生产计划管理、产品设计信息管理、制造加工设备控制等,既涉及对生产

加工设备状态信息的在线测量,也涉及对加工生产设备行为的控制,还涉及对生产流程信息的全程跟踪管理,因此,现代测控系统向着测控管一体化方向发展,而且步伐不断加快。

7. 立体化

建立在以全球卫星定位、无线通信、雷达探测等技术基础上的现代测控系统,具有全方位的立体化网络测控功能,如卫星发射过程中的大型测控系统的既定区域不断向立体化、全球化甚至星球化方向发展。

1.2 现代测控系统的结构与与设计

现代测控系统包括 3 种基本结构,分别建立在 3 种基础模型上。本节将详细介绍现代测控系统的 3 种模型以及系统设计方法。

1.2.1 现代测控系统的结构模型

现代测控系统基本结构分别建立在 3 种模型基础上,一是基于 DAQ 数据采集体系的测控系统模型,二是基于网络的测控系统模型,三是企业的测控管系统模型。

1. 基于 DAQ 体系的测控系统模型

所谓 DAQ 体系测控系统,是指以 PC 为核心的 PC 总线板卡集成的现代测控系统。基于 DAQ 体系的现代测控系统的硬件结构如图 1-1 所示。

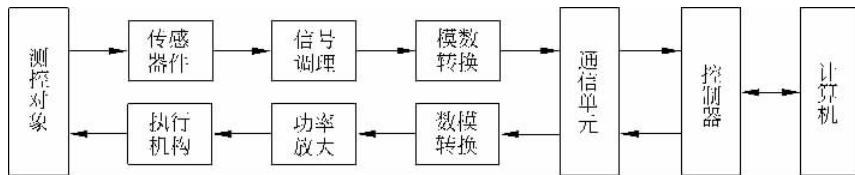


图 1-1 基于 DAQ 体系的测控系统硬件结构

典型的 DAQ 测控系统由主机(PC、工控机、嵌入式机)、输入输出测控单元和相应的软件组成。

1) 主机单元

主机对整个系统进行功能管理,包括输入通道、输出通道、信息通信的管理,存储数据、程序,并对采样数据进行运算和处理,还可以提供各种智能化、自动化操作功能等。

2) 输入输出单元

输入输出单元一般包括模拟量或开关量及数字量,主要由信号调理器和转换

器等部分组成。调理器的作用是将传感器输出的微弱信号进行放大、滤波、调制、电平转换、隔离及屏蔽等处理,以满足转换器的转换要求;转换器包括 A/D 和 D/A 转换器。

3) 标准通信接口

如果把以计算机为核心的测控系统看作一个大型测控系统的接点,为了以统一的通信方式在测控系统中的接点与接点之间进行信息交换,需要通过特定的标准通信接口来完成。常见的标准通信接口有 GPIB、VXI、USB 以及 RS-232 等接口。

在 DAQ 系统中,不同种类的被测信号由相应传感器感知并经信号调理(包括交直流放大、整流滤波和线性化处理等)后,在经模数转换环节(A/D)将模拟信号转换为适合计算机处理的数字信号,再经通信单元(PC 总线)传输给控制器(计算机)。计算机实现测控系统的数据处理和结果的存储、显示、打印以及与其他计算机系统的联网通信。对于控制器处理的控制信息,通过总线反送到数模转换单元(D/A),转换成模拟信号并加以放大,推动执行机构,最终控制对象的行为按照预定状态行进。

2. 基于网络的测控系统模型

随着计算机网络技术的高速发展和广泛应用,基于网络的测控技术已成为现代测控技术发展的一个重要方向。比较普遍的网络测控系统有基于现场总线的测控系统和基于 Internet 的测控系统。

1) 基于现场总线的网络测控系统

基于现场总线的网络测控系统结构如图 1-2 所示。主体由上位机和现场仪表组成。这种网络测控系统包括前向通道、后向通道和网络通信。

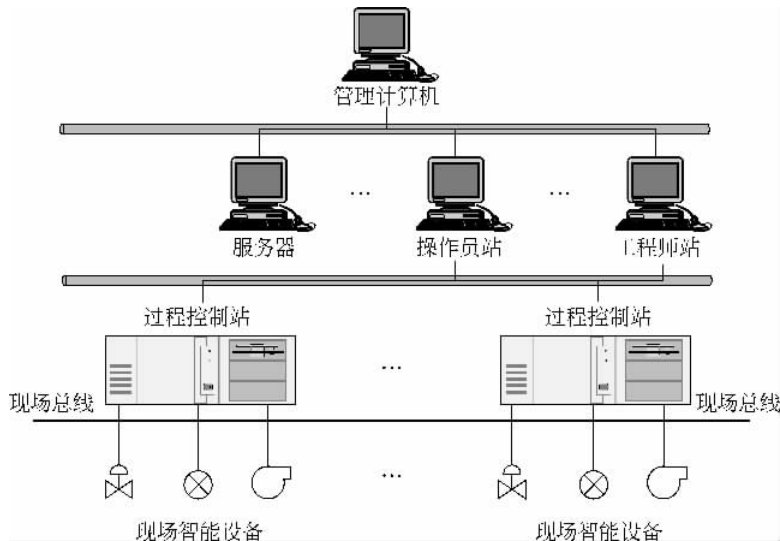


图 1-2 基于现场总线的网络测控系统结构

前向通道由传感器、信号调理、数据采集系统和微处理器组成,可完成信号检测、转换、采集及分析处理。后向通道的主要功能包括调制和解调。

(1) 调制:由微处理器输出的数字量,可能是代表被测量信息或者控制模块输出的控制量,经转换并调制为现场总线上的通信信号送至执行器。

(2) 解调:将来自现场总线上的数字信号进行解调传送至微处理器。

在这种测控系统中,所有的智能化现场仪表、传感器、执行器等都通过接口挂在总线上。现场总线采用双绞线、光缆或无线方式,目前主要以双绞线为主。也就是说,上位机与所有现场仪表的连接只有两根导线,这两根线不仅可以承担现场仪表所需的供电,而且承担了上位机与所有现场仪表之间的全数字化、双向串行通信。用数字信号取代模拟信号可以提高抗干扰能力,延长信息传输距离,而且大大削减了现场与控制室之间导线的安装费用。目前,国际上流行多种现场总线通信标准(或称通信协议模式),如 HART(可寻址远程传感器高速公路通信协议模式)、FF(基金会现场总线通信协议模式)、CAN(控制局域网通信协议模式)和 LONWORKS(局部操作网络通信协议模式)。

2) 基于 Internet 的网络测控系统

基于 Internet 的网络测控系统结构如图 1-3 所示。通过嵌入式 TCP/IP 软件,现场传感器或仪器直接具有 Intranet/Internet 的上网功能。与计算机一样,基于 TCP/IP 的网络化智能仪器成了网络中的独立节点,能与就近的网络通信线缆直接连接,实现“即插即用”,并且可以将现场测试数据通过网络上传;用户通过 IE、Netscape 等浏览器或符合规范的应用程序即可实时浏览到现场测试信息(包括处理后的数据、仪器仪表的面板图像等),通过 Intranet/Internet 实时发布和共享现场对象的测试数据。

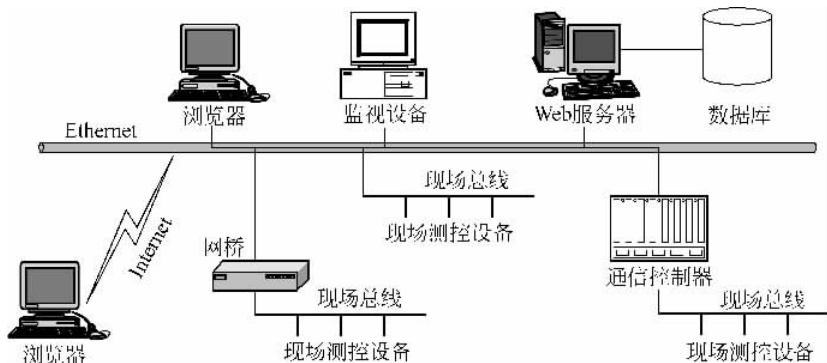


图 1-3 基于 Internet 的网络测控系统结构

3) 企业测控管的制造系统模型

企业测控管的制造系统模型是在网络环境下,集传感器、信息融合、电子商务、远程测控等技术于一体,对产品的生产过程提供全生命周期的技术服务支持。

这一发展趋势带动了设备制造企业从制造型向制造、服务型转变,也促使设备制造商在产品服务中加入远程监测、诊断和维护功能,并通过网络提供设备使用、测控、管理和维护技术支持。同时,远程测控系统与企业网融合在一起,企业的生产、管理、销售和科研真正实现在一个大系统中,使企业的内部资源达到优化配置,外部条件达到最佳利用,在竞争中处于有利位置。图 1-4 是作者为某企业建立的测控管制造系统模型。

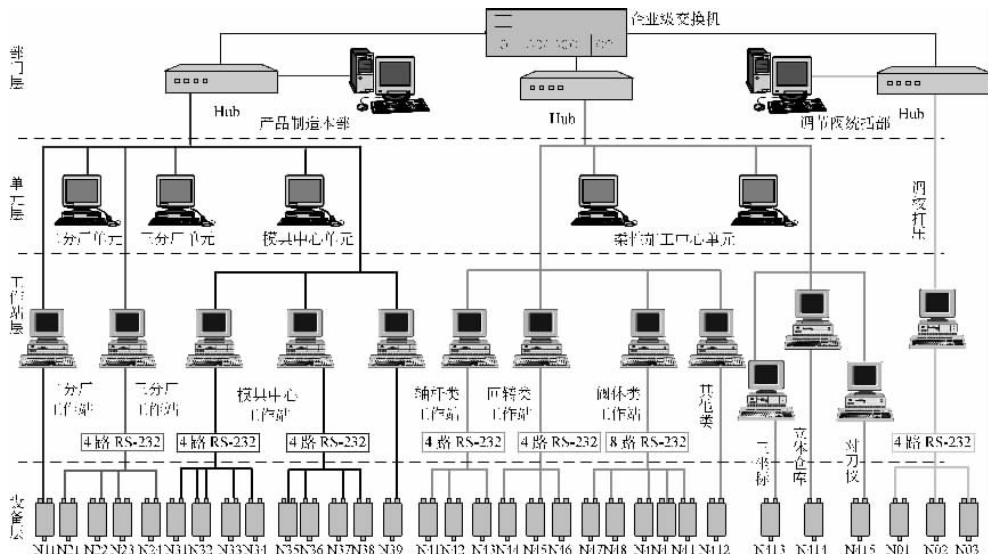


图 1-4 某企业测控管的制造系统模型

1.2.2 现代测控系统的设计方法

现代测控系统的设计要遵守以下几个原则：硬件设计原则、软件设计原则、网络互联规范和抗干扰设计。

1. 硬件设计

硬件设计主要包括以下几个方面。

1) 约束条件

对象特点方面主要考虑其大小、形状、距离、环境、物理量、用途等；测控系统需求方面主要考虑功能、反应速度、可靠性、测控精度等因素。此外,还需要考虑研制成本、产品成本以及开发周期。

2) 系统模块设计技术

测控系统电路设计一般采用 CPLD、FPGA、DSP 等高集成度器件技术,主要以 PC 商用机和基于 PC104 工控机为主。近年来,随着嵌入式系统的高速发展,

以 ARM 技术为核心的测控仪器与系统如雨后春笋,发展迅速。此外,采用低功耗器件,进行低功耗设计,对降低功耗与抗干扰有积极意义;采用通用化、标准化硬件电路,有利于模块的商品化生产和现场安装、调试、维护,也有利于降低模块的生产成本,缩短加工周期;使用软测量技术,以软件代替硬件,可以降低成本,减小体积;最后,在设备驱动程序开发方面,可采用动态链接库等技术进行不同层次程序链接。

3) 系统设计技术

硬件采用系统组态技术,选用标准总线和通用模块单元,有利于降低研制成本,缩短开发周期,尽可能进行通用化、标准化、组件化设计;采用软件组态开发平台进行开发,如可视化开发工具、通用软件包(LabVIEW、LabWindows/CVI、Intouch、HPVEE、组态王等),有利于缩短开发周期和建立友好的系统界面;设计组建时要结合系统应用的发展,充分考虑系统的可扩展性,为系统的升级和扩展奠定基础,采用开放性技术实现可扩展性设计。值得一提的是基于计算机视觉测控系统的设计,可采用西安交通大学自动控制研究所的 ZM-VS1300 视觉测控硬件平台,结合 HALCON 组态软件,能够高效完成专用视觉测控系统的设计与实现。

2. 软件设计

应用软件主要包括检测程序、控制程序、数据处理程序、数据库管理程序、系统界面程序等。无论是测控系统还是虚拟仪器,设计时都应在程序运行速度和存储容量许可的情况下,尽量用软件实现传统仪器系统的硬件功能,简化硬件配置;信号处理和数据处理主要包括量程转换、误差分析、插值、数字滤波、FFT 变换、数据融合等技术;此外,界面是测控系统和虚拟仪器的“窗口”,是系统显示功能信息的主要途径。软件设计不仅要实现功能,而且要界面美观,达到虚拟现实的效果。界面设计不仅要熟练掌握软件开发工具和程序设计技术,还应具备一定的艺术才能。建议初学者尽可能采用 LabVIEW、LabWindows/CVI 等可视化编程软件。

3. 网络互联规范

应遵循的网络互联规范如下。

1) 统一的电气标准

各网络设备的输入输出信号应符合统一的电气标准,包括输入输出信号线的定义、信号的传输方式、信号的传输速度、信号的逻辑电平、信号线的输入阻抗与驱动能力等。

2) 统一的机械特性

各网络设备的机械连接应符合统一的规定,包括接插件的结构形式、尺寸大

小、引脚定义、数目等。

3) 统一的指令系统

各网络设备应具有统一或兼容的指令系统(如台式仪器的公用程控命令)。

4) 统一的编码格式和协议

各网络设备的输入输出数据应符合统一的编码格式和协议(总线协议)。

4. 抗干扰设计

现代测控系统主要应用于生产、科研和军事现场,受电源电网干扰、雷电等自然干扰和其他电器设备的放电干扰。因此,需要高度重视现代测控系统的抗干扰设计。目前主要有 3 种抗干扰措施。

1) 误差修正(修正、滤波、补偿)

现代测控系统的信号和干扰有时是随机的,其特性往往只能从统计的意义上描述,此时,经典滤波方法就不可能把有用的信号从测量结果中分离出来。而数字滤波具有较强的自适应性。例如,对于 N 次等精度数据采集,存在着系统误差和因干扰引起的粗大误差,使采集的数据偏离真实值。此时,可用剔除 m 个粗大误差后的 $N-m$ 个测量数据的算术平均值作为测量结果示值:

$$\bar{X} = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} X_i \quad (1-2-1)$$

式中, X_i 为第 i 次的测量值。

2) 数据处理技术

采用图像处理、小波变换、神经网络等各种智能先进算法进行数据补偿技术。

3) 电路抗干扰技术

(1) 电磁兼容性: 噪声对正常信号的干扰主要通过 3 种途径,即静电耦合、电磁耦合和公共阻抗耦合,因此需要采用不同的措施解决电磁兼容性问题。

(2) 屏蔽: 隔离屏蔽的方法是将有关电路、元器件和设备等安装在铜、铝等低电阻材料或是磁性材料制成的屏蔽物内,不使电场和磁场穿透这些屏蔽物。一般可分为静电屏蔽、低频磁场屏蔽和电磁屏蔽。

(3) 隔离: 主要包括物理性隔离、光电隔离、脉冲变压器隔离、模/数变换隔离和运算放大器隔离等。

(4) 接地: 接地能消除各电流流经一个公共地线阻抗产生的噪声,避免形成回路,它也是屏蔽的重要保证。常见的接地方法有保护接地、屏蔽接地和信号接地等。

(5) 滤波: 滤波器可以抑制交流电源线上输入的干扰及信号传输线上感应的各种干扰,常用的滤波器件有电感、电容、电阻及压敏电阻等。

(6) 布线: 电路系统是由多个部分构成的,各部分在电路板上的安排和布线连接与电路的抗干扰性能有密切关系,布线时应该加以考虑。

(7) 电路负载: 电路负载对于电路的抗干扰性能也有一定的关系, 设计时应该加以考虑。

现代测控系统的使用环境各有不同, 干扰源有所区别。对于工业生产现场使用的现代测控系统, 除系统自身的干扰外, 应着重考虑电器设备放电干扰和设备接通与断开引起电压或电流急变带来的干扰。而对于野外使用的现代测控系统, 抗干扰设计的重点是大气放电、大气辐射和宇宙干扰等自然干扰。抗干扰设计应根据产品的具体使用环境进行具体分析, 找出主要干扰因素, 选择有针对性的抗干扰措施。特别是对基于计算机视觉的测控系统来说, 抗干扰的重点在于遏制自然光源干扰, 也就是在 CCD 图像采集处设置前光源和背景光源, 注意光源的范围、强弱等。特别要注意被测物是否存在高光反射因素。

1.3 现代测控技术的分类

如前所述, 现代测控技术与系统融合了现代传感技术、通信技术、计算机技术和控制技术, 各种最新的测控研究方法与成果不断融入到现代测控系统中。根据所用的支撑技术不同, 本书将从以下几个方面介绍现代测控技术: 基于网络的测控技术、基于计算机视觉的测控技术、基于无线通信的测控技术、基于雷达的测控技术、基于 GPS 的测控技术及基于虚拟仪器的测控技术。

1. 基于网络的测控技术

随着计算机技术、网络技术和通信技术的高速发展与广泛应用, 建立开放的、互操作的、模型化的、可扩展的网络化测控系统成为可能。目前, 充分利用 Internet 设施建立网络化测控系统, 不仅能够降低组建系统的费用, 还能实现测试设备和测试信息的共享。现场传感器测得被测对象的数据信息后, 通过网络传输给异地的精密测试仪器或高档微机化仪器去分析处理, 提高了贵重和复杂设备的利用率。在 Internet 上进行测试和数据采集, 可以远程监控实验过程和实验数据, 不但节约了人力物力, 而且异地实时性好。与传统测控系统相比, 网络化测控技术跨越了空间和时间上的界限, 是一个质的飞跃。基于网络的测控技术将测控系统与计算机网络相结合, 构成信息采集、传输、处理和应用的综合网络, 符合信息化发展的要求。网络化测控技术的深入研究和广泛应用具有重要意义和实用价值。

2. 基于机器视觉的测控技术

人类通过视觉从客观世界获取的信息占全部感观信息的 70% 以上, 图像传感器的出现与发展, 犹如给测控系统安装了视觉器官, 极大地扩充了测控系统的功能和测试手段。随着各种先进的图像传感器的出现, 如 CCD、CMOS 摄像机、红外摄像仪等, 基于机器视觉的测控技术得到迅速发展。包括图像测量、图像处理、图

像识别、图像信息融合以及机器视觉等在内的各种图像处理技术成为近年来测控技术乃至控制科学研究的热点。

机器视觉技术是测控领域中一种新的测量技术。它是现代光学为基础,融光电子学、计算机图像学、信息处理及计算机视觉等现代科学技术为一体的综合测量技术,广泛应用于各种几何量的测量、精密零件的微尺寸测量和外观检测、目标分类与识别、光波干涉图以及卫星遥感等各种与图像有关的测控任务中,视觉检测潜在的应用领域十分广阔。

3. 基于无线通信的测控技术

对于工作点多、通信距离远、环境恶劣且实时性和可靠性要求比较高的远程测控场合,可以利用无线电波来实现主控站与各个子站之间的数据通信。采用无线通信的远程测控方式不仅可以减少复杂连线,而且无需铺设电缆或光缆,大大降低了建设成本。其系统组成如图 1-5 所示。

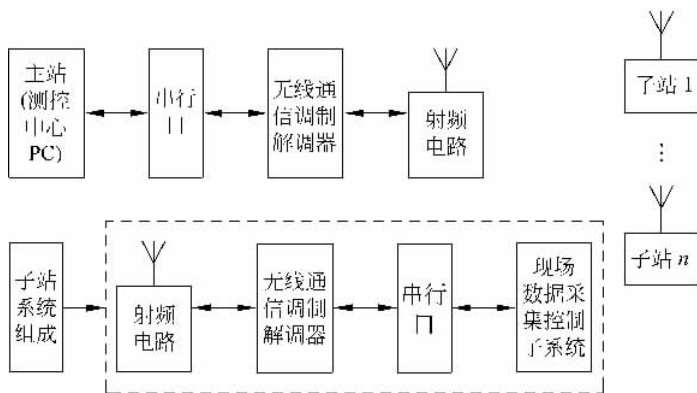


图 1-5 基于无线通信的测控系统结构

无线远程测控技术的关键是要使射频模块的接收灵敏度和发射功率足够高(可以采用专业无线电台来替代射频模块),以扩大站点间的距离,同时还需要考虑无线电波波段的选择;无线通信调制解调器已经有许多比较成熟的产品,可以根据实际需要来选择。基于无线通信的远程测控技术具有广泛的应用领域,如小区的智能保安系统、油井远程监测系统、航空航天技术中的无线跟踪测轨、遥测和遥控系统,都是基于无线通信技术的典型现代测控系统的应用。

4. 基于雷达的测控技术

雷达是利用目标对电磁波的反射来发现目标并测定目标位置的。飞机、导弹、卫星、车辆、兵器以及建筑物、云雨等都可能成为雷达的探测目标。雷达从目标回波中获取目标的距离、方位角、俯仰角以及目标的运行速度等信息,从而实现

目标跟踪测控。当雷达分辨率足够高时,能得到目标清晰的尺寸和形状信息,从而实现目标识别与动态跟踪。雷达还可以测定目标的表面粗糙度以及目标介电特性等,这在国防安全测控领域有广泛应用。

20世纪90年代以后,由于航空与航天技术的飞速发展,飞机、导弹、人造卫星及宇宙飞船等普遍采用雷达作为探测和控制的手段,对雷达提出了高精度、远距离、高分辨率及多目标测量等要求。以SAR为代表的高分辨雷达具有分辨率与距离无关、防区外探测等能力,因此被广泛应用于军事和民用的现代测控系统中。军用雷达主要包括预警雷达、火控雷达、战场监视雷达等,民用雷达主要包括气象雷达、航空管制雷达、地球遥感雷达等。

5. 基于GPS的测控技术

1994年美国全部建成全球定位系统并投入使用。全球定位系统(Global Position System, GPS)作为一种全球性的大型测量技术,已经成为大地测量主要和普遍使用的技术手段。GPS系统能在全世界范围内向任意多用户提供高精度连续实时的三维测速、三维定位和时间基准,基本上解决了人类在地球上的导航和定位测控问题。

GPS是利用卫星作为导航台的无线电定位系统,由卫星、地面站和用户设备组成。卫星的功能是转发地面站的导航信号到覆盖区域内的用户设备,同时接收来自地面站的控制指令以及向地面站发送卫星的遥测数据;地面站的功能是收集来自卫星及系统内有关的信息数据,经过加工处理后发出导航信号和控制指令,通过卫星转发给测控设备用户;用户测控设备的功能是接收并处理来自卫星的导航信号,进行定位计算,计算结果可用来导航和制导。

自GPS系统向全球开放以来,其应用范围从军事领域逐步向民用领域扩展,目前已广泛应用于地质勘探、油气油井定位、建筑及铁道建设、工业测控、天文观测、授时校准、车船导航和防盗报警等现代测控系统中,具有广阔的发展前景。

6. 基于虚拟仪器的测控技术

虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)是指以通用计算机作为系统控制器,由软件来实现人机交互和大部分测控功能的一种计算机测控系统。虚拟仪器的出现,打破了传统仪器由厂家定义,用户无法改变的工作模式。用户可以在通用计算机平台上,根据测控任务需求定义和设计测控仪器系统的测控功能,在测控系统和仪器设计中以软件代替硬件,充分利用计算机技术实现和扩展传统测控仪器功能。使用者在操作计算机时,就像操作一台自己设计的测试仪器系统一样。

虚拟仪器测控系统由硬件设备、设备驱动程序和应用软件3部分组成。应用软件开发平台有VC++、VB及NI公司的LabVIEW和LabWindows/CVI等。以LabVIEW为例,它具有如下功能特点。

1) 数据采集

提供了数千种仪器驱动库和格式化 I/O 库,能够直接调用相应仪器驱动库和 I/O 库,实现自动检测功能。

2) 通信控制

提供了 GPIB 库、RS-232 库、VISA 库以及 VXI 库等,能够利用 C 语言编程调用相应接口函数,实现各种测控系统的通信与控制。

3) 数据分析

提供了数据分析库以及高级分析库,能够快速地调用各种数据处理算法。

4) 系统界面

提供了面板、菜单、按钮等用户接口库,使用户能够简单方便地制作出人性化的现代测控系统界面。

随着虚拟仪器技术的快速发展和应用,结合基于 Internet/Intranet 通信能力的远程测控系统性能大大提高,虚拟仪器测控技术已成为现代测控技术与自动控制系统的重要组成部分。

1.4 现代测控技术与系统发展方向

在现代工业生产、测控系统高度自动化和信息管理现代化过程中,涌现出大量以计算机为核心的信息处理与过程控制相结合的现代测控系统。现代测控技术与系统的发展趋势主要表现在以下方面。

1. 小型化与微型化

以敏感元件采用 MEMS(Micro-Electrical Mechanic System),半导体材料取代金属为特征的现代传感器技术正飞速发展。由传感器、调制电路、微处理器组成的智能传感器系统已由多片集成系统发展到在弹片芯片上实现。所以,由 MEMS 技术结合半导体工艺甚至纳米技术制作的现代传感器系统,正引领测控系统走向小型化和微型化。

2. 网络化

将智能检测和控制系統接入计算机网络,进一步增强了现代测控系统的功能和活力。以各种总线为代表的网络化测控系统迅猛发展。现代测控系统网络化有利于降低系统的成本,有利于实现远距离测控和资源共享,有利于实现测控设备的远距离诊断与维护。同时,虚拟仪器技术与 Internet 网络技术相结合,也给测控系统的网络化发展注入了新的活力。

3. 虚拟化

虚拟仪器是随着计算机技术和现代测量技术的发展而产生的一种新型高技术

术,代表着当今测控技术发展方向。虚拟仪器是利用现有的微型计算机,加上特殊设计的测控硬件和专用软件,形成既有普通测控仪器系统的基本功能,又有传统测控仪器所没有的特殊功能的新型计算机测控仪器系统。随着测控理论方法的发展与人机交互的人性化,以及软件与艺术的有效结合与体现,现代测控系统更趋向于虚拟化发展。

4. 智能化

检测技术和计算机技术的结合,大大提高了测控系统的测控精度与自动化水平。神经网络的自学习、自适应、自组织、并行处理、分布存储、联想记忆以及动态逼近等一系列独特算法的优越性,大幅度提高了现代测控系统的智能化水平。智能科技分支林立,蓬勃发展。除了人工神经网络之外,还有模糊逻辑、遗传算法、专家系统、仿人智能、粗糙集理论、模式识别、分形系统、混沌理论以及数据融合技术等,都将使现代测控技术与系统的智能化提升到一个全新的境界。

5. 空间化与大型化

随着载人航天技术的高速发展,天地测控成为现代最为先进、最为复杂和最引人入胜的测控课题,天地测控网也成为目前世界上最复杂的大型测控网络系统。以美国国家航空航天局的航天测控和数据采集网为例,包括了用于地球轨道航天计划的航天跟踪与数据测控网,用于月球与行星探测的深空探测网,为这两个网传递各种信息的地面通信系统是一种综合通信测控网。我国也先后建成了超短波近地卫星测控网、C 频段卫星测控网和 S 频段航天测控网,可为中低轨道、地球同步轨道等多种航天器提供远程测控支持,圆满完成了各次航天飞行的测控任务。我国现有地面测控网一般可以满足大多数测控任务的需要,随着太空的探测和测控强国的争夺,现代测控系统正迅速朝着天地一体化的大型测控网络系统发展,早日建成我国自己的空间化中继性远程测控网络系统迫在眉睫。

参考文献

- 1 赵伟. 网络化——测量技术与仪器发展的新趋势. 电测与仪表,2000,37(7): 5~9
- 2 滕召胜. 智能检测技术及数据融合. 北京: 机械工业出版社,2000
- 3 卜云峰. 检测技术. 北京: 机械工业出版社,2005
- 4 刘君华,申忠如,郭福田. 现代测试技术与系统集成. 北京: 电子工业出版社,2005
- 5 高春甫,艾学忠. 微机测控技术. 北京: 科学出版社,2005
- 6 De Capitani D V S, Ferrero A, Lazzaroni M. Mobile Agent Technology for Remote Measurements. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,2006,55(5): 1559~1565
- 7 翟郑安. 我国航天测控网发展构想. 飞行器测控学报,2000,19(3): 7~12



测控是指含有检查、测量等比较广泛意义的测量,是从客观事物中获取有关信息的过程,是人们认识客观事物的重要方法。在这个过程中要借助于检测装置,并需通过合适的实验方法和必要的数学处理。本章主要介绍测控系统的基本概念、误差分类、测量方法、测量结果的数据统计处理方法等。这些知识是测控技术的理论基础。

2.1 测控系统的误差处理

被测对象某参数的量值的真值是客观存在的,但由于各种原因,测量结果总有误差。测量误差显然会影响人们认识客观事物的准确性,为此要对测量误差进行研究。误差处理是测量技术的理论基础。

误差理论又是解决这些实际问题的理论基础,本节主要介绍测控系统的误差处理,包括研究测量误差的性质,分析产生误差的原因,以及随机误差处理方法和疏忽误差处理方法等。依据测控信号的变换规律,通过数据误差处理,对信号进行必要的去误差处理,可提高测量分辨能力,提高检测系统的工作性能,获取新的准确信息,从而改进系统的容错性与可靠性,完善系统的智能性。

2.1.1 误差的来源与分类

这里主要涉及误差的来源和分类两种。

1. 误差的来源

为了减小测量误差,提高测量结果的准确度,必须明确测量误差的主要来源,以便估算测量误差并采取相应措施减小误差。测控系统的误差来源是多方面的,主要有以下 6 种。

1) 方法误差

方法误差是由于测控系统采用的测量原理与方法不完善、理论依据

不严密、对某些经典测量方法作了不适当的修改简化所产生的。它是制约测量准确性的主要原因。例如,用伏安法测电阻时,若直接以电压表示值与电流表示值之比作测量结果,而不计电表本身内阻的影响,就会引起误差。

2) 环境误差

环境误差是由于环境因素对测量影响而产生的误差。例如环境温度、湿度、气压、灰尘、电磁干扰、机械振动等干扰会引起被测样品的性能变化,使测控系统产生误差。

3) 数据处理误差

数据处理误差是检测系统对测量信号进行运算处理时产生的误差,包括数字化误差、计算误差等。

4) 使用误差

使用误差也叫操作误差,是指测量过程中因操作不当而引起的误差。例如将按规定应垂直安放的仪表水平放置,仪表接地不良,测试引线太长而造成损耗或未考虑阻抗匹配,未按操作规程进行预热、调节、校样后再测量等,都会产生使用误差。减小使用误差的最有效途径是提高测量操作技能,严格按照仪器使用说明书规定的方法、步骤进行操作。

5) 仪器误差

由于测量所使用的仪器、仪表、量具和附件不准确和不完善所引起的误差称为仪器误差。如电桥中的标准电阻、示波器的探极线等都含有误差,仪器仪表的零位偏移、刻度不准确以及非线性等引起的误差均属仪器误差。减小仪器误差的主要途径是根据具体测量任务,正确地选择测量方法和使用测量仪器。

6) 人身误差

由于测量人员的生理特点(分辨能力、反应速度、视觉疲劳、情绪变化等)、心理或固有习惯(读数的偏大或偏小等)、测量知识水平、操作经验等引起的误差称为人身误差。减小人身误差的主要途径有:提高操作者的操作技能和责任心,采用更合适的测量方法,采用数字式显示的客观读数等。

2. 误差的分类

虽然产生误差的原因多种多样,但按误差的性质和特点可分为系统误差、随机误差和疏失误差 3 大类。

1) 系统误差

系统误差是指在相同条件下重复测量同一量时,误差的绝对值和符号保持不变,或在条件改变时按照一定的规律变化的误差。例如仪表的刻度误差和零位误差,应变片电阻值随温度的变化等都属于系统误差。它产生的主要原因是仪表制造、安装或使用方法不正确,也可能是测量人员的一些不良的读数习惯等。系统误差是一种有规律的误差,故可以采用修正值或补偿校正的方法来减小或消除。

在一个测控系统中,测量的准确度由系统误差来表征。系统误差愈小,则表明测量准确度愈高。

2) 随机误差

在相同条件下多次重复测量同一量时,误差绝对值和符号无规律变化的误差称为随机误差。随机误差的来源主要有机械干扰(振动与冲击)、热和湿干扰、电磁场变化、放电噪声、光和空气及系统元件噪声等。例如温度及电源电压频繁波动,电磁干扰和测量者感觉器官无规律的微小变化等引起的误差。它不能用修正或采取某种技术措施的办法来消除。但随机误差在足够次数的测量后,其总体服从统计规律(最常见的就是正态分布规律),从中可了解它的分布特性,并能对其大小及测量结果的可靠性做出估计,或通过多次重复测量,然后取其中算术平均值来达到减小误差的目的。随机误差的大小反映了数据的分散程度,经常用来表征测量精密度的高低。随机误差越小,精密度越高。

3) 疏失误差

疏失误差也叫过失误差或粗大误差,是测得的值明显地偏离实际值所形成的误差。它主要是由于操作不当,读数、记录和计算错误,测试系统的突然故障,环境条件的突然变化等疏忽因素而造成的误差。疏失误差必须根据统计检验方法的某些准则去判断哪个测量值是坏值或异常值,然后在处理数据时剔除掉。

2.1.2 随机误差处理方法

随机误差是由测量过程中很多暂时未能掌握或不便掌握的许多独立的、微小的偶然因素(如测量装置、环境和人员方面原因)所引起的,适合于采样频率高、信号中存在随机干扰的处理。

1. 随机误差的统计特性

随机误差的分布规律,可以在大量重复测量数据的基础上总结出来,符合统计学上的规律性。表 2-1 所示为两种不同产品的检测值和平均值。

表 2-1 两种不同产品的检测值和平均值

测量品种	产品直径检测值											平均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
产品 1	13.0	13.1	13.3	12.8	13.1	12.7	13.2	13.0	12.8	12.0	13.2	13.0
产品 2	14.6	14.3	14.2	14.7	14.5	14.3	14.8	14.3	14.7	14.6	14.6	14.5

对某一种固定对象进行多次重复测量,测量结果可以反映出测量数据的随机变化。经过大量的实际检验,具有随机误差 δ 的测量数据有以下统计特征。

(1) 对称性: 随机误差出现的概率,即绝对值相等的正、负误差出现的概率相同,以零误差为中心成对称分布。

(2) 有界性: 在一定的测量条件下, 误差的绝对值不会超过某一界限, 即绝对值很大的误差出现的概率为零。

(3) 单峰性: 绝对值小的误差出现的概率大于绝对值大的误差出现的概率。从概率分布曲线看, 零误差对应误差概率的峰值。

(4) 抵偿性: 在一定条件下, 对同一量的测量, 随着测量次数的增加, 随机误差的代数和趋于零。该特性是随机误差的最本质特性, 换言之, 凡具有抵偿性的误差, 原则上都可以按随机误差处理。

2. 随机测量数据的分布

可利用随机测量数据出现的统计分布规律, 使测量结果尽量减小分散性。根据概率论的中心极限定理知: 大量的、微小的及独立的随机变量之和服从正态分布。显然, 随机误差是服从正态分布的。例如对某一产品作等精度 n 次重复测量, 其测量序列 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 服从正态分布, 则测量数据的概率密度为

$$p(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2-1-1)$$

其中, μ 为测量真值; σ 为标准误差, 并且有 $\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{n}}$, $\delta_i (i=1, 2, \dots, n) = X_i - \mu$ 为随机误差。不同的 σ 有不同的概率密度函数曲线, σ 一定, 随机误差的概率分布就完全确定。

3. 随机测量数据的可信度

对于一个未知量, 人们在测量或计算时, 常不以得到近似值为满足, 还需估计误差, 即要求确切地知道近似值的精确程度 (亦即所求真值所在的范围), 并希望知道这个范围包含真值的可信程度。

1) 置信区间与置信概率

在研究随机变量的统计规律时, 不仅要知道它在哪个范围取值, 而且要知道它在该范围内取值的概率。这就是置信区间和置信概率的概念。

在一定概率保证下, 估计出一个区间 $[-a, +a]$ 以能够覆盖参数 μ 真值, 这个区间称为置信区间, 区间的上、下限称为置信限。

置信限 $\pm a$ 是鉴定测量系统的设计误差指标, 对于已有的检测系统, 随机误差 δ 服从正态分布, 标准误差 σ 已知。随机误差定义为

$$\delta = X - \mu$$

则随机误差概率密度函数为

$$p(\delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}\right]$$

区间 $[-a, +a]$ 与 $p(\delta)$ 曲线构成的面积就是测量误差在 $[-a, +a]$ 区间出现