

摘 要

弹射机构的测试是一个十分复杂的过程，基于虚拟仪器技术的模拟试验台测控系统的研究将有效的提高弹射机构的测试效率和测试精度，它能够实时的对数据进行采集、分析和处理，并将测试结果显示给用户，利用网络化和数据库管理技术实现了数据的远程监控以及测试数据的存储和维护，便于系统数据的共享。

本文对测试对象进行分析，制定系统软硬件方案。系统硬件采用了PXI总线，增加了系统构建的灵活性；采用模块化、结构化的程序设计方法，按自上向下的模式将系统划分为数据采集、数据处理、数据分析、数据回放、数据库管理等模块，并利用LabVIEW语言实现了各模块的设计。系统采用了连续数据采集循环缓冲技术和Windows多线程技术，保证了连续数据采集过程中数据的完整性，避免了数据的丢失和重复采集。

本文还对LabVIEW的网络通信技术和数据库管理技术进行了探讨，分析了各种网络通信实现方式之间的联系和区别，并对基于浏览器的远程控制技术进行了详细的说明；详细讲述了利用LabSQL VIs实现LabVIEW与Access数据库之间的数据记录查询、添加、删除等数据库管理技术。

最后，对论文的研究工作进行了总结和展望。

关键字：弹射机构，LabVIEW，网络通信，数据库管理

Abstract

The measurement of ejection mechanism is a very complex process. Measurement and control system research based on virtual instrument technology will improve testing efficiency and precision; it can acquire, analyze and process the realtime data, and can show consumers the results. Using the networking and database management technology can realize remote supervisory and control, storage and maintenance of testing data; it is convenient for data share.

In the thesis, presents configure of system hardware by analyzing the testing object. The system adopts the PXI bus; it enhances system flexibility. Based the Top-to-Down, modularized and structured method, divides the system into five parts: Data Acquisition, Data Processing, Data Analysis, Data Replaying, Database Management and so on. Then realize the design by LabVIEW language. In the system, uses circular buffer and Windows multithreading technology, it ensures data integrity in the process of acquiring and prevents the miss and repetition of data.

In addition, the paper discusses LabVIEW network communications and database management technology, analyzes similarities and difference of the communications and details the web server technology. In the thesis, presents the database management technology (query, add, delete and so on) between LabVIEW and Access based the LabSQL VIs.

Finally, this thesis provides a summary of the research work and makes some recommendations for the future research.

Key Words: Ejection Mechanism, LabVIEW, Network Communication, Database Management

西北工业大学

学位论文知识产权声明书

本人完全了解学校有关保护知识产权的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属于西北工业大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版。本人允许论文被查阅和借阅。学校可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。同时本人保证，毕业后结合学位论文研究课题再撰写的文章一律注明作者单位为西北工业大学。

保密论文待解密后适用本声明。

学位论文作者签名：朱刚

2007年3月12日

指导教师签名：闫轶

2007年3月12日

西北工业大学

学位论文原创性声明

秉承学校严谨的学风和优良的科学道德，本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用的内容和致谢的地方外，本论文不包含任何其他个人或集体已经公开发表或撰写过的研究成果，不包含本人或其他已申请学位或其他用途使用过的成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式表明。

本人学位论文与资料若有不实，愿意承担一切相关的法律责任。

学位论文作者签名：朱刚

2007年3月12日

第一章 绪论

1.1 论文研究的背景

现在各国都致力于国防事业的发展。在电子技术、信息技术、数字技术的推动下,军用自动测试设备(ATE)得到了长足的发展,成为了保证现代武器系统可靠运行的有力保证。

在现代的战场上,武器的性能将对战场的局面起到至关重要的作用,特别是机载武器可以对对方实施有效的空中打击,夺取制空权,因此国际上对机载武器装备性能的要求在不断提高,机载武器的技术层次更加复杂和多样化,相应的对机载武器的测试技术也提出了更高的要求,被测对象参数从比较单一的模拟信号发展到涉及计算机总线信息、并行数据等领域^[1],同时,为实现数据的共享,提高设备的开发速度,对网络化、数据库技术的需求也日益明显。

1.1.1 国外发展概况

国外发达国家对军用自动测试设备的研制和应用十分重视,投入了大量的人力和物力。美国早期的军用自动测试系统是针对具体武器型号和系列,系统间互不兼容,不具有互操作性。随着武器装备的规模和种类的不断扩大,专用测试系统维护保障费用高昂。从80年代中期,美国军方就开始研制针对多种武器平台和系统,由可重用公共测试资源组成的通用自动测试系统^{[2] [3]}。

美国Honeywell公司开发的通用导弹测试设备(Missiles Universal Test Set, MUTS)是基于Windows™的自动化测试工作站,其设计思想是在共同的硬件基线上,通过组装通用的仪器设备,集成模块化的、与特定设备无关的测试软件,由此构建通用测试软硬件平台,以满足大多数产品的测试,如:导弹、军用飞机等。MUTS软件采用分层结构,以实现仪器驱动程序与应用软件的分离,提高测试程序集(TPS)的可重用性和可移植性。目前,MUTS已经在测试系统的开发上获得了成功应用。法国宇航局是欧洲最大的军用ATE供应商,其设计的ATEC 6系列和SESAR 3000系列通用测试平台可以对战斗机、直升机、坦克以及导弹等武器系统进行检测,此二系列通用测试平台,采用了模块化的设计思想,可以根据用户要求灵活配置软硬件结构并允许新的测试程序添加到TPS软件包中,拥有综合的TPS库^[29]。

1.1.2 国内发展概况

国内军用自动测试设备的发展比较缓慢，各类发射装置基本停留在五、六十年代的技术水平，试验手段、测试系统等都是一个急待解决的问题。军用自动测试设备在我国的发展经历了由国外引进到自行研制的过程^[2]。

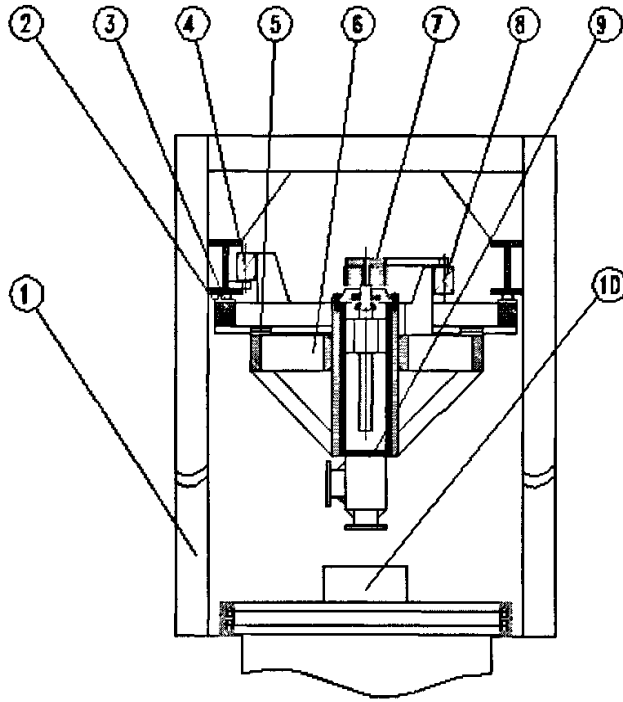


图 1-1 重复静力试验台机械结构简图

1-框架 2-吊臂外框 3-X 方向导轨副 4-X 方向驱动电动机 5-Z 方向导轨副 6-吊臂内框 7-Y 方向驱动减速系统 8-Y 方向驱动电动机 9-试验件安装座 10-压力缸移动装置

国内某研究所建成的重复静力试验台机械结构简图如图1-1，它采用NC工控机、PLC控制，试件安装采用垂直安装方式，通过导轨实现系统位置的调整。重复静力试验台能够测量弹射结构在静力作用下的系统构件的受力大小，而不能获得在试件弹出瞬间试件的运动状态以及弹射结构所受力的大小，同时试件只能采用单一的垂直悬挂方式。

1.2 虚拟仪器技术概述

1.2.1 虚拟仪器的概念及其特点

所谓虚拟仪器(Virtual Instrument, 简称VI), 实际上就是一种基于计算机的一种新的仪器设计理念, 它是可以根据用户的不同需求定义和设计的自动化测试仪器系统。“软件即是仪器”是虚拟仪器最本质、最简单的表述。

虚拟仪器利用计算机的显示功能来模拟传统测试仪器的控制面板, 通过软件将计算机硬件资源与仪器硬件有机的融合为一体, 从而把计算机强大的计算处理功能和仪器硬件的测量、控制功能结合在一起, 同时通过软件实现对数据的分析处理、显示、存储等。虚拟仪器的概念打破了传统仪器功能用户无法改变的模式, 使得用户可以根据自己的需要, 设计适于自己的测试系统。与传统仪器相比较, 虚拟仪器具有以下优点, 见表1-1所示^{[5] [6] [7] [8]}:

表 1-1 虚拟仪器与传统仪器的比较

虚拟仪器	传统仪器
用户定义仪器功能	厂商定义仪器功能
关键是软件	关键是硬件
技术更新周期短(1~2年)	技术更新周期长(5~10年)
速度和可靠性高	测试速度和可靠性难以保证
开发与维护费用降至最低	开发与维护开销高
可复用、可配置性强	价格昂贵
开放、灵活, 与计算机技术同步发展	封闭、固定
可以与网络以及其他周边设备互联	功能单一的独立设备
数据可以进行编辑、存储和打印	需人工记录或通过软盘与其他数据交流

1.2.2 虚拟仪器的构成^{[5] [6] [9]}

虚拟仪器的构成包括两个部分: 硬件和软件。硬件部分用来实现对被测物理

量的获取；软件部分用来完成用户界面的设计、数据分析、存储与显示等功能。

(1) 虚拟仪器的硬件结构

虚拟仪器的基本构成框图如图1-2所示：

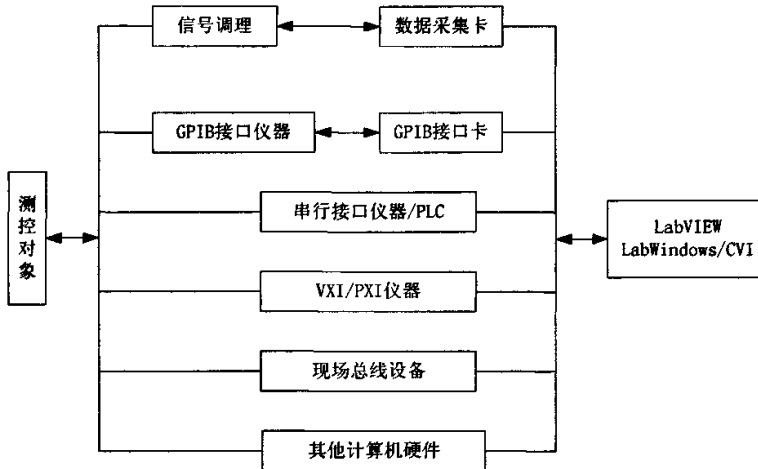


图 1-2 虚拟仪器系统构成框图

VXI、PXI总线系统是目前在军用测试领域应用较广的两种系统其特点如下：

VXI系统：VXI总线是一种高速计算机总线——VME总线在仪器领域的扩展，它的标准开放、结构紧凑、具有数据吞吐能力强、定时和同步精确、模块可重复利用、众多仪器厂商支持等优点，因此得到了广泛的应用，尤其在组建大、中规模自动测试系统以及对速度、精度要求高的场合有很大优势。

PXI (PCI eXtension for Instrumentation) 系统：PXI标准将CompactPCI规范定义的PCI总线技术发展为适合于数据采集场合的机械、电气和软件规范，支持VXIplug&play系统联盟规定的VISA软件标准。PXI仪器在性价比方面比VXI仪器具有优势，近年来得到了较大的发展。本文就是选用了PXI总线系统。

(2) 虚拟仪器的软件结构

虚拟仪器技术的核心思想就是充分利用计算机的软硬件资源，将传统需要硬件完成的工作软件化，从而最大程度的降低系统的成本。在给定硬件的条件下，虚拟仪器的功能主要由应用软件来决定。

目前，可用于虚拟仪器开发的软件可以分为两大类：

1) 文本式编程语言，主要有Microsoft公司的Visual C++、Visual Basic、Sybase公司的PowerBuilder、NI公司的LabWindows/CVI；

2) 图形化编程语言，主要有NI公司的LabVIEW、HP公司的VEE。

应用软件还包括通用数字处理软件，它包括：用于数字信号处理的各种功能函数，这些功能函数为进一步扩展虚拟仪器的功能提供了基础。本文采用NI公司

LabVIEW开发平台来实现系统软件的开发。

1.2.3 虚拟仪器的应用^{[6] [10]}

虚拟仪器作为一种创新技术，它改变了人们对仪器的传统观念，满足了现代测试系统的发展。虚拟仪器技术的优势在于用户自定义仪器功能，结构，且构建容易、转换灵活，因此应用领域十分广阔。目前，国内外有许多部门和公司都在积极地开展这些方面的研究和应用工作。例如，美国的Geomatics公司和Godsmith公司等利用虚拟仪器开发工具，研制开发出了农业自动化灌溉系统和秧苗分析系统；美国斯坦福大学利用虚拟仪器技术构建了虚拟仪器教学、实验、仿真系统；挪威CARDIAC公司采用LabVIEW平台构建了测试北海油田石油、大气、水流的MOFM系统。在国内，清华大学应用虚拟仪器技术构建汽车发动机性能检测系统，用于汽车发动机出厂前的自动检测；石油科学研究院将虚拟仪器技术应用于小型石油精炼实验系统中；电子部三所应用虚拟仪器技术建立了仪器自动化计量控制系统等。此外，许多大学都在尝试将虚拟仪器应用到实验教学和计算机辅助教学中。

1.3 论文研究的主要研究工作

1.3.1 研究的目的和意义

在弹射机构的设计过程中，计算机模拟仿真是一个很重要的步骤，通过对弹射机构运动仿真和有限元分析可以获得机构各关键点的位移、加速度、角速度、受力状况等物理量，但是计算机仿真采用的弹射机构模型都是经过简化的，因此，只通过对简化模型的仿真不能提供真实可靠的数据。

为了在弹射机构设计中获得比较准确的设计参数，我们设计了基于虚拟仪器技术的模拟试验台通过该试验台对弹射机构进行反复的模拟试验来获得弹射机构在弹射过程中各支撑部件所受力的的大小、加速度、角速度、位移等物理量，然后将实测数据与仿真所得数据进行对比分析，用仿真数据对其修正，从而更加准确掌握机载武器在弹射过程中结构的受力状况以及武器被弹出瞬间的飞行姿态，为弹射机构的设计提供更加真实可靠的数据。

1.3.2 论文的主要研究内容

(1) 弹射机构的分析和模拟试验台的分析

根据测试需要和对弹射机构的运动分析,确定测试参数、测试方式以及测试过程中数据传输形式。

(2) 测控系统硬件部分的选择

根据测试需要,选择合适的传感器、数据采集、数字信号的输入/输出模块。

(3) 测控系统软件设计

1) 数据采集程序设计

采用结构化和模块化相结合的软件设计方法,有利于程序设计任务的划分,实现了程序模块的共享,有利于程序的测试和修改。

采用数据循环缓冲技术保证在连续数据采集过程中数据的完整性,同时充分利用了系统资源,程序可以在两次从缓冲区读入数据之间进行数据处理和分析等。

Queue运行控制技术起到了缓冲的作用,避免了数据的丢失或重复读取,保证了程序在各任务之间的协调运行。

2) LabVIEW的网络通信技术

采用Web浏览器方式实现网络通信技术,用户可以实现对远程面板的访问和实时的远程监控。

3) LabVIEW的数据库访问技术

采用免费的、源码公开的第三方软件LabSQL,实现对网络数据库的访问,实现数据的共享,有利于数据的维护以及相关项目开发。

1.4 论文章节安排

本文共分为六章,各章节内容安排简单介绍如下:

第一章 绪论

介绍论文的研究背景,研究意义和研究内容。介绍论文相关研究领域,对研究现状做出了介绍和分析,指出研究的不足之处,并提出论文的研究内容和研究方向。最后介绍论文的章节安排。

第二章 测试系统的总体设计

对测试对象和测试系统进行分析,确定测试系统各部分的功能。制定系统软硬件方案,并对系统软件进行需求分析确定软件系统的总体框架设计。

第三章 基于PXI总线的数据采集系统的设计

简述了数据采集的一般理论,根据软件系统的总体框架,介绍了数据采集、数据处理和分析、数据回放等部分的设计及模拟仿真结果。

第四章 LabVIEW的网络通信技术

介绍了LabVIEW的TCP通信技术、DataSocket通信技术以及浏览器方式下的网

络通信技术。

第五章 LabVIEW的数据库访问技术

介绍了LabVIEW的访问数据库的几种方式，对其进行分析比较，并对由第三方提供的免费LabSQL VIs实现数据库访问的技术作了详细介绍。

第六章 总结

总结论文的研究工作内容，对下一步研究的方向提出建议。

1.5 本章小结

本章简要介绍了模拟试验台测试系统的研究背景、研究内容、研究意义，给出了测试系统和虚拟仪器技术的发展应用现状，并对论文的篇章结构进行了简要介绍。

第二章 测试系统的总体设计

本章通过对系统功能进行分析，确定测控系统所需测试和控制的状态量，据此建立系统软、硬件方案。该系统包括：弹射机构、模拟实验台两个部分。

2.1 弹射机构

弹射机构是空中武器发射的执行机构，其机械结构简图如图2-1所示：

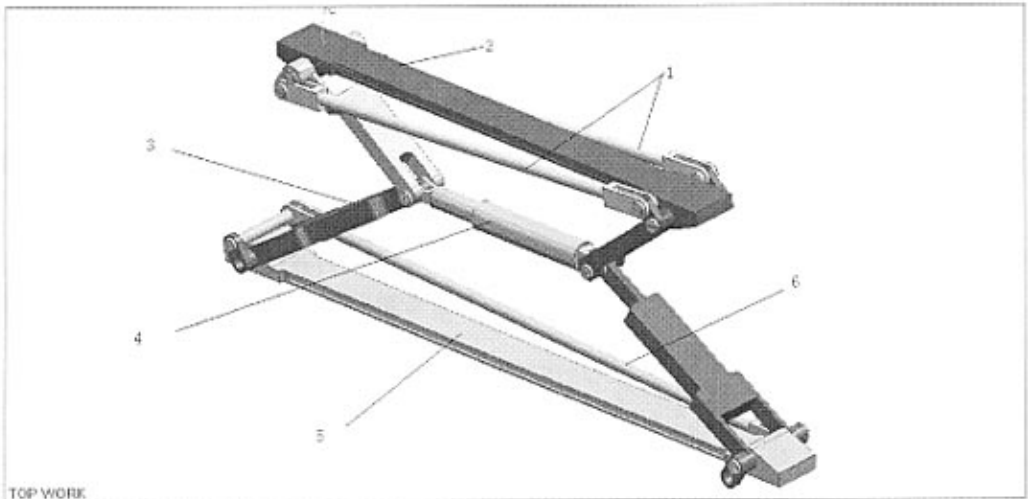


图 2-1 弹射机构结构简图

该装置主要包括以下几个部分：1—上同步机构；2—固定联结板；3—弹射臂；4—气压缸；5—固定联结板；6—下同步机构。在试验的过程中，初始状态下弹射机构处于收缩状，试验开始后使气缸与进气孔相通，利用气压力将气缸移动使弹射机构展开，当弹射行程到达某一位置后弹射机构与其下面的所悬挂的试件脱离，将试件弹射出去；弹射机构回收的过程与弹射过程相反，首先利用气压缸将弹射结构回收。在弹射、回收的过程中弹射装置将受到空气的阻力，同时由于弹射时间非常短，因此在弹射过程中气压缸将对弹射臂产生极大的压力。为了保证弹射臂的设计的准确性以及弹射装置在使用过程中不会因弹射臂的过载而发生事故，必须通过试验获得弹射臂所受到的真实应力状况。

空中作战武器在被弹出瞬间的运动参数决定了其打击目标的准确性。武器被弹出时的速度、加速度、俯仰角的大小以及飞行中所受空气阻力大小决定了武器

的飞行轨迹。对于同一型号武器而言，所受的空气阻力是与自身飞行速度有关，因此要想控制导弹的飞行轨迹就必须准确掌握武器被弹出时刻的运动状态参数，只有这样才能提高武器的命中率。

2.2 模拟实验台

模拟实验台主要是为了模拟空中武器在被弹出时所受空气阻力的状况，它根据空气动力学和杠杆原理，通过加载机构将液压力能按照一定的比例分配到试件的各个部位，实现对空中武器所受空气阻力的有效模拟。在实验中弹射机构通过气压缸的作用展开，然后液压系统通过加载装置将液压力加载到试件之上，模拟试验台的机械结构简图如图2-2所示：

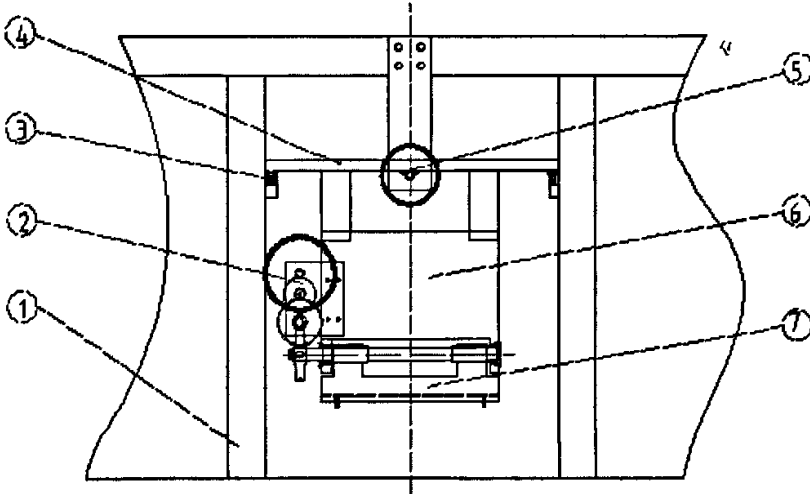


图 2-2 模拟试验台机械结构简图

1-支撑框架 2-旋转装置 3-导轨副 4-导轨 5-横向调整装置 6-吊臂 7-试件安装座

模拟实验台主要包括：支撑框架、加载装置、液压系统、旋转装置、定位装置、测控系统等。

支撑框架是模拟实验台的承重部件，能够满足多种型号空中武器弹射装置的测试实验；加载装置主要是实现模拟力的合理分配，使得试件的受力能更接近于实际武器所受空气阻力，同时加载装置可以根据旋转装置倾斜角度的不同调整位置；液压系统为系统提供模拟加载力，同时液压系统可以根据实验要求调整加载频率；旋转装置提供了实验台与弹射机构的接口，可以将弹射机构与实验台联结在一起，并可以使试件在 $0-90^{\circ}$ 范围内倾斜；定位装置通过滚珠丝杠调整试件的位

置使得试件不管倾斜角度多大都可以保证试件处于支撑框架的中间部分；测控系统能控制试验中试件位置量的调整、数据的采集、液压系统的控制以及试验过程中用户所关心数据量的显示等，同时通过自锁等功能防止试验过程中发生事故。

2.3 测控系统设计

2.3.1 系统需求分析

虚拟仪器技术以其模块化、标准化、小型化、通用化的特点，满足了军用自动测试系统对设计验证、生产测试、诊断维修一体化的要求，因而在军用自动测试系统中得到了广泛的运用。

在军用自动化测试系统中VXI、PXI总线系统的应用最为广泛，本文在1.2.2节中对它们进行了相应的说明，但第一次构建VXI总线系统需要较大的投资和较高的技术水平，同时复杂的VXI总线结构成为开发人员充分利用VXI总线优越性的一个难题^[17]。

PXI总线系统则给开发人员带来了新选择。PXI体系结构虚拟仪器产品是在现有PC机软硬件的基础上，扩充了测控系统所必需的冷却、散热、电磁兼容标准和同步、触发、局部总线，使得PXI系统既具有VXI系统的高性能，同时又能够完全兼容现有的PC技术，从而降低了整个系统的成本。采用最新的PXI测控技术的航空电子通用测试系统，可以满足航空机载设备测试可靠性高、抗干扰性强等特点，因而得到了广泛的支持和应用^[17]。

本文根据对测试系统的实际需要组建基于PXI总线的测试系统，选择所需要的数据采集模块、输入/输出模块等，采用LabVIEW技术设计了数据采集、数据分析、数据显示、数字量的输入/输出以及LabVIEW的网络通信和数据库访问等功能模块。

2.3.2 基于 PXI 的硬件系统设计

(1) PXI控制器配置方案

PXI控制器主要有两种类型：嵌入式控制器和MXI-3外置控制器。其中前者是一种最紧凑的配置方式，它提供了丰富的标准和扩展接口，而且在数据传输速率和电磁兼容性方面具有很好的优势，因而，在性能要求就高的场所备受青睐；后者采用MXI-3接口实现了PCI-PCI总线的桥结，MXI-3具有软、硬件的透明性，独立于操作系统平台，具有较高的性价比，便于系统的升级，适合于在各种实验室

中组建系统^{[7] [18]}。

本文采用嵌入式控制器的配置方式。图2-3为嵌入式控制器模块，图2-4为嵌入式控制器配置方式下的系统硬件框图。系统采用嵌入式控制器模块不仅减小了系统的体积，还提高了系统的可靠性，可以充分利用PXI总线的时钟、触发信号。系统的硬件模块主要包括PXI机箱、PXI控制器模块、数据采集模块、数字I/O模块等。

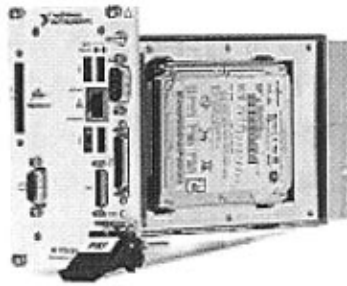


图 2-3 PXI 嵌入式控制器

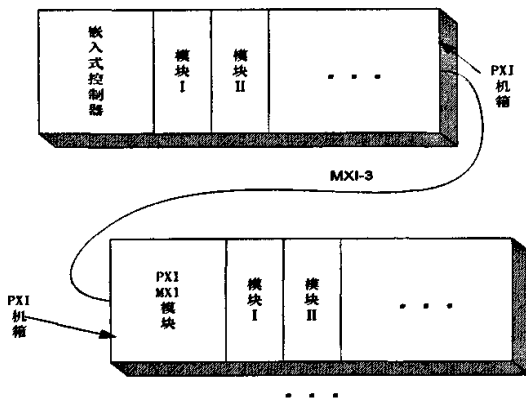


图 2-4 嵌入式控制器控制方式硬件框图

(2) 运动状态测量

弹射结构运动状态的获取有多种方式其中包括：高速摄影、传感器。高速摄影在科研领域应用非常广泛，常被用作记录分析物体的运动变化，甚至生物器官、微生物、分子的运动^[41]。高速摄影为弹射结构的运动分析提供了一个很好的选择，但是高速摄影的成本十分昂贵；传感器是测控领域中很重要的信号获取元件，能满足大多数用户的需要，且价格便宜，因而得到广泛的应用。在本系统中采用传感器技术来实现运动状态量的获取。

(3) 系统硬件组成

根据对系统所要完成的功能的分析确定本测试系统硬件系统。在本系统模块中,数据采集卡采用NI公司的PXI系列产品,可以直接使用LabVIEW中提供的驱动程序直接驱动,数据采集系统的程序框图如图2-5所示:

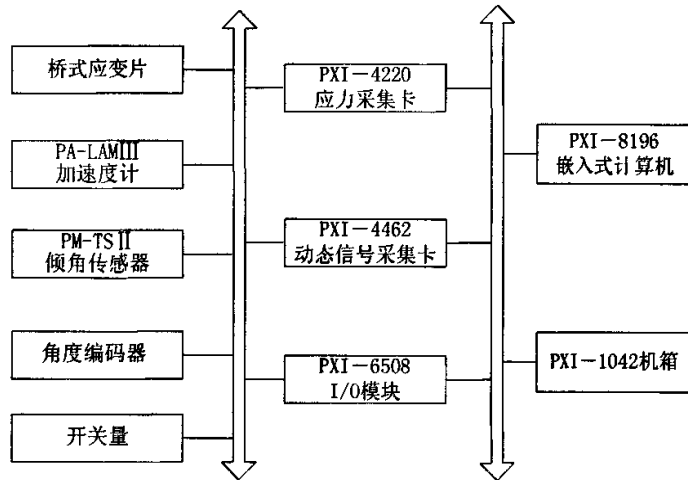


图 2-5 基于 PXI 总线的数据采集系统的硬件框图

系统硬件主要由以下几个部分组成:

- 1) PXI-1042 8槽机箱,高性能交流供电模块,冷却和噪声自动优化;
- 2) PXI-8196 嵌入式计算机,2.0GHz 奔腾M760 主控计算机,配有 GPIB、R232、4个 USB2.0、10/100/1000BaseTX Ethernet,便于组成网络化测试系统;
- 3) PXI-4220 SC 系列数据采集卡,200KS/s,16位分辨率,集成了数据调理单元,两路桥路输入,用于弹射机构所受应力的测量;
- 4) PXI-4462 动态数据采集卡,204.8KS/s,24位分辨率,4路同步模拟输入,IEPE 信号条理,用于测量弹射端加速度数据的采集;
- 5) PXI-6508 数字输入输出模块,96路数字输入输出,5VTTL/CMOS 电压,具有握手功能,用于系统开关量、数字量的输入输出。
- 6) 桥式应变片,通过应变片组建桥路测量结构所受的应力大小。
- 7) PA-LAMIII 加速度计,用于弹射端加速度的测量,测量范围 $\pm 50g$ (大于系统仿真结果 $40g$) 输出电压为 $\pm 4V$,灵敏度 160mv/g 。
- 8) PM-TS II 型倾角传感器,用于弹射端倾角的测量,测量范围 $\pm 30^\circ$ (机构采用准平行结构倾角小于 30°),输出电压 $0-5V$ 。
- 9) 角度编码器,用于旋转装置的位置调整测量,数字量输出。

系统首先通过开关量的操作调整试件的位置等,接着由数据采集卡将传感器

获得的弹射机构各状态参数采集到主控计算机——即嵌入式控制器，然后进行数据处理以及显示和存储，通过显示器可以很方便的观察到机构的各状态量变化。

2.3.3 基于 PXI 的系统软件设计

(1) LabVIEW的特点^{[8] [11]}

LabVIEW (laboratory virtual instrument engineering workbench) 是一种图形化编程语言 (又称为G语言)，它是由美国NI (National Instruments Company) 公司推出的虚拟仪器开发平台，也是目前应用最广、发展最快、功能最强的图形化软件开发集成环境。LabVIEW是为各个领域的工程技术人员设计开发的，与大多数编程语言不同，LabVIEW是一种面向最终用户的开发工具，不需要手工写入程序代码，编程的过程相当于是“绘制”程序流程图，从而将用户从枯燥的编程工作中解放出来，用户可以更多的去关心所测量物理量本身。

LabVIEW具有以下几个特点：

1) LabVIEW是一个划时代的图形编程系统，经过20年的发展，已经广泛的被工业界、学术界和研究实验室所接受，是公认的标准数据采集和仪器控制软件，它可以通过交互式的图形化前面板来控制系统，并显示所得到的结果。

2) LabVIEW是一个完全的、开放式的虚拟仪器开发系统应用软件，利用它可以减少测试系统、数据采集系统的开发时间。

3) LabVIEW开发测试系统、数据采集系统具有很大的灵活性，可以根据用户的不同需求设计、开发用户界面。

LabVIEW程序结构的模块化，使得LabVIEW能够完成复杂的程序设计，实现强大的仪器功能，同时，便于系统的调试和维护。

(2) 软件系统需求分析

一个完整的测试系统包括：硬件设计和软件设计两个部分。随着电子技术、信息技术、计算机技术的发展硬件模块的发展十分迅速，硬件模块已逐渐走向了标准化、通用化、简单化；而在基于虚拟仪器技术的测试系统中，“软件即是仪器”，因此在同一硬件平台下，软件的设计决定了系统所实现的功能。随着测试系统的复杂程度不断加大，测试系统软件的设计也越来越变的复杂化，为了在设计中便于对系统软件进行测试、维护，必须对系统进行需求分析，然后根据系统需要实现的功能对软件系统进行正确的模块化分，从而获得功能清晰的软件架构。

本文设计的PXI测试系统测试软件的任务是通过控制系统硬件设备，完成模拟信号采集、数字输入/输出、测试数据的处理和分析、网络通信以及数据库访问等，它符合测试软件的一般要求，并且具有良好的移植性、可扩展性、易维护性。

(3) 系统软件的总体设计

软件是虚拟仪器的核心。软件系统的设计是系统设计的重要组成部分，通过软件设计实现数据处理、数据显示等操作。系统的软件设计采用模块化和层次化思想。LabVIEW的图形化、模块化方法设计应用程序是其最显著的特点之一。LabVIEW应用程序设计，采用由上至下 (Top-Down) 的设计方法，首先明确系统的总体要求和性能参数，然后将系统划分为各个功能模块，如：数据采集、数据分析、数据显示等，再将各个模块逐步划分为更小的模块，这种层次化模块化程序结构不但增加了程序的可维护性，也增强了程序的可读性，使程序流程图更加清晰明了，同时也避免了大量的重复编程工作。LabVIEW的函数库中集成了常用的函数模块，提供丰富的函数库和子程序库，这些模块为使用者完成一般的数据采集、分析、显示等任务，提供了极大的方便^[13]。根据本系统的实际需要建立软件系统各模块之间是层次关系如图2-6所示：

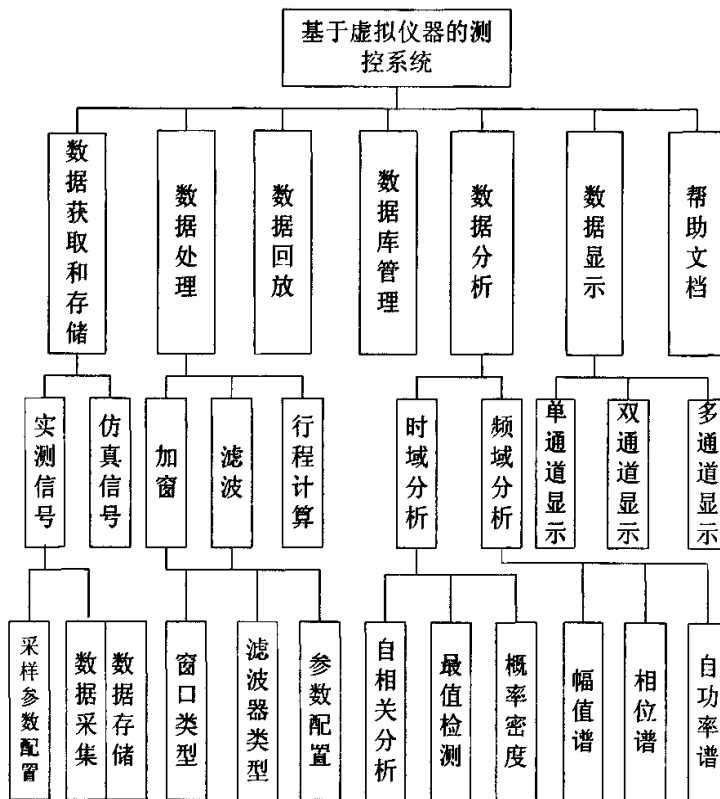


图 2-6 软件各模块层次关系图

由图2-6可以看出，系统主要由数据获取、数据处理、数据保存、数据分析、数据回放、数据库管理模块、数据显示以及帮助文档等模块。信号获取可以直接由LabVIEW内部提供的函数发生模块通过分时取值的方式获得离散的时间序列信

号——仿真信号，同时系统也可以通过配置数据采集卡参数对外部物理信号进行采集转换成能够被计算机接受的数字信号量——实测信号。利用仿真信号为系统的检测提供了极大的方便，也为程序功能的检验提供了很好的方式，在一定的硬件条件下，这种“虚、实”结合的测试手段为虚拟仪器系统了开发提供了很大的方便，减少了系统开发的成本和时间，同时这种“虚、实”结合的方式也是虚拟仪器技术有别于传统测试技术的一个显著标志。在本系统中，实测信号的获取主要是通过LabVIEW的模拟信号采集模板上的各种图形化驱动模块，它可以在你不了解PXI总线如何工作的情况，就可以直接与PXI接口设备进行通讯，从而实现数据的实时采集和传输。LabVIEW的这种图形化编程方式，降低了对设计者的要求，使设计者可以从学习PXI总线的工作中解放出来，而专心于系统实现的解决上来。

数据采集到计算机内部以后可以利用在两次从缓冲区中读取数据的间隔可以对数据进行保存，接着就是要对信号进行处理，其中最常用的信号处理方式就是滤波处理，通过滤波可以去除信号中的干扰信号获得期望的信号量。在信号处理的过程中由于所能处理的离散数据序列总是有限的，不可避免的要遇到数据截断的情况，在将一个长序列变成有限长的短序列就必不可避免的要用到窗函数，从而减少信号的频率泄漏。为了实现项目中路程量的求取，我们采用了离散数列的数学处理模块，主要是通过对离散数列进行积分变换来实现。

数据分析部分主要是实现实际应用中所关心数据信息量的求取。在这里主要是通过LabVIEW提供的函数分析工具，求出信号在时域、频域中某些量的大小和关系，主要有时域中的自相关分析、最值检测、概率密度函数；频域中的幅值谱、相位谱、自功率谱。

数据显示模块是系统人机界面的一个重要组成部分，通过数据显示模块可以把数据处理、数据分析得到的用户关心的信息量以可见的方式提供给用户。数据显示模块主要包括：单通道显示模式、双通道显示模式和多通道显示模式。

数据库操作模块主要是完成LabVIEW与数据库的交互，本文采用的是Access 2003；利用数据库操作模块实现对表中数据记录的添加、读取、更改和删除等操作，完成系统数据的维护和共享。

回放模块主要是将保存到计算机中的信号显示在显示模块中，以便于用户的查看。帮助文档主要是对程序进行注解，从而便于用户理解程序。

2.4 本章小结

本章对弹射机构以及模拟试验台进行了分析，确定了测试量和控制量，同时对PXI总线的硬件和软件总体结构进行了分析。

第三章 数据采集系统软件设计

3.1 数据采集技术概论

数据采集是测试系统的一个重要组成部分，它完成了将物理信号转换成计算机能够识别的数字信息量，并进行数字信息量的存储、处理、显示等。在工业自动化控制、数据检测等领域都存在着数据的测量和控制等问题，数据采集技术已经在雷达、通信、水声、遥感、地质勘探、振动工程、无损检测、语音处理、智能仪器、工业自动控制以及生物医学工程等领域有着广泛的应用。

3.1.1 模拟信号的数字化

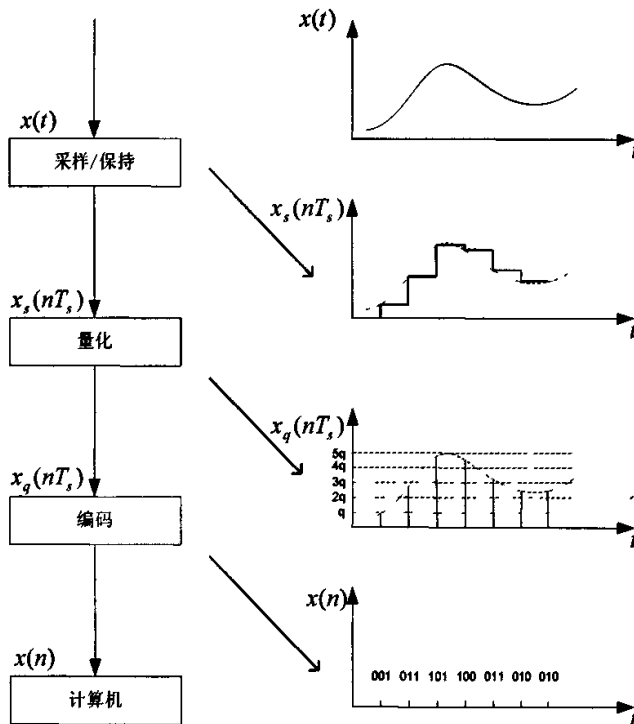


图 3-1 信号的转换过程图

(1) 采样

数据采集的过程就是将连续的模拟信号转换成离散的数字信号，然后传送到

计算机中的过程，它包括数据的采样/保持、量化和编码如图3-1所示^[5]。

采样就是对连续的模拟信号 $x(t)$ ，按一定的时间间隔 T_s ，抽取相应的瞬间值的过程。连续的模拟信号 $x(t)$ 经过采样后被转换为时间上离散的模拟信号 $x_s(nT_s)$ ，称为采样信号。采样过程如图3-2所示：

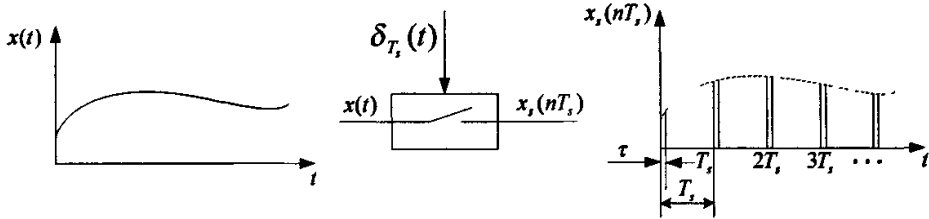


图 3-2 采样过程图

在采样的过程中采样时间间隔的不同，将导致采样点数量的变化。采样时间间隔过小将导致采样点数量的增加，占用大量的计算机内存空间，反之，若采样时间间隔过大将导致采样点数量的减少，它将引起原始数据的失真，复原信号时将不能复现原来连续变化的模拟信号，造成测量信号的误差。因此，在数据采集过程中必须严格遵守采样定律，同时还要根据测试系统的实际需要选择合适的采样频率，以保证测量信号的准确。

(2) 量化

量化就是把采样信号 $x_s(nT_s)$ 以某个最小单位的整数倍来度量的过程，量化后的信号称为量化信号 $x_q(nT_s)$ 。

(3) 编码

编码就是把量化信号 $x_q(nT_s)$ 转化为离散数字信号 $x(n)$ （简称为数字信号）的过程。

3.1.2 采样定理

(1) 采样条件

要由离散信号 $x(nT_s)$ 唯一恢复出连续信号 $x(t)$ ，信号的频谱 $X(\omega)$ 和采样周期 T_s （或采样频率 ω_s ）必须满足下列采样条件^[21]：

- 1) $X(\omega)$ 有截至频率 ω_c ，即当 $|\omega| > \omega_c$ 时， $X(\omega) = 0$ ；
- 2) $T_s < 2\pi / (2\omega_c)$ 或者 $\omega_s > 2\omega_c$ 。

上述条件的物理意义是：若被测量信号 $x(t)$ 所包含频率范围是有限的（即，低于截至频率 ω_c ），则被测信号 $x(t)$ 可以表示为频率小于 ω_c 的谐波信号的叠加，这样只要采样频率 T_s 大于两倍的 ω_c ，采集得到的离散信号 $x(nT_s)$ 就可以唯一的复

原出被测信号 $x(t)$ 来。

(2) 采样定理

设连续信号 $x(t)$ 的频谱是 $X(\omega)$ ，以采样周期 T_s 采样得到的离散信号为 $x(nT_s)$ 。如果频谱 $X(\omega)$ 和采样周期 T_s （或采样频率 ω_s ）满足采样条件1)和2)，则由离散信号 $x(nT_s)$ 可以完全确定频谱 $X(\omega)$ ，具体关系为公式(3-1)，并可完全确定连续信号 $x(t)$ ，具体关系为公式(3-2)^[22]。

$$X(\omega) = T_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s) e^{-jnT_s\omega} \quad \text{公式 (3-1)}$$

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s) \text{Sinc}\left[\frac{\omega_s}{2}(t - nT_s)\right] \quad \text{公式 (3-2)}$$

3.1.3 采样控制方式

计算机与外部信息的传递是通过总线进行的。采样信号的控制方式通常有以下两种：

(1) 无条件采样

无条件采样又称为同步传送，它对外设的输入与输出是通过取数或存数指令直接进行读出或写入数据，其操作时间完全由程序安排决定。在计算机采集数据时，不必查询外设的状态，也无需控制信号的介入。

无条件采样适用于采集任何形式的模拟信号。由于所有采样点按照时间顺序排列，易于实现信号波形的显示。但无条件采样方式不适合于采样频率很高的场合，比如采样时间要求几百或几十纳秒，这样每个采样点数据的采样、量化、编码、存储就很难在一个采样时间间隔内完成。无条件采样还必须在外部设备能够随时输出数据的情况下才能使用。

(2) 条件采样

条件采样的采样过程是受控制的，根据控制方式的不同通常可分为查询控制方式、中断控制方式和直接存储器存取（DMA）方式。

1) 程序查询控制方式

这种方式采样的过程中，程序不断查询外部设备的状态标志位来判断外部设备是否准备就绪。查询控制方式要求的硬件少，编程也简单。特别是询问与执行程序同步，能确知A/D转化的时间。这种方式的缺点是：程序查询常常浪费CPU的时间使其利用率不高^[5]。

2) 中断控制方式

采用中断方式时，计算机首先发出启动外部设备的命令，然后继续执行主程

序。当外部设备准备好输入数据时，向计算机发出中断请求，计算机监测到中断信号后，暂停正在执行的主程序，转而去执行中断服务子程序。当中断服务子程序执行完后，自动执行被中断的主程序中继续执行下去。这种控制方式提高了计算机的利用率，同时它还允许多个外部设备同时并行工作。

3) 直接存储器存取 (DMA) 方式

DMA方式是一种外设与存储器之间的一种高速数据传输手段。在传输过程中，由DMA控制器控制总线，数据直接在外设与存储器之间进行传输，因而极大地提高了数据的采集速率，适用于需要高速数据采集的场合。

3.2 数据采集系统软件设计

3.2.1 LabVIEW 中的运行控制技术

LabVIEW是一个功能强大的软件开发平台，它的各种独特特性为用户开发LabVIEW应用程序提供可方便，强大的运行控制技术就是其中之一。用户利用运行控制技术可以轻松的实现对LabVIEW VIs的运行控制，这主要包括VI Server技术、同步控制技术、事件驱动技术等。

(1) VI Server技术

LabVIEW VIs的程控是通过VI Server技术实现的。VI Server技术是LabVIEW独有的一项技术，利用VI Server技术可以动态地将VIs加载到内存中，并可以动态的更改VI的属性和LabVIEW的属性，而且还可以通过网络动态调用其它计算机上的虚拟仪器程序。图3-3、图3-4给出了利用VI Server技术控制VI的运行的实例。

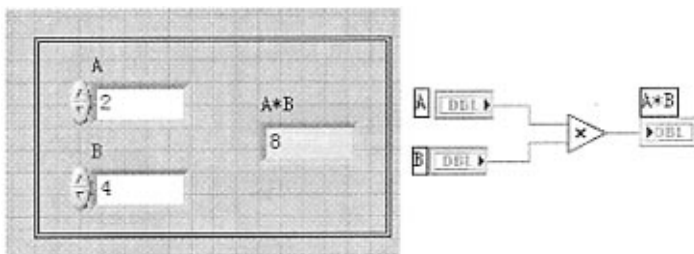


图 3-3 MUL.vi 的前面板和框图程序

图3-3是一个简单的求两数之积的VI程序，通过定义其连接器 (Connector)将其定义为一个子VI，这样该框图程序就可以正确的被调用。一般我们选择Functions->All Functions->Select a VI...，在框图上添加VI时，VI的调用是静态的调

用，即编译生成可执行程序后，VI的代码会被静态的链接到可执行程序中，这样在一些不需要全部VI被调用或者某个VI较大希望在需要时再被调用的场合下，静态调用就会造成资源的浪费，这时可以考虑动态调用。

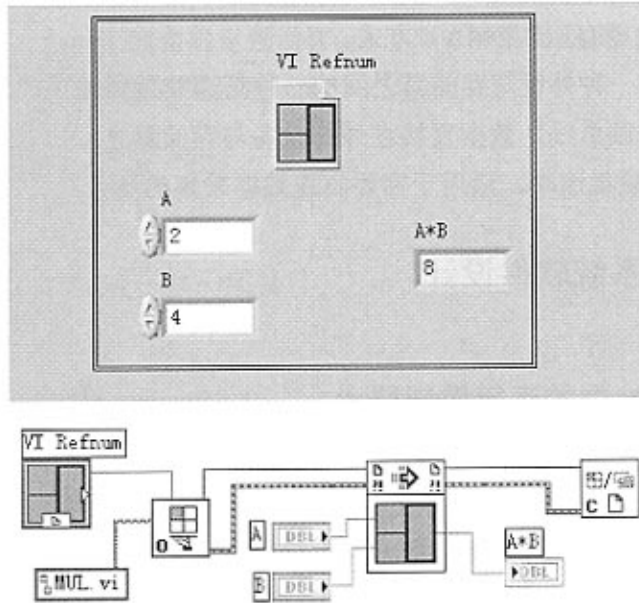


图 3-4 Main VII 的前面板和框图程序

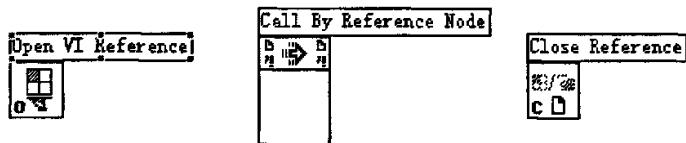


图 3-5 框图程序节点图

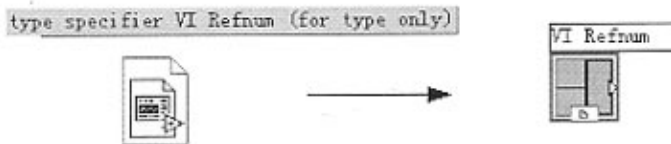


图 3-6 type specifier VI Refnum 节点指定类型前后

图3-4是一个简单的动态调用MUL.vi框图程序的实例。该框图程序主要是利用了Open VI Reference节点、Call by Reference节点和Close Reference节点，如图3-5所示。首先要确定接入Open VI Reference节点的两个参数VI Path、type specifier VI

Refnum。本例中由于MUL.vi已经加载到内存所以在VI Path可以直接用其文件名表示的相对路径作为程序路径输入参数；type specifier VI Refnum参数用于指定被调用VI的输入输出端口，在Open VI Reference节点的type specifier VI Refnum端子上单击鼠标右键选择Create->Constant，建立一个VI Refnum常量如图3-6左所示，在此常量上面单击鼠标右键选择Select VI Server Class->Browse...，打开Choose the VI to Open...对话框，在其中选择MUL.vi，VI Reference常量图标将变为图3-6右所示，至此type specifier VI Refnum参数的严格类型已经被指定，其输出参数vi reference变为了严格类型的vi reference。然后按照数据流的方向依次连接起来，并为Call by Reference节点的输入输出端口连上控件A、B、A*B，如图3-4所示。当点击程序开始按钮运行程序，Main VII程序将自动调用MUL.vi，如果MUL.vi没有打开，系统将自动将其打开运行，程序结束后将利用Close Reference节点将其关闭，释放程序资源。

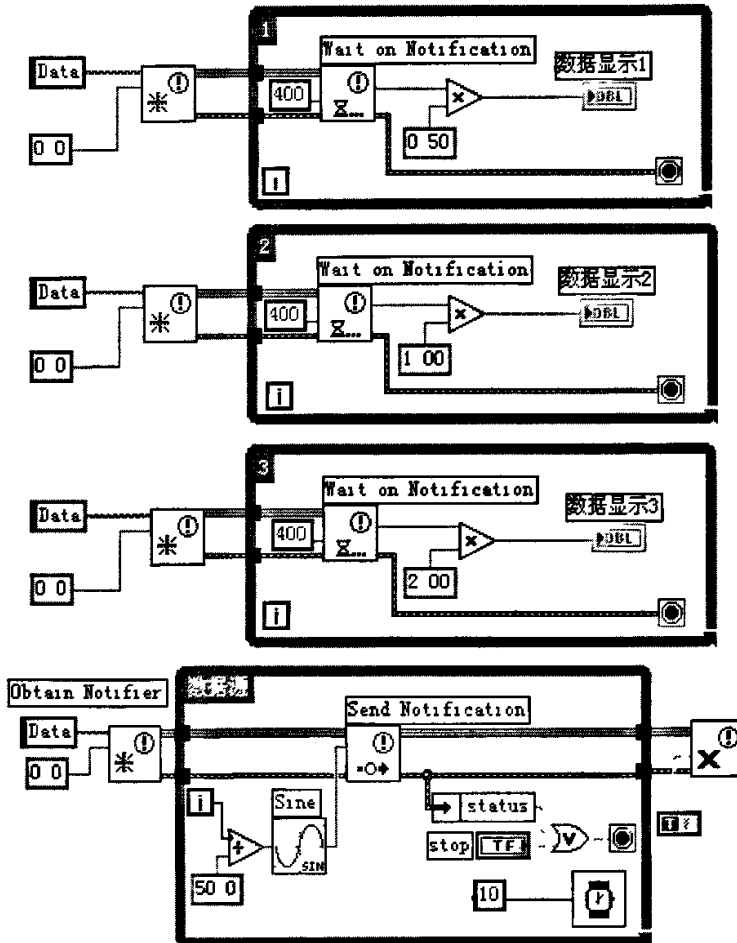


图 3-7 Notification 实例框图程序

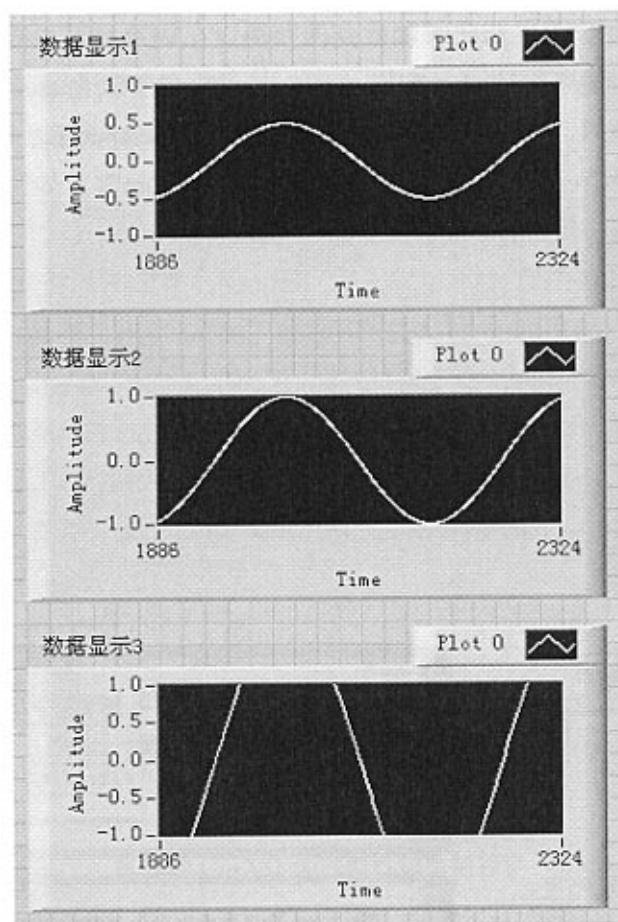


图 3-8 Notification 实例框图程序前面板

(2) Notification技术

Notification的意思是通知, Notification技术经常用于两个相互独立的框图程序之间或同一台计算机中两个不同VI之间的同步通讯。Notifier(通知程序)是基于Notification技术的通信工具, 可以看作数据之间的邮箱, 一部分框图程序向邮箱中发送数据, 另一部分框图程序从这个邮箱中收取数据^[22]。Notification技术创建同步通讯框图程序主要是利用Function ->Advanced ->Synchronization ->Notification子模板中的Obtain Notifier、Send Notifier、Cancel Notification、Wait on Notification等节点, 如图3-7、图3-8所示:

在图3-7的框图程序中, 最下面一个框图的作用是由Obtain Notifier节点创建一个Notifier, 并通过While循环产生一个正弦波, 最后通过Send Notification节点, 将正弦信号发送到1、2、3 三个框图程序中, 为便于观察图中设置了延时节点。1、2、3 三个框图程序中, 利用Wait on Notification节点等待并读出Notifier中的数据, 然后对数据进行相应的处理后显示在程序前面板上, 如图3-8所示, 由于三个框图

程序对正弦信号幅度进行了不同的调整，因此可以在图形显示控件中看到了三条不同的曲线。

由以上可以看出，采用Notification技术设计的框图程序，框图等待并读出数据后，就会处于等待中，直到新的数据从Notifier中发送过来。这样避免了数据的重复处理、显示，同时也减少了计算机资源的浪费，它可以很方便的实现同一个VI中不同框图程序之间以及不同VIs之间的同步传送数据。

(3) Queue技术

Queue的意思是队列，Queue结构是一种先进的先进先出（FIFO）的结构。利用Queue技术，可以将一个有序的消息（或数据）从一个应用程序中传递到另一个与之相独立的并行运行的应用程序中。Queue技术的使用场合主要有：一个应用程序等待，直到另一个应用程序为其准备好一些可用数据时为止；或者是需要一个应用程序等待，直到另一个应用程序处理完毕一个应用程序所提供的数据为止^[22]。

采用Queue技术对采用传统的单线程技术设计的数据采集框图程序其进行改进，如图3-9所示，本系统也是采用了此种结构进行实时数据采集框图设计。

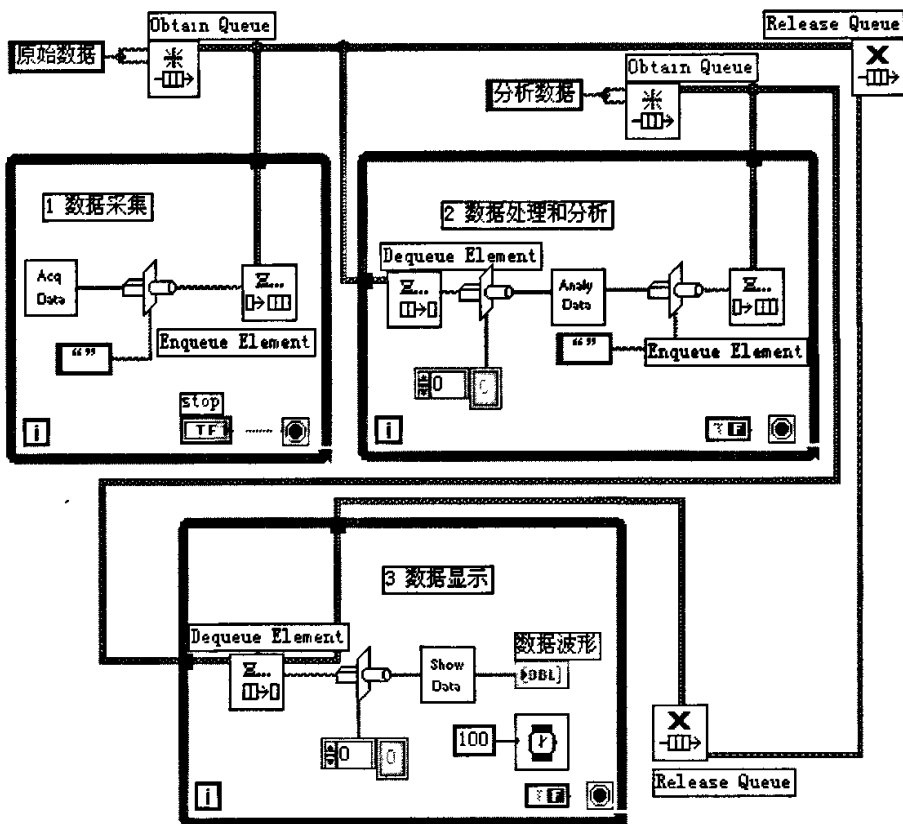


图 3-9 采用 Queue 技术改进后的数据采集框图程序

该框图程序主要由Function->Advanced->Synchronization->Queue子模板中的Obtain Queue、Enqueue Element、Dequeue Element、Release Queue以及其他VI程序等构成。由数据采集到数据处理和分析部分的框图程序实现过程如下：首先在数据采集部分，由Obtain Queue节点创建一个名为原始数据的队列，然后利用Enqueue Element节点将采集到的数据入队。在数据处理和分析部分利用Dequeue Element节点等待直到队列有可用信息，并将其读出后删除（即，出对），然后对读出数据进行数据处理和分析。由数据处理和分析部分到数据显示部分框图程序的实现与由数据采集到数据处理和分析部分的框图程序实现过程基本一致，框图程序将最终所获得数据在图形控件中显示，框图程序最后是利用Release Queue节点将所使用的计算机资源释放。

由上图可以看出，Queue技术将采集到的数据，送到一个Queue缓冲区，在数据被程序读出并删除之前，数据将一直保存在缓冲区中，所以程序在运行时不会发生数据丢失和重复的现象，这样Queue结构就对运行过快或者过慢的程序起到了缓冲的补偿的作用。但如果两个程序同时等待一个Queue中的数据时，只有动作快的程序才能获得预期的数据。

3.2.2 数据采集程序的设计

数据采集是LabVIEW的核心技术之一，也是LabVIEW应用最广的领域之一。对于数据采集来说，高速数据采样的实时控制和数据存储是两个比较复杂的问题，需要在数据采集硬件和软件两个方面进行专门的设计。LabVIEW提供的系统资源，能够方便的与NI公司的数据采集硬件模块相配合，从而方便地获得各种物理量。本节主要从连续采集技术、循环缓冲技术、高速数据的采集和存储等方面进行说明。

(1) 影响数据采集的因素

一般来说，在Windows系统下数据采集速度受三个因素的制约，一是硬件速度，具体讲就是A/D转换速度、系统总线速度和CPU速度；二是支撑软件的速度，如操作系统、采集卡的驱动程序和I/O操作函数等；三是采集程序的运行速度。应该说，硬件速度是关键，它是数据采集系统的瓶颈速度，支撑软件速度和系统的硬件是相关的，这些硬件一般由硬件制造商提供，开发者只选择合适的硬件与软件，采集程序的运行速度是数据采集系统设计所关注的重点^[23]。为了提高程序速度，应从两个方面着手，第一，合理设计采样程序的结构并采用Windows的多线程技术，让处理数据采集的最小循环具有较高的优先级，并降低其它任务的优先级别。如，可以先全速采集，关闭所有其它线程，后进行数据回放。二，合理设计数据采集缓冲区的结构与实现方法。

(2) 连续采集的循环缓冲技术^[18]

LabVIEW有两种缓冲采集技术：简单缓冲采集和循环缓冲采集。简单缓冲技术LabVIEW根据程序中设置，自动分配一块缓冲区，用于存放数据。但这些数据只有在数据采集结束才能够用于进行数据的分析、存储、显示等。本系统主要使用了循环缓冲技术。循环缓冲技术用于连续的单通道或多通道的数据采集系统中，它能够保证采集系统在无间断采集的同时，能够从缓冲区中正确的读取数据。循环缓冲技术将采集到的数据依次存到所设置的缓冲区中，当缓冲区满时，数据将从缓冲区的开始处重新存放新的数据。在程序中需要根据系统的不同，经过测试选择合适的读取速度，这样才能保证在有限的缓冲区中实现数据的连续传送。使用循环缓冲区时，采集设备在后台连续采集数据，而LabVIEW在两次读取缓冲区中数据的时间间隔里对数据进行处理。循环缓冲区存取数据的过程如图3-10所示：

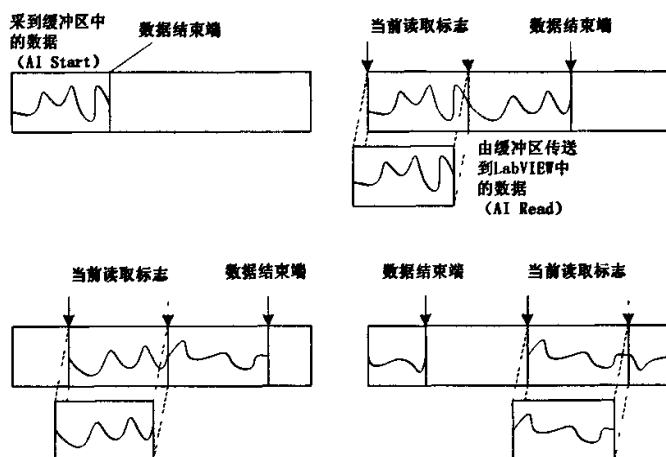


图 3-10 循环缓冲区存取数据示意图

在使用循环缓冲区进行数据采集的情况下，只要启动了DAQ的设备的数据采集功能，它就会不停地对信号进行采集，并将采集到的数据传至FIFO缓存中，这种方式可以实现对信号的长时间连续采集，而不会使信号丢失。但必须保证缓存大小至少是扫描频率的两倍，最好是十倍，用户应当根据DAQ设备以及计算机的性能来适当确定最佳的缓存大小。利用缓存技术不但可以实现连续数据的采集，还能够获得较高的程序性能，因此，这是一种非常好的解决方案^{[22] [43]}。

(3) 基于循环缓冲技术的数据采集程序的设计

由于循环缓冲区数据从缓冲区开始处开始存放数据，当到达缓冲区末端后，数据将从缓冲区的开始处重新开始存放数据，因此在基于循环缓冲技术的数据采集程序的设计中，如前所述，必须合理设置缓冲区的大小与扫描频率和每次读取

的样本数之间的关系。数据采集框图程序如图3-11所示。该程序主要利用了Function -> All Function -> NI Measurement -> Data Acquisition -> Analog子模板上面的AI Config、AI Start、AI Read和AI Clear节点。程序首先使用AI Config节点对DAQ设备进行配置，包括：设备号、通道号、缓冲区大小等；其次，利用AI Start节点设置扫描频率并启动DAQ设备的数据采集功能；然后，利用AI Read节点和While循环结构将采集到的数据不断地从设备缓冲区中取出；最后，利用AI Clear节点停止DAQ设备，并删除相关设置，释放相关的资源。

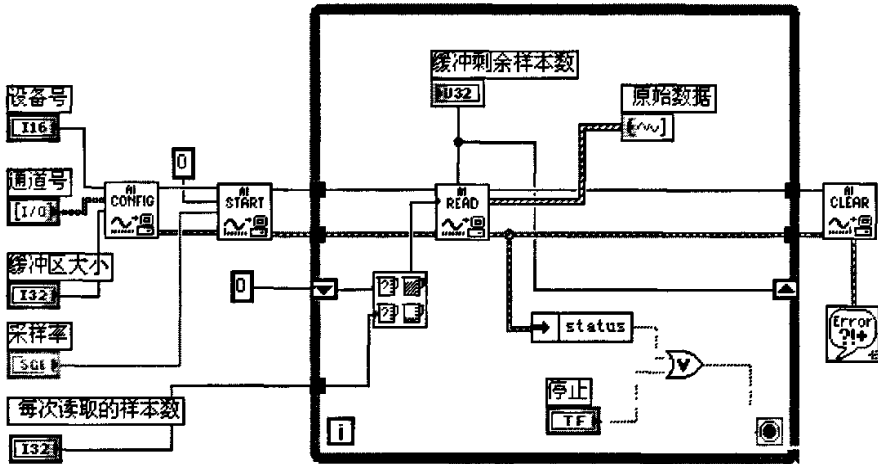


图 3-11 连续采集框图程序

在DAQ设备启动后，DAQ设备就会不断的采集数据并传送到缓冲区中，由前述缓冲区的存取过程可知，在采集过程中必须合理的设置缓冲区的大小，一般缓冲区的大小至少是扫描频率的两倍，而每次读取的样本数必须设置为小于缓冲区大小的值。本程序中还可以通过名为缓冲剩余样本数的控件观察到缓冲区中的剩余样本数，采用移位寄存器将每次读取数据后缓冲区中剩余样本数连接到Max&Min节点的一个输入端子与所设置的每次读取的样本数进行比较，将其中数值大的作为下一次读取样本的个数，这样就避免缓冲区中数据的溢出。

使用循环缓冲技术可以避免连续采集数据过程中数据的丢失以及缓冲区的溢出，同时可以充分利用系统的资源，在两次读取数据的时间间隔内进行诸如，数据处理和分析等类型的操作。

(4) 基于循环缓冲技术的数据采集和存储程序

数据采集程序是数据采集系统的一个重要部分，但数据的存储工作也是不容忽视，特别是在中高速采集时，必须保证能够将采集到的数据完整保存在磁盘上。下面介绍一下基于循环缓冲技术的数据采集和存储程序的程序设计，如图3-12所

示:

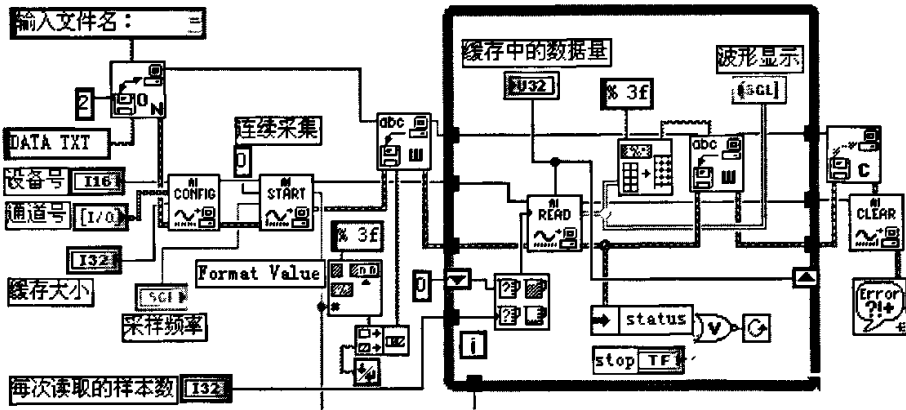


图 3-12 数据采集和存储框图程序

图3-12中包括了两条程序流程线，一条是基于循环缓冲技术的数据采集程序流程线，另一条是数据存储流程线。基于循环缓冲技术的数据采集程序如前所述。数据存储流程主要由Open/Create/Replace File、Write file+ (string) .vi、Close file+.vi等节点组成。程序运行时，首先提示用户输入存储文件名，接着由Format Value和Concatenate Strings节点将采样频率以字符串形式存储到文件的首行，进入While Loop结构将采集到的数据由Array To Spreadsheet String节点将数组转换成字符串表格（用tab键值分隔列元素，用EOL，即行结束符，分隔行元素）并由Write file+ (string) .vi节点将其写入指定的文件中，流程最后将文件关闭。

数据存储和数据采集一样都是数据采集系统中的重要环节。选取合适的数据采集方案，并根据系统的配置合理设置数据采集过程中的参数，能够避免数据采集过程中的重复和缓存中数据的溢出。数据存储程序能够保证采集数据的完整性，便于事后对数据的分析等。本系统中采用循环缓冲技术进行数据采集并对数据进行连续存储。

3.2.3 数据处理程序的设计

数字信号处理是数据采集系统或者测试仪器系统设计和分析的一个重要组成部分，先进、灵活、强大的数字信号分析功能是LabVIEW编程环境的主要特点之一。作为一个开放型的编程环境，LabVIEW能够解决复杂的数字信号分析和处理问题^[22]。

(1) 数字滤波器的设计

若滤波器的输入、输出都是离散时间信号，那么，该滤波器的冲激响应也必然是离散的，即单位抽样响应 $h(n)$ 。我们称这样的滤波器为数字滤波器（Digital Filter, DF）^[24]。数字滤波器设计是信号处理模块的重要内容。数字滤波器在某些方面比模拟滤波器（Analog Filter, AF）具有很明显的优点，已经可以取代模拟滤波器。数字滤波器的实现也要比模拟滤波器容易的多，而且易于获得较理想的滤波性能。随着计算机技术、信息技术以及软件技术的发展，数字滤波器在通信、噪声消除、数据压缩、频率合成、谐波消除、过载检测、相位检测和相关检测等领域都得到了广泛的应用。数字滤波器可以由软件实现、稳定性高、具有很高的性价比。

对于数字滤波器从实现方法上来说，可分为：有限冲激响应滤波器（finite impulse response, FIR）和无限冲激响应滤波器（infinite impulse response, IIR）两种。设 $h(n)$, $n = 0, 1, 2, \dots$ 是滤波器的冲激响应。一个线性时不变因果（所谓因果性是指系统的输出仅取决于过去和现在的输入）滤波器若对所有 $n \geq N$ (N 为有限正整数)，有 $h(n) = 0$ ，则称其为有限冲激响应滤波器（finite impulse response, FIR），否则称之为无限冲激响应滤波器（infinite impulse response, IIR）。

滤波器应该是稳定的，不稳定的滤波器是无法正常工作的。设滤波器的冲激响应为 $h(n)$, $n = 0, 1, 2, \dots$ ，当且仅当 $\sum_{n=0}^{\infty} |h(n)| < \infty$ 时，此滤波器才是稳定的。数字滤

波器的完整指标应该包括幅度特性、相位特性和瞬态特性。但在实际设计时，由于要求数字滤波器具有稳定性、因果性，而且要简单，因此通常只规定它的幅度特性^[22]。

FIR滤波器总是稳定的且易实现线性相位，并且如果其不是因果的，那么引入有限的延迟，它总是可以成为因果的，因此，FIR滤波器的设计要相对容易一些。FIR滤波器的设计有几种不同方法，最简单的是：定义好需要的幅度响应，然后求其FFT逆变换，将得到的时域信号加窗，其优点是简单，缺点是效率不高，定义困难；另一种方法是使用Parks-McClellan算法，它将加权后的纹波均匀分配通带和阻带中，频率响应拥有陡峭的过渡带，其缺点是方法复杂，设计周期长。

IIR滤波器的设计源于传统的模拟滤波器设计，可以通过对低通滤波器进行模拟频率变换得到IIR滤波器。IIR滤波器具有较平坦的幅频特性，在实际的使用中较多。IIR滤波器的设计最常用的方法是：间接设计法，即借助于模拟滤波器的设计方法。模拟滤波器的设计已经有了一套相当成熟的方法，不但有完整的公式还有较为完整的图表可以查询，这些已有的资源给IIR滤波器的设计带来了极大的方便。另外还有就是直接设计法，它主要是利用计算机进行辅助设计。常用的IIR滤波器主要有巴特沃思（Butterworth）滤波器、切比雪夫（Chebyshev）滤波器、切比雪夫II型（Chebyshev II）滤波器、椭圆（Elliptic）滤波器和贝塞尔（Bessel）滤波器

等。

(2) 数字滤波器模块的设计

LabVIEW中分析模块下的滤波器模块提供了丰富的FIR和IIR设计模块，利用这些模块可以快速的构建系统滤波器模块前面板，如图3-13所示。通过前面板可以选择滤波器的类型、滤波的方式、FIR所加窗的类型以及IIR滤波器的类型，还可以对截至频率、纹波、衰减大小以及滤波器的阶数，进行相应的设置。

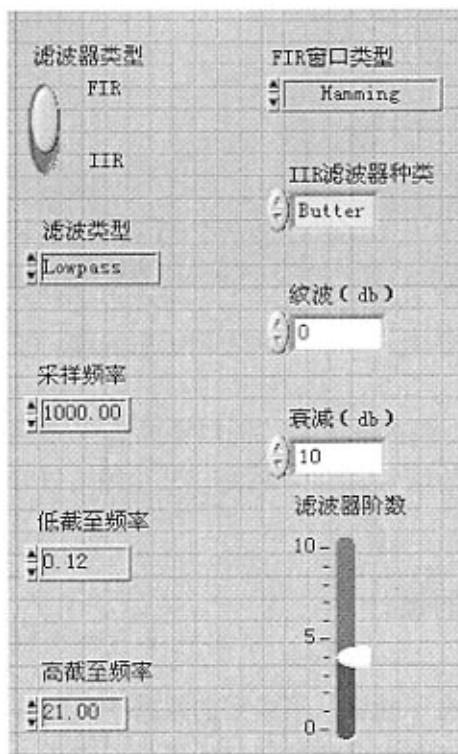


图 3-13 数字滤波器模块程序前面板

滤波器模块中可以通过Bool型变量选择滤波器的类型为FIR或者IIR，两者之间的不同之处已在上面阐述；滤波的类型包括了低通滤波、高通滤波、带通滤波、带阻滤波四种模式，需要根据信号的实际情况选择合适的滤波方式；FIR所加窗的类型有：Hamming窗、Hanning窗、Flat Top窗、Kaiser-Bessel窗、Blackman-harris窗、Exact Blackman窗、Blackman窗、Triangular窗；IIR滤波器的种类包括：Butterworth滤波器、Bessel滤波器、Elliptic滤波器、Inverse Chebyshev滤波器、Chebyshev滤波器，它们各有其特点，Butterworth滤波器拥有最平滑的频率响应，在截至频率以外，频率响应单调下降；Chebyshev滤波器在通带中是等幅的纹波，阻带中单调衰减，过度迅速；Inverse Chebyshev滤波器拥有最平稳的通带，阻带中等纹波响应，通带中单调衰减；Elliptic滤波器在相同的阶次情况下，其过度带是

最为陡峭的；Bessel滤波器拥有最为平稳的幅度和相位响应，在通带中其相位响应近似于线性。滤波器在选择时，需要与相应的应用相结合进行考虑，如是否要求线性的相频响应，是否允许波纹的存在，是否需要窄的过渡带等，在实际的应用中需要多次的试验才能确定最合适的滤波器。

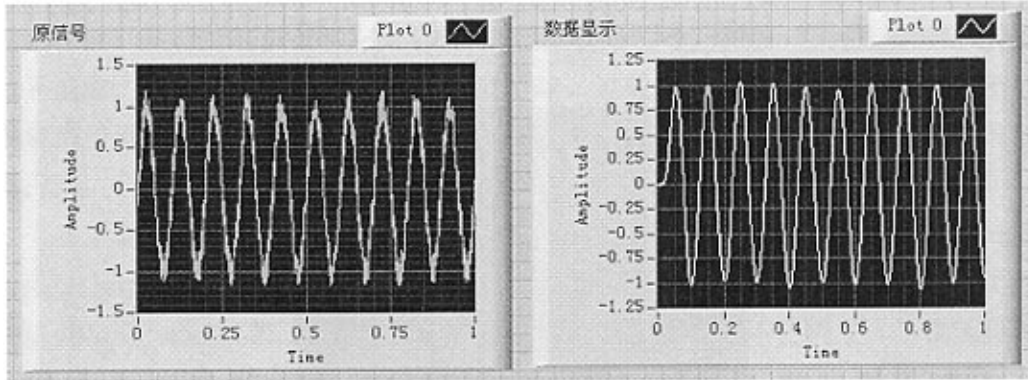


图 3-14 混有白噪声的正弦信号经低通滤波器前后数据显示

图3-14所示左边为一混有幅度为0.2的白噪声信号，且频率为10Hz的正弦信号，通过低通滤波后所获得的信号如图3-14右所示，由图可以看出信号中的白噪声被除去。

3.2.4 数据分析程序的设计

数据分析的重要性在于能够从采集到的数据中立即得到有用的信息。由于数据采集过程中存在噪声干扰以及测试环境的影响，因此，必须首先通过数据处理程序进行信息的筛选，然后通过信号的时域、频域进行分析，获得用户关心的信息量。本文主要通过LabVIEW信号处理模板提供的时域、频域、数学库模板上的各节点模块，实现信号的自相关分析、峰值检测、幅值谱、相位谱分析等。

(1) 信号的时域分析

信号的时域分析方法是根据信号的时间历程来记录波形分析信号的组成和特征量。表征物理现象或过程的任何信号和数据，都可以划分为确定性和随机性的两大类。确定性信号主要包括周期信号和非周期信号。周期信号又可分为正弦信号和复杂周期信号，最简单的周期信号是简谐波，主要参数有峰值、角频率、平均值、有效值等。对于复杂周期信号波形，主要求出组成波形的各个谐波分量的幅值、频率，这可通过频谱分析得到。对于随机性信号，其主要特征量有概率分布函数、概率分布密度以及均值、均方值和方差。在时域上分析信号，除了分析信号的幅值强弱外，还要分析信号的前后相关程度或相似程度，为此进行相关分

析^[25]。通过分析可以确定：(1) 信号波形的幅值参数；(2) 波形的各谐波分量的幅值和频率；(3) 真实波形的求得；(4) 信号前后的相关程度。LabVIEW中时域分析模块提供的功能有相关分析、卷积、逆卷积分析、微积分、尖峰捕获、门限检测、过渡分析等。在本系统在对信号在时域的分析方法有自相关函数，峰值检测、概率分布函数、概率密度等。

1) 自相关分析

在测试结果分析中，自相关分析是一个很重要的内容。自相关用来描述同一随机信号 $x(t)$ 在两个不同时间状态 $x(t)$ 、 $x(t+\tau)$ 之间的联系（相关程度），记为 $R_x(\tau)$ ^[22]。

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)x(t+\tau)dt = \rho_x(\tau)\sigma_x^2 + \mu_x^2 \quad \text{公式 (3-3)}$$

其中 $\rho_x(\tau)$ 为 $x(t)$ 、 $x(t+\tau)$ 的相关系数。

在实际的测量中，采集到的数据点个数 N 总是有限的，必须通过有限的 N 个点来估计信号的自相关函数，在LabVIEW中自相关函数的计算公式为

$$\hat{r}(m) = \sum_{k=0}^{N-1-|m|} x(k)x(k+m) \quad \text{公式 (3-4)}$$

注意：LabVIEW中所得自相关函数的结果必须除于信号的采样点数 N ，即实际计算公式应该为：

$$\hat{r}(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1-|m|} x(k)x(k+m) \quad \text{公式 (3-5)}$$

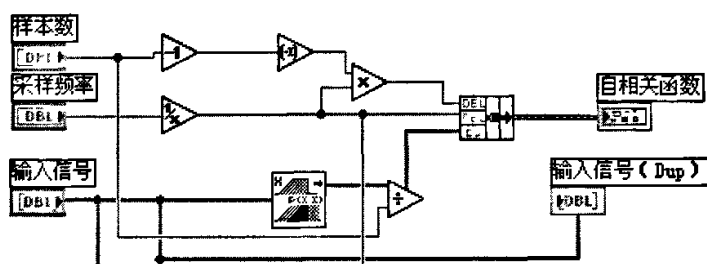


图 3-15 自相关函数框图程序

自相关函数的一个重要应用是检验信号中是否含有周期成分。如果信号中含有周期成分，则其自相关函数在 τ 很大时都不会衰减，并具有明显的周期性；在不含周期成分的随机信号中 τ 稍大时其自相关函数就趋于零。图3-15为系统自相关函数分析部分框图程序，图3-16给出了周期信号正弦信号添加同幅度白噪声后的自相

关函数由图可以看出，自相关函数在 τ 很大时都不衰减；图3-17非周期信号白噪声的自相关函数，由图形可知，在 τ 稍大时自相关函数就趋于零。

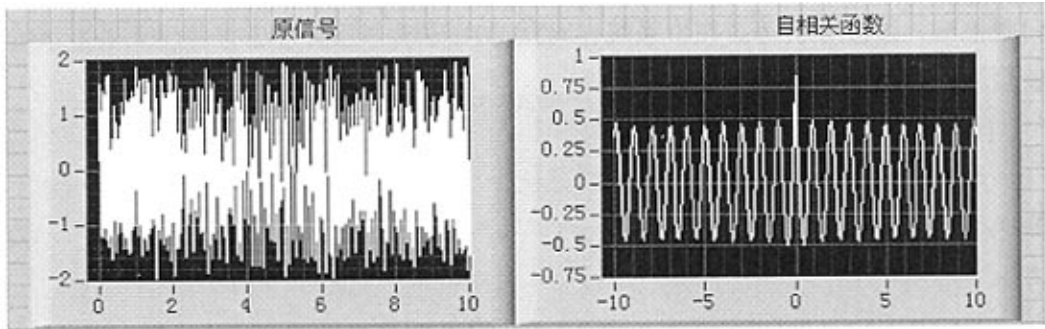


图 3-16 周期信号添加等幅值白噪声后的自相关函数

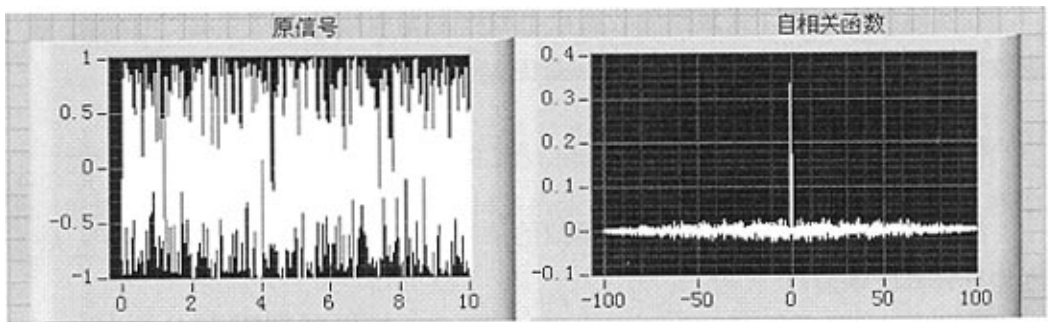


图 3-17 非周期信号白噪声的自相关函数

2) 最值检测

在系统需要获得机构末端的加速度、行程以及结构受力的最值及其所在时刻。本系统利用LabVIEW时域分析模块中的峰值检测节点模块，构建了信号峰值、最值分析模块框图程序，框图由两个Peak Detector节点模块构成，利用其求得波峰值、波峰的位置、波峰数以及信号的最大值及其所在时刻。信号的最大值的求取，首先求出峰值中的最大值，将其与信号起始与结束时刻的信号幅值进行比较，其中最大值为信号的最大值，并由信号的采样点数与采样频率求得最大值点所在时刻值。信号的最小值点的求法与最大值的求法基本一致，先求出波谷中数值最小的一个点，然后将其与信号起始和结束时刻的信号值进行比较，其中最小的一个即为信号的最小点，同样由信号的采样点数与采样频率求得最小值点所在时刻值。图3-18所示为滤波后的高斯噪声信号的最值检测程序前面板。

3) 信号的概率统计分析

随机信号又称非确定性信号，这类信号的幅值、相位的变化是不可预知的，

我们不能用一个确定的数学表达式来进行描述。但我们可以用统计的方法来描述其特性，随机信号的统计特性有均值、方差、概率分布和概率密度等。

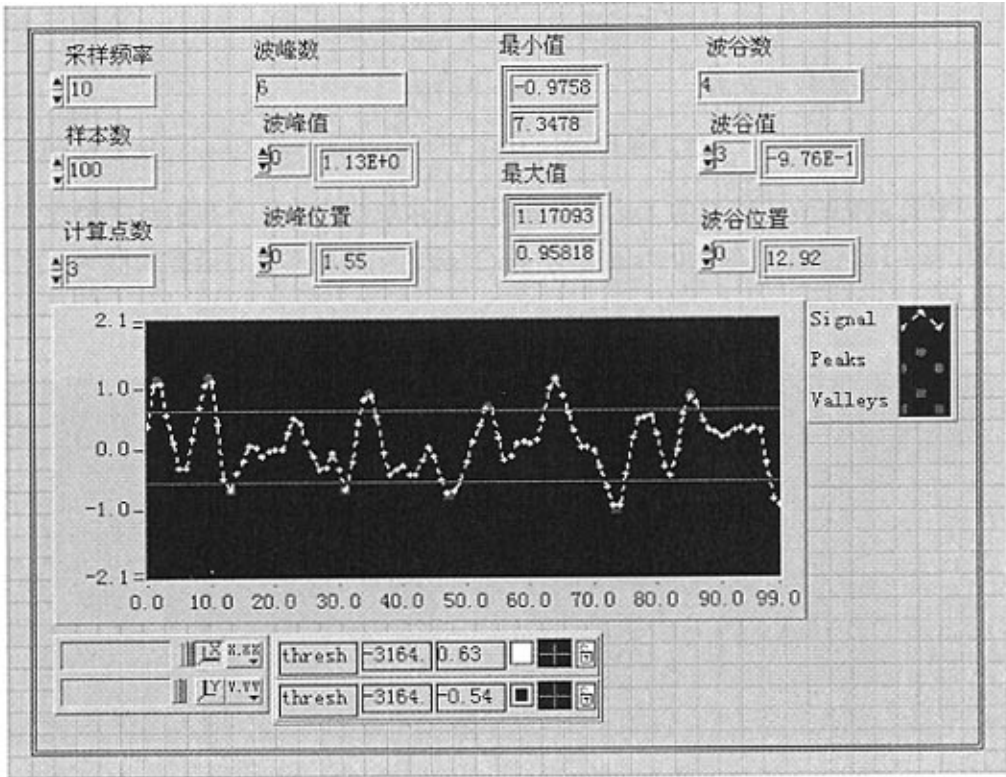


图 3-18 滤波后高斯噪声信号的最值检测结果

所谓均值就是随机信号 $X(t)$ 的所有样本函数在时刻 t 的函数值的平均，即

$$\mu_x(t) = E[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x,t)dx = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k(t) \quad \text{公式 (3-6)}$$

式中， $f(x,t)$ 是 $X(t)$ 的一维概率密度函数

均方值用来描述信号的能量或强度，其定义为

$$\varphi_x^2(t) = E[X^2(t)] \quad \text{公式 (3-7)}$$

方差用来描述信号的离散程度，其定义为

$$\sigma_x^2(t) = E\{[X(t) - \mu_x(t)]^2\} \quad \text{公式 (3-8)}$$

以上统计量都可以由LabVIEW中的Functions->All Functions -> Analyze -> Mathematics -> Probability and Statistics模板上的节点模块来实现。

另外概率密度函数和概率分布函数可以很好的描述随机信号的统计特征，若随即信号 $X(t)$ 在任意时刻 t ，其值在区间 $[x, x + \Delta x]$ 中的概率为^[34]

$$\text{Prob}[x \leq X(t) < x + \Delta x] \quad \text{公式 (3-9)}$$

则，概率密度定义为

$$f(x, t) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\text{Prob}[x \leq X(t) < x + \Delta x]}{\Delta x} \quad \text{公式 (3-10)}$$

概率分布函数定义为

$$F(x, t) = \text{Prob}[X(t) < x] = \int_{-\infty}^x f(x, t) dx \quad \text{公式 (3-11)}$$

利用LabVIEW中的数学工具库可以构造出求取信号概率分布和概率密度分布的VI，图3-19是自定义信号 $y = \sin(w*t) * \sin(2*pi(1)*t)$ 的概率分布函数和概率密度分布函数。

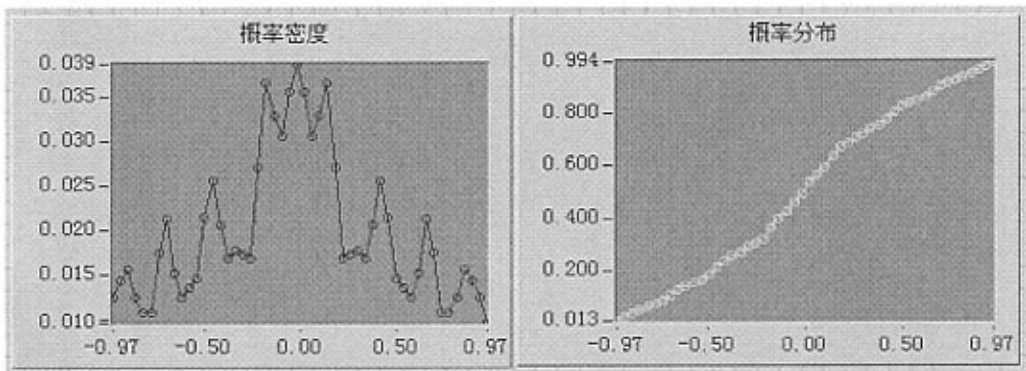


图 3-19 自定义信号的概率分布和概率密度分布函数

(2) 信号的频域分析

信号的频域分析是根据信号的频域描述来估计和分析信号的组成和特征量。通过信号的频域分析，可以确定信号中含有的频率成分、频率分布范围、各个频率成分的幅值和能量，还可以通过系统的输入输出频谱，求得系统的传递函数以及通过振动噪声信号的频谱分析，寻找系统的振动噪声源并进行故障诊断。无论频域分析作何种应用，首先要对时域信号经过适当的变换和处理，求得信号的频谱。频谱可以表示为不同形式，对于周期信号，可展开为傅立叶级数，求出信号中不同频率成分的幅值和相位，构成离散的幅值谱；对于非周期信号，可根据其傅立叶变换，求得随频率连续分布的幅值谱、相位谱以及功率谱。

在LabVIEW高级分析库中的频域分析模板提供了丰富的信号频域分析函数，包括傅里叶变换、Hilbert变换、小波变换、Hartley变换、功率谱分析、联合时频分析、谐波分析、系统识别等。该系统的频域分析部分，主要对信号进行了快速傅里叶变换、幅值谱、相位谱、自功率谱分析。

1) 快速傅里叶变换

傅里叶变换是数字信号处理中最重要的变换之一，它将时域信号与频域信号联系在了一起。傅里叶分析方法相当于光谱分析中的三棱镜，信号 $x(t)$ 相当于一束白光，将信号 $x(t)$ 通过傅里叶分析后可以得到信号的频谱。这使得一些在时域中难以分析的信号，可以在其频域中一目了然。设连续信号 $x(t)$ 满足

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)| dt < \infty \quad \text{公式 (3-12)}$$

则其傅里叶变换存在，定义为

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad \text{公式 (3-13)}$$

并有

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad \text{公式 (3-14)}$$

$x(t)$ 、 $X(\omega)$ 是一个傅里叶变换对，如果 $X(\omega)$ 是确定的，则称为是 $x(t)$ 的频谱。

它的幅度 $|X(\omega)| = \{[\text{Re } X(\omega)]^2 + [\text{Im } X(\omega)]^2\}^{\frac{1}{2}}$ 称为幅度谱，它的相位 $\angle X(\omega) = \tan^{-1}[\text{Im } X(\omega) / \text{Re } X(\omega)]$ 称为相位谱^[22]。

由于计算机在信号处理中的应用，而且计算机中只能处理离散且有限长度的数据，因此出现了离散傅里叶变换。实际信号中的信号可能是有限长，也可能是无限长。若对 $x(t)$ 的采样得到的离散序列 $x(n)$ 是有限长的，令其长度为 N ；若 $x(n)$ 是无限长的，可利用矩形窗将其截取 N 点，并视其为周期序列 $\tilde{x}(n)$ 的一个周期，即 $\tilde{x}(n)$ 是对 $x(n)$ 作周期延拓得到的。离散傅里叶变换的定义为

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{公式 (3-15)}$$

反变换为

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)e^{j\frac{2\pi}{N}nk} \quad \text{公式 (3-16)}$$

幅值谱为

$$|X(k)| = \{[\text{Re } X(k)]^2 + [\text{Im } X(k)]^2\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{公式 (3-17)}$$

相位谱为

$$\angle X(k) = \tan^{-1}[\text{Im } X(k) / \text{Re } X(k)] \quad \text{公式 (3-18)}$$

对于离散傅里叶变换，计算 N 点 $X(k)$ 总共需要做 $4N^2$ 实数的乘法和 $4N(N-0.5)$ 次实数的加法，如当 $N=1024$ 时，需要 1048576 次复数运算。其实离散傅里叶变换运算中包含了大量的重复运算，利用这一性质 J.W.Cooly 和 J.W.Turkey

于1965年提出了快速傅里叶算法,使用这一算法进行运算当 $N=1024$ 时,仅需要5120次运算,为原来算法的4.88%,因此这一算法被公认为数字信号处理发展史上的一个里程碑。自Cooley-Turkey的算法提出之后,新的算法不断涌现。这些算法可以归纳为两个方向:一是对 N 是2的整数次幂的算法,如基2算法、基4算法、实因子算法、分裂基算法等;另一种是 N 不等于2的整数次幂的算法,如Winograd算法、素因子算法^[22]。

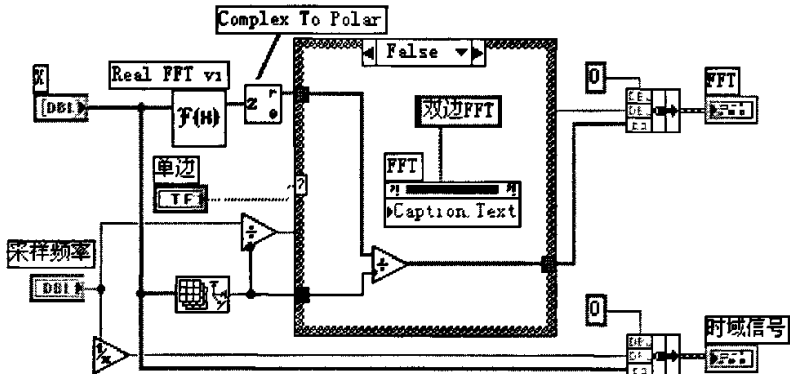


图 3-20 傅里叶变换框图程序

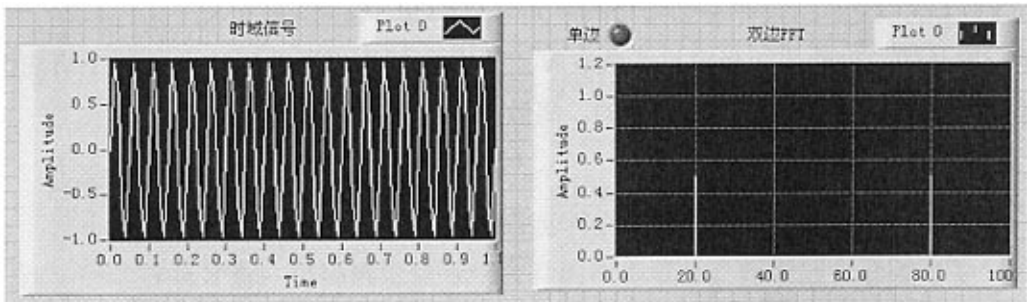


图 3-21 正弦信号及其频谱

图3-20利用LabVIEW频域模块中的Real FFT.vi节点模块以及Complex To Polar节点模块等构成了用于信号傅里叶变换的框图程序。对于Real FFT.vi节点如果输入数组长度为2的整数次幂,则调用FFT算法,否则将调用高效的实数DFT算法。通过Case Structure结构可以将信号频谱在单边和双边两种模式下进行切换,图3-21给出了频率为20Hz的正弦信号在双边模式下的频谱图。

2) 信号的幅值谱、相位谱分析

LabVIEW的Functions->All Functions->Analyze->Signal Processing->Frequency Domain模板上提供了信号幅值谱、相位谱分析的节点Amplitude and

Phase Spectrum.vi, 利用其与 Scaled Time Domain Window.vi、Spectrum Unit Conversion.vi 等相结合构成了如图3-22所示的信号幅值谱、相位谱分析框图, Scaled Time Domain Window.vi节点是为了对时域信号进行加窗, Spectrum Unit Conversion.vi节点能够将频谱在不同单位之间进行自由的转换, 通过参数设置的调整可以实现加窗、线性与对数方式显示以及输出信号单位的选择等, 图3-23为频率为20Hz的正弦信号加Hamming窗并以对数方式显示的信号幅值谱、相位谱。

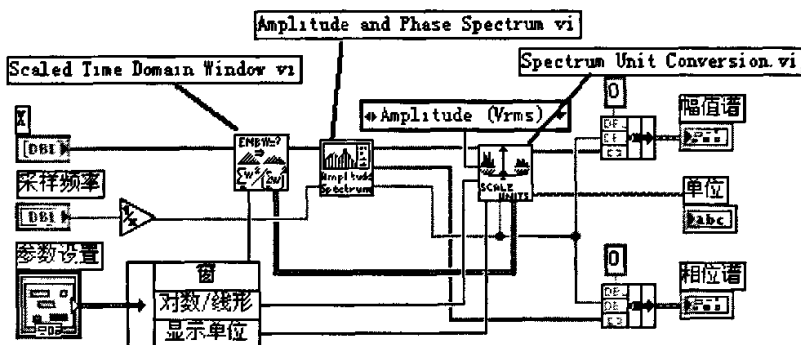


图 3-22 幅值谱、相位谱分析框图

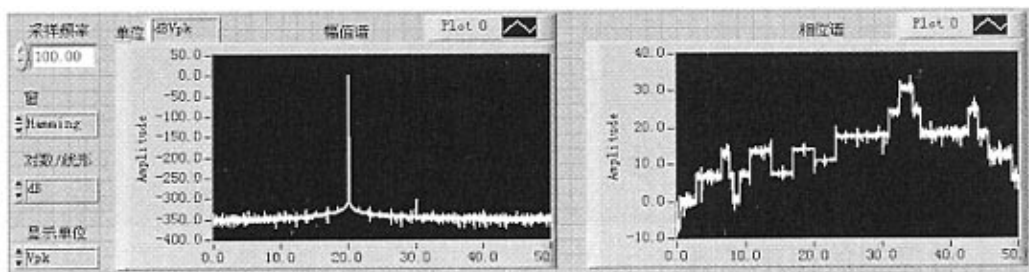


图 3-23 正弦信号的幅值谱、相位谱

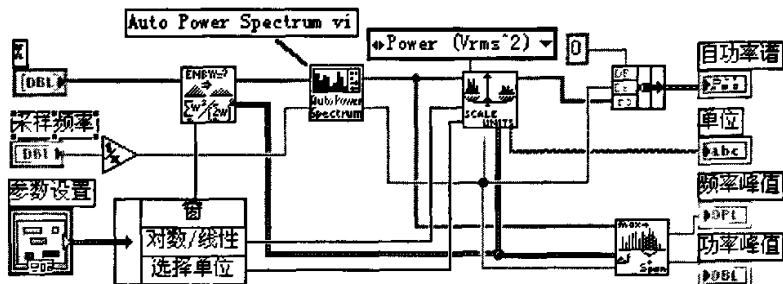


图 3-24 自功率谱分析框图

3) 自功率谱分析

功率谱分析是研究随机过程的一个重要手段。在LabVIEW的Functions->All Functions -> Analyze -> Signal Processing -> Frequency Domain模板上提供了节点Auto Power Spectrum.vi用以计算信号的字功率谱, 利用其与Scaled Time Domain Window.vi、Spectrum Unit Conversion.vi 等相配合构成了如图3-24所示的信号自功率谱分析框图程序, 通过参数的调整同样可以实现功率谱分析的加窗、线形与对数方式显示以及输出信号单位的选择等, 图3-25给出了频率为20Hz的正弦信号以对数方式显示的自功率谱图。

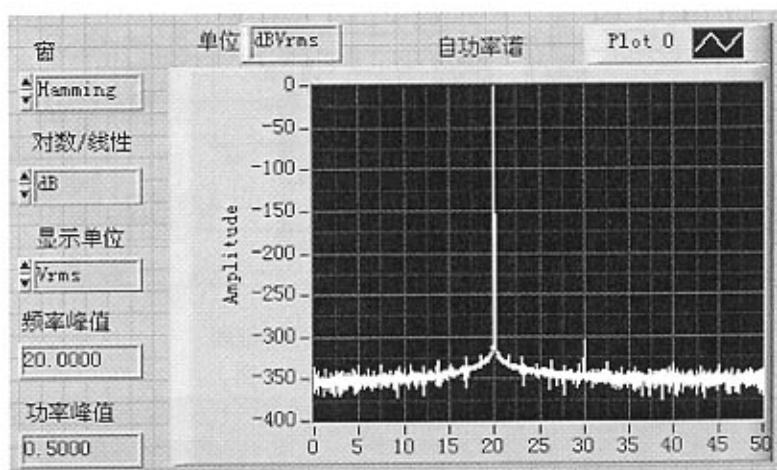


图 3-25 正弦信号的自功率谱图

3.2.5 数据回放程序设计

使用缓冲技术对中高速信号进行连续数据采集时, 由于扫描速率高, 很难做到数据的实时显示和分析, 特别是多通道数据采集更是如此, 因此必须保证数据能够完整的保存到磁盘中, 以待事后进行数据的回放和分析, 数据回放系统的前面板如图3-26所示。

数据回放程序包括事后数据的读取、事后数据分析处理和数据显示。数据读取程序首先选择要读取的数据文件(由于实验持续时间的一般不长, 本文是采用文本文件格式存储数据), 然后将文件中的数据在图形控件中显示出来, 并将其存储于数组中输出, 以待后续数据分析和处理。在数据读取程序中, 用户选择好数据文件后, 可以选择自动读取方式或者手动读取方式, 在自动读取方式下, 程序首先将数据的采样频率等附属信息读取并显示出来, 然后将数据文件中所有数据按照用户设定的读取频率连续读出并显示和存储于数组中。在手动方式下, 读

取数据附属信息后，用户需要在上一块与下一块之间进行选择，选择后程序按照用户设定的读取频率读取数据，并将其显示和存储，用户需要再次按下上一块按钮或下一块的按钮程序才能继续读取指定的数据数，此时用户可以对读取的数据块进行数据分析和处理；数据分析处理程序的设计与前述数据分析处理程序相同。当点击时域分析或者频域分析选项卡时，可以看到数据的时域或频域分析结果。

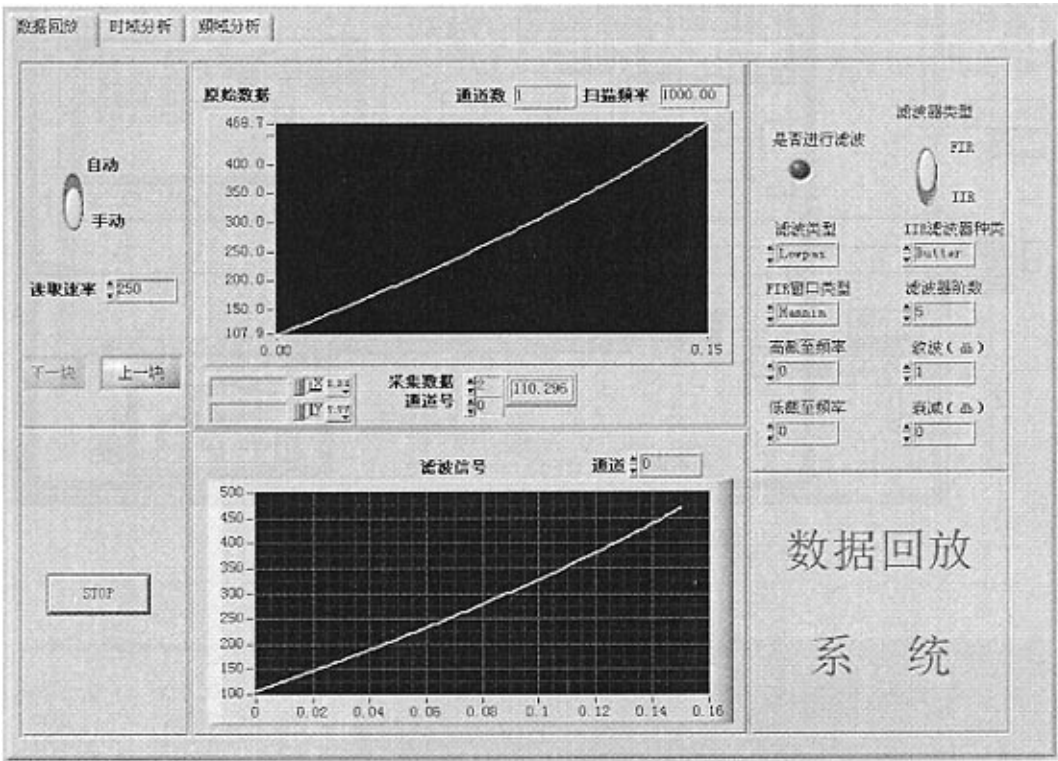


图 3-26 数据回放系统前面板

图3-27所示为数据读取程序的程序框图，图中Event Structure结构响应Bool型变量“上一块”和“下一块”，当点击一下响应的一个控件，程序就会将响应指定数量的数据显示在图形控件以及数组中，以使用户的查看和后续数据处理。在数据文件中第一行代表数据采集文件的附属属性，比如：采样频率、开始时间等，（在本测试文件中，第一行只设置了数据的采样频率）数据文件中的其余数据每一列代表一个采集通道所采集的数据。本测试程序中省去了读取数据文件中附属属性的部分。图3-28所示为任意数据文件Data.txt及其读取结果显示。图中黄、红、蓝三条曲线分别代表从三个通道中采集到的数据点。由图可以看出，数据显示图形中的图形数据与数据文件中的数据相一致。

以上部分对程序各模块进行了说明，并给出了其测试结果，通过结果可以看出LabVIEW计算处理的结果基本与其理论计算结果相一致。

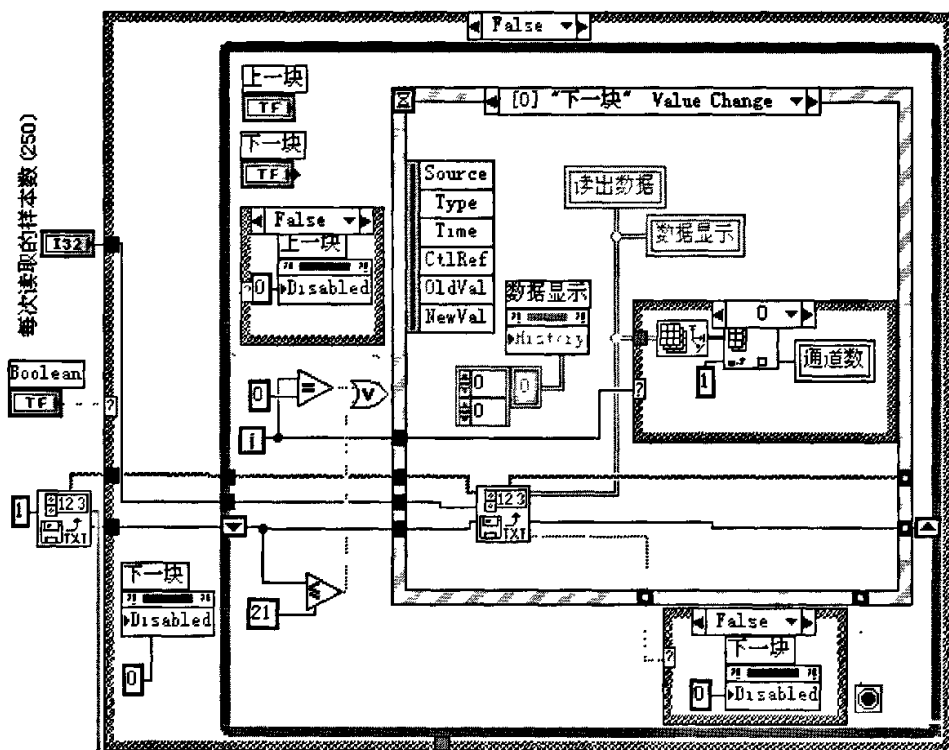


图 3-27 数据读取部分框图程序

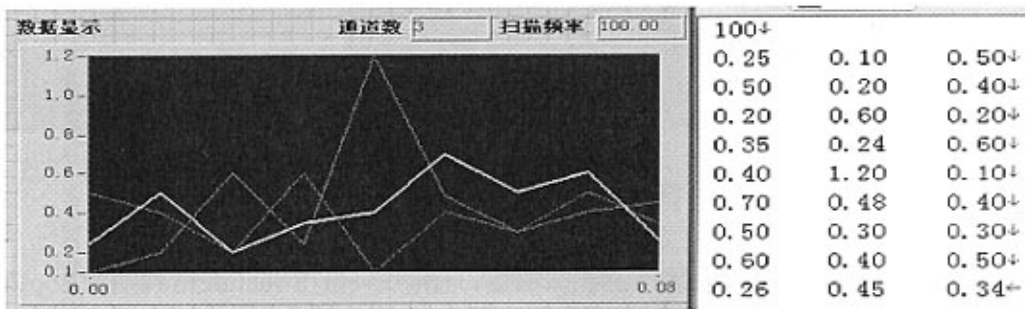


图 3-28 任意数据文件及其读取结果

3.3 本章小结

本章对数据采集和存储、数据处理、数据分析以及数据回放程序的设计做了详细的说明，并给出了各模块的数据仿真输出结果。由于篇幅有限本文涉及的数字输入输出等其它模块就不做过多的介绍。

第四章 LabVIEW 网络通信技术

LabVIEW具有强大的网络通信功能,这使得LabVIEW的开发者可以编写出具有强大网络通信能力的LabVIEW应用软件,实现远程数据的采集和测试。LabVIEW提供的通信方式主要有以下几种:TCP、DataSocket、浏览器,本章将对其进行阐述。

4.1 TCP 通信

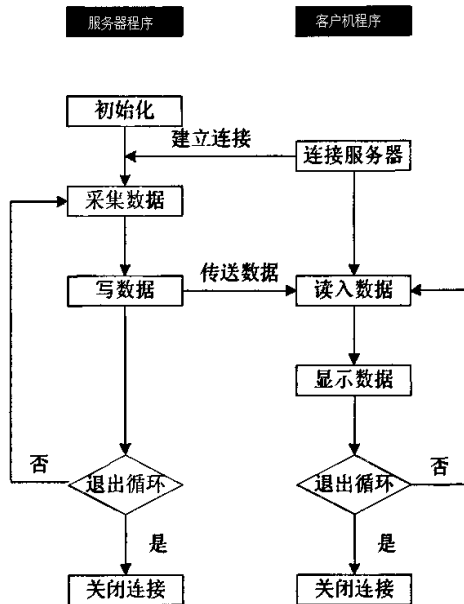


图 4-1 双机 TCP 通信流程图

TCP/IP协议(Transmission Control Protocol/Internet Protocol, 传输控制协议/互联网络协议)是Internet最基本的协议。由于Internet的广泛应用,使其成为了网络通信中事实上的标准。TCP/IP协议族共分为四层:链路层、网络层、传输层和应用层。TCP/IP协议的传输层,包括TCP、UDP协议,可以被LabVIEW直接应用。TCP提供一种面向连接的、可靠的传输层服务,在TCP对话中通过三次握手建立点对点的连接;UDP提供的是一种最简便的、面向操作的、不可靠的数据流传输,因此可靠性较差。因而,在实际的应用中多采用TCP协议。双机TCP通信的流程图

如图4-1所示。

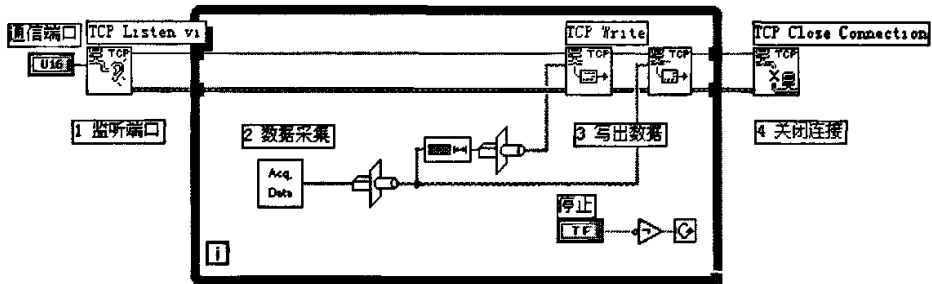


图 4-2 双机 TCP 通信服务器框图程序

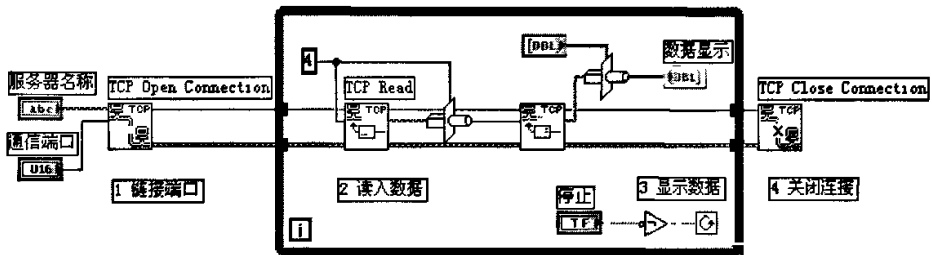


图 4-3 双机 TCP 通信客户端框图程序

图4-2、图4-3中利用了All Function -> Communication -> TCP子模板中的TCP Listen.vi、TCP Write、TCP Open Connection、TCP Read、TCP Close Connection等节点。在服务器框图程序中，首先对程序进行初始化，指定通信端口，利用TCP Listen.vi节点建立TCP听者并等待客户机的连接请求；在While Loop循环中，用到两个TCP Write，第一个TCP Write节点将采集数据的长度发送出去，第二个TCP Write节点将采集到的数据发送出去，这种方式有利于客户端接收数据。在客户端框图程序中，首先同样进行初始化，指定服务器名称、通信端口，利用TCP Open Connection节点打开一个TCP连接；在While Loop循环中，与服务器相对应采用了两个TCP Read节点，第一个读取数据的长度，第二个将该长度的数据全部读出，这种方式可以在保证数据的完整性的前提下有效地发送或者接收数据。值得注意的是，服务器与客户端必须指定相同的端口号，在一次通信连接后不能改变端口，只有断开连接才能重新设置通信端口，同时端口号的取值最好大于1000。

4.2 DataSocket 通信

DataSocket (DS) 技术是NI公司于1999年正式推出的,它是面向测控领域的通过网络实时进行数据交换的编程技术。DataSocket包括DS Server Manager、DS Server、DS函数库等三大部分,以及Dstp (DataSocket Transfer Protocol, DS传输协议)、通用资源定位符URL (Uniform Resource Locator) 和文件格式等规程。

DS Server Manager是一个独立运行的程序,其主要功能是设置DS Server可连接的客户端程序的最大数目和可创建的数据项的最大数目,创建用户组 and 用户,设置用户创建数据项 (Data Item) 和读写数据项的权限。

DS Serve也是一个独立运行的程序,它能为用户解决大部分网络通信方面的问题。它负责监管DS Server Manager中所设定的各种权限和客户端程序之间的数据交换。

DS 函数库用于实现DS通信。利用DataSocket 发布数据需要三个要素: Publisher (发布者)、DS Server和Subscriber (订阅器),其通信过程如图4-4所示:

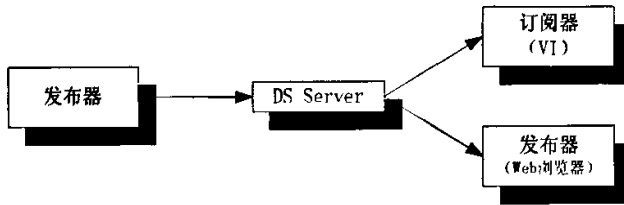


图 4-4 DS 通信过程图

实现DataSocket通信有两种方式:一种是利用LabVIEW提供的DS节点进行编程来完成,另一种方式是利用控件的DataSocket Connection属性来完成。图4-5、图4-6所示为采用第一种方式完成的DS通信的,服务器、客户端框图程序及其结果。

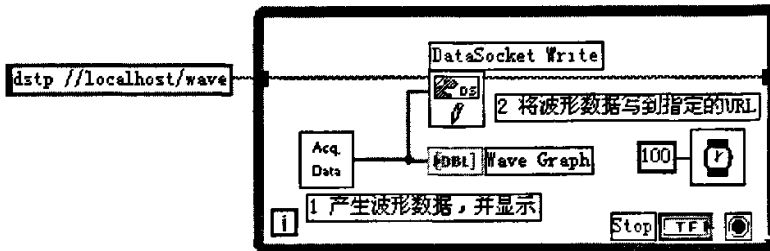


图 4-5 DS 通信服务器框图程序

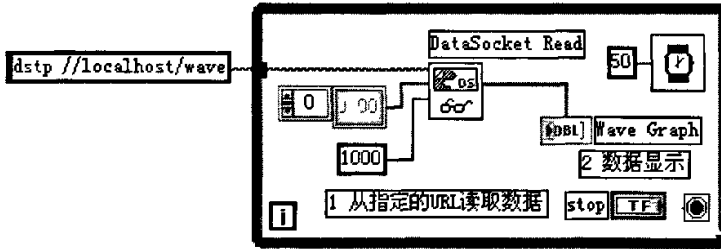


图 4-6 DS 通信客户端框图程序

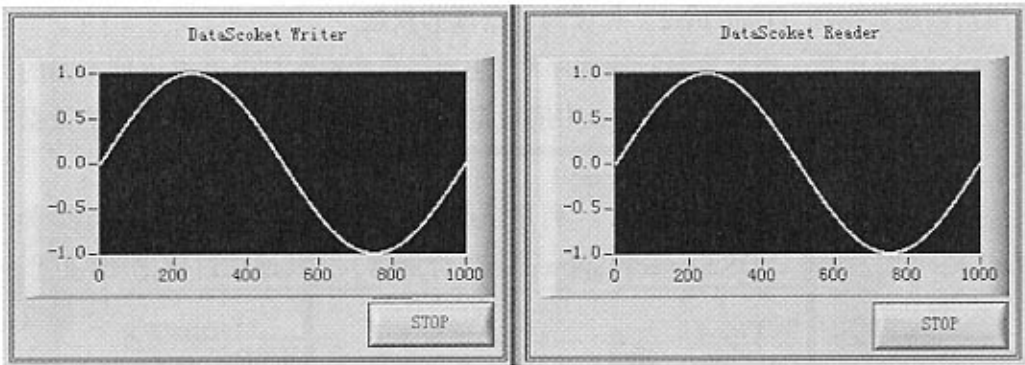


图 4-7 正弦波在 DS 通信中的显示结果

图4-5、4-6中主要利用了All Functions -> Communication ->DataSocket子模板上的DataSocket Write和DataSocket Read节点。在服务器框图程序中，首先指定一个URL连接，然后，利用DataSocket Write节点将采集到的数据，显示在前面板控件，并写到URL指定的连接中。在客户端框图程序中，利用DataSocket Read节点从URL指定的连接中，读取数据，然后显示在其前面板控件中。图4-7所示为模拟正弦波在DS通信过程中，服务器前面板与客户端前面的显示结果，由图可以看出客户端可以正确观察到服务器上采集数据的变化。

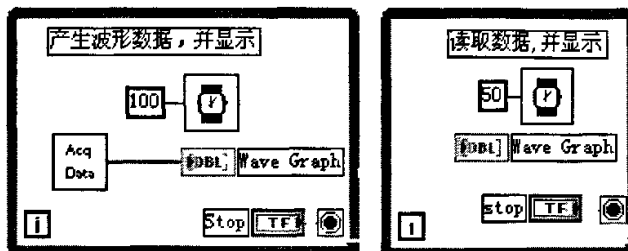


图 4-8 DS 通信的服务器和客户端框图程序

图4-8采用了Indicator控件的DataSocket Connect属性,实现前面板的DataSocket连接。图4-8为服务器框图程序(左)、客户端框图程序(右)。

由图4-8可以看出此种方式编程去掉了DataSocket子模板上的操作节点,与单机操作的VI框图程序一致,其前面板与前例前面板一样。打开它们的前面板在图形控件上点击右键->Data Operations -> DataSocket Connection...出现如图4-9所示的对话框,在Connect to文本框中,指定URL连接(服务器与客户端要一致);在Connection Type属性中,服务器可以选择Publish,客户端可以选择Subscribe,并选中Enabled,然后点击Attach,则程序运行时就可以与DS Server进行连接,连接以后前面板与上例的不同之处在于,在控件的右上角出现一个绿色的矩形框,断开连接时矩形框变为灰色,其运行结果与上例相同。

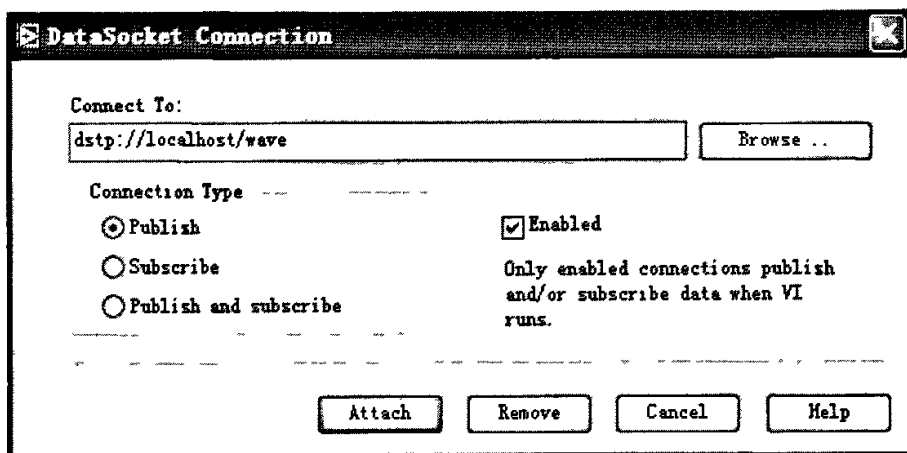


图 4-9 控件 DS Connection 属性配置对话框

与利用其他方法设计网络通信程序相比,DS大大简化了用户编写程序的工作量,但DS传输的数据文件一般不宜超过1MB,否则某些方面的性能会下降^[7]。

4.3 浏览器方式

LabVIEW开发环境内集成了一个Web服务器,该服务器不仅可以发布文档,而且能够发布内存中加载的VI的前面板,通过网页浏览器就可以控制远端VI。

4.3.1 LabVIEW 中 Web Server 的配置与发布

在将程序发布到网上之前,必须要设置适当的网络,增强网络的安全性。选

择Tools -> Options ->Web Server: Configuration, 如图4-10所示, 启用Web Server 并设置服务器的位置、通信端口和日志文件, 可以自己进行设置, 也可以直接使用系统默认的设置。

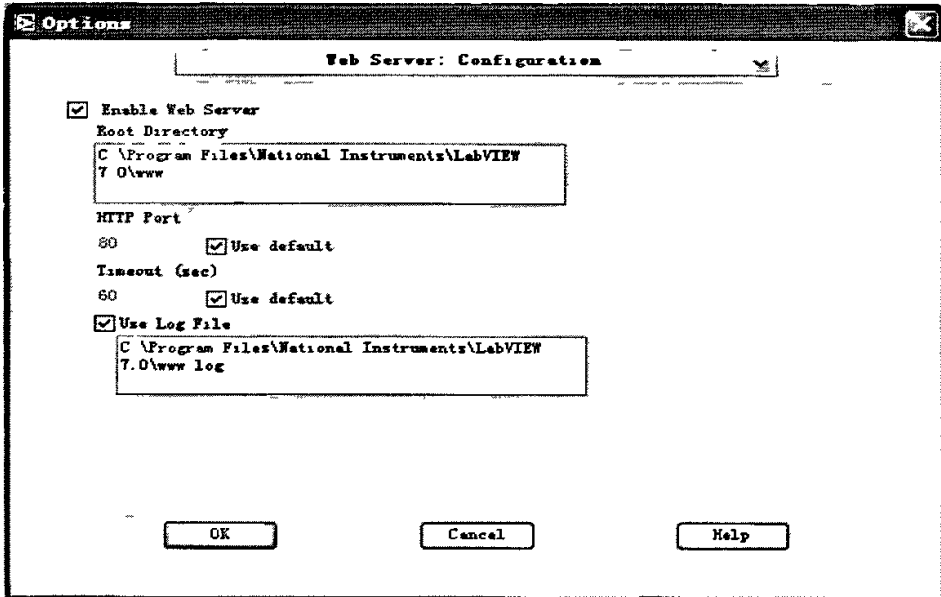


图 4-10 Web Server 设置窗口

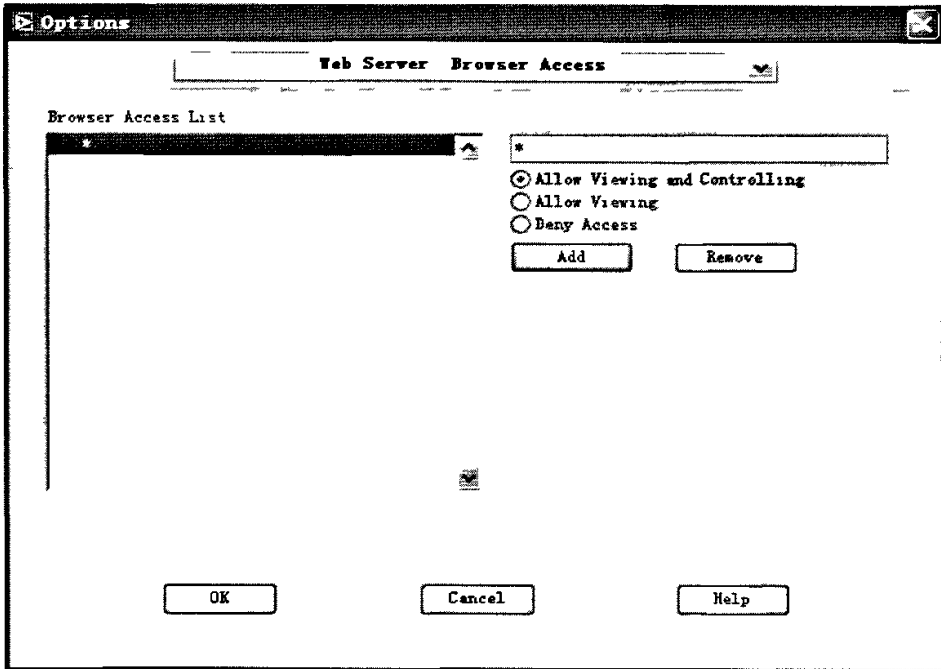


图 4-11 Web Server 的浏览器权限设置窗口

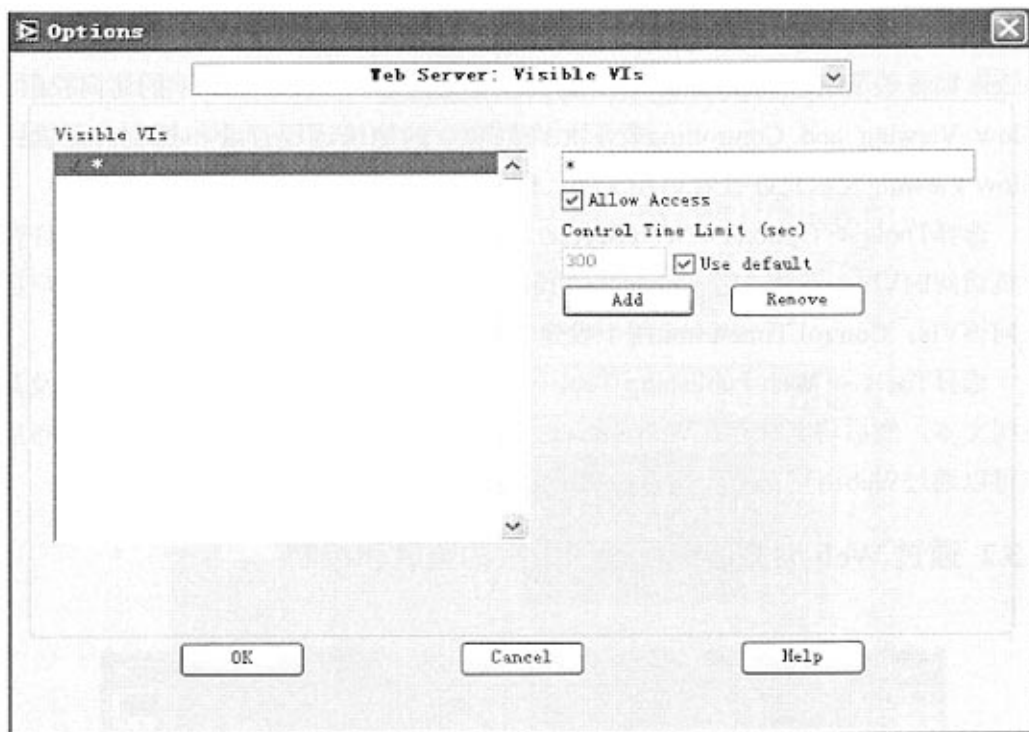


图 4-12 VIs 访问权限设置窗口

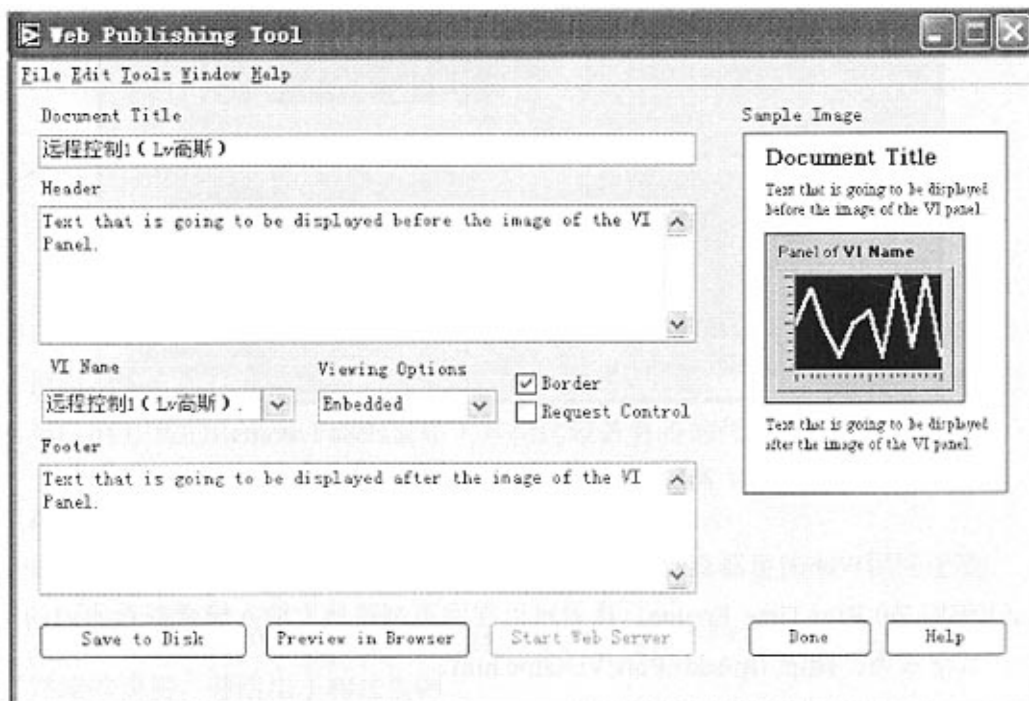


图 4-13 Web 发布设置窗口

选择Tools -> Options -> Web Server: Browser Access, 如图4-11所示, 在Browser Access List 设置有权访问该web服务器的浏览器地址, 以及各客户端的访问权限, Allow Viewing and Controlling表示允许列表中的地址远程查看和控制前面板; Allow Viewing表示允许查看VI和文档; Deny Access表示拒绝访问。

选择Tools -> Options -> Web Server: Visible VIs, 如图4-12所示, 设置允许客户机访问的VIs, 符号“*”表示允许访问所有的VIs; 符号“×”表示禁止客户机访问该VIs; Control Time Limit用于设定客户机控制该VI的时间限制。

选择Tools -> Web Publishing Tool..., 如图4-13所示, 设置所发布的VI, 及其说明文本, 然后将其保存在Web Server: Configuration所指定的根目录中, 发布后就可以通过Web浏览器对所发布的文件进行远程查看和控制了。

4.3.2 通过 Web 浏览器进行远程面板的查看和控制

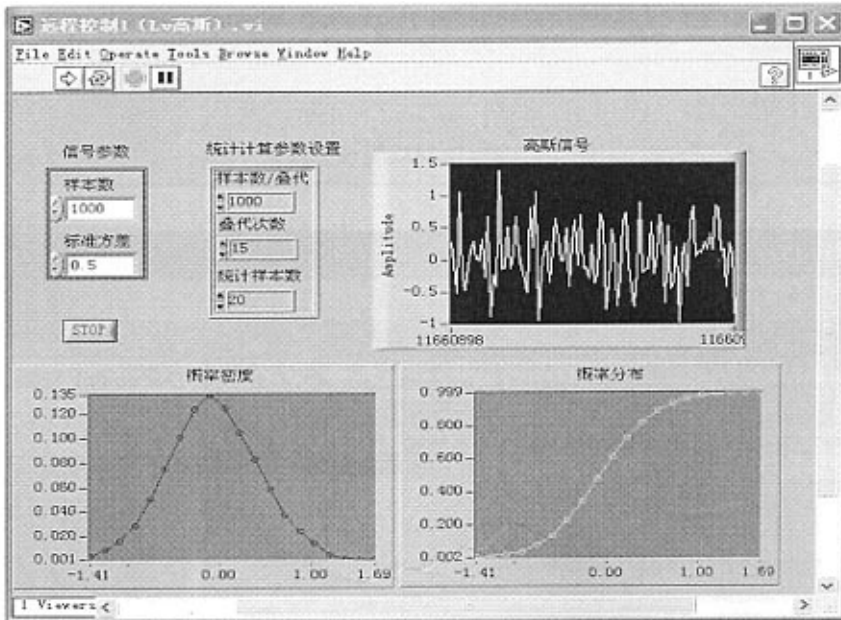


图 4-14 高斯噪声的概率分布和概率密度 VI 前面板

要想利用Web浏览器查看和控制远程面板, 首先必须在客户端计算机上安装LabVIEW 7.0 Run-Time Engine, 接着可以在网页浏览器上输入想要查看的VI的网址, 其格式为: $\text{Http://IpAddr:Port/VIName.htm}$ 。

LabVIEW可同时连接到Web Server的客户端数目是一个, 要想让更多的客户同时使用远程面板功能, 用户可以向NI公司购买授权。当有多个客户端授权时, 服务器端可以选择Tools -> Remote Panel Connection Manager来监控客户端的连接。

图4-14和图4-15所示为求取高斯噪声信号的概率分布和概率密度的VI程序前面板和远程客户的Web浏览器界面。在客户端点击鼠标右键可以向服务器请求对远程面板的控制，从而实现客户端的远程查看和控制。

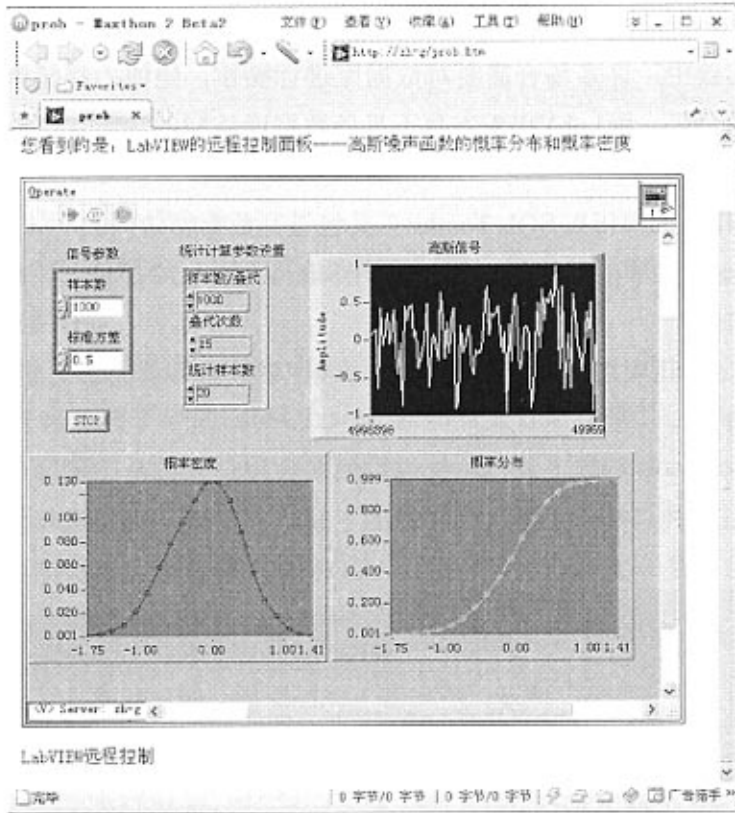


图 4-15 高斯噪声的概率分布和概率密度 Web 用户界面

对LabVIEW的远程查看和控制还可以通过第三方软件LabVNC来实现,它不需要在客户端安装LabVIEW引擎,也不需要进行任何设置,只要输入正确的网址即可使用,但只能打开VI的前面板窗口,且只允许一个客户机同时连接在服务器上,它与LabVIEW的Remote Panels发布工具相比较各有各的优点。

4.4 本章小结

本章介绍了LabVIEW实现网络通信的几种方式,并对浏览器方式的实现进行了详细的说明,并给出了相关事例。

第五章 LabVIEW 的数据库访问技术

在工程实践中，许多场合需要对数据库进行操作，比如：存储测试数据，管理复杂测试项目等，而LabVIEW本身不具备数据库访问的功能，有以下几种方法可以实现：

1. 利用NI的LabVIEW SQL Toolkit工具包进行数据库访问；
2. 利用LabVIEW的ActiveX功能，调用Microsoft ADO控件，用SQL语言实现对数据库的访问；
3. 利用LabVIEW用户开发的免费的LabVIEW数据库访问工具包LabSQL实现与数据库的通信。

其中，方法一中所需工具包的价格对大多数用户来说是比较昂贵的；方法二需要用户对ADO控件和SQL语言有较深的了解，并需要从底层进行复杂的编程才能实现；方法三是令人振奋的，它利用ADO和SQL语言来完成数据库的访问，并将复杂的底层ADO和SQL操作封装成一系列的LabSQL VIs，不需要用户对ADO和SQL语言有过深的理解，只需要简单的编程就可以实现对数据库的访问，易于理解，操作简单。本文主要针对LabSQL在LabVIEW数据库访问中的应用。LabVIEW与数据库之间的结构层次如图5-1所示：

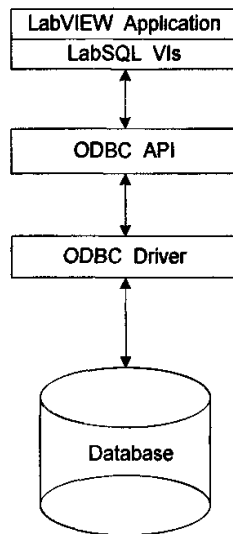


图 5-1 LabVIEW 与数据库之间的结构层次图

5.1 LabSQL 简介^[22]

LabSQL是源代码开放的、免费的、多数据库、跨平台的LabVIEW数据库访问工具包，它支持Windows操作系统中任何基于ODBC的数据库，包括Access，SQL Server，Oracle，Pervasive，Sybase等。

LabSQL的系统需求如下：

1. LabVIEW 6i或以上版本；
2. ODBC Driver for Windows；
3. 包含ADO的最新版MDAC ActiveX组件(一般情况下Windows 2000以上操作系统包含此组件)。

LabSQL的安装方法是：在LabVIEW的安装目录中的user.lib文件夹中建立名为LabSQL的文件夹，将下载的LabSQL.zip中的所有文件解压缩到LabSQL文件夹中，重新启动LabVIEW，则在LabVIEW的Functions -> User Libraries中可以找到LabSQL，如图5-2所示。

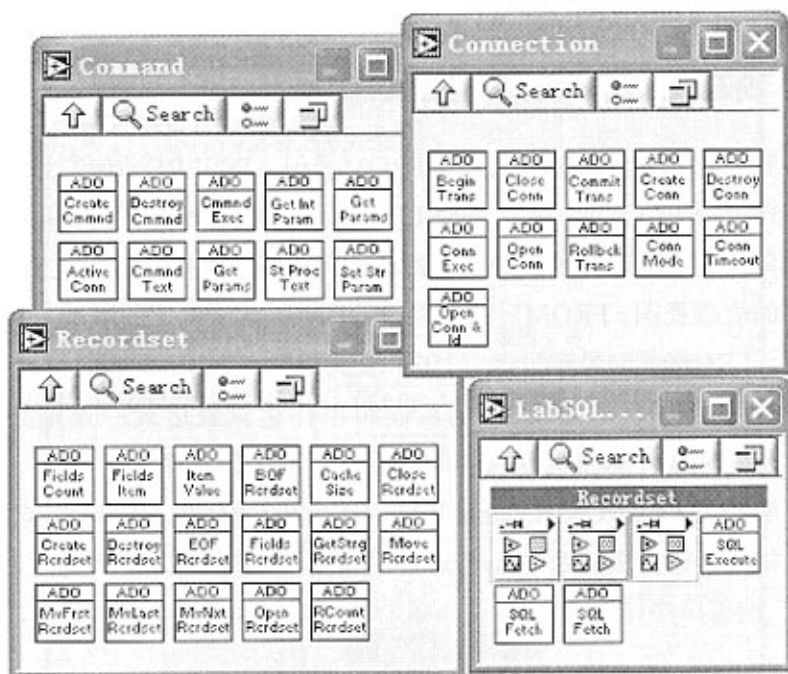


图 5-2 LabSQL VIs

LabSQL VIs按照功能可以分为四类：

- (1)Command VIs：完成一系列的基本ADO操作，如：创建或删除一个ADO Command，对数据库中的某一参数进行读或写等；

- (2) Connection VIs: 管理LabVIEW与数据库之间的连接;
- (3) Recordset VIs: 对数据库中的记录进行各种操作, 如: 创建或删除一条记录, 对记录中的条目进行读或写等;
- (4) 高层VIs: 对前三类的LabSQL VIs进一步进行了某些功能的封装。

5.2 SQL 语言简介

SQL (Structured Query Language) 语言是IBM公司于1981年推出的, 它的主要功能是同各种数据库建立连接和沟通。目前, SQL已经被众多的关系数据库管理系统所采用, 如Oracle, Sybase, Access和Microsoft SQL Server等数据库管理系统都支持SQL语言。

SQL包含四个部分^[22]:

1. 数据查询语言 SELECT;
2. 数据操纵语言 INSERT, UPDATE, DELETE;
3. 数据定义语言 CREATE, ALTER, DROP;
4. 数据控制语言 COMMIT WORK, ROLLBACK WORK。

在LabSQL进行数据库操作的过程十分简易, 下面只针对SQL中的简单查询作以介绍。

SQL的简单查询只包括选择列表、FROM子句、WHERE子句和查询结果排序语句。选择列表指出所查询的列, 在SELECT后面加列名即可, 两个以上的列名之间用“,” 隔开, 选择所有列用“*”表示; FROM子句指定SELECT语句查询及与查询相关的表或视图。FROM后面加表或视图名, 两个以上的表或视图名之间用“,” 隔开。FROM语句最多可指定256个表或视图; WHERE语句设置查询条件, 过滤掉不需要的数据行。WHERE的后面跟条件运算表达式; 查询结果排序由ORDER BY子句完成, 对查询返回的结果按一列或多列排序。

例如: `SELECT * FROM mytable WHERE c>20 ORDER BY d DESC`

上面的SQL语句完成从表“mytable”中查询列“c”值大于20的行, 返回的结果以列“d”的值降序排序^[27]。

5.3 局域网上的 Access 数据库查询实例

本实例在局域网内另一台计算机上创建一个Access数据库, 然后在装有LabVIEW的计算机上对其进行查询、添加和修改等操作。

5.3.1 Access 数据库的建立和设置

在局域网内另一台计算机上的Access 2003中建立数据库RDB.mdb，添加表“testingData”，如图5-3所示：

ID	name	frequency	max	average	distance	time	remark
1	刘备	15000	30	25	50	2006-12-10	
2	关羽	12000	32	24	48	2006-12-11	
3	张飞	20000	28	21	50	2006-12-12	
4	诸葛亮	18000	25	18	45	2006-12-13	
5	曹操	100000	35	25	42	2006-12-14	
6		0	0	0	0		

图 5-3 表 testingData 的内容

基于数据库的安全考虑，在Access中选择工具 -> 安全 -> 设置数据库密码，在弹出的对话框中设置登录密码。选择工具 -> 安全 -> 用户与组账户，如图5-4所示，点击新建，在弹出的对话框中设置用户名为“zg”和用户ID，以便访问数据库时使用；选择工具 -> 安全 -> 用户与组权限，如图5-5所示，选择用户名“zg”，对象名称“testingData”，权限全部选定。

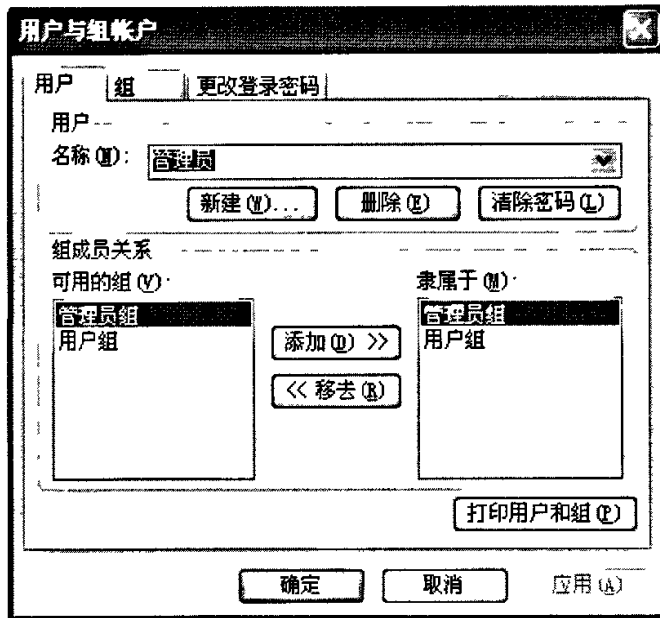


图 5-4 用户与组账户设置窗口

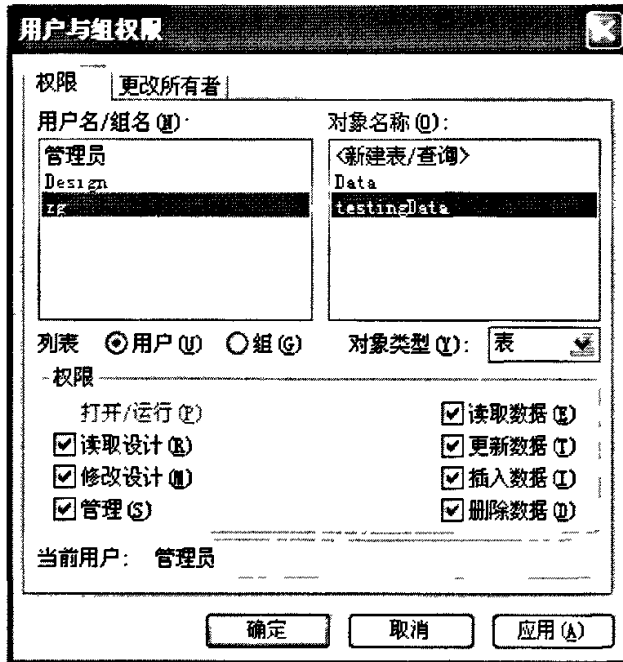


图 5-5 用户与组权限设置窗口

5.3.2 LabSQL 的配置

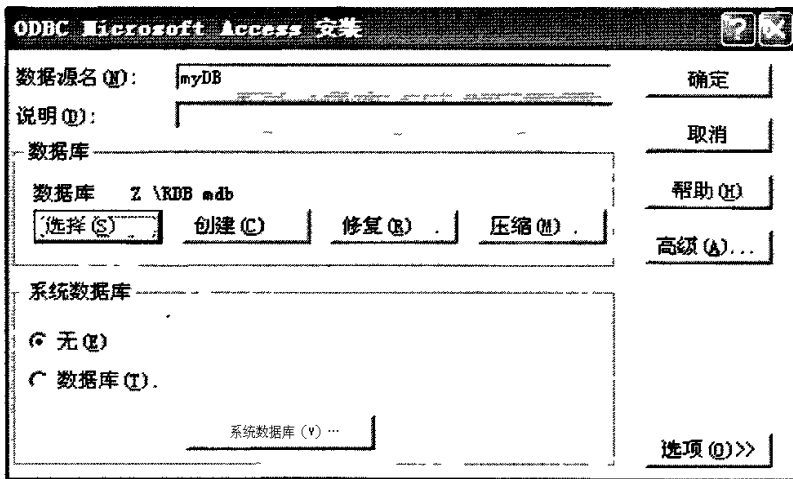


图 5-6 ODBC Microsoft Access 安装对话框

在使用LabSQL之前，要在Windows操作系统中ODBC数据源中创建一个DSN(Data Source Name，数据源名)，本操作需要完成以下几步：

- (1) 打开“控制面板”，选择“管理工具”，双击“ODBC数据源”快捷方

式图标;

(2) 选择“系统DSN”选项卡, 单击“添加”按钮;

(3) 在弹出的对话框中选择安装数据源的驱动程序为“Microsoft Access Driver (*.mdb)”, 并点击“完成”按钮;

(4) 在随后弹出的对话框, 如图5-6所示, 输入数据源名(DSN)为“myDB”, 点击“选择”按钮;

(5) 在选择数据库对话框如图5-7所示, 点击网络, 找到共享的RDB.mdb数据库, 然后点击“确定”, 这样DSN的创建就完成了, 在ODBC数据源管理器窗口将可以看到数据源myDB。

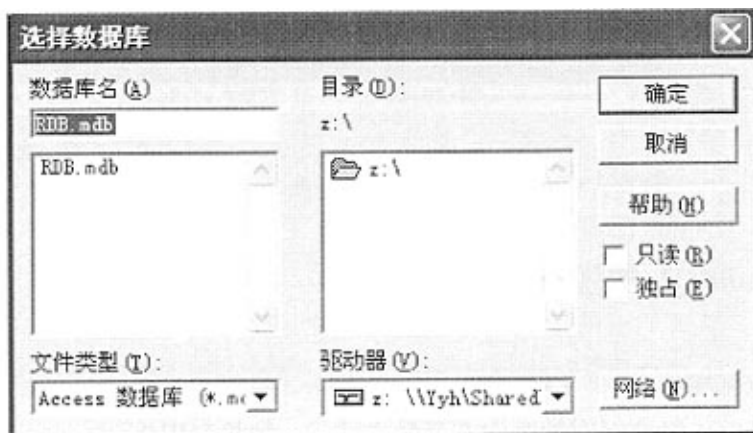


图 5-7 选择数据库对话框

5.3.3 完善 LabSQL 的网络访问功能

LabSQL没有开发远程数据库访问的功能, 因此要实现对网络数据库进行各种操作, 需要对LabSQL进行改进。

LabSQL中用于打开一个连接对象的VI为“ADO Connection Open.vi”其图标和端口如图5-8, 它没有验证用户名及密码的功能, 而对网络数据库服务器Access 2003的访问需要验证用户名及密码, 因此, 新创建一个ADO Connection Open with Password.vi, 并将其添加到LabSQL的相应安装文件夹中。该VI的图标和端口如图5-9, 它在原有节点端口的基础上添加了“UserID”和“Password”两个端口, 使用户在打开数据库对象时可以验证用户名和密码, 实现对网络数据库的访问^[14]。

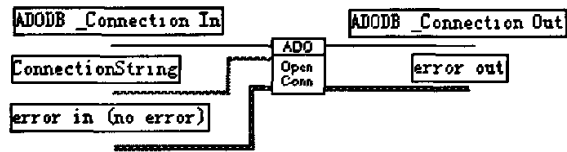


图 5-8 ADO Connection Open.vi 节点

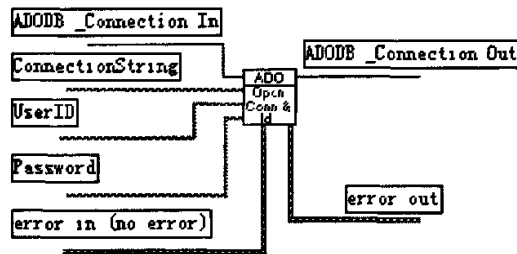


图 5-9 ADO Connection Open with Password.vi 节点

5.3.4 用 LabSQL 实现对数据库的操作

(1) 数据库的查询

利用LabSQL对数据库的查询有两种方式：一种是利用Connection VIs实现，另一种是利用Recordset VIs实现。

1) 利用Connection VIs实现对数据库的查询

利用Connection VIs实现对数据库的查询的流程如图5-10所示：

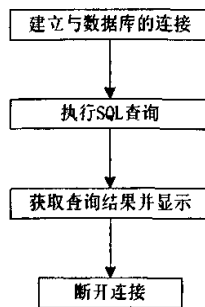


图 5-10 查询方式一流程图

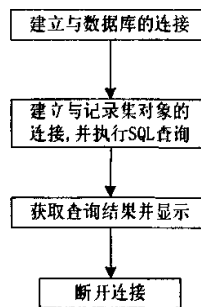


图 5-11 查询方式二流程图

其框图程序及其查询结果如图5-12和图5-13所示：

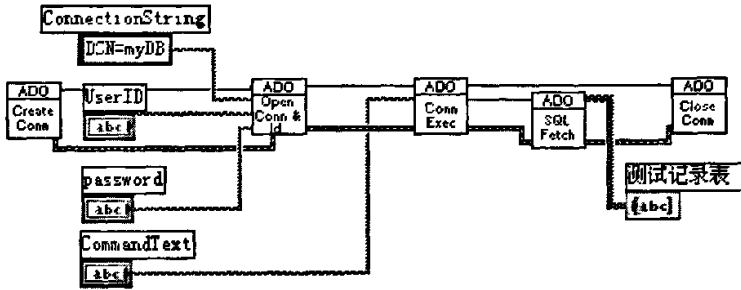


图 5-12 查询方式一框图程序

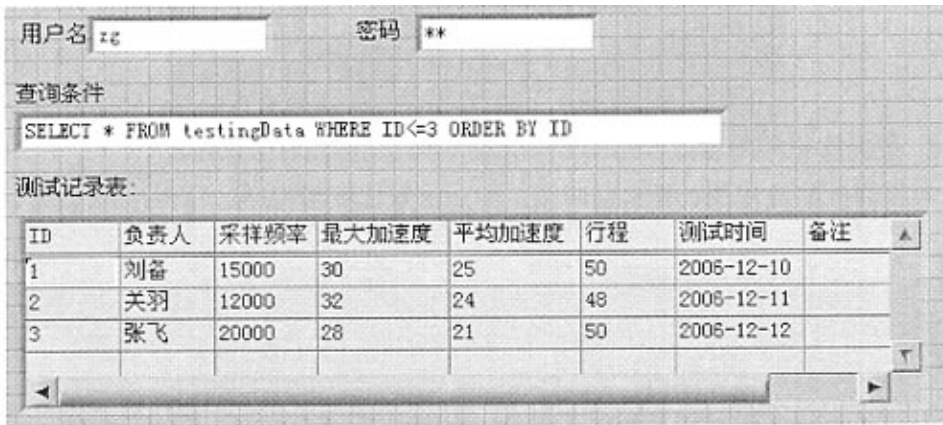


图 5-13 查询方式一前面板

2) 利用Recordset VIs实现对数据库的查询

利用Recordset VIs实现对数据库的查询的流程如图5-11所示，其框图程序及其查询结果如图5-14和图5-15所示：

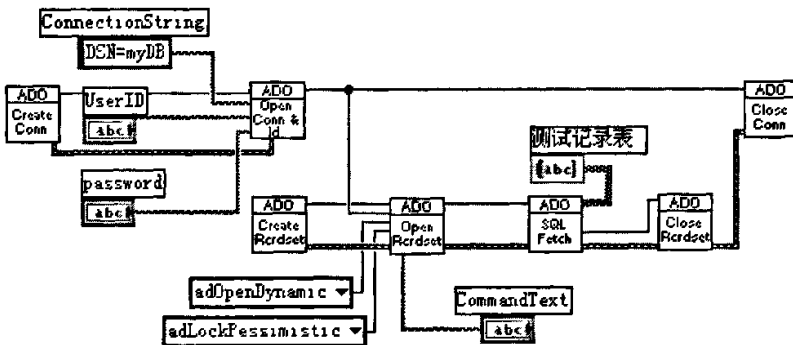


图 5-14 查询方式二框图程序

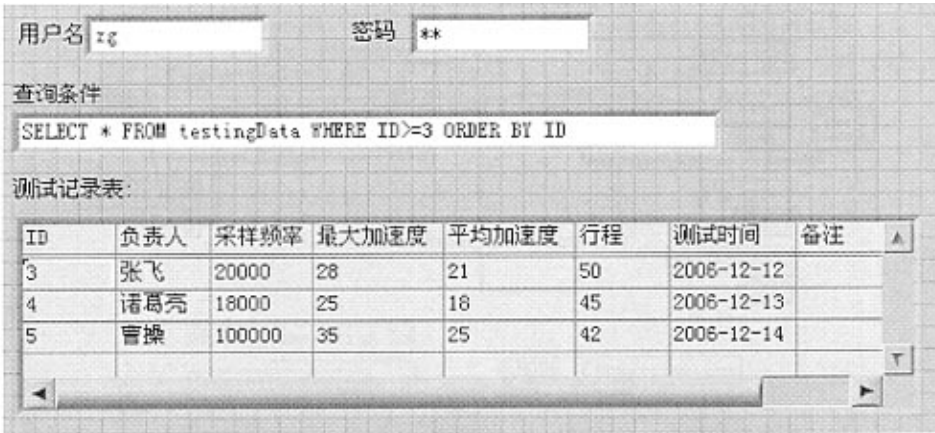


图 5-15 查询方式二前面板

2. 数据库记录的修改

数据修改的流程如图5-16所示，图5-18为其框图程序。

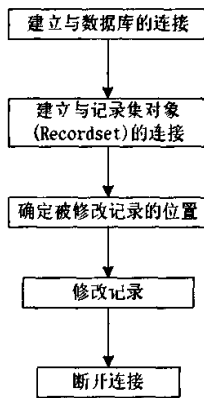


图 5-16 记录修改的流程

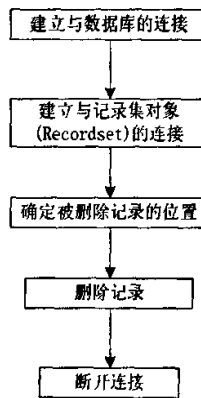


图 5-17 记录删除的程序流程

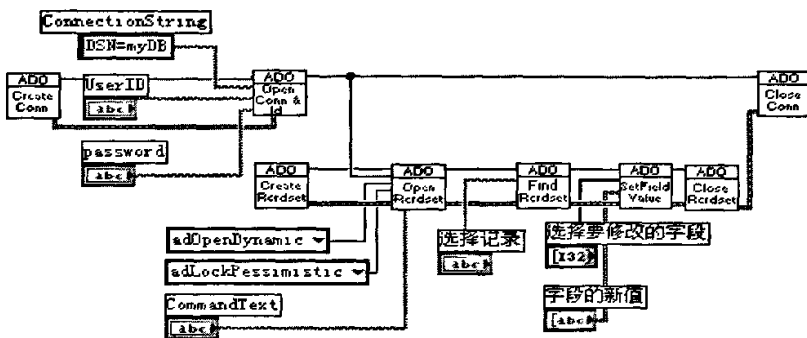


图 5-18 数据记录修改的框图程序

在表testingData中name为“曹操”的记录中，为其添加备注项目，内容为0298886666，其前面板设置及其结果如图5-19和图5-20所示，在图5-19中设置了所要修改的字段及其新值等内容，在图5-20中可以看到曹操后面的备注栏内与我所设置的相一致。

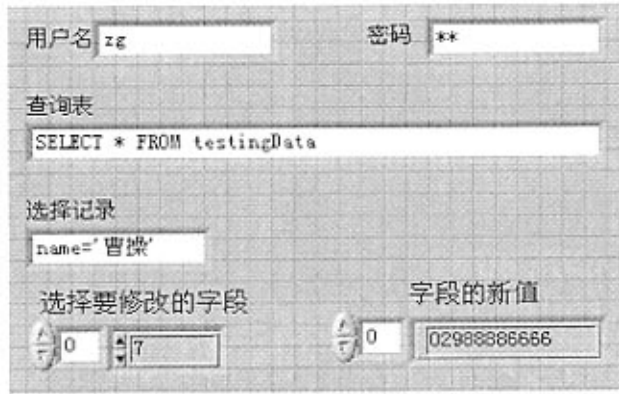


图 5-19 数据修改前面板

测试记录表:

ID	负责人	采样频率	最大加速度	平均加速度	行程	测试时间	备注
1	刘备	15000	30	25	50	2006-12-10	
2	关羽	12000	32	24	48	2006-12-11	
3	张飞	20000	28	21	50	2006-12-12	
4	诸葛亮	18000	25	18	45	2006-12-13	
5	曹操	100000	35	25	42	2006-12-14	0298886666

图 5-20 修改后的记录表

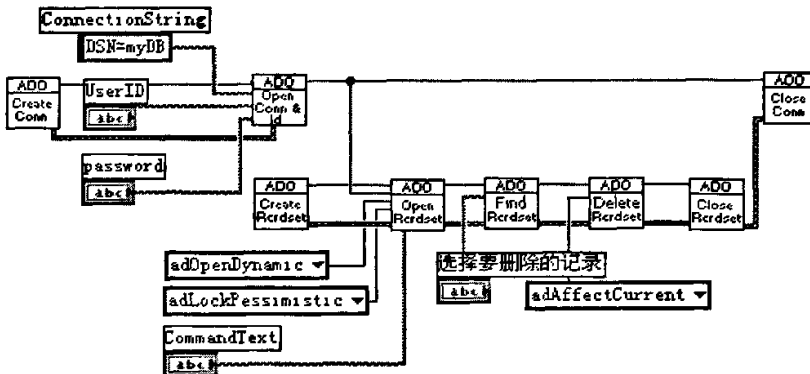


图 5-21 数据库记录删除框图程序

3. 数据库记录的删除

数据记录删除的流程图如图5-17所示，其框图程序如图5-21。

在表testingData中删除name为“张飞”的纪录的程序前面板设置及其删除后的查询结果如图5-22和图5-23所示。

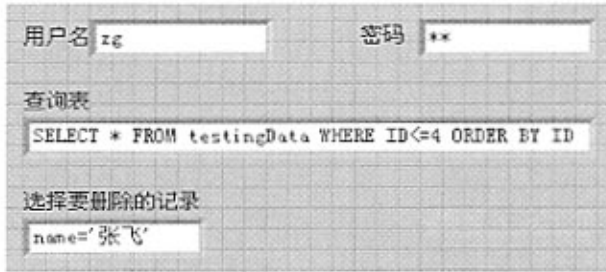


图 5-22 记录删除前面板

ID	负责人	采样频率	最大加速度	平均加速度	行程	测试时间	备注
1	刘备	15000	30	25	50	2006-12-10	
2	关羽	12000	32	24	48	2006-12-11	
4	诸葛亮	18000	25	18	45	2006-12-13	
5	曹操	100000	35	25	42	2006-12-14	02988888666

图 5-23 删除 name 为“张飞”的记录后的查询结果

在图5-23中可以看到删除记录面板上所设置的删除项目已经被删掉。

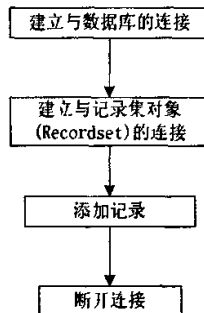


图 5-24 添加数据库记录的流程

4. 数据库记录的添加

数据库记录的添加流程如图5-24所示，其框图程序如图5-25。

为表testingData添加ID为“12”的记录项，其前面板设置及其添加后数据表记录显示结果如图5-26和图5-27所示。

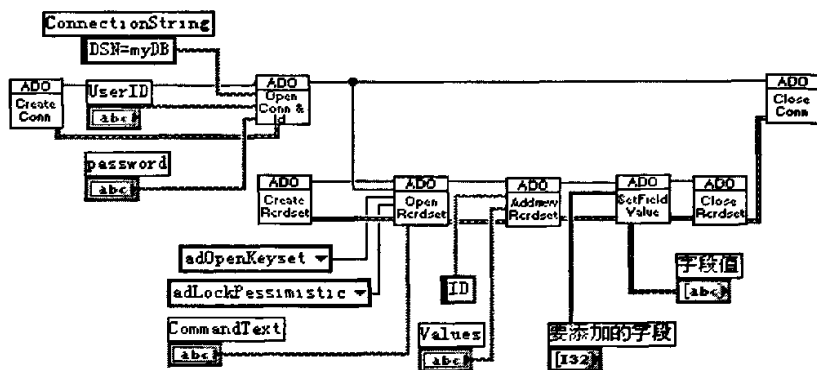


图 5-25 数据库添加框图程序



图 5-26 添加数据记录项前面板设置图

测试记录表:

ID	负责人	采样频率	最大加速度	平均加速度	行程	测试时间	备注
1	刘备	15000	30	25	50	2006-12-10	
2	关羽	12000	32	24	48	2006-12-11	
4	诸葛亮	18000	25	18	45	2006-12-13	
5	曹操	100000	35	25	42	2006-12-14	02988886666
12	孙权	100	20	30	40	50	02988882222

图 5-27 添加数据记录后表的纪录情况

由图5-27可以看出，在图5-26中所设置的ID=“12”的数据记录，已经添加到了数据库表中。

利用LabSQL可以实现LabVIEW对数据库的查询、删除、修改、添加等操作，这有利于工程时间中对以往试验、测试数据的保存，通过数据库的远程访问可以实现数据的共享，能够更加充分的利用以往的各种分析结果，加快相关项目的开发和实现。

5.4 本章小结

本章介绍了LabVIEW实现数据库访问的几种方法，并对用LabSQL VIs实现与数据库的交互，进行了详细的说明，并给出了应用实例。

第六章 总结

虚拟仪器技术是21世纪测试技术和仪器技术发展的重要方向，以其友好的人机界面、灵活的编程方式，在工程实践、试验研究中得到了广泛的应用。

LabVIEW技术为工程应用人员提供了一个良好的编程环境，使编程人员从枯燥的程序编写中解放出来，而更多的关注程序的流程和实现。LabVIEW采用了结构化、层次化的结构，使其具有了强大的功能，用户可以创建自己的VI子程序来创建复杂的应用程序，而且LabVIEW所编写的程序更新比较方便，可以根据系统的需要得到快速的响应，且与传统仪器相比较成本可以大大的降低。

LabVIEW具有友好的人机界面。LabVIEW给用户提供了灵活、方便的前面板控件，用户可以根据自己的习惯组织和调整程序的界面风格，而且不需要对其内部实现有很深的了解，只需要在用户窗口中设定常用的工程参数即可以完成一个复杂的任务和数据维护。

本文的研究成果主要有：

1. 根据系统功能制定了系统的软硬件框架。
2. LabVIEW平台下的数据采集分析系统的设计

采用循环缓冲、Windows多线程技术和LabVIEW的程序运行控制技术，保证了数据采集的完整性以及各系统子任务的协调配和；

3. 仿真信号发生模块的设计

仿真信号发生模块可以对系统功能进行快速的检验，减少系统开发的时间；

4. 数据回放模块的设计

通过数据回放可以对计算机中保存的数据文件按块回放或者自动回放，以便对数据的分析和观察；

5. LabVIEW网络通信

采用TCP、DataSocket、浏览器方式构建了系统的远程察看和控制；

6. LabVIEW的数据库访问

采用LabSQL VIs是实现了LabVIEW对数据库的管理，比如：查询、添加、修改、删除等。

由于测试对象的复杂性以及时间等客观条件的限制，本文还存在一些不足之处，比如：数据采集分析模块应该和具体的工程实践相结合，使之更能满足工程实践的需要等。

参考文献

- [1] 邓可 柴振国.机载武器测试设备发展趋势研究.航空兵器, 2002年3月, 27-29页;
- [2] 王坚.军用自动测试设备的现状与发展.中国测试技术, 2003年3月第2期, 1-3页;
- [3] 于劲松 李行善.美国军用自动测试系统的发展趋势.测控技术, 2001年第20卷第12期, 1-3页;
- [4] 邓可.VXI总线在机载武器测试系统中的应用.航空兵器, 1998年3月, 4-7页;
- [5] 张毅 周绍磊 杨秀霞.虚拟仪器技术分析与应用.北京: 机械工业出版社, 2004年2月第1版;
- [6] 曹玲芝.现代测试技术及虚拟仪器.北京: 北京航空航天大学出版社, 2004年2月第1版;
- [7] 杨乐平 李海涛 肖凯.虚拟仪器技术概论.北京: 电子工业出版社, 2003年3月第1版;
- [8] 侯国屏 王坤 叶齐鑫.LabVIEW7.1编程与虚拟仪器设计.清华大学出版社, 2005.2;
- [9] 王剑.基于LabVIEW的数据采集及分析系统的开发.哈尔滨理工大学, 2004年3月;
- [10] 黄晓晴.基于PXI总线的测试系统实验平台研究.南京航空航天大学, 2004年1月;
- [11] 程学庆 房晓溪 韩薪莘.LabVIEW图形化编程与实例应用.北京: 中国铁道出版社, 2005年5月第一版;
- [12] 尹应全.基于PXI总线的雷达虚拟测试系统.华中科技大学, 2005年5月;
- [13] 吴明华.基于虚拟仪器的自动测控系统设计与研究.南京理工大学, 2004年6月;
- [14] 王卫民.基于虚拟仪器的网络测控技术研究.南京理工大学, 2004年6月;
- [15] 黄晓晴.基于PXI总线的测试系统实验平台研究.南京航空航天大学, 2004年1月;
- [16] http://www.lecroy.com.cn/produce/h_01_03_05.htm
- [17] 宋东 李红娟.航空计算机系统与应用.西北工业大学出版社, 2002;
- [18] 阳昕.基于网络化PXI总线测试系统的设计与实现.西北工业大学, 2003.3;
- [19] 崔德勋.PXI产品走向探讨.电子产品世界, 2002, (3): 24-25;
- [20] PXI Hardware Specification.<http://www.pxisa.org/>, 2004.9.22;
- [21] PXI Software Specification.<http://www.pxisa.org/>, 2003.2.4;
- [22] 杨乐平 李海涛 赵勇.LabVIEW高级程序设计.北京: 清华大学出版社, 2003年4月第1版;
- [23] <http://210.22.176.35:82>;
- [24] 胡广书.数字信号处理.北京: 清华大学出版社, 2002.3;
- [25] 邓善熙.测试信号分析与处理.北京: 中国计量出版社, 2003;
- [26] 刘君华.现代检测技术与测试系统设计.西安: 西安交通大学出版社, 2001年7月;
- [27] 周绪.SQL Server 2000中文版入门与提高.北京: 清华大学出版社, 2001;
- [28] 李海兵 杨晓亮.Access2003数据库管理从入门到精通.北京: 中国青年出版社, 2005年2月;

- [29] 赖根 肖明清 夏锐.国外自动测试系统发展现状综述.探测与控制学报,第27卷第3期,2005年8月,26-30页;
- [30] (美) Robert H. Bishop.LabVIEW 7实用教程.电子工业出版社,2005年8月;
- [31] (日)酒井英昭.信号处理.北京:科学出版社,2001年1月;
- [32] (美) John G. Ackenhusen.实时信号处理.北京:电子工业出版社,2002年7月;
- [33] 王朝英 冯新喜.信号处理原理.北京:清华大学出版社,2005年7月;
- [34] 周林 殷侠 等.数据采集与分析技术.西安:西安电子科技大学出版社,2005年7月;
- [35] 王海宝 等.LabVIEW虚拟仪器程序设计与应用.成都:西南交通大学出版社,2005年4月;
- [36] 王昌明 孔德人 何云峰.传感与测试技术.北京:北京航空出版社,2005年6月;
- [37] 周振安[等] 编著.数据采集系统的设计与实践.北京:地震出版社,2005年7月;
- [38] 马明建编著.数据采集与处理技术.西安:西安交通大学出版社,2005年9月;
- [39] PXI与CompactPCI、PCI和VXI比较.美国力科公司;
- [40] 根据特定的测量与自动化需求评估PXI与VXI平台.北京领邦仪器技术有限公司;
- [41] http://www.dpnet.com.cn/school/school_show.asp?id=2671;
- [42] Nesimi Ertugrul. LabVIEW for electric, machines, drivers, and laboratories.Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, c2002;
- [43] Rick Bitter, Taqi Mohiuddin, Matt Nawrocki. LabVIEW Advanced Programming Techniques.CRC Press, 2001;
- [44] Bertand Meyer. Object-Oriented Software Construction. Prentice Hall, 1998;
- [45] LabVIEW On-line Reference, National Instruments;
- [46] LabVIEW Code Interface Reference Manual, National Instruments, 1998;
- [47] NI-DAQ 7.0快速入门指导, National Instruments, 2003年4月;
- [48] 刘元扬.自动检测和过程控制.北京:冶金工业出版社,2005年8月;
- [49] 孔德仁 何云峰.仪器总线技术及应用.北京:国防工业出版社,2005年8月;
- [50] 陈光.VXI总线测试平台技术.成都:电子科技大学出版社,1996年10月;
- [51] 陈长龄 等.自动测试及接口技术.北京:机械工业出版社,2005年2月;
- [52] 李昌禧.智能仪表原理与设计.北京:化学工业出版社,2005年3月;
- [53] 樊尚春 周浩敏.信号与测试技术.北京:北京航空航天大学出版社,2002年3月;
- [54] (美) David McCombs.PC数据采集.北京:中国电力出版社,2004年2月;
- [55] 栾桂东 张金铎 金欢阳.传感器及应用.西安:西安电子科技大学出版社,2002年1月;
- [56] 崔吉俊.火箭导弹测试技术.北京:国防工业出版社,1999年2月;
- [57] 施文济.自控系统中的测量与显示技术.北京:中国水利水电出版社,2003年4月;
- [58] 郑有根.自动控制原理.重庆:重庆大学出版社,2003年8月;
- [59] 蒋大明 戴胜华.自动控制原理.北京:清华大学出版社,2003年3月;

攻读硕士期间的科研工作和论文发表情况

(1) 参与课题

1. 导弹模拟试验台测控系统的设计, 2006年3月至今, 从系统需求分析、概要设计、详细设计, 然后采用LabVIEW语言进行各模块的程序开发。
2. 导弹模拟试验台的设计, 2005年4月~2005年12月, 根据导弹在空中的受力状况, 进行力的分配, 并进行加载装置、调整装置的设计。
3. 导弹弹射机构的设计, 2004年10月~2005年5月, 根据该项目的实际需要设计开发新一代导弹弹射发射架。

(2) 发表论文

朱刚, 汤军社, 余彦虎. 基于虚拟仪器技术的弹射装置测控系统的设计. 哈尔滨商业大学学报自然科学版, 2007年3期23卷。

致 谢

本论文的各项工作都得到了我的导师——汤军社教授的热情关怀与悉心的指导，在此对汤老师在研究生期间的关心和照顾表示衷心的感谢！从论文的选题到论文的审阅都浸透着汤老师辛劳的汗水。汤老师严谨的工作作风、循循善诱诲人不倦的指导风格，淳淳教导严格要求的育人方式，平易近人的品格，使我在硕士研究生学习中受益匪浅。他不仅教会我新知识，还教我做人，在生活方面给予了我很大的关心和帮助。

在完成项目和论文期间，还得到了教研室的其他同学和老师的大力协助，在此一并对他们热情的帮助表示感谢！

朱刚
2007年3月