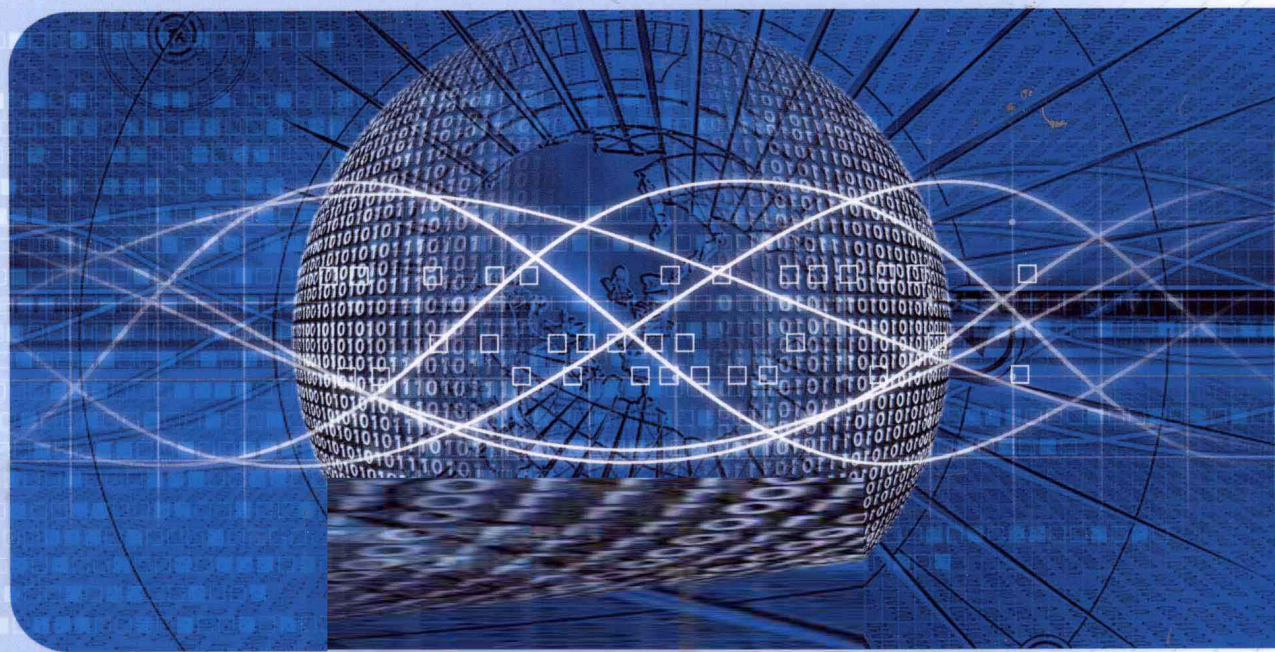


虚拟实验室技术

XUNI SHIYANSHI JISHU



◆ 蒋耘晨 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

虚拟实验室技术

蒋耘晨 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

前 言

随着计算机技术和网络技术的发展，虚拟实验室作为推动教育模式进化的一种有效方法，逐渐成为近几年来国内外实验教学和远程教学研究和应用的热点。虚拟实验室是一个集虚拟实验、虚拟实验室管理、实验教学、网上协作、教学机构管理于一体的实验平台，致力于构筑一个综合不同工具和技术的子化、网络化的科学研究集成环境。在这个环境里，实验人员们可以非常有效地利用地理上分布的各种资源（数据、信息、设备、人力等）来从事科研活动。在虚拟实验室中，参与实验的人员不管地理位置如何分布，都能共同从事实验研究，与其他用户相互交流、使用仪器、共享实验数据和资源，共同完成实验的总结分析并撰写报告。

近年来，国内外建设了大量相关的虚拟实验室。然而，虚拟实验室的相关书籍少之又少。本书作者多年来一直从事实验室教学、研究和管理工作。为了促进虚拟实验室的进一步发展，反映虚拟实验室的最新研究成果和发展趋势，使广大读者能及时了解、掌握和应用这一领域的最新技术，学会设计和构建相应的虚拟实验室，作者通过大量的资料收集、整理和规划，编写了这本书，供广大读者学习和参考。

本书是在总结作者多年研究成果的基础上，进一步系统化、规范化而成的。全书有 9 章，共分为三大部分：虚拟实验室概述（1~2 章）、虚拟实验室相关技术（3~6 章）和虚拟实验室平台的构建（7~9 章）。第 1 章阐述了虚拟实验室的概念，并介绍了其分类、研究现状和建设意义；第 2 章从体系架构和系统结构上对虚拟实验室的架构进行了分析说明；第 3 章简要介绍了建设虚拟实验室的关键技术，包括网络通信技术、数据库技术、后台编程技术和建模技术；第 4 章详细介绍了数据库技术的现状，重点介绍了 SQL 语言；第 5 章对后台技术中的 Java 语言进行了介绍，包括 Java

语言的基本语法和编程技术；第 6 章介绍了后台技术的另一个重点编程技术 JavaScript 语言；第 7 章介绍了一种利用 ExtJs 搭建的基于互联网的仿真平台，并给出了构建技术和方法；第 8 章介绍了几个作者亲自参与过的虚拟实验室具体实例；最后，在第 9 章对虚拟实验室进行了总结和展望。

在此，作者要特别感谢牛振东教授、柴森春副教授和研究生李俊博士、温龙飞硕士、叶光硕士等为本书的编写出版给予的支持与帮助。

由于作者水平有限，本书难免存在一些不足和错误之处，真诚欢迎广大读者交流和批评指正。

蒋耘晨

目 录

第 1 章	概述	1
1.1	虚拟实验室概念	1
1.2	虚拟实验室的分类	3
1.2.1	软件仿真虚拟实验室	4
1.2.2	远程虚拟实验室	5
1.3	虚拟实验室的研究现状	8
1.4	建设虚拟实验室的意义	12
第 2 章	虚拟实验室的架构	16
2.1	虚拟实验室的体系架构	16
2.1.1	基于主机/终端模式的虚拟实验室体系架构	16
2.1.2	基于 C/S 的虚拟实验室体系架构	17
2.1.3	基于 B/S 的虚拟实验室体系架构	18
2.1.4	基于 C/S 和 B/S 混合架构的虚拟实验室	22
2.1.5	基于 CORBA 中间件技术的体系架构的虚拟实验室	25
2.2	虚拟实验室的系统结构	27
2.2.1	虚拟实验室的结构模块	27
2.2.2	虚拟实验室的功能模块	29
第 3 章	虚拟实验室的支撑技术	31
3.1	网络通信技术	31
3.1.1	TCP/IP 协议	33
3.1.2	HTTP 协议	35
3.1.3	SERCOS 协议	36

3.1.4	DataSocket 协议	36
3.2	Web 前台用户交互技术	38
3.2.1	JavaScript 技术	38
3.2.2	ActiveX 控件	40
3.3	Web 后台技术	42
3.3.1	数据库技术	42
3.3.2	Java 技术	44
3.3.3	ASP 技术	48
3.4	虚拟建模技术	50
3.4.1	VRML 技术	50
3.4.2	Flash 技术	51
3.4.3	Quick Time VR 技术	52
3.5	数据采集和控制技术	53
3.5.1	虚拟仪器技术	53
3.5.2	嵌入式系统技术	57
第 4 章	数据库技术	60
4.1	数据库系统简介	60
4.1.1	数据与数据管理	60
4.1.2	数据管理技术的发展阶段	61
4.2	常用数据库管理系统简介	64
4.3	SQL 语言	68
4.3.1	简介	68
4.3.2	SQL 基本语法介绍	69
4.4	数据表建立原则	76
4.5	数据库连接技术	81
4.5.1	ODBC 连接	81
4.5.2	JDBC 技术	81

第 5 章	Java 语言	91
5.1	Java 概述	91
5.1.1	Java 的发展	91
5.1.2	Java 语言对软件开发技术的影响	93
5.1.3	Java 语言的特点	94
5.2	Java 语法基础	98
5.2.1	常量与变量	98
5.2.2	数据类型以及类型转换	101
5.2.3	表达式与流程控制	103
5.2.4	数组	108
5.2.5	字符串	110
5.3	Java 中的类与对象	114
5.3.1	Java 中的类	115
5.3.2	Java 中的对象	116
5.3.3	类的继承	118
5.4	Java 中的异常处理	119
5.4.1	Java 中的异常类型	119
5.4.2	Java 中的异常处理	121
第 6 章	JavaScript 语言	124
6.1	JavaScript 语言简介	124
6.2	JavaScript 语法	126
6.2.1	JavaScript 的数据类型	126
6.2.2	JavaScript 的变量	127
6.2.3	表达式和运算符	127
6.2.4	程序流程控制	128
6.2.5	函数	130
6.2.6	JavaScript 中的对象	131
6.2.7	JavaScript 中的事件处理	135

6.3	JavaScript 与 XML	136
6.3.1	XML 的元素和节点	136
6.3.2	XML 元素对象	136
6.3.3	XMLHttpRequest 对象	137
6.4	JavaScript 安全	139
6.5	Ext Js 框架	142
6.5.1	Ext Js 概述	142
6.5.2	EXT 框架基础	144
第 7 章	基于网络的仿真与控制平台构建	147
7.1	应用 Ext Js 搭建基于网络的仿真平台框架	148
7.1.1	菜单功能基本实现	150
7.1.2	具体元件库	154
7.1.3	树结构	154
7.2	数据库服务器建立	166
7.3	服务连接	171
7.4	网络虚拟控制实验室	178
第 8 章	虚拟实验室具体实例	182
8.1	北京理工大学研究生创新虚拟实验室	182
8.2	中国石油辽河油田分公司数字化油田	195
8.2.1	硬件设计	196
8.2.2	软件设计	199
8.3	英国格拉摩根大学远程网络控制系统虚拟实验室	206
第 9 章	总结与展望	211
9.1	发展建议	212
9.2	发展趋势	213
	参考文献	217

第 1 章

概 述



1.1 虚拟实验室概念

虚拟实验室 (Virtual Laboratory) 最早于 1989 年由美国 University of Virginia 的 William Wulf 教授提出, 用来描述一个计算机网络化的虚拟实验室环境。其实质是构筑一个综合不同工具和技术的子化、网络化的科学研究集成实验环境。在这个实验环境里, 科学家可以非常有效地利用地理上分布于各处的各种资源 (数据、信息、设备、人力等) 来从事科研活动。虚拟实验室后来被 Wulf 形象地形容为一个“无墙的研究中心”。在虚拟实验室中, 参与实验的人员不管地理位置如何分布, 都能共同从事实验研究; 与其他用户进行相互交流、协调工作、使用各处仪器, 并且共享各处的实验数据和资源, 共同完成实验的总结分析并撰写报告。由于所有这些活动都是在分布式网络环境下进行的, 所以虚拟实验室实质上是一个分布式计算机系统。

1999 年 8 月, 联合国教科文组织在美国艾奥瓦州立大学召开的会议上提出了关于“虚拟实验研究中心”和“虚拟研究实验室”科研和教学模式的构想。此次会议将“虚拟实验室”定义为: 为了实现远程协作、实验研究或其他创新活动, 通过分布式信息通信技术产生并发布结果的电子工作室。

远程虚拟实验室设想的提出是为了最大限度地有效利用不同地理空间的人力和物质资源进行科学研究工作, 即使科研人员在分散的远程空间也

可以开展科研工作，可以操作入网在远程实验室的仪器设备、共享入网的数据资源和交流信息等。

会议同时也对远程虚拟实验室的实质达成了共识，即一个分布式计算机系统，在该系统中，配置可具有遥控、遥测功能的网络化研究设备和数据采集平台，有支持协作活动的各种工具，还可以支持数据共享的数字图书馆。

目前有关虚拟实验室的定义主要有两种。

(1) 指在计算机系统中采用虚拟现实技术实现的各种虚拟实验环境，实验者可以像在真实的环境中一样完成各种预定的实验项目，所取得的学习或训练效果等值于甚至优于在真实环境中所取得的效果。

(2) 指一个创造和引导模拟实验的交互环境，即实验场所。它由实验所依赖的模拟程序、实验单元、工具和参考资料组成。用户可以通过增加新的物体，建立新的实验并把它们转换成超文本文件来扩充实验室。

这两种定义侧重不同的方向，但都指出了虚拟实验室实质上是一个无墙实验室，通过计算机网络系统远程控制与交互系统，研究人员或学生将不受时空限制，能随时随地进行虚拟实验操作，共享仪器设备，共享数据和计算机资源，进行协作或得到远程指导等。总结归纳起来，虚拟实验室是以计算机软硬件技术为支撑，用软件开发工具实现的一种虚拟实验环境，通过开发一系列虚拟实验组件来模拟和再现真实的实验环境、实验设备和实验过程，使实验者脱离实际实验条件的束缚，互动地感受实验信息，在更加方便和快捷的条件下，通过一个具有丰富的界面信息、友好的互动能力和强大的数据处理能力的实验环境进行实验。虚拟实验室将计算机、传感器、远程控制、互联网、分布式通讯及多媒体等软硬件有机结合起来，在虚拟现实和计算机仿真技术的支持下，将真实实验的全过程进行计算机虚拟呈现，使参与实验的人员在不同的时间和空间下能身临其境、共享数据资源、协同工作，为科学研究实验、创新实验或工程项目的开展提供良好的技术保障和服务平台。

1.2 虚拟实验室的分类

目前,国内外很多学者和科研院所开展了对虚拟实验室系统的研发工作,同时也取得了一定的成果。从目前虚拟实验室系统的构成来看主要可以分为两类:需要借助真实仪器才能实现的远程控制实验和由纯软件实现的软件仿真实验。两者的主要区别在于是否使用虚拟实验仪器。远程控制网络虚拟实验室与软件仿真虚拟实验室最大的区别除了实验仪器和实验数据的共享之外,前者还要实现客户端对实验仪器设备的远程控制。

远程控制实验,即利用计算机接口与物理设备相连接进行数据采集、转化和传输,使用计算机仿真技术实现仪器测量功能的仿真。在该方式下,通过网络共享硬件资源,服务器负责共享设备的控制、测量数据采集、管理、分发等,客户端构建虚拟仪器面板,用户可以通过客户端操作远程测量设备,实现多用户资源共享。纯软件虚拟仿真,不支持外部硬件设备,通过建立实验对象实体性能模拟的数学模型进行仿真,如建立噪声、频带等电路系统的模型。该方法只提供一个虚拟的仿真实验环境,不能用于对真实信号的测量,其硬件结构仅包括客户端和服务端。对于纯软件虚拟仿真方式,数字化实验室所必需的信息数据库、管理数据库、实验仿真软件等均安装在服务器中,用户通过客户端从服务器下载实验平台,建立与服务器之间的连接。客户端是数字化实验室的个人工作平台,任何连接到网络的用户通过客户端浏览器都可以方便地进入数字化实验室,根据需要进入不同的实验室空间,就像根据不同的实验内容或课题内容进入不同的实验室一样。在使用中,用户可以进行在线浏览、在线仿真、在线控制、在线交流等。

下面对这两种常见的虚拟实验室进行介绍。

1.2.1 软件仿真虚拟实验室

软件仿真虚拟实验室不涉及具体的实验仪器硬件设备，实验仪器和所需实验材料都是通过软件仿真实现的，整个系统也是利用软件模拟实验的过程。通常以 PC 机作为实验平台，服务器端共享本地的虚拟实验室模拟软件平台，接受客户端发送的实验请求，分析和处理实验参数，经过计算、模拟，最终将结果返回给客户端。系统的开发、维护和升级工作一般都集中在服务器端完成。

此类系统的开发、维护等工作一般都集中在服务器端。客户端可以运用 Flash、3DS MAX, Vtml 等软件来完成仪器的真实感设计。系统主要是通过数学模型来模拟仪器的特定性能，并且通过脚本语言来实现系统的交互性。用户可以通过虚拟实验室在没有实际实验仪器设备、元器件的条件下，通过计算机模拟来完成功能正确、可靠性高的电路设计；使用者可以在虚拟实验的基础上，进一步采用实物搭接或制作实际电路。通过对这类虚拟实验室的使用可以减少元器件消耗、节省时间、降低成本和提高工作效率。

优点：此类虚拟实验室最大的特点是成本低、效率高。这样就可以解决因实验经费不足或高档次、高价位设备缺乏所不能开出的实物实验，同时也不会造成因使用不当、管理不善等因素造成的仪器损坏、元器件丢失等现象。同时虚拟实验还可以模拟实验室中没有的设备，而且还可以不受时空的限制方便地进行实验。由于实验中的仪器设备都是用软件实现，所以虚拟实验室允许多人同时实验，资源共享度非常高，因此该类虚拟实验系统具有较高的共享性，不会受到实验设备装置数量的限制，极大地扩大了教学范围。实现过程安全，用户观察实验现象的角度可以超越现实的限制，从而大大地提高了教学效果。软件仿真能够提供良好的交互性，实验具有较强的鲁棒性，只需修改软件就可以随着实验任务的改变而提供不同的实验内容或直接开设全新的实验，所以具有良好的教学适应性。

只需一台服务器就能支持多人共同实验，维护方便，实验费用低，适合大规模的推广。

缺点：仿真效果的实现程序有待进一步探讨，特别是复杂的实验；与物理仪器实验相比，仿真实验会把条件理想化，对学生的动手能力不利。即在使用虚拟仪器实验的过程中，有可能导致学生脱离实际，对真实的实验设施了解不足，对工作中的真实仪器了解不足的问题，因此在虚拟仪器开发过程中，应尽量和实际的仪器对应，并且采取适度的虚拟仪器实验和传统实验结合的方式来实现实验效果的优化。

1.2.2 远程虚拟实验室

远程虚拟实验室包括远程控制虚拟实验室和远程监控虚拟实验室。

1. 远程控制虚拟实验室

以控制实验设备为实际实验控制平台，结合虚拟仪器和网络软硬件资源，组建基于虚拟仪器的远程控制实验系统，与传统实验仪器的不同之处在于，这些实验仪器是一种基于计算机的自动化测试仪器系统，核心部件是可以接受数字控制的实验装置和同时连接实验装置的网络的控制器，即网络虚拟仪器。

网络虚拟仪器由计算机、网络接口、软件、多功能接口卡、控制器、传感器和实际存在的物理仪器构成，如图 1-1 所示。通过软件将计算机硬件资源与仪器硬件有机地融合为一体。将计算机强大的处理能力和仪器硬件的测量控制能力结合在一起，大大缩小了仪器硬件的成本和体积，并通过软件实现对数据的显示、存储及分析处理。网络虚拟仪器的软件可以用 C++、Java 等语言开发，也可以使用 LabVIEW、LabWindows/CVI 进行开发。用户在客户端可以通过网络访问控制器，调节实验装置的参数设置、算法等要素，并通过数据或视频等方式获得实验结果反馈。

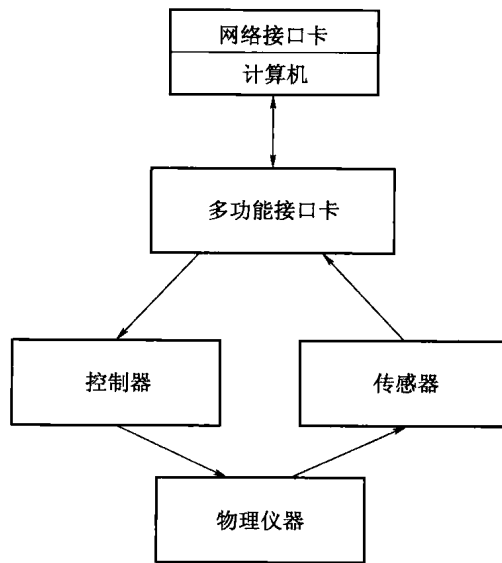


图 1-1 远程控制实验室虚拟仪器端框图

远程测控实验的实验设备在本地，而实验用户在异地，异地用户远程进行数据采集、图像观察、实时控制和交互运行等操作。远程用户通过网络对设备的参数进行设置或者程序的更新，从而达到远程控制实验设备的目的，且能获得真实运行下的实验数据。

优点：此类虚拟实验系统可以充分利用现有的物理仪器和网络资源开展远程实验，不受空间限制，结果跟实地操作保持一致，降低实验成本。通过网络进行远程实物实验，从而实现仪器设备、实验资料、测试经验以及实验数据等的网上共享，大大提高了实验效率和实验资源利用率。

缺点：不支持多人同时操作，资源利用率低。因为实验最终要通过远程控制来对实际的物理仪器操作，所以，一个时间点只能允许一个用户访问一台虚拟仪器，这导致交互性能较弱；对传输和软件要求高，实时性很难保证，虽然有的远程控制采用分时调度的方法来解决用户的共享问题，但这使得某些用户在一台实验装置上进行实验操作时，交互难以保证断断续续的数据反馈和画面刷新，这对用户的实验感受、实验效果、实验显示具有不良影响；远程操作可能会导致仪器损坏，存在安全问题，所以还需要设计一些防止用户误操作导致虚拟仪器受损的防护机制，这也增加了实验的成本。

远程控制虚拟实验室以实验室中实际的物理对象作为远程用户实验的对象。因此，它的设计与实现在安全性和容错能力上比网络虚拟实验室系统难得多。为了让用户在做实验时有身临其境的感觉，远程实验室系统常常伴有视频和音频反馈。一个实验对象在某一时刻只能被一个用户来控制（但可以实现多个用户同时观看）。远程控制虚拟实验室要考虑网络的不确定时延对控制性能的影响。目前国内外有许多学者对网络控制系统进行研究。远程控制实验室网络架构，如图 1-2 所示。

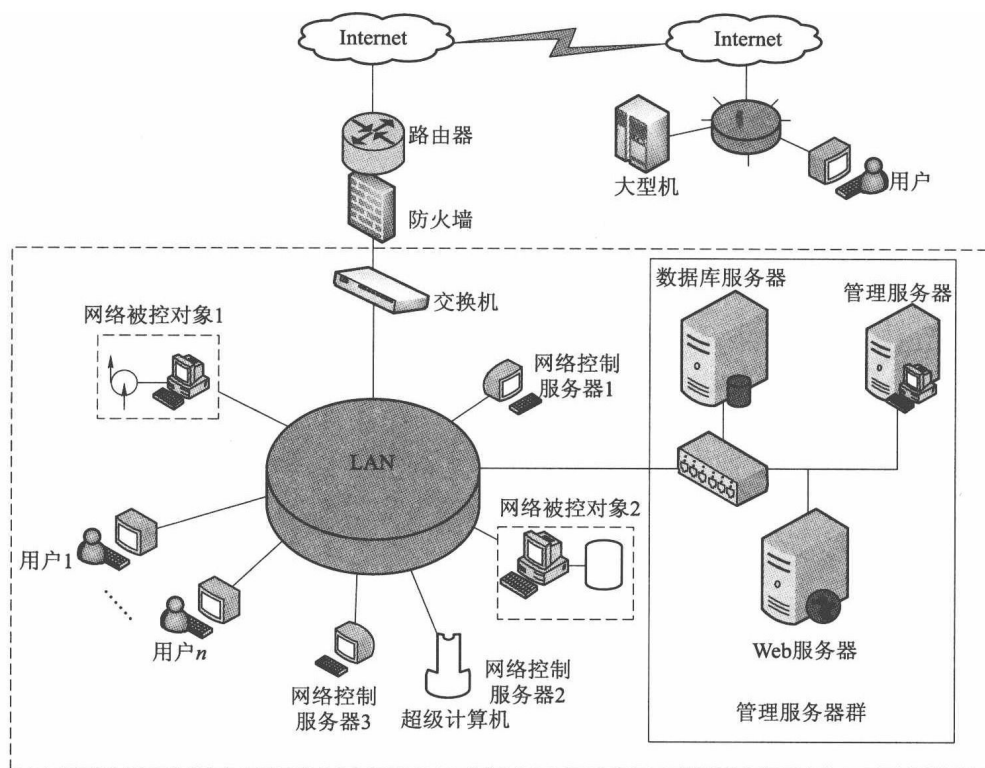


图 1-2 远程控制实验室网络架构

2. 远程监控虚拟实验室

远程监控虚拟实验室主要用于对实验室的环境状态、设备状态的监控和管理。该系统的前端由各个实验室的监测数据采集终端（电表、温度、湿度、光照强度传感器、电源互感器等）组成。系统通过传感器对实验室环境数据进行采集，通过一定的通信方式将数据上传至监控中心的管理平

台，可实现对多校区多实验室环境状态的监控和管理。管理平台可以用 C++、Java 等语言开发，也可以使用 LabVIEW、LabWindows/CVI 进行开发，主要包括虚拟仪表和信息管理系统。远程监控虚拟实验室可实现对实验室用电量的实时监控，了解实验室的工作运行状态和规律；对实验室温度和光照强度的监控，了解实验室办公和实验环境状态；可通过电源互感器对实验室大型贵重仪器的使用状态进行监控，评估大型仪器的需求紧迫性。远程监控实验室网络架构如图 1-3 所示。

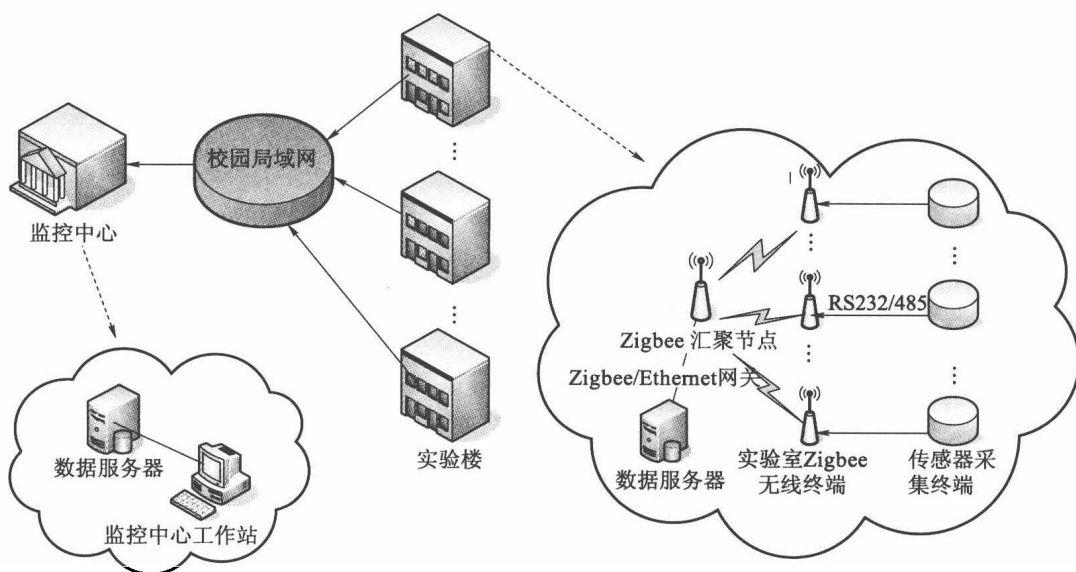


图 1-3 一种远程监控实验室网络架构

软件仿真虚拟实验室是最早出现的虚拟实验室，它侧重于用虚拟的仪器设备来进行实验；远程控制实验室侧重于对实际的实验设备进行远程访问和控制；远程监控虚拟实验室侧重于采集监控终端的数据并用虚拟仪表进行表示。

1.3 虚拟实验室的研究现状

从 1989 年虚拟实验室概念的提出至今 20 余年的时间，虚拟实验室以

其诱人的应用前景吸引了大批专家学者的注意力，各国均在大力开发，目前已经取得显著成果。国内外有很多组织都已经开展了虚拟实验系统的研究和建设工作，特别是在一些著名的大学和虚拟实验室中，已经建好并投入使用的虚拟实验系统也不少。20世纪90年代，美国政府投入巨大财力在海洋学、天体物理学、分子生物学以及核科学四大领域建造了各自的虚拟实验室作为示范工程，开展了一系列探索性研究并取得了实质性进展。同时美国各大高校也在进行着虚拟实验室的研究。其代表性成果有：① 美国斯坦福大学的远程光学虚拟实验室。学生可以远程登录该光学虚拟实验室做实验，实验室向用户提供监听和控制功能及实验室的日程安排、参考资料和分析工具。② 美国伊利诺斯（Illinois）大学的 Nmrscope 系统。通过 Inmmet，研究人员在任何地方都能使用伊利诺斯大学的仪器，只要向该大学递交一个样品，经授权后就可以与服务器联机，然后自行填写设置仪器参数和功能清单，单击屏幕上的按钮就可以进行实验，生成的图像会被传回到研究人员的计算机屏幕上；Johns Hopkins University 的虚拟工程与科学实验室主要利用了计算机新技术和一个交互式多媒体的编程语言 Java，在万维网的平台下展开建设。这个实验室开设课程的目的是向学生介绍工程科学方面的主要实验、问题解决、数据采集、科学解释。主要实验有逻辑电路、石油钻探、机械手控制、管道热传输、桥梁设计、声音传播、热传导等。该虚拟实验室的使用对象可以是高中毕业生和大学新生，而通常实际教学中，相关的实验器材和装置只会给中高年级的大学生使用。

牛津大学新建的化学信息产业中心，允许学生通过互联网在虚拟实验室进行交互式化学实验。N. Simonson & Company 创办的 <http://www.virtlab.com> 网站为学生和教师分别设置了开放式的访问平台，主要针对化学实验研发虚拟实验，避免了通常做化学实验面临的安全问题和材料损耗问题。美国 Stanford 大学机械学院和英国诺丁汉大学物理和天文学院从大二学生到研究生的实验课程中都应用到虚拟仪器技术，包括从简单的数据采集任务到一个团队共同完成一个综合性的实际测试项目。加拿大达尔豪西大学的远程激光虚拟实验室系统、工程学和自然科学学生能随时随地登录虚拟