

# 组态软件控制技术课程远程实验室<sup>①</sup>

钟广海, 姜建芳, 耿旭东

(南京理工大学 自动化学院, 南京 210094)

**摘要:** 为了缓解高校实验教学中实验设备资源不足与社会需求大之间的矛盾, 解决实验设备远程管理中存在的问题, 本文在总结早期远程实验室设计方案的基础上, 讨论了组态软件控制技术课程远程实验室实现方案. 该远程实验室方案采用 VPN(Virtual Private Network)、防火墙技术和 JSP(Java Server Pages)技术, 建立了远程实验室管理系统网站和实现了远程实验之目的. 论文最后通过组态软件 WinCC(Windows Control Center)设计蒸发器远程监控系统实验验证了该方案的可行性.

**关键词:** 远程实验室; 组态软件; VPN; JSP; 防火墙

## Remote Laboratory of the Configuration Software Control Technology Course

ZHONG Guang-Hai, JIANG Jian-Fang, GENG Xu-Dong

(School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Nowadays, experimental resources at universities and colleges sometimes fail to satisfy the society's soaring needs and the problems in remote management of the laboratory equipment have become big headaches. Therefore, combining with the actual situation of the laboratory, this paper proposes a novel design project about remote laboratory of the configuration software control technology course to address those difficulties, which is based on the reference and summary of the design scheme of the early remote laboratory. So, VPN(Virtual Private Network) and firewall technology are adopted to build remote experimental systems. Besides, JSP(Java Server Pages) is applied to achieve remote management in terms of the laboratory website. Finally, the evaporator remote monitoring system is designed to prove the feasibility of the scheme by using configuration software WinCC(Windows Control Center).

**Key words:** remote laboratory; configuration software; VPN; JSP; firewall

随着“工业4.0”和《中国制造2025》的相继提出, 对工业自动化人才的培养将变得越来越重要. 其中, 组态软件控制技术人才培养又是工业自动化发展中不可缺少的部分. 然而, 高校学习资源的有限性与社会需求之间存在着矛盾, 特别是实验教学更加剧这一矛盾. 远程实验室利用互联网与信息技术, 在一定程度上缓解了这个矛盾.

远程实验室应该包括: 能够使用 Web 浏览器访问的用户界面、实验设备网络与控制器模块、设备操作与监控系统和实验室预约子系统<sup>[1]</sup>. 早期远程实验室主要利用 Internet、Web 技术与 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 软件来实现远程访问<sup>[2]</sup>,

大部分只能远程操作或者监控已经编写好程序的实验设备, 无法让学生自己来设计实验程序与监控程序<sup>[3,4]</sup>. 随着远程桌面与 VPN 技术的发展, 当前的远程实验室能够实现部分远程功能, 让学生远程进行部分实验设计. 其中, 文献[5,6]采用 VNC 远程桌面技术实现远程实验, 但从实验室安全以及数据传输速率上考虑, 其方案不太适合有大量实验设备的实验室. 文献[7,8]针对远程实验室建设提出了 VPN 技术, 但对实验室设备以及远程实验者缺乏有效的管理.

作者结合上海某高校西门子工业自动化技术实验室组态软件控制技术课程远程实验室建设, 采用 VPN、Web、远程用户认证和防火墙等技术实现了远

<sup>①</sup> 收稿时间:2015-07-06;收到修改稿时间:2015-08-31

程实验室管理系统网站的建立和组态软件控制技术课程远程实验之目的。

## 1 组态软件控制技术课程远程实验室总体设计

该远程实验室的实验台是由西门子 PLC (Programmable Logic Controller)、西门子标准教学控制对象和半实物仿真被控对象以及相应实验室网络构成。针对该实验室的特点,远程实验室使用 OpenVPN 软件来构建虚拟专用网络通道,并结合 MySQL 数据库来实现对远程用户的认证与控制<sup>[9]</sup>。同时利用 Linux 服务器下的防火墙技术来对远程用户的实验过程数据包进行过滤。最后采用 JSP 技术对整个实验室管理系统网站进行开发,并部署到实验室的服务器上。通过 Internet, 学生可以更加灵活的完成组态软件控制技术课程实验。

组态软件控制技术课程远程实验室的整个网络拓扑结构设计如图 1 所示,一共分为四层:用户层、服务器层、控制和监控层以及被控对象层。

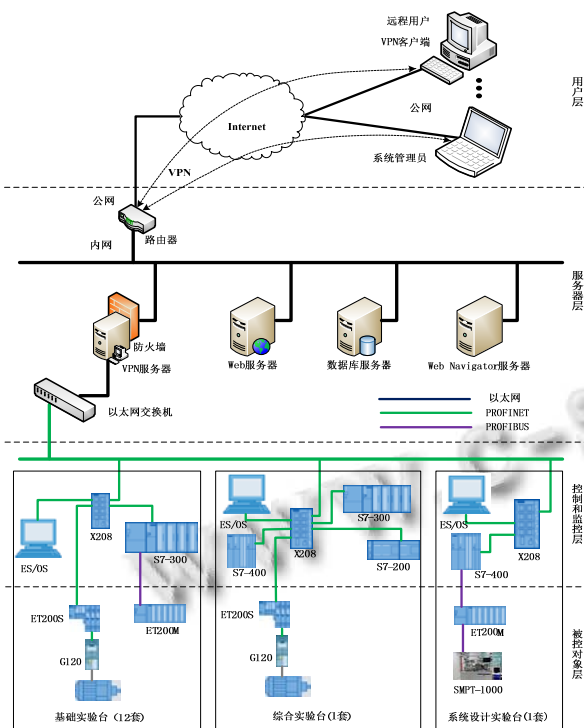


图 1 远程实验室网络拓扑结构

### 1.1 用户层

用户层的访问者既可以是实验室系统管理员也可以是远程实验者。但是在进行远程实验之前,远程实

验者需要到实验室管理系统网站上注册。实验者通过验证后获取用户名和密码,并下载网站提供的 OpenVPN 客户端软件以及相应的服务器证书和客户端配置文件。该证书和配置文件主要用于 VPN 通道加密和客户端身份认证。

### 1.2 服务器层

服务器层是远程实验室管理系统的核心,它的安全与可靠至关重要。其中,VPN 服务器后面直接连接的是实验室实验设备子网,是对远程实验用户进行控制的主要设备。同时,防火墙也部署在 VPN 服务器上,便于管理和控制远程用户进行实验操作过程。实验室管理系统网站运行在 Web 服务器上,用户注册表、实验预约表以及实验资料等信息单独存储在数据库服务器上。当实验室实验设备空闲时,可以将组态好的 WinCC 项目通过 Web Navigator 服务器<sup>[10]</sup>发布到网上,供学生远程浏览学习。

### 1.3 控制和监控层

控制和监控层主要包括编程和监控计算机、西门子 X208 系列交换机以及西门子 S7 系列的控制器,这些设备与被控对象一起供学生在本地实验室完成组态软件控制技术课程实验。实验室中的组态编程计算机、PLC 以及 ET200S 模块都是通过 X208 交换机连接到以太网交换机中,控制和监控层内部网络主要通过 PROFINET 和 PROFIBUS 进行通信。

### 1.4 被控对象层

实验室中的被控对象主要是由一些真实设备的等比例仿真模型和 SMPT-1000 半实物仿真被控对象组成。其中,基础实验台 12 套,综合实验台和系统设计实验台各一套,最多可以同时供 14 人进行实验。虽然不能等同于真实的被控对象,但相对于虚拟实验室<sup>[11]</sup>使用的仿真被控对象,这些设备模型能够较好的模拟真实设备运行特征。被控对象与控制器之间通过 PROFINET 或者 PROFIBUS 总线连接,最后通过以太网将控制器存储区里面的数据发送给本地监控计算机或者远程实验者的监控计算机。

## 2 组态软件控制技术课程远程实验室的软件设计

组态软件控制技术课程远程实验室的软件设计主要包括远程实验室管理系统设计和组态软件控制技术实验内容的设计。

### 2.1 远程实验室的管理系统设计

远程实验室的管理系统网站是整个远程实验室的管理核心, 实验室管理员可以通过使用该网站来管理已经注册的用户以及将要进行或者正在进行远程实验的用户. 管理网站使用 Tomcat+JSP+MySQL 进行开发, 部署在 Linux 服务器中. 整个管理系统的网站功能结构如图 2 所示, 同时还截图了网站部分模块的运行界面如图 3 所示. 整个网站的关键部分之一是实验预约和安排实验, 它监控着远程用户的实验行为.

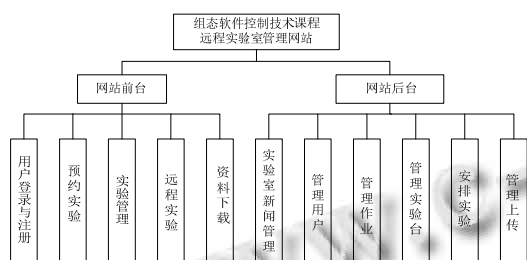


图 2 远程实验室管理系统网站结构图



图 3 远程实验室管理系统网站界面

注: 远程实验室管理系统网站前台实现实验预约管理与后台实现实验安排管理

当远程用户预约好实验以后, 实验室系统管理员通过网站查看预约信息并决定预约者是否可以进行实验. 当用户获得管理员认可以后, 便可获取远程实验台的基本信息以及样例实验台的 Web 访问用户名与密

码. 通过 Web 访问用户名和密码可以远程查看 Web Navigator 服务器中样例实验的运行效果, 便于学生自己设计组态软件控制技术实验. 在实验过程中, 如果实验室管理员发现远程用户有违规行为, 那么他可以直接暂停或者停止该远程用户的实验. 如果远程用户预约实验结束时间点到达, 系统会自动断开该用户的实验连接, 并将该实验台提供给下一个预约者进行使用. 整个远程实验流程如图 4 所示.

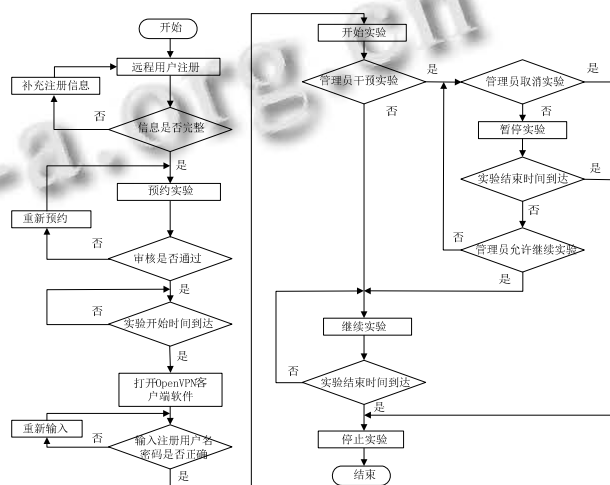


图 4 远程用户实现远程实验流程图

远程用户预约实验的开始与结束时间存储在 MySQL 数据库中, 通过 VPN 服务器和 Linux 防火墙的 iptables 服务来进行控制, iptables 配置文件的控制策略如表 1 所示. 管理系统网站通过调用 JSP 中的 Servlet 程序间接执行 Linux 服务器下的 shell 脚本, 通过 shell 脚本调用 telnet 工具和管理命令来断开 VPN 客户端的连接.

表 1 Linux 防火墙策略

远程用户	VPN 客户端 IP	实验台设备 IP	防火墙策略
Client1	10.2.0.5	192.168.0.1-192.168.0.10	拦截所有源地址不是 10.2.0.5 且目的地址不是 192.168.0.1-192.168.0.10 的数据包
Client2	10.2.0.9	192.168.0.11-192.168.0.21	拦截所有源地址不是 10.2.0.9 且目的地址不是 192.168.0.1-192.168.0.10 的数据包
...	...	...	...
Client14	10.2.0.57	192.168.0.131-192.168.0.140	拦截所有源地址不是 10.2.0.57 且目的地址不是 192.168.0.131-192.168.0.140 的数据包

### 2.2 远程实验室的实验内容设计

本文使用 SMPT-1000 中的蒸发器作为被控对象,

控制器为西门子 S7-400 PLC, 并使用 WinCC 组态软件完成蒸发器远程监控系统的设计实验. 蒸发器是一种

通过加热来完成溶液浓缩或者从溶液中析出物质的设备<sup>[12]</sup>. 该系统根据被控对象的特性和工艺流程的需要, 分别设计了相应的 PLC 控制程序和 WinCC 监控程序. PLC 控制程序在 OB1 主程序中调用各个子程序, 最后通过 OB35 完成控制量的输出<sup>[13]</sup>.

远程实验室的 PLC 控制器和远程实验者的 WinCC 监控计算机通过 WinCC 变量管理器中的“SIMATIC S7 PROTOCOL SUITE”下的“TCP/IP”通道单元建立通信连接, 并设置该通信连接 IP 地址为

192.168.0.1(即实验室 PLC 的 IP 地址), WinCC 监控的外部变量与 PLC 中变量地址如表 2 所示. 实验根据被控对象特性设计了相应的监控界面和相应的消息系统、过程值归档和报表系统等功能. 如果远程实验者不需要编写 PLC 程序, 那么可以直接通过获取表 2 中“PLC 中的变量地址”来监控被控对象. 最后, 通过 WinCC 的 Web Navigator 组件将创建的 WinCC 项目发布到 Web Navigator 服务器上, 供学生作为样例程序进行 Web 访问.

表 2 WinCC 外部变量与 PLC 中的变量地址对照表

存储区域	PLC 中的变量地址	WinCC 外部变量说明
共享数据块	DB1.DBD0~DB4.DBD16	浓缩液流量(F3)PID 控制块参数
	DB2.DBD0~DB4.DBD16	二次蒸汽流量(F4)PID 控制块参数
	DB3.DBD0~DB4.DBD16	蒸发器液位(L1)PID 控制块参数
	DB4.DBD0~DB4.DBD16	蒸发器温度(T1)PID 控制块参数
	DB20.DBD0~DB20.DBD40	过程值/阀门值
位存储	M0.0~M4.3	报警指示灯与 PID 控制器手/自动切换
位存储	M5.0~M5.4	操作界面按钮
输出过程映象	Q0.0~Q0.2	操作界面指示灯

### 3 组态软件控制技术课程远程实验室演示

在确保本地实验室的网络连接都正常的情况下, 将本地实验设备的内网 IP 地址(设定实验室设备所在子网为 192.168.0.0/24, 选取目标 PLC 的 IP 地址为 192.168.0.1)固定分配好. 远程用户登录 VPN 服务器后将自动获得 VPN 服务器分配的虚拟 IP 地址(此处为 10.2.0.5), VPN 服务器将该远程客户端发送来的数据通过内部路由转发给实验室内网中 IP 地址为 192.168.0.1 的 PLC. 图 5 右半部分使用 pathping 命令进行路由路径测试, 确保远程用户可以访问目标 PLC, 其中 10.1.1.1 为 VPN 服务器虚拟 IP 地址. 同时, 运行 VPN 服务器的 Linux 系统防火墙将拦截所有源地址 IP 不是 10.2.0.5 且目标地址 IP 不是 192.168.0.1 的远程客户端数据包. 这样, 就可以保证远程用户与目标设备一一对应, 避免擦除其他实验者的 PLC 程序或者监控到其他实验者的实验设备, 远程 PLC 程序下载过程如图 5 左半部分所示.

由于本实验组态画面较多, 因此只选取一些张具有代表性的界面作为参照, 如图 6 所示. 整个远程实验监控数据趋势界面如图 7 所示, 图 7 中选取了蒸发器的液位趋势曲线.

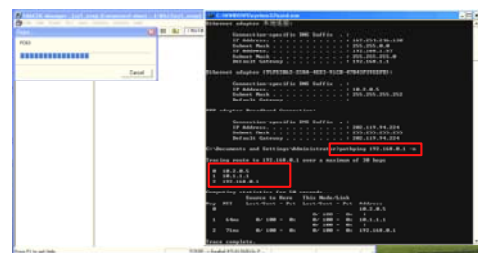


图 5 远程下载 PLC 程序与 pathping 路由测试



图 6 远程监控程序工艺流程界面和系统参数界面

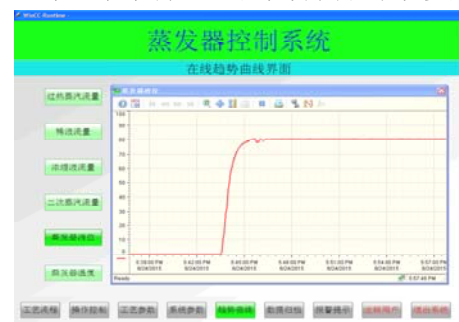


图 7 远程实验在线趋势曲线界面



#### 4 结语

通过组态软件控制技术课程远程实验室以及相应的管理系统的设计与实现,使学习者在任何地点、任何时间都可以通过 Internet 完成实验. 远程实验室这一模式可以广泛的应用于其他相关领域的实验设备共享与实验室资源的远程访问控制,为工业自动化人才培养提供较好的支撑.

#### 参考文献

- 1 Salihbegovic A, Tanovic O. Internet based laboratories in engineering education. 2008 30th Conf. on Information Technology Interfaces. IEEE. 2008. 163-170.
- 2 姜建芳,杨秀爽,陈新华,王军旺.基于 WinCC Web Navigator 的 PLC 远程实验室设计.实验室研究与探索,2008,27(12): 57-62.
- 3 Möller T, Rosin A, Hoimoja H, Muur M. PLC based control of remote laboratory experiments. International Biennial Baltic Electronics Conference. IEEE. 2008. 273-276.
- 4 Aydogmus Z, Aydogmus O. A web-based remote access laboratory using SCADA. IEEE Trans. on Education, 2009, 52(1): 126-132.
- 5 Kacur J, Laciak M, Durdán M. Remote monitoring and control of the UCG process. 2011 12th International Carpathian Control Conference. IEEE. 2011. 176-180.
- 6 孙荣,吕淑平,苏丽,于鑫,李冰.基于西门子 PLC 的远程实验平台建立与实现.实验技术与管理,2013,30(10):87-89.
- 7 Mendes MJGC, Martins L. An internet remote laboratory to teach industrial automation. 2014 7th International Conference on Human System Interactions (HSI). IEEE. 2014. 144-149.
- 8 乔丙立,姜建芳,徐慧.PLC 控制系统远程实验室的设计与实现.中国现代教育装备,2015,(1):36-38.
- 9 陶利君.构建虚拟专用通道:OpenVPN 服务器详解与架设指南(基于 Linux).北京:清华大学出版社,2012.
- 10 甄立东.西门子 WinCC V7 基础与应用.北京:机械工业出版社,2011.
- 11 唐鸿儒,宋爱国.基于 Internet 的远程控制实验室研究.测控技术,2006,25(2):54-58.
- 12 袁凯,姜建芳.基于 PCS7 的蒸发器控制系统设计.工业控制计算机,2014,(10):56-58.
- 13 姜建芳.西门子 S7-300/400 PLC 工程应用技术.北京:机械工业出版社,2012.