

# 基于 LabVIEW 的生物发酵过程远程在线监控系统设计

陈斌<sup>1</sup>, 袁雪<sup>2</sup>, 管国强<sup>1</sup> 鲁中巍<sup>3</sup>

(1. 江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013; 2. 江苏大学机械工程学院, 镇江 212013;

3. 江苏大学电气信息工程学院, 镇江 212013)

**摘要:** 微生物发酵工程是现代生物技术及其产业化的基础, 随着微生物技术的迅速发展, 发酵工业的生产规模不断扩大, 迫切要求对发酵过程进行先进的控制和优化。目前, LabVIEW 在发酵过程在线监测与自动化控制领域已经有了一些成功的应用, 并越来越受到欢迎, 但是大多数研究以上下位机的控制方式为主, 对发酵过程进行异地网络化监控少有报道, 该文详细介绍整个系统在线监控与远程监测过程的实现。利用 LabVIEW 虚拟仪器开发平台, 结合可编程逻辑控制器 (PLC) 网络和各类传感器, 基于 Modbus 总线通信协议, 实现了生物发酵过程各参数的实时采集和控制, 并利用 DataSocket 技术实现了远程监控。详细介绍了监控系统的结构和硬件构成, 以及各功能模块实现的关键技术。实验表明: 该系统运行可靠稳定、能较好地实现发酵过程远程数据传输和实时监控。

**关键词:** 发酵过程; 远程监控; LabVIEW; 串口通讯; 数据库; Datasocket

**中图分类号:** TP 391.8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-8-0174-04

陈斌, 袁雪, 管国强, 等. 基于 LabVIEW 的生物发酵过程远程在线监控系统设计[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 174—177.

Chen Bin, Yuan Xue, Guan Guoqiang, et al. Remote monitoring and on-line control system of biological fermentation process based on LabVIEW[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 174—177.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

虚拟仪器技术是 20 世纪 90 年代以来随着计算机技术的进步而逐步发展起来的新仪器技术, 是将仪器技术、计算机软硬件技术、网络技术和通信技术等有机的产物<sup>[1-5]</sup>。LabVIEW 是美国国家仪器公司推出的一种基于 G 语言的虚拟仪器软件开发工具, 是目前开发效率较高、应用较广泛的一种图形化语言。

随着 Internet 技术与 Web 数据库技术的迅速发展, 建立开放式、可扩展的远程监控系统已成为现实, 基于网络的数据共享、数据发布以及远程监控是大势所趋, 虚拟仪器网络化已经成为研究的热点之一。稳定可靠的远程测控系统节省大量的人力和物力, 而且可以异地共享测试数据和远程监控。目前, 该技术在国内外的航空、航天、工业、通信、汽车、教学、电力和生物医学等众多领域内获得了广泛的应用<sup>[6]</sup>。

生物发酵过程是一个复杂的过程, 生物参量测量困难, 影响因素错综复杂, 而且生物发酵时, 温度、罐体压力、pH 值、溶氧浓度、搅拌速度等参数的监控对发酵最后得率至关重要<sup>[7]</sup>。随着微生物技术的迅速发展, 发酵工业的生产规模不断扩大, 研究和开发计算机控制技术在发酵过程中的应用十分必要, 也很有现实意义。近年来, 将虚拟仪器技术应用到发酵测控系统中成为新的研究方向, Gregory 和 Keay<sup>[7]</sup>等利用 LabVIEW 编写程序针对酵母的补料分批培养建立了一个比生长速率控制系统来控制酵母的生长。Turner 和 Gregory<sup>[8]</sup>等利用重组大肠

杆菌的补料分批培养进行在线分析监控。上海交大的修志龙, 邵惠鹤<sup>[9]</sup>研究的发酵测控系统采用上位机通过工业以太网与嵌入式下位机通信。北京大学的汲长征, 王建林<sup>[10]</sup>等利用虚拟仪器技术实现了酵母发酵的过程控制, 大大提高了酵母发酵的生产率。但是这些研究大多数都是局限在上下位机结合的方式进行工作, 国内对生物发酵实现基于 Internet 的实时监控并未见报道, 由于 LabVIEW 能方便地与 Internet 相连, 为数据的自动采集和远程实时监测提供了一种理想的解决方案, 本课题就是在这样的背景下提出来的, 对上下位机的控制方式进行了改进, 研究并实现了基于 Internet 的生物发酵过程远程监控。

本监控系统利用上位机作为服务器, 网络上的任意一台 PC 机作为客户端, 采用 LabVIEW 7.1 作为前台开发工具, 以 SQL Server 2000 作为后台数据库, 以 PLC 作为下位机, 实现了对下位机的数据采集和对数据的分析, 保存, 打印, 报警, 显示等, 不仅可以在工业现场操作间对下位机进行实时监控, 而且可以通过 Internet 实现对发酵系统整个生产的远程监控, 优化了生产工艺, 提高了设备的可用率, 形成了一个功能良好的数据采集显示以及控制系统。本系统在江苏格瑞生物有限公司某型号发酵控制系统中得以很好的应用。

## 1 监控系统总体设计

整个系统由两部分组成, 一是现场数据采集与传输部分, 二是 Web 与数据库部分。整个监控系统总体设计如图 1 所示。

现场数据采集传输部分是系统的底层, 它由多台 PLC 和 RS232C/485 总线组成的测控网络。首先, 各类传感器信号如: 温度、压力、溶解氧、pH 等经过 A/D 转换,

收稿日期: 2007-09-25 修订日期: 2008-04-08

作者简介: 陈斌 (1960—), 男, 江苏省镇江人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事网络化虚拟仪器, 近红外光谱仪器的应用研究。镇江市学府路江苏大学食品学院, 212013。Email: ncp@ujs.edu.cn

输出 4~20 mA 电流或 0~5V 电压变送信号到现场各个下位 PLC 中, 经过分析处理后, 一方面送到各个 PLC 站点的触摸屏, 进行显示, 另一方面产生输出信号, 控制各种执行器, 如: 酸泵、碱泵、补料泵等。Web 服务器通过串行口, 经过 RS232C/485 总线, 采用 Modbus 通信协议与现场 PLC 网络进行实时通讯, 最后将采集到的信号送到数据库服务器中存储起来。

Web 与数据库部分的体系结构采用目前流行的、基于标准协议的三层客户端/服务器 (C/S) 模型, 建立三级系统: Web 服务器、数据库服务器、远程客户终端。其中 Web 服务器和数据库服务器运行在同一台 PC 机上, 这种结构提供了系统更大的灵活性与开放性, 三个层次之间通过一定的接口进行连接, 只需知道接口参数即可与其他部分通信, 它们的管理与维护是相互独立的。

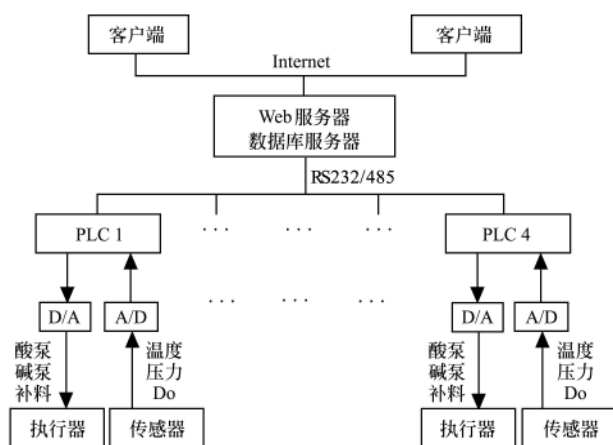


图 1 系统总体设计框图

Fig.1 Sketch map for the total system design

## 2 系统主要功能模块设计

运用 Web 技术实现设备的远程监测, 已经越来越多地成为设备监测系统不可或缺的一部分。系统服务器监控软件是整个发酵监控系统中最关键的部分, 对上和用户打交道, 对下和 PLC 通信获取采集信息。监控软件主要完成的功能有: 控制参数设定, 控制参数的曲线拟合, 数据实时显示、查询、分析、报表处理和报警; 在线实时监测、实时曲线趋势显示, 远程实时通信。

### 2.1 人机界面设计

用户界面设计是软件系统中重要的一部分, 作为软件系统与用户交互窗口, 用户界面的好坏, 在一定程度上决定着软件受欢迎的程度。所以必须在满足过程实时监控的基础上, 配以灵活、多样、友好的人机界面<sup>[1]</sup>。一个监控软件的用户界面通常由登陆画面, 总貌画面, 参数设定画面, 趋势画面, 远程发布和数据查询分析画面组成。监控界面如图 2 所示, 它给操作人员提供一个界面友好, 可操作性强的控制面板, 在参数设定界面分别对需要监控的从机进行控制、调节、校正参数的设定后, 便进入监控主界面, 这时各参数控制设定值和实时测量值、报警指示、各执行器工作状态以及各参数监控实时趋势图都显示在界面上, 主界面以全屏的方式显示,

操作人员可方便地对整个发酵过程进行全面监测。

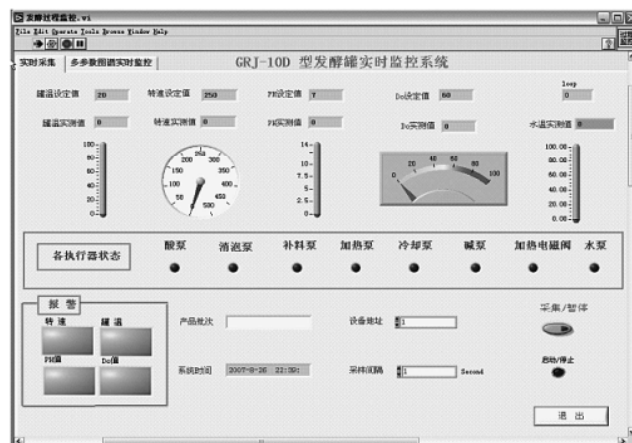


图 2 监控系统主界面

Fig.2 Main interface of monitoring system

### 2.2 串口通讯数据采集系统的设计与实现

Web 服务器通过串口与 PLC 通信采用 Modbus 通信协议, Modbus 通信协议是工业控制器的网络协议中的一种, 是应用于电子控制器上的一种通用语言, 通过此协议, 控制器相互之间、控制器经由网络和其他设备之间可以通信<sup>[12]</sup>。Modbus 的物理层采用 RS-232 或 RS485 串行接口, 控制器有两种传输模式: RTU 和 ASCII。本系统采用 Modbus ASCII 方式。

在 LabVIEW 中, 进行串口通信的基本步骤: 第一, 初始化端口, 用串口初始化节点设定进行串口通信的端口号、波特率、停止位、校验、数据位等; 第二, 读写端口, 利用串口读写节点, 从串口中读入或输出数据。第三: 延时; 第四: 关闭端口。根据串口通信的特点, 我们采用层叠式顺序结构, 首先对串口进行初始化, 串口初始化完成后, 串口资源完全被该程序占有, 其他程序将不能使用该串口的任何资源。串口初始化在程序中只要用到一次即可, 重复地对串口进行初始化, 可能造成死机<sup>[13]</sup>。然后, 根据要采集的从机地址号, 按照 Modbus ASCII 通信协议规定的方式写好发送命令帧, 经过 LRC 校验无误后利用 Write.vi 函数将命令帧发送给对应的 PLC, 经过延时等待, 用 Read.vi 函数把 PLC 应答帧命令读取出来, 经过数据处理, 不同地址编号的 PLC 中各发酵参数的实时测量值被采集到了服务器中, 并进入数据库加以保存以备调用, 最后再关闭串口。整个数据采集部分采用了 While 循环结构, 并且在监控前面板设计了“采集”按钮。根据实际需要, 本系统还设置了采集时间间隔。当“采集”按钮按下时, 系统开始连续采集数据, 并对采集的数据进行数据分离, 一部分用于实时显示, 一部分存储到数据库中, 用于数据分析查询和故障诊断; 同时, 采集按钮变成暂停按钮, 如果发生异常, 可以通过暂停按钮来中止 PLC 的运行。

### 2.3 实时数据库设计

#### 2.3.1 LabSQL 简介

LabSQL 是一个多数据库、跨平台的 LabVIEW 数据库访问工具包, 支持 Windows 操作系统中任何基于 ODBC

的数据库, 包括 Access, SQL Server, Oracle, Sybase 等。

LabSQL 利用 Microsoft ADO 以及 SQL 语言来完成数据库访问, 将复杂的底层 ADO 及 SQL 操作封装成一系列的 LabSQL Vis, 按照功能可分为: Command Vis, Connection Vis, Recordset VIs 和 Top Level VIs 四类。

### 2.3.2 数据库实现

本系统采用 LabSQL 来实现访问本地 SQL Server 2000 数据库, 使用 Microsoft ADO 控件的远程数据库访问功能, 实现对数据库的访问。

第 1 步: 由图 3 中的①ADO Connection Create. vi 和②ADOConnection Open. vi 完成建立与数据库的连接。首先利用 ADO Connection Create. vi 创建一个 Connection 对象, 然后利用 ADO Connection Open. vi 建立与数据库的连接。数据库由 Connection String “DSN=myNewDB” 指定。

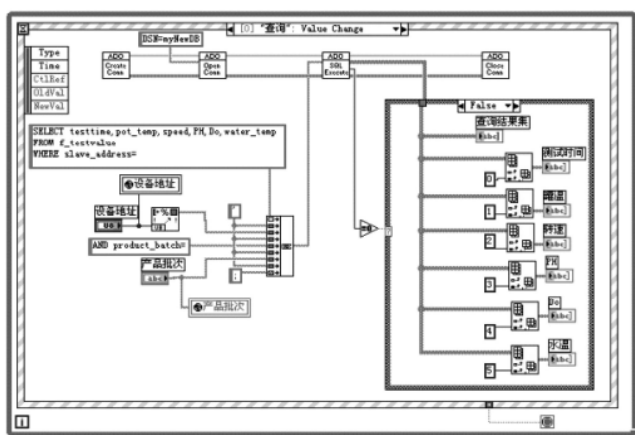


图 3 查询界面程序框图

Fig.3 Block diagram of query interface

第 2 步: 利用图 3 中的③ADO Connection Execute.vi 执行 SQL 查询命令。根据监控从机地址号和产品批次作为查询条件, 把 “SELECT \* FROM f\_testvalue WHERE slave\_address= “ ” AND product\_batch= “ ”; ” 和用

concatenate strings. vi 把数据连接起来, 作为 LabSQL 数据库访问的查询字。

第 3 步: 利用图 3 中的④SQL Fetch Data(GetString). vi 获得查询结果, 并送至前面板窗口中名为 SQL 数据库查询结果的表格中显示。运行 VI, 可得到查询结果。图 3 为查询界面的程序框图。

### 2.4 DataSocket 技术及远程通信技术实现

DataSocket (DS) 技术是美国国家仪器公司 (National Instruments, NI) 开发的专门面向测量和网络的实时高速数据交换技术。DS 技术基于 TCP/IP 协议并对其进行高度封装, 摒弃了较为复杂的 TCP/IP 底层编程, 克服了传输速率较慢的特点, 只需要设置资源定位符 URL (Uniform Resource Locator) 就可以在局域网和 Internet 上进行实时传输数据, 适合于远程数据采集、控制和数据共享等应用程序的开发<sup>[14-16]</sup>。

DS 支持多种通信协议, 这些协议使用统一资源定位符 URL 来连接数据源和数据目标, 其不同体现在 URL 的前缀上, 主要包括 OPC、LOGOS、FILE、FTP 和 DSTP 等协议<sup>[17]</sup>。

目前应用虚拟仪器技术组建的测量网络大多采用 DSTP 协议<sup>[14]</sup>。DSTP (DataSocket Transfer Protocol, DS 传输协议) 是专门为 DS 共享实时数据而设计的协议, URL 填写格式为: dstp://server name/ data 或 dstp://211.65.87.74/data, DSTP 指 DS 传输协议, 中间段是主机 IP 地址或标识, 最后一段是数据标签, 在 DS 服务器上为特定的数据项地址。

服务器端程序框图利用 DataSocket Write 节点将打包好的数据发布到 URL “dstp://211.65.87.74/ ferment” 指定的位置中, 客户端的 VI 利用 DataSocket Read 节点将数据从 URL 指定的位置读出, 并解包还原原来的数据类型到前面板各控件显示, 服务器端和客户端程序框图如图 4 和图 5 显示。通过实验, 在远端可很好地观察到数据和波形的实时变化, 实现了对生物发酵过程远程监控的目的。

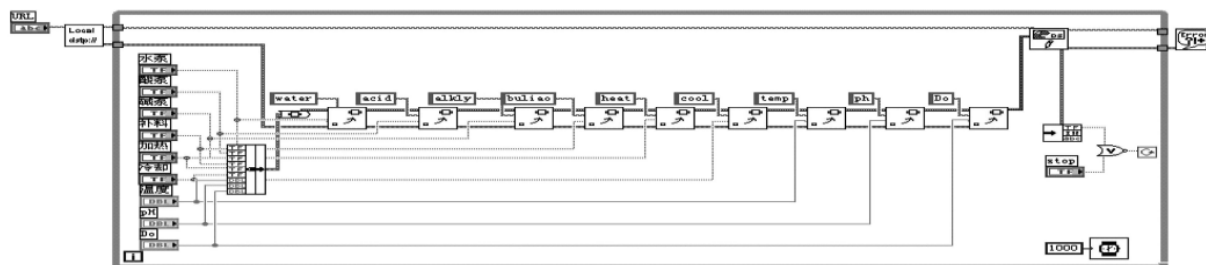


图 4 服务器端框图程序

Fig.4 Block diagram of server

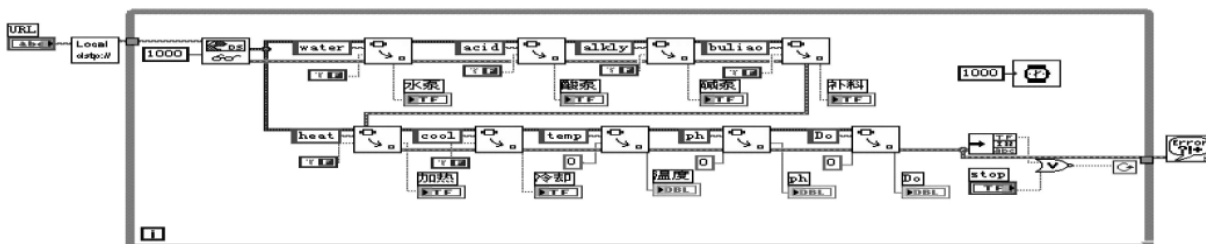


图 5 客户端框图程序

Fig.5 Block diagram of client

### 3 结 论

该系统通过测试,较好得完成了生物发酵过程的在线监控和远程测控任务,得到的数据可靠性强,系统工作稳定,实用性强,系统人机交互界面清晰美观,使用方便,让用户对设备的远程操作如临现场。随着计算机技术、网络技术和虚拟仪器技术的发展,基于 LabVIEW 的生物发酵过程在线监控及远程监控系统应用前景广阔,发展空间巨大。

本文的创新点是把 LabVIEW 和 Modbus 总线协议以及 Datasocket 技术应用到生物发酵过程的在线监控和远程监控中,开发出人性化程度很高的人机控制界面,实现对发酵过程的远程监控。

#### [参 考 文 献]

- [1] 何岭松,张 蓉. 基于 Web 的网络化虚拟仪器技术及应用[J]. 中国机械工程, 2003, 13(9): 759—761.
- [2] 罗桂娥,杨欣荣,陈明义,等. 虚拟仪器技术在教学上的应用[J]. 电气电子教学学报, 2002, 24(6): 78—80.
- [3] Stanislaw L. Randziov. Towards a global virtual instrument control and a virtual link between experiment and modeling [J]. Thernochimica Acta, 2000, 355: 107—133.
- [4] John C. Wallera, Natalie Fosterb. Training via the web: a virtual instrument [J]. Computers & Education, 2000, 35: 161—167.
- [5] Taner A H. Virtual Instrumentation: a solution to problem of design complexity in intelligent instrument [J]. Measurement/Control, 1997.
- [6] 崔玉玲,班建民,陆卫忠. 基于网络的分布式水质监控系统设计[J]. 微计算机信息, 2006, 22(11-1): 167—169.
- [7] Gregory M E, Keay P J, Dean P, et al. A Visual programming environment for bioprocess control[J]. Biotechnol, 1994, 33(3): 233—241.
- [8] Turner C, Gregory M E, Thornhill N F. Closed-loop control of fed batch cultures of recombinant E. coli using on-line HPLC[J]. Biotechnol Bioeng, 1994, 44(7): 819—829.
- [9] 程 辉,邵惠鹤. 生物发酵装置上位机软件的开发和设计[J]. 自动化仪表, 2005, (1): 47—49.
- [10] 汲长征,王建林,李冬冬. 基于虚拟仪器技术的酵母发酵监控系统的设计[J]. 仪器仪表用户, 2004, (2): 24—25.
- [11] 修志龙,绍惠鹤. 基于 Labwindows/CVI 的生物发酵监控系统的设计[J]. 微型电脑应用, 2005, 21(9): 19—21.
- [12] MODICON, Inc. Modicon Modbus Protocol Reference Guide [Z]. 1996.
- [13] 王 颖,程 明,周 伟. labVIEW7 Express 在火车刹车控制系统中的应用[J]. 电工技术杂志, 2004, (8): 49—51.
- [14] 杨乐平,李海涛,赵勇,等. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [15] National Instruments Crop. LabVIEW advanced performance & communication course manual[Z]. Austin USA: National Instruments Corporation, 2001: 17—49.
- [16] 尹兴波,马海瑞,周爱军. 基于 DataSocket 技术的 LabVIEW 远程测控[J]. 自动化与仪器仪表, 2005, (4): 61—63.
- [17] Podesta L. A Web browser for remote control of measurement systems[J]. Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2002, (1): 647—649.

## Remote monitoring and on-line control system of biological fermentation process based on LabVIEW

Chen Bin<sup>1</sup>, Yuan Xue<sup>2</sup>, Guan Guoqiang<sup>1</sup>, Lu Zhongwei<sup>3</sup>

(1. College of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. College of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

3. College of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** Microbe fermentation engineering is the basis of modern biological technique and industrialization, with the rapid development of microbe technique and the increasing enlargement of manufacturing dimensions in the fermentation industry, it is urgent to carry through advanced optimization and control for the fermentation process. Presently, LabVIEW as a new development tool has been successfully applied in the monitoring and on-line control of biological fermentation field, and becoming more and more popular. However, most of the researches are limited to the mode of host computer controlling slave computer, and remotely monitoring for the fermentation process is rarely reported. Therefore, the realization for the remote controlling and monitoring of the biological fermentation process is presented in detail in this paper. So, based on LabVIEW as development platform, combined with programmable logic controller (PLC) network and different sensors, and according to the Modbus serial bus communication protocol, the whole system not only realized data real-time acquisition and control for the different parameters of biological fermentation process, but also actualized remote control by using Datasocket technique. The total framework and hardware structure of the monitoring system, as well as the key technique for each functional module are described detailedly in this paper. It is proved that the system is safe and reliable, and successfully applied in some model fermentation device.

**Key words:** fermentation process; remote control; LabVIEW; serial communication; Datasocket