

# 基于 Matlab GUI 的三容水箱液位实时监控系统设计

朱飞宇<sup>1,2</sup>, 徐志宇<sup>1</sup>, 黄国辉<sup>3</sup>

(1. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804; 2. 博洛尼亚大学 电气电子与信息工程学院, 博洛尼亚 40136;  
3. 杭州电子科技大学 能量利用系统与自动化研究所, 杭州 310018)

**摘要:** 为了实现三容水箱教学实验平台中液位控制算法的多样化和可移植性, 设计了基于 Matlab 图形用户界面 (Graphic User Interface, GUI) 的计算机监控系统。利用 Matlab 的串口通信 API, 通过 RS-485/RS-232 数据通信接口实现对三容水箱液位的数据采集和控制。通信采用 Modbus RTU 协议确保数据的可靠传输。系统软件界面友好、编程方便、操作简单, 同时用户可以植入算法使系统运行于多种模式下。结果表明, 基于 Matlab GUI 设计的计算机监控系统能够快速、准确地绘制出液位响应曲线, Flash 动画能够实时模拟出实验进度。

**关键词:** 三容水箱; Matlab GUI; 计算机监控; 通信协议; 响应曲线

中图分类号: TP 273.5 文献标志码: A

文章编号: 1006 - 7167(2017)09 - 0083 - 04



## A Design for the Real-time Liquid Level Monitoring System Based on Matlab GUI

ZHU Feiyu<sup>1,2</sup>, XU Zhiyu<sup>1</sup>, HUANG Guohui<sup>3</sup>

(1. School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;  
2. College of Electrical, Electronic and Information Engineering, University of Bologna, Bologna 40136, Italy;  
3. Institute of Energy Utilization & Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In order to achieve the algorithm diversification portability of the computer monitoring system in the liquid level control, the paper designed a computer monitoring system based on Matlab graphical user interface (GUI). The system uses Matlab's serial communication API, and uses the RS-485/RS-232 data communication interface to achieve data collection and controlling for the three-tank. Modbus RTU protocol is applied for communication to ensure the accuracy of data transmission. System software has a friendly interface, easy programming, simple operation and other features, users can implant the algorithm to run the system in a variety of modes. Experimental result shows that design of the computer monitoring system can quickly and accurately draw the level response curve, Flash animation can simulate real-time experimental progress based on Matlab GUI.

**Key words:** three-tank water; Matlab GUI; computer monitoring; communication protocol; response curve

收稿日期: 2016-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(71401125); 教育部博士点科研基金(20130072110045); 同济大学实验教改项目(0800104150)

作者简介: 朱飞宇(1993-), 男, 浙江台州人, 硕士生, 主要研究方向为智能控制。Tel.: 15988993821; E-mail: zhufy2015@163.com

通信作者: 徐志宇(1982-), 男, 山西太原人, 博士, 高级工程师, 硕士生导师, 现从事智能自动化应用研究。

Tel.: 021-69584663; E-mail: xuzhiyu@tongji.edu.cn

## 0 引言

自动化学科作为当今信息时代最重要的学科之一, 其教学方式中, 实验教学成为不可或缺的重要部分。“计算机控制技术”是自动控制、电子技术、电气技术等专业教学中一门重要的专业课, 实验在该课程教学方式中更是扮演了举足轻重的作用。计算机控制

实验成功的关键在于计算机与实验台的通信效率以及控制算法的选择。

近年来,国内外研究学者分别通过不同的平台开发计算机控制软件,包括 Delphi、组态王和 C#. NET 等<sup>[1-5]</sup>,都取得了一定的成果,但基于 Matlab GUI 进行上位机开发却并不常见。

Matlab 在数据分析、矩阵运算、算法设计等方面具有明显优势,非常适合于对复杂算法的研究;软件集成了串口通信 API 为实现计算机与实验台通信提供便利。Matlab 中的 GUI 模块提供了图形用户界面的设计向导,开发者利用该向导可以方便、快捷地设计出一个界面。文献 [6] 中针对数字信号处理课程中概念抽象、不易理解的教学难题,利用 Matlab GUI 开发了一个教学软件,包括信号采集模块、信号分析模块、线性系统分析、滤波器设计模块和信号处理技术应用模块<sup>[6]</sup>。文献 [7] 中利用 Matlab 丰富的工具箱和直观的 GUI 界面,设计并完成了运动控制系统课程的可视化虚拟实验平台的构建<sup>[7]</sup>。

然而,目前实验教学中关于 Matlab GUI 的应用研究大多集中于仿真虚拟方面,很少涉及控制软件平台的开发。鉴于串口通信和控制算法在计算机控制系统中的核心地位,以及 Matlab GUI 模块在这两方面具备的独特优势,本文设计了基于 Matlab GUI 的三容水箱实时液位监控系统:选择三容水箱作为下位机采集控制平台,在 Matlab GUI 平台上实现了计算机与三容水箱实验台的串口通信,通过 PID 等控制算法控制水箱液位,对计算机控制实验的发展具有重要的意义。

### 1 系统总体设计

计算机监控系统的总体设计如图 1 所示。系统主要由两部分组成:①下位机实现对三容水箱液位的数据采集和控制;②上位机利用 Matlab GUI 模块实现对液位的控制操作,实时数据曲线的显示和实验装置状态的 Flash 动画模拟。

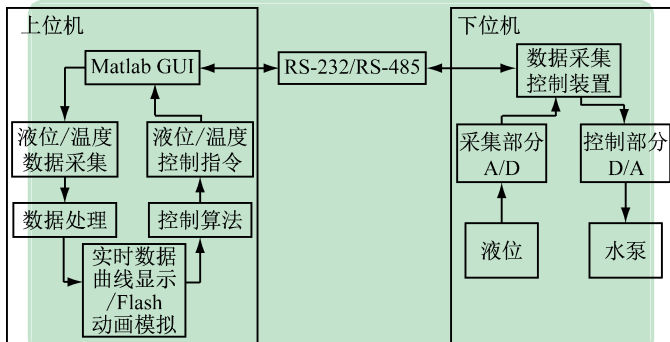


图 1 计算机监控系统总体结构

#### 1.1 系统下位机

系统下位机为三容水箱物理实验平台,其由 3 个

水箱、1 个方形水槽、水泵、进水阀门和球阀等部件组成,结构原理图如图 2 所示。该实验平台以 ADuC834 数据采集单片机<sup>[8-9]</sup>为主控芯片,该芯片基于 8051 为内核,片内集成了两路高分辨率的 ADC 转换通道及两路独立的 DAC 转换通道,非常适用于多模拟量采集的系统。本系统单片机实现对水箱液位、温度和流量的采集,并通过 RS-485/RS-232 数据通信接口与上位机进行数据的交互,根据上位机发送过来的指令控制水泵、加热管进水阀和放水球阀等执行部件。

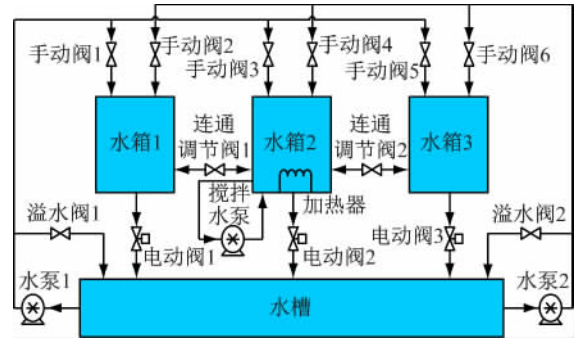


图 2 三容水箱结构原理图

本文下位机主要负责对三容水箱液位的信号采集和控制:通过单片硅压力传感器实现。随着液位的上升,容器底部受到的压力相应增大<sup>[10]</sup>,压力传感器将采集到的模拟信号通过 16 位高精度 AD 转换成数字信号并通过 RS-232/RS-485 串口发送给上位机。液位控制是通过控制水泵电压来实现。上位机通过串口给下位机发送控制指令,通过 DAC 输入 0~5 V 电压信号,并间接控制可调开关电源直流电压输出,调整水泵转速,实现对液位的控制。

#### 1.2 系统上位机

上位机软件是一套基于 Matlab GUI 界面、动画仿真、M 控制算法文件以及标准通讯模块为一体的实验环境,主要分为以下模块:

- (1) 串口通信。完成与下位机的数据交互。
- (2) 控制策略。采用增量式 PID 控制算法,根据采集到的液位信息,计算并发送控制指令。算法独立编写在 M 文件中,用户可以根据实验要求导入自定义算法。
- (3) 人机界面。液位的参数设置, PID 控制算法的参数设置及液位标定,绘制液位的实时数据曲线,同时以 Flash 动画的形式模拟实验过程。

### 2 下位机软件开发

下位机程序采用 Keil  $\mu$ Vision5 集成开发环境进行开发。编写各功能函数,经过调试、编译、生成 hex 文件,再通过 WSD 软件将程序下载到 ADuC834 单片机中。程序功能函数如图 3 所示。

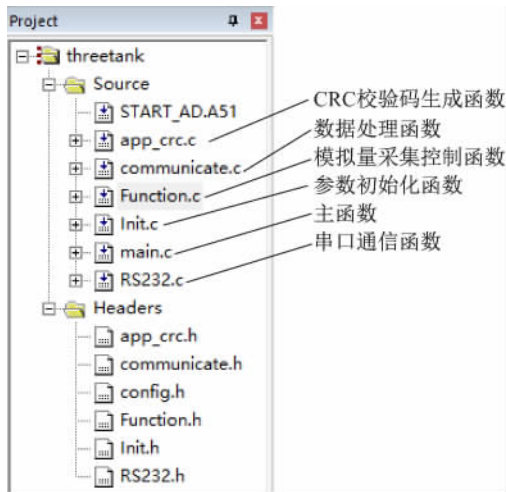


图3 下位机程序架构

### 3 Matlab GUI 模块设计

#### 3.1 串口通信

Matlab GUI 模块配置了串口通信 API ,支持 RS-485/RS-232 串口通信<sup>[11-12]</sup>。只需通过调用其中的 serial 类及相关函数就能创建串口对象 ,用户定义好串口的通信属性(主要是波特率、起始位、数据位、校验位、停止位和输入输出缓冲大小等)即能实现上位机与下位机的通信 ,主要函数如下:

```
s = serial( 'COM1' ); % 创建串口对象 s , 串口号为 COM1
set( s, 'BaudRate', 9600, 'StopBits', 1, 'Parity', 'none', 'DataBits', 8); % 设置波特率为 9600; 8 位数据传送 , 一位停止位 , 无奇偶校验位;
```

另外 ,通信协议采用 Modbus RTU 协议确保数据传输的精确。

#### 3.2 控制算法

PID 控制器有着技术成熟、鲁棒性好、容易理解和掌握等优点<sup>[13-15]</sup>。通过合理的  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  整定可以完成对系统的较好控制。PID 控制可通过位置式和增量式两种方式实现。前者在计算时要对偏差量逐一累加 ,导致在编程时占用大量的存储单元 ,因此 ,本系统选用后者 ,即增量式 PID 控制算法。

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_d [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)]$$

式中:  $u(k)$  和  $e(k)$  分别为控制量与偏差量 ,

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$$

分别为控制量与偏差量的增量;  $K_p = 1/\delta$  为比例增益;  $K_i = K_p T/T_i$  为积分系数;  $K_d = K_p T_d/T$  为微分系数。当确定好  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  后 ,只需要存储前 3 次的测量值 ,即可求出  $\Delta u(k)$  ,具有误差影响小的优点。

#### 3.3 Matlab GUI 界面设计

Matlab GUI 界面主要包括: ①数据显示面板 ,包括 3 个水箱的液位高度显示和进行水温控制实验时的温

度显示; ②参数设置面板 ,包括液位参数、温度实验的温度参数、控制算法参数及数据采集频率参数设置等; ③实验的开始、结束等控制指令; ④实时数据曲线显示和 Flash 动画模拟 ,另外控制界面还添加了液位标定等辅助功能。

界面设计遵循可视化程度高、操作简洁、布局合理的原则 ,现设计如图 4 所示。

(1) 系统数据显示与参数设置模块。数据显示面板主要是将上位机采集到的液位信息直观地显示在界面中 ,便于实验者观测; 参数设置面板是整个人机界面中最重要的部分 ,该部分包含了液位的设定及温度的设定 ,可用于温度控制实验 ,数据采集频率的设定以及控制液位和温度的两组 PID 参数的调整。实验时可以根据数据显示面板显示的数据和自己观察到的实验现象及时地调整控制参数。参数设置面板设计完成效果见图 4( 右侧栏绿色线框)。

(2) 实时曲线绘制模块。系统采用基于 axes 控件完成实时曲线绘制<sup>[16-17]</sup>。在 Matlab GUI 界面添加 axes 控件 ,并开辟一个 2B 长度的数组分别存放目标液位和实时液位值。通过 axes() 函数设置当前曲线绘制坐标 ,再调用 set() 函数完成曲线的绘制。

曲线绘制相关函数如下:

```
m = [m [Real-yewei; val]];
axes( handles.quxian);
axis( [x x+10, -5 300]);
set( p(1), 'XData', t, 'YData', m(1,:));
set( p(2), 'XData', t, 'YData', m(2,:));
```

设计效果见图 4( 左下方蓝色线框)。

(3) Flash 动画演示模块。考虑到在 Matlab GUI 中实现一个具有立体效果的水箱显示难度较大 ,且并不十分必要 ,故在该系统中采用合适的矩形来代替水箱的效果。实验过程中 ,通过向空白矩形中填充以液位为高的蓝色矩形来动态地模拟液位的变化过程。设计效果见图 4( 左上方红色线框)。

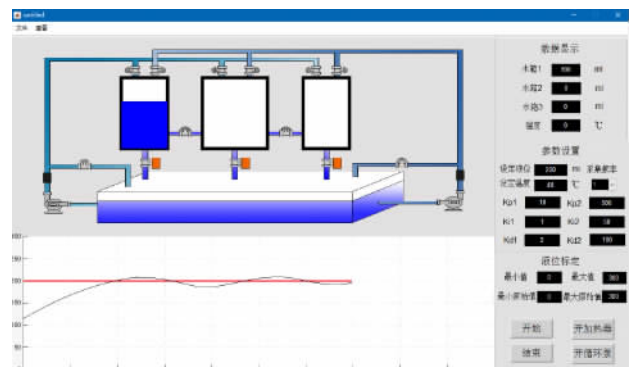
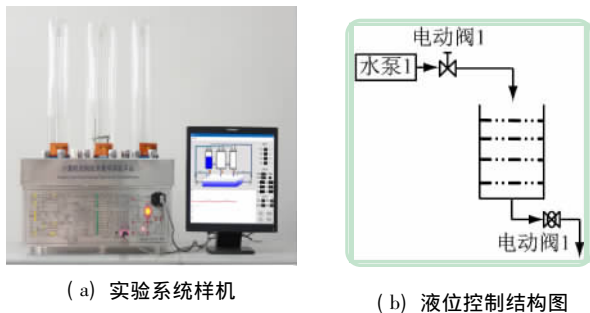


图4 三容水箱计算机监控系统的 Matlab GUI 界面设计效果及液位控制实验结果

### 4 系统测试

根据 Matlab GUI 界面设计 ,在实验室环境下进行

液位控制实验,实验系统搭建如图 5(a)所示,其液位控制过程可抽象为如图 5(b)所示结构。首先设定好水箱球阀的开口度为 30%,设置目标液位为 200 mL,根据经验确定 P、I、D 控制参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  值,配置定时器模式,以 1 s 的采样频率读取当前液位,并绘制实时曲线。PID 控制算法计算出当前水泵控制电压,根据 Modbus RTU 协议格式向下位机发送报文数据,调节水泵转速,实现液位对设定值的跟随。液位的阶跃响应曲线见图 4(左下方蓝色线框内)。



(a) 实验系统样机

(b) 液位控制结构图

图 5 液位控制系统样机及控制原理结构简图

结果表明,通过 Matlab GUI 模块设计的计算机监控系统能够实现对液位的控制且实验过程稳定可靠。上位机采用 PID 控制算法,以 1 s 的频率发送采集控制指令,使得水位在到达目标液位附近后能够快速达到动态平衡,验证了基于 Matlab GUI 模块的计算机监控系统具有数据传输准确和操作界面友好的特点。

## 5 结 语

本文利用 Matlab GUI 开发计算机监控系统,实现了对三容水箱液位的实时控制。不同于常用的开发软件 Delphi、组态王和 C#.NET,本系统的控制算法独立写在 M 文件中,便于实验者修改和添加其他算法,且 GUI 组件编程简单,实验数据处理快速方便,极大地提高了开发效率。实验过程也证明了系统的准确性和稳定性,并且系统软件执行效率高,界面功能丰富,对于计算机监控系统的开发具有重要的借鉴意义。

(上接第 65 页)

- [2] 孙莉莉. 应用型本科院校创新人才培养探究[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(7): 269-271.
- [3] 罗 德, 纪仁杰, 韩彬. 基于 Odroid 的四旋翼无人机教学平台设计[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(11): 165-167.
- [4] 王 茜. 自动化综合性实验平台的建设模式[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(10): 96-98.
- [5] 邢维巍, 樊尚春, 孙晋豪. 微弱电信号检测分析综合实验平台建设[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(5): 67-70.
- [6] 段世华. 四旋翼飞行器控制系统的设计和实现[D]. 成都: 成都电子科技大学, 2013.
- [7] 岳基隆, 张庆杰, 朱华勇. 微小型四旋翼无人机研究进展及关键技术浅析[J]. 电光与控制, 2012, 17(10): 46-52.
- [8] 万云霄, 许伦豹, 胡 龙. 基于 Arduino 的四旋翼飞行器控制系统设计[J]. 吉林大学学报, 2015, 33(4): 389-396.
- [9] 蒋 彪, 杨光友, 邓惠军. 小型四旋翼飞行器姿态建模及其仿真[J]. 湖北工业大学学报, 2016, 31(5): 18-21.
- [10] 程广明. 四旋翼直升机的建模与飞行控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2011.
- [11] 廖卫中, 宗 群, 马亚丽. 小型四旋翼无人机建模与有限时间控制[J]. 控制理论与应用, 2015, 32(10): 1343-1350.
- [12] 王素青, 姜维福. 基于 Matlab/Simulink 的 PID 参数整定[J]. 自动化技术与应用, 2009, 28(3): 24-25.
- [13] 徐 璟, 蔡晨晓, 李勇奇. 小型四旋翼无人机双闭环轨迹跟踪与控制[J]. 控制理论与应用, 2015, 32(10): 1335-1342.
- [14] 宿敬亚, 樊鹏辉, 蔡开元. 四旋翼飞行器的非线性 PID 姿态控制[J]. 北京航空航天大学学报, 2011, 37(9): 1054-1058.
- [15] 白永强, 刘 昊, 石宗英. 四旋翼无人直升机鲁棒飞行控制[J]. 机器人, 2012, 34(5): 519-524.

## 参考文献(References):

- [1] 郑荣进, 王邵伯, 郭谋发. 基于 Delphi 的变配电所监控软件设计[J]. 电气应用, 2006, 25(3): 71-74.
- [2] 林 晶, 王 强. 基于组态软件智能家居监控系统研究[J]. 吉林建筑大学学报, 2015, 32(6): 56-58.
- [3] 杨 宁, 李 彦, 路 宽. 基于 C#.NET 的海洋能发电装置室内定型测试数据监控管理系统的设计与实现[J]. 海洋技术学报, 2015, 34(6): 83-86.
- [4] Farah Helúe Villa-López, Jesús García-Guzmán. Electropneumatic system for industrial automation: A remote experiment within a web-based learning environment [J]. Procedia Technology, 2013, 7: 198-207.
- [5] Ahmet Tekin, Fikret Ata, Muammer Gkbulut. Remote control laboratory for DSP-controlled induction motor drives [J]. Computer Applications in Engineering Education, 2012, 20(4): 702-712.
- [6] Han Ping, He Weikun, Shi Qingyan, et al. An educational tool design for the course of signal processing based on MATLAB GUI [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2014.
- [7] 尚 丽, 淮文军. 基于 Matlab/Simulink 和 GUI 的运动控制系统虚拟实验平台设计[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(6): 66-71.
- [8] 陈灿旭, 姜周曙, 黄国辉. 基于 ADuc834 的低温测量仪表设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2009(2): 96-98.
- [9] 徐跃飞, 黄国辉, 姜周曙. 全自动三容水箱液位控制实验系统的研发[J]. 计算机与应用化学, 2013, 30(10): 1203-1206.
- [10] 林 轶. 飞思卡尔典型传感器的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2008(5): 78-79.
- [11] 吴 侃, 于明礼, 李 明. 基于 Matlab GUI 的超声电机控制系统串口通信研究[J]. 机电工程, 2015, 32(11): 1471-1476.
- [12] 蒋 超, 刘 新, 曾义和. Matlab GUI 的上位机与智能车的两种实时通信[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012(12): 27-30.
- [13] 张亚飞, 陈红波, 冯小华. PID 控制算法及其积分项的改进[J]. 科技创新与应用, 2013(24): 66.
- [14] 文 波, 孟令军, 张晓春. 基于增量式 PID 算法的水温自动控制器设计[J]. 仪表技术与传感器, 2015(12): 113-116.
- [15] 宋和平, 胡成全, 王力风. 新型双温度反馈增量式 PID 控制器的设计[J]. 自动化与仪表, 2012, 27(4): 40-42.
- [16] 宗节保, 段柳云, 王 莹. 基于 Matlab GUI 软件制作方法的研究与实现[D]. 武汉: 武汉大学, 2010.
- [17] 薛 飞, 杨友良, 孟凡伟, 等. 基于 Matlab GUI 串口通信的实时温度监控系统设计[J]. 计算机应用, 2014, 34(1): 292-296.