

基于 LabVIEW 的单摆测量重力加速度的远程实验设计

曹宇忠 20140009008 物理与电信工程学院物理学师范 1B 班

摘要: 本实验基于 LabVIEW 的程序设计, 结合单片机技术、虚拟仪器及传感器等技术对传统的单摆测量重力加速度实验进行改进, 实现了重力加速度的远程控制。程序设计通过 TCP 协议实现服务器和客户端的通信, 指令通过 VISA 传送给单片机进行对装置的控制, 从而实现了单摆测量重力加速度的远程实验。本实验设计改变了传统的现场人工操作实验的方法, 使得实验面向智能化和高精度, 对中学实验教学的应用具有重要的研究意义。

关键词: LabVIEW 单摆 远程实验

The Remote Experiment of Measuring Gravity Acceleration Based on the LabVIEW

Abstract: In this experiment, based on LabVIEW programming, combined with MCU technology, virtual instrument and sensor technology, the traditional single pendulum measurement of gravity acceleration experiment is improved, and the remote control of gravity acceleration is realized. The program realizes the communication between the server and the client through the TCP protocol. The instruction is transmitted to the MCU through the VISA to control the device, thus the remote experiment of the gravity acceleration of the single pendulum is realized. The experiment design has changed the traditional method of field manual operation experiment, which makes the experiment oriented and high precision. It has important research significance for the application of experimental teaching in middle school.

Key words: LabVIEW; Simple pendulum; Remote experiment

1 实验系统设计

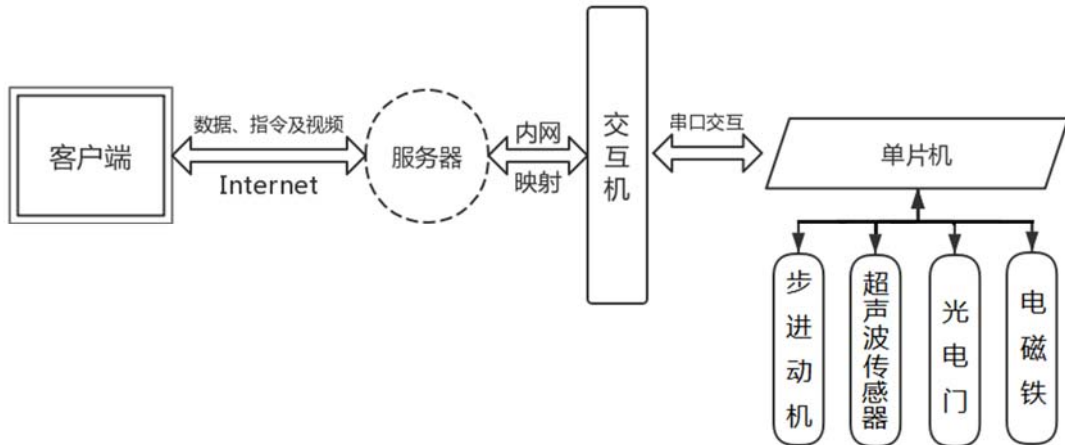
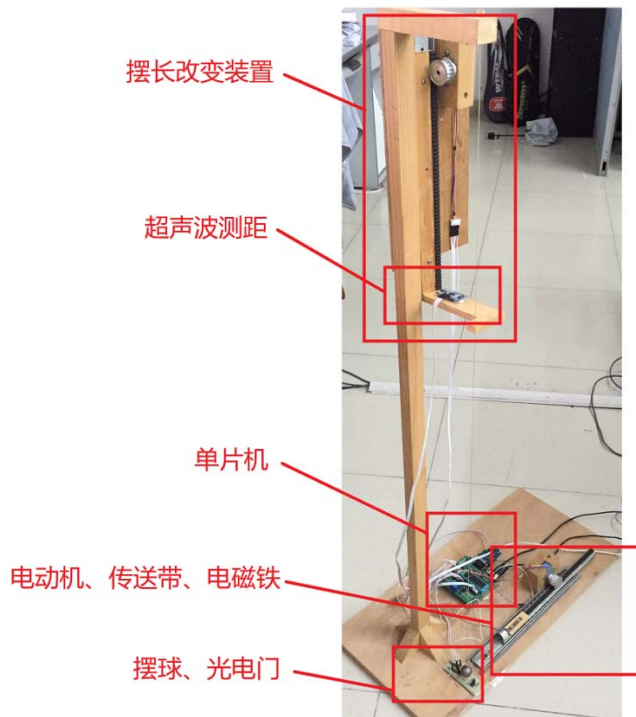


图 1-1 单摆实验结构示意图

本单摆实验的设计结构如图 1-1 所示。其中，交互机与服务器在本试验中为同一台 PC，即服务器与单片机直接连接，通过 VISA 串口协议进行通行。客户端与服务器通过 TCP 协议进行通行，两者由 LabVIEW 平台进行程序编写。实验设备中要用到的步进电机、超声波传感器、光电门以及电磁铁由 C51 单片机进行自动化操控。

2 硬件结构设计

2.1 硬件结构装置图



2.2 摆长改变的实现

图 3-1 中的①部分用于改变摆长。当要改变摆长时，单片机给步进电机通电，使步进电机转动一定角度，从而通过传送带带动轴点（摆绳通过的小孔）上下移动。摆长改变可以通过改变摆绳绳长或者改变轴点位置的方法，这里为了保证光电门和电磁铁的正常运作，需要摆球最低点不变，则使用改变轴点的方法。

2.2 摆长的获取

超声波传感器向下发射超声波，超声波到达装置底板时反射，传感器会接收反射回来的超声波信号，测得经过的时间 t ，超声波在空气中传播速度 $v = 340m/s$ ，忽略摆球重心与底板间的距离，则摆长为：

$$L = vt$$

此摆长数据由单片机自动计算，再由串口返回计算机。

2.4 摆球控制

要使摆球运动，则必须要有初始位置或初始速度，在本实验中通过改变摆球初始位置的方式实现。当要让摆球开始运动时，⑥部分的步进电机通电，牵引电磁铁往摆球方向运动，同时电磁铁通电生成足够强的磁场。摆球被电磁铁吸住后，步进电机通相反方向电流，反方向牵引摆球。当将摆球牵引到合适的角度时，电磁铁断路，磁场消失，摆球从初始位置释放。其中需要用到的步进电机转动角度，电磁铁通电时间等参数已通过试验确定，并在单片机程序中设定。

2.5 单摆周期的获取

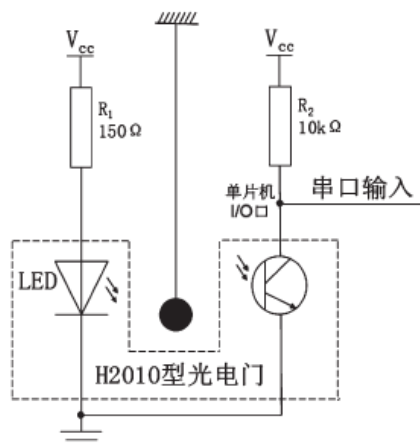


图 3-2 光电门电路简图

光电门主要有发光二极管和光敏管组成，摆球在光电门中摆动时，光电门电路有两种状态：一是摆球处于发光二极管与光敏管中间，光敏管无法接收到发光二极管发射的光线，光敏管阻值较大，输出电压较大；另一种情况是摆球没有遮挡住发光二极管发出的光线，此时光敏管接收到光信号，阻值较小，所以输出电压较小。由于摆球在最低点时速度较快，所以摆球遮挡光线的较周期来说比较小，输出较短时间的高压脉冲，其余时间输出低压。通过处理多个周期的电压信号波形，便可以计算出摆球的运动周期。

3 LabVIEW 程序设计

3.1 单片机与 PC 间的 VISA 通信

软件部分主要是 LabVIEW 平台编程完成，而单片机的硬件操控也需要由软件的支持，即需要编写 C51 程序或者汇编程序，不过在此实验设计中，单片机的软件实现部分是已经完成的，即已被封装好。所以只需要获得单片机的控制指令便可以进行前中端的编写，VISA 串口通信一般使用的是字符串的形式，对应着单片机不同功能的指令字符串如表 3-1 所示。

指令	过程	命令字
电机启动 并返回绳长数据	电机 1 启动，电磁铁吸引摆球，并牵引摆球到合适的摆角然后释放，同时测距模块测得绳长	1
光电门开关	光电门开启，持续接收光电数据。当单片机缓冲区填满时，自动返回数据给上位机（计算机）。也可通过 LabVIEW 中的“VISA 读取”读取缓冲区中的数据。（注意读取完成后，一定要发送指令“5”关闭光电门，不然单片机会持续读取，影响其他操作）	2
上调\下调	电机 2 启动，稳定后测距模块测距，同时电机 1 启动，摆球开始摆动	3\4
光电门开关	光电门关闭	5
多次测量绳长	连续测量绳长，并返回平均值 a—10 次 b—20 次 c—30 次 d—50 次	a/b/c/d

表 3-1 单片机功能指令集

3.2 服务器程序

3.2.1 服务器程序总览

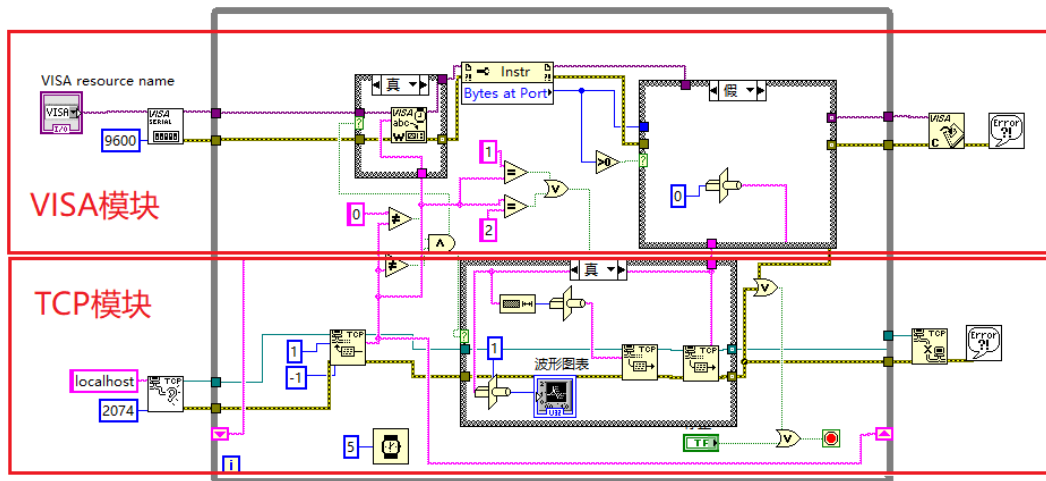


图 3-1 服务器程序总览图

3.2.2 TCP 通信



图 3-2 建立 TCP 通信

在服务器端建立 TCP 监听函数，在前面板输入客户端 IP 地址和 PC 通信端口，与客户端建立通信。

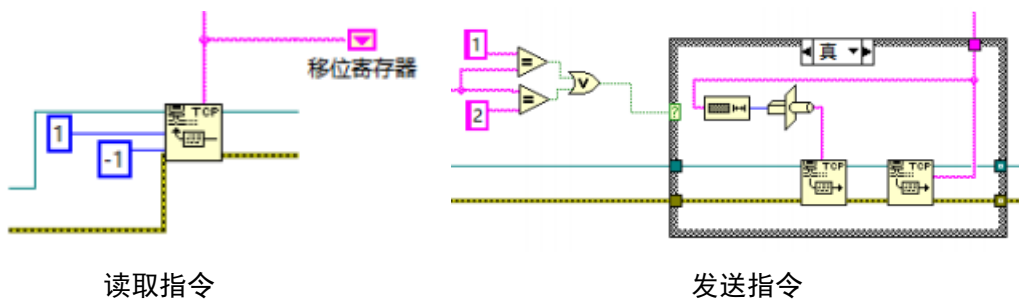


图 3-3

TCP 读取客户端发送过来的指令，将指令移至寄存器并发送给单片机进行实验装置的控制。将 VISA 数据发送返回到服务器，再发送给客户端。

3.2.3 VISA



图 3-4

通过 COM 口将单片机和 PC 连接起来，建立 VISA 通信，实现程序对实验装置的控制。

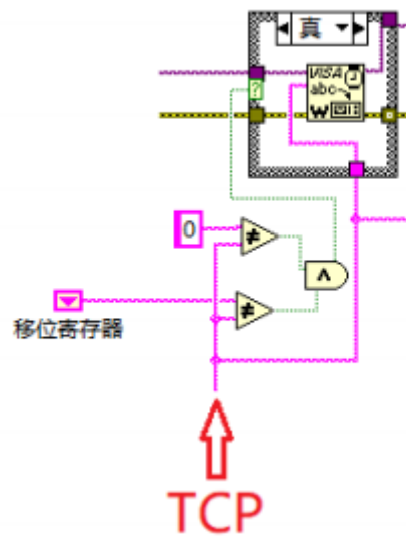


图 3-5 VISA 写入指令

如图 3-5，当 TCP 输入的字符串和上次读取到的字符串不同时，数据写入 VISA，向单片机发送对应指令。

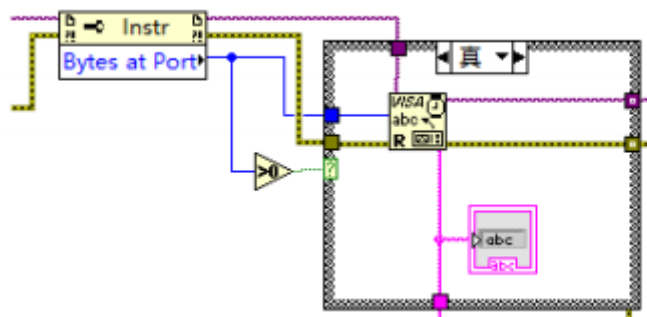


图 3-6 VISA 读取

当单片机有数据返回时，如图 3-6 所示，为“真”，VISA 读取函数运行，从单片机读取字符串数据输入到 TCP 端口。

3.3 客户端程序

3.3.1 客户端界面

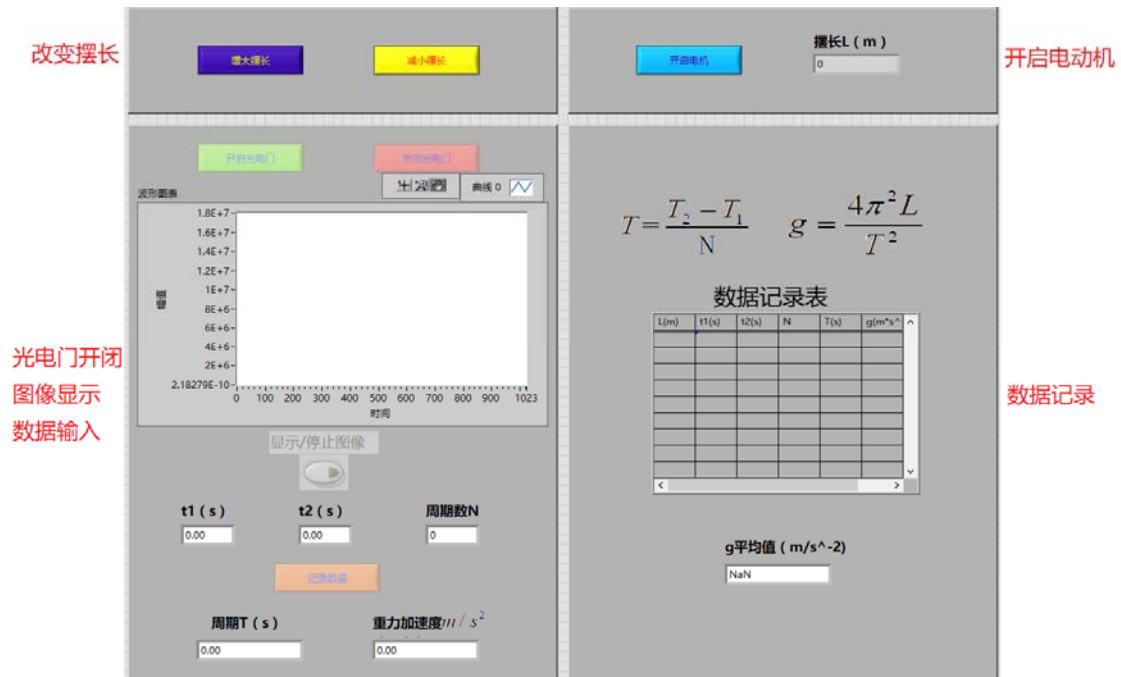


图 3-7

3.3.2 客户端程序

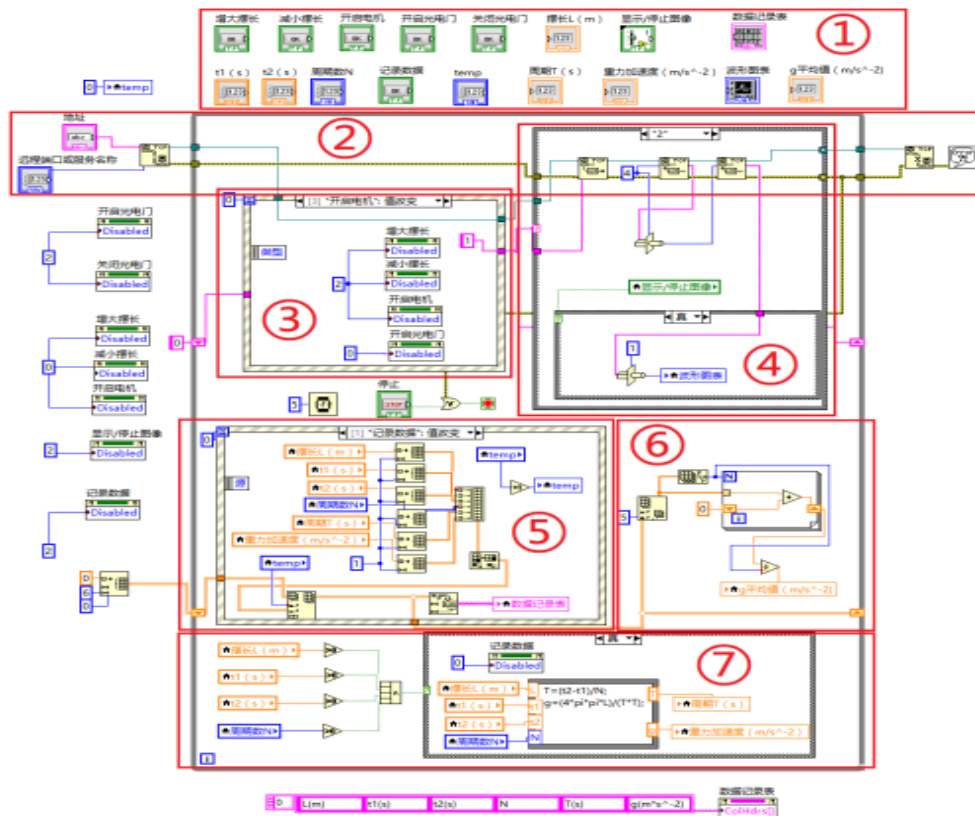


图 3-8

如图 3-8 所示，客户端程序实现对应客户端界面的功能已在图中标示。并做以下解释：各组件独立开放置于开头，方便查找、引用和检查错误；②TCP 模块用于与服务器进行通信；③按钮处理模块，利用时间结构来处理前面板的按钮指令；④指令处理模块，用于将各指令发送给服务器并接收各指令时处理返回信息；⑤表格数据生成，用于用户点击“记录数据”按钮时将数据写入数据记录表格中；⑥求重力加速度平均值，将各组的重力加速度值进行平均；⑦计算周期和重力加速度，当所输入的数据不为零时，计算出周期和重力加速度的结果。

3.3.3 TCP 通信

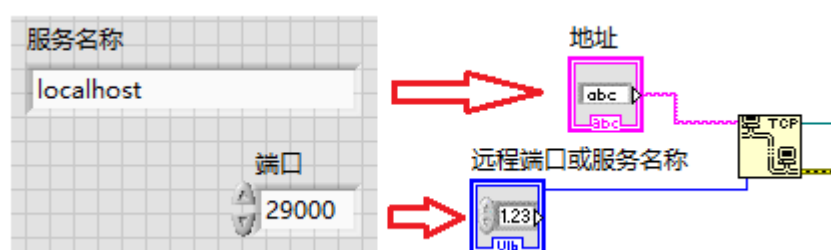


图 3-9 打开 TCP 连接

与服务器端的 TCP 监听函数类似，TCP 建立函数也需要输入服务器端的 IP 地址与端口号，区别在于客户端是主动建立 TCP 连接，而服务器端的监听函数是被动建立的。

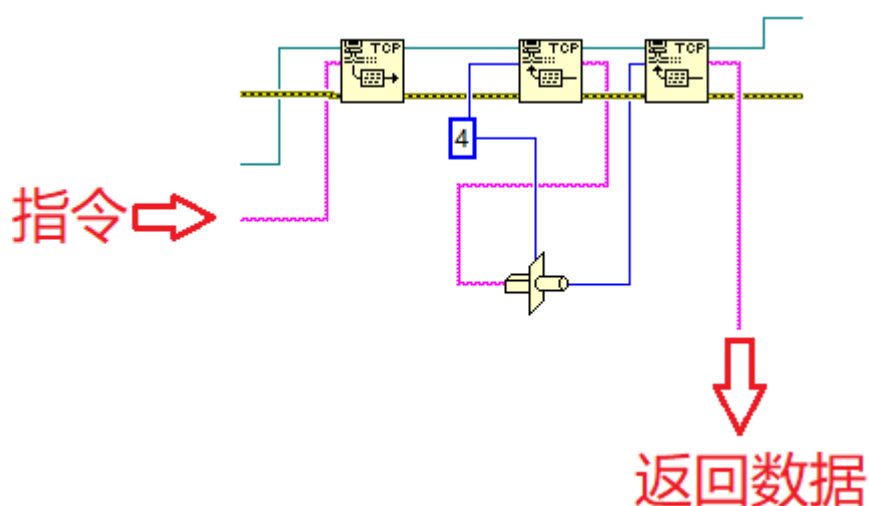


图 3-10 与服务器端的 TCP 交互

建立 TCP 连接后，便可以将需要的指令字符串从 TCP 发送函数发送至服务器端，当要读取服务器端传回来的数据时，与服务器程序类似，需要先接收返回字符串的长度数据，后一个 TCP 接收函数再接收真正的返回数据。

3.4 数据计算模块

3.4.1 周期和重力加速度的计算

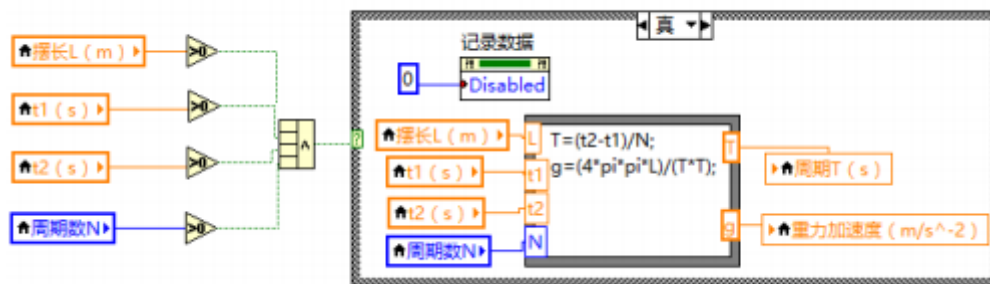


图 3-11 周期和重力加速度的计算模块

如上图 3-11 所示，当摆长、t1、t2、周期数都不为零是进行计算并显示出来，同时，使“记录数据”按钮变为可用。

3.4.2 表格数据生成

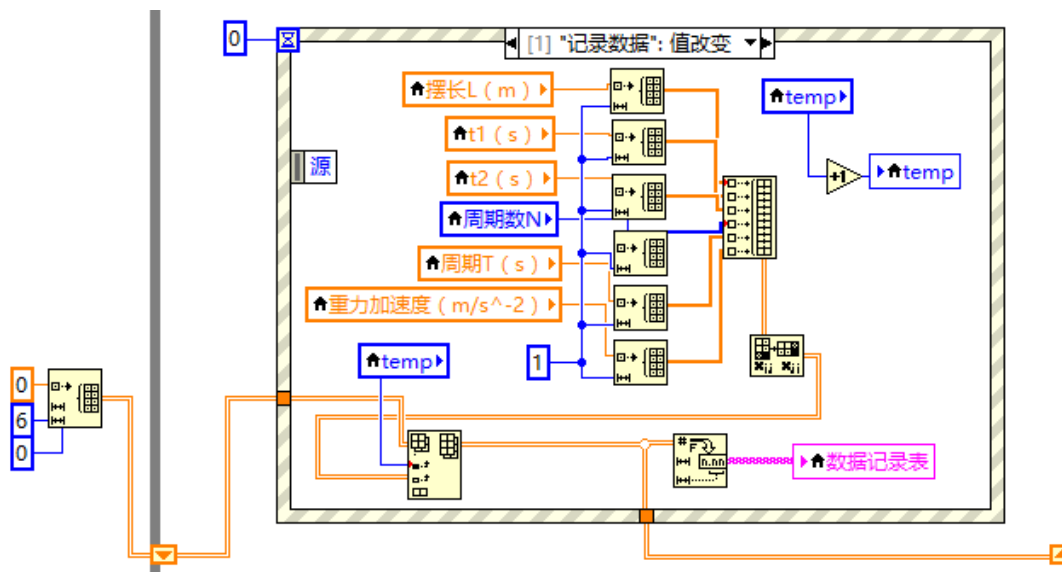


图 3-12 表格生成示意图

如图 3-12 所示，在循环前初始化 6 列的浮点型二维数组，放入移位寄存器中。每次按下“记录数据”按钮后，摆长、t1、t2、周期数、周期、重力加速度便会组合成一行向量，通过数组插入函数放置于移位寄存器中数组的最底下，再通过浮点型转字符串函数显示于数据记录表格中

3.4.3 周期和重力加速度的计算

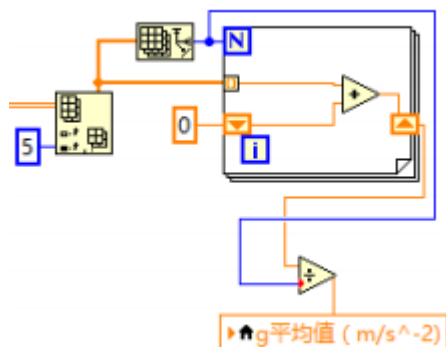


图 3-13

数据表格中第六列重力加速度数据从上图程序左端端口进入，通过 For 循环求和后除以数组的行数得到平均值并进行显示。

4 实验过程及成果展示

由于实验装置老化等问题造成自身很不稳定，我们将实验控制过程全称拍下列成视频，实验控制结果如下。

1. 客户端界面得到摆长数据的返回，如图 4-1。

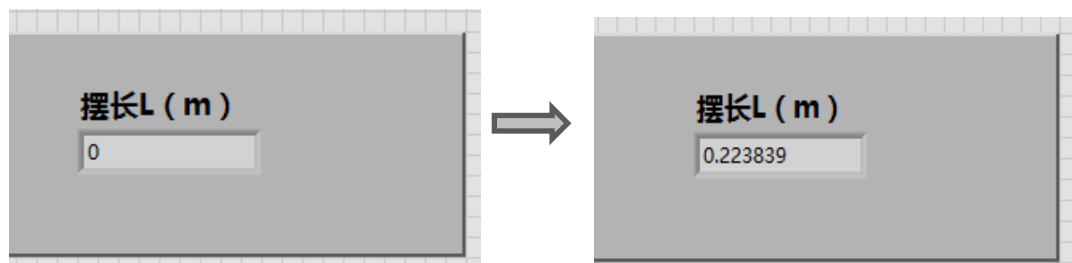


图 4-1

2. 单摆的振动周期以波形图记录显示于客户端界面，波形的显示是动态过程，通过点击图 4-2 中波形图下方的按钮来暂定周期记录，并自行读取振动周期。

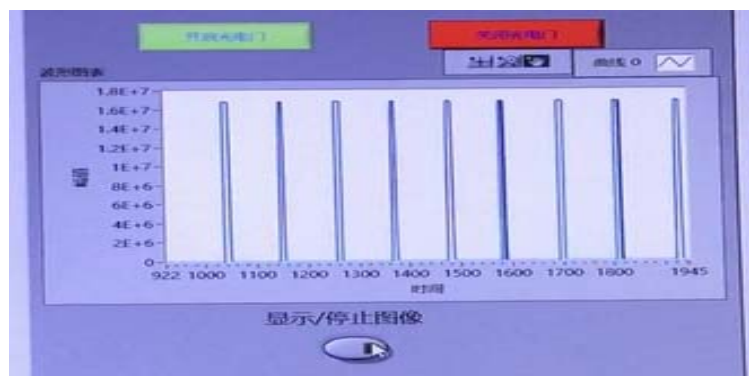


图 4-2

3. 将由波形图读取到的有用数据输入到客户端界面上，如图所示。

The screenshot shows a data entry interface with the following fields and values:

t1 (s)	t2 (s)	周期数N
10.4	17.0	6

Below these fields is a button labeled "记录数据" (Record Data). At the bottom, there are two more fields:

周期T (s)	重力加速度 m/s^2
1.10	7.30

图 4-3

4. 系统自动根据所输入的数据计算出周期T和重力加速度g值,如上图所示。

5. 点击图 19 中的记录数据，系统即将改组数据全部传送到客户端界面的数据记录表中，且还自动计算出各组的平均值进行显示，如图所示。

The screenshot shows a data record table titled "数据记录表" (Data Record Table) with the following data:

L(m)	t1(s)	t2(s)	N	T(s)	$g(m/s^2)$
0.223839	10.4000	17.0000	6.00000	1.10000	7.30314
0.223839	21.0000	29.0000	7.00000	1.14285	6.76568
0.223839	32.0000	39.5000	7.00000	1.07142	7.69784

Below the table is a field for the average g value:

g平均值 (m/s^2)
7.36

图 4-4

5 总结

5.1 实验系统优缺点

5.1.1 硬件优缺点

1. 声波测距、电磁铁模块很好的适应了自动化的要求，为远程控制提供了可能；
2. 过移动轴点改变摆长的方式可以确保小球最低点不变，有利于电磁铁和光电门的实现；
3. 变摆长的装置实现得太过理想化，出现传送带与电动机之间容易松动、物块太重电动机无法带动等情况；
4. 底座没有设计平衡调节装置，摆球不稳定，容易受圆锥摆效应影响。

5.1.2 软件优缺点

1. 考虑到单片机的程序无法获悉，所以在前端设计防误操模块：按键的“可用”与否；
2. 无论是前面板界面还是源程序，都进行了模块化的设计，有利于前端界面的整洁美观，也有利于对源程序的后期维护调试；
3. 设计了一系列的“判断装置”，防止程序运行时出错、崩溃，例如单片机返回字符串是否为空、当前指令是否是“电动机启动”和“光电门开启”从而可接收 TCP 信号；
4. 利用波形图直接显示单摆摆动周期，直观易读数；
5. 实验过程中，可随时开始和停止波形图表对周期的记录，方便进行数据读取；
6. 表格设计可输入多组数据，自动求取重力加速度的平均值；
7. TCP 通信协议部分由于客户端与服务器端的通信顺序不同步，所以有时无法正常返回摆长值。

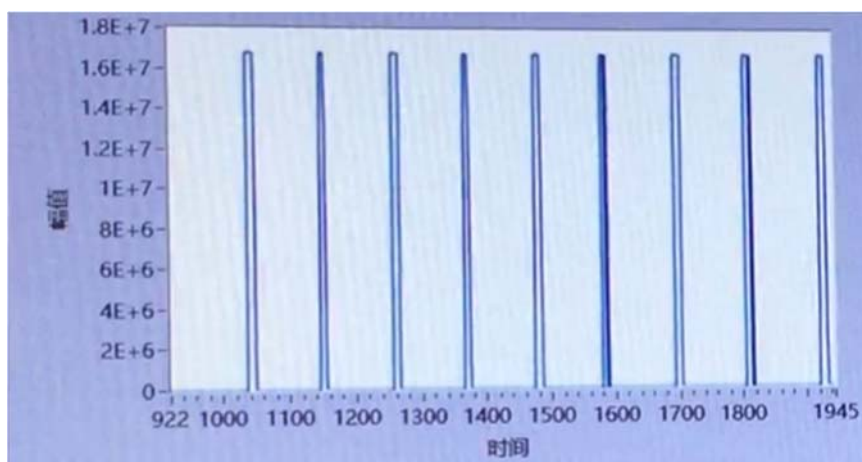
5.2 实验中出现问题及改进思路

5.2.1 实验结果误差较大

L(m)	t1(s)	t2(s)	N	T(s)	$g(m*s^{\wedge}^{-2})$
0.223839	10.4000	17.0000	6.00000	1.10000	7.30314
0.223839	21.0000	29.0000	7.00000	1.14285	6.76568
0.223839	32.0000	39.5000	7.00000	1.07142	7.69784

图 5-1 实验数据记录表

实验精度没有达到预期目标。如图 5-1 所示，除了超声波测距的固有误差（摆球重心与装置底板间的距离被忽略）以外，实验中返回的摆长数据仍然有相当大的误差。仔细一想，其实测距这功能完全可以通过程序实现，我们知道摆长是指轴点到摆球重心之间的绳长，那么假设某一个时刻通过人工测出绳长然后写入程序之中，摆长的改变是通过程序来实现的，也就是说一次改变摆长改变了多少可以作为程序的常变量，那么每次改变摆长，便在程序中用原摆长加上或者减去摆长改变量即可得到改变后的摆长，这种实现可以确保精度，而且比较稳定。



并且我们发现从实验图像中读取的周期数据与实际有些出入，这可能是由于客户端与服务端之间的 TCP 延迟导致的。

由于摆长与周期数据的误差，导致最后得到的重力加速度数值不尽人意。

5.2.2 实验系统性不强

1. 单摆实验主要是要得到摆长以及摆动的周期，这样便可以求得重力加速度。但是从实验教学的角度上来说，单摆实验还具有验证“摆长一定时，在同一地点单摆的周期不变”的功能，也就是需要摆球的质量改变的情况下，验证周期

不变，与实际生活中的“钟摆”相联系。然而本实验中摆球是固定的，无法更换，进一步的想，想要远程操控替换摆球是一项具有挑战性且比较复杂的工作（除了制作多个装置）。

2. 改变摆长与牵引摆球使用的是步进电机，我们知道通过单片机可以控制步进电机转动的角度，那么可以容易想到，对于改变摆长，应该给予客户端“改变多少摆长”这样的功能，这样可以让用户设计多次改变摆长的间隔，更具有灵活性，加深对“控制变量法”的理解。对于牵引摆球，可以设计“摆球摆动多少角度”的功能，让用户在一定角度范围内选取合适的角度，让用户加深对“简谐运动”的理解。