

利用 Arduino 搭建小型面积测量装置

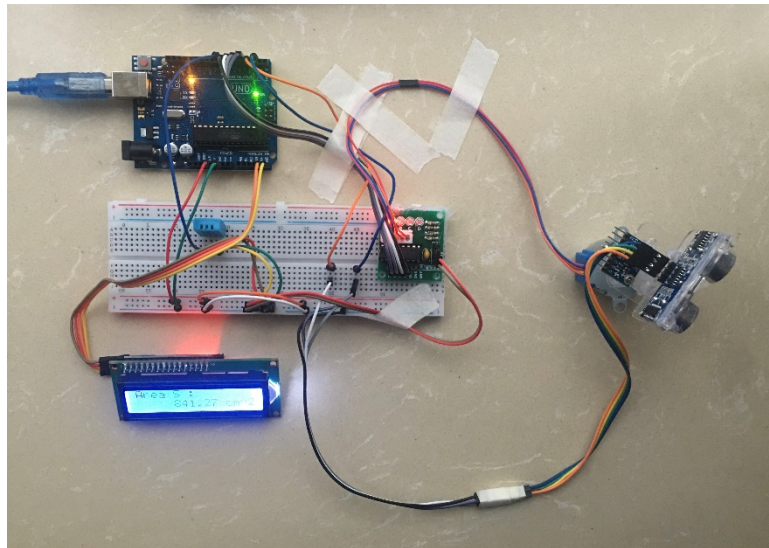
周运 物理学系

摘要：本实验利用 Arduino UNO 作为平台，使用超声波测距仪、步进电机、DHL11 温湿度计实现了一个小型面积测量装置，探究了不同入射角度和探测器相对测量面积的空间位置对于面积测量的影响，将测量结果于实际面积对比，将误差控制在了 3%以内。

一、引言

由于超声波指向性强，能量衰减缓慢，在空气、水等介质中传播的距离较远，故常常用于距离的测量；相关的电路简单且运算速度快，在生活中应用广泛，如 B 超、声纳等。

本次实验主要通过搭建实验装置（图一），设计修正算法，结合实际测量，将小面积的测量计算误差控制在 5%以内（适用于面积小于 $2m * 2m$ 的区域），大面积下可以通过更换更精准的设备实现。



图一、实验装置图

二、实验装置及原理

Arduino UNO 作为一个轻量级编程平台，可以进行计算，同时也可以外接各种元器件进行物理量的测量；

超声波测距仪的工作原理为：超声波发射器 Trig 引脚为距离测量触发引脚，只要 Trig 引脚至少有 $10\mu\text{s}$ 高电平，超声波发送模块会自动发送 8 个 40kHz 超声波脉冲，并自动检测是否有返回的信号，得到返回信号的时间间隔 Δt 。

步进电机原理：步进电机将电脉冲转化为角位移，从而实现电机转动一定角度。由于 Arduino 板载内存限制无法将步进角划分过细，此处选取步进角： $\Delta\varphi = 2\pi/128$ 。

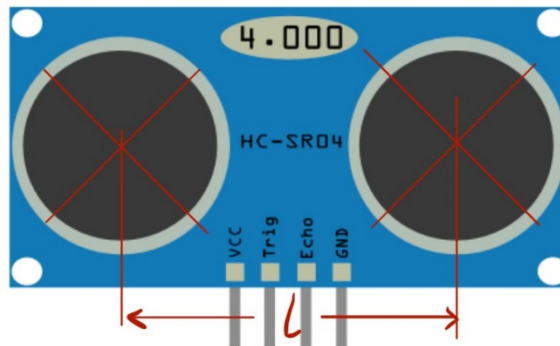
DHL11 温湿度测距仪用于测量实时温度 t ，利用公式 $v(t) = 340 * \sqrt{\frac{273.0+t}{273.0+t_0}}$ ，从而确定当前声速数值，其中 $t_0=15.0^\circ\text{C}$ 。

经过超声波测距仪测量信号收发间隔时间 ΔT ，可以得到第 i 次测量的距离：

$$d_i = \frac{1}{2} v(t) * \Delta T$$

考虑到收发器信号收发并非在同一点（见图二），两者相距 l ，故对距离进行修正：

$$d_i^1 = \sqrt{d_i^2 - (l/2)^2}$$



图二、超声波测距仪简图

面积计算使用的公式为：

$$S = \sum_i \frac{1}{4} (d_i^1 + d_{i+1}^1)^2 * \Delta\varphi$$

三、实验过程

使用 Arduino 实验板控制步进电机和超声波测距仪，探测空间坐标；外接 DHL11 温湿度传感器测量温度，对声速在不同温度下进行修正；同时外接 LCD 显

示器，用来显示测量结果。

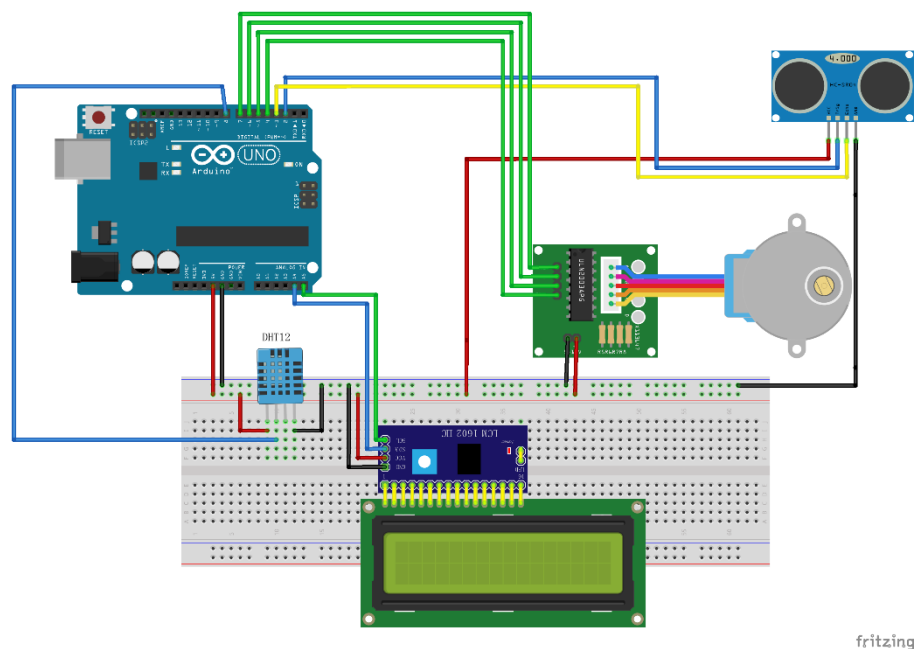
程序流程图如图三所示。

```
float get_temp(){...} //测量温度
float SonicSpeed(float t){...} //计算声速
float get_dist_and_area(){ //测量距离并初步计算面积
    for (int i = 0; i < 128; i++) //测量距离
    {
        ...
        for (int k = 0; k < 5; k++) //多次测量取平均值，测量5次，取后面三次
        {
            ...
        }
    }
    for (int i = 0; i < 128; i++) //计算面积
    {
        ...
    }
}

void loop(){
    fin_area1 = get_dist_and_area(); //测量温度，计算声速得到距离与面积
    fin_area2 = ...; //面积修正
    lcd.print("..."); //LCD输出最终信息
    while(1){}; //结束程序
}
```

图三、程序流程图

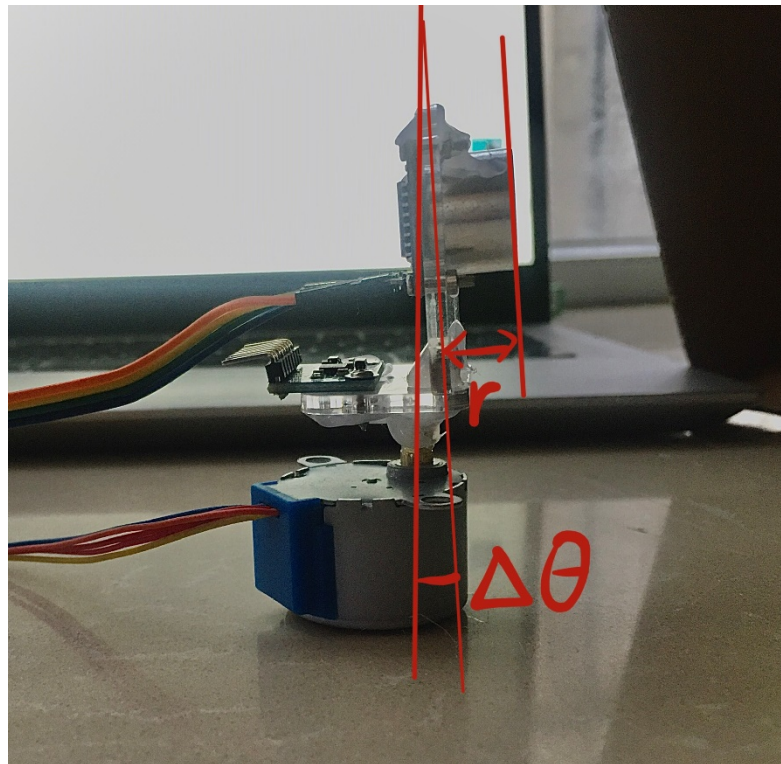
按照图四进行 Arduino 电路搭建。



图四、最终的电路图

进行误差分析与修正，经过实验发现，引起误差的有以下两点，可以在图五

中很直观地发现其来源：分别为 Δr 和 $\Delta\theta$ 两个物理量导致的误差



图五、超声波测距仪安装导致的误差示意图

1. 对于距离的修正：

在实际测量过程中，发现测量固定距离时，所得会小于步进电机转轴到所测平面的距离，令此值为 Δr ，则通过超声波测距得到的最终距离为：

$$S' = S + \pi * \Delta r^2$$

通过多次测量并取平均值，得到 $\Delta r = 1.50 \text{ cm}$ 。

2. 倾角 θ 的修正：

由于装置安装问题，使得在旋转过程中超声波收发装置与转轴 z 存在夹角 $\Delta\theta$ ，如图，会导致测量结果偏大，需要进行修正：

$$S'' = S' * (\cos\Delta\theta)^2$$

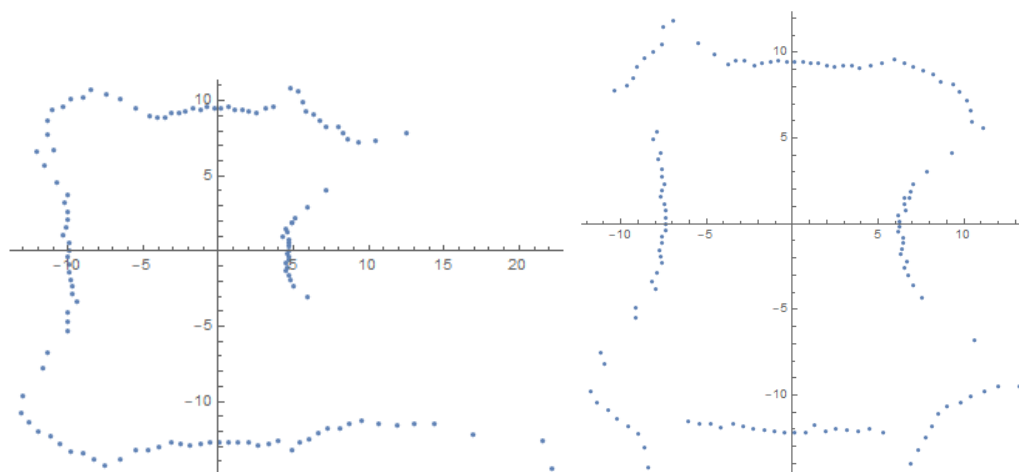
首先选择一个 $l = 24.60 \text{ cm}$ ， $d = 16.90 \text{ cm}$ 的矩形纸箱进行测量，得到一个合适的 $\Delta\theta$ 值。

再更换一个较大的矩形纸箱， $l = 33.50 \text{ cm}$ ， $d = 25.00 \text{ cm}$ ，测试该小型设备

测量结果的可靠性。

四、实验结果及分析

首先是对于较小矩形纸盒面积的测量；从结果来看，我们发现在接近测量范围角落时出现了较大的误差，如图六中 $\pi/4$ 等处出现了较大的畸变导致距离增大，并且畸变的程度存在对称性，表明与入射角度存在直接的联系。



图六、测量同一面积，不同测量位置下的距离大小，原点为探测器

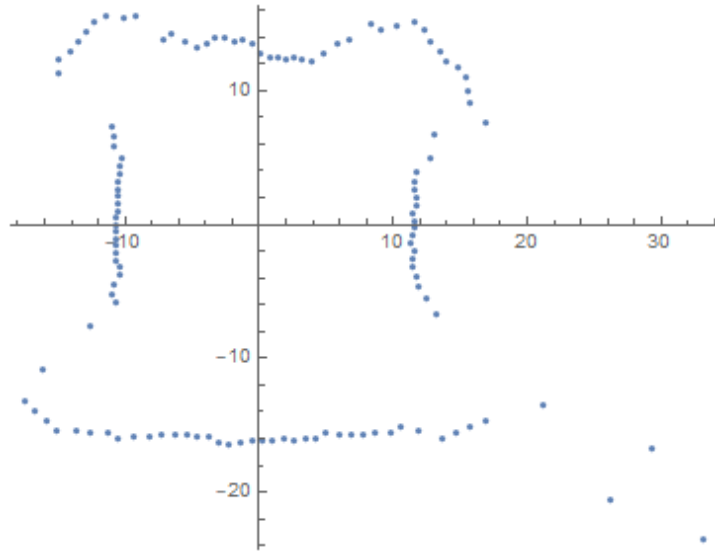
图六中我们发现，左图在(5, 0)等与坐标轴相交的地方，测量距离较好的拟合为一条直线；但是随着旋转角度的增大，导致入射角度从最初的 $\pi/2$ 逐渐减小，同时加上角落存在二次反射甚至多次反射的问题，导致了距离数值的偏大。当将超声波测距仪移至矩形纸盒中心位置后，畸变明显减小，见图六右图；在接下来测量中，均将探测器固定在纸盒的中心位置。

在使用较小的纸箱进行面积计算时，选取 $\Delta\theta = \frac{2\pi}{180}$ ，由此得到的面积为：

$$S_{测} = 410.63cm^2$$

实际面积为 $S_0 = 415.74cm^2$ ，误差为1%。

换至一个较大的纸箱后，测量距离在极坐标下的分布如图七所示



图七、较大纸箱面积测量数据

由此得到的面积为： $S_{测} = 858.74cm^2$

实际面积为 $S_0 = 837.50cm^2$ ，误差为 2.5%。

可以发现，随着面积的增加，角落畸变带来的影响会随之增大/减小。

五、实验结论

此次实验利用超声波测距的方式，搭建了一个小型面积测量装置；在实际测量过程中发现，测量结果的误差在 3%以内，并且测得的面积往往大于实际面积，原因在于超声波在角落反射时经过多次反射才返回测距仪，导致角落处距离大于实际距离，从而引起面积的偏大。

六、参考文献

- [1] 谭浩强.C 程序设计[M]. 3 版. 北京：清华大学出版社，1999.
- [2] Arduino 官方网站：<https://www.arduino.cc/>.
- [3] Arduino 中文社区：<https://www.arduino.cn/>.