

超声 GPS 三维声纳定位实验

振动频率高于 20kHz 的声波称之为超声波。超声波具有方向性强、反射性强和功率大的特点，因此超声技术的应用几乎遍及工农业生产、医疗卫生、科学研究及国防建设等方面。利用超声波作为定位技术也是蝙蝠等生物作为防御及捕捉猎物的手段。超声波是一种弹性机械波，它在水中可实现远距离传播，所以在声纳、超声波鱼群探测仪等得到了广泛的研究和应用，近来在机器人的障碍探测方面也应用相当普遍。本文介绍的水下超声定位演示仪利用了渡越时间测距及方向角检测法进行定位，运用单片机进行处理和控制，利用自编的软件进行实验数据的处理和分析，从而使学生通过实验进一步认识水下超声(声纳)定位的基本原理。

【实验目的】

1. 用时差法测量声速和距离；
2. 了解声纳的工作原理，用超声波对被测目标进行三维坐标定位。

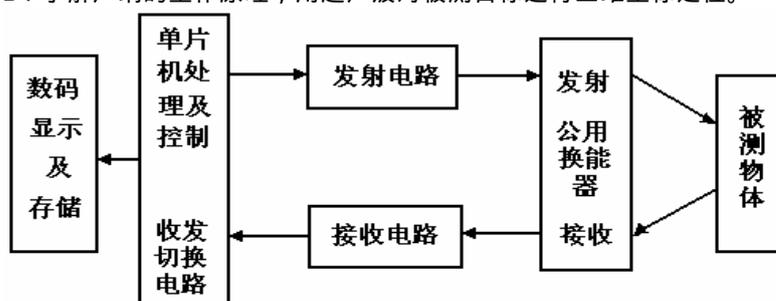


图1 FB215A型GPS(三维声纳)定位实验仪结构框图

【实验原理】

1. 测量仪的电路结构框图：

水下超声定位仪的电路结构组成如图1所示，整个系统由89C51系列单片机来控制，启动测量时，由单片机每隔10ms发出2个1MHz的超声波，驱动超声波发射器的功率电路发射出超声脉冲，同时启动单片机的计时器，当这脉冲到达被测目标时，发生反射，经水的传播被超声波接收器接收，再由放大电路进行滤波放大，使单片机产生中断，计数停止，数码显示器把测得的时间显示并可由单片机将该数据进行存储，同时可从换能器的旋转盘读取方向角度，由此实现定位的功能。

2. 超声波的定位原理：

超声波探测物体的位置是通过测距和测角同时来确定的。超声波测距的方法较多，例如渡越时间测距法、声波幅值测距法、相位测距法，它们有各自的特点，但用得最多的是渡越时间测距法，本仪器采用的就是超声波渡越时间测距法。其工作原理如下：超声波发射与接收采用同一个超声传感器，超声传感器先作为超声波发射器发出超声波，经水介质的传播到达测试目标物体，测试目标反射回来的回波，此时超声传感器切换为超声接收器，其接收到的时间，即等于渡越时间。该渡越时间与水中的声速 v 相乘，就是声波传输的总距离，即探测距离的2倍（ $2l$ ）。（由于在该仪器中，单片机编程时已将传输时间除以2，因此数码显示器显示的时间就是探测器到被测物体的时间 t ）如下式所示：

$$l = v \cdot t \quad (1)$$

对公式(1)两边进行微分可得：

$$dl = v \cdot dt + t \cdot dv \quad (2)$$

公式(2)说明，超声波测距传感器的测试精度是由渡越时间和声速两个参数的精度决定。如将速度 v 看作是常量，则公式(2)可简化为：

$$dl = v \cdot dt = v / f \quad (3)$$

公式(3)表明：计时电路的计时频率越高，传感器的测试精度也越高，因此我们在设计时把计时频率设计为2.4MHz，时间分辨率 $<0.5 \mu s$ 。超声波的传播速度受介质温度影响最大，超声波速度 v 与环境温度 t_0 的关系可由以下经验公式给出：

$$v = 1480 \times \sqrt{(t_0 + 273.16) / 273.16} \quad (4)$$

同时该温度下的速度 v 也可利用逐差法通过实际测量的方法来求得，而目标的角度测量可直接从换能

器的方向旋转刻度盘读取。

对目标物体进行定位，知道它与相对参考点处于什么位置，一般可以用直角坐标进行描述，也可以用极坐标描述，本实验用极坐标来描述目标位置，如图2所示，知道1和就确定目标方位，1的测量用超声波。实验模拟装置由圆柱体容器以及安装在容器壁上的探测传感器等附件组成。被测物1挂在具有丝杆装置可使其沿容器半径方向做径向移动的横梁2上，即被测物可位于横梁任一位置。同时横梁2可以绕容器中心O旋转，3是换能器与可读取方向角度值的旋转盘。我们设计的仪器横梁转动角度的变动范围是 $-90.0^{\circ} \sim +90.0^{\circ}$ ，换能器转动角度范围也是从 $-90.0^{\circ} \sim +90.0^{\circ}$ ，被测物在圆柱半径方向可以在 $0 \sim 18.0\text{cm}$ 之间变化。

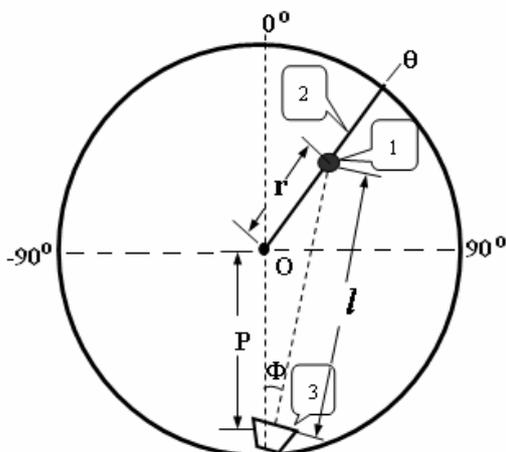


图2 实验装置的结构与坐标关系

3. 实验数据的计算：

首先，在初始时刻，当换能器置于 $=0^{\circ}$ 时，仪器横梁也处在 $=0^{\circ}$ 位置，即在同一直径上，此时可以利用经验公式(4)求取 v （亦可利用逐差法测出超声波的波速）。利用测量仪测出回波的时间 t_p ，从而可求出探测器到圆柱体容器中心的长度 $P = v \times t_p$ ，从而完成仪器的定标。然后，我们利用被测物1、换能器2的位置与角度以及圆柱体容器中心O三点构成的三角形，根据余弦定理可得：

$$r' = \sqrt{P^2 + l^2 - 2P \cdot l \cos(\Phi)} \quad (5)$$

$$\theta' = \pi - \arccos[(P^2 + r'^2 - l^2) / 2r' \cdot P] \quad (6)$$

其中 r' 和 θ' 是根据实测所得到的实验值。为了使同学们在实验中便于比较，我们在软件中设定被测物可以做三种形式的运动：因此在软件开发时我们设定了直线段、圆弧、抛物线三种标准曲线。只要在开始实验时，确定被测物体的运动轨迹、起始点与终点坐标、角度步长和长度步长 r ，该软件即可给出该被测物的运动轨迹上每一个测量点坐标的理论值 r 与 θ 。学生在实验完成后，将所得实验结果输入计算机，该辅助软件即可自动用列表法与绘图方式给出实验结果 (r', θ') 与理论值 (r, θ) 对比的相对误差及运动轨迹图。

【实验仪器】

FB215A型超声GPS（三维声纳）定位实验仪一套，专用连接线。（自备示波器）

【实验内容】

1. 定标，求传感器到圆柱体容器中心的长度P：

测量实验室的温度，利用公式(4)算出在当前温度下，声波在水中的传播速度。

也可以在 0° 和 90° 时，被测物每移动 10.0mm 测量一次时间，至少测量10次，然后用逐差法通过实测的方法来求得该温度下的速度 v 。用仪器所带的钢皮尺挂在圆柱体容器中心下面的螺钉上，测量时间，计算出长度 P 。

2. 测试物体运动轨迹跟踪：

确定好被测物的运动轨迹、起点坐标、终点坐标、角度步长和长度步长 r ，利用计算机软件可给出被测物的运动轨迹上每一个测量点对应坐标的理论值 r 与 θ ，将被测物每放置一个位置测量一次时间和角度 θ 。学生可利用被测物、换能器的位置与角度以及圆柱体容器中心三点构成的三角形，根据公式5和公式6，即利用余弦定理求得 r' 和 θ' 。

【数据与结果】

1. 记录实验室的温度。

2. 自拟表格记录所有的定标实验数据。表格的设计要便于用逐差法求相应位置的差值和计算。

(1) 被测物作直线运动：

运动轨迹坐标的理论值 (r, θ) 和根据实测结果利用软件计算所得的实验值 (r', θ') 见表1，再把参数坐标转变为直角坐标，绘出实验与理论计算所得的运动轨迹。

表 1 直线运动测量数据与结果

编号 (i)	1	2	3	4	5	6	7	8
r_i (cm)								
r_i' (cm)								
$\Delta r/r$ (%)								
θ_i (°)								
θ_i' (°)								
$\Delta\theta/\theta$ (%)								
X_i (cm)								
Y_i (cm)								
X_i' (cm)								
Y_i' (cm)								

(2) 被测物沿圆周运动：

运动轨迹坐标的理论值 (r_i, θ_i) 和根据实测结果利用软件计算所得的实验值 (r_i', θ_i') 见表 2。把参数坐标转变为直角坐标，绘出实验与理论计算所得的运动轨迹图。

表 2 圆周运动测量数据与结果

编号 (i)	1	2	3	4	5	6	7	8
r_i (cm)								
r_i' (cm)								
$\Delta r/r$ (%)								
θ_i (°)								
θ_i' (°)								
$\Delta\theta/\theta$ (%)								
X_i (cm)								
Y_i (cm)								
X_i' (cm)								
Y_i' (cm)								

【思考题】

1. 在实验中，你可试着由远到近改变被测物到探测器之间的距离，会发现测量结果与理论值的相对误差会变大，试分析其原因？
2. 你能否在该仪器的基础上开发出一种能利用超声探测器成像的仪器？

【附录一】

1. FB215A型超声GPS(三维声纳)定位实验仪的使用说明：

FB215A型超声GPS (三维声纳)定位实验仪是利用压电换能器先对准测量目标发射超声波，然后传感器自动切换为接收传感器，接收从目标物体反射的超声回波来探测距离。由于仪器发出的超声波信号频率在兆赫数量级，因此声波具有很好的方向性，这样就可以得到精确的方位，从而确定测量目标物体的位置。这里以测量水中目标的平面坐标为例：

(1) 按图 3 接线方法如下：仪器的信号“输出”连接到水槽上的“探测器”，仪器的“接收波形”连接到示波器 CH1，把示波器的扫描周期大约设置为 $100 \mu s/div$ 档，CH1 量程设置为 $0.1V/div$ 档。

(2) 按下仪器电源开关，开机后，“ μs ”灯亮，仪器处于渡越时间测量状态。将换能器对准一个目标后，应显示出一个稳定的时间值。如果 LED 显示窗口显示“0”，说明探测器没有能够接收到反射波。这时候可以缓慢转动方向杆，一旦探测器遇到目标，显示窗口立即会显示出某一稳定的读数值，

这表示已接收到反射波，同时在示波器上也可以观察到反射波信号(一个或数个小光点)，注意：示波器上读取的时间应该是实验仪显示窗口显示出来的时间的两倍。(注意：若 LED 显示窗口显示值小于 $40\mu s$ ，(例如“ $38\mu s$ ”，那么该数据是虚假的，原因是超声信号太强，信号直接传到接收电路而造成的。消除方法是：适当减小发射信号强度或减小接收信号放大倍数均可。)

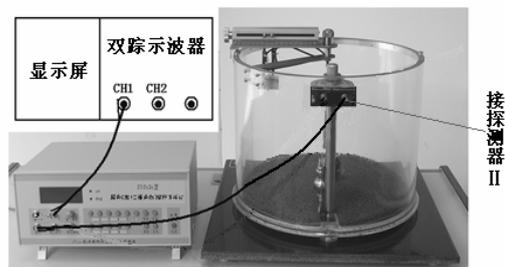


图3 FB215A对水中目标进行X、Y平面坐标定位接线图

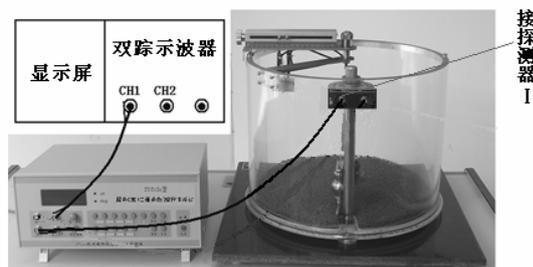


图4 FB215A对水中目标进行深度Z坐标定位接线图

- (3) 按下“角度”键，“deg”灯亮，仪器处于方位角设置、存储及查询状态。
- (4) 方位角设置：数据范围：如图 2 所示，从 $-90.0^\circ \sim 90.0^\circ$ ，精度 0.1° ，其中三位数字用数字键输入，从按第四个数字键开始，三位数字将循环显示。数字前的负号“—”由“ ”公用键输入，该键按一下，出现负号“—”，再按一下，负号“—”消除，数据中的小数点在编程时已固定，不必再从按键输入。
- (5) 在方位角设置好后，按“存储”键，红、绿指示灯应交替闪烁一下，则该方位角及其对应的渡越时间（单位时间）已成功存储为一组数据。
- (6) 再按“角度”键，转入测量状态，将换能器对准另一目标，并显示出另一稳定的时间值。
- (7) 再按“角度”键，按步骤(4)进行另一方位角设置，按步骤(5)进行下一组数据存储。
- (8) 重复上述步骤，即可存储多组方位角及其对应渡越时间的数据。仪器最多可存储 55 组数据。如果超过 55 组后，仪器又从第一组开始存储，原有数据被新数据替换。
- (9) 查询已存的数据：在“deg”灯亮时，按下“查询”键，则依次显示“组号”，“方位角”及“渡越时间”三个数值，每显示一个值，红、绿灯交替闪烁一下。三个数值显示完成后，且红、绿灯交替闪烁一下，可再按“查询”键，依次显示下一组的三个数值，或者直接输入组号（如第二组，输入“02”），再按公共键“ ”，窗口将显示该组的三个数值。查询完后，按“角度”键，退出查询状态。
- (10) 在方位角设置状态下，按下“清除”键，在红、绿指示灯交替闪烁一下后，所存数据将全部清零。
- (11) 仪器在实验过程中遇到突然断电的情况，存储数据将全部丢失，只能重做。

【附录三】FB215A型超声GPS(三维声纳)定位实验仪图片说明：

1. 水槽总(深)度为30cm，一般装水为24~25cm左右。
2. “探测器”是安装在水槽顶端的测试传感器，用以确定物体深度“Z”坐标。
3. “探测器”是安装在水槽侧面测试传感器，用以确定物体XY平面坐标。
4. 面板图中的“输出波形”是仪器发射脉冲波形监测端口，一般不必接示波器。
5. 实验中只需要用Q9专用连接线把仪器接口与“探测器”连接，接口与示波器连接即可，接口、空着不用。



图7 FB215A型超声GPS(三维声纳)定位实验仪照片