

## 基于智能手机的便携探鱼仪设计\*

李云红 王震亚 郑婷婷 王延年 惠史科  
(西安工程大学电子信息学院 西安 710048)

**摘要:**根据超声波测距和目标判定原理,利用 Wi-fi 技术将手机 APP 和硬件相结合,设计了一款可供休闲娱乐的便携式探鱼系统。首先,超声换能器信号的收发控制和目标回波信号的获取利用集成芯片 CC2500 来实现。然后,根据回波信息和手机端的过门限检测算法计算出是否有鱼以及鱼的距离,并将 A/D 采样后的数据按自设置格式打包整理。最后,通过 Wi-fi 发送到智能手机上。经过测试表明,该探鱼系统能够根据回波信号判别目标,并清晰地显示在手机应用程序界面中。

**关键词:**Wi-fi; 探鱼仪; CC2500; 超声波换能器; 智能手机

**中图分类号:** TN929.3   **文献标识码:**A   **国家标准学科分类代码:** 510.5015

## Design of portable fish finder based on smart phone

Li Yunhong Wang Zhenya Zheng Tingting Wang Yannian Hui Shike  
(Collage of Electronic Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** According to the principle of ultrasonic distance measurement and target determination, Combine Wi-fi technology with mobile APP and hardware to design a portable fish retrieval system for recreation. First, the transmission and control of the ultrasonic transducer signal and the acquisition of the target echo signal are realized by using the integrated chip CC2500. Second, According to the echo information and the threshold detection algorithm, we can calculate the distance between the fish and the fish, and A / D sampling data from the self-format format package. Finally, it is sent to the smartphone through Wi-fi. The test results show that the fish exploration system can determine the target according to the echo signal, and clearly presented in the mobile application interface.

**Keywords:** Wi-fi; fish-finder; CC2500; ultrasonic transducer; smart phone

### 0 引言

近年来,随着社会生活水平的不断提高和科学技术的快速发展,近岸垂钓作为一种休闲娱乐活动越来越被人们所青睐<sup>[1]</sup>。20世纪40年代初,人们已经开始利用回声探鱼群,第二次世界大战后许多国家开始大力进行探鱼仪的研制,到50年代已在渔船上得到广泛使用,成为海洋捕捞中必不可少的助渔仪器。但是大型探鱼仪由于体积庞大、携带不方便且价格昂贵很难在近岸休闲娱乐垂钓中广泛使用<sup>[2-5]</sup>。

为了使垂钓活动更有乐趣,各类助钓工具也雨后春笋般的涌现,其中就包括便携式水底探鱼系统<sup>[6-9]</sup>。截止到

目前,国内基于智能移动设备的探鱼仪尚没有理想的产品。为此,设计了以便携式和休闲娱乐为需求背景,综合考虑大型探鱼仪和小型助钓器特点的便携式超声波探鱼仪,该探鱼仪将智能手机作为便携式的显示和控制设备,只需要为用户提供一个超声传感器和基于移动设备的APP就可以实现探鱼的功能,通过 Wi-fi 实现智能手机与超声传感器之间的通信。与传统超声波探鱼系统相比较,该探鱼仪具有体积小、使用方便、操作简单、适用环境多样等优点,同时利用智能手机显示使画面更加清晰逼真,还能记录垂钓时的天气和地点,极大的提高了用户体验。

收稿日期:2017-03

\* 基金项目:陕西省科技工业攻关项目(2016GY-047)、陕西省科技厅自然科学基金基础研究重点项目(2016JZ026)、大学生创新创业计划项目(2016052)、研究生创新基金项目(CX201721)资助

## 1 探鱼仪原理

### 1.1 超声波测距原理

便携式探鱼仪采用主动声呐探测的原理,根据超声传感器发射脉冲信号和接收到遇到鱼等障碍物时反射回的回波信号,利用过门限检测等手段,来判断是否有鱼,并通过脉冲发射时间和回波接收时间之差来确定鱼的距离,如式(1)所示。

$$h = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

式中: $c$ 是超声波在水中的传播速度为1500 m/s, $t$ 为脉冲发射时间和回波接收时间之差。利用脉冲测距法测量时,为了避免出现距离模糊,脉冲间隔周期必须大于最大目标距离所对应的信号往返时间。

### 1.2 目标参数确定

超声波遇到目标反射的回波强度及特征是分辨不同目标和滤除噪声的主要依据。

超声换能器接收反射回来的声强度称为回波强度。鱼的种类、体积、换能器的工作频率以及鱼与换能器间的距离等因素决定了鱼目标强度<sup>[10]</sup>(TS)。另外,鱼鳔和鱼表面鳞片等的反射也对鱼反射强度有一定的影响。当把鱼的长度作为测量对象时,鱼长度与目标强度有明显的相关性,而与频率或波长的关系较小。

对于单体鱼的目标强度,结合主动声呐方程式并通过实验数据拟合得到的经验公式如式(2)所示。

$$TS = 19.11 \log L - 0.9 \log f - 62.0 \quad (2)$$

式中: $L$ 为单体鱼的长度,单位为cm; $f$ 为声波信号的频率,单位为kHz。并且只有在满足 $0.7 < \frac{L}{\lambda} < 90$ 时,式(2)才成立,由于本系统声呐频率选用110 kHz,因此鱼长 $L$ 需满足 $L < 122$  cm。而长度大于122 cm的单体鱼的目标强度与式(2)所给的经验公式差5 dB。

传播损失 $TL$ :

$$TL = 20 \log R + \alpha R \quad (3)$$

式中: $\alpha = 0.038 f^{5/4}$ (较大), $R$ 为传播距离, $\alpha$ 为吸收系数,在淡水中 $\alpha$ 可忽略不计,可按球面波计算扩展损失。在 $f = 110$  kHz的频率下,若探测距离设定为15 m则 $\alpha = 0.058$  dB/m, $TL = 24.39$  dB。鱼的回波强度为:

$$DL = SL - 2TL + TS = SL - 2(20 \log_{10} R + \alpha R) + 19.11 \log_{10} L - 0.9 \log_{10} f - 62.0 \quad (4)$$

式中: $SL$ 为声源级强度,是由换能器参数确定的。

当测得 $DL$ 、深度 $R$ 和频率 $f$ 时,鱼的长度 $L$ 可根据式(4)计算出。

水底地形和声呐波束角等因素的函数确定了水底的回波强度,回波强度计算由式(5)获取:

$$RL = SL - 2TL + TS = SL - 2TL + 10 \log_{10} S + TS_{bottom} \quad (5)$$

式中: $S$ 为声波照射面积,由深度 $R$ 和换能器半波束宽度 $\theta$

决定, $S = \pi R^2 \tan^2 \theta$ ;水底反射损失 $TS_{bottom} = 10 \log_{10} \gamma^2$ , $\gamma$ 为反射系数<sup>[11-15]</sup>,等价于两种介质分界面上的反射平面波与入射平面波的幅度的比值,是水底对声传播影响的一个重要表征,海底沉积物的波速、密度和衰减系数对其有影响。

所以,根据探测到的目标回波是鱼还是水底就可依据 $RL$ 和 $DL$ 的测量值进行有效判别。

## 2 硬件系统设计

### 2.1 系统组成框图

基于智能手机的便携式探鱼仪系统包括换能器模块、电源控制模块、无线Wi-fi模块和手机应用程序4大部分组成,如图1所示。

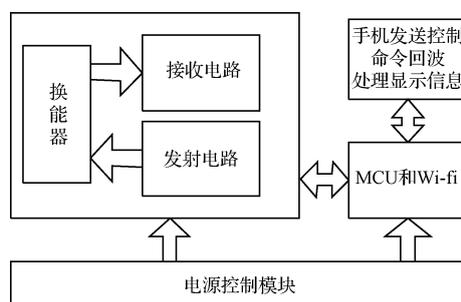


图1 系统组成框图

换能器模块由压电陶瓷换能器和驱动收发电路组成。该模块在MCU(CC2500)产生激励信号的控制下,使换能器产生和接收超声信号,实现电能和声能的转换。

3.6 V锂电池的保护和系统的供电管理由电源控制模块完成。而水接触传感器则控制着除手机外的整个硬件系统离开水时立即断电。

回波信号的采样处理和打包传输,是由MCU控制换能器模块来实现的,通过Wi-fi模式传送到手机。

### 2.2 无线通信模块CC2500芯片

无线通信模块的选择要综合考虑功耗,接收灵敏度,传输速率和芯片成本等因素,系统选用了TI公司的无线射频收发芯片CC2500作为无线通信的芯片。CC2500芯片集成了一个数据传输率达500 kbps,可配置的调制解调器,还为信息包处理、数据缓冲、脉冲传送、空闲信道评估、连接品质指示和电磁唤醒等功能提供了额外的硬件支持。CC2500的外围电路比较简单,与MCU之间通过串行外围设备接口(SPI)即可连接。CC2500适用于低功耗系统,运行模式与睡眠模式的随时切换使得系统功耗进一步降低。CC2500具有单独的64 Byte RX和TX数据FIFO为数据的可靠传输提供了保证。

### 2.3 换能器模块

发射电路和接收电路是换能器驱动电路必不可少的两部分。其中,MCU产生控制信号经过功率放大器后输出到换能器组成了换能器发射电路。接收部分是通过接收放大器对通过换能器转化来的电信号进行放大、滤波、检波等处理。超声波收发系统,如图2所示。

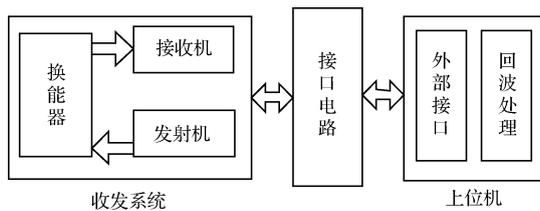


图2 超声波收发系统框图

### 3 软件设计

#### 3.1 脉冲宽度设置

脉冲宽度影响着发射功率和距离分辨率,工作深度同样受信号脉冲宽度的重要影响。如果脉冲宽度越宽,则将使反向散射信号的能量变得越强,而信噪比的提高,则对信号检测更有利。由于脉冲宽度的增大给发射机的制作带来困难同时会使声纳系统吞吐的数据量增加,所以信号的脉宽不可能任意增大。因此,脉冲宽度受发射占空比的限制,工作深度越小,限制则越明显。距离分辨率为脉宽穿过距离的  $1/2$ 。

换能器的暂态时间不能大于测量脉冲的宽度,必须使换能器达到稳定状态。因此,脉冲宽度  $\tau$  应满足以下条件:

$$\tau \geq Q/f_0 \quad (6)$$

式中:  $Q$  为换能器的品质因数,  $f_0$  为发射换能器的共振频率。

#### 3.2 MCU 的主控程序

MCU 的控制程序可以通过与 CC2500 的串行外围设备接口(SPI)连接并向其传送操作命令和配置参数来实现。主要完成对回波信号的 A/D 采样、产生换能器驱动

信号、接收手机端的控制命令和发送数据、通过 Wi-fi 与手机通信的功能。MCU 控制程序流程如图 3 所示。

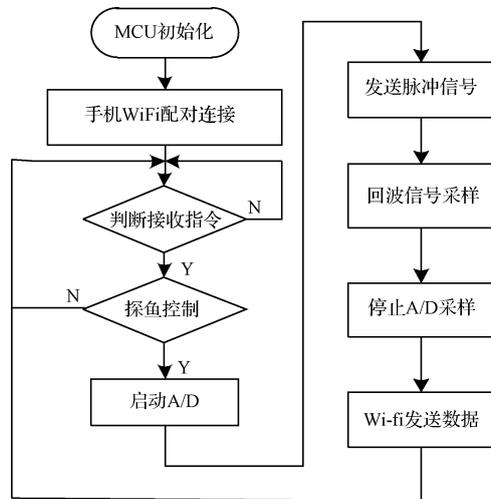


图3 MCU 控制流程

#### 3.3 算法程序设计

A/D 采样后的回波信号通过 Wi-fi 传递给手机端的应用程序,设回波信号为 SD,是一个数字序列,如图 4 所示。算法处理如下:

- 1) 去除掉水底回波信号和发射波后,针对一个周期内返回的回波信号,在其深度值附近选取设定范围,并给其设定一个相应的计数器并赋初值 0。
- 2) 在下一个周期中,若在上一个周期中设定的深度范围内返回鱼的回波信号,则将其计数器的值加 1,否则该计数器的值清零。

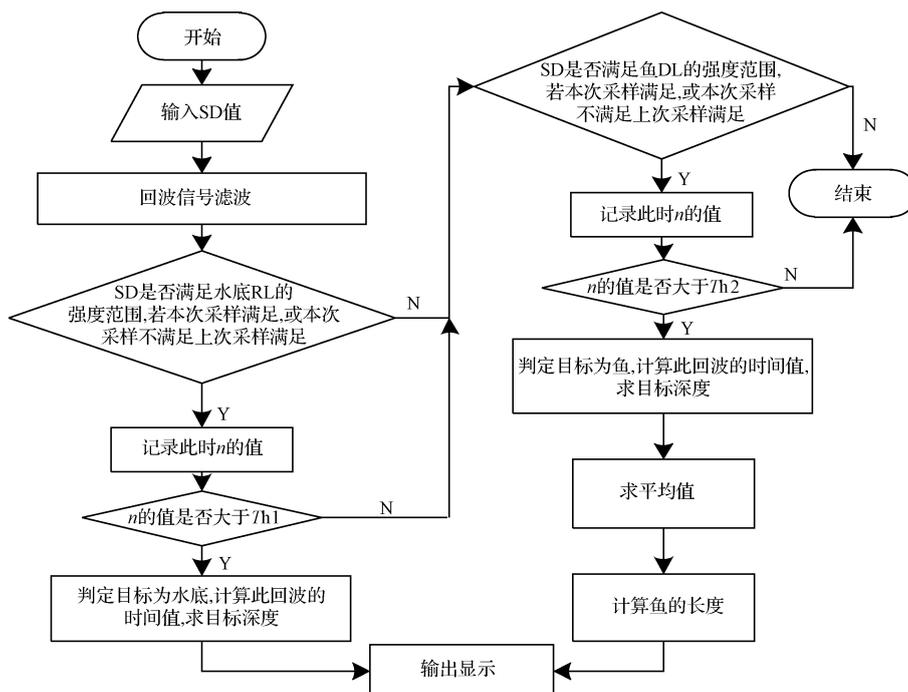


图4 回波数据的算法处理流程

3) 若有计数器值超过设定值,则可以判定相应的深度可能有鱼。接着检验回波强度值,若回波强度值处在可取的区间内,则此值可当做一个目标值,但仍需再次判断。

4) 目标确定后,依据公式求出目标距离水面的深度  $D$ 。

5) 设水底的回波强度区间为  $[RL_{\min}, RL_{\max}]$ ,当在此区间内有几个连续的  $SD > Th1$  时,则可判定目标为水底;设鱼的回波强度区间为  $[DL_{\min}, DL_{\max}]$ ,当在此区间内有几个连续的  $SD > Th2$  时,则可判定目标为鱼。

#### 4 实验数据及应用实例

为了验证系统的可行性,将该系统放在选择好的水槽中进行了测试,在深约 1.8 m 的水槽中放入一条长约 15 cm 的鱼,并控制其在水中的深度。当探鱼仪在水面上正常工作时,根据超声波对水底的探测时间并利用式(1)可以比较水底的实际深度与测量深度如表 1 所示。手机的应用显示界面如图 5 所示,其中  $D$  表示鱼距离水面的深度为 1.32 m,  $L$  表示鱼体的长度为 13.7 cm。

表 1 实际深度与测量深度

实际深度/cm	测试时间/ms	测量深度/cm
70	0.939	70.4
80	1.075	80.6
90	1.189	89.2
100	1.328	99.6

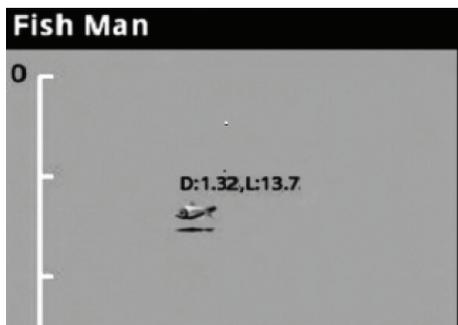


图 5 手机 APP 探鱼显示界面

从实验结果可知,探鱼仪对水底深度的探测较准确。而根据手机应用算法计算鱼体长度时,由于鱼目标强度受到鱼的种类、体积、是否有鱼鳔以及环境因素的影响,使鱼长的测试结果与实际长度误差较大。

在实际应用中,该系统可以应用在近岸垂钓或者船钓中,在这些场合使用时对便携性要求较高,利用 Wi-fi 将智能手机与探鱼仪相连接,实现了对水底鱼情信息的显示和控制,满足了休闲娱乐的要求。

#### 5 结论

该系统能够粗略地判断鱼体的大小并准确地探测出水底深度,将手机强大的功能和 CC2500 无线收发芯片的高性

能资源有效地结合,通过 MCU 的精准控制实现了探鱼设备与手持终端的数据可靠传输。利用智能手机显示鱼情信息使得设备简单便携,同时给人一种很好的视觉享受。

#### 参考文献

- [1] 李帅强,姚骏. 便携式超声波探鱼器的硬件电路设计[J]. 仪表技术,2016,8(6):7-10.
- [2] 许高斌,闵锐,陈兴,等. 一种新型超声波测距系统信号处理方法[J]. 电子应用技术,2016,42(8):84-88.
- [3] 王玉江,王志斌,宋雁鹏,等. 压电陶瓷换能器阻抗特性分析与匹配设计[J]. 压电与声光,2016,38(4):633-638.
- [4] 刘义杰,王薪岩,钱跃. 基于单片机的超声波测距装置设计[J]. 电子测试,2016,13(5):7-9.
- [5] 刘厦,刘畅,李楠,等. 智能手机应用于便携式检测技术的研究进展[J]. 分析实验室,2017,36(1):120-124.
- [6] 黄奥云,高瑜翔,陈准. 基于 Wi-fi 的无线数据传输系统的研究与实现[J]. 信息技术与信息化,2016,9(8):47-49.
- [7] 吴良圆,魏书宁,李艺阳,等. 安卓手机声波童年更新软件设计[J]. 电子测量技术,2016,12(39):48-52.
- [8] 徐爱华,姚秋萍,徐迅. 超声换能器检测方法的研究[J]. 计量与测试技术,2016,43(4):36-37.
- [9] 王芳莲,吴忻生. 基于单片机便携式鱼探仪设计[J]. 仪器仪表装置,2009,23(6):9-12.
- [10] 王威,李浩. 基于蓝牙 4.0 的低功耗的无线探鱼器系统[J]. 压电与声光,2014,44(4):667-670.
- [11] 刘明亮,朱江森. 数字信号处理对电子测量与仪器的影响研究[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(10):1041-1046.
- [12] 曹婧华,冉彦中,许志军. 基于 CC2500 的种子 RFID 无线识别系统设计[J]. 长春理工大学学报(自然科学版),2011,34(2):114-116.
- [13] 陈嘉敏. 基于 CC2500 的 2.4G 无线抢答器的设计[J]. 电子世界,2012,3(8):127-128.
- [14] 张红梅,韩万刚. 一种新的变步长 LMS 自适应滤波算法研究及其应用[J]. 仪器仪表学报,2015,36(8):1822-1830.
- [15] 田芳宁,孙国强. 脉冲信号发生器自动测试系统设计[J]. 国外电子测量技术,2011,30(3):44-45.

#### 作者简介

李云红,1974 年出生,工学博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为红外热像技术、红外热像测温技术、信号与信息处理技术、数字图像处理技术等。

王震亚,1991 年出生,硕士研究生,主要研究方向为红外热像技术在电力系统的应用。

E-mail:2436369289@qq.com