

基于蓝牙 4.0 低功耗的无线探鱼器系统

王 威, 李 浩

(电子科技大学 电子科学技术研究院, 四川 成都 611731)

摘 要:在对超声波测距和目标判定原理分析的基础上,利用蓝牙 4.0 低功耗技术和手机应用程序与硬件相结合的方法设计出一探鱼系统。此系统利用集成芯片 CC2540 实现对超声换能器的信号收发控制,获得目标回波信号,A/D 采样后将数据按自定义格式打包,再通过蓝牙 4.0 发送到具有蓝牙 4.0 功能的手机上。在手机端进行算法处理,分辨回波是鱼还是水底及目标深度,并直观地呈现在手机应用程序界面中。最终通过实际测试,验证了系统的可行性。

关键词:探鱼器;蓝牙 4.0 BLE;CC2540;超声波换能器;回波信号处理

中图分类号:TN929.3 **文献标识码:**A

Wireless Fish Finder System Based on Bluetooth 4.0 with Low Power Consumption

WANG Wei, LI Hao

(Research Institute of Electronic Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract:Based on the analysis of ultrasonic ranging and principle of objective judgment, a fish finder system was designed, using Bluetooth 4.0 low power consumption technology and combining mobile APP with hardware. An integrated chip CC2540 was used to control the receiving and sending signal of the ultrasonic transducers, and to obtain the target echo signal. After A/D sampling, the signal data was packaged in a custom format then sent to cell-phone with Bluetooth 4.0 function. Algorithm processing was completed in the mobile terminal to distinguish useful target signal(fish or underwater); and to calculate underwater depth of the target, which could present visually through APP interface of the phone. Finally the feasibility of the system was verified through practical test.

Key words:fish-finder;blue-tooth 4.0;CC2540;ultrasonic transducer;echo signal processing

0 引言

目前的探鱼器(仪)大多分为包涵水声换能器的探测部分和手持终端两部分。探测部分是工作在水中,手持终端用于探测结果的显示。这样通常会有以下问题:

1) 探测部分和手持终端的数据传输。通过有线方式将数据从探测部分传到手持终端处理显示,需要线连接,这不仅不方便,且会对距离有限制;通过无线射频方式传输虽然解决了有线问题,但功耗较大且需专门为此而设计射频接收电路。

2) 手持终端处理数据、显示结果,与使用者交互,若采用较高分辨率显示屏既增加体积,又让成本难以接收。

文中基于蓝牙 4.0 低功耗技术设计了无线探鱼

系统,将手机应用与硬件结合,无需手持终端,简化硬件部分电路,数据传输稳定可靠,显示界面更清晰、美观。

1 工作原理

1.1 超声波测距原理

探鱼器用来测深和探测目标的超声波由换能器产生。换能器实现电能与声能的相互转换,超声波遇到水底、鱼及障碍物等物体时会反射回来。回波的强度根据反射物不同而不同,这主要是物体的密度大小不同,反射和散射信号的能力不同。在接收时,换能器将声能转换成电压信号,经过滤波、放大后由 A/D 采集存储起来,然后进行算法处理,根据信号强弱来判断目标信号。

超声波测距主要有脉冲测距法和调频信号测距

收稿日期:2013-08-30

作者简介:王威(1988-),男,湖北黄冈人,硕士生,主要从事电路与嵌入式系统的研究。E-mail: weiw0710@163.com。李浩(1982-),男,四川成都人,研究员,主要从事嵌入式系统的研究。

法^[1]两种方法。脉冲测距利用接收回波和发射脉冲信号间的时间差来测距。设脉冲往返时间为 t ,声速为 v ,则目标距离 $R=1/2v \cdot t$ 。利用脉冲测距时,脉冲重复周期必须大于最大目标距离所对应的信号往返时间,否则会出现所谓的距离模糊。

1.2 目标判定原理

分辨不同目标和滤除噪声的主要依据是超声波遇到目标反射的回波强度及特征。

回波强度是指超声换能器接收反射回来的声强度。鱼目标强度(TS)由鱼的种类、大小,换能器的工作频率及鱼与换能器间的距离等因素决定。当以鱼的长度作为度量时,目标强度与鱼长度有明显的关系,而与频率或波长的关系不明显^[2]。单体鱼的目标强度 TS 与鱼的长度 L 和声纳频率 f 的关系式为

$$TS=19.1\log_{10}L-0.9\log_{10}f-62 \quad (1)$$

式中 $0.7 < L/\lambda < 90$, $\lambda \cdot f = c$ (c 为光速)。超过这个范围,则单体鱼的目标强度与式(1)给出的值平均相差5 dB。鱼鳔是反向散射回声的主要原因,无鱼鳔鱼的目标强度比有鱼鳔鱼的目标强度约小10 dB。

传播损失为

$$TL=20\log_{10}R+\alpha \cdot R \quad (2)$$

式中 $\alpha=0.038f^{5/4}$ 为衰减系数,扩展损失按球面波计算。在 $f=125$ kHz下,若设定探测距离为50 m,则 $\alpha=0.016$ dB/m, $TL=34.78$ dB。 R 为目标离水面的距离,在淡水中 α 可忽略不计^[3]。

鱼的回波强度为

$$DL=SL-2TL+TS=SL-2(20\log_{10}R+\alpha \cdot R)+19.1\log_{10}L-0.9\log_{10}f-62 \quad (3)$$

式中: SL 为声源级强度,由换能器参数给定。

当测得 DL 和深度 R 、 f 时,根据式(3)可计算出鱼的 L 。

水底的回波强度是水底地形和声纳波束角等的函数,则

$$RL=SL-2TL+TS=SL-2TL+10\log_{10}S+TS_{\text{bottom}} \quad (4)$$

式中: S 为有效波束面积,由 R 和换能器半波束宽度 θ 决定, $S=\pi R^2 \tan^2\theta$;水底反射损失 $TS_{\text{bottom}}=10\log_{10}r^2$, r 为反射系数,定义为两种介质分界面上的反射平面波与入射平面波的幅度之比,是表示海底对声传播影响的一个重要度量,它与海底沉积物的波速、密度和衰减系数有关^[4-6]。

根据 RL 和 DL 的测量值可判断探测到的目标

回波是鱼还是水底,根据式(4)还可粗略判定水底的物质。

2 硬件系统设计

2.1 系统框图

探鱼器系统主要由电源控制模块、换能器模块(包括收发电路)、蓝牙4.0模块、手机(应用程序,即APP应用)4大部分组成,如图1所示。

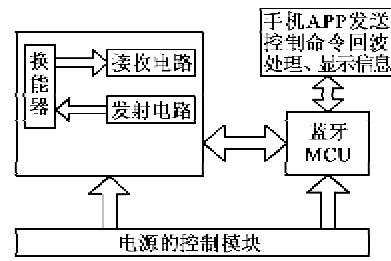


图1 系统框图

电源控制模块主要完成对电池的保护、对系统的供电管理。系统除手机外的硬件电路(称为鱼鳔)是漂浮在水中,当它离开水时,整个硬件处于断电状态。

换能器模块包括换能器和相应的驱动收发电路。这部分在MCU(CC2540)的控制下,产生激励信号让换能器发射和接收超声波,完成电能与声能的相互转换。

MCU控制换能器模块,完成对回波信号的采样,以一次回波信号的完整采样为一包数据,通过蓝牙4.0 BLE模式发送到手机。

2.2 CC2540 芯片概述^[7]

Bluetooth Low Energy(BLE)是蓝牙标准组织Bluetooth SIG开发的超低功耗蓝牙传输标准,BLE技术可达到比传统蓝牙高20~100倍的功率效益。CC2540包含一个出色的工业标准的8051内核的射频(RF)收发器、BLE技术、系统编程闪存记忆、8kB RAM、8通道12位ADC、5通道DMA和其他功能强大的配套特征及外设。CC2540适用于低功耗系统,超低的睡眠模式及运行模式的超低功耗的转换进一步实现了超低功耗。CC2540有128 kB或256 kB闪存记忆。与TI的蓝牙低功耗协议栈相连接,CC2540形成既灵活又高性价比的单模式蓝牙低功耗解决方案。

2.3 换能器模块电路

换能器工作需要驱动电路包括发射和接收两部分。发射部分由MCU产生控制信号经放大后输出

到换能器;P0_1 和 P0_2 产生持续的方波,P0_3 通过控制激励信号的时间来控制换能器发射的时间,即发射脉冲的宽度 τ ,P0_4 控制发射和接收的转换。当 P0_4 为高时,换能器处于接收回波阶段;P0_5 和 P0_6 共同为接收电路供电,当接收完成时将其拉低,可降低功耗;接收电路由滤波、放大及检波组成,P0_0 对硬件处理后的回波采样。换能器模块与 CC2540 的连接及其发射、接收电路如图 2 所示。

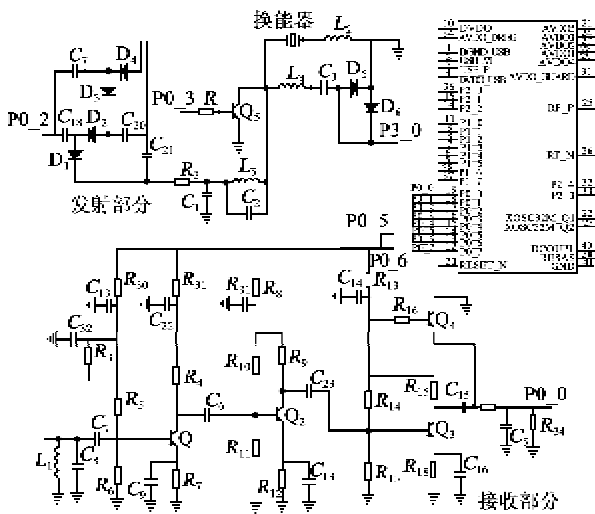


图 2 换能器收发驱动电路

3 软件设计

3.1 系统参数设置

信号脉冲宽度 τ 对工作深度有重要影响。 τ 越宽,反向散射信号的能量越强,提高信噪比,有利于信号检测。信号的脉宽也不可能任意变大,因为相同脉冲频率下,脉宽越大,发射功率越大;增大脉宽给发射机的制作带来困难,同时也增加了声纳系统吞吐的数据量。因此,脉冲宽度受发射占空比的限制,工作深度越小,限制越明显^[5]。设最大探测距离为 R_{max} ,则脉冲宽度 $\tau \leq 2R_{max}/v$ 。测量脉冲的宽度不能小于换能器的暂态时间,必须使换能器达到稳态条件, τ 应满足 $\tau > Q/f_0$,其中 Q 为换能器的品质因数, f_0 为发射换能器的共振频率。根据量程的不同,改变 τ 值可在最小分辨距离和接收信号强度间寻求最好的平衡。

3.2 MCU 控制程序

MCU 控制程序由 CC2540 中增强型 8051 核实现,主要完成 3 个功能,即产生换能器激励信号、对回波信号进行 A/D 采样、通过蓝牙 4.0 BLE 与手机通信,接收手机端的控制命令和发送数据。MCU

程序控制流程如图 3 所示。

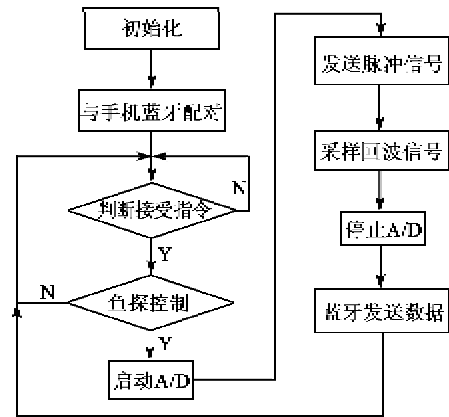


图 3 MCU 控制程序流程

3.3 手机 APP 处理算法程序

手机 APP 通过蓝牙 4.0 接收 A/D 采样后的回波信号,设为 SD ,它是一个数字序列(见图 4),算法处理如下:

- 1) 中值滤波。中值滤波对脉冲噪声有很强的抑制能力。一个包的数据就是一个序列,中值滤波是一个含有奇数个数据的窗口,在处理时,将窗口正中的一个值用窗口内各值的中值来代替。
- 2) 判断回波强度是否在可取的范围内。根据量程和鱼的大小不同,回波强度值有一个最大值和最小值。若回波强度值在这个范围内,则认为此值可能是一个目标值,再进行判断。
- 3) 确定有一目标时,计算此时目标离水面的距离 R 。
- 4) 设水底的回波强度范围为 $[RL_{min}, RL_{max}]$,当 SD 中连续几个值在此范围内时,则判定此时的

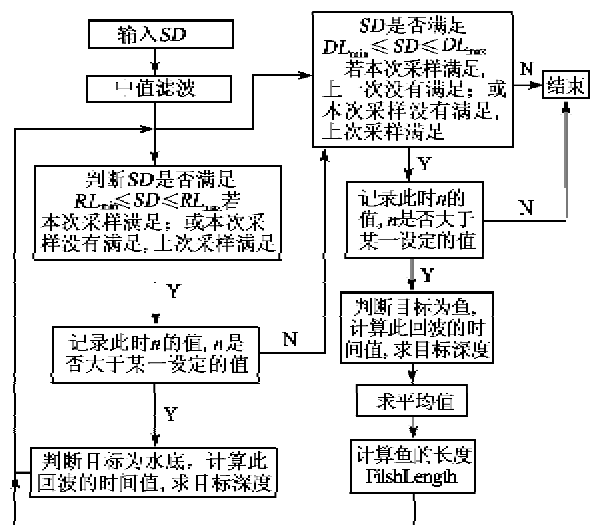


图 4 回波数据的算法处理流程

目标为水底;设鱼的回波强度范围为 $[DL_{\min}, DL_{\max}]$,当 SD 中连续几个值在此范围内时,则判定此时的目标为鱼。

根据 1.2 节中的理论分析和水底的回波强度及式(3)可知,当声源级强度 SL 、 f 、 θ 确定后,随着目标离水面的距离 R 和 L 的变化, RL 和 DL 就会有一个范围,结合实际情况可确定判决门限值。

4 实验与测试

为了验证系统的可行性,将长约 15 cm 的鱼放入水深约 1 m 的水槽中,并控制其在水中的深度。鱼探仪浮在水面上正常工作,由鱼探仪测量的水底深度与实际深度对照如表 1 所示,测量深度由测得的超声波来回时间乘以声速得到,取水中声速为 1 500 m/s。手机应用界面如图 5 所示, D :0.73, L :12.2 表示鱼离水面深度为 0.73 m,鱼长度为 12.2 cm。

表 1 实际深度与测量深度

实际深度/cm	测量时间/ms	计算深度/cm
50	0.658	49.4
60	0.807	60.5
70	0.941	70.6
80	1.047	78.5

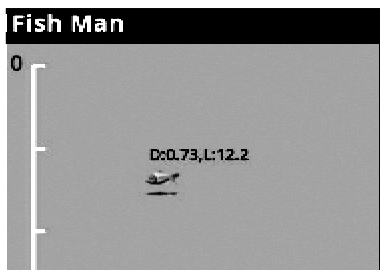


图 5 APP 探鱼界面

由表 1 可看出,测量深度较准确。根据算法计

算的鱼的长度与实际偏差较大,主要原因是 L 由式(3)计算,鱼目标强度是其决定参数,测得的鱼目标强度受环境影响较大,换能器的发射声压强 SL 也有误差。

5 结束语

此系统实现了水底和鱼的识别,能判断鱼的粗略大小,并实现了鱼镖与手机间的数据可靠性传输。探测部分整个系统采用低功耗,延长了电池的使用时间,用智能手机代替手持终端,简化了探鱼器的硬件部分,手机 APP 充分利用手机丰富的资源,数据的算法处理更复杂、处理速度快,在显示界面上给人很好的视觉享受。在 APP 中有位置、钓鱼信息共享,能分享自己的钓鱼心得和好友交流,可即时显示当时当地天气信息等。

参考文献:

- [1] 冯若. 超声手册[M]. 南京:南京大学出版社,1999:914-915.
- [2] 尤立克 R J. 水声原理[M]. 洪申,译. 哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社,1990:248-249.
- [3] 王芳连,吴忻生. 基于单片机便携式鱼探仪设计[J]. 仪器仪表装置,2008,23(6):9-12.
WANG Fanglian, WU Xinsheng. Portable fish-finder design based on microcontroller[J]. Automation & Instrumentation, 2008, 23(6):9-12.
- [4] 刘伯胜,雷家湿. 水声学原理[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1993:9-10.
- [5] 李国庆. 单波束测深仪设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.
- [6] 钱彬. 一种便携式多波束测深仪的设计与研发[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- [7] Texas Instruments. CC2540 Datasheet [EB/OL]. [2013-06-24]. <http://www.ti.com/product/cc2540>.

(上接第 662 页)

- [12] 郭庆鼎,孙艳娜. 直线永磁同步伺服电动机的 H_{∞} 鲁棒自适应控制[J]. 电工技术学报,2000,15(4):1-4.
GUO Qingding, SUN Yanna. The H_{∞} robust adaptive control for linear permanent magnet synchronous servo motor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2000, 15(4):1-4.
- [13] 秦孝艳. 一类非线性系统的鲁棒自适应控制[J]. 安徽大学学报:自然科学版,2006,30(2):10-13.
QIN Xiaoyan. Robust adaptive controller for a class of

nonlinear systems[J]. Journal of Anhui University: Natural Sciences, 2006, 30(2):10-13.

- [14] 李铁山,杨盐生,杜嘉立,等. 一类不确定非线性系统的鲁棒自适应跟踪控制[J]. 哈尔滨工程大学学报,2005,26(2):152-155.
LI Tieshan, YANG Yansheng, DU Jiali, et al. Robust adaptive tracking control for uncertain nonlinear systems[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2005, 26(2):152-155.