

# 基于超声波特征信号处理的导盲仪研究

翟佳文, 王茂森

(南京理工大学, 南京 210094)

**摘要:**导盲仪系统由超声波收发电路、特征信号处理电路、电源电路、音频播放电路组成。由超声波发生器发射超声波信号,当超声波接收器接收到回波信号之后,处理器会对回波信号进行特征提取和处理。滤除了环境带来的高频率噪声,使用信号重构算法保留原始信号的大部分特征又适当地放大,以便系统在测量前方障碍物距离的同时,能根据障碍物的不同外型进行分辨。该系统的最大探测距离为8 m,并且能分辨目标物的细微差别,精度高、稳定性好,可以满足盲人导航的基本要求。

**关键词:**导盲仪;特征信号;信号重构

**本文引用格式:**翟佳文,王茂森. 基于超声波特征信号处理的导盲仪研究[J]. 兵器装备工程学报,2018,39(6):178-182.

**Citation format:**ZHAI Jiawen, WANG Maosen. Research of the Guide Based on the Process of the Ultrasonic Characteristic Signal[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2018,39(6):178-182.

**中图分类号:**TN911.7

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-2304(2018)06-0178-05

## Research of the Guide Based on the Process of the Ultrasonic Characteristic Signal

ZHAI Jiawen, WANG Maosen

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** The sonar system consists of four parts: the sonar head module, DSP control module, audio output module and power supply module. The ultrasonic generator sends out the ultrasonic waves. When the sonar receiver caught the echo, CPU will extract the features of the echo and process the features, which can not only filter the high frequency noises caused by the surrounding environment, but can also uses the algorithm of sigal reconstruction to retain most of the features of the original signal and properly amplified them. So that when the system measures the distance between itself and the obstacle, it can also identify the obstacle according to its shape. The maximum detection distance of the system is 8 meters, and it can distinguish the nuances of objects. It has the high accuracy and good stability, which can meet the basic requirements for blind navigation.

**Key words:** blind guidance;feature of the singal;reconstruction of the signal

将超声波应用于盲人导航的技术也有很久的历史,但是对于超声波技术的应用只是根据声波反射原理提醒使用者前方有无障碍物,而关于障碍物更多的信息却无法获取。本文研发了一种基于超声波特征信号提取和分析算法的新型导盲仪。该导盲仪通过换能器发出一定频段的超声波,在收

到回波信号之后,通过一系列算法保留了原始回波的主要特点,这些特点可以有效地帮助人们进行障碍物的判断。经过实验可知,原始信号通过等比降频和信号重构算法处理后,可以突出前方障碍物的特征,不但能够应用在盲人导航平台的传感器,还可应用于各大移动机器人平台,应用十分广泛。

**收稿日期:**2018-02-15;**修回日期:**2018-03-20

**作者简介:**翟佳文(1992—),男,硕士研究生,主要从事机械制造与检测技术研究。

## 1 硬件平台介绍

导盲仪由超声波收发电路、特征信号处理电路、电源电路、音频播放电路等四部分组成。导盲仪样机如图 1(a) 所示。超声波收发电路由三个超声波换能器一字排开,超声波发射器位于中间,两个超声波接收器位于两侧,如图 1(b) 所示。调理电路会滤除超声波接收器收到的回波信号中的环境噪声,并且将信号的幅值放大。经过滤波和放大后的信号被 AD 芯片采集,然后被中央处理器处理。中央处理器芯片选用 TMS320F2812。TMS320F2812 是一款擅长于数字信号处理的 DSP 芯片,拥有 150MIPS 的主频、32 位 CPU,内部集成 128K×16bit 的闪存,18K×16bit 的 SARAM。这样的处理能力完全满足导盲仪的应用要求。

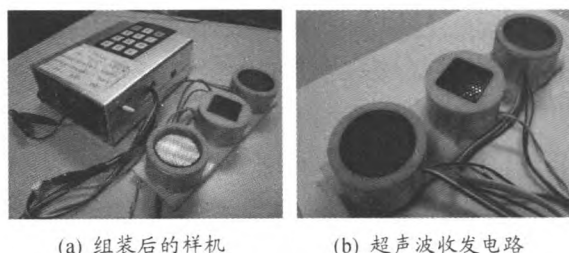


图 1 生物声纳导盲仪

## 2 特征段信号提取

如图 2 所示为墙面反射回波信号被接收器捕捉到之后经过 AD 转换,存入数组中的情况,由于寄存器为 12 位,故寄存器中信号幅值最大位 4 096。横轴为时间轴,  $t/\mu\text{s}$ ,纵轴为寄存器中信号幅值的轴,  $A$  代表信号幅值,单位为 1。为导盲仪向平滑的墙面发射超声波之后接收到的信号。它由两种信号组成,一种是携带了障碍物特征的有效回波信号,成为“特征信号段”,另一种是环境噪声。由图 2 可知在 0 s 时,接收到了一个幅值较小的信号,这是超声波发射器对于接收器的直接干扰,即超声波发射时的部分,信号被接收器直接接收到了。之后经历了一段时间的噪声,接收器收到了第一个有效回波信号,在此之后陆续收到了若干次幅值较小的有效回波信号,这些是超声波撞击墙面后反射到周围其他障碍物引起的回波。

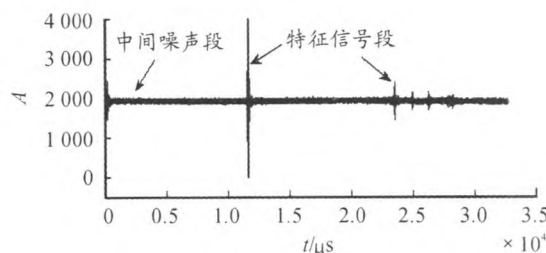


图 2 墙面反射信号

本文使用了窗口法对回波信号中的特征段进行提取。如图 3 所示,图中的信号段就是图 2 中幅值最大的那一段有效回波信号。经过反复试验可知,环境噪声的幅值远小于特征信号段幅值。这里依据多次实验的经验,设置阈值  $deta$ ,如果当前数据点幅值的绝对值大于  $deta$ ,则判定为特征信号点。对于窗口宽度  $window\_size$  内的每一个数据点均用此方法判断是否为特征信号点。如果在此窗口内没有任何一个特征信号点,则窗口顺着时间轴移动  $window\_size$  个单位长度。一旦在某个窗口内出现了幅值大于  $deta$  的特征信号点,则这个窗口起点的数组下标记录为  $data\_start$ ,窗口终点的数组下标记录为  $data\_end$ ,接着窗口不断向后移动,如果后移的过程中窗口内不断有符合条件的特征信号点,则  $data\_end$  的值不断刷新为新的窗口终点的数组下标。一旦新的窗口中没有特征信号点了,则  $data\_end$  不再刷新。那么  $data\_start$  和  $data\_end$  的值分别为这一段完整特征信号段在整个有效回波信号数组中的起始下标和终止下标,于是根据这两个下标,就能够准确地提取出一段回波特征信号段。

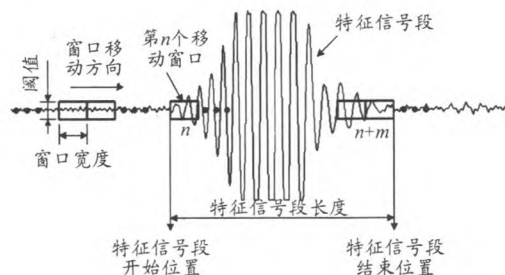


图 3 窗口法提取特征信号

## 3 特征信号处理

为了保留回波信号中的原始特征,如幅值、频率等,并且还要在保留的基础上突出这些彰显障碍物特点的信息。本文采取了两种算法相结合的方法进行信号处理,即等比降频法和信号重构法。

### 3.1 等比降频

等比降频原理图如图 4。AD 转换器以  $F_s$  的频率采样回波信号,而处理后需要播放声音的发送频率为  $F_s'$ 。 $F_s'$  比  $F_s$  降低了  $N$  倍。过程可用如下各式表示:

$$R(t) = A_1 \sin(2\pi f_1 t + \phi_1) + A_2 \sin(2\pi f_2 t + \phi_2) + \dots + A_i \sin(2\pi f_i t + \phi_i) + \dots \quad (1)$$

$$P(t) = \tau A_1 \sin(2\pi f_1' t + \phi_1) + \tau A_2 \sin(2\pi f_2' t + \phi_2) + \dots + \tau A_i \sin(2\pi f_i' t + \phi_i) + \dots \quad (2)$$

$$N = \frac{F_s}{F_s'} \quad (3)$$

$$f_i' = \frac{f_i}{N} \quad (4)$$

$$T' = N \cdot T \quad (5)$$

式(1)~(5)中: $R(t)$ 为回波信号; $P(t)$ 为被播放的信号; $F_s$

为采样频率采样;  $f_i$  为原始回波信号  $R(t)$  的频率;  $F_s$  为发送频率;  $f_i'$  为被播放的信号  $P(t)$  的频率;  $T$  为被等比降频处理前的信号时长;  $T'$  为被等比降频处理后的信号时长;  $\tau$  为幅值的变化系数;  $N$  为降低倍数。

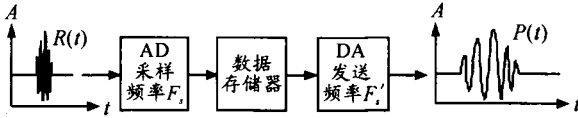


图4 等比降频原理图

因此,等比降频算法在保留信号幅值和相位角前提下,降低了信号频率,从而使得信号的播放更长,使得使用者能够有更加充足的时间听取并分析回波信号中的特征。

### 3.2 特征信号重构

进行信号重构是建立在降频和提取特征段基础上的。将特征信号段的每一个半波都扩展成多个等幅值正弦函数的半波,这样不但能使信号的时间延长,还能突出每个特征数据点,使得信号更加有辨识度。

通过公式换算,可根据特征信号段上每个半波内的采样点数,来推算重构之后的半波的频率。图5为部分特征信号段。

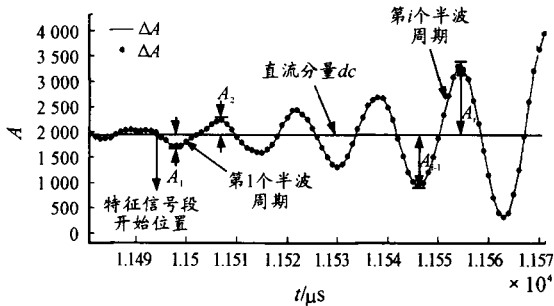


图5 部分特征信号段

若第  $i$  个半周期波点数为  $n_i$ , 则可以得到对应的频率  $f_i$  为:

$$f_i = \frac{F_s}{2n_i} \quad (6)$$

式(6)中,  $F_s$  为采样频率。

在得到  $f_i$  后,将其做如下变换:  $f_i' = g(f_i)$ ;  $f_i$  为重构之前回波信号的频率,  $g(x)$  为频率变换式,  $f_i'$  为重构之后回波信号的频率。

$g(x)$  为频率变换式。设定  $f_i$  与  $f_i'$  满足如下关系:

$$f_L \leq f_i \leq f_H \quad (7)$$

$$f_L' \leq f_i' \leq f_H' \quad (8)$$

式(7)、式(8)中:  $f_L$  为原始回波频率下限;  $f_H$  为原始回波频率上限;  $f_L'$  为构造波下限;  $f_H'$  为构造波上限。

则  $f_L'$ 、 $f_H'$ 、 $f_i'$  同时满足:

$$\begin{cases} f_L' = g(f_L) \\ f_H' = g(f_H) \\ f_i' = g(f_i) \end{cases} \quad (9)$$

$g(x)$  为抛物线变换,如图6所示,方程式为:

$$g(x) = ax^2 + bx + c \quad f_L < x \leq f_H \quad (10)$$

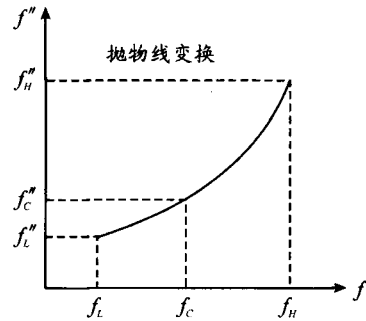


图6 抛物线变换

有:

$$f_i' = \frac{F_s}{2n_i'} \quad (\text{Hz}) \quad (11)$$

式(11)中,  $n_i'$  为  $f_i'$  对应的半波周期点。可通过下式和  $n_i$  求出。

$$\frac{F_s}{2n_i'} = g\left(\frac{F_s}{2n_i}\right) \quad (12)$$

信号重构函数如下:

$$d_i(t) = A \sin(2\pi f_i' t + \varphi) \quad 0 \leq t \leq T' \quad (13)$$

式(13)中:  $A$  为构造波的幅值;  $f_i'$  为构造后的频率;  $\varphi$  为构造波的初相位;  $T'$  为构造后波的持续时间;  $d_i(t)$  为原信号第  $i$  个半波进行重构处理的输出信号。

对时间  $t$  进行离散化处理:

$$t = \frac{m}{F_s} \quad m = 0, 1, 2, \dots, q \cdot n_i' \quad (14)$$

式(14)中,  $m$  为正整数,  $q$  为时间变换系数。

将  $t$  带入信号重构函数可得:

$$\begin{aligned} d_i(m) &= A \sin\left(2\pi \frac{F_s}{2n_i'} \cdot \frac{m}{F_s} + \varphi\right) = \\ &= A \sin\left(\pi \frac{m}{n_i'} + \varphi\right); m = 0, 1, 2, \dots, q \cdot n_i' \end{aligned} \quad (15)$$

为了使构造出的半波之间衔接平滑,对构造波的幅值进行处理,即:

$$\begin{aligned} A &= A_{i-1} + (A_i - A_{i-1}) \cdot \frac{m}{q \cdot n_i'} \\ m &= 0, 1, 2, \dots, q \cdot n_i' \end{aligned} \quad (16)$$

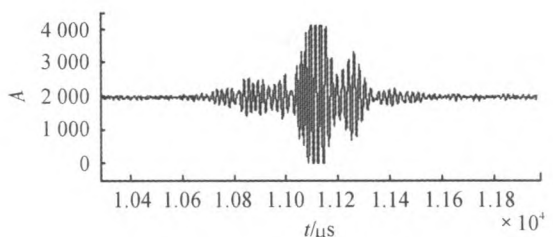
式(16)中:  $A_i$  为第  $i$  个半周期波的峰值(见图4中的  $A_i$ );  $A_{i-1}$  为第  $i-1$  个的半周期波的峰值。

综上,经过信号重构之后,新的信号波形的表达式如下:

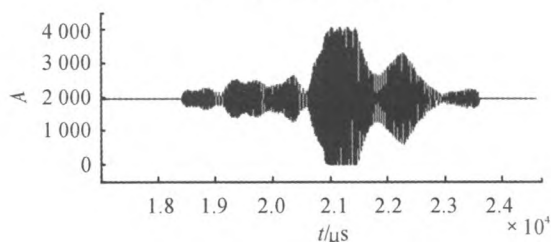
$$\begin{cases} d_i(m) = A \sin\left(\pi \frac{m}{n_i'} + \varphi\right) \\ A = A_{i-1} + (A_i - A_{i-1}) \cdot \frac{m}{q \cdot n_i'} \\ m = 0, 1, 2, \dots, q \cdot n_i' \end{cases} \quad (17)$$

对特征信号段内的每一个半周期波进行同样的处理,便完成整个特征信号段的重构。

当  $q=6$ ,  $f_L=20\text{ kHz}$ ,  $f_c=50\text{ kHz}$ ,  $f_H=70\text{ kHz}$ ,  $f_L'=12\text{ kHz}$ ,  $f_c'=60\text{ kHz}$ ,  $f_H'=300\text{ kHz}$  时,得到了如图 7 所示的特征信号段。



(a) 重构前特征信号时域图



(b) 重构后特征信号时域图

图 7 特征信号段重构前后对比

经过分析,  $\text{exptA}$  有以下特点:

- 1)  $\text{exptA}$  与  $\text{dataA}$  幅值相同,幅值随时间的变化一致;
- 2)  $\text{exptA}$  中特征信号段时域较宽,有利于使用者对特征进行分析判断;
- 3)  $\text{exptA}$  的频率范围比  $\text{dataA}$  宽。

## 4 测试与测试结论

系统基本功能有探测障碍物距离和对不同障碍物进行区分。下面对此两个功能进行测试及数据分析。

### 4.1 探测距离测试实验

实验示意图如图 8 所示,实验时,障碍物设置为面积大并且表面平整光滑的墙体,声纳探头垂直正对墙体。声纳头的移动方向垂直于墙面,改变声纳头顶端与墙面之间的距离,由近至远,可以分别得出两个超声波接收器接收到的信号的振幅最大值与声纳头与墙体之间距离的函数图象,如图 9 所示。从图 9 得知,当声纳头与墙体距离小于 3.5 m 时,回波信号的强度最高,信号振幅达到超声波接收器接收范围的最大值。当声纳头与墙体距离大于 3.5 m 时,随着距离增加,接收到的回波信号强度明显下降,一直到距离达到 8 m 时,信号强度衰减至信号强度最大时 1/8 左右,回波信号逐渐减弱。因此导盲仪至少能够探测出前方 8 m 以内的是否有障碍物。

### 4.2 不同形状物体的区分实验

本次实验的目的在于利用回波信号中的特征信息来区分不同障碍物。

障碍物为广玉兰树枝以及桂花树枝,两种树枝长度均在 30 cm 左右,且体积相近,如图 10。声纳探头发射频率在

20 ~ 70 kHz、平均频率为 50 kHz 的变频超声波。为了保证回波信号的强度足够大,声纳探头与实验对象的距离为 1.5 m,并且将其正对实验对象的中下部,即枝叶最为茂盛之处,以便能够获得最明显的回波特征。

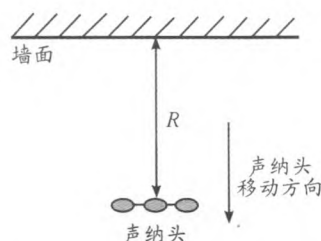


图 8 导盲仪探测距离测试实验示意图

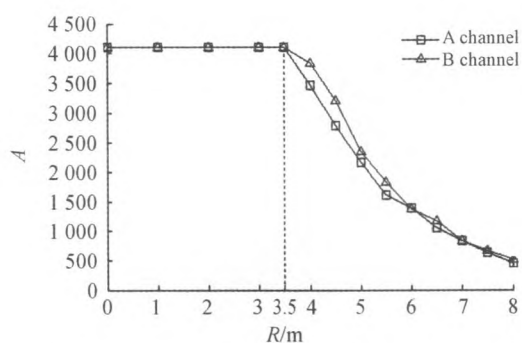


图 9 探头与墙体的距离 R 与回波信号振幅关系



(a) 广玉兰树枝



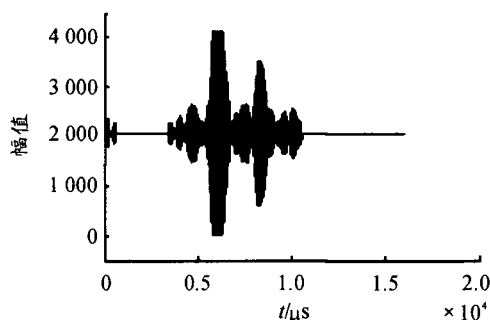
(b) 桂花树枝

图 10 实验对象

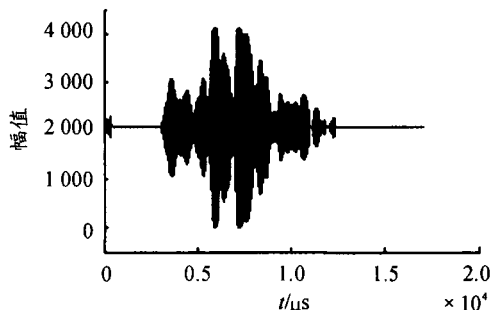
图 11 为右侧超声波接收器接收到的广玉兰树枝和桂花树枝的回波信号经过等比降频和信号重构算法之后得到了特征信号。由于寄存器为 12 位,故寄存器中信号幅值最大位 4 096。横轴为时间轴,  $t/\mu\text{s}$ ,纵轴为寄存器中信号的幅值的轴,单位为 1。

通过对比这两种波形可以发现,特征信号与障碍物的外形有着很大的关系。广玉兰的叶子稀疏,但面积较大,叶片之间的层叠间隙较少,而且叶面光滑平整,这就造成特征信号的波形比较圆润,说明声波是比较完整地反射回来,而不是经过多次反射消耗了一部分能量之后才被接收器接受到的。因此广玉兰的特征信号被播放时,使用者会听到响度较大且清脆短促的声音。桂花树的叶子茂密,但面积较小,

叶片之间的层叠间隙繁多、叶片密集,这就造成特征信号的波形有很多毛刺。说明声波是经过多次反射消耗了一部分能量之后才被接收器接收到的,反射和接受回波的过程会耗费更多的时间,这也造成了其特征信号的时间也比较长。因此桂花树枝叶的特征信号被播放时,使用者会听到一连串响度较小的声音且时间较长。



(a) 重构后右侧超声波接收器接收的广玉兰树枝特征信号



(b) 重构后右侧超声波接收器接收桂花树枝特征信号

图 11 两种植物的回波

## 5 结论

本文研究的导盲仪将接收到的回波信号进行降频重构

(责任编辑 唐定国)

(上接第 177 页)

## 参考文献:

- [1] 洪黎,张合,李豪杰,等.单兵火箭弹自主式初速存储测试系统研究[J].测试技术学报,2013(1):8-13.
- [2] 洪黎,张合,李豪杰,等.单兵火箭弹作用时间自适应修正方法[J].仪器仪表报,2013(8):1916-1920.
- [3] 翟性泉,陈荷娟.电子时间引信作用时间的自修正方法[J].弹道学报,2013(3):44-47.
- [4] 姚家红,才伟,张明宏.平衡抛射式火箭弹筒口测速技术

处理,保留且适当放大信号的特征,不但可以用于测量前方障碍物的距离还可以区分障碍物的外形,为使用者提供更多关于障碍物的信息。通过实验结果的对比和分析得出:该导盲仪性能稳定,能够满足盲人导盲的基本需求,并且结构简单、成本低廉,具有很高的实用价值。

## 参考文献:

- [1] 张毅刚.单片机原理及应用[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [2] 邹振春.MCS-51系列单片机原理及接口技术[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [3] 马秀娟,胡屏.电工电子实践教程[M].3版.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.
- [4] 张文蓉.稳定分布噪声下基于FLOS的波束形成技术的研究[D].大连:大连理工大学,2005.
- [5] 互动百科.世界视力日[EB/OL].http://www.hudong.com/,2009.
- [6] 陈春林,陈宗海,卓睿.基于多超声波传感器的自主移动机器人探测系统[J].测控技术,2004,23(6):11-13.
- [7] 于连甲.盲人手杖的国家标准[J].中国康复,2007,13:181.
- [8] 袁易全.近代超声原理与应用[M].南京:南京大学出版社,1996:328-329.
- [9] 方翔,修吉平.超声波气体流量计的研制[J].仪器仪表与检测技术,2005,24(5):67-69.
- [10] 邱晶晶.多功能导盲装置的若干问题研究[D].郑州:郑州大学,2010.
- [11] 安淑芷.超声导盲眼镜——献给失明者的爱[J].中国科技信息,1994(Z1).

研究[J].价值工程,2016(5):193-194.

- [5] 范建英.弹丸炮口速度测试技术研究[D].太原:中北大学,2014.
- [6] 赵博,张洪亮.Ansoft12在工程电磁场中的应用[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [7] SHELDON L,CYTRON.Apparatus and method for measuring exit velocity of a gun round[P].US.Pat:6644111B1,2002-05-21.

(责任编辑 唐定国)