

基于 m 序列的无串扰超声波测距系统

张松¹ 张亚²

(中北大学 机电工程学院 太原 030051)

摘要: 超声波测距是机器人较为常用的避障方法,但是当多个超声波测距系统同时使用时容易产生串扰的问题。将伪随机码 m 序列应用在超声波测距系统中,为发射的每一路超声波进行编码,使得发射端所发射的超声波具有可识别性。回波中的编码与本地所发射的超声波编码进行自相关运算,利用 m 序列良好的自相关特性,判断此回波是有效回波还是干扰回波。系统能有效地识别干扰回波并将其舍弃,从而避免多个超声波测距系统之间发生串扰。实验结果表明,该系统的测距误差小于 1.9%。

关键词: 超声波测距; m 序列; 超声波串扰

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8099

No crosstalk ultrasonic ranging system based on m sequence

Zhang Song¹ Zhang Ya²

(School of Electromechanical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Ultrasonic ranging is robot obstacle avoidance methods, but when multiple ultrasonic ranging system used at the same time easy to produce crosstalk problems. Apply pseudo random code m sequence in the ultrasonic ranging system, each for launch ultrasonic encode all the way, make the ultrasonic wave can be emitted by transmitting terminal identification. The launch of the ultrasonic echo of coding and local autocorrelation arithmetic coding, using m-sequence good autocorrelation characteristic, judge the echo is effective echoes or interference. System can effectively identify the clutter echo and abandon it, so as to avoid occur crosstalk between multiple ultrasonic ranging system. The experimental results show that the system of ranging error is less than 1.9%.

Keywords: ultrasonic ranging; m sequence; ultrasonic crosstalk

1 引言

超声串扰现象使得机器人的测距精度下降,进一步阻碍了超声传感器的发展。目前解决超声波串扰的方法有以下几种^[1-2]:1)编程实现各个超声波传感器不同时工作,避免接收到干扰的回波,这种方法使得整个测距系统效率较低,测量周期是各传感器可同时工作的几倍;2)各个传感器采用不同的频率进行工作,这种方法在传感器数量较少的情况下使用较好,但是当所安装的传感器较多时,由于超声波传感器所能发出频率的带宽较窄,分配给每个传感器的频率较为接近,因此还是存在相互之间的串扰问题;3)连续读数比较法,这是一种基于软件的处理方法。一般来说,在很短的时间内超声波传感器连续工作时所测量的数据的差值是很小的,利用这一原理,当测得的最后一数据与前一数据相差较大,则视为干扰数据,不予采用。不难看出这种方法有一定的局限性,不适合距离的突变的情况。

采用基于硬件的编码方法^[3-5],即将伪序列码 m 序列通过硬件加载到对应超声波中,使得发射的超声波可以比较容易被系统识别。这样,只要接收到回波信号就能马上识别出是哪个方位的超声回波,大大提高了测距的效率,抑制了超声串扰现象。

2 m 序列的工作原理

m 序列是伪随机序列的一种^[6-7],它拥有比较好的周期性自相关特性,因此,可以将它的这一特性应用在测量各类信号中,较传统的测量方法提高了测量的时间和测量的精度。

2.1 m 序列的产生和加载

本测距系统有 4 路超声波发射电路,因此需要 4 组 m 序列,用于对超声波编码,移位寄存器反馈连接可以产生最大线性长度的 m 序列,其特征多项式如式(1)所示。

$$f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_nx^n = \sum_{i=0}^n c_ix^i \quad (1)$$

本系统采用周期为 15 的 m 序列,由公式 $T = n^2 - 1, n$ 为 D 触发器的个数,计算得 $n = 4$ 。采用 MATLAB 中的

Simulink 进行建模生成 4 组 m 序列,其特点是简单、快捷、看可视性强,模型如图 1 所示。

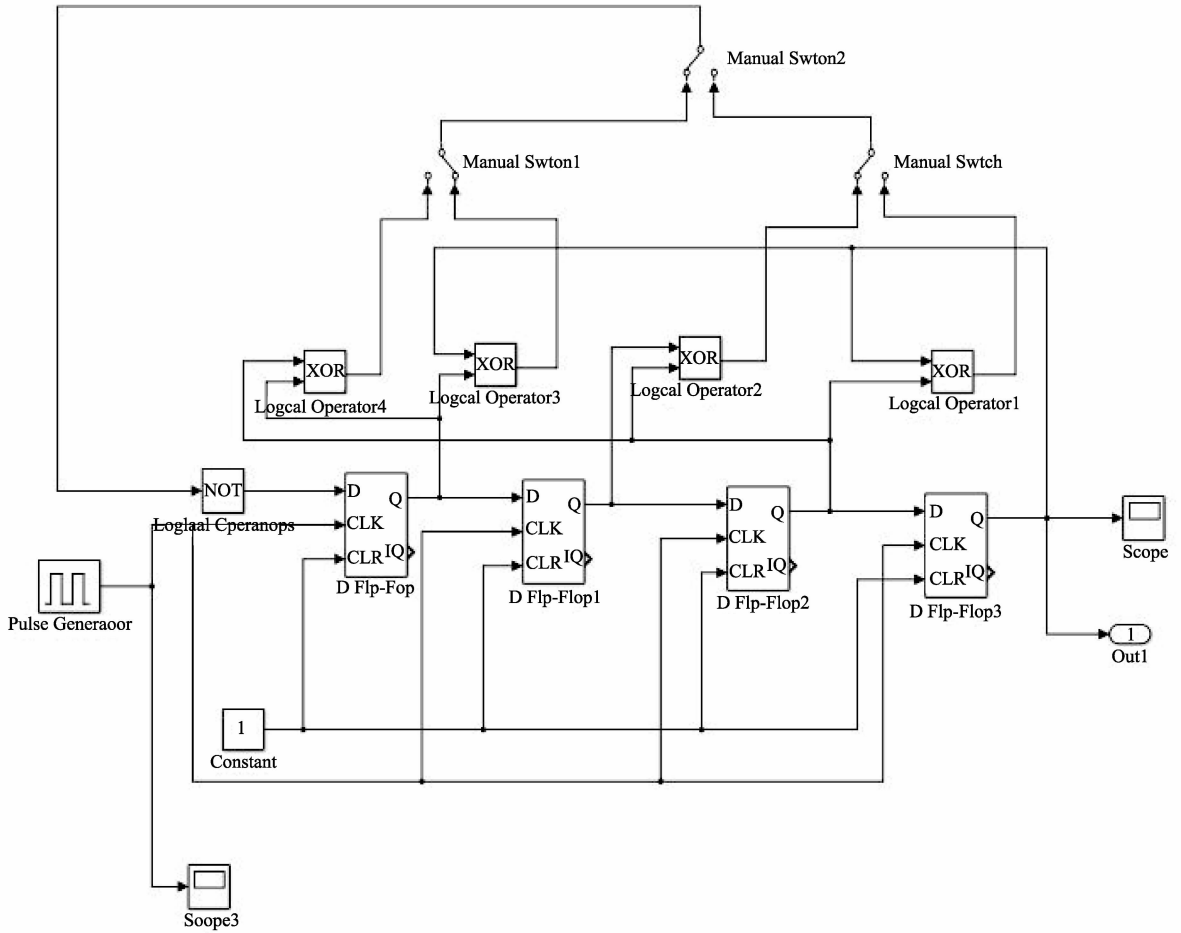


图 1 m 序列产生模型

为每个 D 触发器赋值都是 0。通过调节开关的位置,很容易产生所需要的 m 序列。仿真所得的结果如表 1 所示。

表 1 四组 m 序列值

	模型产生值
初始值	0000
第 1 组数	000011101100101
第 2 组数	000011010001101
第 3 组数	000010100110111
第 4 组数	000010110001011

已知这 4 组 m 序列,通过编程在 AT89C52 产生对应的 4 组 m 序列,通过四个 I/O 端口发送给相应的超声波发射电路,再通过发射电路将所得到的 m 序列加载到超声波

中发射出去。

2.2 m 序列的接收

超声波接收系统所接收到的信号为带有 m 序列的超声波信号,且十分微小,通过接收电路的一系列放大运算后得到可以进行处理的信号,再通过滤波处理,高速绝对值电路处理得到想要的 m 序列。m 序列为模拟量故需要模数转换,对所得到的 m 序列进行采样,量化处理,恢复出由 I/O 端口最初发出的 m 序列。

2.3 m 序列的运算

设周期为 p 的 m 序列,其码元的取值为 0 或 1,其中的两个码组为 x 和 y:

$$\begin{aligned} x &= (x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y &= (y_1, y_2, \dots, y_n) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $x_i, y_i \in (0, 1), i = 1, 2, \dots, n$, 则 x 和 y 之间的互相

关函数定义如式(3)。

$$\rho_{xy} = \sum_{n=1}^n x(n-\tau)y(n) \tag{3}$$

对于长度为 n 的码组 x 的自相关函数 $x_i, x_i \in (0,1), i = 1, 2, \dots, n$, 则 x_i 和 x_i 之间的自相关函数定义如式(4)。

$$\rho_{xy} = \sum_{n=1}^n x(n-\tau)x(n) \tag{4}$$

式中: τ 为延迟时间。正交编码为对应位两两正交的编码, 正交码组之间的互相关性很弱, 即使受到噪声干扰后也很容易区分出来, 因此其拥有非常好的抗干扰能力, 在计算中由于噪声与伪随机序列的相关度极低, 都被相关函数所抑制。如果伪随机序列有足够大的周期时, 其自相关函数将显现出尖锐的二电平特性, 和 δ 函数十分接近。如图 2 所示为 m 序列自相关特性。利用这一特性可以计算出超声波的发射与接收时差, 从而计算出所要测量的距离。

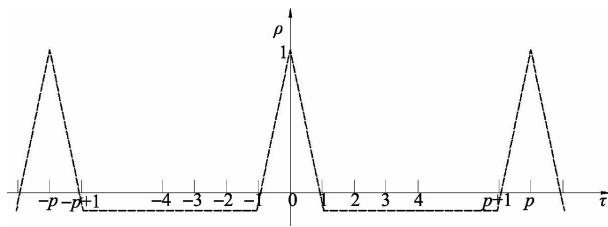


图 2 m 序列自相关特性

3 硬件电路设计

测距系统采用模块化设计, 具有结构清晰, 可移植性强, 便于调试的特点。其中主要包含了三大模块, 即超声波发射模块、超声波接收模块和主控制模块, 如图 3 所示为超声波测距系统。

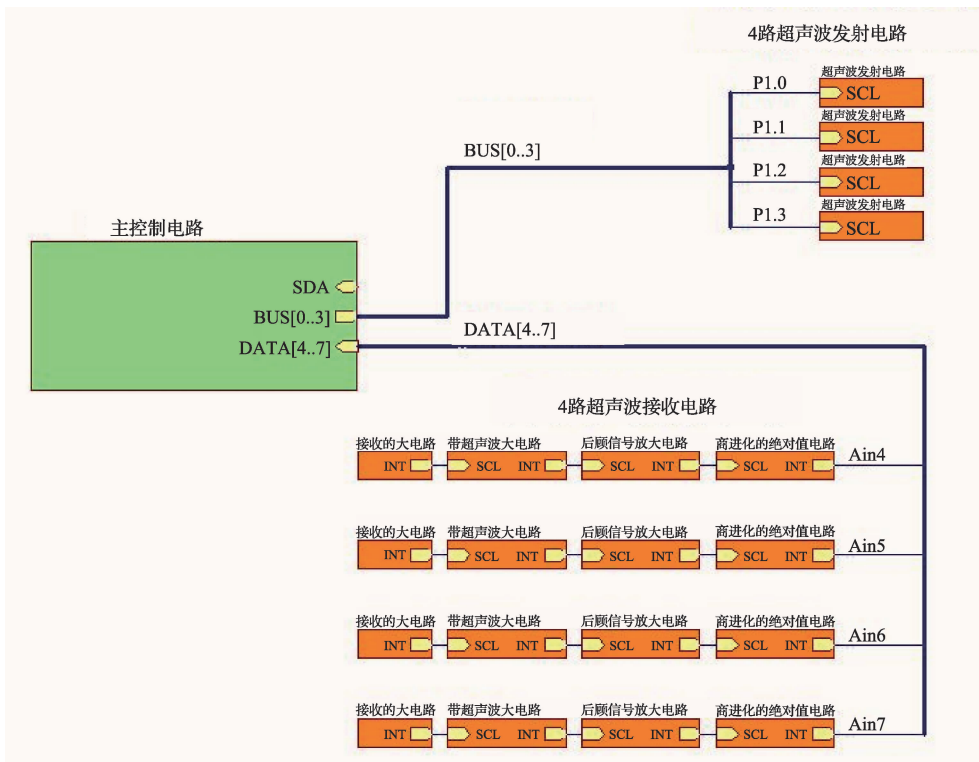


图 3 超声波测距系统

3.1 超声波总发射电路模块的设计

超声波发射电路模块主要用于发射带有加载伪序列码的超声波, 本系统采用 4 路超声波发射器, 可以实现向四个不同的方位发射超声波测距, 如图 3 超声波发射系统。其中每个框图中的结构相同。如图 4 所示, 超声波发射系统原理。AT89C52 产生 m 序列通过 I/O 口接到光耦

的一端, 高低电平的变化使得光耦导通或断开, 同时将光耦的一端连接到 LM555 使能端, 从而将伪随机码载入超声波中, 发射系统是以 LM555 时基电路为核心配合辅助元件构成 40 kHz 多谐振荡器电路。电路简单易制。电路工作电压 9 V, 工作电流 40~50 mA。发射系统所能发射的超声波距离接近 8 m。

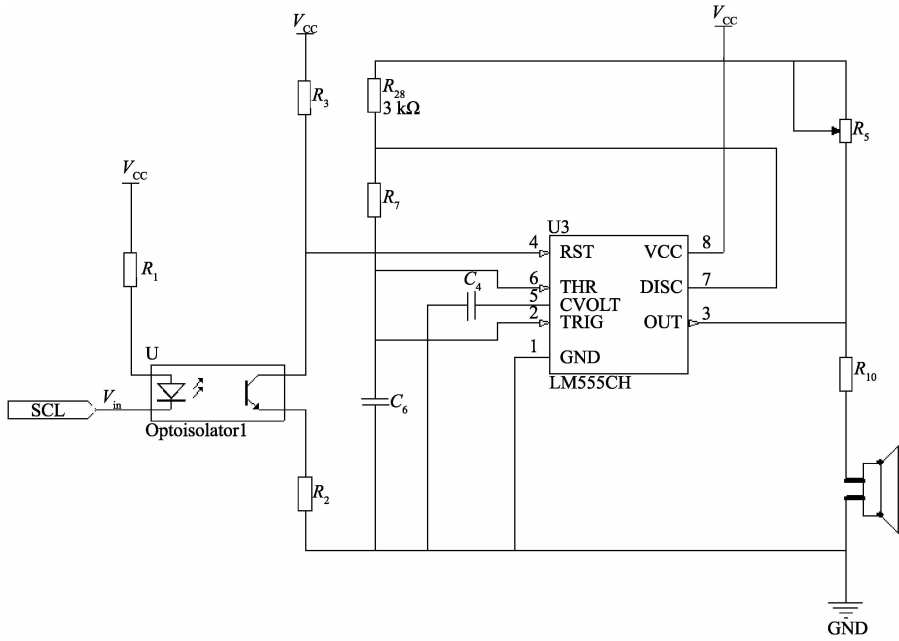


图 4 超声波发射系统原理

3.2 接收电路的设计

超声波接收模块主要由 4 大部分组成。

- 1) 超声波接收放大电路；
- 2) 带通滤波电路；
- 3) 后级信号放大电路；
- 4) 高速绝对值电路。

如图 4 超声波接收系统。4 路超声波发射系统对应 4 路超声波接收系统, 4 路超声波接收系统对应框图中的原理图结

构相同。由于超声波接收电路较为常见, 本文就不做一一介绍, 重点介绍接收电路的最后一部分, 高速绝对值电路。

后级信号放大电路传输过来的超声波回波信号中是带有所需的伪随机序列信号。高速化的绝对值电路能够有效地将伪随机序列从超声波中提出。如图 5 所示高速绝对值电路原理图。高速化的绝对值电路可以把负半轴的回波信号转到正半轴上, 从而有效的提高回波信号的有效值, 将伪随机序列提出。

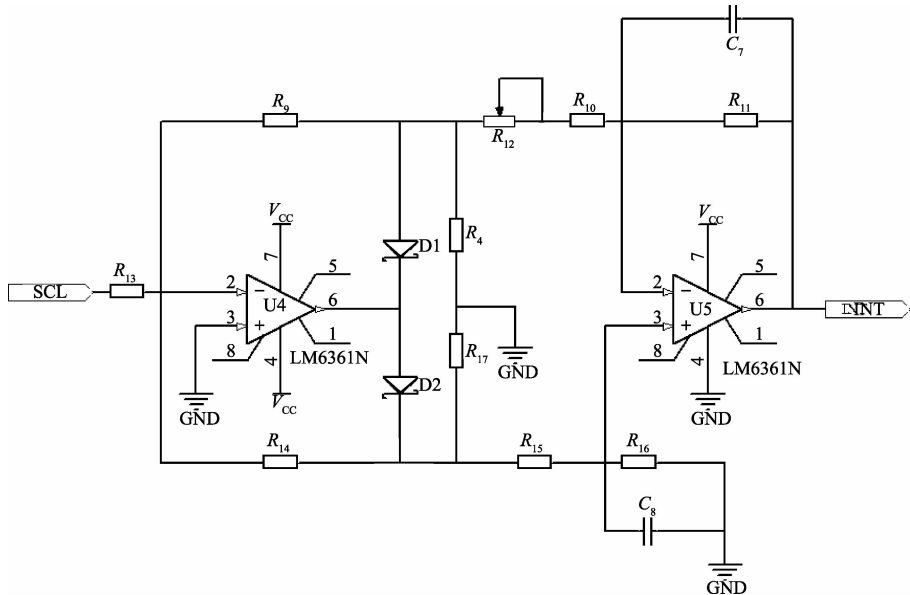


图 5 高速绝对值电路原理

3.3 主控电路的设计

主电路部分是整个测试系统的大脑,它的主要作用分为 3 部分^[8-10]。

- 1) 将伪随机码加载超声波信号中;
- 2) AT89C52 和 MAX197 结合采集超声波回波信号;
- 3) 本地 m 序列和采集的 m 序列进行相关运算,同时

计算出距离障碍物的距离。

由于加载到超声波上的伪随机序列是低频,所以选择 MAX197 芯片,其采样频率为 100 kHz。由于只有 4 路接收信号,所以只用了 MAX197 芯片上的 D4, D5, D6, D7 作为信号接收端。如图 6 所示主控制电路原理。

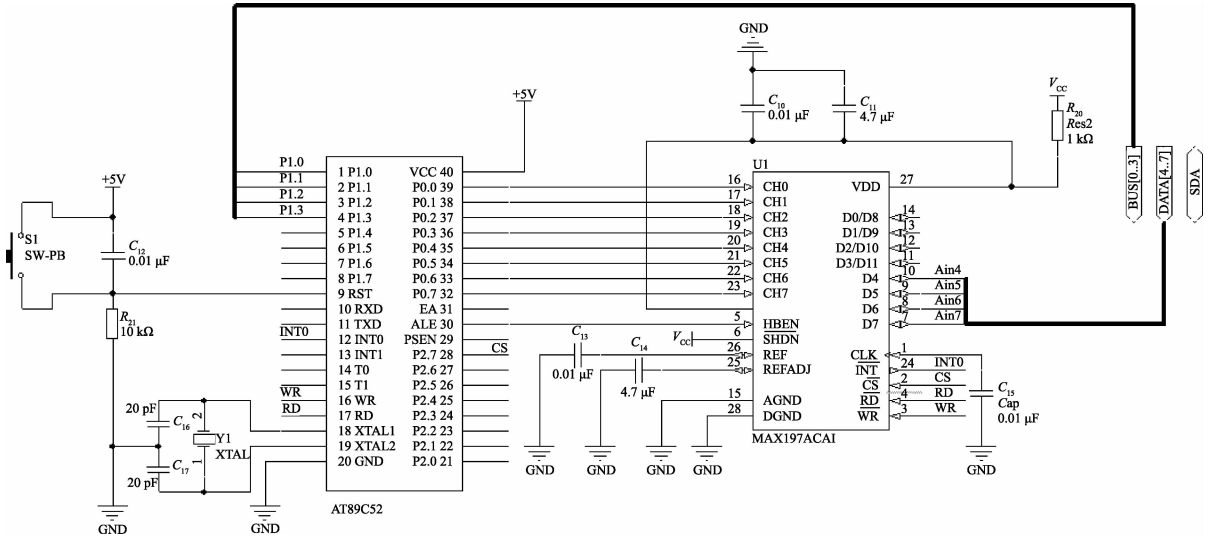


图 6 主控制电路连接原理

4 系统软件设计

主控系统的软件部分也采用模块化设计。主要分为 4 大模块。

- 1) 4 组 m 序列产生的程序;
- 2) 相关运算的程序;
- 3) 是否有峰值的判别程序及跳转程序;
- 4) 距离计算与输出的程序设计。

系统判别采集到的数据信号是否达到设定的时间段,判定采集到的数据达到要求后,系统便会立刻停止定时器中断及外部中断,不允许数据的再次发射与接收,进行相应模块的调用。系统将回波信号中的 m 序列与本地的 4 组 m 序列进行逐次的相关运算,判断是否出现系统设定的峰值,与本地任意一个 m 序列运算后出现峰值则视为此 m 序列为这一方位发射的 m 序列,记录码元相位,从而计算此位置障碍物与机器的距离,如果没有峰值出现,则立刻进行与下一组本地 m 序列进行相关运算,如果 4 组计算完成均没有出现设定的峰值,则视为干扰将其舍弃。

5 实 验

由编程产生的 4 组 m 序列周期均为 15,码元宽度由超声波所能测得的最远距离与 m 序列周期共同计算得为 1 ms, 4 组分别是 {0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 1 0 0 1 0 1}, {0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1}, {0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 1}, {0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1}, 所对应发出的 m 序列信号分别如图 7~10 所示。

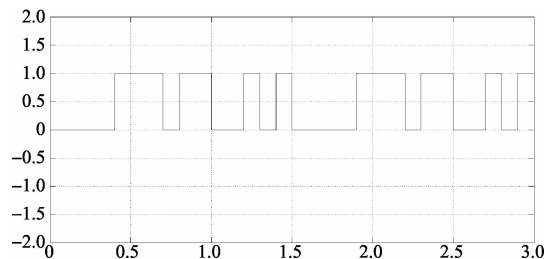


图 7 第 1 组 m 序列信号

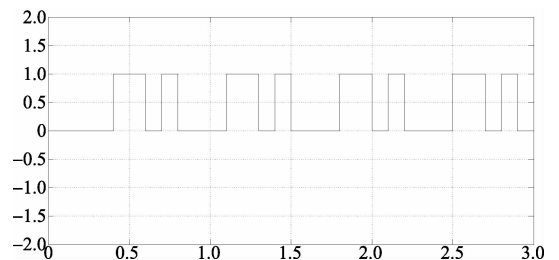


图 8 第 2 组 m 序列信号

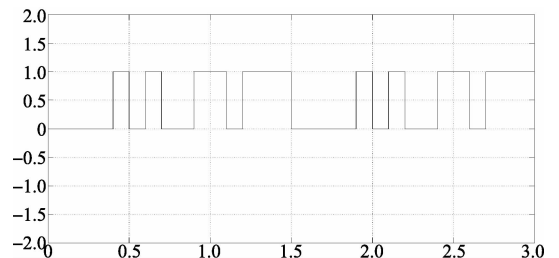


图 9 第 3 组 m 序列信号

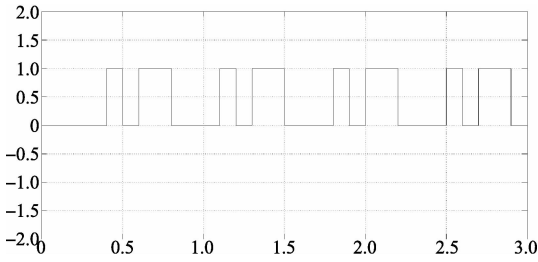


图 10 第 4 组 m 序列信号

载有 m 序列的超声波经过一系列信号处理后,提出 m 序列的模拟信号,再经过 A/D 芯片转换,将 m 序列的模拟信号转换为 m 序列数字信号,把所得到的 4 组数据分别与本地的 m 序列进行相关运算,每一组需要进行 4 组运算,所得的部分结果如图 11 和图 12 所示,所有的相关运算结果如表 2 所示。

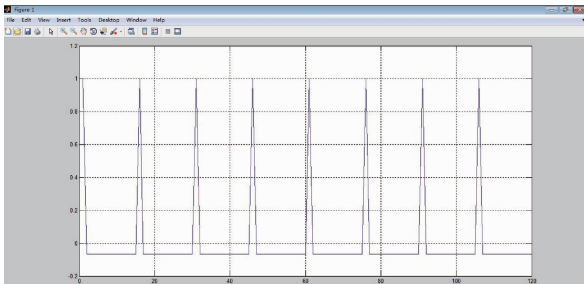


图 11 自相关运算结果

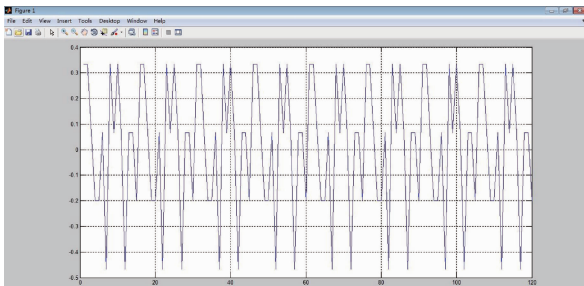


图 12 互相关运算结果

表 2 相关运算结果

相关运算结果	第 1 组 m 序列	第 2 组 m 序列	第 3 组 m 序列	第 4 组 m 序列
第 1 组	1	0.35	0.47	0.35
第 2 组	0.35	1	0.33	0.45
第 3 组	0.47	0.33	1	0.35
第 4 组	0.35	0.45	0.35	1

本实验的测量距离为 0~5.0 m,测距误差在 1.9% 内,实验结果如表 3。由此看见系统具有较好的抗干扰性。

表 3 超声波测距系统实验结果

实际距离/m	0.500	1.000	1.500	2.000	2.500
测试距离/m	0.491	1.014	1.482	1.962	2.513
相对误差(%)	0.9	1.4	1.2	1.9	0.52
实际距离/m	3.000	3.500	4.000	4.500	5.000
测试距离/m	3.048	3.479	3.918	4.481	4.920
相对误差(%)	1.6	0.6	1.8	0.42	1.6

6 结 论

本系统将 m 序列的相关特性应用到超声波测距系统中,使得超声波的串扰问题得到解决。编程要求无论是哪个接收系统接到的回波都要与本地 4 组 m 序列逐次做相关运算,判断是哪个方位超声回波,一旦检测出峰值则进行输出,否则丢弃,较之过去一个发射端对应一个接收端的方法,此系统大大提高了测距的效率,满足设计要求。但是本测距系统依然存在几个问题:

1)由于笔者能力问题,本系统选用 AT89C52 作为主芯片,但是在大量的运算中其只能勉强满足要求,如果读者有能力,可以选用 DSP、ARM、FPGA 等实时性更强的芯片作为主处理芯片,相信效果会更好。

2)超声波传播的速度不是恒定不变的,而是受许多因素影响,如温度、湿度等,本系统默认超声波的速度为 340 m/s,是存在误差的,可以增加一个超声波实时测速模块得到精确的超声波的速度。

参考文献

- [1] 张恒. 基于 DSP 的超声波微时延检测方法研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2013.
- [2] 徐跃. 基于超声波测距的机器人定位与避障[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2013.
- [3] 王荣杨, 殷勇辉. 基于伪随机序列自相关的多传感器测距系统[J]. 仪表技术与传感器, 2012(5): 91-93.
- [4] 赵小川, 罗庆生, 韩宝玲. 基于伪随机序列自相关性的新型超声波测距系统[J]. 压电与声光, 2009, 31(6): 856-860.
- [5] 程晓畅, 苏绍景, 王跃科, 等. 伪随机码超声测距系统设计及算法[J]. 测试技术学报, 2007, 21(1): 223-224.
- [6] 唐苏明, 张旭, 屠大维. 伪随机编码结构光系统的标定[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(6): 1351-1362.
- [7] 张洁, 刘苹, 卢慧, 等. 基于单片机 AT89C52 的多功能探测小车设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(8): 85-88.
- [8] 兰羽, 汪晓鸿. 基于 AT89C52 的超声波液位测量系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(10): 30-33.
- [9] 张岩, 裴晓敏, 付韶斌. 基于单片机的智能循迹小车设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(3): 51-54.
- [10] 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.

作者简介

张松, 1991 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为机电系统控制技术。

张亚, 1965 年出生, 博士生导师, 教授。主要研究方向为机电系统控制技术, 机电系统设计与分析技术, 目标、环境探测与识别技术。