

图2 程序流程图

音长度在第一个语音读完后再将第二个语音地址送到地址码端口,周而复始直至将所需的语音全部读完。同时主程序还要控制报警语音的遍数,对于测距、测向等一般报两遍,以便于操作人员听清。如是入侵报警就一直报,并不断查询操作人员有无反应,直到总台给一停止信号为止,以保证不贻误战机。

四、结束语

由于采用了单片微机控制,该系统结构简单、控制灵活、语音自然、寻址能力强、可以编程、所以声呐语音报警系统较之常规人机对话系统功能可以大为改善。在语音库存储语音时,

根据不同应用存入不同的词组就可以满足各种应用,所以该系统除了可以应用于声呐语音报警系统外,还可以适用于需要语音的任何系统。

参 考 文 献

- [1] Bowen B. A., and Brown W. R., VLSI Systems Design for Digital Signal Processing, Prentice-Hall Inc., USA, 1982.
- [2] Gupter A., and Tuong M. D., Proc. IEEE 71-11 (1983), 1236—1256.
- [3] Murphy B. T., IEEE. J. Solid-State Circuits, SC-18-3(1983), 236—244.
- [4] 国际电子商情,香港,1991, 11.
- [5] Lynch Thomas T., Data Compression, Techniques and Applications, Wadsworth Inc., USA., 1985.
- [6] Oppenkeirn A. V., Applications of Digital Signal Processing, Prentice-Hall Inc., USA., 1978.

水 声 数 字 遥 控 系 统

张 歆 张小蓟 王秀杰 杨俊杰

(西北工业大学航海工程学院,西安 710072)

1992年5月23日收到

本文介绍了一种水声数字遥控系统(声遥控系统),包括发射系统和接收系统。为抗信道衰落,在声遥控系统中,采用了分集技术与纠错编码技术,以提高系统信噪比,降低误码率。本文对声遥控系统进行了分析,并给出了实验系统的框图。

一、引言

随着通信技术、数字信号处理技术的发展,遥控系统进入了实用阶段。在水下,水声数字遥控系统随着海洋开发与水中兵器的需要而得到迅速的发展,它将在水下通信、遥测、水下航行器的控制等方面有着广阔的应用前景。本文介绍了一种水声数字遥控系统(简称声遥控系统),它包括发射与接收两个系统。发射系统将控制指令经编码、调制后发射出去,经水声信道传输到接收系统,经接收系统处理后取出控制信息。

二、水声信道与抗衰落技术

声遥控系统是利用海洋信道传输数字信息指令,由于存在着多径效应,使得海洋中任一点收到的声信号都是通过不同路径传播迭加的结果,从而使得接收的合成信号产生时间扩散与频率扩散,还会使信号畸变、衰落、去相关^[1-2]。此外,水声信道中各种环境噪声与干扰的存在,降低了接收端的信噪比,从而增加了声遥控系统的误码率,影响到系统的可靠性,而系统的可靠性对于遥控系统来说是至关重要的。因此,必须采取有效的技术措施来抗衰落,提高信噪比。

1. 分集技术与纠错编码。

在通信技术上,通常根据衰落在时间、空间、频率上的独立性采取分集技术来抗信道衰落^[3-4]。在声遥控系统中采用了时间分集与频率分集技术来改善信道传输特性,提高信噪比。此外,还采用了抗干扰能力很强的纠错编码技术。

纠错编码技术是用来纠正信道中由于噪声干扰或信号畸变引起的码的差错。该技术是在信息码元序列中,以一定的编码规则,加入校验信息或监督信息,使得接收机能利用该规则进行解码,从而发现差错,纠正差错。

差错控制编码的方法有很多,也有不同的分类方法。根据实际信道中差错的分布状况,常把差错分为两大类:孤立地、不连贯出现的差

错称为随机差错,这是实际中最常遇见的情形;成片密集出现的差错称为突发差错,它常发生在脉冲干扰或正弦干扰较突出的信道。对于这两种差错,使用不同类型的码,在不同的信道条件下,所表现的纠错能力是不同的。在分组码中有一种循环码,它有严密的数学结构,允许设计高阶纠错码。对于声遥控系统,由于信号传输受海洋噪声的干扰和信道衰落的影响,会导致接收信号出现随机错误和突发错误,所以,我们在声遥控系统中选择使用了可纠多位错误的线性分组循环码与交错编码相结合的纠错编码方案。纠错编码理论证明:该方案具有纠三位随机错误和对三组码全体纠一个九位突发错误的能力。同时,这种编码方法可使编码信号具有很强的保密性。

2. 线性分组循环码。

循环码是分组码在应用中很重要的一个分支。它具有码字移位循环性,就是说,若 $C = [C_1, C_2, \dots, C_n]$ 是一个循环码, i 次移位后,得 $C(i) = [C_{i+1}, C_{i+2}, \dots, C_n, C_1, \dots, C_i]$ 仍是一组循环码。

基于循环移位的特性,循环码可用下列多项式来描述:^[5]

$$\text{码字 } c(x) = c_1x^{n-1} + c_2x^{n-2} + \dots + c_n \quad (1)$$

其中 $c(x)$ 称为码多项式,多项式系数与码字元素相对应。

K 比特数据矢量 $D = [d_1, d_2, \dots, d_k]$ 可表示成数据多项式 $d(x)$, 即:

$$d(x) = d_1x^{k-1} + d_2x^{k-2} + \dots + d_k \quad (2)$$

码字多项式可由下式生成:

$$C(x) = d(x)g(x) \quad (3)$$

式中 $g(x)$ 是 $(x^n + 1)$ 的 $(n - k)$ 次因式,称为生成多项式。

根据系统码的定义:码字 c 的前 k 位是数据 D , 后 m 位是校验位,用多项式表示成:

$$c(x) = x^{n-k}d(x) + r(x) \quad (4)$$

式中 $d(x)$ 是不大于 $(k - 1)$ 次的多项式, $r(x)$ 是不大于 $(m - 1)$ 次的多项式,又据(3)式,用 d 代表不同的数据多项式,可表示为:

$$c(x) = d_i(x) \cdot g(x) \quad (5)$$

$d_1(x)$ 是不大于 $(k-1)$ 次的多项式, $g(x)$ 是不大于 $(m-1)$ 次的生成多项式, 合并二式得:

$$\begin{aligned} x^{n-k}d(x) + r(x) &= d_1(x)g(x) \\ x^{n-k}d(x) &= d_1(x)g(x) + r(x) \\ \frac{x^{n-k}d(x)}{g(x)} &= d_1(x) + \frac{r(x)}{g(x)} \end{aligned} \quad (6)$$

因此, $r(x)$ 是由 $x^{n-k} \cdot d(x)$ 得到的余式, 于是, 系统循环码的生成过程如下:

- ① 以 x^{n-k} 乘以 $d(x)$
- ② 以 $g(x)$ 除 $x^{n-k} \cdot d(x)$ 得 $r(x)$
- ③ 组合 $r(x)$ 和 $x^{n-k} \cdot d(x)$ 得码字 $[d(x), r(x)]$

由(3)式可知: 发送码字多项式 $c(x)$ 是生成多项式 $g(x)$ 的倍式, 经信道传输, 若发生差错, 接收码字 $c(x)$ 不再是 $g(x)$ 的倍式, 可表示为:

$$\frac{r(x)}{g(x)} = m_1(x) + \frac{s(x)}{g(x)} \quad (7)$$

或

$$s(x) = \text{Rem}[r(x)/g(x)] \quad (8)$$

$s(x)$ 是不大于 $(m-1)$ 次的码字多项式, 称为伴随式。

接收码字多项式 $r(x)$ 可表示为发送码字多项式 $c(x)$ 与差错多项式 $e(x)$ 之和:

$$r(x) = c(x) + e(x) \quad (9)$$

因此, 接收到任一码字 $r(x)$ 后, 用⑧式求伴随式 $s(x)$, 对照解码表找到 $e(x)$, 再用⑨式求 $c(x)$, 即:

$$c(x) = r(x) + e(x)$$

从而可得到正确的码字。

3. 循环码的纠错性能.

对于循环码, 接收端可根据伴随式 $s(x)$ 是否为 0 来判断接收序列是否有错, 在编码纠错能力范围内, $s(x)$ 与 $e(x)$ 一一对应. 因此, 求出 $s(x)$ 便可求得 $e(x)$, 从而对接收码纠错. 然而, 如果传输中出现的差错个数超过码的纠错能力, 即错误个数 $t > (d-1)$, d 为码的汉明距离, 或 $e(x)$ 恰为有用码组集合中的元素时, $s(x)$ 也为 0, 这时出现的的差错将不能被

发现. 不过, 在一般情况下, 除非 $e(x)$ 也是有用码组集合中的元素, 对于大于 $(d-1)$ 个差错中的大多数仍能被查出来^[4].

理论证明: 一个汉明距离为 d 的 (n, k) 循环码, 除可检查 $(d-1)$ 个随机差错外, 还可同时检查长度 $b < (n-k)$ 个任何突发差错. 循环码这种既可查随机差错, 又可查突发差错的能力, 是这一类码的一个独特优点.

在声遥控系统中, 采用了分集接收与纠错编码相结合的技术, 可使系统的误码率下降一个甚至几个数量级, 确保了系统的安全、可靠.

三、声遥控系统框图与工作原理

声遥控系统包括发射系统和接收系统两部分. 在发射系统中, 发射机首先将输入的地址、状态信息作为编码的数据信息, 采用线性循环码和交错编码相结合的编码方式, 形成能纠多位错误的 49 位纠错编码, 然后将同步信号与编码信号进行移频键控 (FSK) 调制后发射出去; 接收系统将接收到的经海洋信道传输的 FSK 信号, 经低噪声前置放大、窄带滤波、锁相解调后, 将 FSK 信号转换成编码信号, 经 51 单片机纠错译码后, 取出正确的地址与状态信息. 整机框图如下:



图1 发射机整机框图

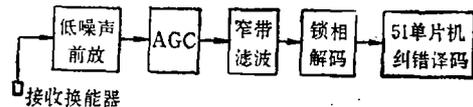


图2 接收机整机框图

1. 发射系统.

首先, 发射系统对地址、状态信息进行编码. 声遥控系统需要传递的信息有 11 位: 八位地址和三位状态. 在编码时, 将地址分为高四

位和低四位,分别按(7,4)循环码进行编码,形成对应于高四位地址和低四位地址的两组码字 $C_{\text{高}}$ 、 $C_{\text{低}}$ 对状态码按(7,3)循环码进行编码,得第三组码字 $C_{\text{状}}$ 。将上述三组码字排成一个矩阵 M ,再将矩阵的每一行作为信息码按(7,3)循环码进行编码,得编码矩阵 Q 。按行进行发射,最后形成 49 位码。

根据程序和实际 I/O 的需要,以及使用上的便利性,在发射系统中采用了配置灵活的 TP-86 单板机作为编码器,并采用分段编程。这里,我们只给出地址、状态信息编程的框图,如图 3 所示:

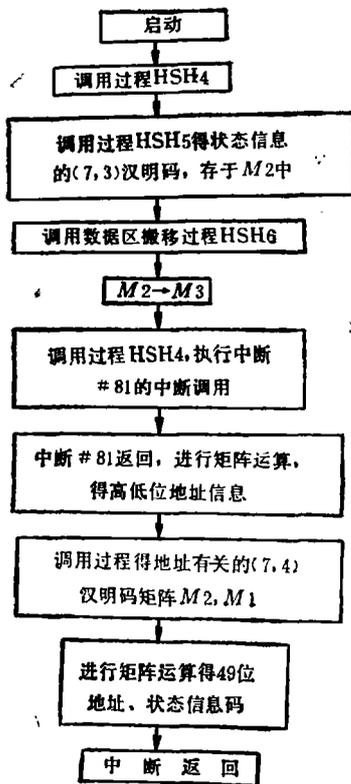


图 3 地址、状态信息编程流程图

2. 接收系统:

在接收系统中,采用开关电容滤波器作窄带滤波,其带宽可做到 40—50Hz;考虑到锁环的频率跟踪特性,在其带宽范围内能适应输入信号的幅度起伏、多普勒频移和相位变化,因

此用它来代替包络检波器,以便更好地解调信号,降低误码率;因为译码过程大都为复杂的矩阵运算,所以用 51 单片机来完成纠错译码过程。解码后,信号首先送入同步识别电路。为降低功耗,单片机在未发射时采用低功耗方式;当同步码到来时,由同步电路进行同步识别后,输出负脉冲控制单片机上电,接收信息码并对其纠错译码。

在纠错过程中,由编码矩阵 Q 的行信息生成矩阵可得相应的行校验矩阵,根据校验矩阵对每一行进行纠错。首先计算伴随式: $S_i = Q_i \cdot H^T$, $i = 1-7$ 。若 $S_i(x)$ 不等于零,说明该行接收码字有错,根据 $S(x)$ 查表找相应的误码图样 $e(x)$,将 $e(x)$ 与接收码字模 2 相加,可得纠错后码字,最后可得正确的地址、状态信息。

四、结束语

本声遥控系统共经过两次海试,其结果均良好,最远遥控距离可达 30 km 以上。实验结果表明,采用分集接收与纠错编码相结合的技术,可使接收机的信噪比大大提高,从而使误码率下降到允许的范围。

在衰落信道中,降低误码率的根本途径还在于改善信道的传输特性,提高系统的信噪比。因此,除可采用分集技术和纠错编码技术提高信噪比外,还可采用扩频技术等来提高传输可靠性;同时也可对接收机结构进一步优化以获得更大的输出信噪比,提高可靠性,这将有待于进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] R. J. 尤立克,水声原理,洪申译,哈尔滨船舶工程学院出版社,1990 年, 153—155.
- [2] 罗善政,水声数字传输系统抗信道衰落的若干技术措施,声学及电子工程,1986 年第 4 期,1—12.
- [3] 廖民强,数字通信原理,电子工业出版社,1986 年,17—30.
- [4] 乐光新,刘符,唐亚军,数据通信原理,人民邮电出版社,1988 年, 343—379.