

适应于声相关海流剖面仪的单脉冲发射信号设计

薛敬宏, 金 铭, 乔晓林

(哈尔滨工业大学(威海)信息技术研究所, 山东威海 264209)

摘要: 声相关海流剖面仪(ACCP)利用“波形不变性原理”进行测速,能够测得相对海底的绝对速度。相对于多脉冲发射体制,文章采用脉宽足够长的单脉冲进行发射,既增加了发射能量,提高了海底探测的深度,又保证了系统带宽的要求。单脉冲脉内采用相位编码,减少了测速噪声的影响,通过一个满足相关寻优准则的编码搜寻程序进行伪随机编码,编码长度与声相关延迟时间相一致,所产生编码的自相关函数具有双相关峰特性,这与双脉冲发射的测速体制相对应,解决了双脉冲发射体制测速中脉冲宽度和脉冲间隔时间之间的矛盾。

关键词: 测速;声相关海流剖面仪;单脉冲发射

中图分类号: TB56

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2006)-05-0397-04

Waveform design for acoustic correlation current profiler

XUE Jing-hong, JIN Ming, QIAO Xiao-lin

(Institute of Information Technology, Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264209, China)

Abstract: The principle of waveform invariance is used in measuring velocity of an acoustic correlation current profiler (ACCP) with bottom tracking capability to provide vessel-earth relative velocity. A single transmitted pulse with a sufficiently long duration is used to increase energy of the pulse packet and the operating range while maintaining a large bandwidth. The pulse is coded with phase coding for reducing noise variance. The coding technique involves pseudo-random codes generated by an optimal code finding program. The code length is specified with a desired time delay for correlation. The pulse has an additional autocorrelation peak at a predetermined time lag to give a function of dual peaks. Trade-off between pulse width and pulse interval is thus obtained.

Key words: velocity measurement; ACCP; mono-pulse transmission

1 引 言

声相关海流剖面仪(ACCP)能够测得相对海底的绝对速度,测速精度与声多普勒计程仪(ADL)相当^[1],成为计程仪测速研究的一个重要方向。声相关海流剖面仪可以通过发射单脉冲或双脉冲的方式,对不同位置水听器接收海底混响回波信号进行时间相关或空间相关处理,得到速度估计值。采用单脉

冲发射时,脉冲宽度受声波双程传播时间的限制,同时为了能在脉冲内进行相关,要求时延值小于脉冲宽度,因而在低速测量时,要求接收水听器的间隔很小,甚至小于接收水听器最小间隔的限制;当采用双脉冲发射时,一方面脉冲宽度不能太宽,限制了声纳的作用距离,另一方面双脉冲在测量流速时会引起流体介质层间的干扰^[2]。美国 RDI 公司在采用单脉冲体制基础上,脉内进行相位编码,产生自相关函数具有双相关峰特性的伪随机编码,将单脉冲与双脉冲发射体制的优点结合在一起^[3]。

但是,RDI 公司在寻找满足上述要求的伪随机编码的过程中,采用类似穷举法的方式寻优,计算量

收稿日期:2005-03-25;修回日期:2005-07-21

作者简介:薛敬宏(1974-),男,山东胶南人,讲师,博士研究生,主要从事水声数字信号处理、深海测速技术研究。

非常大。本文采用截短的 Gold 序列平衡码作为组成相应长码的子码,并在此基础上提出了子码优选的原则,大大减小了运算量,同时由于 Gold 序列具有良好的互相关特性,在满足双峰特性的前提下,进一步压低了旁瓣。

1 单脉冲与双脉冲发射体制比较

声相关计程仪测速根据波形不变性原理,可以采用双脉冲发射体制,即在间隔很短的时间内连续发射两个脉冲,如下图 1(a)所示:

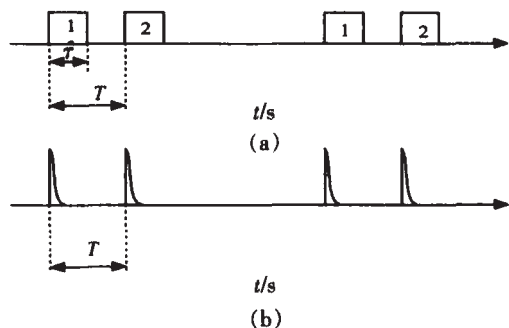


图 1 双脉冲发射示意图

Fig.1 The sketch map of two-pulse system

图 1(b)为当脉内采用伪随机编码时,相应的自相关函数。当载体运动过程中,发射换能器垂直向下发射间隔为 T 的两个单脉冲时,如果在此时间间隔内载体运动的距离正好是两个接收水听器阵元距离 d 的一半时,那么前向水听器阵元接收的第一个脉冲的回波与后向水听器阵元接收的第二个脉冲的回波将高度相关,因而可以求得载体的运动速度为:

$$v=d/2T \quad (1)$$

速度的估计可通过最大似然法或最小二乘法实现^[4]。一方面,为了保证两个脉冲回波信号不产生相互干扰,要求两脉冲发射的间距 T 大于等于脉冲宽度;另一方面,当阵元间距 d 固定时,即通过时间相关进行测速时,两脉冲发射的间距 T 受船速的限制不可能很大。上述两方面的矛盾,导致脉冲宽度不可能很大,因而也就限制了声纳进行深海测速时的作用距离。

单脉冲比双脉冲发射体制可以持续更长的时间,系统的作用距离就会更远。在我所承担的项目中,同样采用单脉冲发射体制,脉内进行相位编码,不但可以有效地抑制随机噪声的影响,而且编码信号的自相关函数具有两个时间延迟为 T 的相关峰值,这既

可以与双脉冲发射体制相对应,满足了波形不变性原理测速的要求,同时,两相关峰的延迟时间小于等于脉冲宽度,这又区别于双脉冲发射体制。

本项目中换能器的工作频率为 22kHz,每个码元占四个载波周期,为了实现不同海底深度的探测的要求,设计产生多组码长不同、双相关峰对应延迟时间不同的伪随机码,每组特定码长特定时延的编码至少提供 5 组备选码。

2 双峰特性伪随机编码方法的实现

2.1 双相关峰编码的产生

二元 m 序列虽然具有很好的自相关特性,但由于互相关特性并不能保证最优,Gold 序列是由 m 序列优选对构成的长码,由相应的本征多项式模 2 乘法构成,Gold 序列具有三值互相关特性。由于平衡码具有更好的频谱特性,利用长除法,通过特征相位多项式可以产生 Gold 序列平衡码^[5]。

本项目中采用截短的 Gold 序列平衡码作为构成长码的子码,通过不同周期的子码的重复构成 n 位长码,其中位数 n 由海底探测距离确定。所构成长码的自相关函数应该满足:0 延迟自相关峰值与 τ 延迟处自相关峰值之比不大于 3dB, $k\tau$ 延迟的自相关峰值与 $(k+1)\tau$ 延迟处的自相关峰值之比不小于 3dB,同时尽量压低相关峰之间的旁瓣。其中 τ 为根据测速范围确定的两相关峰值的间隔时间。

根据公式(1),通过声相关进行测速时,编码的自相关函数产生的两个峰值位置根据测速范围的不同而不同,构成 n 位长码的子码可以在周期为 $p=2^n-1$ 的 Gold 序列平衡码基础上截取长度为 τ 的截短序列产生。

2.2 子码的优选原则

由于所得子码是截短的 Gold 序列,不一定具有 Gold 序列优良的互相关特性,可将所得子码依次作互相关,互相关值的大小作为构成长码的子码优选的原则之一;另外,与双脉冲发射体制相对应,为保证在时间 0 和 τ 处发射能量最大,用编码脉冲自相关函数在 0 和 τ 处相关函数值的平方和除以所有相关函数值的平方和,以该值接近 1 作为子码优选的另外一条原则。

2.3 长码的构成流程

长码可按照图 2 所示的流程构成,根据 2.2 所

述原则, 满足要求的子码并不是很多, 因而再进行长码的优选时, 运算量并不是很大。

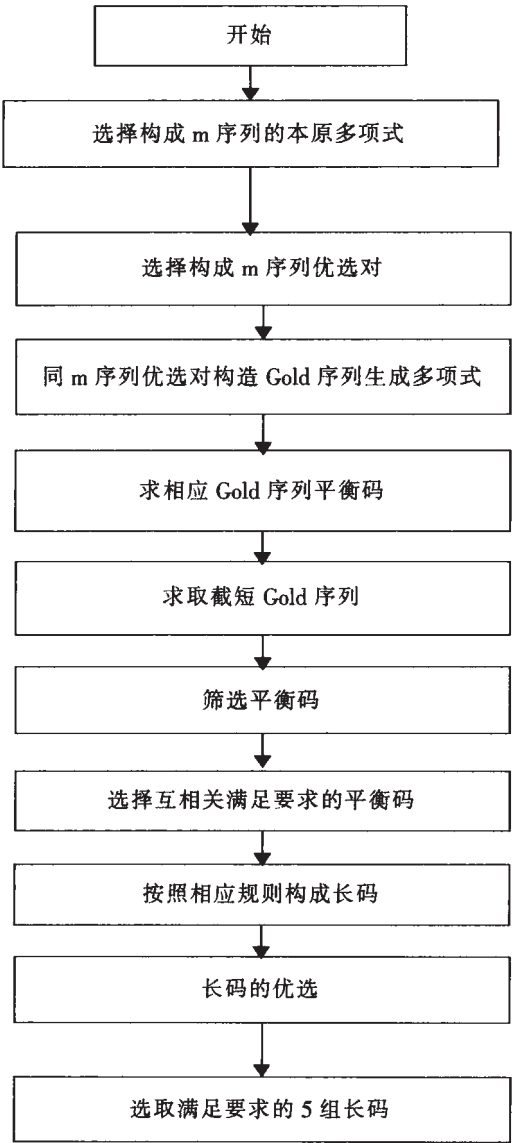


图 2 长码构成流程图
Fig.2 Flow chart of coding process

2.4 长码的构成举例

以产生 96 位码元、时间延时相当于 16 位码元宽度的具有双峰特性的长码为例, 满足要求的一种长码构成方法如图 3 所示:

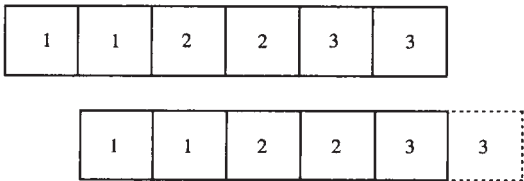


图 3 由子码构成 96 位长码示意图
Fig.3 Coding process with the code length of 96 elements

其中: 1、2、3 分别代表不同的子码。从图 3 可见, 自相关函数 $R(0)=96$, $R(16)=48+x+y$, 其中子码 1、2 的互相关值为 x , 子码 2、3 的互相关值为 y , 子码 1、3 的互相关值为 z , 同理可得, $R(32)=2^*(x+y)$, $R(48)=x+y+z$, $R(64)=2^*z$, $R(80)=z$, $R(96)=0$, 为了满足要求, $R(16)=48+x+y>48$, $R(32)$ 、 $R(48)$ 、 $R(64)$ 、 $R(80)$ 要远小于 48, 因而要求 $x+y>0$, 且 z 不能太大。再根据子码优选的第二条原则, 对满足上述互相关条件的子码进行优选, 就可以得到满足要求的子码, 选取其中三个子码, 按照图 3 的方式即可构成满足要求的长码。其它情况长码的构成可参考上述方法实现。

3 仿真结果

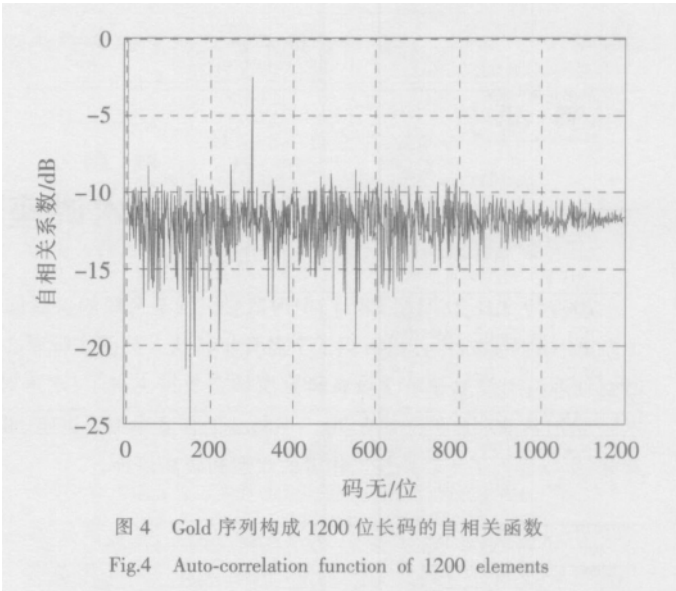


图 4 为由 1200 位码元构成的长码, 能够产生相当于 300 位码元宽度的时间延时, 双相关峰幅度相差 2.5dB, 达到双脉冲发射体制所具有的相关特性, 而码长可根据作用距离调整, 既满足深海探测的要求, 又能通过海底跟踪测出运动载体的绝对速度。同时, 在图 4 中最高旁瓣与第二相关峰相差 5.67dB, 相比较而言, RDI 公司提供范例中最高旁瓣与第二相关峰相差只有 3dB 左右。

4 结 论

该编码方案的实现, 为 ACCP 的发射体制开辟了新的设计方法, 解决了 ACCP 深海测速对波形设计的要求, 在海洋科学研究和海军装备技术发展等方面都将产生积极的影响。

参 考 文 献

- [1] 张殿伦. 舰船声学测速技术研究[D]. 哈尔滨工程大学博士学位论文. 2001. 1-7.
ZHANG dianlun. The study on ship acoustical velocity measurement technique[D]. Harbin engineering university. 2001. 1-7 (in Chinese).
- [2] 朱维庆, 王长红. 相关测速声纳测量载体对底速度的方法及其系统[P]. 中华人民共和国专利: 031196659, 2003.8.27.
ZHU Weiqing, WANG Changhong. Method and system for measuring the velocity of a vessel relative to the bottom using velocity measuring correlation sonar [P]. C. N. Patent No: 03119665.9, 2003.8.27.
- [3] Steven E. Bradley. Correlation Sonar System[P]. U. S. Patent No: 5, 315, 562, Issued May 24, 1994.
- [4] 郭纪捷, 荀俊姑, 徐正高. 声相关海流剖面(ACCP)测量的流速估计方法[J]. 海洋技术. 2001, 20(1): 93-96.
GUO Jijie, XUN Jungu, XU Zhenggao. Velocity estimation in the measurement of acoustic correlation current profiler (ACCP)[J]. Ocean Technology, 2001, 20(1): 93-96.
- [5] 查光明. 扩频通信[M]. 西安市: 西安电子科技大学出版社, 1991. 75-81.
ZHA Guangning Spread spectrum communication (in Chinese)[M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science and Technology University Press, 1991. 75-81.

简 讯

“水声新技术学术讲座”在湖北省宜昌市举行

2006年8月21日至28日,中国造船工程学会船舶仪器仪表学术委员会等在湖北省宜昌市举办“水声新技术学术讲座”。上海市声学学会水声分会组织了7名青年科技人员前往听课。杭州应用声学研究所宫先仪院士主讲了《浅海波导中的声信号时空处理》,上海船舶电子设备研究所姚蓝教授主讲了《水声对抗技术》,哈尔滨工程大学田坦教授主讲了《水声定位导航技术》。全国各地水声单位共有70余名科技工作者参加了讲座。由于主讲人所选内容均为当前水声领域的前沿技术,备课又比较充分,所以受到了年轻科技工作者的欢迎和较高评价。

上海船舶电子设备研究所情报室 陈耀娟