

# 浅海声信道中脉位信息检测的抗多途研究\*

黄衍镇 粘宝卿 许鹭芬

(厦门大学 361005)

**提要** 简述了浅海声信道中多途干扰的主要特性及其对脉位信息检测的影响,探讨克服多途干扰的几种可能途径,并提出了一种有效的抗多途方法,以实现浅海声信道中脉位信息的可靠、精确检测。

**关键词** 浅海信道,脉位信息,抗多途

\* 海洋要素(如温、盐、深等)的水声遥测,通常是由传感器将测量的量转换成电信号,经脉冲调制或量化编码后在浅海声信道中传输。此类被测的量在观测的有限时间里变化比较缓慢,因而对遥测系统的传输速率要求并不高,所以常采用脉位调制(PPM)的方式传输信息,即令脉冲出现的时间(位置) $T$ 正比于观测量(如深度 $dp$ ,即 $T \sim dp$ ),如图1所示。PPM方式具有简单、成熟、抗幅度衰落起伏好等优点,已广泛应用于无线电信道中。可是,对于浅海声信道,强多途所产生的码间干扰则是实现脉位信息准确检测的主要障碍。因此,有效克服浅海声信道中的多途干扰,是脉位信息检测系统实现可靠、精确测量的技术关键。本文从分析浅海声信道中多途的某些主要统计特性入手,寻求抗多途的可能途径。文中所讨论的内容对其他的信

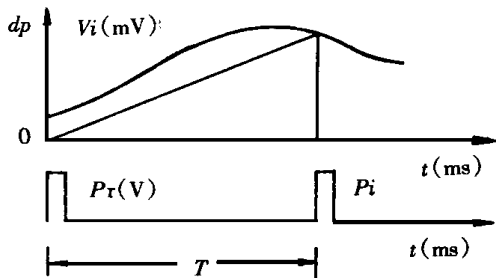


图1 形成脉位信息示意

Fig. 1 Illustration for forming pulse position information  
号检测方式具有原则的参考价值。

## 1 多途特性

浅海声信道中,多途主要是由于所辐射的信号经

海面、海底单次或多次反射在接收点随机迭加而形成的。在此过程中,声波的折射决定着声线的走向。

多途产生的时域上的扩展和分布,导致码元模糊并形成码间干扰是水声信道数据传输,特别是高速数据传输的根本障碍。多途也是信号产生强烈起伏的主要原因,加上信道的衰落效应,多途也成了数据传输中误判的重要根源。

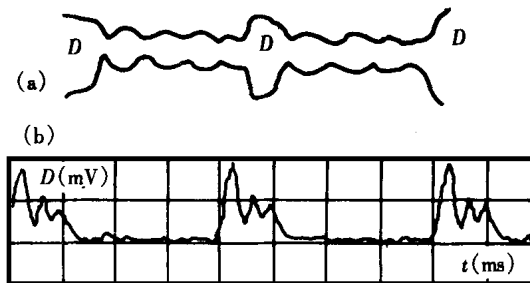


图2 不同海区接收声脉冲波形记录

Fig. 2 The record received acoustic pulse from different sea areas

作者教研室对浅海多途效应进行了多年的实验研究,根据所积累的资料,这里简要地介绍与浅海声信道中PPM信息检测有关的某些多途统计特性。

图2(a)为南海100 m左右水深,海区声速近似均匀,距离为3 km左右的包络检波记录,其中D为直达声脉冲,其余为多途干扰。多途与直达脉冲基本上能区分开,并几乎分布于52 ms的重复周期之间。图2

\* 福建省科学基金资助项目。  
收稿日期:1997-10-02

(b)为厦门港 3~15 m 左右海区相应的记录,虽然脉宽为 0.5 ms,多途与直达波仍部分重叠,在这类特浅的泥沙质海底的水域,多途紧跟在直达脉冲之后几毫秒。

多途干扰形成的码间干扰如图 3 所示。其中(a)为直达和多途检波包络。当振幅超过预置的门限值,直达和多途均被形成方波,否则被消去,如图(b)所示。这样,在 PPM 的信息检测中,将出现两个差错的脉位信息。显然,不消除此类干扰是不可能实现 PPM 信息的可靠检测。

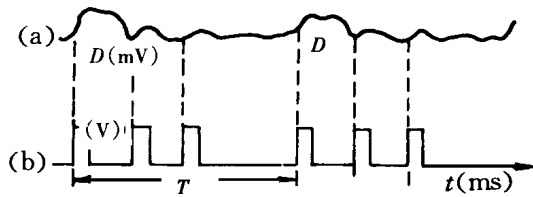


图 3 多途干扰形成码间干扰示意

Fig. 3 Illustration of intersymbol interference caused by multipath

图 4 中的曲线 2 示出同阶多途相关性,距离为 3.5 km。为了比较,直达信号脉冲的相关系数也描于曲线 1。由于多途干扰除了受到介质自身不均匀性影响外,还经海面 and 海底的随机散射和反射,其相关性弱于直达波。即使如此,多途相关性还是很强的,时延  $t = 40 \text{ ms}$  时,相关系数  $R(\tau)$  仍在 0.9 左右。这说明,要用相关检测法抑制多途,提取 PPM 信息是行不通的。

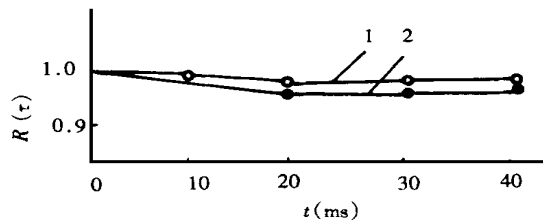


图 4 直达和多途相关系数

Fig. 4 Correlation coefficients of direct and multipath respectively

不同距离多途振幅 PDF 如图 5 所示。(a),(b)和(c)分别为 500 m, 2 km 和 5.5 km 的数据。图中曲线为具有样本相同的均值和方差绘制的广义瑞利分布曲线。总的说来,多途振幅遵从广义瑞利分布,但在距离较近(如 500 m)和较远处(如 5 km)时,趋于瑞利分布<sup>[1]</sup>。

## 2 抗多途对策

众所周知,通常的滤波和提高发射功率对抑制多途干扰是不起作用的。当前,国内外均致力于抗多途的研究<sup>[2]</sup>,特别是在高速率的数据传输条件下,并提出了许多具有创新性的信号处理方案,特别是对于浅海强多途。譬如,采用自适应波束形成技术,对抗与信号不同方向来的多途是有效的,但对信号同向或接近同向来的多途(浅海远距离传输就存在此情况)还在继续探索中。自适应均衡技术受到普遍重视,对抗较为缓和的多途也是有效的,但对快速起伏的强多途,效果就不很理想。当前,没有单一的信道模型可适合于任何水声信道,因而尚无一种信号处理方式能普遍又有效地抑制多途干扰。

然而,对于以 PPM 信息检测为基础的水声遥测,是一类低速率低容量的系统,除了通常采用合适的预置门限,以消去幅度低于门限电平  $V_R$  的一部分多途干扰外,还可以适当地增加信号处理时间来获得系统可靠性的提高。其中包括从系统的设计上使得遥测的信息脉冲  $P_i$  出现于起始基准脉冲  $P_r$  的较远处,即采样值  $V_i$  为零时,脉位变化的起始值不为零,而是  $\tau_0$ ,亦即  $T_0 = \tau_0 + T$ ,其中  $T$  正比于采样值  $V_i$ ,使脉位变化的有效间隔  $T$  尽可能处于多途的时延之后。

对于诸如水层深度这类海洋要素水声遥测仪,声信息传输基本上处于垂直状态,在这种工作状态下,多途主要来自海面的一次散射和反射,而后到达接收换能器。因此,可采用如下的抗多途措施:

(1)采用锐向下指向性的换能器。即以圆柱型换能器配以探照灯式的反射罩,可较好的实现了抗海面多途的目的。

(2)另一种办法是,人为的将接收换能器置于水面下一定的深度(如 3 m),因此海面产生的一阶多途出现的时间是确知的。同时,在系统的设计上,使得脉位信息脉冲  $P_i$  对于基准脉冲  $P_r$  的出现时间大于多途的时延  $\tau$ 。这样,脉位检测电路就可在收到  $P_r$  后“关闭”一段时间  $\tau$ ,再采集脉位信息。显然出现在  $\tau$  里的多途就可完全消除。

上述两种措施不仅可抗海面多途干扰,而且可抑制海面的风浪噪声和支持船只的船舶噪声,使检测系统的信噪比大大提高。当然,由于船只摇晃和流浪冲击,要保持接收换能器完全垂直向下是困难的,因此其指向性锐度和  $\tau$  要留有一定的余地。

以上讨论的对策已同时并用于水层深度声遥测

仪和数字网位仪的研究样机中<sup>[2]</sup>, 经不同的海区和深度的多次实验, 证明上述抗多途是基本可行和有效的。样机达到预定的技术指标并通过成果鉴定。

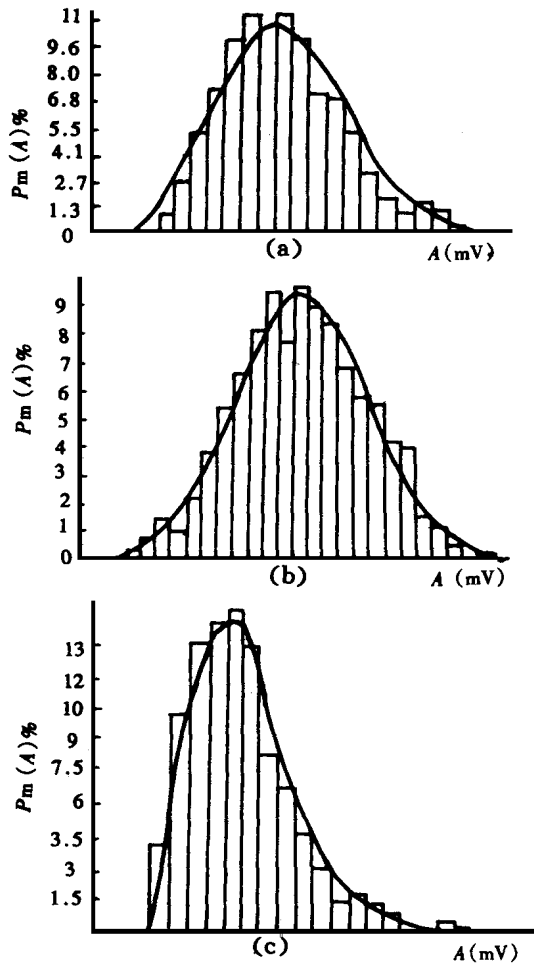


图5 多途振幅 PDF

Fig. 5 PDF of multipath amplitudes

### 3 频率分集加时域处理的抗多途实验研究

PPM 信息通常是对同一载频进行二次调制, 构成 PPM-AM 方式传输脉位信息  $T$ , 即  $P_r$  和  $P_i$  的载频相同。其优点是使用单频载波, 换能器的效率和灵敏度都较高, 电路也简单得多。上述的抗多途措施对 PPM-AM 方式虽是行之有效的, 但还不是完美无瑕的。为此, 进一步作频率分集加时域处理的抗多途实验研究。

#### 3.1 实验布局

在水池做实验的布局如图 6(a)。发射一脉宽较窄

(1 ms) 的声脉冲, 以便直达信号和池壁反射回来的多途可彼此分开, 在接收记录中就出现多途。改变接收换能器的位置和用不同的载频( $f_0$ 和  $f_1$ )多途分布也不同, 如图 6(b)所示,  $D$  为直达信号, 其他为多途。

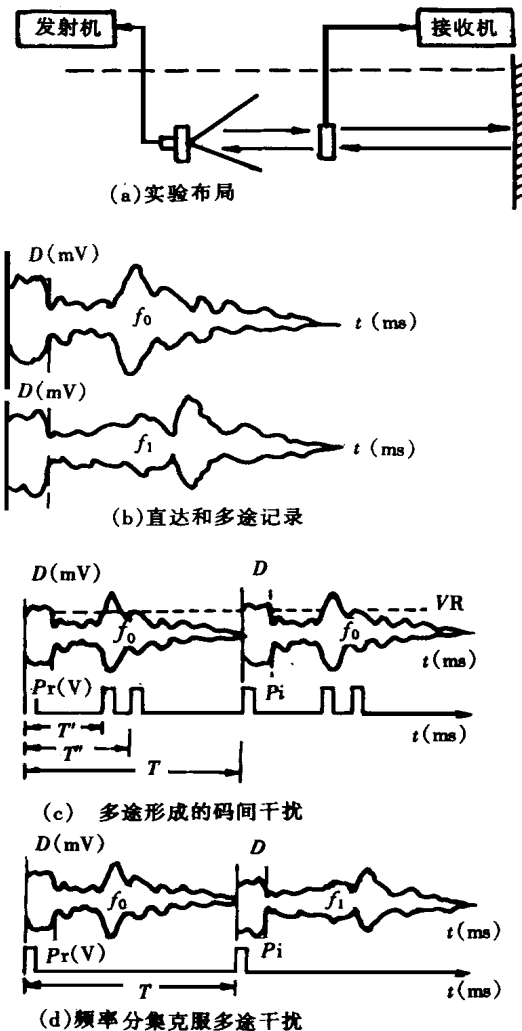


图6 频率分集加时域处理抗多途实验记录

Fig. 6 The record of anti-multipath with frequency diversity and time domain processing

#### 3.2 记录分析

图 6(b)表示发射两种不同载频声脉冲所接收到的波形包络。由图可见, 多途干扰较为严重, 某些多途的振幅大于直达波的振幅。在这种条件下, 如果在 PPM 系统中只用一种载频, 要检测到正确的脉位信息显然是困难的。这是因为对单频 PPM-AM 方式, 即  $P_r$  和  $P_i$  的载频相同, 依给定的门限  $V_R$ , 就要出现一个或几个多途干扰所引起的错误脉位, 如图 6(c)所

示, 图中对于给定的  $V_R$ , 检波后可以形成 6 个脉冲, 以基准脉冲  $P_r$  算起有 5 个脉位等待判决, 而正确的只有  $T$  所示的脉位, 而  $T'$ ,  $T''$  等 4 个脉位都是多途干扰引起的错误脉位。

若采用 PPM-FM 方式, 即  $P_r$  和  $P_i$  分别用不同的载频: 发射的基准脉冲载频  $f_0$  不变, 而信息脉冲载频改为  $f_1$ , 当接收器一旦接收到  $f_0$  的  $P_r$ , 就令接收器“关闭”, 在一个采样周期的时间里不再接收  $f_0$ , 并转到等待接收  $f_1$  的状态。这样, 图 6(c) 中的  $P_r$  的两个多途脉冲就不复存在, 即  $T'$  和  $T''$  不存在。如对  $f_1$  的  $P_i$  也作相同处理, 其结果示于图 6(d)。这样,  $T$  就可以正确地被检出, 实验证明了这个结论。

### 3.3 结果

比较图 6(c) 和 (d) 可知, 对 PPM 信息检测采用频率分集抗多途, 能正确、可靠检出脉位信息  $T$ ; 而且其抗多途的有效性要优于前述几种方案。实验研究表明, 只要检测系统能分离不同频率、不同时间到达的多途信号, 就有可能获得对原发射声脉冲的正确检测, 得到精确的  $T$ 。

## 4 结论

浅海声信道中多途干扰强烈。一般而言, 它是一种难以克服的干扰源。根据 PPM 信息传输特性, 特别是它属于低速率、低容量的传输系统, 结合浅海多途的某些特性, 可以采用频率分集抗多途来克服这类干扰。如果遥测系统工作于垂直状态, 可采用锐指向性换能器抗多途。在特定的条件下, 如多途出现于确知的时间, 则可由电路上消除之, 并适当地增加信号处理时间来获得系统可靠性的提高。这样, PPM 系统就可以在强多途背景下稳定、可靠、精确地工作。

### 主要参考文献

- 1 粘宝卿等。气象水文海洋仪器, 1994, 3: 42~45
- 2 Stojanovic, M. . *IEEE J. Oceanic Eng.*, 1996, 21: 125~135

# STUDY ON ANTI-MULTIPATH FOR DETECTING PULSE POSITION INFORMATION IN SHALLOW - WATER ACOUSTIC CHANNELS

HUANG Yan-zhen NIAN Bao-qing XU Lu-fen  
(Xiamen University, 361005)

Received: Oct. 2, 1997

Key Words: Shallow-water channels, Pulse position information, Antimultipath

## Abstract

The paper describes the main characteristics of multipath interference and the effects of that on detecting the pulse position information in shallow-water acoustic channels, discusses some of possible ways to overcome multipath interference, and presents an effectual method of antimultipath to detect the pulse position information reliably and exactly in shallow sea.