

Pattern 时延差编码水声通信抗多普勒的 差分解码研究

赵安邦, 解立坤, 沈广楠, 周 彬, 惠俊英

(哈尔滨工程大学水声技术国防技术重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘要: 研究了 Pattern 时延差编码(Pattern Time Delay Shift Coding, PTDS)水声通信的差分解码技术。在移动水声通信中, 多普勒频偏会对信号产生时间上的压缩或展宽。差分解码通过测量相邻 Pattern 的时间差进行时延估计完成译码, 克服了多普勒频偏在时间上的累加效应, 具有更强的抵抗多普勒能力, 为移动水声通信技术的研究打下了基础。仿真实验证明所提出的解码方案简单易行、性能优良。

关键词: Pattern 时延差编码; 多普勒频偏; 差分解码; 移动水声通信

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2009)-04-0459-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2009.04.004

Research on Doppler-resisting differential decoding in underwater acoustic time pattern delay shift coding communication system

ZHAO An-bang, XIE Li-kun, SHEN Guang-nan, ZHOU Bin, HUI Jun-ying

(Harbin Engineering University National Laboratory of Underwater Acoustic Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Differential decoding in underwater pattern time delay shift coding communication has been studied in the paper. In the moving underwater acoustic communication system, Doppler effects can compress or stretch the signal in time. Differential decoding method uses the time difference of adjoining patterns to decode the information, and can resist the accumulation of time error induced by Doppler effects. This study provides the foundation for moving underwater acoustic communication. Experimental results show that the proposed scheme is simple and has better performance over the original decoding scheme

Key words: pattern time delay shift coding; Doppler effects; differential decoding; moving underwater acoustic communication

1 引 言

水声通信一直是水声研究中的一个重要领域, 它的工程应用不仅仅局限于军事, 而且也在向商业领域延伸。水声通信具有灵活、方便、经济、不存在电缆缠绕等特点, 可实现导航、定位、信息交换、通信联络和安全保障所需的信息传输, 是实现水下综合信息感知与信息交互的主要手段。在信息化海洋数据采集、海洋资源开发、海洋环境监测等关系到国家可持续发展的战略领域中, 水声通信扮演着重要角色。

水声信道是随机时变、空变的^[1], 其界面反射

和声线弯曲导致多途扩展, 由多途扩展产生的码间干扰是水声通信的主要障碍之一。为了获得高速率、低误码通信, 必须抑制码间干扰^[2]。Pattern 时延差编码(PTDS)通信体制, 利用 Pattern 码片出现在码元窗的时延差值进行时延编码, 占空比小, 可节省功耗; 并且采用码元分割, 使得每个携带信息的基本码元均具有抗码间干扰的能力, 有效地降低了水声信道的码间干扰, 并且可克服多途衰落及噪声干扰^[3]。当今水声通信的前景就是由移动节点和静止节点共同构成的水声数据通信网, 随着各种舰船、潜器航行速度的提升及对其水声通信无线遥控的迫切需求, 研究低速移动及高速移动点对点水声通信都将是十分有意义的。对于 Pattern 时延差编码水声通信体制来讲, 通信节点的运动导致两个问题: 一是相关峰将会降低从而测时不准, 二是导致时间压缩或者扩展。为了解决由多普勒所导致的时间压缩或者扩展问题, 本文提出了一种简单易行而又性能优良的差分解码方案。

收稿日期: 2009-01-19; 修回日期: 2009-04-20

基金项目: 国家自然科学基金(60802060)、重点实验室基金(9140C2001010801)、哈尔滨工程大学基础研究基金(HEUFT07072)

作者简介: 赵安邦(1978-), 男, 山东郓城人, 副教授, 研究方向为水声通信。

通讯作者: 赵安邦, E-mail: zhaoanbang@hrbeu.edu.cn

2 Pattern 时延差编码通信

Pattern 时延差编码(PTDS)通信体制^[3,4]是由哈尔滨工程大学在上世纪 90 年代提出的,该体制属于脉位编码(Pulse Position Modulation, PPM)。文献[5]对 PTDS 作了详细的介绍。PTDS 通信体制的信息并非调制在码元波形中,而是调制于 Pattern 码出现在码元窗的时延差信息中,不同的时延差值代表不同的信息。图 1 为 Pattern 时延差编码示意图。

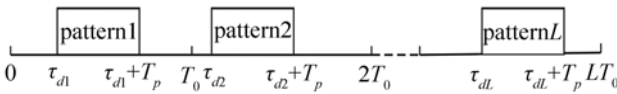


图 1 Pattern 时延差编码示意图
Fig.1 Sketch map of pattern time delay shift coding

图 1 给出了一组码元结构,包含 L 个相关性优良的 Pattern 码。其中, τ_{di} ($i=1, 2, 3, \dots$) 表示时延差值,是 Pattern 码出现在码元窗的位置; T_p 为 Pattern 码脉宽; T_c 为编码时间;码元宽度 $T_0 = T_p + T_c$ 。PTDS 体制的每个码元占空比为 $\eta = T_p/T_0$,其值小于 1。

若每个码元携带 n bit 信息,则将编码时间均匀分为 $(2^n - 1)$ 份,编码量化间隔 $\Delta\tau = T_c/(2^n - 1)$,时延差 τ_d 为:

$$\tau_d = k \cdot \Delta\tau, \quad k = 0, 1, \dots, 2^n - 1 \quad (1)$$

系统通信速率为:

$$\nu = \log_2 \left(\frac{T_c}{\Delta\tau} + 1 \right) / T_0 = n / T_0 \quad (2)$$

单频道 Pattern 时延差编码波形信号可以表示成式(3)的形式:

$$s(t) = \sum_{i=0}^{+\infty} \sum_{j=0}^{L-1} P_j[t - (j + L \cdot i) \cdot T_0 - k_{ij} \cdot \Delta\tau], \quad (3)$$

$$k_{ij} = 0, 1, \dots, 2^n - 1$$

式中 $P_j(t)$ 表示第 j 号 Pattern 码波形,其脉宽为 T_p ; $(k_{ij} \cdot \Delta\tau)$ 为第 $(L \cdot i + j + 1)$ 号信息码元的时延差值。

Pattern 时延差编码需要准确测量时延差值才可解码。当节点间存在相对运动时,多普勒频偏及其对数据帧在时域上产生展宽或压缩可通过时间反转镜补偿,但由于信源、信宿相对距离变化而造成时延变化,则必须另行给以修正。文献[6]分析了通信节点运动对 PTDS 的影响。匀速运动状态下,在 LFM 多普勒容限范围内,可通过测量相邻两帧数据同步码的拷贝相关输出的两次峰值的时间间隔来测定接收数据帧的长度,如图 2 所示。

信源径向运动速度为 ν ,其在一帧数据长度 T_{Frame} 内的移动距离,等于多普勒频偏产生的时间压

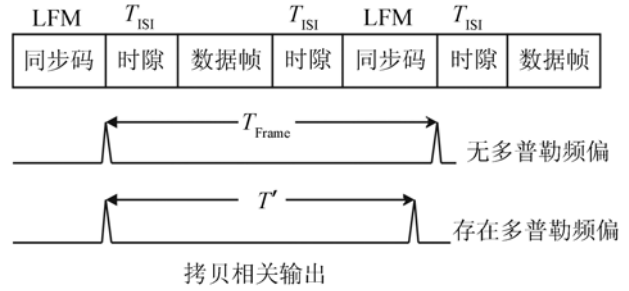


图 2 多普勒频偏产生的数据帧长度变化
Fig.2 Data frame variation induced by Doppler effect

缩量内的声程,即:

$$\nu T_{\text{Frame}} = C(T_{\text{Frame}} - T') \quad (4)$$

其中 C 为声速。

设 PTDS 通信系统的某个码元的时延差真值为 τ_d ,时延测量值为 τ'_d ,则时延偏差量按式(4)分析,应为:

$$\Delta\tau = \tau_d - \tau'_d = \nu \tau_d / C \quad (5)$$

当相对运动速度缓慢时,由于 LFM 信号具有较好的多普勒容限,常规的解码方案基本可以正确解码。但当相对速度较大时,接收信号会产生较大的时间压缩或扩展,原始的解码方案就不太合适了。

3 Pattern 时延差编码的差分解码方案

Pattern 时延差编码通信体制,在发射端利用 Pattern 码的时延差值进行时延编码,在接收端采用时延估计技术进行时延估计译码。本文所使用的时延估计方法是基于拷贝相关的时延估计的。拷贝相关就是用发射信号与经信道传输后接收信号求相关。通信帧数据结构如图 3 所示。

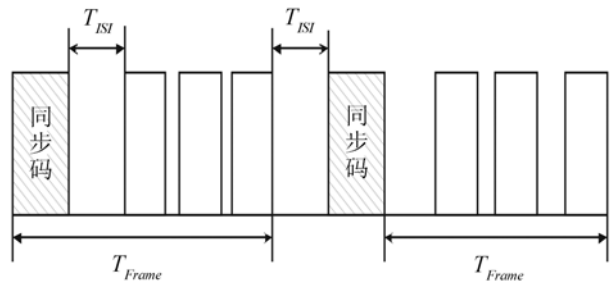


图 3 Pattern 通信帧示意图
Fig.3 Sketch map of pattern data frame

图 3 中同步码与信息码及帧与帧之间均需留有一段时隙 T_{ISI} (大于多途扩展时间),以抑制多途对信号的影响。帧的长度取决于信道的时变性,应短于信道的相对稳定时间,若收发节点间存在相对运动或风浪较大,则要求帧的长度短一些。

同步码(Synchronous-code)可以给出译码窗的时基并确定最强的途径到达时刻。接收机利用拷贝

相关器通过峰选估计同步码的到达时刻, 相关峰对应的时刻作为译码窗的同步基准, 该时刻亦为最强的多途到达时刻。

同步时刻确定后, 拷贝相关器通过和本地 Pattern 信号作相关得到 Pattern 相关峰。常规解码方案的原理如图 4 所示。

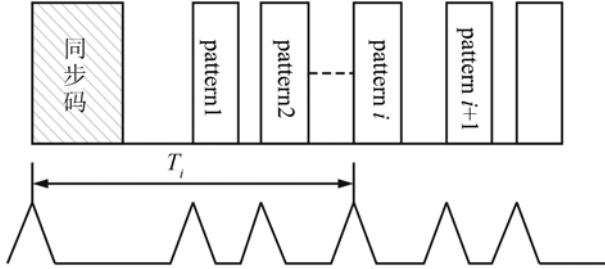


图 4 常规解码示意图

Fig.4 Sketch map of common decoding

从图 4 中可以看出, 第 i 个 Pattern 相关峰与同步相关峰的时间差为:

$$T_i = T_{\text{syn}} + T_{\text{ISI}} + (i-1)T_0 + \tau_i \quad (6)$$

式中 T_i 表示第 i 个 Pattern 相关峰与同步相关峰的时间差, T_{syn} 表示同步码的时间长度, T_{ISI} 表示同步码与信息码之间的间隙, T_0 表示脉冲周期, τ_i 表示第 i 个 Pattern 码的时延差值, 则

$$\tau_i = T_i - T_{\text{syn}} - T_{\text{ISI}} - (i-1)T_0 \quad (7)$$

通过测量每个 Pattern 相关峰与同步码相关峰的时间差可以确定其对应的时延差值, 继而进行解码。由于径向运动产生的多普勒频移会对信号在时间域上进行展宽或压缩, 设每个 Pattern 码由于多普勒造成的时延偏差量为 $\Delta\tau_i$, 因为每个 Pattern 相关峰的时间位置是通过同步峰确定的, 所以第 i 个 Pattern 的时延偏差量为 $\sum_{i=1}^n \Delta\tau_i$, 这种偏差量会随着解码的进行累加下去, 当误差积累 $\sum_{i=1}^n \Delta\tau_i$ 大于时延所要求的精度时就会产生误码。

本文提出的差分解码方案如图 5 所示。

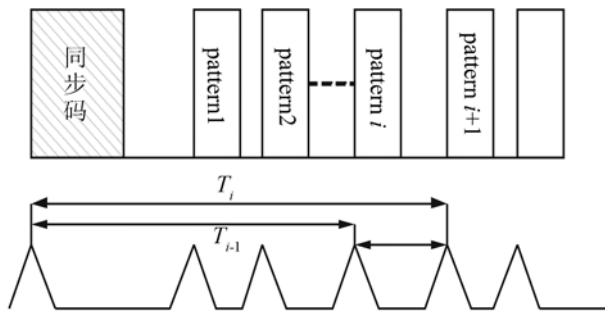


图 5 差分解码示意图

Fig.5 Sketch map of differential decoding

从图 5 可以看出, 第 i 个 Pattern 相关峰与第 $i-1$

个相关峰的时间差为:

$$T_i - T_{i-1} = (T_{\text{syn}} + T_{\text{ISI}} + (i-1)T_0 + \tau_i) - (T_{\text{syn}} + T_{\text{ISI}} + (i-2)T_0 + \tau_{i-1}) = T_0 + \tau_i - \tau_{i-1} \quad (8)$$

则 $\tau_i = (T_i - T_{i-1}) - T_0 + \tau_{i-1}$, 而第一个 Pattern 相关峰的时间位置是通过同步相关峰确定的。在我们的解码方案中, 每个 Pattern 相关峰的时间是通过前一个相关峰确定的, 从而可以得出第 i 个 Pattern 由于多普勒造成的时延偏差量为 $\Delta\tau_i$, 这种偏差量不会随着解码的进行累加。只要 $\Delta\tau_i$ 小于所要求的时延估计精度, 那么就可以实现无误码通信。

通过比较两种解码方案可以得出, 基于 Pattern 时延差编码的差分解码方案不会将多普勒造成的时延偏差量累加, 具有更强的抗多普勒性能, 可以提高水声通信的稳健性。

4 仿真研究

为了验证差分解码方案的可行性, 进行了计算机仿真研究。为了使得问题更为清晰且不妨碍说明问题, 只对无多途的情况进行解码仿真。参数设置如下:

采用 LFM 信号, 带宽: 6~9kHz;

采样频率: 40kHz;

Pattern 码脉宽: $T_p = 8\text{ms}$;

编码时间: $T_c = 12\text{ms}$, 4bit 量化;

码元宽度: $T_0 = T_p + T_c = 20\text{ms}$;

占空比: $\eta = 0.4$;

同步码宽度: $T_{\text{syn}} = 40\text{ms}$;

时隙: $T_{\text{ISI}} = 50\text{ms}$ 。

图 6 是 Pattern 时延差编码及有多普勒存在时的仿真结果(有噪声)。图 6(a)是无多普勒的波形, 6(b)是有多普勒存在时的波形(相向运动)。从图 6 可以明显看出由于多普勒的存在, 使信号发生了明显的时间压缩。

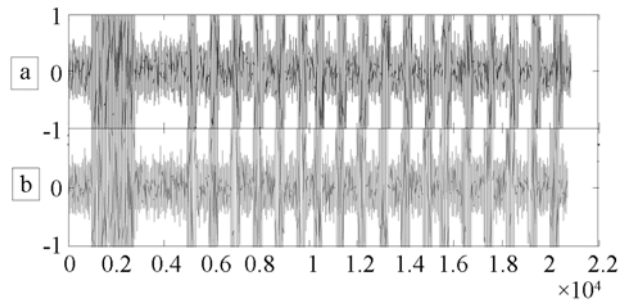


图 6 Pattern 时延差编码仿真

Fig.6 Simulation of pattern time delay shift coding

表 1 给出了两种解码方案的误码率。通过观察表 1 的误码率统计结果, 可以看到当帧长度较小或

者相对速度较小时, 常规解码不会产生误码, 但当帧长度较大或相对速度较大时, 常规解码就会出现误码, 这表明当误差积累 $\sum_{i=1}^n \Delta \tau_i$ 大于时延所要求的精度时就会产生误码。比较相同情况下常规解码和差分解码的误码率, 可以发现差分解码方案抵抗多普勒频移的优越性能。

表 1 多普勒情况下两种解码方案的误码率(SNR=5dB)
Table 1 Bit error rate contrast of two decoding scheme with Doppler

帧长度 /s	径向速度/ (m/s)	相对速度 v/c	常规解码 BER/ %	差分解码 BER/ %
5	0.1	0.00007	0	0
5	0.2	0.00013	0.4400	0
5	0.3	0.00020	0.6320	0
5	0.4	0.00027	0.7120	0
5	0.5	0.00030	0.7760	0
2	0.1	0.00007	0	0
2	0.2	0.00013	0	0
2	0.3	0.00020	0.0800	0
2	0.4	0.00027	0.2800	0
2	0.5	0.00033	0.4400	0
1	0.1	0.00007	0	0
1	0.2	0.00013	0	0
1	0.3	0.00020	0	0
1	0.4	0.00027	0	0
1	0.5	0.00033	0	0
1	0.6	0.00040	0.0800	0
1	0.7	0.00047	0.2200	0
1	0.8	0.00053	0.3400	0
1	0.9	0.00060	0.4000	0
0.5	0.6	0.00040	0	0
0.5	0.7	0.00047	0	0
0.5	0.8	0.00053	0	0
0.5	0.9	0.00060	0	0
0.5	1.0	0.00067	0	0
0.5	1.5	0.0010	0.0400	0
0.5	2.0	0.0013	0.3200	0
0.5	2.5	0.0017	0.4800	0
0.5	3.0	0.0020	0.6000	0
0.2	3.0	0.0020	0	0
0.2	4.0	0.0027	0.1000	0
0.2	5.0	0.0033	0.2000	0
0.2	6.0	0.0040	0.4000	0

5 结 论

Pattern 时延差编码(PTDS)通信体制将信息编码技术和信道编码技术融于信号码元的设计中, 使得每个携带信息的基本码元均具有抗水声多途干扰的能力, 在水声通信中具有重要的地位。

本文通过对基于 Pattern 时延差编码的差分解码研究, 仿真试验证明, 采用差分的时延估计能有效地抵抗多普勒频移的影响, 从而证实了差分解码方案的可行性和鲁棒性。本文旨在完善 Pattern 时延差编码(PTDS)通信体制, 对移动水声通信技术的研究打下了良好的基础, 实际工程应用有待于进一步深入研究和完善。

参 考 文 献

- [1] 惠俊英, 生雪莉. 水下声信道, 第二版[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992: 37-40.
HUI Junying, SHENG Xueli. Underwater Acoustic Channel, Second Edition[M]. Beijing: National Defence Industrial Press, 1992: 37-40.
- [2] 殷敬伟. 多途信道中 Pattern 时延差编码水声通信研究[D]. 博士论文, 哈尔滨工程大学, 2007.
YIN Jingwei. A Study of Pattern Time Delay Shift Coding Communication in Underwater Acoustic Multipath Channel[D]. PhD Dissertation, Harbin Engineering University, 2007.
- [3] 温周斌, 冯海泓, 惠俊英. 一种新的水声通信体制[J]. 声学学报, 1993, 18(5): 345-351.
WEN Zhoubin, FENG Haihong, HUI Junying. A New Underwater Acoustic Communication Method[J]. Chinese Journal of Acoustics, 1993, 18(5): 345-351.
- [4] 惠俊英, 刘丽, 刘宏, 冯海泓. Pattern-时延差编码通信研究[J]. 声学学报, 1999, 6(24): 561-573.
HUI Junying, LIU Li, LIU Hong, FENG Haihong. Research On Pattern Time Delay Shift Coding Communication[J]. Chinese Journal of Acoustics, 1999, 6(24): 561-573.
- [5] 殷敬伟, 惠俊英, 王逸林, 惠娟. M 元混沌扩频多通道 Pattern 时延差编码水声通信[J]. 物理学报, 2007, 10(56): 5915-5921.
YIN Jingwei, HUI Junying, WANG Yilin, HUI Juan. M-array chaotic spread spectrum Pattern time delay shift coding scheme for multichannel underwater acoustic communication[J]. ACTA PHYSICA SINICA, 2007, 10(56): 5915-5921.
- [6] 殷敬伟, 惠俊英, 郭龙翔. 点对点移动水声通信技术研究[J]. 物理学报, 2008, 3(57): 1753-1758.
YIN Jingwei, HUI Junying, GUO Longxiang. Study on point to point mobile underwater acoustic communication[J]. ACTA PHYSICA SINICA, 2008, 3(57): 1753-1758.