

# 基于复制理论的调制解调技术及其计算机仿真

曹华民<sup>1</sup>, 杜栓义<sup>2</sup>, 李晓峰<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 西安电子科技大学 通信工程学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:**首先介绍了信号的复制分析理论和复制调制/解调的方法及特点,然后通过计算机仿真,对三种不同的解调方法在白噪声下的性能进行了分析,对匹配解调法和特性解调法在有初相和频差条件下的性能进行了仿真比较。

**关键词:**复制理论;分析;复制调制/解调

**中图分类号:**TN76      **文献标识码:**A      **文章编号:**1009-3516(2002)05-0061-03

信号复制生成理论是基于复制方法生成信号的理论,它主要研究信号(序列)的复制特性、在不同的复制信息和复制方式下信号(序列)的生成原理和性质、基于复制特性的信号的分解和综合原理及其在通信等领域中的应用问题<sup>[1-2]</sup>。

## 1 复制理论在通信中的应用

在信道上传输数字信息时,调制器实际上是一个接口,用于把数字信息转化为模拟波形来匹配信道特性。目前,TCM 编码调制被广泛使用,它将编码与调制作为一个整体来考虑,可以大大改善系统的性能,是一种实用而有效的调制方法。根据信号的复制理论,信号可由原始波形根据复制信息及复制方式而产生,如果将发送的数字信息作为复制信息,则信号的复制产生过程就相当于调制过程。信息的复制产生过程如下:系统传输“0”码时对此前的波形进行同相(或反相)复制;系统传输“1”码时对此前的波形进行反相(或同相)复制。

由此可以看出,复制确实完成了从数字信息到模拟波形的映射作用,即起到了调制的作用,我们称这种调制为复制调制,以区别其他调制方法。在实际应用时,存在选择好的原始波形(或调制波形)的问题,以匹配实际信道的特性。复制调制是经过复制编码和相干调制而完成的。

因为复制编码具有纠错能力,所以复制调制后的波形同样具有纠错能力。这种复制调制是一种调制与编码的结合,也就是说复制调制实际上同时完成了编码和调制。

对具有复制特性的信号,特别是对那些复制生成的信号来说,进行复制分析处理是最合适不过的。也就是说,对复制调制信号,可以用复制分析方法进行解调(称为复制解调)。复制匹配解调是先进行复制分析,把输入信号分解为原始波形,然后再进行波形匹配,最后选择最佳波形对应的数字信息为输出信息。

复制调制信号也可以用先相干解调再译码的经典解调方法进行解调。另外,对复制调制信号,还可以用复制原理直接进行解调,我们称之为复制特性解调法。复制特性解调法可以实现解调、译码的合二为一。为了比较这几种解调的性能,我们进行了计算机仿真。

## 2 计算机仿真结果及性能分析

### 2.1 仿真条件及框图

①采用复制特性编码或复制调制,复制调制的原始波形为正弦波;②码元速率  $R_c = 2\ 400$  bit/s,采样速

收稿日期:2001-12-07

作者简介:曹华民(1960-),男,陕西蒲城人,讲师,主要从事数字通信及通信电子线路技术研究。

率  $f_s = 19\ 200\ \text{Hz}$ ; ③波形形成低通滤波器如图 1 所示; ④噪声采用高斯白噪声, 白噪声通过的带通滤波器如图 2 所示; ⑤忽略帧同步; ⑥仿真框图如图 3 所示。

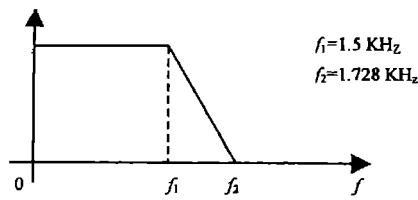


图 1 波形形成低通滤波器

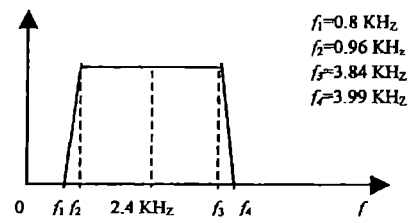


图 2 白噪声通过的带通滤波器

### 2.2 复制解调、相干解调在白噪声条件下的性能比较

复制匹配解调法(简称匹配法)是复制解调法之一。另外我们还设计了一种解调方法,即利用复制特性直接进行解调:将待传输的信息按 3 位组成信息组,以该信息组为复制信息,经平移复制后得到如图 4 所示的“+ -”序列,观察该序列,我们可以看到它具有如下性质:

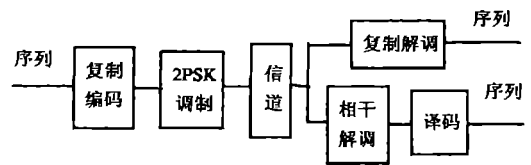


图 3 调制 - 解调框图

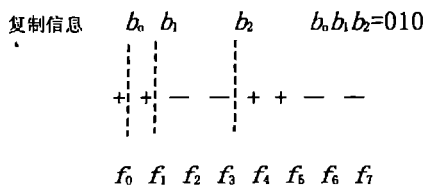


图 4 平移复制

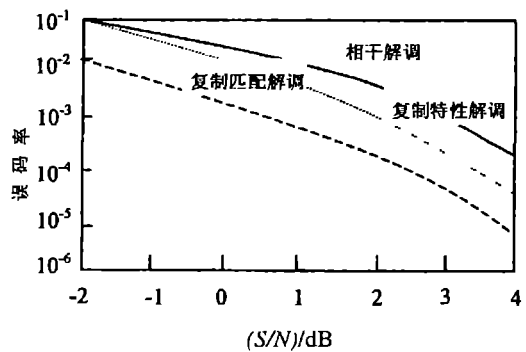


图 5 三种解调方法在白噪声条件下性能曲线

$m_0$  为初始状态,  $m_1 \sim m_7$  为经 3 次复制后得到的信息。如果  $m_0, m_1$  或  $m_2, m_3$  或  $m_4, m_5$  或  $m_6, m_7$  同相, 则  $b_0 = 0$ , 否则  $b_0 = 1$ ; 如果  $m_0, m_2$  或  $m_1, m_3$  或  $m_4, m_6$  或  $m_5, m_7$  同相, 则  $b_1 = 0$ , 否则  $b_1 = 1$ ; 如果  $m_0, m_4$  或  $m_1, m_5$  或  $m_2, m_6$  或  $m_3, m_7$  同相, 则  $b_2 = 1$ , 否则  $b_2 = 0$ 。该结论对对称复制同样适用。

利用复制本身具有的这种特性亦可以直接对复制调制序列进行解调,我们将这种解调方法称为复制特性解调法(简称特性法)。用上述两种解调法(统称为复制解调)及相干解调法,对序列进行解调后的信噪比、误码率特性曲线(在相同的信息速率下测得)如图 5 所示。

由图 5 可以看出,匹配法的性能最佳,比相干解调法好约 2 dB,而特性法则次之。这两种解调法均优于相干解调法的性能。匹配法之所以优于特性法,是因为它所用到的判别信息多于特性法。另外这两种复制解调方法中解调与译码是同时完成的,实现了解调与译码的合并。

### 2.3 复制解调在有初相或频差条件下的性能

在白噪声条件下复制解调(匹配法、特性法)均优于相干解调。相干解调的方法已广泛得到了应用,其纠频差、初相的理论及实践均很成熟<sup>[4]</sup>,并有相应的性能曲线,故在此对其不再重复讨论,而将重点放在对复制解调法在有频差及有初相条件下的性能分析上:

经过计算机仿真计算,匹配法对频差、初相等均很敏感。在有初相或有频差的情况下,其性能明显恶化,无法实现解调。如果能测得频差变化及初相,相距一定码元进行一次校正,则其性能比白噪声下的性能略差一些。如图 6 所示,该图是在初相为零且相隔 126 个码元纠一次频差下测得的性能。之所以有此结果,是因为本地用于作匹配的波形与接收到的波形之间如果存在相差(初相),做相关后,性能必下降,在噪声影响下,就更容易引起误码。而如果有频差,经一定码元后就有相位积累,该相位积累对后面的码元而言,相当于

加了初相,且该初相会逐渐增大,故错码会更高,导致无法实现解调。因而在做波形匹配前应设法消除初相,并有纠频差的措施。

而对特性法来说,当有初相时,不影响其判决结果。因为它是利用接收到的序列其本身具有的复制特性去进行判决的,初相的存在不会影响其前后码元之间的复制特性。由于该方法对初相极不敏感,故在有频差的情况下其性能恶化较慢。但由于频差的存在会导致本序列前后码元间相位积累的不均匀,持续的码元越多,相位积累越多,故对序列前后码元的复制特性有所影响。随频差增大,其性能亦下降。如图7所示。该方法如果通过纠频差后,其性能将与白噪声条件下的性能相接近,所以其抗频差能力较强。

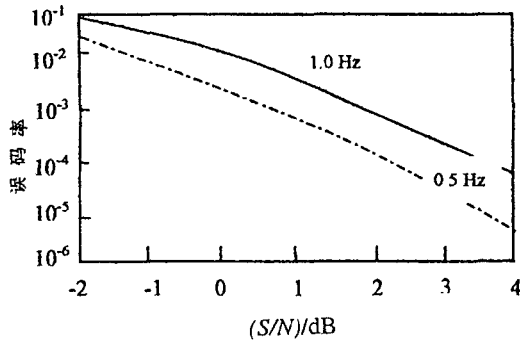


图6 匹配解调有频差下的性能

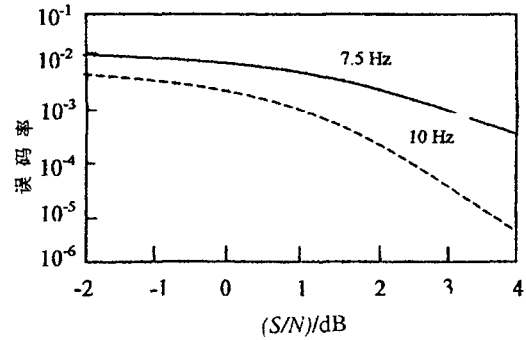


图7 特性解调有频差下的性能

#### 2.4 频差、初相校正方法讨论

当用正弦波作为原始波形对序列进行复制调制时,由于000码组经复制后为一串连续正弦波,故可在前置序列中发一定长的已知的000码组,在接收端对正弦波串用“FFT高精度判定频率的方法”可求得频差、初相。

#### 参考文献:

- [1] 金明录. 复制理论研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1995.
- [2] 张其善. 信息传输的新方法[M]. 北京: 宇航出版社, 1989.
- [3] 胡征. 沃尔什函数及其在通信中的应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1980.
- [4] 郭兴阳. QPSK 数字化解调相位模糊校正方法研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001, 2(1): 41-44.

(编辑: 门向生)

## Modulation and Demodulation Techniques Based on Copy Theory and Computer Simulation

CAO Hua - min, DU Shuan - yi, LI Xiao - feng

(1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Institute of Communication Engineering, Xidian University, Xi'an, 710071, China)

**Abstract:** In this paper, at first, copy analytical theory of signal is presented. At the same time, the method of copy modulation and demodulation and its property are discussed. Then on the condition of white noise, the capabilities of three different demodulation methods are analyzed by computer simulation. Finally, on the condition of initial phase or frequency shift, the properties of the matching demodulation and characteristic demodulation are analysed by computer simulation. The important conclusions are drawn.

**Key words:** copy theory; copy analysis; copy modulation and demodulation