

# 测量通信信号调制识别技术研究

陈宸<sup>1</sup>, 翟天祺<sup>1</sup>, 张金刚<sup>1</sup>, 郭照峰<sup>2</sup>

(1. 北京宇航系统工程研究所, 北京 100076; 2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

**摘要:** 测量通信信号的调制识别是对多种信号交互并伴有噪声的环境下辨识特定信号的方法进行研究, 也为详细了解信号信息做出相应分析; 通过从原理基础到方案设计以及验证结果, 层层递进地揭示了信号调制识别技术的原理、发展现状以及当前的先进识别技术, 采用了自己设计的一套识别方案对不同的模拟调制信号进行制式识别并分类; 具有较高的可靠性、便捷性、可操作性强, 基于 Matlab 的软件平台对基本的模拟调制信号进行仿真测试, 确定判别门限, 经实验验证成功识别了 AM、DSB、SSB 和 FM 四种信号; 实验得出在 SNR>12 dB 的时候能达到 90% 的制式识别正确率, 证明设计的识别方案的可行性。

**关键词:** 调制识别; 判别门限; Matlab; 仿真; 识别正确率

## Research on Modulation Recognition Technology for Measuring Communication Signals

CHEN Chen<sup>1</sup>, ZHAI Tianqi<sup>1</sup>, ZHANG Jingang<sup>1</sup>, GUO Zhaofeng<sup>2</sup>

(1. Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China;

2. Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

**Abstract:** The modulation recognition of measuring communication signals is conducted to study the recognition method for specific signals with multiple signal interactions and noise environment, and understand and analyze signal information in detail; By the processes of modulation principle, scheme design and verification, it gradually reveals the principles, current development status of signal modulation recognition technology, and advanced recognition technologies, an own design recognition scheme is used to identify and classify different analog modulation signals, it has the features of high reliability, convenience, and operability. The basic modulation signals are simulated to determine the discrimination threshold on MATLAB-based software platform, and successfully identify the signals of AM, DSB, SSB and FM. Experimental results show that the correct modulation recognition rate is achieved by 90%, with the SNR of over 12 dB, it proves the feasibility of the designed scheme.

**Keywords:** modulation recognition; judgement threshold; MATLAB; simulation; correct rate of recognition

## 0 引言

测量通信信号是利用信息通道进行安全有效、快速的信息交互。为了能够有效利用信道, 达到各种需求和信息往来, 测量通信信号通常会运用各种的调制方式。在现今这个快速运转的信息时代, 每个人或团体对通信内容都会与时俱进的提出更高的要求, 尤其是发展迅速的航天系统, 作为火箭和导弹的信息传输核心中枢, 测量通信信号时刻掌握着火箭和导弹飞行过程中的实时状态, 飞行信息的传输和获取解析更是作为火箭和导弹飞行成败的最重要判别依据。而随着航天系统的蓬勃发展, 测量通信信号的传输方式一直在发生革命性的变化<sup>[1]</sup>, 研究测量通信信号的调制方式, 通过特定识别方法来解析信号, 对更好的研究和分析信号起到关键作用, 也为我国航天领域测控系统的发展以及我国科研和国防实力的不断壮大发挥更加重要的作用。

通常在不确定调制的内容和信息的情况下, 用特定方式辨别出通信信号应用的调制形式, 并能够解算其中一些相应参数, 为解调器能够成功挑选出适合的算法提供依据, 从而得到其中的有效信息的方式, 称之为测量通信信号的

调制识别研究。而通过强度和系统的解调之间的原理, 应用简单地判断通信信号的频段和带宽, 称之为样式的识别, 测量通信信号需要正确的调制方式和频段内容来进行解调, 因此, 就需要在非常少量信息的条件下去达到识别的流程, 并能够从中获得非常准确的信息内容, 称之为测量通信信号的调制识别<sup>[2]</sup>。

由此能够看到, 测量通信信号的调制识别技术研究在通信领域中拥有着广阔的前景, 充分研究表明, 在智能化领域, 未来的无线通信、人工智能, 都能够发挥更大的作用<sup>[3]</sup>。

本文的主要内容是对模拟信号的调制制式识别进行了研究。主要从信号的产生到其时域、频域特点的分析, 从调制特点的研究到特征参数的提取, 最后基于 Matlab 对给出的各种不同信号加以分析和处理, 最终从而识别并仿真得到验证结果<sup>[4]</sup>。

## 1 测量通信信号调制识别方案设计

### 1.1 通信调制信号的产生

无论是模拟或者数字调制信号, 在通信领域里的信号都是用正交的调制形式得来的, 测量通信信号主要分为

收稿日期: 2023-10-17; 修回日期: 2023-12-05。

作者简介: 陈宸(1985-), 男, 硕士, 工程师。

引用格式: 陈宸, 翟天祺, 张金刚, 等. 测量通信信号调制识别技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(1): 290-296.

AM、SSB、PM、FM 等, 以下介绍关于这几种测量通信调制信号在 MATLAB 里的分析情况<sup>[5]</sup>。

### 1.1.1 调制通信信号的产生

运用 MATLAB 软件里的函数功能可以产生相应的调制通信信号。

### 1.1.2 加性高斯白噪声的产生

所有通信信道都会夹杂各种噪声, 为了能够形成模拟真实的调制信号, 就要在通信调制信号里代入相应噪声条件。相关信噪比 SNR 的表达式:

$$SNR = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N_s} \frac{A^2(n)}{N_s}\right)}{\sigma^2}$$

$\sigma^2$  是噪声在时域中的功率;  $N_s$  为信号里的序列;  $A(n)$  是信号的幅度<sup>[6]</sup>。用  $y=awgn(x, snr)$  公式可以变化测量通信信号中噪声环境, 公式单位是 dB。

### 1.1.3 对加入噪声的通信信号进行仿真

不同的信道夹杂着噪声条件, 在 MATLAB 里形成的波形图像如图 1~4 所示。

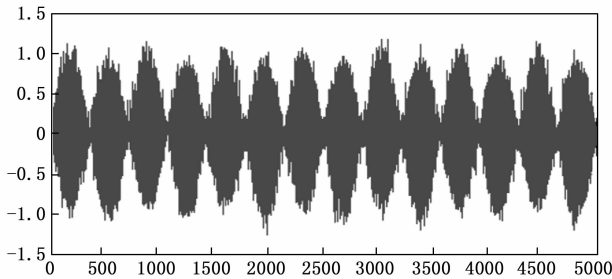


图 1 加噪后的 AM 信号

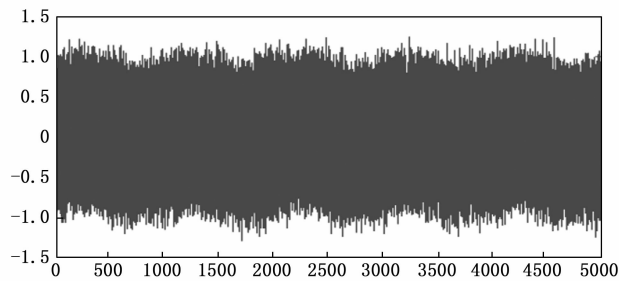


图 2 加噪后的 SSB 信号

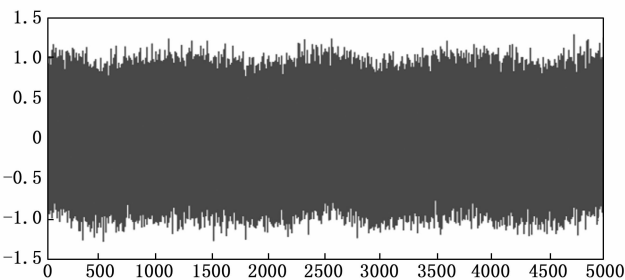


图 3 加噪后的 PM 信号

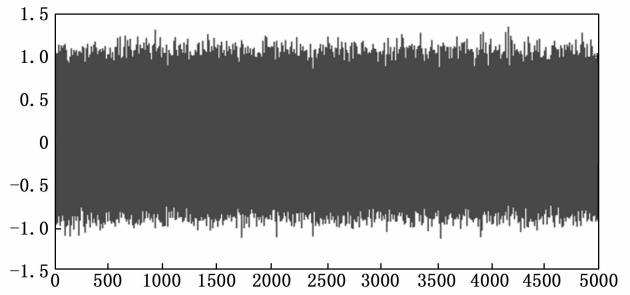


图 4 加噪后的 FM 信号

## 1.2 瞬时信号的提取

为了能够得到通信调制信号的瞬时结果 (瞬时相位、瞬时幅度和瞬时频率), 需要运用相应方式调相、调幅、调频的时域表达式, 再运用希尔伯特变换公式来得到相应结果<sup>[7]</sup>。

### 1.3 通信调制特征参数集

针对几种不同的测量通信调制信号, 主要有三个瞬时信号参数需要提出: 谱密度零中心调幅最大值  $r_{max}$ 、谱对称性  $P$  以及零中心瞬时相位非弱信号非线性标准分量偏差  $\sigma_{DP}$ 。以下进行介绍。

#### 1.3.1 零中心瞬时相位非弱信号非线性标准分量偏差 $\sigma_{DP}$

$$\sigma_{DP} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[ \sum_{a_i(i) > n} \varphi_{NL}^2(i) \right] - \left[ \frac{1}{c} \sum_{a_i(i) > n} \varphi_{NL}(i) \right]^2}$$

公式里  $a_i$  是辨别阈值参数,  $c$  是非弱信号参数的数量, 而

$$\varphi_{NL}(i) = \varphi(i) - \varphi_0$$

$$\text{公式里的 } \varphi(i) \text{ 是相位, } \varphi_0 = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} \varphi(i)$$

在公式里  $\sigma_{DP}$  可以分辨 AM 测量通信信号与 DSB、VSB 测量通信信号。在测量通信信号 AM 的内容中不存在相位参数<sup>[8]</sup>, 因此  $\sigma_{DP}=0$ ; 对于测量通信信号 DSB 和 VSB 中存在相位参数, 即  $\sigma_{DP} \neq 0$ 。因此, 能够运用判决门限值  $z(\sigma_{DP})$  来分辨这几种信号。

#### 1.3.2 谱对称性 $P$

信号产生的频谱对称性的量度称之为谱对称性参数  $P$ , 公式如下:

$$P = \frac{P_L - P_U}{P_L + P_U}$$

式中,

$$P_L = \sum_{i=1}^{f_m} S^2(i)$$

$$P_U = \sum_{i=1}^{f_m} [S(i + f_{cn} + 1)]^2$$

式中,  $S(i)$  是信号  $S(t)$  的傅立叶变换:

$$S(i) = FFT[S(n)]$$

其中:  $f_{cn}$  是瞬时幅度零中心频率, 定义如下:

$$f_{cn} = \frac{f_c \cdot N_s}{f_s} - 1$$

式中,  $N_s$  是特征点参数,  $f_s$  是特征点频率,  $f_c$  是特定波段

频率。

测量通信信号对称性的分辨阈值是  $P$  值，是区分测量通信信号 FM、AM 类型和测量通信信号 VSB、LSB、USB 类型<sup>[9]</sup>。

### 1.3.3 谱密度零中心调幅最大值 $r_{\max}$

$$r_{\max} = \frac{\max |FFT[a_{cn}(i)]^2|}{N_s}$$

公式里  $a_{cn}(i)$  是相应包络参数,  $a_{cn}(i) = a_n(i) - 1$ ;  $a(i)$  是幅度参数,  $N_s$  是特征值参数。

$r_{\max}$  是区分测量通信信号 AM、VSB、DSB 类型和测量通信信号 FM、LSB、USB 类型。作为 LSB、FM、USB 测量通信信号, 幅度参数是一个常数, 因此相应谱密度是 0; 其他类型测量通信信号的幅度参数不等于 0, 因此相应谱密度也不等于 0; 所以  $r_{\max}$  可以区分出这两类测量通信信号, 而设定的相应辨别参数  $z(r_{\max})$  可以作为两种不同测量通信信号之间去比较, 从而得出相应的分析结果<sup>[10]</sup>。

因为  $r_{\max}$  参数是会根据不同类型的测量通信信号噪声变化的不一样, 因而能够非常方便的辨别这两大类不同信号<sup>[11]</sup>。

### 1.4 测量通信信号识别步骤

通过信号识别的依据可知, 测量通信信号识别流程可以按照以下方案进行:

- 1) 首先应该将测量通信调制信号的门限阈值  $z(r_{\max})$  和谱密度最大值  $r_{\max}$  对比情况, 通过此方式能够将测量通信信号的类型进行合理的区分;
- 2) 继续通过门限  $z(\sigma_{DP})$  和瞬时相位非线性分量标准偏差  $\sigma_{DP}$  参数作对比, 可以从中把 DSB、VSB 和 AM 辨别开来;
- 3) 通过公式将谱对称性  $P$  的结果算出, 再次和门限值  $z_1(P)$  形成对比, 能够用这种方法辨别出 VSB 通信信号和 DSB 通信信号;
- 4) 通过用公式算出的谱对称性  $P$  的结果, 可以用来辨别 FM、USB 和 LSB 这两种不同类型的通信信号;
- 5) 通过公式得到的谱对称性  $P$  的结果参数, 再次和门限值  $z_2(P)$  形成对比, 能够用这种方法辨别出 USB 通信信号和 FM 通信信号<sup>[12]</sup>。

## 2 通信系统中的调制

### 2.1 幅度调制的原理

通过用测量通信调制信号去调节相应正弦波的幅度, 可以让它按照调制信号成为线性变化的过程方式称为幅度调制<sup>[13]</sup>。把正弦载波表达如下:

$$s(t) = A \cos(\omega_c t + \varphi_0)$$

例子中  $A$  为载波的幅度,  $\varphi_0$  为载波的初始相位,  $\omega_c$  为载波角频率。

因此, 可以得出测量通信信号的幅度调制的表达式为:

$$s_m(t) = Am(t) \cos(\omega_c t + \varphi_0)$$

在公式里,  $m(t)$  为基带调制信号。

把  $m(t)$  的测量通信调制信号的频谱设定为  $M(f)$ , 因而通过以上内容可以分析出来这个已调测量通信信号  $S_m(f)$

的频谱  $S_m(f)$ , 公式结果为:

$$S_m(f) = \frac{A}{2} [M(f + f_c) + M(f - f_c)]$$

通过这个公式可以表达出测量通信幅度调制信号的直接产生方法和结果。

#### 2.1.1 调幅 (AM)

测量通信信号调幅 (AM) 是运用相应的调制信号  $m(t)$  去与直流组合, 叠加相应载波, 确定滤波器是全覆盖通路, 因此测量通信信号调幅 (AM) 由公式可得<sup>[14]</sup>。具体的表达式:

$$s_{AM}(t) = A(t) \cos 2\pi f_c t$$

$$S_{AM}(f) = \frac{A_0}{2} [M(f + f_c) + M(f - f_c)]$$

公式里  $m(t)$  是未知测量通信信号,  $A_0$  是直流参数。

相应信号的关键内容是调幅度  $m$ , 它通过公式解析见以下:

$$m = \frac{[A(t)]_{\max} - [A(t)]_{\min}}{[A(t)]_{\max} + [A(t)]_{\min}}$$

调幅最大值为  $m=1$ , 因此  $|m(t)|_{\max} = A_0$ 。正常情况  $m$  小于 1, 当  $[A(t)]_{\min}$  是负值时, 超出了调幅上限,  $m$  会变成大于 1。而如果  $m < 1$ , 运用相应公式能够得到起初的测量通信调制信号<sup>[15]</sup>。

测量通信调制信号的时频域能够运用余弦单频波的相应分解表达:

设定载波测量通信信号  $s(t) = A_c \cos(\omega_c t)$ , 相应表达式  $m(t) = A_m \cos \Omega t$ , 因此能够解析出相应信号进行调制后的表达见下:

$$S_{AM} = (A_c + A_m \cos \Omega t) \cos \omega_c t$$

通过以上表达式可以看出,  $m = \frac{A_m}{A_c}$ , 所以能够得出, 相

应的信号是通过三个不同的测量通信信号构成的, 如果在这种情况下输入余弦单频信号, 信号基带频率会出现在载波周围<sup>[16]</sup>。输出的原理图如图 5 所示。

在这个 AM 信号的波形和频谱里可以发现测量通信信号的频谱里存在载波正弦分量。所以可以看出, AM 测量通信信号的功率使用效率非常少。可是因为它的本身调制非常容易, 所以至今能够得到非常多的使用。

#### 2.1.2 抑制载波双边带调制 (DSB-SC)

抑制载波双边带信号和 AM 测量通信信号不同, 不像 AM 通信信号的载波分量没有携带相关的各种信息, 测量通信信号完全由边带传送<sup>[17]</sup>。抑制载波双边带信号如果将载波抑制, 就能够得出结果。它的公式可以定义为如下:

$$s_{DSB}(t) = m(t) \cos 2\pi f_c t$$

$$S_{DSB}(f) = \frac{1}{2} [M(f + f_c) + M(f - f_c)]$$

它的相应域波形图形和频谱如图 6 所示。

通过以上图形可以看出, 这类测量通信信号虽然减少了载波功率, 可是宽度却依然是调制信号带宽的两倍<sup>[18]</sup>。它们全都包含了所有信息, 因为这类测量通信信号的上、

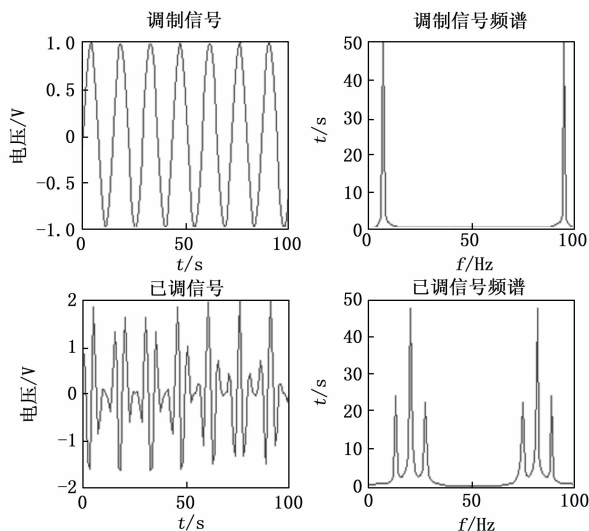


图 5 AM 信号的波形和频谱

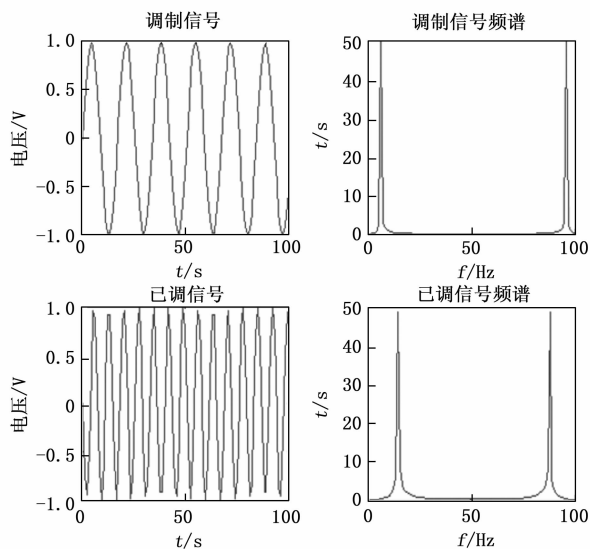


图 7 SSB 信号的波形和频谱

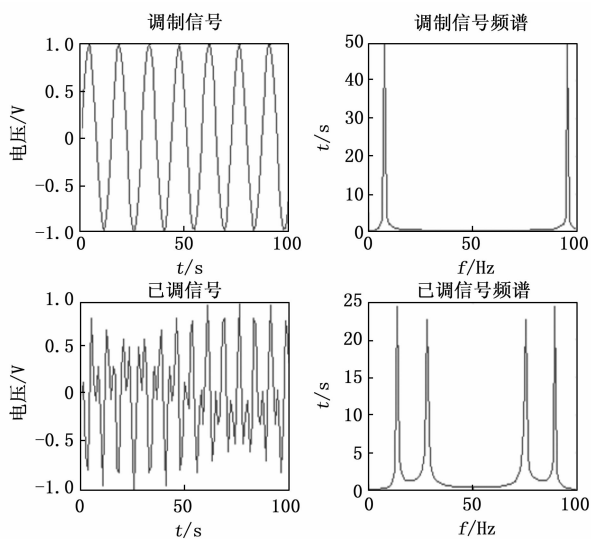


图 6 DSB 信号的波形和频谱

下是全部对称的, 所以只需要送出里面的一个信息就可以。

### 2.1.3 单边带调制 (SSB)

DSB 信号本身是具有两个边带, 为上边带和下边带。因为上边带和下边带具有一样的信息, 所以实际情况是只传输其中一个边带就完全可以的<sup>[19]</sup>。因而像这样只传输其中一个边带的通信方式称为测量通信信号单边带通信。

这类传输信号的公式可以定义为如下:

$$S_{SSB} = m(t) \cos \omega_c t \pm \hat{m}(t) \sin \omega_c t$$

在这个公式里,  $\omega_c$  为载波角频率,  $m(t)$  为调制信号;  $\hat{m}(t)$  为  $m(t)$  的希尔伯特变换; 公式里的士号表达的是上边带和下边带信号。

这类测量通信传输信号是由相移法和滤波法所表达出来的。这类测量通信信号的时域图形和频域波形表达如图 7 所示。

这类测量通信信号的调制方式不仅能够让信号只占用一般的带宽, 同时还能够减少发射的功率。因此, 这种方

式可以成为短波通信领域中的使用非常广泛的调制方式。

## 2.2 角度调制的原理

非线性调制和线性调制不一样, 虽然它也需要进行频谱的搬移, 但相应的调制信号产生的基带信号频谱内部变换出非线性调制情况。能够把相应载波的调制频率变化来表示非线性调制, 可以理解为振幅载波的相关特点, 而相应的频率参数不停在改变。所以频率参数在变化, 就会使载波角度也发生相应的变化, 如此的变化情形称作角度调制<sup>[20]</sup>。这种现象也能够表示成测量通信相位调制 (PM) 和测量通信频率调制 (FM)。

通过上述结论可以分析出, FM 和 PM 可以看成非常类似接近, 互相之间保持着不同情形的微积分关系, 实际上没有太大不一样。

### 2.2.1 频率调制 (FM)

设置基带信号为单频波,  $m_f$  参数设置为 3, 测量通信信号 FM 的时、频域波形图形如图 8 所示。

通过图 8 可以得出调制信号是一个单频信号, 测量通信 FM 调制信号的频谱中能够看到载频分量。

### 2.2.2 相位调制 (PM)

如果当瞬时相位偏移是测量通信调制信号的线性函数时, 当载波  $U_c$  的频率和幅度始终一致时, 像这种样式的调制方式被叫作相位调制<sup>[21]</sup>。这种测量通信信号的时域关系可以用公式比作如下:

$$S_{PM}(t) = A \cos(\omega_c t + K_{PM} f(t)) = A \cos(\omega_c t + \beta_{PM} \cos \omega_m t)$$

$K_{PM}$  为相移常数,  $\beta_{PM} = K_{PM} A_m$  为调相指数。

像图 9 里表示一样, PM 测量通信信号是一个包络保持不变的信号, 被调制的通信信号的波形情况是通过瞬时频率积分运算形式表达出来的。

## 3 测量通信信号基本参数的提取与估计

### 3.1 调制识别的实现方式

调制识别的关键因素是模式的识别, 关键内容是构建分

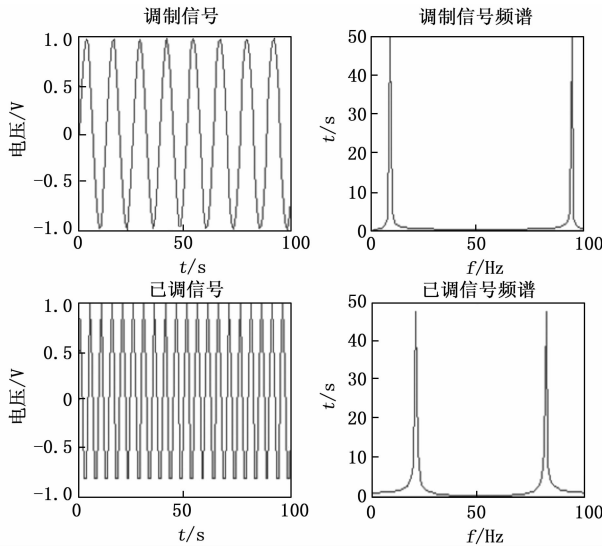


图 8 FM 信号的波形和频谱

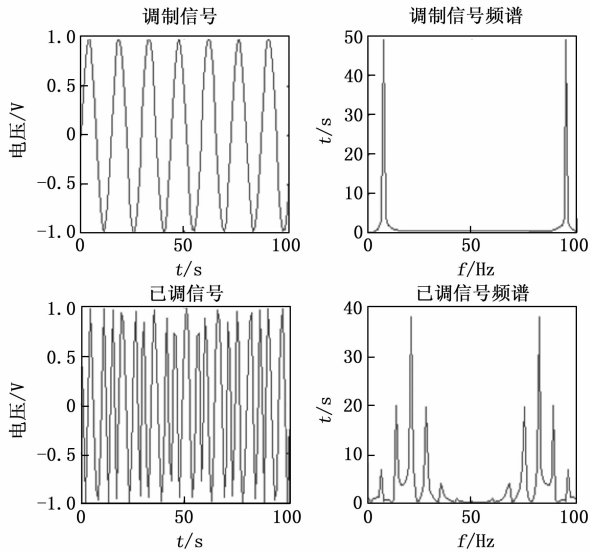


图 9 PM 信号的波形和频谱

类器和挑选相应特征。挑选相应特征必须拥有测量通信信号理论的基础，能够全面的理解和解析测量通信信号内容，深度剖析通信信号的时频域特征，调制识别的基本原理实质上反映的就是测量通信信号的时频域特点。通过相关分类方法去实现，通俗简单、可操作性强。在这一节叙述内容里主要是介绍通过测量通信信号的时频域相应特点，依靠合理设置的分类器方式进行的测量通信信号的调制识别。

### 3.2 通信信号的瞬时幅度计算

设置当前通信信号  $x(t)$  为一个时间函数。 $\hat{x}(t)$  是这个函数的希尔伯特变换。因而如下公式：

$$\hat{x}(t) = \frac{-1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{\tau - t} d\tau$$

$$x(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\hat{x}(\tau)}{\tau - t} d\tau$$

公式里设置的时间  $t$  的复信号  $Z(t)$  可以定义为测量通信信号  $x(t)$  的解析信号：

$$z(t) = x(t) + j\hat{x}(t)$$

因此这个通信信号的瞬时幅度如下公式所示：

$$a(t) = \sqrt{x(t)^2 + \hat{x}(t)^2}$$

### 3.3 通信信号特征参数的提取

通过分析调制信号信息的频域特点和时域特点，能够运用以上方法把  $P$ 、 $J$ 、 $R$  这三种参数解算出来，因此可以分辨出测量通信信号的 AM、DSB、SSB 和 FM 不同类型。

#### 3.3.1 谱对称性 $P$

$$P = \frac{P_L - P_U}{P_L + P_U}$$

通过公式中， $P_L = \sum_{i=1}^{f_c} |x(i)|^2$ ， $P_U = \sum_{i=1}^{f_c} |x(i + f_c + 1)|^2$ ， $x(i) = \text{fft}(x(n))$  为信号  $x(t)$  的傅里叶变换， $f_c$  是不大于  $\frac{f_c \cdot N_s}{f_s}$  的最大参数整数， $N_s$  是采样的点数， $f_s$  是采样的频率， $f_c$  是载波的频率。

通过测量通信信号的这个参数可以辨别出拥有对称性的频谱通信信号 (DSB、FM、AM) 和拥有非对称性的频谱通信信号 SSB。从公式表达解析中可以看出，因为  $P$  的取值为 0，表示 DSB、FM、AM 这类型信号拥有的频谱是对称的，而  $P$  的取值为 1 (上边带调制) 或 -1 (下边带调制)，说明 SSB 这类型信号的相应频谱只能在其载波频率的一边有值，通过以上这个判别可以直接将 SSB 通信信号从整个信号系统中剥离出来。

#### 3.3.2 归一化频谱载频处的幅值大小 $J$

$x(i) = \text{fft}(x(n))$  为信号  $x(t)$  的傅里叶变换，则：

$$J = \frac{x(f_c + 1)}{\max(x(i))}$$

原则上 AM 通信信号的载频应该是有幅值，因此  $J$  的值大于 0。而 DSB 通信信号在载波的频率处没有幅值，它属于抑制载波的调幅信号，因此  $J$  的值应等于 0。通过这个参数的数值结果能够辨别出 AM 通信信号和 DSB 通信信号。

#### 3.3.3 瞬时幅度的方差与均值四次方之比 $R$

$$R = \frac{\text{var}[a(n)]}{\text{mean}^4[a(n)]}$$

在公式里可以看出，测量通信信号的瞬时幅度表示为  $a(n)$ 。对于 AM、DSB 这两类通信信号而言，通过方差的理论能够得到，调制信号改变，它的幅度也会改变，因此对于这两类测量通信信号，它的瞬时幅度的方差非常大，结果  $R$  参数的数值就会非常大。但是通过公式可以看出，像 FM 通信信号这种是保持不变的包络信号，因此它的  $R$  参数的数值为 0，这类通信信号的瞬时幅度的方差理论结果是 0。通过这种方法能够很快速的将 FM 这类通信信号辨别出来。

#### 3.3.4 中心归一化瞬时幅度的谱密度最大值 $r_{\max}$

$$r_{\max} = \frac{\max |FFT[a_m(i)]|^2}{N_s}$$

公式里  $a_m(i)$  作为零中心归一化瞬时幅度， $N_s$  是采样的点数。

$$a_m(i) = a_n(i) - 1$$

公式里  $a_n(i) = \frac{a(i)}{m_n}$  为  $a(i)$  的瞬时幅度； $m_n$  是  $a(i)$  的

平均值, 为了避免通信信道增益带来的干扰, 通过取平均值的方法对瞬时幅度进行归一化操作。平均值  $m_n$  的表达式如下所示:

$$m_n = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^N a(i)$$

为了能够辨别 FM 测量通信调制信号和 AM、DSB 或 SSB 测量通信信号, 就必须用求取零中心归一化瞬时幅度的谱密度最大值  $r_{\max}$  的方法来解决。因为 FM 的瞬时幅度  $A$  恒定不变, 所以对于 FM 测量通信信号而言, 它的  $a_{cn}(i)$  零中心归一化瞬时幅度  $a_{cn}(i)$  会一直保持是 0, 即  $a_{cn}(i) = 0$ ; 因此这类通信信号的谱密度  $r_{\max}$  也是 0。但是像 AM、DSB 和 SSB 这类测量通信信号的瞬时幅度一直在变, 因而这类通信信号的零中心归一化瞬时幅度  $a_{cn}(i)$  就不可能是 0, 它的谱密度也不是 0, 这样,  $r_{\max}$  的参数数值能够辨别出 FM 通信信号和 AM、DSB、SSB 这类通信信号。但只通过  $r_{\max}$  是否为零来分辨是不足够的, 还需要设置一个信号判别阈值  $Z(r_{\max})$ , 才能够真正分辨 FM 通信信号和 AM、DSB、SSB 通信信号。

3.3.5 中心非弱信号段的瞬时相位非线性分量绝对值标准偏差  $\sigma_{AP}$

$\sigma_{AP}$  是用来区分测量通信信号是双边带信号还是 AM-FM 信号, 具体表达是如下:

$$\sigma_{AP} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[ \sum_{a_i(i) > n} \varphi_{NL}^2(i) \right] - \left[ \frac{1}{c} \sum_{a_i(i) > n} \varphi_{NL}(i) \right]^2}$$

公式里的  $\varphi_{NL}(i)$  是零中心化处理后的瞬时相位的非线性分量,  $a_i$  是判断弱信号段的一个幅度门限电平,  $c$  是采样数据  $N_s$  中非弱信号值的个数。它的表达式如下:

$$\varphi_{NL}(i) = \varphi(i) - \varphi_0$$

公式里的  $\varphi(i)$  是瞬时相位,  $\varphi_0 = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} \varphi(i)$ 。

根据双边带的定义可以知道, DSB 这种类型的测量通信信号的  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ 。

因此可以看出, 像 AM-FM 这类通信信号而言, 它的调制信号包括了绝对值的相位信息, 所以  $\sigma_{AP}$  不是 0, 而像双边带信号里不包括绝对值的相位信息, 所以  $\sigma_{AP}$  是 0; 依据以上结论, 能够定义相应的判决阈值  $Z(\sigma_{AP})$ , 从而可以分辨 DSB 通信信号和 AM-FM 通信信号。

3.3.6 中心非弱信号段的瞬时相位非线性分量标准偏差  $\sigma_{DP}$

$\sigma_{DP}$  和  $\sigma_{AP}$  是不一样的,  $\sigma_{DP}$  是直接相位的标准偏差,  $\sigma_{AP}$  是绝对值相的标准偏差。

$$\sigma_{DP} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[ \sum_{a_i(i) > n} \varphi_{NL}^2(i) \right] - \left[ \frac{1}{c} \sum_{a_i(i) > n} \varphi_{NL}(i) \right]^2}$$

$\sigma_{DP}$  可以直接分辨含相位信息的 DSB、LSB、USB、AM-FM 类测量通信调制信号和不含相位信息的 AM、VSB 类测量通信调制信号。

## 4 测量通信信号的识别与仿真

### 4.1 设定识别信号的判别阈值

将测量通信信号设定为采样频率 50 000 Hz, 载波频率

10 000 Hz, 采样点数为 5 000, 信号频率为 1 000 Hz 的单频率正弦波。分别加入信噪比为 9 dB、12 dB、15 dB 的噪声条件, 通过对每一个特征参数分别进行 MATLAB 仿真分析, 得出如下表的结论。表格的统计只能反映出 SNR = 12 dB 时的每个测量通信调制信号的特征值相应范围。

表 1 SNR=12 dB 时的各信号的  $P, J, R$  的取值范围

调制样式	AM	DSB	SSB	FM
$P$	0~0.02	0.004~0.02	0.05~0.07	0.003~0.02
$J$	1	0.006~0.02	0.003~0.01	0.3~0.7
$R$	0.3~0.32	0.38~0.41	0.04~0.06	0.04~0.06

以上表 1 中的参数值取的是大概率数值情况, 仅有极少数情况的结果会在参数值范围之外。通过测试了不同信噪比情况的仿真结果, 可以分析出如下结论:

1) 随着信噪比的降低, AM、DSB 和 FM 这类通信信号的  $P$  值在其取值范围内波动。通过观察 SSB 这类测量通信信号的  $P$  值也会因此降低, 逐渐向 AM、DSB、FM 通信信号的  $P$  值范围附近靠拢。所以能够选取一个相对符合要求的判别阈值, 在一定信噪比条件下进行分析和辨别。

2) 通过信噪比的降低, DSB 测量通信信号的  $J$  值几乎无明显变化, AM 测量通信信号的  $J$  值始终是 1。所以可以看出设定判别阈值是正确的。

3) 随着信噪比的降低, AM、DSB 这类型测量通信信号的  $R$  值也在降低, 但是 FM 类型测量通信信号的  $R$  值却是反而上升的, 在信噪比降低到特定值以下时, 判别阈值不起作用了。但是在以上识别和仿真试验中能够看出当信噪比为 6 dB 的时候, 判别阈值的识别作用是正确的。

设  $t(P)$ 、 $t(J)$ 、 $t(R)$  分别为特征值  $P$ 、 $J$ 、 $R$  的判别阈值。定义相应特征参数的判别数值如表 2 所示, 运用 MATLAB 仿真软件进行识别和仿真试验。

表 2 各判决门限的取值

判决门限	$t(P)$	$t(J)$	$t(R)$
取值	0.025	0.3	0.14

## 4.2 识别方案设计及其仿真结果

### 4.2.1 识别方案

为了降低载波幅度的影响, 把测量通信信号归一化, 同时可以提高参数特征值的稳定性。接下来进行以下步骤:

1) 运算  $P$  参数的数值: 区分出 SSB 通信信号, 将 AM、DSB、FM 等通信信号划分为一类。

2) 运算  $R$  参数的数值: 将 FM 通信信号辨别出来。

3) 设置  $J$  参数的数值: 将 AM 通信信号和 DSB 通信信号划分分开。

### 4.2.2 识别试验仿真结果分析

测量通信信号识别共进行 60 次, 总共输入 240 次, 每次随机输入 FM、DSB、AM、SSB 各种测量通信调制信号中的一种, 分别在 12 dB、9 dB、6 dB 的信噪比条件下输入。测量通信信号的频率设置 1 000 Hz, 采样频率为 50 000 Hz, 载波

频率为 10 000 Hz。识别试验的仿真结果如表 3、表 4、表 5 所示。(输入信号显示为横向, 输出信号显示为纵向)

表 3 SNR=12 dB 时的各信号的正确识别率 %

调制样式	AM	DSB	SSB	FM
AM	100	0	0	0
DSB	0	98.1	0	0
SSB	0	1.9	97	0
FM	0	0	3	100

表 4 SNR=9 dB 时的各信号的正确识别率 %

调制样式	AM	DSB	SSB	FM
AM	100	0	0	0
DSB	0	95.3	0	0
SSB	0	4.7	94.2	2
FM	0	0	5.8	98

表 5 SNR=6 dB 时的各信号的正确识别率 %

调制样式	AM	DSB	SSB	FM
AM	100	0	0	0
DSB	0	89.4	0	0
SSB	0	10.6	85.5	7.9
FM	0	0	14.5	92.1

从以上表格分析可以得出, DSB、SSB、FM 这几类测量通信信号的正确识别率是随着它的信噪比数值的下降而降低, 特征值  $P$  参数的数值最先随着信噪比的下降而到达判别的临界阈值, 这也是因为特征值  $P$  参数作为第一个提取的特征参数导致的结果。也同时引起后面测量通信信号的识别出现错误。虽然如此, 能够看出这种设计的调制识别方法的识别率还是非常高的, 通过仿真试验能够得出结论, 满足  $SNR > 12$  dB 的情况下, 正确率可以达到 90%。

### 5 结束语

我国通信领域的科研成果不断强大, 在测量通信信号技术的研究越来越深入, 通信信息的频带越来越多的需要各种不同的调制种类和形式。无论是在航天系统还是国防领域, 能够运用非常快速的方法识别和辨析出每一种不同类型的测量通信信号, 都是极为重要的课题。测量通信信号调制识别技术研究的核心目的就是通过在复杂的信号环境下解析出不同种类测量通信信号的调制类型信息和调制方式, 从而能够为深层次研究和理解测量通信信号的信息起到至关重要的作用。

这篇文章通过研究测量通信信号的不同类型信息特点, 能够通过信号信息特征本身找出三个可以辨析信号类型的相关参数, 运用本文挑选的三个特征参数和别的测量通信信号调制制式识别方法中选择的特征参数相比较更加方便提取和更有利于计算。通过运用这三个特征参数设计相应的测量通信信号识别方案, 通过试验的仿真结果可以表

明这种识别方法流程清楚, 识别正确, 优化简单, 识别率非常高。

### 参考文献:

- [1] 杨志俊, 范海波, 曹志刚. 基于谱分析的通信信号调制方式自动识别 [C] // 无线通信技术, 电子工业出版社, 2003: 48-53.
- [2] 范海波, 杨志俊, 曹志刚. 卫星通信用调制方式的自动识别 [J]. 通信学报, 2004, 12 (2): 28-37.
- [3] 谷学敏. 航天无线电测控技术 [M]. 北京: 国防科工委指挥技术学院出版社, 2003: 31-34.
- [4] 吕杰, 张胜付, 等. 基于软件无线电架构的通信信号自动调制识别 [J]. 无线电工程, 2000, 6 (5): 67-72.
- [5] NANDI A K, AZZOUZ E E. Automatic analogue modulation recognition [J]. Signal Processing, 1995, 46 (2): 211-223.
- [6] WARD D A, EXON J LAT. Using Rogowski Coils for Transient Current Measurements [J]. Engineering Science and Education Journal, 1993: 69-75.
- [7] 刘敏, 魏玲. MATLAB 通信仿真与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001: 78-84.
- [8] 唐向宏. MATLAB 在电子信息类课程中的应用 [M]. 电子工业出版社, 2006: 28-31.
- [9] BABB M. The race for real time Ethernet [J]. Computing & Control Engineering, 2004, 23 (6): 113-116.
- [10] SHAYAN Y R, LE-NGOC T, ALL DIGITAL PHASE-LOCKED LOOP. Concepts, design and applications [C] // IEE Proceedings, 1989, 8 (4): 58-63.
- [11] BARRY KAUER. Windows assembly language & systems programming [M]. New York: Prentice Hall, 1993: 96-103.
- [12] ASOKE K. NANDI, AZZOUZ E E. Algorithms for Automatic Recognition of Communication Signals [C] // IEEE Trans, Commun, 1998, 46 (4): 431-436.
- [13] 姚亚峰, 黄载禄. 通信信号调制识别技术 [J]. 通信技术, 2003, 9 (12): 75-83.
- [14] WILLIAM C LINDSEY, CHAK MING CHIE. A survey of digital phase-locked loops [C] // Proceedings of the IEEE, 1981, 13 (5): 87-93.
- [15] 李凡. 遥测专家谈“靶场先进遥测计划” [J]. 遥测遥控, 2002, 7 (4): 39-41.
- [16] 曹苏刚, 钱亚生. 现代通信原理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1997: 112-115.
- [17] ADVANTEST R3132 Series Spectrum Analyzer Operation Manual [D]. 1999, 18 (9): 92-98.
- [18] LEE K C, LEE S. Performance evaluation of switched Ethernet for real-time industrial communications [J]. Computer Standards & Interfaces, 2002: 178-185.
- [19] 肖伟. MATLAB 程序设计与应用 [M]. 北京: 北方交通大学出版社, 2005: 34-39.
- [20] 雷格雷伯等著, 高会生等译. MATLAB 原理与工程应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 68-72.
- [21] 张贤达, 保铮. 通信信号处理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000: 47-53.