

# 数字信号调制参数测量与调制类型识别方法

国家无线电监测中心  
国家无线电频谱管理中心

# 目录

1. 范围 .....	1
2. 术语、定义和缩略语 .....	1
2.1 术语和定义 .....	1
2.2 缩略语 .....	1
3. 调制参数及调制类型范围 .....	1
3.1 数字信号调制参数范围 .....	1
3.2 数字信号调制类型范围 .....	2
4. 信号采集和预处理 .....	3
4.1 信号采集 .....	4
4.2 信号预处理 .....	4
5. 信号参数测量方法 .....	5
5.1 波特率估计方法 .....	5
5.2 载波频率估计方法 .....	8
5.3 频率间隔估计方法 .....	9
6. 信号调制类型识别方法 .....	10
6.1 类间识别 .....	10
6.2 单载波线性调制数字信号类内识别方法 .....	11
6.3 单载波 FSK 信号类内识别方法 .....	13
6.4 多载波信号调制类型识别方法 .....	14
附录 A .....	15

# 数字信号调制参数测量与调制类型识别方法

## 1. 范围

本规范规定了典型数字信号调制参数测量及调制类型识别的原理性方法,同时规定了信号采集、预处理等辅助环节的处理准则和方法。

本规范适用于信号分析中以手动方式对数字信号调制层参数及类型的提取。

手动提取的实现方式及要求可参见附录A。

## 2. 术语、定义和缩略语

### 2.1 术语和定义

#### 2.1.1

调制参数测量 measurement of modulated parameters

通过技术手段获取信号波特率、载波频偏等调制参数的过程。

#### 2.1.2

调制类型识别 modulation identification

通过技术手段获取信号的调制方式的过程。

### 2.2 缩略语

FIR 有限冲击响应 Finite Impulse Reponse

## 3. 调制参数及调制类型范围

### 3.1 数字信号调制参数范围

本规范考虑的数字信号及调制参数范围如表1所示。

表 1 数字信号调制参数范围

信号类型		需估计的调制参数
单载波信号	二维线性调制信号	波特率、载波频率
	FSK 信号	波特率、载波频率、频率间隔
多载波信号		子载波数、载波间隔、子载波的波

### 3.2 数字信号调制类型范围

#### 3.2.1 二维线性调制信号

该类信号的统一数学表达式为：

$$s(t) = \sum_n a_n g(t - nT) \exp(j2\pi f_c t) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$T$  ——码元周期；

$f_c$  ——载波频率；

$\{a_n\}$  ——不同数字调制方式的字符集；

$g(t)$  ——均方根升余弦滚降成型滤波器。

本节涉及的二维线性调制信号及其星座图如下所示：

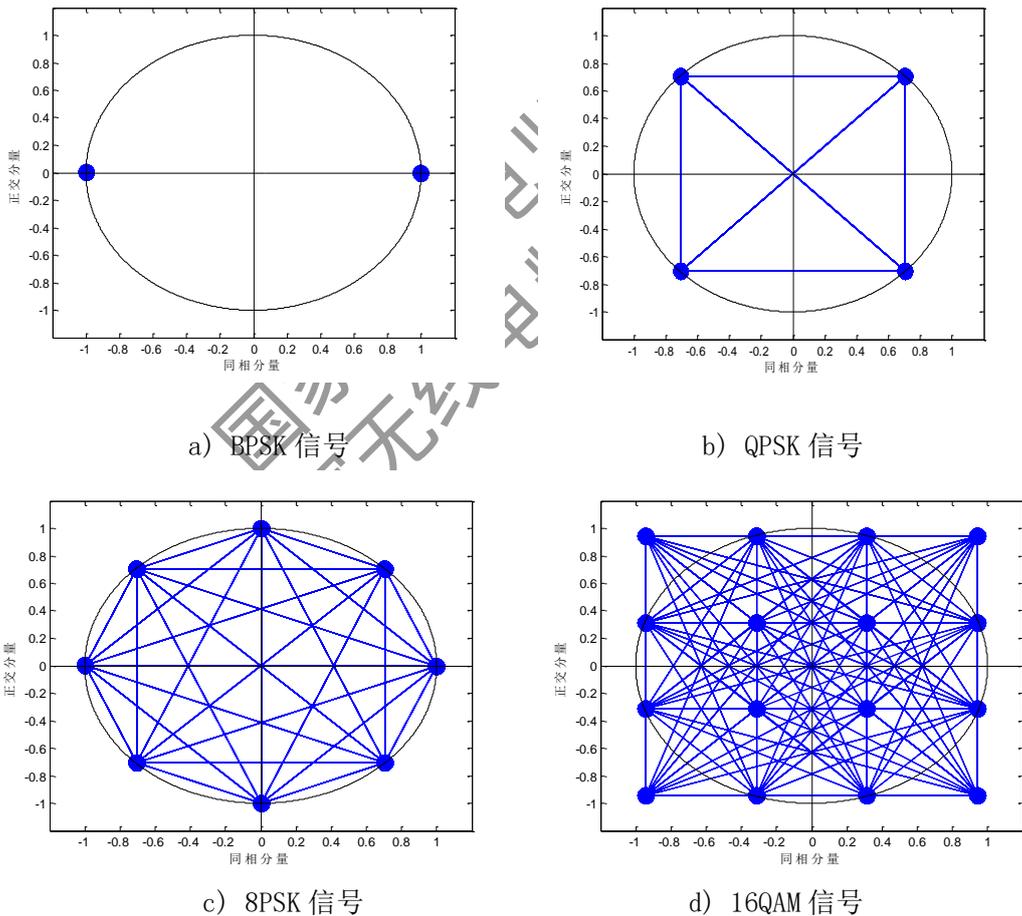


图 1 典型调制类型信号星座图

在本规范中，同样讨论两种较特殊的线性调制数字信号，其调制方式分别为  $\pi/2$ DBPSK 和  $\pi/4$ DQPSK，时域表达式可参照(1)式。

该信号各符号并不满足纯随机关系,其前后符号间的变化  $\theta_k$  只在集合  $\{k|k=0,1,\dots,M-1, k \neq \pi/2\}$  取值,其星座图中各点的连线不过零点,如下图所示:

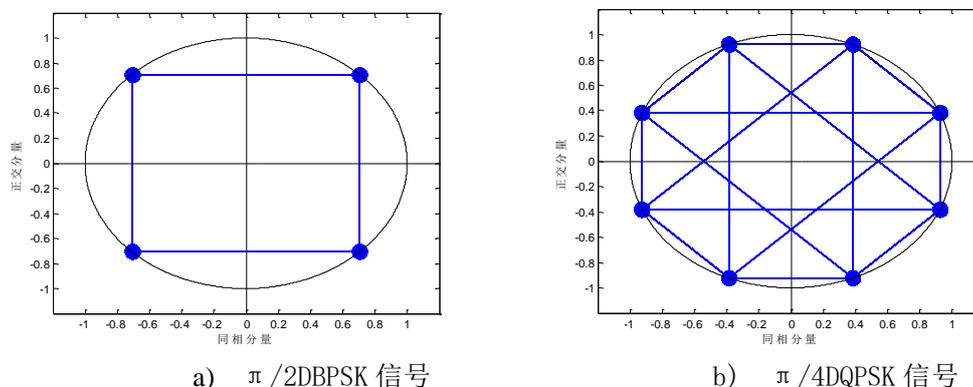


图 2 典型调制类型信号星座图

### 3.2.2 FSK 信号

本规范中只讨论2FSK、4FSK、8FSK这三种调制方式,其表达式为:

$$s(t) = \sum_n \exp(j2\pi(f_c + f_i)t), \quad i=1,2,\dots,M \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$f_i$  ——可根据不同的调制信息取不同的值,对2FSK、4FSK、8FSK信号, $M$ 取值分别为2、4、8。

### 3.2.3 多载波信号

本规范考虑的多载波信号的每个载波为PSK或FSK调制,且满足各子载波间隔 $\Delta B$ 大于波特率 $R_s$ ,对于多载波PSK信号,其表达式为:

$$s(t) = \sum_{i=1}^Q \sum_n a_{in} g(t - nT) \exp(j2\pi f_c t) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$Q$  ——子载波的个数;

其它参数定义可参照4.2.1节。

对于多载波FSK信号,其表达式为:

$$s(t) = \sum_{i=1}^Q \sum_n \exp(j2\pi(f_c + f_i(n))t) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中各参数定义与4.2.2节相同。

## 4. 信号采集和预处理

## 4.1 信号采集

### 4.1.1 采集数据要求

本规范所建议的信号两种信号文件格式，基带I/Q数据及音频数据。基带I/Q数据文件应具有公开且易读取的格式。

### 4.1.2 采集方法

本节规定基带I/Q数据和音频数据两种采样方式的基本步骤。

基带I/Q数据的采集方法如下：

- a) 选取具备基带 I/Q 数据采集能力的设备；
- b) 设置采样带宽大于信号带宽 2 倍以上，宜为 4 倍；
- c) 设置采样中心频率约在信号频谱的中间位置；
- d) 设置恰当的采样时间，原则上应不小于信号带宽倒数的 500-1000 倍为宜。
- e) 开始采集记录。
- f) 若采集 I/Q 信号的文件格式不为 mat 或 txt 格式，应与设备厂商联系进行格式转换，以便进行后处理。

音频数据可采用具有音频解调输出功能的接收机等设备，并按照如下步骤进行采集：

- a) 设置解调方式为上边带(USB)或下边带(LSB)解调；
- b) 设置解调带宽大于信号带宽 2 倍以上，宜为 4 倍；
- c) 设置中心频率约在信号频谱的中间位置。
- d) 若解调方式为 USB，则设置解调中心频率应不大于信号的最低频率；若解调方式为 LSB，则设置解调中心频率应不小于信号的最高频率。
- e) 开始采集记录。

## 4.2 信号预处理

信号预处理部分可包含如下 3 节的内容。

### 4.2.1 实-复信号转换

若采样数据为I/Q信号，则可按照下式构建待处理的解析信号 $s(t)$ ：

$$s(t) = s_I(t) + j * s_Q(t) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- j—— 虚数；
- $s_I(t)$ —— I/Q信号的实部；
- $s_Q(t)$ —— I/Q信号的虚部。

若采样数据为音频文件，则可按照下式构建待处理的解析信号 $s(t)$ ：

$$s(t) = s(t) + j * \text{Hilbert} \{s(t)\} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

Hilbert{.} ——希尔伯特运算

#### 4.2.2 采样率转换

- a) 若信号采样率小于两倍信号带宽, 则可能丢失信息, 且相关处理算法会失效, 应重新采样;
- b) 若信号采样率过大(大于 20 倍信号带宽), 则应采用抽取方法降低采样率;
- c) 若信号采样率较小(小于 3 倍信号带宽), 则应采用差值方法提升采样率。

#### 4.2.3 滤波

若采集信号带外有其它信号、各类干扰或带外噪声, 应对信号进行数字滤波, 以提升整体的输入信噪比。对滤波过程的要求如下:

- a) 滤波器通带和阻带截止频率应尽量近;
- b) 滤波器通带带宽应尽量接近但不小于接近信号带宽;
- c) 建议采用有限冲击响应(FIR)滤波器<sup>[1]</sup>以保证信号的相位为线性变化。

### 5. 信号参数测量方法

#### 5.1 波特率估计方法

##### 5.1.1 波特率估计方法汇总

表 2 波特率参数估计方法

估计方法名称	适用信号	适用环境
瞬时幅度谱法	二维线性调制信号	AWGN 或多径衰落信道
瞬时频率的 N 次方谱法	FSK 信号	仅理想的 AWGN 信道
瞬时频率的过零点谱法	FSK、二维线性调制信号	仅理想的 AWGN 信道
常规调制信号的 N 次方谱法	PSK、QAM	AWGN 或多径衰落信道
特殊调制信号的 N 次方谱法	$\pi/2$ DBPSK, $\pi/4$ DQPSK	AWGN 或多径衰落信道
谱相关方法	FSK、二维线性调制信号、 OQPSK、 $\pi/2$ DBPSK, $\pi/4$ DQPSK	AWGN 或多径衰落信道
Haar 小波变换谱法	FSK 信号	AWGN 或多径衰落信道

注 1: 在 ITU-R SM.1600 建议书表 2 基础上修改。  
注 2: 针对 OQPSK、 $\pi/2$ DBPSK、 $\pi/4$ DQPSK 这三类信号的波特率的估计算法虽然处理方法相同, 但提取方式与 PSK 等二维线性调制信号不同, 故单独列出。

##### 5.1.2 瞬时幅度谱法

处理步骤如下:

- a) 对接收的 I/Q 信号取模, 并进行傅立叶运算, 得到瞬时幅度谱  $R(f)$ ;
- b) 按照 (7) 式进行波特率  $R_s$  的估计;

$$\hat{R}_s = \arg \max_f \{R(f), f > 0\} \dots\dots\dots (7)$$

式中：  
 $\max\{.\}$  ——求最大值运算。

### 5.1.3 瞬时频率的 N 次方谱法

处理步骤如下：

- a) 按照 (8) 式计算接收信号的瞬时频率  $f_i(n)$ ：

$$f_i(n) = \text{diff} \{ \text{angle}(s(n)) \} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$\text{diff}(\cdot)$  ——差分运算，可采用更高阶差分来抑制噪声；  
 $\text{angle}(\cdot)$  ——为求角运算。

- b) 对瞬时频率序列  $f_i(n)$  进行 N 次方运算，N 为信号的调制进制；  
 进行 FFT 运算，得到频谱  $R(f)$ ；  
 按照 (9) 式进行波特率的估计。

$$\hat{R}_s = \arg \max_f \{ R(f), f > 0 \} \dots\dots\dots (9)$$

### 5.1.4 瞬时频率的过零点谱法

处理步骤如下：

- a) 根据 (8) 式计算接收信号的瞬时频率  $f_i(n)$ ；  
 b) 根据 (10) 式计算过零点时刻序列  $\{t(n)\}$ ：

$$t(n) = \arg \max_n \{ f_i(n) f_i(n+1) < 0, n > 0 \} \dots\dots\dots (10)$$

- c) 进行 FFT 变换，得到频谱  $R_0(f)$ ；  
 d) 按照 (11) 式进行波特率的估计。

$$\hat{R}_s = \arg \max_f \{ R_0(f), f > 0 \} \dots\dots\dots (11)$$

### 5.1.5 常规调制信号的 N 次方谱法

处理步骤如下：

- a) 对预处理后的复信号进行 N 次方运算 (N 为调制进制，不同调制类型的取值可参考表 3)；  
 b) 进行 FFT 变换，结果呈现三谱线特征，记最高谱线和两边对称的次高谱线分别为  $\hat{f}_1$ 、 $\hat{f}_2$  和  $\hat{f}_3$ ；  
 c) 按照 (12) 式进行波特率的估计。

$$\hat{R}_s = (|\hat{f}_2 - \hat{f}_1| + |\hat{f}_1 - \hat{f}_3|) / 2 \quad (12)$$

表 2 不同调制进制的 N 取值

信号类型	N 取值	信号类型	N 取值
------	------	------	------

BPSK	2	16APSK	8
QPSK	4	32APSK	8
8PSK	8	16QAM	4

### 5.1.6 特殊调制信号的 $N$ 次方谱法

处理步骤如下：

- 对于 $\pi/2$ DBPSK进行平方运算，对于 $\pi/4$ DQPSK信号进行四次方运算；
- 进行FFT变换，则应出现两根幅度较高的谱线，分别记为 $\hat{f}_1$ 和 $\hat{f}_2$ ；
- 按照(13)式进行波特率的估计。

$$\hat{R}_s = |\hat{f}_1 - \hat{f}_2| \quad (13)$$

### 5.1.7 谱相关方法

处理步骤如下：

- 按照(14)式进行谱相关运算；

$$S^\alpha(f) = \int x(t)x^*(t+\tau)\exp(j2\pi f\tau) \dots\dots\dots (14)$$

- 令 $f=0$ ，提取一维循环频率截面 $S^\alpha(0)$ ；
- 按照(15)式可进行波特率的估计；

$$\hat{R}_s = \arg \max_f \{R_s(\alpha), \alpha > 0\} \dots\dots\dots (15)$$

### 5.1.8 Haar 小波变换谱法

处理步骤如下：

- 按照(16)式计算信号的连续Haar小波变换；

$$CWT_x(a, \tau) = \int s(t)\psi_a^*(t)dt = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t)\psi^*\left(\frac{t-\tau}{a}\right)dt \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$a$ ——尺度因子，可在较宽的范围内取值，但应为整数，一般为4-16之间；

$\psi(t)$ ——Haar小波基函数，离散化后按照下式定义：

$$\frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{k-n}{a}\right) = \begin{cases} 1/\sqrt{a} & k = -a/2 + n, -a/2 + n + 1, \dots, -1 \\ -1/\sqrt{a} & k = 0, 1, \dots, a/2 - 1 \\ 0 & k \text{ 为其它值} \end{cases} \dots\dots\dots (17)$$

- 对信号进行FFT变换；
- 按照(18)式进行波特率的估计。

$$\hat{R}_s = \arg \max_f \{R(f), f > 0\} \dots\dots\dots (18)$$

5.2 载波频率估计方法

5.2.1 载波频率估计方法汇总

表4 载波频率参数估计方法<sup>1</sup>

分析方法	适用信号范围	适用环境
功率谱法	任何调制类型	AWGN 或多径衰落信道
瞬时频率的直方图法	FSK	AWGN 或多径衰落信道
瞬时频率的平均值法	FSK	AWGN 或多径衰落信道
常规调制信号的 N 次方谱法	PSK、QAM	AWGN 或多径衰落信道
特殊调制信号的 N 次方谱法	$\pi/2$ DBPSK, $\pi/4$ DQPSK	AWGN 或多径衰落信道
谱相关函数法	ASK、BPSK、OOK	AWGN 或多径衰落信道

注1: 在 ITU-R SM.1600 建议书表 2 基础上修改。  
注2: 可分为参数化功率谱和非参数化功率谱两种方法

5.2.2 功率谱法

处理步骤如下:

- a) 计算信号的参数化或非参数化功率谱, 记为  $S(f)$ ;
- b) 按照 x-dB 或其它方法进行信号带宽的估计  $B$ ;
- c) 令信号带宽内的最低截止频率和最高截止频率分别为  $f_{\max}$  和  $f_{\min}$ , 按照(19)和(20)

式估计载波频率。

$$\hat{f}_c = (f_{\min} + f_{\max}) / 2 \dots\dots\dots (19)$$

$$\hat{f}_c = \frac{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S(f) |f| df}{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} |S(f)| df} \dots\dots\dots (20)$$

5.2.3 瞬时频率的直方图法

处理步骤如下:

- a) 按照式(8)计算接收信号的瞬时频率  $f_i(n)$ ;
- b) 对瞬时频率序列  $f_i(n)$ 进行幅度分布统计, 区间上下限可为其最大及最小值, 区间精度为 1Hz, 得到其瞬时频率幅度的  $M$  个分布簇;
- c) 求出每个频率分布簇的  $M$  个均值  $f_c(i)(i=1,2,\dots,M)$ ;
- d) 按照(21)式估计载波频率。

$$\hat{f}_c = \sum_{i=1}^M f_c(i) M \dots\dots\dots (21)$$

5.2.4 瞬时频率的平均值法

处理步骤如下:

- a) 按照(8)式计算接收信号的瞬时频率  $f_i(n)$ ;
- b) 按照(22)式对瞬时频率序列  $f_i(n)$ 进行估计。

$$\hat{f}_c = \sum_{i=1}^M f_i(n) / M \quad \dots\dots\dots (22)$$

5.2.5 常规调制信号的 N 次方谱法

处理步骤如下:

- a) 对采集的 I/Q 信号进行 N 次方运算(N 为调制进制。不同调制类型下的取值可参考表 3);
- b) 进行 FFT 变换得到频谱  $S(f)$ , 频谱呈现三谱线特征, 记最高幅度谱线为  $\hat{f}_1$ ;
- c) 按照(23)式进行载波频率的估计。

$$\hat{f}_c = \hat{f}_1 / N \quad \dots\dots\dots (23)$$

5.2.6 特殊调制信号的 N 次方谱法

处理步骤如下:

- a) 对于  $\pi/2$ DBPSK 进行平方运算, 对于  $\pi/4$ DQPSK 信号进行四次方运算;
- b) 进行 FFT 变换, 则应出现两根幅度较高的谱线, 分别记为  $\hat{f}_1$  和  $\hat{f}_2$ ;
- c) 对于  $\pi/2$ DBPSK 信号, 按照(24)式进行载波频率的估计, 对于  $\pi/4$ DQPSK 信号, 按照(25)式进行载波频率的估计。

$$\hat{f}_c = (\hat{f}_1 + \hat{f}_2) / 4 \quad (24)$$

$$\hat{f}_c = (\hat{f}_1 + \hat{f}_2) / 8 \quad (25)$$

5.2.7 谱相关法

处理步骤如下:

- a) 按照(14)式进行谱相关运算;
- b) 令  $f=0$ , 提取一维循环频率截面  $S^\alpha(0)$ ;
- c) 在循环频率界面正频率处搜索峰值点对应频率  $\hat{f}_1$ , 并在该频率两侧提取对称的高幅度谱线, 分为记为  $\hat{f}_2$  和  $\hat{f}_3$ ;
- d) 按照(26)式计算载波频率。

$$\hat{f}_c = \left( \left| \hat{f}_2 - \hat{f}_1 \right| + \left| \hat{f}_3 - \hat{f}_1 \right| \right) / 4 \quad \dots\dots\dots (26)$$

5.3 频率间隔估计方法

5.3.1 频率间隔(子载波间隔)的估计方法汇总

表 5 不同调制类型所需要考虑的调制参数

分析方法	适用信号	适用环境
功率谱 <sup>2</sup>	FSK, 多载波信号	AWGN或多径衰落信道
瞬时频率的直方图统计	FSK	AWGN 或多径衰落信道
注 1: 在 ITU-R SM.1600 建议书表 4 基础上修改		
注 2: 可分为参数化功率谱和非参数化功率谱两种方法		

### 5.3.2 功率谱法

处理步骤如下:

a) 计算信号参数化或非参数化功率谱, 记为  $S(f)$ ;

b) 记第  $i$  个频率谱峰(子载波)的局部最大值和最小值分别为  $f_{\max(i)}$  和  $f_{\min(i)}$ , 按照(27)式和(28)式计算其频率局部均值  $f_c(i)$ ;

$$f_c(i) = (f_{\min(i)} + f_{\max(i)}) / 2, i = 1, 2, \dots, N \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$f_c(i) = \frac{\int_{f_{\min(i)}}^{f_{\max(i)}} |S(f)| f}{\int_{f_{\min(i)}}^{f_{\max(i)}} |S(f)|} \quad \dots\dots\dots (28)$$

c) 按照(29)式计算第  $i$  和  $i+1$  个频率(子载波)的间隔;

d) 若各频率(子载波)等间隔, 则按照(30)式计算统一的频率间隔。

$$\Delta f_i = f_c(i+1) - f_c(i) \quad (29)$$

$$\Delta f = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (f_c(i+1) - f_c(i))}{(N-1)} \quad \dots\dots\dots (30)$$

### 5.3.3 瞬时频率的直方图法

处理步骤如下:

a) 按照(8)式计算接收信号的瞬时频率  $f_i(n)$ ;

b) 对瞬时频率序列  $f_i(n)$  进行幅度分布统计, 区间上下限可为其最大及最小值, 区间精度为 1Hz, 得到其瞬时频率幅度的  $M$  个分布簇;

c) 求出每个频率分布簇的  $M$  个均值  $f_c(i)(i=1,2,\dots,M)$ ;

d) 按照(29)式估计第  $i$  频率间隔;

e) 若各频率(子载波)等间隔, 则可按照(30)式计算统一的频率间隔。

## 6. 信号调制类型识别方法

### 6.1 类间识别

本节主要完成各类信号之间的区分, 识别流程及说明如下:

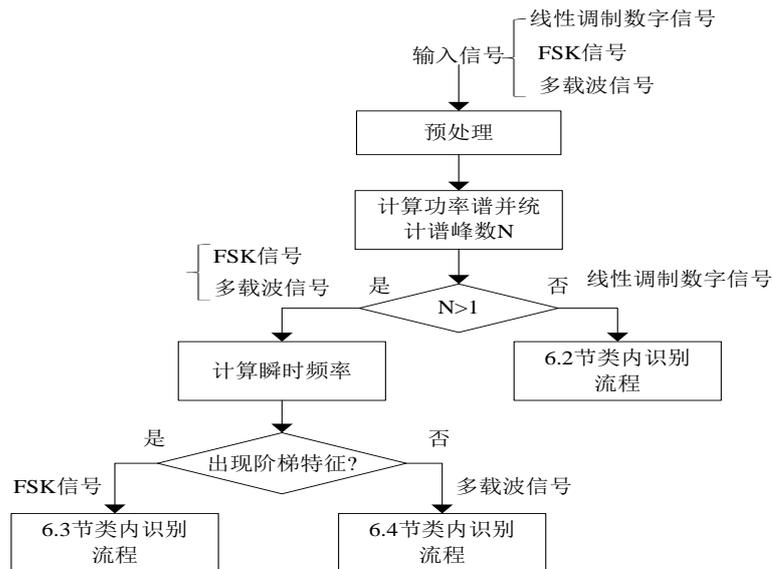


图 3 信号类间识别算法

a) 预处理

可按照4.2节进行处理。

b) 计算功率谱并进行谱峰统计

按照5.1.2节步骤a)进行功率谱的计算，并观察谱峰数，若谱峰数大于1，则为多载波或者FSK信号；若谱峰数为1，则为线性调制数字信号。

c) 阶梯特征判断

按照(8)式计算信号的瞬时频率，若出现如图4所示的阶梯状波形特征，则可判定为FSK信号；否则为多载波信号。

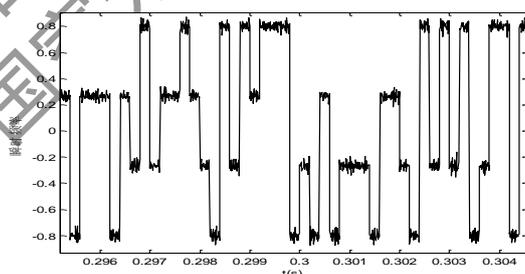


图 4 典型 FSK 信号瞬时频率

6.2 单载波线性调制数字信号类内识别方法

本节主要考虑 BPSK、QPSK、8PSK 三种调制类型的识别方法，识别流程及说明如下：

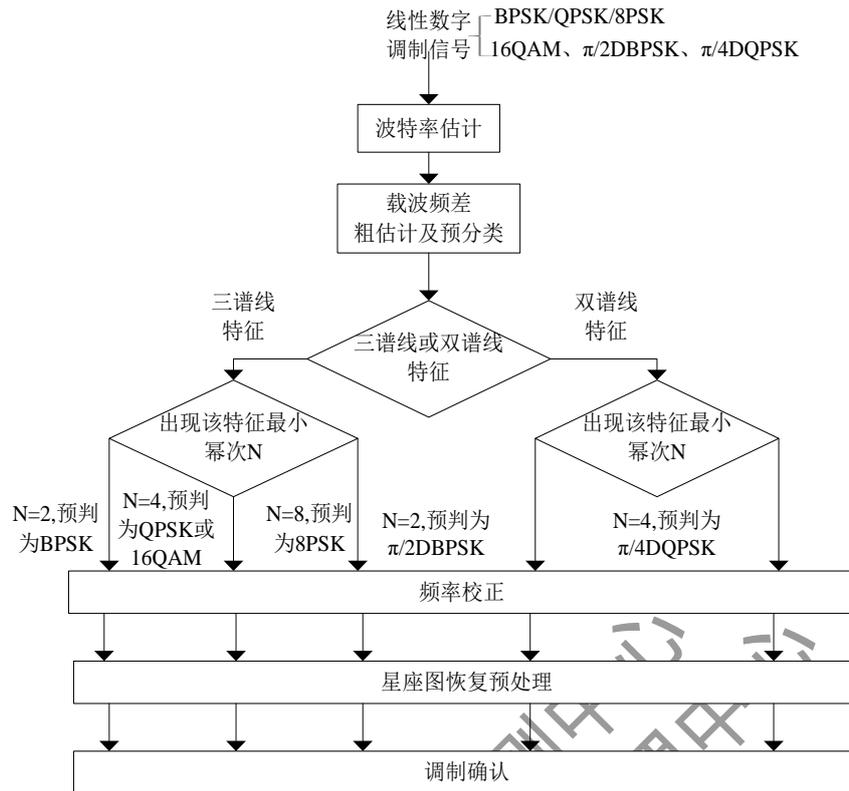


图 5 单载波线性调制数字信号类内识别方法

a) 波特率估计

利用瞬时幅度谱法(参见 5.1.1 节)或谱相关法(参见 5.1.6 节)进行波特率的估计。

b) 载波频差粗估计及预分类:

1) 令  $N$  分别取 2、4、8，进行  $N$  次方谱运算，并按照如下方式处理。

-若  $N$  取值为 2、4、8 时均出现了如图 6(a)中的三谱线特征(信噪比低时只有中间谱线)，则可初步判定为 BPSK 信号，并按照 5.2.4 节的方法进行频差估计；

-若  $N$  取值仅为 4、8 时出现了如图 6(a)中的三谱线特征(信噪比低时只有中间谱线)，则可初步判定为 QPSK 或 16QAM 信号，并按照 5.2.4 节的方法进行频差估计；

-若  $N$  取值仅为 8 时出现了如图 6(a)中的三谱线特征(信噪比低时只有中间谱线)，则可初步判定为 8PSK 信号，并按照 5.2.4 节的方法进行频差估计；

-若  $N$  取值为 2 时出现了如图 6(b)中的双谱线特征，则可初步判定为  $\pi/2$ DBPSK 信号，并按照 5.2.5 节的方法进行频差估计；

-若  $N$  取值为 4 时出现了如图 6(b)中的双谱线特征，则可初步判定为  $\pi/4$ DQPSK 信号，并按照 5.2.5 节的方法进行频差估计。

2) 若采用无法得到上面方法的特征，则可采用功率谱法进行载波频率的粗略估计值。



a) 波特率估计

利用谱相关法(参见 5.1.6 节)或 Haar 小波变换法(参见 5.1.7 节)进行波特率的估计。

b) 调制进制判断

计算瞬时频率直方图(参见 5.2.2 节), 所得到的分布簇个数即为信号的调制进制。

c) 频率间隔估计

按照瞬时频率直方图法(参见 5.3.2 节)进行估计。

d) 载波频率估计

利用瞬时频率直方图法(参见 5.2.2 节)或瞬时频率平均值法(参见 5.2.3 节)进行估计。

#### 6.4 多载波信号调制类型识别方法

本节主要考虑具备 3.2.3 节所述信号特征的多路信号调制类型的识别方法, 流程及说明如下:

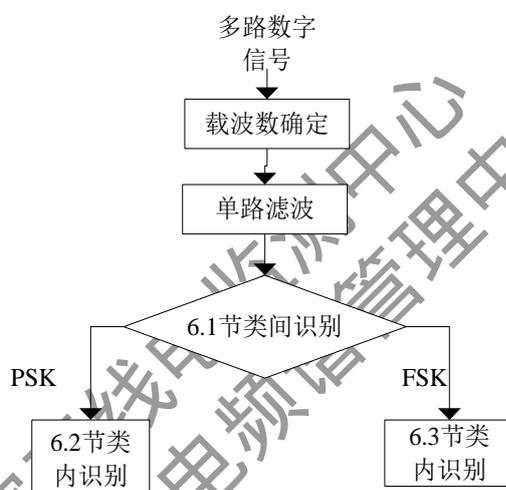


图 8 多载波信号识别流程

a) 载波数判断

计算信号频谱得到载波数判断。

b) 滤波

按照 4.2.3 节所述准则进行滤波, 滤出其中一路信号。

c) 类间识别

按照 6.1 节所述流程对单路信号进行类间识别, 判断其为 FSK 或线性调制数字信号。

d) 类内识别

对于线性调制数字信号或 FSK 信号, 分别按照 6.2 节或 6.3 节处理流程进行识别。

## 附录 A

### 手动提取的实现方式要求

#### A.1 手动提取的实现方式

本文件4.2、5及6节所规定的信号预处理、参数测量和信号识别方法中所涉及的各项信号处理方法应由如下两种方式实现。

- 由分析者采用各类仿真平台以编程的方式实现。
- 由分析者利用典型的离线信号分析软件来实现,在实现中以图形化的方式直接调用各类信号处理算法完成分析流程。对分析软件的信号处理算法的功能要求可参见A.2节。

#### A.2 离线信号分析软件信号处理算法功能要求

离线信号分析软件除应具备基本的编辑能力外,还应至少具有如下的信号处理运算功能,以及各个处理结果的图形化显示能力。

- 信号的FFT及时频二维运算;
  - 抽取与插值运算;
  - 谱相关运算;
  - $N$ 次方运算;
  - 实-复信号转换及共轭运算;
  - 瞬时频率(相位)及解卷绕运算;
  - 频谱搬移运算;
  - 差分运算;
  - 直方图统计;
  - 数字滤波器设计及滤波。
- 具备信号眼图、星座图、频率(相位)轨迹、相位分布等统计量的运算。