

# 电子科技大学

## 《无线链路传输》实验报告

实验 3: 调制解调实验

学生姓名: 周子涵

学号: 2018011218014

日期: 2021.5.21

### 一、实验目的

- 1、了解调制在通信系统中的作用；
- 2、掌握常见的数字调制方法；
- 3、了解常见调制方法的解调方法。

### 二、实验原理

#### 1. 调制的基本概念:

射频信号被用来传递信息，信息有可能是音频，数据或者其他格式，该信息被调制(modulate)到载波信号上，并通过射频传送到接收器，在接收器端，信息从载波上分离出来，这个过程被称为解调(demodulation)。而载波本身并不带有任何信息。调制方法多种多样，简单的一般有幅度调制、频率调制和相位调制。

#### 载波

无线通信的基础是载波，一般由在发射器部分产生，并不带有任何信息，在接收器部分也作为不变的信号出现。

#### 调幅

调幅通过调整信号幅度大小传递信息。最简单的调制是 OOK (on - off keying, 开关键控)，载波以开关的形式传递信息。在音频或其他领域应用更为常见的是，整个信号的幅度通过载波体现，这种调制方式被称为幅度调制(AM)。

#### 调频

载波信号被调制后，频率会随着信号源电压变化，通过频率变化承载数据。FM 的一个重要的优势是不会受到源信号的电平变化的干扰，而且抗干扰的能力也强。

## 调相

相位调制是另一种广泛采用的调制技术，特别是在数据传输的应用中。因为相位和频率是相辅相成的（频变是相变的一种形式），两种调制方法可以用角度调制（angle modulation）来概括。

## 2、正交幅度调制：

而在移动通信系统中，广泛应用的数据传输方法是正交幅度调制（QAM）。被调制后输出信号在幅度和相位都有改变。因此不管幅度还是相位都会进行变化，所以可以看成是混合幅度和相位的调制。

下图 4bit 的数据可以分为一组并用图中的幅度和相位组合来表示，形成 16QAM。

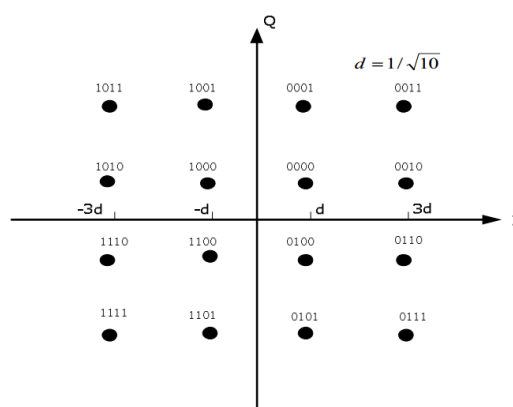


图 3-1 16QAM 星座图

尽管 QAM 通过对幅度和频率的调制增加了传输效率，但比较容易受到噪声的影响，因为状态点距离很近，所以一个比较小的噪声就有可能将一个星座点移到错误的位置。第二个弱点也和幅度分量相关，相位调制和频率调制无需使用线性放大器；而 QAM 具有幅度分量，所以必须用线性放大。不幸的是，线性放大器一般功耗较高且效率不高。

## 3、正交幅度调制的解调：

定义一个含有  $m$  个比特的编码序列，在  $i$  时刻，该序列可表示为  $\{b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,m}\}$ 。采用 M-QAM ( $M = 2^m$ ) 调制方案，该序列可被映射为一个复值符号  $a(i) = a_I(i) + ja_Q(i)$ ，在星座图上可表示为点  $(a_I(i), a_Q(i))$ ，其中  $a_I(i)$ 、 $a_Q(i)$  分别表示星座图的正交分量和同相分量。

用  $H_{ch}(i)$  表示信道频率响应， $w(i)$  表示高斯白噪声，设其均值为 0，方差为  $\sigma^2/2$ ，那么经 M-QAM 调制的信号经信道传输后，在接收端可表示为：

$$r(i) = H_{ch}(i)a(i) + w(i) \quad (3-1)$$

经过信道估计和均衡处理后，理想条件下的接收信号应该为：

$$y(i) = a(i) + w(i) / H_{ch}(i) = a(i) + w'(i) \quad (3-2)$$

其中  $w'(i)$  仍为高斯白噪声，方差为  $\sigma'^2 = \sigma^2 / |H_{ch}(i)|^2$ 。

### 最小欧氏距离软判决

由公式 (3-2) 可知，在  $a(i) = a$  的条件下， $r(i)$  是一个复高斯随机变量，其概率表达式可表示为：

$$p[r(i) / a(i) = a] = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left\{ \frac{-1}{2\sigma^2} |r(i) - H_{ch}(i)a|^2 \right\} \quad (3-3)$$

将  $r(i) = y(i) \times H_{ch}(i)$  带入式中，可得：

$$p[r(i) | a(i) = a] = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left\{ \frac{-|H_{ch}(i)|^2}{2\sigma^2} |y(i) - a|^2 \right\} \quad (3-4)$$

由于  $b_{i,k} = 0$  和  $b_{i,k} = 1$  能够将星座图中的 M 个点分成两个集合，定义这两个集合为  $S_k^0(i)$ ， $S_k^1(i)$ 。由软信息的定义可知，相应比特的对数先验似然比 LLR 可表示为：

$$LLR(b_{i,k}) \square \log \frac{P[b_{i,k} = 1 | r(i)]}{P[b_{i,k} = 0 | r(i)]} = \log \frac{\sum_{a \in S_k^1(i)} P[a(i) = a | r(i)]}{\sum_{a \in S_k^0(i)} P[a(i) = a | r(i)]} \quad (3-5)$$

当  $LLR(b_{i,k})$  为正数时，表明  $b_{i,k}$  为 1 的概率大于  $b_{i,k}$  为 0 的概率， $LLR(b_{i,k})$  值越大意味着  $b_{i,k}$  取 1 的后验概率越大。

在发送符号等概率的情况下，利用贝叶斯公式可以得到：

$$LLR(b_{i,k}) = \log \frac{\sum_{a \in S_k^1(i)} P[r(i) | a(i) = a]}{\sum_{a \in S_k^0(i)} P[r(i) | a(i) = a]} \quad (3-6)$$

利用近似公式  $\log \sum_i e^{x_i} \approx \max_i(x_i)$ ，将式子化简后可得：

$$LLR(b_{i,k}) \approx \log \frac{\max_{a \in S_k^1(i)} P[r(i) | a(i) = a]}{\max_{a \in S_k^0(i)} P[r(i) | a(i) = a]} \quad (3-7)$$

将公式 (3-3) 带入其中，可得  $LLR(b_{i,k})$  的近似计算公式为：

$$LLR(b_{i,k}) = \frac{|H_{ch}(i)|^2}{2\sigma^2} \left\{ \min_{a \in S_k^0(i)} |y(i) - a|^2 - \min_{a \in S_k^1(i)} |y(i) - a|^2 \right\} \quad (3-8)$$

这种计算软信息的方法叫做最小欧氏距离软判决度量，其物理意义是分别计算接收信号  $y(i)$  与星座图  $S_k^0(i)$ 、 $S_k^1(i)$  集合中所有点的距离，取两个最小的距离的差值。这种方法相对于直接计算 LLR 的方法省去了指数运算。我们将得到的软信息进行判决，就可以得到我们原始传输的信号比特了。然而上述方法的硬件实现复杂，所以硬件实现常用到的是基于边界判决的算法，这就由同学们课后自行了解。

### 三、实验步骤

1、如下图 3-1 所示搭建仿真实验模型：对比分析经过噪声、多径干扰、迫零均衡处理等过程前后 QAM 调制星座图发生的变化。

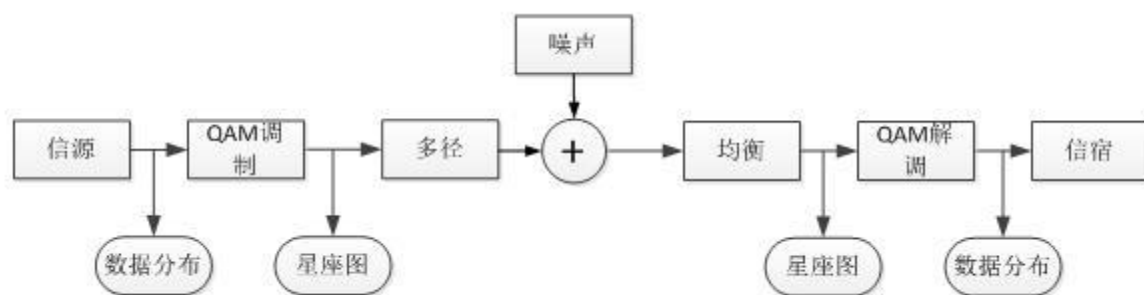


图 3-1 系统结构框图

系统整体如下图所示：

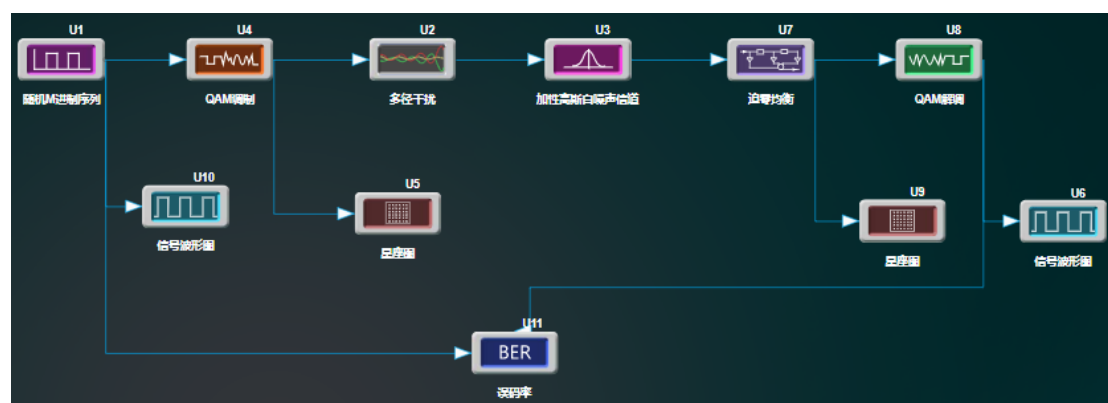


图 3-2 系统整体框图

2、设置器材参数：（关于器材使用方法可以参考器材说明）

a. 随机 M 进制序列模块：序列数据的长度设置为 1000，序列数据的进制数设置为 4；

基本属性			
属性名		显示	
标签	U1	Y	
名称	随机M进制序列	Y	
模型参数			
属性名	值	单位	显示
Length	1000		N
M	4		N

图 3-3 随机 M 进制序列设置

b. QAM 调制模块：输入数据的进制数设置为 4；

基本属性			
属性名		显示	
标签	U4	Y	
名称	QAM调制	Y	
模型参数			
属性名	值	单位	显示
M	4		N

图 3-4 QAM 调制模块设置

c. 加性高斯白噪声信道模块：设置信噪比为 15dB；

属性		帮助	
基本属性			
属性名		显示	
标签	U7	Y	
名称	加性高斯白噪声信	Y	
模型参数			
属性名	值	单位	显示
SNR	30	dB	N

图 3-5 加性高斯白噪声信道设置

d. 多径干扰模块：多径信道的冲激响应设置为[0.02 0.05 0.1 -0.2 1 -0.2 0.1 0.05 0.02]；

属性		帮助
基本属性		
属性名		显示
标签	U2	Y
名称	多径干扰	Y
模型参数		
属性名	值	单位 显示
Multipaths	[0.02, 0.05]	N

图 3-6 多径干扰模块设置

e. 迫零均衡模块：信道的冲激响应设置为[0.02 0.05 0.1 -0.2 1 -0.2 0.1 0.05 0.02]；均衡器抽头数目设置为 30；

属性		帮助
基本属性		
属性名		显示
标签	U10	Y
名称	迫零均衡	Y
模型参数		
属性名	值	单位 显示
Multipaths	[0.02,0.05,1	N
Tapnum	30	N

图 3-7 迫零均衡模块设置

f. QAM 解调模块：输入数据的进制数设置为 4；


基本属性			
属性名		显示	
标签	U8	Y	
名称	QAM解调	Y	
模型参数			
属性名	值	单位	显示
M	4		N

图 3-8 QAM 解调设置

g. 星座图：数据长度设置为 1000，图像宽度设置为 10，图像高度设置为 8；

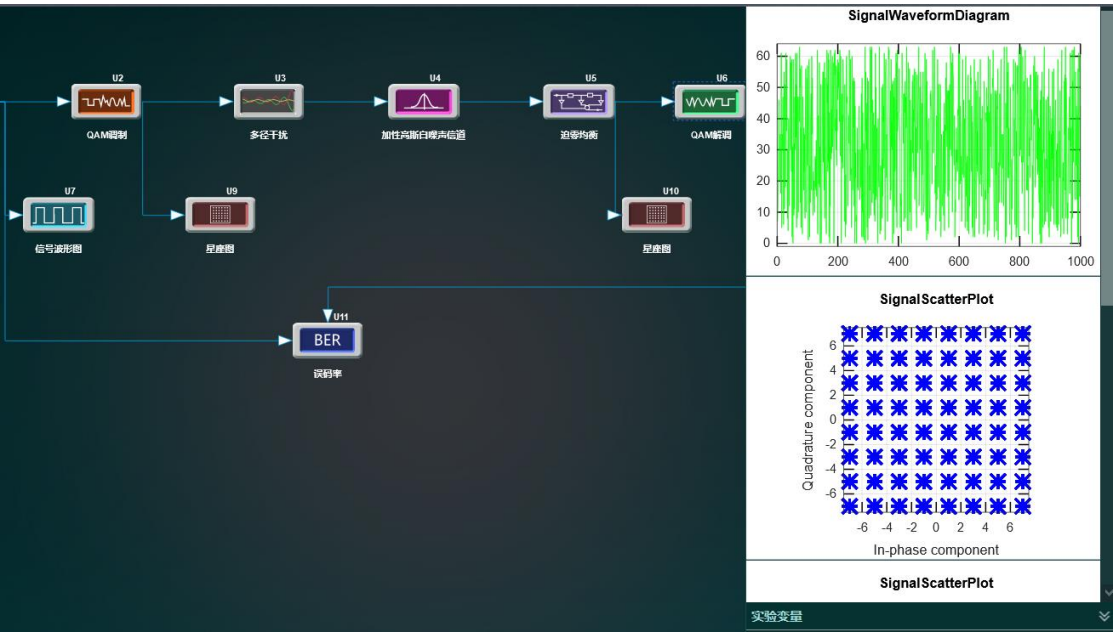
属性		帮助	
基本属性			
属性名		显示	
标签	U15	Y	
名称	星座图	Y	
模型参数			
属性名	值	单位	显示
Num	1000		N
Width	10	cm	N
Height	8	cm	N

图 3-9 QAM 解调设置

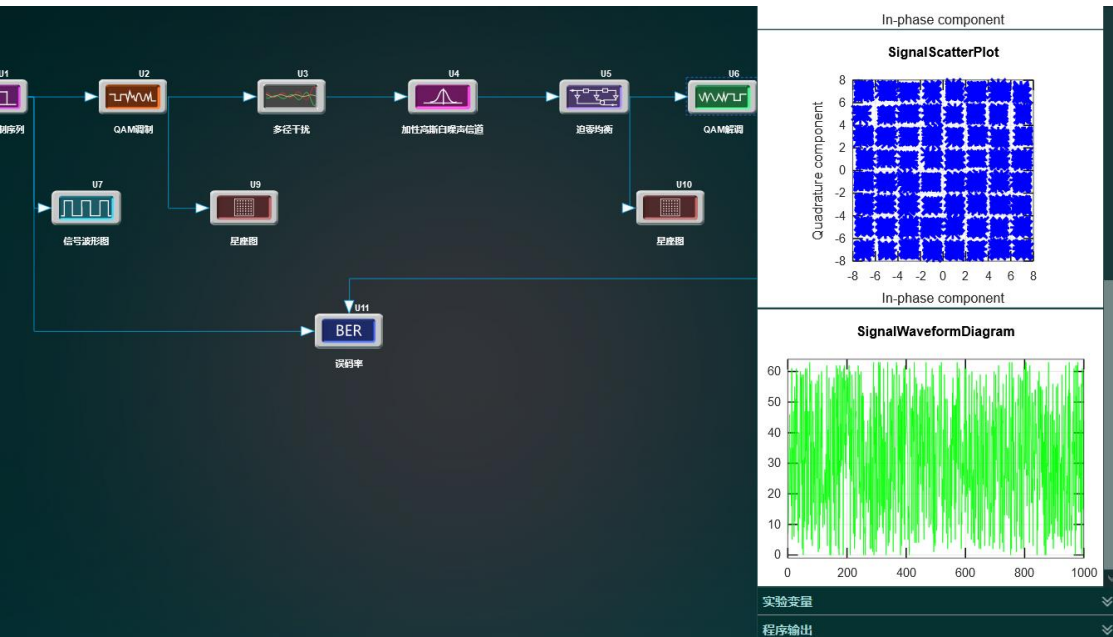
- 3、点击按钮运行仿真，观察输出波形及误码率统计。
- 4、将**高斯噪声模块**的输入信噪比设置为 15dB，其余不变，运行仿真，观察输出波形及误码率统计。
- 5、将**随机 M 进制序列**、**QAM 调制**、**QAM 解调**等模块的数据进制数改为 16，其余不变，运行仿真，观察输出波形及误码率统计。
- 6、将**随机 M 进制序列**、**QAM 调制**、**QAM 解调**等模块的数据进制数改为 64，其余不变，运行仿真，观察输出波形及误码率统计。
- 7、选做部分。边界判决算法是实际硬件系统中常用的一种 QAM 解调方案，其译码简单，运算不复杂，性能也比较优异，故使用广泛。尝试完成采用边界判决算法的 64QAM 仿真代码。

四、实验结果与结论

发端 64QAM 调制星座图：

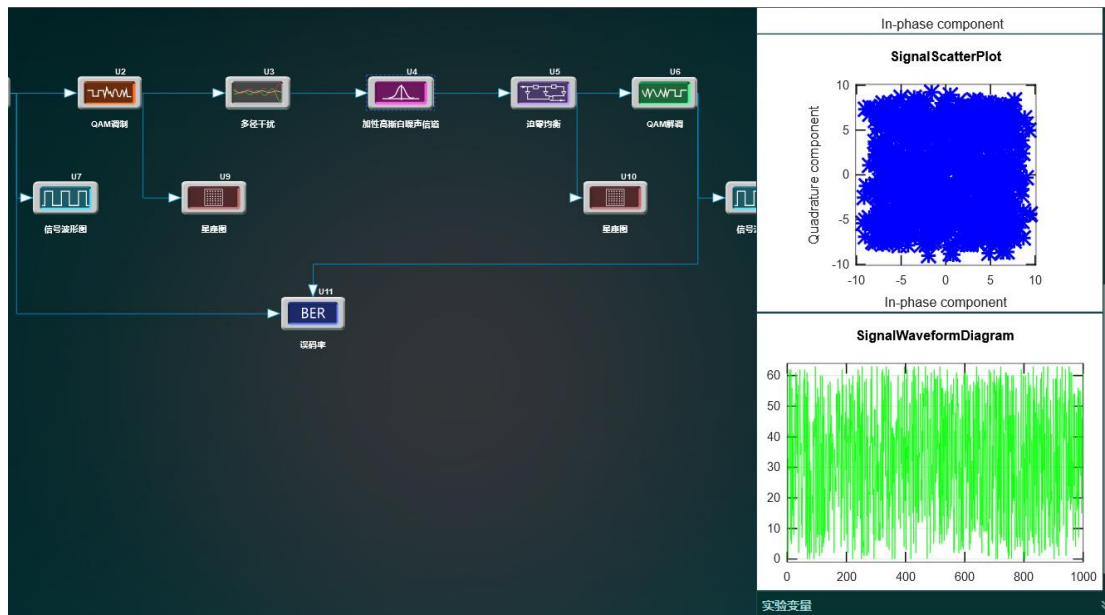


收端 64QAM 星座图@30dB:

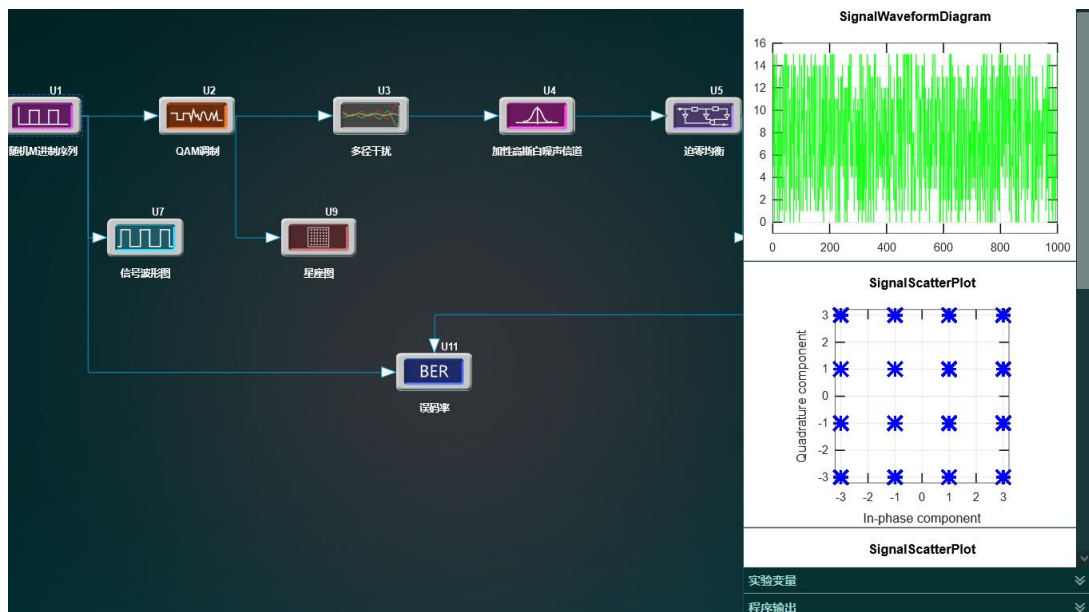


收端 64QAM 星座图@15dB:

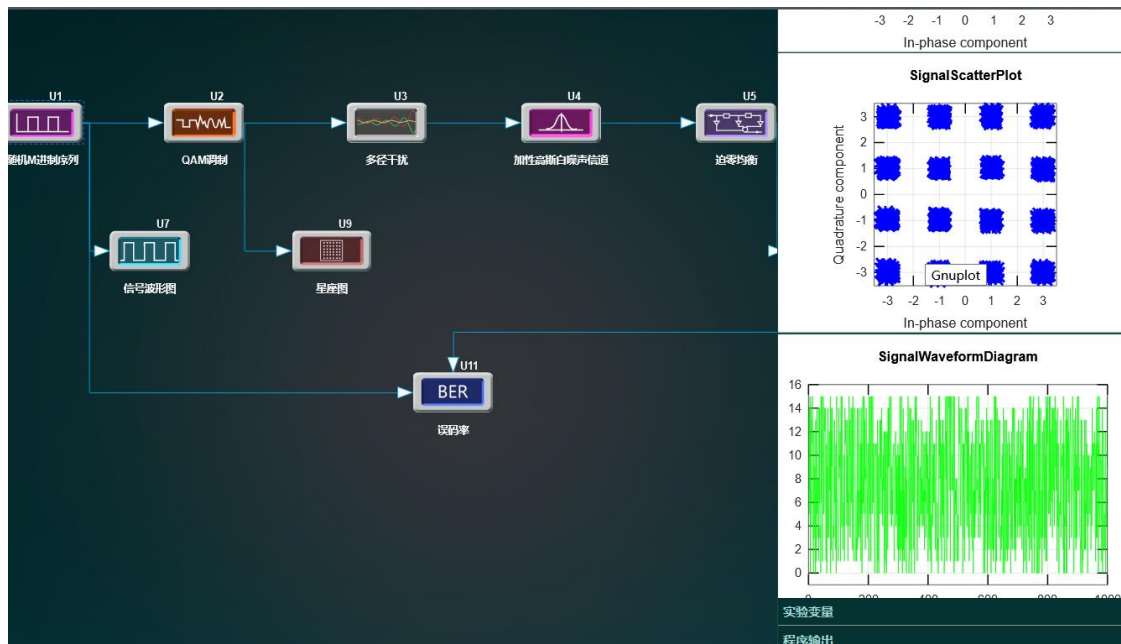




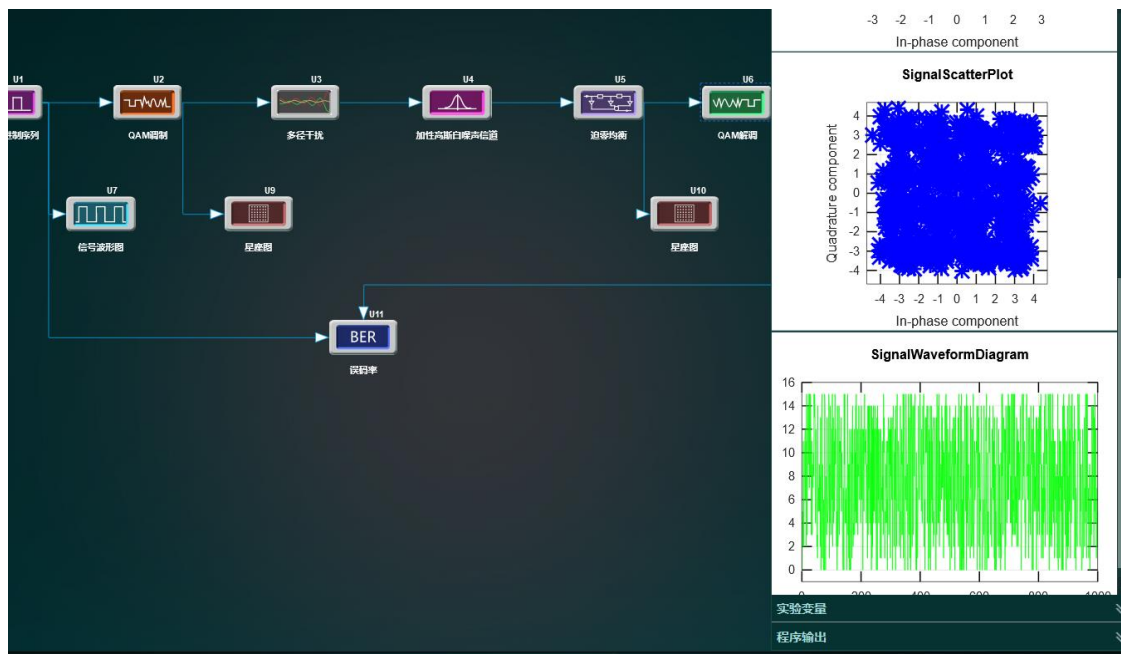
发端 16QAM 调制星座图：



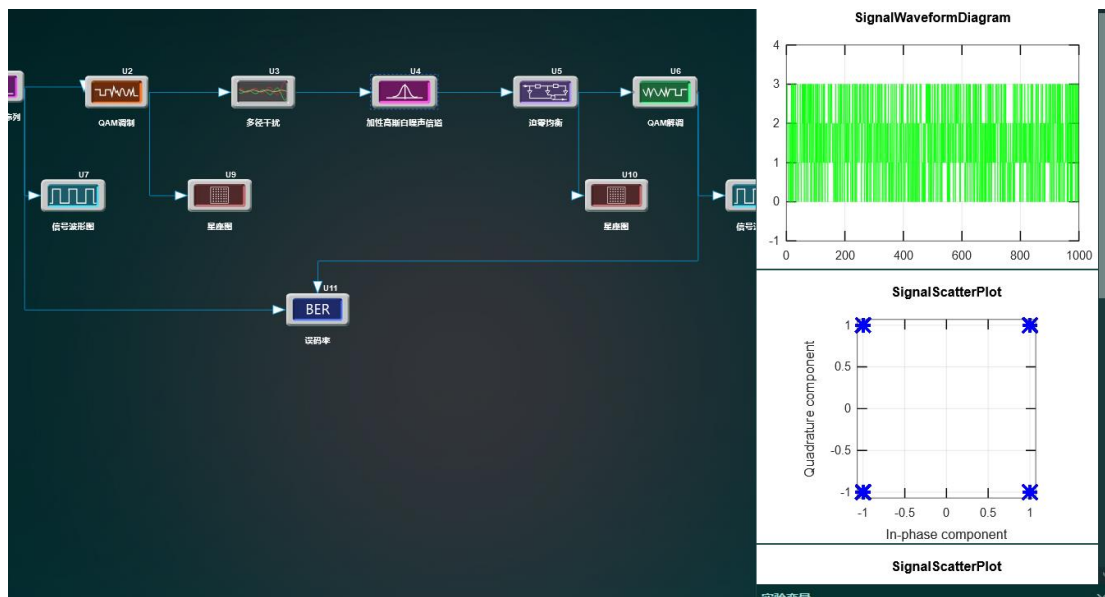
收端 16QAM 星座图@30dB:



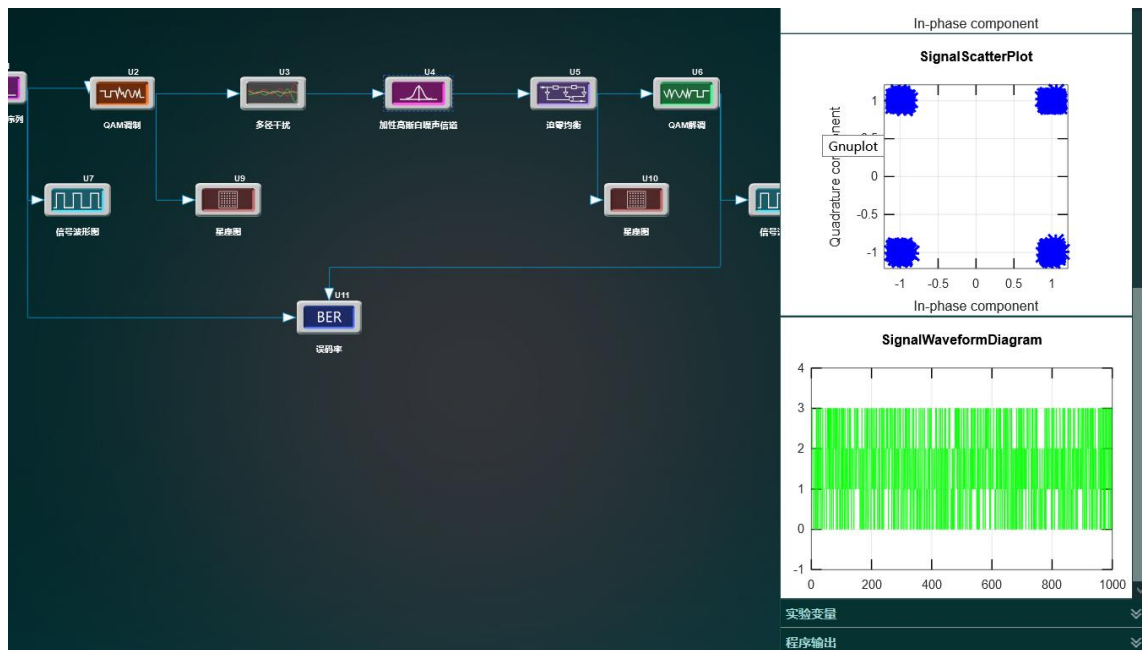
收端 16QAM 星座图@15dB:



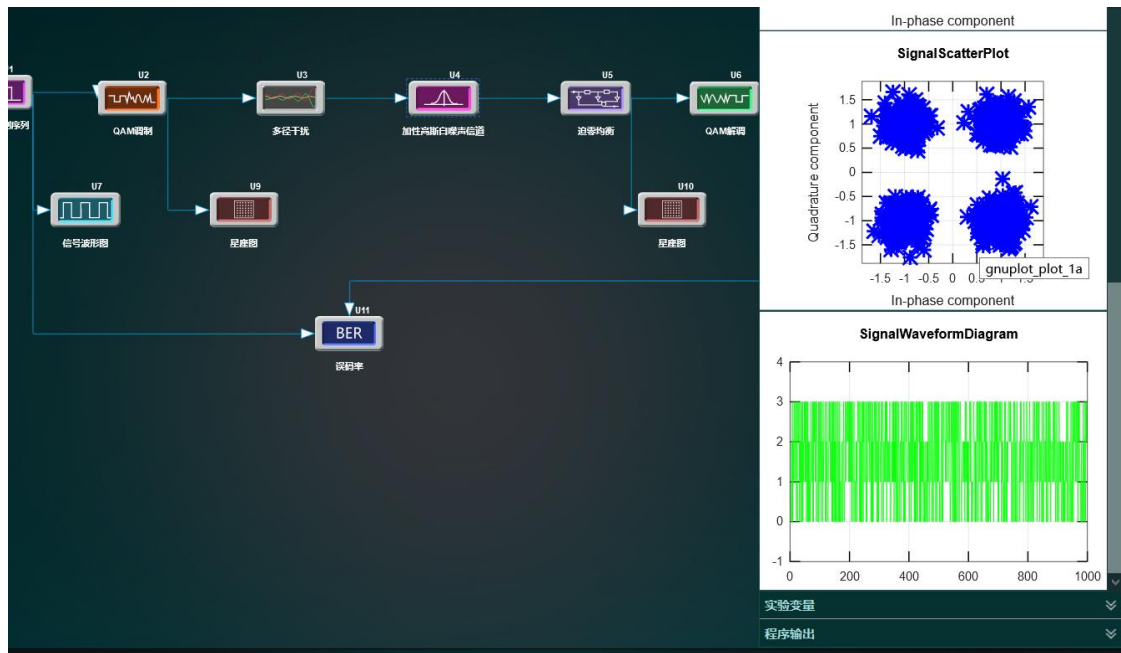
发端 4QAM 调制星座图:



收端 4QAM 星座图@30dB:



收端 4QAM 星座图@15dB:



### 实验结论：

由上图可以知道，64QAM 调制同时利用信号的相位和幅度变量来传递数据，一个符号可以携带 6bits 信息。而不采用调制时，一个符号仅能传递 1bit 信息。当采用了 QAM 调制时，信道得到了充分的利用。我们可以观察到输出误码率为 0 且过信道后星座图星座点分明，没有交叠现象，说明信息传输正确。

在相同的信噪比下，64QAM 星座图散乱严重，误码率为  $1.13 \times 10^{-1}$ ，数据无法正常解调；16QAM 星座图部分发散，误码率为  $5.0 \times 10^{-3}$ ，数据勉强能够解调；QPSK 星座图较聚合，误码率为  $7.5 \times 10^{-5}$ ，数据解调正确。由以上我们可以知道虽然高阶调制可以提高信道的利用率，但是其对噪声和多径变得更加敏感。