



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116155673 A

(43) 申请公布日 2023. 05. 23

(21) 申请号 202310406927.4

(22) 申请日 2023.04.17

(71) 申请人 南京信息工程大学

地址 210044 江苏省南京市江北新区宁六路219号

(72) 发明人 丁前程 王俊锋 刘博 任建新  
毛雅亚 吴泳锋 孙婷婷 赵立龙  
戚志鹏 李莹 王凤

(74) 专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224

专利代理师 董建林

(51) Int. Cl.

H04L 27/26 (2006.01)

H04B 10/2507 (2013.01)

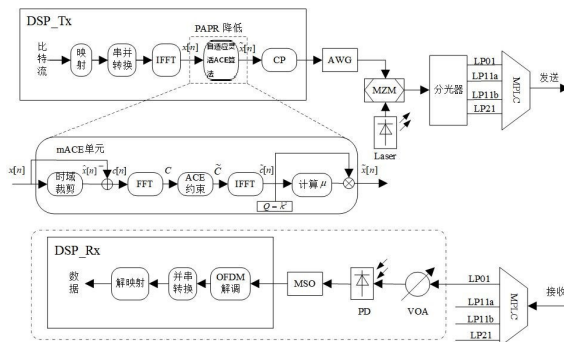
权利要求书2页 说明书6页 附图10页

(54) 发明名称

一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,包括:获取待处理的通信信号,并进行预处理转换为时域信号;对转换的时域信号叠加时域复数噪声,进行时域裁剪;将时域裁剪后的时域信号转换为频域信号,并进行ACE约束;基于IFFT变换,将ACE约束后的频域信号转换为时域信号;引入调节因子,调控ACE约束后的时域信号的放大倍数,对时域信号进行放大,并将放大后的信号与时域裁剪前的信号进行叠加,降低PAPR;将PAPR降低后的信号进行处理后传输。本发明基于传统的ACE算法,对时域信号进行裁剪,在频域信号中对生成的星座符号进行区域扩展,实现对PAPR的降低。



1. 一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,其特征在于:包括如下步骤:  
 获取待处理的通信信号,并进行预处理转换为时域信号;  
 对转换后的时域信号叠加时域复数噪声,进行时域裁剪;  
 将时域裁剪后的时域信号转换为频域信号,并进行ACE约束;  
 基于IFFT变换,将ACE约束后的频域信号转换为时域信号;  
 引入调节因子,调控ACE约束后的时域信号的放大倍数,对时域信号进行放大,并将放大后的信号与时域裁剪前的信号进行叠加,降低PAPR;

将PAPR降低后的信号进行处理后传输。

2. 根据权利要求1所述的用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,其特征在于:所述预处理包括:

将待处理的通信信号进行星座映射操作,生成对应的星座图;

将星座图进行串并变换操作后,进行IFFT变换,得到时域信号。

3. 根据权利要求1所述的用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,其特征在于:通过FFT变换将时域裁剪后的时域信号转换为频域信号。

4. 根据权利要求1所述的用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,其特征在于:所述ACE约束包括:

将星座图顶角与四条边中的星座点投影至边界增大的区域,同时将所有余下的方向的星座点的值设置为零。

5. 根据权利要求1所述的用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,其特征在于:所述对转换后的时域信号叠加时域复数噪声,进行时域裁剪,包括:

$$\hat{c}[n] = \hat{x}[n] - x[n];$$

其中,  $\hat{x}[n]$  为时域裁剪后的时域复数信号;  $x[n]$  为时域裁剪前的时域复数信号;

$c[n]$  为叠加的时域复数噪声;

$$\hat{x}[n] = \begin{cases} x[n], & |x[n]| \leq A \\ Ae^{j\theta[n]}, & |x[n]| > A \end{cases} \quad n = 1, \dots, N;$$

其中,  $\hat{x}[n]$  为时域裁剪后的时域复数信号;  $x[n]$  为时域裁剪前的时域复数信号;  $A$  为设定的幅度阈值;  $\theta[n]$  为时域裁剪前时域复数信号的相位值;  $N$  为 *ifft* 点数;  $n$  为取值范围为  $[1, N]$  的正整数;  $j$  为虚数单位,等于-1的平方根。

6. 根据权利要求1所述的用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,其特征在于:所述调控ACE约束后的时域信号的放大倍数,对时域信号进行放大,并将放大后的信号与时域裁剪前的信号进行叠加,包括:

$$x[n] = x[n] + \mu_{opt} * \tilde{c}[n];$$

其中,  $x[n]$  为时域裁剪前的时域复数信号;  $\mu_{opt}$  为放大调节因子;  $\tilde{c}[n]$  是由  $c[n]$  先经

过 $fft$ 变换,接着进行ACE约束,然后进行 $ifft$ 变换生成的时域信号; $c[n]$ 为叠加的时域复数噪声; $n$ 为取值范围为 $[1, N]$ 的正整数。

7. 根据权利要求6所述的用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,其特征在于:

$$\mu_{opt} = \frac{\sum_{n \in p} |c[n]| \cdot |c_{clip}[n]|}{\sum_{n \in p} |c[n]|^2 + \sum_{n \in p'} Q \cdot |c[n]|^2};$$

其中, $Q$ 为调节因子, $Q \in [0, 1)$ ;  $c[n]$ 为叠加的时域复数噪声; $c_{clip}[n]$ 为时域裁剪后的信号; $p = \{n \mid |c_{clip}[n]| > 0, n = 1, \dots, L\}$ 、 $p' = \{n \mid |c_{clip}[n]| = 0, n = 1, \dots, N-L\}$ ;  $N$ 为 $ifft$ 点数; $n$ 为取值范围 $[1, N]$ 的正整数。

8. 根据权利要求1所述的用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,其特征在于:

所述将PAPR降低后的信号进行处理后传输,包括:

为叠加后的信号添加循环前缀,进行数字信号处理,并转换为光信号;

将光信号经过少模光纤进行传输;

在传输完成,接收到光信号后,对光信号进行OFDM解调处理。

## 一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,属于光纤通信技术领域。

### 背景技术

[0002] 正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing,OFDM)是一种多载波数据传输技术,具有数据速率高、抗多径衰落能力强、频谱利用率高等优点,被广泛应用于各种通信系统中。但是 OFDM 信号具有很高的峰均功率比(Peak Average Power Ratio,PAPR),要求系统功率放大器必须具有较宽的线性动态范围,否则一旦超出就会产生非线性失真,造成通信质量的下降。因此,如何有效抑制 PAPR 成为 OFDM 技术急需解决的关键问题之一。

[0003] 在以往的研究中,已有许多方案可以克服著名的PAPR问题,主要有以下三类:畸变类技术、编码技术以及概率类扰码技术。畸变类技术例如有剪切,但这个过程是非线性的,会降低误码率。编码类技术例如分组编码、Golay互补编码以及雷德密勒码(Reed-Muller),然而编译码过程相对比较复杂,这会导致OFDM系统发送端及接收端的计算复杂度增加。另外,因为分组编码增加了冗余信息,降低了带宽利用率和系统的吞吐量。概率类最典型的如选择映射法、部分传输序列法,虽然他们可以通过无失真方案实现PAPR降低,但这些无失真算法的主要缺点是:有用的数据速率可能会被不利地降低,而且它们还可能需要将边带信息发送到接收端。

### 发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是克服现有技术的缺陷,提供一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,本发明专利针对OFDM系统中面临的PAPR过高的问题,在原有的ACE-POCS算法的基础上,引入调节因子和最小二乘法逼近技术,对时域与频域的信号进行处理,在时域对信号进行裁剪,而到频域则对生成的星座符号进行适当的区域扩展,实现对PAPR的降低,同时加快了迭代速度,降低了计算复杂程度。

[0005] 为达到上述目的,本发明提供一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,包括如下步骤:

获取待处理的通信信号,并进行预处理转换为时域信号;

对转换后的时域信号叠加时域复数噪声,进行时域裁剪;

将时域裁剪后的时域信号转换为频域信号,并进行ACE约束;

基于IFFT变换,将ACE约束后的频域信号转换为时域信号;

引入调节因子,调控ACE约束后的时域信号的放大倍数,对时域信号进行放大,并将放大后的信号与时域裁剪前的信号进行叠加,降低PAPR;

将PAPR降低后的信号进行处理后传输。

[0006] 进一步的,所述预处理包括:

将待处理的通信信号进行星座映射操作,生成对应的星座图;

将星座图进行串并变换操作后,进行IFFT变换,得到时域信号。

[0007] 进一步的,通过FFT变换将时域裁剪后的时域信号转换为频域信号。

[0008] 进一步的,所述ACE约束包括:

将星座图顶角与四条边中的星座点投影至边界增大的区域,同时将所有余下的方向的星座点的值设置为零。

[0009] 进一步的,所述对转换后的时域信号叠加时域复数噪声,进行时域裁剪,包括:

$$c[n] = \hat{x}[n] - x[n];$$

其中,  $\hat{x}[n]$  为时域裁剪后的时域复数信号;  $x[n]$  为时域裁剪前的时域复数信号;

$c[n]$  为叠加的时域复数噪声;

$$\hat{x}[n] = \begin{cases} x[n], & |x[n]| \leq A \\ Ae^{j\theta[n]}, & |x[n]| > A \end{cases} \quad n = 1, \dots, N;$$

其中,  $\hat{x}[n]$  为时域裁剪后的时域复数信号;  $x[n]$  为时域裁剪前的时域复数信号;

$A$  为设定的幅度阈值;  $\theta[n]$  为时域裁剪前时域复数信号的相位值;  $N$  为 *ifft* 点数;  $n$  为取值范围为  $[1, N]$  的正整数;  $j$  为虚数单位,等于-1的平方根。

[0010] 进一步的,所述调控ACE约束后的时域信号的放大倍数,对时域信号进行放大,并将放大后的信号与时域裁剪前的信号进行叠加,包括:

$$x[n] = x[n] + \mu_{opt} * \tilde{c}[n];$$

其中,  $x[n]$  为时域裁剪前的时域复数信号;  $\mu_{opt}$  为放大调节因子;  $\tilde{c}[n]$  是由  $c[n]$  先经过 *fft* 变换,接着进行ACE约束,然后进行 *ifft* 变换生成的时域信号;  $c[n]$  为叠加的时域复数噪声;  $n$  为取值范围为  $[1, N]$  的正整数。

[0011] 进一步的,  $\mu_{opt} = \frac{\sum_{n \in p} |c[n]| \cdot |c_{clip}[n]|}{\sum_{n \in p} |c[n]|^2 + \sum_{n \in p'} Q \cdot |c[n]|^2}$ ;

其中,  $Q$  为调节因子,  $Q \in [0, 1)$ ;  $c[n]$  为叠加的时域复数噪声;  $c_{clip}[n]$  为时域裁剪后的信号;  $p = \{n \mid |c_{clip}[n]| > 0, n = 1, \dots, L\}$ 、 $p' = \{n \mid |c_{clip}[n]| = 0, n = 1, \dots, N-L\}$ ;  $N$  为 *ifft* 点数;  $n$  为取值范围  $[1, N]$  的正整数。

[0012] 进一步的,所述将PAPR降低后的信号进行处理后传输,包括:

为叠加后的信号添加循环前缀,进行数字信号处理,并转换为光信号;

将光信号经过少模光纤进行传输；

在传输完成,接收到光信号后,对光信号进行OFDM解调处理。

[0013] 本发明所达到的有益效果:

一方面,本发明基于传统的ACE算法,对时域信号进行裁剪,在频域信号中对生成的星座符号进行区域扩展,实现对PAPR的降低。

[0014] 另一方面,本发明引入调节因子,加快了迭代速度,解决了传统ACE算法收敛速度过慢、不能找到最优值的问题,提升了传统ACE算法的实际应用价值;

同时,本发明对裁剪转换后的频域信号进行ACE约束,星座点在移动发散后,可以使得每个星座点在经过各种噪声扰动后的容错率大大增加,而且在星座点扩展的过程中不会影响其最小欧式距离,可有效降低OFDM系统的误码率。

## 附图说明

[0015] 图1是以16-QAM为例,星座拓展之后的星座图;

图2是ACE-POCS算法对OFDM系统PAPR优化的CCDF图;

图3是本发明实施例提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法中,经自适应灵活ACE算法操作之后的星座图;

图4是本发明实施例提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法中,经自适应灵活ACE算法操作前的波形图;

图5是本发明实施例提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法中,经自适应灵活ACE算法操作后的波形图;

图6是本发明实施例提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法中自适应灵活ACE算法对PAPR的优化效果图;

图7是本发明实施例提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法中自适应灵活ACE算法的误码图;

图8是本发明实施例提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法中Q值的选取图;

图9是本发明实施例提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法中Q值与误码率关系曲线图;

图10是图9中A处的局部放大图;

图11是本发明实施例提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法的通信系统框图;

图12是本发明实施例提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法中自适应灵活ACE算法对于光OFDM系统误码率影响图。

## 实施方式

[0016] 下面结合附图对本发明作进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0017] 如图2所示,为ACE-POCS算法对OFDM系统PAPR优化的CCDF图,易知传统ACE算法存在收敛速度过慢的问题,经过2次迭代降低1.5dB左右,针对ACE-POCS算法存在的问题,本发

明的实施例提供一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,如图3至图12所示,本发明在最小二乘法逼近的基础上引入调节因子,使得峰值消除信号的振幅快速接近原始的剪切噪声,加快了迭代速度,解决了传统ACE算法收敛速度过慢、不能找到最优值的问题,提升了传统ACE算法的实际应用价值;本发明基于传统的ACE算法,对时域信号进行裁剪,在频域信号中对生成的星座符号进行区域扩展,实现对PAPR的降低;本发明对裁剪转换后的频域信号进行ACE约束,星座点在移动发散后,可以使得每个星座点在经过各种噪声扰动后的容错率大大增加,而且在星座点扩展的过程中不会影响其最小欧式距离,可有效降低OFDM系统的误码率。

[0018] 如图3至图12所示,本发明提供的一种用于降低OFDM信号PAPR的少模光纤通信方法,如图11所示,包括如下步骤:

步骤1:获取待处理的通信信号,并进行预处理,将信号转换为时域信号:

其中,预处理包括:对待处理的通信信号进行星座映射调制,生成对应的星座图;

对星座映射调制后的星座图进行串并变换操作,并进行IFFT变换,得到预处理完成后的时域信号。

[0019] 步骤2:对转换后的时域信号叠加时域复数噪声,并进行时域裁剪:

首先设置裁剪阈值,然后据下式进行裁剪:

$$c[n] = \hat{x}[n] - x[n];$$

其中,  $\hat{x}[n]$  为时域裁剪后的时域复数信号;  $x[n]$  为时域裁剪前的时域复数信号;

$c[n]$  为叠加的时域复数噪声;

$$\hat{x}[n] = \begin{cases} x[n], & |x[n]| \leq A \\ Ae^{j\theta[n]}, & |x[n]| > A \end{cases} \quad n = 1, \dots, N;$$

其中,  $\hat{x}[n]$  为时域裁剪后的时域复数信号;  $x[n]$  为时域裁剪前的时域复数信号;

$A$  为设定的幅度阈值;  $\theta[n]$  为时域裁剪前时域复数信号的相位值;  $N$  为 *ifft* 点数;  $n$  为取值范围为  $[1, N]$  的正整数;  $j$  为虚数单位,等于-1的平方根。

[0020] 步骤3:将时域裁剪后的时域信号转换为频域信号,并进行ACE约束:

首先将时域裁剪后的时域信号进行FFT快速傅里叶变换,将其转化为频域信号;

然后对转化后的频域信号进行ACE约束:

如图3所示,首先将星座图外部顶角和四条边中的星座点投影到边界增大的区域,然后将所有余下方向的星座点的值设为零。

[0021] 步骤4:基于IFFT快速傅里叶逆变换,将ACE约束后的频域信号转换为时域信号。

[0022] 步骤5:引入调节因子,调控经IFFT变换后的时域信号的放大倍数,对时域信号进行放大,并将放大后的信号与时域裁剪前的信号进行叠加,以达到降低OFDM信号PAPR的目的:

$$x[n] = x[n] + \mu_{opt} * \tilde{c}[n];$$

其中,  $x[n]$  为时域裁剪前的时域复数信号;  $\mu_{opt}$  为放大调节因子;  $\tilde{c}[n]$  是由  $c[n]$  先经过  $fft$  变换, 接着进行 ACE 约束, 然后进行  $ifft$  变换生成的时域信号;  $c[n]$  为叠加的时域复数噪声;  $n$  为取值范围为  $[1, N]$  的正整数。

$$[0023] \quad \text{其中, } \mu_{opt} = \frac{\sum_{n \in p} |c[n]| \cdot |c_{clip}[n]|}{\sum_{n \in p} |c[n]|^2 + \sum_{n \in p'} Q \cdot |c[n]|^2};$$

其中,  $Q$  为调节因子,  $Q \in [0, 1)$ ;  $c[n]$  为叠加的时域复数噪声;  $c_{clip}[n]$  为时域裁剪后的信号;  $p = \{n \mid |c_{clip}[n]| > 0, n = 1, \dots, L\}$ 、 $p' = \{n \mid |c_{clip}[n]| = 0, n = 1, \dots, N-L\}$ ;  $N$  为  $ifft$  点数;  $n$  为取值范围为  $[1, N]$  的正整数。

[0024] 步骤6: 将 PAPR 降低后的叠加的信号进行处理后传输:

首先为叠加后 PAPR 降低后的信号添加循环前缀 CP, 完成数字信号处理过程;

然后采用任意波形发生器 AWG 将数字信号转变为电信号, 再经马赫曾德尔调制器 MZM 将电信号转变为光信号;

将光信号通入分光器分成 4 种模式的光信号, 然后再在多平面光转换器 MPLC 中将 4 种模式的光信号合成一路, 放到 5 公里少模光纤中传输;

在传输到接收端后, 进行数字信号处理, 本发明采用常规的 OFDM 调制处理, 因为在发送时星座点只能拓展到指定区域, 有效地避免了因星座点移动带来的接收端的错误解调, 同时在这一过程中不会添加任何额外的计算复杂度, 这点也是其他降低 PAPR 算法所不具备的优点。

[0025] 关于  $Q$  的取值范围:

在对  $Q$  值范围的研究过程中, 首先随机产生若干 OFDM 信号, 本发明的实施例中, 对于 16-QAM 来说, 选用 200 组 OFDM 信号, 如图 8 所示, 颜色一区域中的点为原始的 PAPR 值, 颜色二区域中的点为经过本发明方法处理后的 PAPR 值, 原始的 PAPR 值集中在 6 至 10 的范围之内, 要使得  $Q$  值对于任意随机产生的 OFDM 信号均能实现降低, 对于 16-QAM 来说, 本发明选取  $Q$  值的范围为  $[0, 1)$ 。

[0026] 在研究  $Q$  值与误码率的关系时, 本实施例每隔 0.1 取一个  $Q$  值, 根据图 9 和图 10 可知, 在误码率上  $Q$  值的微小变化并不会对误码率产生较大影响, 此外我们还可以看出  $Q$  为负值并不是一个合理的取值;

综上, 关于  $Q$  的取值, 用户可根据自身实际情况需要, 在  $Q$  值的允许范围内对  $Q$  值进行选择, 实现 PAPR 的快速降低。

[0027] 本发明与现有技术相比:

以 16-QAM 为例, 图 3 是通过本发明实施例提供的一种用于降低 OFDM 信号 PAPR 的少模光纤通信方法生成的星座图, 图 1 是通过传统的 ACE-POCS 算法生成的星座图, 两者的效果几乎相同, 但图 5 为经过本发明调控后的波形图, 参阅图 4 和图 5 可直观地看出, 经本发明处理后的波形峰值下降了将近 0.2。



[0028] 通过图6自适应灵活ACE算法对OFDM系统PAPR优化的CCDF图与图2 ACE-POCS算法的CCDF图进行比较,可以明显看出降低的效果要比之前的算法有一个很大的提升。而且图7自适应灵活ACE算法的误码曲线较ACE-POCS算法的误码曲线没有较大变化。

[0029] 如图12所示,本发明对裁剪转换后的频域信号进行ACE约束,星座点在移动发散后,可以使得每个星座点在经过各种噪声扰动后的容错率大大增加,而且在星座点扩展的过程中不会影响其最小欧式距离,可有效降低OFDM系统的误码率。

[0030] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和变形,这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

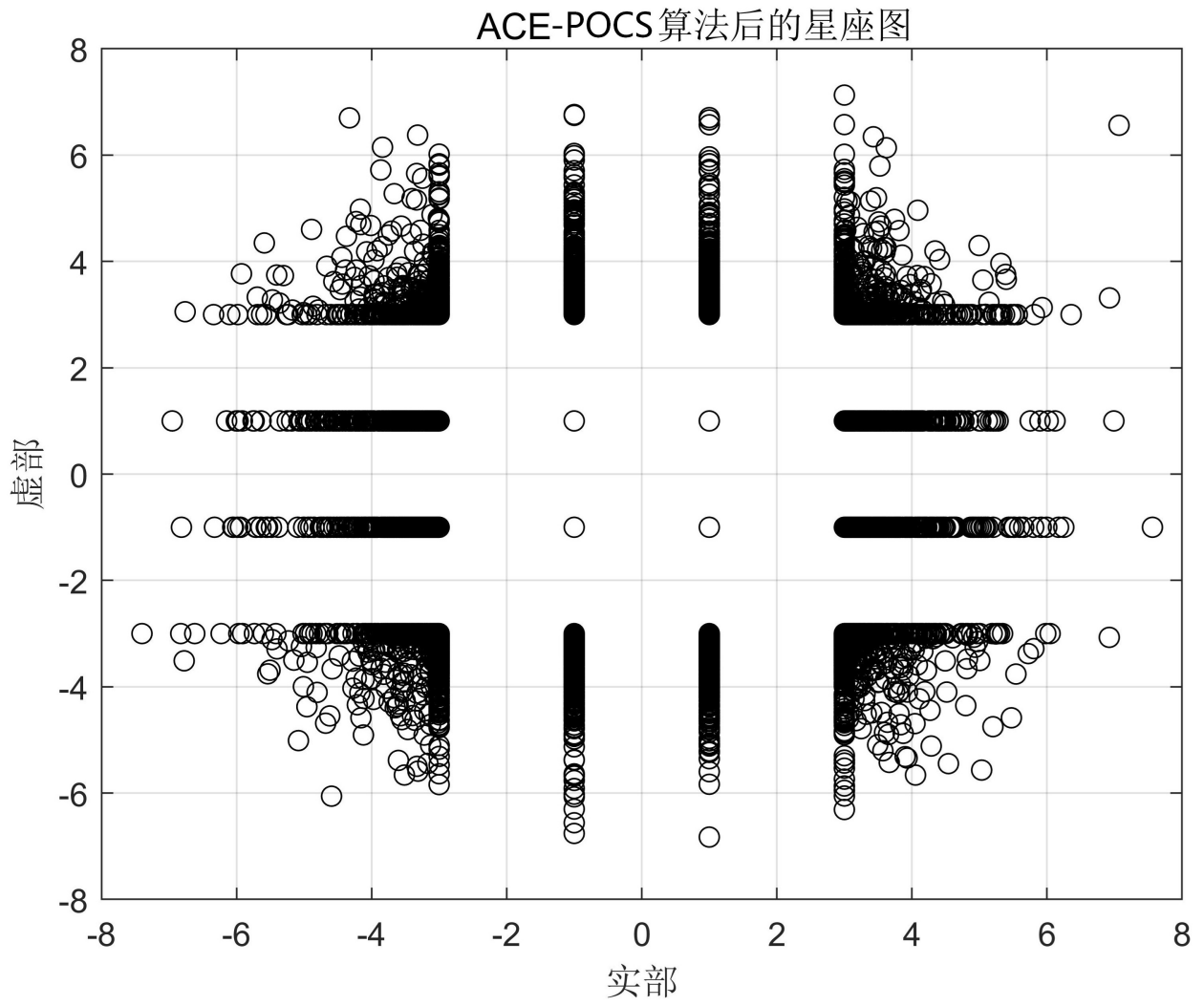


图 1

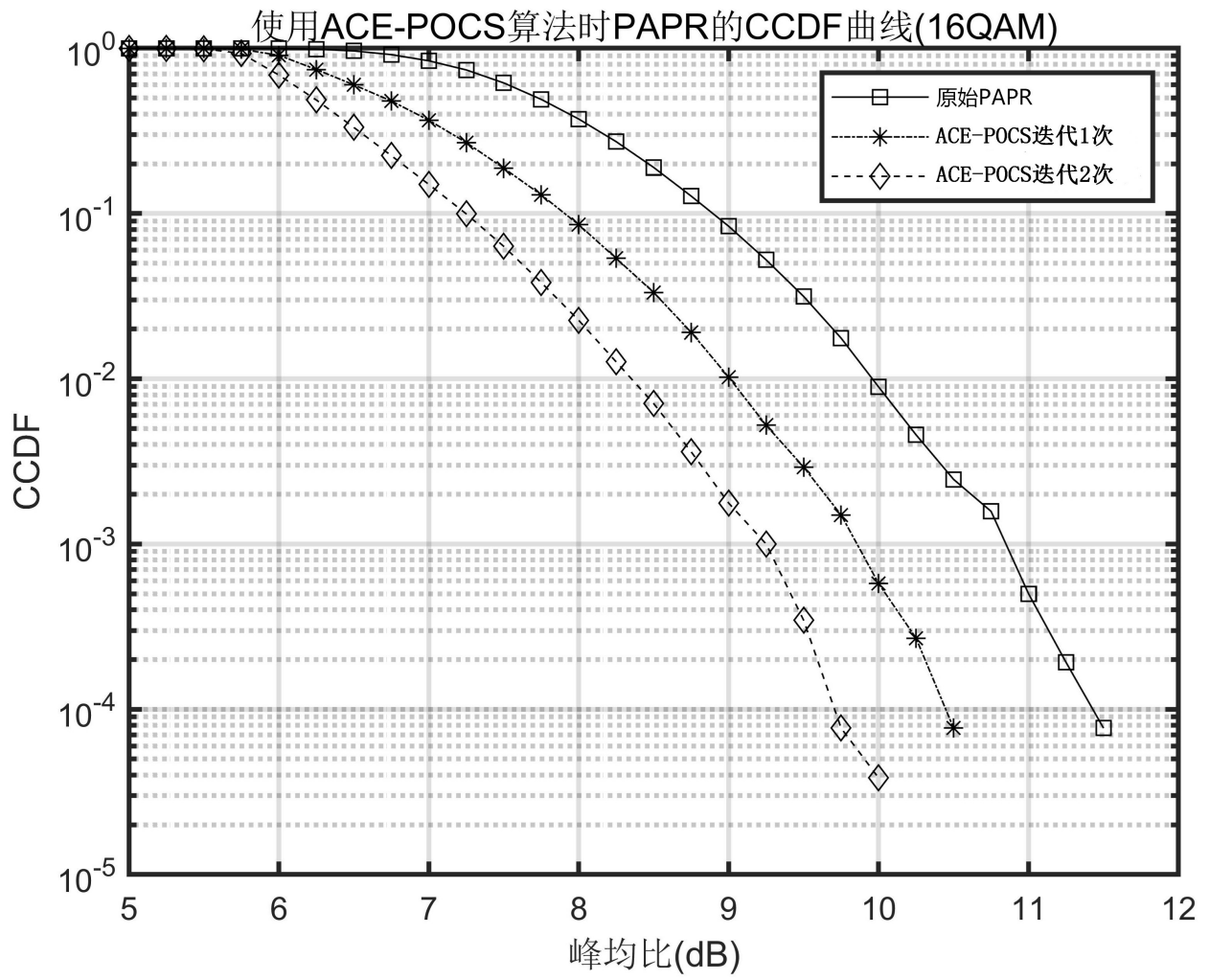


图 2

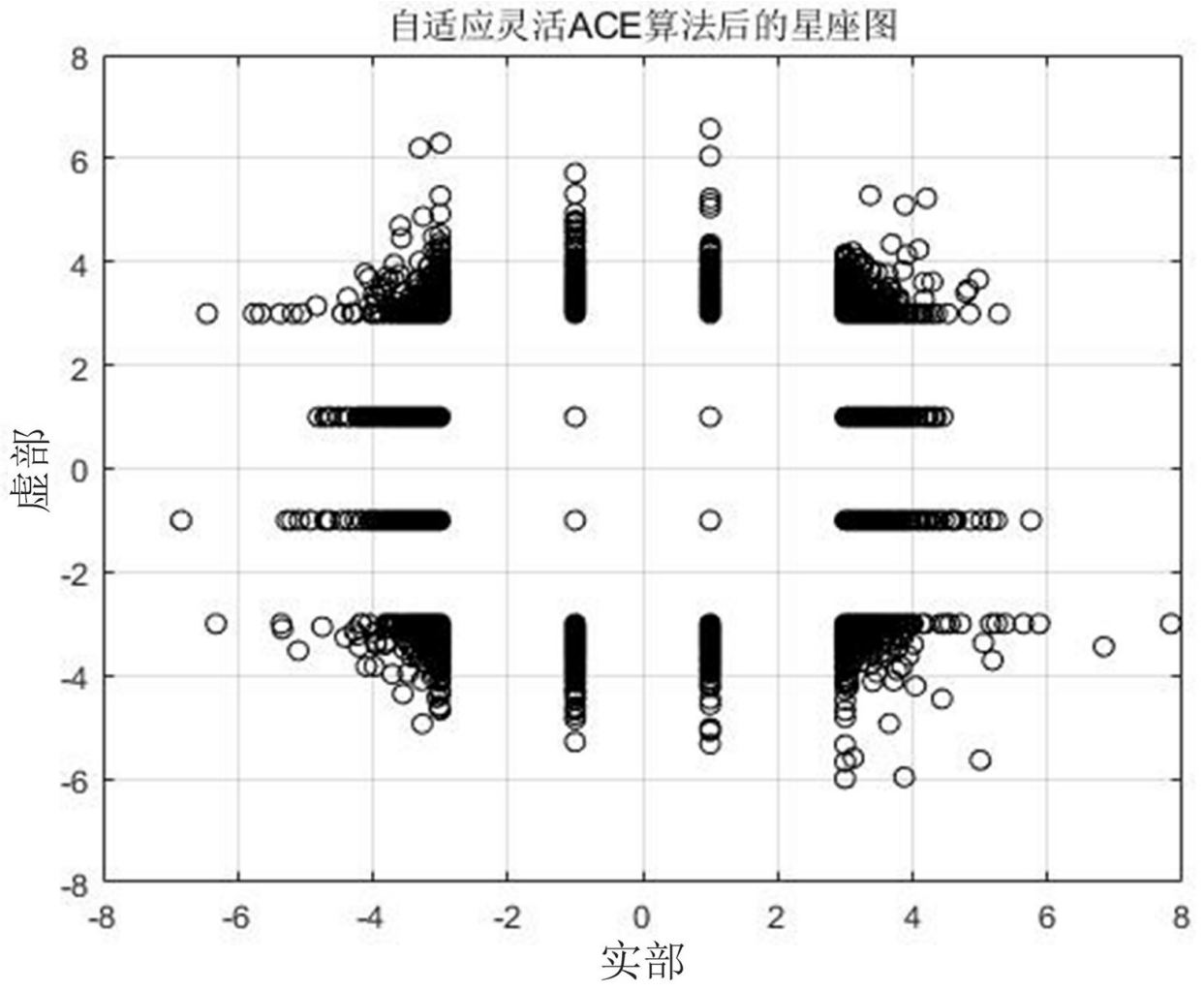


图 3

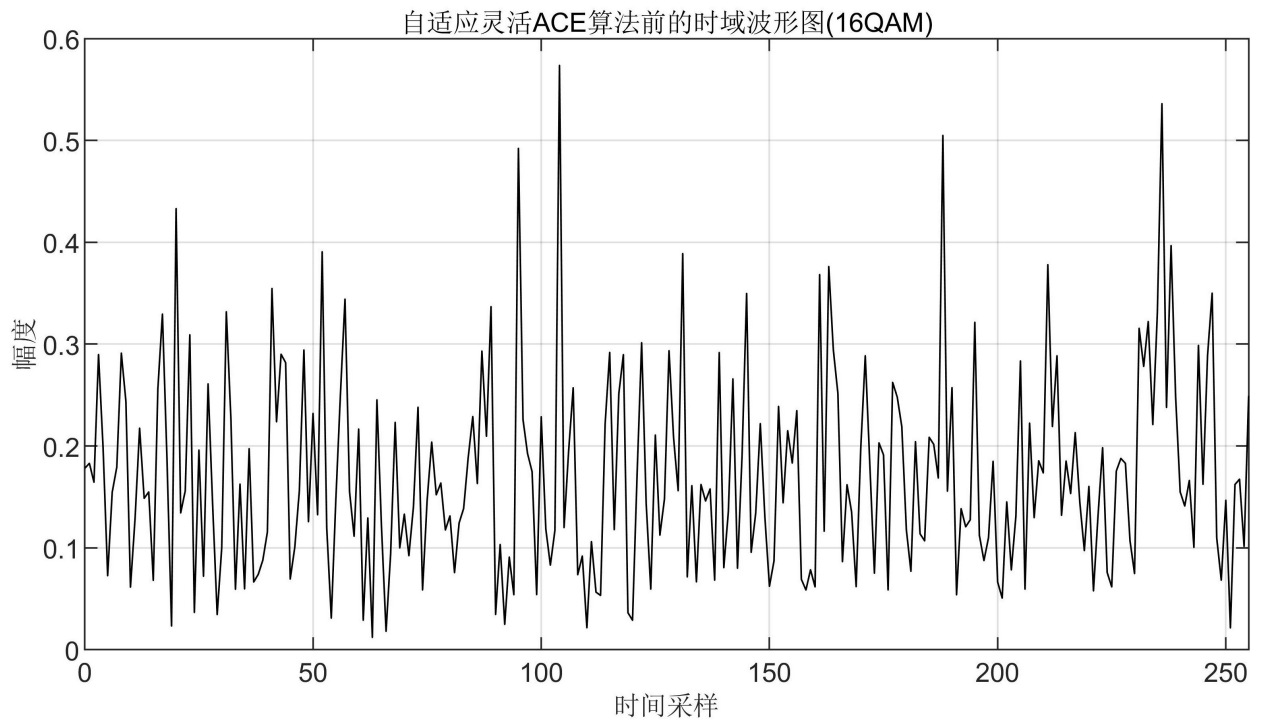


图 4

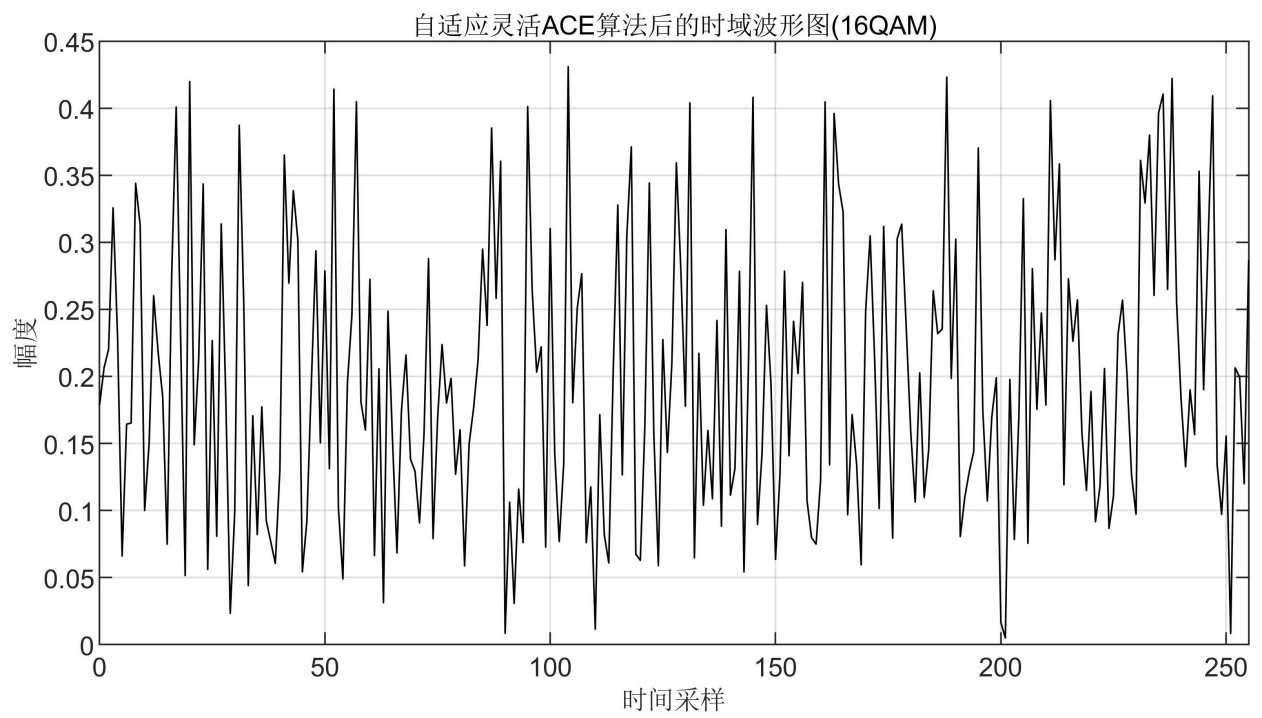


图 5

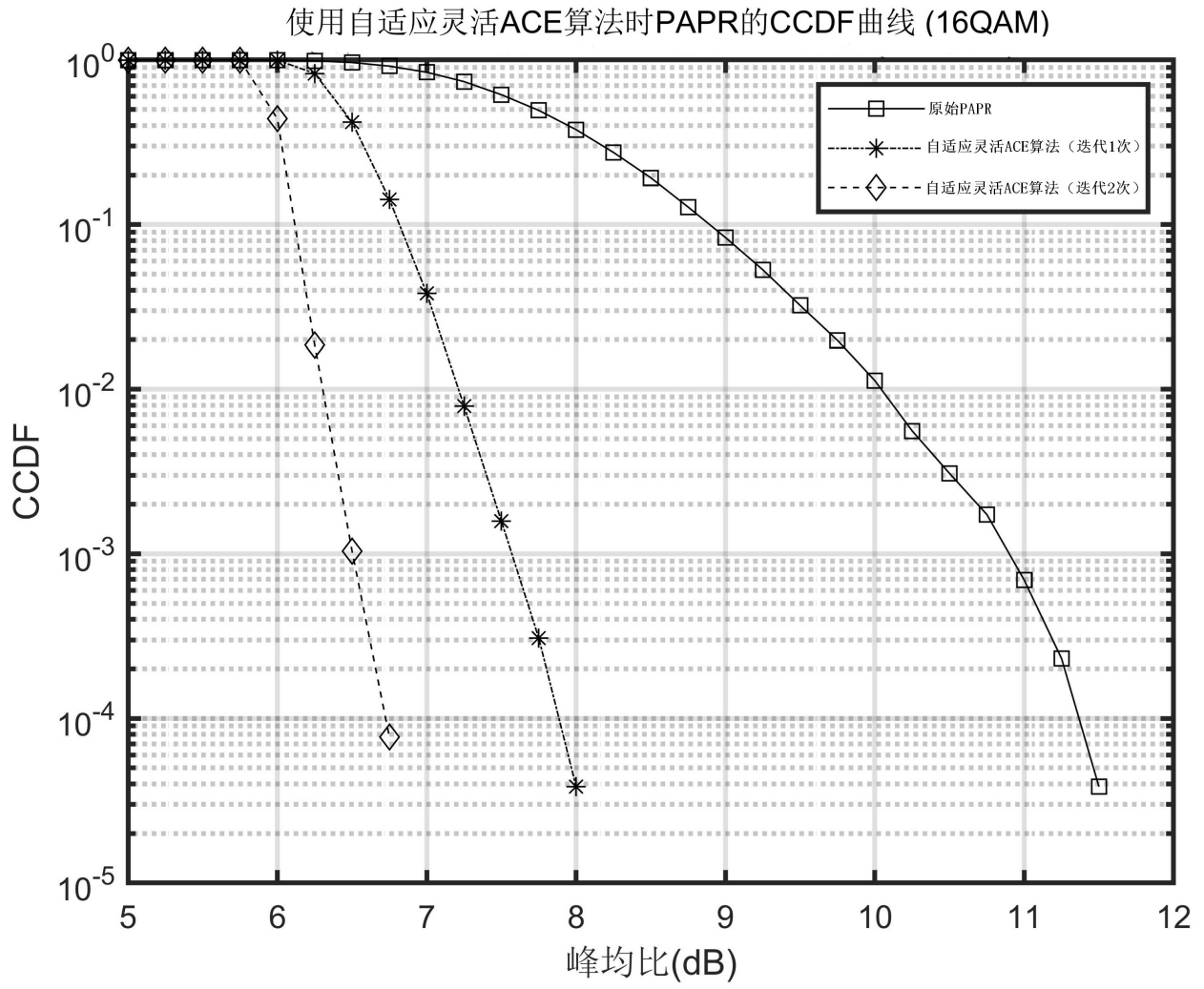


图 6

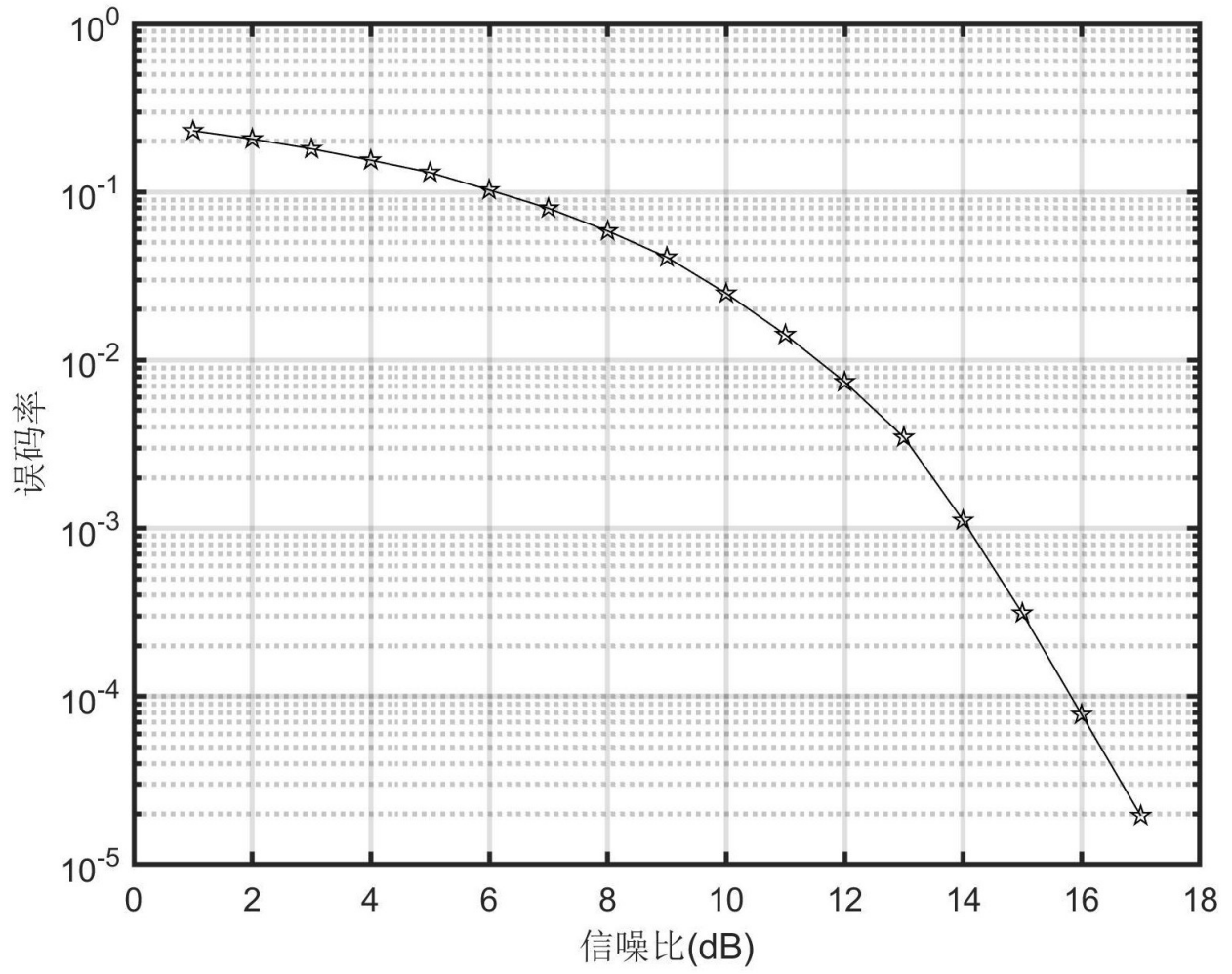


图 7

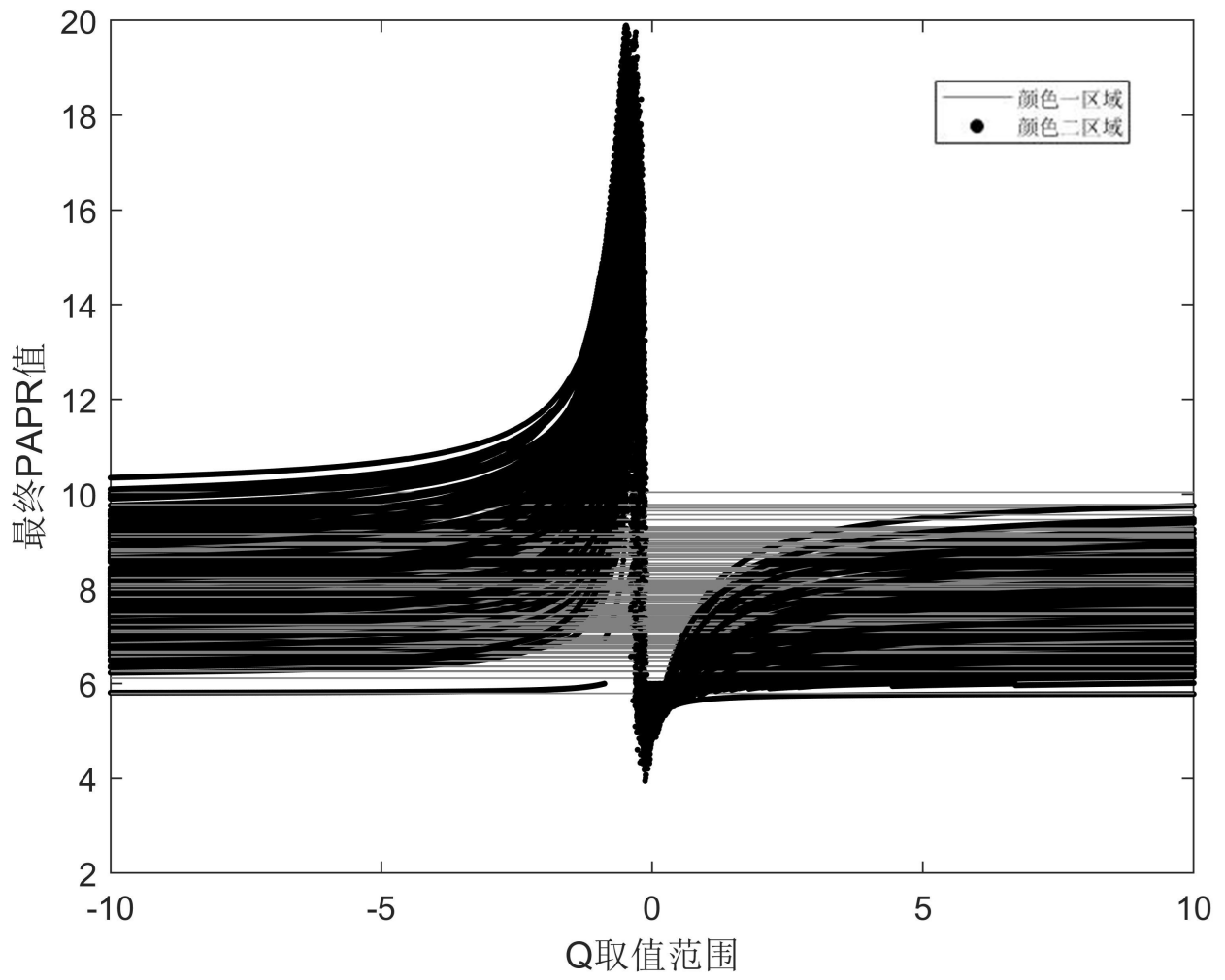


图 8



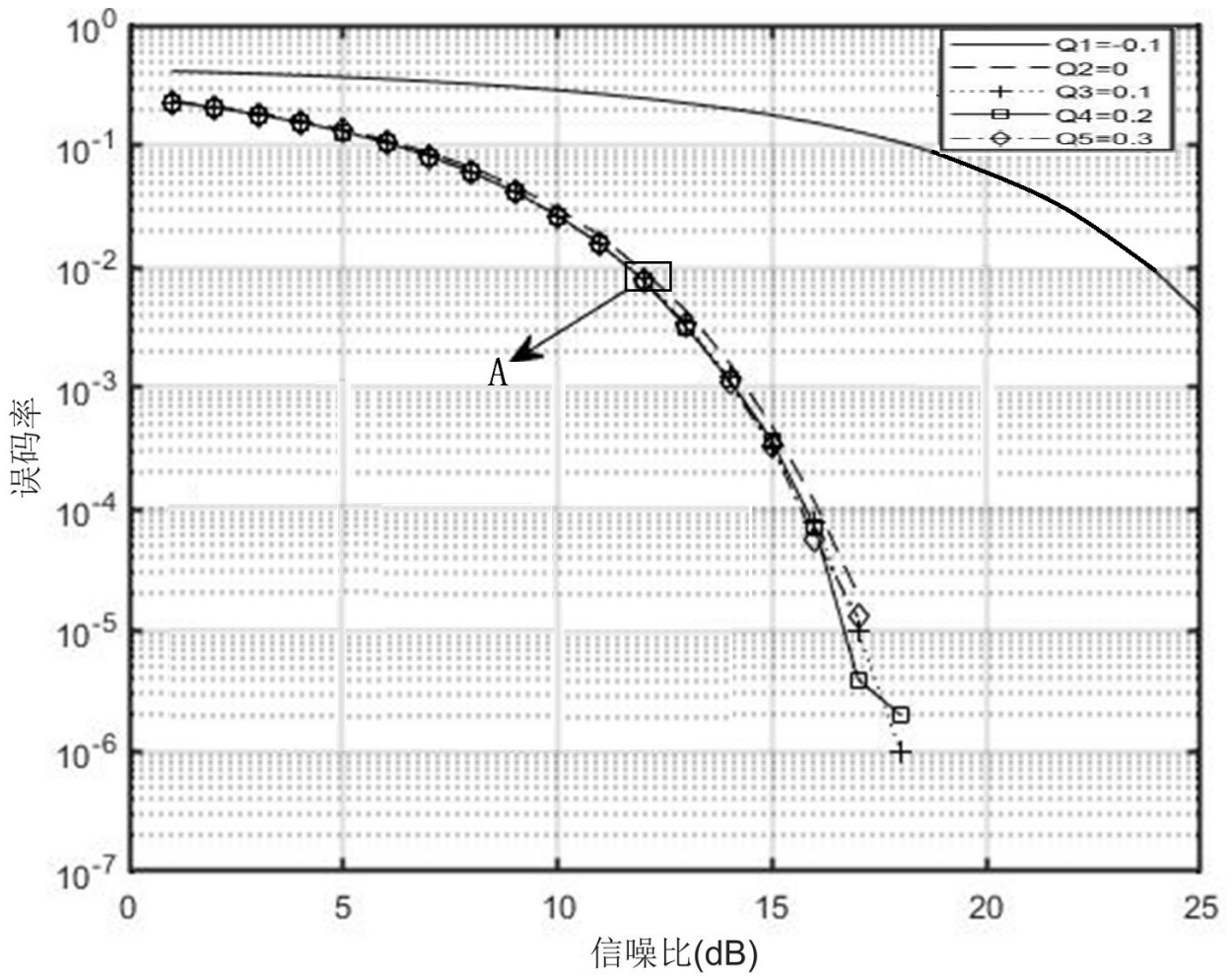


图 9

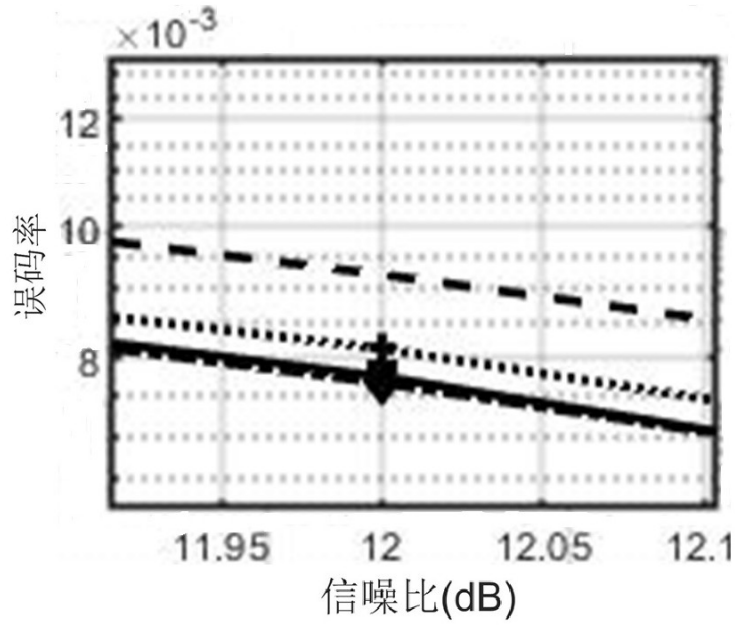


图 10

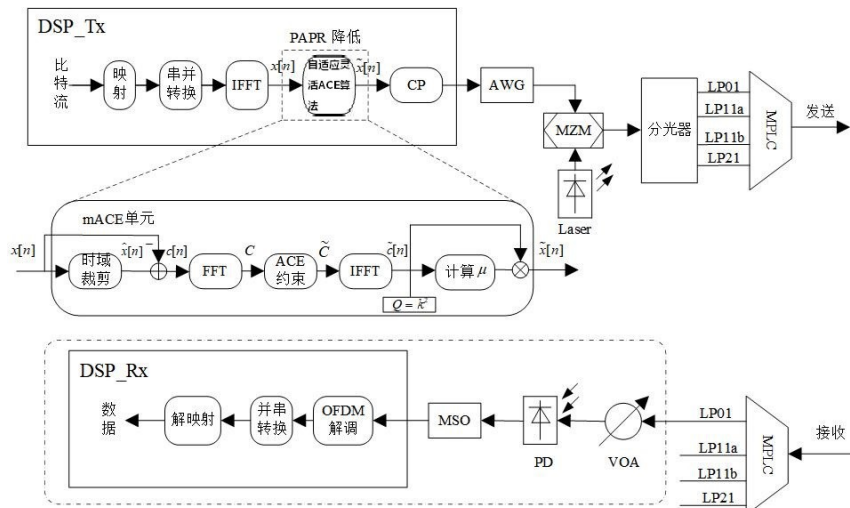


图 11

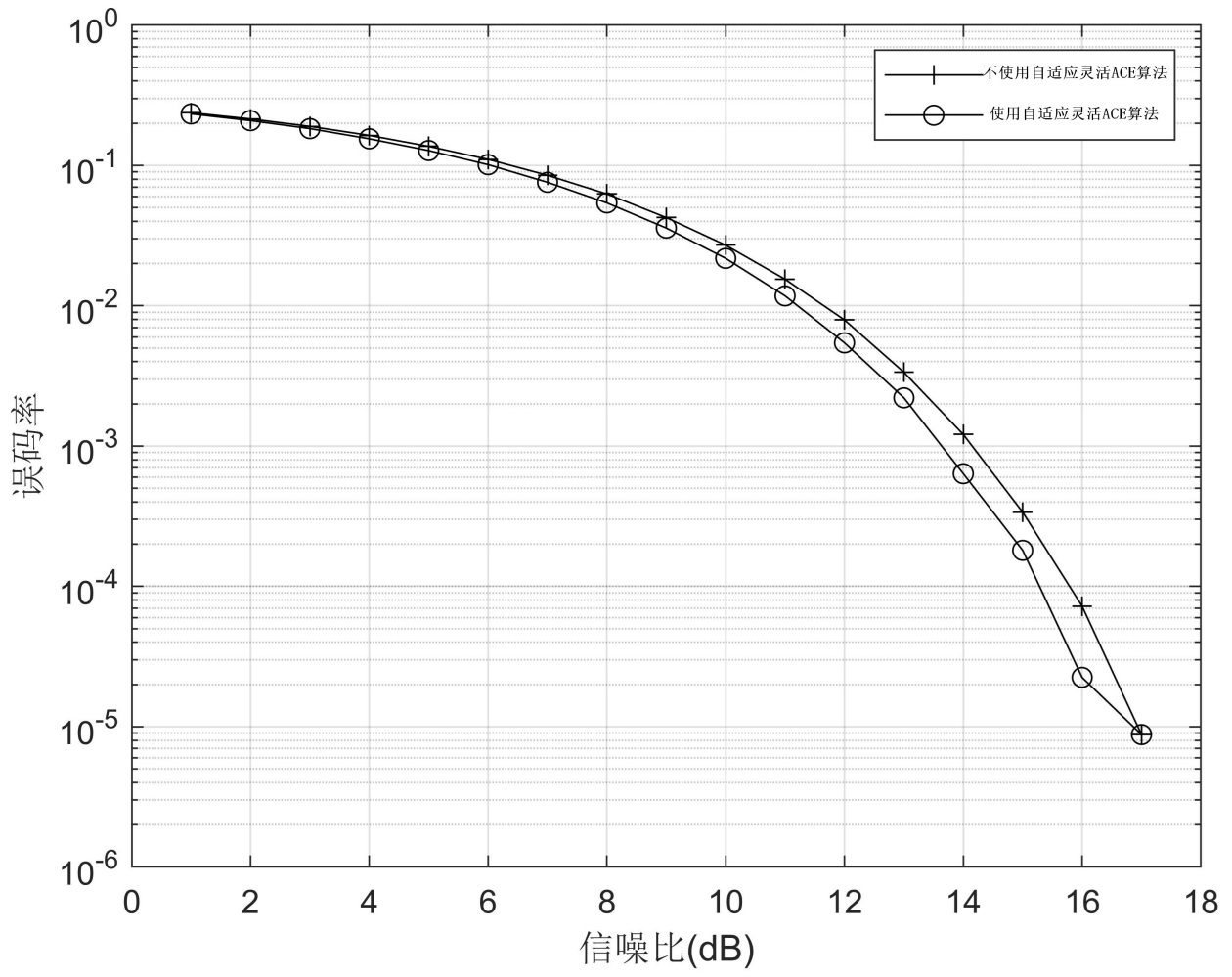


图 12