



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410073081.4

[43] 公开日 2005年3月2日

[11] 公开号 CN 1588938A

[22] 申请日 2004.9.16

[21] 申请号 200410073081.4

[71] 申请人 西安电子科技大学

地址 710071 陕西省西安市太白路2号

[72] 发明人 杨刚 孙景涛

[74] 专利代理机构 陕西电子工业专利事务所

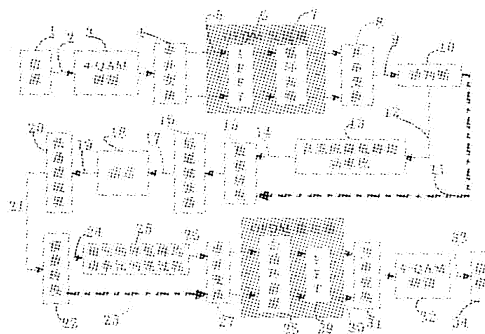
代理人 王品华 黎汉华

权利要求书2页 说明书15页 附图5页

[54] 发明名称 OFDM 通信系统及降低峰均功率比的方法

[57] 摘要

本发明涉及一种降低正交频分多路复用 OFDM 通信系统峰均功率比 PAPR 的方法，以减小通信系统的成本，提高其效率。其过程是：首先定出通信系统可以接受的峰均功率比及其允许误差；然后进行预判断；如果系统中的 PAPR 满足预定的要求，则直接发送数据；如果系统的 PAPR 不满足预定要求，则采取自适应技术自动的调节参数，即根据 PAPR 和预定峰均功率比的差值来调节参数值，完成一次循环；再计算改变参数后的 PAPR，依次重复该判断过程，直到 PAPR 满足要求为止。本方法计算简单、能够自动实现降低 PAPR 和保证系统性能之间的折衷，使整个通信系统具有较高的灵活性和自适应性，可用于移动通信、数字广播、数字电视及光纤通信等领域对 PAPR 的降低。



1. 一种 OFDM 通信系统, 包括:

发送单元, 用于接收 4-QAM 调制和串并变换后的信号, 并经过快速傅立叶逆变换、加循环前缀和并串变换, 形成 OFDM 发送信号, 送入预判断单元;

预判断单元, 用于对 OFDM 发送信号进行预判断处理, 分别通过两路输出, 即一路将无需降低峰均功率比的信号直接送到数模转换单元, 另一路将需要降低峰均功率比的信号, 送到自适应降低峰均功率比单元;

自适应降低峰均功率比单元, 用于对预判断单元输出的信号, 通过自动调节降低峰均功率比方法的参数, 得到满足要求的峰均功率比和系统性能的信号, 送到数模转换单元;

降低峰均功率比的逆过程单元, 用于将预判断后采用了降低峰均功率比方法的信号进行逆过程恢复, 然后送入串并变换单元;

接收单元, 用于接收经过串并变换的信号, 并通过去循环前缀、快速傅立叶变换, 输出到并串变换单元, 经过 4-QAM 解调后得到需要的信号。

2. 一种降低 OFDM 通信系统中的峰均功率比方法, 步骤如下:

首先, 预定出通信系统可以接受的峰均功率比 $PAPR_0$ 和允许误差 a ;

然后, 对经过快速傅里叶逆变换 IFFT 和并串变换后的信号进行预判断; 如果系统中的峰均功率比 $PAPR$ 满足预定的 $PAPR_0$ 要求, 则直接发送数据; 如果系统的比 $PAPR$ 不满足预定的 $PAPR_0$ 要求, 则对 $PAPR$ 的参数进行如下过程的自适应处理后, 再发送数据:

(1) 确定 OFDM 信号的压扩系数 μ 或限幅率 CR 、循环系数 λ 及总循环次数 n ;

(2) 根据 (1) 对 OFDM 信号进行压扩变换或限幅, 再利用通用公式计算出当时的峰均功率比 $PAPR_1$, 即

$$PAPR_1 = 10 \log_{10} \left[\frac{\max_n (|x_n|^2)}{\text{mean}(|x_n|^2)} \right]$$

式中， $\max_n(|x_n|^2)$ 表示 OFDM 符号的最大功率， $\text{mean}(|x_n|^2)$ 表示 OFDM 符号的平均功率；

(3)将当时峰均功率比 PAPR_1 与预定的峰均功率比 PAPR_0 进行比较，如果满足要求，则直接将数据发送出去；

(4) 如果当时的峰均功率比 PAPR_1 大于预定的峰均功率 PAPR_0 ，则根据二者的差值来增大压扩系数 μ 或减小限幅率 CR ，返回自适应步骤 (2)；

(5) 如果当时的峰均功率比 PAPR_1 小于预定的峰均功率比 PAPR_0 ，则先判断二者的差值是否在允许误差 a 的范围之内，如果该差值在允许误差 a 的范围内，则循环结束，发送数据；如果该差值不在允许误差 a 的范围内，则减小压扩系数 μ 或增大限幅率 CR ，并返回自适应步骤 (2)。

3. 根据权利要求 2 所述的方法，其中预定通信系统可以接受的峰均功率比 PAPR_0 主要根据通信系统功率放大器的线性动态范围来确定，即峰值功率小于或者等于功率放大器允许的输入功率。

4. 根据权利要求 2 所述的方法，其中预定通信系统的允许误差 a ，根据通信系统的调节精度要求来确定，调节精度越高， a 的取值越小。

OFDM 通信系统及降低峰均功率比的方法

技术领域

本发明属于通信技术领域，具体地说是一种降低正交频分多路复用（OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing）通信系统中峰均功率比的方法，以改善和提高通信系统的性能。

背景技术

早在 1957 年，OFDM 就被用于多载波高频调制解调器，1971 年 Weinstein 和 Ebert 两位学者提出了用快速傅里叶变换（FFT: Fast Fourier Transform）来实现 OFDM。OFDM 的主要思想是将高速串行码流转变成并行的低速码流，调制到等频率间隔的一组相互正交的子载波上。其基本原理是将总的信道带宽分成多个带宽相等的子信道，每个子信道单独通过各自子载波调制的信息符号。此外，OFDM 符号中引入的保护间隔能有效地克服多径信道的延时扩展，消除码间干扰，因此消除了采用复杂均衡器的必要。目前流行的高速数字用户线 HDSL、非对称数字用户线 ADSL、超高速数字用户线 VHDSL 都以 OFDM 为核心传输技术。同时 OFDM 也是欧洲数字音频广播、数字视频广播的标准调制解调技术。另外，它还是无线局域网物理层的基础，1999 年国际标准化组织通过了一个以 OFDM 为核心技术、可提供高达 54Mbps 传输速率的无线局域网标准 802.11a。

采用 OFDM 技术的基本通信系统如图 1 所示：在 OFDM 的发送端，输入为二进制比特流、图像，或随机序列 a_n ，然后，采用正交幅度调制（QAM: Quadrature Amplitude Modulation）或相移键控法（PSK: Phase-Shift-Keying）对 a_n 进行一次预调制，得到 X_n ，各子信道上的调制方式可以不同，也可以相同。比较平缓的子信道上加载较多的比特调制，衰落大的子信道上加载很少或者不加载比特，这个模块可以增加系统的传

输速率。 X_n 经串并变换和快速傅立叶逆变换 (IFFT: Inverse Fast Fourier Transform) 后得到时域信号 $x_{l,n}$, 即第 l 个符号中第 n 个采样值。在 OFDM 符号之间加入保护间隔, 成为循环前缀 CP, 它可以消除多径衰落引起的码间干扰, 这样就得到信号 $s_{l,n}$ 。信号 $s_{l,n}$ 经并串变换和数模转换, 就可得到实际发送信号 $s(t)$ 。在 OFDM 的接收端, 实际上进行的是上述发送端的逆过程。

虽然, 采用 OFDM 技术的通信系统具有很多优点, 但是它的一个主要缺点就是具有较高的峰均功率比 (PAPR: Peak-to-Average Power Ratio), 该峰均功率比可用下式来计算:

$$PAPR = 10 \log_{10} \left[\frac{\max_n (|x_n|^2)}{\text{mean}(|x_n|^2)} \right] \quad (1)$$

其中, $\max_n (|x_n|^2)$ 表示 OFDM 符号的最大功率, $\text{mean}(|x_n|^2)$ 表示 OFDM 符号的平均功率。

通常 OFDM 信号可以看成是许多个独立同分布信号的总和, 当相位相同时峰值功率是均值功率的 N 倍, 其中 N 为子载波数。高的峰均功率比有很多不利的方面, 例如, 对放大器的线性提出了很高的要求, 如果放大器线性部分的动态范围不能满足信号的变化则接收信号会产生畸变, 破坏 OFDM 信号各子载波的正交性, 使系统性能恶化。

针对 OFDM 系统中峰均功率比的问题国内外进行了大量的研究, 但是现有的方法都是以牺牲通信系统的其他性能指标作无代价来换取峰均功率比的降低, 例如, 误码率变大、系统的复杂性增加等。目前, 已经提出的降低 OFDM 通信系统中峰均功率比的方法主要有:

(1) 信号预畸变技术

信号预畸变技术主要包括限幅, 压扩变换技术等。

1) 限幅技术

限幅操作可以被看作是 OFDM 采样信号与矩形窗函数相乘, 如果 OFDM 信号的幅值小于门限值时, 则该矩形窗函数的幅值为 1, 否则, 该矩形窗函数的幅值小于 1。在我们的讨论中, 我们将使用归一化的限幅门

限, 即限幅率 CR , 而限幅门限 $A=CR*\sigma$, 其中, σ 为 OFDM 信号的平均功率。这表明, 在载波数为 N 的 OFDM 信号条件下, 基带信号平均功率为 $\sigma=\sqrt{N}$, 带通信号的平均功率为 $\sigma=\sqrt{N/2}$ 。根据时域相乘等于频域相卷积原理, 经过限幅的 OFDM 信号的频谱等于原始 OFDM 信号的频谱与窗函数频谱的卷积, 因此其带外频谱特性主要由两者之间频谱宽度较大的信号来决定, 也就是矩形窗函数的频谱来决定

2) 压扩变换技术

压扩变换可分为 μ 律和 A 律两种。在压扩变换方法中, 通过把大功率发射信号压缩, 把小功率发射信号进行放大, 从而使发射信号的平均功率相对保持不变。这样不但可以降低系统的 PAPR, 而且可以使小信号抗干扰的能力增强。在本发明中, 我们用的是 μ 律压扩变换, 所以需要调节的参数也就是压扩系数 μ 。

(2) 高速编码技术

高速编码技术主要包括: 选择性映射 SLM 和部分传送序列 PTS。

1) 选择性映射 (SLM: Selective Mapping)

OFDM 系统的发射机内的信号可以表示为:

$x_k = IFFT[X_n]$ ($n, k = 0, 1, \dots, N-1$), 假设存在 M 个不同的、长度为 N 的随机相位序列矢量 $P^{(\mu)} = (P_0^{(\mu)}, P_1^{(\mu)}, \dots, P_{N-1}^{(\mu)})$, 其中 ($\mu = 1, 2, \dots, M$), $P_i^{(\mu)} = \exp(j\varphi_i^{(\mu)})$, $\varphi_i^{(\mu)}$ 在 $[0, 2\pi)$ 之间均匀分布。可以利用这 M 个相位矢量分别与 IFFT 的输入序列 X 进行点乘, 则可以得到 M 个不同的输出序列 $X^{(\mu)}$; 然后对所得到的 M 个序列 $X^{(\mu)}$ 分别实施离散傅立叶变换 IFFT 计算, 相应得到 M 个不同的输出序列 $x^{(\mu)} = (x_0^{(\mu)}, x_1^{(\mu)}, \dots, x_{N-1}^{(\mu)})$; 最后在给定 PAPR 门限值的条件下, 从这 M 个时域信号序列内选择 PAPR 性能最好的用于传输。

2) 部分传送序列 (PTS: Partial Transmit Sequences)

首先利用向量来定义数据符号 $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]$; 然后把向量 X 分成 V 组, 分别由 $\{X_v, v = 1, 2, \dots, V\}$ 来表示, 其分割方法可以有多种如: 相邻分割法、交织分割法、随机分割法, 假设每个分组中所包括的子载波数量是相同的, 然后将这 M 个分组按如下方式组合起来: $X' = \sum_{v=1}^V b_v X_v$ 。其中 $\{b_v, v = 1, 2, \dots, V\}$ 是加权系数, 而且满足 $b_v = \exp(j\varphi_v)$ 以及 $\varphi_v \in [0, 2\pi]$, 这被称

为辅助信息；然后对 X' 进行快速傅立叶反变换 IFFT，得到 $x' = IFFT\{X'\}$ 。根据 IFFT 的线性，可以利用 V 个单独的离散傅立叶反变换 IDFT，对各个分组进行计算得： $x' = \sum_{v=1}^V b_v \cdot IFFT\{X_v\} = \sum_{v=1}^V b_v \cdot X_v$ ，其中引入了 V 个部分发送序列 PTS， $X_v = IFFT\{X'_v\}$ 。通过使用优化算法选择辅助加权系数 b_v ，使得峰值信号达到最佳化。

(3) 分组编码技术

常用的编码技术主要有戈雷 Golay 互补序列和 Reed-Muller 编码。Reed-Muller 编码是一种高效的编码方案，它可以扩展到二进制、四进制、八进制甚至更高进制。它从理论上保证了很小的 PAPR，也提供了很好纠错性能，同时也可以通过对码速率、PAPR 和纠错性能的简单改变来处理不同信道的情况。Golay 互补序列和二阶 Reed-Muller 码之间有非常紧密的关系，通过把二阶 Reed-Muller 码分成若干陪集来把对应于大 PAPR 的码字分开，从而起到降低 PAPR 的目的。

上述这些降低 PAPR 的方法都有其自身的局限性，主要存在以下不足之处：

(1) 采用限幅技术对信号进行限幅会引入限幅噪声，当采用滤波器消除这些噪声时又会引起峰值再生，从而不能满足系统设计的要求；采用压扩变换技术虽然可以有效的降低系统的 PAPR，但它又会对系统产生较大的影响。

(2) 采用选择性映射、部分传送序列和编码技术是以增加冗余度为代价换来了 PAPR 的降低，当子载波数较大时，这几种方法都需要较大的计算量和复杂度，而在目前实用的 OFDM 通信系统中，子载波数一般都较大，所以其计算量和复杂度是难以接受的。

(3) 无论采用以前的哪知方法，在降低峰均功率比的同时，都会导致通信系统性能的恶化，所以如何在峰均功率比和系统性能之间寻求最佳的折衷是目前需要解决的一个问题。

发明的内容

本发明的目的之一是提供一种能够根据实际通信环境和指标自动调节降低峰均功率比的 OFDM 通信系统；目的之二提供一种降低 OFDM 通

信系统峰均功率比的方法，以改善因降低 PAPR 而对 OFDM 通信系统性能造成的不良影响。

实现本发明的技术方案采用预判断技术和自适应技术，以实现参数的自动优化和峰均功率比与系统性能之间的自动折衷，提高 OFDM 通信系统的灵活性和自适应性。

所说的预判断技术，是根据中心极限定理，峰均功率比的分布随着子载波数的增加逐渐趋于高斯分布。即当 OFDM 满足子载波数大于时，其分布已十分接近高斯分布，因而其 PAPR 较大。但由于通常 OFDM 通信系统处于大峰值功率的概率很低，一般 OFDM 信号功率超过平均功率的三倍，即当 PAPR 为 9.6dB 的概率约为 0.1%，超过其四倍平均功率；当 PAPR 为 12dB 的概率小于 0.01%，为了满足出现概率较低的大峰值功率而对信号一律进行降低峰均功率比的处理，会对系统的性能造成很大的影响。因此，本发明的预判断技术只对大峰值功率的信号进行处理，即先根据功率放大器的线性范围，确定出可以接受的峰均功率比 $PAPR_0$ ，然后再判断系统的峰均功率比是否满足要求，如果满足要求，则不对 OFDM 信号进行处理而直接发送出去；如果不满足要求，则采用自适应技术，直到满足要求为止。

所说的自适应技术，主要指根据预定的性能指标和实际的通信情况，按照自适应算法自动的调整参数，在 PAPR 和通信系统的性能这一对矛盾之间寻求最优化并最终自动实现折衷。由于通信环境的千变万化，特别是在无线移动通信中，电波传播的主要方式是直射波、折射波、反射波以及它们的合成波，再加上移动台本身的运动，使得移动台与基站之间的无线信道多变且难以控制，信号通过信道时会遭受各种衰落的影响，如果采用固定参数的降低 PAPR 的方法，就不能适应多变信道的实际。自适应技术的采用主要是考虑到要适应多变信道的实际，以增加通信系统的灵活性和自适应性。

本发明的 OFDM 通信系统，包括：发送单元、预判断单元、自适应降低峰均功率比单元、降低峰均功率比的逆过程单元、接收单元。其中：

发送单元，用于接收 4-QAM 调制和串并变换后的信号，并经过快速

傅立叶逆变换、加循环前缀和并串变换，形成 OFDM 发送信号，送入预判断单元；

预判断单元，用于对 OFDM 发送信号进行预判断处理，分别通过两路输出，即一路将无需降低峰均功率比的信号直接送到数模转换单元，另一路将需要降低峰均功率比的信号，送到自适应降低峰均功率比单元；

自适应降低峰均功率比单元，用于对预判断单元输出的信号，通过自动调节降低峰均功率比方法的参数，得到满足要求的峰均功率比和系统性能的信号，送到数模转换单元；

降低峰均功率比的逆过程单元，用于将预判断后采用了降低峰均功率比方法的信号进行逆过程恢复，然后送入串并变换单元；

接收单元，用于接收经过串并变换的信号，并通过去循环前缀、快速傅立叶变换，输出到并串变换单元，经过 4-QAM 解调后得到需要的信号。

本发明采用所述的预判断技术和自适应技术，降低 OFDM 通信系统中峰均功率比的方法步骤如下：

首先，根据功率放大器的线性范围，预定出通信系统可以接受的峰均功率比 $PAPR_0$ 和允许误差 a ；

然后，对经过快速傅里叶逆变换和并串变换后的信号，进行预判断：也就是如果系统中的峰均功率比 $PAPR$ 满足预定的 $PAPR_0$ 要求，则直接发送数据；如果系统的 $PAPR$ 不满足预定的 $PAPR_0$ 要求，则对降低 $PAPR$ 方法的参数进行如下过程的自适应处理后，再发送数据：

(1) 确定 OFDM 信号最初的参数，例如压扩系数 μ 或限幅率 CR 、循环系数 λ 、总循环次数 n 、允许误差 a ；

(2) 先对 OFDM 信号进行处理，例如压扩变换或限幅，再通过通用公式：

$$PAPR_1 = 10 \log_{10} \left[\frac{\max_n(|x_n|^2)}{\text{mean}(|x_n|^2)} \right] \text{计算出当时的峰均功率比 } PAPR_1$$

式中， $\max_n(|x_n|^2)$ 表示 OFDM 符号的最大功率， $\text{mean}(|x_n|^2)$ 表示 OFDM

符号的平均功率；

(3) 将当时的峰均功率比 $PAPR_1$ 与预定的峰均功率比 $PAPR_0$ 进行比较，如果满足要求，则直接将数据发送出去；

(4) 如果当时的峰均功率比 $PAPR_1$ 大于预定的峰均功率 $PAPR_0$ ，则根据二者的差值来增大压扩系数 μ 或减小限幅率 CR ，返回自适应步骤 (2)；

(5) 如果当时的峰均功率比 $PAPR_1$ 小于预定的峰均功率比 $PAPR_0$ ，则再判断二者的差值是否在允许误差 a 的范围之内，如果该差值在允许误差 a 的范围内，则循环结束，发送数据；如果该差值不在允许误差 a 的范围内，则减小压扩系数 μ 或增大限幅率 CR ，并返回自适应步骤 (2)。

上述预定的峰均功率比 $PAPR_0$ 主要由功率放大器的线性动态范围来确定，峰值功率不大于功率放大器允许的输入功率。

上述预定通信系统的允许误差 a ，根据通信系统的调节精度要求来确定，调节精度越高， a 的取值越小。

上述循环的原则是使系统的 $PAPR$ 尽可能的接近预定值，所以总循环次数在理论上是越大越好，这样才可达到对系统性能的影响最小，同时又能满足 $PAPR$ 的要求。但如果取得过大又会影响传输效率，故在实际应用中根据实际情况来选取，在本发明的仿真中，取总循环次数为 5，即可达到预定要求，如表 1 和表 2 所示。

本发明与现有的降低峰均功率比的方法相比，具有如下优点：

1. 由于本发明基于在实际通信中高的峰均功率比出现的概率较小的事实，所以采用预判断技术是很有用的，通过采用预判断技术可以只对小概率的高 $PAPR$ 的信号进行相应的处理，因而避免了对所有信号都要进行不必要的处理，提高了传输效率，且对整个通信系统性能的影响不是很大，提高了通信系统的灵活性；

2. 由于本发明采用基于自适应技术，根据预期指标和实际通信信道环境，自动的调节通信参数，使其尽可能的满足预期要求，因此，可以使峰均功率比尽可能的满足我们的要求，并且自动实现了 $PAPR$ 和系统性能

之间的折衷，提高了通信系统的自适应性和智能性。

附图说明

图 1 是现有 OFDM 通信系统的原理框图

图 2 是采用本发明方法的 OFDM 通信系统原理框图

图 3 是本发明的第一实施例原理流程图

图 4 是本发明的第二实施例原理流程图

图 5 是本发明的第一实施例的互补累积分布函数 CCDF 对比图

图 6 是本发明的第一实施例的误码率对比图和压扩系数 μ 的变化图

图 7 是本发明的第二实施例的互补累积分布函数 CCDF 对比图

图 8 是本发明的第二实施例的误码率对比图和限幅率 CR 的变化图

具体实施方式

以下参照附图对本发明作进一步详细描述。

参照图 2，OFDM 通信系统的发射部分主要包括：4-QAM 调制器、快速傅立叶逆变换 IFFT 数字信号处理器 6、并串变换 8、自适应降低峰均功率比单元 13、数模转换器 15、低通滤波器 16，接收部分实际上是发送部分的逆过程，主要包括：低通滤波器 20、模数转换 22、快速傅立叶变换 FFT 数字信号处理器 29、4-QAM 解调器 32。

OFDM 通信系统的发送、接收过程分别如下：

发送时，信源 1 产生的携带信息的数据符号流 2 送到调制器 3，进行第一次正交幅度调制，这里采用 4-QAM 调制。二进制数据流经过 4-QAM 调制后，也就是将各个并行信道上二进制数据映射为信号星座图上的点，即形成复数形式的数据序列。该数据经过串并变换 4 后的数据 5 送到 OFDM 的发送端。由快速傅立叶逆变换 IFFT 数字信号处理器 6 对该复数并行序列进行第二次调制，即用一组彼此正交的正弦和余弦信号对原来的信号进行频率调制，得到调制后的并行复数数据，为了保持同步在复数数据里加上循环前缀 7。该复数数据通过并串变换 8，将各通道的数据流合并为串行数据流 9，即 OFDM 符号，被送到预判断单元 10。

预判断单元 10 有两路数据输出线 11 和 12，预判断单元进行预判断的过程是：先求出 OFDM 符号 9 的峰均功率比 $PAPR_1$ ，然后和可以接受

的 $PAPR_0$ 进行比较, 如果此时的 $PAPR_1$ 满足 $PAPR_0$ 的要求, 则符号 9 通过输出线 11 直接进入数模转换器 15; 如果此时的 $PAPR_1$ 大于 $PAPR_0$, 则符号 9 通过输出线 12 进入自适应降低峰均功率比单元 13 来降低 $PAPR_1$ 。

自适应降低峰均功率比单元 13 的主要作用是: 通过采用自适应算法, 自动的调节压扩系数 μ 或限幅率 CR, 以使通信系统的峰均功率比尽可能的满足要求。其工作过程为: 对预判断后的数据通过降低峰均功率比处理后, 再通过采用自适应算法部分, 通过迭代循环过程后得到最优的参数值, 对于压扩变换就是压扩系数 μ , 对于限幅方法则是限幅率 CR, 这时就得到了尽可能满足要求的的峰均功率比。

通过自适应压缩变换后的数据再加上辅助信息得到串行复数数据 14, 被送到数模转换器 15, 经过数模转换后送到低通滤波器 16 进行滤波, 滤波后得到的数据 17 被送到信道 18 发射出去。这里的低通滤波器也被称为成型滤波器, 可以是升余弦滤波器、FIR 滤波器、IIR 滤波器, 也可以是其他类型的低通滤波器, 它的主要作用是限制发送信号的带宽, 改善信号的边带、频谱特性, 使具有较好的衰减, 以便减少混叠效应。所以这时低通滤波器 16 的设计很关键, 具体设计时应考虑数据传输速率、带宽、信道特性等诸多因素。这里的信道可以是各种信道, 既可以是有线信道也可以是无线信道, 如果是无线信道的话, 还需对数据 17 进行上边频处理, 这里为简单起见采用加性高斯白噪声 (AWGN: Additive White Gaussian Noise) 信道。

接收时, 通过信道 18 的信号需要经过低通滤波器 20 得到模拟信号 21, 这个滤波器也被称为匹配滤波器。该模拟信号通过模数转换器 22 后变成数字信号。该模数转换器 22 有两路数字信号输出线, 分别对应发送过程中的预判断情况, 如果预判断后没有采用降低峰均功率比的方法, 则对模数转换 22 后的信号不进行任何处理, 通过传输线 23 直接进入串并变换器 27; 如果预判断后采用降低峰均功率比的方法, 则模数转换器 22 输出的数字信号通过传输线 24 进入相应的降低峰均功率比的逆过程 25, 然后再送入串并变换 27; 在对串并变换后的并行复数数据流进行解调前还需要去除循环前缀 28, 然后由快速傅立叶变换 FFT 数字信号处理器 29

对该数据流进行解调后得到信号 30, 该信号再经过并串变换 31 和 4-QAM 解调 32 后恢复出与原始信息 2 基本相同的接收信息 33, 以满足信宿 34 的要求。

由于通信环境的千变万化, 特别是在无线移动通信中, 电波传播的主要方式是空间波, 即直射波、折射波、反射波以及它们的合成波。再加上移动台本身的运动, 使得移动台与基站之间的无线信道多变且难以控制, 信号通过信道时会遭受各种衰落的影响, 所以如果采用固定参数的降低 PAPR 的方法, 就不能适应多变信道的实际。所以本发明引入了自适应技术, 这里的自适应技术主要指根据预定的性能指标和实际的通信情况, 按照自适应算法, 自动的调整参数, 在降低 PAPR 和通信系统的性能这一对矛盾之间寻求最优化并最终自动实现折中。因此在 OFDM 通信系统工作时, 经预判断之后的信号, 如果需要采用自适应技术, 就要利用自适应压缩变换进行参数的循环。对于自适应压缩变换可以采用不同的方法, 例如: 压扩、限幅、部分传送序列、选择性映射、编码等。本发明给出了两种实施例。

实施例 1

本发明的第一实施例是结合压扩变换来讨论的, 其实施流程图如图 3 所示: 第一步, 首先确定可以接受的峰均功率比 $PAPR_0$;

第二步, 计算出原始信号的峰均功率比 PAPR, 并进行预判断, 以决定是否采用压扩变换来降低峰均功率比; 如果原始信号的峰均功率比 PAPR 大于 $PAPR_0$, 则需要进行第三步过程进行自适应降低峰均功率比; 如果原始信号的峰均功率比 PAPR 小于 $PAPR_0$, 则跳转到第四步;

第三步, 自适应降低峰均功率比过程:

(1) 确定出压扩系数 μ 、迭代系数 λ 、总迭代次数 n 、允许误差 a ;

(2) 对输入数据进行压扩系数为 μ 的 μ 律压扩变换, 并计算出压扩变换之后的峰均功率比 $PAPR_1$; 即

$$PAPR_1 = 10 \log_{10} \left[\frac{\max_n(|x_n|^2)}{n} / \text{mean}(|x_n|^2) \right]$$

式中， $\max_n(|x_n|^2)$ 表示 OFDM 符号的最大功率， $mean(|x_n|^2)$ 表示 OFDM 符号的平均功率；

(3) 对压扩系数进行迭代优化处理，即先判断迭代次数是否到了，如果迭代次数已到则迭代结束；如果迭代次数未到，再判断 $PAPR_1$ 是否大于 $PAPR_0$ ，如果 $PAPR_1$ 大于 $PAPR_0$ ，则根据二者的差值来加大压扩系数 μ ，即按照 $\mu = (1+\alpha)\mu$ ，其中 $\alpha = (PAPR_1 - PAPR_0) * \lambda$ 来调整参数 μ ，然后返回第三步的开始；如果 $PAPR_1$ 小于 $PAPR_0$ ，这时还需要判断二者的差值是否在允许的范围内，如果在允许范围内，则迭代结束，回到第四步；如果不在允许范围内，则根据二者的差值来减小压扩系数 μ ，即按照 $\mu = (1-\alpha)\mu$ ，其中 $\alpha = (PAPR_1 - PAPR_0) * \lambda$ ，来调整参数 μ ，然后返回第三步的开始，直到迭代满足要求为止。

第四步，迭代过程结束，将数据发送出去。

可见，本发明循环的原则是使系统的峰均功率比尽可能的接近预定值，以实现既对系统性能的影响最小，同时又能满足峰均功率比的要求。

实施例 2

本发明的第二实施例是结合限幅来讨论的，其实施过程如图 4：

第一步，首先确定可以接受的峰均功率比 $PAPR_0$ ；

第二步，计算出原始信号的峰均功率比 $PAPR$ ，并进行预判断，以决定是否采用限幅方法来降低峰均功率比；如果原始信号的峰均功率比 $PAPR$ 大于 $PAPR_0$ ，则需要进行第三步过程进行自适应降低峰均功率比；如果原始信号的峰均功率比 $PAPR$ 小于 $PAPR_0$ ，则跳转到第四步；

第三步，自适应降低峰均功率比过程：

(1) 定出限幅率 CR 、迭代系数 λ 、总迭代次数 n 、允许误差 a ；

(2) 对输入数据进行限幅率为 CR 的限幅，并通过通用公式计算出采用限幅方法之后的峰均功率比 $PAPR_1$ ，即

$$PAPR_1 = 10 \log_{10} \left[\frac{\max_n(|x_n|^2)}{mean(|x_n|^2)} \right]$$

式中， $\max_n(|x_n|^2)$ 表示 OFDM 符号的最大功率， $mean(|x_n|^2)$ 表示 OFDM

符号的平均功率；

(3) 对限幅率 CR 进行迭代优化处理，即先判断迭代次数是否到了，如果迭代次数已到则迭代结束；如果迭代次数未到，再判断 $PAPR_1$ 是否大于 $PAPR_0$ ，如果 $PAPR_1$ 大于 $PAPR_0$ ，则根据二者的差值来减小限幅率 CR，即按照 $CR=(1-\alpha)CR$ ，其中 $\alpha=(PAPR_1-PAPR_0)*\lambda$ 来调整限幅率 CR，然后返回第三步的开始；如果 $PAPR_1$ 小于 $PAPR_0$ ，这时还需要判断二者的差值是否在允许的范围之内，如果在允许范围内，则迭代结束，回到第四步；如果不在允许范围内，则根据二者的差值来加大限幅率 CR，即按照 $CR=(1-\alpha)CR$ ，其中 $\alpha=(PAPR_1-PAPR_0)*\lambda$ ，来调整参数限幅率 CR，然后返回第三步的开始，直到迭代满足要求为止；

第四步，迭代过程结束，将数据发送出去。

本发明降低 PAPR 的方法与目前已经提出的降低 PAPR 的方法相比，其突出的优点就是通过采用预判断技术和自适应技术，增加了 OFDM 通信系统的灵活性和自适应性，并且可以使通信系统的各项性能指标都能尽可能的满足要求，而且也不会增加太大的系统复杂度。

本发明的效果可以通过以下仿真实验结果进一步验证，在仿真中用到的互补累积分布函数 CCDF 是指 PAPR 超过某一值(例如， $PAPR_c$)的概率，用数学式子可表示为： $Prob\{PAPR > PAPR_c\}$ 。

仿真实验 1

取总迭代次数 n 为 5、允许误差 a 为 0.1dB、 $PAPR_0$ 为 6.8dB；取 1024 个子载波并采用 4-QAM 调制方式，采用加性高斯白噪声信道，对自适应压扩方法进行仿真实验。

当 SNR=14dB 时，其峰均功率比的 CCDF 对比如图 5 所示。由图 5 可见，原始 OFDM 符号的峰均功率比最高，采用预判断技术和自适应技术的峰均功率比最低，而采用原始压扩变换方法 ($\mu=1$) 的峰均功率比在二者之间。

当 SNR=14 时，误码率对比图和压扩系数 μ 的自动调节过程如图 6 所示。

当 SNR=14 时，压扩系数 μ 的变化情况如表 1。

表 1: SNR=14dB 的压扩系数 μ 变化情况

仿真次数	压扩系数 μ 的变化情况
1	1.0→0.7149→0.6141→0.6248
2	1.0→0.691→0.577
...	...
100	1.0→0.6407→0.4985→0.4353
...	...
9900	1.0→0.73
9901	1.0
...	...
10000	1.0→0.6805→0.5596

由表 1 可以看出压扩系数 μ 是可以自动调节的，对于第一次仿真，压扩系数 μ 由最初的 1.0 变到 0.7149，在调节到 0.6141，最后当调节到 0.6248 的时候，这时的 PAPR 满足我们的要求，所以迭代结束；对于第二次仿真和以后的仿真，变化情况类似。

由图 6 可见：不对信号进行处理的误码率最小，但它的 PAPR 过大，最大值可为 12.2845dB；而采用自适应技术的误码率要比压扩系数 μ 固定的传统压扩变换的误码率小。这里仿真 10000 次，采用自适应技术的误码率的均值为 2.613×10^{-4} ，传统压扩变换（压扩系数 μ 固定）的误码率为 4.318×10^{-4} ；并且采用自适应技术的 PAPR 也是最小的，这时它的 PAPR 最大值为 6.8dB，而压扩系数 μ 固定的传统压扩变换的 PAPR 最大值为 7.7563dB。可见，采用本发明的方法的性能最好，并且自动实现了 PAPR 和误码率之间的折衷。另外从图 6 还可看出，通过采用预判断技术和自适应技术在降低 PAPR 的同时对系统性能的影响也较小。

仿真实验 2

取总迭代次数 n 为 5、允许误差 a 为 0.1dB、 $PAPR_0$ 为 6.9dB，取 1024 个子载波并采用 4-QAM 调制方式，采用加性高斯白噪声信道，对自适应

限幅方法进行仿真实验。

当 SNR=14dB 时，峰均功率比的互补累积分布函数对比如图 7。由图 7 可见：原始 OFDM 符号的峰均功率比最高，采用预判断技术和自适应技术的峰均功率比最低，而采用原始限幅方法（CR=2.2）的峰均功率比在二者之间。

当 SNR=14dB 时，误码率对比和门限系数 CR 的自动调节过程如图 8。

当 SNR=14dB 时，限幅门限值 CR 的变化情况如表 2。

表 2: SNR=14dB 的限幅门限值 CR 变化情况

仿真次数	限幅参数 CR 的变化情况
1	2.2→2.1215→2.1796→2.1328
2	2.2→2.1193→0.577
...
100	2.2→2.1229→2.1808→2.1341
...
9990	2.2→2.2758
9991	2.2→2.1238→2.1812→2.1350
...
10000	2.2→2.1168

表 2 表明：限幅率 CR 可以按照自适应算法自动的调节，直到 PAPR 满足的要求。

从图 7 和图 8 同样可以看出采用自适应技术的限幅方法比传统的限幅方法要好。另外从图 8 还可看出，通过采用预判断技术和自适应技术在降低 PAPR 的同时对系统性能的影响也较小。

以上是本发明仿真了 SNR=14dB 时，采用压扩变换和限幅方法的情况。对于其它减低 PAPR 方法和其它信噪比情况的分析和仿真与此类似。

尽管本发明中降低 PAPR 的方法是针对多载波中的 OFDM 通信系统来讨论和仿真的，但它同样适用于其它具有较高 PAPR 的多载波通信系统，例如，移动通信、数字广播、数字电视及光纤通信等领域。另外本发

明是结合压扩变换和限幅来说明预判断技术和自适应技术的,但本发明同样还适用于其它降低 PAPR 的方法,例如:选择性映射、部分传送序列、编码方法等。不同的方法其参数不同,例如,对于压扩变换方法,其参数就是指压扩系数 μ ; 对于限幅方法,其参数是指限幅率 CR; 对于 PTS 方法,其参数则是指分组数 V; 对于 SLM 方法,其参数则指随机相位序列矢量的个数 M, 采用本发明的方法中就可确定这些不同的参数。

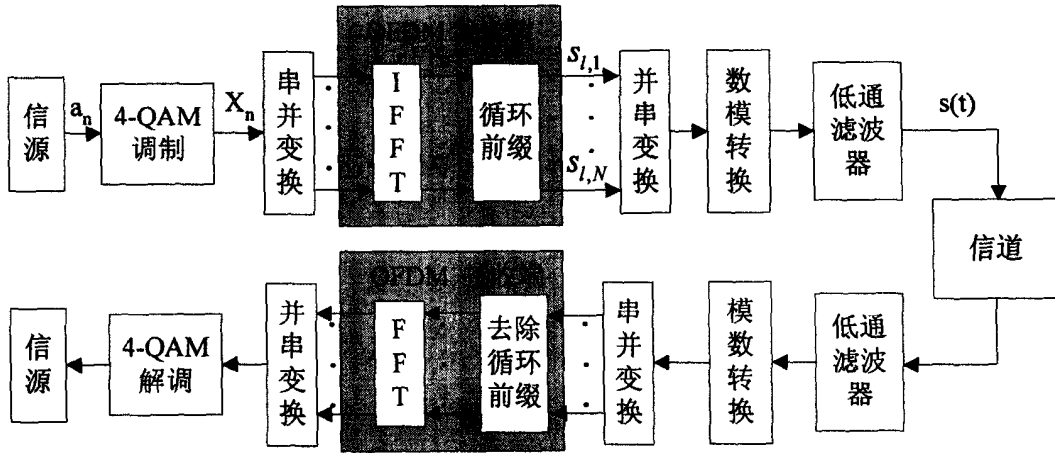


图 1

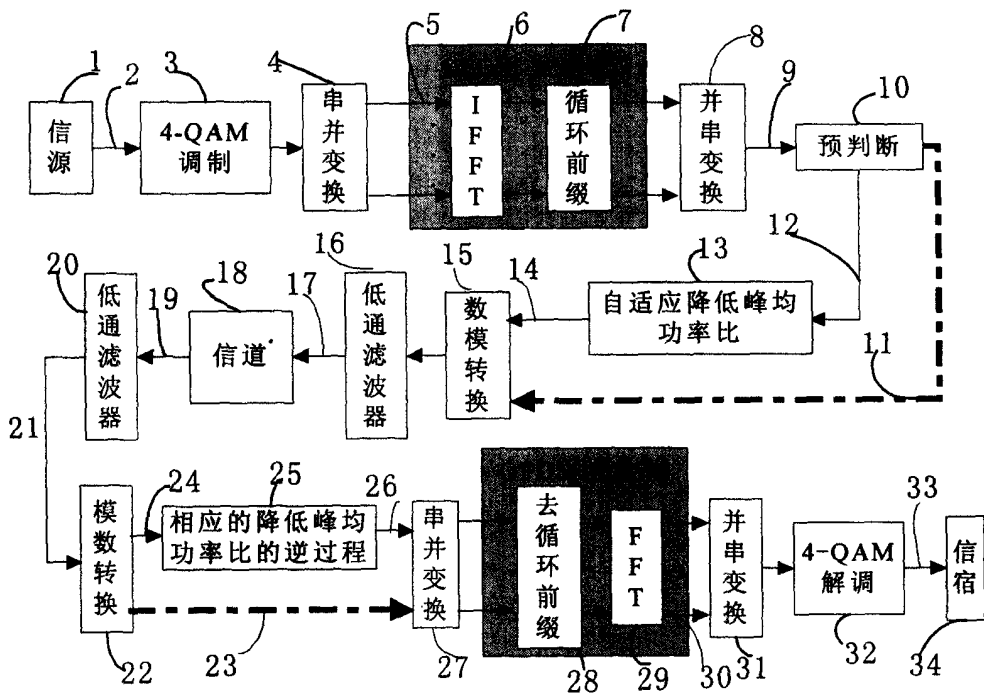


图 2

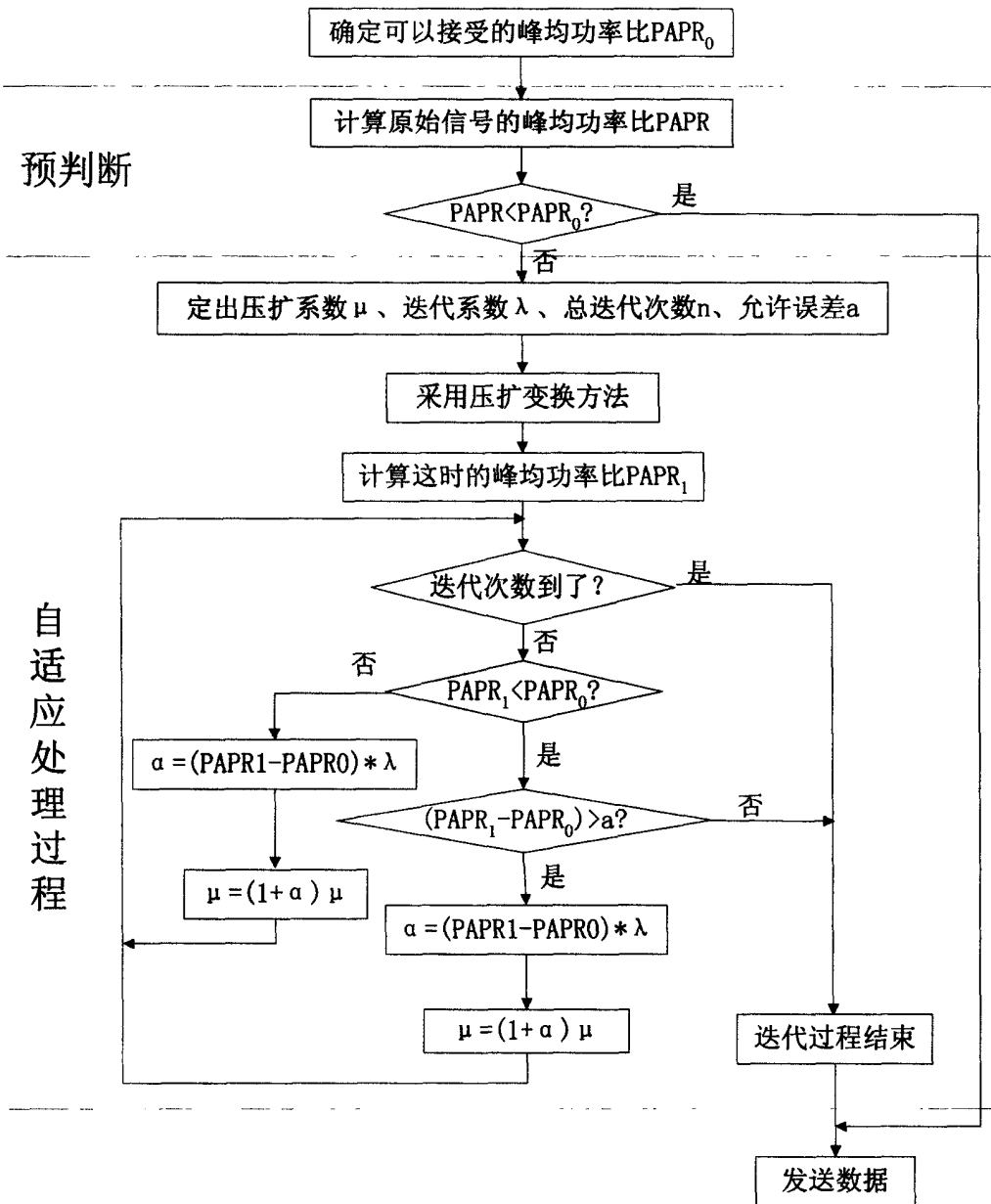


图 3

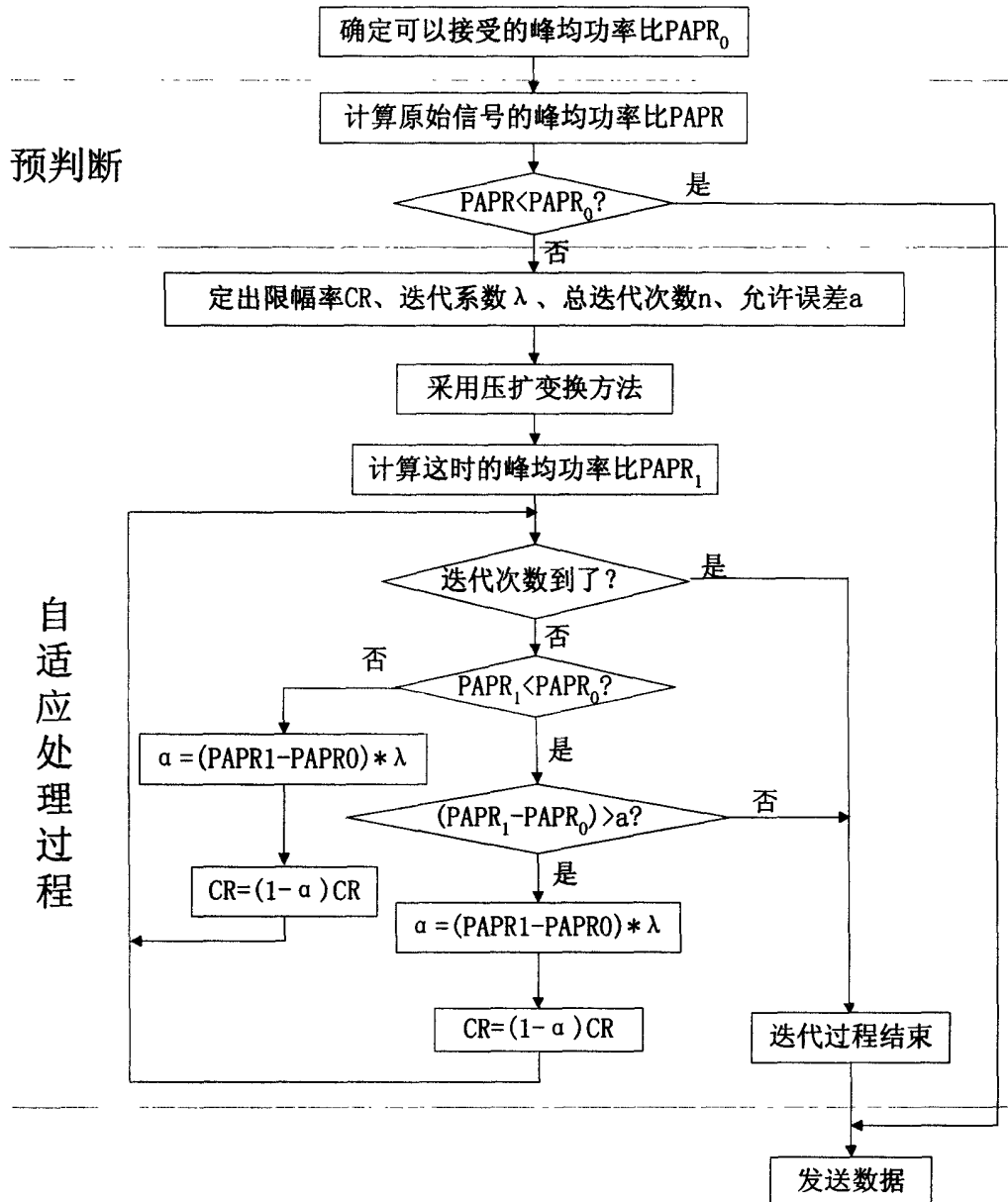


图 4

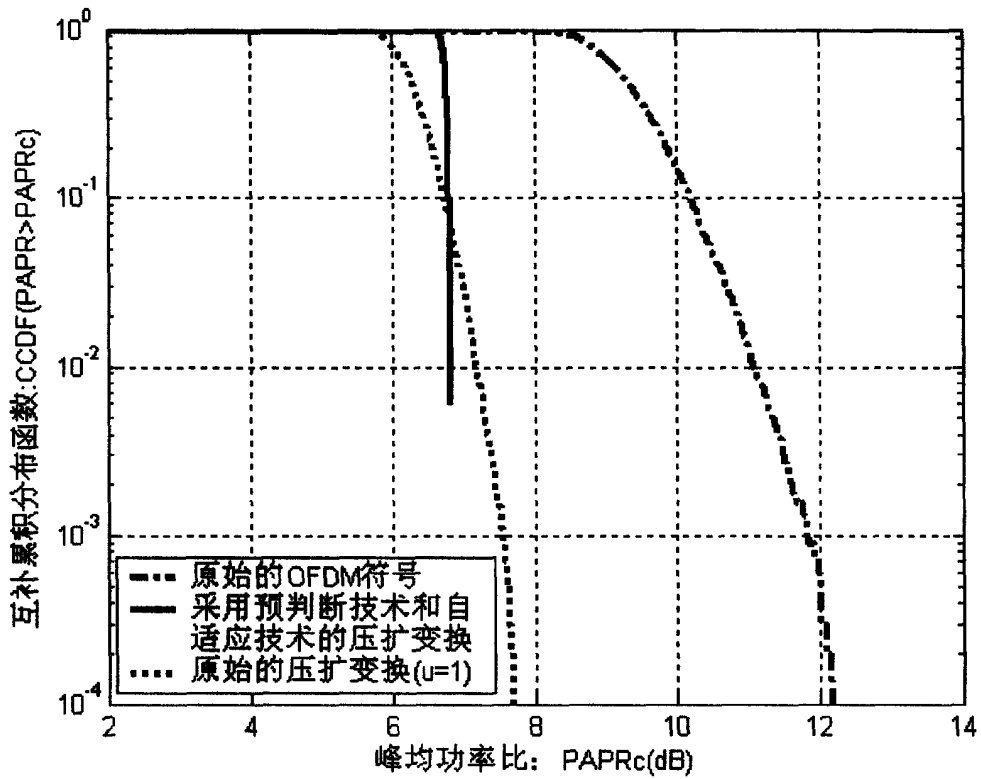


图 5

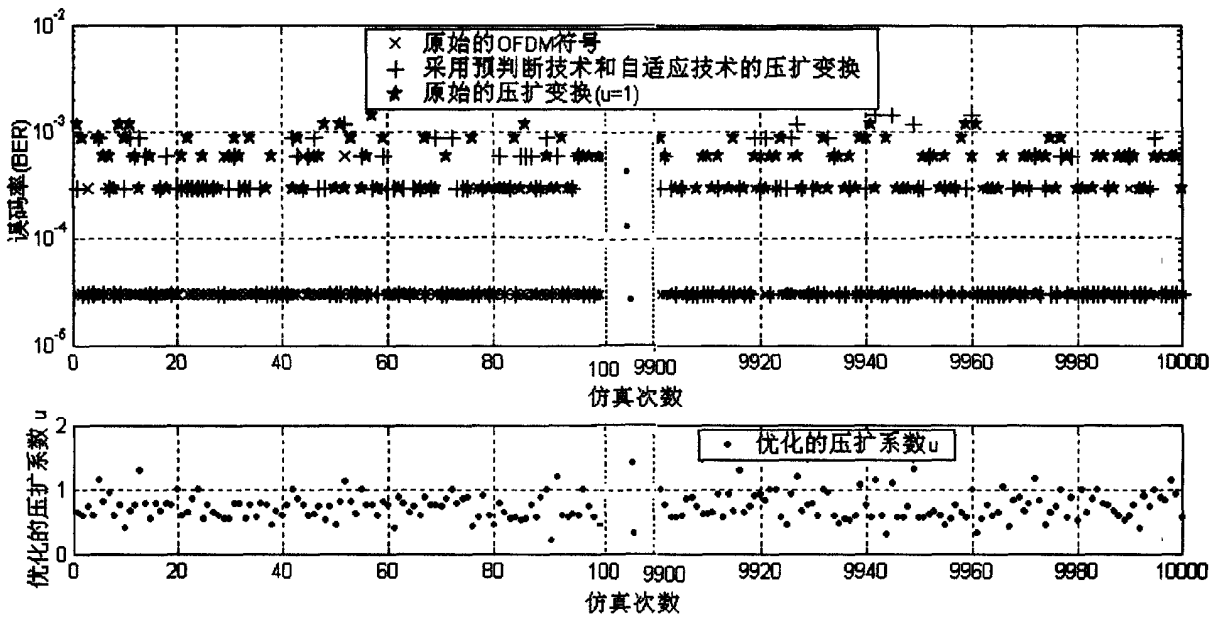


图 6

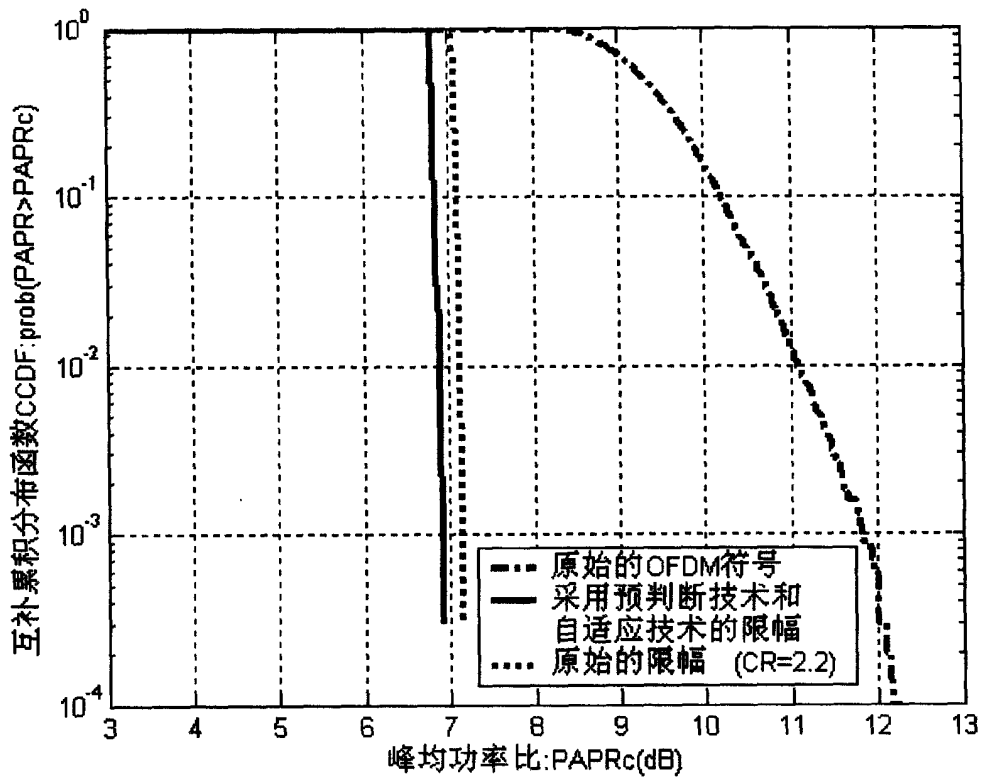


图 7

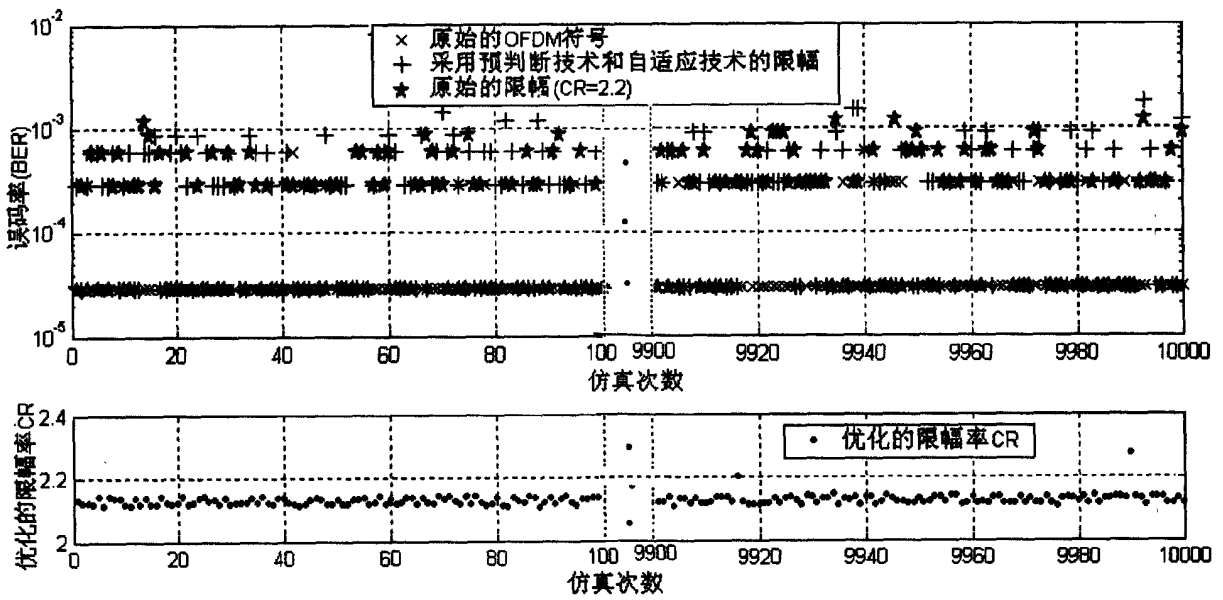


图 8