

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610104422.9

[43] 公开日 2007 年 1 月 3 日

[51] Int. Cl.

H04B 7/005 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

[22] 申请日 2006.7.28

[21] 申请号 200610104422.9

[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 王科研

[74] 专利代理机构 陕西电子工业专利中心

代理人 张问芬 韦全生

[11] 公开号 CN 1889383A

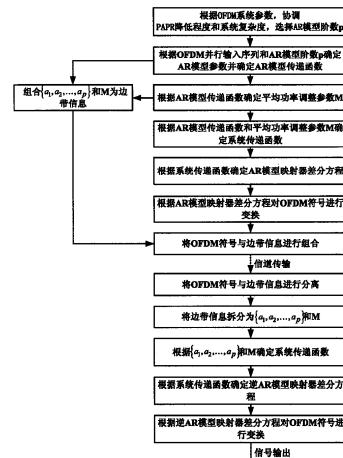
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 4 页

[54] 发明名称

降低 OFDM 系统峰均功率比的 AR 模型方法及装置

[57] 摘要

本发明公开了一种降低 OFDM 系统峰均功率比的 AR 模型方法及装置，其方法是将 OFDM 调制信号并行输入序列变换成类似白噪声的信号，使其自相关性降低，从而降低 OFDM 系统的峰均功率比 PAPR 和计算复杂度。实现此方法的装置在其发送端增加了 AR 模型映射器；在其接收端增加了逆 AR 模型映射器。AR 模型映射器包括 AR 模型单元、平均功率调整参数单元、传递函数单元、差分方程单元、边带信息组合单元、组合单元。逆 AR 模型映射器包括分离单元、边带信息拆分单元、传递函数单元、差分方程单元。采用上述方法和装置降低系统峰均功率比只需一次 IFFT 变换和一次线性变换，由此大大地降低了系统复杂度。对于子载波数 N 比较大（例如 N = 1024）的 OFDM 系统，PAPR 性能和复杂度性能要优于 PTS 方法。



1. 一种降低 OFDM 系统峰均功率比的 AR 模型方法，其特征在于：将 OFDM 调制信号并行输入序列转换成类似白噪声的信号，使其自相关性降低，从而有效地降低 OFDM 系统的峰均功率比 PAPR 和计算复杂度，用于降低 PAPR 的 AR 模型方法按如下过程进行：

发送端

- (1) 根据 OFDM 系统参数，协调 PAPR 降低程度和系统复杂度，选择 AR 模型阶数 p ；
- (2) 根据 AR 模型阶数 p 和 OFDM 并行输入序列 $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ ，通过 Yule-Walker 方程确定 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ ，并确定 AR 模型传递函数 $D(z)$ ；
- (3) 根据确定的 AR 模型传递函数 $D(z)$ ，确定 OFDM 信号的平均功率参数 M ，并将 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和平均功率调整参数 M 组合成边带信息进行传输，

$$M \approx \left| 1 + \sum_{k=1}^p a_k e^{-j\omega k} \right|$$

其中 a_k 为 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 内的元素；

- (4) 根据 AR 模型传递函数 $D(z)$ 和平均功率参数 M ，确定系统传递函数 $H(z)$ ；

$$H(z) = \frac{M}{1 + \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}}$$

- (5) 根据系统传递函数 $H(z)$ 确定差分方程，

$$Mw(n) = x(n) + \sum_{k=1}^p a_k x(n-k) \quad k < n$$

其中 $w(n)$ 为变换后的类似白噪声信号， $x(n)$ 为输入的 OFDM 信号；

- (6) 利用差分方程将 OFDM 符号转换成类似白噪声信号，再将 OFDM 符号与边带信息 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M 组合后，经过 IFFT 变换发送出去；

接收端

- (1) 将接收到的信号进行 FFT 变换后，把原始 OFDM 符号与边带信息进行分离；
- (2) 将边带信息拆分为 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M ，并根据 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M 确定系统传递函数 $H(z)$ ；

(3) 利用系统传递函数 $H(z)$ 确定差分方程;

(4) 用差分方程将分离得到的原始 OFDM 符号进行变换, 还原成原始信号。

2. 一种实现权利要求 1 所述方法的装置, 包括发送端和接收端, 其特征在于: 在发送端增加了 AR 模型映射器; 在接收端增加了逆 AR 模型映射器;

所述 AR 模型映射器包括: AR 模型单元、平均功率调整参数单元、传递函数单元、差分方程单元、边带信息组合单元、组合单元; 其中:

AR 模型单元, 用于确定 AR 模型阶数 p , 并根据串并转换后的 OFDM 并行输入序列确定 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$, 从而确定 AR 模型传递函数, 同时 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 构成传输的边带信息的第一部分;

平均功率调整参数单元, 用于处理 AR 模型传递函数, 确定使得 OFDM 信号平均功率保持不变的参数 M , M 构成传输的边带信息的第二部分;

传递函数单元, 用于处理 AR 模型单元和平均功率调整参数单元发出的数据, 确定系统传递函数 $H(z)$;

差分方程单元, 根据系统传递函数 $H(z)$ 确定差分方程, 并对串并转换后的 OFDM 并行输入序列变成类似白噪声信号, 降低其自相关性, 从而降低 OFDM 信号的 PAPR;

边带信息组合单元, 用于将 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M 组合成边带信息进行传输;

组合单元, 将一帧变换后的 OFDM 并行输入序列与边带信息组合成一个完整的 OFDM 符号, 然后发送到 IFFT;

所述逆 AR 模型映射器包括分离单元、边带信息拆分单元、传递函数单元、差分方程单元; 其中:

分离单元, 用于将接收到的信号分离为两路信号, 一路传输边带信息, 另一路传输原始的 OFDM 符号;

边带信息拆分单元, 用于将边带信息拆分成 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M ;

传递函数单元, 用于处理边带信息拆分单元发送的边带信息 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M , 并确定系统传递函数 $H(z)$;

差分方程单元, 根据系统传递函数 $H(z)$ 确定差分方程, 并对分离单元所分离的原始 OFDM 符号进行变换。

降低 OFDM 系统峰均功率比的 AR 模型方法及装置

技术领域

本发明属于通信技术领域，涉及正交频分复用 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 通信系统中的峰均功率比 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) 问题，具体地说是一种无失真地降低 OFDM 系统峰均功率比和系统复杂度方法。

背景技术

正交频分复用 OFDM 技术以其高效的频谱利用率、良好的抗多径衰落性能而被认为是第四代移动通信 4G 的核心技术之一，目前 OFDM 技术已经在非对称数字用户线(ADSL)、数字音频广播(DAB) 和数字电视广播(DVB)、移动通信以及电力线宽带数据通信等领域得到了广泛应用。

OFDM 的基本原理就是把高速的数据流通过串并转换，分配到传输速率相对较低的若干个子信道中进行传输。由于每个子信道中的符号周期会相对增加，因此可以减轻无线信道的多径延迟扩展的影响。并且还可以在 OFDM 符号之间插入保护间隔，令保护间隔大于无线信道的最大时延扩展，这样就可以最大限度地消除由于多径带来的符号间干扰 (ISI)。而且，一般都采用循环前缀作为保护间隔，从而可以避免由多径带来的信道间干扰 (ICI)。

功率归一化的 OFDM 的时域抽样序列 $\{x_n\}$ 如下：其中 N 为子载波数， X_k 表示第 k 个子载波上的调制符号。

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp\left(\frac{j2\pi kn}{N}\right) \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

与单载波系统相比，由于 OFDM 符号是由多个独立的经过调制的子载波信号相加而成的，这样的合成信号就有可能产生比较大的峰值功率 (peak power)，由此会带来较大的峰均功率比 PAPR。峰均比可以定义为：

$$PAPR(dB) = 10 \log_{10} \frac{\max \{|x_n|^2\}}{E \{ |x_n|^2 \}}$$

这就要求系统的一些部件，例如功率放大器、A/D, D/A 转换器等具有很大的线性动态范围。而反过来，这些部件的非线性也会对动态范围较大的信号产生非线性失真，所产生的谐波会造成子信道间的相互干扰，从而影响 OFDM 系统的性能。

现有的降低 PAPR 的方法可以分为以下几种：新分量注入法，包括选择性映射（SLM）、部分传输序列（PTS）、载波预留法（TR）和载波插入法（TI）等；分量修正法，包括限幅（clipping）、压缩扩展变换（companding transform）和编码等；运算规则变更法，包括小波变换等。

其中 PTS 方法是一种无失真地有效降低 OFDM 系统 PAPR 的方法，其基本原理是输入的数据符号被分为若干分组，通过适当的选择辅助加权系数，便可以使峰值信号达到最佳化，然后再合并这些分组，从而降低 PAPR。

理论上讲辅助加权系数 b_v 可以在 $[0, 2\pi)$ 之间取任意数值，但是一般 b_v 可以在一个离散的相位集合中取值，当这个集合的规模比较大时，对于分割为 V 个子序列的 PTS 方法来说， $\{b_v, v=1, 2, \dots, V\}$ 的取值有 P^V 种。每实施一次 PTS，就需要计算 V 个 N 点 IDFT 变换，则总共需要计算 $V \cdot P^V$ 个 IDFT 变换，每个 N 点的 IDFT 所需要的复数乘法和复数加法的运算量分别为：

$$n_{mul} = \frac{N}{2} \log_2 N$$

$$n_{add} = N \log_2 N$$

这对于 OFDM 系统来说，是一个非常沉重的负担。虽然可以通过限制 b_v 的取值，采用适当的分割方法和次优化算法来降低计算复杂度，但是 OFDM 系统的复杂度还是大大地增加了。

发明的内容

本发明目的在于避免上述已有技术的不足，通过分析 OFDM 系统 PAPR 问题产生的根本原因，从降低 OFDM 调制信号并行输入序列的自相关性入手，提出了一种无失真地有效降低 OFDM 系统 PAPR 的自回归 AR 模型方法，非常有效地降低了 OFDM 系统的实现复杂度。

实现本发明的 AR 模型方法的依据是 OFDM 调制信号的自相关性与 OFDM 系统 PAPR 之间的关系。OFDM 信号的瞬时功率 $P_c(t) = x(t)x^*(t)$ 为：

$$P_c(t) = 1 + \frac{2}{N} \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=1}^{N-1} e^{-j2\pi t} \sum_{n=0}^{N-1-k} c_n c_{n+k}^* \right\}$$

其中 $x(t)$ 为 OFDM 时域信号， N 为 OFDM 子载波数， c_n 为 OFDM 调制码元。对于任何复数 z 来说，存在不等式： $\operatorname{Re}(z) \leq |z|$ 以及 $|\sum z_n| \leq \sum |z_n|$ 。因此

$$P_c(t) \leq 1 + \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{N-1} |\rho(k)|$$

其中

$$\rho(k) = \sum_{n=0}^{N-1-k} c_n c_{n+k}^*, \quad (k = 0, 1, \dots, N-1),$$

$\rho(k)$ 表示非周期自相关系数， $|\rho(k)|$ 表示非周期自相关系数的模值。可见，如果输入数据符号的非周期自相关系数的模值比较小，则经过多载波组合之后所得到的信号的最大功率值也会较小，同时 OFDM 时域信号的幅值也会较小，因此 PAPR 就会变小。本发明的 AR 模型方法就是将 OFDM 调制信号并行输入序列转换成类似白噪声的信号，由于白噪声信号的自相关性很低，其非周期自相关系数的模值也很小，因此本方法可以有效地降低 OFDM 系统的 PAPR。

任何有理功率谱密度的随机信号都可以看成由一白噪声激励某一物理网络所形成，根据这一原理，我们可以应用其反过程，利用将 OFDM 调制信号转换成类似白噪声的信号，使得 OFDM 调制信号并行序列的自相关性降得很低，从而有效的降低 OFDM 系统的 PAPR。在本发明的 AR 模型方法中，随着 AR 模型阶数 p 的增加，PAPR 性能越来越好。本发明在 OFDM 系统中采用如下过程进行 PAPR 和系统复杂度的降低。

发送端

- (1) 根据 OFDM 系统参数，协调 PAPR 降低程度和系统复杂度，选择 AR 模型阶数 p ， p 为大于零小于子载波数 N 的整数，用来确定 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 中 a 的个数；
- (2) 根据已经选择的 AR 模型阶数 p 和 OFDM 并行输入序列，通过 Yule-Walker 方程确定 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 并确定 AR 模型传递函数；
- (3) 根据确定的 AR 模型传递函数，确定参数 M 使得 OFDM 信号的平均功率不变，并将 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和平均功率调整参数 M 组合成边带信息进行传输；
- (4) 根据 AR 模型传递函数和参数 M ，确定系统传递函数 $H(z)$ ；
- (5) 根据系统传递函数 $H(z)$ 确定差分方程；
- (6) 利用差分方程对 OFDM 符号进行变换，再将 OFDM 符号与边带信息 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M 组合后，经过 IFFT 变换发送出去。

接收端

- (1) 将接收到的信号进行 FFT 变换后，把原始 OFDM 符号与边带信息进行分离；
- (2) 将边带信息拆分为 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M ，并根据 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M 确定系统传递函数

$H(z)$;

(3) 利用传递函数 $H(z)$ 确定差分方程;

(4) 根据 $H(z)$ 确定的差分方程将分离得到的原始 OFDM 符号进行变换，转换成原始信号。

实现本发明上述方法的装置包括发送端和接收端，发送端的特点是增加了 AR 模型映射器；接收端的特点是增加了逆 AR 模型映射器；

发送端的 AR 模型映射器包括：AR 模型单元、平均功率调整参数单元、传递函数单元、差分方程单元、边带信息组合单元、组合单元；其中：

AR 模型单元，用于确定 AR 模型阶数 p ，并根据串并转换后的 OFDM 并行输入序列确定 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ ，从而确定 AR 模型传递函数，同时 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 构成传输的边带信息的第一部分；

平均功率调整参数单元，用于处理 AR 模型，确定使得 OFDM 信号平均功率保持不变的参数 M ， M 构成需要传输的边带信息的第二部分；

传递函数单元，用于处理 AR 模型单元和平均功率调整参数单元发出的数据，确定系统传递函数 $H(z)$ ；

差分方程单元，用于根据系统传递函数 $H(z)$ 确定差分方程，并对串并转换后的 OFDM 并行输入序列进行变换，使其变为类似白噪声的信号，降低其自相关性，从而降低了 OFDM 系统的 PAPR；

边带信息组合单元，用于将 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M 组合成边带信息进行传输；

组合单元，用于将一帧 OFDM 并行输入序列与边带信息组合成一个完整的 OFDM 符号，然后发送到 IFFT。

接收端的逆 AR 模型映射器包括分离单元、边带信息拆分单元、传递函数单元、差分方程单元；其中：

分离单元，用于将接收到的信号分离为两路信号，一路传输边带信息，一路传输原始的 OFDM 符号；

边带信息拆分单元，用于将边带信息拆分成 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M ；

传递函数单元，用于处理边带信息拆分单元发出的边带信息 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M ，并确定系统传递函数 $H(z)$ ；

差分方程单元，用于根据系统传递函数 $H(z)$ 确定差分方程，并对分离单元所分离的原始

OFDM 符号进行变换。

本发明与 PTS 方法相比，具有以下优点：

1、PTS 方法每实施一次 PTS 变换，就要进行 $V \cdot P^V$ 个 IFFT 变换，即使使用次优算法也要 $V \cdot P$ 个 IFFT 变换，而本发明的 AR 模型方法只需一次 IFFT 变换，大大地降低了系统复杂度；

2、PTS 方法需要通过迭代算法来进行最优边带信息的查找，大大增加了系统的运行时间，而本发明的 AR 模型方法只进行一次线性变换，简单快速；

3、对于子载波数 N 比较大(例如 $N=1024$)的 OFDM 系统，本发明的 AR 模型方法的 PAPR 性能和复杂度性能要优于 PTS 方法。

4、通过仿真结果可以看出，随着 p 值的增加，PAPR 性能越来越好。当 $p = N/3$ ，相对于原始的 OFDM 信号，AR 模型方法可以有大约 2.2dB 的改善。当达到相同的 PAPR 性能时，采用相邻分割方法，分割数 V 为 32，可供选择的加权数 W 为 2 的 PTS 方法至少需要 64 个 IFFT，而 AR 模型方法 ($p = N/20$) 仅仅需要一个 IFFT，显而易见，采用 AR 模型方法的 OFDM 系统的复杂度相对于 PTS 方法大大地降低了。

附图说明

图 1 是本发明提出的 AR 模型方法流程图

图 2 是本发明提出的 AR 模型方法 OFDM 系统框图

图 3 是本发明 AR 模型映射器框图

图 4 是本发明逆 AR 模型映射器框图

图 5 是本发明 AR 模型方法互补累计分布函数 CCDF 对比图

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 1，用于在 OFDM 系统中的本发明 AR 模型方法，按如下过程进行：

第一步，根据 OFDM 系统参数，协调 PAPR 降低程度和系统复杂度，选择 AR 模型阶数 p ；

OFDM 系统参数主要有：带宽、比特速率和时延扩展。

时延扩展直接决定保护间隔的长短，一般保护间隔的时间长度为时延扩展均方值的 2 到 4 倍。一旦确定了保护间隔，则符号周期长度就可以固定了，一般选择符号周期长度是保护间隔长度的 5 倍，这样由于插入保护间隔所造成的信噪比损耗只有 1dB 左右。确定了符号周期和保护间隔之后，子载波的数量可以直接利用 -3dB 带宽除以子载波间隔（即去掉保护间隔

之后的符号周期的倒数)得到。或者,可以利用所要求的比特速率除以每个子信道中的比特速率来确定子载波的数量。每个子信道中传输的比特速率可以由调制类型、编码速率和符号速率来确定。

子载波数量确定后,如果子载波数量较大(例如, $N=1024$),则系统实现复杂度会很大,为了有效降低系统实现复杂度,要牺牲部分 PAPR 性能,可以选择 AR 模型阶数 $p = N/20$;如果子载波数量较小(例如, $N=64$),则系统实现复杂度要相对较低,因此要尽量降低 PAPR,可以选择 AR 模型阶数 $p = N/10$ 或者 $p = N/3$ 。

第二步,根据 AR 模型阶数 p 和 OFDM 系统并行输入序列 $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$,通过 Yule-Walker 方程确定 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$,从而确定 AR 模型传递函数 $D(z)$,

$$D(z) = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}}$$

其中 a_k 为 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 内的元素;

第三步,根据 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 确定平均功率调整参数 M ,并将 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和平均功率调整参数 M 组合成边带信息进行传输;

$$M \approx \left| 1 + \sum_{k=1}^p a_k e^{-j\omega k} \right|$$

第四步,根据 AR 模型传递函数 $D(z)$ 和平均功率调整参数 M 确定系统传递函数 $H(z)$;

$$H(z) = \frac{M}{1 + \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}}$$

第五步,根据系统传递函数 $H(z)$ 确定 AR 模型映射器差分方程,

$$Mw(n) = x(n) + \sum_{k=1}^p a_k x(n-k) \quad k < n$$

其中 $w(n)$ 为变换后的类似白噪声信号, $x(n)$ 为输入的 OFDM 信号;

第六步,根据 AR 模型映射器差分方程对 OFDM 并行输入序列进行变换,再将 OFDM 符号与边带信息 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M 组合后,经过 IFFT 变换发送出去;

第七步,将接收到的信号进行 FFT 变换后,把原始 OFDM 符号与边带信息进行分离;

第八步,将边带信息拆分为 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M ,并根据 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M 确定系统传递

函数 $H(z)$ ；

第九步，根据系统传递函数 $H(z)$ 确定逆 AR 模型映射器差分方程；

$$x(n) = Mw(n) + \sum_{k=1}^p a_k x(n-k) \quad k < n$$

第十步，根据逆 AR 模型映射器差分方程对 FFT 变换后分离单元分离的原始 OFDM 并行序列进行变换，然后经过并串转换发送出去。

参照图 2，实现本发明方法的系统装置包括发送端和接收端。其特点是在发送端增加了 AR 模型映射器 4；在接收端增加了逆 AR 模型映射器 16。

正如图 3 所示，AR 模型映射器 4 由 AR 模型单元 19、平均功率调整参数单元 20、边带信息组合单元 21、传递函数单元 22、差分方程单元 23 和组合单元 24 组成。

正如图 4 所示，逆 AR 模型映射器 16 由分离单元 25、边带信息拆分单元 26、传递函数单元 27 和差分方程单元 28 组成。

根据图 2、图 3 和图 4 所示，本发明的装置实施 AR 模型方法来降低 OFDM 通信系统 PAPR 的工作过程如下：

一、OFDM 通信系统的发送端

随机信号发生器 1 产生的随机数据符号流作为 OFDM 信号，经过基带调制器 2 调制，可以采用 QAM 或 QPSK 调制，将 OFDM 信号映射为复数形式的信号，然后经过串并转换器 3 把 OFDM 调制信号转化为并行输入信号，即分配到传输速率相对较低的 N 个信道中进行传输，再对 N 个并行输入信号进行 AR 模型映射器 4 的映射，将并行输入信号变换为类似白噪声的信号，最大限度地降低其自相关性，从而有效降低 OFDM 系统的 PAPR，经过 IFFT 5 变换，将频域信号转变为时域信号，再通过并串转换器 6 将并行数据流转换为串行数据流，为了最大限度地消除符号间干扰（ISI），还要通过保护间隔插入器 7 在每一个 OFDM 符号之间插入保护间隔，保护间隔器 7 输出的数据流经过数模转换器 8，将数字信号转换为模拟信号，再经过低通滤波器 9 滤波，输出的信号发送到信道 10，该信道可以是有线信道也可以是无线信道，如果是无线信道，则需对低通滤波器 9 输出的数据进行上变频处理，例如采用加性高斯白噪声（AWGN）信道。

在 AR 模型映射器 4 内，OFDM 并行输入信号首先经过 AR 模型单元 19 确定 AR 模型传递函数，再通过平均功率调整参数单元 20 确定参数 M ，根据 AR 模型传递函数和平均功率调整参数 M 通过传递函数单元 22 确定 AR 模型映射器传递函数 $H(z)$ ，然后根据 AR 模型映射器传递函数 $H(z)$ 通过差分方程单元 23 确定差分方程，通过差分方程来对 OFDM 并行输入信号进

行变换，转变成类似白噪声的信号，这样 OFDM 并行输入信号的自相关性就大大地被降低了，从而间接地降低了 OFDM 系统的 PAPR，而且此变换过程都是线性的，因而不会增加系统复杂度太多。另外通过边带信息组合单元 21 将 AR 模型参数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和平均功率调整参数 M 组合在一起作为边带信息发送到组合单元 24，通过组合单元 24 将差分方程单元 23 变换的 OFDM 并行信号与边带信息组合为一个完整的 OFDM 信号发送到 IFFT5。

二、OFDM 通信系统的接收端

在 OFDM 通信系统接收端，首先将经过信道传输后接收到的信号通过低通滤波器 16 进行滤波，再经过模数转换器 12 将模拟信号转换为数字信号，再经过保护间隔去除器 13 去除保护间隔后，将数据送入串并转换器 14，经过 FFT15 变换后，将时域信号转换为频域信号，再通过逆 AR 模型映射器 16 对接收到的并行信号进行恢复，然后通过并串转换器 17 将并行数据流转换为串行数据流，最后经过基带解调器 18 将串行数据流解调为所要接收的 OFDM 信号发出。

在逆 AR 模型映射器 16 内，首先 FFT15 变换后的信号被发送到分离单元 25，将原始 OFDM 符号与边带信息进行分离，然后将边带信息通过边带信息拆分单元 26 进行拆分，再通过传递函数单元 27 确定 AR 模型映射器传递函数，最后经过差分方程单元 28 确定数据变换所需的逆 AR 模型映射器差分方程，对分离单元分离的原始 OFDM 符号进行变换，并发送到并串转换器 17。

本发明的效果可以通过图 5 进一步说明。

仿真 1

为了说明本发明相对于 PTS 方法大大地降低 OFDM 系统复杂度的优点，图 5 给出了 AR 模型方法 OFDM 系统相对于 PTS 方法的互补累积分布函数 CCDF 曲线。互补累积分布函数，即计算峰均功率比超过某一门限值的概率，其数学表达式为：

$$\Pr\{PAPR > PAPR_0\} = 1 - (1 - e^{-PAPR_0})^N$$

$$PAPR_0 > 0$$

仿真条件如下：OFDM 信号由随机信号源产生，4QAM 调制，子载波数为 1024，采用 4096 点 IFFT，即 4 倍过采样。

从图 5 可以看到，随着 p 值的增加，当达到相同的 PAPR 值时，AR 模型方法 OFDM 系统的 CCDF 值越来越小，即 PAPR 性能越来越好。当 $p = N/3$ ， $CCDF=10^{-3}$ 时，相对于原始的 OFDM 信号，AR 模型方法可以有大约 2.2dB 的改善。另外图中还仿真了采用相邻分割方法，分割数 V 为 32，可供选择的加权数 W 为 2 的 PTS 方法 CCDF 曲线，对比分析 AR

模型方法 CCDF 曲线和 PTS 方法 CCDF 曲线可知，当达到相同的 PAPR 性能时，AR 模型方法的 OFDM 系统复杂度大大低于 PTS 方法的 OFDM 系统复杂度，例如，当 $CCDF=10^{-3}$ ，CCDF 值大约为 10.1dB 时，采用相邻分割方法，分割数 V 为 32，可供选择的加权数 W 为 2 的 PTS 方法至少需要 64 个 IFFT，而 AR 模型方法 ($p = N/20$) 仅仅需要一个 IFFT，这样 OFDM 系统的复杂度大大地降低了，而 PAPR 性能却没有变。另外，AR 模型是一个线性模型，因此不会太多地增加系统复杂度。

只要接收端能够正确的接收边带信息 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 M ，AR 模型方法 OFDM 系统的误码率性能就不会有太大的降低。

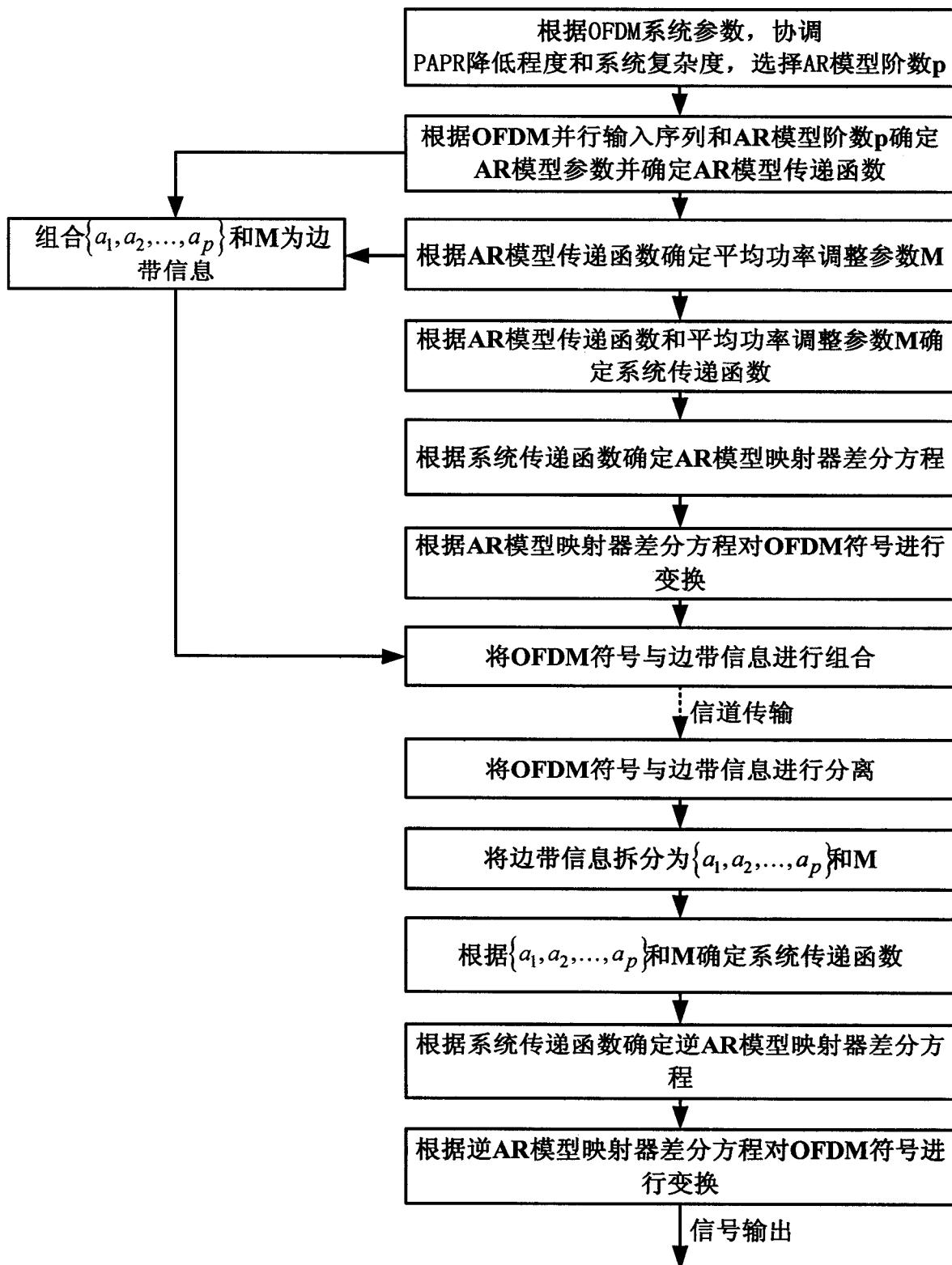


图 1

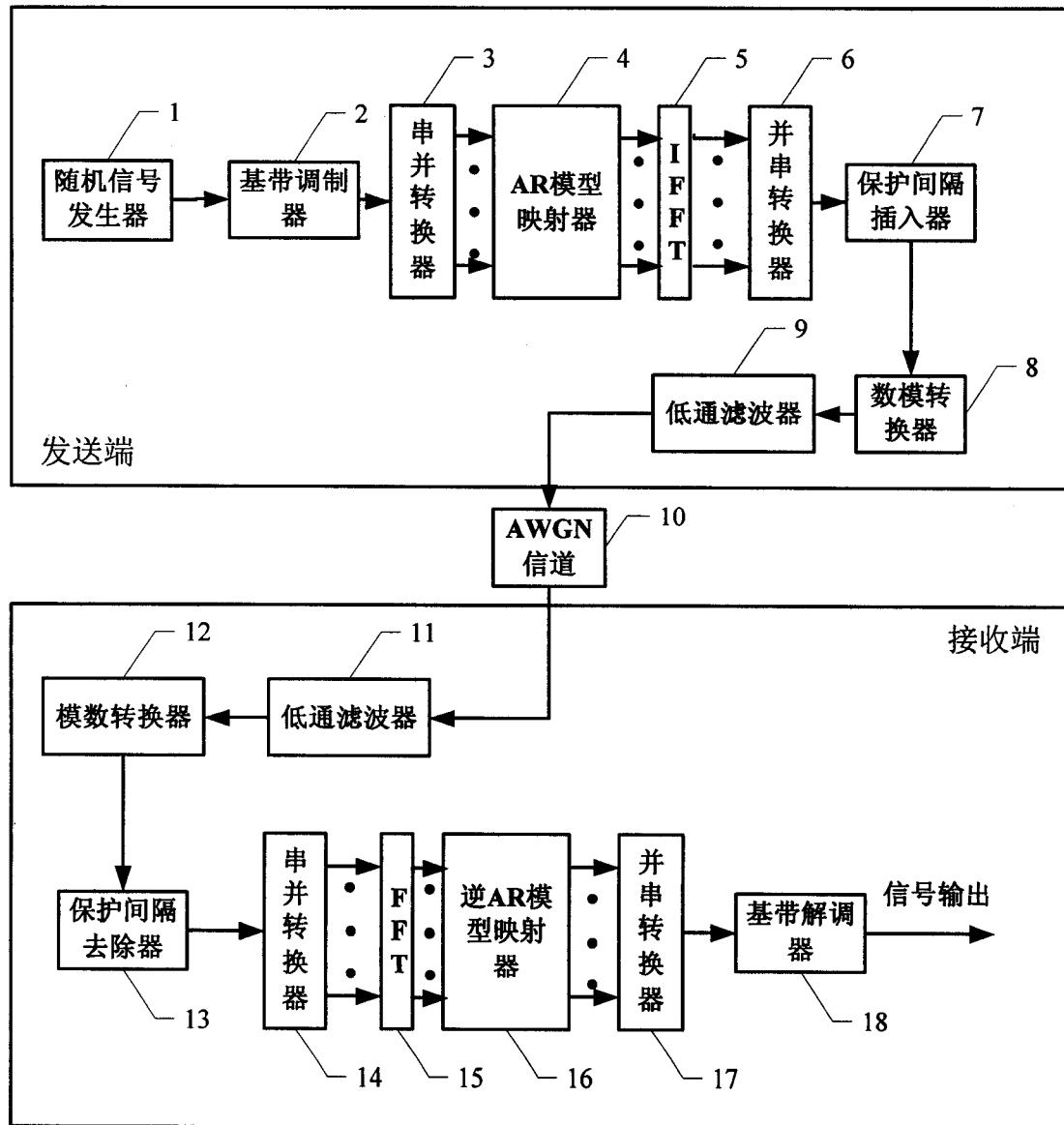


图 2

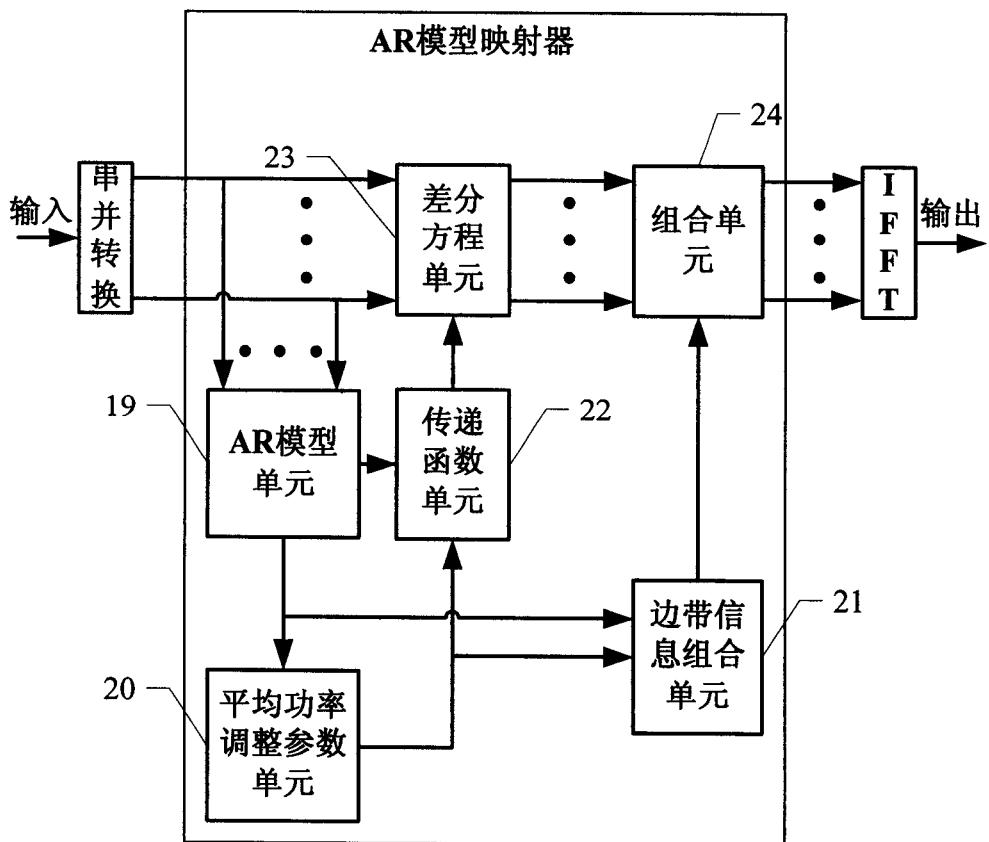


图 3

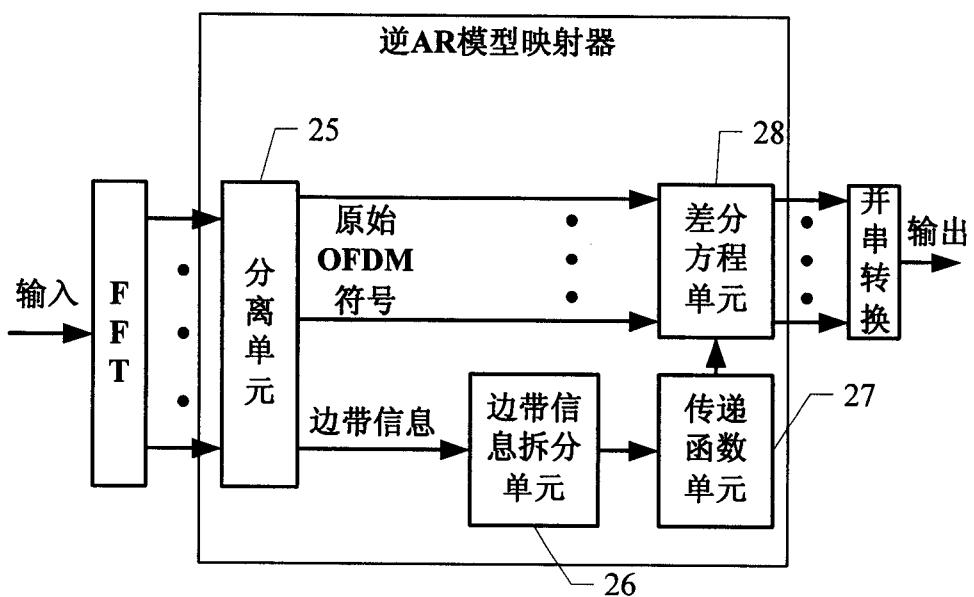


图 4

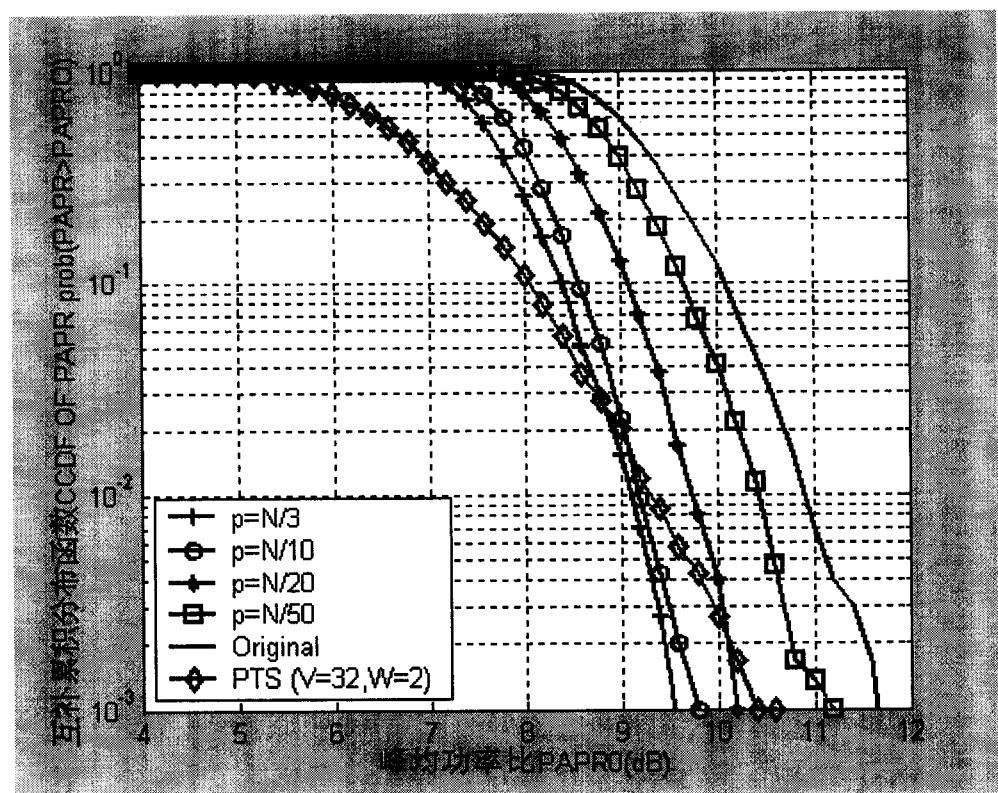


图 5