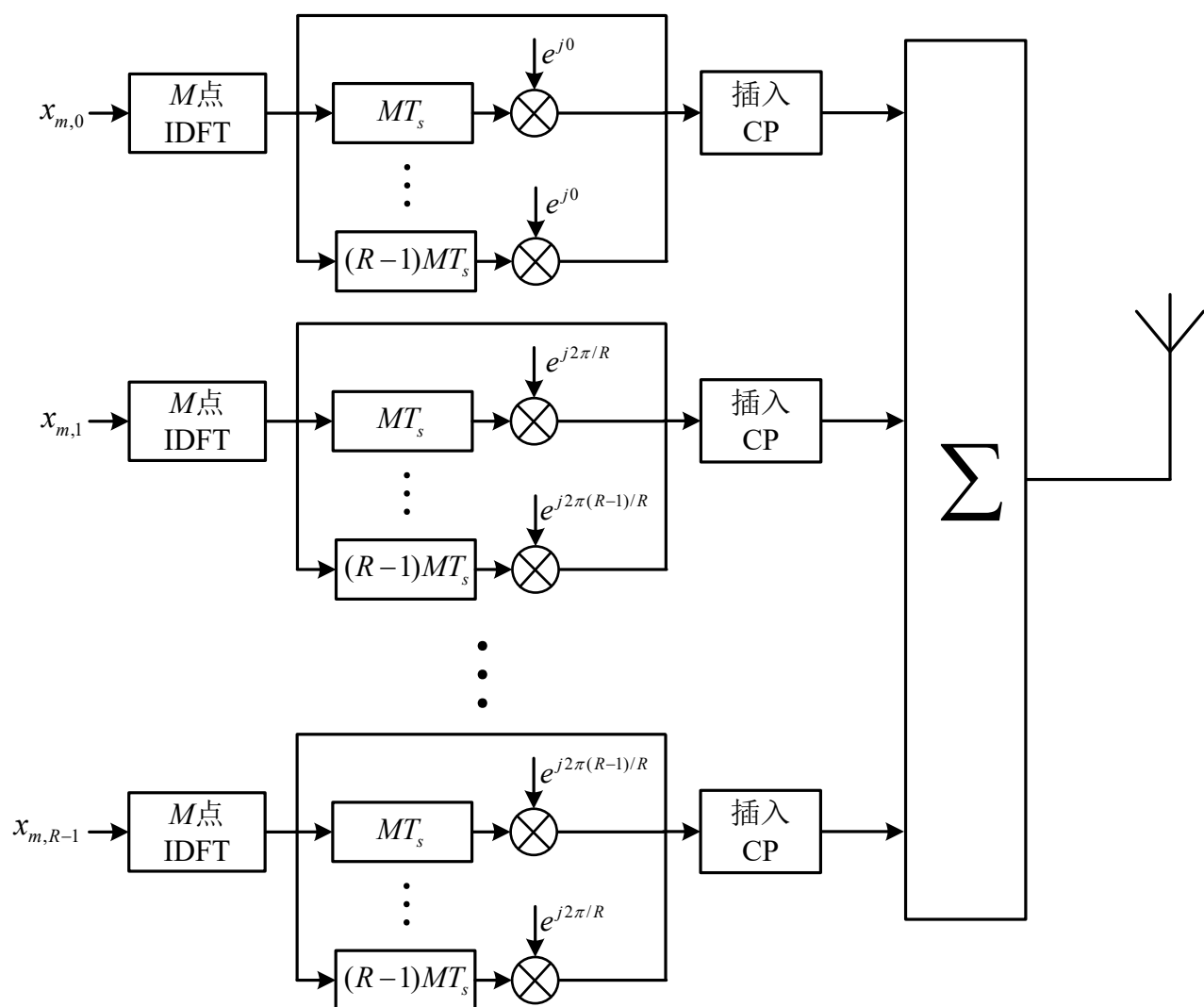


说明书摘要

本发明公开了一种基于循环前缀的多载波方法及系统，属于通信技术领域，包括：同步对各正交支路中第 m 个子载波发送符号进行离散傅里叶反变换，获取时域发送信号；同步对各正交支路上传输的时域发送信号均依次延迟 rT ，并乘以对应相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ，获取各正交支路上的时域正交信号；同步对各正交支路上获取的时域正交信号叠加后进行循环前缀处理，获取发送端的发射信号；其中， r 为整数集合 $[0, K]$ ； T 为符号周期； K 大于等于正交支路的个数 R ； p 为正交支路的序号。本发明提供的正交支路传输的每个发送符号重复延迟 K 次，只需在每隔 KM 个采样点插入一段 CP，且正交支路的最大个数不大于预设的延迟系数，因此，本发明在降低多载波通信系统 CP 开销的同时并没有增加系统误码率。

摘要附图



权 利 要 求 书

1、一种基于循环前缀的多载波方法，其特征在于，包括：

(1) 同步对各正交支路中所有子载波发送符号进行离散傅里叶反变换，获取时域发送信号；

(2) 同步对各正交支路上传输的时域发送信号均依次延迟 rT ，并乘以对应相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ，获取各正交支路上的时域正交信号；

(3) 同步对各正交支路上获取的时域正交信号叠加后进行循环前缀处理，获取发送端的发射信号；

其中， r 为整数集合 $[0, K]$ ； K 为预设的延迟系数； T 为符号周期； K 大于等于正交支路的个数 R ； p 为正交支路的序号。

2、根据权利要求 1 所述的多载波方法，其特征在于，所述预设的延迟系数 K 等于正交支路的个数 R 。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的多载波方法，其特征在于，所述发射信号在接收端转换为接收信号，且所述接收信号的解调过程为：

S1 将所述接收信号转换为去除循环前缀的频域接收信号后进行信道均衡；

S2 判断所述信道均衡后正交支路的序号是否为 0，若是，则信道均衡后的第 mR 位置处的均衡信号为第 0 个正交支路的发送符号，否则，转至步骤 S3；

S3 提取序号为 $mR + p$ 处的均衡信号为第 p 个正交支路的发送信号；

S4 将步骤 S3 获取的发送信号进行离散傅里叶反变换后以一个符号周期为单位分段；

S5 分段后的发送信号均乘以对应的相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ 后进行离散傅里叶变换，获取各正交支路的符号解调。

4、根据权利要求 3 所述的多载波方法，其特征在于，所述 S1 具体包

括：

S 1.1 去除接收信号中的循环前缀；

S 1.2 对去除循环前缀的接收信号进行离散傅里叶变换，获取去除循环前缀的频域接收信号；

S 1.3 对去除循环前缀的频域接收信号信道均衡。

5、一种基于循环前缀的多载波系统，其特征不在于，包括：顺次连接的载波加载器、正交支路、第一傅里叶反变换器、信号延迟器和循环前缀处理器；

所述正交支路用于同步传输发送符号；所述载波加载器用于将所述发送符号加载在所述正交支路上；所述第一傅里叶反变换器用于将所述各正交支路中传输的发送符号进行离散傅里叶反变换；所述信号延迟器用于将时域发送信号依次延迟 rT ，并乘以对应相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ，获取各正交支路上的时域正交信号；所述循环前缀处理器用于对各正交支路上获取的时域正交信号叠加后循环前缀处理，获取发射信号；

其中， r 为整数集合 $[0, K]$ ； K 为预设的延迟系数； T 为符号周期； K 大于等于正交支路的个数 R ； p 为正交支路的序号。

6、根据权利要求5所述的多载波系统，其特征不在于，所述预设的延迟系数 K 等于正交支路的个数 R 。

7、根据权利要求5或6所述的多载波系统，其特征不在于，还包括顺次连接的接收器、去循环前缀处理器、第一傅里叶变换器、信道均衡器、提取模块、第二傅里叶反变换器、相位调制器、第二傅里叶变换器；

所述接收器用于接收发射信号，并将其转换为接收信号；所述去循环前缀处理器用于去除所述接收信号中的循环前缀；所述第一傅里叶变换器用于对去除循环前缀的发射信号进行离散傅里叶变换；所述信道均衡器用于对去除循环前缀的频域发射信号信道均衡；所述提取模块用于判断正交

支路的序号是否为 0，若是，将提取均衡后的第 mR 位置处的均衡信号为第 0 个正交支路的发送符号；否则，提取序号为 $mR + p$ 处的均衡信号为第 p 个正交支路的发送信号；所述第二傅里叶反变换器用于将第 p 个正交支路的发送信号进行离散傅里叶反变换，获取时域发送信号；所述相位调制器用于将时域发送信号以一个符号周期为单位分段后乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ；所述第二傅里叶变换器用于对乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ 的发送信号进行离散傅里叶变换，获取各正交支路的符号解调。

说明书

一种基于循环前缀的多载波方法及系统

技术领域

本发明属于通信技术领域，更具体地，涉及一种基于循环前缀的多载波方法及系统。

背景技术

多载波通信技术，尤其是正交频分复用（OFDM）通信技术已经被广泛应用于无线通信中。OFDM 技术的一个显著缺点是每一个 OFDM 符号都需要插入一个循环前缀（CP），以能够有效抵抗多径衰落信道的影响，然而每个 OFDM 符号中 CP 的插入，显著降低了多载波通信系统的能量效率和频谱效率。目前，降低多载波通信的 CP 开销的方法主要包括两类：

（1）迭代法，“P. Torres and A. Gusmao, “Iterative receiver technique for reduced-CP, reduced-PMEPR OFDM transmission,” IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1981-1985, May 2007,”公开直接降低 CP 的长度会引入符号间干扰和载波间干扰。此方法不仅复杂度较高，而且不能完全消除载波间干扰和符号间干扰，在采用高码率的调试方式时，会导致多载波通信系统误码率增加。

（2）滤波器法，“P. Siohan, C. Siclet and N. Lacaille, “Analysis and design of OQAM-OFDM systems based on filterbank theory,” IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 50, no. 5, pp. 1170-1183, May. 2002”公开多载波通信系统每个子载波的发送符号都经过一个具有时频二维聚焦性的原型滤波器，由于非矩形窗滤波器的采用，该多载波通信系统不能插入循环前缀。然而，该多载波通信系统不能有效对抗多径衰落信道，在多载波通信系统带宽较大的情况下，多载波通信系统干扰很大，误码率很差。

(3) 预编码 OFDM, “X.-G. Xia, “Precoded and vector OFDM robust to channel spectral nulls and with reduced cyclic prefix length in single transmit antenna systems,” IEEE Transactions on Communications, vol. 49, no. 8, pp. 1363-1374, Aug. 2001”公开多载波通信系统将多个符号进行预编码, 预编码矩阵为单位矩阵, 并截取尾部一段信号构成循环前缀经发射天线发送, 在接收端可以通过信道对角化处理简化接收机复杂度。该多载波通信系统能够大大降低 OFDM 技术的 CP 开销, 且不影响误码率性能。然而, 在多载波通信系统接收端, 虽然信道对角化处理能够降低复杂度, 但是接收机的复杂度依然比较大。

综上所述, 当前多载波系统降低 CP 开销方法的缺点包括: 多载波通信系统误码率增加或复杂度大。

发明内容

针对现有技术的缺陷, 本发明的目的在于提供一种基于循环前缀的多载波方法及系统, 旨在解决现有的降低多载波通信系统 CP 开销的方法存在系统误码率增加的问题。

为实现上述目的, 一方面, 本发明提供了一种基于循环前缀的多载波方法, 包括:

(1) 同步对各正交支路中所有子载波发送符号进行离散傅里叶反变换, 获取时域发送信号;

(2) 同步对各正交支路上传输的时域发送信号均依次延迟 rT , 并乘以对应相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$, 获取各正交支路上的时域正交信号;

(3) 同步对各正交支路上获取的时域正交信号叠加后进行循环前缀处理, 获取发送端的发射信号;

其中, r 为整数集合 $[0, K]$; K 为预设的延迟系数; T 为符号周期; K 大于等于正交支路的个数 R ; p 为正交支路的序号。

优选地, 预设的延迟系数 K 等于正交支路的个数 R ;

优选地，发射信号在接收端转换为接收信号，且接收信号的解调过程为：

- a. 去除接收信号中的循环前缀；
- b. 对去除循环前缀的接收信号进行离散傅里叶变换，获取去除循环前缀的频域接收信号；
- c. 对去除循环前缀的频域接收信号信道均衡；
- d. 判断信道均衡后正交支路的序号是否为 0，若是，则均衡后的第 mR 位置处的均衡信号为第 0 个正交支路的发送符号；否则，转至步骤 e；
- e. 提取序号为 $mR + p$ 处的均衡信号为第 p 个正交支路的发送信号；
- f. 将获取的发送信号进行离散傅里叶反变换，获取时域发送信号；
- g. 对时域发送信号以一个符号周期为单位分段；
- h. 分段后的发送信号均乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ；
- i. 对乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ 的发送信号进行离散傅里叶变换，获取各正交支路的符号解调。

另一方面，本发明提供了一种基于循环前缀的多载波系统，包括：正交支路、载波加载器、第一傅里叶反变换器、信号延迟器和循环前缀处理器；

正交支路的输入端连接载波加载器；正交支路的输出端顺次与第一傅里叶反变换器、信号延迟器和循环前缀处理器连接；

正交支路用于同步传输发送符号；载波加载器用于将发送符号加载在正交支路上；第一傅里叶反变换器用于将各正交支路中传输的发送符号进行离散傅里叶反变换，获取时域发送信号；信号延迟器用于将时域发送信号依次延迟 rT ，并乘以对应相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ，获取各正交支路上的时域正交信号；循环前缀处理器用于对各正交支路上获取的时域正交信号叠加后循环前缀处理，获取发射信号；

其中, r 为整数集合 $[0, K]$; K 为预设的延迟系数; T 为符号周期; K 大于等于正交支路的个数 R ; p 为正交支路的序号。

优选地, K 等于正交支路的个数 R ;

优选地, 基于循环前缀的多载波系统还包括: 顺次连接的接收器、去循环前缀处理器、第一傅里叶变换器、信道均衡器、提取模块、第二傅里叶反变换器、相位调制器、第二傅里叶变换器;

去循环前缀处理器用于去除发射信号中的循环前缀; 第一傅里叶变换器用于对去除循环前缀的发射信号进行离散傅里叶变换, 将其从时域信号转换为频域信号; 信道均衡器用于对去除循环前缀的频域发射信号信道均衡; 提取模块用于判断正交支路的序号是否为 0, 若是, 将提取均衡后的第 mR 位置处的均衡信号为第 0 个正交支路的发送符号; 否则, 提取序号为 $mR + p$ 处的均衡信号为第 p 个正交支路的发送信号; 第二傅里叶反变换器用于将第 p 个正交支路的发送信号进行离散傅里叶反变换, 获取时域发送信号; 相位调制器用于将时域发送信号以一个符号周期为单位分段后乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$; 第二傅里叶变换器用于对乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ 的发送信号进行离散傅里叶变换, 获取各正交支路的符号解调。

通过本发明所构思的以上技术方案, 与现有技术相比, 能够取得以下有益效果:

(1) 本发明提供的基于循环前缀的多载波方法及系统, 其发送端具有多个正交支路, 可以同时传输多个符号, 正交支路的最大个数不大于预设的延迟系数 K , 获取重复符号, 否则多载波通信系统易出现干扰, 且该多载波系统中各正交支路的重复符号经过离散傅里叶变换后分别乘以相位因子, 不同正交支路的相位因子是正交的以保证符号的无干扰传输, 同时假设有 R 个正交支路, 每个正交支路上包含 M 个子载波, 传统的 OFDM 需每隔 M 个采样点插入一段 CP, 而本发明由于采用正交支路传输的每个发送符

号重复延迟 K 次，只需每隔 KM 个采样点插入一段 CP，因此，本发明在降低多载波通信系统 CP 开销的同时并没有增加系统误码率。

(2) 本发明由于不同正交支路发送符号的接收信号在时域上是分开的，因此，为了恢复正交支路上的发送符号，需要进行信号提取，由于不同正交支路的信号在时间上是分离的，因此，不同正交支路的发送符号可以独立进行解调，而不用联合求解，降低了复杂度；在进行信号提取后，在进行 DFT（离散傅里叶变换）、乘以相位因子以及 IDFT（离散傅里叶反变换）可实现符号解调，由于 IDFT 可以由 FFT 实现，实现复杂度低，因此，该多载波系统的接收端具有较低的实现复杂度。

(3) 本发明采用预设的延迟系数 K 等于正交支路的个数 R ，其主要原因当预设的延迟系数 K 小于正交支路的个数 R 时，会导致多载波通信系统易出现干扰，无法对发送符号进行解调，当预设的延迟系数 K 大于正交支路的个数 R 时，将会带来时间上的浪费，使其系统的能量效率和频谱效率降低，因此，当预设的延迟系数 K 等于正交支路的个数 R 时，可确保不降低系统的能量效率和频谱效率外还能保证系统误码率的不增加。

附图说明

图 1 是实施例提供的基于循环前缀的多载波方法；

图 2 是实施例提供的基于图 1 的发射信号的解调过程示意图。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

一方面，本发明提供了一种基于循环前缀的多载波方法，包括：

(1) 同步对各正交支路中所有子载波发送符号进行离散傅里叶反变换，获取时域发送信号；

预设每个正交支路对应 M 个子载波，第 m 个子载波对各正交支路上加

载发送符号 $x_{m,p}$ ，发送符号 $x_{m,p}$ 通过 M 点 IDFT（离散傅里叶反变换）生成发送信号；其中， m 为子载波序号； p 为正交支路的序号； M 、 m 和 p 为大于等于 0 的整数；

（2）同步对各正交支路上传输的时域发送信号均依次延迟 rT ，并乘以对应相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ，获取各正交支路上的时域正交信号；

对某一正交支路上的一个时域发送信号依次经过 $0, MT_s, 2MT_s, \dots, KMT_s$ 延迟，并对应乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ，其中， $T = MT_s$ ， T_s 为采样间隔， r 为整数集合 $[0, K]$ ； K 为预设的延迟系数； T 为符号周期； K 大于等于正交支路的个数 R ；

（3）同步对各正交支路上获取的时域正交信号叠加后进行循环前缀处理，获取发射信号。

对延迟后的时域正交信号叠加形成扩展时域正交信号，截取扩展时域正交信号尾部一段信号插入扩展时域正交信号的起始位置形成循环前缀，获取发射信号经发射天线发送。

优选地，预设的延迟系数 K 等于正交支路的个数 R ；

优选地，发射信号在接收端转换为接收信号，且接收信号的解调过程为：

- a. 去除接收信号中的循环前缀；
- b. 对去除循环前缀的接收信号进行 KM 点离散傅里叶变换，获取去除循环前缀的频域接收信号；
- c. 对去除循环前缀的频域发射信号信道均衡；
- d. 判断信道均衡后正交支路的序号是否为 0，若是则均衡后的第 mR 位置处的均衡信号为第 0 个正交支路的发送符号；否则，转至步骤 e；
- e. 提取序号为 $mR + p$ 处的均衡信号为第 p 个正交支路的发送信号；
- f. 将步骤 e 获取的发送信号进行离散傅里叶反变换，获取时域发送信

号；

g. 对时域发送信号以一个符号周期为单位分段；

h. 分段后的发送信号均乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ；

i. 对乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ 的发送信号进行离散傅里叶变换，获取各正交支路的符号解调。

另一方面，本发明提供了一种基于循环前缀的多载波系统，包括：正交支路、载波加载器、第一傅里叶反变换器、信号延迟器和循环前缀处理器；

各正交支路连接载波加载器；正交支路的输出端顺次与第一傅里叶反变换器、信号延迟器和循环前缀处理器连接；

正交支路用于同步传输发送符号；载波加载器用于将发送符号加载在正交支路上；第一傅里叶反变换器用于将各支路中传输的发送符号进行离散傅里叶反变换，获取时域发送信号；信号延迟器用于将时域发送信号依次延迟 rT ，并乘以对应相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ，获取各正交支路上的时域正交信号；循环前缀处理器用于对各正交支路上获取的时域正交信号叠加后循环前缀处理，获取发射信号；

其中， r 为整数集合 $[0, K]$ ； K 为预设的延迟系数； T 为符号周期； K 大于等于正交支路的个数 R ； p 为正交支路的序号。

优选地， K 等于正交支路的个数 R ；

优选地，基于循环前缀的多载波系统还包括：顺次连接的接收器、去循环前缀处理器、第一傅里叶变换器、信道均衡器、提取模块、第二傅里叶反变换器、相位调制器、第二傅里叶变换器；

接收器用于接收发射信号，并将其转换为接收信号；去循环前缀处理器用于去除接收信号中的循环前缀；第一傅里叶变换器用于对去除循环前缀的接收信号进行离散傅里叶变换，将其从时域信号转换为频域信号；信

道均衡器用于对去除循环前缀的频域接收信号信道均衡；提取模块用于判断正交支路的序号是否为 0，若是，将提取均衡后的第 mR 位置处的均衡信号为第 0 个正交支路的发送符号；否则，提取序号为 $mR + p$ 处的均衡信号为第 p 个正交支路的发送信号；第二傅里叶反变换器用于将第 p 个正交支路的发送信号进行离散傅里叶反变换，获取时域发送信号；相位调制器用于将时域发送信号以一个符号周期为单位分段后乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ ；第二傅里叶变换器用于对乘以相位因子 $e^{j2\pi rp/R}$ 的发送信号进行离散傅里叶变换，获取各正交支路的符号解调。

实施例

实施例是提供一个有 2048 个子载波的多载波系统，其中符号映射方式采用 4QAM 映射方式，每个符号最大重复次数 $R=2$ ，最大正交支路的个数为 2。令发送符号为 $a_{m,p}$ ，其中 $0 \leq m < 2048$ 为子载波的序号， $0 \leq p < 2$ 为正交支路的序号。

如图 1 所示，实施例提供了基于循环前缀的多载波方法，具体如下：

(1) 发送端对每一个正交支路，频域符号 $x_{m,p}$ 经过 2048 点的 IDFT 操作生成时域信号 $s_p(n) = \sum_{m=0}^{2047} a_{m,p} e^{j2\pi mn/2048}$ ，所述 n 、 m 和 p 为整数序号且 $0 \leq n < 2048$ 和 $0 \leq p < 2$ ；

(2) 对每个正交支路，分别对 IDFT 后产生的时域信号 $s_p(n)$ 延迟 rT ， $r \in [0, 1]$ 的整数集合， T 为符号周期；

(3) 分别对步骤 (2) 产生的信号乘以相应的相位因子，可以表述为 $\hat{s}_p(2048r + n) = s_p(n) e^{j2\pi rp/2}$ ；

(4) 截取信号 $\hat{s}_p(n)$ 尾部的一段信号，并插入起始位置形成循环前缀，最终经发射天线发送；

如图 2 所示，实施例提供了接收信号的解调过程，具体如下：

(5) 在接收端，将接收到的信号截去前部的循环前缀；

(6) 对步骤 (5) 得到的信号进行 DFT，DFT 的长度为 2 倍的 2048，然后对获得信号进行频域信道均衡，得到 $r(n)$ ；对于 $p=0$ ，频域均衡后 mR 位置处的信号为被恢复的第 0 个正交支路的发送符号 $\hat{a}_{m,0}=r(2m)$ ，对于 $p \geq 1$ ，符号解调转入步骤 (7) - 步骤 (9)；

(7) 分别针对每个正交支路的符号，进行信号提取，对于第 p 个正交支路，提取序号 $2m+p$ 处的信号 $r(2m+p)$ ，信号的其他位置为 0，即 $r(2m+q)$ 置 0，其中 $q \neq p$ ；

(8) 对步骤 (7) 得到的信号进行 4096 点 IDFT，可得信号 $\hat{r}(n)$ ，其中 $n=0,1,\dots,4095$ ，然后将信号以一个符号周期为单位进行分段，如果要恢复第 p 个正交支路的发送符号时，则乘以第 p 个正交支路的相位因子 $e^{-j2\pi p/2}$ 。信号 $\hat{r}(0), \hat{r}(1), \dots, \hat{r}(2047)$ 乘以相位因子 $e^{-j2\pi 0 p/2}$ ，信号 $\hat{r}(2048), \hat{r}(2049), \dots, \hat{r}(4095)$ 乘以相位因子 $e^{-j2\pi p/2}$ ；

(9) 对步骤 (8) 所得信号分别进行 4096 点 DFT，可以实现每个正交支路的符号解调。

综上所述，本发明提供的基于循环前缀的多载波方法及系统，其发送端具有多个正交支路，可以同时传输多个符号，正交支路的最大个数不大于预设的延迟系数 K ，获取重复符号，否则多载波通信系统易出现干扰，且该多载波系统中各正交支路的重复符号经过离散傅里叶变换后分别乘以相位因子，不同正交支路的相位因子是正交的以保证符号的无干扰传输，同时假设有 R 个正交支路，每个正交支路上包含 M 个子载波，传统的 OFDM 需每隔 M 个采样点插入一段 CP，而本发明由于采用正交支路同时每个发送符号重复延迟 K 次，只需在每隔 KM 个采样点插入一段 CP，因此，本发明在降低多载波通信系统 CP 开销的同时并没有增加系统误码率。

本发明由于不同正交支路发送符号的接收信号在时域上是分开的，因

此，为了恢复正交支路上的发送符号，需要进行信号提取，由于不同正交支路的信号在时间上是分离的，因此，不同正交支路的发送符号可以独立进行解调，而不用联合求解，降低了复杂度；在进行信号提取后，在进行 DFT（离散傅里叶变换）、乘以相位因子以及 IDFT（离散傅里叶反变换）可实现符号解调，由于 IDFT 可以由 FFT 实现，实现复杂度低，因此，该多载波系统的接收端具有较低的实现复杂度。

本发明采用预设的延迟系数 K 等于正交支路的个数 R ，其主要原因为当预设的延迟系数 K 小于正交支路的个数 R 时，会导致多载波通信系统易出现干扰，无法对发送符号进行解调，当预设的延迟系数 K 大于正交支路的个数 R 时，将会带来时间上的浪费，使其系统的能量效率和频谱效率降低，因此，当预设的延迟系数 K 等于正交支路的个数 R 时，可确保不降低系统的能量效率和频谱效率外还能保证系统误码率的不增加。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

说明书附图

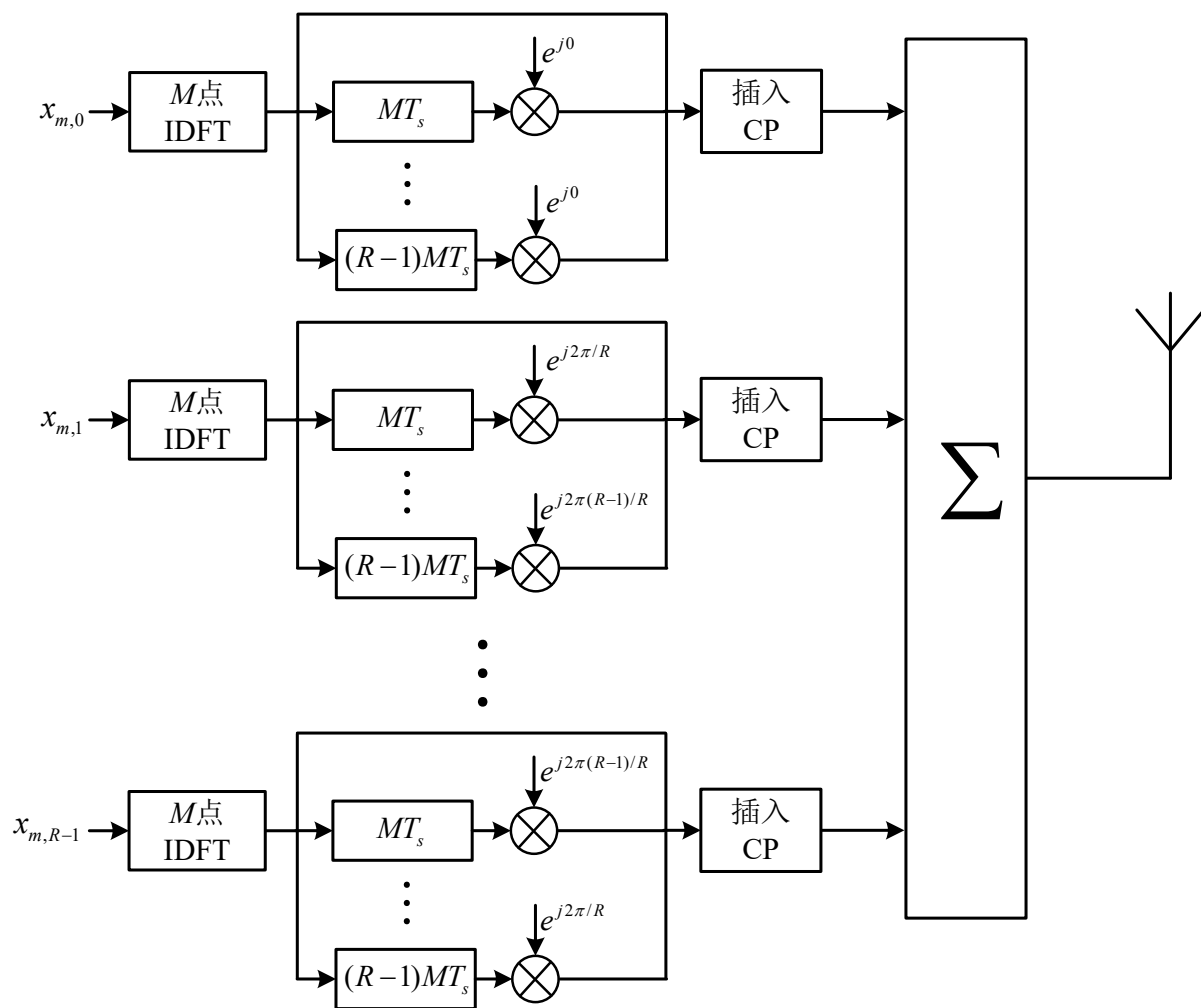


图 1

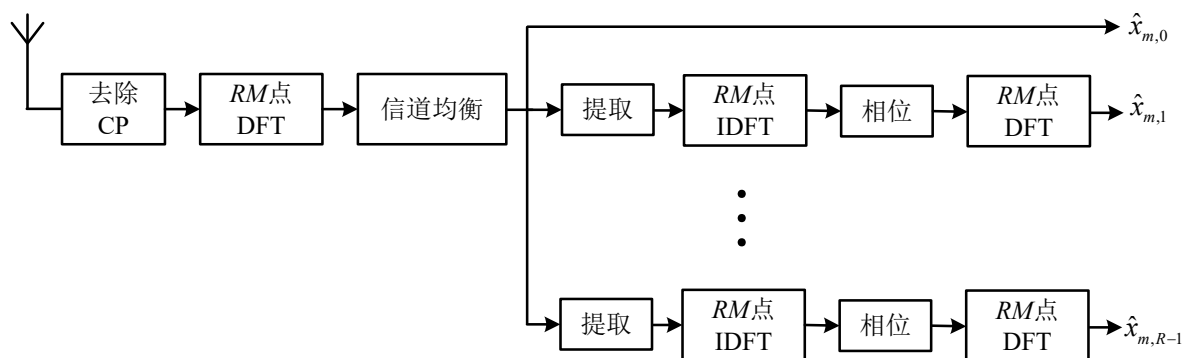


图 2