



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118764355 B

(45) 授权公告日 2025. 02. 25

(21) 申请号 202411238242.4
(22) 申请日 2024.09.05
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 118764355 A

(43) 申请公布日 2024.10.11
(73) 专利权人 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 刘博 任建新 毛雅亚 陈国庆
吴翔宇 宋秀敏 吴泳锋 孙婷婷
赵立龙 戚志鹏 李莹 王凤
哈特

(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 俞翠华

(51) Int.Cl.
H04L 27/26 (2006.01)
H04B 10/516 (2013.01)
H04B 10/60 (2013.01)

(56) 对比文件
WO 2018173466 A1, 2018.09.27
US 2018041327 A1, 2018.02.08
审查员 马小瑜

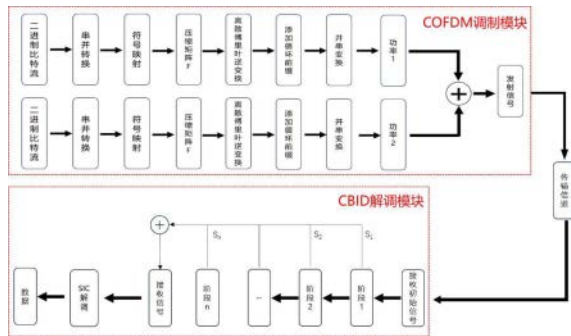
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种光信号发送方法、光信号接收方法、光
纤信道发送端及接收端

(57) 摘要

本发明提供一种光信号发送方法、光信号接收方法、光纤信道发送端及接收端,方法包括将获取的数据信号转换为频域OFDM信号;根据频域OFDM信号及分数阶离散傅里叶压缩变换矩阵生成时域基带OFDM信号;使用正交频分复用技术对时域基带OFDM信号进行子载波映射,生成子载波序列;对子载波序列进行离散傅里叶逆变换,生成时域序列;通过非正交多址接入技术将时域序列中的时域基带OFDM信号转化为功率复用信号;接收和检测功率复用信号,进行减小噪声和串扰处理后,进行解调操作还原数据信号。实现了频谱的高效压缩,确保了压缩频谱的准确复原,不仅提升了通信系统的传输容量,解决了现有技术中频谱效率低和信号失真的问题。



$$R_i = S_i + \sum_{q=1, q \neq p}^{Num} c_{pq} S_q + W_i \quad (3);$$

式中, R_i 表示第 i 个处理后的功率复用于信号, S_i 表示功率复用信号 S 中的第 i 个功率复用于信号, S_q 代表除去 S_i 的其余信号中的第 q 个功率复用于信号, $\sum_{q=1, q \neq p}^{Num} c_{pq} S_q$ 代表功率复用于信号 S_q 造成的ICI串扰; W_i 代表第 i 个功率复用于信号 S_i 对应的加性高斯白噪声, Num 表示子载波总数, c_{pq} 表示调制矩阵中的第 p 行第 q 列的元素, 其中, $i, q \in [1, Num]$, $p \in [1, q) \cup (q, Num]$ 。

7. 根据权利要求6所述的光信号接收方法, 其特征在于,

在对所述处理后的信号进行解调操作前, 比较处理后的信号强度与预设的检测门限距离, 对处理后的信号进行判决:

将功率复用信号划分为多个功率复用于信号, 如果接收到的功率复用于信号强度超过预设的检测门限距离, 则判决比特信息为1, 如果接收到的功率复用于信号强度低于预设的检测门限距离, 则判决比特信息为0, 将判决得到的所有比特信息按序排列, 形成待解调的信号。

8. 根据权利要求7所述的光信号接收方法, 其特征在于, 所述检测门限距离的预设计算式表示为:

$$\Delta N = (\sqrt{M} - n) \times \left(1 - \frac{m}{v}\right) \quad (4);$$

式中, ΔN 表示检测门限距离, M 表示调制格式维度, n 表示BPSK ID检测算法当前阶段数, m 表示BPSK ID检测算法当前阶段中迭代运算的迭代次数, v 表示BPSK ID检测算法当前阶段迭代总次数。

9. 一种光纤信道发送端, 其特征在于, 包括COFDM调制模块, 所述COFDM调制模块包括:

符号映射子模块, 用于获取数据信号, 通过符号映射将获取的数据信号转换为频域OFDM信号;

压缩变换子模块, 用于根据所述频域OFDM信号及分数阶离散傅里叶压缩变换矩阵生成时域基带OFDM信号; 以及用于使用正交频分复用技术对所述时域基带OFDM信号进行子载波映射, 生成子载波序列;

逆变换子模块, 用于对所述子载波序列进行离散傅里叶逆变换, 生成时域序列;

非正交多址接入子模块, 用于通过NOMA非正交多址接入技术将所述时域序列中的时域基带OFDM信号转化为功率复用信号, 输入到光纤信道。

10. 一种光纤信道接收端, 其特征在于, 包括CBID解调模块, 所述CBID解调模块包括级联BPSK迭代检测子模块和SIC解调子模块;

所述级联BPSK迭代检测子模块, 用于接收功率复用信号; 对所述功率复用信号进行降噪及串扰消除处理, 获得处理后的信号;

所述SIC解调子模块, 用于对所述处理后的信号进行解调操作, 还原数据信号;

其中, 所述功率复用信号通过权利要求1至4任一项所述的方法获取。

一种光信号发送方法、光信号接收方法、光纤信道发送端及接收端

技术领域

[0001] 本发明属于光纤通信技术领域,尤其涉及一种光信号发送方法、光信号接收方法、光纤信道发送端及接收端。

背景技术

[0002] 在现有的通信技术中,OFDM正交频分复用技术已成为光纤传输的主流选择。该技术通过将宽频率光载波划分为多个正交光子载波,有效提高了频谱的利用率。同时,OFDM正交频分复用技术还能与NOMA非正交多址接入技术相结合,进一步提升通信系统的效率,满足日益增长的用户需求。

[0003] 尽管OFDM正交频分复用技术具有诸多优势,但它仍受到香农极限的制约。在有限的带宽内,OFDM正交频分复用技术只能容纳有限数量的光子载波,在一定程度上限制了频谱效率的进一步提升。此外,OFDM正交频分复用技术的核心在于保持子载波之间的正交性,以避免信号间的干扰。这也意味着子载波之间不能随意压缩和叠加,否则将破坏正交状态,引发严重的干扰问题,甚至导致信号失真,缺乏一种既能高效压缩频谱又能保持信号正交性的技术方案。

[0004] 若能够利用一种频谱压缩技术来缩小已进行正交频分复用的频谱,减小光子载波之间的间隔,就可以在有限带宽内容纳更多的子载波,从而提高频谱利用率。然而基于OFDM正交频分复用原理,子载波之间不可随意压缩和叠加,否则信号与信号之间将不再保持正交状态,将会引发严重的干扰,甚至导致信号失真的问题。但对OFDM正交频分复用的子载波信号,有条件的压缩是可以实现的,前提是一方面要求压缩后的子载波之间的信号干扰不能过大,另一方面是经过信道传输后,压缩频谱可以顺利准确复原。因此,可以采用分数阶离散傅里叶变换方法mFrDFT对OFDM正交频分复用信号进行有条件地压缩。

[0005] mFrDFT分数阶离散傅里叶变换是一种较为实用的频谱压缩技术,相比其他频谱压缩技术,该技术对于压缩因子和调制格式没有限制,其兼容性和灵活性更高,并且不会产生额外的功率损耗,因此可以视为一种较好的应用于压缩OFDM系统中的频谱压缩方法,同时在接收端采用BPSK ID检测算法和SIC解调技术进行解调,可以顺利保证压缩频谱的准确复原。

[0006] 截至目前,基于分数阶离散傅里叶变换的频谱压缩技术尚未和OFDM正交频分复用技术以及NOMA正交多址接入技术尚未有前任进行较好的结合并将其组成通信系统。

发明内容

[0007] 本发明要解决的技术问题是:如何解决现有技术中因香农极限和正交性破坏导致的频谱效率低和信号失真问题。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明是采用下述技术方案实现的。

[0009] 第一方面,本发明提供一种光信号发送方法,由光纤信道发送端执行,包括:

[0032] 式中, R_i 表示第 i 个处理后的功率复用于信号, S_i 表示功率复用信号 S 中的第 i 个功率复用于信号, S_q 代表除去 S_i 的其余信号中的第 q 个功率复用于信号, $\sum_{q=1, q \neq i}^{Num} c_{pq} S_q$ 代表功率复用于信号 S_q 造成的ICI串扰; W_i 代表第 i 个功率复用于信号 S_i 对应的加性高斯白噪声, Num 表示子载波总数, c_{pq} 表示调制矩阵中的第 p 行第 q 列的元素, 其中, $i, q \in [1, Num]$, $p \in [1, q) \cup (q, Num]$ 。

[0033] 进一步地, 在对所述处理后的信号进行解调操作前, 比较处理后的信号强度与预设的检测门限距离, 对处理后的信号进行判决:

[0034] 将功率复用信号划分为多个功率复用于信号, 如果接收到的功率复用于信号强度超过预设的检测门限距离, 则判决比特信息为1, 如果接收到的功率复用于信号强度低于预设的检测门限距离, 则判决比特信息为0, 将判决得到的所有比特信息按序排列, 形成待解调的信号。

[0035] 进一步地, 所述检测门限距离的预设计算式表示为:

$$[0036] \quad \Delta N = (\sqrt{M} - n) \times \left(1 - \frac{m}{v}\right) \quad (4);$$

[0037] 式中, ΔN 表示检测门限距离, M 表示调制格式维度, n 表示BPSK ID检测算法当前阶段数, m 表示BPSK ID检测算法当前阶段中迭代运算的迭代次数, v 表示BPSK ID检测算法当前阶段迭代总次数。

[0038] 第三方面, 本发明还提供一种光纤信道发送端, 包括COFDM调制模块, 所述COFDM调制模块包括:

[0039] 功率复用于信号符号映射子模块, 用于获取数据信号, 通过符号映射将获取的数据信号转换为频域OFDM信号;

[0040] 压缩变换子模块, 用于根据所述频域OFDM信号及分数阶离散傅里叶压缩变换矩阵生成时域基带OFDM信号; 以及用于使用正交频分复用技术对所述时域基带OFDM信号进行子载波映射, 生成子载波序列;

[0041] 逆变换子模块, 用于对所述子载波序列进行离散傅里叶逆变换, 生成时域序列;

[0042] 非正交多址接入子模块, 用于通过NOMA非正交多址接入技术将所述时域序列中的时域基带OFDM信号转化为功率复用信号, 输入到光纤信道。

[0043] 第四方面, 本发明还提供一种光纤信道接收端, 包括CBID解调模块, 所述CBID解调模块包括级联BPSK迭代检测子模块和SIC解调子模块;

[0044] 所述级联BPSK迭代检测子模块, 用于接收功率复用信号; 对所述功率复用信号进行降噪及串扰消除处理, 获得处理后的信号;

[0045] 所述SIC解调子模块, 用于对所述处理后的信号进行解调操作, 还原数据信号;

[0046] 其中, 所述功率复用信号通过第一方面任一项所述的方法获取。

[0047] 与现有技术相比, 本发明所达到的有益效果:

[0048] 通过结合分数阶离散傅里叶变换mFrDFT、正交频分复用OFDM正交频分复用技术和非正交多址接入NOMA技术, 在有限的频段内缩小子载波之间的间距, 实现了频谱的高效压

[0070] 式中, Num 表示子载波数目, e 表示指数函数, β 表示分数阶离散傅里叶压缩变换矩阵的旋转因子; k_1, k_2 表示行索引; l_1, l_2 表示列索引, α 表示压缩因子。

[0071] 将分数阶离散傅里叶压缩变换矩阵被分为四个子矩阵, 在 $N/2$ 行和 $N/2$ 列进行划分, 为了保证矩阵的对称性, 将第 $N/2$ 行和第 $N/2$ 列设置为零频区域。

[0072] 相比传统离散傅里叶逆变换, 分数阶离散傅里叶变换矩阵无需强制要求子载波数目和压缩因子为整数, 增加了系统的灵活性和兼容性, 同时也不会破坏系统对窄带滤波的容忍度。经过分数阶离散傅里叶变换矩阵变换后的频谱效果如图6所示, 相同子载波数经过分数阶离散傅里叶变换后所占用的带宽小于传统OFDM调制技术所占用的带宽, 多出的空余带宽空间可以容纳更多的子载波, 以传输更多的数据。

[0073] 如图5所示, 使用正交频分复用技术对所述时域基带OFDM信号进行子载波映射, 生成子载波序列 $X(N)$;

[0074] (5) 对子载波序列 $X(N)$ 再进行离散傅里叶逆变换生成序列 $f(N)$;

[0075] (6) 对序列 $f(N)$ 中的每个时域基带OFDM信号添加循环前缀;

[0076] (7) 如图7所示, 通过NOMA非正交多址接入技术将时域基带OFDM信号转化为功率复用信号, 具体步骤为:

[0077] 使用PDM功率复用技术将两路时域基带OFDM信号进行并串转化后分配不同的功率;

[0078] 再采用SC叠加编码技术对分配功率后的两路信号进行混合后得到功率复用信号;

[0079] (8) 将功率复用信号作为发射信号输入到光纤信道。

[0080] 实施例2

[0081] 本实施例还介绍一种光信号接收方法, 由光纤信道接收端执行, 包括:

[0082] (1) 接收功率复用信号;

[0083] (2) 对所述功率复用信号进行降噪及串扰消除处理, 获得处理后的信号;

[0084] (3) 对所述处理后的信号进行解调操作, 还原数据信号; 其中, 所述功率复用信号通过实施例1所述的方法获取。

[0085] 使用BPSK ID检测算法对所述功率复用信号进行降噪及串扰消除处理, 所述BPSK ID检测算法的表达式为:

$$[0086] \quad R_i = S_i + \sum_{q=1, q \neq p}^{Num} c_{pq} S_q + W_i \quad (3);$$

[0087] 式中, R_i 表示第 i 个处理后的功率复用于信号, S_i 表示功率复用信号 S 中的第 i 个

功率复用于信号, S_q 代表除去 S_i 的其余信号中的第 q 个功率复用于信号, $\sum_{q=1, q \neq p}^{Num} c_{pq} S_q$ 代表功

率复用于信号 S_q 造成的ICI串扰; W_i 代表第 i 个功率复用于信号 S_i 对应的加性高斯白噪声,

Num 表示子载波总数, c_{pq} 表示调制矩阵中的第 p 行第 q 列的元素, 其中, $i, q \in [1, Num]$,

$p \in [1, q) \cup (q, Num]$ 。使用BPSK ID检测算法对所述功率复用信号进行降噪及串扰消除处理

的过程如图8所示。

[0088] 在对所述处理后的信号进行解调操作前,比较处理后的信号强度与预设的检测门限距离,对处理后的信号进行判决:

[0089] 将功率复用信号划分为多个功率复用于信号,如果接收到的功率复用于信号强度超过预设的检测门限距离,则判决比特信息为1,如果接收到的功率复用于信号强度低于预设的检测门限距离,则判决比特信息为0,将判决得到的所有比特信息按序排列,形成待解调的信号 \bar{s} 。

[0090] 上述过程中,比特信息的判决能够修正待解调的信号,从而提高整体的检测准确性。

[0091] 由于预设的检测门限距离值不同,BPSK ID检测算法对所述功率复用信号进行降噪及串扰消除处理的每个阶段接收功率复用信号后,都进行一次ICI失真补偿,所以下一个阶段面临的ICI干扰总会比之前少,因此检测门限也随之减小,提高了检测精确度。

[0092] 所述检测门限距离的预设计算式表示为:

$$[0093] \quad \Delta N = (\sqrt{M} - n) \times \left(1 - \frac{m}{v}\right) \quad (4);$$

[0094] 式中, ΔN 表示检测门限距离, M 表示调制格式维度, n 表示BPSK ID检测算法当前阶段数, m 表示BPSK ID检测算法当前阶段中迭代运算的迭代次数, v 表示BPSK ID检测算法当前阶段迭代总次数。

[0095] 待解调的信号 \bar{s} 表示为:

$$[0096] \quad \bar{s} = S_1 + S_2 + \dots + S_n;$$

[0097] 式中, S_1 表示判决得到功率复用信号的第1个比特信息, S_2 表示判决得到功率复用信号的第2个比特信息, S_n 表示判决得到功率复用信号的第 n 个比特信息。

[0098] 将最终的数据信号 \bar{s} 经过SIC解调逐一消除已解码信号对其他信号的干扰,还原由光纤信道发送端执行获取的数据信号。

[0099] 实施例3

[0100] 本发明还提供一种光纤信道发送端,包括COFDM调制模块,

[0101] COFDM调制模块,包括以下子模块:

[0102] 符号映射子模块,用于获取数据信号;将获取的数据信号,通过符号映射,生成频域OFDM信号;

[0103] 压缩变换子模块,用于将所述频域OFDM信号输入分数阶离散傅里叶压缩变换矩阵,转换为时域基带OFDM信号,以及用于使用正交频分复用技术对所述时域基带OFDM信号进行子载波映射,生成子载波序列;

[0104] 逆变换子模块,用于对所述子载波序列进行离散傅里叶逆变换,生成时域序列;

[0105] 非正交多址接入子模块,用于通过NOMA非正交多址接入技术将所述时域序列中的时域基带OFDM信号转化为功率复用信号,输入到光纤信道。

[0106] 实施例4

[0107] 本发明还提供一种光纤信道接收端,包括:

[0108] CBID解调模块,包括级联BPSK迭代检测子模块和SIC解调子模块;

[0109] 所述级联BPSK迭代检测子模块,用于接收和检测功率复用信号,减小噪声和串扰对功率复用信号的影响,获得减小噪声和串扰后的信号。

[0110] 所述SIC解调子模块,对减小噪声和串扰后的信号进行解调操作,还原数据信号。

[0111] 实施例5

[0112] 本发明还提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序/指令,该计算机程序/指令被处理器执行时实现实施例1或2所述方法的步骤。

[0113] 综上实施例,根据图3、图4以及图6可知,通过结合分数阶离散傅里叶变换mFrDFT、正交频分复用OFDM正交频分复用技术和非正交多址接入NOMA技术,在有限的频段内缩小子载波之间的间距,实现了频谱的高效压缩,显著提高了光纤传输的频谱利用率,同时保证了信号的正交性,解决了现有技术中因香农极限和正交性破坏导致的频谱效率低和信号失真的问题。

[0114] 此外,采用BPSK ID检测算法和SIC解调技术进行解调,确保了压缩频谱的准确复原,进一步提升了光纤通信系统的传输容量。

[0115] 本领域内的技术人员应明白,本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0116] 以上结合附图对本发明的实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可做出很多形式,这些均属于本发明的保护之内。

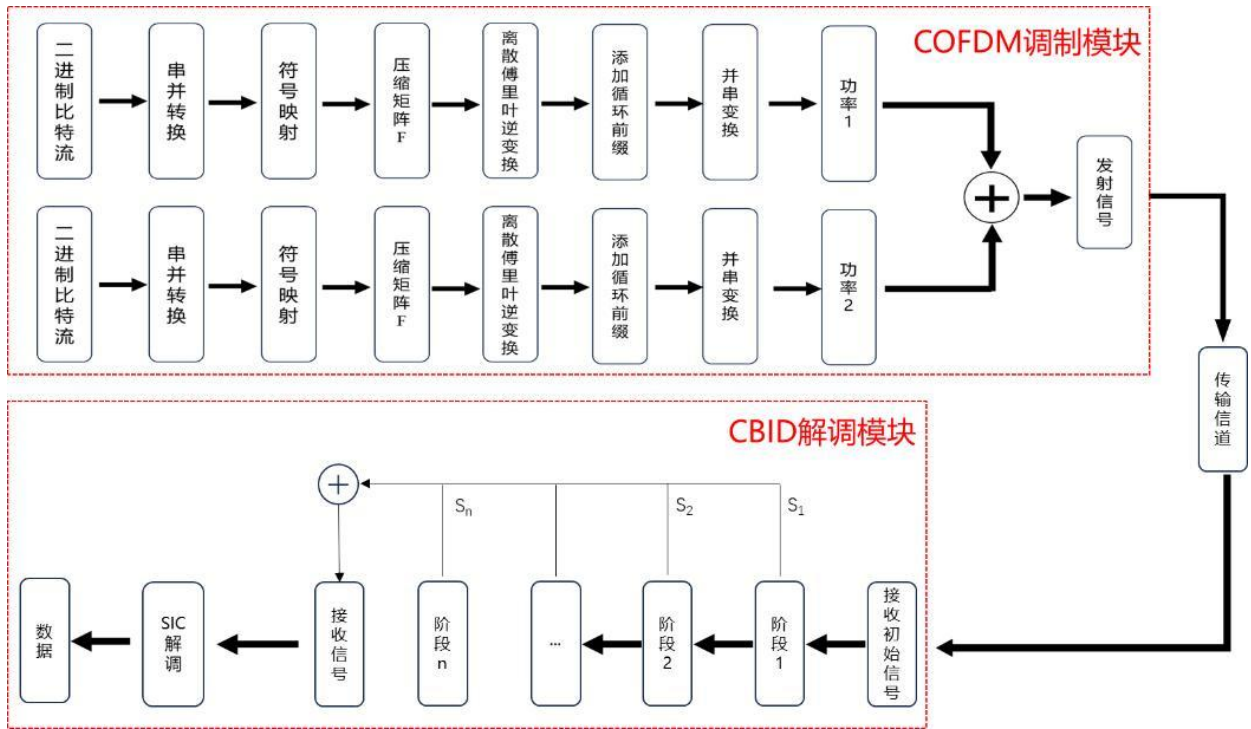


图 1

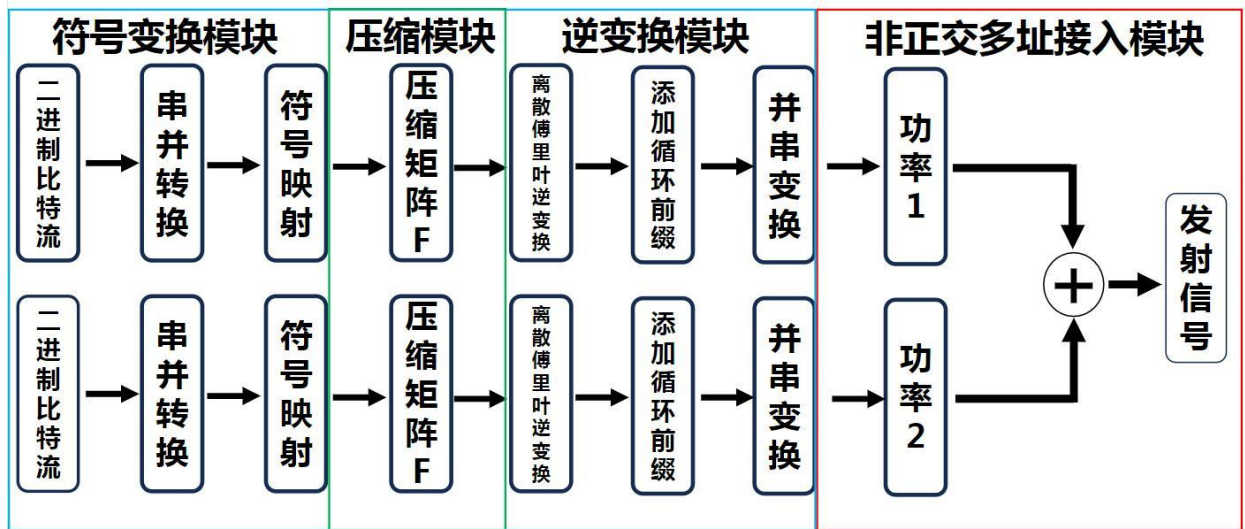


图 2

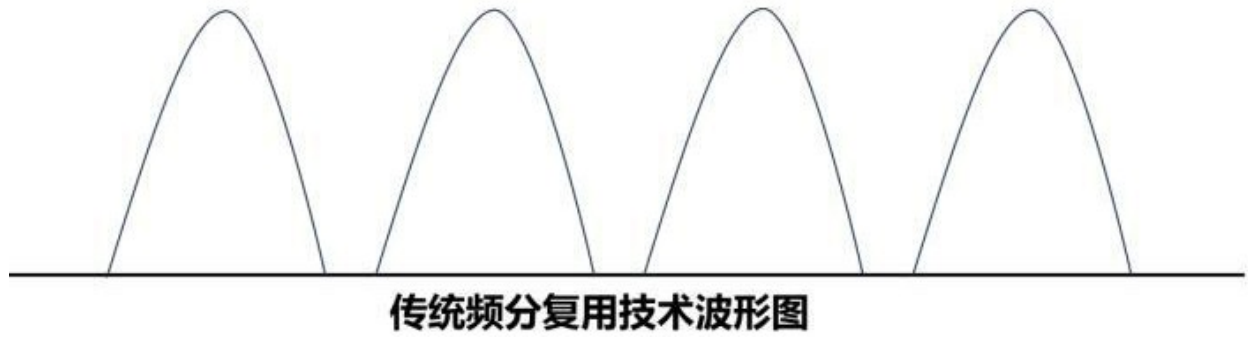


图 3

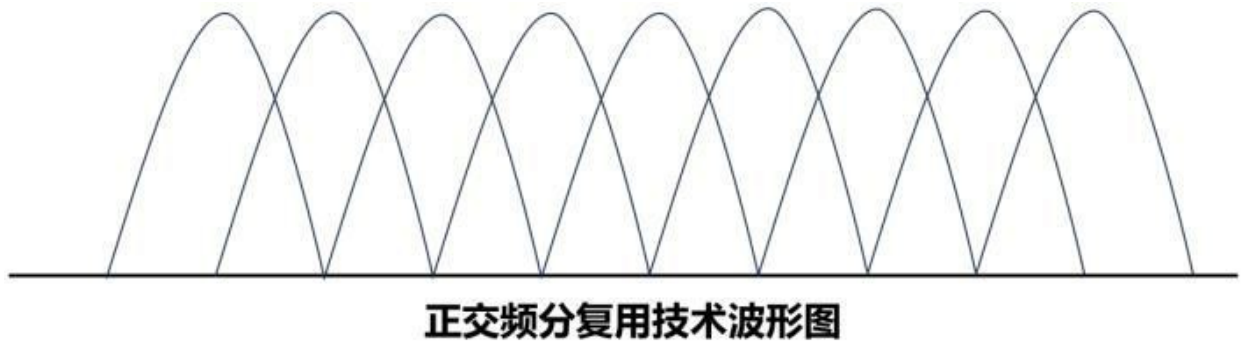


图 4

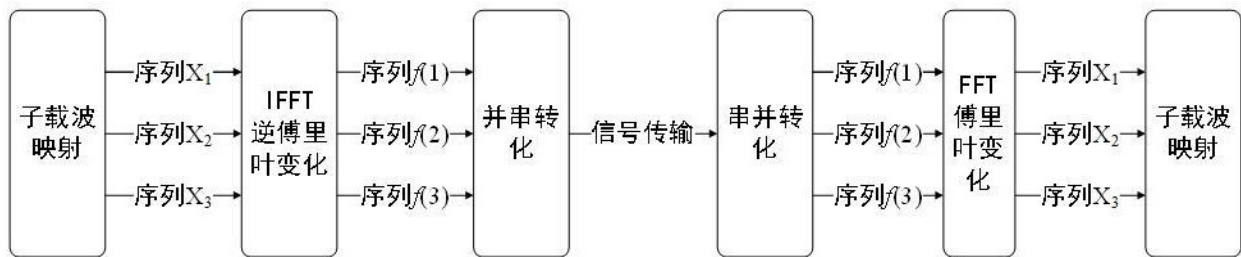


图 5

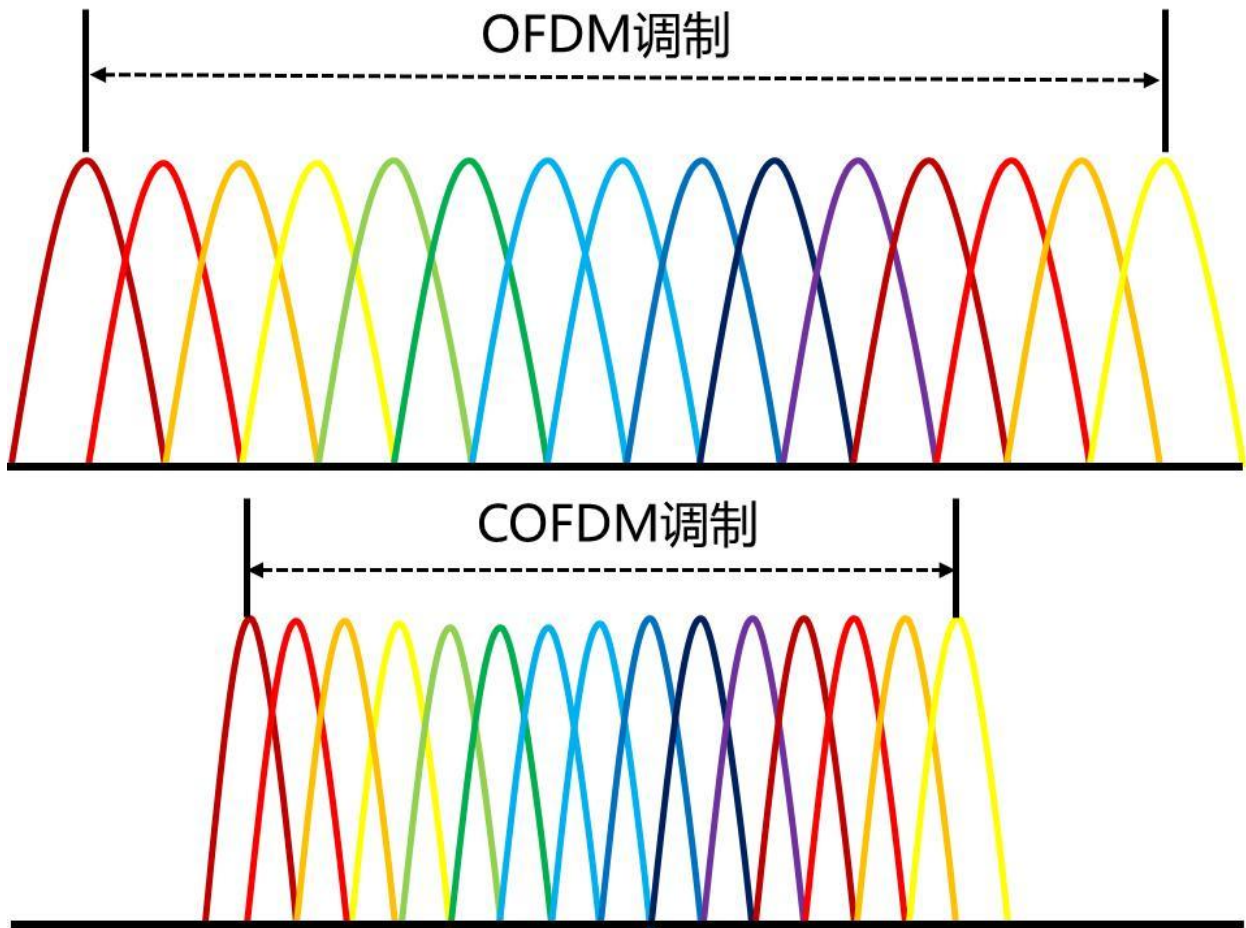


图 6

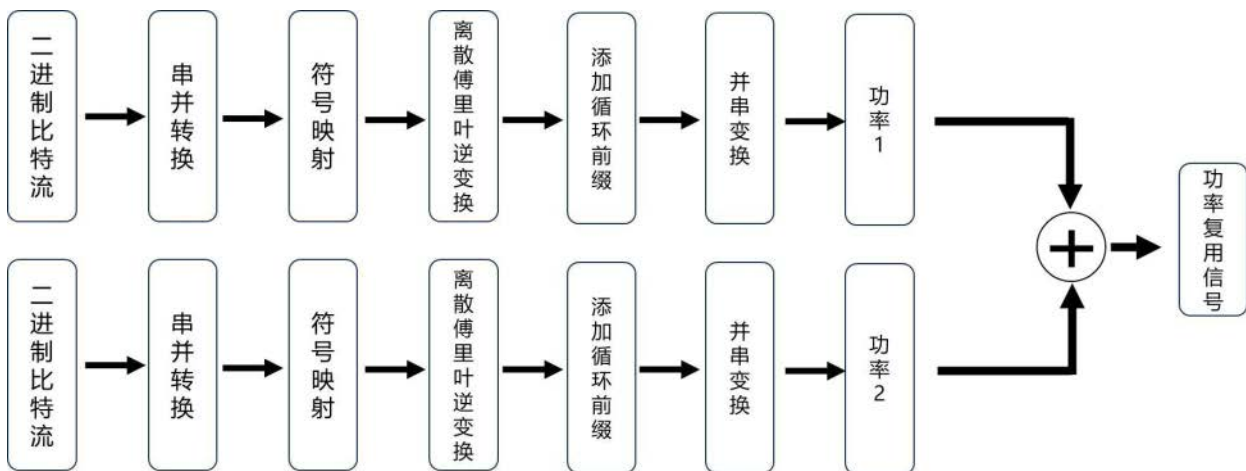


图 7

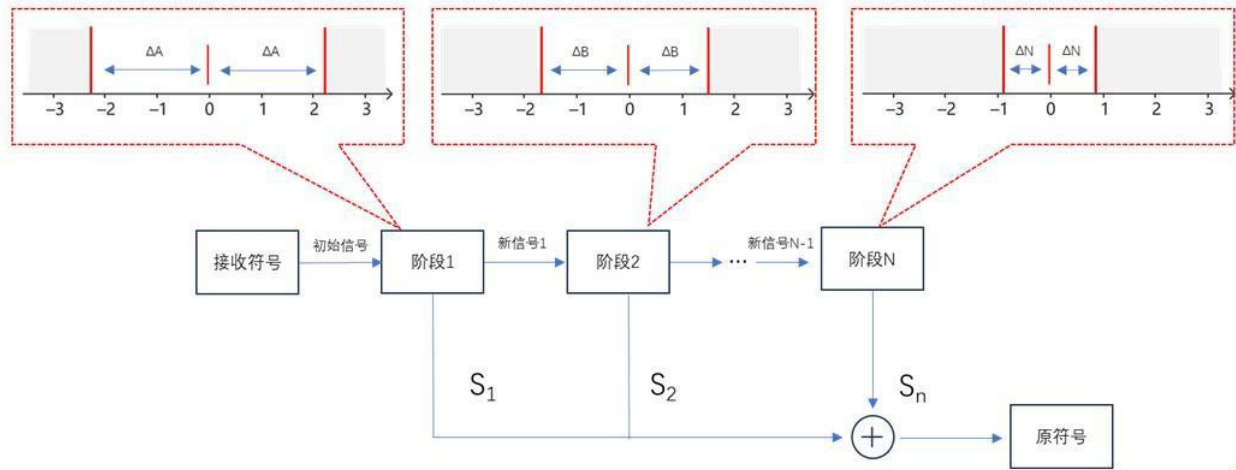


图 8