

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
H04L 27/26 (2006.01)



## [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680044888.2

[43] 公开日 2008年12月17日

[11] 公开号 CN 101326784A

[22] 申请日 2006.11.30

[21] 申请号 200680044888.2

[30] 优先权

[32] 2005.11.30 [33] US [31] 60/741,287

[86] 国际申请 PCT/IB2006/054534 2006.11.30

[87] 国际公布 WO2007/063519 英 2007.6.7

[85] 进入国家阶段日期 2008.5.30

[71] 申请人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 S·-A·塞耶迪-埃斯法哈尼

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 李亚非 刘红

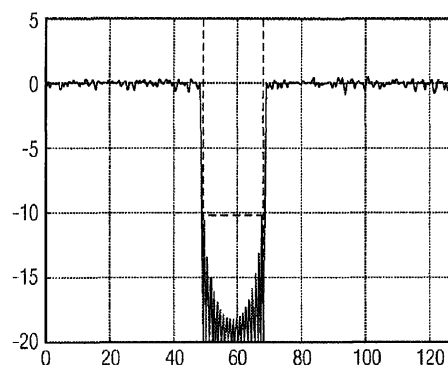
权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 6 页

### [54] 发明名称

用于频谱捷变无线电的加窗正交频分复用

### [57] 摘要

发送数据的方法包括将数据调制在多个频率载波上,以产生多个相互正交的调频信号。之后将这些相互正交的调频信号组合成正交频分复用信号,接着使用传输窗函数对该正交频分复用信号加窗,以产生加窗正交频分复用信号。发送该加窗正交频分复用信号。该加窗正交频分复用信号包括第一组以间隔  $\Delta f$  在频率上均匀地相互间隔分布的频率载波,和以相同的间隔  $\Delta f$  相互在频率上间隔分布的第二组频率载波,且在第一组频率载波和第二组频率载波之间存在至少  $2\Delta f$  的开口。



1、一种发送数据的方法，包括：提供  $P$  个均匀分布在频率波段上的频率载波；确定在跨越所述  $P$  个频率载波中的  $X$  个的频率波段部分上存在现存传输；关闭跨越存在现存传输的频率波段部分的频率载波中的至少  $M$  个，其中  $M \geq X$ ，并仅将数据调制在剩下的  $N \leq P - M$  个频率载波上，以产生  $N$  个相互正交的调频载波；对所述  $N$  个相互正交的调频载波进行快速傅立叶逆变换，以产生  $N$  个 OFDM 传输符号；使用窗函数  $W_{TX}(n)$  对所述  $N$  个 OFDM 传输符号加窗，并对所述  $N$  个 OFDM 传输符号进行并串转换，以产生加窗正交频分复用信号；和发送加窗正交频分复用信号，其中所述  $M$  个被关闭的频率载波连续地分布在所述频率波段内，从而在所述加窗正交频分复用信号的频谱中产生开口。

2、根据权利要求 1 的方法，其中在对所述  $N$  个 OFDM 传输符号加窗之前进行对所述  $N$  个 OFDM 传输符号的并串转换。

3、根据权利要求 1 的方法，其中在对所述  $N$  个 OFDM 传输符号进行并串转换之前，进行对所述  $N$  个 OFDM 传输符号的加窗。

4、根据权利要求 1 的方法，其中将数据调制在  $N$  个频率载波上包括将每一个数据样本分配到  $N$  个 IFFT 箱的一个中，并且其中关闭所述  $M$  个频率载波包括向  $M$  个 IFFT 箱中的每一个分配零数据值。

5、根据权利要求 1 的方法，进一步包括在将数据调制到所述  $N$  个频率载波上之前，将数据映射至未调制的符号。

6、根据权利要求 5 的方法，进一步包括在将数据调制到所述  $N$  个频率载波上之前，对所述未调制的符号进行串并转换。

7、根据权利要求 6 的方法，进一步包括，在进行串并转换之前：将数据调制到每  $L$  个频率载波上；不将任何数据调制在其他频率载波上；和关闭其它频率载波，其中  $L$  是大于 1 的整数。

8、根据权利要求 1 的方法，进一步包括关闭连续分布在所述频率波段内的第二组  $R$  个频率载波，以在所述加窗正交频分复用信号的频谱内产生第二开口，其中  $N \leq P - M - R$ 。

9、一种正交频分复用发射机，包括：调制器 (240, 410)，适于提供  $P$  个频率载波，关闭所述  $P$  个频率载波中的  $M$  个频率载波，接收数据和仅将数据调制在

剩下的  $N \leq P-M$  个频率载波上, 以产生  $N$  个相互正交的调频载波; 用于将所述  $N$  个相互正交的调频信号组合成正交频分复用信号的装置 (250, 440/450); 传输窗 (260, 460), 适于向正交频分复用信号施加窗函数, 以产生加窗正交频分复用信号; 和发射机 (270, 480), 发送加窗正交频分复用信号, 其中所述  $M$  个被关闭的频率载波连续地分布在所述频率波段内, 从而在加窗正交频分复用信号的频谱中产生开口。

10、根据权利要求 9 的发射机 (400), 其中用于将所述相互正交的调频信号组合成正交频分复用信号的装置包括快速傅立叶逆变换器 (IFFT) (440)。

11、根据权利要求 10 的发射机 (400), 其中用于将所述相互正交的调频信号组合成正交频分复用信号的装置进一步包括并串转换器 (450), 该并串转换器 (450) 适于将 IFFT 所产生的 OFDM 传输符号转换为正交频分复用信号。

12、根据权利要求 9 的发射机 (400), 进一步包括符号映射器 (410), 该符号映射器 (410) 适于在将数据调制在所述  $N$  个频率载波上之前, 将数据映射为未调制符号。

13、根据权利要求 12 的发射机 (400), 进一步包括串并转换器 (430), 该串并转换器 (430) 适于在将数据调制到所述  $N$  个频率载波上之前, 将所述未调制符号从串行格式转换为并行格式。

14、根据权利要求 13 的发射机 (400), 进一步包括上采样器 (420), 其在执行串并转换之前, 将数据调制到每  $L$  个频率载波上, 而不将任何数据调制在其他频率载波上, 并关闭其他频率载波, 其中  $L$  是大于 1 的整数。

15、一种发送数据的方法, 包括: 将数据调制到多个频率载波上, 以产生多个相互正交的调频信号; 将所述相互正交的调频信号组合成正交频分复用信号; 将正交频分复用信号与传输窗函数相乘, 以产生加窗正交频分复用信号; 和发送该加窗正交频分复用信号, 其中该加窗正交频分复用信号包括第一组以间隔  $\Delta f$  在频率上均匀地相互间隔分布的频率载波, 和以相同的间隔  $\Delta f$  相互在频率上间隔分布的第二组频率载波, 且在第一组频率载波和第二组频率载波之间存在至少  $2\Delta f$  的开口。

16、根据权利要求 15 的方法, 其中将数据调制到所述多个频率载波上包括: 将数据的每个样本分配给多个 IFFT 箱中的一个; 和对这些数据样本进行 IFFT。

17、根据权利要求 15 的方法, 进一步包括在将数据调制到所述多个频率载波

上之前，将数据映射至未调制的符号。

18、根据权利要求 17 的方法，进一步包括在将数据调制到所述多个频率载波上之前，对所述未调制的符号进行串并转换。

19、根据权利要求 18 的方法，进一步包括，在进行串并转换之前：将数据调制到每  $L$  个频率载波上；不将任何数据调制在其他频率载波上；和关闭其它频率载波，其中  $L$  是大于 1 的整数。

20、根据权利要求 18 的方法，其中窗函数是 Chebyshev 函数。

## 用于频谱捷变无线电的加窗正交频分复用

本发明属于数字通信领域，特别是，涉及对用在频谱捷变无线电中的正交频分复用（OFDM）的功率谱轮廓成形的系统和方法。

随着增长的对无线通信系统的需求和使用，可用的带宽已经变得日益缺乏。另一方面，很多研究表明，当前已分配的带宽在很大程度上没有充分利用。可以想象，未来的通信系统将判断在某个特定时间点上频带是否被使用，如果空闲，则使用该频道。这些系统必须能够检测出“现存的（incumbent）”通信系统，并避免当现存者正在使用特定带宽时，在该带宽上发送其信号。这些智能化的未来通信系统称为频谱捷变无线电（SAR: Spectrum Agile Radio）或认知无线电（CR: cognitive radio）。

一个当前的例子是在 TV 波段中使用 SAR。在 2004 年 5 月 25 日，美国联邦通信委员会（FCC）在 ET 公文摘要（Docket）No. 04-186 中发布了建议规则制定通告（NPRM）（FCC 04-113），允许无证的无线发射机在还没有使用一个或多个分配的陆地电视频道的地方，在广播电视频谱内操作。但是，FCC 强调，只有在确保不会对接收得到许可的陆地电视信号产生干扰的情况下，才允许这样的无证发射机。因此，为了防止对陆地电视业务产生干扰，非常需要确保任何这样的无证的发射机都不在陆地电视信号可能在相同地区进行接收和观看的频率或频道上进行操作。

因此，为了确保不对 TV 站及其观众造成干扰，该委员会提议要求这些无证的发射机增加识别未使用的或空闲的 TV 频道并且仅在这些空闲频道上进行发射的功能。由 FCC 所提出的一个想法是在无证的发射机上增加检测功能，从而在可以启动该无证的发射机之前检测是否有其它发射机（即得到许可的陆地 TV 广播发射机）正在特定频道上在该区域操作。

一种用于设计频谱捷变无线电的有吸引力的方案是使用覆盖多波段频谱的宽带 OFDM 系统。OFDM 传输包括多个较低数据速率调频载波，这些载波在发射机内进行结合，从而形成复合高数据速率传输。OFDM 系统中的每一个频率载波都

是正弦，其频率是基础或基本正弦频率的整数倍。因此，每个载波都像是该复合信号的傅立叶级数分量。OFDM 的独特性和合意性 (desirability) 的一个关键是载波频率与符号速率之间的联系。每个载波频率都是由  $1/T$  (Hz) 的倍数分隔开的，其中每个载波的符号速率 (R) 是  $1/T$  (符号/秒)。符号速率对每个 OFDM 载波的作用是向每个载波的频谱加上  $\sin(x)/x$  形状。 $\sin(x)/x$  的零值 (对于每个载波) 位于  $1/T$  的整数倍。峰值 (对于每个载波) 位于载波频率  $k/T$ 。因此，每一个载波频率都位于其他所有载波的零值处。这就意味着，在传输过程中，尽管其频谱会重叠，但没有载波相互干扰。将靠近的频率载波分隔开的功能是非常节省带宽的，并且是 OFDM 系统的一个希望的特性。

这种 OFDM 系统的一个重要的优点是能够通过频带的可用的、非连续的部分来发送信号。这种系统的另一个优点是，对所有频道的频道检测可以并行地进行，并且需要很少的额外的计算复杂度。因此，在这样的系统中，当系统检测到在其 OFDM 频率载波范围内的频率波段的一个或多个部分被需要保护的一个或多个主要 (现存的) 传输 (例如电视信号) 所使用时，该系统可以关闭与现存者占用的波段部分相重叠的 OFDM 频率载波，以便在 OFDM 频谱上产生一个或多个开口，从而避免对主要系统的干扰。

但是，这种系统的一个不足是，当关闭一些频率载波时，在需要保护的波段部分上所发送的功率量不等于零。在关闭的 (开口) 区域中所发送的功率是由于没有关闭的所有其它频率载波的频谱中的旁瓣而造成的。

例如，图 1A 表示了 OFDM 信号的频谱，其中跨越  $X=20$  个 OFDM 频率载波的频率波段部分将要被空出。如图所示，当仅关闭需要空出的频率波段部分中的 20 个频率载波时，产生了深度仅为 10.2dB 的开口。通过再关闭 10 个另外的频率载波 (每侧 5 个频率载波)，则经过中间 20 个频率载波的宽度的开口深度增加到 17.2dB (见图 1B)。虽然通过关闭额外的邻近频率载波相当程度地减少了在空出的波段部分中所发送的功率量，但是剩下的功率依然会对发射机附近的主要 (现存) 系统产生有害的干扰。并且，随着越来越多的额外频率载波被关闭，整个 OFDM 传输的数据容量和/或纠错健壮性都降低了。

一种称为主动干扰消除 (Active Interference Cancellation, AIC) 的可能的解决方法使用了额外的邻近频率载波来进一步抑制需要空出的波段中的功率。换句话

说,如果需要宽度为  $X$  的频率载波的开口,则该方法不仅空出  $X$  个频率载波,而且还计算合适的值来放置两个(或更多)邻近的频率载波,使得在要空出(开口的)的波段中所发送的功率最小。虽然该方法增加了开口的深度,但是它涉及相当大的计算复杂度。特别是当需要多个开口,或当开口的位置和宽度随时间变化时,该计算复杂度进一步增加。同时,该方法仅对窄开口适用。

因此,希望提供一种方法,用于发送 OFDM 信号,能够在传输频率波段中产生多个深的、宽的开口,而没有过大的计算复杂度。还希望提供一种适于发送这种 OFDM 信号的发射机。

在本发明的一个方面中,发送数据的方法包括:提供  $P$  个均匀分布在频率波段上的频率载波;确定在跨越所述  $P$  个频率载波中的  $X$  个的频率波段部分上存在现存传输;关闭  $M$  个跨越存在现存传输的频率波段部分的频率载波,其中  $M \geq X$ ,并将数据调制在剩下的  $N \leq P - M$  个频率载波上,以产生  $N$  个相互正交的调频载波;对所述  $N$  个相互正交的调频载波进行快速傅立叶逆变换,以产生  $N$  个 OFDM 传输符号;使用窗函数  $W_{TX}(n)$  对所述  $N$  个 OFDM 传输符号加窗,并对所述  $N$  个 OFDM 传输符号进行并串转换,以产生加窗正交频分复用信号;以及发送加窗正交频分复用信号,其中所述  $M$  个关闭的频率载波连续地分布在所述频率波段内,从而在加窗正交频分复用信号的频谱中产生开口。可以不对多组连续分布的频率载波进行调制,并将其关闭以在频谱中形成多个开口。

在本发明的另一个方面中,正交频分复用发射机包括:调制器,适于提供  $P$  个频率载波,关闭所述  $P$  个频率载波中的  $M$  个频率载波,接收数据并且将数据调制在剩下的  $N \leq P - M$  个频率载波上,以产生  $N$  个相互正交的调频载波;用于将所述  $N$  个相互正交的调频信号组合成正交频分复用信号的装置;传输窗,适于向正交频分复用信号施加窗函数,以产生加窗正交频分复用信号;和发射机,发送加窗正交频分复用信号,其中所述  $M$  个关闭的频率载波连续地分布在所述频率波段内,从而在加窗正交频分复用信号的频谱中产生开口。可以不对多组连续分布的频率载波进行调制,并将其关闭以在频谱中形成多个开口。

在本发明的另一个方面中,发送数据的方法包括:将数据调制到多个频率载波上,以产生多个相互正交的调频信号;将相互正交的调频信号组合成正交频分复用信号;将正交频分复用信号与传输窗函数相乘,以产生加窗正交频分复用信

号；和发送该加窗正交频分复用信号，其中该加窗正交频分复用信号包括以间隔  $\Delta f$  在频率上均匀地相互间隔的第一组频率载波和以相同的间隔  $\Delta f$  相互在频率上间隔分布的第二组频率载波，且在第一组频率载波和第二组频率载波之间至少有  $2\Delta f$  的开口。在所述频谱中可以形成多个至少为  $2\Delta f$  的开口。

图 1A 表示 OFDM 信号的频谱，其中要空出跨越 X 个 OFDM 频率载波的频率波段部分，并且仅关闭这 X 个载波；

图 1B 表示 OFDM 信号的频谱，其中要空出跨越 X 个 OFDM 频率载波的频率波段部分，且除了关闭这 X 个载波外，还在要空出的部分每侧额外关闭 Z 个载波；

图 2 是加窗 OFDM 发射机的高级功能框图；

图 3 表示具有矩形窗（即没有窗）的单个频率载波和在由  $\alpha=5$  的 Chebyshev 窗加窗后的单个载波的频谱；

图 4 是具有数字实现的 OFDM 发射机的实施例的功能框图；

图 5 表示关闭了  $M=13$  个频率载波的加窗 OFDM 信号的频谱；

图 6 表示具有多个开口的加窗 OFDM 信号的频谱。

图 2 表示加窗正交频分复用 (OFDM) 发射机 200 的高级功能框图。加窗 OFDM 发射机 200 包括 OFDM 调制器 240、信号组合器 250、传输窗 260 和发射机 270。本领域技术人员将会清楚，在图 2 中所表示的各个“部件”中的一个或多个可以使用软件控制的微处理器、硬连线电路或两者的结合来物理地实现。再者，虽然上述部件在图 2 中为了说明的目的而功能地分隔，但是其也可以以任何物理实现方式而结合在一起。

OFDM 调制器 240 产生多个（例如 P 个）频率载波，这些频率载波按照频率间隔  $\Delta f$  在预定频率波段上均匀地间隔开。OFDM 调制器 240 适用于选择性地关闭所述 P 个频率载波中的一个或多个的任意组合，从而产生一个或多个至少  $2\Delta f$  的频率开口，下面将更详细地对其进行描述。OFDM 调制器 240 还适于将数据调制在所述 P 个频率载波中的任何一个或全部上，以生成相互正交的调频载波。尽管在理论上，OFDM 调制器 240 可以包括多个单独的、同步的频率源，但是在实际中，这种模拟方法复杂而昂贵，还会占用许多空间。因此，实际上，通常使用数



字实现方式，如下面结合图 4 所详细描述。

信号组合器 250 将组合相互正交的调频载波，以产生正交的频分复用 (OFDM) 信号。

传输窗 260 向 OFDM 信号施加传输窗函数  $W_{TX}(n)$  来产生加窗 OFDM 信号。OFDM 信号的每一个调频载波的频谱形状都由传输窗 260 根据该窗的形状而改变。窗函数  $W_{TX}(n)$  可以是任何为包含加窗 OFDM 信号的相互正交的调频载波产生所需频谱轮廓的函数（例如 Chebyshev 窗函数）。在一个典型实施例中，该窗函数是  $\alpha=5$  的 Chebyshev 窗函数。

图 3 表示具有矩形窗（即无窗）的单个频率载波的频谱，以及在使用  $\alpha=5$  的 Chebyshev 窗函数加窗后的单个载波的频谱。由图 3 可知，当使用 Chebyshev 窗函数对载波加窗时，增加了主瓣的带宽。但是，有利的是，加窗 OFDM 频率载波旁瓣的幅值与不加窗的 OFDM 频率载波相比显著地减少了 10dB 之多。

发射机 270 发送加窗 OFDM 信号，并且可以包括放大、滤波和/或频率上转换分块。

有利的是，加窗 OFDM 发射机 200 包含在无线通信网络的终端中，例如基站或远端站。可替换地，其可以用在非集中式无线网络中。

在操作时，加窗 OFDM 发射机 200 按照如下来操作。当在 OFDM 发射机 200 的频率波段部分中存在现存传输时，则可以由加窗 OFDM 发射机 200 来检测该现存传输，或者更一般地，由包括加窗 OFDM 发射机 200 的终端的一些其它部分检测。此时，确定所述频率波段的哪一部分正在由现存传输所占用。例如，可以确定现存传输占用了跨越加窗 OFDM 发射机 200 的  $P$  个频率载波中的  $X$  个的频率波段部分。在这种情况下，OFDM 载波调制器 240 关闭跨越由现存传输所占用的频率波段部分的  $L$  个频率载波中的  $M$  个，其中  $M \geq X$ ，从而在其操作频率波段中产生频率开口。此时，OFDM 调制器 240 将所要发送的数据仅仅调制在剩下的  $N \leq P - M$  个还没有关闭的载频上，从而产生  $N$  个相互正交的调频载波。也就是，不将数据调制在已经关闭的频率载波上。

信号组合器 250 组合所述  $N$  个相互正交的调频载波，以产生 OFDM 信号。在正交调频载波是多个单个同步频率源的情况下，信号组合器 250 可以是 RF 组合器网络。同时，在数字实现更普遍的情况中，如下面结合图 4 所讨论的，可以将信号组合器在快速傅立叶逆变换器 (IFFT) 中结合并串转换器来实现。

之后, 如上所述, 传输窗 260 向 OFDM 信号施加传输窗函数  $W_{TX}(n)$ , 以产生加窗 OFDM 信号, 发射机 270 发送加窗 OFDM 信号。有利地, 当 OFDM 调制器 240 在其操作频率波段内生成频率开口时, 该加窗正交频分复用信号包括第一组频率载波和第二组频率载波, 该第一组频率载波均匀地在频率上以间隔  $\Delta f$  相互隔开, 该第二组频率载波均匀地在频率上以相同间隔  $\Delta f$  相互隔开, 并且在第一组频率载波和第二组频率载波之间具有至少  $2\Delta f$  的开口。当然, 可以通过关闭两组或更多组连续分布的频率载波而在操作频率波段内产生多个开口。

图 4 表示具有数字实现的加窗 OFDM 发射机 400 的实施例。加窗 OFDM 发射机 400 包括符号调制器 410、上采样器 420、串并转换器 430、包括快速傅立叶逆变换器 (IFFT) 的 OFDM 调制器 440、并串转换器 450、传输窗 460、添加循环前缀 (CP) 或零填充 (ZP) 的分块 470 和发射机 480。可选地, 可以在传输窗之前实现 CP/ZP 分块。如本领域技术人员所知, 在图 4 中所示的各个“部件”中的一个或多个可以使用软件控制的微处理器、硬连线电路或两者的结合来物理地实现。再者, 虽然在图 4 中为了说明的目的而将各部件功能性地分开, 但是其可以以任何物理实现方式结合在一起。

符号调制器 410 将数据比特映射为传输符号。在每一个数据比特都唯一地对应于一个传输符号的情况下, 符号调制器 410 可以省略。

如图 3 中所示, 当使用一些窗函数 (例如 Chebyshev 窗函数) 对 OFDM 信号的频率载波加窗时, 增加了主瓣的带宽。该加宽的主瓣意味着组合的信号的一个频率载波都会对其近邻产生干扰。为了减轻这种干扰, 仅仅在每  $L$  个频率载波上对数据调制, 其中  $L$  是大于 1 的整数。在这种情况下, 上采样器 420 在从符号调制器 410 接收的每一个符号之间产生空符号, 以确保所要发送的数据仅放在 OFDM 信号的每  $L$  个频率载波上。例如当  $L=2$  时, 用数据对 OFDM 信号的每隔一个载波调制, 不用数据对剩下的载波调制, 并关闭剩下的载波。

可替换地, 可以通过将频率载波更紧密地打包在一起, 并使用 ISI 消除机制来在接收机端消除所产生的码元内干扰 (ISI) 来省略上采样器 420。

串并转换器 430 将来自串行流的上采样符号转换为并行流组, 其中并行流的数量对应于在 OFDM 调制器中要被调制的频率载波的数量。当然, 在省略了符号调制器 410 和上采样器 420 的情况下, 可以从外部向 IFFT 变换器 440 提供已经是并行形式的数据。在这种情况下, 加窗 OFDM 发射机 400 不需要包括串并转换器

430。

在图4的实施例中，OFDM调制器是IFFT变换器440，其提供P个可利用数据符号填充的IFFT频率箱(bin)。每个IFFT频率箱对应于多个均匀间隔分布在预定频率波段上的频率载波中的一个。当确定现存传输占用了跨越所述P个频率载波中的X个的OFDM发射机400的频率波段部分时，OFDM载波调制器440通过不充填相应的M个IFFT箱，而关闭所述L个跨越由现存传输所占用的频率波段部分的频率载波中的M个，其中 $M \geq X$ 。IFFT变换器440用来自串并转换器430的数据充填剩下的N个IFFT频率箱( $N \leq P-M$ )，并将这N个充填的频率箱转换为N个并行OFDM传输符号。

并串转换器450将所述N个并行OFDM传输符号转换为N个OFDM传输符号的串行字符串。

传输窗460将OFDM传输符号乘以传输窗( $W_{TX}$ )以产生加窗OFDM信号。窗函数额外的计算复杂度正好是对应每个OFDM符号有N次乘法，这不是一个严重的计算负担。

可替换地，传输窗460可以单独地并行对N个从IFFT变换器440输出的并行OFDM传输符号进行操作，之后，并串转换器450可以将所述N个加窗并行OFDM传输符号转换为加窗OFDM信号。

在传输之前，将由分块470添加循环前缀(CP)或零填充(ZP)。可选地，可以在OFDM传输符号经过传输窗460之前，进行CP或ZP的插入。

最后，发射机480发送加窗OFDM信号。

图5表示了加窗OFDM信号的频谱，其中关闭了 $M=13$ 个频率载波，以空出跨越加窗OFDM发射机500的 $X=10$ 个载波频率波段部分。在图5所示的例子中，传输窗是 $\alpha=5$ 的Chebyshev窗。此外，使用了 $L=2$ 的上采样。在这种情况下，通过关闭 $M=13$ 个数据载波而产生了宽度为20个载波、深度为83dB的开口。通过将图5的频谱与上面图1A-B的频谱进行比较可见，通过加窗OFDM发射机500产生了深得多的频率开口。

除了产生使用其它产生图1A-B的频谱的系统和方法不能产生的深开口以外，上述加窗OFDM系统和方法还能够仅通过关闭OFDM符号的不同部分的子载波组来产生多个具有不同动态(时变)宽度的深开口，而需要很小的额外的复杂度(见图6)。本方法的缺点是减少的频谱效率(仅在 $L>1$ 的情况中)。这个问题

题可以通过在每个频率载波上使用更大的星座（代价是增大的传输功率）来克服，或可以作为使用未分配频谱的代价而接受。

虽然在此公开了优选的实施例，但是很多可能的变形也都在本发明的构思和范围之内。在阅读了此处的说明书、附图和权利要求之后，这些变形对本领域技术人员来说将是显而易见的。因此，除所附权利要求的精神和范围之外，本发明不受限制。

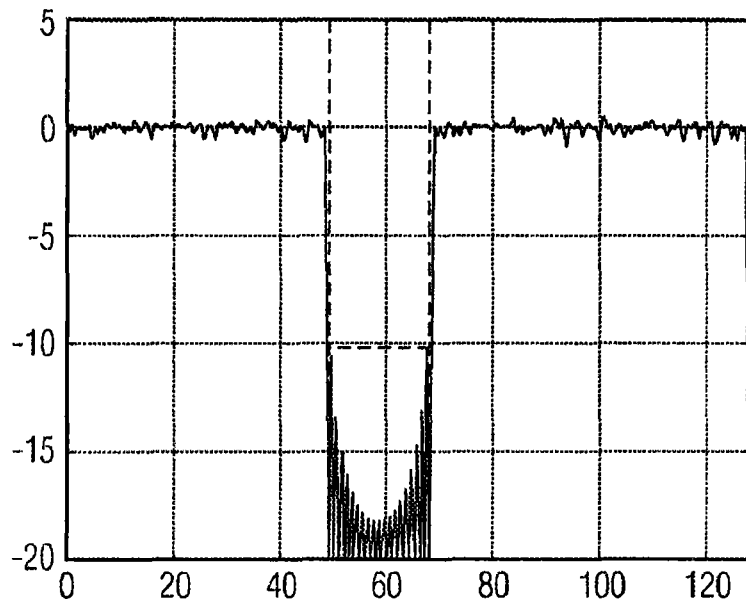


图 1A

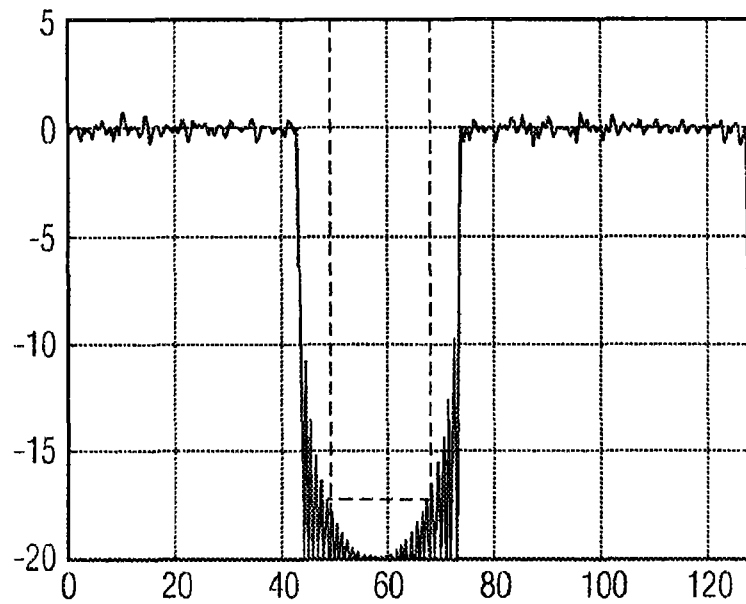


图 1B

200

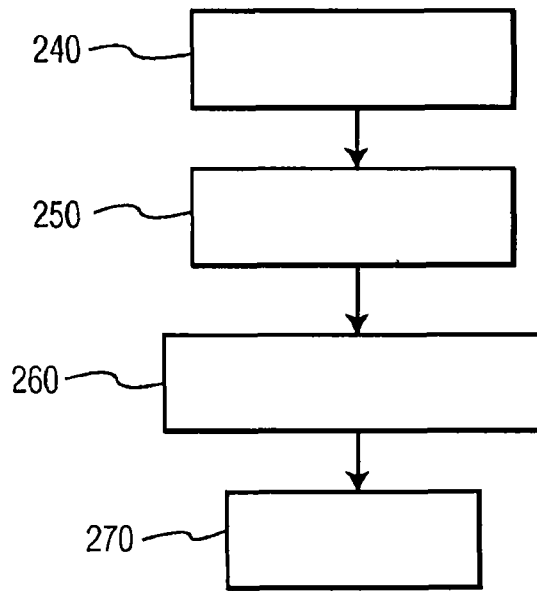


图 2

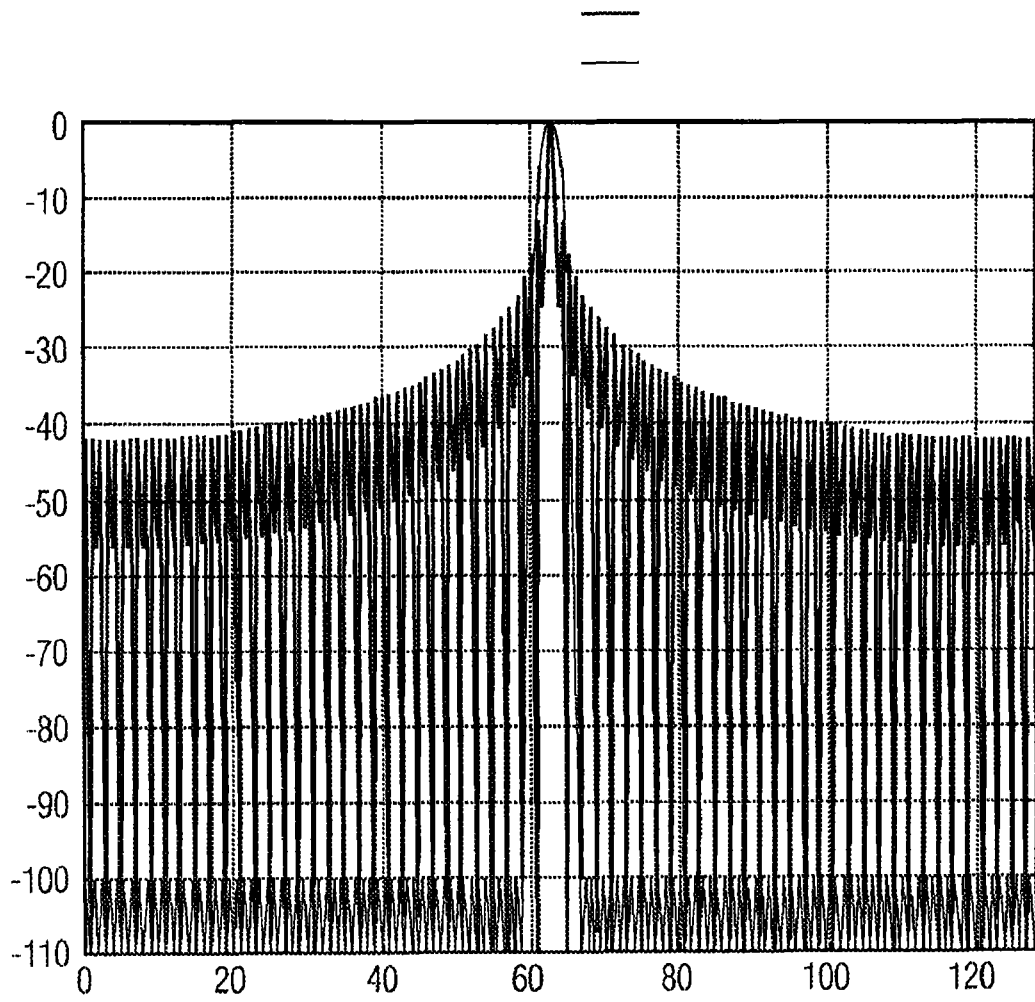


图 3

400

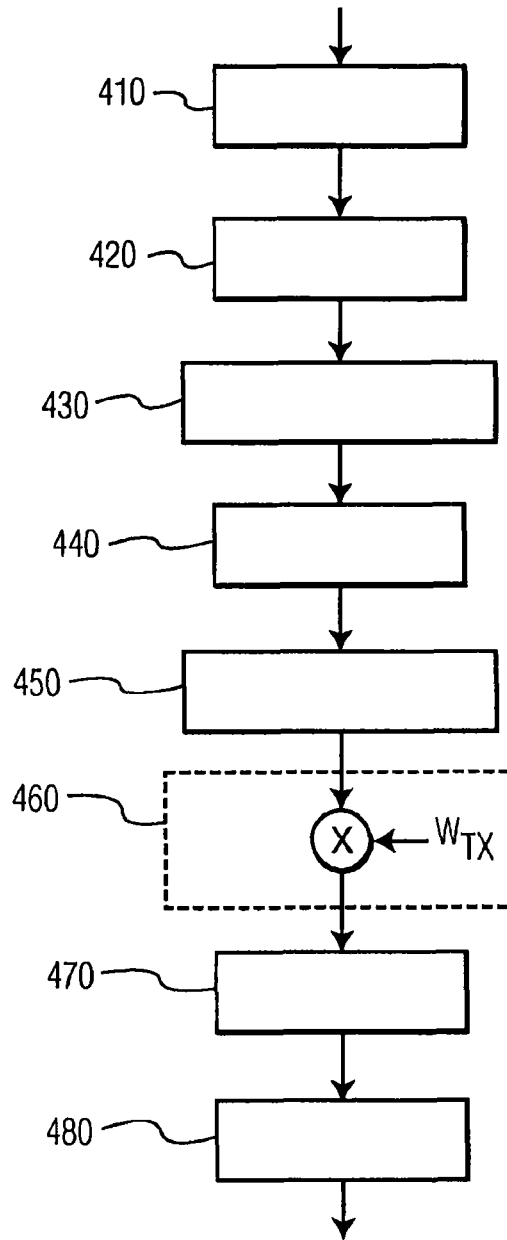


图 4



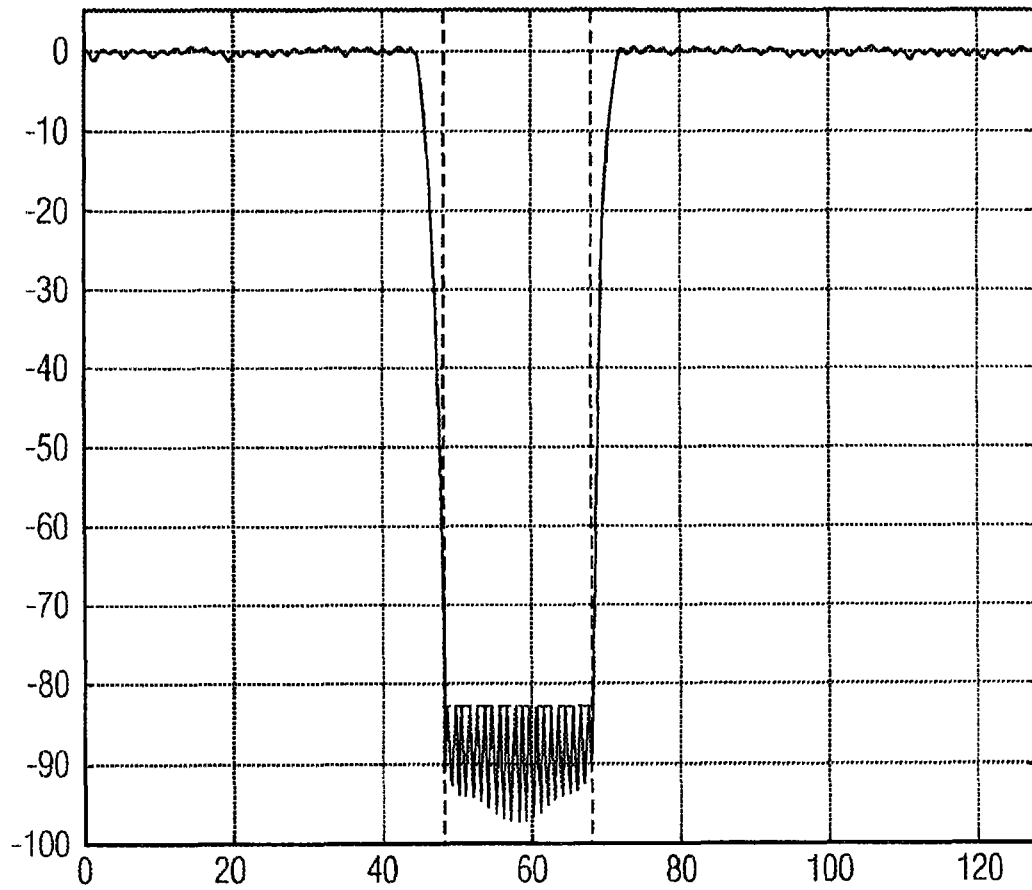


图 5

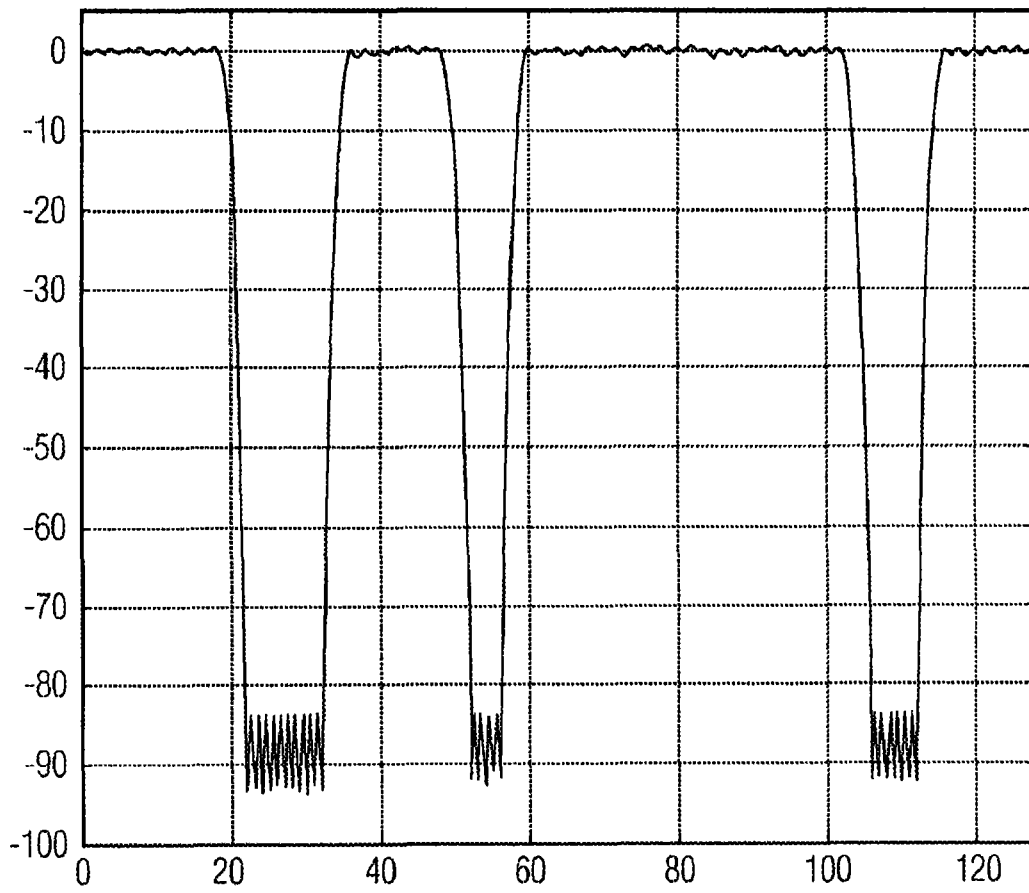


图 6