



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01818148.1

[43] 公开日 2005 年 3 月 9 日

[11] 公开号 CN 1593046A

[22] 申请日 2001.8.29 [21] 申请号 01818148.1

[30] 优先权

[32] 2000. 8. 31 [33] US [31] 60/229,571

[86] 国际申请 PCT/US2001/026952 2001.8.29

[87] 国际公布 WO2002/019606 英 2002.3.7

[85] 进入国家阶段日期 2003.4.28

[71] 申请人 诺基亚移动电话有限公司

地址 芬兰埃斯波

[72] 发明人 V·瓦德

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

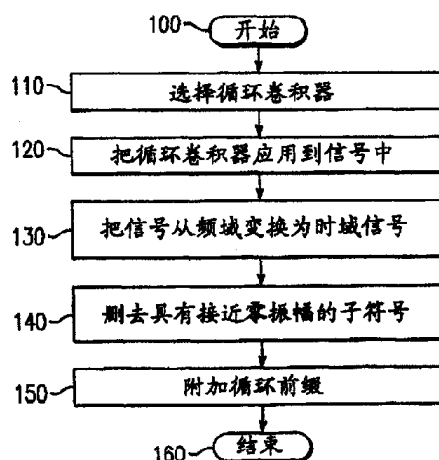
代理人 程天正 罗 朋

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

[54] 发明名称 正交频分复用系统中的部分响应信号传送

[57] 摘要

系统(10)中包括用于生成信号以及循环前缀的发射机(14), 其中发射机(14)抑制该信号的多个子符号, 产生部分响应信号。删去该部分响应信号的一部分, 并且利用所得到的截短信号去调制载波信号。该载波信号经过有噪声的信道(16)被发送到接收机(18)。接收机(18)接收有噪声的信号, 并且恢复该载波信号, 以及因此从该有噪声的信号中恢复部分响应信号。该方法中包括选择具有预定取值的循环卷积器(24), 把该循环卷积器(24)应用到信号上, 产生部分响应信号, 删去该部分响应信号中的多个子符号, 在该截短的部分响应信号的前沿添加循环前缀, 并且变换该截短的部分响应信号以及该循环前缀, 以产生一个基于时间的信号, 该信号被用于产生一个调制的载波信号, 准备好用于传输。



1. 一种通信系统内包含:

用于生成信号的发射机, 其中该信号由部分响应信号生成, 该部分响应信号由输入比特流映射到复数域而产生, 并且其中该发射机抑制该部分响应信号中的多个子符号, 以产生一个截短信号, 用来对载波信号进行调制而生成该信号; 以及

通过有噪声的信道与发射机进行通信的接收机, 用于接收有噪声的信号, 其中该接收机通过消除由于经过有噪声的信道传输所引起的噪声, 而从该有噪声的信号中恢复该信号。

2. 权利要求 1 的系统, 其中发射机内包含:

用于把输入比特流映射到复数域的映射单元;

耦合到该映射单元用于生成部分响应信号的循环卷积器单元; 以及用于把循环前缀添加到该截短信号的前沿的前缀单元。

3. 权利要求 2 的系统, 其中还包含用于把该部分响应信号转换为时域信号并且抑制该多个子符号的变换单元。

4. 权利要求 2 的系统, 其中接收机内包含用于从该有噪声的信号中恢复该信号的检测器单元。

5. 权利要求 2 的系统, 其中被抑制的多个子符号均匀地分布在该部分响应信号的边沿。

6. 一种在利用正交频分复用技术的系统内通过有效带宽增益去提高比特速率的方法, 该方法内包含:

选择具有预定取值的循环卷积器;

把该循环卷积器应用到包含多个子符号的信号中, 以生成具有该多个子符号的部分响应信号, 其中选择该循环卷积器的取值, 使得该部分响应信号内的多个子符号中的一部分被降低到接近零振幅;

从该部分响应信号中删去该多个子符号的接近零振幅的部分, 以产生一个截短的部分响应信号; 以及

在该截短的部分响应信号的前沿附加一个循环前缀。

7. 权利要求 6 的方法, 其中还包含:

利用反快速傅里叶变换技术, 对该部分响应信号进行变换, 产生基于时域的信号;

通过有噪声的信道发送该基于时间的信号, 生成有噪声的信号; 以

及

在接收机内，从该有噪声的信号中恢复该基于时间的信号。

8. 一种用于从源向目的地传递信息的系统，该系统中包含：

用于把该信息转换为频域信号的装置；

- 5 用于把频域信号变换为时域信号的装置，其中用于变换的装置被耦合到用于转换的装置，而且其中该变换导致多个具有接近零振幅的子符号；以及

用于删去该具有多个接近零振幅的子符号以生成一个截短的时域信号的装置，其中用于删去的装置被耦合到用于变换的装置。

- 10 9. 权利要求 8 中的系统，其中还包括：

用于把该截短的时域信号从源传递到目的地的装置，其中用于传递的装置被耦合到该用于删去的装置；以及

用于接收所传递的截短时域信号的装置，其中用于接收的装置被耦合到用于传递的装置，而且其中该用于接收的装置内包含：

- 15 用于从所传递的截短时域信号内恢复接收的截短时域信号的装置，其中该接收到的截短时域信号表示该截短的时域信号；

用于在接收的截短时域信号内插入多个零值以产生接收的时域信号的装置，其中用于插入的装置被耦合到用于恢复的装置，而且其中该接收的时域信号表示该时域信号；以及

- 20 用于把该接收的时域信号变换为接收的频域信号的装置，其中用于变换该接收的时域信号的装置被耦合到该用于插入的装置，并且其中该接收到的频域信号表示频域信号。

- 25 10. 权利要求 9 的系统，其中还包含用于从该接收到的频域信号中恢复接收的信息的装置，其中用于恢复的装置被耦合到用于变换该接收的时域信号的装置，并且其中该接收到的信息表示该信息。

正交频分复用系统中的部分响应信号传送

背景

- 5 本发明涉及到通信系统，并且更加具体而言涉及到通信系统中的调制技术。

典型的通信系统从一个位置或源向第二位置或目的地发送信息。此信息从源经过信道到达目的地；典型地，此信道是一个有噪声的信道。因此，该信道就会引入各种形式的噪声。此处使用术语“噪声”来定义各种形式的信号恶化，例如干扰、衰落、衰减、环境影响以及电子噪声等。它们都会在信号经过信道时改变该信号的特性。相应地，作为通过信道传输的结果，经过信道发送并且在接收机内接收到的信号就是被发送信号与由信道引入的噪声的影响的组合。

在蜂窝通信系统内，一种噪声被称作“干扰”。更加具体而言，在通信系统内至少存在两种形式的干扰：共道干扰(CCI)和符号间干扰(ISI)。通信系统内所出现的CCI部分地是由如下事实造成的，即：存在若干与同一接收单元进行通信的发射机。来自一个发射机的信号可干扰来自另一发射机的信号。每个发射机都是全向发射机。然而，当信号从发射机行进到接收机时，由一个发射机发出的信号可以取多条路径。这会导致一种形式的自干扰，即ISI。例如在蜂窝通信系统内，存在若干与同一基站进行通信的移动台，这经常导致CCI。

如上指示，在通信系统内，信息从源经过信道被发送到目的地。由载波信号承载该信息，该载波信号经过调制以包含或承载该信息。可以在经过信道传输信息中应用各种形式的调制。调制就是根据已建立的标准或方案，去改变载波特性的过程；用该信息准备或者“调制”该载波，以产生从源经过信道被发送到目的地的“调制的”载波信号。例如在蜂窝通信系统内，调制就是按照被发送信息去改变电载波特性的过程。最普通的调制类型就是频率调制(FM)、幅度调制(AM)以及相位调制(PM)。

一种当前工业上使用的调制技术被称作正交频分复用(OFDM)。OFDM是多载波调制技术当中的一种技术。多载波调制就是利用不同的信息对多个载波进行调制的技术，所有信息都在时间上同时或并行地发送。OFDM具有较高的频谱效率，以及对多径衰落的高容忍度。如上指示，发

射机是全向的并且可以在所有方向上进行发射。这样，从发射机或源发出的信号可以经历多条路径到达接收机或目的地。相应地，在载波信号的强度中会出现多径衰落，这将导致所承载信息发生变化。

- 5 利用 OFDM 的系统的高效率源于时间上同时或者并行地传输几个子载波。尽管这会降低每个子载波中的比特速率，但是它在累积的比特速率中提供“N”倍的增加，其中 N 是子载波的个数。此外，由于低比特速率信号几乎不会受 ISI 的影响，并且子载波是正交的，因此有可能相互独立地对各个子载波进行解调。常规 OFDM 系统内包含一组利用反快速傅里叶变换 (IFFT)、在时间上被发送的子符号 $X[k]$ 。该时域基带信号
- 10 号可以被表示为：

$$x[n] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] \cdot \exp\left(\frac{j2\pi kn}{N}\right), n=0,1,\dots,N-1$$

这样，长度为 N 个样值的被发送 OFDM 符号向量可以表达为：

$$x_n = \text{IFFT}\{X_n\}$$

其中 x_n 和 X_n 分别是时域和频域符号向量。

- 在典型的 OFDM 系统内，二进制符号或比特流以复数值数字的形式
- 15 编码。可以从 M 进制字符集中获取这些复数值数字。然后，利用这些复数值数字对一组正交子载波进行调制，以便利用反离散傅里叶变换 (IDFT) 生成时域信号。使所得到的基带信号（通常为复数值）在射频 (RF) 载波上进行正交调制，并且通过空中接口信道进行发送。被发送的信号在被接收之前会遭到信道噪声与弥散的破坏。

- 20 存在与利用 OFDM 调制技术的系统相关的若干问题。例如，信道容易受到由于多径引起的衰落以及路径损耗的影响。此外信道会受 ISI 的影响，当接收机不得不对数据进行检测时就会出现这个问题。而且，用于发送与接收数据的设备的制造过程中也会面临如下挑战：即增加在有限带宽内信息传输的量和速率，同时还要克服由信道噪声带来的信号损耗。

- 25 因此，目前所需要的就是用于最小化 ISI 以及衰落对 OFDM 系统所造成的影响，并且提高比特速率的系统和方法。

发明概述

本发明提供用于最小化 ISI 以及衰落的影响而同时允许提高的比特速率的系统和方法。该系统中包括：用于生成信号及其循环前缀的发射

机, 其中该发射机抑制部分响应信号中的多个子符号, 以产生用于对载波信号进行调制的一个截短信号, 以便生成该信号; 以及通过有噪声的信道与发射机进行通信的接收机, 它用于接收有噪声的信号, 并且通过消除由于经过有噪声的信道传输而导致的噪声, 从该有噪声的信号中恢复该信号。

该方法中包括选择具有预定取值的循环卷积器, 把该循环卷积器应用到信号上, 以产生一个部分响应信号, 其中该部分响应信号中的一部分具有接近零的振幅, 从该部分响应信号中删去该部分响应信号的振幅接近零的部分, 生成一个截短的部分响应信号, 并且在该截短的部分响应信号的前沿添加循环前缀。

本发明的好处在于可以获得带宽增益, 而没有显著的频谱扩展。

附图简述

图 1 根据本发明的教导, 说明利用正交频分复用 (OFDM) 部分响应技术的系统的框图;

图 2 是 OFDM 信号的图形表示;

图 3 是由预选的循环卷积多项式修改的部分响应 OFDM 信号的图形表示;

图 4 是由预选的循环卷积多项式修改的部分响应 OFDM 信号的图形表示;

图 5 是利用图 1 中的系统, 生成部分响应 OFDM 信号的过程的流程图。

发明详细描述

现在参考图 1, 给出具有包括发射机 14、信道 16 以及接收机 18 的通信系统 10, 其中该系统 10 利用部分响应 (PR)-正交频分复用 (OFDM) 信号调制技术。发射机 14 中包括映射器 22、循环卷积器 24、串到并转换器单元 26、反快速傅里叶变换 (IFFT) 单元 28、并到串转换器单元 30 以及前缀单元 32。发射机 14 经过信道 16 向接收机 18 发送信息。信道 16 是有噪声的信道。接收机 18 中包括串到并转换器单元 34、快速傅里叶变换 (FFT) 单元 36、并到串转换器单元 38、最大似然 (ML) 估计器单元 40 以及解映射器单元 42。

发射机 14 接收二进制信号形式的信息, 并且将其输入到映射器 22, 用于映射或者编码成一组复数的形式, 该复数可以从 M 进制字符集

中取出,从而产生复数信号,如随后所详细讨论的,之后会利用该信号去调制或者准备用于传输的载波信号。发射机 14 经过信道 16,向接收机 18 发送该载波信号。在载波信号(它是基于时间的信号)经过信道 16 时,信道 16 会在载波信号诸如 $x[n]$ 中引入噪声,相应于该信道 16 的信道冲激响应诸如 $h[n]$ 。循环卷积器单元 24 对复数信号执行循环卷积。此外,前缀单元 24 在复数信号的前沿或起始处添加循环前缀(CP),这也有助于补偿信道 16 的影响,并且有助于抑制 PR-OFDM 信号中每个低比特速率子信道内的符号间干扰(ISI)。

CP 确保当信道 16 对每个 OFDM 时间符号执行卷积时,可以在接收机 18 处消除信道 16 的影响。根据本发明的教导,在部分响应(PR)技术中会产生并且在基于频域的信号内引入子载波(即子信道)间干扰(ICI),使得有效的时域符号被缩短。如上指示,由循环卷积器单元 24 把所生成的 ICI 引入到复数信号中。循环卷积器单元 24 会在期望或所生成 ICI 的基础上,引入系统的或已知数量的弥散,以产生一个部分响应信号。在该系统 10 内,频率符号 X_n 会通过 M 阶的已知多项式 c_n 进行循环卷积, c_n 的定义如下:

$$c_n = [c(0) \ c(1) \ \dots \ c(M-1) \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]$$

PR 多项式可以被表示为长度为 N 的填零向量,其中包含 M 个非零项。所得到的时域符号向量现在可以被表示为:

$$x_n = \text{IFFT}\{X_n \otimes c_n\}$$

其中 $\otimes$ 表示由循环卷积单元 24 执行的循环卷积,它把每个频域子符号中的信息分散在 M 个连续的子载波中。相应地,接收机 18 要求一种序列检测机制,去拆开(unravel)该输入子符号 X_n ,而且这可以由 ML 检测器单元 40 执行。此外,与 c_n 进行循环卷积的其它结果是:原始的时间向量符号 x_n 现在承载由下式给出的振幅包络:

$$e_n = \text{IFFT}\{c_n\}$$

通过适当地选择多项式向量 c_n ,发射机 14 能够有效地抑制 OFDM 时间符号向量的各部分中的能量,由此产生 PR-OFDM 符号。例如,考虑从 $p(r)$ 的 r 幂次系数中得到的该组多项式,其中:

$$p(r) = (1-r)^m; \ m=1, 2, \dots$$

根据这种多项式得到的包络向量在其两端的每一端都为零。因此,时域符号向量的包络两端或尾部的能量被有效地抑制并且可以被删

去。因此，循环卷积器单元 24 生成部分响应信号，在时域内，在该信号两端处的能量近似为零。

然后，由串到并单元 26 接收该部分响应信号，它是基于频域的信号。串到并单元 26 把部分响应信号从串行转换为并行信号传送，并且把该并行部分响应信号传递给 IFFT 单元 28。IFFT 单元 28 执行调制，对该并行部分响应信号进行变换，以生成时域的实部分量和虚部分量。从该部分响应信号中得到经过变换的并行部分响应信号。由并到串单元 30 接收经过变换的并行部分响应信号的实部分量和虚部分量，将其转换为串行信号传送，以产生一个经过变换的部分响应信号准备用于传输。

现在参考图 2、3 和 4，其中对 64 个样值时间符号说明该部分响应生成的多项式对该时域符号向量的影响。特别参考图 2，其中仅以绝对值或量值给出 64 个样值时间符号，它们是从一组频域中随机选取的正交相移键控 (QPSK) 子符号中取出的。尽管图 2 中给出 QPSK 子符号，但是任意星座 (constellation) 都可以被用于部分响应信号中。在图 3 和图 4 中，给出分别利用 $M=2$ 和 $M=4$ 阶的 PR 多项式 c 的相应的时间符号量值，其中在靠近两端处时间符号的几个样值被抑制。由于该时间符号尾部的能量非常低，因此删去两端附近的样值实际上不会导致性能损失。此处使用标示“删去”，也就意味着这些子符号不会作为发送的部分响应信号的一部分被发送出去。相应地，删去或者不发送低能量的样值，本质上使能在时间上对该信号进行压缩，由此而获得显著的时间或带宽增益。由于 PR 效应而减小被用来发送 OFDM 时间符号的时间可以被解释为导致额外带宽。

在一实施例内，系统 10 是利用 64 个子载波的 OFDM 系统。在系统 10 内使用从 $M=1$ 到 $M=4$ 阶的 PR 多项式。针对 $M=1、2、3$ 和 4 ，分别可以删去 $d=12、16、24$ 和 32 个样值（即从每一端删去 $6、8、12$ 和 16 个样值）。因此，在不存在任何 BER 或 SNR 中的其它性能损耗的情况下，在传输 OFDM 时间符号中所节省的时间部分为 d/N 。因此在 $M=1、2、3$ 和 4 的情况下，所节省的时间分别为 $12/64、16/64、24/64$ 和 $32/64$ ，或者是 $18.75\%、25\%、37.5\%$ 和 50% 。相应地，所节省的时间可以被用于发送额外的 OFDM 符号，而且在 $M=1、2、3$ 和 4 的情况下，被测量作为在给定时间量内可能的额外传输的相应的带宽增益分别是 $23\%、33\%、60\%$ 和 100% 。

如上指示, 可以以最小频谱扩展获得带宽增益, 这将在随后详细讨论。很明显, 对本领域技术人员来说很显然, 在插入 CP 之前 OFDM 信号 $s_1(t)$ 可以表示为如下形式:

$$s_1(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} p_k \{t - kN\Delta T\} \quad (1)$$

其中 N 是 FFT 的大小, $\Delta T = T/N$, 而且 $p_k(t)$ 是在 $[(k-1)T, kT]$ 内发送的第 k 个基带 OFDM 符号。

该信号的第 n 个样值 $s_1[n]$ 等于脉冲 $p_k(t)$ 的第 m 个样值 $p_k[m]$, 其中 $n = (m + kN)$ 。在 PR 信号传送的一个实施例内, 从每个 OFDM 符号删去两端的 d 个符号, 其中 d 为偶数, 因为被删去的子符号的量值是相对不重要的; 从 OFDM 信号中删去子符号就产生时域中的 PR-OFDM 信号。在 PR 信号传送的另一实施例内, 可以删去 PR 信号中任意部分内的子符号。因此, 该 PR-OFDM 基于时间的信号中包含符号, 每个符号具有 $(N-d)$ 个样值, 其中第 k 个符号中包含 $p_k(t)$ 的样值的子集, 特别是从第 $(d/2+1)$ 到第 $(N-d/2)$ 个样值。可以相对脉冲串 $p_k(t)$, 如下表达 PR-OFDM 信号 $s_2(t)$:

$$s_2(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} p'_k \{t - k(N-d)\Delta T\}$$

其中脉冲 $p'_k(t)$ 与 $p_k(t)$ 的关系为:

$$p'_k(t) = p_k \left\{ t + \left(\frac{d}{2} + 1 \right) \Delta T \right\} \cdot \text{rect} \left\{ \frac{t}{(N-d)\Delta T} \right\}$$

其中对于任意 $t \in [0, 1]$, $\text{rect}(t) = 1$, 否则为零。

可以根据 $s_1(t)$ 的自相关函数, 去计算由公式 (1) 表示的伪随机信号的功率谱密度 (PSD)。很清楚, $s_1(t)$ 的自相关被限制在时间间隔 $[-N\Delta T, N\Delta T]$ 内。这是从如下事实得出的: $p_k(t)$ 本身在时间上被限制在 $[0, N\Delta T]$ 内, 以及不同 OFDM 符号为零均值并且是不相关的。 $s_1(t)$ 的自相关与脉冲 $p_k(t)$ 整体的自相关相同, 即 $R_s(t) = R_p(t)$ 。脉冲 $p'_k(t)$ 从 $p_k(t)$ 中得到, 这样它遵循如下公式:

$$R_{p'}(t) = R_p(t) \cdot \text{rect} \left\{ \frac{t}{2(N-d)\Delta T} \right\}$$

这样, 连续时间 PR-OFDM 信号 $s_2(t)$ 的 PSD $S_{p'}(f)$ 与公式 (1) 内常

规 OFDM 信号 $s_1(t)$ 的 PSD $S_p(f)$ 有如下关系:

$$\begin{aligned} S_{p'}(f) &= FT\{R_{p'}(t)\} = FT\left\{R_p(t) \cdot \text{rect}\left(\frac{t}{2(N-d)\Delta T}\right)\right\} \\ &= (2(N-d)\Delta T) S_p(f) * \text{sinc}(2(N-d)f\Delta T) \\ &\propto S_p(f) * \text{sinc}(2(N-d)f\Delta T) \end{aligned} \quad (1.1)$$

其中*表示卷积。对于 $M=4$, 数值 $d \approx N/2$, 意味着带宽增加的因子为 $\text{sinc}(fT)$ 。图 5 中相对常规 OFDM 频谱的背景, 在 $M=4$ 并且选择 $d=N/2$ 的情况下, 给出频域中该因子的影响。相应地, 与通过 PR-OFDM 可能的大带宽增益相比, 频谱扩展是可忽略的。

PR-OFDM 信号使各部分的时间符号被抑制。尽管可以选择多项式去抑制任意部分的 OFDM (例如中间部分), 但是仍选择循环卷积多项式, 使得被抑制的部分位于趋向于该时间符号的两端。在本实施例内, 抑制出现在时间符号的两端。使该时域符号的两端被抑制, 则可以加入 CP, 而没有来自信号本身的干扰。要被添加的 CP 的长度通常被固定为遇到的最大信道长度 L 。在接收机 18 内, CP 承载所有的 ISI, 并且出于检测的目的可以被简单地删去, 这将在随后详细讨论。这样, 带有 CP 的子载波的正交选择, 可以提供无 ISI 和子载波间 (即信道间) 干扰 (ICI) 的多载波技术。根据定义, 选择循环前缀或 CP 为该符号的最后 L 个样值, 并且将其添加到起始。对于本发明 PR-OFDM 情况来说, 我们将总是使用 PR 多项式的阶数, 使得被抑制子符号的个数满足 $d/2 > L$ 。这样, CP 将仅包含被附加到该截短的符号 $p'_k[n]$ 中的 L 个空白 (即全零) 子符号。因此这样的增加的好处就是: PR-OFDM 内使用的 CP 可以有少量或没有能量。

该部分响应信号经过信道 16 发送, 并且在接收机 18 内被接收作为发送的部分响应信号。在串到并单元 34 接收该被发送的部分响应信号, 并且将其转换为并行的被发送的部分响应信号, 然后传递给 FFT 单元 36。FFT 单元 36 执行与 IFFT 单元 28 的变换相反的反变换, 因此把该信号从基于时域的信号变换为基于频域的信号, 以生成被转换的并行发送部分响应信号。被转换的并行发送部分响应信号被传递给并到串单元 38。并到串单元 38 把经过转换的并行发送部分响应信号变化为经过转

换的发送部分响应信号。被转换的发送部分响应信号被传递到最大似然 (ML) 检测器单元 40。ML 单元 40 拆开该被转换的发送部分响应信号，以生成或恢复基于复数的信号。解映射器单元 42 把基于复数的信号转换为二进制流，由接收机输出。

- 5 现在参考图 5，生成 PR-OFDM 信号的过程从步骤 100 开始。在步骤 110，选择循环卷积器，把两端的子符号降低到接近零振幅。在步骤 120，循环卷积器被应用到信号上，以生成卷积信号。在步骤 130，把信号从频域转换到时域。在步骤 140，删去该卷积信号中接近零振幅的子符号，以生成 PR-OFDM 信号。在步骤 150，在 PR-OFDM 信号中附加循环前缀，
10 并且在步骤 160 处理过程结束。

- 尽管在特定实施例的环境内描述本发明，但是很明显，对于本领域的技术人员来说，可以对本发明的教导做出多种修改。因此，尽管已经针对本发明的一个或多个特定实施例特别给出并且描述本发明，但是本领域的技术人员应该理解到：在此可以在形式和形态中做出特定修改或
15 变化，而没有脱离上述提出以及随后要求的本发明的范围和精神实质。

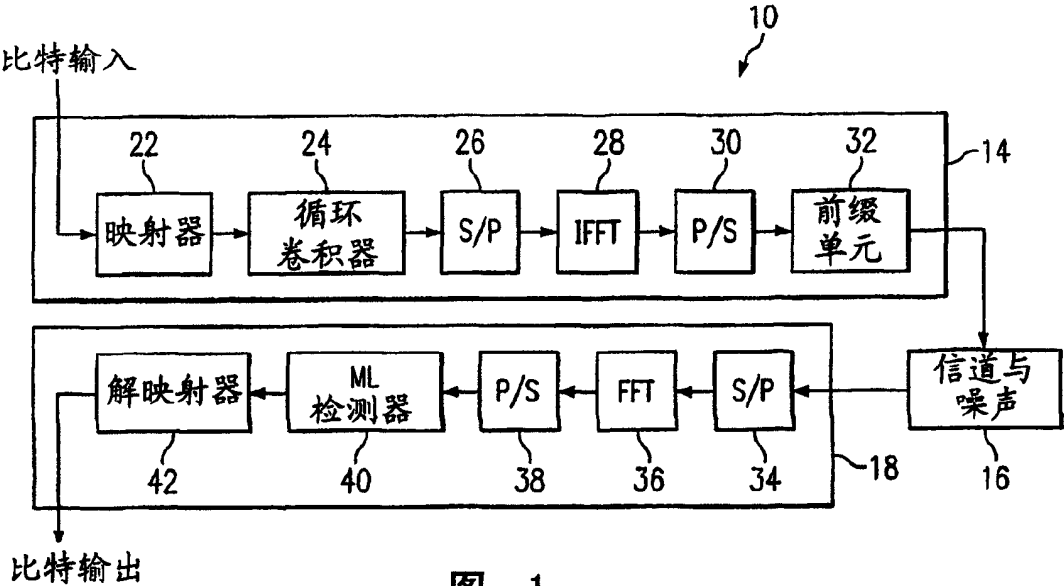


图 1

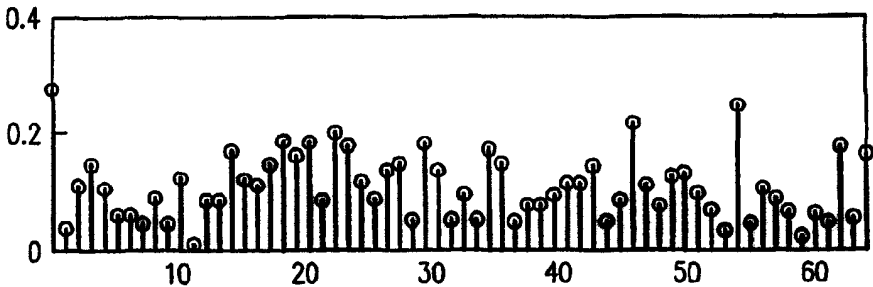


图 2

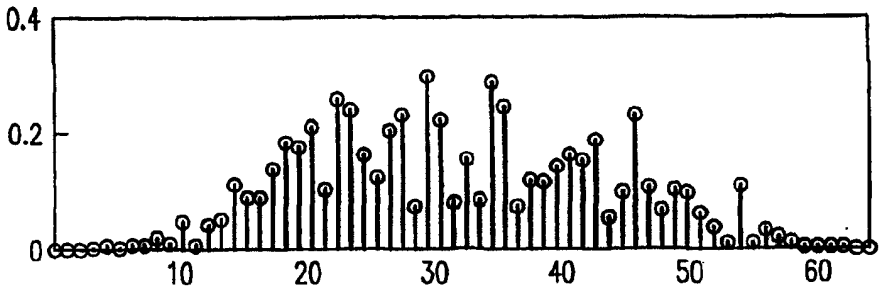


图 3

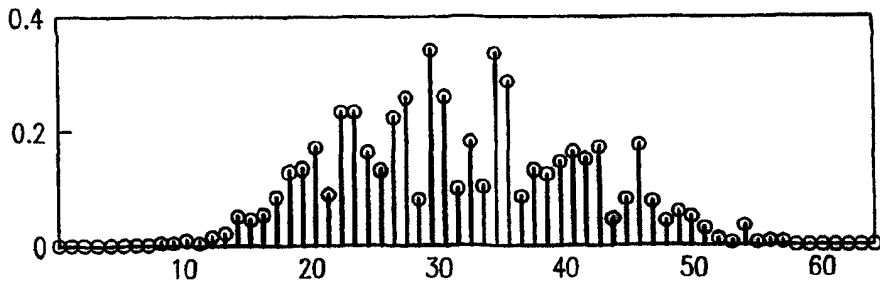


图 4

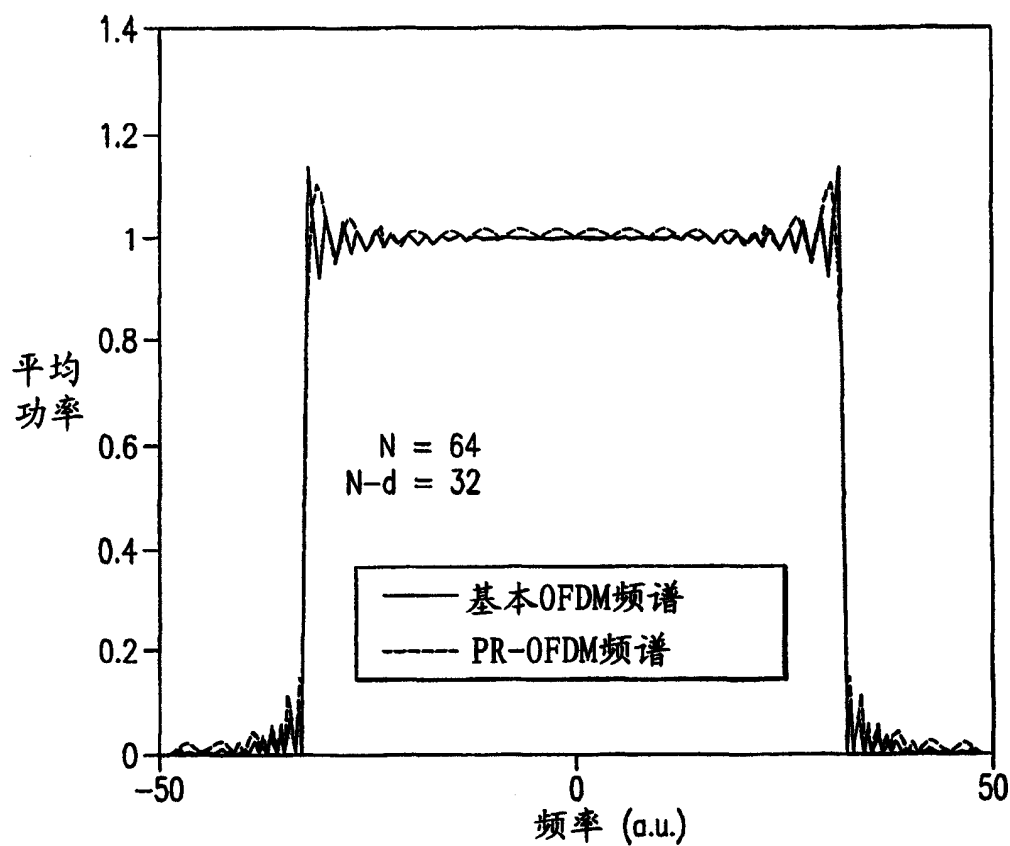


图 5

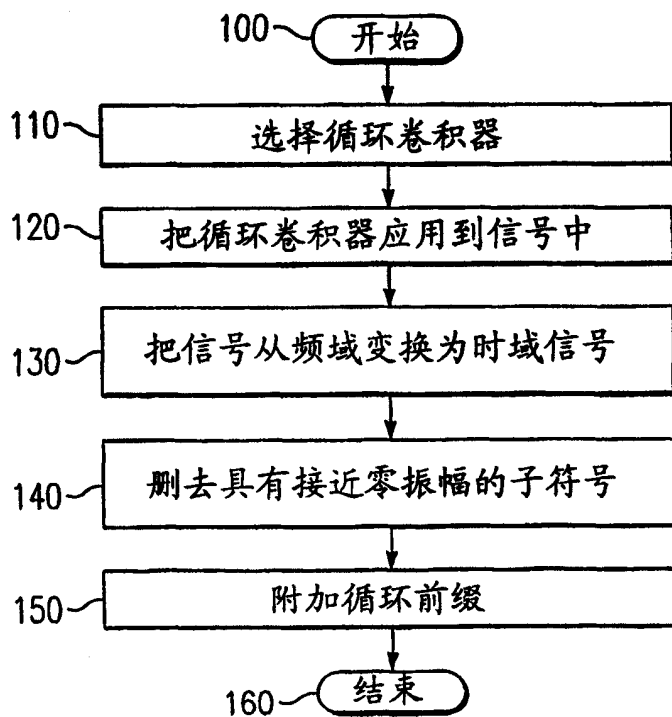


图 6