

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04L 27/26 (2006.01)

H04J 11/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710096569.2

[43] 公开日 2007年9月19日

[11] 公开号 CN 101039302A

[22] 申请日 2001.2.16

[21] 申请号 200710096569.2

分案原申请号 01104561.2

[30] 优先权

[32] 2000.2.16 [33] US [31] 09/505,159

[71] 申请人 汤姆森特许公司

地址 法国布洛涅

[72] 发明人 马克西姆·B·贝洛特瑟科夫斯基

小路易斯·R·利特文

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 吕晓章 李晓舒

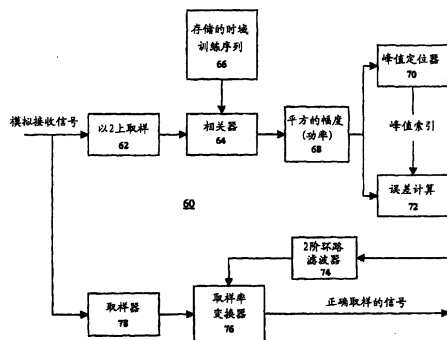
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 6 页

[54] 发明名称

正交频分多路复用系统中的取样偏移校正

[57] 摘要

正交频分多路复用 (OFDM) 接收机检测和校正时域中的取样偏移。OFDM 接收机过取样 (62) 接收的 OFDM 信号中的训练序列或者码元, 相关 (64) 所述过取样的训练序列与删截型式的训练序列的存储副本, 定位相关峰值 (70) 和通过计算在所述相关峰值附近的相关样本的幅度差值导出取样偏移 (72)。



1. 一种在正交频分多路复用 OFDM 接收机中校正取样偏移的方法，该方法包括以下步骤：

接收具有训练码元的 OFDM 信号；

取样所接收的 OFDM 信号，以便产生包括多个训练码元样本的 OFDM 样本；

检测具有预定值的训练码元样本的位置；

输出所定位的训练码元样本的索引；

计算所述索引的每一侧的训练样本的幅度差值；

产生从所计算的差值导出的取样偏移误差。

2. 一种用于接收具有训练码元的正交频分多路复用 OFDM 信号的 OFDM 接收机，该 OFDM 接收机包括：

用于接收具有训练码元的 OFDM 信号的装置；

用于取样所接收的 OFDM 信号以产生包括多个训练码元样本的 OFDM 样本的装置；

用于检测具有预定值的训练码元样本的位置的装置；

用于输出所定位的训练码元样本的索引的装置；

用于计算所述索引的每一侧的训练样本的幅度差值的装置；以及

用于产生从所计算的差值导出的取样偏移误差的装置。

3. 一种用于在正交频分多路复用 OFDM 接收机中识别取样偏移的系统，该系统包括：

模数变换器 ADC，其取样所接收的包含基准码元的 OFDM 信号，并输出包括多个训练码元样本的 OFDM 样本；

耦合到所述 ADC 的相关器，该相关器相关从所述 ADC 输出的 OFDM 样本与所存储的码元，并输出表示所存储的码元与所述 OFDM 信号的相关的相关样本序列；

耦合到所述相关器的功率模块，该功率模块确定所述序列中的每个相关样本的功率；

耦合到所述功率模块的相关峰值检测器，该相关峰值检测器通过定位具有最大功率值的相关样本序列中的相关样本，确定相关峰值的索引；

耦合到所述相关峰值检测器和功率模块的误差计算模块，该误差计算模块计算所述相关峰值的每一侧的相关样本的幅度差值；以及

耦合到所述误差计算模块和 ADC 的校正单元，该校正单元响应于所计算的差值而校正取样偏移。

正交频分多路复用系统中的取样偏移校正

本申请是申请日为2001年2月16日、申请号为01104561.2、发明名称为“正交频分多路复用系统中的取样偏移校正”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

本发明涉及处理正交频分多路复用(OFDM)信号。

背景技术

正交频分多路复用(OFDM)是在信道上有效地发送数据的一种健全的技术。该技术使用在信道带宽中的多个子载频(子载波)发送该数据。安排这些子载波用于与更常规的传输方法诸如频分多路复用(FDM)相比而言最佳的带宽效率,频分多路复用浪费大部分的信道带宽以便分开和隔离子载波频谱,从而避免载波间干扰(ICI)。相反,虽然OFDM子载波的频谱在OFDM信道带宽内显著地重叠,但是OFDM允许已经调制在每个子载波的信息的分解和恢复。

通过信道经过OFDM信号的数据传输提供优于更常规的传输技术的几个优点。一个优点是对多路径延迟扩展的容差。这个容差是由于与典型的信道脉冲响应的持续时间相比较而言的较长的码元间隔 T_s 。这些长码元间隔防止码元间干扰(ISI)。另一个优点是对频率选择衰落的容差。利用在OFDM信号中包括冗余,编码为衰落的子载波的数据可以从其它子载波恢复的数据中重建。又另一个优点是有效的频谱使用率。因为OFDM子载波彼此非常紧密接近地放置,它们之间不需要留下未使用的频率间隔,所以OFDM可以有效地供给信道。另一优点是简化子信道均衡。OFDM从时域到频域偏移信道均衡(如在单个载波传输系统中),其中可以各自地对每个子信道的相位和幅度失真调整一组简单的一个抽头的均衡器。再一个优点是良好的干扰特性。能够修改OFDM频谱以便解决干扰信号功率的分配。而且,能够通过避免使用接近信道带宽边缘的OFDM子载波减少带外干扰。

虽然OFDM表现出这些优点,现有技术的OFDM的实现还呈现几个困

难和实际的限制。一个困难是同步发射机的取样率与接收机的取样率以便消除取样率偏移的问题。这两个取样率之间的任何不匹配导致在较小频偏的帧中的从码元到码元的 2^m 阵列子码元构象的旋转。但是，对于大的频偏，该结果是接收信号的频谱收缩或者扩展。这二者可以有助于增加 BER。取样率偏移的一个原因是存在取样频偏。当接收机以比在该发射机使用的取样速率更高或者更低的频率取样该接收信号时出现取样频偏。取样率偏移的另一个原因是存在取样相位偏移。当该接收机以偏离发射机取样率的一个相位偏移取样该接收信号时出现取样相位偏移。取样频率和取样相位偏移二者对该接收机的性能可能都是有害的，并且为了该接收机正确地同步必须对其进行纠正。本发明是针对这个问题的纠正。

发明内容

本发明的第一方面是提供一种在 OFDM 接收机中校正取样偏移的方法，该方法包括以下步骤：取样所接收的包含基准码元的 OFDM 信号；相关取样的 OFDM 信号与所存储的码元；输出表示所存储的码元与 OFDM 信号相关的相关样本序列；确定所述序列中每个相关样本的功率；通过定位具有最大功率值的相关样本序列中的相关样本，确定所述相关峰值的索引；计算在相关峰值每一侧的相关样本的幅度差值；和响应于所计算的差值而校正取样偏移。

本发明的第二方面是提供一种用于接收具有训练码元的 OFDM 信号的 OFDM 接收机，该 OFDM 接收机包括：模数变换器(ADC)，其以一取样率取样所接收的 OFDM 信号，以便产生包括多个训练码元样本的 OFDM 样本；耦合到所述 ADC 的训练码元检测器，该训练码元检测器检测在 OFDM 样本中具有预定值的训练码元样本的位置，并输出所定位的训练码元样本的索引；耦合到所述训练码元检测器的取样偏移单元，该取样偏移单元产生从所计算的所述索引的每一侧的训练样本的幅度差值导出的取样偏移误差。

本发明的第三方面是提供一种用于在 OFDM 接收机中识别取样偏移的系统，该系统包括：用于取样所接收的包含基准码元的 OFDM 信号的装置；用于相关取样的 OFDM 信号与所存储的码元以便产生相关样本序列的装置；用于输出表示所存储的码元与 OFDM 信号的相关的相关样本序列的装置；用于确定所述序列中每个相关样本的功率的装置；用于通过定位具有最大功率

值的相关样本序列中的相关样本来确定所述相关峰值的索引的装置；用于计算在所述相关峰值附近的预定的相关样本的幅度差值的装置；和用于从所计算的差值导出取样偏移误差的装置。

本发明的第四方面是提供一种在 OFDM 接收机中校正取样偏移的方法，该方法包括以下步骤：接收具有训练码元的 OFDM 信号；取样所接收的 OFDM 信号，以便产生包括多个训练码元样本的 OFDM 样本；检测具有预定值的训练码元样本的位置；输出所定位的训练码元样本的索引；计算所述索引的每一侧的训练样本的幅度差值；产生从所计算的差值导出的取样偏移误差。

本发明的第五方面是提供一种用于接收具有训练码元的 OFDM 信号的 OFDM 接收机，该 OFDM 接收机包括：用于接收具有训练码元的 OFDM 信号的装置；用于取样所接收的 OFDM 信号以产生包括多个训练码元样本的 OFDM 样本的装置；用于检测具有预定值的训练码元样本的位置的装置；用于输出所定位的训练码元样本的索引的装置；用于计算所述索引的每一侧的训练样本的幅度差值的装置；以及用于产生从所计算的差值导出的取样偏移误差的装置。

本发明的第六方面是提供一种用于在 OFDM 接收机中识别取样偏移的系统，该系统包括：ADC，其取样所接收的包含基准码元的 OFDM 信号，并输出包括多个训练码元样本的 OFDM 样本；耦合到所述 ADC 的相关器，该相关器相关从所述 ADC 输出的 OFDM 样本与所存储的码元，并输出表示所存储的码元与所述 OFDM 信号的相关的相关样本序列；耦合到所述相关器的功率模块，该功率模块确定所述序列中的每个相关样本的功率；耦合到所述功率模块的相关峰值检测器，该相关峰值检测器通过定位具有最大功率值的相关样本序列中的相关样本，确定相关峰值的索引；耦合到所述相关峰值检测器和功率模块的误差计算模块，该误差计算模块计算所述相关峰值的每一侧的相关样本的幅度差值；以及耦合到所述误差计算模块和 ADC 的校正单元，该校正单元响应于所计算的差值而校正取样偏移。

附图说明

在附图中：

图 1 是常规的 OFDM 接收机的方框图；

图 2 示出在数据帧内 OFDM 码元和它们的相应的保护间隔的典型的配

置;

图 3 是本发明的示例性的取样偏移校正系统的方框图;

图 4 是当存在取样偏移(相位和/或者频率)时的相关功率峰值;

图 5 是说明本发明与图 1 的常规的 OFDM 接收机集成的方框图;

图 6 是在频域中的示例性的训练序列的图; 和

图 7 是图 6 的训练序列的时域表示法。

具体实施方式

从下面以实例的方式给出的描述中本发明的特征和优点变得更明显了。

参见图 1, 典型的 OFDM 接收机 10 的第一单元是 RF 接收机 12。RF 接收机 12 的许多变化在本领域中存在并且是公知的, 但是典型地, RF 接收机 12 包括一个天线 14, 一个低噪声放大器(LNA)16, 一个 RF 带通滤波器 18, 一个自动增益控制(AGC)电路 20, 一个 RF 混频器 22, 一个 RF 载频本机振荡器 24 和一个 IF 带通滤波器 26。

通过天线 14, 在 RF OFDM 已调载波通过该信道之后 RF 接收机 12 在 RF OFDM 已调载波中耦合。然后, 通过将它与 RF 本机振荡器 24 产生的频率 f_{cr} 的接收机载波混频, RF 接收机 12 下变频已调的 RF OFDM 载波, 以便获得接收的 IF OFDM 信号。接收载波与发送载波之间的频差导致了载频偏移增量 f_c 。

然后这个收到的 IF OFDM 信号馈送到混频器 28 和混频器 30 二者以便分别与同相 IF 信号和 90° 相移(正交)IF 信号混频, 分别产生同相和正交 OFDM 信号。馈送到混频器 28 的同相 IF 信号是由 IF 本机振荡器 32 产生的。馈送到混频器 30 的 90° 相移 IF 信号是在馈送给混频器 30 之前传递同相 IF 信号通过 90° 移相器 34 从 IF 本机振荡器 32 的同相 IF 信号中得到的。

然后同相和正交 OFDM 信号分别传递到模数转换器(ADC)36 和 38, 其中它们以由时钟电路 40 确定的取样率 f_{ck_r} 数字化。ADC 36 和 38 产生数字样本, 分别形成同相和正交离散时间的 OFDM 信号。接收机和发射机的取样率之间的差值是取样率偏移增量 $f_{ck} = f_{ck_r} - f_{ck_t}$ 。

然后来自 ADC 36 和 38 的未滤波的同相和正交离散时间的 OFDM 信号分别通过数字低通滤波器 42 和 44 传递。低通数字滤波器 42 和 44 的输出分别是接收的 OFDM 信号的滤波的同相和正交样本。用这种方式, 接收的

OFDM信号转换为同相(q_i)和正交(p_i)样本,分别表示复数值OFDM信号 $r_i = q_i + jp_i$ 的实部和虚部值分量。接收的OFDM信号的这些同相和正交(实部值和虚部值)样本则传递给DSP 46。注意,在一些常规的接收机10的实现中,在IF混频处理之前完成模拟数字转换。在这样一个实现中,混频处理包括使用数字混频器和数字频率合成器。还注意,在许多常规的接收机10的实现中,在滤波器之后执行数字模拟转换。

DSP 46对接收的OFDM信号的同相和正交样本执行各种的操作。这些操作可以包括:a)同步接收机10与接收的OFDM信号中的码元和数据帧的定时,b)从接收的OFDM信号中去掉周期的前缀,c)计算接收的OFDM信号的离散傅里叶变换(DFT)或者最好是快速傅里叶变换(FFT),以便恢复频域子码元的序列,在每个OFDM码元间隔期间用于调制子载波,d)对子载波执行任何要求的信道均衡,和e)利用FFT计算解调OFDM信号的子载波从OFDM信号的每个码元计算频域子码元 y_k 的序列。然后DSP 46传送这些子码元序列给解码器48。

解码器48从DSP 46传递给它的频域子码元序列中恢复发送的数据比特。这个恢复是通过解码该频域子码元以便获得数据比特流执行的,数据比特流应该理想地匹配馈送到OFDM发射机的数据比特流。这个解码处理可以包括软维特比解码和/或者瑞得-所罗门(Reed - Solomon)解码,例如以从该块和/或者卷积编码的子码元中恢复数据。

在典型的OFDM数据传输系统诸如实现数字电视或者无线局域网(WLAN)的系统中,数据是在OFDM信号中以称为数据帧的码元组发送。这个概念表示在图2中,其中数据帧50包括M个相邻的码元52a, 52b,..., 52M,每个码元包括一个保护间隔 T_g 以及OFDM码元间隔 T_s 。因此,每个码元具有 $T_g + T_s$ 秒的总的持续时间。根据本应用,数据帧可以连续地发送,诸如在数字电视的广播中,或者数据帧可以在随机时间以脉冲串发送,诸如在WLAN的实现中。

现在参见图3,表示本发明的一个示例性的实施例。图3配置可以使用在图1的接收机中,正如图5所示的。但是,为了清楚,易于参考和有助于本发明的理解,本发明表示为不同的取样偏移校正环路。

本发明工作在符合建议的ETSI-BRAN HIPERLAN/2(欧洲)和IEEE 802.11a(美国)无线局域网标准的接收机中,在此结合作为参考。但是,认为

以其它 OFDM 系统实现本发明的教导在本领域技术人员的技能之内。

上面提到的无线局域网标准建议使用检测 OFDM 传输的训练序列。该训练序列(例如序列 A 或 B)包括一系列短的 OFDM 训练码元(具有已知的幅度和相位), 经过预先确定数量的导频子载波或者库(bins)(例如 12 导频子载波)发送。在该训练序列传输期间, 所有的其它子载波(例如 52 个子载波)保持在零。虽然讨论使用上面提到的 LAN 标准的训练序列, 使用可替代的训练序列和码元认为是在根据所附的权利要求限定的本发明的范围内。HIPERLAN/2 的一个示例性的训练序列 B 的频域和时域表示法表示在图 5 和 6 中。如在图 6 中所示的, 该训练序列具有 16 样本的数据块, 即每个训练码元重复 4 次。本发明采用这个重复的数据块或者时间周期, 正如在下面进一步详细讨论的。

现在返回到图 3, 示出取样偏移校正系统 60。应该注意, 系统 60 可以以软件, 硬件或者它们的一些组合实现。一对取样器(例如 ADC) 62 和 78 接收到的 OFDM 信号。正如在上面讨论的, 收到的 OFDM 信号包括同相(q_i)和正交(p_i)部分, 分别表示复数值 OFDM 信号 $r_i = q_i + jp_i$ 的实部和虚部值分量。取样器 78 以给定的取样率(选择接近该发射机的取样率)取样该 OFDM 信号和通过取样率变换器 76 传递取样的 OFDM 信号, 用于下游处理(例如 FFT 等等), 正如在下面进一步详细讨论的。取样器 62 以预定的系数(例如因子 2)上取样或者过取样该接收的 OFDM 信号并且传递该上取样的信号给相关器模块 64。过取样该接收的 OFDM 信号提供该 OFDM 信号的分辨率, 它是导出有意义的误差所需要的, 正如在下面进一步详细讨论的。应该注意, 取样器 78 和取样器 62 可以以多个不同的方式互连, 正如本领域技术人员已知的。例如, 取样器 78 和取样器 62 可以由时钟电路(未表示)驱动, 该时钟电路驱动取样器 78 和 62 二者以便以因子 2 过取样 OFDM 信号。在这种情况下, 取样器 62 将传递每个样本到相关器模块 64 并且取样器 78 将传递每隔一个样本给取样率变换器 76。

相关器模块 64 相关从取样器 62 接收的上取样的信号与存储在本地存储器 66 中的训练序列(例如上述无线标准的训练序列 B)的时域样本。在该示例性的训练序列中的每个样本具有一个值 $\sqrt{13/6} * [(1+j)$ 或者 $(-1 - j)]$ 。分配用于存储每个样本的存储器将取决于特定的 OFDM 接收机的设计。所存储的训练序列的型式最好是对应于训练序列 B 的样本(例如 16 个样本)的重复数据块之一的训练序列的删截型式。更具体地说, 所存储的删截的训练序列的型式

最好对应于重复数据块的过取样型式(例如 32 个样本),所述重复数据块是利用如在取样器 62 中使用的相同的预定因子(例如因子 2)过取样的。通过仅仅存储一个删截的、可是过取样的型式的训练序列,在本地存储器 66 中有效地利用存储器空间,因为整个训练序列(即如果该训练序列没有过取样的 64 样本)不存储在本地存储器 66 中。

当存储的训练序列与包含在 OFDM 信号中的训练序列一致时,最大的相关将出现在过取样的 OFDM 信号和删截型式的训练序列之间。因此,相关输出功率的峰值可以用于确定什么时候接收信号与存储的训练序列一致。

相关器模块 64 的输出是一个复信号,因为输入(即存储的训练序列和 OFDM 信号)是复数的。功率模块 68 可以根据特定的 OFDM 接收机的设计以两种方式之一计算该相关信号的每个样本的功率或者幅度。第一,功率模块 68 可以计算相关信号的每个复数样本的平方幅度(即功率)以便产生表示相关信号功率的一个实数。第二,功率模块 68 可以获得该相关信号的每个复数样本的幅度(与平方幅度相对)。

峰值定位器模块 70 检索从功率模块 68 输出的相关功率序列,以便定位在具有最大功率或者幅度值的相关功率序列中的样本。一旦识别了最大的值,峰值定位器模块 70 输出峰值位置的索引到一个误差计算模块 72。该索引由误差计算模块 72 使用作为一个参考点。

正如在上面讨论的,过取样 OFDM 信号增加相关样本的数量,使得误差计算模块 72 可以导出有意义的取样误差。例如图 4 表示一个主相关峰值 80 和在主相关峰值 80 的每一侧的一对较小的相关峰值 82 和 84。如果该 OFDM 信号没有利用取样器 62 过取样,可能仅仅存在主相关峰值 80,而误差计算模块 72 将不能够确定从在主峰值 80 附近的相关峰值的幅度得到的取样误差 86,正如在下面进一步详细讨论的。

当检测相关样本的主峰值时,误差计算模块 72 分析在主峰值 80 的每一侧的相关样本 82 和 84。当不存在取样偏移时,频率相关样本 82 和 84 具有相同的幅度(未表示)。但是,如果存在取样偏移时,相关样本 82 和 84 具有不同的幅度,如在图 4 中所示的。

计算模块 72 通过计算在相关峰值 80 的每一侧的相关样本 82 和 84 之间的幅度差值来计算误差值。幅度差可以是正的或者负的。差值的幅度表示存储的训练序列和接收的训练序列不同步的程度。差值的符号表示是增加还是

减少取样频率。对于给定的取样偏移，主相关峰值左边(例如主峰值索引-1)的样本的数值减去主相关峰值右边(例如主峰值索引+1)的样本的值将产生该误差值。另外，根据特定系统的要求，该误差值可以计算为右边样本和左边样本之间的差值。

返回到图 3，误差计算模块 72 输出计算的误差值给调节取样率的二阶环路滤波器 74，使得驱动取样误差趋于零和该接收机的取样率与发射机的取样率同步。更具体地说，二阶环路滤波器 74 经过一个常规的取样率变换器 76 调节取样器 78 的取样率，或者在该可替代的方法中，可以调节取样器 78 和相关联的上取样器 62 的取样率。

现在参见图 5，表示本发明和图 1 的常规的 OFDM 接收机的集成。更具体地说，取样偏移校正系统 60 可以耦合到混频器 28 和 30 的输出端以及耦合到 DSP 46 的输入端。利用这个配置，取样偏移校正系统 60 从混频器 28 和 30 接收同相和正交 OFDM 信号，以匹配发射机的取样率的校正的取样率数字化该接收信号，和输出该数字化信号给 DSP 46，用于进一步处理。应该注意，图 1 的 LPF 42 和 LPF 44 可以耦合到取样偏移校正系统 60 的输出端并且耦合到用于滤波该数字化 OFDM 信号的 DSP 46 的输入端，虽然这样一个配置未在图 5 中表示。

因此根据本发明的原理，提供在 OFDM 接收机中校正取样偏移的一种方法。该方法包括取样接收的 OFDM 信号，该 OFDM 信号包括一个基准码元，相关取样的 OFDM 信号与存储的码元，定位相关峰值，计算在该相关峰值每一侧的相关样本的幅度差值并且从该计算的差值导出取样偏移误差。

虽然参见优选的实施例描述了本发明，但是明显的在不偏离由所附的权利要求限定的本发明的精神和范围下在实施例中可以进行不同的变化。

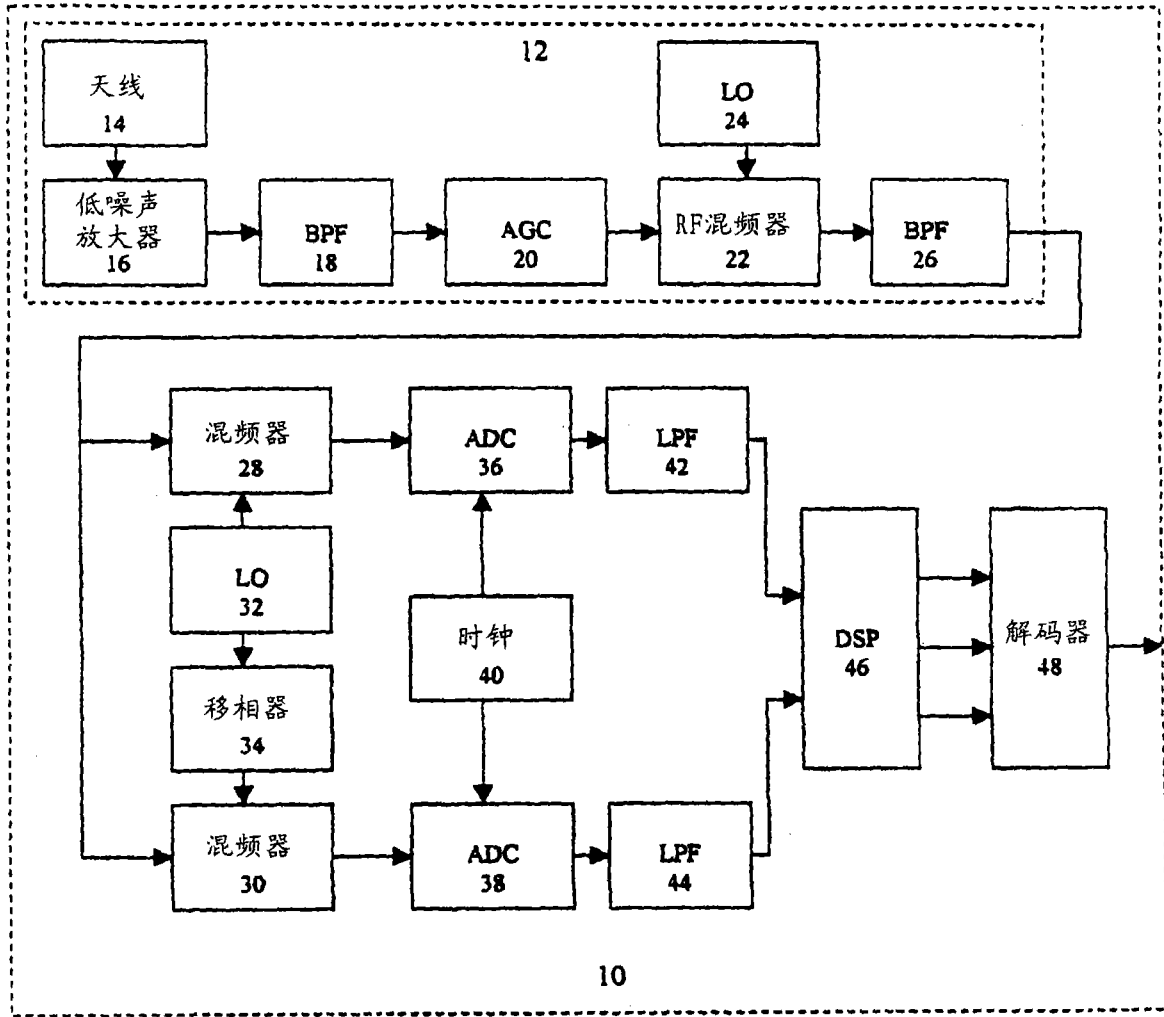


图 1

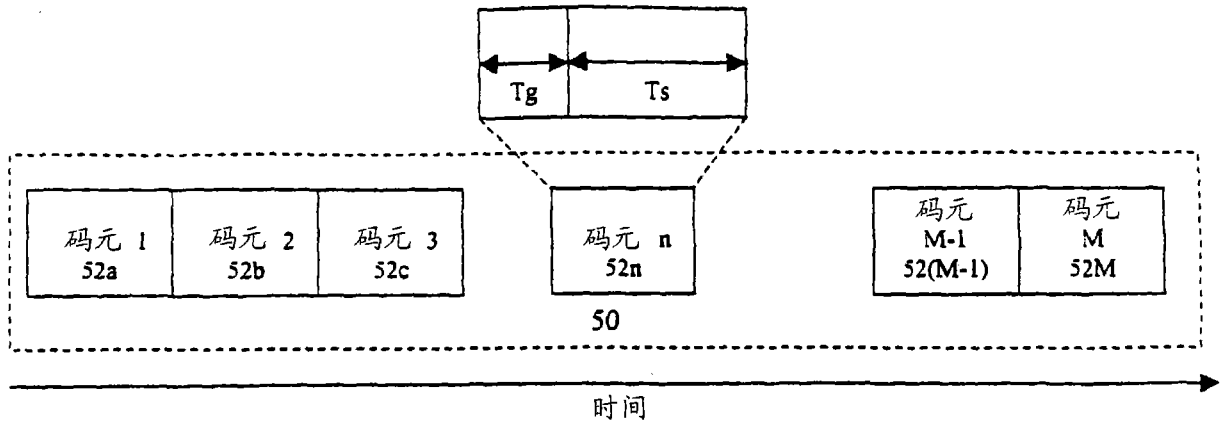


图 2

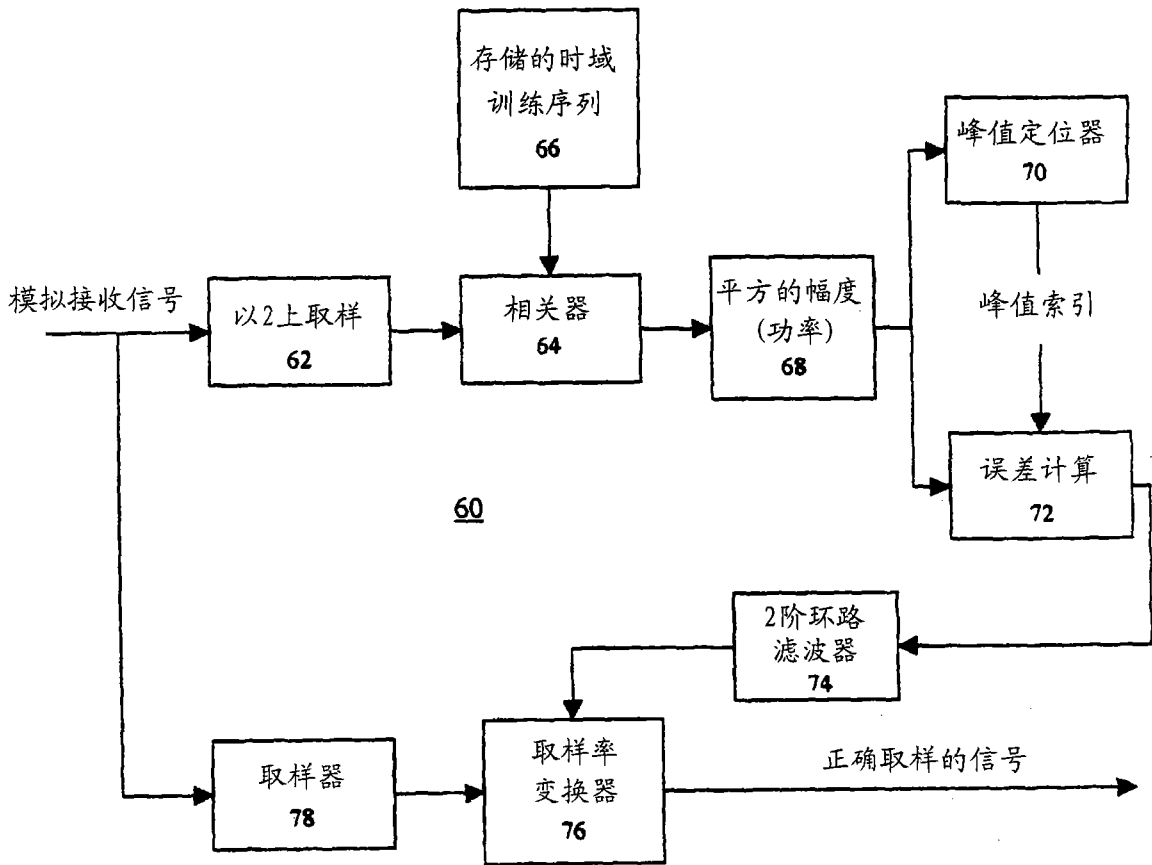


图 3

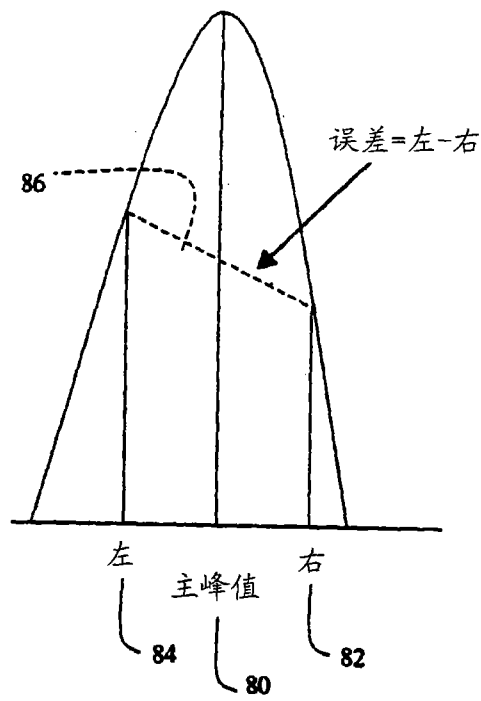


图 4

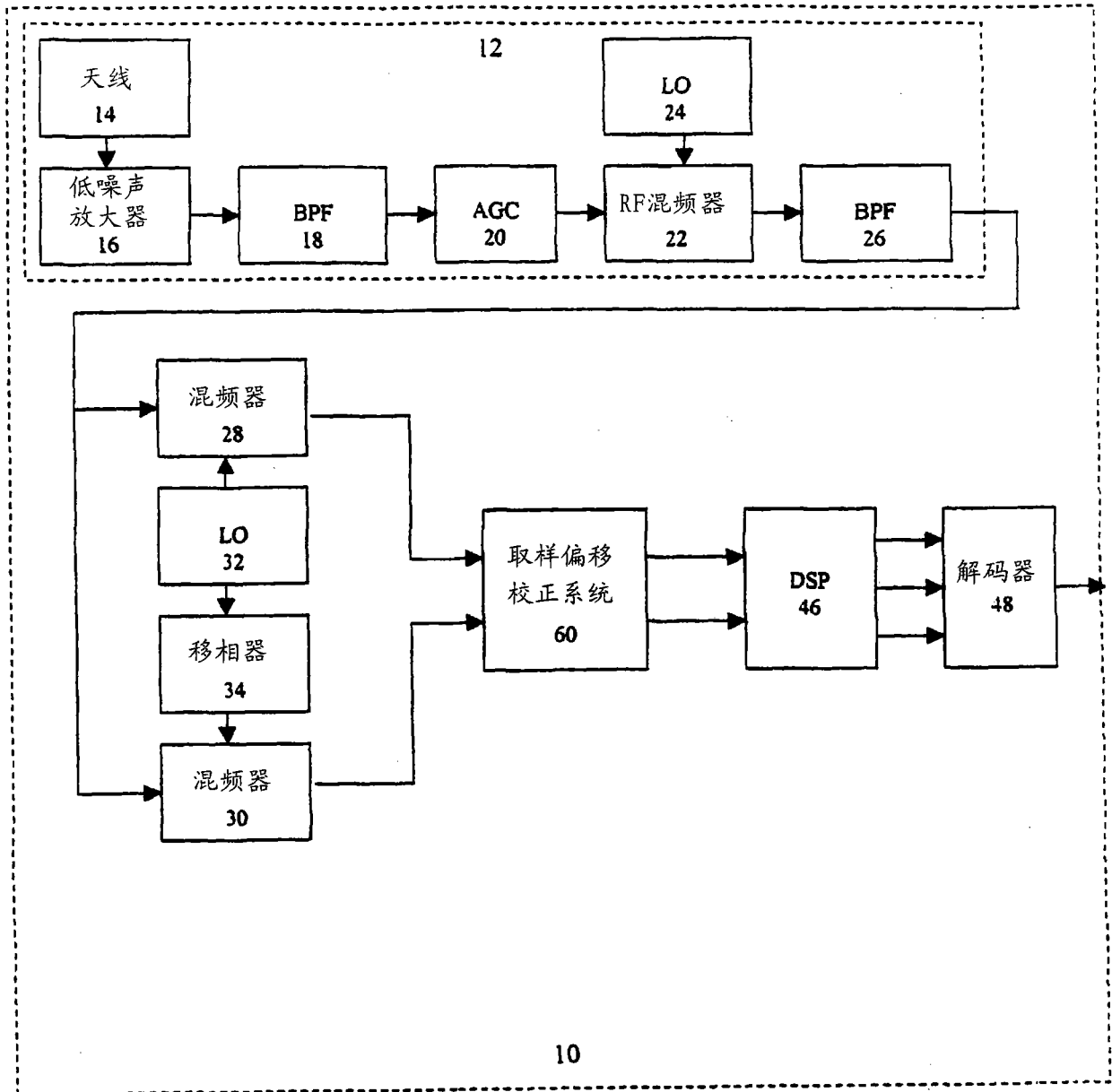


图 5

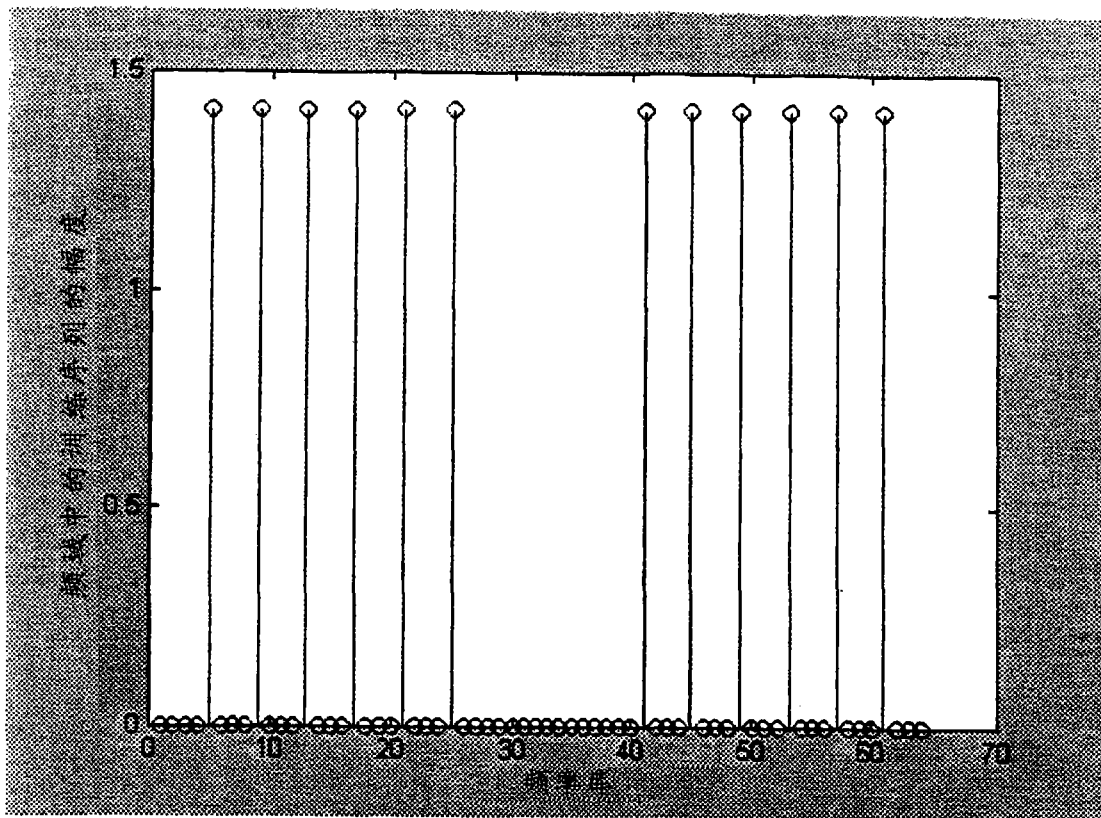


图 6

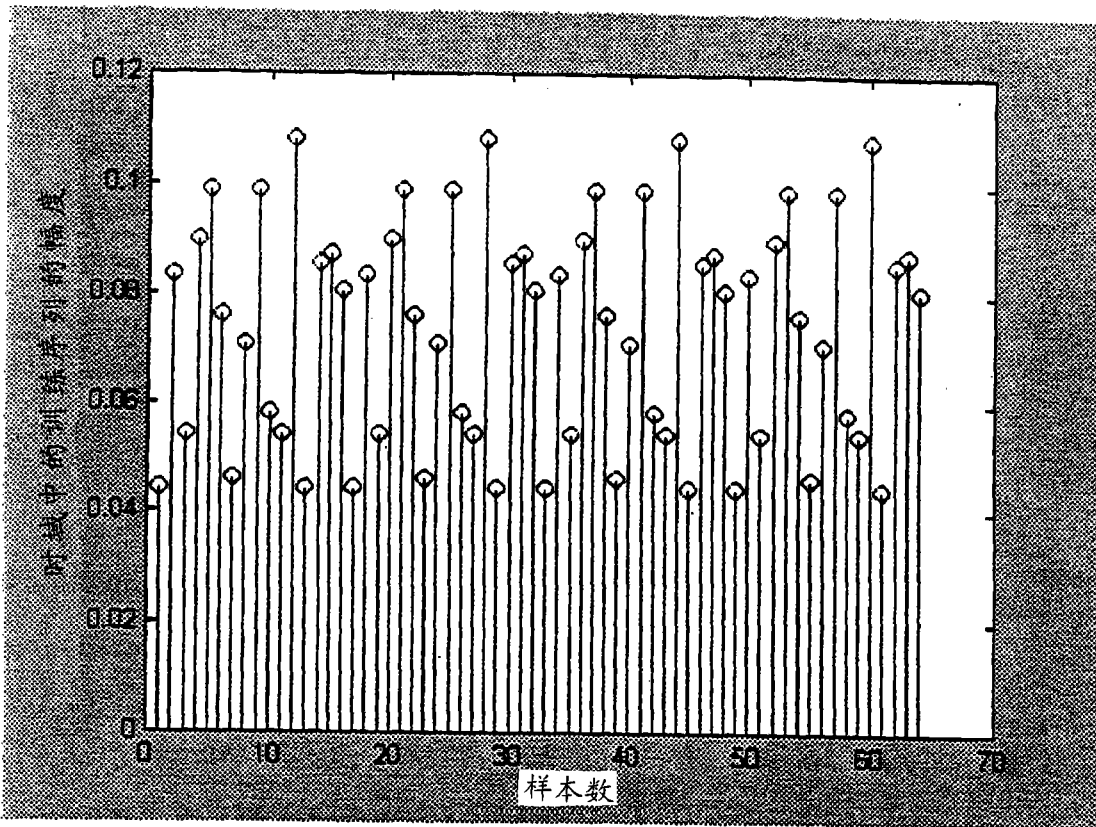


图 7