



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03820290.5

[45] 授权公告日 2009年10月28日

[11] 授权公告号 CN 100556012C

[22] 申请日 2003.7.31 [21] 申请号 03820290.5

[30] 优先权

[32] 2002.8.30 [33] EP [31] 02078603.4

[86] 国际申请 PCT/IB2003/003839 2003.7.31

[87] 国际公布 WO2004/021657 英 2004.3.11

[85] 进入国家阶段日期 2005.2.25

[73] 专利权人 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 N·本维努托 S·托马辛

L·阿加罗斯

[56] 参考文献

US2002/0070796A1 2002.6.13

US6052702A 2000.4.18

Transmission techniques for Digital Terrestrial TV Broadcasting. Hikmet Sari. IEEE Communications Magazine. 1995

审查员 段志鲲

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 王波波

权利要求书4页 说明书9页 附图2页

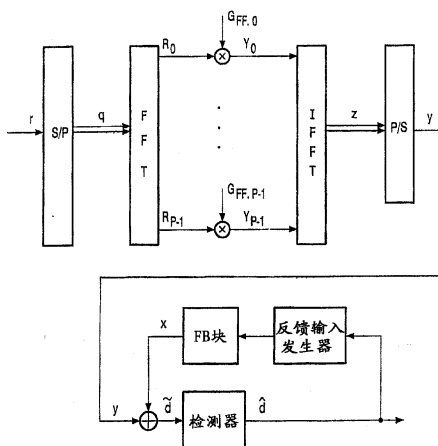
[54] 发明名称

单载波信号的频域均衡

[57] 摘要

公开了一种用于单载波调制的频域决策反馈均衡方法及设备，优选用在宽带通信系统中，其中，在第一部分中，在输入的信号第一矢量(9)上执行快速傅立叶变换，并因而提供信号的第二矢量( $R_0, \dots, R_{p-1}$ )，通过将均衡参数( $G_{ff,0}, \dots, G_{ff,p-1}$ )与信号的所述第二矢量的每个分量相乘来执行前馈均衡，并因而提供信号的第三矢量( $Y_0, \dots, Y_{p-1}$ )，在信号的所述第三矢量上执行逆快速傅立叶变换，并因而提供信号的第四矢量(2)，以及基于信号的所述第四矢量提供所述第一部分的输出信号(4)；以及在第二部分中，对从所述第二部分的输出信号(d)中导出的信号执行线性反馈滤波，并提供滤波后的信号(x)，将所述滤波后的信号与所述第一部分的所述输出信号(y)相加，并提供相加后的信号(d)，以及通过从所述相

加后的信号(d)中提取采样，产生所述第二部分的所述输出信号(d)。



1. 一种用于单载波调制的时/频域决策反馈均衡器设备，用在宽带通信系统中，该设备包括第一部分和第二部分，其中，第一部分包括：

- 快速傅立叶变换装置，用于在输入到所述第一部分的信号的第一矢量上执行快速傅立叶变换，并输出信号的第二矢量；
- 前馈均衡装置，用于通过将均衡参数与信号的所述第二矢量的每个分量相乘，来执行前馈均衡，并输出信号的第三矢量；以及
- 逆快速傅立叶变换装置，用于在信号的所述第三矢量上执行逆快速傅立叶变换，并输出信号的第四矢量；以及

第二部分包括：

- 反馈滤波器装置，用于对从所述第二部分的输出信号中导出的信号执行线性滤波；
- 加法装置，用于将所述反馈滤波器装置的输出信号与所述第一部分的输出信号相加；以及
- 检测器装置，用于接收所述加法装置的输出信号，并产生所述第二部分的所述输出信号，所述第二部分的所述输出信号的采样选自星座，其中所选星座码元具有离相应输入采样的最小欧几里德距离，

其中所述第二部分还包括反馈输入发生器装置，用于接收所述第二部分的所述输出信号，并向所述反馈滤波器装置提供由连续码组构造的输出信号，每个码组首先包括伪噪声序列和其次包括来自所述第一部分的所述输出信号的预定数目  $M$  的采样。

2. 根据权利要求 1 的设备，其中，所述前馈均衡装置被提供用于产生适于将检测器输入的噪声加失真的功率最小化的均衡参数，以便使均衡器正常工作。

3. 根据权利要求 1 或 2 的设备，其中，所述前馈均衡装置被提供用于在所述第一部分的输出信号中，通过考虑在时/频域决策反馈均衡器设备中处理的信道脉冲响应的快速傅立叶变换估计来产生均衡参数。

4. 根据权利要求 1 的设备，其中所述第一部分还包括：

- 串-并转换装置，用于将输入到所述第一部分的信号序列转换为信

号的所述第一矢量；以及

- 并-串转换装置，用于将信号的所述第四矢量转换为所述第一部分的输出信号序列。

5. 根据权利要求 4 的设备，其中所述串-并转换装置适于接收标量信号。

6. 根据权利要求 4 的设备，其中，所述串-并转换装置被提供用于产生信号的所述第一矢量，所述第一矢量包括输入到所述第一部分的信号的预定数目 P 的连续采样的码组。

7. 根据权利要求 4 的设备，其中，所述并-串转换装置及所述反馈滤波器装置被提供用于输出标量信号。

8. 根据权利要求 6 或 7 的设备，其中，所述并-串转换装置被提供用来输出由预定数目 M 的采样的连续码组构成的标量信号 (Y)，每个码组用信号的所述第四矢量的每个码组的预定数目 M 的采样来构造。

9. 根据权利要求 1 的设备，其中所述检测器装置适于接收和输出离散时间信号。

10. 一种采用单载波调制的通信系统的接收机，其中所述接收机包括根据前述任一权利要求的时/频域决策反馈均衡器设备。

11. 一种用于单载波调制的时/频域决策反馈均衡方法，用在宽带通信系统中，包括步骤如下：

在第一部分中：

- 在输入的信号第一矢量上执行快速傅立叶变换，并因而提供信号的第二矢量；

- 通过将均衡参数与信号的所述第二矢量的每个分量相乘，执行前馈均衡，并因而提供信号的第三矢量；

- 在信号的所述第三矢量上执行逆快速傅立叶变换，并因而提供信号的第四矢量；以及

- 基于信号的所述第四矢量，提供所述第一部分的输出信号；以及在第二部分中：

- 对从所述第二部分的输出信号中导出的信号执行线性反馈滤波，并提供滤波后的信号；

- 将所述滤波后的信号与所述第一部分的所述输出信号相加，并提供相加后的信号；以及

- 产生所述第二部分的所述输出信号，所述第二部分的所述输出信号的采样选自星座，其中所选星座码元具有离相应输入采样的最小欧几里德距离，

在所述第二部分中包括反馈输入发生步骤，用于处理所述第二部分的所述输出信号，并向反馈滤波器装置提供由连续码组构造的输出信号，每个码组首先包括伪噪声序列，其次包括来自所述第一部分的所述输出信号的预定数目  $M$  的采样。

12. 根据权利要求 11 的方法，其中在所述前馈均衡步骤中，产生适于将检测器输入的噪声加失真的功率最小化的均衡参数，以便使均衡器正常工作。

13. 根据权利要求 11 或 12 的方法，其中在所述前馈均衡步骤中，在所述第一部分的输出信号中，通过考虑被处理信道脉冲响应的快速傅立叶变换估计来产生均衡参数。

14. 根据权利要求 11 的方法，在所述第一部分包括另外的步骤：

- 将输入所述第一部分的信号序列串-并转换为信号的所述第一矢量；以及

- 将信号的所述第四矢量并-串转换为所述第一部分的输出信号序列。

15. 根据权利要求 14 的方法，其中，提供所述串-并转换步骤来处理标量信号。

16. 根据权利要求 14 的方法，其中，提供了所述串-并转换步骤，来产生信号的所述第一矢量，所述第一矢量包括输入所述第一部分的信号的预定数目  $P$  的连续采样的码组。

17. 根据权利要求 14 的方法，其中，提供所述并-串转换步骤及所述反馈滤波器步骤来输出标量信号。

18. 根据权利要求 16 或 17 的方法，其中，所述并-串转换步骤被提供用于，输出由预定数目  $M$  的采样的连续码组构成的标量信号 ( $Y$ )，每个码组用信号的所述第四矢量的每个码组的预定数目  $M$  的采样来构造。

---

19. 根据权利要求 11 的方法, 其中所述第二部分中的提取步骤适于处理离散时间信号。

## 单载波信号的频域均衡

### 技术领域

本发明涉及一种用于单载波调制的频域决策反馈均衡器设备，优选用于宽带通信系统中。此外，本发明涉及采用单载波调制的系统的接收机和发射机，以及涉及包括这种接收机和这种发射机的通信系统。而且，本发明涉及一种用于单载波调制的频域决策反馈均衡方法，优选用于宽带通信系统中。最后，本发明涉及一种采用单载波调制来传输数据的方法。

这种设备、方法和系统优选用于如 xDSL、DAB 和 DVB 之类的有线和无线传输系统中。

### 背景技术

US 6, 052, 702 A 公开了一种决策反馈滤波设备，其包含前置滤波器和反馈滤波器，用于从输入的码元中产生相应决策。前置滤波器 (FF) 接收输入的码元，而反馈滤波器接收该决策。前置滤波器执行对  $M$  个输入码元块的频域滤波，反馈滤波器执行对  $L$  个决策块的频域滤波，而  $L$  低于  $M$ 。反馈滤波器允许由待检波的反射信号接收而引起的码间干扰。

US 6, 148, 024 A 描述了一种采用基于逐帧的多频声技术来传输编码信息比特的系统及方法。为了传输，将编码的信息比特映射为差分相位信号，并根据差分相位信号产生绝对相位信号。然后产生  $N$  个复码元，并且逆离散傅立叶变换为  $N$  个复时域采样，时域采样用循环前缀和后缀来增大。增大后的  $N$  个复时域采样随后分为两个实数采样，并被转换为第一和第二基带信号。第一和第二基带信号被压缩成正交载波分量，以形成同相及正交信号分量，其被组合成发射之前的 RF 信号。为了接收，接收的 RF 信号被非相干地正交解调成第一和第二正交基带信号。通过并行的对正交基带信号进行采样来产生第一和第二正交采样序列。去除已添加的循环前缀和后缀，从第一和第二正交（实数）采样序列中产生  $N$  个复数。通过在  $N$  个复数上执行离散傅立叶变换，产生  $N$  个被信道加权的音调 (channel-weighted tone)。生成  $N$  个相位

差信号，根据预定相位星座，其被去映射成为编码的信息比特。

WO 01/35561 A1 描述了一种多载波数字传输系统，其中发射机将串行输入的数据流转换为的一组并行的子流，OQAM 调制器接收每个子流并将其提供给合成滤波器组的输入端。滤波器组的一个（或多个）同步输入端接收承载数据序列的 OQAM 信号。此序列包含帧、超帧及超高帧的同步模式，并规定分配给每个子信道的比特数。接收机包括分析滤波器组，其将多载波信号分解成一组用于每个子信道的基本信号。同步处理块接收用于一个（或多个）同步子信道的所述滤波器组的一个（或多个）输出。所述块包括控制接收机采样次数的第一级联块，以及提取同步模式与子信道比特赋值数据的第二级联块。其它的滤波器组输出每个都连到级联的子信道均衡器，子信道均衡器后面跟着数据提取器和并-串转换器。

US 2001/0026578 A1 公开了一种码分多址 (CDMA) 发射机和接收机，其具有发射部件，包括：串-并转换器，用于将传输数据转换为由复数的实部和虚部组成的调制输入波；伪随机噪声 (PN) 发生器，用于产生复扩频码的实部和虚部，其中实部和虚部是不相关且随机的；扩频调制器，用于通过从串-并转换器产生调制输入波的复数以及从 PN 发生器产生复扩频码的复数，在传输数据上实现调制；矢量组合器，用于组合由扩频调制器输出的实部和虚部；发射滤波器，用于限定从矢量组合器输出的信号的频带。CDMA 发射机和接收机具有接收部件，包括：接收滤波器，用于限定来自所述发射部件的接收信号的频带；分数抽头间距 (fractionally tap spacing) 均衡器，用于以其码片速率整数倍的速率对接收信号进行采样；以及波形均衡器，其包含横向数字滤波器，该滤波器使用递归最小二乘方自适应算法来更新滤波器系数。

WO 01/20919 A1 公开了一种用于自适应补偿信道或系统变化的方法和设备，其中自适应补偿用在数字通信系统的接收机中。数字通信系统的发射机包括预编码器。自适应接收机的补偿减轻了未被发射机预编码器消除的干扰。在实施方案中，可以使用接收机中的自适应前馈滤波器及反馈滤波器来执行自适应补偿。反馈滤波器的输出基于已发射的预编码序列的先前估计值来产生。反馈滤波器系数的确定值可在系数值超过预定阈值之后被定期转发给发射机。因此，接收机在指定

时间点自适应地且自动地对固定的发射机预编码器相对于信道的失调进行补偿。

宽带通信系统的特征在于非常分散的信道。为应对这一现象，可以采用两种调制技术，即使用宽带均衡的单载波（SC）调制，或使用正交频分复用（OFDM）的多载波调制。

单载波调制优于 OFDM 之处包括：

- 将单个比特的能量分布在整個频谱上，从而当未使用自适应调制时，在频散的信道中，单载波调制的性能优于 OFDM；
- 平均功率比的峰值低于 OFDM，导致更简单的功率放大器和更低的功率消耗；
- 单载波调制对于载波频率偏移和非线性失真方面不如 OFDM 敏感，以及
- 单载波调制具有较好的带宽效率，而 OFDM 需要循环前缀；而单载波调制不如 OFDM 的主要缺点是：
- 当使用自适应调制时，在误码率方面，OFDM 产生优于使用线性均衡的单载波调制的性能；
- 单载波调制的线性及决策反馈均衡比较复杂，而对 OFDM 而言，可以使用基于循环前缀及每子载波均衡器一个抽头的简单均衡技术。

### 发明内容

因此，本发明的一个目的是基本克服单载波调制的上述缺陷，同时基本保留单载波调制的上述优点，因此提高单载波调制系统的性能。

为了达到上述及其它的目的，按照本发明的第一方面，提供一种用于单载波调制的频域决策反馈均衡器设备，优选用在宽带通信系统中，该设备包括第一部分和第二部分，其中，第一部分包括：

- 快速傅立叶变换装置，用于在输入到所述第一部分的信号的第一矢量上执行快速傅立叶变换，并输出信号的第二矢量；
- 前馈均衡装置，用于通过将均衡参数与信号的所述第二矢量的每个分量相乘，来执行前馈均衡，并输出信号的第三矢量；以及
- 逆快速傅立叶变换装置，用于在信号的所述第三矢量上执行



逆快速傅立叶变换，并输出信号的第四矢量；以及

第二部分包括：

- 反馈滤波器装置，用于对从所述第二部分的输出信号中导出的信号执行线性滤波；
- 加法装置，用于将所述反馈滤波器装置的输出信号与所述第一部分的输出信号相加；以及
- 检测器装置，用于接收所述添加装置的输出信号，并通过从所述添加装置的输出信号中提取采样，来产生所述第二部分的所述输出信号。

按照本发明的第二方面，提供一种用于单载波调制的频域决策反馈均衡方法，优选用在宽带通信系统中，包括步骤如下：

在第一部分中：

- 在输入的信号的第一矢量上执行快速傅立叶变换，并因而提供信号的第二矢量；
  - 通过将均衡参数与信号的所述第二矢量的每个分量相乘，执行前馈均衡，并因而提供信号的第三矢量；
  - 在信号的所述第三矢量上执行逆快速傅立叶变换，并因而提供信号的第四矢量；以及
  - 基于信号的所述第四矢量，提供所述第一部分的输出信号；
- 以及

在第二部分中：

- 对从所述第二部分的输出信号中导出的信号执行线性反馈滤波，并提供滤波后的信号；
- 将所述滤波后的信号与所述第一部分的所述输出信号相加，并提供相加后的信号；以及
- 通过从所述相加后的信号中提取采样，产生所述第二部分的所述输出信号。

通过本发明，提供了一种新的用于单载波调制的频域决策反馈均衡，这利用了与使用带有循环前缀的正交频分复用的多载波调制相类似的数据码组传输格式。模拟显示出本发明的频域决策反馈均衡产生了非常接近于 OFDM 的能力。当不考虑信道负载时，对于编码传输中相同水平的平均帧误差，本发明实现了接近于 OFDM 的水平。

具体地，本发明提供了一种方案，适于解决平均功率比峰值的问题，该问题对于即使具有超过常规单载波调制结构的改进性能的 OFDM 系统而言，也具有代表性。而且，根据本发明的新结构，提供了一种复杂性明显低于常规结构的可靠通信系统。即，本发明提供了一种物理层传输结构，其确保可靠传输，并且具有类似于 OFDM 的性能以及与常规频域线性均衡相比被显著改进的性能，而单载波调制的全部优点基本上得以保留。最后，因为本发明基于块来工作，经过反馈滤波器装置的误差传播被限定在一个块内，所以当工作在低信噪比 (SNR) 值时，这是优于常规时域决策反馈均衡的另一重要优势。

在从属权利要求 2 到 11 和 19 到 28 中，定义了上述均衡设备及方法的其它有利实施方案。

优选地，对于前馈均衡，产生适于将被处理信号的信噪比最小化的均衡参数，尤其在所述第一部分的输出信号中。具体地，通过考虑被处理信号的信道脉冲响应的快速傅立叶变换估计（优选在所述第一部分的输出信号中）来产生所述均衡参数。

在另一优选实施方案中，将输入所述第一部分的信号序列串-并转换为信号的所述第一矢量，并且将信号的所述第四矢量并-串转换为所述第一部分的输出信号序列。具体地，对标量信号进行处理。可以提供串-并转换来产生信号的所述第一矢量，包括输入所述第一部分的信号的预定数目的连续采样的码组。具体地，通过在第一部分进行所述并-串转换及在第二部分进行所述线性反馈滤波，输出标量信号。标量信号可由预定数目的采样的连续码组构成，每个码组用信号所述第四矢量的每个码组的预定数目的采样来构造。

当在所述第二部分中提取采样时，通常对离散的时间信号进行处理。

在本发明的又一优选实施方案中，所述第二部分的输出信号被输入反馈输入发生器装置中，该装置向所述反馈滤波器装置提供由连续码组构造的输出信号，每个码组首先包括伪噪声 (PN) 序列其次包括来自所述部分的所述输出信号的预定数目 (M) 的采样。

按照本发明的第三方面，提供了一种采用单载波调制的通信系统接收机，该接收机包括上述频域决策反馈均衡器设备。

按照本发明的第四方面，提供了一种采用单载波调制的通信系统

发射机，用于传输数据，其包括用于在码组中组织数据的调制装置，其中每个码组由预定信号的序列分开。

按照本发明的第五方面，提供了一种用于采用单载波调制来传输数据的方法，包括用于在码组中组织数据的调制步骤，其中每个码组由预定信号的序列分开。

在从属权利要求 14 到 16 和 30 到 32 中，定义了根据本发明第四和第五方面的其它实施方案。优选地，所述序列可以是固定的。

在另一优选实施方案中，所述序列是伪噪声 (PN) 序列。于是，发射包括以特定方式组织信息的调制，即传输由其它信号的 PN 序列分开的信号码组，该其它信号可以例如是码元的副本或码元序列的副本。

通过下列描述和附图，将更好理解本发明的上述目的及其它方面。

#### 附图说明

参照附图，描述了本发明的优选实施方案，其中：

图 1 以框图的形式示出了通信系统整体传输方案的物理层；

图 2 示出了调制器的数据格式；以及

图 3 示出了图 1 所示系统中配备的频域决策反馈均衡器的框图。

#### 具体实施方式

任何通信系统都包括一个物理层。此层通过电气及机械级的网络输送比特流（电脉冲、光或无线电信号）。它提供在载波上发送和接收数据的硬件装置，包括指定电缆和物理外观。

通过参照图 1，将在下文描述物理层的一般操作。在发射侧，输入的比特数据 ( $IN$ ) 首先被编码，以降低误差概率并获取信号  $e$  (块  $ENC.$ )。将编码的比特  $e$  映射成取一个被称为星座的集合的复码元 (块  $MAP.$ )。获得基带离散时间复码元的流  $d$ 。通过调制器调制流  $d$  以产生另一个离散时间基带复信号 (块  $MOD.$ )。通过前端将基带信号转换成模拟信号并在介质上传输，(块  $FR. END. Tx$ )。

在接收侧，则执行逆向操作。前端 (块  $FR. END. Rx$ ) 将已接收的连续时间的模拟信号转换成离散时间的复基带信号  $r$ 。用均衡器产生离

散时间信号  $\hat{d}$ ，其码元取自星座（块 *EQUAL.*）。执行去映射以获取比特流  $\hat{e}$ （块去映射）。然后进行解码获得输出信号（块 *DEC.*）。在接收侧必须包括其它的块，例如同步块（*SYNC*）以及恢复传输介质上的信息的信道估计块（*CH. EST.*）。

下面更详细地描述发射侧的调制器（图 1 中块 *MOD.*）。

以  $1/T_b$  速率输入离散时间信号  $d$ 。以  $(M+L)/T_bM$  的速率输出离散时间信号  $s$ ，其中， $M$  是在每个传输块中的数据码元个数的整数， $L$  为整数且定义了伪噪声（PN 序列）的长度，其中  $L$  应当远远大于信道脉冲响应的长度。

如图 2 所示，将输入的数据流组织到  $M$  个邻近码元的码组中，并将 PN 序列加在每个码组的末端，因而获得  $M+N$  大小的码组，其按顺序发往输出。在操作开始，发送一个附加的 PN 序列。

因此，在调制器中，在码组中组织数据码元，每个码组由码元的固定序列分开，其中该传输格式称作 PN 扩展。在根据该规则格式化之后，码元被传输。

PN 序列也可以用星座中未包含的码元来构造，例如零的序列。

另一基本部件是在接收侧的频域决策反馈均衡器（图 1 中块 *EQUAL.*），在下文参照图 3 对其进行详细描述。

在均衡器中，处理离散时间复基带信号  $r$ ，以消除由传输信道引起的干扰。这个操作通过两块式结构来完成，包括用（逆）快速傅立叶变换 (I)FFT 有效地进行操作的滤波处理，决策元件和滤波与取消处理。

如图 3 所示，信号  $r$  为标量信号并从接收机的前端输出（图 1 中块 *FR. END. Rx*），信号  $r$  被输入到串-并转换器（图 3 中块 *S/P.*）。该 *S/P* 块产生输入信号的  $P$  个连续采样的码组，其中  $P = M + L$ 。输出信号  $q$  是矢量信号，其被输入快速傅立叶变换块 *FFT*。FFT 块对每个输入的码组执行快速傅立叶变换。输出为具有  $P$  个分量的矢量信号  $\{R_n\}$ 。每个信号  $R_n$  ( $n=1, 2, \dots, P-1$ ) 与  $G_{FF,n}$  相乘，从而实现前馈均衡。其结果是具有  $P$  个分量的矢量信号  $\{Y_n\}$ ，其被输入逆快速傅立叶变换块 *IFFT*。在 *IFFT* 块中，对矢量信号  $\{Y_n\}$  的每个码组施加逆快速傅立叶变换，以产生具有  $P$  个分量的矢量信号  $\{z_n\}$ 。将矢量信号  $\{z_n\}$  输入到并串转换器（图 3 中块 *P/S.*），其产生由  $M$  个采样的连续码组构成的标量

信号  $y$ 。每个码组用  $\{z_n\}$  的每个码组的  $M$  个采样来构造，其中  $n=0, 1, \dots, M-1$ 。

均衡器还包括检测器（图 3 中检测器块）。检测器的输入为离散时间信号  $\tilde{d}$ ，由 P/S 块的输出  $y$  与下面更详细描述 FB 块的输出  $x$  之和给出。检测器的输出是离散时间信号  $\hat{d}$ ，其采样选自星座。所选星座码元具有离相应输入采样的最小欧几里德距离。

此外，提供了反馈输入发生器（图 3 中反馈输入发生器块），其接收标量信号  $\hat{d}$  并输出由连续码组构造的信号，每个首先包括 PN 序列，然后是检测器输出的  $M$  个采样。

从反馈输入发生器输出的信号被输入到输出标量信号  $x$  的 FB 块中。FB 块执行输出信号的线性滤波，并且由  $\{g_{FB,n}\}$  给出该滤波的脉冲响应。通过这样滤波，均衡适应于实施传输的特定传输信道条件。

上述的均衡器必须根据传输介质的特定条件进行改变。具体地，前端和传输介质可被建模为有限脉冲响应滤波器（传输滤波器）与加性高斯噪声的级联。假设在接收侧已知传输信道频率响应，为了均衡器的正常工作，特别是最小化在检测器（图 3 块 DETECTOR（检测器））输入的噪声加失真的功率，计算均衡器参数如下：

- 参数：  $M, L, P=M+L, N_{FB}$ 。
- 输入：  $P$  个复采样  $\{H_p\}$  的序列，它们是所估计的信道脉冲响应的  $P$  点 FFT。

- 输出：均衡器参数  $\{G_{FF,n}\}$  及  $\{g_{FB,n}\}$ 。

- 算法：

1. 使  $g_{FB} = [g_{FB,1}, g_{FB,2}, \dots, g_{FB,N_{FB}}]^T$ ，（其中  $(\square)^T$  表示转置）。
2. 用各项构造矩阵  $(A)$

$$[A]_{m,l} = \sum_{n=0}^{P-1} \frac{e^{-j2\pi \frac{n(l-m)}{P}}}{|H_n|^2}, \quad 1 \leq m, l \leq N_{FB},$$

3. 用各项构造列矢量  $(b)$

$$[b]_m = \sum_{n=0}^{P-1} \frac{e^{j2\pi \frac{nm}{P}}}{|H_n|^2}, \quad 1 \leq m \leq N_{FB},$$

4. 用  $N_{FB}$  未知的  $A g_{FB} = b$  解出  $N_{FB}$  公式的线性系统。

5. 计算前馈滤波器系数如下:

$$G_{FF,n} = \frac{1}{H_n} \left( 1 - \sum_{l=1}^{N_{FB}} g_{FB,l} e^{-j2\pi \frac{ln}{P}} \right), \quad n=0,1,\dots,P-1,$$

其它实施方案: 如果在接收机已知信噪功率比  $\Gamma$ , 那么

$$[A]_{m,l} = \sum_{n=0}^{P-1} \frac{e^{-j2\pi \frac{n(l-m)}{P}}}{|H_n|^2 + \Gamma}, \quad 1 \leq m, l \leq N_{FB},$$

及

$$[b]_m = \sum_{n=0}^{P-1} \frac{e^{j2\pi \frac{nm}{P}}}{|H_n|^2 + \Gamma}, \quad 1 \leq m \leq N_{FB}.$$

上述系统可以适用于所有的宽带传输系统; 这些系统包括有线传输 (所有的 xDSL 系统) 和无线传输 (Hiperlan 与 IEEE802.11 标准及 DAB/DVB)。

所述系统代替了 OFDM 调制器/解调器及均衡器。传输格式必须从循环扩展型传输变成 PN 扩展型传输。

总之, 在使用或已经计划应用 OFDM 的系统中, 上述均衡器是一种替换方案。上述设备是物理层的部件。在通信系统的 ISO-OSI 抽象概念中, 介质访问控制 (MAC) 层保证了传输质量, 例如通过纠错码。上述设备为 MAC 层提供了如下的码元流, 其具有与 OFDM 相同的速率, 却具有等于或乃至低于 OFDM 的误码率。而且, 上述系统对于频移现象更具弹性, 并且需要更简单的功率放大器, 这是因为峰值/平均功率比低于 OFDM。此外, 与单载波均衡器相比, 它既简单且更有效。

尽管上面参照附图所示的示例描述了本发明, 但显而易见的是, 本发明并不限于该示例, 却可以在后附权利要求书所述范围内以任何方式进行变化。

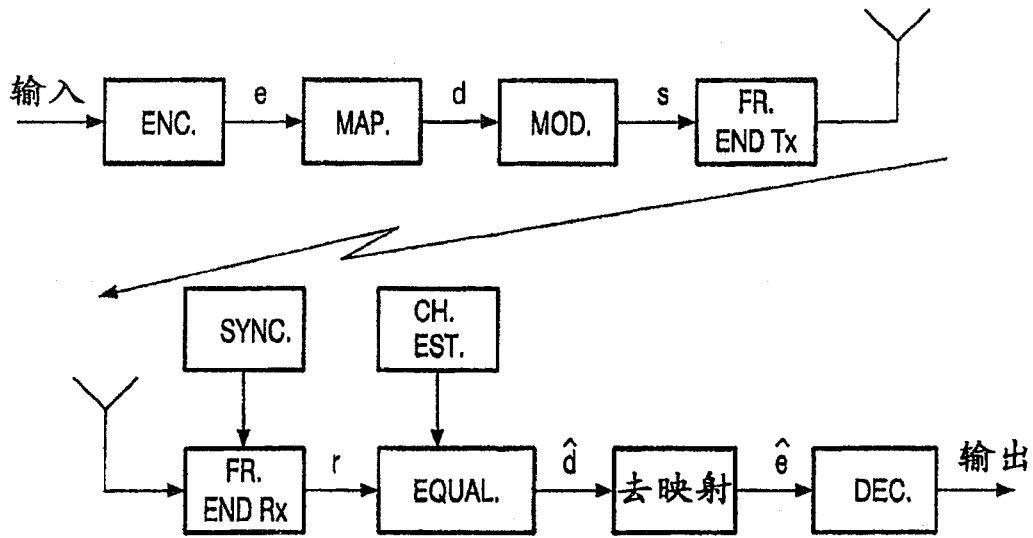


图 1

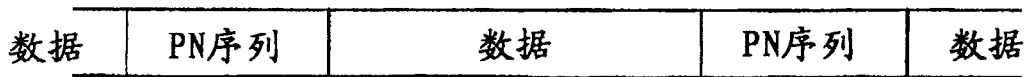


图 2

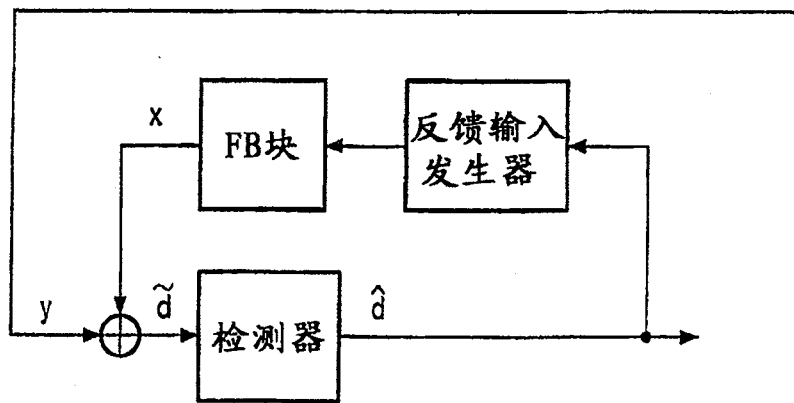
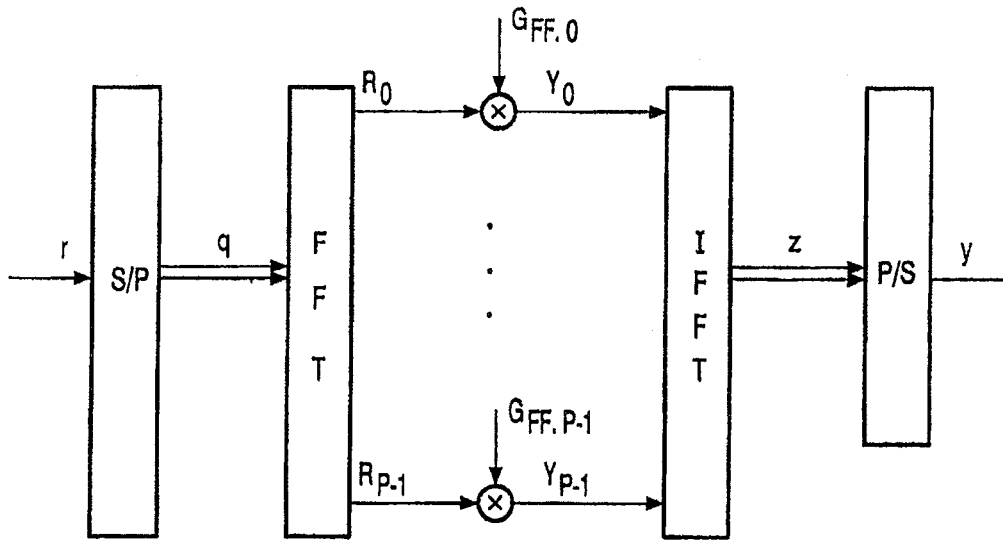


图 3