



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102088432 B

(45) 授权公告日 2014. 03. 26

(21) 申请号 200910241453. 2

审查员 肖瑜

(22) 申请日 2009. 12. 02

(73) 专利权人 北京泰美世纪科技有限公司  
地址 100097 北京市海淀区曙光花园中路  
11 号北京农科大厦 A 座 10 层

(72) 发明人 王军伟 葛启宏 王静 刘斌彬

(74) 专利代理机构 北京博雅睿泉专利代理事务  
所(特殊普通合伙) 11442  
代理人 马佑平

(51) Int. Cl.  
H04L 27/26(2006. 01)

(56) 对比文件  
CN 1264968 A, 2000. 08. 30, 全文.  
US 2002/0181617 A1, 2002. 12. 05, 全文.

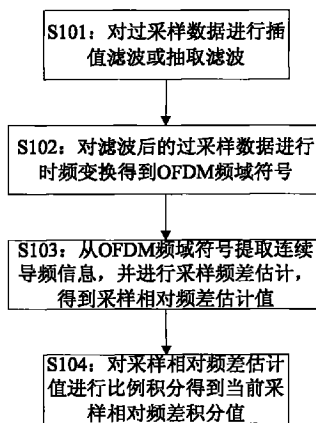
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种 OFDM 系统的采样频差校正方法和装置

(57) 摘要

本发明公开了一种 OFDM 系统的采样频差校正方法和装置,该校正方法首先将接收终端的过采样数据经过 Farrow 结构滤波器进行插值滤波或抽取滤波,然后对采样频差校正后的过采样数据进行下采样以获得基带 OFDM 时域符号,其次对 OFDM 时域符号去除保护间隔后做傅里叶变换得到 OFDM 频域符号,再次从 OFDM 频域符号抽取连续导频信息并估计采样频差以得到采样相对频差估计值,最后对其进行比例积分得到积分值。相应地,该校正装置包括 Farrow 结构滤波器、下采样单元、FFT 单元、采样频差估计单元和比例积分单元等。采用该方法和装置能够有效地对采样频差进行实时估计和校正,具有精度高、稳定性好等优点。



1. 一种 OFDM 系统的采样频差校正方法,其特征在于,包括以下步骤:  
对接收终端的过采样数据进行插值滤波或抽取滤波;  
对滤波后的所述过采样数据进行时频变换得到 OFDM 频域符号;  
从所述 OFDM 频域符号提取连续导频信息,并进行采样频差估计,得到采样相对频差估计值  $\hat{\zeta}$ ;以及  
对所述采样相对频差估计值  $\hat{\zeta}$  进行比例积分得到当前采样相对频差积分值  $\zeta'$ ,并用所述积分值  $\zeta'$  指导对所述过采样数据进行插值滤波或抽取滤波。
2. 根据权利要求 1 所述的采样频差校正方法,其特征在于,所述插值滤波或抽取滤波采用 Farrow 结构滤波器来进行。
3. 根据权利要求 1 所述的采样频差校正方法,其特征在于,所述对滤波后的所述过采样数据进行时频变换的步骤包括:  
对滤波后的所述过采样数据进行下采样,获得基带 OFDM 时域符号;以及  
对所述 OFDM 时域符号去除保护间隔后进行 FFT,得到 OFDM 频域符号。
4. 根据权利要求 1 所述的采样频差校正方法,其特征在于,所述从所述 OFDM 频域符号提取连续导频信息,并进行采样频差估计的步骤包括利用关于零频点对称的连续导频进行估计得到所述采样相对频差估计值  $\hat{\zeta}$ 。
5. 根据权利要求 2 所述的采样频差校正方法,其特征在于,所述用所述积分值  $\zeta'$  指导对所述过采样数据进行插值滤波或抽取滤波的步骤包括:  
当  $\zeta' > 0$  时,指导所述 Farrow 结构滤波器插入一个过采样值;当  $\zeta' < 0$  时,指导所述 Farrow 结构滤波器在所述过采样数据中抽取一个采样值。
6. 一种 OFDM 系统的采样频差校正装置,其特征在于,包括:  
滤波器,其用于对接收终端的过采样数据进行插值滤波或抽取滤波;  
时频变换单元,其用于对滤波后的所述过采样数据进行时频变换得到 OFDM 频域符号;  
采样频差估计单元,其用于对所述 OFDM 频域符号提取连续导频信息并进行采样频差估计,得到采样相对频差估计值;以及  
比例积分单元,其用于对所述采样相对频差估计值进行比例积分得到当前采样相对频差积分值,  
其中,所述滤波器、所述时频变换单元、所述采样频差估计单元和所述比例积分单元串联而成一个环路。
7. 根据权利要求 6 所述的采样频差校正装置,其特征在于,所述滤波器为 Farrow 结构滤波器。
8. 根据权利要求 6 所述的采样频差校正装置,其特征在于,所述时频变换单元包括:  
下采样单元,其用于对滤波后的所述过采样数据进行下采样以获得基带 OFDM 时域符号;以及  
FFT 单元,其用于对去除保护间隔后的所述 OFDM 时域符号进行 FFT 以得到 OFDM 频域符号。

## 一种 OFDM 系统的采样频差校正方法和装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及通信领域,尤其是涉及一种 OFDM 系统的采样频差校正方法和装置。

### 背景技术

[0002] OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing,正交频分复用)系统是一种多载波通信系统,其使用了信道带宽内的多个子载波发送数据,并且具有对多径延迟扩展和频率选择性衰落的耐受程度高、频谱使用的有效性高和抗干扰性良好等特性,可以用于传输速率较大的数据,具有广泛的应用前景,比如目前在 CMMB(China Mobile Multimedia Broadcasting,中国移动多媒体广播)系统中就是采用 OFDM 技术作为调制传输技术。

[0003] 在 OFDM 系统中,符号同步误差和发射机与接收机之间频率的不同步等因素将引起 ISI(Inter-symbol Interference,符号间干扰)和 ICI(Inter-carrier Interference,子载波间干扰),从而造成接收性能下降。在实际应用过程中,由于 OFDM 符号周期较长,对符号同步偏移不是很敏感,ISI 可以得到很好的抑制。但是,由于 OFDM 符号的子载波间隔比较小,系统对频率偏差十分敏感,采样频差的存在会导致接收端的 OFDM 符号的开窗位置发生漂移,导致 OFDM 符号各个子载波发生相位旋转,从而导致 ICI 的产生和增大,因此频差估计和修正是接收机对 OFDM 符号进行同步处理的首要任务。

[0004] 目前,OFDM 发送系统通常采用对待发送信息进行 FFT(Fast Fourier Transform,快速傅里叶变换)后经过子载波发送信息,并且在有效码元前部加上循环前缀构成的保护间隔,以便降低多径影响。同时在接收终端通常会采用采样时钟来实现接收 OFDM 符号的同步。但是,在 OFDM 数字广播系统的消费类接收终端中采样时钟通常所用的晶振品质较差,会导致更加严重的采样频差,从而影响了 OFDM 符号进一步处理的准确性和有效性,因此如何对采样频率偏差进行有效校正是一个亟待解决的问题。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明的目的是要提供一种 OFDM 系统的采样频差的校正方法与装置,其能够在时域对过采样数据的采样频差进行实时有效地校正,适用于具有导频的 OFDM 数字通信系统。

[0006] 为了实现上述目的,本发明提供了一种 OFDM 系统的采样频差校正方法,包括以下步骤:对接收终端的过采样数据进行插值滤波或抽取滤波;对滤波后的过采样数据进行时频变换得到 OFDM 频域符号;从 OFDM 频域符号提取连续导频信息,并进行采样频差估计,得到采样相对频差估计值  $\hat{\zeta}$ ;以及对采样相对频差估计值  $\hat{\zeta}$  进行比例积分得到当前采样相对频差积分值  $\zeta'$ ,并用积分值  $\zeta'$  指导对过采样数据进行插值滤波或抽取滤波。

[0007] 与此相对应地,本发明还提供了一种 OFDM 系统的采样频差校正装置,包括:滤波器,其用于对接收终端的过采样数据进行插值滤波或抽取滤波;时频变换单元,其用于对滤波后的过采样数据进行时频变换得到 OFDM 频域符号;采样频差估计单元,其用于对 OFDM 频

域符号提取连续导频信息并进行采样频差估计,得到采样相对频差估计值;以及比例积分单元,其用于对采样相对频差估计值进行比例积分得到当前采样相对频差积分值,其中,滤波器、时频变换单元、采样频差估计单元和比例积分单元串联而成一个环路。

[0008] 本发明的有益效果是,该采样频差校正方法利用对采样频差的处理结果反馈给 Farrow 结构滤波器以指导其对采样数据进行相应地插值处理或者抽取处理,从而实现对采样频差估计和校正的实时动态控制,并能够有效地校正 OFDM 系统的采样频差,提高系统的计算精度。使用该采样频差校正方法的校正装置还具有结构简单,稳定性高,适用范围广等优点。

### 附图说明

[0009] 图 1 是根据本发明优选实施例的 OFDM 系统的采样频差校正方法的流程图;

[0010] 图 2 是根据本发明优选实施例的 OFDM 系统的采样频差校正方法的信号处理原理图;

[0011] 图 3 是根据本发明优选实施例的 OFDM 系统的采样频差校正方法中 Farrow 结构滤波器的结构原理图;

[0012] 图 4 是根据本发明优选实施例的 OFDM 系统的采样频差校正装置的结构示意图;

[0013] 图 5 是根据本发明优选实施例的 OFDM 系统的采样频差校正装置的结构原理图;

[0014] 图 6 是 OFDM 系统的时隙结构原理图;以及

[0015] 图 7 是根据本发明优选实施例的 OFDM 系统的采样频差校正装置中插值滤波器的结构示意图。

### 具体实施方式

[0016] 下面将结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细说明。

[0017] 本发明提供的校正方法和装置适用于具有连续导频的 OFDM 数字通信系统。采用该校正方法,首先对接收终端的过采样数据进行插值滤波或抽取滤波;然后对滤波后的过采样数据进行时频变换得到 OFDM 频域符号;接下来从 OFDM 频域符号提取连续导频信息,并进行采样频差估计,得到采样相对频差估计值 $\hat{\zeta}$ ;之后对采样相对频差估计值 $\hat{\zeta}$ 进行比例积分得到当前采样相对频差积分值 $\zeta'$ ,并用积分值 $\zeta'$ 指导对过采样数据进行插值滤波或抽取滤波。

[0018] 图 1 示出了根据本发明的 OFDM 系统的采样频差校正方法的大致流程,其主要步骤包括:

[0019] S101:对接收终端的过采样数据进行插值滤波或抽取滤波,该插值滤波或抽取滤波的操作通过 Farrow 结构滤波器来进行。

[0020] 图 2 示出的是该采样频差校正方法的信号处理原理,为了更清楚地理解本发明,下面将结合图 2 对该校正方法进行进一步说明。

[0021] 在步骤 S101 中,采用 Farrow 结构滤波器来对接收终端的过采样数据进行插值滤波或抽取滤波,以校正采样频差。若系统发射端的采样速率为 T,接收端的采样速率为 T',定义整数采样频差为 $m_n = \lfloor nT/T' \rfloor$ ,分数采样频差为 $u_n = nT/T' - m_n$ ,n 为样值序号,

$\lfloor z \rfloor$ 表示对  $z$  下取整。若选定的低通滤波器,该滤波器的有效带宽应满足 OFDM 系统的带宽要求,可以用分段多项式  $h(t) = h[(i + u_n)T'] = \sum_{l=0}^N b_l(i)u_n^l$  表达,则 Farrow 结构滤波器的表达式

为  $y(n) = \sum_{l=0}^N u_n^l \sum_{i=l_1}^{l_2} b_l(i)x(m_n - i)$ ,图 3 示出了 Farrow 结构滤波器的结构原理。在数字域采用 Farrow 结构滤波器进行滤波处理具有结构简单、稳定性能和实时性能好等优点,是一种使用广泛的插值 \ 抽取滤波器。

[0022] S102 :对滤波后的过采样数据进行时频变换得到 OFDM 频域符号。

[0023] 对滤波后的过采样数据进行时频变换的步骤包括 :由于 CMMB 接收终端的 A/D 转换器以高采样率对接收信号进行过采样,因此必须对滤波后的过采样数据进行下采样而使信号满足基带传输要求,获得基带 OFDM 时域符号 ;然后对 OFDM 时域符号去除保护间隔后进行 FFT,从而通过时频转换而获得 OFDM 频域符号。

[0024] S103 :从 OFDM 频域符号提取连续导频信息,并进行采样频差估计,得到采样相对频差估计值  $\hat{\zeta}$ ,其主要利用关于零频点基本对称的 38 对连续导频进行估计得到采样相对频差估计值  $\hat{\zeta}$ 。

[0025] 假设一个系统的连续导频在 OFDM 符号的频率轴正负频域关于零频点对称分布,接收端第 1 个 OFDM 符号的第  $k$  个子载波  $z_{1,k}$  为连续导频,将正负频域分别称为 right 和 left 部分,在 left 部分,  $k \in [-(K-1)/2, 0)$ ,在 right 部分,  $k \in (0, (K-1)/2]$ ,  $K$  为 OFDM 符号的有效子载波数。由相邻两个符号的第  $k$  个子载波得到 :

$$[0026] \quad X_{1,k} = z_{1,k} \cdot \text{conjg}(z_{1-1,k}) = e^{j2\pi(1+g)(\Delta f + \zeta \cdot k)} \cdot |H_{1,k}|^2 \beta^2 + \text{noise} \quad (1)$$

[0027] 其中  $g = N_g/N$ ,  $N_g$  为 OFDM 符号保护间隔长度,  $N$  为 OFDM 符号总长度,  $\beta$  为导频能量因子,  $\Delta f$  为载波频差。对左右两部分的  $X_{1,k}$  的相角求和得到 :

[0028]

$$\varphi_{(left,l)} = \varphi(y_{(left,l)}) = \varphi\left(\sum_{k \in left} X_{l,k}\right) \quad (2-1)$$

[0029]

$$\varphi_{(right,l)} = \varphi(y_{(right,l)}) = \varphi\left(\sum_{k \in right} X_{l,k}\right) \quad (2-2)$$

[0030] 由相位角  $\varphi_{left,l}$  和  $\varphi_{right,l}$  可以求得采样频率相对偏差  $\zeta = (T' - T)/T$  的估计值为 :

[0031]

$$\hat{\zeta} = \left( \frac{\varphi_{(right,l)} - \varphi_{(left,l)}}{\pi(1+g) \cdot K} \right) \quad (3)$$

[0032] 得到采样频差估计值  $\hat{\zeta}$  后,对其进行比例积分,得到采样频差积分值并根据  $\zeta$  与  $u_k$  的关系指导 Farrow 结构滤波器对过采样值进行插值处理或抽取处理。

[0033] S104 :对采样相对频差估计值  $\hat{\zeta}$  进行比例积分得到当前采样相对频差积分值  $\zeta'$ ,并用积分值  $\zeta'$  指导对过采样数据进行插值滤波或抽取滤波。

[0034] 在步骤 S104 中,比例积分采用的冲击响应为 :

$$[0035] \quad H(z) = K_p + \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}} K_i \quad (4)$$

[0036] 用积分值  $\zeta'$  指导插值滤波或抽取滤波的具体原则为：当  $\zeta' > 0$  时，指导 Farrow 结构滤波器插入一个过采样值；当  $\zeta' < 0$  时，指导 Farrow 结构滤波器在过采样数据序列中抽取一个采样值。

[0037] 图 4 示出了根据本发明的 OFDM 系统中采样频差的校正装置，该装置主要包括后处理单元和串联成为一个反馈环路的 Farrow 结构滤波器 1、时频变换单元 2、采样频差估计单元 3 和比例积分单元 4。该校正装置的具体结构如图 5 所示，时频变换单元 2 还可以包括下采样单元和 FFT 单元。

[0038] 根据本发明的一个优选实施例，假设 CMMB 系统的带宽为 8MHz，基带采样速率为 10MHz，一帧包括 40 个时隙。每个时隙有 25 万个数据，时隙结构如图 6 所示，其包括一个发射机标识序列、两个同步序列及 53 个 OFDM 符号，每个 OFDM 符号有 3076 个有效子载波，其中含 82 个连续导频。

[0039] 在校正装置中，Farrow 结构滤波器 1 可以选用分段抛物插值滤波器，其对 CMMB 接收终端的过采样数据进行插值滤波，分段抛物插值滤波器的分段表达式为：

$$[0040] \quad y(t) = \sum_{i=-2}^1 C_i x(-1-i)$$

$$[0041] \quad C_{-2} = \alpha u^2 - \alpha u$$

$$[0042] \quad (5)$$

$$[0043] \quad C_{-1} = -\alpha u^2 + (\alpha + 1)u$$

$$[0044] \quad C_0 = -\alpha u^2 + (\alpha - 1)u + 1$$

$$[0045] \quad C_{+1} = \alpha u^2 - \alpha u$$

[0046] 其中  $\alpha = 0.5$ ，与本实施例中采用的参数相对应的分段抛物插值滤波器的 Farrow 结构如图 7 所示，由反馈环路得到的采样相对频差积分值  $\zeta'$  来决定数字化的当前插值滤波器变量  $u_n$ 。

[0047] 在下采样单元中，若 CMMB 接收终端 A/D 转换器以 40MHz 的采样率对接收信号进行采样，本实施例中采用 4 倍下采样以使基带信号数据  $y'(n)$  速率为 10MHz。

[0048] 在 FFT 单元中，10MHz 的基带时隙信号经时隙同步后去掉 OFDM 符号保护间隔，得到每个时隙的 53 个 OFDM 符号，进行傅里叶变换得到频域 OFDM 符号，其采用的公式为：

$$[0049] \quad Y(k) = FFT[y'(n)] = \frac{\sqrt{2}}{128} \sum_{n=0}^{4095} y'(n) \cdot e^{-j2\pi nk/4096}, \quad 0 \leq k \leq 4095 \quad (6)$$

[0050] 采样频差估计单元 3 主要用于进行连续导频的提取和采样频差的估计。在 CMMB 系统中 OFDM 符号有 82 个连续导频，该 82 个连续导频对应的子载波编号分别为：

[0051] 0, 22, 78, 92, 168, 174, 244, 274, 278, 344, 382, 424, 426, 496, 500, 564, 608, 650, 688, 712, 740, 772, 846, 848, 932, 942, 950, 980, 1012, 1066, 1126, 1158, 1214, 1244, 1276, 1280, 1326, 1378, 1408, 1508, 1537, 1538, 1566, 1666, 1736, 1748, 1794, 1798, 1830, 1860, 1916, 1948, 2008, 2062, 2094, 2124, 2132, 2142, 2226, 2228, 2302, 2334, 2362, 2386, 2424, 2466, 2510, 2574, 2578, 2648, 2650, 2692, 2730, 2796, 2800, 2830, 2900, 2906, 2982, 2996, 3052, 3075。

[0052] 其中，左半部分中除第 1538、1736 和 3075 以外的 38 个连续导频与右半部分中除第 0、1378 和 1537 以外的 38 个连续导频关于零频点基本对称，即：若左半部分的连续导频

在零频点左边标号为  $-k$ ，则零频点右边总会有一标号为  $k-1$  的导频与之对应，由于这 38 对共计 76 个连续导频基本对称，所以可以用它们进行采样频差的估计。

[0053] CMMB 系统一个时隙有 53 个 OFDM 符号，每次可以使用其中相邻的  $2 \leq L \leq 53$  个符号进行采样频差的估计，本实施例中令  $L = 53$ ，即每个时隙获得一个采样频差的估计值。CMMB 系统中  $N = 4096$ ， $N_g = 536$ ， $g = 536/4096$ ， $K = 3076$ 。

[0054] 从频域 OFDM 符号中抽取一个时隙中 53 个符号的连续导频后，由相邻的第 1 和第 1-1 两个符号的第  $k$  个子载波得到：

$$[0055] \quad X_{1,k} = z_{1,k} \cdot \text{conjg}(z_{1-1,k}) = e^{j2\pi(1+g)(\Delta f + \zeta \cdot k)} \cdot |H_{1,k}|^2 + \text{noise} \quad (7)$$

[0056] 在一个时隙内求得：

[0057]

$$\varphi_{\text{left}} = \varphi(y_{\text{left}}) = \varphi\left(\sum_{l=0}^{52} \sum_{k \in \text{left}} X_{l,k}\right) \quad (8-1)$$

[0058]

$$\varphi_{\text{right}} = \varphi(y_{\text{right}}) = \varphi\left(\sum_{l=0}^{52} \sum_{k \in \text{right}} X_{l,k}\right) \quad (8-2)$$

[0059] 最后得到采样频差估计值为：

[0060]

$$\hat{\zeta} = \left( \frac{\varphi_{\text{right}} - \varphi_{\text{left}}}{\pi(1+g) \cdot K} \right) \quad (9)$$

[0061] 在比例积分单元 4 中对每个时隙的采样频差估计值进行比例积分，比例积分器的结构如图 5 所示，其中  $0 < (K_i - K_p) \ll K_p \ll 1$ 。对采样相对频差  $\hat{\zeta}$  采用公式 (4) 所示的冲击响应进行比例积分后获得积分值  $\zeta'$ ，然后根据  $\zeta'$  与  $u_n$  的关系对插值 Farrow 滤波器进行调整，具体而言：

[0062] 当  $\zeta' > 0$  时，需要对过采样数据进行插值， $u = u_n = 1 + \frac{n(T - T')}{T'}$ ， $u$  逐渐接近 0，当  $u \leq 0$  时应插入 Farrow 结构滤波器在过采样数据序列中插入一个值。

[0063] 当  $\zeta' < 0$  时，需要对过采样数据进行抽取处理， $u = u_n = \frac{n(T - T')}{T'}$ ， $u$  逐渐接近 1，当  $u \geq 1$  时 Farrow 结构滤波器抽取应抽取一个采样值。

[0064] 以上所披露的仅为本发明的优选实施例，当然不能以此来限定本发明的权利保护范围。可以理解，依据本发明所附权利要求中限定的实质和范围所作的等同变化，仍属于本发明所涵盖的范围。

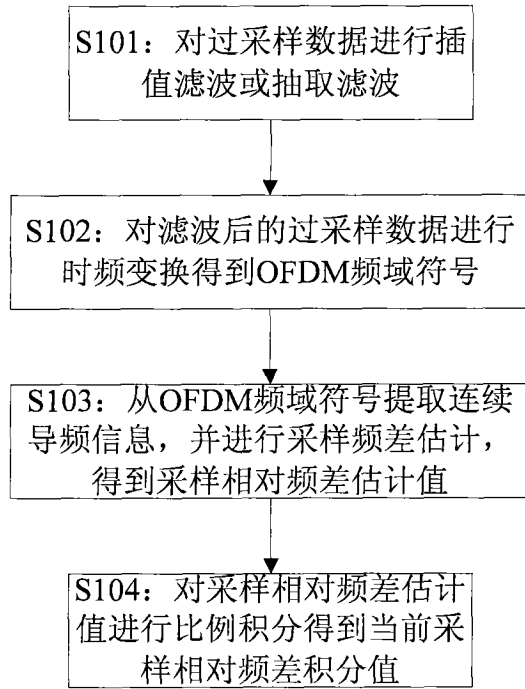


图 1

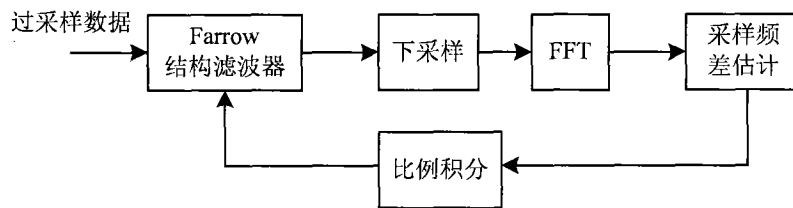


图 2

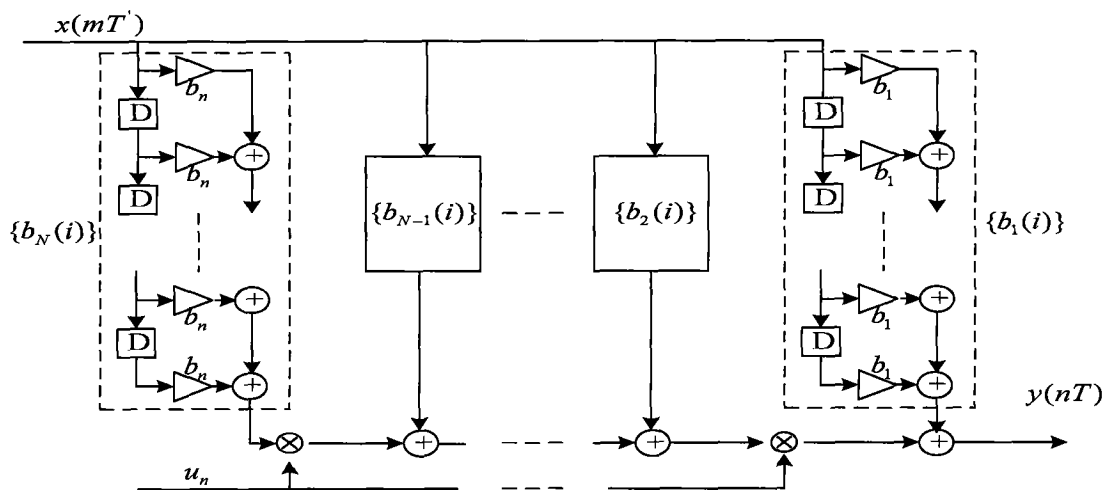


图 3



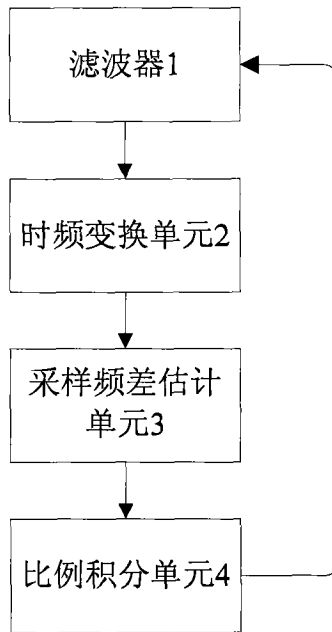


图 4

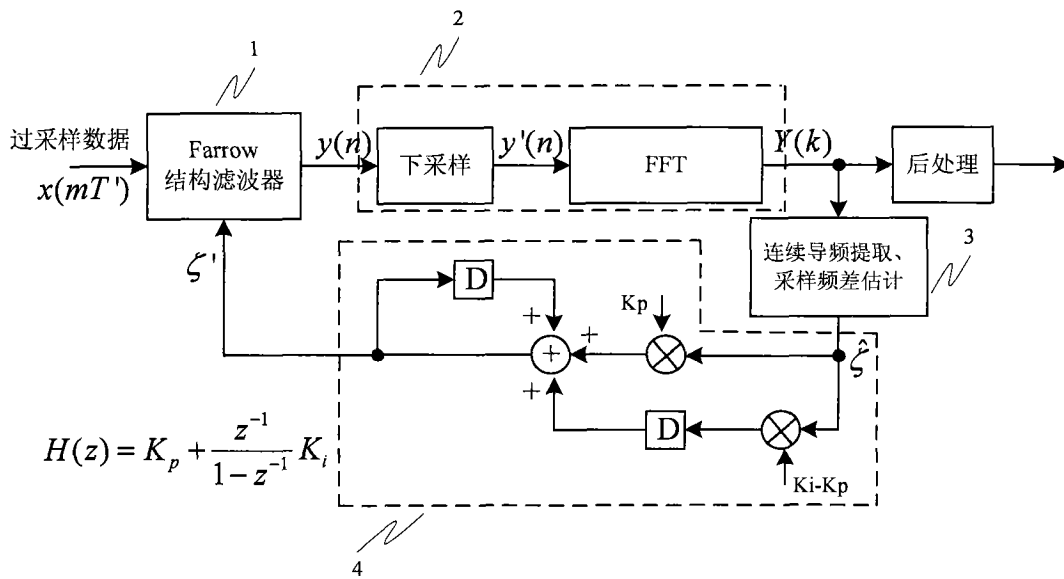


图 5

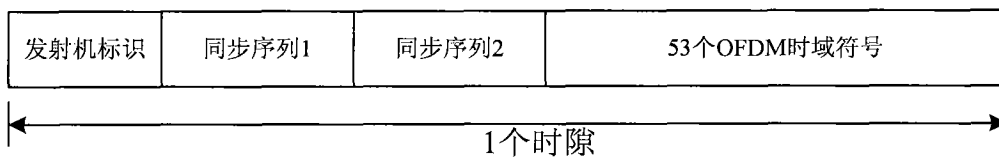


图 6

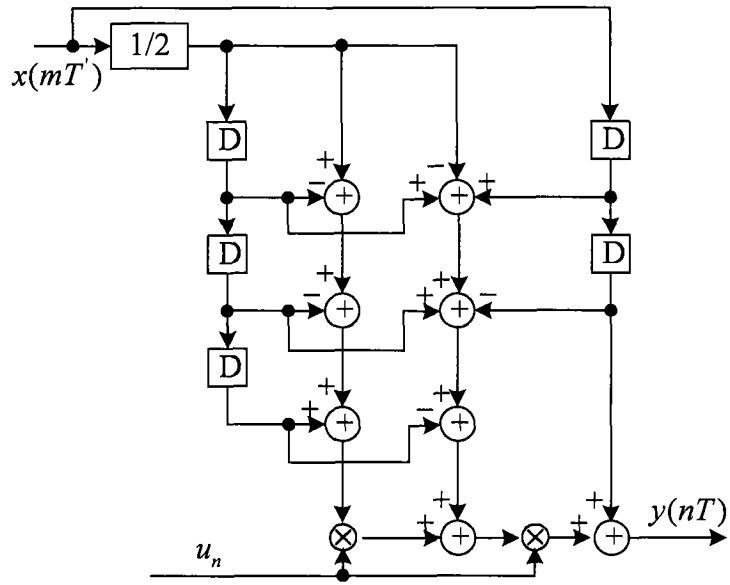


图 7