



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103023830 A

(43) 申请公布日 2013. 04. 03

(21) 申请号 201210514191. 4

(22) 申请日 2012. 12. 05

(71) 申请人 无锡创灵科技有限公司

地址 214062 江苏省无锡市新区菱湖大道
200 号微纳园 B 座 301 室

(72) 发明人 奚加荣

(74) 专利代理机构 无锡市大为专利商标事务所
32104

代理人 曹祖良

(51) Int. Cl.

H04L 25/02(2006. 01)

H04B 1/7077(2011. 01)

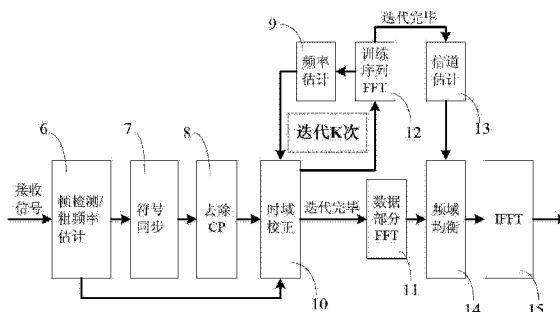
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测装置及方法

(57) 摘要

本发明涉及一种针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测装置及方法,其包括帧检测/粗频率估计模块、符号同步模块及第二去除 CP 模块;时域校正模块,用于对载波信号及训练序列进行时域校正;控制训练序列 FFT 模块及频率估计与训练序列 FFT 模块间进行所需的 Turbo 迭代检测,以对训练序列在频率偏差估计后进行时域校正; Turbo 迭代检测完毕后,时域校正模块控制训练序列 FFT 模块通过信道估计模块进行信道估计;频域均衡模块,与数据部分 FFT 模块及信道估计模块连接,利用信道估计模块输出的信道估计结果对数据部分 FFT 模块输出的数据部分进行信道均衡;IFFT 模块,与频域均衡模块的输出端连接。本发明能消除 ICI 干扰,提高信道估计和频偏估计的精度。



1. 一种针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测装置,包括
帧检测 / 粗频率估计模块(6),输出端与符号同步模块(7)及时域校正模块(10)连接,用于接收载波信号及训练序列,对所述载波信号与训练序列进行帧检测,并能对载波信号与训练序列的频偏粗估计与校正;

符号同步模块(7),接收帧检测 / 粗频率估计模块(6)校正后的载波信号及训练序列,并对所述载波信号及训练序列进行时间同步;

第二去除 CP 模块(8),去除符号同步模块(7)输出载波信号及训练序列的 CP;其特征是,

时域校正模块(10),与第二去除 CP 模块(8)、训练序列 FFT 模块(12)、频率估计模块(9)及数据部分 FFT 模块(11)连接,用于对载波信号及训练序列进行时域校正;控制训练序列 FFT 模块(12)及频率估计(9)与时域校正模块(10)间进行所需的 Turbo 迭代检测,以对训练序列在频率偏差估计后进行时域校正;Turbo 迭代检测完毕后,时域校正模块(10)控制训练序列 FFT 模块(12)通过信道估计模块(13)进行信道估计,并将所述信道估计结果输入频域均衡模块(14)内;

频域均衡模块(14),与数据部分 FFT 模块(11)及信道估计模块(13)连接,利用信道估计模块(13)输出的信道估计结果对数据部分 FFT 模块(11)输出的数据部分进行信道均衡;

IFFT 模块(15),与频域均衡模块(14)的输出端连接,对经过频域均衡模块(14)输出的载波信号进行解调。

2. 根据权利要求 1 所述的针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测装置,其特征是:所述时域校正模块(10)、训练序列 FFT 模块(12)与频率估计模块(9)间进行 3~4 次 Turbo 迭代检测。

3. 一种针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测方法,其特征是,所述 Turbo 迭代检测方法包括如下步骤:

(a)、接收训练序列,所述训练序列经过帧检测 / 粗频率估计模块(6)进行帧检测及频偏粗估计与校正,并通过符号同步模块(7)进行时间同步;

(b)、对时间同步后的训练序列经过第二去除 CP 模块(8)去除 CP,对所述训练序列通过时域校正模块(10)进行时域校正,

(c)、通过训练序列 FFT 模块(12)对上述时域校正的训练序列进行 FFT 变换,再通过频率估计模块(9)估计频率偏差,将得到的频率偏差估计输入时域校正模块(10),对训练序列进行时域再校正;重复上述估计频率偏差及进行时域校正的步骤,直至完成预设的迭代次数;

(d)、接收载波信号,所述载波信号依次经过帧检测 / 粗频率估计模块(6)、符号同步模块(7)、第二去除 CP 模块(8)及时域校正模块(10);

(e)、在时域校正模块(10)完成预设的迭代次数后,经过时域校正模块(10)的载波信号输入数据部分 FFT 模块(11),进行所需的 FFT 变换;同时,信道估计模块(13)进行信道估计;

(f)、频域均衡模块(14)接收信道估计模块(13)的信道估计结果及数据部分 FFT 模块(11)输出 FFT 变换结果,对载波信号的数据部分进行信道均衡;

(g)、对频域均衡模块(14)输出的载波信号通过 IFFT 模块(15)进行解调。

4. 根据权利要求 3 所述针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测方法,其特征是:所述步骤(c)中,时域校正模块(10)、训练序列 FFT 模块(12)与频率估计模块(9)间进行 3~4 次 Turbo 迭代检测。

针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种迭代检测装置,尤其是一种针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测装置及方法,属于无线通信的技术领域。

背景技术

[0002] 在无线通信中,由于接收端和发射端晶振不同,导致收发两端的载波频率存在偏差,影响通信系统的频率同步,严重损坏接收信噪比。而且,在移动通信时,多普勒频移会造成发射信号在到达接收端时出现载波频率偏移,同样需进行估计校正。

[0003] SC-FDE(单载波频率均衡)技术是一种高效的宽带通信技术,可有效对付多径衰落。假定收发完全同步的情况下,SC-FDE 系统接收机框架图如 1 所示;其中,接收信号经过第一去除 CP 模块 1 以去除接收信号的 CP,然后经过串并/FFT 模块(Fast Fourier Transformation)2,然后再依次通过信道估计/频率均衡模块 3、IFFT/并串模块 4 及解调/译码模块 5 进行整个接收译码过程。

[0004] 然而在接收过程中,首先要进行收发机的同步,所述同步分为时间同步和频率同步,这里主要介绍频率同步。在 SC-FDE 系统中,为方便进行频率精确同步估计,训练序列通常重复发送两次。如图 2 所示,为接收检测的框图,具体接收检测过程如下:

[0005] 1)、先对接收信号进行帧检测和符号同步,在帧检测的同时会对载波频偏进行粗略估计并校正,精度较差;

[0006] 2)、时间同步后,可以去除 CP,消除 ISI,并进行 FFT 运算;

[0007] 3)、进行信道估计,与此同时,利用两个完全相同的训练序列对频偏进行再估计;

[0008] 4)、利用再估计的结果在时域对数据部分进行频偏纠正;

[0009] 5)、对数据部分进行 FFT 变换,并利用信道估计结果进行信道均衡及随后的接收处理。

[0010] 上述接收检测方法通常在频偏较小时能获得较好的信道估计和频率估计性能。但对于频偏较大或多普勒频移较大时,为增加估计范围,频偏粗估计的序列周期必须较短,由于序列周期短,造成估计精度差。因此,在粗估计完毕后仍会存在较大的频率偏差。这时会影响信道估计和频率估计的精度,从而降低接收机性能。

发明内容

[0011] 本发明的目的是克服现有技术中存在的不足,提供一种针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测装置及方法,其结构紧凑,提高接收机性能,精度高,安全可靠。

[0012] 按照本发明提供的技术方案,所述针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测装置,包括帧检测/粗频率估计模块,输出端与符号同步模块及时域校正模块连接,用于接收载波信号及训练序列,对所述载波信号与训练序列进行帧检测,并能对载波信号与训练序列的频偏粗估计与校正;

[0013] 符号同步模块,接收帧检测/粗频率估计模块校正后的载波信号及训练序列,并

对所述载波信号及训练序列进行时间同步；

[0014] 第二去除 CP 模块,去除符号同步模块输出载波信号及训练序列的 CP；

[0015] 时域校正模块,与第二去除 CP 模块、训练序列 FFT 模块、频率估计模块及数据部分 FFT 模块连接,用于对载波信号及训练序列进行时域校正；控制训练序列 FFT 模块及频率估计与时域校正模块间进行所需的 Turbo 迭代检测,以对训练序列在频率偏差估计后进行时域校正；Turbo 迭代检测完毕后,时域校正模块控制训练序列 FFT 模块通过信道估计模块进行信道估计,并将所述信道估计结果输入频域均衡模块内；

[0016] 频域均衡模块,与数据部分 FFT 模块及信道估计模块连接,利用信道估计模块输出的信道估计结果对数据部分 FFT 模块输出的数据部分进行信道均衡；

[0017] IFFT 模块,与频域均衡模块的输出端连接,对经过频域均衡模块输出的载波信号进行解调。

[0018] 所述时域校正模块、训练序列 FFT 模块与频率估计模块间进行 3~4 次 Turbo 迭代检测。

[0019] 一种针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测方法,所述 Turbo 迭代检测方法包括如下步骤：

[0020] a、接收训练序列,所述训练序列经过帧检测 / 粗频率估计模块进行帧检测及频偏粗估计与校正,并通过符号同步模块进行时间同步；

[0021] b、对时间同步后的训练序列经过第二去除 CP 模块去除 CP,对所述训练序列通过时域校正模块进行时域校正,

[0022] c、通过训练序列 FFT 模块对上述时域校正的训练序列进行 FFT 变换,再通过频率估计模块估计频率偏差,将得到的频率偏差估计输入时域校正模块,对训练序列进行时域再校正；重复上述估计频率偏差及进行时域校正的步骤,直至完成预设的迭代次数；

[0023] d、接收载波信号,所述载波信号依次经过帧检测 / 粗频率估计模块、符号同步模块、第二去除 CP 模块及时域校正模块；

[0024] e、在时域校正模块完成预设的迭代次数后,经过时域校正模块的载波信号输入数据部分 FFT 模块,进行所需的 FFT 变换；同时,信道估计模块进行信道估计；

[0025] f、频域均衡模块接收信道估计模块的信道估计结果及数据部分 FFT 模块输出 FFT 变换结果,对载波信号的数据部分进行信道均衡；

[0026] g、对频域均衡模块输出的载波信号通过 IFFT 模块进行解调。

[0027] 所述步骤 c 中,时域校正模块、训练序列 FFT 模块与频率估计模块间进行 3~4 次 Turbo 迭代检测。

[0028] 本发明的优点:利用时域校正模块、训练序列 FFT 模块及频率估计模块之间进行 Turbo 迭代,在时域校正模块内预先设置迭代次数,以通过对训练序列的频率偏差估计后再进行时域校正,然后通过信道估计模块输出信道估计结果,以消除 ICI 干扰,提高信道估计和频偏估计的精度。

附图说明

[0029] 图 1 为现有收发完全同步时,SC-FDE 系统接收机的结构框图。

[0030] 图 2 为现有 SC-FDE 系统的结构框图。

[0031] 图 3 为本发明的结构框图。

[0032] 图 4 为本发明的仿真对比示意图。

[0033] 附图标记说明：1- 第一去除 CP 模块、2- 串并 /FFT 模块、3- 信道估计 / 频域均衡模块、4- IFFT / 并串模块、5- 解调 / 译码模块、6- 帧检测 / 粗频率估计模块、7- 符号同步模块、8- 第二去除 CP 模块、9- 频率估计模块、10- 时域校正模块、11- 数据部分 FFT 模块、12- 训练序列 FFT 模块、13- 信道估计模块、14- 频域均衡模块及 15- IFFT 模块。

具体实施方式

[0034] 下面结合具体附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0035] 如图 3 所示：为了能够对大载波频率偏移进行有效校正，本发明包括帧检测 / 粗频率估计模块 6，输出端与符号同步模块 7 及时域校正模块 10 连接，用于接收载波信号及训练序列，对所述载波信号与训练序列进行帧检测，并能对载波信号与训练序列的频偏粗估计与校正；

[0036] 符号同步模块 7，接收帧检测 / 粗频率估计模块 6 校正后的载波信号及训练序列，并对所述载波信号及训练序列进行时间同步；

[0037] 第二去除 CP 模块 8，去除符号同步模块 7 输出载波信号及训练序列的 CP (cyclic prefix、循环前缀)；

[0038] 时域校正模块 10，与第二去除 CP 模块 8、训练序列 FFT (Fast Fourier Transform、快速傅里叶变换) 模块 12、频率估计模块 9 及数据部分 FFT 模块 11 连接，用于对载波信号及训练序列进行时域校正；控制训练序列 FFT 模块 12 及频率估计 9 与时域校正模块 10 间进行所需的 Turbo 迭代检测，以对训练序列在频率偏差估计后进行时域校正；Turbo 迭代检测完毕后，时域校正模块 10 控制训练序列 FFT 模块 12 通过信道估计模块 13 进行信道估计，并将所述信道估计结果输入频域均衡模块 14 内；

[0039] 频域均衡模块 14，与数据部分 FFT 模块 11 及信道估计模块 13 连接，利用信道估计模块 13 输出的信道估计结果对数据部分 FFT 模块 11 输出的数据部分进行信道均衡；

[0040] IFFT (Inverse Fast Fourier Transform、快速傅里叶逆变换) 模块 15，与频域均衡模块 14 的输出端连接，对经过频域均衡模块 14 输出的载波信号进行解调。

[0041] 具体地，SC-FDE 系统中频偏估计和信道估计原理进行阐述为：假定信道为慢衰落信道，在一帧信号内保持不变，设带宽为 BW，FFT 后子载波带宽为 f ，采样率为 $T_s = 1/Nf$ 。N 表示 FFT 点数，发送信号为 $x(n)$ ，频域表示为 $X(k)$ ，接收信号为 $r(n)$ ，频域表示为 $R(k)$ ，信道冲激响应为 $h(n)$ ，频域表示为 $H(k)$ ，不考虑采样频偏，且当无载波频率偏移时，则

$$[0042] \quad r(n) = h(n) \otimes x(n) + N(n)$$

$$[0043] \quad R(k) = H(k) X(k) + N_0$$

[0044] 其中， $N(n)$ 表示加性白高斯噪声， N_0 表示噪声谱密度。若不考虑噪声，则

$$[0045] \quad r(n) = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} X(l) H(l) e^{j2\pi l \frac{n}{N}}$$

[0046] 当存在载波频率偏移时，设偏移量为 Δf ，由于通常在粗频率估计后不会存在整数倍频偏，因此这里只考虑小数倍频偏，则设接收采样值为：

$$[0047] \quad r'(n) = r(n) e^{j2\pi \Delta f n T_s}$$

$$[0048] \quad = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} X(l)H(l)e^{j2\pi l \frac{n}{N}} e^{j2\pi \Delta n T_s}$$

[0049] FFT 后频域值为：

$$[0050] \quad R'(k) = \sum_{n=0}^{N-1} r(n)e^{j2\pi \Delta n T_s} e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}$$

$$[0051] \quad = \sum_{n=0}^{N-1} \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} X(l)H(l)e^{j2\pi l \frac{n}{N}} e^{j2\pi \Delta n T_s} e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}$$

$$[0052] \quad = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} X(l)H(l)e^{j2\pi(l-k)\frac{n}{N}} e^{j2\pi n \Delta f / N f}$$

[0053] 设小数倍频偏相对值为 $\Delta = \frac{\Delta f}{f}$ ，得到

$$[0054] \quad R'(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} X(l)H(l)e^{j2\pi(l-k)\frac{n}{N}} e^{j2\pi n \Delta f / N f}$$

$$[0055] \quad = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} X(l)H(l)e^{j2\pi(l-k+\Delta)\frac{n}{N}}$$

$$[0056] \quad = H(k)X(k) \left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j2\pi \Delta n / N} \right) + \frac{1}{N} \sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} X(l)H(l)e^{j2\pi(l-k+\Delta)\frac{n}{N}}$$

[0057] 可以看出，由于载波频率偏，造成频域有用信号受到 $\left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j2\pi \Delta n / N} \right)$ 的衰落和相位

旋转，这在信道估计与均衡中可以消除。但 $\frac{1}{N} \sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} X(l)H(l)e^{j2\pi(l-k+\Delta)\frac{n}{N}}$ 是噪声，称之为

ICI 干扰项，为提高接收检测性能，必须尽可能消除 ICI 干扰项。

[0058] 利用两个相同的周期训练序列在频域估计频率误差，并充分发挥 CP 的作用，消除 ISI (Inter-symbol interference) 干扰，提高估计精度。然而，根据上述推导，ICI 干扰项在频域还是无法解决的，也无法用信道估计消除，相反还会影响信道估计和频偏估计精度。也就是说，ICI (inter-carrier interference) 干扰项只能在时域校正中消除。

[0059] 因此，本发明实施例中，训练序列 FFT 模块 12 及频率估计 9 与时域校正模块 10 间进行所需的 Turbo 迭代检测，以对训练序列在频率偏差估计后进行时域校正；Turbo 迭代检测完毕后，时域校正模块 10 控制训练序列 FFT 模块 12 通过信道估计模块 13 进行信道估计，并将所述信道估计结果输入频域均衡模块 14 内。频率估计模块 9 估计频率偏差后，通过时域校正模块 10 进行时域再次校正，以消除 ICI 干扰；所述时域校正模块 10、训练序列 FFT 模块 12 与频率估计模块 9 间进行 3~4 次 Turbo 迭代检测。时域校正模块 10、训练序列 FFT 模块 12 及频率估计模块 9 间进行 Turbo 迭代次数可以根据需要进行设定，为了降低复杂度，一般设定为 3 或 4 次，即图中的 K 为 3 或 4。

[0060] 基于上述说明，本发明实施例中，针对大载波频率偏移的 Turbo 迭代检测方法包括如下步骤：

[0061] a、接收训练序列，所述训练序列经过帧检测 / 粗频率估计模块 6 进行帧检测及频偏粗估计与校正，并通过符号同步模块 7 进行时间同步；

[0062] b、对时间同步后的训练序列经过第二去除 CP 模块 8 去除 CP，对所述训练序列通过

时域校正模块 10 进行时域校正，

[0063] c、通过训练序列 FFT 模块 12 对上述时域校正的训练序列进行 FFT 变换，再通过频率估计模块 9 估计频率偏差，将得到的频率偏差估计输入时域校正模块 10，对训练序列进行时域再校正；重复上述估计频率偏差及进行时域校正的步骤，直至完成预设的迭代次数；

[0064] d、接收载波信号，所述载波信号依次经过帧检测 / 粗频率估计模块 6、符号同步模块 7、第二去除 CP 模块 8 及时域校正模块 10；所述载波信号可以为频偏较大的信号。

[0065] e、在时域校正模块 10 完成预设的迭代次数后，经过时域校正模块 10 的载波信号输入数据部分 FFT 模块 11，进行所需的 FFT 变换；同时，信道估计模块 13 进行信道估计；

[0066] f、频域均衡模块 14 接收信道估计模块 13 的信道估计结果及数据部分 FFT 模块 11 输出 FFT 变换结果，对载波信号的数据部分进行信道均衡；

[0067] g、对频域均衡模块 14 输出的载波信号通过 IFFT 模块 15 进行解调。

[0068] 本发明帧检测 / 粗频率估计模块 6、符号同步模块 7、第二去除 CP 模块 8、频率估计模块 9、时域校正模块 10、数据部分 FFT 模块 11、训练序列 FFT 模块 12、信道估计模块 13、频域均衡模块 14 及 IFFT 模块 15 的功能均与现有技术一致，只是利用时域校正模块 10、训练序列 FFT 模块 12 及频率估计模块 9 之间进行 Turbo 迭代，在时域校正模块 10 内预先设置迭代次数，以通过对训练序列的频率偏差估计后再进行时域校正，然后通过信道估计模块 13 输出信道估计结果，以消除 ICI 干扰，提高信道估计和频偏估计的精度。Turbo 迭代思想即 Turbo 码在译码时采用迭代手段，将后级得到的信息迭代至前级，修正前级信息后又重新去产生后级信息，如此反复迭代，达到提高检测性能的目的。

[0069] 图 4 为本发明与现有检测装置的性能仿真比较图。仿真环境为，莱斯慢衰落信道，QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)调制，1/2 码率卷积码及软译码算法。假定在粗频率同步后，收发最大频偏为 40ppm，则误码率仿真结果如 4 所示，其中，空心圆点曲线表示本发明的仿真结果曲线，实心圆点曲线表示现有检测装置的仿真结果曲线。显然，基于 Turbo 迭代思想的载波频率偏移校正装置在接收性能上有较大提高，例如，在误码率为 0.001 时，有约 1.5dB 的性能增益。

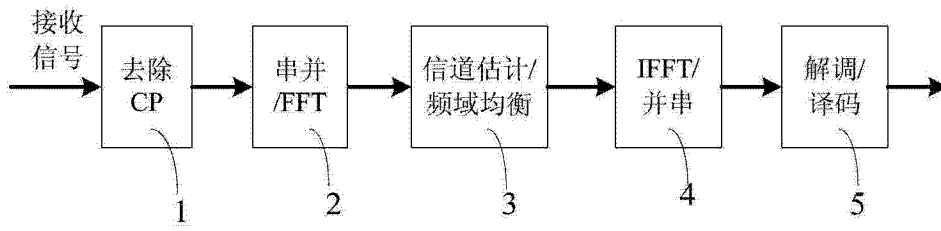


图 1

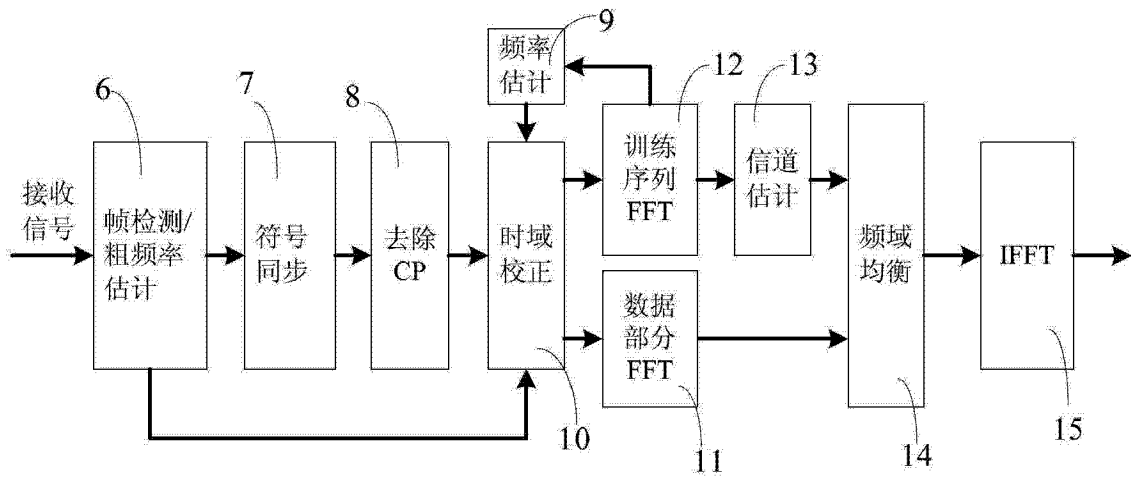


图 2

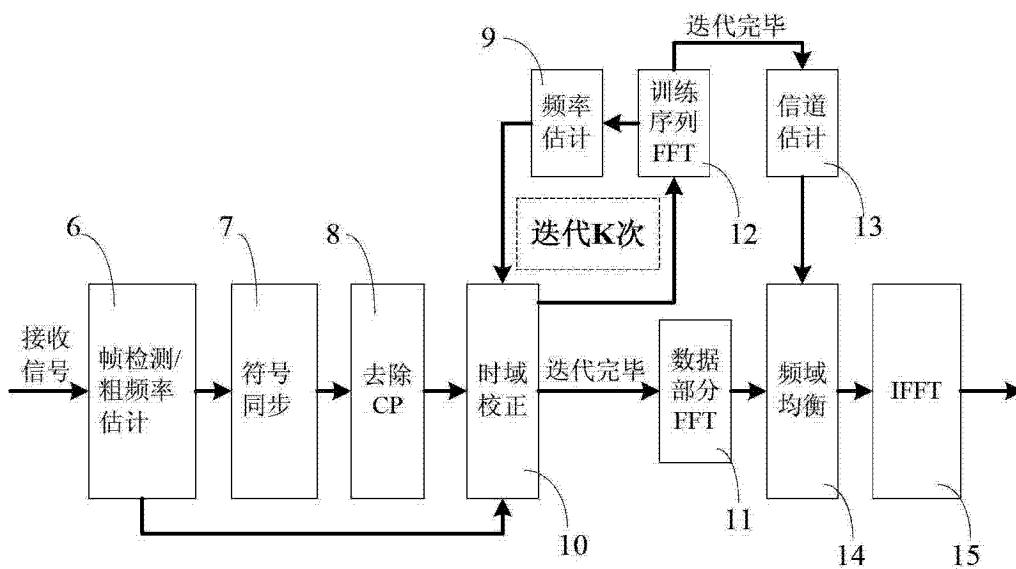


图 3

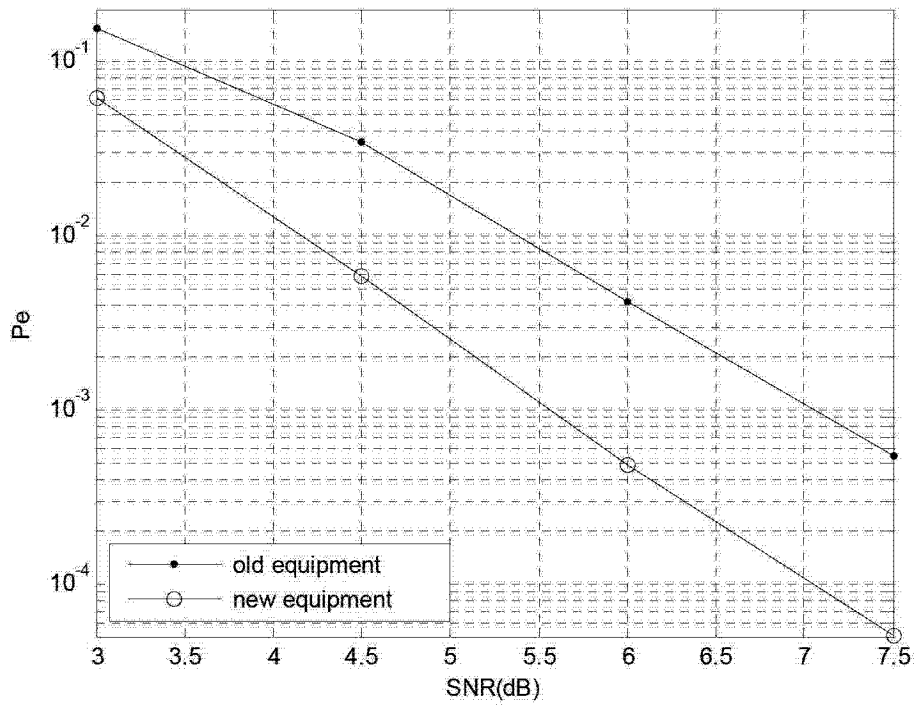


图 4