



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410080420.1

[45] 授权公告日 2009 年 7 月 22 日

[11] 授权公告号 CN 100518160C

[22] 申请日 2004.10.9

[21] 申请号 200410080420.1

[73] 专利权人 北京中电华大电子设计有限公司

地址 100015 北京市朝阳区高家园小区 1 号

[72] 发明人 滕炜亮

[56] 参考文献

CN1520669A 2004.8.11

CN1322416A 2001.11.14

CN1310528A 2001.8.29

US2002/0150181A1 2002.10.17

JP2004-254192A 2004.9.9

审查员 苗雨

权利要求书 3 页 说明书 6 页 附图 7 页

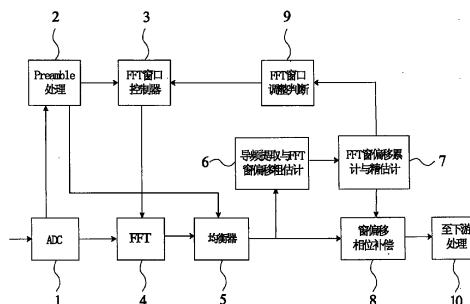
[54] 发明名称

OFDM 接收机的采样时钟频率偏差补偿方法与装置

[57] 摘要

一种应用于正交频分复用 (OFDM) 接收机的采样时钟频率偏差补偿的技术实现方法公布了一种装置通过从 Preamble 处理 (2) 得到 OFDM 符号的时钟同步以及均衡器系数, 通过 FFT 窗口控制器 (3) 控制 FFT 窗的位置, 通过 FFT 以及均衡后 (5) 的当前 OFDM 符号中提取导频相位偏差角, 并处理提取的导频相位偏差角以导出当前 FFT 窗的偏移量粗略估计 (6); 再通过对这一帧截至当前 OFDM 符号已接收到的 FFT 窗偏移量的累加平均, 精确估计出当前 OFDM 符号 FFT 窗偏移量 (7); 用这个精确偏移量来调整当前 OFDM 符号均衡后各子信道的相位 (8); 同时根据这个精确偏移量来判断下一个 OFDM 符号的 FFT 窗是否移位 (9)。这样就能极大地提高接收机的整体性能。与一般的采样时钟频率偏差校

正方法相比, 本发明能有更好的抗噪声性能。



1. 一种在正交频分复用 OFDM 接收机中校正采样时钟频率偏差的方法, 该方法包括下列步骤:

通过对 OFDM 符号前的引导符号 preamble 的处理, 得到均衡器的系数以及实现采样时钟的初同步;

从经过均衡后的当前 OFDM 符号中提取以规则间隔插入的导频信号 Pilots, 根据当前 OFDM 符号导频信号求出导频相位偏差角, 得到 FFT 窗偏移量粗略估计;

将本帧数据截至当前 OFDM 符号计算的 FFT 窗偏移量粗略估计累加, 对当前 OFDM 符号, 通过将同一帧内截至当前 OFDM 符号的各个 OFDM 符号 FFT 窗偏移量粗略估计累加, 得到累计的 FFT 窗偏移量粗略估计, 公式如下:

$$\text{sum\_shift}(n) = \text{sum\_shift}(n-1) + \text{shift\_new}(n) + \text{lack\_overlap\_counter}(n) \quad (1)$$

$1 \leq n \leq M$ ,  $M$  为该帧数据中 OFDM 符号的总个数, 累加时, 对于当前 OFDM 符号 FFT 窗偏移量粗略估计, 还需加上之前 FFT 窗口调整所带来的影响, 即 lack\_overlap\_counter 中的数值, 其中:

shift\_new(n): 根据当前 OFDM 符号的导频信号得到的 FFT 窗偏移量粗略估计;

sum\_shift(n): FFT 窗偏移量粗略估计的累加值, 初值为零;

lack\_overlap\_counter(n): FFT 窗向前或向后移动的次数, 初值为零;

采用求平均的方法计算得到相邻 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量粗略估计之差的平均值, 相邻 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量粗略估计之差的平均值计算方法是:

$$\frac{2 \cdot \text{sum\_shift}(n)}{n \cdot (n+1)} \quad (2)$$

然后对当前 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量进行精确估计, 计算出平均的相邻 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量粗略估计之差的平均值乘以当前接收的 OFDM 符号数后, 再

$$\text{est\_shift}(n) = \frac{2 \cdot \text{sum\_shift}(n)}{n+1} - \text{lack\_overlap\_counter}(n) \quad (3)$$

减去这之前由于 FFT 窗向前或向后移动的次数, 便得到当前 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量的精确估计, 如公式 (3) 所示:

其中: est\_shift(n): 对当前 OFDM 符号 FFT 窗偏移量的精确估计;

根据得到的 FFT 窗偏移量的精确估计补偿均衡后的当前 OFDM 符号各子载波的相位旋转;

同时根据 FFT 窗偏移量的精确估计来调整下一个 OFDM 符号 FFT 窗位置。

2. 根据权利要求1所述的方法,特征在于:导频信号是从FFT输出经过均衡之后的特定子载波中提取的,从提取的导频信号与预知的导频值比较得到其相位偏差角,单个OFDM符号的FFT窗偏移量粗略估计是通过相位偏差角序列的斜率计算的,如公式(4)所示:

$$\text{shift\_new}(n) = \frac{N}{2\pi \cdot P} \cdot \sum_{i=1}^P \frac{\theta_i - \bar{\theta}}{p_i} \quad (4)$$

其中:

n:本帧数据第n个OFDM符号;

shift\_new(n):根据当前OFDM符号的导频信号得到的FFT窗偏移量粗略估计;

N:OFDM系统中子载波的个数,即FFT的点数;

P:一个OFDM符号内导频信号Pilots的个数;

$\theta_i$ :第i个导频信号的相位偏差角,单位为弧度;

$p_i$ :第i个导频信号的子载波号;

$\bar{\theta}$ :P个导频信号相位偏差角的平均值;

$$\bar{\theta} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P \theta_i$$

3. 根据权利要求1的方法,特征在于:如果当前符号FFT窗偏移量的精确估计超过一个正的门限,则下一个OFDM符号FFT窗向前移动一次,lack\_overlap\_counter加1;如果当前FFT窗偏移量的精确估计小于一个负的门限,则下一个OFDM符号FFT窗向后移动一次,lack\_overlap\_counter值减1。

4. 根据权利要求1的方法,特征在于:根据计算得到的当前OFDM符号的FFT窗偏移量精确估计即可求得采样时钟偏差。

5. 一种在正交频分复用OFDM接收器中用于校正由于采样频率偏差所带来的OFDM符号的FFT窗口的偏移量的装置,其特征包括:

用于从接收的单个OFDM符号计算出其FFT窗偏移量粗略估计的模块,将同一帧内截至当前OFDM符号的各个FFT窗偏移量粗略估计累加,得到累计的FFT窗偏移量粗略估计,采用公式(5)所描述的方法计算:

$$\text{sum\_shift}(n) = \text{sum\_shift}(n-1) + \text{shift\_new}(n) + \text{lack\_overlap\_counter}(n) \quad (5)$$

$1 \leq n \leq M$ , M为该帧数据中OFDM符号的总个数,累加时,对于当前OFDM符号FFT窗偏移量粗略估计,还需加上之前FFT窗口调整所带来的影响,即

lack\_overlap\_counter 中的数值，其中：

shift\_new(n)：根据当前 OFDM 符号的导频信号得到的 FFT 窗偏移量粗略估计；

sum\_shift(n)：FFT 窗偏移量粗略估计的累加值，初值为零；

lack\_overlap\_counter(n)：FFT 窗向前或向后移动的次数，初值为零；

用于将所有接收的一帧内的 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量粗略估计累加平均计算出当前 OFDM 符号 FFT 窗偏移量的精确估计模块，通过对累加值取平均的方法计算得到相邻 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量精确估计之差，采用公式 (6) 所描述的方法计算：

$$\frac{2 \cdot \text{sum\_shift}(n)}{n \cdot (n+1)} \quad (6)$$

$$\text{est\_shift}(n) = \frac{2 \cdot \text{sum\_shift}(n)}{n+1} - \text{lack\_overlap\_counter}(n) \quad (7)$$

用当前 OFDM 符号 FFT 窗偏移量的精确估计校正该 OFDM 符号的模块，采用公式 (7) 所描述的方法计算当前 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量的精确估计：

其中：est\_shift(n)：对当前 OFDM 符号 FFT 窗偏移量的精确估计；

以及用当前符号 FFT 窗偏移量的精确估计来判断下一个 OFDM 符号 FFT 窗是否移位的模块。

6. 根据权利要求 5 的装置，特征在于：所述的用于从接收的单个 OFDM 符号计算出其 FFT 窗偏移量粗略估计的模块，是从所接收的单个 OFDM 符号中提取导频信号，并由此计算出 FFT 窗偏移量粗略估计的模块。

7. 根据权利要求 5 的装置，特征在于：所述的用于将所有接收的一帧内的 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量粗略估计累加平均计算出当前 OFDM 符号 FFT 窗偏移量的精确估计模块，是将一帧内截至当前所接收的 OFDM 符号 FFT 窗偏移量粗略估计累加，其中还包括由于 FFT 窗移动所带来的 FFT 窗向前或向后移动的次数，该模块采用公式 (5) 与 (7) 所描述的方法计算。

8. 根据权利要求 5 的装置，特征在于：用当前 OFDM 符号 FFT 窗偏移量的精确估计校正该 OFDM 符号的模块的作用在于，根据所计算出的 FFT 窗偏移量的精确估计来补偿当前 OFDM 符号通过均衡器后各子载波上的数据，以消除 FFT 窗偏移带来的相位旋转，这样也就消除了采样时钟偏差所带来的误差。

9. 根据权利要求 5 的装置，特征在于：用当前 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量的精确估计，判断下一个 OFDM 符号 FFT 窗是否需要向前或向后移位。

## OFDM 接收机的采样时钟频率偏差补偿方法与装置

### 技术领域

一种应用于正交频分复用 (OFDM) 接收机的采样时钟频率偏差补偿的方法与装置。它属于数字通信技术领域, 涉及正交频分复用 (OFDM) 通信领域中的采样时钟频率偏差补偿的方法及其装置, 特别是一类加入前导信号 (Preamble) 以及加入导频 (Pilots) 的 OFDM 通信系统采样时钟频率偏差补偿方法及其装置。

### 背景技术

正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技术是在信道上高效率发送数据的性能比较优越的技术, 该技术使用了信道带宽内的多个子载波频率发送数据。同时, OFDM 系统还具有对多径延迟扩展和频率选择性衰落的耐受程度、有效的频谱使用和良好的抗干扰等特性。目前在高比特数字用户线 (HDSL), 数字音频广播 (DAB), 数字视频广播 (DVB), 无线局域网 (WLAN), 无线城域网 (WMAN) 等领域获得广泛应用。

通常 OFDM 发送系统采用快速付立叶变换 (FFT) 经子载波发送信息, 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。在一类 OFDM 分组数据传输系统应用中, 特别是无线数据传输场合 (如无线局域网 IEEE 802.11a, HiperLAN2, 无线城域网 IEEE 802.16--OFDM 模式), 在每个 OFDM 帧前加上伪随机序列构成的导引信号 (Preamble), 用于帧头同步, 载波频偏估计, 以及信道估计, 如图 2 所示。

在 Preamble 处理之后, 在均衡器的输出端, 接收机时钟能与发送时钟准确同步, 此时 FFT 窗没有偏移, 但由于本地接收机采样时钟与发送采样时钟存在频率偏差 (一般在 50ppm 之内), 使得接收采样时钟将逐渐偏移发射时钟, 引起 FFT 窗出现偏移。FFT 窗偏移将造成当前 OFDM 符号各个子载波上出现相位旋转, 且旋转量与子载波号成正比。

为了纠正采样频率偏差以及载波频率偏差, 一般在 OFDM 的子信道中加入均匀分布的导频信道 (Pilots), 导频信道传输的内容接收机可预先知道。附图 4 描述了在 IEEE802.11a 系统中由于时钟频率偏差造成 FFT 窗漂移而引起的子载波相位旋转。图 4 中各点横坐标表示子载波信道号, 纵坐标表示相位偏差量。

其中方形点代表导频子信道的相位偏差量。

在解调过程中，需要补偿这类因 FFT 窗偏移造成的相位旋转，如马克西姆·B. 贝洛特瑟科夫斯基，小路易斯·R. 利特文在专利申请 01102895.5 中所示。

此外，当 FFT 窗偏移量到达一定程度时，就需要通过改变同步点的方式来保持同步，即向前或者向后移动一个采样点，也可以看作是向前或者向后移动 FFT 窗口。具体来讲，如果接收采样时钟高于发射时钟，当 FFT 窗的偏移量到达一定程度时，要将 FFT 窗向后移动一个采样点；反之，要将 FFT 窗向前移动一个采样点。见附图 6。也就是：如果当前的 OFDM 符号的 FFT 窗的偏移量超过一个正的门限，则 FFT 窗向前移动一次，FFT 窗的偏移量增加一个特定的量；反之，当前的 OFDM 符号的 FFT 窗的偏移量小于一个负的门限，窗向后移动一次，FFT 窗偏移量减少一个特定的量。

通过对导频子信道相位差的处理可获得 FFT 窗偏移量的估计。大部分的方法都是通过当前 OFDM 符号的导频信号相位差来直接估计 FFT 窗偏移量的，在有噪声的时候，导频信号相位差的波动造成 FFT 窗偏移量估计的不准确，导致整体系统性能的恶化。

如图 5 所示，金东奎，都尚铉，崔炯辰，李命焕在专利 98104218.X 中，根据相位是以  $2\pi$  为模取得的，采用相位差过零点得到 FFT 窗偏移量的估计。但该方式在低信噪比下性能不好，且对各个子载波的相位旋转估计不够精确。

金惠贞，李贤奎在专利申请 00802091.4 中，在其说明书的公式 (10)，(11) 中虽然给出了一种累加求斜率估计偏移量的方法，但该方法需要预先知道偶数个窗偏移量的值，存储量大且计算复杂并且抗噪声性能仍不够好。

### 发明内容：

本发明为了解决在 OFDM 系统中存在采样频率偏差这一技术难题，在 OFDM 装置中采用精确估计 OFDM 符号 FFT 窗偏移量的技术方法，能够在很大程度上降低噪声对偏移量估计的影响，也就可以比较准确地补偿接收机采样时钟频率偏差的影响。

本发明使用一帧内截至当前 OFDM 符号的所有接收到的导频信号来精确估计当前 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量。在某个时刻接收到一个 OFDM 符号时，通过计算该符号的导频信号相位偏差而得到 FFT 窗偏移量，这样的 FFT 窗的偏移量的估计是带有较大噪声的，直接使用它来校正偏差会带来很大的相位扰动，影响接收机整体系统性能，本发明提出的技术解决手段是通过运算功能装置实现

将同一帧中截至当前 OFDM 符号的偏移量累加，再取平均，得到相邻两个 OFDM 符号之间的 FFT 窗的偏移量之差，（由于采样时钟频率偏差是稳定的，所以可以认为相邻两个 OFDM 符号之间的 FFT 窗口的偏移量之差是恒定的），这样通过上述相邻两个 OFDM 符号之间的 FFT 窗偏移量之差及同一帧内所接收的 OFDM 符号数，可以计算出当前 OFDM 符号的 FFT 窗口的偏移量。正如一般的相关技术人员所知，通过累加样本的方法可以降低噪声对估计量的影响，本发明正是利用这样的原理来消除噪声，得到比较准确的 FFT 窗偏移量的估计。

本发明的特征依次包括如下步骤：

1. 通过 OFDM 符号前的导引信号（Preamble）得到信道均衡器系数以及实现接收机时钟初同步，确定 FFT 窗的准确位置。

2. 从当前 OFDM 符号通过 FFT 及均衡后的输出子信道中提取导频信道的导频值，通过与预定导频信号的比较，求各自的相位角度偏差。

3. 根据以下公式得到平均的 FFT 窗偏移量，记为  $shift\_new(n)$ ；

$$Shift\_new(n) = \frac{N}{2\pi \cdot P} \cdot \sum_{i=1}^P \frac{\theta_i - \bar{\theta}}{p_i}$$

其中：

$n$ ：本帧数据第  $n$  个 OFDM 符号；

$shift\_new(n)$ ：利用当前 OFDM 符号的导频信号得到的 FFT 窗偏移量；

$N$ ：OFDM 系统中子载波的个数，即 FFT 的点数；

$P$ ：一个 OFDM 符号内导频信号的个数，

$\theta_i$ ：第  $i$  个导频信号的相位偏差角，

$\bar{\theta}$ ： $P$  个导频信号相位偏差角的平均值， $\bar{\theta} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P \theta_i$

$p_i$ ：第  $i$  个导频信号的信道号

4. 在同一帧中将截至当前 OFDM 符号得到的 FFT 窗偏移量累加，加上由于移动 FFT 窗口所带来的附加偏移量，写成数学式：

$$\text{sum\_shift}(n) = \text{sum\_shift}(n-1) + \text{shift\_new}(n) + \text{lack\_overlap\_counter}(n)$$

其中， $1 \leq n \leq M$ ， $M$  为该帧数据中 OFDM 符号的总个数。

$\text{sum\_shift}(n)$ ：FFT 窗偏移量的累加值，初值为零；

$\text{shift\_new}(n)$ ：当前 OFDM 符号的导频信号得到的 FFT 窗偏移量；

$\text{lack\_overlap\_counter}(n)$ ：FFT 窗向前或向后移动的次数，初值为零；

5. 通过对累加值取平均的方法得到平均的相邻两个 OFDM 符号的 FFT 窗偏移量之差的计算方法是：

$$\frac{2 \cdot \text{sum\_shift}(n)}{n \cdot (n+1)}$$

6. 计算当前 OFDM 符号的 FFT 窗口的偏移量的精确估计，公式如下：

$$\text{est\_shift}(n) = \frac{2 \cdot \text{sum\_shift}(n)}{n+1} - \text{lack\_overlap\_counter}(n)$$

7. 根据步骤 6 得到的 FFT 窗偏移量判定下一个 OFDM 符号的 FFT 窗是否移动，并且对一帧内 FFT 窗移动次数计数。判定的条件是：当前的 OFDM 符号的 FFT 窗的偏移量精确估计超过一个正的门限，则窗口向前移动一次，计数器 lack\_overlap\_counter 加 1；反之，当前的 OFDM 符号的 FFT 窗的偏移量小于一个负的门限，窗向后移动一次，计数器 lack\_overlap\_counter 减 1。

8. 根据步骤 6 得到的 FFT 窗偏移量计算各个子信道相角补偿量，来补偿各个子信道上的相位旋转。计算公式如下：

$$\theta_k = -\frac{2\pi \cdot \text{est\_shift}(n) \cdot k}{N} - \bar{\theta}$$

其中 k 代表子信道号， $\bar{\theta}$  代表当前 OFDM 符号导频相位偏差角的平均值。

## 附图说明

图 1 是本发明的主要结构示意图。

图 2 是一类 OFDM 发送帧格式图，主要由引导信号（Preamble）与 OFDM 符号两部分构成。

图 3 是 OFDM 的符号的解调方法示意图，从每个 OFDM 符号中去除循环前缀，然后送入 FFT 模块。

图 4 描述了在 IEEE802.11a 系统中由于时钟频率偏差造成的子载波相位旋转。

图 5 是一个参考专利的结构示意图。

图 6 是 FFT 窗位置移动示意图。

图 7 是各个 OFDM 符号的 FFT 窗偏差粗估计值序列图，即 shift\_new 序列图。

图 8 是各个 OFDM 符号的 FFT 窗偏差精确估计的序列图，即 est\_shift 序列图。



图 9 是图 1 中导频提取与 FFT 窗粗估计模块 (6) 的具体实施框图。

图 10 是图 1 中模块 (7) FFT 窗偏移累积与精估计模块具体实施框图

图 11 是图 1 中模块 (10) FFT 窗口调整判断具体实施流程图。

### 具体实施方式

基于本发明的实施实例, 应用 IEEE 802.11a 协议的无线局域网中的接收机时钟频率偏差补偿, 参照附图, 给出具体实施步骤:

1. 接收机收到导引信号 (Preamble) 后作载波频率同步, 时钟同步以及信道估计工作, 并将信道估计系数传给均衡器, 并触发 FFT 窗口控制器工作。
2. 接收机每次接收的 OFDM 符号通过 FFT 窗口控制器截取其中的数据部分通过 FFT 模块以及均衡器模块。
3. 附图 9 所示为图 1 中模块 (6) 导频提取与 FFT 窗粗估计的具体实施框图。在均衡后输出各子信道中取得第 -21、-7、7 和 21 信道的导频值, 通过 arc tan 单元 (40) 求得四个导频信号相位角, 再通过相角差计算单元 (42), 减去预知的导频值相位角 (0 或者  $\pi$ ), 得到四个导频的相位偏差角。
4. 通过相角差减去平均值计算单元 (44) 后, 再通过除子信道号计算单元 (46), 得到分别计算的相角差直线斜率, 再通过求平均计算单元 (48) 得到当前 OFDM 符号的相角差直线斜率, 即 FFT 窗偏移的粗估计。
5. 附图 10 是图 1 中模块 (7) FFT 窗偏移累积与精估计模块具体实施框图。通过 FFT 窗偏移量累加单元 (50), 将在同一帧中截至当前 OFDM 符号得到的 FFT 窗偏移量累加, 再通过附加 FFT 窗偏移量单元 (52), 加上由于移动 FFT 窗所带来的附加窗偏移量, 具体实现依据如下公式:

$$\text{sum\_shift}(n) = \text{sum\_shift}(n-1) + \text{shift\_new}(n) + \text{lack\_overlap\_counter}(n)$$

其中, n 代表从 Signal 开始的第 n 个 OFDM 符号;

sum\_shift (n) 是 FFT 窗偏移量的累加值, 初值为零;

shift\_new(n) 是当前 OFDM 符号的导频信号得到的 FFT 窗偏移量;

lack\_overlap\_counter(n) 是截至当前 OFDM 符号 FFT 窗向前或向后移动的次数, 初始值为零。

6. 接着通过累积量除法单元 (54), 以及减附加 FFT 窗偏移量单元 (56), 得到当前 OFDM 符号的 FFT 窗的偏移量的精确估计。该步骤计算公式如下:

$$\text{est\_shift}(n) = \frac{2 \cdot \text{sum\_shift}(n)}{n+1} - \text{lack\_overlap\_counter}(n)$$

其中：

$est\_shift(n)$  表示对当前 OFDM 符号 FFT 窗偏移量的精确估计，

$sum\_shift(n)$  是 FFT 窗口偏移量的累加值，初值为零；

$n$  代表从 Signal 开始的第  $n$  个 OFDM 符号；

$lack\_overlap\_counter(n)$  是 FFT 窗向前或向后移动的次数，初值为零。

7. 附图 11 是图 1 中模块 (10) 的具体实施流程图。判断当前的 OFDM 符号的 FFT 窗的偏移量精确估计值  $est\_shift(n)$  是否超过一个正的门限 (取为 0.6) (60)，则计数器  $lack\_overlap\_counter$  加 1 (62)；接着判断  $est\_shift(n)$  是否小于一个负的门限 -0.6 (64)，如果成立，计数器  $lack\_overlap\_counter$  减 1 (66)。接着根据  $lack\_overlap\_counter$  的值变化来调整 FFT 窗位置 (68)。
8. 根据精确估计的 FFT 窗偏移量来调整当前符号各子信道的相位，模块由一个乘法单元和加法单元构成，依据公式如下：

$$\theta_k = -\frac{\pi \cdot est\_shift(n) \cdot k}{32} - \bar{\theta}, \quad -26 \leq k \leq -1, 1 \leq k \leq 26$$

其中  $k$  代表子信道号， $\bar{\theta}$  来自附图 9 中单元 (44) 算得四个导频相位偏差角的平均值。

这里描述的模块以及单元既可以采用硬件实现，也可以采用软件实现，或软硬件的组合方式来实现。本发明技术方法并不局限于上述实施例，本领域内普通技术人员应理解的是可在本发明范围内做各种形式和细节上的改变。即本发明可用于符合 IEEE 802.11a 标准、HiperLAN2 标准、IEEE 802.16 标准的系统以及其他采用 OFDM 的系统；本发明的最大优点在于根据“通过累加样本求平均的方法可以减少噪声对待估计量的影响”的原理，创造性的引入了“将同一帧中截至当前 OFDM 符号的偏移量累加，再取平均，得到相邻两个 OFDM 符号间的 FFT 窗的偏移量之差”这一技术过程，用以实现更加精确的当前 OFDM 符号 FFT 窗的偏移量估计。从该技术的实现效果看，无论是测算精确性还是系统抗干扰能力相对一般的“接收机的采样时钟频率偏差补偿”方法都有了很大提高。

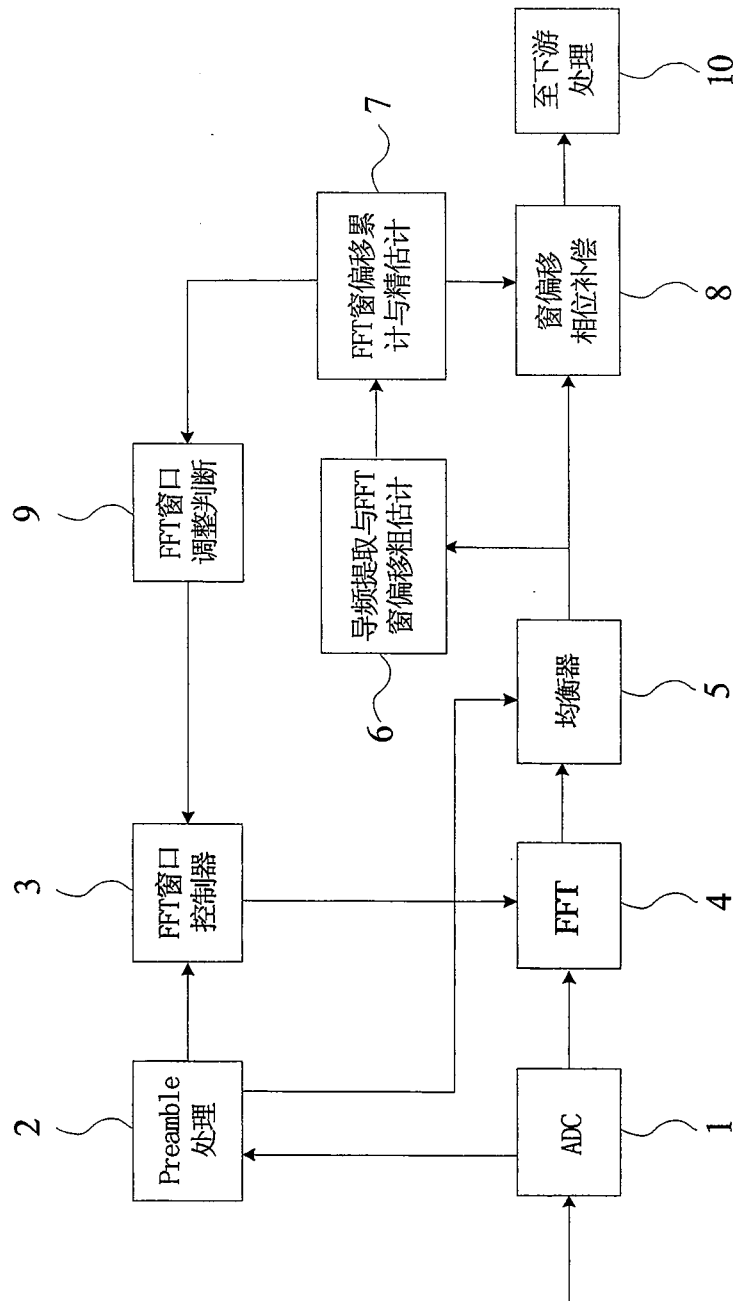


图1

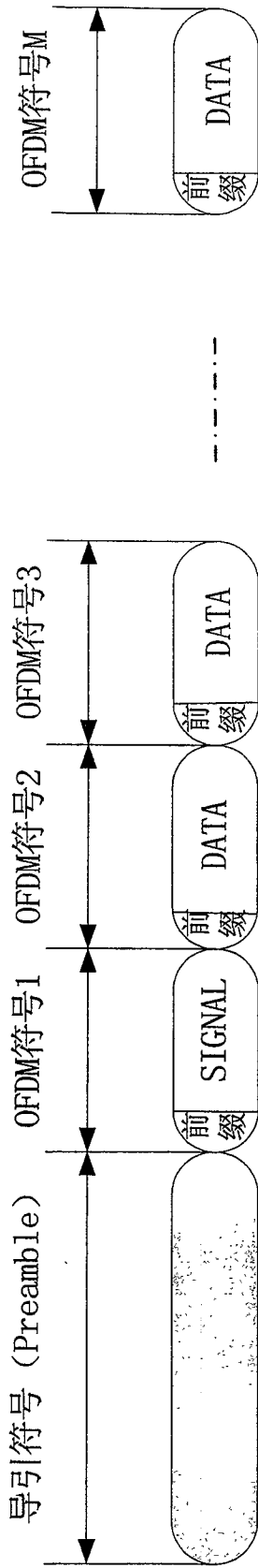


图 2

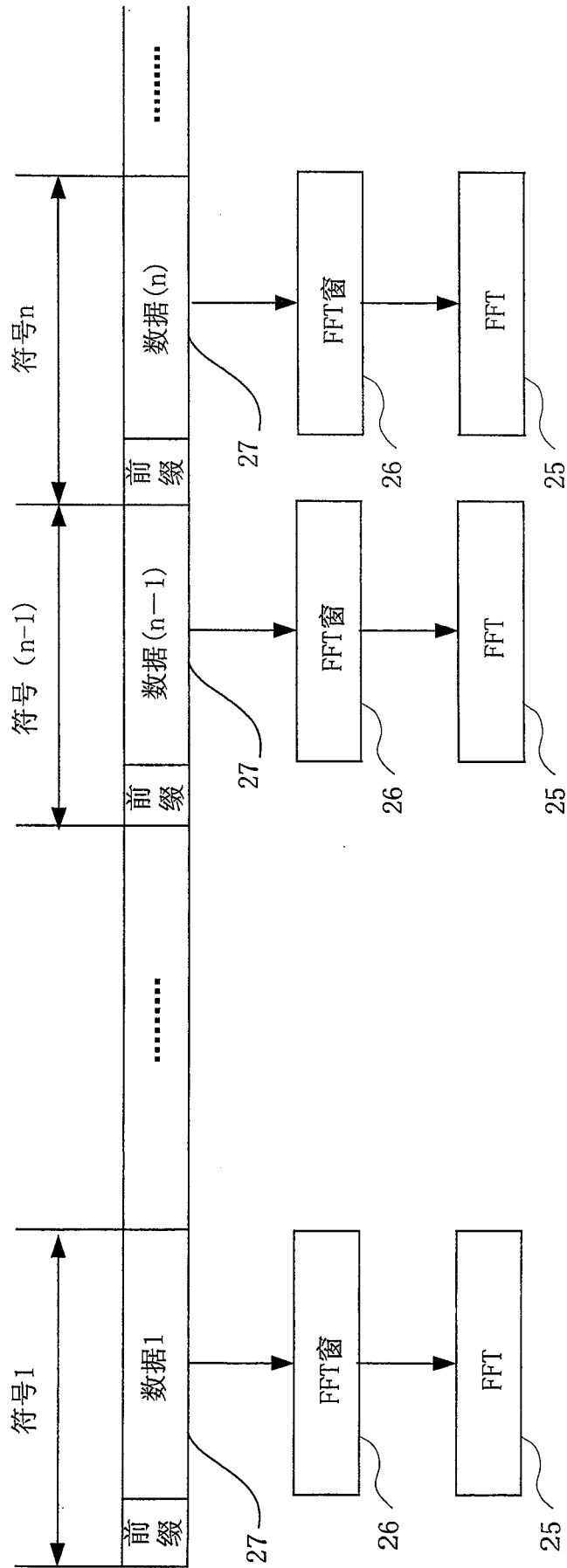


图 3

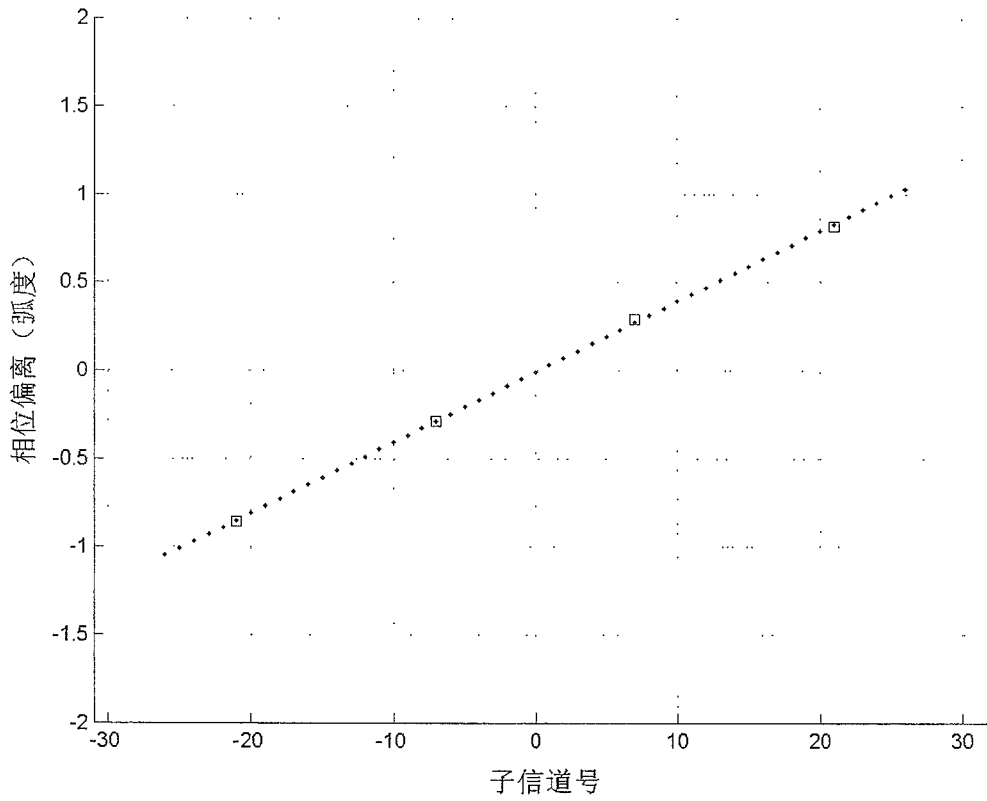


图 4

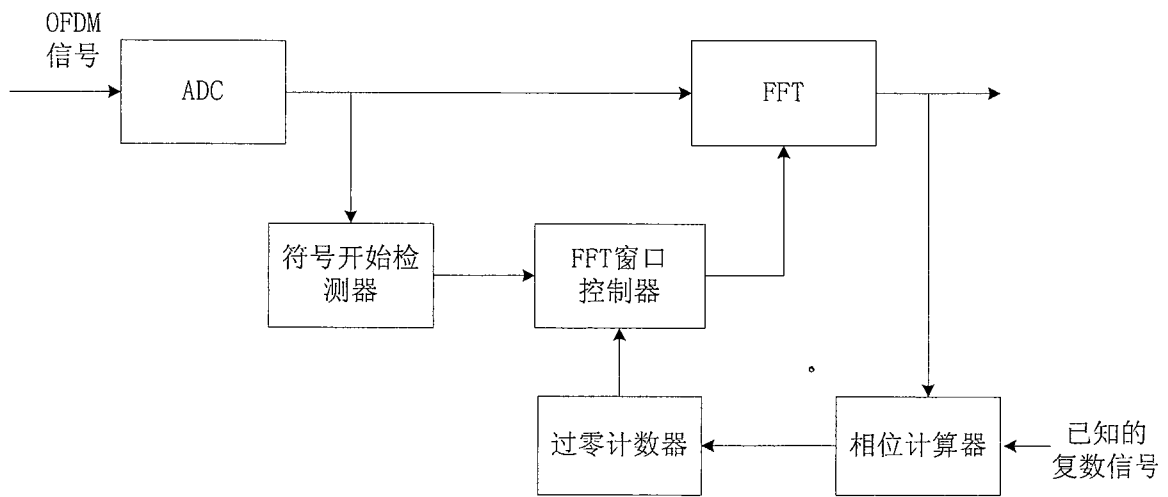


图 5

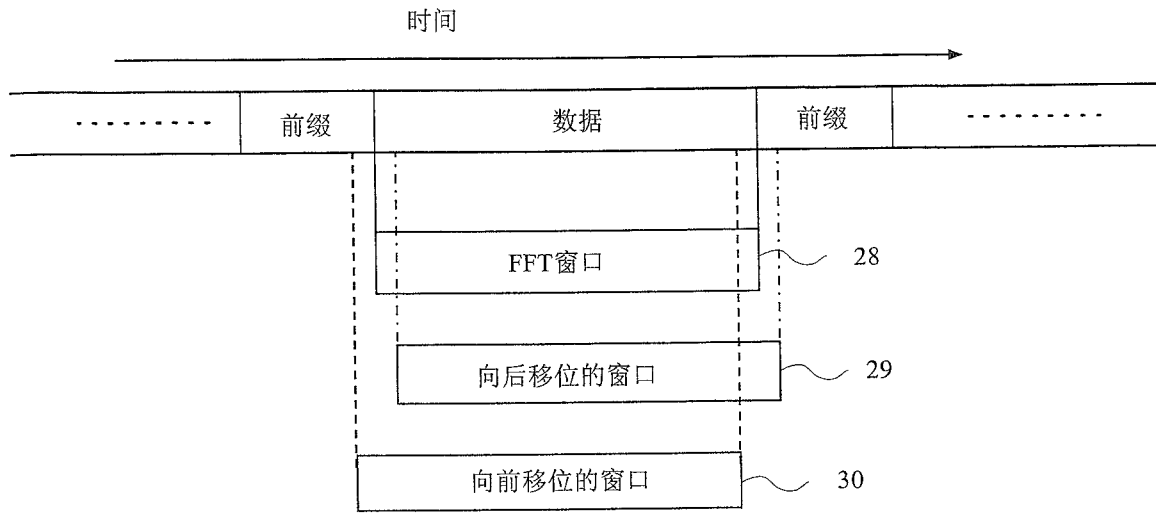


图 6

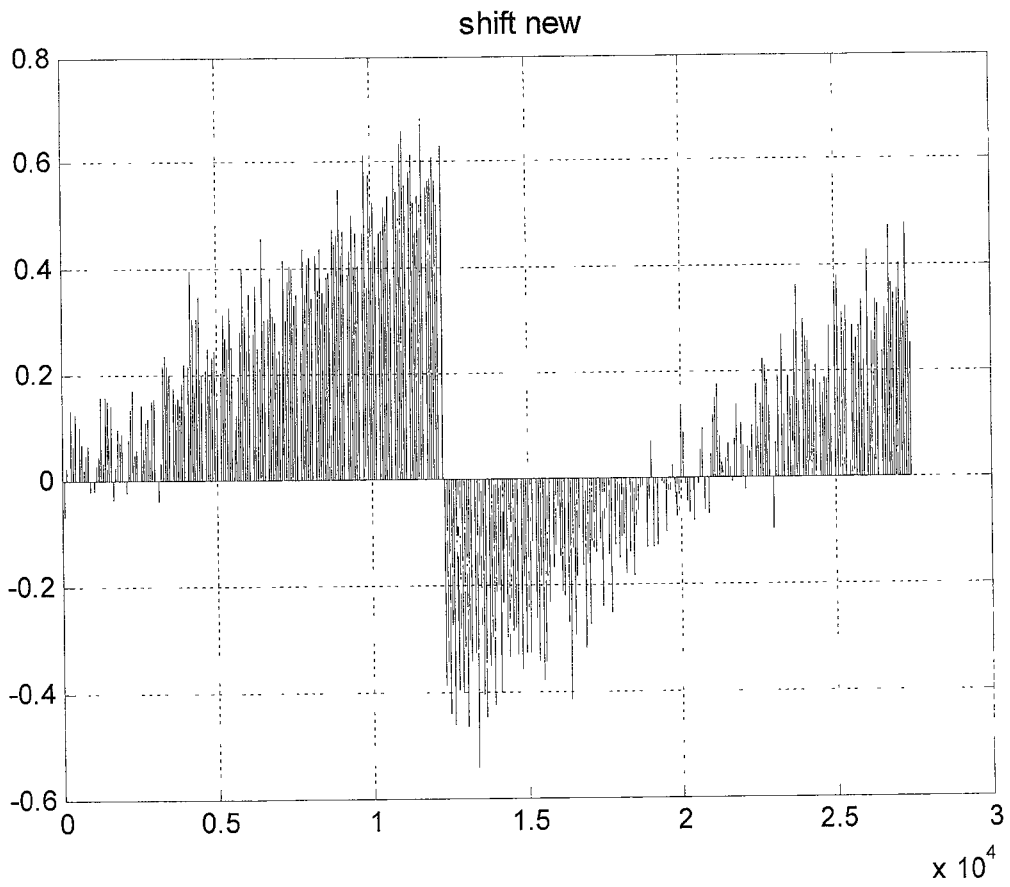


图 7

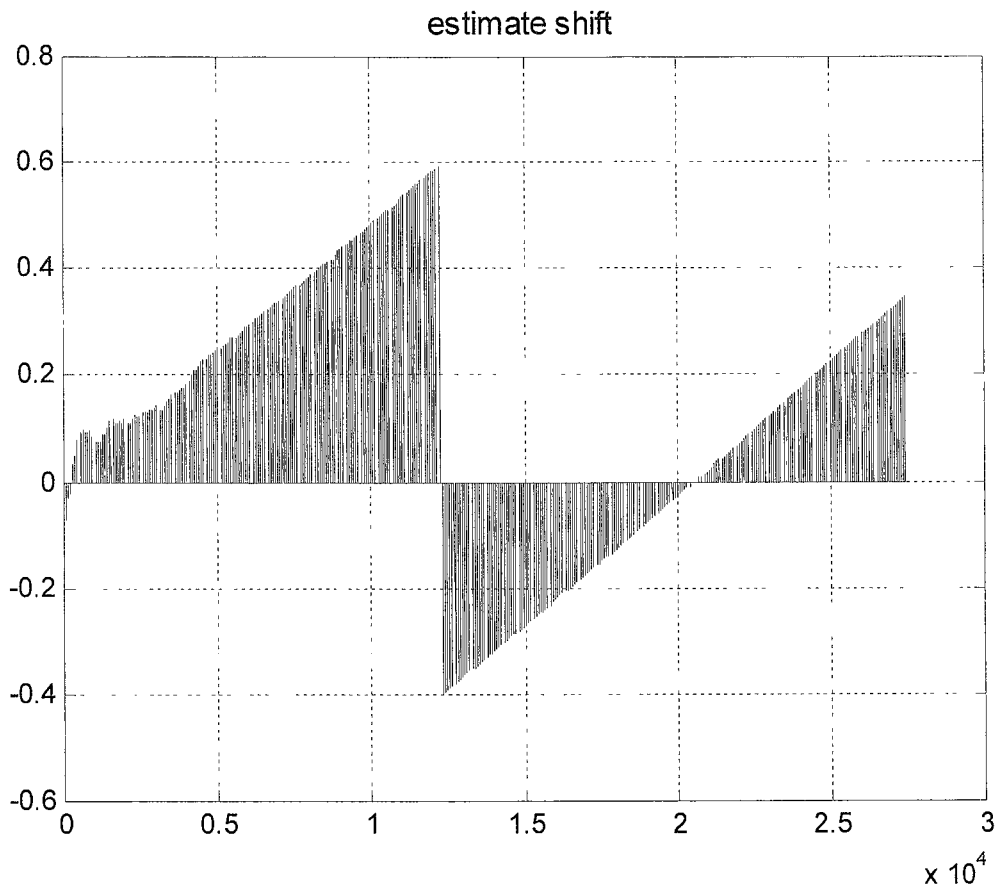


图 8

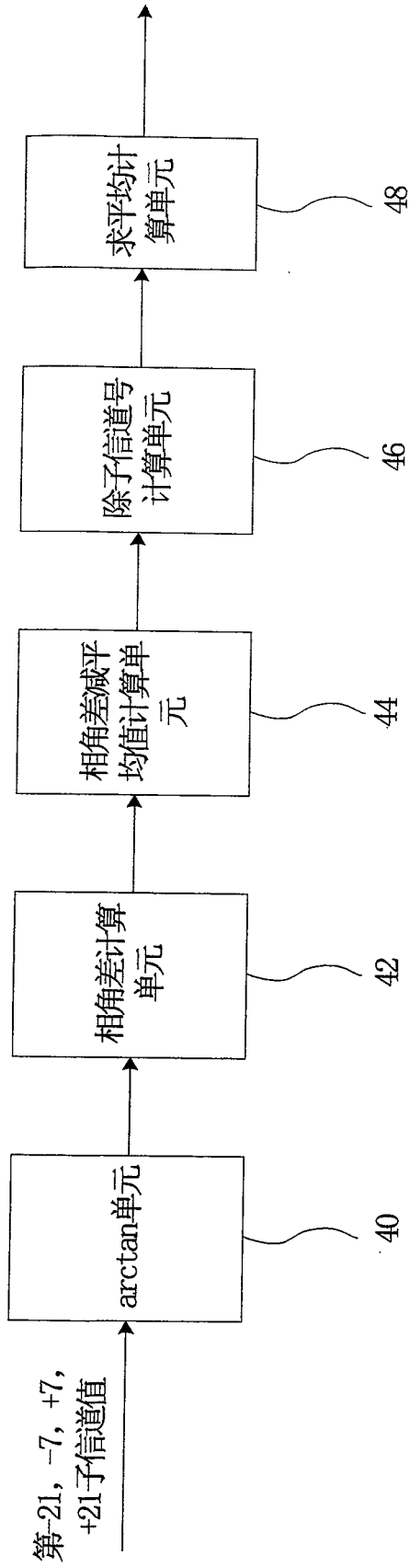


图 9

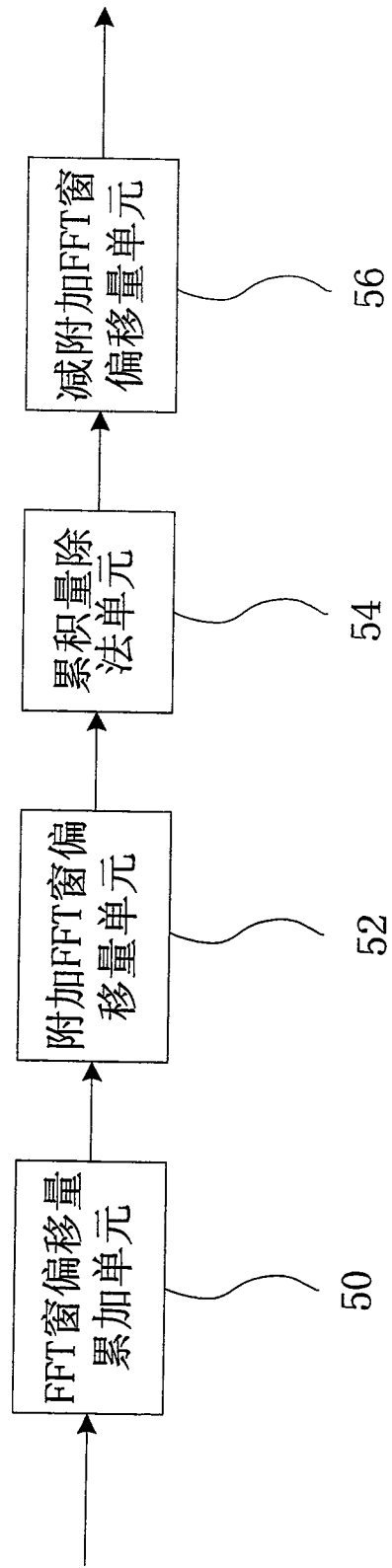


图 10



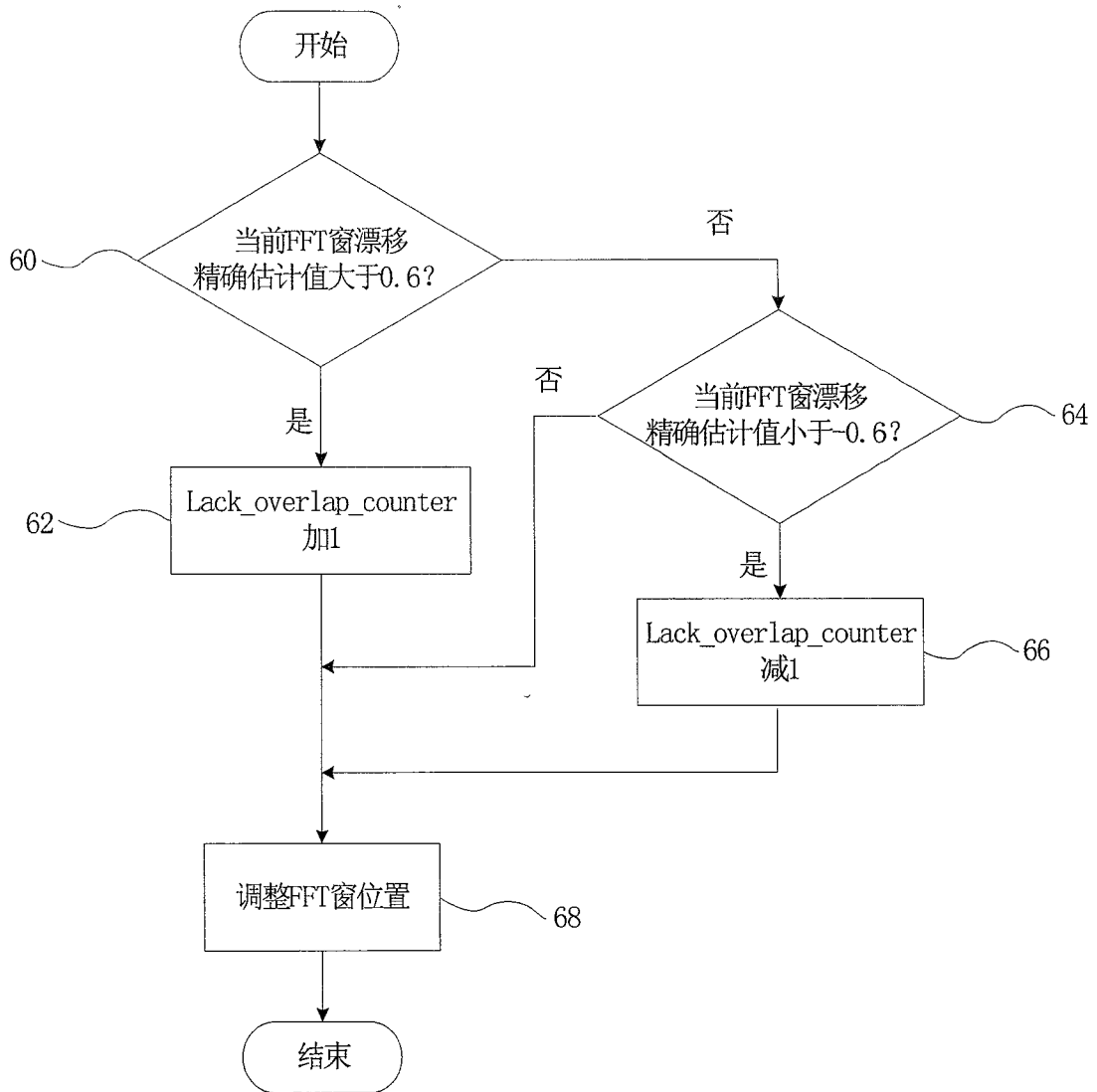


图 11