



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102055471 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 20

(21) 申请号 201010208283. 0

1、10、11.

(22) 申请日 2010. 06. 18

EP 2031791 A1, 2009. 03. 04, 摘要, 图 3-5.

CN 1347252 A, 2002. 05. 01, 全文.

(30) 优先权数据

12/609, 031 2009. 10. 30 US

审查员 李艳丽

(73) 专利权人 LSI 公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 刘靖峰 宋宏伟

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限  
责任公司 11287

代理人 王田

(51) Int. Cl.

H03L 7/085(2006. 01)

(56) 对比文件

DE 4308000 A1, 1994. 09. 15, 说明书第 2 页  
第 36 行、第 41- 第 3 页第 17 行, 图 1、2.

US 2002/0067779 A1, 2002. 06. 06, 说明书第  
2-6 段、第 20-23 段, 图 1、3、4.

US 2004/0076245 A1, 2004. 04. 22, 摘要, 图

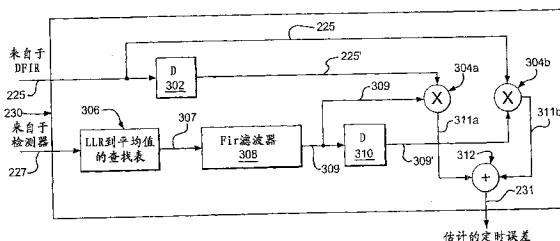
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

用于定时恢复环路的相位检测器

(57) 摘要

本发明涉及用于定时恢复环路的相位检测器。在一个实施例中, (硬盘驱动器) 读通道具有在定时恢复环路中使用的相位检测器。相位检测器利用来自于接收的对数似然比 (LLR) 信号的符号位和置信度值来生成平均值。将该平均值与部分响应目标进行卷积以便生成估计的定时误差信号。当在硬盘驱动器读通道中实现时, 该相位检测器使得能够在较低失锁率的情况下进行定时恢复。



1. 一种信号处理器 (200), 包括:

信号处理路径, 将模拟输入信号 (221) 转换成数字输出信号 (229), 其中该信号处理路径生成多位软值 (227), 每个多位软值具有符号位和多位置信度值; 以及

定时恢复环路, 使用该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成采样时钟信号 (237), 该采样时钟信号由该信号处理路径用来对该模拟输入信号进行采样, 其中该定时恢复环路包括相位检测器 (230), 该相位检测器基于该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成估计的定时误差信号 (231), 其中该估计的定时误差信号用于调节本地振荡器时钟信号 (235) 以便生成该采样时钟信号,

其中该相位检测器包括:

平均值生成模块 (306), 基于该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成平均值 (307);

滤波器 (308), 对该平均值进行滤波以便生成滤波后的值 (309);

第一延迟模块 (302), 使来自于该信号处理路径的均衡的值 (225) 延迟, 以便生成延迟的均衡的值 (225');

第二延迟模块 (310), 使该滤波后的值延迟以便生成延迟的滤波后的值 (309');

第一乘法器 (304a), 将该延迟的均衡的值和该滤波后的值相乘以便生成第一乘积值 (311a);

第二乘法器 (304b), 将该均衡的值和该延迟的滤波后的值相乘以便生成第二乘积值 (311b); 以及

差节点 (312), 基于该第一乘积值与该第二乘积值之间的差来生成该估计的定时误差信号。

2. 如权利要求 1 所述的信号处理器, 其中该信号处理路径包括:

模数转换器 (222), 基于该采样时钟信号来对该模拟输入信号进行采样以便生成数字输入信号 (223);

均衡器 (224), 使该数字输入信号均衡以便生成均衡的信号 (225);

软检测器 (226), 根据该均衡的信号生成该软值; 以及

解码器 (228), 对该软值进行解码以便生成该数字输出信号。

3. 如权利要求 1 所述的信号处理器, 其中该定时恢复环路还包括:

环路滤波器 (232), 对该估计的定时误差信号进行滤波以便生成平均误差信号 (233); 以及

内插器 (236), 基于该平均误差信号来调节该本地振荡器时钟信号的相位以便生成该采样时钟信号。

4. 如权利要求 1 所述的信号处理器, 其中该平均值生成模块 (306) 实施查找表, 所述查找表将该软值转换为相应的平均值。

5. 如权利要求 4 所述的信号处理器, 其中, 对于每个软值:

该相应的平均值的符号基于该软值的符号位; 以及

该相应的平均值的幅值基于该多位置信度值的一位或更多位的幅值。

6. 如权利要求 5 所述的信号处理器, 其中该多位置信度值包括四位。

7. 一种用于信号处理的方法, 包括:

(a) 将模拟输入信号 (221) 转换成多位软值, 每个多位软值具有符号位和多位置信度值; 以及

(b) 使用该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成用于对该模拟输入信号进行采样的采样时钟信号 (237), 其中:

步骤 (b) 包括基于该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成估计的定时误差信号, 其中该估计的定时误差信号用于调节本地振荡器时钟信号以便生成该采样时钟信号; 并且

生成该估计的定时误差信号包括:

- (b1) 基于该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成平均值;
- (b2) 对该平均值进行滤波以便生成滤波后的值;
- (b3) 从所述模拟输入信号生成均衡的值;
- (b4) 使来自于信号处理路径的所述均衡的值延迟, 以便生成延迟的均衡的值;
- (b5) 使该滤波后的值延迟以便生成延迟的滤波后的值;
- (b6) 将该延迟的均衡的值和该滤波后的值相乘以便生成第一乘积值;
- (b7) 将该均衡的值和该延迟的滤波后的值相乘以便生成第二乘积值; 以及
- (b8) 基于该第一乘积值与该第二乘积值之间的差来生成该估计的定时误差信号。

8. 一种用于信号处理的装置, 包括:

(a) 用于将模拟输入信号 (221) 转换成多位软值的装置, 每个多位软值具有符号位和多位置信度值; 以及

(b) 用于使用该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成用于对该模拟输入信号进行采样的采样时钟信号 (237) 的装置, 其中:

装置 (b) 包括用于基于该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位生成估计的定时误差信号的装置, 其中该估计的定时误差信号用于调节本地振荡器时钟信号以便生成该采样时钟信号; 并且

该用于生成估计的定时误差信号的装置包括:

- 用于基于该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位生成平均值的装置;
- 用于对该平均值进行滤波以便生成滤波后的值的装置;
- 用于从所述模拟输入信号生成均衡的值的装置;
- 用于使来自于信号处理路径的所述均衡的值延迟以便生成延迟的均衡的值的装置;
- 用于使该滤波后的值延迟以便生成延迟的滤波后的值的装置;
- 用于将该延迟的均衡的值和该滤波后的值相乘以便生成第一乘积值的装置;
- 用于将该均衡的值和该延迟的滤波后的值相乘以便生成第二乘积值的装置; 以及
- 用于基于该第一乘积值与该第二乘积值之间的差来生成该估计的定时误差信号的装置。

## 用于定时恢复环路的相位检测器

### 技术领域

[0001] 本申请的主题涉及信号处理,更具体地涉及定时恢复环路中的相位检测。

### 背景技术

[0002] 图 1 是用于硬盘驱动器的现有技术的读通道 100 的框图。读通道 100 接收与存储在硬盘驱动器上的数据对应的模拟输入信号 121,并且生成数字的解码的输出信号 129,该输出信号 129 表示存储在硬盘驱动器上的数据。

[0003] 具体地,模数转换器 (ADC) 122 将模拟输入信号 121 数字化以便生成数字输入信号 123。数字有限脉冲响应 (DFIR) 滤波器均衡器 124 使数字输入信号 123 均衡以便生成均衡的数字信号 125。软检测器 126 将均衡的数字信号 125 转换成软值,诸如多位对数似然比 (LLR) 值 127,其中每个 LLR 值具有硬判决符号位和多位(例如,4 位)置信度 (confidence) 值。软检测器 126 执行适当的检测技术(诸如维特比 (Viterbi) 软输出检测或最大后验 (MAP) 检测)以便生成 LLR 值 127。解码器 128 对 LLR 值进行解码以便生成解码的输出信号 129。例如,如果使用低密度奇偶校验 (LDPC) 码来对存储在硬盘驱动器上的数据进行编码,则解码器 128 执行 LDPC 解码以便根据 LLR 值 127 生成解码的输出信号 129。

[0004] 相位检测器 130 处理来自于均衡器 124 的均衡的数字信号 125 和来自于软检测器 126 的 LLR 值 127 的符号位,以便生成估计的定时误差信号 131。在一种传统的实施方式中,相位检测器 130 通过 (i) 将符号位与有限脉冲响应 (FIR) 滤波器进行卷积、(ii) 生成 FIR 滤波器输出与均衡的数字信号 125 的延迟一个周期的版本之间的差、以及 (iii) 将该差与均衡的数字信号 125 的斜率的估计值相乘,来生成估计的定时误差信号 131。环路滤波器 132 对估计的定时误差信号 131 进行积分以便输出平均误差信号 133。时基发生器(例如,本地振荡器 (LO)) 134 生成 LO 时钟信号 135。内插器 136 基于平均误差信号 133 来移动 LO 时钟信号 135 的相位以便生成采样时钟信号 137,该采样时钟信号 137 确定 ADC 122 对模拟输入信号 121 的采样的定时。

[0005] 在硬盘驱动器读通道技术中,由于磁盘存储密度增大,因此信噪比 (SNR) 持续减小。传统的根据均衡的样本(诸如均衡的数字信号 125)和硬判决(诸如 LLR 值 127 的符号位)来估计定时信息的定时恢复相位检测器在低 SNR 环境下可能不能正确地工作,从而导致不可接受地高的失锁率 (loss-of-lock rate, LOLR),从而降低了系统吞吐量。

### 发明内容

[0006] 在图 1 的读通道 100 中,相位检测器 130 仅仅使用 LLR 值 127 的符号位。结果,相位检测器 130 可能输出导致相对较高的失锁率和相对较低的系统吞吐量的定时误差信号。

[0007] 与现有技术中非归零 (NRZ) 的相对较大的或“硬的”改变相反,本申请的主题通过提供用于 NRZ 上的逐渐的或“软的”改变的并且用于调节本申请主题的 ADC 的采样时钟信号的机制来解决现有技术的问题。这是因为本申请的相位检测器在产生估计的定时误差信号时利用符号位以及一个或更多个和可能所有的剩余置信度值位。置信度值使得相位检测

器能够在产生估计的定时误差信号时以不同方式处理不同的符号位,其中该置信度值提供接收的符号位的可靠性信息。例如,符号位的低置信度值可以使得相位检测器减小符号位的影响,而高置信度值可以引起估计的定时误差信号上的更大的改变。

[0008] 作为本申请的主题的结果,可以比现有技术的相位检测器更准确和更可靠地检测相位改变。在现有技术的采样时钟信号上的可能较大的和突然的相位改变被本申请的系统的更平稳且更缓和的“软的”相位改变所代替。这使得在 ADC 中能够对采样时钟信号进行逐步的或“软的”调节。另外,本申请的相位检测器动态地且“实时地 (on the fly)”执行它的操作而不必停止并重新调节内插器。

[0009] 在一个实施例中,本发明是信号处理器。该信号处理器包括:信号处理路径,将模拟输入信号转换成数字输出信号,其中该信号处理路径生成多位软值,每个多位软值具有符号位和多位置信度值;以及,定时恢复环路,使用该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成采样时钟信号,该采样时钟信号由该信号处理路径用来对该模拟输入信号进行采样。

[0010] 在另一个实施例中,本发明是用于信号处理的方法。该方法包括:将模拟输入信号转换成多位软值,每个多位软值具有符号位和多位置信度值;以及,使用该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成对该模拟输入信号进行采样的采样时钟信号。

[0011] 在另一个实施例中,本发明是用于信号处理的装置。该装置包括:用于将模拟输入信号转换成多位软值的装置,每个多位软值具有符号位和多位置信度值;以及,用于使用该软值的多位置信度值的一位或更多位和符号位来生成用于对该模拟输入信号进行采样的采样时钟信号的装置。

## 附图说明

[0012] 现在描述附图,其中相似的或相应的附图标记指示相似的或相应的组件。在附图中:

[0013] 图 1 是用于硬盘驱动器的现有技术的读通道的框图;

[0014] 图 2 是用于本申请的主题的硬盘驱动器的读通道的框图;

[0015] 图 3 是图 2 的读通道的相位检测器的框图;

[0016] 图 4 是用于图 3 的相位检测器的示例性操作的查找表 (LUT);以及

[0017] 图 5 是图 2 的本申请的读通道与图 1 的现有技术的读通道相比较的性能的图示。

## 具体实施方式

[0018] 图 2 是用于使用本申请主题的“软”相位检测器 230 的硬盘驱动器的读通道 200 的框图。与图 1 的读通道 100 类似,读通道 200 接收与存储在硬盘驱动器上的数据对应的模拟输入信号 221,并且生成数字的解码的输出信号 229,该输出信号 229 表示存储在硬盘驱动器上的数据。图 2 的元件 222-236 和信号 221-237 分别与图 1 的元件 122-136 和信号 121-137 类似。除相位检测器 230 之外,图 2 的每个元件以与图 1 的对应元件类似的方式工作。

[0019] 与图 1 的基于来自于均衡器 124 的均衡的数字信号 125 和仅有来自于软检测器 126 的 LLR 值 127 的符号位来生成估计的定时误差信号 131 的相位检测器 130 不同,图 2 的

相位检测器 230 基于来自于均衡器 224 的均衡的数字信号 225 和来自于软检测器 226 的整个 LLR 值 227 来生成估计的定时误差信号 231。通过使用 LLR 值 227 的所有位（即，符号位和多位置信度值，也称为 NRZ 的软信息），相位检测器 230 能够基于多位置信度值的幅值来使 LLR 值 227 对结果得到的估计的定时误差信号 231 的影响加权。多位置信度值越大，符号位的值具有越大的置信度，并且对估计的定时误差信号的影响越大。

[0020] 相位检测器 230 使用置信度值来确定符号位的可靠性，并生成估计的定时误差信号，该估计的定时误差信号与仅仅使用输入 LLR 值的符号位时相比更精确。与图 1 的相位检测器 130 的“全有或全无 (all or nothing)”的操作相反，相位检测器 230 被称为“软”相位检测器。在读通道 200 的其它实施方式中，具有除了五之外的其它数目的位的 LLR 值是可能的。

[0021] 图 3 示出了图 2 的相位检测器 230 的框图。相位检测器 230 从均衡器 224 接收均衡的数字信号 225 并从软检测器 226 接收 LLR 值 227，例如具有一个符号位和四位置信度值的五位 LLR 值，该四位置信度值指示符号位的可靠性。

[0022] 每个均衡的数字值 225 在延迟装置 302 中受到一个时钟周期的延迟，结果得到的延迟的信号 225' 由乘法器 304a 接收。均衡的信号 225 还被直接（即，没有延迟地）发送给乘法器 304b。

[0023] LLR 值 227 中的每一个被输入到模块 306 中，模块 306 实现将每个输入的 LLR 值 227 映射到相应的当前平均值 307 的查找表 (LUT)。图 4 示出了将每个输入的 LLR 值映射到当前平均值的示例性 LUT。前述映射可以可替换地使用将不同的 LLR 值转换成相应的当前平均值的连续函数（诸如分段线性函数）来执行。

[0024] 模块 306 将平均值 307 发送到有限脉冲响应 (FIR) 滤波器 308，该 FIR 滤波器 308 将平均值与部分响应 (PR) 目标 (target) 进行卷积以便生成滤波后的信号 309。PR 目标为 FIR 滤波器 308 提供抽头系数以用于均衡。例如，FIR 滤波器 308 可以是两抽头 8/14FIR 滤波器，表示为：

[0025]  $X = 14 \cdot Y_{mc} + 8 \cdot Y_{mp}$ ,

[0026] 其中：

[0027] X 是 FIR 滤波器 308 输出的滤波后的信号 309 的当前值，

[0028]  $Y_{mc}$  是模块 306 输出的平均信号 307 的当前值，以及

[0029]  $Y_{mp}$  是平均信号 307 的前一值（即，来自于前一时钟周期的值）。

[0030] 在可替换的实施方式中，可以使用具有其它抽头系数、值和 / 或其它数目的抽头的 PR 目标。

[0031] 每个滤波后的值 309 在延迟装置 310 中受到一个时钟周期的延迟，结果得到的延迟的信号 309' 由乘法器 304b 接收。滤波后的信号 309 还被直接（即，没有延迟地）发送给乘法器 304a。

[0032] 乘法器 304a 将延迟的均衡的信号 225' 与未延迟的滤波后的信号 309 相乘以便生成乘积信号 311a，而乘法器 304b 将未延迟的均衡的信号 225 与延迟的滤波后的信号 309' 相乘以便生成乘积信号 311b。差节点 (difference node) 312 基于乘积信号 311a 与 311b 之间的差来生成估计的定时误差信号 231。

[0033] 图 5 是图 2 的读通道 200 与图 1 的现有技术的读通道 100 相比较的性能的图示。

具体地,图5示出了每个读通道的作为信噪比(SNR)的函数的失锁率(LOLR),其中现有技术的读通道100的结果用正方形表示,读通道200的结果用圆圈表示。对于给定的SNR值,与现有技术的读通道100相比,读通道200在LOLR上提供了大约一个数量级的改善。

[0034] 尽管本申请的主题是在基于LLR值来生成估计的定时误差的相位检测器的背景下讨论的,但是本申请的主题可以使用除了LLR值之外的其它值来实现。

[0035] 尽管本申请的主题是在用于在硬盘驱动器读通道内的定时恢复的相位检测器的背景下讨论的,但是本申请的主题可以被实现来用作其它应用。

[0036] 本发明可以被实现为基于电路(模拟、数字、或者模拟和数字两者的混合电路)的过程,包括可以实现为单个集成电路(诸如ASIC或FPGA)、多芯片模块、单个卡或多卡电路板(circuit pack)。如本领域技术人员应明白的,电路元件的各种功能也可以被实现为软件程序中的处理块。这样的软件可以被用在例如数字信号处理器、微控制器或通用计算机中。

[0037] 包括其若干部分的上述过程可以由软件、硬件以及软件和硬件的组合来执行。这些过程及其若干部分可以由计算机、计算机型设备、工作站、处理器、微处理器、其它电子搜索工具和存储器、以及与其关联的其它存储型设备来执行。这些过程及其若干部分还可以被具体实现在可由机器等读取的可编程存储设备(例如,压缩盘(CD)或包括磁盘、光盘等的其它盘)、或者包括磁存储器、光存储器或半导体存储器的其它计算机可用存储介质、或者其它电子信号源中。

[0038] 权利要求中的附图数字和/或附图参考标记的使用是用来标识所要求保护的主题的一个或更多个可能的实施例,以便帮助解释权利要求。这样的使用不应当被理解为必须将那些权利要求的范围局限于相应的图中所示的实施例。

[0039] 在本申请中提到的“一个实施例”或“一实施例”的意思是关于该实施例而描述的具体特征、结构或特性可以被包括在本发明的至少一个实施例中。在说明书中各个地方出现的短语“在一个实施例中”不一定都指的是同一个实施例,也不一定是必须与其它实施例互斥的单独的或可替换的实施例。上述情况也适用于术语“实施方式”。

[0040] 在本申请中已经示例性地参考特定硬件和软件来描述了过程(方法)和系统(包括其组件)。这些过程(方法)是作为示例性实施例而描述的,由此本领域技术人员在无需过度实验的情况下就可以省略和/或改变特定的步骤和它们的次序,以便使这些实施例得以实践。已经以足以使得本领域技术人员能够在无需过度实验并且使用传统技术的情况下容易根据需要改编其它硬件和软件来使任意实施例得以实践的方式描述了这些过程(方法)和系统。

[0041] 尽管已经描述了本申请的主题的优选实施例从而使得本领域技术人员能够实践本申请的主题,但是前面的描述仅仅意图是示例性的。它不应当用来限制本申请的主题的范围,本申请的主题的范围应当通过参考以下权利要求来确定。

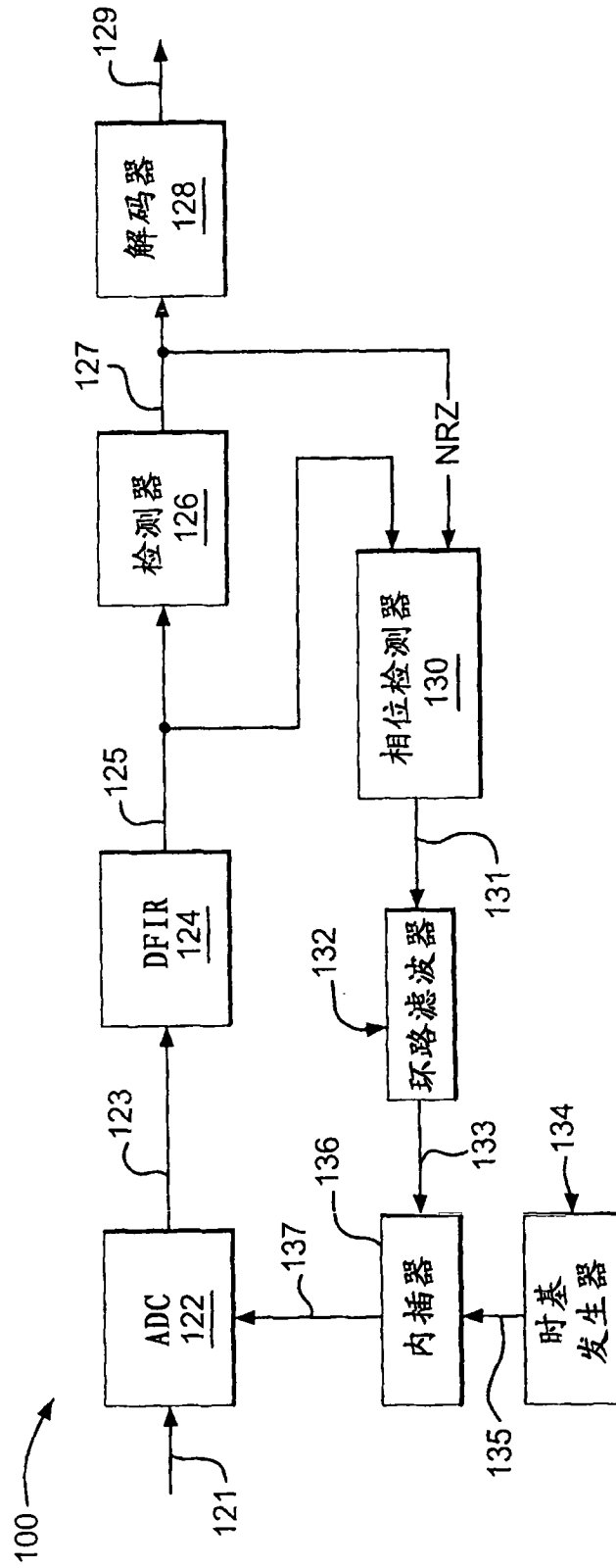


图1(现有技术)

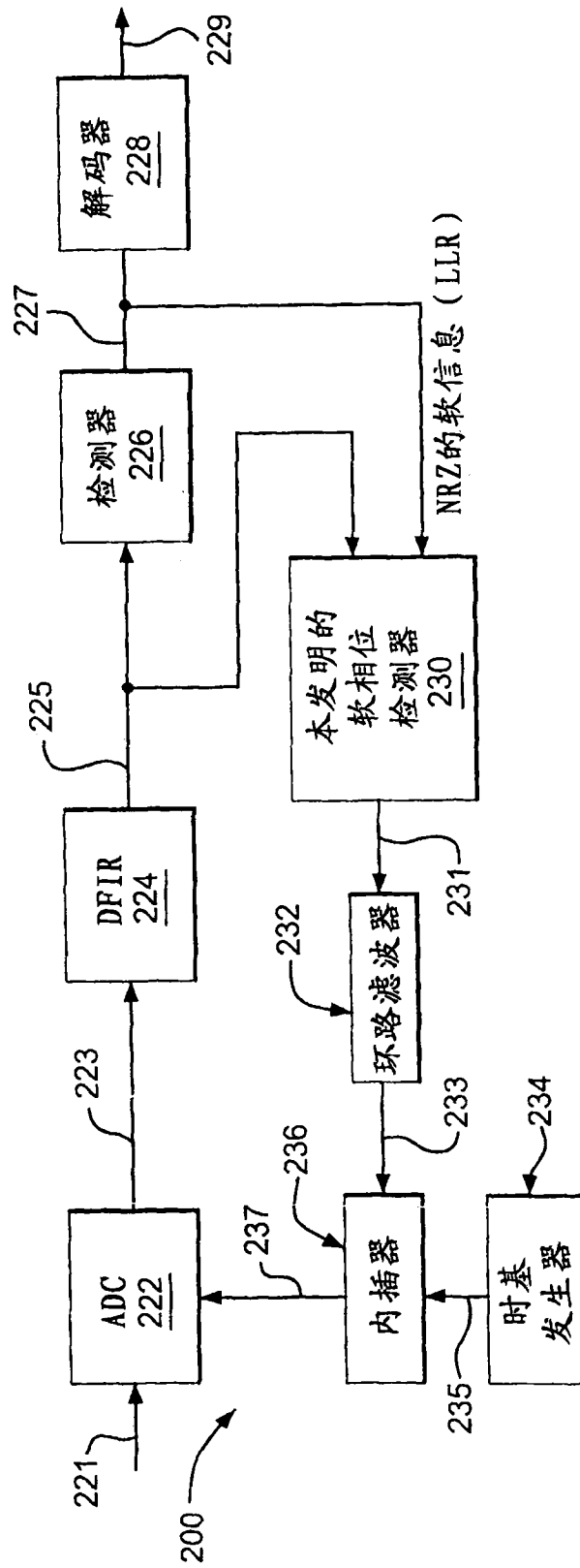


图 2

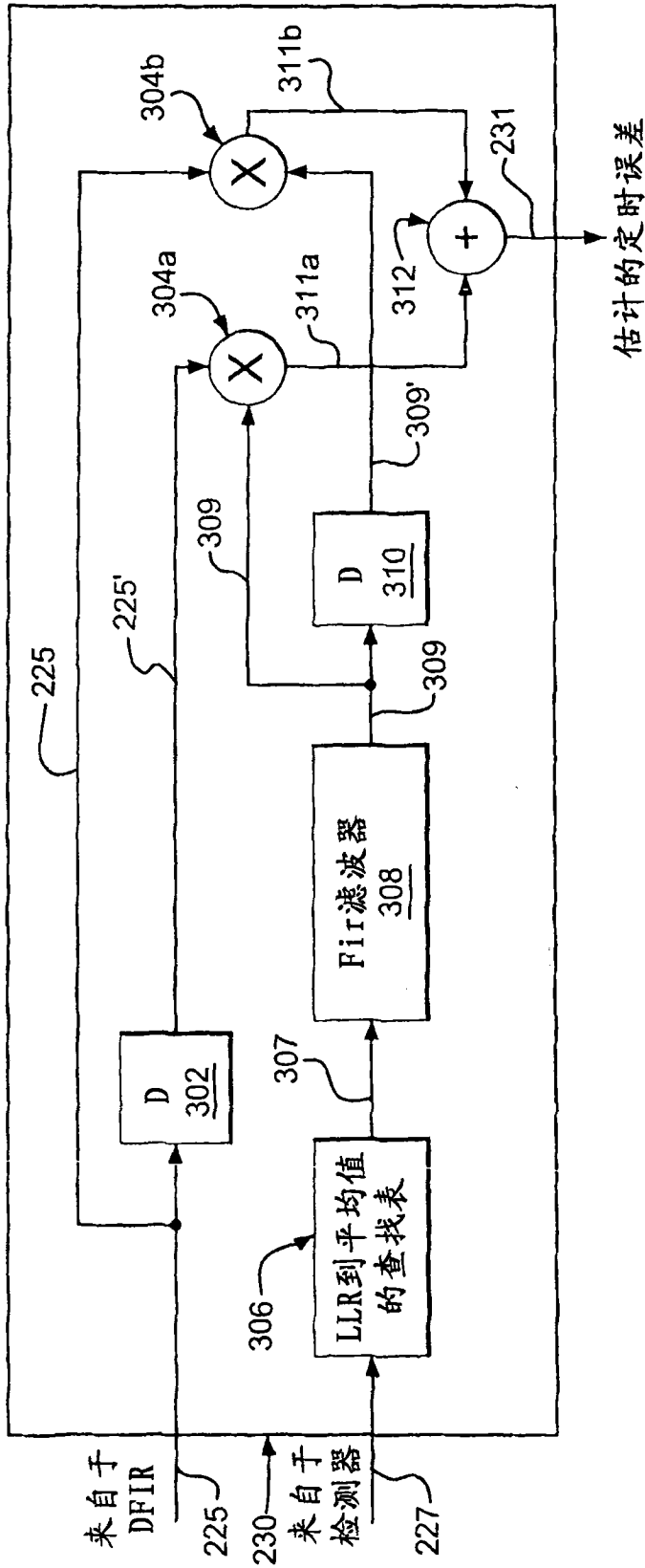


图 3

LLR到平均值的查找表 (LUT) :

- LLR >= 4, 平均值 = 1
- LLR >= 2, 平均值 = 0.75
- LLR >= 1, 平均值 = 0.5
- 1 > LLR >= -1, 平均值 = 0,
- LLR >= -4, 平均值 = -1
- LLR >= -2, 平均值 = -0.75
- LLR >= -1, 平均值 = -0.5

图 4

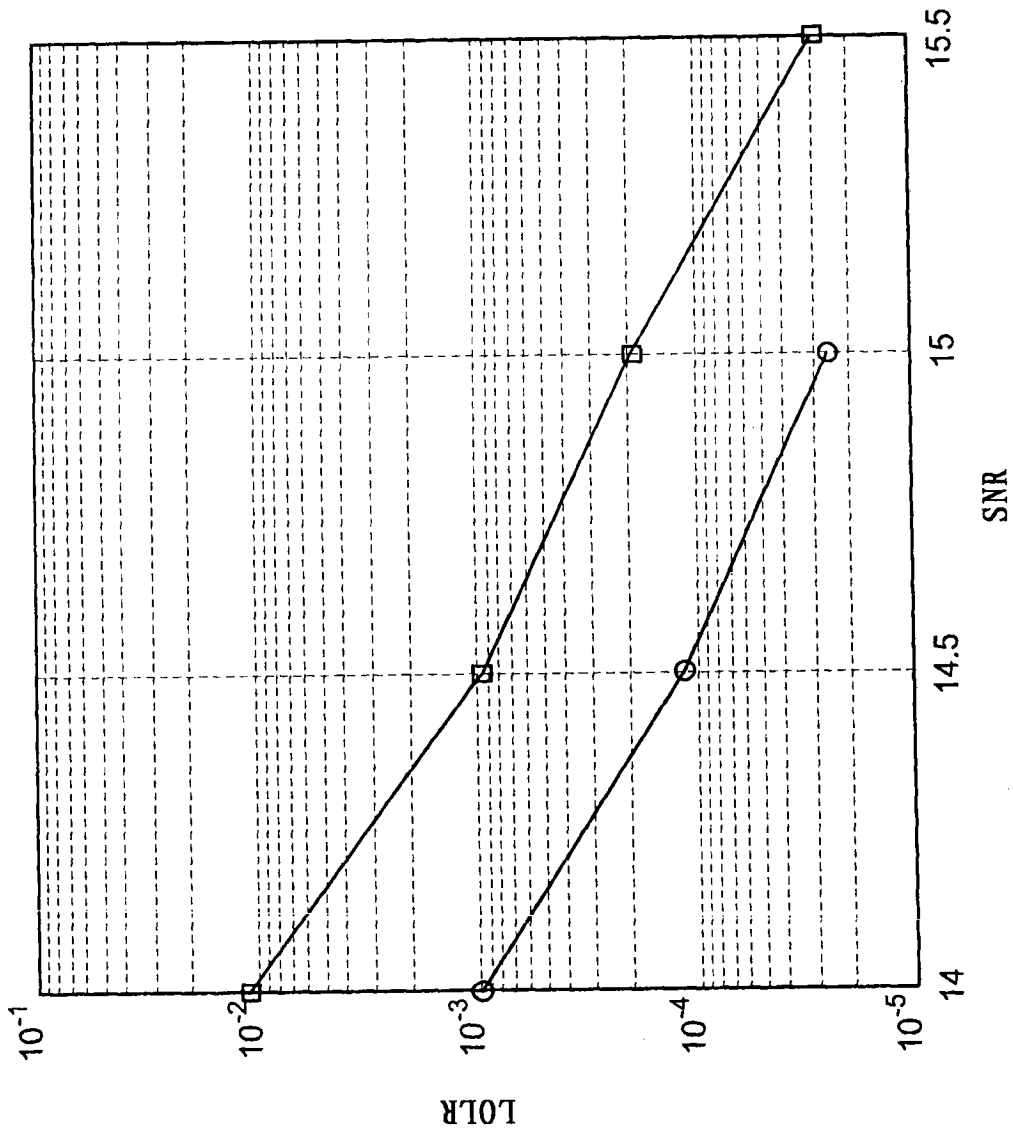


图 5