

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102027538 B

(45) 授权公告日 2013.01.02

(21) 申请号 200980117453.X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009.06.09

G11B 5/584 (2006.01)

(30) 优先权数据

08104459.6 2008.06.18 EP

(56) 对比文件

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010.11.15

CN 1604196 A, 2005.04.06, 全文.

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2009/052440 2009.06.09

US 7245450 B1, 2007.07.17, 全文.

(87) PCT申请的公布数据

W02009/153702 EN 2009.12.23

JAMES L. MASSEY."Optimum Frame

(73) 专利权人 国际商业机器公司

Synchronization".《IEEE TRANSACTIONS
ON COMMUNICATIONS》.1972, 第20卷(第2期), 115-119.

地址 美国纽约

审查员 张秀清

(72) 发明人 G·切鲁比尼 R·D·西德西扬

E·S·伊莱夫特希里欧 J·杰里托

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038

代理人 鲍进

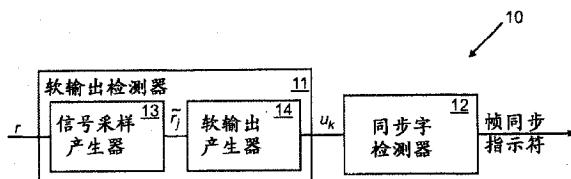
权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 6 页

(54) 发明名称

带驱动器中的伺服读取信号的字同步化

(57) 摘要

本公开提供了用于检测在从带驱动器(1)中的磁带(3)读取的PPM编码伺服图案读取信号中的N位间隔上出现的L位同步字的装置和方法。软输出检测器(11)处理PPM编码伺服图案读取信号以产生与在伺服图案中编码的各位对应的一系列的软输出采样。然后，同步字检测器(12)为软输出采样系列中的滑动L采样块的各位置产生块相关值。通过在各块位置上计算表示各采样和同步字的相应的位之间的相关性的位相关值并将各位相关值相加并减去相应的采样值的预定函数产生块相关值。然后，同步字检测器(12)用软输出采样系列的(N+L-1)采样序列中的最大块相关值检测块位置上的同步字。



1. 一种用于检测在从带驱动器 (1) 中的磁带 (3) 读取的脉冲位置调制 PPM 编码伺服图案读取信号中的 N 位间隔上出现的 L 位同步字的字同步化设备 (10), 所述字同步化设备 (10) 包括 :

软输出检测器 (11), 用于处理 PPM 编码伺服图案读取信号以产生与在伺服图案中编码的各位对应的软输出采样系列; 和同步字检测器 (12), 用于通过在各块位置上计算表示各采样和同步字的相应位之间的相关性的位相关值, 并将各位相关值相加并减去相应采样值的预定函数, 来产生滑动 L 采样块在软输出采样系列中的各位置的块相关值, 其中所述预定函数包括以下之一: 软输出采样值的模数和由下式定义的函数 $h(u)$:

$$h(u) = \frac{\sqrt{E_s(1-\varphi)/2}}{SNR} \ln \left(\cosh \left(\frac{SNR}{\sqrt{E_s(1-\varphi)/2}} u \right) \right)$$

其中, u 是软输出采样值; E_s 是表示在伺服图案中编码的各位值的 PPM 编码信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$ 的能量; $\varphi = \frac{1}{E_s} \int_0^T s^0(t)s^1(t)dt$, 其中, T 是编码位周期; 并且 SNR 是读取信号的信号噪声比;

其中, 同步字检测器 (12) 适于用软输出采样系列的 $(N+L-1)$ 采样序列中的最大块相关值来检测块位置上的同步字。

2. 如权利要求 1 所述的设备, 其中, 软输出检测器 (11a) 包含 :

信号采样产生器 (13), 用于在编码位周期 T 内产生伺服图案读取信号的信号采样 $r_{j \in J}$ 的集合, 其中, J 是索引的集合; 和

软输出产生器 (14a), 用于从信号采样 $r_{j \in J}$ 产生以下形式的软输出采样 u :

$$u \propto \sum r_j (s_j^0 - s_j^1)$$

其中, $s_{j \in J}^0$ 和 $s_{j \in J}^1$ 是表示在伺服图案中编码的并在与相关的信号采样 r_j 对应的采样定时上取得的各位值的 PPM 编码信号的采样, 并且, 求和是在索引的集合 J 的至少一个子集上进行的。

3. 如权利要求 1 所述的设备, 其中, 软输出检测器 (11b) 包含 :

信号采样产生器 (13), 用于在编码位周期 T 中产生伺服图案读取信号的信号采样 $r_{j \in J}$ 的集合, 其中, J 是索引的集合; 和

软输出产生器 (14b), 用于从信号采样 $r_{j \in J}$ 产生以下形式的软输出采样 u :

$$u \propto \sum |(r_j - s_j^0)^2 - (r_j - s_j^1)^2|$$

其中, $s_{j \in J}^0$ 和 $s_{j \in J}^1$ 是表示在伺服图案中编码的并在与相关的信号采样 r_j 对应的采样定时上取得的各位值的 PPM 编码信号的采样, 并且, 求和是在索引的集合 J 的至少一个子集上进行的。

4. 如权利要求 2 或 3 所述的设备, 其中, 所述求和是在索引的集合 J 的子集上进行的。

5. 如权利要求 2 或 3 所述的设备, 其中, 信号采样产生器 (13) 包含 :

采样器 (15), 用于以固定的采样频率对读取信号采样; 和

内插器 (16), 用于内插固定频率采样以便对于单位磁带长度, 以固定的速率产生所述信号采样 $r_{j \in J}$ 。

6. 如权利要求 1 至 3 中任一项所述的设备, 其中, 所述设备适于处理 TBS 伺服图案读取

信号以检测 PPM 编码的 LPOS 同步字。

7. 一种带驱动器 (1), 包括 :

读取 / 写入头 (2), 用于在磁带 (3) 上读取和写入数据 ;

与读取 / 写入头 (2) 相关的伺服读取器 (5), 用于读取磁带 (3) 上的脉冲位置调制 PPM 编码伺服图案以产生伺服图案读取信号 ; 和

伺服控制器 (8), 用于处理伺服图案读取信号以产生用于控制磁带 (3) 和读取 / 写入头 (2) 的相对定位的位置信息 ;

其中, 伺服控制器 (8) 包含如任一在前权利要求所述的字同步化设备 (10)。

8. 一种用于检测在从带驱动器 (1) 中的磁带 (3) 读取的脉冲位置调制 PPM 编码伺服图案读取信号中的 N 位间隔上出现的 L 位同步字的方法, 所述方法包括 :

处理 PPM 编码伺服图案读取信号以产生与在伺服图案中编码的各位对应的软输出采样系列 ;

通过在各块位置上计算表示各采样和同步字的相应位之间的相关性的位相关值, 并将各位相关值相加并减去相应采样值的预定函数, 来产生滑动 L 采样块在软输出采样系列中的各位置的块相关值, 其中所述预定函数包括以下之一 : 软输出采样值的模数和

由下式定义的函数 $h(u) : h(u) = \frac{\sqrt{E_s(1-\varphi)/2}}{SNR} \ln \left(\cosh \left(\frac{SNR}{\sqrt{E_s(1-\varphi)/2}} u \right) \right)$ 其中, u 是软输出采样值 ; E_s 是表示在伺服图案中编码的各位值的 PPM 编码信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$ 的能量 ;

$\varphi = \frac{1}{E_s} \int_0^T s^0(t)s^1(t)dt$, 其中, T 是编码位周期 ; 并且 SNR 是读取信号的信号噪声比 ; 和

用软输出采样系列的 $(N+L-1)$ 采样序列中的最大块相关值来检测块位置上的同步字。

9. 如权利要求 8 所述的方法, 包括 :

通过以下步骤产生软输出采样 :

在编码位周期 T 内产生伺服图案读取信号的信号采样 $r_{j \in J}$ 的集合, 其中, J 是索引的集合 ; 和

从信号采样 $r_{j \in J}$ 产生以下形式的软输出采样 u :

$$u \propto \sum r_j (s_j^0 - s_j^1)$$

其中, s_j^0 和 s_j^1 是表示在伺服图案中编码的并在与相关的信号采样 r_j 对应的采样定时上取得的各位值的 PPM 编码信号的采样, 并且, 求和是在索引的集合 J 的至少一个子集上进行的。

10. 如权利要求 8 所述的方法, 包括 :

通过以下步骤产生软输出采样 :

在编码位周期 T 内产生伺服图案读取信号的信号采样 $r_{j \in J}$ 的集合, 其中, J 是索引的集合 ; 和

从信号采样 $r_{j \in J}$ 产生以下形式的软输出采样 u :

$$u \propto \sum |(r_j - s_j^0)^2 - (r_j - s_j^1)^2|$$

其中, s_j^0 和 s_j^1 是表示在伺服图案中编码的并在与相关的信号采样 r_j 对应的采样定时上取得的各位值的 PPM 编码信号的采样, 并且, 求和是在索引的集合 J 的至少一个子集上进

行的。

11. 如权利要求 9 或 10 所述的方法，包括：

通过以固定的采样频率对读取信号采样以及内插固定频率采样，对于单位磁带长度以固定的速率产生所述信号采样 $r_{j \in J}$ ，来产生所述信号采样。

带驱动器中的伺服读取信号的字同步化

技术领域

[0001] 本发明一般涉及带存储系统中的伺服读取信号的字同步化。更特别地，提供用于检测从带驱动器中的磁带读取的脉冲位置调制 (PPM) 编码伺服图案读取信号中的同步字的方法和装置。

背景技术

[0002] 一般地，同步数字通信接收器包含诸如符号同步化和字同步化（也称为帧同步化）子系统的各种类型的同步化子系统。假定已实现符号同步化，那么字同步化的任务包含确定接收的数据流内的同步字的位置。在“Frame synchronization techniques,” R. A. Scholtz, IEEE Trans. on Commun., vol. 28, August 1980, pp. 1204–1213 中描述了用于字同步化的各种技术。在关于字同步化的早期工作中，引入相关判决规则的概念（参见 R. H. Barker, “Group synchronization of binary digitalsystems,” in Communication Theory, W. Jackson, Ed. London. Butterworth, 1953, pp. 273–287）。根据该规则，接收的数据流中的位与各个同步字位和在最大相关性的位置上检测的同步字相关。美国专利 No. 5,073,906 在移动卫星通信接收器中使用用于软输出采样的相关技术，其中，采样与同步字位相关，以产生与依赖于同步字检测的平均功率的阈值相比较的互相关值。在“Optimum framesynchronization,” J. L. Massey, IEEE Trans. on Commun., vol. 20, April 1972, pp. 115–119 中提出在存在加性高斯白噪声的情况下接收的专用于对映二元信号的最佳字同步算法（还参见上面的 Scholtz 文献）。特别地，对映二元信号的最佳字同步算法的相关判决规则是由依赖于信号噪声比 (SNR) 的附加校正项修改的相关判决规则。也给出最佳字同步化算法的高 SNR 和低 SNR 近似。模拟结果表明，对映二元信号的最佳字同步算法的高 SNR 近似几乎如最佳字同步化算法一样好地执行（参见“Some optimum and suboptimum framesynchronizers for binary data in Gaussian noise”, P. T. Nielsen, IEEE Trans. on Common., vol. 21, June 1973, pp. 770–772）。在“Framesynchronization for Gaussian channels,” G. L. Lui and H. H. Tan, IEEE Trans. on Commun., vol. 35, August 1987, pp. 818–829 中，矢量空间中的对映二元信号的最佳字同步算法可望为假定最大可能性单稳态 (one shot) 接收器结构的高斯信道上的相干和非相干相位解调（参见“Principles of Communication Engineering”, J. M. Wozencraft and I. M. Jacobs, John Wiley&Sons, 1965）。

[0003] 在带存储系统中，为了在带的邻近数据轨道的纵向延伸的专用伺服轨道中记录伺服信息，使用基于定时的伺服 (TBS) 技术。LTO(线性带开 (Linear Tape Open)) 联盟采用 TBS 方法并将用于 LTO 带驱动器的健壮的、可裁剪的、专用的伺服图案标准化，该伺服图案提供后向兼容性并以较高的轨道密度在后续 LTO 标准中保持不变。在标准 ECMA-319, “Data interchange on 12.7mm 384-track magnetictape cartridges-Ultrium-1format,” June 2001, pp. 48–56 中详细描述了 TBS 伺服图案。后面详细描述的伺服图案包含用两个不同的方位角斜率限定一系列的条带的磁性转变。可从由读取条带图案的窄伺服头产生的脉冲的相对定时得到头的横向位置。TBS 图案还在不影响横向位置误差信号 (PES) 的产生的情况下

下允许附加的纵向位置 (LPOS) 信息的编码。通过沿带的纵向从它们的标称图案位置偏移伺服图案的转变 (条带), 将 LPOS 信息编码。在伺服图案的 36 帧上在 36 位字中记录 LPOS 信息, 每个 LPOS 字表示带上的特定的、绝对的纵向位置。各伺服帧由此将 LPOS 信息的一个位编码, 该位值由伺服图案条带中的特定的偏移表示。36 位 LPOS 字的前 8 位构成已知的同步化字。由于通过偏移伺服帧条带的纵向位置来记录 LPOS 位, 因此得到的伺服头读取信号是为了位置数据的恢复而必须识别同步字的 PPM 编码信号。

[0004] LTO 驱动器中的常规的字同步化系统对从 PPM 编码伺服图案读取信号得到的硬输出位应用校正判决规则。如我们的 US 专利 No. 7, 245, 450 和“Synchronous Servo Channel Design for Tape DriveSystems,” Cherubini et al., Proc. 17th Annual ASME InformationStorage and Processing Systems Conf. ISPS 2007, Santa ClaraUniversity, CA, June 18–19, 2007, pp. 160–162 详细描述的那样, 通过使用遵循伺服读取信号采样的内插的匹配滤波器方法, 检测硬输出位。在附图的图 1 中示出同步字检测器。通过一系列的七个延迟元件 D 对值 +1 或 -1 的硬输出位 \hat{b}_k 的流计时, 这些延迟元件 D 的输入 / 输出向各乘法器供给八个位 \hat{b}_k 、 \hat{b}_{k-1} 、...、 \hat{b}_{k-7} 的滑动块。如所示的那样, 向乘法器的其它输入供给已知的同步字位 p_0, p_1, \dots, p_7 (其中, $p_0 = 1$ 并且, 对于 $i = 1, \dots, 7, p_i = -1$)。得到的位相关值被求和, 以在输出位流中的滑动 8 位块的各位置上产生块相关值 C_k 。当 $C_k = 8$ (这表示当前块和期望的同步字之间的匹配) 时, 向输出字同步指示符的检测器供给块相关值。

[0005] 为了带驱动器的可靠操作, 存在干扰和噪声时的字同步化操作的健壮性当然是十分重要的。读取后 LPOS 信息和 LPOS 字的同步化中的误差可在正常的驱动伺服操作中产生错误位置信息。因此, 希望用于带驱动器的改进的字同步系统。

发明内容

[0006] 本发明的一个方面提供一种用于检测在从带驱动器中的磁带读取的 PPM 编码伺服图案读取信号中的 N 位间隔上出现的 L 位同步字的字同步化装置。该装置包括：

[0007] 用于处理 PPM 编码伺服图案读取信号以产生与在伺服图案中编码的各位对应的一系列的软输出采样的软输出检测器; 和

[0008] 用于通过在各块位置上计算表示各采样和同步字的相应的位之间的相关性的位相关值并将各位相关值相加并减去相应的采样值的预定函数, 来产生软输出采样系列中的滑动 L 采样块的各位置的块相关值的同步字检测器;

[0009] 其中, 同步字检测器适于用软输出采样系列的 (N+L-1) 采样序列中的最大块相关值检测块位置上的同步字。

[0010] 上述描述的常规的 LTO 系统执行硬判决字同步化, 由此, 从硬输出位 (具有已判决为两种可能的值中的一个的值) 检测同步字。本发明与该常规的不同在于基于软输出采样 (具有尚未分解为两种可能的位值中的一个的值) 提供软判决字同步化系统。提供软输出检测器以从 PPM 编码伺服图案读取信号产生软输出采样。同步字检测器然后执行使软输出采样的 L 采样块与已知的 L 位同步字的相应的位相关的滑动块相关操作。但是, 不是简单地将位相关值求和, 而是, 同步字检测器适于在将得到的值求和之前从各采样的位相关值

中减去软输出采样值的函数以产生块相关值。然后,在使来自软输出检测器的 $(N+L-1)$ 采样序列中的块相关值最大化的块位置(即,对于 L 采样块的 N 个顺序的位置)上识别同步字,其中, N 是 PPM 编码位图案中的同步字周期。与上述的常规系统相比,本发明的实施例提供误差率性能的大大改善。这导致操作效率提高,并且对于被设想为支持多千兆字节带盒的高轨道密度是特别有利的。并且,当前 LTO 带头组件跨过数据带段和在数据带段的任一侧运行的两个伺服带段。因此,来自两个单独的伺服头的信息通常对于横向定位数据头是可用的。但是,如果伺服头之一被弄脏或缩短,那么只有一个伺服信道是可用的。在这种情况下,使用本发明的字同步系统提供大大提高的性能。总体上,本发明的实施例提供大大优于常规的方法的有效和健壮的字同步化系统。

[0011] 以下详细描述可在计算块相关值中使用的预定函数的特别形式。另外,将描述提供特别有效的实现的优选实施例。特别地,以下详细描述产生这种系统的软输出的特定形式的优选软输出检测器的构造。

[0012] 本发明的第二方面提供带驱动器,该带驱动器包含:

[0013] 用于在磁带上读取和写入数据的读取 / 写入头;

[0014] 与用于读取磁带上的 PPM 编码伺服图案的读取 / 写入头相关的、用于产生伺服图案读取信号的伺服读取器;和

[0015] 用于处理伺服图案读取信号以产生用于控制带和读取 / 写入头的相对定位的位置信息的伺服控制器,

[0016] 其中,伺服控制器包含根据本发明的第一方面的字同步化装置。

[0017] 本发明的第三方法提供一种用于检测在从带驱动器中的磁带读取的 PPM 编码伺服图案读取信号中的 N 位间隔上出现的 L 位同步字的方法。该方法包括:

[0018] 处理 PPM 编码伺服图案读取信号以产生与在伺服图案中编码的各位对应的一系列软输出采样;

[0019] 通过在各块位置上计算表示各采样和同步字的相应的位之间的相关性的位相关值并将各位相关值相加并减去相应的采样值的预定函数,来产生软输出采样系列中的滑动 L 采样块的各位置的块相关值;和

[0020] 检测在软输出采样系列的 $(N+L-1)$ 采样序列中具有最大块相关值的块位置上的同步字。

[0021] 一般地,在这里参照本发明的一个方面的实施例描述特征的情况下,可以在本发明的另一方面的实施例中提供相应的特征。

附图说明

[0022] 现在参照附图作为例子描述本发明的优选实施例,其中:

[0023] 图 1 显示在常规的 LTO 带驱动器中使用的硬判决同步字检测器;

[0024] 图 2 是可使用使用本发明的字同步系统的带驱动器的示意图;

[0025] 图 3 示出形成其中可将 LPOS 信息编码的伺服帧的伺服脉冲串的 LTO 规则;

[0026] 图 4 表示如何在 LTO 伺服帧中将 LPOS 位编码;

[0027] 图 5 是图 2 的带驱动器中的字同步化装置的示意性框图;

[0028] 图 6 表示图 5 装置的软输出检测器的一个实施例;

- [0029] 图 7 表示图 5 装置的软输出检测器的另一实施例；
- [0030] 图 8 表示图 5 装置的同步字检测器的一个实施例；
- [0031] 图 9 表示图 5 装置的同步字检测器的另一实施例；以及
- [0032] 图 10 和图 11 是比较常规的字同步系统和本发明的优选实施例的模拟结果的图。

具体实施方式

[0033] 图 2 是示出与使用本发明的字同步化系统相关的关键元件的带驱动器的简化示意图。带驱动器 1 具有用于在磁带 3 上读取和写入数据的读取 / 写入头 2。特别地，头 2 具有用于在带 3 由带传输机构（未示出）传送经过头 2 时在各数据轨道 4 中读取和写入数据的多个读取 / 写入元件（未示出）。在头 2 上安装用于读取在与数据轨道相邻的专用伺服带段 6 中记录的伺服图案的伺服读取器 5。在操作中，伺服读取器 5 将伺服图案读取信号 r 输出到伺服控制器 8。（实际上，可以在读取各伺服带段 6 并向伺服控制器 8 提供读取信号的头 2 上设置多于一个的伺服读取器。在提供伺服控制功能时，这提供更高的健壮性（如果伺服读取器中的一个的输出不可靠，那么能够切换到另一个的输出），但是，通过考虑示出的单一伺服读取信号 r ，可以理解伺服控制器 8 的操作）。伺服控制器 8 处理读取的信号 r 以导出用于控制带 3 和头 2 的相对移动的各种信息。特别地，产生供带传输控制系统使用的带速度 v 的估计。从读取信号中的脉冲的相对定时估计头 2 的横向位置，并且，位置误差信号 (PES) 被输出到位置控制机构 9。这控制由图中的虚线表示的头的横向位置。另外，通过伺服控制器 8 提取在伺服图案中编码的纵向位置 (LPOS) 信息，以确定头 2 沿着带的绝对位置。如现在参照图 3 和图 4 解释的那样，根据 LTO 伺服图案规范记录 LPOS 信息。

[0034] 图 3 示出与 LTO 伺服图案的一个 $200-\mu\text{m}$ 周期对应的 LTO 伺服帧。LTO 伺服帧包含标为 A、B、C 和 D 的四个伺服脉冲串。A 和 B 脉冲串具有 5 个伺服条带，而 C 和 D 脉冲串具有 4 个伺服条带。伺服条带包含分开 $2.1\mu\text{m}$ 并且以 $\pm \pi/30$ 弧度 (6 度) 的方位角书写的两个磁化转变。伺服脉冲串内的伺服条带彼此相隔 $5\mu\text{m}$ 的距离。为了将伺服帧内的 LPOS 信息的一个位编码，伺服帧的 A 和 B 脉冲串内的第二和第四伺服条带的位置被调制。伺服条带位置的偏移为 $\pm 0.25\mu\text{m}$ 。图 4 表示由包含 A 和 B 脉冲串的子帧 1 和包含 C 和 D 脉冲串的子帧 2 构成的 LTO 伺服帧内的一个 LPOS 位的编码。通过从 A 和 B 脉冲串中的每一个中的中心条带向外偏移第二和第四伺服条带，该图的上部显示“1”的编码。通过向 A 和 B 脉冲串中的中心条带向内偏移第二和第四伺服条带，该图的下部显示“0”的编码。这些伺服帧的回读信号由此是代表两个 LPOS 位值的 PPM 编码信号 $s^1(t)$ 和 $s^0(t)$ 。

[0035] 在 LTO 中，在包含与 7.2mm 的带长度对应的 36 个伺服帧的 LPOS 字中包含 LPOS 信息。各 36 位 LPOS 字从固定的 8 位同步字开始，之后是 24 位的 LPOS 信息和 4 位的制造符号。LPOS 信息规定带上的绝对纵向地址。固定的 8 位同步字图案是 10000000，其中，符号“1”被首先写入。因此，LTO 伺服带段中的同步字被周期性嵌入 LPOS 数据流中，对于与 36 位 LPOS 字的带长对应的每 7.2mm 重复 8 位同步字。两个连续的 LPOS 字的 LPOS 值相差 1。因此，LTO 带驱动器 1 可以以 7.2mm 的纵向分辨率将读取 / 写入头 2 放置到带 3 下一给定 LPOS。但是，要这样做，必须首先由伺服控制器 8 从伺服图案读取信号提取 LPOS 信息。这需要字同步化以检测 PPM 编码读取信号 r 中的 8 位 LPOS 同步字。伺服控制器 8 由此包含用于同步字检测的字同步化装置，以下描述其优选的实施例。这些实施例基于 PPM 编码 LPOS

位的软输出检测执行字同步化。在详细描述优选的实施例之前,考虑优选的实施例基于的以下理论分析是有用的。

[0036] 首先描述存在加性高斯白噪声 (AWGN) 的情况下的二元调制信号的软输出 (软判决) 的产生过程。考虑分别代表 LPOS 位值 0 和 1 的两个信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$, 这两个信号的脉冲位置根据 LPOS 位值如上面描述的那样被调制。假定两个信号对于等于间隔 $(0, T)$ 中的至多等于 T 秒的时间间隔为非零并且具有相同的能量 :

$$[0037] E_s = \int_0^T [s^0(t)]^2 dt = \int_0^T [s^1(t)]^2 dt.$$

[0038] LPOS 符号流可由下式表示 :

$$[0039] q(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} [a_k s^1(t - kT + T) + (1 - a_k) s^0(t - kT + T)]$$

[0040] 其中, a_k 是独立且均等分布的取值 0 或 1 的二元数据位的流。以下, 双极 LPOS 符号由 $b_k = 2a_k - 1$ 表示, 并且, 使用加性高斯噪声模型以通过下式表征再生的信号 :

$$[0041] r(t) = q(t) + n(t)$$

[0042] 其中, 添加的噪声过程 $n(t)$ 的一侧谱密度是平的并且由 N_0 给出。

[0043] 用于接收的二元调制信号的检测器被假定为由脉冲响应 $g(t)$ 表征的线性滤波器, $0 \leq t \leq T$, 其后是每 T 秒提供采样的采样器。这种类型的检测器将被称为 1 型检测器。1 型检测器的软输出, 即 $t = kT$ 上的采样值, 可由下式表达 :

$$[0044] x_k = x(kT) = \int_0^T g(\tau) r(kT - \tau) d\tau = \int_0^T g(\tau) q(kT - \tau) d\tau + \int_0^T g(\tau) n(kT - \tau) d\tau$$

[0045] 其中,

$$[0046] x(t) = \int_0^T g(\tau) r(t - \tau) d\tau = \int_{t-T}^t g(t - \tau) r(\tau) d\tau$$

[0047] 由于 $n(t)$ 是高斯过程, 因此 x_k 是高斯随机变量。以下, x_k^0 表示在位间隔中记录 $s^0(t)$ 时的采样值, 并且, x_k^1 表示在位间隔中记录 $s^1(t)$ 时的采样值。采样 x_k^0 和 x_k^1 的均值由下式给出 :

$$[0048] m^0 = E[x_k^0] = \int_0^T g(\tau) s^0(T - \tau) d\tau$$

$$[0049] m^1 = E[x_k^1] = \int_0^T g(\tau) s^1(T - \tau) d\tau$$

[0050] 其中, E 是期望算子。检测器滤波器的输出上的采样 x_k 的标准偏差不依赖于记录什么信号的, 并由下式给出 :

$$[0051] \sigma = \sqrt{\frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |G(f)|^2 df} = \sqrt{\frac{N_0}{2} \int_0^T g^2(t) dt}$$

[0052] 其中, $G(f)$ 是 $g(t)$ 的傅立叶变换, 并且, 使用 Parseval 定理以表示作为脉冲响应 $g(t)$ 的函数的标准偏差 σ 。

[0053] 假定各位 a_k 是同等似然的，并且 $m_1 > m_0$ ，最大似然性检测器的判决规则（如在上面提到的“Principles of Communication Engineering”中讨论的那样）为：

$$[0054] \quad x_k \leq \frac{m^0 + m^1}{2} \Rightarrow \hat{a}_k = 0$$

$$[0055] \quad x_k > \frac{m^0 + m^1}{2} \Rightarrow \hat{a}_k = 1$$

[0056] 其中， \hat{a}_k 是由记录位的最大似然性估计获得的检测器输出上的硬判决。执行阈值试验以确定记录位的值的最大似然性检测器使检测的位的平均误差率最小化。事实上，最大似然性检测器的输出上的平均位误差率 P_b 为：

$$[0057] \quad P_b = Q\left(\frac{|m^0 - m^1|}{2\sigma}\right)$$

[0058] 其中，

$$[0059] \quad Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-u^2/2} du$$

[0060] 如果参数 $|m^0 - m^1|/2\sigma$ 被最大化，那么最大似然性检测器的输出上的平均位误差率 P_b 被最小化。如果下式成立，则使用 Schwartz 不等式， $|m^0 - m^1|/2\sigma$ 被最大化：

$$[0061] \quad g(t) = c(s^1(T-t) - s^0(T-t)), \quad 0 \leq t \leq T,$$

[0062] 其中， c 是任意的常数。

[0063] 以下，假定 $c = 1/\sqrt{2E_s(1-\varphi)}$ ，其中，

[0064]

$$\varphi = \frac{1}{E_s} \int_0^T s^0(t)s^1(t)dt$$

[0065] 在这种情况下，

[0066]

$$m^1 = -m^0 = \sqrt{E_s \frac{1-\varphi}{2}}$$

[0067] 和

$$[0068] \quad \sigma = \sqrt{N_0/2}$$

[0069] 从而，不存在噪声的情况下来自检测器的软输出可被表达为 $m_k = E[x_k | b_k] = b_k \sqrt{E_s(1-\varphi)/2}$ 。并且，检测阈值为零，即， $(m^0 + m^1)/2 = 0$ ，并且，最大似然性检测器的输出上的平均 LPOS 位误差率 P_b 变为：

[0070]

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{(1-\varphi)E_s}{N_0}}\right)$$

[0071] 接收的二元调制信号的替代性的 2 型检测器的软输出由下式表征：

$$[0072] \quad y_k = y(kT) = \frac{c}{2} \int_0^T [(r(kT - \tau) - s^0(T - \tau))^2 - (r(kT - \tau) - s^1(T - \tau))^2] d\tau$$

$$[0073] \quad \text{其中, } y(t) = \frac{c}{2} \int_0^T [(r(t - \tau) - s^0(T - \tau))^2 - (r(t - \tau) - s^1(T - \tau))^2] d\tau$$

$$[0074] \quad = \frac{c}{2} \int_{t-T}^t [(r(\tau) - s^0(\tau - (t-T)))^2 - (r(\tau) - s^1(\tau - (t-T)))^2] d\tau$$

[0075] 可以很容易地看出, 1型和2型检测器具有相同的软输出, 即, 对于所有的 k, 1型软输出 x_k 与 2型软输出 y_k 相同。

[0076] 以上的分析考虑存在加性高斯白噪声的情况下二元调制信号的软输出检测。以下描述使用产生的软输出的最佳软判决 LPOS 字同步化。

[0077] 考虑从在前面的部分中描述的检测器获得的 N 个软输出 (x_0, x_1, \dots, x_{N-1}) 的块。从以前的部分中的分析, 软输出可被表示为信号项和噪声项的和, 即, $x_k = m_k + n_k$, 其中, 在数据图案上, $m_k = b_k \sqrt{E_s(1-\varphi)/2}$, 或者, 在同步图案上, $m_k = p_k \sqrt{E_s(1-\varphi)/2}$, 其中, p_k 是假定值 +1 或 -1 的双极同步符号, n_k 是具有标准偏差 $\sigma = \sqrt{N_0/2}$ 的独立高斯噪声采样。检测的软输出块与 L 个同步字位和 (N-L) 个随机二元数据位对应。在上述的 LTO 中, $N = 36$ 并且 $L = 8$, 并且, 对于 $i = 1, \dots, 7$, LPOS 同步字由 $p_0 = 1$ 和 $p_i = -1$ 定义。并且, LPOS 字中的 28 位二元数据序列包含七个 14 进制 (14-ary) 符号, 其中, 通过使用规定的一对一映射, 每个 14 进制符号被编码成四个位。其中, LPOS 数据位的序列被模型化为具有相等概率的独立且均等分布的二元数的序列。由于 14 相 LPOS 符号初始是未知的, 这种假定允许导出简单最佳 LPOS 字同步化算法并被验证。

[0078] 基于在上述又基于混合 Bayes 规则的 J. L. Massey 文献中描述的方法, 得到最佳 LPOS 字同步化算法, 该算法使正确地定位 LPOS 同步字的可能性最大化, 其中 LPOS 同步字被周期性嵌入伺服信道中的 LPOS 数据流中。对于长度为 $N+L-1 = 43$ 采样的软输出 ($x_k, x_{k+1}, \dots, x_{k+42}$) 的检测块, 估计最佳 LPOS 同步字位置的算法选择 LPOS 同步字位置 1 为使以下的统计最大化的值 $n, 0 \leq n \leq 36$,

$$[0079] \quad \sum_{i=0}^7 p_i x_{k+i+n} - \sum_{i=0}^7 h(x_{k+i+n})$$

$$[0080] \quad \text{其中, } h(x) = \frac{\sqrt{E_s(1-\varphi)/2}}{SNR} \ln \left(\cosh \left(\frac{SNR}{\sqrt{E_s(1-\varphi)/2}} x \right) \right)$$

[0081] 并且, 信号噪声比 SNR 由下式给出:

[0082]

$$SNR = \frac{E_s(1-\varphi)}{N_0}$$

[0083] 由于作为与很好地限定的统计的最大化结合的滑动块操作的结果而选择了最佳 LPOS 同步字位置 1, 因此以上的字同步化算法是滑动块类型。该统计可被描述为软相关项和代表其中周期性嵌入 8 位 LPOS 同步字的随机数据的影响的第二项的和。注意, 该统计依赖于伺服信道中的 LPOS 检测的 SNR。但是, 对于大的 SNR, 函数 $h(x)$ 可由不依赖于 SNR 的 $|x|$ 近似。该近似允许更简单地实现用于选择最佳 LPOS 同步字的统计。确定最佳 LPOS 同步字位置的规则在这种情况下简化以便以下的统计最大化 :

$$[0084] \sum_{i=0}^7 p_i x_{k+i+n} - \sum_{i=0}^7 |x_{k+i+n}| = -2 \sum_{i \in N} |x_{k+i+n}|$$

[0085] 其中, 最后的求和是在索引的集合 $N = \{i \mid 0 \leq i \leq 7 \text{ 和 } p_i x_{k+i+n} < 0\}$ 上进行的。换句话说, 用于确定最佳 LPOS 同步字位置的规则简化以便负相关的项的和最小化, 即,

$$[0086] \sum_{i \in N} |x_{k+i+n}| = \sum_{i \in N} \left| \int_0^T g(\tau) r((k+i+n)T - \tau) d\tau \right|$$

[0087] 在到目前为止讨论的最佳软判决 LPOS 字同步算法的导出中, 假定信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$ 在时间间隔 $(0, T)$ 中的至多 T 秒内为非零。在纵向记录中, 这些信号可被模型化为几个窄的脉冲的重叠。特别地, 在 LPOS 检测的情况下, 对于四个位置调制伺服条带的响应导致八个脉冲的重叠以产生信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$ 。在以下的方法中, 信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$ 的支持从 $(0, T)$ 扩展到整个实线。(在数学上支持函数 $f(\cdot)$ 的是该函数不为零的点的集合)。很显然, 如果信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$ 的大多数能量位于间隔 $(0, T)$ 中, 那么到目前为止讨论的 LPOS 字同步化算法很好地执行, 即,

$$[0088] \int_0^T [s^i(t)]^2 dt \gg \left(\int_{-\infty}^0 [s^i(t)]^2 dt + \int_T^{\infty} [s^i(t)]^2 dt \right)$$

[0089] 在 LTO 中, 由于最小转变距离仅为与时间间隔 T 对应的 $2.1 \mu m$, 其远小于带上的 $200 \mu m$ 的 LTO 伺服帧长度, 因此以上的假定被验证。

[0090] 在特别有利的方法中, 被最小化的统计中的卷积积分由和近似, 并且, 该和中的不重要项被舍弃。这允许用数字逻辑特别简单和健壮地实现 LPOS 字同步化算法。在这种情况下, 统计

$$[0091] \sum_{i \in N} \left| \int_0^T g(\tau) r((k+i+n)T - \tau) d\tau \right| = \sum_{i \in N} \left| \int_{(k+i+n-1)T}^{(k+i+n)T} g((k+i+n)T - \tau) r(\tau) d\tau \right|$$

[0092] 可由统计

$$[0093] \sum_{i \in N} \left| \sum_{j \in J} \tilde{r}_j (\tilde{s}_j^0 - \tilde{s}_j^1) \right|$$

[0094] 近似为乘法常数, 其中, J 是索引的集合, 并且,

$$[0095] \tilde{s}_j^0 = s^0(t = jT' - (k+i+n-1)T),$$

[0096] $\tilde{s}_j^1 = s^1(t = jT' - (k+i+n-1)T),$

[0097] $\tilde{r}_j = r(t = jT')$

[0098] 对于带速度 v , 调制信号采样 \tilde{s}_j^0 、 \tilde{s}_j^1 和接收的采样 \tilde{r}_j 相互的间隔比 $T = 200 \mu m/v$ 更接近, 即, $T << T$ 。例如, 由于速率 $1/T$ 比伺服信号的两侧带宽大, 因此, $T = 0.25 \mu m/v$ 的间隔对于 LTO 伺服信号是好的选择, 从而保证如采样理论所要求的、可在不损失信息的情况下从其采样 \tilde{r}_j 重建接收的信号。在认识到只有近似统计中的少数几个项对于和有显著贡献的进一步的简化中, 可通过在索引的子集 $J' \subseteq J$ 上取和, 从而有效地计算统计, 即, 被最小化的统计变为:

[0099]
$$\sum_{i \in N} \left| \sum_{j \in J'} (\tilde{r}_j (\tilde{s}_j^0 - \tilde{s}_j^1)) \right|$$

[0100] 在前面定义的 2 型检测器的情况下, 被最小化的统计为:

[0101]

$$\sum_{i \in N} \left| \int_{(k+i+n-1)T}^{(k+i+n)T} [(r(\tau) - s^0(\tau - (k+i+n-1)T))^2 - (r(\tau) - s^1(\tau - (k+i+n-1)T))^2] d\tau \right|$$

[0102] 还在这种情况下, 为了获得软判决 LPOS 字同步化算法的有效和健壮的实现, 可以有利地通过和近似统计中的积分, 并且可以舍弃该和中的不重要项。得到的被最小化的统计从而由下式给出:

[0103]
$$\sum_{i \in N} \left| \sum_{j \in J'} [(\tilde{r}_j - \tilde{s}_j^0)^2 - (\tilde{r}_j - \tilde{s}_j^1)^2] \right|$$

[0104] 现在参照图 5- 图 9 描述基于前面的分析的字同步化装置的优选实施例。图 5 的框图示出供图 2 带驱动器中的伺服控制器 8 使用的字同步装置 10 的一般形式。装置 10 包含软输出检测器 11 和同步字检测器 12。软输出检测器 11 包含信号采样产生器 13 和软输出产生器 14。简言之, 信号采样产生器 13 从伺服读取器 5 (图 2) 接收连续时间读取信号 r , 并且产生与各编码 LPOS 位周期 T 对应的一组内插信号采样 \tilde{r}_j 。软输出产生器 14 处理内插采样 \tilde{r}_j 以产生与编码 LPOS 位对应的软输出采样 u_k 。一系列的软输出采样 $\dots u_{k-1}, u_k, u_{k+1}, \dots$ 被供给到如后面详细描述的那样操作的同步字检测器 12 以检测采样流中的同步字, 从而当检测到同步字时输出帧同步指示符信号。

[0105] 在图 6 中更详细地示出用作图 5 中的检测器 11 的软输出检测器的优选实施例。本实施例的软输出检测器 11a 包含信号采样产生器 13 和在图中详细示出其结构的软输出产生器 14a。信号采样产生器 13 包含采样器 (A/D) 15、脉冲串内插器 16 和定时基础产生电路 17。在操作中, 采样器 15 以固定的采样频率对读取信号 r 进行采样, 并且, 得到的采样被供给到脉冲串内插器 16。脉冲串内插器操作以在伺服图案读取信号中内插伺服帧脉冲串的固定频率采样以产生与由定时基础电路 17 确定的定时对应的信号采样 \tilde{r}_j 。确定这些定时, 使得对于带的单位长度以固定的速率产生采样 \tilde{r}_j 。可如在我们的美国专利 No. 7, 245, 450 和

前面给出的 Cherubini 等人的文献中详细描述的那样实现脉冲串内插器 16 和定时基础电路 17。关键点是,在与带速度无关的预定的固定速率上获得采样 \tilde{r}_j , 鉴于单位带长度的采样而规定该速率。内插器输出上的伺服信道信号的分辨率由此由作为内插器输出上的采样之间的最小距离的阶梯内插距离 Δx 确定。可在斜坡上升、斜坡下降中以及对于直至最大速度 v_{max} 的任何恒定带速度实现可靠的 LPOS 检测。假定采样器 15 的输入上的 PPM 伺服信号的一侧带宽为非调制伺服信号的谱带的主瓣的宽度的两倍, 即, $W = 2v_{max}/L_p$, 其中, L_p 是磁化的转变之间的最小距离, 采样定理提供采样器 15 的采样速率 f_s 上的近似下界为:

$$[0106] \quad f_s \geq 2W = \frac{4v_{max}}{L_p}$$

[0107] 采样速率 f_s 的这种选择使得混叠效应 (aliasing effect) 可忽略不计。因此, 脉冲串内插器 16 的输出上的阶梯内插距离 Δx 上的近似上界为 $\Delta x \leq L_p/4$ 。例如, 对于在 LTO 中规定的 $L_p = 2.1 \mu m$, 阶梯内插距离由 $\Delta x \leq 0.525 \mu m$ 界定。

[0108] 得到的一组内插信号采样 \tilde{r}_j 被供给到软输出产生器 14a。它包含如图所示的那样连接的乘法器 18a、18b 和求和电路 19a、19b 和 20。在操作中, 内插采样 \tilde{r}_j 被供给到两个乘法器 18a、18b 的第一输入。乘法器 18a、18b 的其它输入分别接收代表在伺服图案中编码的位值 0 和 1 的 PPM 编码信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$ 的采样 \tilde{s}_j^0 和 \tilde{s}_j^1 。在与相应的内插采样 \tilde{r}_j 的那些对应的采样定时上取一组采样 \tilde{s}_j^0 和 \tilde{s}_j^1 , 并且, 可事先对于已知的基准信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$ 产生它们。随着采样 \tilde{r}_j 通过乘法器 18a、18b 被计时, 乘法输出被供给到各求和电路 19a、19b。它们将索引的集合 J 上的输入求和, $j \in J$ 。在每 J 个输入之后, 复位信号将来自电路 19a、19b 的当前和值计时到求和电路 20, 并将和值复位为零。电路 20 从求和电路 19b 的输出减去求和电路 19a 的输出, 以产生当前软输出采样 u_k 。

[0109] 可以看出, 本实施例的软输出产生器 14a 处理信号 $r_{j \in J}$ 以产生以下形式的软输出采样 u_k :

$$[0110] \quad u_k \propto \sum \tilde{r}_j (\tilde{s}_j^0 - \tilde{s}_j^1)$$

[0111] 其中, 比例常数在这种情况下是统一的。在实施例的进一步的简化中, 如前面给出的分析讨论的那样, 可以仅在最重要项上, 即在索引集合 J 的子集 J' 上取电路 19a 和 19b 中的和。例如, 对于由 $|J| = 2000 = 200 \mu m / 100 nm$ 给出的集合 J 的尺寸的典型值, 其中, 假定 $\Delta x = 100 nm$ 的阶梯内插距离和 $200 \mu m$ 的伺服帧长度, 那么可仅在 $|J'| = 16$ 项的子集 J' 上取得和。这是由于, 每个双位响应 (与伺服条带对应的回读伺服信号) 可由 4 个采样 (双位响应中的正脉冲的 2 个采样, 双位响应中的负脉冲的 2 个采样) 表示, 因此, 只能使用和中的 16 个项以表征其在伺服帧内的位置被调制的四个双位 (与每个伺服帧的 4 个 PPM 调制伺服条带对应的回读伺服信号) (参见图 4)。因此, 可以看出, 检测器 14a 的软输出 u_k 按缩放比例因子近似在前面的分析中讨论的 1 型软输出 x_k 。

[0112] 在图 7 中示出用于图 5 装置中的软输出检测器的替代性优选实施例。本实施例的软输出检测器 11b 包含以上对于图 6 描述的信号采样产生器 13 和替代性软输出产生器 14b。软输出产生器 14b 包含与产生器 14a 类似的部件, 并且, 这里只讨论关键的不同。特别地, 在产生器 14b 中, 乘法器 18a、18b 由后面跟随有所示的平方电路 23a、23b 的加法器

22a、22b 替代。对于各内插输入采样 \tilde{r}_j ，平方电路 23a 的输出为 $(\tilde{r}_j - \tilde{s}_j^0)^2$ 。类似地，平方电路 23b 的输出为 $(\tilde{r}_j - \tilde{s}_j^1)^2$ 。通过求和电路 24a、24b 在索引的集合 J 上将这些输出求和，并且，得到的和被供给到求和电路 25 的各输入。这从上输入减去下输入以产生软输出采样 u_k 。

[0113] 可以看出，该软输出产生器 14b 处理信号 $r_{j \in J}$ 以产生以下形式的软输出采样 u_k ：

[0114]

$$u \propto \sum [(\tilde{r}_j - \tilde{s}_j^0)^2 - (\tilde{r}_j - \tilde{s}_j^1)^2]$$

[0115] 其中，比例常数是统一的。但是，如上所述，可以仅在 J' 个最重要项上取得电路 24a 和 24b 中的和。因此，可以看出，检测器 14b 的软输出 u_k 按缩放比例因子近似在前面的分析中讨论的 2 型软输出 y_k 。

[0116] 图 8 表示用于图 5 装置中的同步字检测器的第一实施例。如图所示，本实施例的检测器 12a 具有七个延迟元件 D，其具有与各乘法器连接的输入 / 输出。如上面描述的那样由软输出检测器 11 产生的一系列的软输出采样 u_k 通过延迟元件被计时，使得八个采样的滑动块被供给到乘法器输入。这些乘法器的其它输入接收所示的已知的同步位 p_0, p_1, \dots, p_7 （其中， $p_0 = 1$ 并且，对于 $i = 1, \dots, 7$ ， $p_i = -1$ ）。各乘法器的输出由此是表示当前块的八个软采样中的一个和相应的同步位之间的相关性的位相关值。各位相关值被供给到各加法器的一个输入。相关的软采样值的预定函数 h 被供给到从位相关值减去函数的各加法器的另一输入。然后，得到的来自所有八个加法器的值在加法器 30 中被求和，以为软输出采样流中的当前块位产生块相关值 R_k 。块相关值 R_k 被输出到最大相关检测器 31。它用来自软输出检测器的 $(N+L-1) = 36+8-1 = 43$ 采样序列中的最大块相关值 R_k 检测块位置。即，在值 R_k 最大的 $N = 36$ 块位置的序列中，相关检测器识别位置 $n = 1, 0 \leq n < N = 36$ 。相关检测器 31 的输出是表示所识别的 1 的值的帧同步信号。

[0117] 在字同步检测器的本实施例中，预定的函数 $h(u_k)$ 由下式给出：

[0118]

$$h(u_k) = \frac{\sqrt{E_s(1-\varphi)/2}}{SNR} \ln \left(\cosh \left(\frac{SNR}{\sqrt{E_s(1-\varphi)/2}} u_k \right) \right)$$

[0119] 其中， E_s 、 φ 、SNR 在前面的分析中被规定。因此， E_s 是 PPM 编码信号 $s^0(t)$ 和 $s^1(t)$ 的能量。

[0120]

$$\varphi = \frac{1}{E_s} \int_0^T s^0(t) s^1(t) dt$$

[0121] 并且，信号噪声比 SNR 为：

[0122]

$$SNR = \frac{E_s(1-\varphi)}{N_0}$$

[0123] 其中， N_0 是伺服信道中的噪声过程的一侧谱密度。可以看出，字同步检测器 12a 的效果是要表示软输出采样流中使以下的统计最大化的位置上的帧同步化的获取：

$$[0124] R_k = \sum_{i=0}^7 p_i u_{k+i+n} - \sum_{i=0}^7 h(u_{k+i+n})$$

[0125] 在字同步检测器 12 的优选实施例中, 预定的函数 h 被简化, 并且特别地与伺服信道中的 SNR 无关。在图 9 中示出优选的字同步检测器 12b。这一般与图 8 对应, 因此, 类似的要素被标出, 并且, 这里只描述关键的不同。特别地, 函数 $h(u_k)$ 是软输出采样值 $|h(u_k)|$ 的模数。因此, 在本实施例中, 在软输出采样流中使以下的统计最大化的位置上表示帧同步化:

$$[0126] R_k = \sum_{i=0}^7 p_i u_{k+i+n} - \sum_{i=0}^7 |h(u_{k+i+n})|$$

[0127] 上述的基于连续时间 PPM 编码 LTO 伺服信号的软输出检测的字同步化装置为带驱动器中的字同步化系统提供了简单、有效和健壮的实现。并且, 模拟结果表示提出的装置大大地优于常规的 LPOS 字同步化技术。特别地, 为了评估与常规的方法比较的健壮性, 在存在加性高斯白噪声的情况下模拟了产生用于 LPOS 检测的软判决的伺服信道。图 10 示出理想的定时恢复的结果。可通过使用图 1 所示的硬 LPOS 判决和 US 7, 245, 450 的常规的硬判决 LPOS 字同步化系统获得与常规的硬判决相关器对应的曲线。通过使用图 6 的软输出检测器和图 9 的同步字检测器获得软判决相关器的曲线。结果表明: 对于同步检测误差率 10^{-2} , 使用本发明的字同步装置比常规硬判决系统健壮约 9dB。注意, 在更低的同步检测误差率下, 由使用本发明的字同步装置提供的增益比 9dB 大。并且, 图 11 示出实际的非理想定时恢复方案的模拟结果。由于在情况下观察不到帧同步误差, 因此未看到与使用本发明的字同步装置对应的曲线。

[0128] 当然, 可以理解, 可以在不背离本发明的范围的情况下对于示例性实施例提出许多的变化和修改。例如, 虽然具体参照 LTO 伺服图案描述了本发明的操作, 但是, 本发明当然可被应用于其它的 PPM 编码伺服图案。

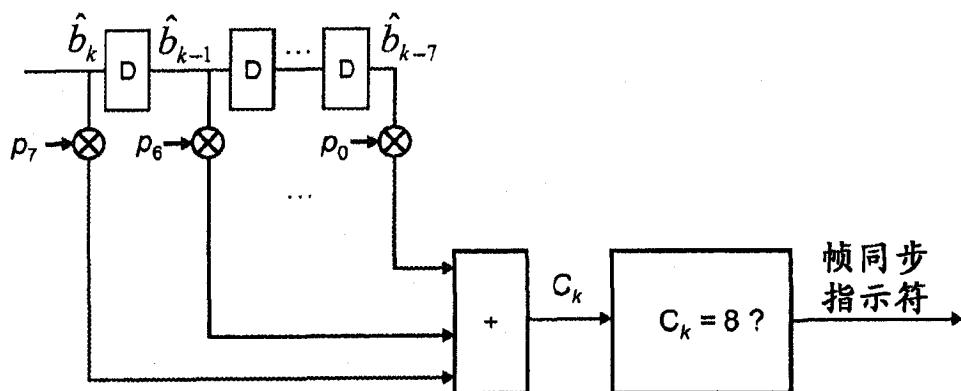


图 1

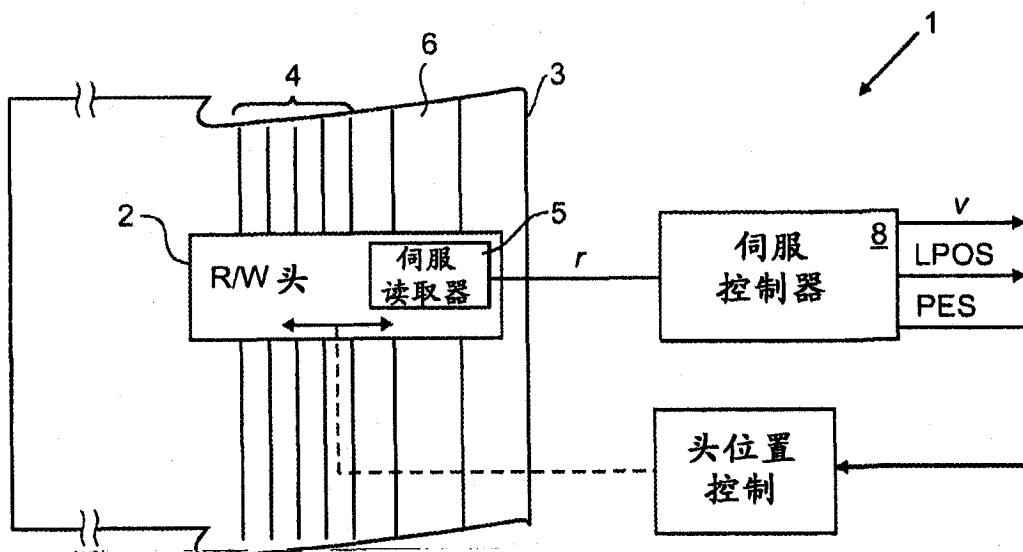


图 2

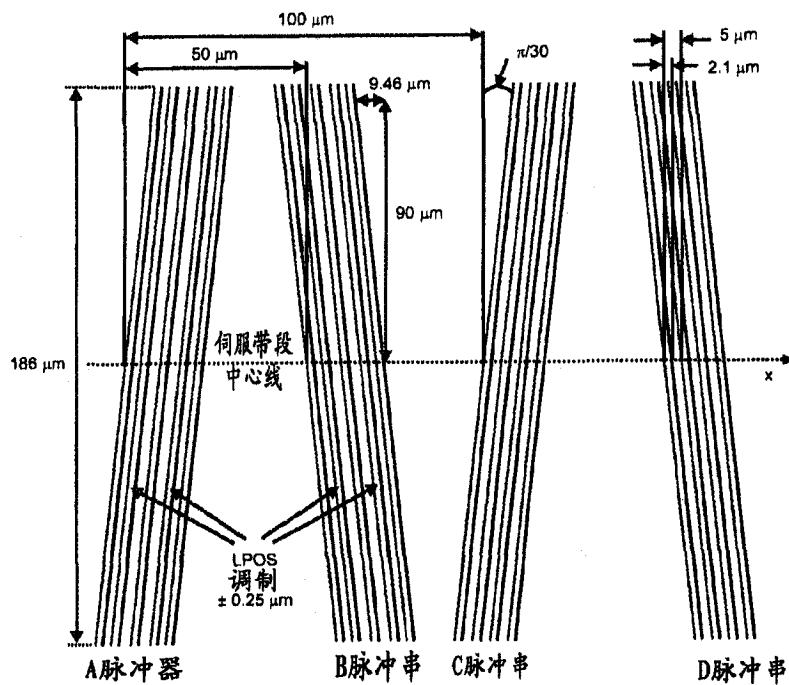


图 3

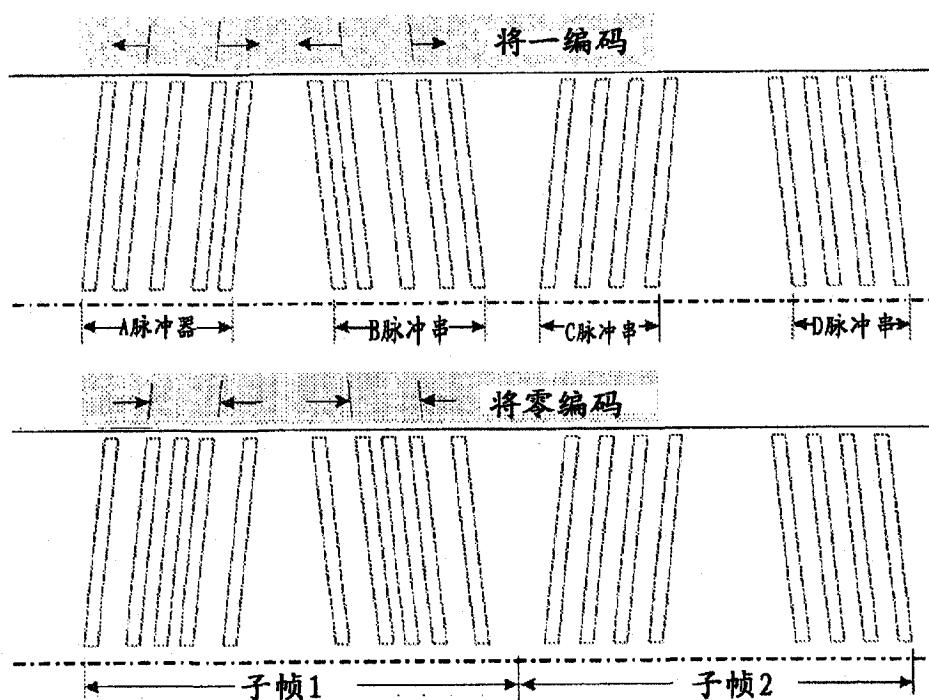


图 4

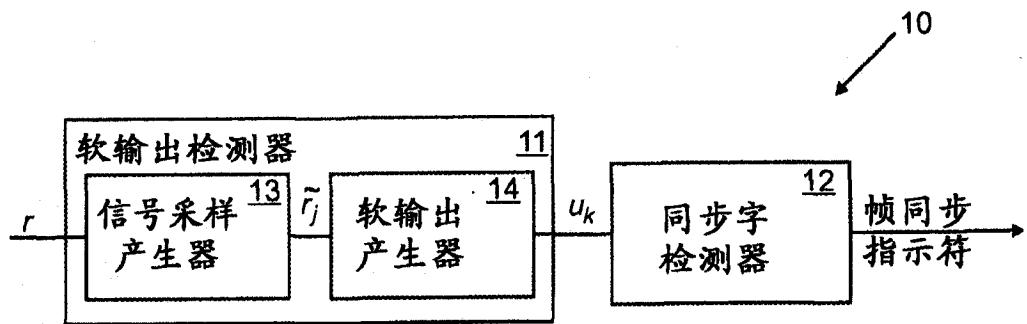


图 5

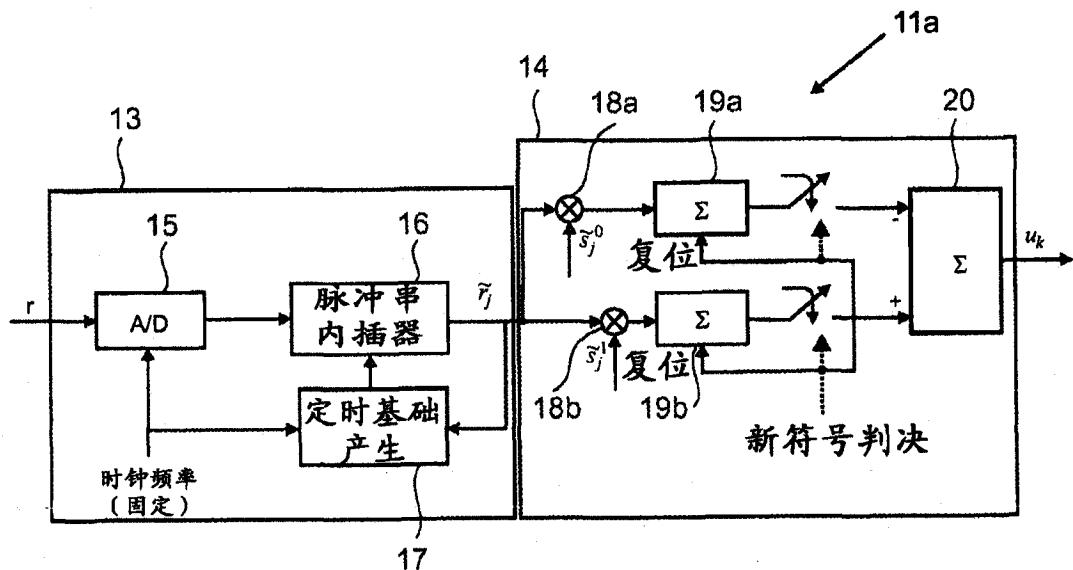


图 6

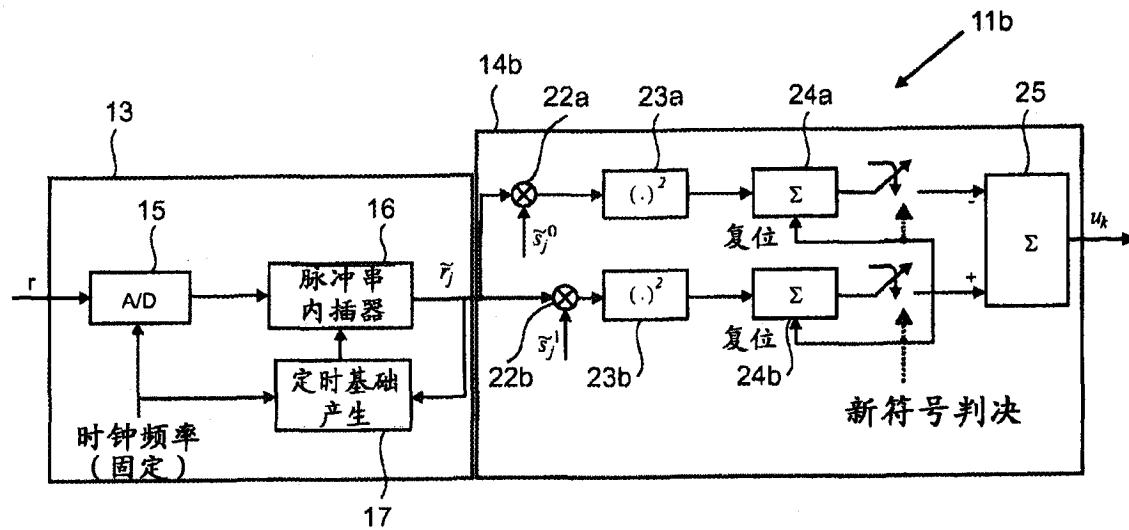


图 7

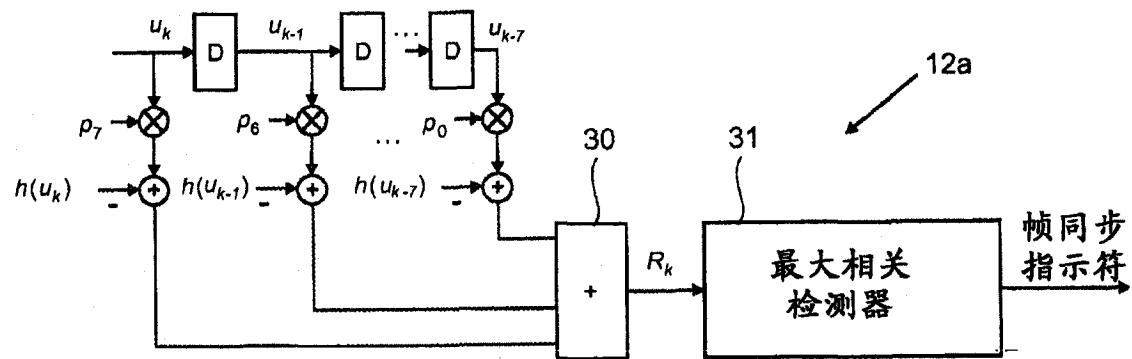


图 8

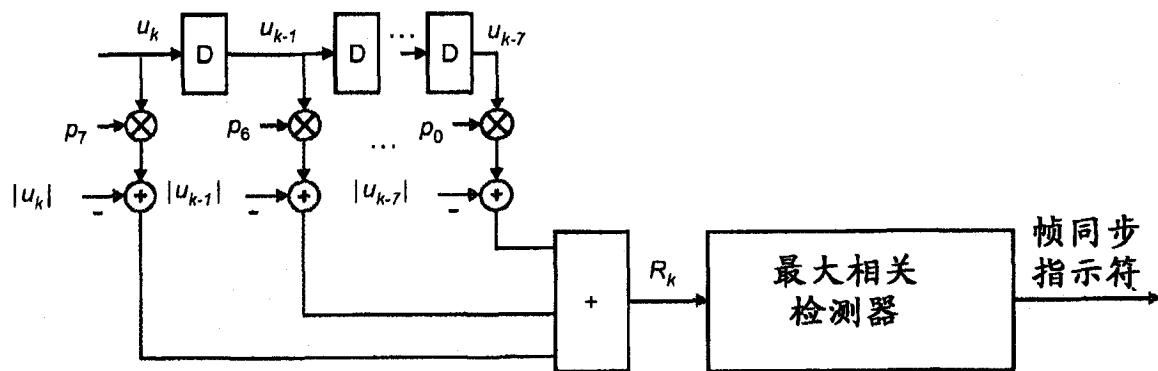


图 9

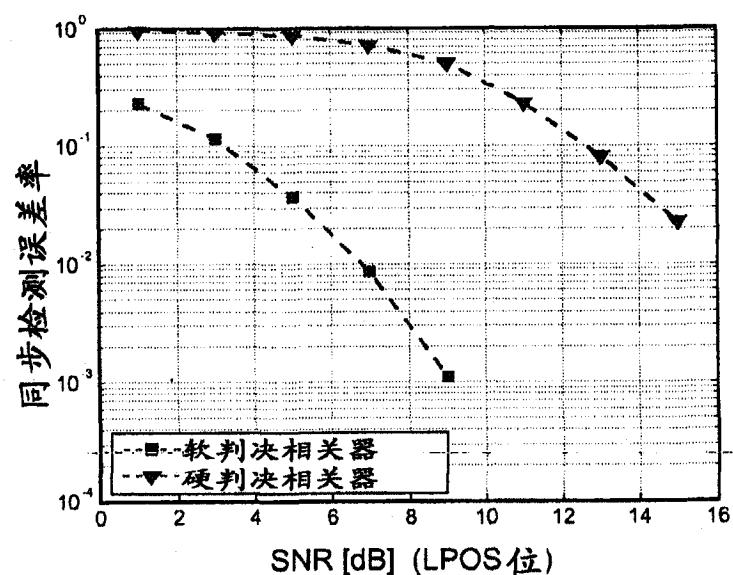


图 10

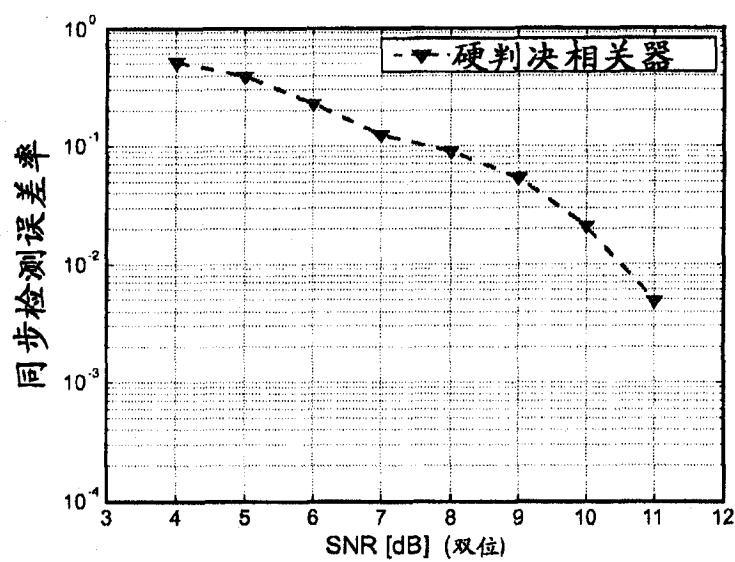


图 11