

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510125431.1

[51] Int. Cl.

G06F 7/00 (2006.01)
G11B 5/584 (2006.01)
G11B 5/09 (2006.01)
G11B 21/10 (2006.01)
G11B 20/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008年3月26日

[11] 授权公告号 CN 100377073C

[22] 申请日 2005.11.17

[21] 申请号 200510125431.1

[30] 优先权

[32] 2004.12.15 [33] US [31] 11/012,950

[73] 专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约阿芒克

[72] 发明人 南布依 兰迪·英奇 小仓英司

鹤田和弘

[56] 参考文献

CN1124399A 1996.6.12

CN1329335A 2002.1.2

US4794472A 1988.12.27

US6356803B1 2002.3.12

审查员 李迪

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 郭定辉 黄小临

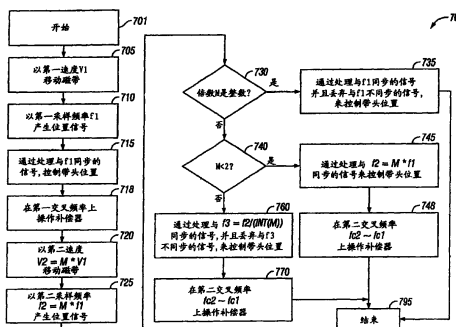
权利要求书 3 页 说明书 23 页 附图 12 页

[54] 发明名称

用于同步采样时基伺服系统的补偿器

[57] 摘要

公开一种为同步采样伺服控制系统提供补偿器的系统、方法和制造物品。一种用于操作磁带驱动器的方法，所述磁带驱动器具有基本磁带速度，用于沿着带头移动磁带并且以与基本磁带速度成比例的第一采样频率根据带头产生第一带头位置信号，所述方法包括：使用控制系统来控制带头的位置，该控制系统处理与第一采样频率同步的第一带头位置信号，所述控制系统包括在第一交叉频率上具有最大相位响应的补偿器；将与第一采样频率同步的中断信号提供到处理系统；和响应于处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，该输出值在所述第一交叉频率上产生最大相位响应。因此，本发明能够进行同步采样，进而可以紧密地跟踪磁道中心。



1. 一种用于操作磁带驱动器的方法,所述磁带驱动器具有基本磁带速度,以沿着带头移动磁带并且从所述带头以与所述基本磁带速度成比例的第一采样频率产生第一带头位置信号,所述方法包括:

使用控制系统来控制所述带头的位置,该控制系统用于处理与所述第一采样频率同步的所述第一带头位置信号,所述控制系统包括在第一交叉频率上具有最大相位响应的补偿器;

将与所述第一采样频率同步的中断信号提供到处理系统; 以及

响应于所述处理系统接收所述中断信号,所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 该输出值在所述第一交叉频率上产生所述最大相位响应。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 还包括:

使用数字滤波器来产生所述输出值 $h(k)$, 其中, $h(k) = \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$, $X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1)$, N 大于零, $g(k)$ 与所述第一带头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, 而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中 $N=4$ 。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 还包括:

使用数字滤波器来产生所述输出值 $h(k)$, 其中, $h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$, N 大于零, $g(k)$ 与所述第一带头位置信号成比例, $g(k-n)$ 等于 $g(k)$ 的第 n 个之前值, 而数字滤波器系数 C_n 为常量。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其中,使用基于伺服系统的定时来完成所述产生所述带头位置信号。

6. 一种系统, 包括:

磁带传送系统, 被配置来沿着带头以基本磁带速度移动磁带;

控制系统, 被配置来控制所述带头的位置, 包括:

伺服信号处理器, 被配置来从所述带头以与所述基本磁带速度成比例的第一采样频率产生第一带头位置信号, 并且将所述第一带头位置信号和与所述第一采样频率同步的中断信号提供给处理系统; 并且

其中所述处理系统被配置来:

响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，该输出值在所述第一交叉频率上产生所述最大相位响应。

7. 如权利要求6所述的系统，其中所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，还包括：

数字滤波器，被配置来产生所述输出值 $h(k)$ ，其中，

$$h(k) = \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right], \quad X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1),$$
 N 大于零， $g(k)$ 与所述第一带头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

8. 如权利要求7所述的系统，其中 $N=4$ 。

9. 如权利要求6所述的系统，其中所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，还包括：

数字滤波器，被配置来产生所述输出值 $h(k)$ ，其中， $h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$ ， N 大于零， $g(k)$ 与所述第一带头位置信号成比例， $g(k-n)$ 等于 $g(k)$ 的第 n 个之前值，而数字滤波器系数 C_n 为常量。

10. 如权利要求6所述的系统，其中，使用基于伺服系统的定时来产生所述带头位置信号。

11. 如权利要求6所述的系统，其中，所述系统包括磁带驱动器，并且还

读/写头，用于读和写关于所述磁带的的数据；和

连接到所述读/写头的制动器，用于设置所述读/写头的位置。

12. 如权利要求6所述的系统，其中，所述系统包括用于存取数据存储介质的自动数据存储库，并且还

存取器，用于存取并移动所述数据存储介质；和

存储架，用于所述数据存储介质的存放。

13. 一种被配置来控制带头的位置的控制系统，包括：

伺服信号处理器，被配置来从带头以与基本磁带速度成比例的第一采样频率产生所述第一磁带位置信号，并且将所述第一带头位置信号和与所述第一采样频率同步的中断信号提供给处理系统；并且

其中所述处理系统被配置来：

响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，该输出值在所述第一交叉频率上产生所述最大相位响应。

14. 如权利要求 13 所述的系统, 其中所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 还包括:

数字滤波器, 被配置来产生所述输出值 $h(k)$, 其中, $h(k) = \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$, $X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1)$, N 大于零, $g(k)$ 与所述第一带头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, 而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。

15. 如权利要求 14 所述的系统, 其中 $N=4$ 。

16. 如权利要求 13 所述的系统, 其中所述处理系统提供输出值 $h(k)$, 还包括:

数字滤波器, 被配置来产生所述输出值 $h(k)$, 其中, $h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$, N 大于零, $g(k)$ 与所述第一带头位置信号成比例, $g(k-n)$ 等于 $g(k)$ 的第 n 个之前值, 而数字滤波器系数 C_n 为常量。

17. 如权利要求 13 所述的系统, 其中, 使用基于伺服系统的定时来产生所述带头位置信号。

用于同步采样时基伺服系统的补偿器

本申请涉及序号为#US 11/012,952、名为“Velocity adaptive compensator for a synchronous sampling time-base servo system”、摘要为#TUC9-2004-0193 且于同一日期提交的申请，其全部内容援引于此以供参考。

技术领域

本公开这里涉及伺服控制系统。

背景技术

在磁带存储领域中，正在积极寻求越来越高的磁道密度。典型的时基伺服系统（time-base servo system）将在固定的时间（时间=信号间距/磁带速度）提供反馈伺服信号。数字磁道跟踪伺服系统将读取该时间反馈信号，并且计算输出用补偿器控制制动器（actuator）。如等式所示，反馈信号可用的时间是磁带速度的函数。磁带速度越快，时间就越短，或者反馈信号的采样时间就可以更多。然后，使用固定采样速率设计补偿器，以便对所有不同的磁带速度使用这种相同的补偿器，补偿器不得不以固定的速率读（采样），从而将导致时基反馈信号的非同步采样（读取反馈信号时的时间与反馈信号的可用不同步）；有时设置导致漏过一个或两个可用的反馈采样信号。显然，这种非同步的采样方法将由于延迟（从信号可用的时间到使用信号的时间）而导致性能不是最佳。在大多数情况下，该延迟将给予更少的相位容限，从而不像期望的那样像跟踪中心那样紧密地跟踪磁道，结果，限制了磁道密度。一个克服该方法的方法是同步采样并且对每个操作速度切换不同的补偿器。缺点则是许多组补偿器系数和基于磁带速度的切换算法。

发明内容

本发明的一个方面提供一种用于操作磁带驱动器的方法，所述磁带驱动器具有基本磁带速度，以沿着带头移动磁带并且从所述带头以与所述基本磁带速度成比例的第一采样频率产生第一带头位置信号，所述方法包括：

使用控制系统来控制所述带头的位置，该控制系统用于处理与所述第一采样频率同步的所述第一带头位置信号，所述控制系统包括在第一交叉频率上具有最大相位响应的补偿器；

将与所述第一采样频率同步的中断信号提供到处理系统；以及
响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，该输出值在所述第一交叉频率上产生所述最大相位响应。

本发明的另一方面提供一种系统，包括：

磁带传送系统，被配置来沿着带头以基本磁带速度移动磁带；

控制系统，被配置来控制所述带头的位置，包括：

伺服信号处理器，被配置来从所述带头以与所述基本磁带速度成比例的第一采样频率产生第一带头位置信号，并且将所述第一带头位置信号和与所述第一采样频率同步的中断信号提供给处理系统；并且

其中所述处理系统被配置来：

响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，该输出值在所述第一交叉频率上产生所述最大相位响应。

本发明的再一方面提供一种被配置来控制带头的位置的控制系统，包括：

伺服信号处理器，被配置来从带头以与基本磁带速度成比例的第一采样频率产生所述第一磁带位置信号，并且将所述第一带头位置信号和与所述第一采样频率同步的中断信号提供给处理系统；并且

其中所述处理系统被配置来：

响应于所述处理系统接收所述中断信号，所述处理系统提供输出值 $h(k)$ ，该输出值在所述第一交叉频率上产生所述最大相位响应。

附图说明

图 1 是用于控制带头相对于磁带的位置的伺服控制系统的图；

图 2 是图解磁带传送系统中的磁带路径的图；

图 3 是有限脉冲响应数字滤波器的图；

图 4 是无限脉冲响应数字滤波器的图；

图 5 是伺服控制系统的转移函数的频域开环响应的曲线图；

图 6 是图解执行用于实现包括补偿器的伺服控制系统的计算的处理系统的例子图；

图 7 显示实现控制带头相对于磁带的位置的实施例的步骤的流程图；
图 8 是显示用于获取和丢弃对标准化的磁带速度的整数值的带头位置信

号的时间周期的图；

图 9 是显示用于获取和丢弃对标准化的磁带速度的非整数值的带头位置信号的时间周期的图；

图 10 是显示对不同的标准化的磁带速度值的带头位置信号的采样频率和采样周期的标准化值的图；

图 11 是显示读/写磁带驱动器的图；和

图 12 是显示自动数据存储库的图。

具体实施方式

将参照附图描述下面的实施例。尽管结合实施例进行描述，但本领域技术人员应当理解，其意在涵盖包含在由所附权利要求书限定的宗旨和范围内的替代、修改和等效物。

图 1 是用于数据存储磁带驱动器中的磁带跟踪伺服系统的伺服控制系统 100 的一部分的方框图。在美国专利 6021013 中公开了使用基于定时的伺服信号的磁道跟踪伺服系统的一个实现的描述，将其用于这里描述的实施例，其公开内容援引于此以供参考。本领域技术人员应当理解，虽然参照具有基于时间的伺服系统的磁带驱动器进行下面的详细描述，但所述的实施例并不意图限于具有基于时间的伺服系统的磁带驱动器。相反，实施例可以使用可用在具有任何类型的伺服系统的任何磁带驱动器中的光带或其他带。

参照图 1，伺服传感器和前置放大器 171 从至介质接口 172 的带头读出带头信号来产生伺服信号 150。参照图 2 可以更好的理解至介质接口 172 的带头。图 2 是图解示范性的磁盘传送系统 200 的磁盘路径的图。图 2 中所示的磁盘传送系统 200 接受包括第一带盘 (tape reel) 204 的磁带盒 (tape cartridge) 202，第一带盘 204 上缠绕一定长度的磁带 206。磁带传送系统 200 包括第二带盘 208、至少一个带头 210 和导轮 (guide roller) 212。当将磁带盒 202 插入磁带传送系统 200 中时，磁带 206 自动地在轮 212 上缠绕，穿过带头 210 并且到第二带盘 208 上。可操作耦合到盘 204 和 208 的电动机 (未示出) 以磁带速度 V 将磁带 206 拉过带头 210，其中带头 210 以公知的方式从/向磁带读/写信息。电动机也可以在快进或倒带操作中以高速度将磁带 206 从一个盘移动到另一个盘。电动机可以直接耦合到第一带盘 204 和第二带盘 208，或者在盘和电动机之间可以存在机械驱动系统。无论直接耦合还是通过

机械驱动系统耦合，耦合类型确定电动机和带盘之间的机械关系。机械驱动系统可以是例如齿轮、传送带、滑轮、联轴（clutch）等。可以随着磁带 206 在任一方向移动而发生所有磁带操作。因此，取决于磁带 206 的方向，第一带盘 204 或第二带盘 208 可以用作供带盘或卷带盘（take-up reel）。在图 2 中，盒 202 内的第一带盘 204 显示来用作供带盘，而第二带盘 208 显示来用作卷带盘。在本公开中，术语“供带盘”指的是当前作为供带盘操作的盘，而术语“卷带盘”指的是当前作为卷带盘操作的盘。此外，术语“供带电动机”和“卷带电动机”分别指的是可操作耦合到供带盘和卷带盘的电动机。图 2 中所示的磁带传送系统 200 的类型仅仅是为了说明目的，而这里所述的实施例可以采用其他类型的传送系统。

参照图 1，从伺服传感器和前置放大器 171 获得的伺服信号 150 是在头至介质接口 172 上以磁带速度 V 沿着带头（即带头 210）移动磁带（即磁带 206）的结果。由于数字采样器采样来自伺服传感器和前置放大器 171 的伺服信号 150，并且由滤波器滤波，然后提供到检波器。由数字采样器 173 可以随磁带速度变化的采样速率来采样来自伺服传感器和前置放大器 171 的伺服信号 150。由数字采样器 173 对伺服信号 150 的采样产生适于数字处理装置（例如中央处理单元或数字滤波器）处理的、伺服信号 150 的数字表示。数字滤波器 174 接收由数字采样器 173 产生的伺服信号 150 的数字表示，并且执行滤波操作来从伺服信号 150 中除去不需要的噪声，以产生滤波后的伺服信号。

图 3 显示可以用于数字滤波器 174 和/或补偿器 185（图 1）的有限脉冲响应（FIR）数字滤波器 300 的一个例子。数字滤波器 300 可以以代码、逻辑、硬件逻辑（例如集成电路芯片、可编程门阵列（PGA）、专用集成电路（ASIC）等）实现。本领域技术人员应当认识到，可以使用其他类型的数字滤波器。FIR 数字滤波器 300 具有：输入端 305，其接受采样后形式的伺服信号 150；以及输出端 330，其产生滤波后形式的伺服信号 150 到峰值检波器 175。滤波器包括一系列时延元件 Z^{-1} 306、用于乘以数字滤波器系数 C_0 、 C_2 、 C_3 、...、 C_{N-2} 和 C_{N-1} 的乘法器 310 以及加法器 320。在一个实施例中，FIR 数字滤波器 300 包括 17 分级数字滤波器使得 $N=17$ ，然而 N 可以根据使用的系统和期望的性能而变化。为了用于数字滤波器 174，通过获得每个平均伺服信号 160 的部分的 17 个相等隔开的采样来为每个磁带速度确定 17 个数字滤波器系数 C_0 、

C_2C_3 、... C_{15} 和 C_{16} ，这些采样是关于水平中心点对称的。

参照图 1，由处理元件 190 控制数字滤波器 174。处理元件 190 可以包括中央处理单元 (CPU)、另外的数字处理装置、ASIC、专用逻辑电路等或者其组合。磁带速度传感器 191 检测磁带速度并将其提供给处理元件 190。处理元件 190 将数字滤波器系数提供给数字滤波器 174，并且根据磁带速度的状态来允许或禁止数字滤波器 174。数字滤波器 174 提供滤波后形式的伺服信号 150 给峰值检波器 175。峰值检波器 175 确定在滤波后的伺服信号 150 的峰值时的位置。时基转换器 176 接收来自峰值检波器 175 的输出，并且将信号转换为带头位置信号，以输入到补偿器 185 (图 1)。在优选实施例中，来自峰值检波器 175 的输出信号在正向转变 (上升沿) 上变高，而在反向转变上变低，允许时基转换器 176 区分两个极性。如上所述，由时基转换器 176 产生带头位置信号。时基转换器 176 的功能是执行必要的计算来使得伺服控制系统的其余部分可以使用带头位置信号。时基转换器 176 可以使用晶体振荡器作为参考，来准确地测量峰值之间的时间来得到带头位置信号。时基转换器 176 将带头位置信号 195 和中断信号 193 提供给伺服控制系统 100 的剩余部件。元件 171、173、174、175、176、190 和 191 这里一起称为伺服信号处理器 192。伺服信号处理器 192 通过处理当磁带沿着带头以磁带速度 V 移动时从带头获得的信号，产生带头位置信号 195 和中断信号 193。为了系统的最佳性能，以具有在头磁带介质接口 172 从带头产生信号的时间最小的延迟、同时地提供带头位置信号 195 和中断信号 193。

比较器 178 比较带头位置信号 195 与参考信号 177，来确定头和关于限定的伺服磁道的预期位置之间的位置误差 (被称为“位置误差信号”或在线 179 上的“PES”)。可以在补偿器 185 (图 1) 中利用处理系统 (即图 6 中的处理系统 600) 实现比较器 178。带头位置信号 195 提供指示带头相对于磁带的相对横向位置的值。位置误差信号或 PES 提供指示带头相对于磁带的预期横向位置和带头相对于磁带的实际横向位置之间的差的值。对于这里的公开，带头相对于磁带的横向位置意思是，在与磁带传送系统 200 的磁带移动垂直的方向上带头相对于磁带的位置。

使用复合传动器来相对于磁带定位带头 (如带头 210)。在名为“Servo Control of a Coarse Actuator”的美国专利 6587303 中描述了磁带驱动器中使用复合传动器的例子，其内容援引于此以供参考。在典型的复合传动器中，精

传动器 180 跟踪如 PES 所确定的磁道定向扰动 (track guiding disturbance), 来将带头的数据头定位在数据磁道的中心。在特定实施例中, 精传动器 180 具有相对较小的质量 (mass), 产生宽的带宽响应, 从而能够跟踪高频扰动。在特定实施例中, 精传动器 180 可以具有很有限的行程 (travel) 范围以便提供高带宽。在特定实施例中, 粗传动器 182 根据寻道功能逐磁道地传送精传动器。精传动器伺服系统典型地在位置误差信号环中具有补偿器功能 185 (图 1), 其设计来在具有足够的稳定性容限的同时允许最大的带宽。

在特定实施例中, 补偿器功能 185 (图 1) 通过施加可变增益到 PES 信号来改变 PES 信号, 该增益是基于输入 PES 信号 179 的频率的, 或者从另一个角度看, 是基于输入 PES 信号的变化速率的。在特定实施例中, 补偿器功能 185 包括积分器和均衡器 187 以及其他转换功能元件 (例如超前/滞后功能元件 186), 来达到预期的静态和动态系统性能和整体稳定性。补偿器 185 中的任何或所有转换功能元件可以实现为滤波器, 采用分立部件 (discrete component) 的模拟滤波器或者诸如 IIR (无限脉冲响应) 或 FIR (有限脉冲响应) 的数字滤波器, 或者使得微处理器执行功能的微代码。这在连接 103 上产生积分函数信号, 而施加到 PES 的超前/滞后增益在线 110 上产生信号。由加法器 105 相加信号, 如果信号是数字的, 则被提供到数模转换器 106。功率放大器 107 然后将信号施加到精传动器 180, 以减少所确定的位置误差的方式操作精传动器来移动 (translate) 头。或者, 可以采用数字驱动器来操作精传动器 180。结果是, 伺服控制器使用位置误差信号, 通过控制粗传动器 182 和/或精传动器 180 来控制带头相对于磁带的位置。在特定实施例中, 伺服控制系统 100 从带头位置信号 195 得出 PES, 并且伺服控制系统 100 使用 PES 来控制带头相对于磁带的位置。

在特定实施例中, 补偿器 185 可以通过图 3 中所示的、上述的有线脉冲响应 (FIR) 数字滤波器 300 来实现。为了确定数字滤波器系数 C_0 、 C_2C_3 、...、 C_{N-2} 和 C_{N-1} , 根据磁道跟踪误差、伺服带宽等的规范设计整个系统。从设计要求中得到用于补偿器 185 的频域传递函数 $H(s)$ 。可以将补偿器 185 的频域传递函数变换到时域以获得补偿器 185 的脉冲响应 $H(t)$ 。可以通过 $H(t)$ 在 N 个相等间隔的采样点上的采样脉冲响应确定数字滤波器系数 C_0 、 C_2C_3 、... C_{N-2} 和 C_{N-1} , 其中, N 是使用的数字滤波器的阶数。输出 $h(k)$ 330 是输入 $g(k)$ 乘以延迟元件 (如 Z^{-1} 306) 和数字滤波器系数 C_0 、 C_2C_3 、... C_{N-2}

和 C_{N-1} 常数 (如元件 310) 之和, 获得: $h(k) = G1 \left[\sum_{n=0}^N C_n g(k-n) \right]$, 其中 N 是滤波器的阶数。例如, 对于 4 阶滤波器 ($N=4$), 获得: $h(k) = G1 [C_0 g(k) + C_1 g(k-1) + C_2 g(k-2) + C_3 g(k-3) + C_4 g(k-4)]$ 。 $G1$ 是增益系数, 用于调节伺服控制系统 100 来通过适当的交叉频率达到期望的带宽。

在特定实施例中, 补偿器 185 可以通过无限脉冲响应 (IIR) 数字滤波器 (例如图 4 中所示的 IIR 数字滤波器 400) 实现。数字滤波器 400 处理输入 $g(k)$ 405 来产生输出 $h(k)$ 450。数字滤波器 400 的 z 域传递函数 $T(z)$ 可以写为部分分式展开式之和, $T(z) = \frac{h(z)}{g(z)} = G1 \left[D1 + \sum_{n=1}^N \frac{A_n}{(z-B_n)} \right]$, 其中 N 是滤波器的阶数。例如, 对于 2 阶滤波器 ($N=2$), 获得: $T(z) = G1 \left[D1 + \frac{A_1}{z-B_1} + \frac{A_2}{z-B_2} \right]$ 。

输出 $h(k)$ 450 是各个处理元件 (即元件 460) 之和, $h(k) = G1 [D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k)]$, 其中, $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$, N 为滤波器的阶数。例如, 对于 2 阶滤波器 ($N=2$), 有 $h(k) = G1 [D1(g(k)) + A_1 g(k-1) + A_2 g(k-1)] + B_1 X_1(k-1) + B_2 X_2(k-1)$ 。

在特定实施例中, 通过根据系统规范设计的补偿器 185 来确定数字滤波器系数的常数 $D1$ 、 $A1$ 、 $A2$ 、...、 A_n 、 $B1$ 、 $B2$ 、...、 B_n 和增益系数 $G1$ 。例如, 在图 5 中示出伺服控制系统三个不同的开环传递函数 500 的曲线图, 其用来控制带头相对于磁带的位置。开环传递函数 500 是可以设计补偿器来确定的例子, 用来以给定的传动器 (即粗传动器 182 和/或精传动器 180) 和指定的采样速率在三个不同的交叉频率上获得稳定性。曲线 501、502 和 503 是开环传递函数 500 的幅度响应, 交叉频率 530 指示曲线 501、502 和 503 上曲线穿过 0db 线的近似位置。曲线 511、512 和 513 是开环传递函数 500 的相位响应, 而最大相位响应 520 指示曲线 511、512 和 513 上曲线在接近各自的交叉频率上呈现极大值的近似位置。可以通过获得为实现各自的开环传递函数所必需的补偿器的各自的频域传递函数的 z 平面变换的部分分式展开式, 来确定对于任一开环传递函数 500 的数字滤波器系数 $D1$ 、 $A1$ 、 $A2$ 、...、 A_n 、 $B1$ 、 $B2$ 、...、 B_n 和增益系数 $G1$ 。在 1997 年 Farah Bates 的名为 "Modeling and simulation of a digital focusing servo control system for an optical disk tester" 的亚利桑那大学理科硕士论文中, 逐步描述了为数字控制系统设计补偿器的过程。

图 6 显示了处理系统 600 的一个例子，处理系统 600 可以用于实现补偿器 185 和伺服控制系统 100 的其他部件。处理系统 600 包括处理器 610、RAM（随机存取存储器）625、非易失性存储器 630、设备专用电路 615 和 I/O 接口 620。或者，RAM 625 和/或非易失性存储器 630 可以包含在处理器 610 中，设备专用电路 615 和 I/O 接口 620 也是一样。处理器 610 可以包括非定制处理器、定制处理器、FPGA（现场可编程门阵列）、ASIC（专用集成电路）、离散逻辑等。RAM（随机存取存储器）625 典型地用于保持变量数据、堆栈数据、可执行的指令等。非易失性存储器 630 可以包括任何类型的非易失性存储器，例如 PROM（可编程只读存储器）、EEPROM（电可擦可编程只读存储器）、闪速 PROM、电池备用 RAM、MRAM（磁阻随机存取存储器）、基于 MEMS（微电子机械系统）的存储器、硬盘驱动器等。非易失性存储器 630 典型地用于保持可执行的固件和任何非易失性数据。I/O 接口 620 包括允许处理器 610 与控制器外部的设备通信的通信接口。I/O 接口 620 的例子可以包括诸如 RS-232 或 USB（通用串行总线）、SCSI（小型计算机系统接口）、光纤信道（Fiber Channel）之类的串行接口。此外，I/O 接口 620 可以包括诸如 RF 或红外之类的无线接口。设备专用电路 615 提供额外的硬件使得控制器 610 能执行独特的功能，例如盘 204、205 的盘电动机的电动机控制、额外的传动器、盒装载器（cartridge loader）、DAC 106、放大器 107 等。设备专用电路 615 可以包括例如提供脉冲宽度调制（PWM）控制、模数转换（ADC）、数模转换（DAC）等等的电路。此外，设备专用电路 615 的全部或者部分可以位于控制器 610 的外面。除了上述的功能，处理器 610 还接受带头位置信号 195 和中断信号 193 来处理以产生包含信号 103 和 110 的输出值 $h(k)$ 。

通过参照图 7 中所示的流程图 700 和图 1 中所示的伺服控制系统 100 的方框图，可以更好地理解一个实施例。在步骤 705，系统通过例如图 2 中所示的磁带传送系统 200，沿着带头（即带头 210）以第一磁带速度 V_1 移动磁带（即磁带 206）。第一磁带速度 V_1 是操作磁带驱动器的基本磁带速度，对于这里的描述，第一磁带速度 V_1 和基本磁带速度是相同的。在步骤 710，伺服信号处理器 192 以与第一磁带速度 V_1 成比例的第一采样频率 f_1 从带头产生带头位置信号。在特定实施例中，带头位置信号 195 是检测被写到磁带 206 上的、基于定时的伺服模式的结果。图 8 显示在伺服控制系统 100 的操作期间，对于各种采样频率和磁带速度的带头位置信号 195 的采样定时。当磁带

速度以第一磁带速度 V_1 移动时, 可以以第一采样频率 f_1 810、采样周期 $t_1=1/f_1$ 得到磁头位置信号 195。在步骤 715, 当以第一磁带速度 V_1 操作时, 系统使用控制系统 (即控制系统 100) 控制带头的位置, 其中控制系统处理与第一采样频率 f_1 同步的第一带头位置信号。控制系统包括在第一交叉频率 fc_1 具有最大相位响应的补偿器 (即补偿器 185)。在步骤 718, 补偿器 (即补偿器 185) 操作在第一交叉频率 fc_1 上, 以通过精传动器 180 提供对带头的控制, 从而达到系统操作规范。第一交叉频率 fc_1 可以是例如曲线 502 (图 5) 穿过 0db 线的地方 (即交叉频率 530)。在特定实施例中, 补偿器 185 利用数字滤波器系数 D_1 、 A_1 、 A_2 、...、 A_n , B_1 、 B_2 、...、 B_n 和增益系数 G_1 , 使用数字滤波器 400 提供适当的频域补偿。在其他实施例中, 补偿器 185 利用数字滤波器系数 C_0 、 C_2 、 C_3 、...、 C_{N-2} 和 C_{N-1} , 使用数字滤波器 300 提供适当的频域补偿。在其他实施例中, 补偿器 185 使用模拟滤波器提供适当的频域补偿。在特定实施例中, 增益系数 G_1 可能等于 1, 从而不再需要。在特定实施例中, 对于以基本速度操作, 补偿器 195 可以通过如下实现: 伺服信号处理器 192 将与第一采样频率同步的中断信号提供给处理系统 (即处理系统 600), 来开始计算为补偿器 185 实现数字滤波器。响应于处理系统接收中断信号, 处理系统提供在第一交叉频率产生最大相位响应的输出值 $h(k)$, 从而提供伺服控制系统 100 的稳定操作来控制带头相对于移动的磁带的横向位置。参照图 8 中所示的曲线 811 可以更好地说明这种方式的操作。曲线 811 是以第一磁带速度 $V=V_1$ (基本磁带速度) 操作的。实线上箭头表示在周期 $t_1=1/f_1$ 与第一采样频率 f_1 同步的带头位置信号。如果例如带头位置信号发生在相对于中断信号 193 的指定时间窗口和/或例如采样频率信号的周期波形特性的指定相位之内, 则认为与采样频率和/或中断信号同步的带头位置信号是同步的。处理系统 600 用来实现补偿器的同步操作提供与第一采样频率 f_1 同步的、有效的带头位置信号和来自数字滤波器 (如数字滤波器 300 或 400) 的、用于提供补偿器的传递函数的实际输出值 $h(k)$ 之间的最小相位延迟。例如, 一旦头带接口 172 上的带头检测到磁带上的伺服模式, 伺服信号处理器 192 就几乎瞬间产生带头位置信号 195 和中断信号 193。中断信号 193 使得系统 600 执行计算 (即数字滤波器的实现), 在几个指令循环内产生并且输出值 $h(k)$, 导致处理系统 600 产生与带头检测到的伺服模式同步的输出值。在特定实施例中, 带头位置信号 195 和中断信号 193 一起产生, 其间具有小

的时延，该时延可以覆盖范围或“时间窗口”，在该范围或“时间窗口”内认为带头位置信号 195 和中断信号 193 是实际上相互一致的。

在特定实施例中，对于以基本磁带速度的操作，处理系统通过使用数字处理器（即数字处理器 400）产生输出值 $h(k)$ 来提供输出值 $h(k)$ ， $h(k)$ 在第一交叉频率上产生最大相位响应，其中， $h(k) = \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$ ， $X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1)$ ， N 大于零， $g(k)$ 与所述第二带头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是常数。对于开环响应 500（图 5）所示的代表性采样，使用 $N=4$ ，对补偿器 185 产生 4 阶数字滤波器（即数字滤波器 400）实现。可以由伺服信号处理器 192 完成将与第一采样频率同步的中断信号 193 提供到处理系统 600 的处理元件 610，选择发送与每个带头位置信号同步的中断信号 193。处理系统 600 可以设计或编程来处理与中断信号一致的带头位置信号，例如通过要求带头位置信号 195 发生在相对于中断信号 193 的指定的时间窗口内，以认为是一致的，从而由处理系统 600 进行处理。

在特定实施例中，对于以基本磁带速度的操作，处理系统通过使用数字处理器（即数字处理器 300）产生输出值 $h(k)$ 来提供输出值 $h(k)$ ， $h(k)$ 在第一交叉频率上产生最大相位响应，其中， $h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$ ， N 大于零， $g(k)$ 与所述第二带头位置信号成比例， $g(k-n)$ 等于 $g(k)$ 的第 n 个前值，而数字滤波器系数 C_n 是常数。对于开环响应 500（图 5）所示的代表性采样，使用 $N=17$ ，对补偿器 185 产生 17 阶数字滤波器（即数字滤波器 300）实现。可以由伺服信号处理器 192 完成将与第一采样频率同步的中断信号 193 提供到处理系统 600 的处理元件 610，选择发送与每个带头位置信号同步的中断信号 193。处理系统 600 可以设计或编程来处理与中断信号一致的带头位置信号，例如通过要求带头位置信号 195 发生在相对于中断信号 193 的指定的时间窗口内，以认为是一致的，从而由处理系统 600 进行处理。

在步骤 720，磁带传送以第二磁带速度移动磁带，第二磁带速度是基本磁带速度的倍数。可以由例如磁带传送系统 200 将磁带速度改变为第一磁带速度的 M 倍：第二磁带速度（即从 $V1$ 到 $V2$ ，其中 $V2=M*V1$ ）。改变磁带速度可以是对磁带传送系统 200 的命令的结果，以便增加或降低磁带速度来适应对磁带 206 不同的读/写数据速率，或者是为了其他系统操作要求。尽管

参照磁带速度在值范围内的变化描述本实施例的操作，但利用本公开的本领域技术人员应当明白，通过将各个频率、速度等适当缩放（scale）到更大的值范围，也可以适应磁带速度更大的变化。

在步骤 725，伺服信号处理器 192 以第二采样频率 f_2 从带头产生第二带头位置信号， f_2 与第一采样频率 f_1 的 M 倍成比例。例如，可能需要以等于 $2 \cdot V_1$ 的磁带速度 V_2 操作磁带传送系统 200。如果 $M = 2$ ，则带头位置信号 195 可以以第二采样频率 f_2 得到，其中 $f_2 = 2 \cdot f_1$ 。

在步骤 730，倍数 M 的值确定伺服控制系统 100 操作的方式。响应于大于 1 的整数倍数 M ，控制转到步骤 735。在步骤 735，伺服控制系统 100 操作通过处理与第一采样频率 f_1 同步的第二带头位置信号，并且丢弃与第一采样频率 f_1 不同步的第二带头位置信号，来控制带头 210 的位置。可以参照图 8 中所示的曲线 821 更好地说明这种操作方式。曲线 821 是操作在第二磁带速度 $V_2 = 2 \cdot V_1$ 下，获得 M 等于整数值 2。实线上箭头表示在周期 $t_1 = 1/f_1$ 与第一采样频率 f_1 同步的第二带头位置信号。如果例如带头信号发生在相对于中断信号 193 的指定时间窗口和/或例如采样频率信号的周期波形特性的指定相位之内，则认为带头位置信号与采样频率和/或中断信号是同步的。参照图 8 和图 9 可以最好地理解本公开中所使用的同步，其中带头位置信号 195 的丢弃的采样 820 不是同步的，而带头位置信号 195 的伺服采样（用实线上箭头示出并且标有“伺服采样”）与指定的采样频率同步。带头位置信号 195 的丢弃的采样 820 由虚线上箭头表示，由于在这些采样时间上有效的第二带头位置信号与第一采样频率 f_1 不同步而被丢弃。对于 $M=2$ ，每隔一个丢弃带头位置信号，只留下在第一采样频率 f_1 上的带头位置信号用于伺服控制系统 100（图 1）。在操作中，可以由例如处理器 610（图 6）丢弃带头位置信号 195 的采样，处理器具有指令、软件、硬件编码、逻辑配置或其他装置，用于在接收到中断信号（例如来自伺服信号处理器 192 的中断信号 193）时，根据中断信号 193、带头位置信号 195、磁带速度和带头位置信号 195 的采样频率之间的定时关系来丢弃带头位置信号。例如，处理器 610 可以执行取决于接收到的中断信号 193 的频率的指令。对于中断信号 193 的给定频率范围，可以执行丢弃所选数量的带头位置信号 195 的分支指令。随着中断信号 193 的给定频率范围改变，丢弃所选数量的带头位置信号 195 的分支指令也可以改变，以覆盖更宽的范围。对于 $M=2$ ，以第二采样频率 $f_2 = 2 \cdot f_1$ 产生带头位置

信号 195。通过每隔一个采样丢弃带头位置信号 195，补偿器可以以第一交叉频率 $fc1$ （即图 5 的曲线 502 和曲线 512）操作。任何整数值的倍数 M ，可以通过从步骤 730 到步骤 735 的分支产生类似的操作。例如，曲线 826（图 8）是以第二磁带速度 $V2=3*V1$ 的操作的，倍数 M 等于整数值 3。实线上箭头表示在周期 $t1=1/f1$ 与第一采样频率 $f1$ 同步的第二带头位置信号。带头位置信号 195 的丢弃的采样 825 由虚线上箭头表示，由于在这些采样时间上有效的第二带头位置信号与第一采样频率 $f1$ 不同步而被丢弃。对于 $M=3$ ，在三个带头位置信号中丢弃两个，留下在采样频率 $f1$ 上的带头位置信号用于伺服控制系统 100。在操作中，例如可以由上面所述的用于 $M=2$ 的处理器 610（图 6）来丢弃带头位置信号 195 的采样。对于 $M=3$ ，以第二采样频率 $f2=3*f1$ 产生带头位置信号 195。通过每隔一个采样丢弃带头位置信号 195，补偿器可以在第一交叉频率 $fc1$ （即图 5 的曲线 502 和曲线 503）上操作。曲线 831（图 8）显示了另一个整数值 M 的操作的例子，用于以第二磁带速度 $V2=4*V1$ 的操作，得到 M 等于整数值 4。实线上箭头表示在周期 $t1=1/f1$ 与第一采样频率 $f1$ 同步的第二带头位置信号。带头位置信号 195 的丢弃的采样 830 由虚线上箭头表示，由于在这些采样时间上有效的第二带头位置信号与第一采样频率 $f1$ 不同步而被丢弃。对于 $M=4$ ，在四个带头位置信号中丢弃三个，留下在采样频率 $f1$ 上的带头位置信号用于伺服控制系统 100。在操作中，可以由上面所述的用于 $M=2$ 的处理器 610（图 6）来丢弃带头位置信号 195 的采样。对于 $M=4$ ，以第二采样频率 $f2=4*f1$ 产生带头位置信号 195。通过在带头位置信号 195 的四个采样中丢弃三个，补偿器可以以第一交叉频率 $fc1$ （即图 5 的曲线 502 和曲线 512）上操作。

在特定实施例中，伺服控制系统 100 通过提供与第一采样频率同步的中断信号 193 给处理系统 600，来处理与第一采样频率 $f1$ 同步的第二带头位置信号，并且丢弃与第一采样频率不同步的第二带头位置信号。响应于处理系统 600 接收中断信号 193，处理系统 600 提供输出值 $h(k)$ ，
$$h(k) = G1 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$$
，其中， $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$ ， N 是滤波器的阶数， $N>1$ ， $g(k)$ 与第二带头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值，而 $D1$ 、 A_n 、 B_n 是数字滤波器系数的常数，而 $G1$ 是增益系数。对于开环响应 500（图 5）所示的代表性采样，使用 $N=4$ ，对补偿器 185 产

生 4 阶数字滤波器（即数字滤波器 400）实现。可以由伺服信号处理器 192 完成将与第一采样频率同步的中断信号 193 提供到处理系统 600 的处理元件 610，选择发送与每隔一个带头位置信号（例如对 $M=2$ ）同步的中断信号 193，从而每隔一个丢弃带头位置信号（图 8 的曲线 821），留下在采样频率 f_1 上的带头位置信号用于伺服控制系统 100。处理系统 600 可以设计或编程来只处理与中断信号一致的带头位置信号，例如通过要求带头位置信号 195 发生在相对于中断信号 193 指定的时间窗口内，以认为是一致的，从而由处理系统 600 进行处理。或者，可以在将带头位置信号 195 的采样送到伺服信号处理器 192 中的处理器 610（图 6）之前丢弃它们，其中处理器 610 具有指令、软件、硬件编码、逻辑配置或其他装置。这可以不受限制地用于其他值 M 。每个值 k 表示从处理系统 600 的输入 $g(k)$ 产生输出 $h(k)$ 的间隔。例如，第一输出 $h(1)$ （即 $k=1$ ）可以由处理系统 600 在接收到第一个中断信号 193 和带头位置信号 195 时产生。下一个输出值 $h(2)$ （即 $k=2$ ）可以由处理系统 600 在接收到下一个中断信号 193 和下一个带头位置信号 195 时产生，等等。所有输出 $h(k)$ 一起产生连续信号（可能利用使用 D/A 转换器和低通滤波器的后续处理）来控制带头的位置。

如果在步骤 730，倍数 M 的值不是整数，则执行步骤 740。响应于倍数 M 不是整数且小于 2，执行步骤 745。在步骤 745，伺服控制系统 100 通过处理与第二采样频率 f 同步的第二带头位置信号，来控制带头的位置，其中 $f_2=M*f_1$ 。参照图 9 中所示的曲线 911 可以更好地理解这种操作方式。曲线 911 是以第二磁带速度 $V_2=M*V_1$ 操作的，其中 $M<2$ 且不是整数。对于小于 1 的倍数值 M ，曲线 911 可以使用 $t_2=1/f_2>1/f_1$ 。实线上箭头表示在周期 $t_2=1/f_2$ 与第二采样频率 f_2 同步的第二带头位置信号，其中 $0<f_2<2*f_1$ 。对于曲线 911，不丢弃带头位置信号 195 的采样，从而在采样频率 f_2 上的带头位置信号用于伺服控制系统 100。在操作中，可以由例如处理器 610（图 6）选择带头位置信号 195 的采样，处理器具有指令、软件、硬件编码、逻辑配置或其他装置，用于在接收到中断信号（例如来自伺服信号处理器 192 的中断信号 193）时，根据中断信号 193、带头位置信号 195、磁带速度和带头位置信号 195 的采样频率之间的定时关系来接受带头位置信号。执行步骤 745 之后，执行步骤 748。在步骤 748，修改补偿器 185 以在近似等于第一交叉频率 f_{c1} 的 M 倍的频率 f_p 上具有最大相位响应，并且具有近似等于第一交叉频率 f_{c1} 的第二交叉频

率 fc_2 。在操作中，希望具有等于第一交叉频率 fc_1 的第二交叉频率 fc_2 ，从而不改变伺服系统的带宽，然而在实践中，部件响应（如控制带头 210 位置的传动器）的小的变化可能导致 fc_2 近似等于 fc_1 。随着 M 增加， f_p 成比例地增加，获得用于伺服控制系统 100 操作的潜在的较大带宽。为了维持 $fc_2 \approx fc_1$ ，需要改变增益系数 G_1 。例如，当倍数 $M=1$ 时，（对于基本磁带速度）在第一交叉频率 fc_1 上的操作可以由图 5 中所示的开环幅度响应曲线 501 和相位响应曲线 511 来表示。将 M 增加到大于 1 可以产生幅度响应曲线 503 和相位响应曲线 513，其具有对应增加的最大相位响应频率 f_p 和几乎没有变化的交叉频率（即 $fc_2 \approx fc_1$ ）。将 M 减少到小于 1 可以产生幅度响应曲线 502 和相位响应曲线 512，其具有对应减少的最大相位响应频率 f_p 和几乎没有变化的交叉频率（即 $fc_2 \approx fc_1$ ）。

在步骤 748，通过修改补偿器 185 以在近似等于第一交叉频率 fc_1 的 M 倍的频率上具有最大相位响应，并且具有近似等于第一交叉频率 fc_1 的第二交叉频率 fc_2 ，补偿器 185 在第二交叉频率 fc_2 上操作。这可以由伺服信号处理器 192 将与第二采样频率 f_2 同步的中断信号提供给处理系统 600 来完成。响应于处理系统 600 接收中断信号 193，处理系统 600 提供输出值 $h(k)$ ，
$$h(k) = G_2 \left[D_1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$$
，其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G_2} X_n(k-1)$ ， N 是滤波器的阶数， $N > 1$ ， $g(k)$ 与所述第二带头位置信号成比例， $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值， D_1 、 A_n 、 B_n 是数字滤波器系数的常数，而 G_2 是增益系数，其中， G_2 大于 0 且近似小于 $2 * M^2 * G_1$ （即 $0 < G_2 < 2 * M^2 * G_1$ ）。

这里描述对伺服控制系统快速有效地完成补偿器 185 在第二交叉频率 fc_2 上的操作。通过提供与第二采样频率 f_2 同步的中断信号 193 给处理系统 600，其中，第二采样频率 f_2 相对于第一采样频率 f_1 的缩放是和近似等于第一交叉频率 fc_1 的 M 倍的最大相位响应的频率的缩放一样的，这导致数字滤波器系数 D_1 、 A_n 和 B_n 没有变化，这是因为对于常数数字滤波器系数 D_1 、 A_n 和 B_n ，数字滤波器 400 的极点和零点以及结果相位响应与采样频率一起缩放。增益系数 G_2 是唯一可以要求改变的常数，因为伺服控制系统 100 在不同的采样频率 f_1 、 f_2 、 f_3 等上操作。因为对于处理系统 600 所执行的计算只有一个常数必须改变，因此减少了存储器要求，减少了软件，减少了不同的磁带速度上的操作之间的过渡时间，同时减少了系统的复杂度。增益系数

G_2 取决于 M 和具体的系统设计。例如，如果对于第一交叉频率 fc_1 ， $G_1=1$ ，则对于第二交叉频率 $fc_2 \approx fc_1$ ， G_2 可以变化的范围近似为 $0 < G_2 < 2 * M^2$ 。

在特定实施例中，响应于小于 1 的倍数 M ，增益系数 G_2 近似等于用于第一交叉频率 fc_1 (即对 $M=1$) 的增益系数 G_1 乘以倍数 M 的平方 (即 $G_2(fc_2) \approx M^2 * G_1(fc_1)$)。对于开环响应 500 (图 5)， $N=4$ ，并且假定 2 阶频域传动器传递函数 $Act(s)$ (即 $Act(s)=1/s^2$ ，其中 $s=\sigma+j\omega$)，当 M 降低到小于 1 时， G_2 应当缩放 $\approx M^2$ 以便维持伺服控制系统 100 的交叉频率和对应的操作的带宽不改变。在特定实施例中，传动器传递函数 $Act(s)$ 和传动器 (如传动器 180) 的传递函数之间的交互可能要求，当 M 降低到小于 1 时， G_1 随 M 线性地缩放。在特定实施例中，补偿器 185 的传递函数可以是一阶、三阶等，从而当 M 降低时，要求 G_1 分别随 M 、 M^3 等线性地缩放。

在特定实施例中，响应于大于 1 的倍数 M ，增益系数 G_2 近似等于用于第一交叉频率 fc_1 (即对于 $M=1$) 的增益系数值 G_1 乘以 M 倍 (即 $G_2(fc_2) \approx M * G_1(fc_1)$)。对于开环响应 500 (图 5)， $N=4$ ，并且假定 2 阶频域传动器传递函数 $Act(s)$ (即 $Act(s)=1/s^2$ ，其中 $s=\sigma+j\omega$)，当 M 增加到大于 1 时， G_2 应当缩放 $\approx M$ 以便维持伺服控制系统 100 的交叉频率和对应的操作的带宽不改变。在特定实施例中，传动器传递函数 $Act(s)$ 和补偿器 185 的传递函数之间的交互可能要求，当 M 增加到大于 1 时， G_2 随 M 次线性地 (sub-linearly) 缩放。在特定实施例中，传动器 (如传动器 180) 的传递函数可以是一阶、三阶等，从而当 M 增加时，要求 G_2 随 M 、 M^3 等线性地缩放。在执行步骤 748 之后，控制流向步骤 795 结束。

如果在步骤 740，倍数 M 的值不是整数且大于 2，则执行步骤 760。在步骤 760，伺服控制系统 100 通过处理与第三采样频率 f_3 同步的第二带头位置信号 (其中 $f_3=K*f_1$ ，缩放倍数 $K = M / (M \text{ 的整数值})$)，并且丢弃与第三采样频率 f_3 不同步的第二带头位置信号，来控制带头的位置。通过参照图 9 中所示的曲线 921 和 931 可以更好地理解这种操作方式。曲线 921 是操作在第二磁带速度 $V=M*V_1$ 下，其中 $2 < M < 3$ 。实线上箭头表示在周期 $t_3=1/f_3$ 与第三采样频率 f_3 同步的第二带头位置信号，其中 $t_3 > \frac{2}{3f_1}$ 。对于曲线 921，带

头位置信号 195 的丢弃的采样 920 由虚线上箭头表示，由于在这些采样时间上有效的第二带头位置信号与第三采样频率 f_3 不同步而被丢弃。对于

$2 < M < 3$, 每隔一个丢弃带头位置信号, 留下在第三采样频率 f_3 上的带头位置信号用于伺服控制系统 100。在操作中, 可以如上参照图 8 的曲线 821、826 和 831 所示丢弃带头位置信号 195 的采样。在执行步骤 760 之后, 执行 770。在步骤 770, 修改补偿器 185 以在近似等于第一交叉频率 fc_1 的缩放倍数 K 的频率上具有最大相位响应, 并且具有近似等于第一交叉频率 fc_1 的第二交叉频率 fc_2 。在操作中, 希望具有等于第一交叉频率 fc_1 的第二交叉频率 fc_2 , 从而不改变伺服系统的带宽, 然而在实践中, 部件响应 (如控制带头 210 位置的传动器) 的小的变化可能导致 fc_2 近似等于 fc_1 。随着 K 增加, f_p 成比例地增加, 获得用于伺服控制系统 100 操作的潜在的较大带宽。为了维持 $fc_2 \approx fc_1$, 需要改变增益系数 G_1 。例如, 当倍数 $M=1$ 时, 在第一交叉频率 fc_1 上的操作可以由图 5 中所示的开环幅度响应曲线 501 和相位响应曲线 511 来表示。增大 M 从而增大 K , 可以产生幅度响应曲线 503 和相位响应曲线 513, 其具有对应增加的最大相位响应频率 f_p 和几乎没有变化的交叉频率 (即 $fc_2 \approx fc_1$)。

在步骤 770, 通过修改补偿器 185 以在近似等于第一交叉频率 fc_1 乘以缩放倍数 K 的频率上具有最大相位响应, 并且具有近似等于第一交叉频率 fc_1 的第二交叉频率 fc_2 , 补偿器 185 在第二交叉频率 fc_2 上操作。这可以由伺服信号处理器 192 提供与第三采样频率 f_3 同步的中断信号给处理系统 600 来完成。响应于处理系统 600 接收中断信号 193, 处理系统 600 提供输出值 $h(k)$,
$$h(k) = G_3 \left[D_1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$$
, 其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G_3} X_n(k-1)$, N 是滤波器的阶数, $N > 1$, $g(k)$ 与所述第二带头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, D_1 、 A_n 、 B_n 是数字滤波器系数的常数, 而 G_3 是增益系数, 其中, G_3 具有从 0 到 $2 \cdot K^2$ 的近似范围 (即 $0 < G_3 < 2 \cdot K^2 \cdot G_1$)。

这里描述对伺服控制系统快速有效地完成补偿器 185 在第二交叉频率 fc_2 上的操作。通过提供与第三采样频率 f_3 同步的中断信号 193 给处理系统 600, 其中, 第三采样频率 f_3 相对于第一采样频率 f_1 的缩放是和对近似等于第一交叉频率 fc_1 乘以缩放倍数 K 的最大相位响应的频率的缩放一样的 (即缩放倍数 K), 这导致数字滤波器系数 D_1 、 A_n 和 B_n 没有变化, 这是因为对于常数数字滤波器系数 D_1 、 A_n 和 B_n , 数字滤波器 400 的极点和零点以及结果相位响应与采样频率一起缩放。增益系数 G_3 是唯一可以要求改变的常数,

这是因为伺服控制系统 100 在不同的采样频率 f_1 、 f_2 、 f_3 等上操作。因为对于处理系统 600 所执行的计算只有一个常数必须改变，因此减少了存储器要求，减少了软件，减少了不同的磁带速度上的操作之间的过渡时间，同时减少了系统的复杂度。增益系数 G_3 取决于 M 和具体的系统设计。例如，如果对于第一交叉频率 fc_1 ， $G_1=1$ ，则对于第二交叉频率 $fc_2 \approx fc_1$ ， G_2 可以变化的范围近似为 $0 < G_3 < 2 * M^2$ 。

在特定实施例中，(10) 对于在第二交叉频率 fc_2 上的操作，增益系数 G_3 近似等于用于第一交叉频率 fc_1 的增益系数值 G_1 乘以缩放倍数 K (即 $G_3(fc_2) \approx K * G_1(fc_1)$)。例如，如果对于第一交叉频率 fc_1 (即对于 $M=1$)， $G_1=1$ ，则对于第二交叉频率 fc_2 ， G_2 可以变化的范围为 $0 < G_3 < 2 * K^2$ 。对于开环响应 500 (图 5)， $N=4$ ，并且假定 2 阶频域传动器传递函数 $Act(s)$ (即 $Act(s)=1/s^2$ ，其中 $s=\sigma+j\omega$)，当 K 增加到大于 1 时， G_3 应当缩放 $\approx K$ 以便维持伺服控制系统 100 的交叉频率和对应的操作的带宽不改变。在特定实施例中，传动器传递函数 $Act(s)$ 和补偿器 185 的传递函数之间的交互可能要求，当 K 增加到大于 1 时， G_1 随 K 次线性地 (sub-linearly) 缩放。在特定实施例中，传动器 (如精传动器 180) 的传递函数可以是一阶、三阶等，从而当 K 增加时，分别要求 G_1 随 K 、 K^3 等线性地缩放。

如果倍数 M 不是整数并且大于 3，则操作与上面描述的对于 $M > 2$ 的操作一样。现在给出另一个例子进一步说明这里所述的实施例的操作。对于该示例，伺服控制系统 100 通过处理与第三采样频率 f_3 同步的第二带头位置信号 (其中 $f_3=K*f_1$ ，缩放倍数 $K=M/(M$ 的整数值))，并且丢弃与第三采样频率 f_3 不同步的第二带头位置信号，来控制带头的位置。通过参照图 9 中所示的曲线 931 可以更好地理解这种操作方式。曲线 931 是操作第二磁带速度 $V=M*V_1$ 下，其中 $3 < M < 4$ 。实线上箭头表示在周期 $t_3=1/f_3$ 与第三采样频率 f_3 同步的第二带头位置信号，其中 $t_3 > \frac{2}{4f_1}$ 。对于曲线 931，带头位置信号 195

的丢弃的采样 930 由虚线上箭头表示，由于在这些采样时间上有效的第二带头位置信号与第三采样频率 f_3 不同步而被丢弃。对于 $3 < M < 4$ ，在三个带头位置信号中丢弃两个，留下在第三采样频率 f_3 上的带头位置信号用于伺服控制系统 100。在操作中，可以如上参照图 8 的曲线 821、826 和 831 所示丢弃带头位置信号 195 的采样。修改补偿器 185 以在近似等于第一交叉频率 fc_1 的

缩放倍数 K 的频率上具有最大相位响应, 并且具有近似等于第一交叉频率 $fc1$ 的第二交叉频率 $fc2$ 。在操作中, 希望具有等于第一交叉频率 $fc1$ 的第二交叉频率 $fc2$, 从而不改变伺服系统的带宽, 然而在实践中, 部件响应 (如控制带头 210 位置的传动器) 的小的变化可能导致 $fc2$ 近似等于 $fc1$ 。随着 K 增加, fp 成比例地增加, 获得用于伺服控制系统 100 操作的潜在的较大带宽。为了维持 $fc2 \approx fc1$, 需要改变增益系数 $G1$ 。例如, 当倍数 $M=1$ 时, 在第一交叉频率 $fc1$ 上的操作可以由图 5 中所示的开环幅度响应曲线 501 和相位响应曲线 512 来表示。增大 M 从而增大 K , 可以产生幅度响应曲线 503 和相位响应曲线 513, 其具有对应增加的最大相位响应频率 fp 和几乎没有变化的交叉频率 (即 $fc2 \approx fc1$)。

通过修改补偿器 185 以在近似等于第一交叉频率 $fc1$ 乘以缩放倍数 K 的频率上具有最大相位响应, 并且具有近似等于第一交叉频率 $fc1$ 的第二交叉频率 $fc2$, 补偿器 185 在第二交叉频率 $fc2$ 上操作。这可以由伺服信号处理器 192 提供与第三采样频率 $f3$ 同步的中断信号给处理系统 600 来完成。响应于处理系统 600 接收中断信号 193, 处理系统 600 提供输出值 $h(k)$,
$$h(k) = G3 \left[D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right],$$
 其中 $X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G3} X_n(k-1)$, N 是滤波器的阶数, $N > 1$, $g(k)$ 与所述第二带头位置信号成比例, $g(k-1)$ 等于 $g(k)$ 的前一个值, $D1$ 、 A_n 、 B_n 是数字滤波器系数的常数, 而 $G3$ 是增益系数, 其中, $G3$ 具有从 0 到 $2 * K^2$ 的近似范围 (即 $0 < G3 < 2 * K^2 * G1$)。

这里描述对伺服控制系统快速有效地完成补偿器 185 在第二交叉频率 $fc2$ 上的操作。通过提供与第三采样频率 $f3$ 同步的中断信号 193 给处理系统 600, 其中, 第三采样频率 $f3$ 相对于第一采样频率 $f1$ 的缩放是和对近似等于第一交叉频率 $fc1$ 乘以缩放倍数 K 的最大相位响应的频率的缩放一样的 (即缩放倍数 K), 这导致数字滤波器系数 $D1$ 、 A_n 和 B_n 没有变化, 这是因为对于常数数字滤波器系数 $D1$ 、 A_n 和 B_n , 数字滤波器 400 的极点和零点以及结果相位响应与采样频率一起缩放。增益系数 $G3$ 是唯一可以要求改变的常数, 这是因为伺服控制系统 100 在不同的采样频率 $f1$ 、 $f2$ 、 $f3$ 等上操作。因为对于处理系统 600 所执行的计算只有一个常数必须改变, 因此减少了存储器要求, 减少了软件, 减少了不同的磁带速度上的操作之间的过渡时间, 同时减少了系统的复杂度。增益系数 $G3$ 取决于 M 和具体的系统设计。例如, 如果

对于第一交叉频率 fc_1 , $G_1=1$, 则对于第二交叉频率 $fc_2 \approx fc_1$, G_3 可以变化的范围近似为 $0 < G_3 < 2 * M^2$ 。

在特定实施例中, 对于在第二交叉频率 fc_2 上的操作, 增益系数 G_3 近似等于用于第一交叉频率 fc_1 的增益系数值 G_1 乘以缩放倍数 K (即 $G_3(fc_2) \approx K * G_1(fc_1)$)。例如, 如果对于第一交叉频率 fc_1 , $G_1=1$, 则对于第二交叉频率 fc_2 , G_3 可以变化的范围为 $0 < G_3 < 2 * K^2$ 。对于开环响应 500 (图 5), $N=4$, 并且假定 2 阶频域传动器传递函数 $Act(s)$ (即 $Act(s)=1/s^2$, 其中 $s=\sigma+j\omega$), 当 K 增加到大于 1 时, G_3 应当缩放 $\approx K$ 以便维持伺服控制系统 100 的交叉频率和对应的操作的带宽不改变。在特定实施例中, 传动器传递函数 $Act(s)$ 和补偿器 185 的传递函数之间的交互可能要求, 当 K 增加到大于 1 时, G_1 随 K 次线性地缩放。在特定实施例中, 传动器 (如精传动器 180) 的传递函数可以是一阶、三阶等, 从而当 K 增加时, 分别要求 G_1 随 K 、 K^3 等线性地缩放。

参照图 10 可以更好地理解上面所述的实施例的操作, 其中以曲线图的形式显示了对不同的磁带速度的采样频率 1020 和采样周期 1000 的标准化值。曲线 1010 是标准化的采样频率, 而曲线 1020 是标准化的采样周期。对于标准化的磁带速度 1, 标准化的采样频率 1010 和标准化的采样周期 1020 都等于 1。对于非整数值 M , 其中 $1 < M < 2$, 标准化的磁带速度 V 具有范围 $1 < V < 2$, 标准化的采样频率具有范围 $1 < f < 2$, 而标准化的采样周期 $t=1/f$ 。对于整数值 M , 其中 $M=1,2,3$ 等, 标准化的磁带速度 V 也是整数, 并且以 $V=1,2,3$ 等变化。在每个整数值的标准化的磁带速度 V 上, 标准化的采样频率 $1010 f$ 的值为 1, 而标准化的采样周期 $t=1/f$ 也等于 1, 这是因为在每个整数值的标准化的磁带速度 V 上, 如上面参照 (图 8) 曲线 821、826 和 831 所述的那样丢弃带头位置信号。此外, 对于每个整数值的标准化的磁带速度 V , 标准化的交叉频率 fc 值为 1。

当 M 增长到大于 2 的非整数值时, 标准化的采样频率 1010 和标准化的采样周期 1020 的范围如图 10 所示各自减少, 这是因为标准化的采样频率 1010 是通过将在标准化的磁带速度 $V=1$ 上的标准化的采样频率 1010 乘以缩放倍数 K 来确定的, 其中 $K=M/(INT(M))$, “INT” 通过将 M 舍入到最接近的整数值来取 M 的整数值。当 M 降低到小于 1 的非整数值时, 如图 10 所示, 标准化的采样频率 1010 随 M 线性地降低, 而标准化的采样周期 1020 增加。为了

说明的目的，图 10 示出了标准化的磁带速度 V ，其中 $0.5 \leq V \leq 5$ ，然而所述的实施例并不限于标准化的磁带速度 V 的这个范围，并且从 0 到大数值之间的标准化的磁带速度 V 的值都在这里所述的实施例的操作范围内。

在特定实施例中，使用基于定时的伺服系统完成带头位置信号的产生。在美国专利 6021013 中公开了对用于这里所述的实施例的、使用基于定时的伺服信号的磁道跟踪伺服系统的一个实现的描述。

在特定实施例中，一个或多个申请人的实施例包括用于对磁带（如磁带 206）读和写数据的磁带驱动器。例如，这里所述的伺服控制系统 100 及其操作，没有限制地用在读/写磁带驱动器（例如图 11 中所示的读/写磁带驱动器）中，用来提供带头位置控制以便有效地对磁带写和读数据。分配给同一代理人的美国专利 6813112 描述了这样的读/写磁带驱动器，其援引于此以供参考。

在特定实施例中，一个或多个申请人的实施例包括用于存取数据存储介质的自动数据存储库。自动数据存储库包括：例如存取器，用于存取和移动数据存储介质；和存储器架，用于所述数据存储介质的存放。例如，这里所述的伺服控制系统 100 及其操作，没有限制地用在例如图 12 所示的自动数据存储库中的读/写磁带驱动器中，用来提供带头位置控制以便有效地对与数据存储介质相关联的磁带写和读数据。分配给同一受让人的美国专利 6356803 描述了这样的自动介质库，其援引于此以供参考。

本领域技术人员应当认识到，尽管参照基于时间的伺服信号描述了实施例，但本发明并不意图限于基于时间的伺服信号。相反，本发明可以使用任何伺服信号。

这里公开的本发明可以作为方法、装置或者使用标准编程和/或工程技术来生产软件、固件、硬件或其组合的制造物品（article of manufacture）来实现。这里使用的术语“制造物品”指的是在硬件逻辑（例如集成电路芯片、可编程门阵列（PGA）、专用集成电路（ASIC）等）或者诸如磁存储介质（例如硬盘、软盘、磁带等）、光存储器（CD-ROM、光盘等）、易失性和非易失性存储设备（例如 EEPROM、ROM、PROM、RAM、DRAM、SRAM、固件、可编程逻辑等）之类的计算机可读介质中实现的代码或逻辑。可以由处理器来存取并执行计算机可读介质中的代码。还可以通过传输介质或者通过网络从文件服务器存取代码。在这些情况下，其中实现代码的制造物品可以包括传输介质，例如网络传输线、无线传输介质、通过空间传播的信号、无线电

波、红外信号等。当然，本领域技术人员应当认识到，可以在不背离本发明的范围的前提下对该配置进行许多修改，并且制造物品可以包括本领域内公知的任何信息承载介质。

在特定实施例中，申请人的发明包括指令，其中由处理器 610（图 6）和/或处理元件（图 1）执行这些指令来完成图 7 所示的流程图中的所述的步骤。

在其他实施例中，申请人的发明包括位于任何其他计算机程序产品中的指令，其中由伺服控制系统 100 外部或内部的计算机来执行这些指令。在任一情况下，指令可以编码在信息存储介质中，例如磁信息存储介质、光信息存储介质、电信息存储介质等。申请人对“电存储介质”的意思是，例如诸如 PROM、EPROM、EEPROM、闪速 PROM、压缩闪速存储器、智能介质之类的设备。

特定实施例可以指向用于由个人或自动处理系统部署计算架构的方法，包括将计算机可读代码集成到系统中来执行所述实施例的操作。例如，图 7 图解了使用所述实施例来控制带头的位置的步骤。代码结合系统（如伺服控制系统 100）能够执行这里所述的实施例的操作步骤。可以在这里所述的实施例的服务、制造和/或配置期间执行计算架构的部署。例如，咨询业务可能具有对多个系统的服务责任。该服务责任可能包括诸如系统更新、错误诊断、性能调整和增强、新硬件安装、新软件安装、与其他系统的配置等任务。作为该服务的部分，或者作为单独的服务，服务人员可以根据这里所述的技术配置系统，以便有效地允许这里所述的实施例的操作。例如，该配置可以包括将计算机指令、参数、常数（如数字滤波器系数常数 A_n 、 B_n 等）、中断向量加载到存储器中，从而当执行代码时，系统可以执行所述的技术来实现这里所述的实施例。

前面的描述为了说明的目的，使用特定的术语以便提供对本发明的彻底理解。然而，本领域技术人员应当明白，并不要求特定的细节来实践本发明。在其他例子中，公知的电路和设备以方框图形式显示，以避免对本发明不必要的混淆。因此，对本发明的特定实施例的前面描述是用于说明和描述目的。其并不意图穷举或限制本发明于公开的准确形式。显然，由于上述教学，许多修改和变型成为可能。

图 7 的逻辑描述了以特定的顺序发生的特定操作。在替代实施例中，可以以不同的顺序执行、修改或移除特定的逻辑操作。此外，可以在上述逻辑

上增加步骤并且仍然遵从所述实施例。此外，这里所描述的操作可以顺序发生，或者可以并行处理特定的操作，或者由单个处理单元执行的操作可以由分布式处理单元来执行。

图7的逻辑被描述为以软件实现。该逻辑可以是主机系统的操作系统的部分或者是应用程序。在另外的实现中，该逻辑可以维持在由伺服控制系统100管理的存储区域中，或者在只读存储器或其他硬线类型的设备中。优选逻辑可以以硬盘驱动器或者以可编程和不可编程门阵列逻辑来实现。

挑选并描述实施例以便最好地说明本发明的原理及其实际应用，从而使本领域其他技术人员最佳地使用本发明和适于预期的特定用途的各种修改的实施例。本发明的范围由权利要求书及其等效物限定。

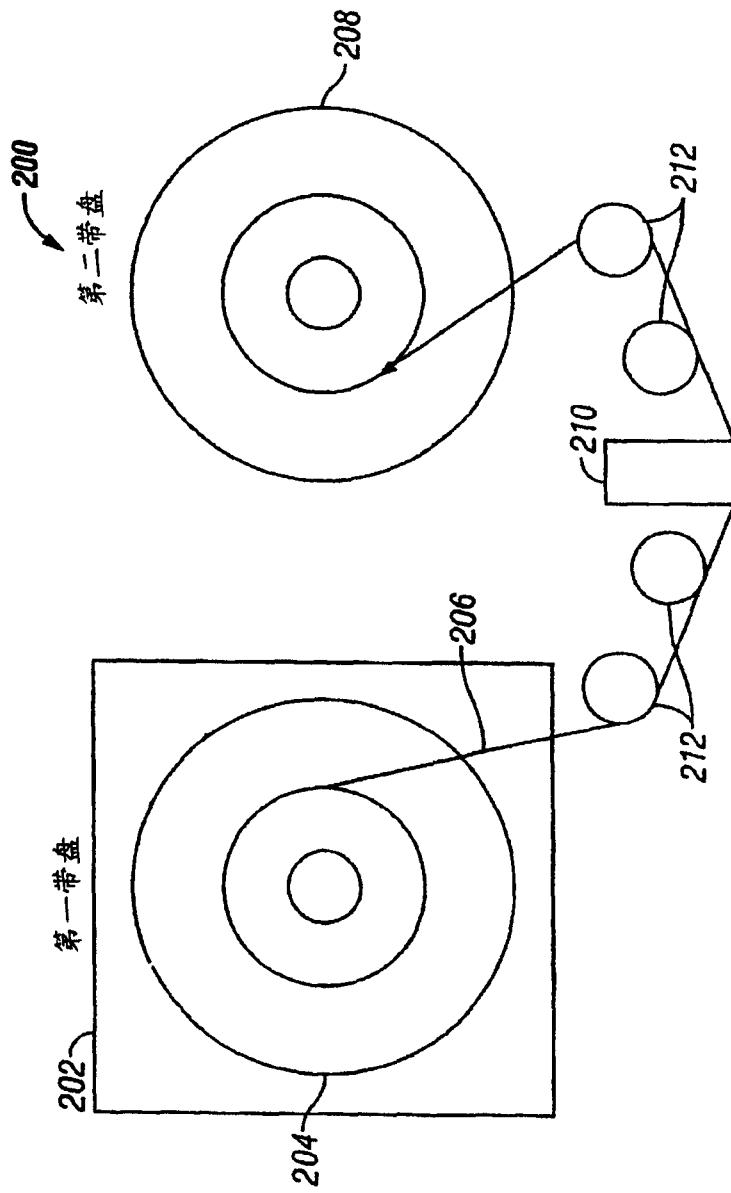


图 2

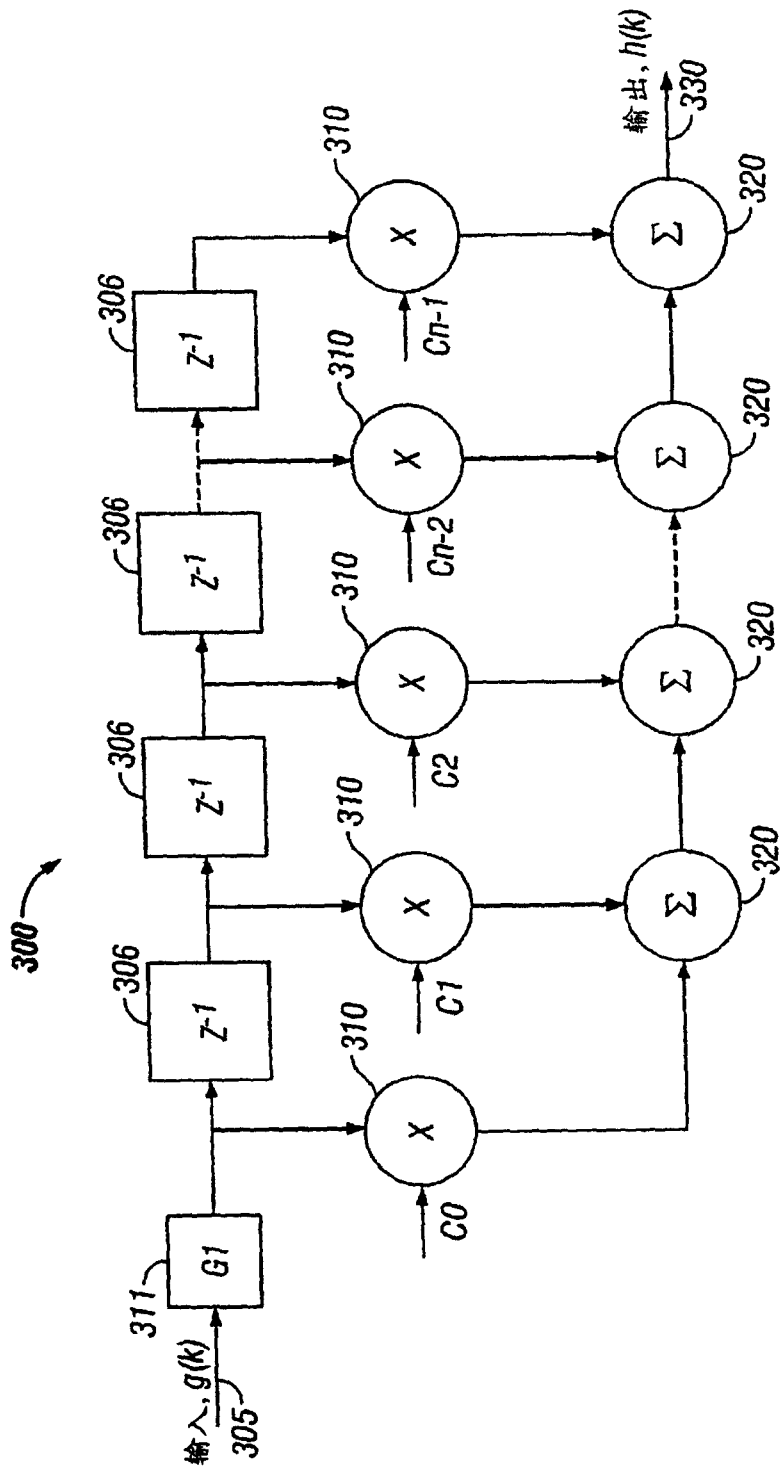


图 3

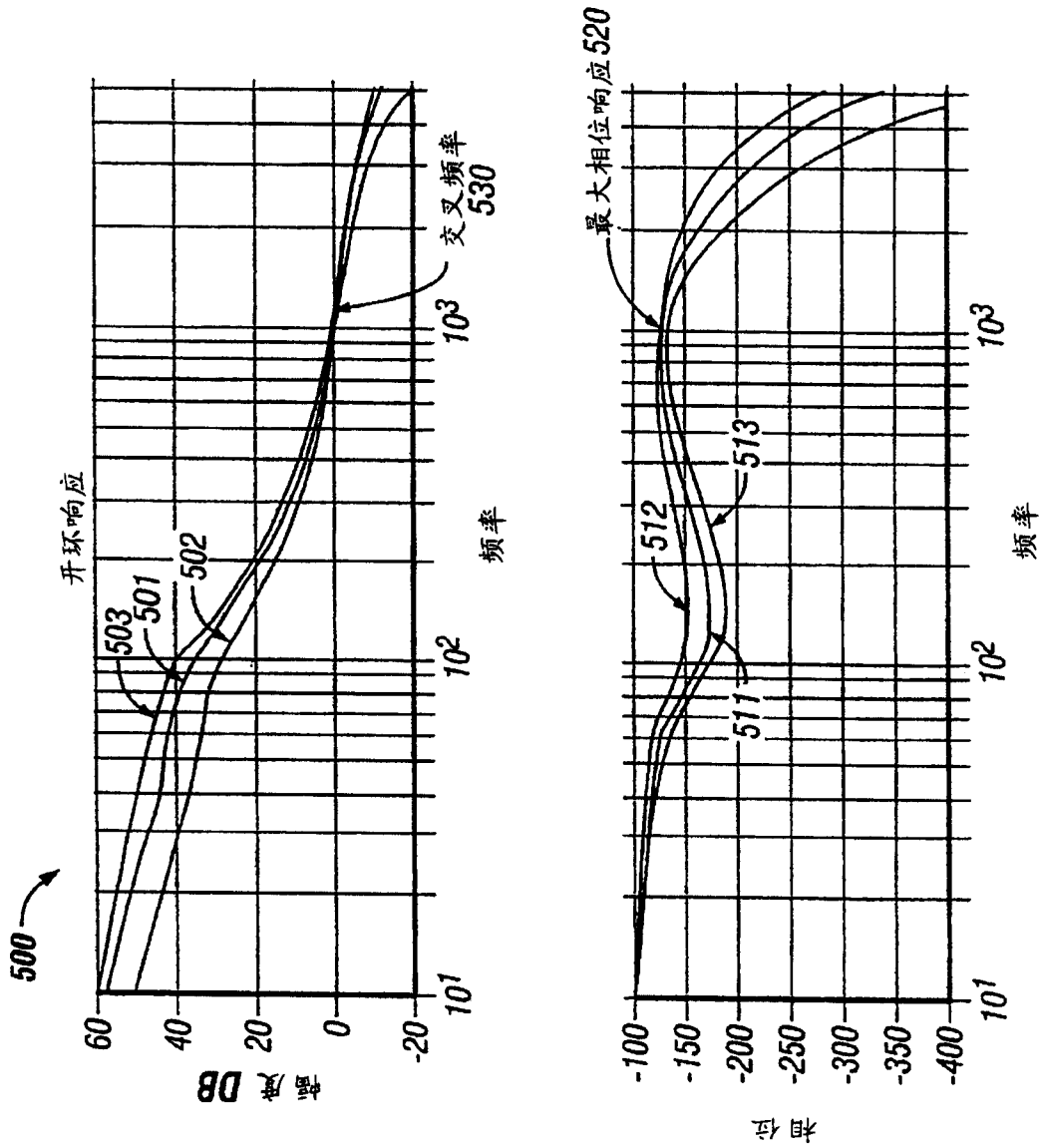


图 5

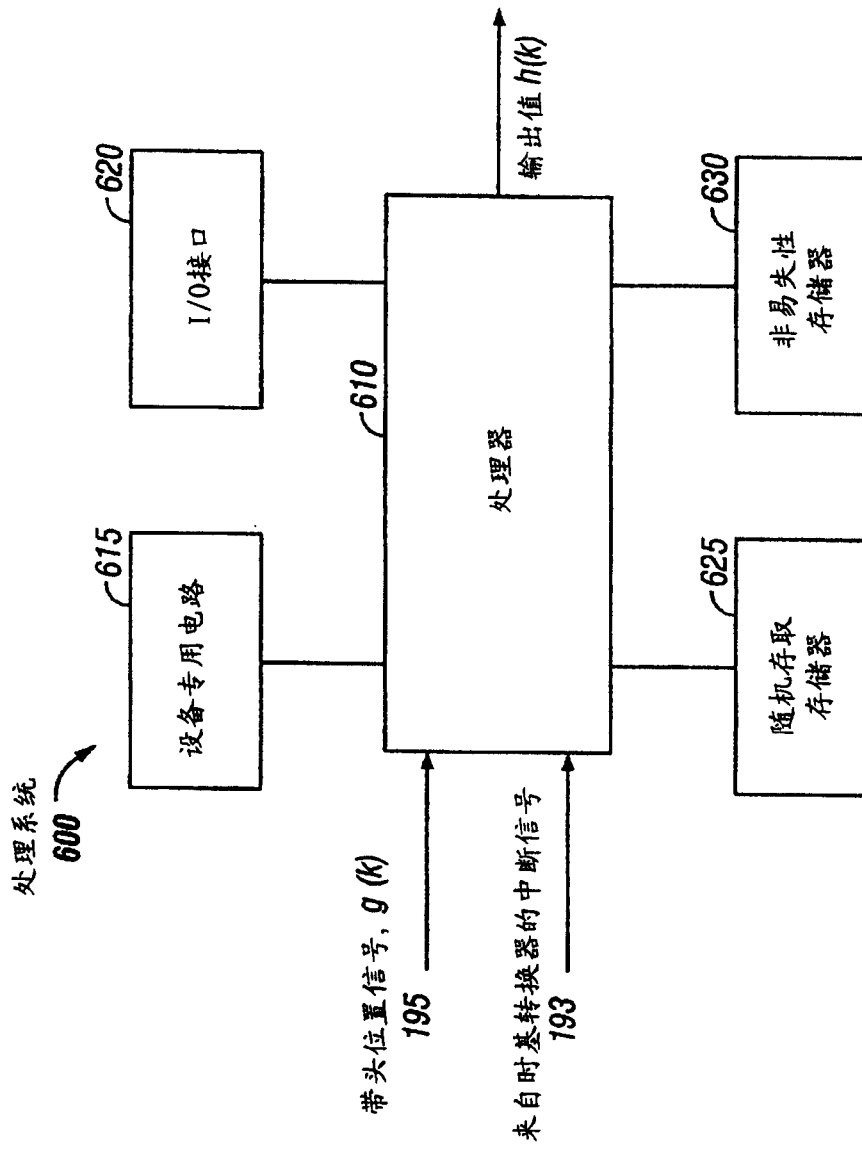


图 6

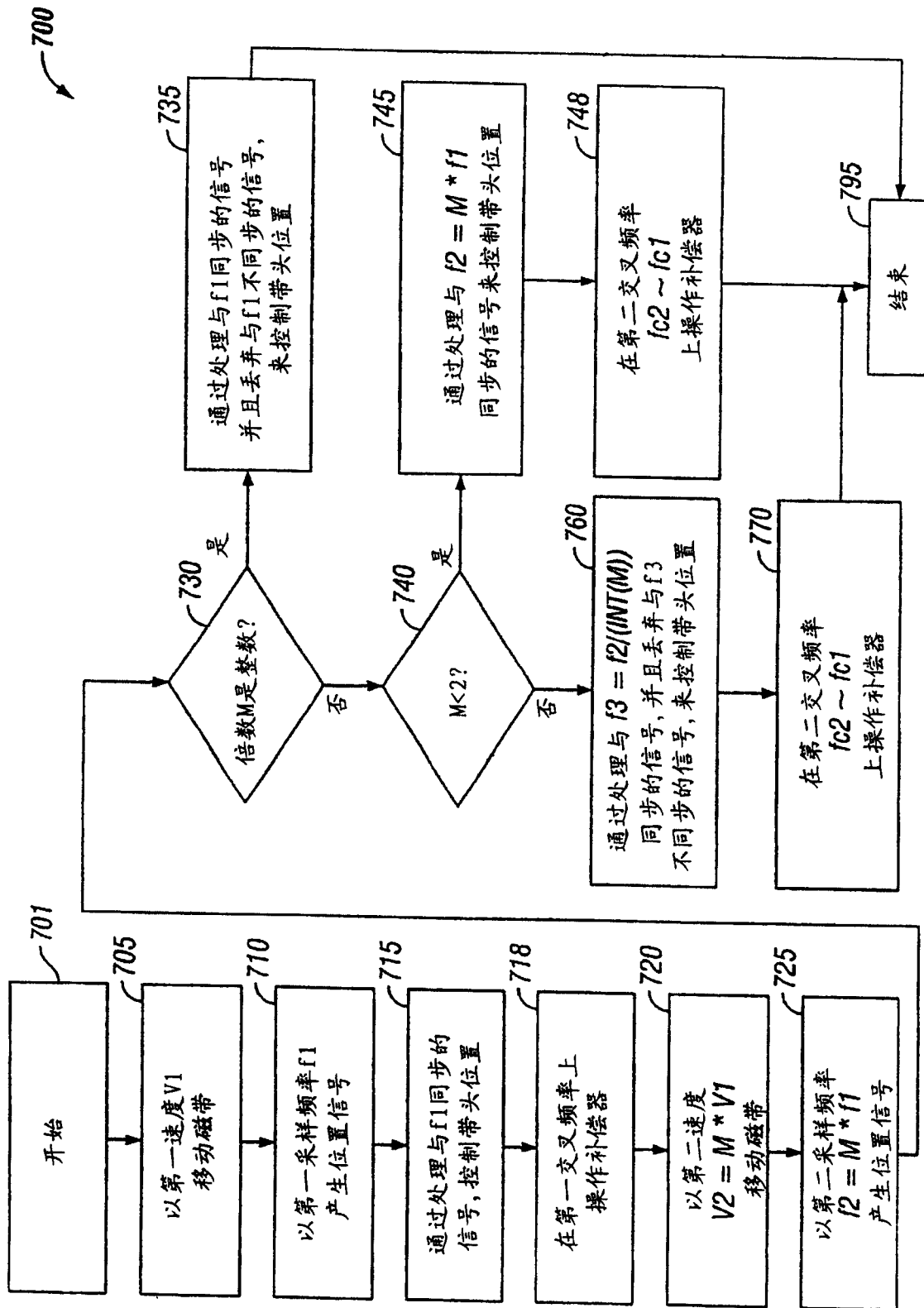


图 7

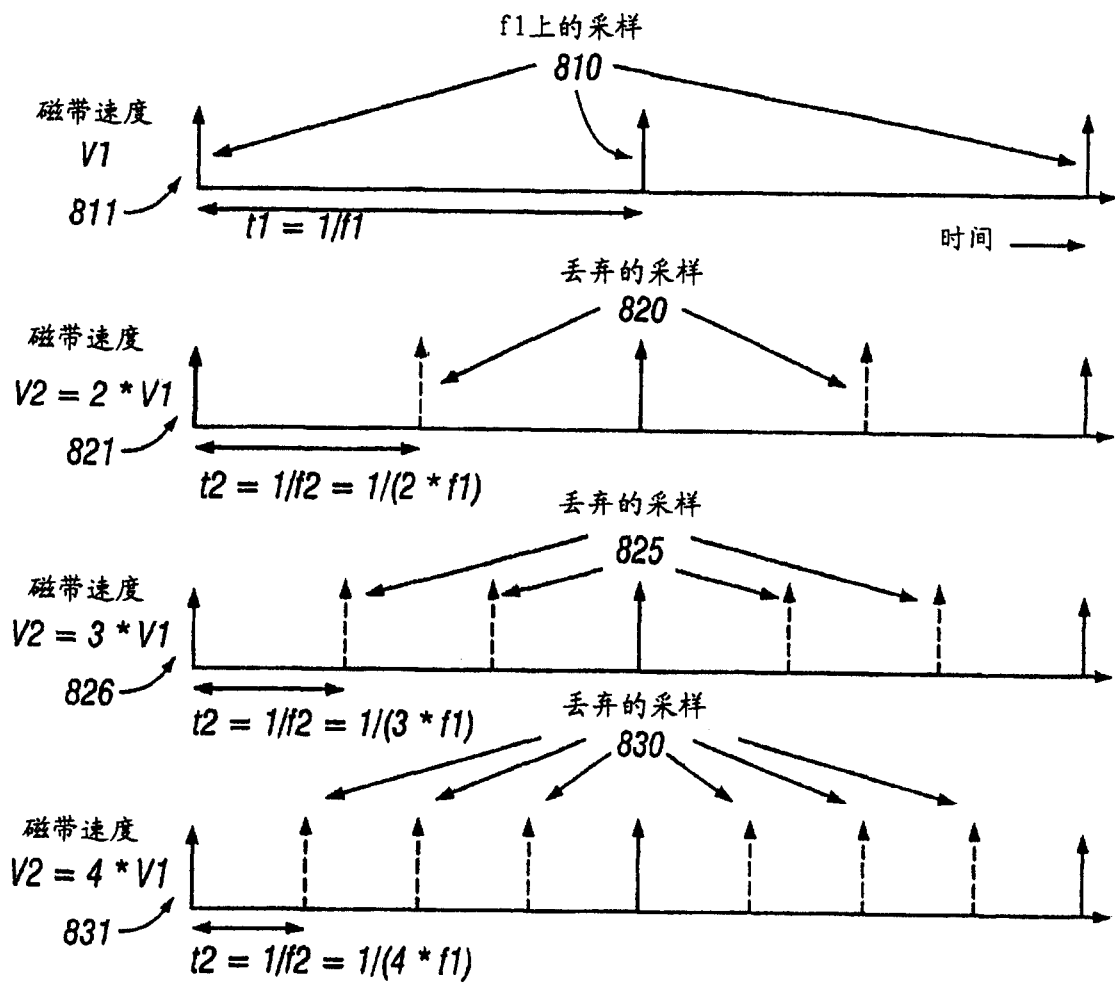


图 8

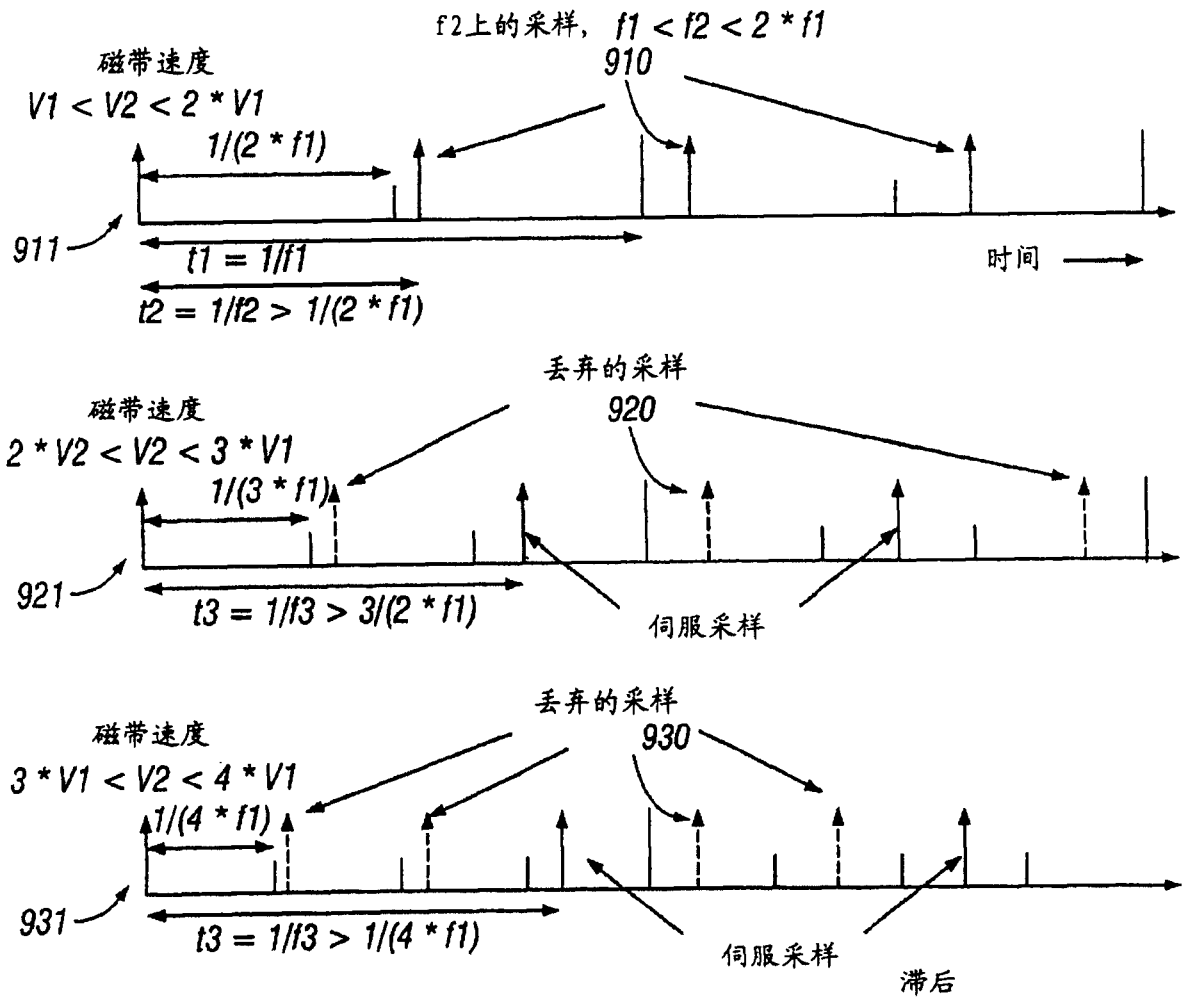


图 9

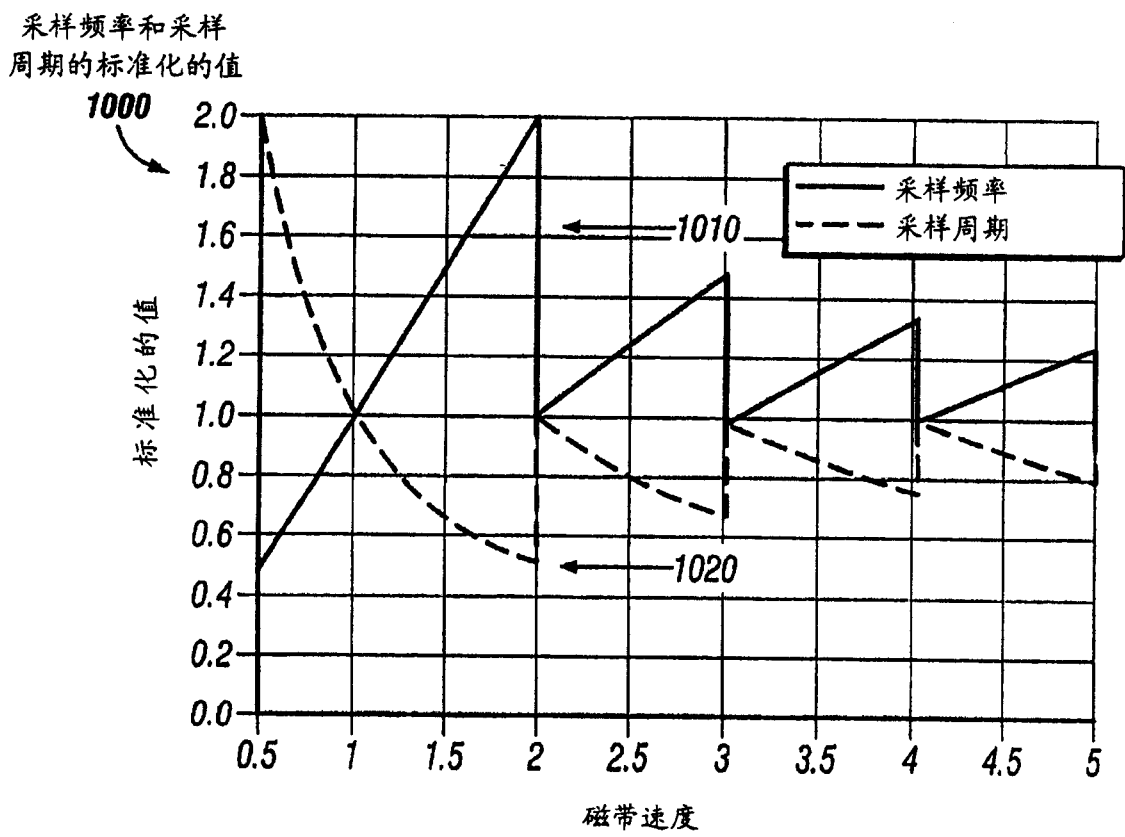


图 10

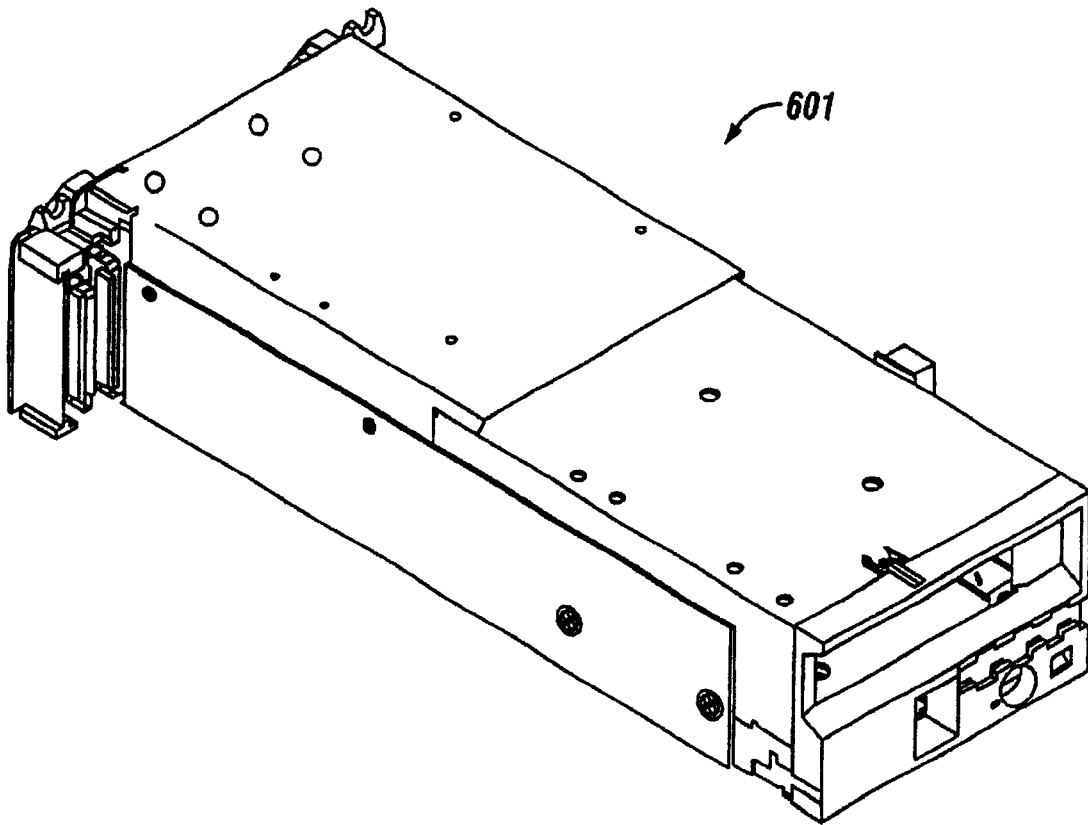


图 11

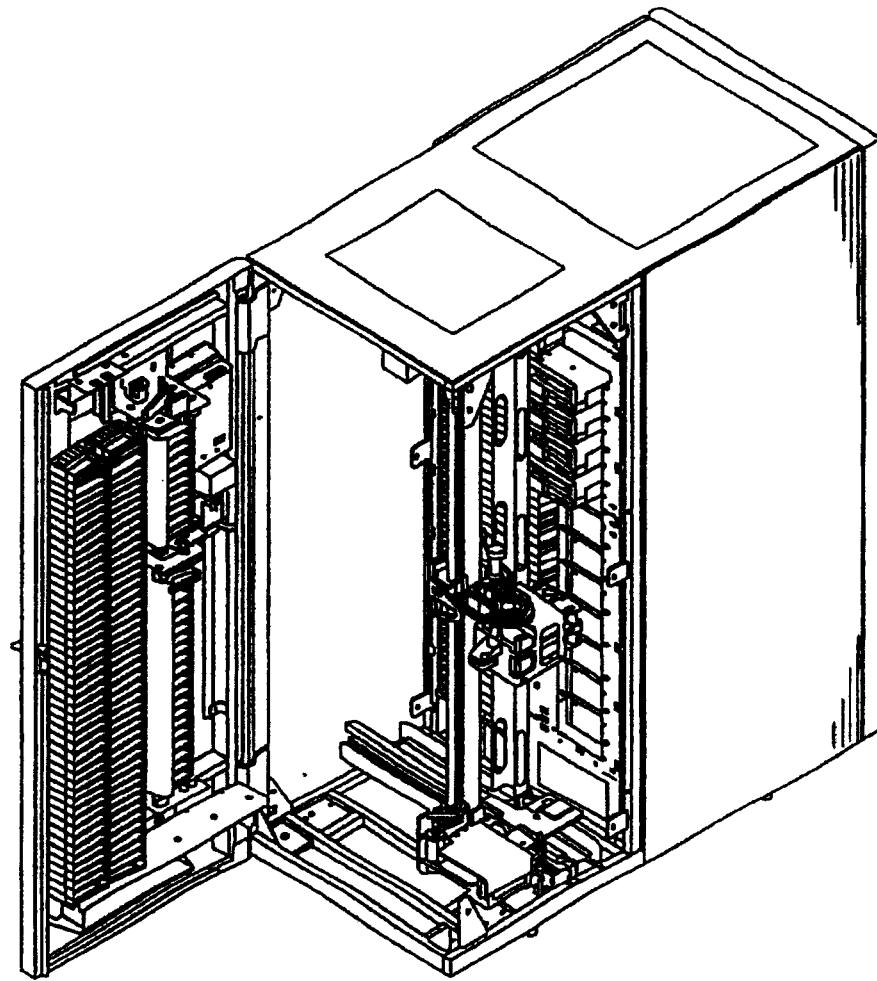


图 12