

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G11B 5/008 (2006.01)

G11B 5/02 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610107889.9

[45] 授权公告日 2008年7月23日

[11] 授权公告号 CN 100405461C

[22] 申请日 2006.7.27

[21] 申请号 200610107889.9

[30] 优先权

[32] 2005.8.30 [33] US [31] 11/215,602

[73] 专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

[72] 发明人 I·E·T·伊本

W·S·恰尔内斯基

W·I·伊马诺 D·伯尔曼

[56] 参考文献

US5574602A 1996.11.12

US5898534A 1999.4.27

审查员 李迪

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

代理人 于静 刘瑞东

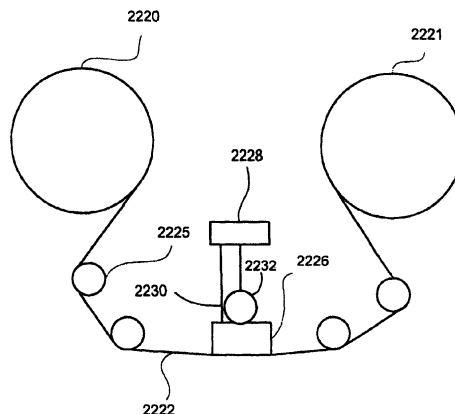
权利要求书3页 说明书23页 附图13页

[54] 发明名称

多数据磁道的去卷积系统和方法

[57] 摘要

一种用于读出其上具有数据带的磁性介质的系统和方法，所述数据带包括多个同时写入的数据磁道和至少一个对准带。在一个实施例中的所述系统包括多个相邻读出器，用于同时读出所述数据磁道。还存在至少一个读出器，用于读出所述至少一个对准带。基于所述对准带的回读，一机构确定在所述数据磁道上各读出器的分数重叠。至少部分基于所述分数重叠，一机构从所述数据磁道的回读提取数据。



1. 一种用于读出其上具有数据带的磁性介质的系统，所述数据带包括多个同时写入的数据磁道和至少一个对准带，所述系统包括：  
多个相邻读出器，用于同时读出所述数据磁道和所述至少一个对准带；  
一机构，用于基于所述至少一个对准带的回读确定在所述数据磁道上各读出器的分数重叠；以及  
一机构，用于至少部分基于所述分数重叠从所述数据磁道的回读提取数据，  
其中利用逆矩阵从所述读出器信号提取所述数据。
2. 根据权利要求1的系统，其中所述读出器的数量至少等于在所述数据带中写入的磁道的数量。
3. 根据权利要求1的系统，其中两个对准带将所述数据磁道夹在中间，各对准带包括空白磁道。
4. 根据权利要求3的系统，其中所述空白磁道是直流 DC 擦除磁道和交流 AC 擦除磁道中的至少一个。
5. 根据权利要求3的系统，其中所述对准带中的一个包括将具有预定义信号的磁道夹在中间的第一和第二空白磁道；其中所述另一个对准带是第三空白磁道。
6. 根据权利要求3的系统，其中各对准带包括将具有预定义信号的磁道夹在中间的第一和第二空白磁道。
7. 根据权利要求1的系统，其中所述读出器中的一些的中点之间的间隔等于所述数据磁道的中心线。
8. 根据权利要求1的系统，其中除了所述分数重叠，预定义所述逆矩阵。
9. 根据权利要求1的系统，其中由读出所述对准带的至少两个读出器的信号确定所述分数重叠。
10. 根据权利要求1的系统，其中在具有已知信号的磁道中存在磁道

对准信号，其中所述已知信号是单调图形。

11. 根据权利要求 10 的系统，其中所述磁道对准信号还用于微调所述读出器相对于所述写入磁道的对准。

12. 根据权利要求 1 的系统，其中所述至少一个对准带还提供用于时钟恢复的时序信息。

13. 根据权利要求 1 的系统，其中通过进行微磁道分布校准来校准所述系统，所述微磁道分布校准包括在所述数据磁道的范围内相对于介质行进的方向垂直地移动所述读出器。

14. 根据权利要求 1 的系统，还包括：

驱动机构，用于在所述读出器上方传送磁性记录磁带。

15. 一种用于读出其上具有数据带的磁性介质的方法，所述数据带包括多个同时写入的磁道，所述磁道包括数据和对准信号，所述方法包括以下步骤：

接收来自同时读出所述数据磁道的多个相邻读出器的信号；

接收来自读出所述对准信号的至少一个读出器的信号；

基于来自读出所述对准信号的所述读出器的所述信号，确定各读出器相对于所述数据磁道的分数重叠；以及

至少部分基于所述分数重叠从所述数据磁道的回读提取数据，

其中利用逆矩阵从所述读出器信号提取所述数据。

16. 一种用于读出其上具有数据带的磁性介质的系统，所述数据带包括多个同时写入的数据磁道和至少一个对准带，所述系统包括：

多个相邻读出器，用于同时读出所述数据磁道和与所述数据磁道同时写入的至少一个对准带；

一机构，用于基于所述对准带的回读确定所述读出器相对于所述数据磁道的分数重叠；以及

一机构，用于至少部分基于所述分数重叠从所述数据磁道的回读提取数据，

其中利用逆矩阵从所述读出器信号提取所述数据。

---

17. 根据权利要求 16 的系统, 其中除了所述分数重叠, 预定义所述逆矩阵。

## 多数据磁道的去卷积系统和方法

### 技术领域

本发明涉及磁带驱动磁头，更具体地说，本发明涉及写入和读出器阵列，其中读出器的宽度小于写入器或数据磁道的宽度。

### 背景技术

通过在多个线性磁道中写入数据，在磁介质例如磁带上存储数据。磁道沿磁带的横向分隔，并且给定磁道沿磁带纵向延伸。

为了增大给定磁带宽度可写入的数据量，已尝试使数据磁道相互相邻。写入的最常用方法是利用以预定距离隔开的写入器。此外，写入的主要方法是在读出器之间具有大间隔以及在写入器之间具有大间隔。以磁带的不同遍（pass）写入相邻磁道，其中磁头在水平方向或横向上步进希望的磁道宽度。写入器宽度宽于希望的磁道宽度。对于每一遍，新写入的磁道与先前写入的磁道重叠，因此先前的磁道的所得宽度是希望的最终磁道宽度。上述方法称为“挤压（shingling）”。另一方法是同时写入相邻磁道。随着磁道之间的间隔变窄，写入/读出磁头相对于磁带的水平移动将达到希望的读出/写入磁道宽度的一部分的数值。

用于现有磁带存储驱动器的技术在写入磁道的宽度内对准读出器，因此各读出器在单个磁道上对准。读出器典型地小于写入器，与其对准，并读出单个磁道。该方法称为“宽写入，窄读出”。因为读出器窄于写入器，随着磁带移动跨过磁头，无论磁带相对于读出器的水平“摆动”如何，读出器易于不读出相邻磁道。

图1示出了具有多个读出单元102和写入单元104的典型多磁道磁带磁头100，其中读出单元102与写入单元104对准。伺服单元106（示出了

一个)在读出单元 102 一侧,并用于传感介质上的伺服磁道,以在读出/写入期间在数据磁道上维持磁头 100 对准。该图示出了“背负式”结构,其中写入器在配对的读出器上垂直层叠。许多磁带磁头还具有水平对准的读出器和写入器,其具有读出器组和写入器组,或者具有交替的读出器和写入器。

然而,常规“挤压”方法的主要缺点在于,写入反向期间磁带摆动增大了重写相邻数据磁道的几率,并且还引起沿磁带长度的磁道宽度的随机变化。随着磁道宽度的减小,摆动(或磁道记录不准确(mis-registration))的量需要按比例降低。由于磁道宽度随后代而减小,将磁道记录不准确降低为足以在磁道上维持读出器并避免在多个写入磁道上与读出器重叠变得更难。

控制写入磁道的一种方法是利用相邻写入器,从而将同时写入大组的相邻磁道。写入期间任何水平移动(摆动)将引起同时写入的磁道一起移动,因此在该组内磁道与磁道之间的间隔(间距)保持固定。水平移动(摆动)导致读出期间的严重的磁道记录不准确,因为给定的读出器可跨过两个相邻写入磁道。

此外,典型地在写入任何数据之前将用于引导磁头与磁带-磁道对准的伺服磁道写入到磁带。从而,写入磁道的任何摆动将不包括在伺服磁道中。因此,在回读期间,即使磁头跟随伺服磁道,由于写入和回读期间的摆动,也产生误差。该误差可导致特定读出器同时读出两个或多个磁道,在磁道间隔最小时尤其如此。所得的信号是从两个磁道的两个场的复合,可使得不可能从任何单个磁道提取数据。

解决这些问题的一种方法是利用其中读出器的数量大于写入器的数量的多个写入器和读出器,并允许读出器与写入磁道不对准,以使各读出器可具有多于一个磁道的组成。然后可利用考虑干扰的算法使数据去卷积。去卷积中的主要困难在于写入的磁道组将沿磁带的长度在水平位置摆动(或漂移)。

因此在本领域中显然需要一种精确且有效地使反映多个写入数据磁道

的读出信号去卷积的磁头组件和方法，从而允许与磁带摆动无关地精确读出数据。这些未解决的方法和缺陷在本领域中很明显，并可通过本发明以下述方式得到解决。

## 发明内容

为解决上述问题，提供了一种系统，用于读出其上具有数据带的磁性介质，所述数据带包括多个同时写入的数据磁道和至少一个对准带。在一个实施例中的所述系统包括多个相邻读出器，用于同时读出所述数据磁道。还存在至少一个读出器，用于读出所述至少一个对准带。基于所述对准带的回读，一机构确定在所述数据磁道上各读出器的分数重叠。并且，至少部分基于所述分数重叠，一机构从所述数据磁道的回读提取数据。

提供了多种方法，用于基于所述对准带的回读确定在所述数据磁道上各读出器的分数重叠以及去卷积来自所述数据磁道的所述数据。

这些实施例中的任何一个可在这样的磁带驱动系统中实现，所述磁带驱动系统可包括：包括上述读出器的磁头；用于在所述磁头上传送磁性记录磁带的驱动机构，以及电耦合到所述磁头的控制器。

由以下结合附图通过实例示出本发明原理的详细说明，本发明的其它方面和优点将变得显而易见。

## 附图说明

为了更充分理解本发明的本质和优点以及使用的优选模式，将参考结合附图给出的以下详细说明。

图 1 是从磁带轴承表面看的具有多个读出和写入单元的典型多磁道磁带磁头的示例性图示。

图 2 示出了磁带磁头的单个模块部分。

图 3 示出了使用中的写入的同时读出的双向线性磁带驱动器的磁头，其包括两个模块。

图 4 是从图 2 的图 4 所取的且从磁带轴承表面看的图 2 的模块的读出

器和写入器的示例性图示。

图 5 是多个写入磁道、单个附加写入控制磁道、“空白”磁道以及多个读出器的简化示意图。

图 6 是介质上的多个写入磁道、介质上的附加写入控制磁道、介质上的“空白”磁道以及多个读出器的简化示意图。

图 7 是每个读出器与两个磁道重叠的示意图。

图 8 是一个读出器与单个控制磁道和空白磁道重叠的示意图。

图 9 是一个读出器跨过两个控制磁道的示意图。

图 10 是一个实施例的示例性图示，其中控制磁道具有倾斜磁性转变。

图 11 是对于四个平行写入磁道和五个与写入磁道重叠的读出信号的信号强度相对于线性磁带距离的曲线图。

图 12 是图 11 的四个平行写入磁道和校正的读出信号的曲线图。

图 13 是两个平行写入磁道和三个与写入磁道重叠的读出信号相对于线性磁带距离的曲线图。

图 14 是图 13 的两个平行写入磁道和校正的读出信号的曲线图。

图 15 是多个写入磁道、附加写入磁道、多个读出器以及用于校准的附加写入磁道的简化示意图。

图 16 是微磁道分布校准工序的示意性图示。

图 17 是与写入磁道重叠以在读出器宽度范围内获得不均匀响应的多个读出器的示意性图示。

图 18 是示出了由 LTO Gen 1 磁头产生的信号的图。

图 19 是图 18 的详细图。

图 20A-B 是示出了由 LTO Gen 1 磁头产生的信号的图。

图 21A-B 是示出了由 LTO Gen 1 磁头产生的信号的傅立叶变换的图。

图 22 示出了根据一个实施例的磁带驱动系统。

图 23 是根据一个实例的读出器和写入磁道的示例性图示。

## 具体实施方式



以下描述是实施本发明预期提供的最佳实施例。本描述是为了示出本发明的一般原理而进行的，其并不意味着限制在此要求的发明构思。此外，在此所述的特定特征可用于与在各种可能的结合和排列中的每一种中的其它所述特征结合。

以下描述公开了一种方法和系统，用于成功地且精确地读出其中读出器与多个磁道重叠的多个数据磁道。

图 2 示出了具有多个读出器 202（也称为传感器、读出单元等）和写入器 201（也称为写入单元等）的模块 200。注意图 4，其为从图 2 的图 4 中所取的图 2 的模块中的读出器和写入器的示例性图示。如所示，写入器 201 和读出器 202 位于模块 200 的中部。以下将给出对读出器和写入器以及优选结构的更多描述。本领域的技术人员将理解，只要不偏离本发明的精神和范围，读出器和/或写入器 201,202 的结构可不同于所示出的结构。

为了提高模块 200 的稳定性以合适使用该模块，将模块 200 附装到某种由刚性材料形成的横梁 206 上。这种横梁 206 通常称为“U 横梁”。为了在最终磁头中提供益处，通常附加盖 208。

图 3 示出了根据本发明的一个实施例的用于写入的同时读出的双向线性磁带驱动器的磁头 300。“写入的同时读出”意味着读出单元跟随在写入单元后面。该排列允许立即检查由写入单元刚写入的数据，以由随后的读出单元精确且真实地记录。

图 3 的磁头 300 通过耦合两个平坦分布的模块 200 而形成，每个模块包括多个读出器和/或写入器。具体地说，在图 3 中，在 U 横梁 206 上安装两个模块 200，该 U 横梁 206 本身又被粘合耦合。电缆 302 被固定耦合到焊盘。磁带 304 以预定缠绕角  $\alpha$  缠绕在模块 200 上。注意，模块 200 的磁带轴承表面不需要共面，而是可以相对于另一个倾斜，以在各对边产生希望的缠绕角。

应注意，图 3 的两个模块磁带磁头 300 仅仅是示例性的，因为可以任何类型的其中多个信息磁道可被写入以及随后读出的磁头实施本发明的规则。

本领域技术人员将理解,读出器和/或写入器 201,202 的结构可以变化。例如,一个模块可以具有所有的写入器 201,而另一个模块可具有所有的读出器 202。另一个实例是使多个写入器 201 和读出器 202 都垂直于磁带移动的方向线性对准。还应理解,在此所述的读出器和写入器的数量仅仅通过实例的方式提供,可根据设计者的希望、系统要求和能力等增加或减少。

另一变化包括,磁头仅仅具有读出器和写入器的单个模块,该模块提供所有的读出/写入功能。可以存在或不存在第二模块。当然模块的形状可不同于图 2 中示出的模块 200。本领域技术人员将理解如何利用常规磁头设计来产生单个模块设计。

图 4 是根据本发明的一个实施例的模块 200 的读出器 202 和写入器 201 的示例性图示。如图所示,读出器 202 的宽度 ( $W_R$ ) 与写入器 201 的宽度 ( $W_W$ ) 以及由此与写入磁道 402 (以阴影示出,以表示磁带上的数据磁道的宽度) 的宽度 ( $W_T$ ) 大致相同。然而,在一些实施例中,读出器 202 的宽度 ( $W_R$ ) 可大于或小于写入器 201 的宽度 ( $W_W$ ) 和/或磁道宽度 ( $W_T$ )。当在横穿磁带行进方向的方向上测量时,读出器 202 的中点之间的间隔优选约等于写入器 201 的中点之间的间隔。在许多实施例,包括示出的实施例中,还应注意,可提供数量多于写入器 201 的读出器 202。下面将更详细讨论这些方面的重要性,这里参考附图说明该重要性,以为构思提供前后关系。

如图所示,写入器相互相邻,并且读出器相互相邻。相邻是指水平对准。各读出器水平地以很少或没有水平间隔地位于其相邻读出器附近。考虑到物理方面,例如避免用于连接读出器的引线与外部设备重叠等,相邻对准也可以通过在垂直方向(磁带移动方向)上偏移相邻读出器实现。在读出期间,与两个数据磁道重叠的一些读出器将由两个数据磁道产生卷积信号反射感应。然后可将代表每读出器多个磁道的读出信号去卷积,以提取在各分立数据磁道上写入的原始信息。对于以下的讨论, $d$  代表读出器在一个数据磁道上的分数重叠,以及  $f$  代表读出器在另一个数据磁道上的

分数重叠。例如,如果读出磁道  $n(R(n))$  具有写入磁道  $n$  的分数  $f$  即  $(f*W(n))$  以及写入磁道  $n+1$  的分数  $d$  即  $(d*W(n+1))$ , 则读出器的矢量读出信号  $R$  由矩阵  $M$  乘以矢量写入信号  $W$  描述:  $R = M*W$ 。在读出器均匀以及所有读出器运转相同的简单情况下,  $f$  和  $d$  分别由下面的等式 1 和 2 描述。  $M$  的对角线由  $f$  ( $M(i,i) = f$ ) 表示, 以及仅仅非对角元素的非零分量可以是  $M(i,i-1) = d$ 。换句话说, 如果读出器只在一个磁道上, 则  $f$  将等于 1。如果读出器覆盖两个磁道, 则由读出器产生的信号将依赖于  $f$  和  $d$ 。因为在本发明的实施例中, 读出器可以仅覆盖两个磁道, 非对角元素的非零分量仅可以是  $d$ 。如果  $f$  和  $d$  的值未知, 则算法需要确定  $f$  和  $d$ , 以去卷积信号  $R$ , 从而获得写入信号  $W$ 。去卷积过程中的主要困难在于写入磁道的组将沿磁带的长度在水平位置中摆动 (漂移), 使得  $f$  和  $d$  的值沿磁道长度变化。如下所述, 通过本发明克服了该困难。

为了使系统能够确定读出器 202 相对于数据磁道的相对位置 (例如, 读出器相对于磁道的重叠), 使用对准带。该对准带与数据磁道同时写入。对准带可包括介质上的已知图形的一个或多个写入磁道 (控制磁道)。对准带也可仅仅在一个或多个擦除或 “空白” 磁道上。以下描述建议的对准磁道, 其通常包括 “空白” 磁道与控制磁道的组合。

图 5 示出了这样的数据带, 其包括多个写入磁道  $W(1)-W(4)$ 、附加写入磁道 (控制磁道)  $WE(1)$ 、以及将控制磁道  $WE(1)$  夹在中间 (环绕或在其两侧) 的擦除或 “空白” 磁道  $Wb(1)$ 、 $Wb(2)$ 。注意, 磁道  $W(1)-W(4)$ 、 $WE(1)$ 、 $Wb(1)$ 、以及  $Wb(2)$  可以相互分隔, 可相互紧邻, 可相互重叠, 或者这些模式的组合。还示出了多个读出器 202, 并且标识为  $RE(1)-RE(4)$ 、 $R(1)-R(5)$ 。该实例示出了其中空白磁道  $Wb(1)$  和  $Wb(3)$  宽于读出器以容易地确定读出器位于何处的情况。如果使用标准伺服数据, 则不必使用宽于读出器的磁道。外侧的空白写入磁道  $Wb(1)$  和  $Wb(3)$  也可以宽为一个磁道宽度。图 5 的实例代表最少建议数的空白和附加磁道。

图 6 示出了多个写入磁道  $W(1)-W(4)$ 、附加写入控制磁道  $WE(1)$ 、 $WE(2)$ 、“空白” 磁道  $Wb(1)-Wb(4)$  以及多个读出器 202。应注意, 磁道

之间的空间仅仅为了使读者更容易分辨间隔，并不需要存在。该图示出了四个空白写入磁道 Wb(1)-Wb(4)以及夹在它们中间的两个控制磁道 WE(1)、WE(2)，用于当与图 5 的实施例比较时的总共两个附加写入磁道。附加控制磁道的添加不仅提高了系统的可靠性，并且降低了介质上数据磁道的密度。

如以上图 5 或图 6 的每一种情况所示，控制磁道与其它写入磁道分离或隔离。例如可以通过在隔离的控制磁道的任何一侧上写入 DC 或 AC 擦除磁道（空白），隔离控制磁道。还优选在写入数据磁道的较远侧上写入至少一个 DC 或 AC 擦除磁道（空白），以隔离写入数据磁道组。并且还可利用交流（AC）擦除磁道。然后读出写入控制磁道的读出器将仅仅从控制磁道读出信号，使得  $f$  和  $d$  的确定明确。外部 DC 或 AC 擦除磁道（空白）允许确定数据磁道的端部，并确保外部读出器仅仅读出单个数据磁道。隔离的控制磁道、DC 或 AC 擦除磁道以及希望的写入磁道优选全部同时写入，从而对于所有写入磁道，在磁道束中的任何摆动相同。所得的磁道将相互相邻，并沿磁道带的长度具有大致恒定的（虽然未必相等）中心到中心的间隔。

因为磁道总是均匀间隔，由与隔离控制磁道重叠的读出器读出的分数信号将与来自与任何其它写入磁道重叠的读出器的信号分数相同，明确地允许确定矩阵求逆（inversion）。外部 DC 或 AC 擦除磁道的宽度优选至少宽为一个磁道宽度，但可以根据磁道记录不准确的量将其选择为更大。通过校准工序和在检查表中存储的值，可确定这样的混乱，例如由沿读出器/写入器磁道宽度的读出器的响应信号差异或非均匀响应引起的混乱。然后可适当调整逆矩阵。

为了示出根据本发明的一个实施例的一般方法，假定在磁头上有  $N$  个读出磁道，且存在  $P$  个写入磁道，其中读出和写入磁道的宽度近似相同。还假定  $N$  大于  $P$ ，以及写入器相邻且读出器相邻。读出磁道  $n$  的信号  $R(n)$  具有写入磁道  $n$  的分数  $f$  即  $(f \cdot W(n))$  以及写入磁道  $n+1$  的分数  $d$  即  $(d \cdot W(n+1))$ （假定信号具有相同的强度且读出器相互邻接，则  $d = 1 - f$ ）。

如上所述， $d$  代表读出器在一个数据磁道上的分数重叠，以及  $f$  代表读出器在另一个数据磁道上的分数重叠。图 7 示出了其中对于特定读出器的分数重叠  $d$  等于  $1-f$  的系统的框图。在图 7 中，第一读出器  $R(1)$  以分数  $f$  和  $d$  分别与 DC 或 AC 擦除（空白）磁道  $W_b(2)$  和写入磁道  $W(1)$  重叠，同时读出器  $R(2)$  以重叠  $d$  和  $f$  分别与写入磁道  $W(1)$  和  $W(2)$  重叠。重叠  $f$  和  $d$  可根据以下等式计算，其中  $x$  是读出器在一个磁道上的重叠长度， $y$  是读出器在另一个磁道上的重叠长度，以及  $W_R$  是读出器的总宽度，如图 7 所示。

$$f=x/W_R \quad \text{等式 1}$$

$$d=y/W_R=1-f \quad \text{等式 2}$$

读出器的矢量信号  $R$  由矩阵  $M$  乘以矢量信号  $W$  描述： $R=M*W$ 。 $M$  的对角线由  $f(M(i,i)=f)$  给出，以及仅仅非对角线元素的非零分量将为  $M(i,i-1)=d$ 。如果  $f$  和  $d$  的值未知，则算法需要确定  $f$  和  $d$ ，以去卷积信号  $R$ ，从而获得写入信号  $W$ 。去卷积的现有方法中的主要困难在于，写入磁道组将在沿磁带的长度在水平位置中摆动（或漂移），使得  $f$  和  $d$  的值沿磁道长度变化。在本发明的这种方法中用于写入磁道的写入器相互相邻对准，以及所有磁道同时写入，因此磁道束的任何漂移对于所有磁道而言相同。所得的磁道将相互相邻，并沿磁道带的长度具有大致恒定（虽然未必相等）的中心到中心的间隔。

为了简化，并为了匹配图 5-6 的图示，考虑四个写入磁道  $W(1)-W(4)$  和五个读出磁道  $R(1)-R(5)$ 。读出器  $R(1)$  覆盖写入磁道  $W(1)$  的分数  $f$ ，以及读出器  $R(2)$  覆盖磁道  $W(2)$  的分数  $f$  和磁道  $W(1)$  的  $d$ 。将  $R$  和  $W$  取为矢量，其中  $R$  是读出信号以及  $W$  是写入信号，描述信号的矩阵为：

$$M=$$

$$\begin{bmatrix} f,0,0,0,0 \\ d,f,0,0,0 \\ 0,d,f,0,0 \\ 0,0,d,f,0 \\ 0,0,0,d,f \end{bmatrix}$$

矩阵  $M$  的逆矩阵为：

$$\begin{aligned}
 \mathbf{IM} = & \\
 & \begin{bmatrix} 1/f, & 0, & 0, & 0, & 0 \\ -1/f^2*d, & 1/f, & 0, & 0, & 0 \\ d^2/f^3, & -1/f^2*d, & 1/f, & 0, & 0 \\ -d^3/f^4, & d^2/f^3, & -1/f^2*d, & 1/f, & 0 \\ d^4/f^5, & -d^3/f^4, & d^2/f^3, & -1/f^2*d, & 1/f \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

写入磁道矢量为:  $W=(W(1), W(2), W(3), W(4), 0)$ ,

而读取矢量为:  $R=(R(1), R(2), R(3), R(4), R(5))$ 。

对于写入磁道数为  $N_{\text{track}}$  的逆矩阵的通解要求矩阵的维数  $N_{\text{dim}} = N_{\text{track}} + 1$ , 并假定对于所有读出器的振幅响应相等, 且沿各读出器磁道宽度的响应均匀。

$\mathbf{MI}(1:N_{\text{dim}}, 1:N_{\text{dim}}) = 0;$

for  $jr = 1:N_{\text{dim}}$

    for  $jc = 1:jr$

$\mathbf{MI}(jr, jc) = ((-1)^{(jc+jr)}) * ((1/f)^{(1+N_{\text{dim}}-jc)}) * (d^{(N_{\text{dim}}-jc)});$

    end

end

给定写入信号, 则读出信号将为:

$$\mathbf{R} = \mathbf{M} * \mathbf{W} \quad \text{等式 3}$$

去卷积写入磁道 ( $DW$ ) 给出为:

$$\mathbf{DW} = \mathbf{IM} * \mathbf{R} = \mathbf{IM} * \mathbf{M} * \mathbf{W} \quad \text{等式 4}$$

等效矩阵为:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{M2} = & \\
 & \begin{bmatrix} d, f, 0, 0, 0 \\ 0, d, f, 0, 0 \\ 0, 0, d, f, 0 \\ 0, 0, 0, d, f \\ 0, 0, 0, 0, d \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

矩阵  $\mathbf{M2}$  的逆矩阵为:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{IM2} = & \\
 & \begin{bmatrix} 1/d, & -f/d^2, & f^2/d^3, & -f^3/d^4, & f^4/d^5 \\ 0, & 1/d, & -f/d^2, & f^2/d^3, & -f^3/d^4 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} 0, & 0, & 1/d, & -f/d^2, & f^2/d^3 \\ 0, & 0, & 0, & 1/d, & -f/d^2 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 1/d \end{bmatrix}$$

写入磁道矢量为:  $W2 = (0, W(1), W(2), W(3), W(4))$ ,

而读出矢量为:  $R2=(R(1), R(2), R(3), R(4), R(5))$ 。

当  $d>f$  时, 尤其当  $f\ll 1$  时, 由于信噪比 (SNR) 和  $1/f$  因子的误差, 将更优选该第二矩阵 (IM2)。当  $f>d$  时, 将更优选第一矩阵 (IM)。也可将两者结合以提供更好的 SNR。

如果同时生成补充的隔离写入磁道  $WE(j)$  (假定至少一个补充的“附加”控制磁道被写入, 并被“空白”区包围), 则附加磁道的水平移动将与具有在数据磁道  $W$  上写入的“随机”信息的磁道的水平移动相同。由于附加磁道被隔离 (由“空白”区例如 DC 或 AC 擦除引起), 读出该信号的读出器将仅仅从该磁道获得信号。利用一个附加控制磁道  $WE(1)$ , 可由等式 5 和 6 (并参考图 7) 确定  $f$  和  $d$  的值。

$$f=x/W_R=RE(1)/[RE(1)+RE(2)] \quad \text{等式 5}$$

$$d=y/W_R=1-f=RE(2)/[RE(1)+RE(2)] \quad \text{等式 6}$$

当读出器的宽度小于写入器的宽度从而在读出器之间存在间隔时,  $f$  和  $d$  仍由以上两等式给出。

在附加写入磁道未被写入的位置处, 可发生磁带上的“死 (dead)”区 (例如漏码区), 因此希望在数据磁道组的任一端上具有附加写入磁道, 并将在确定相对偏离磁道耦合时赋予用户更多的灵活性。

对于没有数据被写入其中的磁道, “空白”区的区域将通过不在该区域写入数据而简单地固有地存在。一旦磁带被写入, 对于在磁带的相同区域上的不同遍, 磁带相对于磁头的横向移动导致“空白”区的区域的位置变化。这使得无论磁带何时被写入, 都有必要产生“空白”区。这可通过使在“空白”区的区域上的写入器在与将被写入的数据 ( $Wb(1)-Wb(3)$ ) 的同时在“空白”区中擦除磁带而实现。这可确保“空白”区存在并跟随写入数据磁道的“摆动”。磁带擦除的一个实例是在磁道  $Wb(1)-Wb(4)$  上由写入器进行的“DC”擦除, 该写入器在整个写入过程中利用恒定电流供

电，足以在一个取向上在“空白”区的区域中磁化磁带而没有任何转变。

“AC”擦除一般是指在足够高的电流水平下对写入器施加足够高频率的电流以在磁带上以读出磁头不能读出其的足够小的物理间隔写入交替取向的磁性转变。

伺服系统和伺服磁道可用于维持磁道跟随（并可视为“控制”磁道），但附加写入控制磁道与“空白”区一起将极大地有助于对由在各读出器上不同写入磁道的重叠引起的信号去卷积。附加写入磁道也可用作微调伺服信号。逆矩阵（IM）仅仅通过  $f$  和  $d$  的获知而唯一确定。逆矩阵的应用是简单的求和及叉乘。当附加写入磁道和将附加写入磁道与数据磁道分隔的“空白区”利用存储空间时，利用大量同时写入的磁道（16, 32, 64, ...），面积的分数损耗降低。

下面给出用于确定读出器或读出器相对于控制磁道的重叠的几种方法。这些方法中的每一种假定控制磁道在与写入数据磁道的同时被写入，因此无论任何摆动，在特定数据带中磁道与磁道的间隔将恒定。换句话说，控制磁道中的摆动和数据磁道中的摆动将相同。在以下实施例中的任何一个中，与数据磁道同时写入一个或多个控制磁道。

在单个控制磁道的实施例中，如图 8 所示，可相邻 DC 或 AC 擦除磁道  $Wb(1)$  以及可选地  $Wb(2)$  而写入控制磁道  $WE(1)$ 。然后利用单个读出器  $RE(1)$  回读控制磁道。优选地，控制磁道信号为正弦波。读出器信号振幅正比于在控制磁道上读出器的重叠量。如果读出器完全在控制磁道上方，则回读信号将为最大值。当读出器在控制磁道上方 50% 时，回读信号将为最大值的 50%。

应记住，噪声总是存在。并且因为该方法利用回读信号的振幅以确定读出器的相对重叠，振幅的变化可标示或不标示真实位置。振幅可受到各种因素，不仅仅是磁头位置的影响。例如，即使读出器精确地在磁道上，由于例如磁头-磁带间隔、颗粒磁化、磁性颗粒密度变化、磁带缺陷、擦除带中的颗粒随机性等因素，振幅仍然有变化。

为提供更高的可靠性，一个实施例利用多个磁头读出同一控制磁道。



例如，可利用两个读出器读出被两个擦除磁道包围的一个控制磁道，如图 7 的情况。这里，可利用两个读出器的振幅差异产生位置信息。一个磁头中的振幅减小应对应于另一个磁头中的振幅增大，因此可基于来自各磁头的比例信号计算读出器与控制磁道的相对位置。任何横跨两个读出器的振幅损耗可标示由于磁头-磁带间隔、颗粒磁化、磁性颗粒密度变化、磁带缺陷等引起的变化，而不是相对于控制磁道的位置改变引起的变化。

在另一实施例中，如图 9 所示，利用单个读出器 RE(1)可回读两个相邻的控制磁道 WE(1)、WE(2)。利用不同的图形写入两个控制磁道。例如，可利用具有稍微不同的频率的（优选不谐频的）两个正弦波。单个读出器产生来自两个控制磁道的信号。然后可通过以本领域已知的方式滤波，分离所得的结合信号。通过测量频域中两个分量的相对振幅，获得位置信息，并将该位置信息与补偿磁头的 Wallace 频率相关性的标称值比较。基于振幅相对于彼此的比例强度，可确定磁头的位置。该实施例可消除否则将由来自擦除带的噪声引起的任何问题。

在又一实施例中，在两个控制磁道（相邻或分离，每个控制磁道一个或多个读出器）上可选择两个（或多个）伪随机位序列（PRBS）代替将要写入的两个正弦波。PRBS 序列应相互正交，并是彼此的旋转形式。可将这两个磁道上的读出器信号输出到两个匹配的滤波器，该两个滤波器与两个 PRBS 序列匹配。该两个匹配滤波器的输出比率可用于定位信息。这不同于以前的方法，因为现在不仅仅写入简单的正弦波，而是在控制磁道中存在重复、随机出现的图形。

两个 PRBS 序列足够独特以被识别，这很重要。例如，它们可以是正交的。这意味着两个序列的点乘为零或非常小。如果将序列中的一个旋转任意位数，即从序列末端的位数被添加到初端，则旋转后的序列的点乘也应非常小。

考虑以下实例。控制磁道 1 具有伪随机位序列，而控制磁道 2 具有不同的伪随机位序列。位序列可覆盖整个频域，并优选被优化以获得高信噪比。因此从频域角度，信号几乎难以区别。因此在时域中进行伺服。在各

控制磁道中相同序列反复重复。匹配滤波器识别伪随机位序列中的匹配，其输出变高，从而表明匹配。第二匹配滤波器类似地分析第二控制磁道。

在另一实施例中，在相邻的磁道束的任一侧上写入两个控制磁道，该磁道束在两侧具有擦除磁道，如图 6 的情况。利用两个读出器可回读控制磁道。由两个磁头输出之间的振幅差异产生位置信息。

在再一个实施例中，控制磁道还提供用于数据读出信道 (channel) 的时钟恢复的时序和相位信息。如本领域中公知的，存储系统的回读系统将输入的回读信号译码或解码为 1 和 0，从而将信号转换为可写到磁带 (读出信道) 的位。时钟恢复子系统使回读系统的时钟与写入系统的时钟同步，从而驱动器知道在回读信号上何时输入 1 和 0。时钟恢复是磁带驱动回读系统中最难的过程之一。具体地说，任何信号损失或漏码都可导致驱动器丢失时钟。因此，任何改善时钟恢复的方法都是希望的。

通常嵌入纠错。然而，所有这些都是从初始数据读出的下游程序。因此如果丢失了时序，效果立即未知，并通常发生大的错误。因此希望确保时钟与时序信号适当对准，并更快速地探测时序错误。

为帮助时序校验，控制磁道可提供频率和相位信息，用于数据读出信道的时钟恢复电路。由于本质上为周期性的，优选已知周期的正弦信号，因此可容易地计算磁带的速度并由此可计算时序。

在又一个实施例中，由具有倾斜磁转变的两个控制磁道 WE(1)、WE(2) 上的两个读出器 RE(1)、RE(3) 的相位差获得定位信息。注意，可以提供补充读出器 RE(2)、RE(4) 以增强可靠性。转变之间的角度倾斜，以便两个磁道提供基于相位的位置信息，如图 10 所示。

各读出器优选小于相关联的控制磁道的宽度。当介质经过读出器时，在介质上在各写入转变时产生脉冲。当两个磁头在中间时，对于各控制磁道，脉冲一起到达。如果读出器横向移动，则一个读出器的脉冲较早到达，而另一个读出器的信号较晚到达。通过测量脉冲间隔，可以确定相对于控制磁道的读出器位置。

为写入倾斜转变，以一定角度设定写入器。

图 11 和 12 示出了利用数学生成信号的过程的实例。再次假定通过利用读出器 RE(1)及 RE(2)和/或 RE(3)及 RE(4)从控制磁道 WE(1)和/或 WE(2) 读出信号，确定重叠。

图 11 是四个平行写入的磁道（符号）和五个读出信号（线）的绘图。图 12 是四个平行写入的磁道（符号）和校正的读出信号（线）的绘图。在图 11 和 12 中，写入磁道都具有相同的振幅，但相位相差  $\pi/2$ 。五个读出磁道相对于写入磁道水平移动磁道宽度的 30%，因此第一读出磁道具有第一写入磁道的 70%。第二读出磁道具有第一写入磁道的 30% 以及第二写入磁道的 70% 等。

图 13 示出了利用写到磁带上并由 LTO 驱动器从磁带读出的两个相邻磁道的过程（符号）的实例。第二磁道有目的地与第一磁道在时间上有偏移，以加强重叠的效果。三个读出磁道（用线表示）相对于写入磁道水平移动磁道宽度的 50%，因此第一读出磁道具有第一写入磁道的 50%。第二读出磁道具有第一写入磁道的 50% 以及第二写入磁道的 50%。第三读出磁道具有第二写入磁道的 50%。图 14 示出了对图 13 的读出重叠信号的去卷积，示例了原始磁道的恢复。逆矩阵假定已知 50% 的重叠。

所述的用于读出信号的矩阵 (M) 和用于读出信号的去卷积的矩阵 (MI) 假定所有的读出器具有相同的响应。如果各读出器的响应不同，则可执行更复杂的去卷积算法。读出器之间的潜在的非线性或不均匀差异包括：(a) 幅度（振幅）；(b) 正和负响应的不对称；(c) 频率响应差异。

关于幅度（振幅）差异，只要它们不随时间变化，可较容易地进行幅度或振幅校正。由其响应的固有差异引起的不同读出器之间的振幅变化由矩阵 MA 给出：

$$MA(i,i)=A(i) \quad \text{等式 7}$$

以及当  $j \neq i$  时，

$$MA(i,j)=0 \quad \text{等式 8}$$

逆矩阵 (IMA) 为：

$$IMA(i,i)=1/A(i) \quad \text{等式 9}$$

以及当  $j \neq i$  时,

$$\text{IMA}(i,j)=0 \quad \text{等式 10}$$

关于不对称差异, 类似于 MA 和 IMA 的矩阵描述不对称读出器响应, 但采用两个  $A(i)$  值:

如果  $R(i) > 0$ , 则

$$A(i)=A_p(i) \quad \text{等式 11}$$

以及如果  $R(i) < 0$ , 则

$$A(i)=A_n(i) \quad \text{等式 12}$$

为了利用更复杂的校正算法, 必须确定读出器的响应。确定读出器的响应的一种方法是在磁带的指定部分中校准读出器。在磁带的校准部分中, 所有写入器写入相同的图形。然后可确定各读出器的振幅和不对称响应。甚至可确定频率响应。如果读出器的频率响应补偿在硬件中例如在利用均衡滤波器以促进高频信号的现有磁带驱动器中采用的方法等, 则最好。为确保适当校准边缘读出器, 应采用除写入数据的写入器外更多的写入器。图 15 示出了校准读出器振幅和不对称的方案。在图 15 中, 利用足够的写入磁道, 从而写入图形延伸超出所有的读出器。在优选实施例中, 一个写入器与一个读出器相关联, 具有补充写入器用于在阵列的任何一端上写入磁道 (即, 写入器的数量比校准读出器的数量多两个)。

读出信号向数据位的转换可利用标准算法例如峰值检测或部分响应、最大似然 (PRML) 而实现, 但适用于校正的读出信号 (CR), 而不适用于直接读出的信号 (R)。

求解沿读出器磁道宽度的不均匀读出器分布的一种方法是进行驱动器内微磁道分布校准。图 16 是特定实施例的示意性实例, 其中利用沿磁带的段交替的写入器以特定图形写入数据磁道如  $W(1)$ 、 $W(3)$ 、 $W(5)$ 、 $W(7)$ 。然后使磁头从校准区域上方通过, 有意地水平移动磁头并在磁带纵向运动时测量信号。在图 16 中, 磁带垂直移动, 因此磁头从左向右移动, 如行 16 (a) 至 16 (d) 所步进地示出的。记录的奇数读出器  $R(1)$  的信号将经历从 16 (a) 中的零信号到 16 (b) 中的较小数到 16 (c) 中的最大信号到 16

(d) 中的零信号。则可知所有读出器的沿其磁道宽度的响应，并可将该响应分解成矩阵操作。

图 17 示出了在读出器宽度范围内不均匀响应的情况。各读出器具有不同的响应。 $f(n,x)$  是第  $n$  读出器从 0 到  $x$  的响应，以及  $d(n,x)$  是第  $n$  读出器从  $x$  到  $W_R$  的响应。在如图 13 所示的校准工序期间测量  $f(n,x)$  和  $d(n,x)$  的值，其中在磁带垂直移动时，交替的磁道被写入，并且磁头水平地步进，然后在检查表中存储  $f(n,x)$  和  $d(n,x)$  的值。具有五个读出器阵列的四个写入磁道的矩阵 (M) 和逆矩阵 (IM) 为：

$$M = \begin{bmatrix} f_1, & 0, & 0, & 0, & 0 \\ d_2, & f_2, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & d_3, & f_3, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & d_4, & f_4, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & d_5, & f_5 \end{bmatrix}$$

$$IM = \begin{bmatrix} 1/f_1, & 0, & 0, & 0, & 0 \\ -d_2/Q/f_1, & 1/f_2, & 0, & 0, & 0 \\ d_3*d_2/f_3/f_2/f_1, & -d_3/f_3/f_2, & 1/f_3, & 0, & 0 \\ [-d_4*d_3*d_2/f_4/f_3/f_2/f_1, & d_4*d_3/f_4/f_3/f_2, & -d_4/f_4/f_3, & 1/f_4, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 1/d_5 \end{bmatrix}$$

因此

$$IM * M + I = \begin{bmatrix} 1, & 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 1, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 1, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 1, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 1 \end{bmatrix}$$

其中 I 是单位矩阵或对角矩阵。

$f_n(=f(n,x))$  和  $d_n(=d(n,x))$  的值是  $x$  的函数。为了简化，已从矩阵省略  $x$  的函数。通过连续测量的  $f_E(=f_E(x))$  和  $d_E(=d_E(x))$  的值，由“附加”（控制）写入磁道确定  $x$  的值，其中  $f_n$  和  $d_n$  的值预先确定。对于实际应用，可将磁道划分成段，以及可在检查表中存储适当的逆矩阵。

通过由“附加”（控制）磁道测量  $fE$  和  $dE$ ，产生用于 IM 以去卷积信号的  $f(j)$  和  $d(j)$  的值。例如，如果所有磁道在其宽度范围内具有均匀响应，则  $fE = (x/WR)$ ，以及  $dE = 1 - fE$ ，因此所有的  $f(jr)=fE$  以及所有的  $d(jr)=dE$ 。

对于  $fE(x)$  和  $dE(x)$  的较佳确定，而不是仅仅依赖于瞬时值，可以利用采用适当时间的适当积分。矩阵的一般形式为：

```
ndim=length(f);
```

```
for jr=1:ndim, for jc=1:ndim, M(jr,jc)=0; end, end
```

```
M(1,1)=f(1); for jr=2:ndim, M(jr,jr)=f(jr); M(jr,jr-1)=d(jr); end
```

逆矩阵的一般形式为：

```
for jr=1:ndim, for jc=1:ndim, MI(jr,jc)=0; end, end
```

```
MI(1,1)=1/f(1);
```

```
for jr=2:ndim
```

```
jc=jr; MI(jr,jc)=1/f(jr);
```

```
for nc=2:jr, jc=jc-1; IM(jr,jc)= -1*(d(jc+1)/f(jc))*MI(jr,jc+1); end
```

```
end
```

给定写入信号的读出信号将为：

$$R=M*W \quad \text{等式 13}$$

去卷积的写入（DW）磁道给出为：

$$DW=IM*R=IM*(M*W)=(IM*M)*W=I*W=W \quad \text{等式 14}$$

### 利用实磁头的叠加测试

作为这样的检验，即读出器的响应为线性，以便可利用叠加去卷积来自与两个写入磁道重叠的读出器的信号，利用 LTO 生成 1（Gen 1）磁头进行实验。该实验提供在此所述的去卷积技术的可行性的第一标示。LTO Gen 1 磁头具有  $S_R=S_W=333\mu\text{m}$ ， $W_R=12.6\mu\text{m}$  以及  $W_W=26.5\mu\text{m}$ 。LTO Gen 1 磁头具有在两个模块上的 8 个读出器和 8 个写入器。“读出”模块的读出器与“写入”模块的写入器对准。在该实验中，磁带首先被 AC 擦除。然后写入 8T 图形，用于以  $333\mu\text{m}$  横向分离部分磁带磁道  $W1(8T)$ ，

$W2(8T), \dots W8(8T)$ 。

图 18 示出了由如上所述配置的 LTO Gen 1 磁头生成的信号。读出器 R1 在写入磁道  $W1(8T)$  上对准，而读出器 R2 位于写入磁道  $W2(8T)$  上  $\sim 50\%$  和磁道  $W1(2T)$  上  $-50\%$  处。2T 和 8T 指图形。写入 8T 图形。移动磁头  $333 + 20\mu\text{m}$ ，从而  $W1(8T)$  为隔离的 8T 图形，并且  $W1(2T)$  与  $W2(8T)$  重叠。重叠为从 8T 图形中心  $\sim 6.8\mu\text{m}$  ( $20\mu\text{m} - W_w/2$ )。然后定位磁头，以使 R2 以  $W2(8T)$  与  $W1(2T)$  的重叠为中心。R1 与  $W1(8T)$  的重叠为  $\sim 98\%$ 。由于 2T 图形的起始点早于 8T 图形的起始点，大致在数据点 780 之前，来自 R1 的信号仅仅为噪声，而 R2 是 2T 图形。

图 18 上部的曲线示出了以磁道  $W1(8T)$  为中心的读出器 R1 的响应。在信道  $\sim 780$  之前的平坦线仅仅是 AC 擦除噪声。从信道  $\sim 780$  至 1000 可见的转变 8T 图形。然后磁头移动  $333 + 20\mu\text{m}$ ，以及然后写入 2T 图形。利用该步骤，隔离磁道  $W1(8T)$  与  $W8(2T)$ 。磁道  $W_{n+1}(8T)$  相邻于磁道  $W_n(2T)$  ( $n=1:7$ )，其中  $W_{n+1}(8T)$  标称宽度  $20\mu\text{m}$ ，以及  $W_n(2T)$  的全宽为  $26.5\mu\text{m}$ 。图 20A 示出了以磁道  $W2(2T)$  为中心的读出器 R2 的响应，作为净 2T 图形。然后将磁头移动至位置  $6.8\mu\text{m}$ ，以使 R1 在  $W1(8T)$  上标称为  $98\%$ ，以及 R2 在  $W2(8T)$  和  $W1(2T)$  上标称为  $50\%$ 。图 18 下部的迹线示出了 R2 的所得信号。在信道 0 与  $\sim 780$  之间读出 2T 图形，其为来自  $-50\% * W1(2T)$  的图形。在信道  $\sim 780$  处，还采集到来自  $W2(8T)$  的 8T 图形，该图形产生  $\sim 50\% * W1(8T)$  加  $\sim 50\% * W1(2T)$  的混合信号。

图 19 是图 18 的放大图，其始于信道 780，其中 R1 和 R2 信号都被移动至前面数据的平均值。具体地说，示出了 R1，8T 图形以及 R2，8T 和 2T 的混合图形。示出了仅仅第一少量的 8T 通量反转 (flux reversal)。

去卷积混合信号的最佳尝试示于图 20B 中，其示出了读出器 R2 去卷积的 2T 图形，其中从位于写入磁道  $W2(8T)$  上  $\sim 50\%$  和  $W1(2T)$  上  $\sim 50\%$  的 R2 的混合信号减去与  $W1(8T)$  上的 R1 同时读出的隔离 8T 图形。图 20B 等于  $R2'(2T) = R2(8T, 2T) - 0.43 * R1(8T)$ ，或者说从  $R2(2T, 8T)$  减去来自 R1(8T) 的信号的  $43\%$ 。图 21A 是 R1(8T)、R2(2T)、混合信号 R2(8T, 2T)、

混合信号 R2 的去卷积 (R2、去卷积的(2T)或 R2'(2T')) 的傅立叶变换。混合信号 R2(8T,2T)的频率含量是“净”8T和2T图形的频率含量的和。去卷积的信号 R2'(2T')的频率含量主要是2T图形的频率含量,如图21B所示,其中8T图形的傅立叶振幅的分数为2T图形的傅立叶振幅的<2%。返回时基信号(图20A-20B),R2'(2T')的振幅变化大于R2(2T)的2T图形的振幅变化。R2'(2T')的振幅变化大于R2(2T)的原因包括:(a)来自R1(8T)的8T图形与R2(8T)在时间上的相位稍微不同;(b)R1(8T)的空间振幅变化不同于R2(8T,2T)中8T图形的含量;(c)R2(8T,2T)的测量期间磁带的横向移动不能利用现存的LTO Gen 1磁头补偿。概念(c)是R2'(2T')的振幅变化的主要因素。在50%重叠的情况下,标称地R2的6.3 $\mu$ m在W2(8T)上方,以及6.3 $\mu$ m在W2(2T)上方。如果在2.5 $\mu$ s的间隔期间(250信道,10ns/信道)磁带漂移 $\pm$ 0.5 $\mu$ m,则W1(8T)的分数将从46到54%变化。在该实验限制下,上述图中示出的去卷积获得概念的证据。

图22示出了可在本发明的各种方案的设备场景中采用的磁带驱动器。虽然图22中示出了磁带驱动器的一个特定实施例,应注意前面的附图的实施例可在任何类型的驱动器(即硬盘驱动器、磁带驱动器等)的设备场景中实施。

如图所示,设置磁带供应盘2220和接收盘2221,以支撑磁带2222。这些可以形成可移动磁带盒的部分,因此不必是系统的部分。导轮2225引导磁带2222穿过双向磁带磁头2226。该双向磁带磁头2226又通过压缩型MR连接电缆2230耦合到控制器组件2228。致动器2232控制磁头2226相对于磁带2222的位置。

磁带驱动器,例如图22中所示的,包括驱动电动机,以驱动磁带供应盘2220和接收盘2221,以使磁带2222在磁头2226上方线性移动。磁带驱动器还包括读出/写入信道,以向磁头2226传输将要记录在磁带2222上的数据并接收通过磁头2226从磁带2222读出的数据。还设置接口,用于在磁带驱动器与主机(集成的或外部的)之间的发送和接收数据的通信,并用于控制磁带驱动器的操作以及向主机传达磁带驱动器的状态,所有这



些都是本领域技术人员所理解的。

控制器 2228 可进行上述功能中的任何一者，包括计算重叠、计算逆矩阵、数据恢复等。可选地，主机系统可接收来自磁头（通过任何路径）的数据并进行去卷积。在另一种可选方案中，控制器和主机共同负责。控制器和/或主机可各包含进行在此所述的任何功能的机构（例如逻辑、软件模块、处理器等）。

#### 实例：

图 23 示出了如何计算读出器在磁道上的重叠的实例。在示图中，七个读出器 202 位于五个写入磁道的上面。磁道 1 和 5 是对准带。假定磁道 1 和 5 的磁道宽度 (TW) 是磁道 2-4 的磁道宽度的两倍，这允许读出器阵列在数据带内移动。读出器宽度 (RW) 不等于磁道宽度，而是满足下式：

$$TW = aRW \quad \text{等式 15}$$

在图 23 中磁头边界表示为 hb0-hb7。磁头边界的位置由下式确定：

$$hbi = i - 1 - e/RW, \text{ for } i = 0 \text{ to } 7 \quad \text{等式 16}$$

磁头等式假定磁道间干扰为线性。各磁头信号是磁道信号的线性结合：

$$h1 = t1 \quad \text{等式 17}$$

$$h2 = \text{abs}(hb1) * t1 + hb2 * t2 \quad \text{等式 18}$$

$$h3 = (a - hb2) * t2 + (hb3 - a) * t3 \quad \text{等式 19}$$

$$h4 = t3 \quad \text{等式 20}$$

$$h5 = (2a - hb4) * t3 + (hb5 - 2a) * t4 \quad \text{等式 21}$$

$$h6 = (3a - hb5) * t4 + (hb6 - 3a) * t5 \quad \text{等式 22}$$

$$h7 = t5 \quad \text{等式 23}$$

这里，假定  $a = 1.3$  且  $e/RW = 0.5$ 。所得的磁头边界位置计算为：

$$hb1 = -0.5, hb2 = 0.5, hb3 = 1.5, hb4 = 2.5, hb5 = 3.5, hb6 = 4.5$$

将该信息代入等式 17-23：

磁头等式：

$$h1 = t1$$

磁道等式：

[用相同磁道使磁头等式相加]

$$\begin{aligned}h_2 &= 0.5 * t_1 + 0.5 * t_2 \\h_3 &= 0.8 * t_2 + 0.2 * t_3 \\h_4 &= t_3 \\h_5 &= 0.1 * t_3 + 0.9 * t_4 \\h_6 &= 0.4 * t_4 + 0.6 * t_5 \\h_7 &= t_5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1.5 * t_1 + 0.5 * t_2 &= h_1 + h_2 \\0.5 * t_1 + 1.3 * t_2 + 0.2 * t_3 &= h_2 + h_3 \\0.8 * t_2 + 1.3 * t_3 + 0.9 * t_4 &= h_3 + h_4 + h_5 \\0.1 * t_3 + 1.3 * t_4 + 0.6 * t_5 &= h_5 + h_6 \\0.4 * t_4 + 1.6 * t_5 &= h_6 + h_7\end{aligned}$$

等式的矩阵形式为:

$$\begin{array}{cccccc} [t1] & [1.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0]^{-1} & [1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0] & [h1] \\ [t2] & [0.5 & 1.3 & 0.2 & 0 & 0] & [0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0] & [h2] \\ [t3] & [0 & 0.8 & 1.3 & 0.9 & 0] & [0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0] & [h3] \\ [t4] & [0 & 0 & 0.1 & 1.3 & 0.6] & [0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1] & [h4] \\ [t5] & [0 & 0 & 0 & 0.4 & 1.6] & [0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1] & [h5] \\ & & & & & & & & & & & & [h6] \\ & & & & & & & & & & & & [h7] \end{array}$$

矩阵等式可用于消除磁道间干扰。矩阵等式的输出可被输入标准 ID 信道。还应注意，偏离磁道的信号也可由伺服系统导出，并还可在探测器中更新。

本发明可采取完全硬件实施例、完全软件实施例或包含软件和硬件元素的实施例的形式。在优选实施例中，本发明在软件中实施，该软件包括但不限于固件、常驻软件、微码等。

此外，本发明可采取从提供程序代码的计算机可用或计算机可读介质可存取的计算机程序产品的形式，所述程序代码用于计算机或任何指令执行系统，或者与它们连接。为了本描述的目的，计算机可用或计算机可读介质可以是包含、存储、通信、传播或运输程序的任何装置，所述程序用于指令执行系统、装置或设备，或者与它们连接。

所述介质可以是电子、磁性、光学、电磁、红外或半导体系统（或者装置或设备）或传播介质。计算机可读介质包括半导体或固态存储器、磁带、可移动计算机软磁盘、随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、硬磁盘和光盘。光盘的现有实例包括紧致磁盘-只读存储器（CD-ROM），紧致磁盘-读/写（CD-R/W）以及 DVD。

适于存储和/或执行程序代码的数据处理系统包括至少一个通过系统总线与存储器元件直接或间接耦合的处理器。存储器元件可包括在程序代

码的实际执行期间采用的局域存储器、大容量存储器、以及为降低执行期间必须从大容量存储器收回代码的次数而提供至少一些程序代码的临时存储的超高速缓冲存储器。

输入/输出或 I/O 设备（包括但不限于键盘、显示器、指示器等）可直接或通过居间 I/O 控制器被耦合到系统。

网络适配器也可耦合到系统，以允许数据处理系统通过居间的专用或公用网络耦合到其它数据处理系统或远程打印机或存储设备。调制解调器、电缆调制解调器以及以太网卡仅仅是现有可用的网络转接器类型中的几种。

虽然以上描述了各种实施例，应理解，它们仅仅通过实例而非限制的方式给出。因此，优选实施例的宽度和范围应不受上述示例性实施例的限制，而仅仅受到根据以下权利要求及其等同替换的限定。

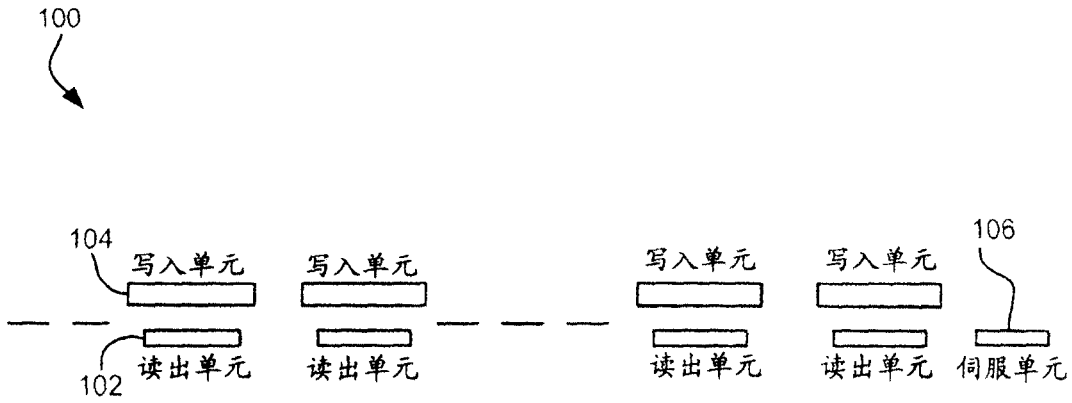


图 1  
(现有技术)

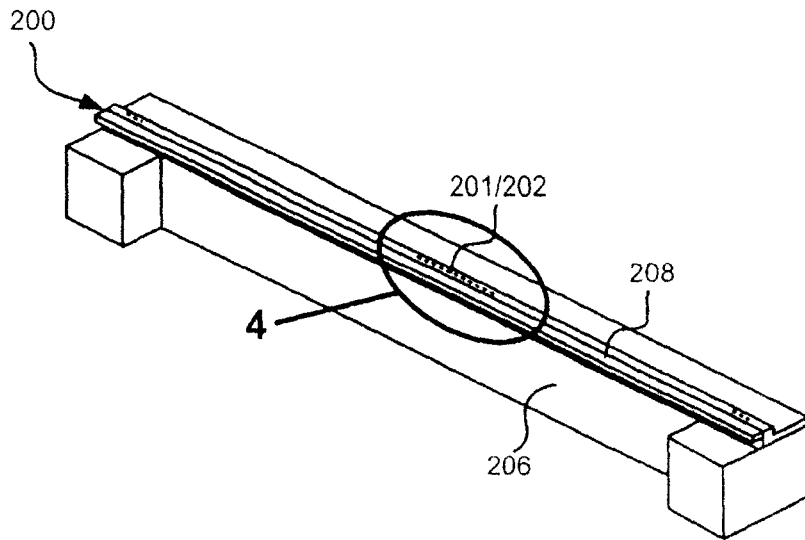


图 2

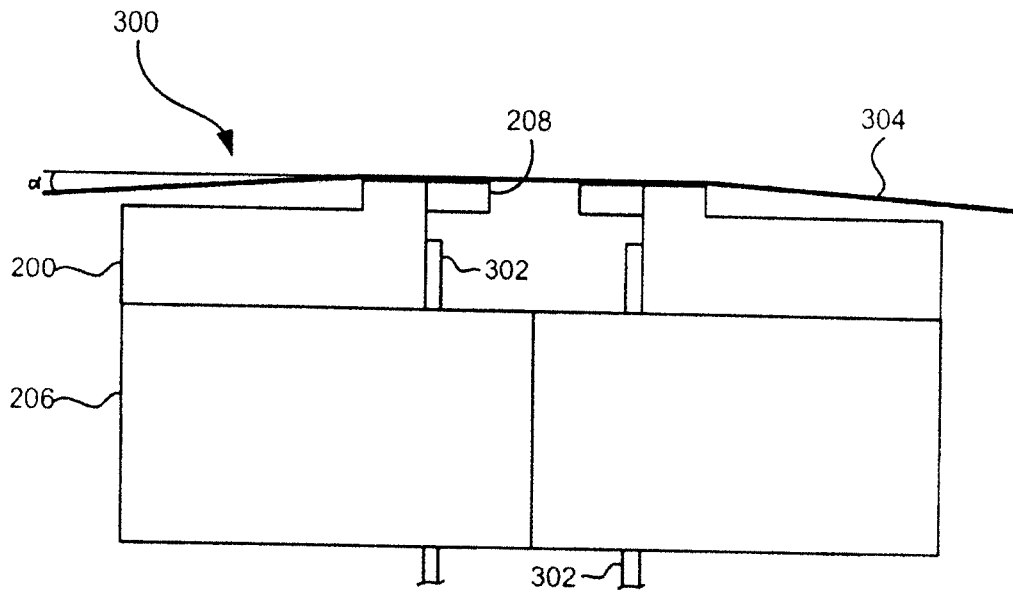


图 3

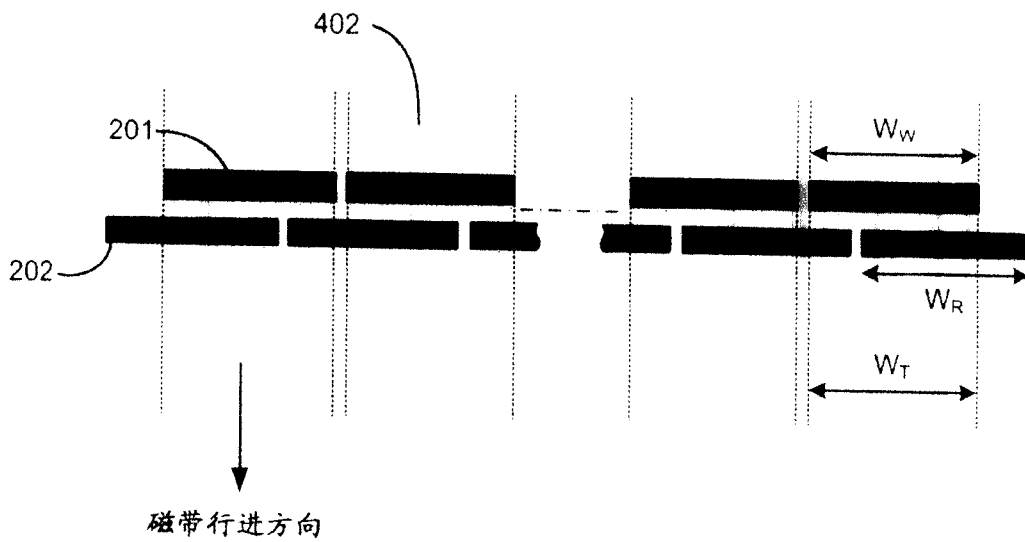


图 4

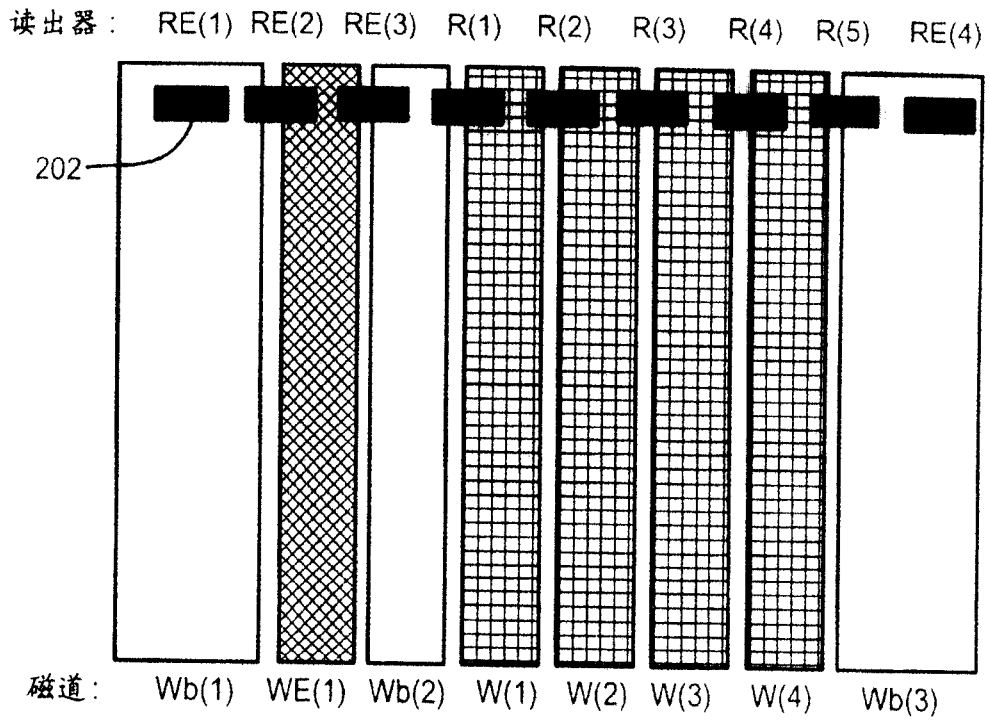


图 5

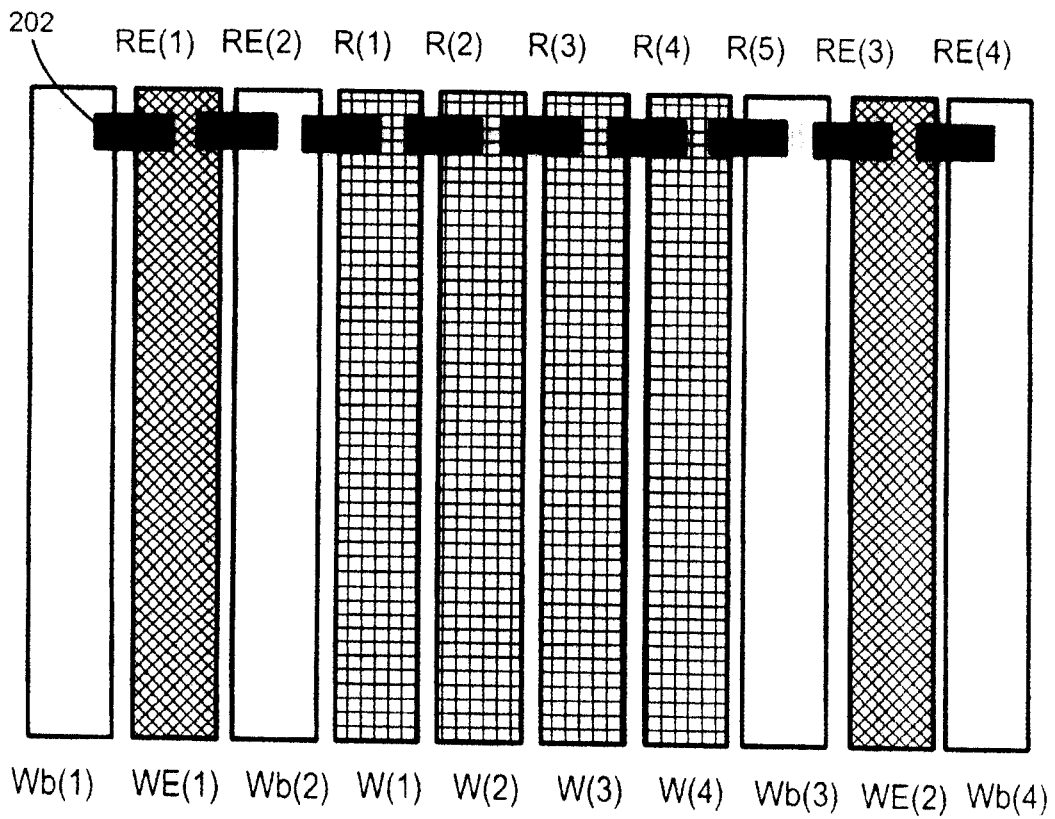


图 6

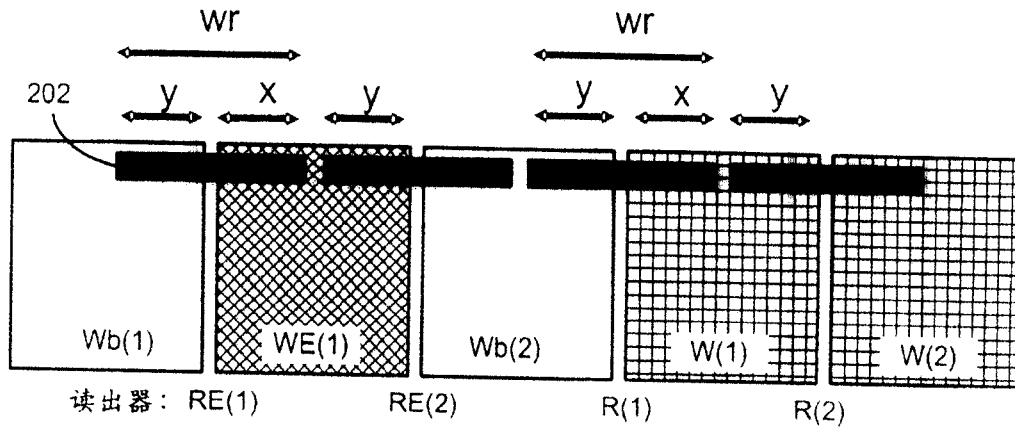


图 7

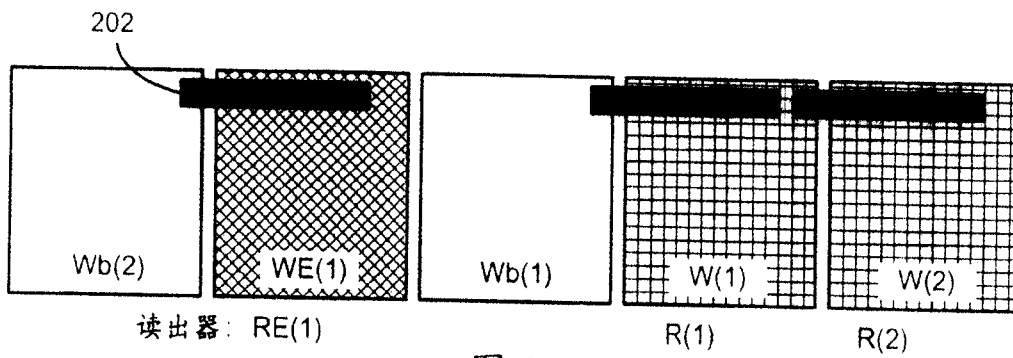


图 8

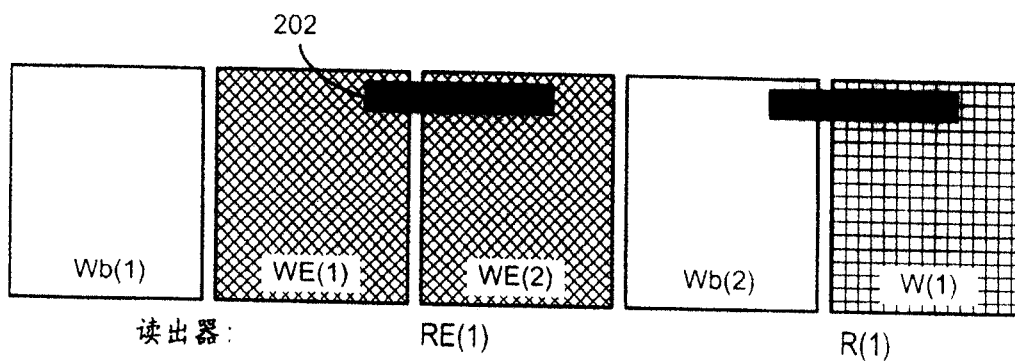


图 9

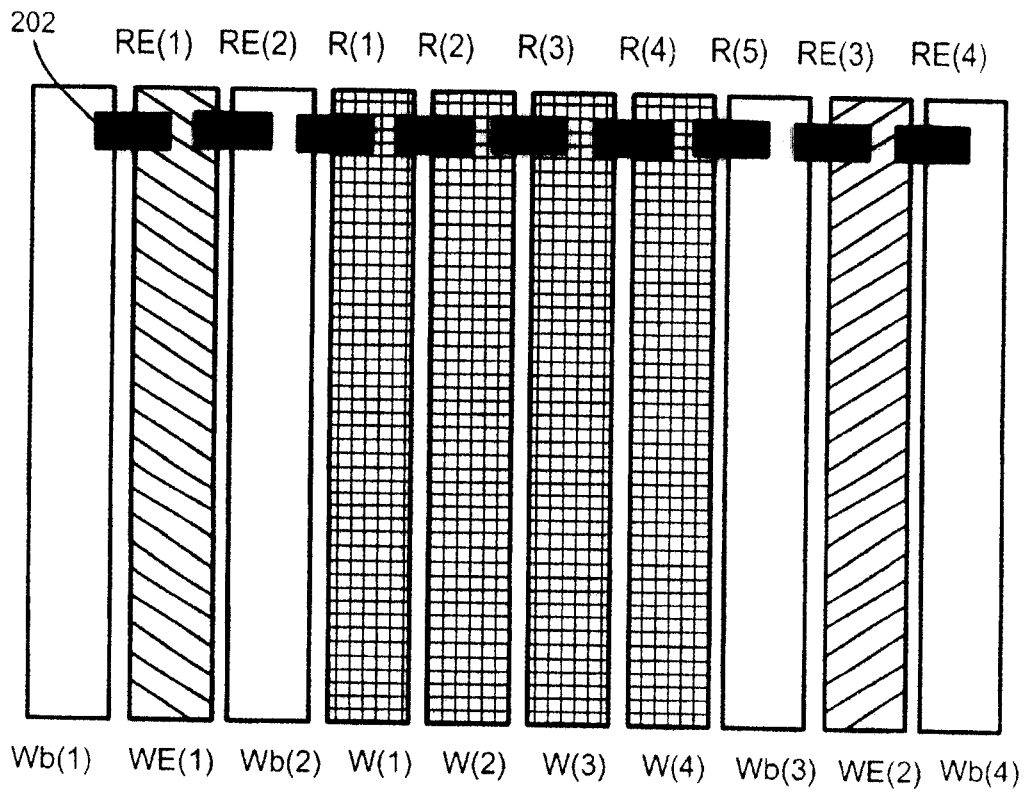


图 10



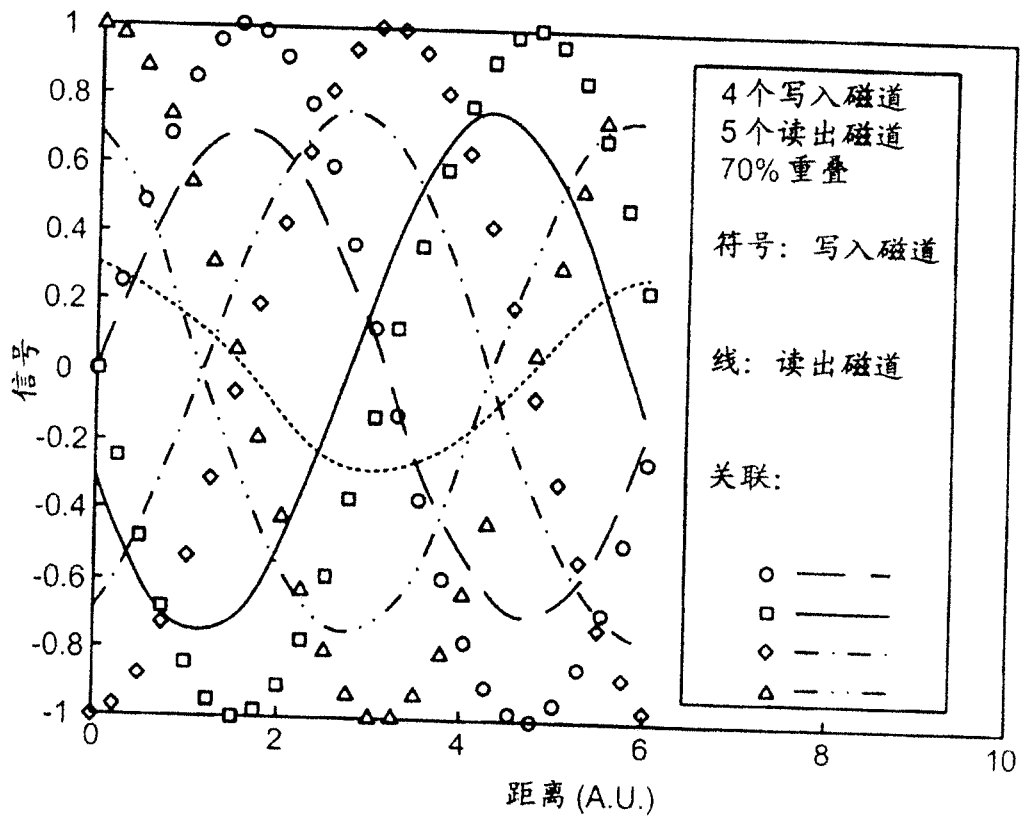


图 11

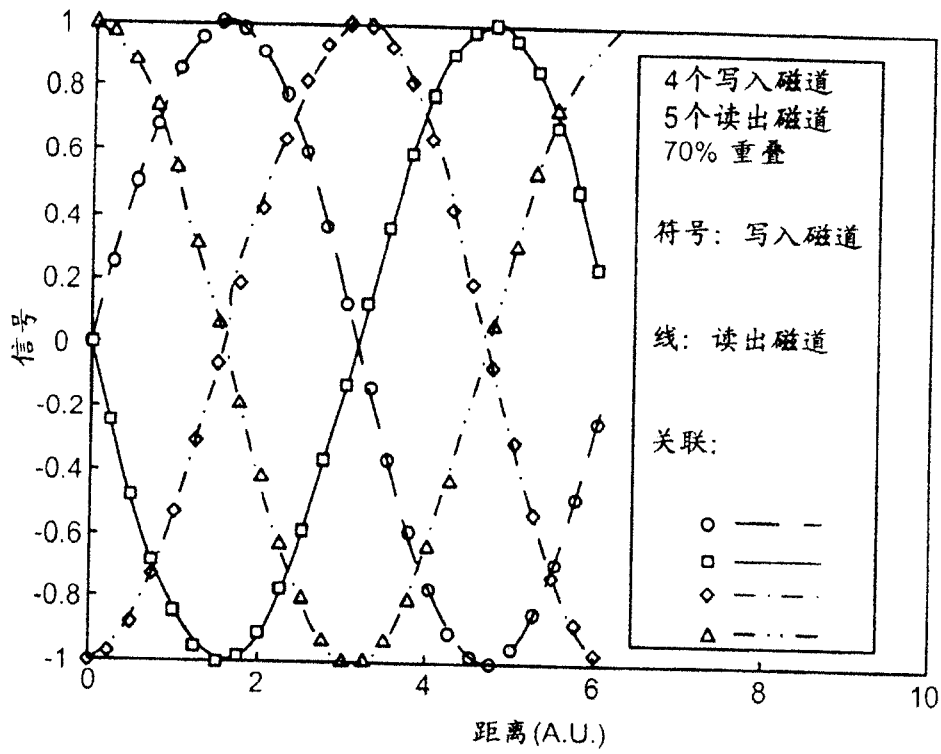


图 12

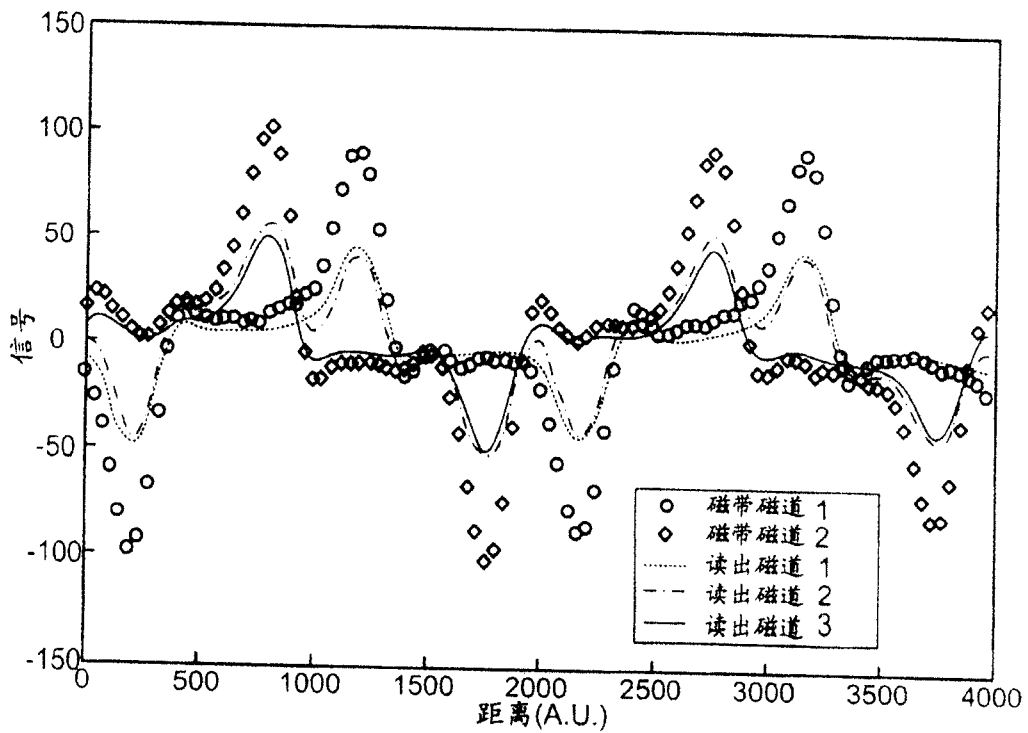


图 13

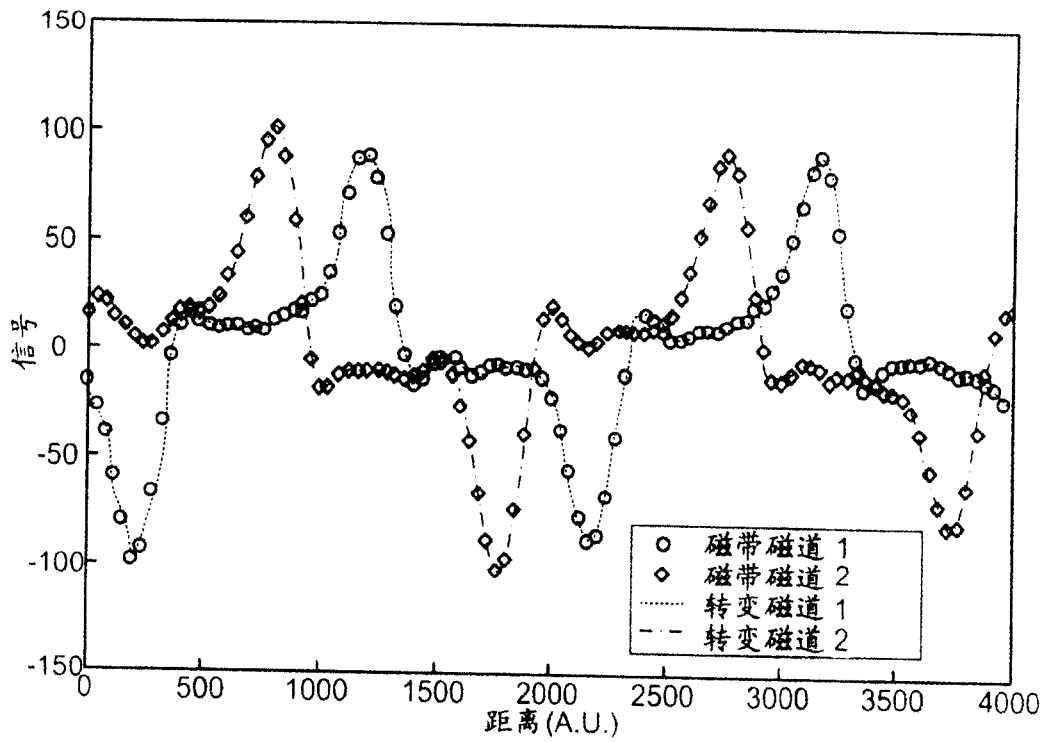


图 14

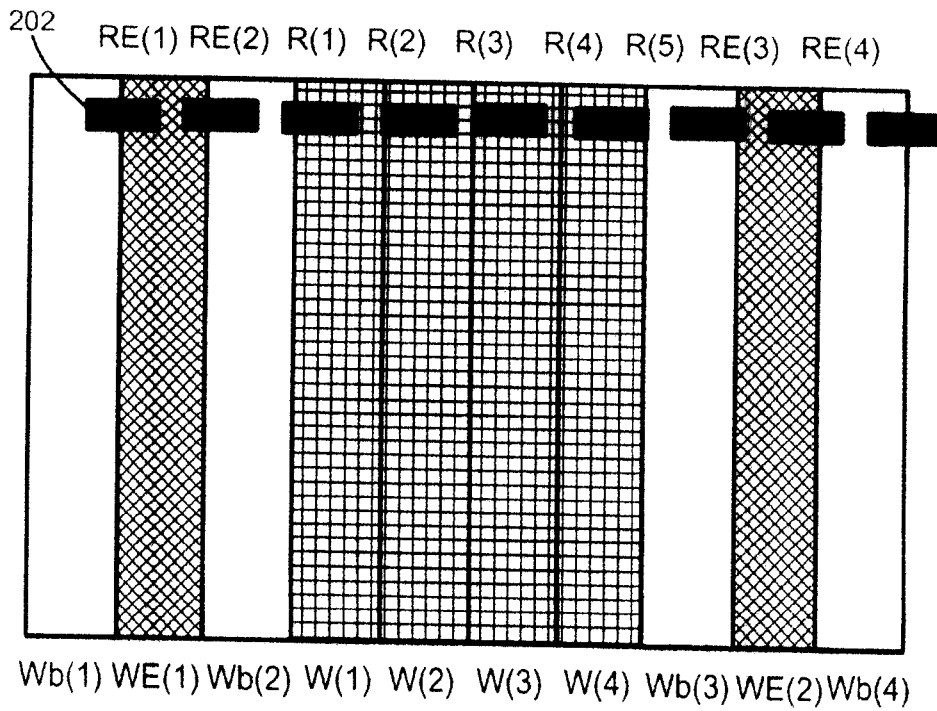


图 15

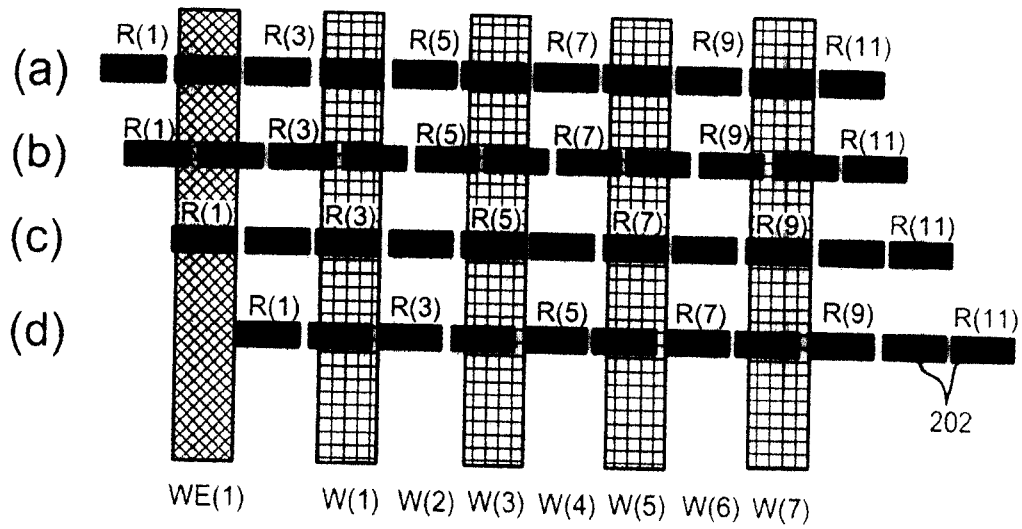


图 16

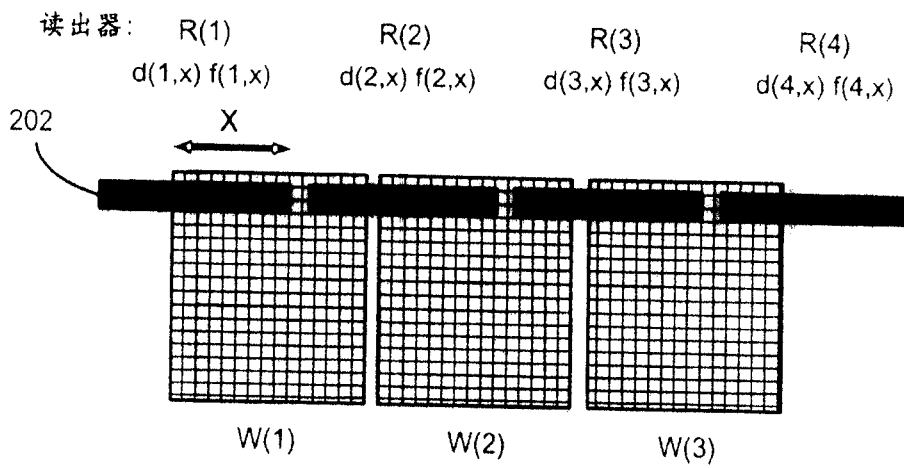


图 17

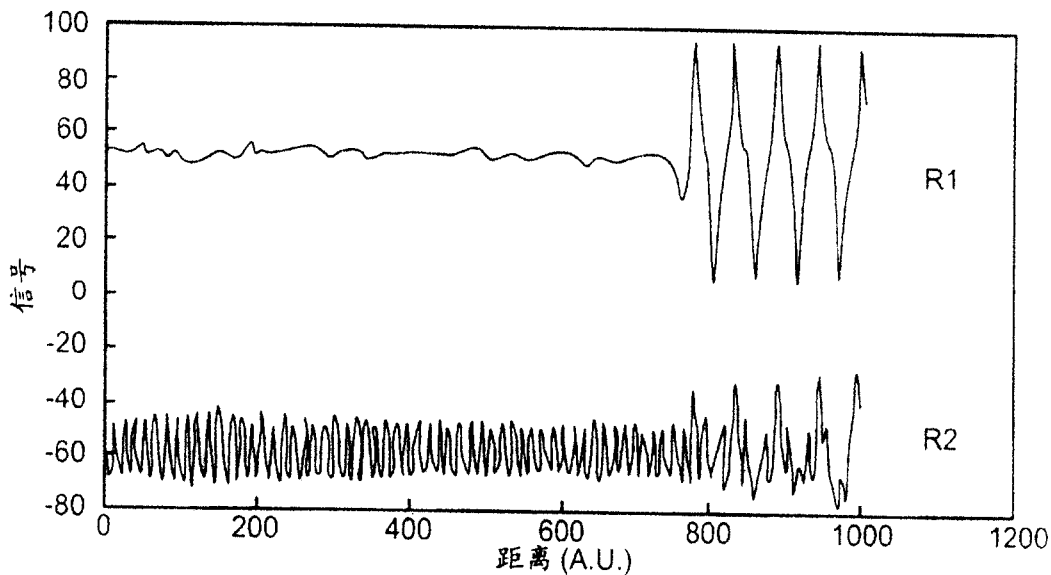


图 18

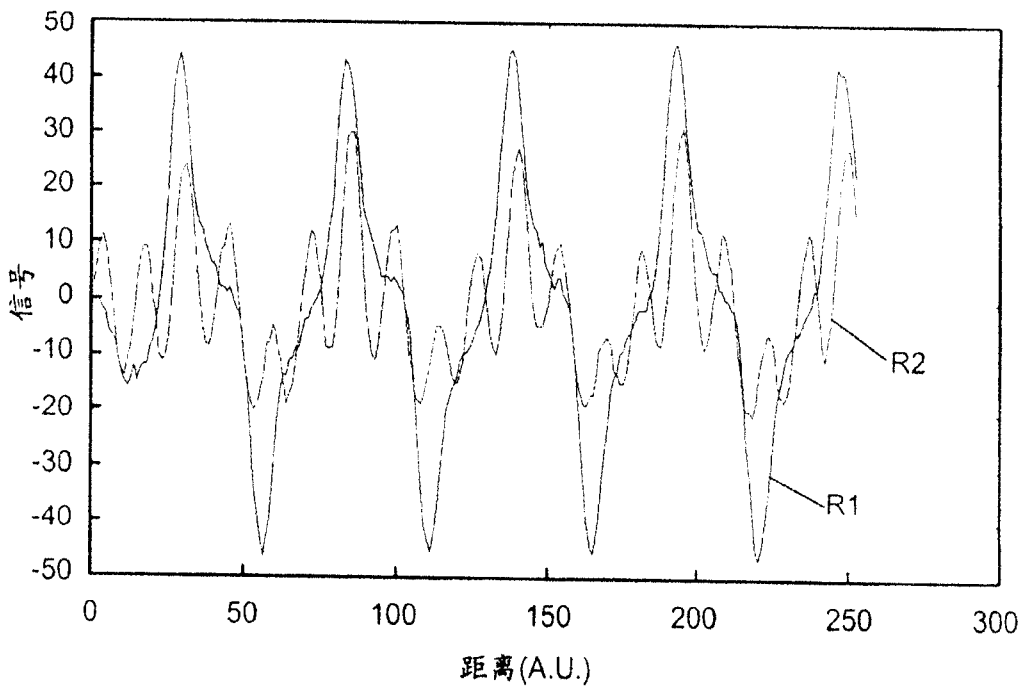


图 19

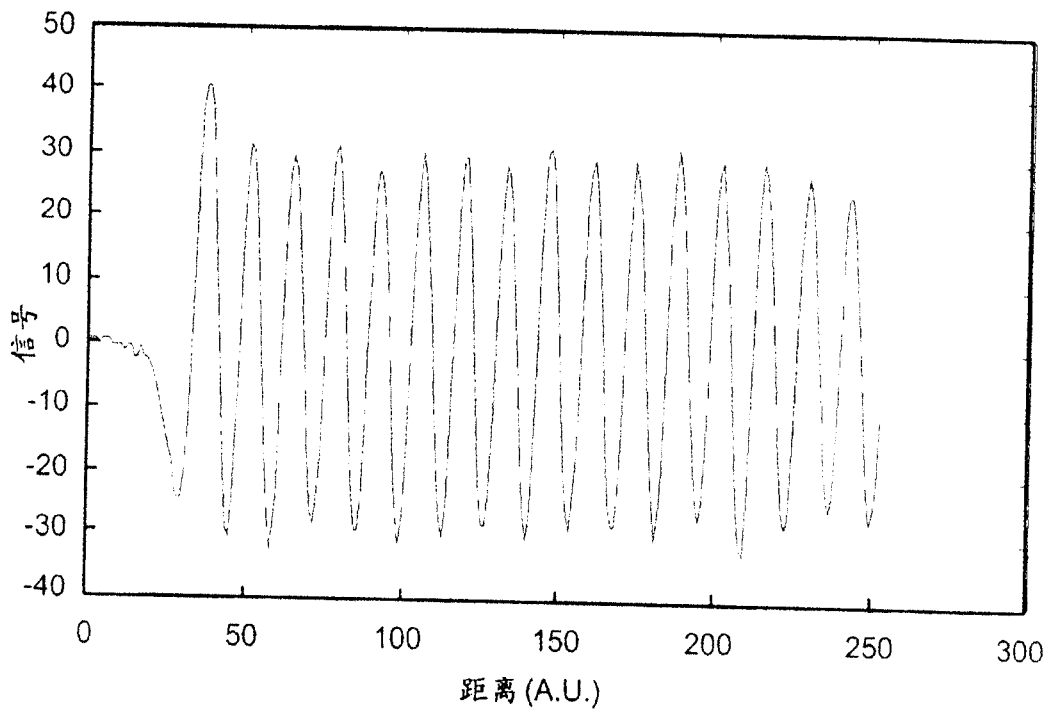


图 20A

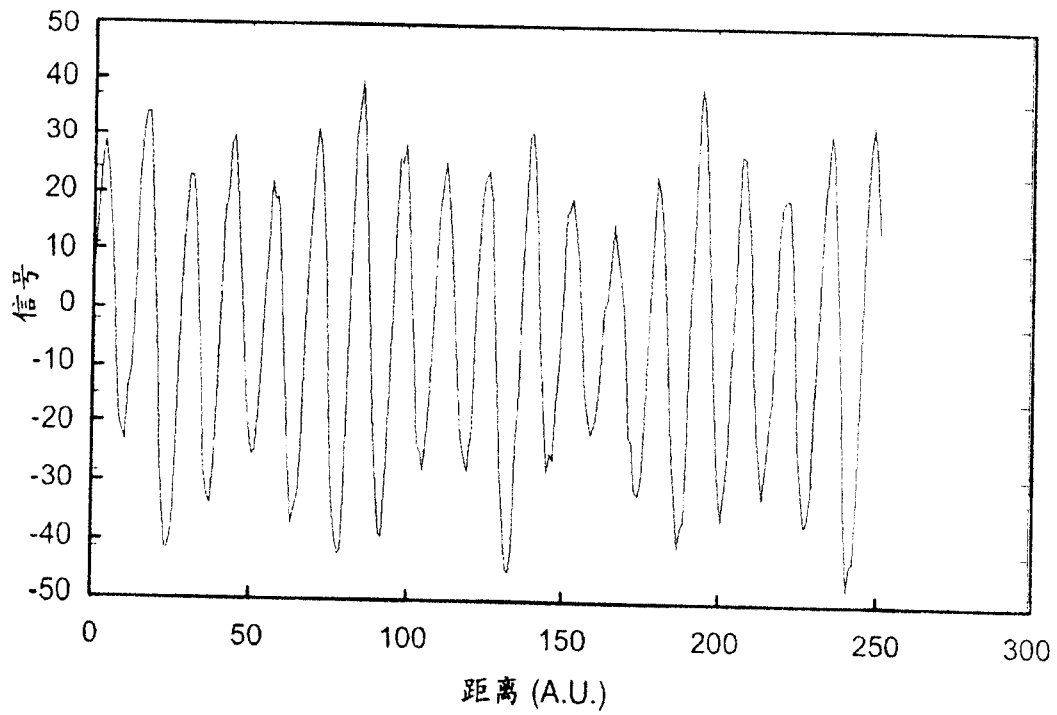


图 20B

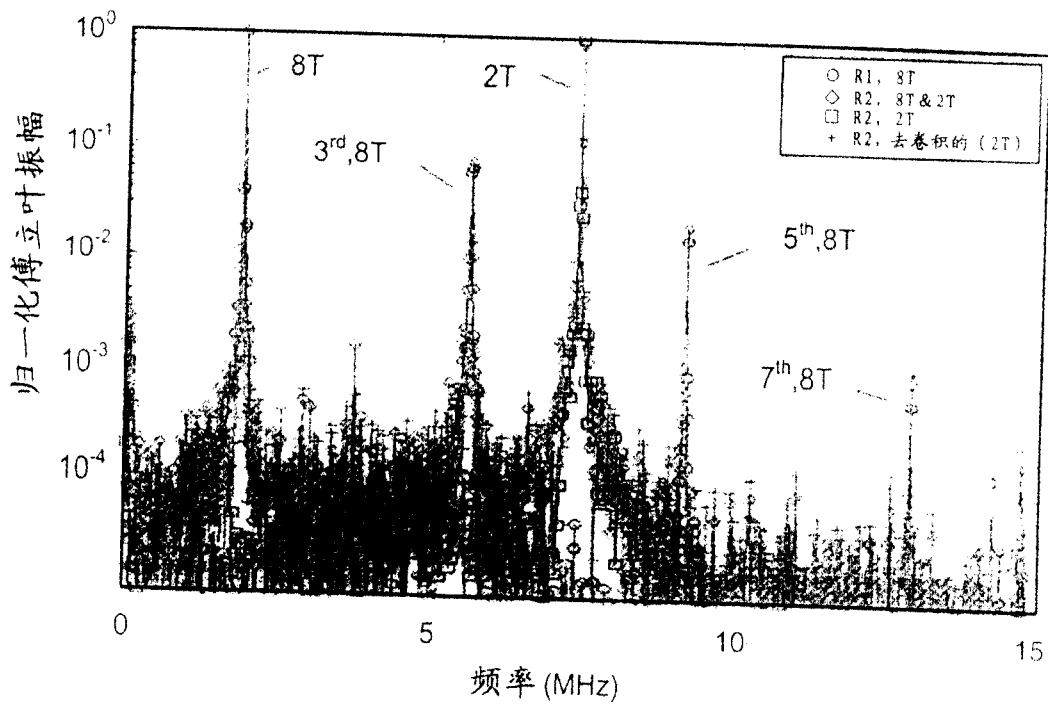


图 21A

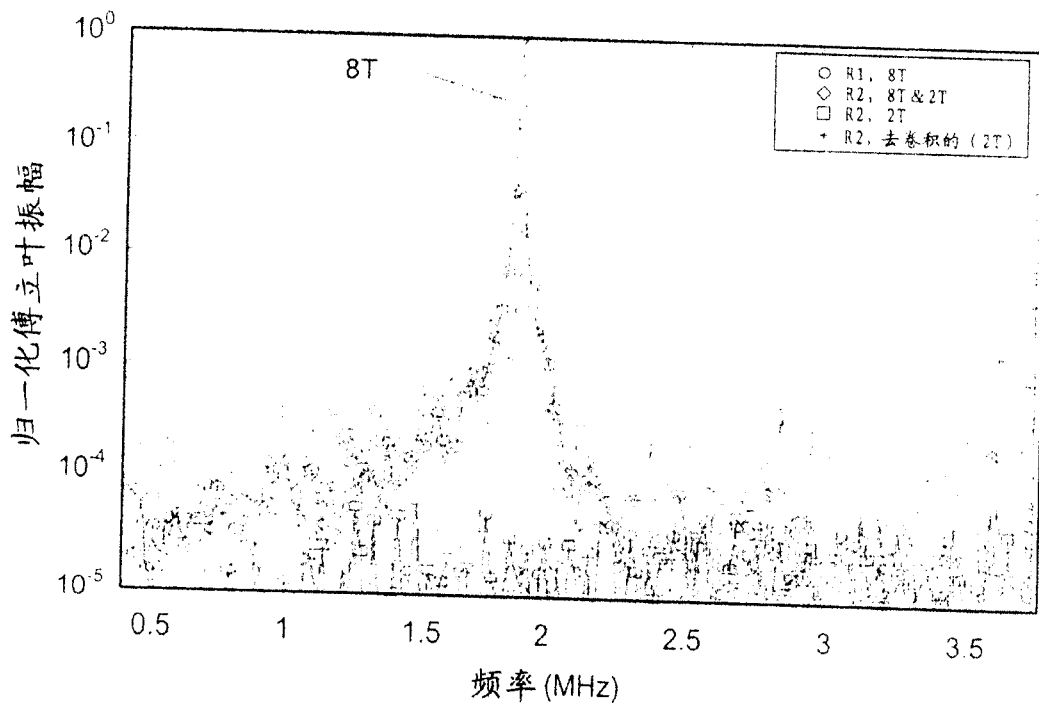


图 21B

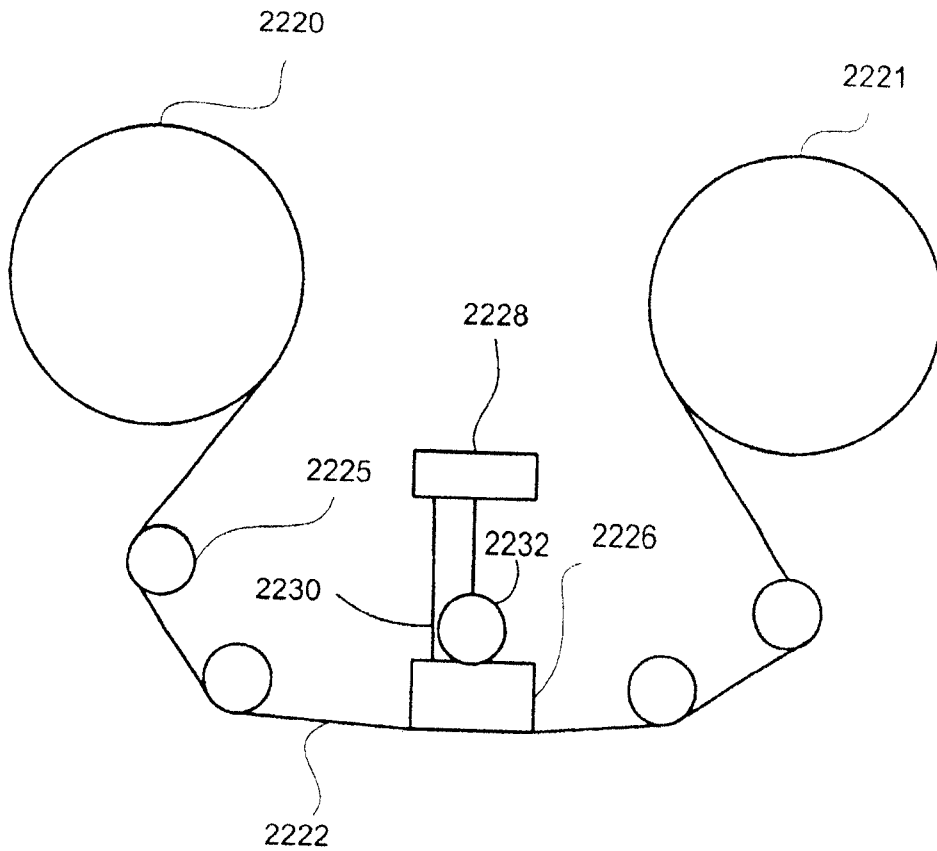


图 22

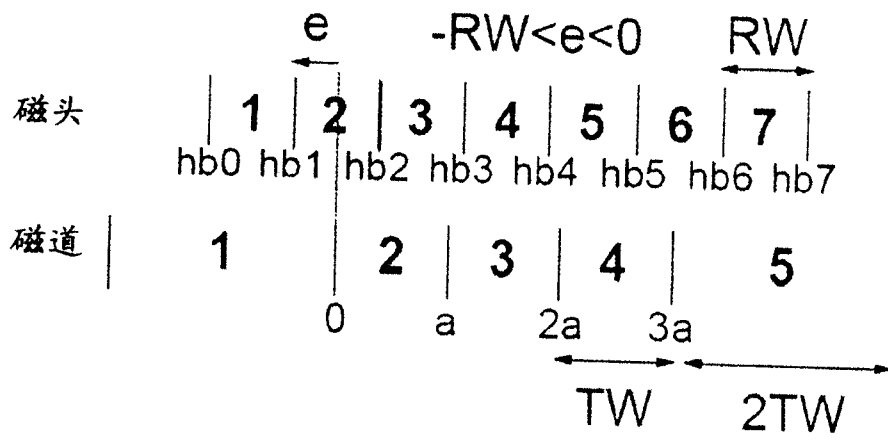


图 23