



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112151079 A

(43)申请公布日 2020.12.29

(21)申请号 202010200575.3

(22)申请日 2020.03.20

(30)优先权数据

16/456,242 2019.06.28 US

(71)申请人 西部数据技术公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 T·滨口 H·艾德

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

公司 11245

代理人 袁策

(51)Int.Cl.

G11B 5/596(2006.01)

G11B 5/55(2006.01)

权利要求书3页 说明书10页 附图20页

(54)发明名称

生成用于多个区的PES RRO和数据扇区压缩RRO的数据存储装置

(57)摘要

公开一种数据存储装置,其包括在磁盘上方致动的磁头,所述磁盘包括用于限定多个数据磁道的伺服数据。限定所述磁盘的多个区,其中每一区包括多个所述数据磁道。基于第一区中的所述伺服数据生成位置误差信号(PES)可重复偏转(RRO)值,且基于所述第一区中的数据段生成数据扇区压缩RRO值。基于所述PES RRO值生成用于所述第一区的第一数据磁道格式,且基于所述数据扇区压缩RRO值生成用于所述第一区的第二数据磁道格式。

1. 一种数据存储装置,其包括:
磁盘,其包括用于限定多个数据磁道的伺服数据;
磁头,其在所述磁盘上方致动;以及
控制电路,其配置成:
限定所述磁盘的多个区,其中每一区包括多个所述数据磁道;
基于第一区中的所述伺服数据生成位置误差信号(PES)可重复偏转(RRO)值;
基于所述第一区中的数据段生成数据扇区压缩RRO值;
基于所述PES RRO值生成用于所述第一区的第一数据磁道格式;以及
基于所述数据扇区压缩RRO值生成用于所述第一区的第二数据磁道格式。
2. 根据权利要求1所述的数据存储装置,其中由所述第一数据磁道格式限定的所述数据磁道的径向密度小于由所述第二数据磁道格式限定的所述数据磁道的径向密度。
3. 根据权利要求1所述的数据存储装置,其中所述控制电路进一步配置成:
基于所述第一数据磁道格式将第一数据写入到所述第一区的所述数据磁道;以及
基于所述第二数据磁道格式用第二数据覆写所述第一数据。
4. 根据权利要求1所述的数据存储装置,其中所述控制电路进一步配置成:
在所述数据存储装置的制造程序期间生成用于所述第一区的所述PES RRO值;以及
在所述数据存储装置部署在现场时生成用于所述第一区的所述数据扇区压缩RRO值。
5. 根据权利要求4所述的数据存储装置,其中在所述控制电路结束生成用于所述第一区的所述数据扇区压缩RRO值之前,所述控制电路进一步配置成向主机传达指示所述第一区处于学习模式的状态。
6. 根据权利要求4所述的数据存储装置,其中所述控制电路进一步配置成:
在所述控制电路结束生成用于所述第一区的数据磁道的所述数据扇区压缩RRO值之前,从主机接收将数据写入到所述数据磁道的写入命令;以及
通过生成用于所述数据磁道的所述数据扇区压缩RRO值,且接着将所述数据写入到所述数据磁道来执行所述写入命令。
7. 根据权利要求1所述的数据存储装置,其中在所述数据存储装置部署在现场时,所述控制电路进一步配置成:
基于所述第一数据磁道格式将第一数据写入到所述第一区的所述数据磁道;
在所述数据存储装置的闲置时间期间,生成用于所述第一区的所述数据扇区压缩RRO值;以及
在生成用于所述第一区的所述数据扇区压缩RRO值之后,基于所述第二数据磁道格式将第二数据写入到所述第一区的所述数据磁道。
8. 根据权利要求7所述的数据存储装置,其中在生成用于所述第一区的所述数据扇区压缩RRO值之后,所述控制电路进一步配置成向主机传达所述第一区要使用所述第一数据磁道格式或所述第二数据磁道格式进行写入的可用性。
9. 根据权利要求7所述的数据存储装置,其中所述控制电路进一步配置成在从主机接收到将所述第一区从所述第一数据磁道格式转换到所述第二数据磁道格式的命令之后,基于所述第二数据磁道格式将所述第二数据写入到所述第一区的所述数据磁道。
10. 一种数据存储装置,其包括:

磁盘,其包括用于限定多个数据磁道的伺服数据;
磁头,其在所述磁盘上方致动;以及
控制电路,其配置成:
限定所述磁盘的多个区,其中每一区包括多个所述数据磁道;
基于第一区中的数据段生成数据扇区压缩可重复偏转(RRO)值,其中所述数据扇区压缩RRO值限定磁道轨迹;
基于所述磁道轨迹从所述第一区中的第一数据磁道读取第一数据;以及
基于所述磁道轨迹将第二数据写入到所述第一区中的第二数据磁道,其中所述第一数据磁道邻近所述第二数据磁道。

11. 根据权利要求10所述的数据存储装置,其中对所述第二数据磁道进行叠瓦式写入,以与所述第一数据磁道的至少部分重叠。

12. 根据权利要求10所述的数据存储装置,其中所述控制电路进一步配置成基于所述第一区中的所述伺服数据生成位置误差信号(PES) RRO值,其中:

所述PES RRO值限定用以对所述第一区中的第一数据磁道进行写入的第一磁道轨迹,和用以对所述第一区中的所述第一数据磁道进行读取的第二磁道轨迹;且

由于所述磁头的写入元件与读取元件之间存在径向偏移,所述第一磁道轨迹不同于所述第二磁道轨迹。

13. 根据权利要求10所述的数据存储装置,其中所述控制电路进一步配置成:

在磁盘驱动器的制造程序期间生成用于所述第一区的所述PES RRO值;以及

在所述数据存储装置部署在现场时生成用于所述第一区的所述数据扇区压缩RRO值。

14. 根据权利要求10所述的数据存储装置,其中在生成用于所述第一区的所述数据扇区压缩RRO值之后,所述控制电路进一步配置成向主机传达所述第一区要使用基于所述PES RRO值的第一数据磁道格式或使用基于所述数据扇区压缩RRO值的第二数据磁道格式进行写入的可用性。

15. 一种数据存储装置,其包括:

磁盘,其包括用于限定多个数据磁道的伺服数据;

磁头,其在所述磁盘上方致动;以及

用于限定所述磁盘的多个区的构件,其中每一区包括多个所述数据磁道;

用于基于第一区中的所述伺服数据生成位置误差信号(PES)可重复偏转(RRO)值的构件;

用于基于所述第一区中的数据段生成数据扇区压缩RRO值的构件;

用于基于所述PES RRO值生成用于所述第一区的第一数据磁道格式的构件;以及

用于基于所述数据扇区压缩RRO值生成用于所述第一区的第二数据磁道格式的构件。

16. 根据权利要求15所述的数据存储装置,其中由所述第一数据磁道格式限定的所述数据磁道的径向密度小于由所述第二数据磁道格式限定的所述数据磁道的径向密度。

17. 根据权利要求15所述的数据存储装置,其中:

在所述数据存储装置的制造程序期间生成用于所述第一区的所述PES RRO值;且

在所述数据存储装置部署在现场时生成用于所述第一区的所述数据扇区压缩RRO值。

18. 根据权利要求17所述的数据存储装置,其中在生成用于所述第一区的所述数据扇

区压缩RRO值之后,所述数据存储装置进一步包括用以向主机传达所述第一区要使用所述第一数据磁道格式或所述第二数据磁道格式进行写入的可用性的构件。

19. 根据权利要求15所述的数据存储装置,其进一步包括:

用于基于由所述数据扇区压缩RRO值限定的磁道轨迹从所述第一区的第一数据磁道读取第一数据的构件;以及

用于基于所述磁道轨迹将第二数据写入到第二数据磁道的构件,其中所述第一数据磁道邻近所述第二数据磁道。

20. 根据权利要求19所述的数据存储装置,其中对所述第二数据磁道进行叠瓦式写入,以与所述第一数据磁道的至少部分重叠。

生成用于多个区的PES RRO和数据扇区压缩RRO的数据存储装置

背景技术

[0001] 例如磁盘驱动器的数据存储装置包括磁盘和连接到致动器臂的远端的磁头,所述致动器臂由音圈电机(VCM)绕枢轴旋转以将磁头径向地定位在磁盘上方。磁盘包括用于记录用户数据扇区和伺服扇区的多个径向间隔的同心磁道。伺服扇区包括磁头定位信息(例如,磁道地址),其由磁头读取并由伺服控制系统进行处理,以在致动器臂在磁道之间搜寻时控制致动器臂。

[0002] 磁盘驱动器通常包括各自具有由相应磁头存取的顶部和底部表面的多个磁盘。也就是说,VCM通常绕枢轴旋转数个致动器臂,以便基于每一磁盘表面上记录的伺服数据同时将数个磁头定位在相应磁盘表面上方。图1将现有技术磁盘格式2展示为包括数个伺服磁道4,其由在每一伺服磁道的圆周周围记录的伺服扇区 6_0 到 6_N 限定。每一伺服扇区 6_i 包括前同步码8,其用于存储允许读取信号的适当增益调整和时序同步的周期性模式,和同步标记10,其用于存储用于符号同步到伺服数据字段12的特殊模式。伺服数据字段12存储用于在搜寻操作期间将磁头定位在目标数据磁道上方的粗略磁头定位信息,例如伺服磁道地址。每一伺服扇区 6_i 进一步包括多组伺服脉冲14(例如,N和Q伺服脉冲),其以相对于彼此且相对于伺服磁道中心线的预定相位记录。基于相位的伺服脉冲14在写入/读取操作期间存取数据磁道时提供用于中心线跟踪的精细磁头位置信息。通过读取伺服脉冲14生成位置误差信号(PES),其中PES表示磁头相对于目标伺服磁道的中心线的所测量位置。伺服控制器处理PES以生成施加到磁头致动器(例如,音圈电机)的控制信号,以便在减小PES的方向上在磁盘上方径向地致动磁头。

附图说明

[0003] 图1展示包括由伺服扇区限定的多个伺服磁道的现有技术磁盘格式。

[0004] 图2A展示根据实施例的呈磁盘驱动器形式的数据存储装置,其包括在磁盘上方致动的磁头。

[0005] 图2B为根据实施例的流程图,其中基于数据段的所测量磁道间距生成目标数据磁道的磁道轨迹。

[0006] 图2C展示其中以称为叠瓦式记录的技术重叠地写入数据磁道的实施例。

[0007] 图2D展示其中通过测量目标数据磁道周围的多个数据段的所测量磁道间距与目标磁道间距之间的增量(Δ)来生成目标数据磁道的磁道轨迹的实施例。

[0008] 图2E和2F展示其中数据段的所测量磁道间距与目标磁道间距之间的增量(Δ)可以为负(意指所测量磁道间距大于目标磁道间距)的实施例。

[0009] 图3A和3B展示其中生成目标数据磁道的每一数据段的交叉磁道轮廓,并将其用于测量每一数据段处的磁道间距的实施例。

[0010] 图4A到4E展示其中用于生成交叉磁道轮廓的质量度量为数据段的误差率的实施例。

- [0011] 图5A和5B展示用于生成目标数据磁道的磁道轨迹的实施例。
- [0012] 图6A到6F展示其中用于生成交叉磁道轮廓的质量度量为数据段的信噪比 (SNR) 的实施例。
- [0013] 图7A展示其中通过曲线拟合在数据段的两个偏离磁道偏移处所测量的质量度量来估计交叉磁道轮廓的拐点的实施例。
- [0014] 图7B展示其中取决于目标数据磁道周围的数据段的周向位置,使用不同曲线拟合函数来估计交叉磁道轮廓的拐点的实施例。
- [0015] 图8展示其中在将用户数据写入到目标数据磁道时,作为写入操作的部分,测量目标数据磁道的磁道轨迹的实施例。
- [0016] 图9展示其中磁道轨迹的偏离磁道偏差在磁道之间传播的实施例。
- [0017] 图10展示用于在存取数据磁道时控制VCM的闭环环路控制系统,其中可重复偏转 (RRO) 值用于限定目标数据磁道的磁道轨迹。
- [0018] 图11A和11B展示其中对于数据磁道的径向带,当数据磁道未被叠瓦式写入时,可以使用PES RRO值,且当数据磁道被叠瓦式写入时,可以使用数据扇区压缩RRO值的实施例。
- [0019] 图12A展示其中磁盘表面可以包括数个区,其中每一区包括数据磁道的径向带的实施例。
- [0020] 图12B为根据实施例的流程图,其中可以使用PES RRO对区进行非叠瓦式写入,且稍后使用数据扇区压缩RRO对区进行叠瓦式写入。
- [0021] 图13A展示其中可以将数据磁道区的逻辑块寻址 (LBA) 动态地配置成非叠瓦式或叠瓦式数据磁道格式的实施例。
- [0022] 图13B为根据实施例的流程图,其中可以在制造程序期间生成用于至少两个数据磁道区的PES RRO,且可以在磁盘驱动器部署在现场时生成用于所述区的数据扇区压缩RRO。
- [0023] 图13C为根据实施例的流程图,其中当在写入操作期间时,可以实时生成用于目标数据磁道的数据扇区压缩RRO值。
- [0024] 图14A展示其中使用第一PES RRO来生成用于写入数据磁道的第一磁道轨迹,且使用第二PES RRO来生成用于读取数据磁道的第二磁道轨迹的实施例。
- [0025] 图14B展示其中使用数据扇区压缩RRO来生成用于读取第一数据磁道,且用于写入第二邻近 (叠瓦式写入) 数据磁道的磁道轨迹的实施例。

具体实施方式

[0026] 图2A展示呈包括在磁盘18上方致动的磁头16的磁盘驱动器形式的数据存储装置,所述磁盘包括用于限定多个数据磁道的伺服数据,其中每一数据磁道包括多个数据段。磁盘驱动器进一步包括控制电路20,其配置成执行图2B的流程图,其中将第一数据写入到第一数据磁道的第一数据段(框22),且将第二数据写入到第二数据磁道的第二数据段(框24),例如图2C中所示。在写入第二数据之后,测量第一数据段的至少两个偏离磁道偏移的质量度量(框26),且基于质量度量估计第一数据段与第二数据段之间的磁道间距(框28)。基于估计的磁道间距生成第二数据段的磁道轨迹(框30),且基于磁道轨迹将第三数据写入到第二数据段(框32),例如图2D或图2F中所示。

[0027] 在图2A的实施例中,磁盘18包括限定多个伺服磁道36的多个伺服扇区34₁到34_N,其中相对于伺服磁道36以相同或不同径向密度限定数据磁道。控制电路20处理从磁头16发出的读取信号38,以解调伺服扇区并生成位置误差信号(PES),所述PES表示磁头的实际位置与相对于目标磁道的目标位置之间的误差。控制电路20中的伺服控制系统使用合适的补偿滤波器对PES进行滤波,以生成施加到VCM 42的控制信号40,所述VCM绕枢轴旋转致动器臂44,以便在减小PES的方向上径向地在磁盘表面上方致动磁头。在一个实施例中,可以使用一个或多个次级致动器基于PES在磁盘18上方致动磁头16,所述致动器例如致动将磁头滑块耦合到致动器臂44的悬架的微致动器,或相对于悬架致动磁头滑块的微致动器(例如,使用热致动器、压电致动器等)。伺服扇区34₁到34_N可以包括任何合适的磁头位置信息,例如用于粗略定位的磁道地址和用于精细定位的伺服脉冲。伺服脉冲可以包括任何合适的模式,例如基于幅度的伺服模式或基于相位的伺服模式(图1)。

[0028] 在一个实施例中,以称为叠瓦式记录的技术在连续顺序(例如,从外径朝向内径)上以预定重叠(例如图2D或图2F中所示)对数据磁道进行写入。常规地,以充分间隔(磁道间距)对叠瓦式数据磁道进行写入,以便补偿可能在数据磁道的圆周周围发生的最差情况AC磁道压缩。然而,补偿最差情况AC磁道压缩可能会导致每一数据磁道的圆周周围的相当大数目个数据段(例如,数据扇区)的磁道间距大于必要的磁道间距。也就是说,在目标磁道间距中添加裕量以便在叠瓦式记录中补偿最差情况AC磁道压缩会减小磁盘驱动器的最大容量。因此,在一个实施例中,估计数据磁道的圆周周围的每一数据段的磁道间距,以便生成磁道轨迹,其中使用磁道轨迹以对每一数据段进行写入,以便基本上在数据磁道的圆周周围实现目标磁道间距(即减小AC磁道压缩的幅度)。这使得能够明显减小通常在叠瓦式记录中添加至目标磁道间距的裕量,借此增大数据磁道的径向密度和磁盘驱动器的总容量。

[0029] 再次参考图2C或图2E,在一个实施例中,通过将第一测试模式写入到第一数据段,且接着基于未经补偿的磁道轨迹(例如,无可重复偏转(RRO)补偿),对第二数据磁道(邻近第一数据磁道)的第二数据段进行叠瓦式写入来估计第一数据磁道的数据段的未经补偿的磁道间距。接着,例如使用下文所描述的实施例来估计未经补偿的磁道间距,借此生成第一数据段的未经补偿的磁道间距与目标磁道间距之间的增量(Δ)(如图2C中所示为正或如图2E中所示为负)。在一个实施例中,将此所测量增量(Δ)转换成磁道轨迹(例如,呈RRO补偿值的形式)以用于将数据写入到第二数据段,借此实现第一数据段的目标磁道间距,如图2D或图2F中所示。接着针对第二数据段重复此过程,以便生成用于对下一邻近数据磁道的下一邻近数据段进行写入的磁道轨迹等等,借此跨越磁盘表面的至少部分传播叠瓦式数据磁道的磁道轨迹。

[0030] 可以采用任何合适的技术来估计例如图2C中所示的未经补偿的数据段的磁道间距。在一个实施例中,在对第二重叠数据段进行写入之后,针对第一数据段的至少两个偏离磁道偏移测量质量度量。也就是说,(相对于未经补偿的目标磁道中心)以一偏离磁道偏移定位磁头16,以便测量所得读取信号的质量度量。如图3A和3B中所示,质量度量随着偏离磁道偏移增大发生变化(增大/降低),且所得读取信号的质量降低。可以测量任何合适的质量度量,例如扇区误差率(SER),其表示在用合适的序列检测器(例如,维特比检测器)处理读取信号之后出现错误的位(或符号)数。在此实施例中,由于读取信号的质量较低,质量度量(例如,误差数)随着偏离磁道偏移增大而增大,如图3A中所示。另一实例质量度量可以包含

针对读取信号测量的信噪比 (SNR) 度量,其中SNR度量随着偏离磁道偏移增大而降低,如图3B中所示。在一个实施例中,可以相对于所测量质量度量超出阈值时限定交叉磁道轮廓的宽度,例如图3A中所示。

[0031] 在一个实施例中,可以通过生成如图3A中所示的类似交叉磁道轮廓来确定叠瓦式数据磁道的目标磁道间距,其中所测量质量度量可以是扇区故障率 (SFR),其表示数据扇区在偏离磁道偏移处的读取操作故障次数。即在每一偏离磁道偏移处,控制电路20尝试恢复数据磁道的每一数据扇区(例如,使用到达通道的全维特比加LDPC解码),其中SFR度量可以表示每一扇区在读取每一数据扇区的预定尝试次数中(例如,在多次磁盘旋转上)的故障次数。随着偏离磁道偏移增大,每一数据扇区的SFR度量由于读取信号的质量较低而增大。参考图4A理解此实施例,所述图展示在以变窄的磁道间距对两个邻近数据磁道进行叠瓦式写入时,整个数据磁道的数据扇区周围的AC磁道压缩。在每一磁道间距处,针对第一未经补偿的数据磁道的每一数据扇区生成例如图3A中所示的SFR交叉磁道轮廓(其中在图4A中,中间的较深阴影表示SFR交叉磁道轮廓的底部)。逐渐地减小磁道间距,且测量第一数据磁道周围的平均SFR交叉磁道轮廓的平均宽度(被称为平均偏离磁道读取能力(OTRC))并使其与磁道间距相关,如图4C中所示。接着将目标磁道间距(TP)选定为对应于目标平均OTRC的磁道间距,如图4C中所示。在一个实施例中,可以通过对每一区内的两个邻近数据磁道执行上文测量,来确定跨越磁盘半径限定的多个区中的每一个的目标磁道间距。也就是说,以对应于如上文所描述的目标平均OTRC的目标磁道间距对每一区的数据磁道进行叠瓦式写入。

[0032] 在一个实施例中,由于在每一偏离磁道偏移处测量SFR度量需要多次磁盘旋转,测量区的每一数据磁道中的每一数据扇区的SFR度量,以便估计每一数据扇区的未经补偿的磁道间距可能是非常耗时的。因此,在一个实施例中,在估计数据磁道的每一数据扇区的未经补偿的磁道间距时,可以在每一偏离磁道偏移处生成SER度量。在一个实施例中,可以在每一偏离磁道偏移处在磁盘的单次旋转上生成数据扇区的SER度量,或在每一偏离磁道偏移处在磁盘的多次旋转上生成SER度量,且将所得SER度量平均化以便滤出噪音。在一个实施例中,生成准确SER度量所需的转数明显少于生成准确SFR度量所需的转数,且因此,相比于生成每一数据扇区的SFR度量,SER度量使得能够更快地估计每一未经补偿的数据扇区处的磁道间距。

[0033] 图4B展示在变窄的磁道间距中的每一个处针对第一未经补偿的数据磁道的每一数据扇区所测量的SER度量(即,对应于图4A中所示的SFR度量的每一数据扇区的SER度量)。在一个实施例中,使每一数据扇区的SER度量与SFR度量相关,以使得相比于生成每一数据扇区的SFR度量,能够快得多地估计每一未经补偿的数据扇区的磁道间距(由于生成SER度量所需的转数较少)。

[0034] 参考图4E理解此实施例,所述图展示在图4B的每一磁道间距处针对数个数据扇区所测量的数个SER交叉磁道轮廓底部(或图3A中的拐点)。随着磁道间距变窄,SER交叉磁道轮廓的底部将朝向数据磁道的非重叠侧(朝向图2C中所示的第一数据磁道的顶部)发生偏离磁道偏移的移位。下文参考图7A描述交叉磁道轮廓的移位底部的实例。还在每一磁道间距处测量每一数据扇区的OTRC,并使其与SER交叉磁道轮廓的底部出现时的偏离磁道偏移相关,如图4E中所示。以此方式,可以针对区内的任何给定数据磁道的任何给定数据扇区估计SER交叉磁道轮廓底部,并使用图4E将其用于估计对应OTRC且使用图4C将其用于估计对

应磁道间距。一旦估计了未经补偿的数据扇区的所估计磁道间距,可以生成所估计磁道间距与目标磁道间距之间的增量(Δ)(如图4C中所示),并使其与将实现目标磁道间距的偏离磁道偏移相关,如图4D中所示。图4D中所示的每一偏离磁道偏移对应于平均SFR交叉磁道轮廓的底部出现时的偏离磁道偏移。也就是说,在一个实施例中,随着磁道间距降低,平均SFR交叉磁道轮廓的底部将朝向数据磁道的非重叠侧发生移位。因此,对于每一变窄的磁道间距和与目标磁道间距的对应增量(Δ),可以使用图4D的关系针对每一未经补偿的数据扇区生成实现目标磁道间距的对应偏离磁道偏移,借此生成用于对邻近重叠数据磁道进行写入的磁道轨迹。也就是说,沿着磁道轨迹对邻近重叠数据磁道(图2D或图2F的第二数据磁道)进行写入,以实现重叠数据磁道(图2D或图2F中的第一数据磁道)的数据扇区的基本上恒定的(目标)磁道间距。

[0035] 概述上文过程,通过(在已由邻近数据磁道叠瓦式写入之后)生成目标区中的目标数据磁道的每一数据扇区的SFR和SER交叉磁道轮廓来首先建立图4C、4D和4E中所示的三个趋势。一旦建立了三个趋势,仅需要针对区的每一数据磁道中的每一未经补偿的数据扇区生成(或在下文所描述的实施例中对估计)SER交叉磁道轮廓。接着,可以将每一数据扇区的SER交叉磁道轮廓的底部变换成用于对邻近数据磁道进行写入的磁道轨迹的对应值(偏离磁道偏移)。图5A中展示此实施例的实例,其中顶部曲线图46表示如使用趋势A(图4E)转换的目标数据磁道的每一未经补偿的数据扇区的所估计OTRC,且底部曲线图48表示如使用趋势B(图4C)转换的每一未经补偿的数据扇区的所估计磁道间距。图5B展示如使用趋势C(图4D)转换的用于对邻近数据磁道进行写入的所得磁道轨迹50(偏离磁道偏移)(图5B中的第二曲线图52为每一数据扇区的SER交叉磁道轮廓底部的偏离磁道偏移)。在下文更详细地描述的实施例,还保存用于对邻近数据磁道进行写入的磁道轨迹,并将其用作用于对目标数据磁道(图2D或图2F中的第一数据磁道)进行读取的磁道轨迹。

[0036] 可以测量任何合适的的质量度量,以生成数据磁道的每一数据段的交叉磁道轮廓(例如图3A或图3B中所示)和对应磁道轨迹。图6A到6F展示其中所测量以生成交叉磁道轮廓的质量度量包含读取信号的信噪比(SNR)度量的实施例。在图6A的实施例,通过将第一频率测试模式(例如,2T模式)写入到数据磁道N-1,将第二频率测试模式(例如,5T模式)写入到目标数据磁道N,并将第三频率测试模式(例如,3T模式)写入到数据磁道N+1来生成SNR度量。接着,通过对数据段进行读取,并处理所得读取信号以计算下式来生成目标数据磁道N的数据段的SNR度量:

$$[0037] \quad \text{SNR} = [\text{Amp}_{5T}] / \sqrt{([\text{Amp}_{4.5T}]^2 + [\text{Amp}_{2T}]^2 + [\text{Amp}_{3T}]^2)}$$

[0038] 其中 Amp_{2T} 表示2T频率分量处的读取信号的幅度, Amp_{3T} 表示3T频率分量处的读取信号的幅度, $\text{Amp}_{4.5T}$ 表示4.5T频率分量(窄带噪声)处的读取信号的幅度,且 Amp_{5T} 表示5T频率分量处的读取信号的幅度。可以以任何合适的方式从读取信号提取上文频率分量,例如用数字带通滤波器或通过计算每一频率处的傅里叶变换。图6B展示针对目标数据磁道的数个数据段,且针对逐渐更窄的磁道间距的实例SNR交叉磁道轮廓。图6B示出在此实施例,交叉磁道轮廓的峰值如何随着磁道间距降低而发生(偏离磁道偏移的)移位。使交叉磁道轮廓的此峰值移位与每一数据段的所测量OTRC相关,如图6F中所示,此相关类似于如图4E的实施例,一旦生成了区的三个趋势(图6D、6E和6F),可以通过测量每一数据段的SNR交叉磁

道轮廓的峰值的偏离磁道偏移,且接着将测量值变换成磁道轨迹的对应偏离磁道偏移来生成所述区的数据磁道的磁道轨迹。

[0039] 在一个实施例中,可以通过跨越目标数据磁道测量数个偏离磁道偏移处的质量度量来使用蛮力生成数据段的交叉磁道轮廓(例如图3A或3B中所示)。在另一实施例中,可以在较少偏离磁道偏移处测量质量度量,且接着基于预定标称交叉磁道轮廓(或表示标称交叉磁道轮廓的函数)将所测量质量度量曲线拟合到交叉磁道轮廓。图7A展示此实施例的实例,其中可以在两个偏离磁道偏移(偏移A和B)处测量质量度量,且接着对所得两个质量度量进行曲线拟合以生成对应交叉磁道轮廓。在此实施例中,可以在两次磁盘旋转上生成交叉磁道轮廓,以随着两个偏离磁道偏移A和B测量两个质量度量。在另一实施例中,磁头16可以包括两个径向偏移读取元件,使得可以在单次磁盘旋转上测量两个偏离磁道偏移A和B的两个质量度量。

[0040] 在一个实施例中,用于对质量度量进行曲线拟合的预定标称交叉磁道轮廓可以取决于数据磁道周围的数据段的周向位置而变化。因此,在图7B中所示的实施例中,可以将磁盘的圆周划分成多个弧形,其中可以针对每一弧形生成预定标称交叉磁道轮廓,并将其用于对每一弧形内的数据段的所测量质量度量进行曲线拟合。

[0041] 在上述实施例中,使交叉磁道轮廓的拐点(例如,SER底部或SNR峰值)与数据段的OTRC相关。在其它实施例中,可以使交叉磁道轮廓的不同参数与数据段的OTRC相关,例如使交叉磁道轮廓的宽度与OTRC相关。

[0042] 在一个实施例中,可以在磁盘驱动器部署在现场之前,在磁盘驱动器的制造程序期间生成每一数据磁道的磁道轨迹。在另一实施例中,可以在磁盘驱动器已部署在现场之后,作为正常写入操作的部分,生成每一数据磁道的磁道轨迹。图8的表格中展示此实施例的实例,其中表格的第一列表示写入操作的步骤,中间列表示数据磁道的写入/读取操作,且最后列指示何时生成每一数据磁道的磁道轨迹(读取/写入)。写入操作的步骤如下:

[0043] 步骤1:将测试模式写入到数据磁道0;

[0044] 步骤2:将虚拟模式写入到以目标磁道间距与数据磁道0重叠的数据磁道1;

[0045] 步骤3:从数据磁道0中的数据扇区读取测试模式,以便测量交叉磁道轮廓并生成对应磁道轨迹(磁道1的写入轨迹和磁道0的读取轨迹);

[0046] 步骤4:将测试模式写入到数据磁道1;

[0047] 步骤5:将虚拟模式写入到以目标磁道间距与数据磁道1重叠的数据磁道2;

[0048] 步骤6:从数据磁道1中的数据扇区读取测试模式,以便测量交叉磁道轮廓并生成对应磁道轨迹(磁道2的写入轨迹和磁道1的读取轨迹);

[0049] 步骤7:使用在步骤3处生成的写入轨迹将客户数据(用户数据)写入到数据磁道0;

[0050] 步骤8+:对于剩余数据磁道,重复上文步骤。

[0051] 在一个实施例中,在生成下一邻近数据磁道N+1的磁道轨迹时,传播针对数据磁道N生成的磁道轨迹的偏离磁道偏移。图9中示出此实施例,所述图展示针对包括100个数据磁道的区生成的实例磁道轨迹,和磁道轨迹的AC幅度由于传播的偏离磁道偏移的对应增大。在一个实施例中,可以限制磁道轨迹的最大AC幅度,以便通过在生成磁道轨迹时将较小比例因子 ϵ 引入到每一偏离磁道偏移来抑制发散条件:

[0052]
$$\text{Trk_Trj}[N+1] = \text{Trk_Trj}[N]_{\text{DC}+\text{TP}} + (1-\epsilon) * \text{Trk_Trj}[N]_{\text{AC}}$$

[0053] 其中 $\text{Trk_Trj}[N+1]$ 表示针对数据磁道 $N+1$ 生成的写入磁道轨迹, $\text{Trk_Trj}[N]_{\text{DC}}$ 表示针对数据磁道 N 生成的写入磁道轨迹的DC分量,TP表示目标磁道间距,且 $\text{Trk_Trj}[N]_{\text{AC}}$ 表示通过处理数据磁道 N 生成的写入磁道轨迹的AC分量。可以采用任何合适的比例因子 ϵ ,例如($\epsilon=0.05$),且在一个实施例中,可以基于针对数据磁道生成的写入磁道轨迹的AC分量的幅度适应性调整比例因子(例如,与AC分量的幅度成比例地适应性增大比例因子 ϵ)。

[0054] 在一个实施例中,可以通过在每一变窄的磁道间距处对目标和邻近数据磁道进行重写来重复用于生成上文参考图4C到4E或图6D到6F所描述的三个趋势的校准程序。接着,可以平均化针对每一迭代生成的所得三个趋势,以生成最终更准确的三个趋势。在另一实施例中,可以重复用于测量目标磁道的数据扇区的交叉磁道轮廓的程序(通过对目标和邻近数据磁道进行重写),并对所得磁道轨迹进行平均化。在又一实施例中,在对邻近数据磁道进行重写时,可以使用先前生成的磁道轨迹对邻近数据磁道进行重写。也就是说,可以针对每一重写操作逐渐调整磁道轨迹,从而使得磁道轨迹可以收敛到更准确的最终轨迹。在一个实施例中,对数据磁道进行重写以便平均化或适于最终磁道轨迹有助于从交叉磁道轮廓测量值滤出非可重复偏转(NRRO)。

[0055] 图10展示根据实施例的闭环环路控制系统,其用于控制VCM 42,从而使得磁头16在写入/读取操作期间遵循磁道轨迹。测量磁头的位置54,且从参考位置56减去所述位置以生成位置误差信号(PES) 58。使用任何合适的补偿算法60对PES58进行滤波,以生成施加到VCM 42的控制信号40。参考位置56表示上文所描述的写入/读取磁道轨迹,且是通过将可重复偏转(RRO)值62添加到目标位置64生成的,其中RRO值62对应于如上文所描述的针对目标数据磁道生成的磁道轨迹的AC分量(偏离磁道偏移)。在一个实施例中,用于生成磁道轨迹的偏离磁道偏移(例如,图4D)对应于图10的闭环环路控制系统中的VCM 42的输出响应。因此,在一个实施例中,为了生成RRO值62,通过用闭环环路控制系统的灵敏度函数对偏离磁道偏移进行滤波,将偏离磁道偏移(例如,图4D)变换成补偿器60的输入处的值。在一个实施例中,也可以对磁道轨迹的偏离磁道偏移进行相移(例如,使用内插滤波器),以便与伺服扇区 34_1 到 34_n 的样本相位和取样率对准。

[0056] 在一个实施例中,磁盘18被划分成例如图12A中所示的多个区,其中每一区包括多个数据磁道。图12B为根据实施例的流程图,其中基于第一区中的伺服数据生成PES RRO值(框62),且基于第一区中的数据段生成数据扇区压缩RRO值(框64)。根据基于PES RRO值的用于第一区的非叠瓦式数据磁道格式将第一数据写入到第一区的数据磁道(框66)。根据基于数据扇区压缩RRO值的叠瓦式数据磁道格式用第二数据来覆写第一数据(框68)。

[0057] 图11A展示根据基于PES RRO值的非叠瓦式数据磁道格式写入的第一区的数个数据磁道的实例,且图11B展示根据基于数据扇区压缩RRO值的叠瓦式数据磁道格式写入的第一区的数个数据磁道。图11A中的PES RRO值是使用任何众所周知的技术基于图10的闭环环路控制系统的PES58生成的。图11B中的数据扇区压缩RRO值是在如上文所描述在第一数据磁道上方对第二数据磁道进行叠瓦式写入之后,基于每一数据扇区的所估计磁道间距生成的。在图11A的实例中,数据磁道的宽度(磁道间距)等于伺服磁道的宽度。然而,在其它实施例中,非叠瓦式数据磁道格式的磁道间距可以大于或小于伺服磁道的磁道间距。

[0058] 在一个实施例中,可以根据非叠瓦式数据磁道格式或叠瓦式数据磁道格式对图12A的实例中的每一区进行格式化和存取。当根据非叠瓦式数据磁道格式进行格式化时,用

于限定磁道轨迹(参考位置56)的图10中的RRO值62为例如图11A中所示的PES RRO值。当根据叠瓦式数据磁道格式进行格式化时,用于限定磁道轨迹(参考位置56)的图10中的RRO值62为例如图11B中所示的数据扇区压缩RRO值。在图13A中所示的一个实施例中,控制电路可以将每一区的格式化动态地配置成非叠瓦式数据磁道格式或叠瓦式数据磁道格式。在一个实施例中,由于数据磁道数目增大(磁道间距降低),叠瓦式数据磁道格式的容量大于非叠瓦式数据磁道格式,所述数目增大是由于如图11B中所示的数据磁道重叠实现的。

[0059] 在图13A中所示的实施例中,取决于区如何格式化,将逻辑块地址(LBA)映射到区的物理数据扇区。当根据基于PES RRO的第一数据磁道格式(例如,非叠瓦式数据磁道格式)对区进行格式化时,LBA0到J被映射到区的物理数据扇区,且当根据基于数据扇区压缩RRO的第二数据磁道格式(例如,叠瓦式数据磁道格式)对区进行格式化时,LBAN到M被映射到区的物理数据扇区(其中叠瓦式数据磁道格式的LBA数目明显大于非叠瓦式数据磁道格式的LBA数目)。在一个实施例中,使用称为动态混合叠瓦式磁记录(DHSMR)的现有技术协议实施动态地调整LBA地址范围,所述协议使得主机能够存取实施LBA地址范围的动态调整的磁盘驱动器。

[0060] 图13B为根据实施例的流程图,其中在制造程序期间生成用于多个区(例如图12A中所示)的PES RRO,且根据第一数据磁道格式对所述区进行格式化(框70)。接着将磁盘驱动器部署在现场,例如运送到指定顾客(框72)。在磁盘驱动器第一次通电时,控制电路向主机传达对应于在框70处最初格式化的区(在一个实施例中,所述区可以是磁盘上的所有区)的可用LBA地址范围。磁盘驱动器通过将数据写入到格式化的区来服务于主机写入命令,例如使用对应PES RRO将数据写入到第一区(框74),或使用对应PES RRO将数据写入到第二区(框76)。在磁盘驱动器的闲置时间期间,控制电路生成用于所述区中的至少两个的数据扇区压缩RRO值(框78),且基于数据扇区压缩RRO生成用于所述区的第二数据磁道格式,如上文所描述。一旦已生成数据压缩RRO且生成用于对应区的第二数据磁道格式,控制电路向主机传达例如图13A中所示的用于所述区的扩展LBA地址范围的可用性。当控制电路从主机接收将区转换成第二数据磁道格式的命令时(框80),控制电路开始使用数据扇区压缩RRO值将数据写入到对应区。在一个实施例中,控制电路可以从主机接收将SMR区转换回第一数据磁道格式的命令,在此情况下控制电路开始使用PES RRO值将数据写入到重新格式化的区。

[0061] 在一个实施例中,主机可以在控制电路结束生成用于所述区的数据扇区压缩RRO值之前,在图13B的框80处传输将区转换到第二数据磁道格式的命令。在此实施例中,当从主机接收将数据写入到所述区的数据磁道的写入命令时,控制电路可以通过生成用于数据磁道的数据扇区压缩RRO值,且接着将数据写入到第一数据磁道来执行写入命令(例如,如上文参考图8所描述)。在一个实施例中,控制电路可以向主机传达区的状态,包含意指尚未生成用于所述区的数据扇区压缩RRO值的“冷”状态,意指已生成用于所述区的数据扇区压缩RRO值中的至少一些(但非全部)的“学习”状态,或意指已生成用于所述区的所有数据扇区压缩RRO值的“热”状态。在一个实施例中,即使区可能处于“冷”或“学习”模式,主机仍可以将所述区转换成第二数据磁道格式。当写入命令指向“冷”区时,主机将预期执行时间增大(处理量降低),这是由于在写入操作期间会实时生成数据扇区压缩RRO值。当写入命令指向“学习”区时,主机将预期执行时间可能增大,这取决于写入命令是指向具有还是不具有预生成的数据扇区压缩RRO值的区的数据磁道。

[0062] 图13C展示此实施例的实例,其中当接收将数据写入到目标数据磁道的写入命令(框71)时,检查目标数据磁道的当前数据磁道格式(框73)。当基于PES RRO对目标数据磁道进行格式化时,使用PES RRO将数据写入到目标数据磁道(框75)。当基于数据扇区压缩RRO对目标数据磁道进行格式化,且尚未生成数据扇区压缩RRO值(框77)时,作为写入操作的部分,实时生成数据扇区压缩RRO值(框79)。一旦已生成数据扇区压缩RRO值(或如果先前已生成所述值),使用数据压缩RRO值将数据写入到目标数据磁道(框81)。

[0063] 在一个实施例中,将PES RRO值和数据扇区压缩RRO值存储在非易失性存储器中,因此可以由例如图10中所示的闭环环路控制系统在写入/读取操作期间使用所述值。在一个实施例中,可以将RRO值中的任一个或两个写入每一伺服扇区的楔形RRO字段中。标题为“用于具有从写入元件偏移的读取元件的磁头的采用单独的读取和写入可重复偏转估计值的磁盘驱动器(DISK DRIVE EMPLOYING SEPARATE READ AND WRITE REPEATABLE RUNOUT ESTIMATED VALUES FOR A HEAD HAVING A READ ELEMENT OFFSET FROM A WRITE ELEMENT)”的第6,657,810号美国专利,和标题为“交替的楔形可重复偏转(WRRO)模式(ALTERNATING WEDGE REPEATABLE RUNOUT (WRRO) PATTERN)”的第8,693,134号美国专利中公开用于在楔形RRO字段中存储RRO值的实例技术,所述专利的公开内容以引用的方式并入本文中。在另一实施例中,可以将RRO值中的一个或两个存储在非易失性半导体存储器,例如快闪存储器中。在又一实施例中,可以将PES RRO值存储在伺服扇区的楔形RRO字段中,且可以将数据扇区压缩RRO值存储在每一SMR区的专用区域中(例如,每一SMR区的开端处)。当存取SMR区时,可以将数据扇区压缩RRO值从磁盘(从SMR区)读取到非易失性或易失性半导体存储器(例如,动态随机存取存储器(DRAM))中,且接着在写入/读取操作期间加以使用。

[0064] 图14A展示其中磁头16可以包括从读取元件88发生径向偏移86的写入元件84的实施例。在基于非SMR数据磁道格式将数据写入到数据磁道90时,写入元件84基于由读取元件88读取的伺服信息(即,基于数据磁道92的伺服扇区)定位于数据磁道90上方。因此,由于写入元件84与读取元件88之间的径向偏移86,在读取元件88的径向位置处生成用于对数据磁道90进行写入的PES RRO值。在对数据磁道90进行读取时,读取元件88定位于数据磁道90上方,如图14A中所示,且在读取操作期间(例如,由图10的闭环环路控制系统)使用为数据磁道90生成的对应PES RRO值94。

[0065] 图14B展示其中在基于SMR数据磁道格式将数据写入到数据磁道96时,在写入操作期间(例如,由图10的闭环环路控制系统)使用为邻近数据磁道100生成的数据扇区压缩RRO值98(如上文所描述)的实施例。在对数据磁道100进行读取时,读取元件88定位于数据磁道100上方,如图14B中所示,且在写入操作期间使用为数据磁道100生成的数据扇区压缩RRO值98。因此,在此实施例中,可以基于由数据扇区压缩RRO值98限定的磁道轨迹从第一数据磁道100读取第一数据,且可以基于由相同数据扇区压缩RRO值98限定的相同磁道轨迹将第二数据写入到第二邻近数据磁道96。

[0066] 在上述实施例中,可以在数据磁道周围以任何合适的分辨率生成数据扇区压缩RRO值。在一个实施例中,可以生成用于每一数据扇区的数据扇区压缩RRO值,或可以生成用于预定数目个连续数据扇区的数据扇区压缩RRO值。在又一实施例中,可以生成用于每一数据扇区的多个数据扇区压缩RRO值。也就是说,所测量以限定例如图3A中所示的交叉磁道轮廓的质量度量(例如,SER)可以对应于单个数据扇区、多个数据扇区或数据扇区的部分。

[0067] 在一个实施例中,当存取SMR数据磁道时,可以以高于伺服扇区 34_1 到 34_N 取样率的取样率更新例如图10中所示的闭环环路伺服系统的RRO值62。也就是说,在一个实施例中,可以以高于伺服扇区 34_1 到 34_N 取样率的分辨率生成数据扇区压缩RRO值,并使用较高分辨率RRO值来更新闭环环路伺服控制系统,以便进一步减小数据磁道周围的AC磁道压缩。

[0068] 可以采用任何合适的控制电路来实施上文实施例中的流程图,例如一个或多个任何合适的集成电路。例如,控制电路可以实施于读取通道集成电路内,或分离于读取通道的组件,例如数据存储控制器中,或上文所描述的某些操作可以由读取通道执行且其它操作由数据存储控制器执行。在一个实施例中,读取通道和数据存储控制器被实施为单独的集成电路,且在替代实施例中,其被制造成单个集成电路或芯片上系统(SOC)。另外,控制电路可以包含被实施为单独的集成电路、集成到读取通道或数据存储控制器电路中,或集成到SOC中的合适的前置放大器电路。

[0069] 在一个实施例中,控制电路包括执行指令的微处理器,所述指令可操作以使微处理器执行本文中所描述的流程图。所述指令可以存储在任何计算机可读介质中。在一个实施例中,所述指令可以存储在微处理器外部的非易失性半导体存储器上,或与SOC中的微处理器集成在一起。在另一实施例中,所述指令存储在磁盘上,且在磁盘驱动器通电时被读取到易失性半导体存储器中。在又一实施例中,控制电路包括合适的逻辑电路,例如状态机电路。在一些实施例中,可以使用模拟电路(例如,模拟比较器、定时器等)实施流程图框中的至少一些,且在其它实施例中,可以使用数字电路或模拟/数字电路的组合实施所述框中的至少一些。

[0070] 在各种实施例中,磁盘驱动器可以包含磁盘驱动器、光盘驱动器、混合式磁盘驱动器等。另外,一些实施例可以包含包括如上文所描述的存储介质和/或控制电路的电子装置,例如计算装置、数据服务器装置、介质内容存储装置等。

[0071] 上文描述的各种特征和过程可以独立于彼此使用,或可以以各种方式组合。所有可能组合和子组合意图属于本发明的范围内。另外,在一些实施方案中可以省略某些方法、事件或过程框。本文中描述的方法和过程还不限于任何特定序列,并且与其相关的框或状态可以以其它适当的序列执行。例如,所描述的任务或事件可以以不同于具体公开的顺序来执行,或可以在单个框或状态中组合多个任务或事件。实例任务或事件可以串联、并联或以一些其它方式执行。任务或事件可以添加到所公开的实例实施例或从其去除。本文中所描述的实例系统和组件可以与描述不同地配置。例如,元件可以添加到所公开的实例实施例、从其去除或与其相比重新布置。

[0072] 虽然已描述某些实例实施例,但这些实施例已仅借助于实例呈现,且不意图限制本文中公开的本发明的范围。因此,在前述描述中无一者意图暗示任何特定特征、特性、步骤、模块或框为必需或必不可少的。实际上,本文中所描述的新颖方法和系统可以以多种其它形式体现;此外,可以作出呈本文中所描述的方法和系统的形式的各种省略、替代和改变而不脱离本文中所公开的实施例的精神。

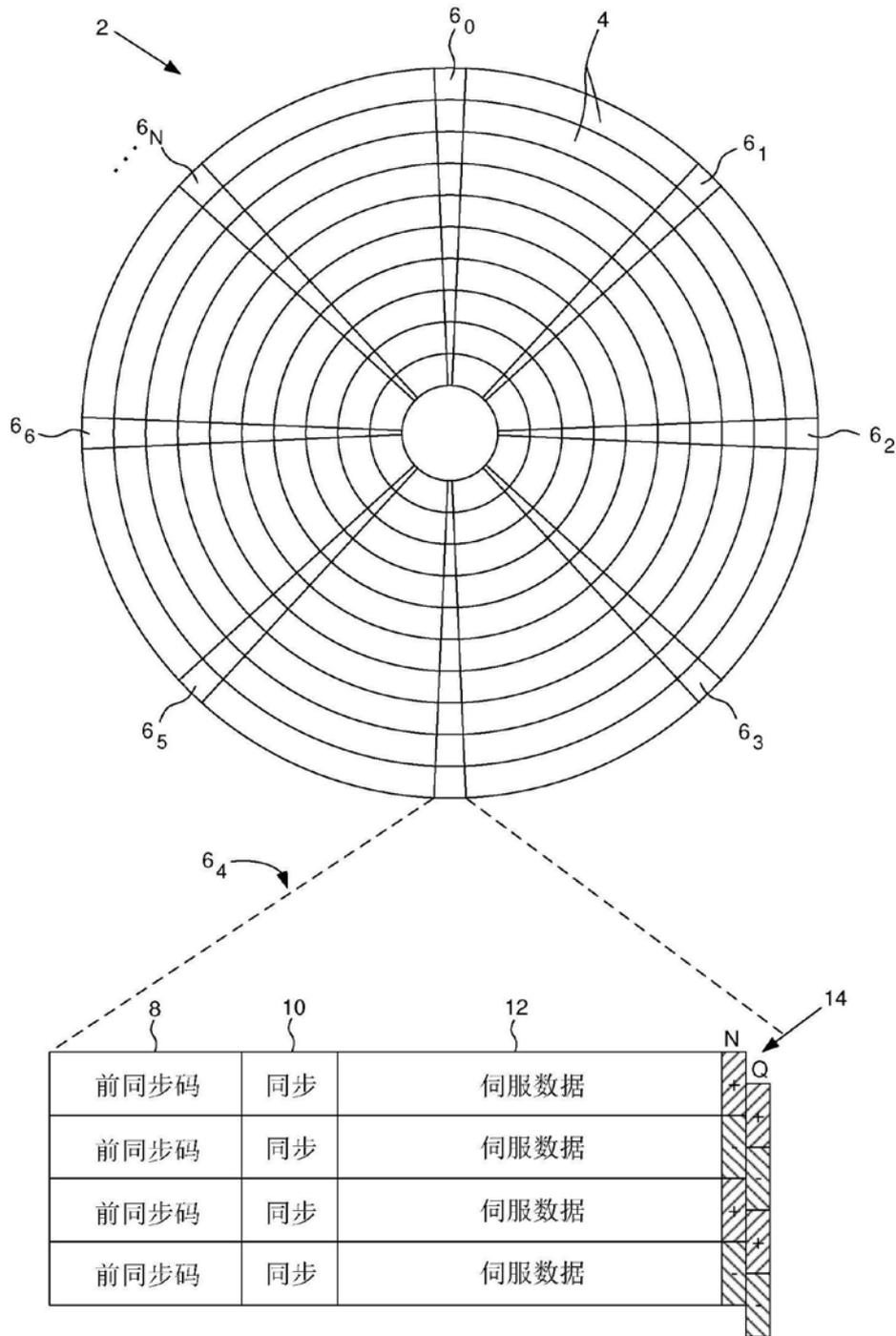


图1 (现有技术)

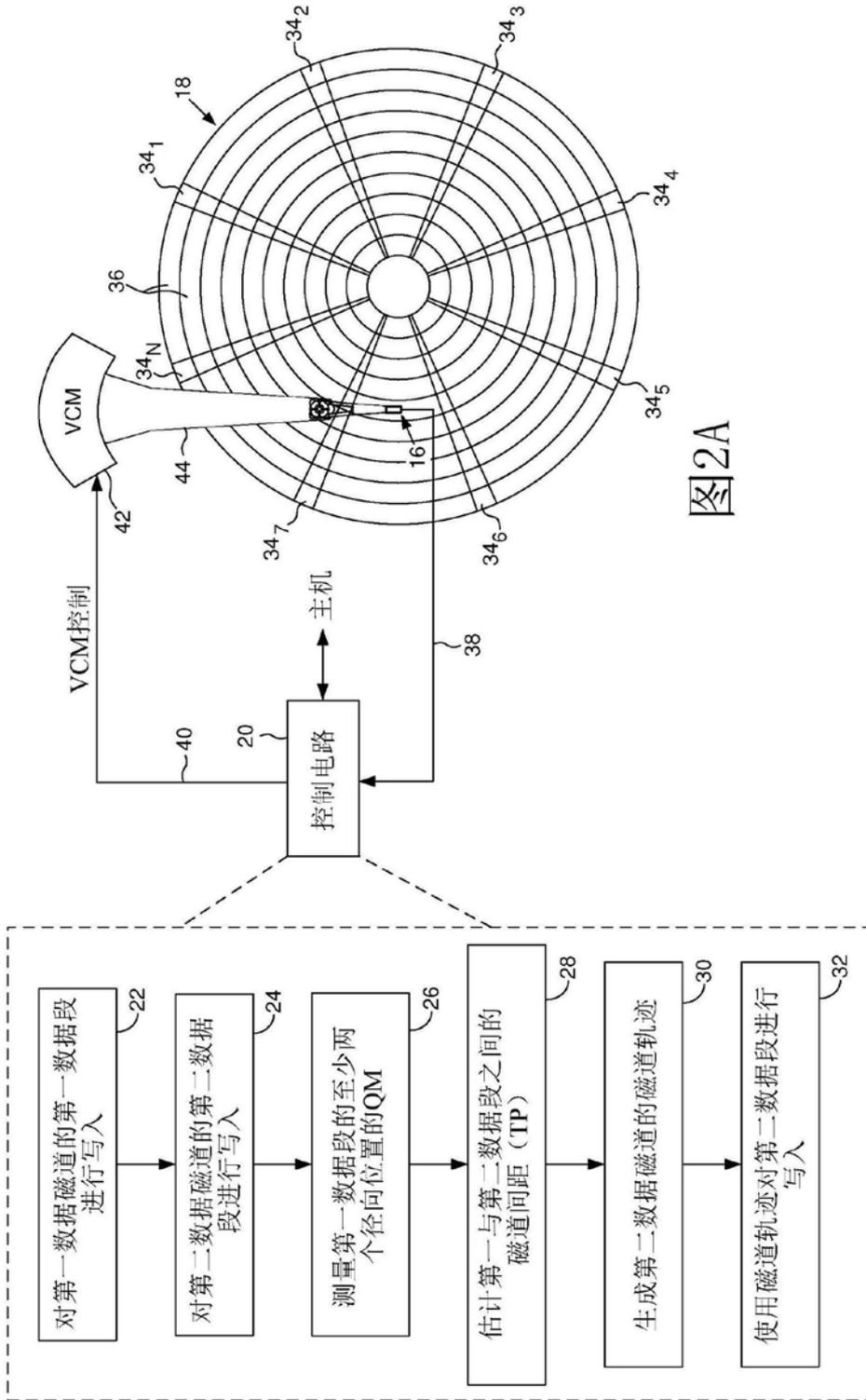
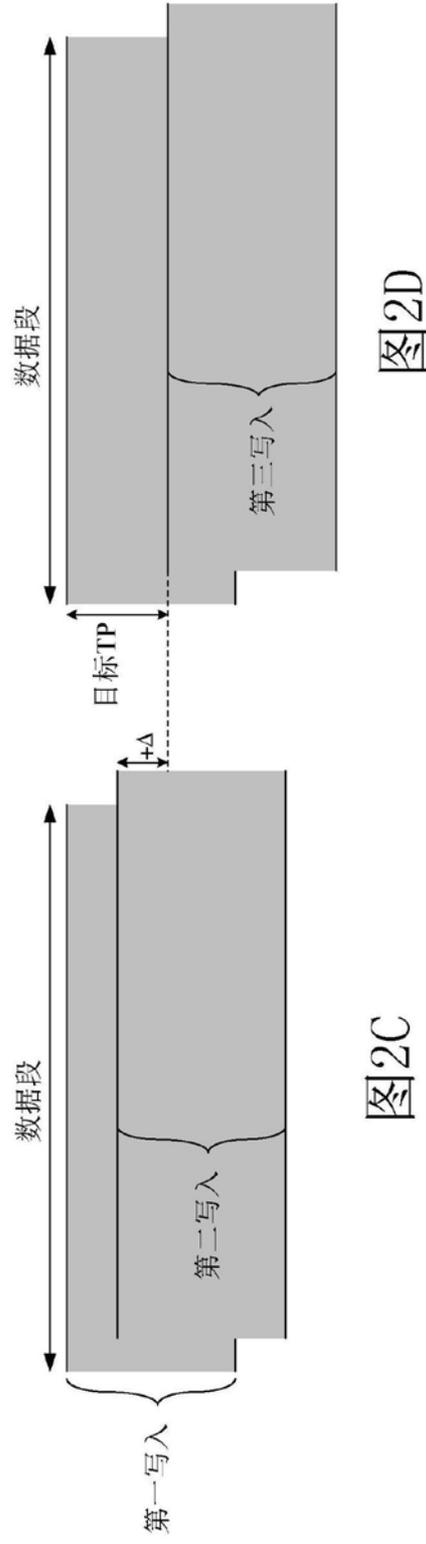
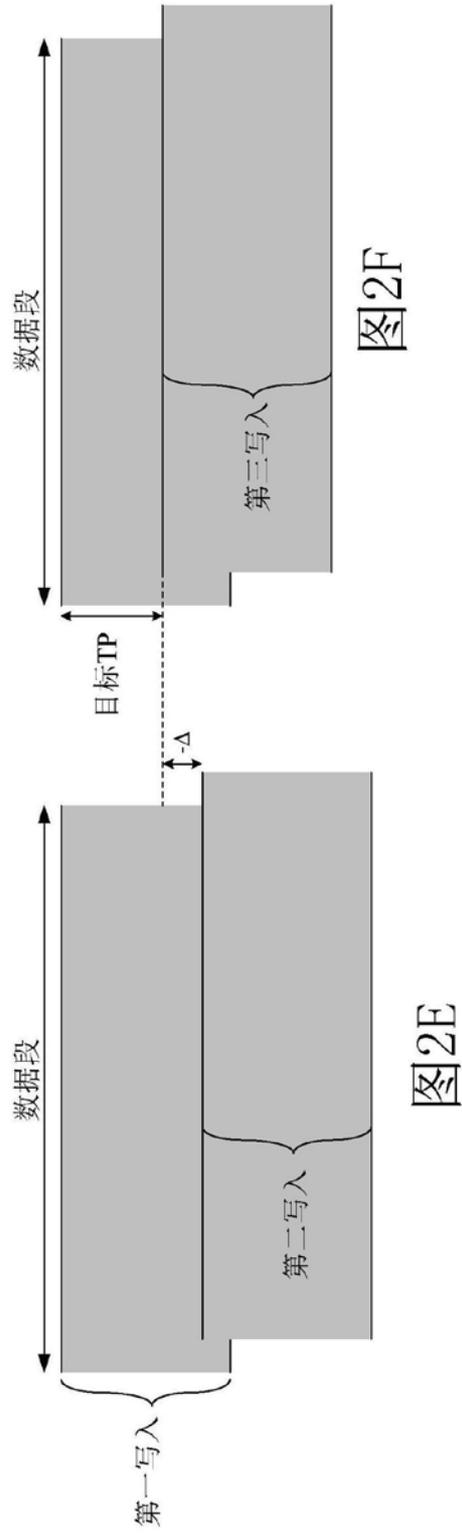


图2A

图2B





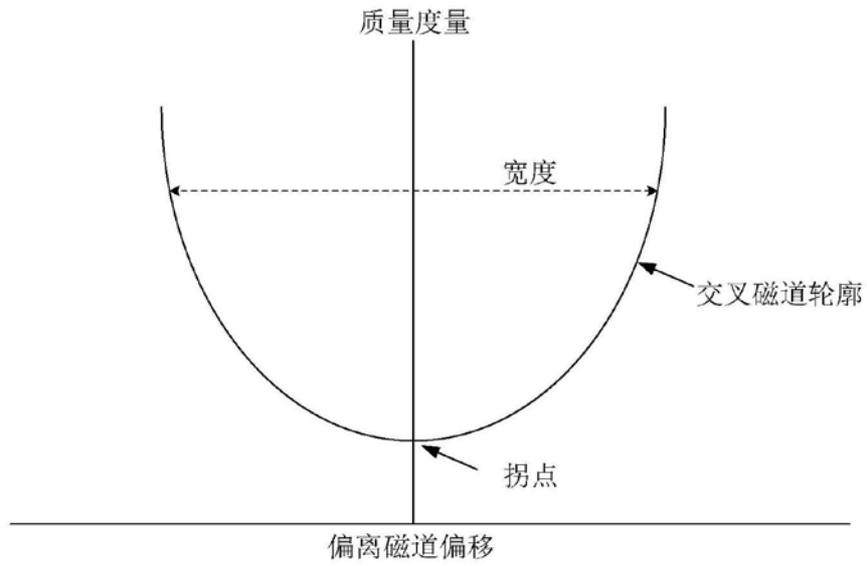


图3A

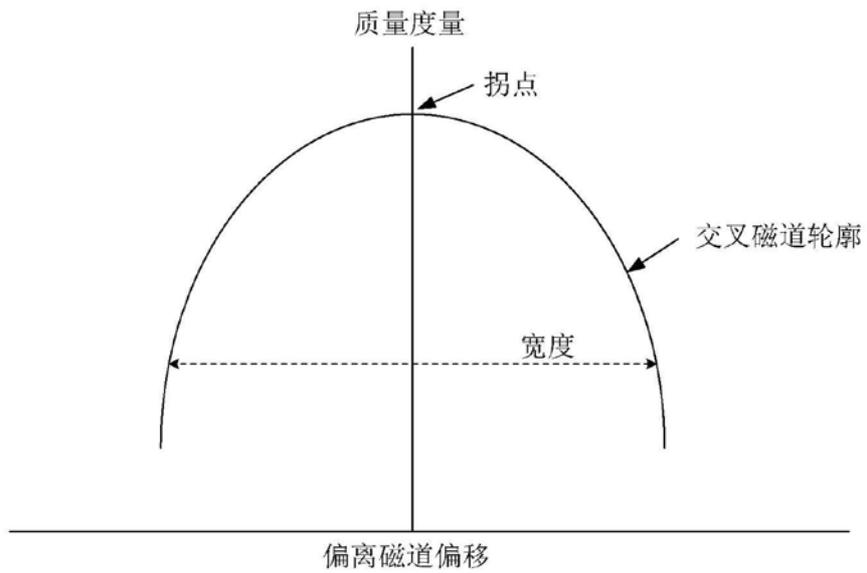


图3B

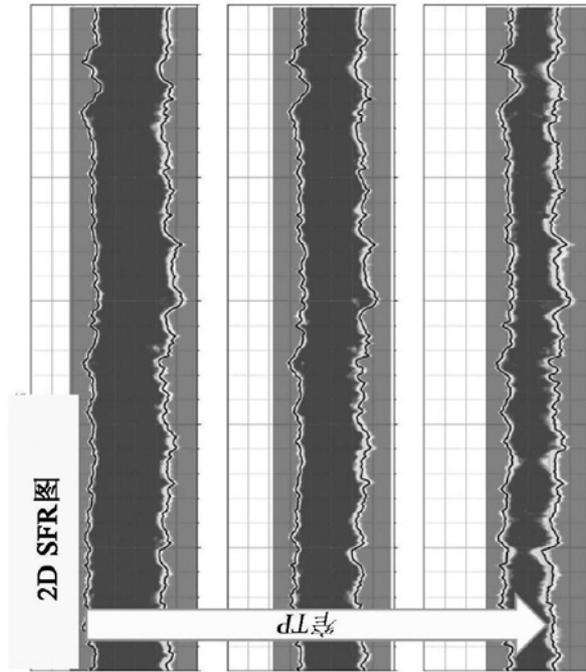


图4A

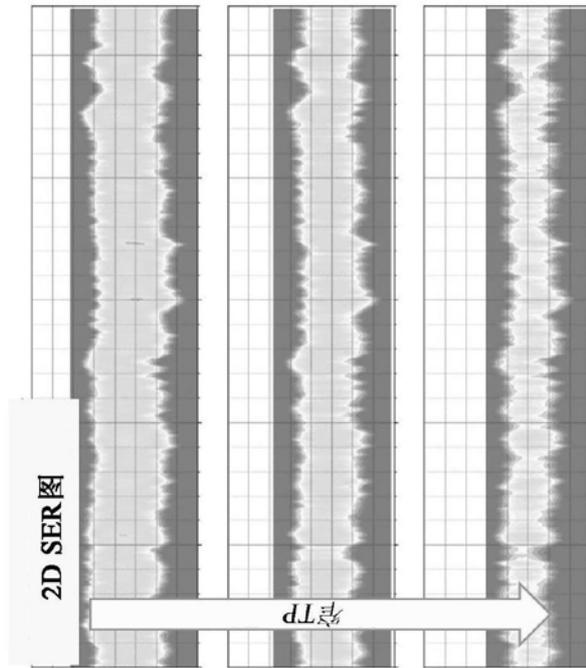


图4B

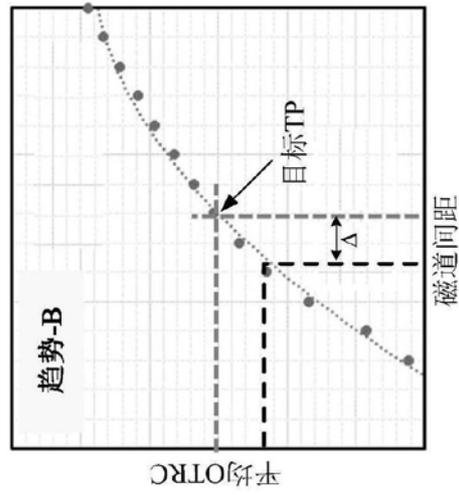


图4C

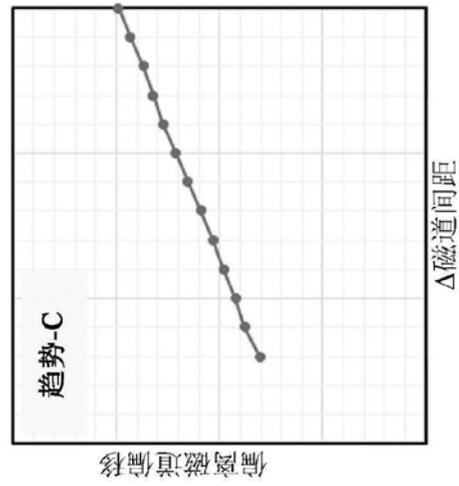


图4D

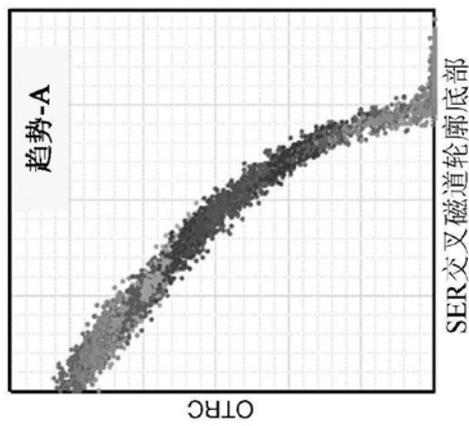


图4E

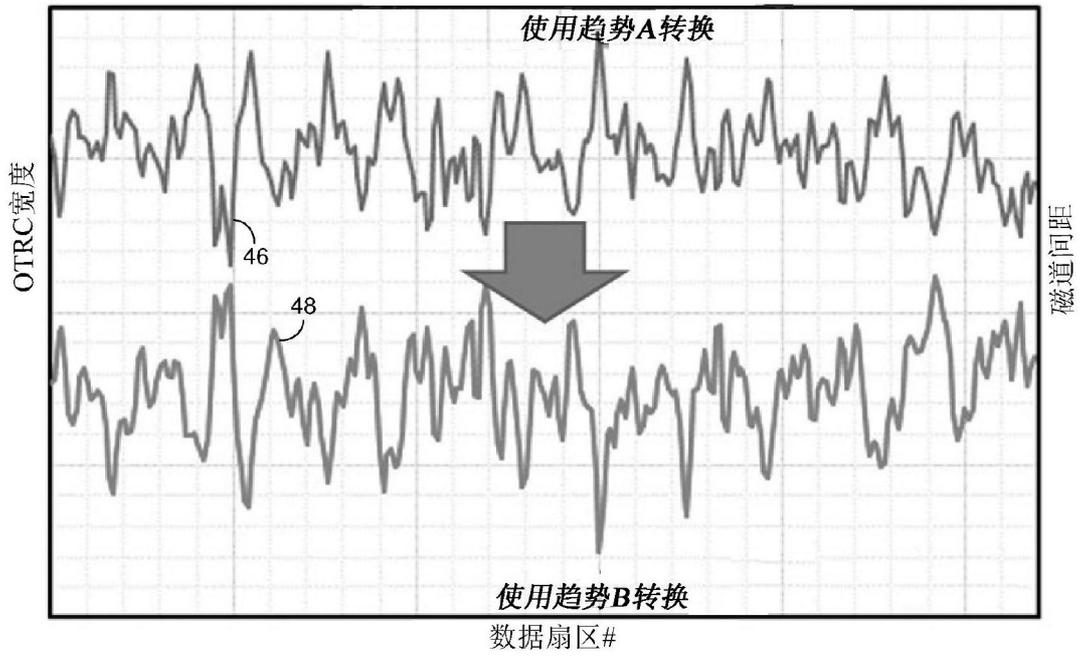


图5A

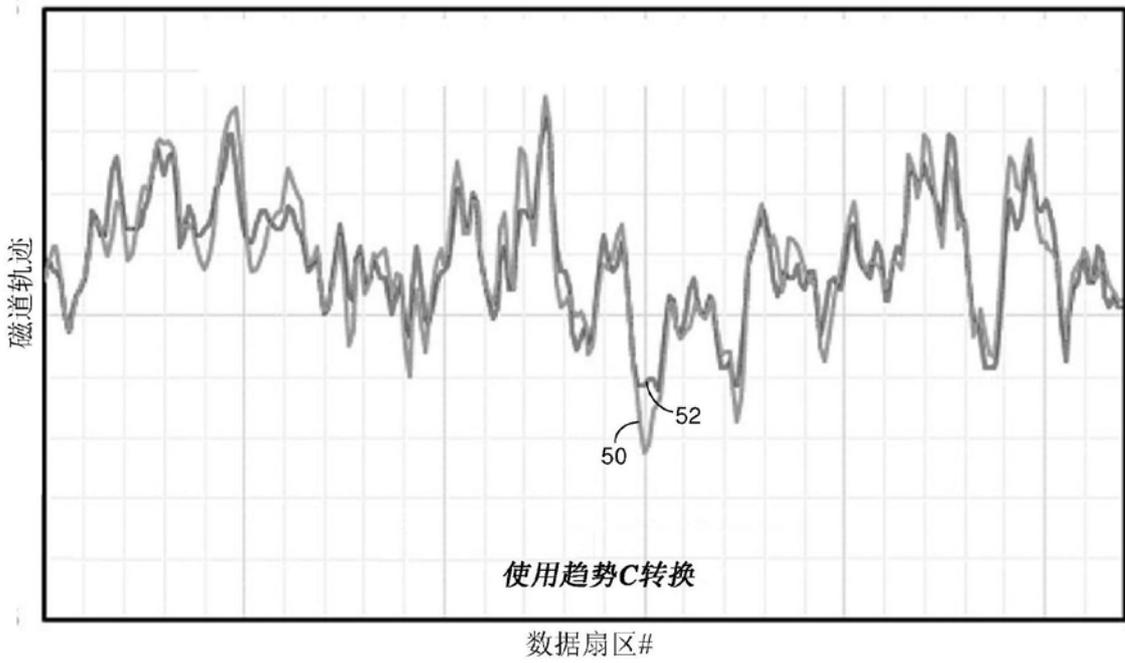


图5B

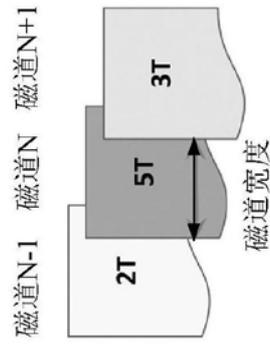


图6A

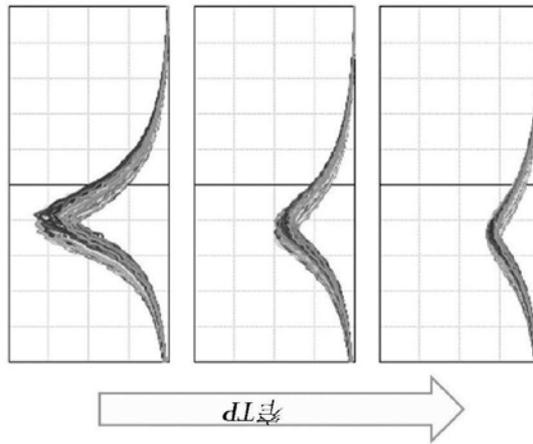


图6B

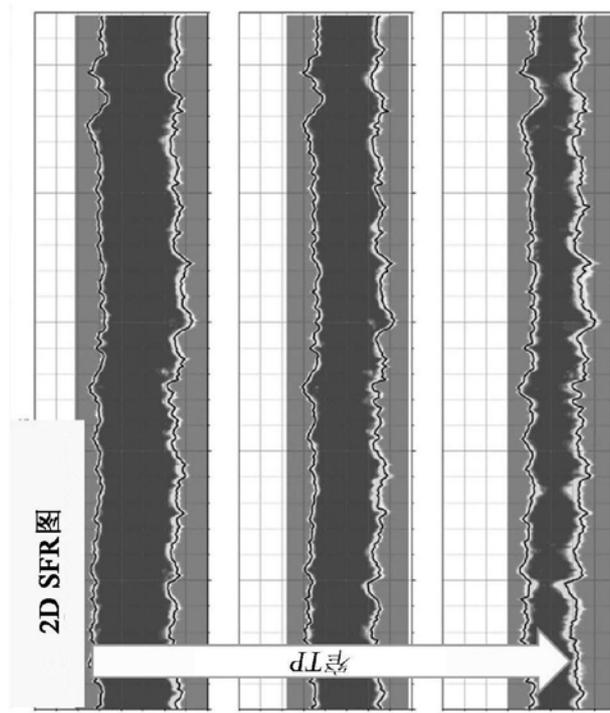


图6C

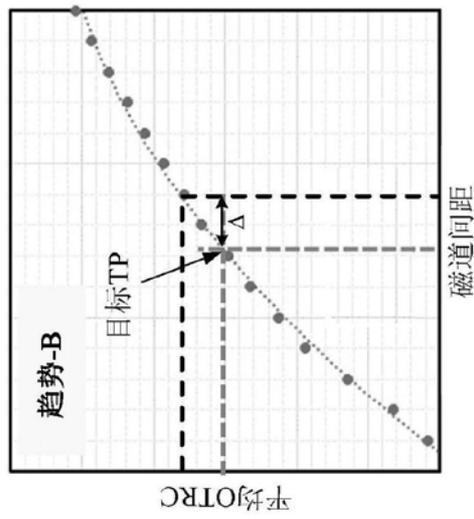


图6D

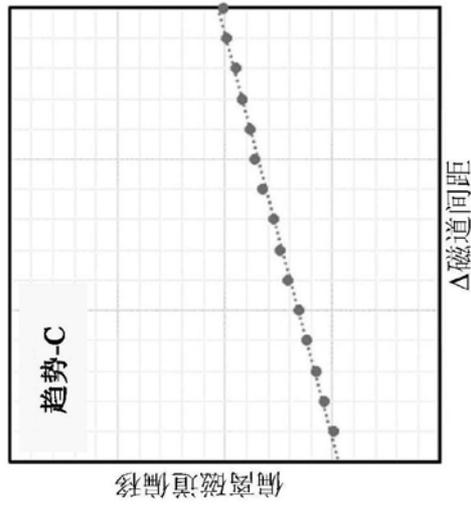


图6E

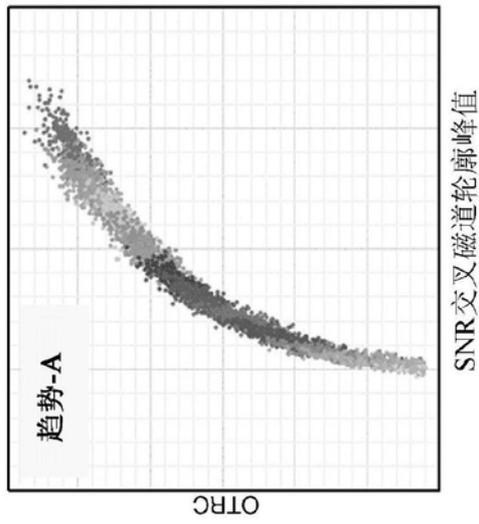


图6F

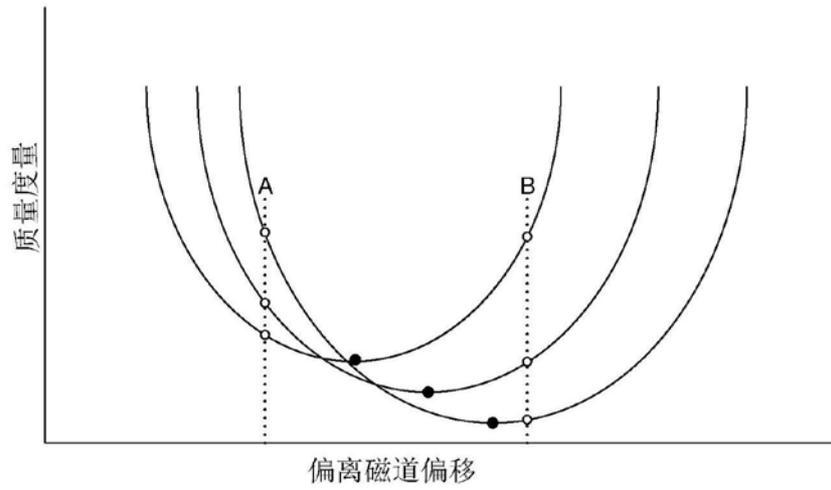


图7A

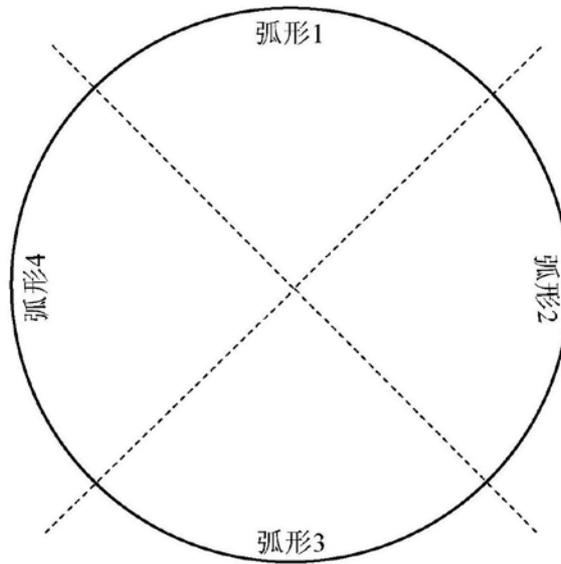


图7B

步骤	磁道#			确定出磁道轨迹的磁道#
	0	1	2	
1	写入测试模式			
2	写入虚拟模式		磁道#0的准备步骤	
3	测量CT轮廓			0 (读取) / 1 (写入)
4		写入测试模式		
5			写入虚拟模式	
6		测量CT轮廓		1 (读取) / 2 (写入)
7	写入客户数据			
8			写入测试模式	
9		在磁道#0上写入客户数据		
10			测量CT轮廓	2 (读取) / 3 (写入)
11		写入客户数据		

图8

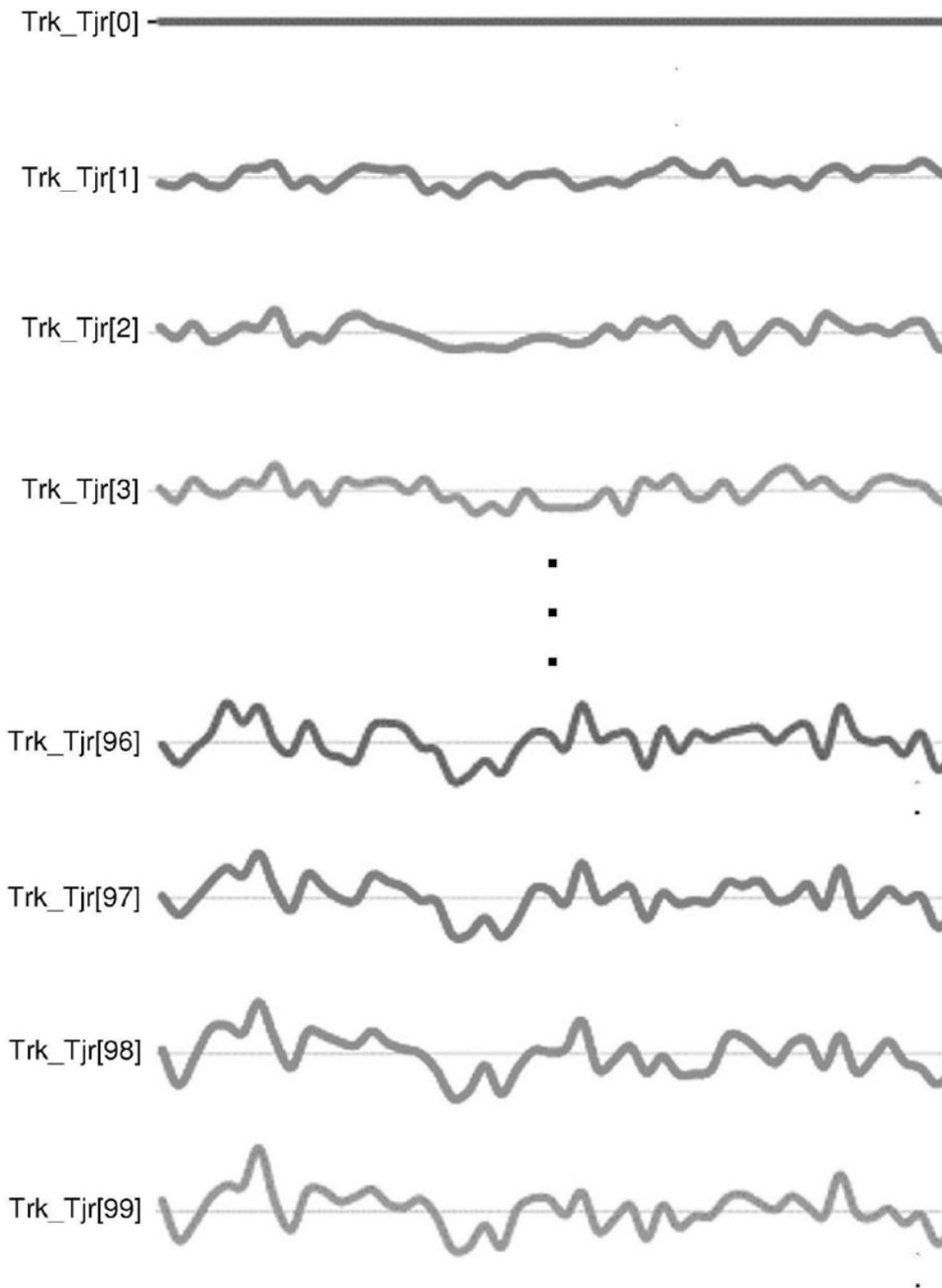


图9

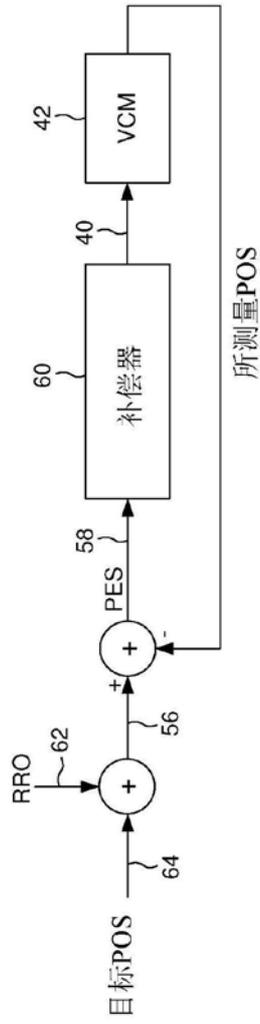


图10

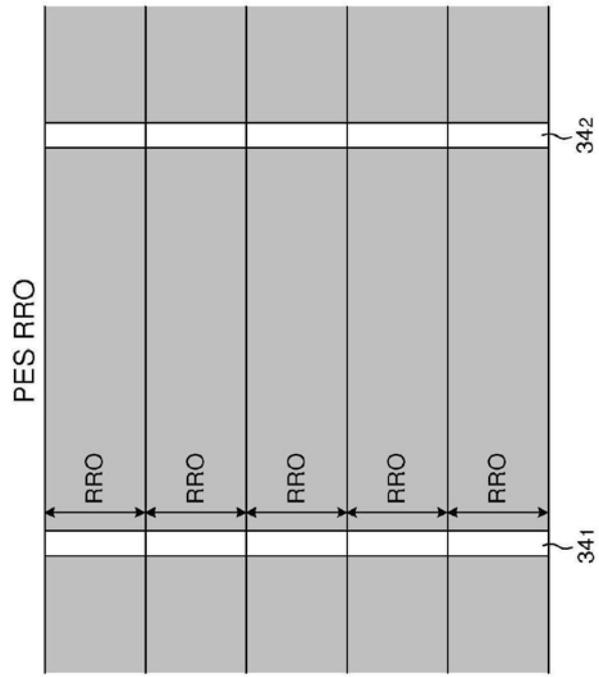


图11A

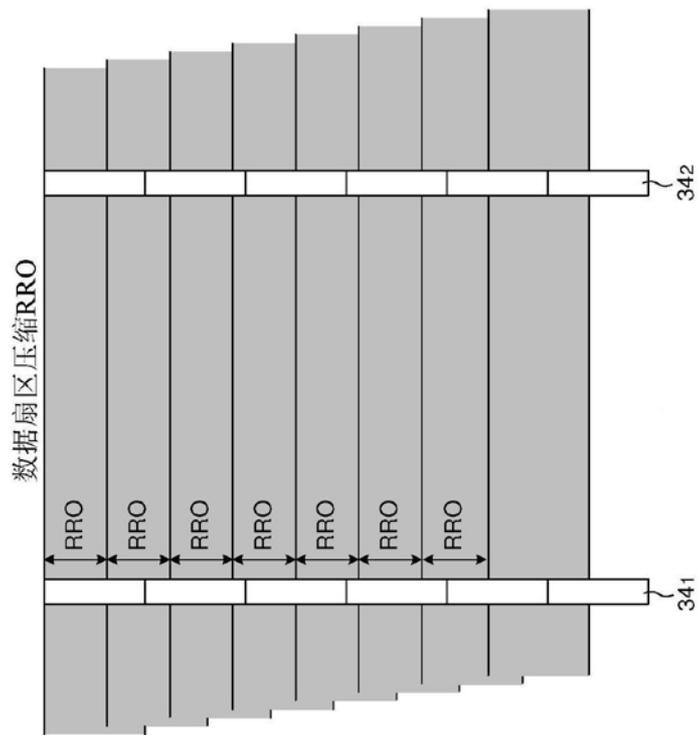


图11B

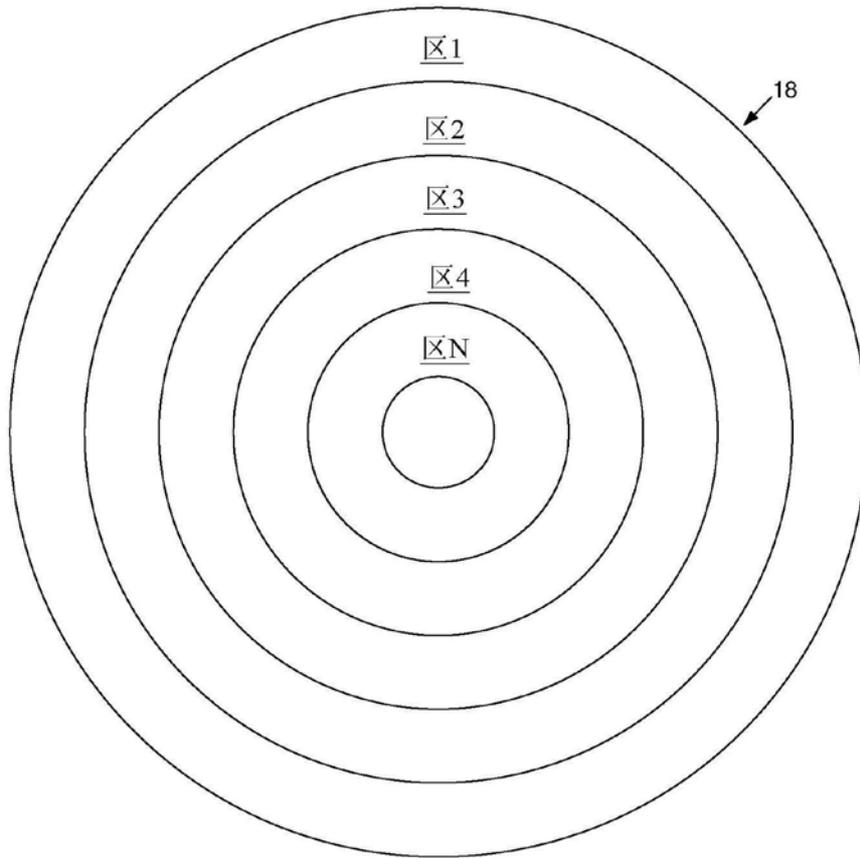


图12A

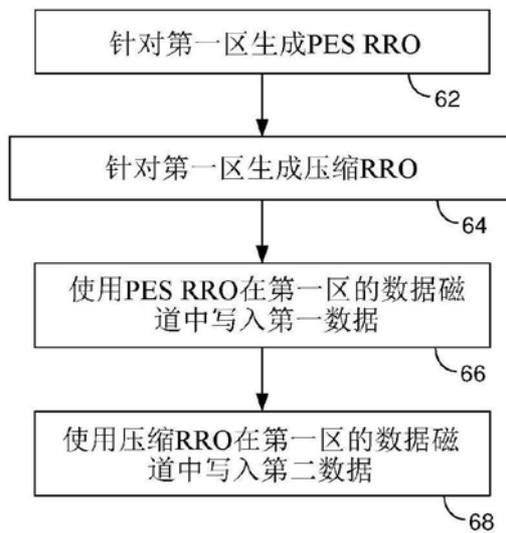


图12B

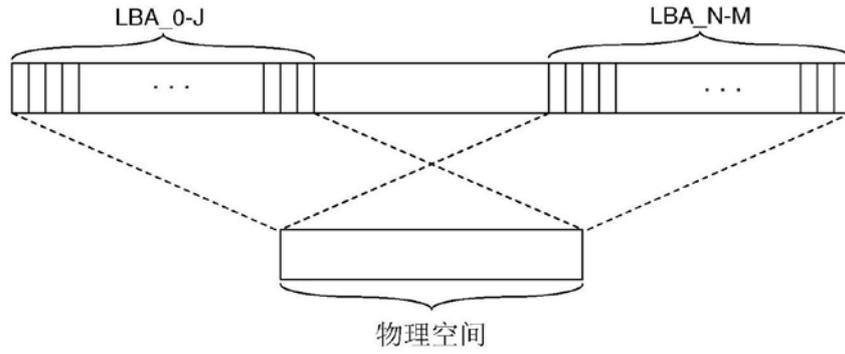


图13A

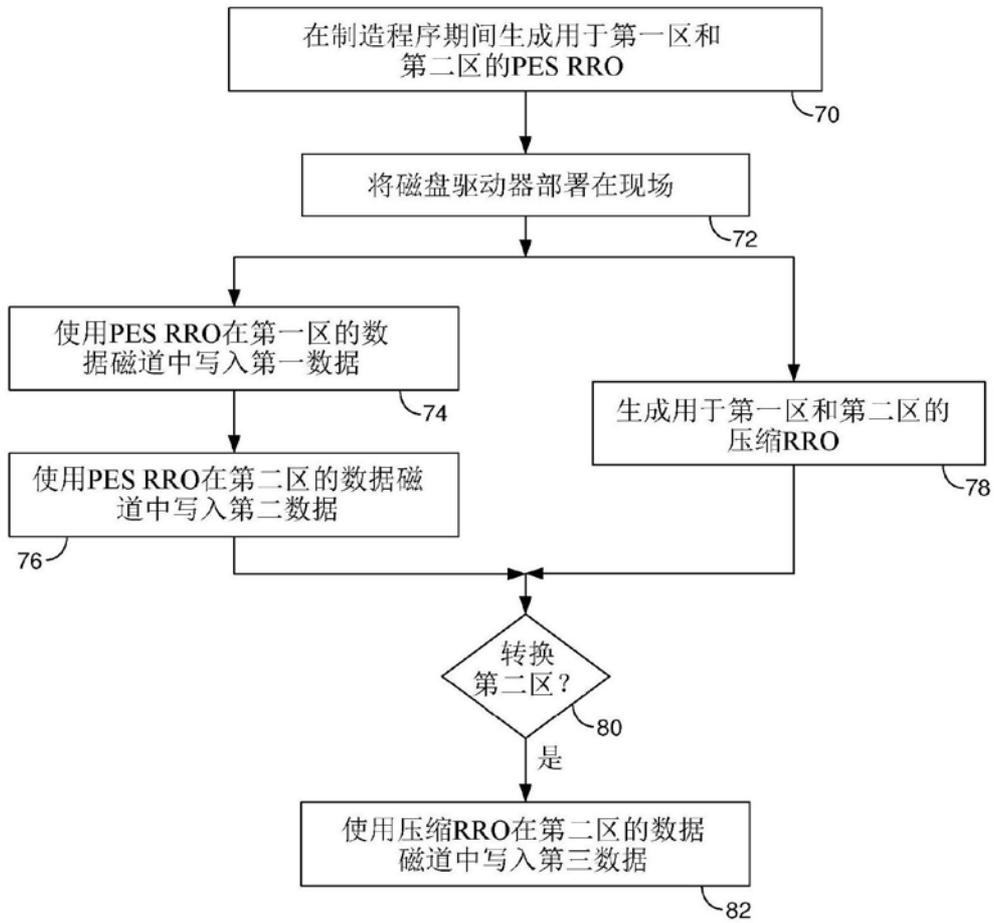


图13B

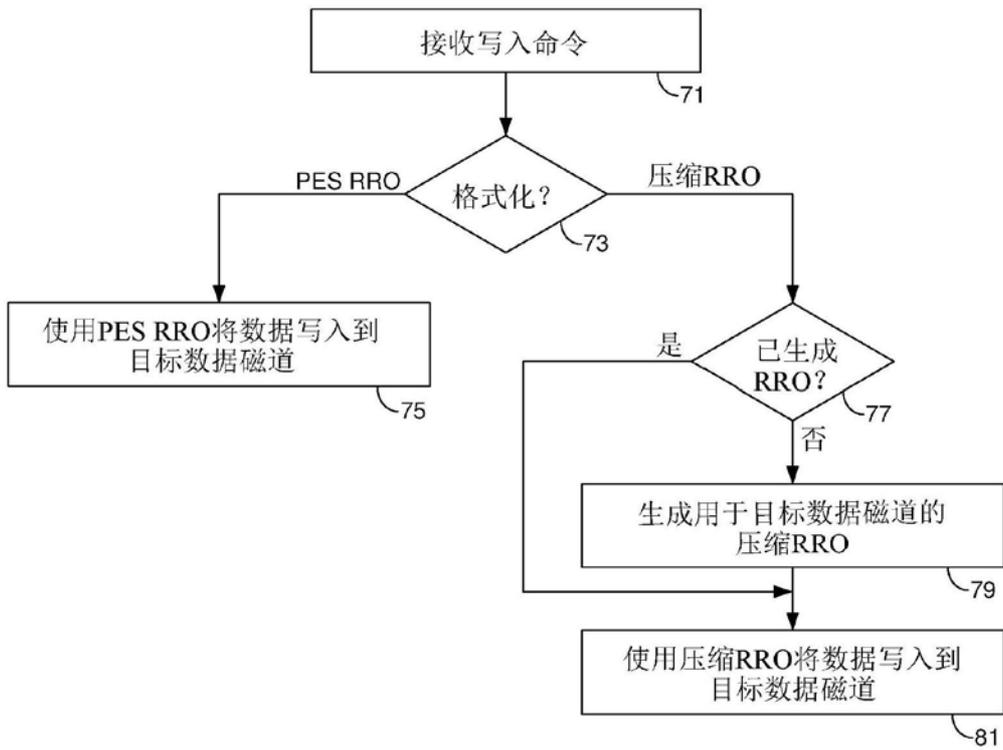


图13C

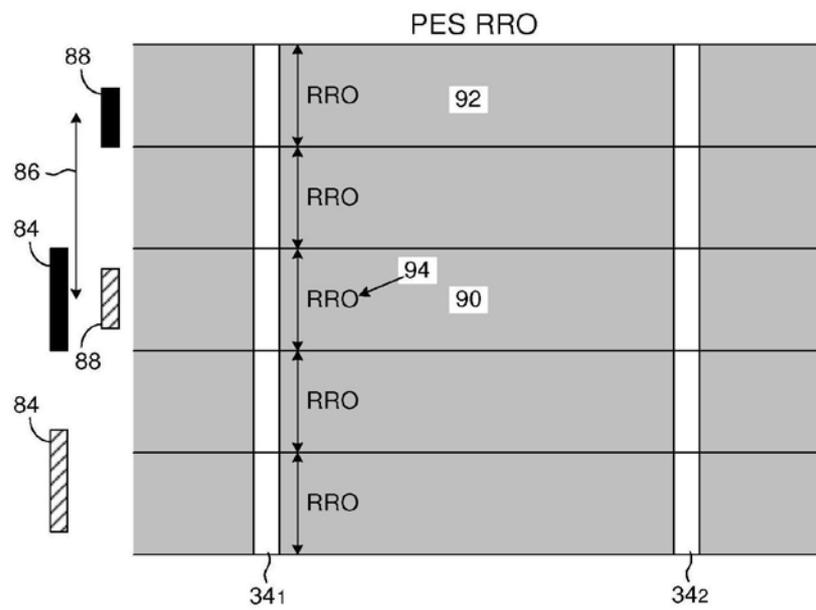


图14A

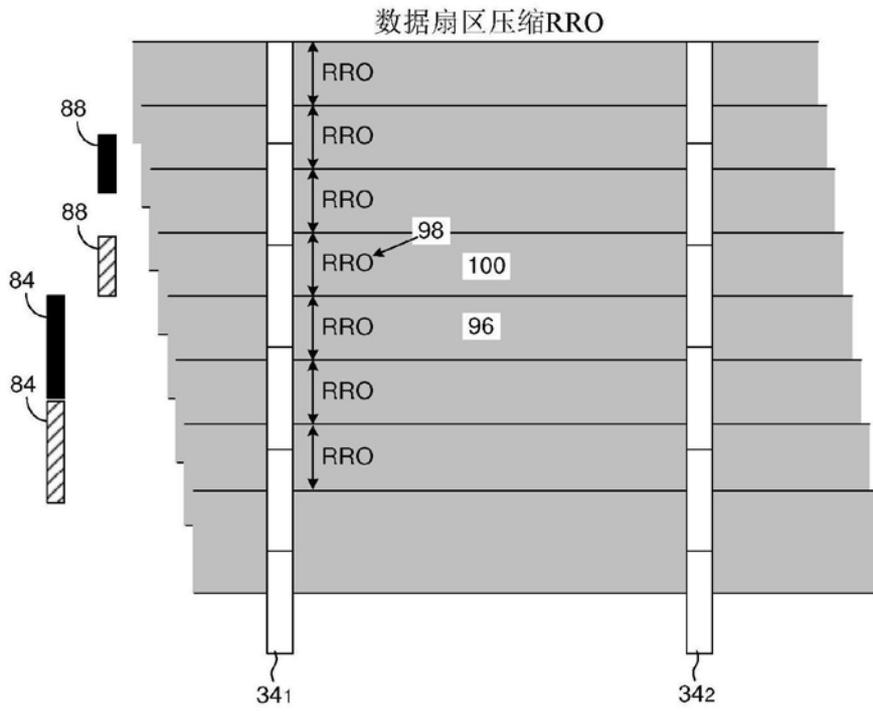


图14B