



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102760450 B

(45) 授权公告日 2016.07.13

(21) 申请号 201210129058.7

US 6937424 B2, 2005.08.30,

(22) 申请日 2012.04.27

CN 101097724 A, 2008.01.02,

(30) 优先权数据

审查员 董泽华

13/095,691 2011.04.27 US

(73) 专利权人 西部数据技术公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 R·A·威尔森 K·T·库克

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 赵蓉民

(51) Int. Cl.

G11B 5/55(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1773608 A, 2006.05.17,

CN 1773608 A, 2006.05.17,

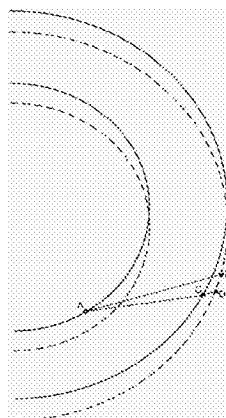
权利要求书3页 说明书6页 附图8页

(54) 发明名称

为补偿可重复性偏摆调整旋转位置优化算法的磁盘驱动器

(57) 摘要

本发明涉及为补偿可重复性偏摆调整旋转位置优化算法的磁盘驱动器。本发明公开了一种磁盘驱动器，其包括具有多个磁道的第一磁盘表面和具有多个磁道的第二磁盘表面，其中第一磁盘表面的每个磁道包括多个数据扇区和多个伺服扇区，第二磁盘表面的每个磁道包括多个数据扇区和多个伺服扇区。生成代表第一磁盘表面的可重复偏摆(RRO)的第一RRO正弦曲线，以及生成代表第二磁盘表面的可重复偏摆(RRO)的第二RRO正弦曲线。从主机接收多个存取命令，将其存储在命令队列中，选择存取命令中的一个来执行以响应第一和第二RRO正弦曲线。



1. 一种磁盘驱动器, 其包括:

包括第一多个磁道的第一磁盘表面, 其中所述第一多个磁道中的每个包括第一多个数据扇区和第一多个伺服扇区;

包括第二多个磁道的第二磁盘表面, 其中所述第二多个磁道中的每个包括第二多个数据扇区和第二多个伺服扇区;

在所述第一磁盘表面和所述第二磁盘表面中的每个上方致动的磁头; 以及
控制电路, 其可操作以:

生成与所述第一磁盘表面关联的第一可重复偏摆正弦曲线即第一RRO正弦曲线;

生成与所述第二磁盘表面关联的第二RRO正弦曲线;

从主机接收多个存取命令;

将所述存取命令存储在命令队列中;

基于所述第一和第二RRO正弦曲线并且进一步基于在磁头切换发生时所述第一磁盘表面和所述第二磁盘表面之间的相位偏移计算与目标磁道有关的调整的寻找距离; 以及
至少部分基于所述计算选择所述多个存取命令中的一个来执行。

2. 如权利要求1所述的磁盘驱动器, 其中所述控制电路进一步可操作用于:

生成所述第一RRO正弦曲线, 其依据:

$a_1 \cos(2\pi k/N) + b_1 \sin(2\pi k/N)$; 以及

生成所述第二RRO正弦曲线, 其依据:

$a_2 \cos(2\pi k/N) + b_2 \sin(2\pi k/N)$;

其中:

a_1, b_1, a_2, b_2 是系数;

k 代表伺服扇区指数; 以及

N 是伺服扇区数量。

3. 如权利要求2所述的磁盘驱动器, 其中所述控制电路进一步可操作用于计算伺服扇区的第一RRO正弦曲线和第二RRO正弦曲线之间的所述调整的寻找距离, 其依据:

$[a_1 \cos(2\pi i/N) + b_1 \sin(2\pi i/N)] - [a_2 \cos(2\pi i/N) + b_2 \sin(2\pi i/N)]$;

其中 i 代表寻找操作的起始伺服扇区。

4. 如权利要求2所述的磁盘驱动器, 其中所述控制电路进一步可操作用于计算伺服扇区的第一RRO正弦曲线和第二RRO正弦曲线之间的所述调整的寻找距离, 其依据:

$[a_1 \cos(2\pi j/N) + b_1 \sin(2\pi j/N)] - [a_2 \cos(2\pi j/N) + b_2 \sin(2\pi j/N)]$;

其中 j 代表寻找操作的终止伺服扇区。

5. 如权利要求2所述的磁盘驱动器, 其中所述控制电路进一步可操作用于计算所述调整的寻找距离, 其依据:

$[a_1 \cos(2\pi(i - \Delta_1)/N) + b_1 \sin(2\pi(i - \Delta_1)/N)] - [a_2 \cos(2\pi(i - \Delta_2)/N) + b_2 \sin(2\pi(i - \Delta_2)/N)]$;

其中 Δ_1 和 Δ_2 代表所述第一多个伺服扇区和所述第二多个伺服扇区之间的歪斜, i 代表寻找操作的起始伺服扇区。

6. 如权利要求2所述的磁盘驱动器, 其中所述控制电路进一步可操作用于计算所述调整的寻找距离, 其依据:

$[a_1\cos(2\pi(j-\Delta_1)/N)+b_1\sin(2\pi(j-\Delta_1)/N)]-[a_2\cos(2\pi(j-\Delta_2)/N)+b_2\sin(2\pi(j-\Delta_2)/N)];$

其中 Δ_1 和 Δ_2 代表所述第一多个伺服扇区和所述第二多个伺服扇区之间的歪斜, j 代表寻找操作的终止伺服扇区。

7. 如权利要求1所述的磁盘驱动器, 其中所述控制电路进一步可操作用于至少部分基于所述第一多个伺服扇区和所述第二多个伺服扇区之间的歪斜选择所述多个存取命令中的所述一个来执行。

8. 一种操作磁盘驱动器的方法, 所述磁盘驱动器包括包含第一多个磁道的第一磁盘表面、包含第二多个磁道的第二磁盘表面和在所述第一磁盘表面和所述第二磁盘表面中的每个上方致动的磁头, 其中所述第一多个磁道中的每个包括第一多个数据扇区和第一多个伺服扇区, 所述第二多个磁道中的每个包括第二多个数据扇区和第二多个伺服扇区, 该方法包括:

生成与所述第一磁盘表面关联的第一可重复偏摆正弦曲线即第一RRO正弦曲线;

生成与所述第二磁盘表面关联的第二RRO的正弦曲线;

从主机接收多个存取命令;

将所述存取命令存储在命令队列中;

基于所述第一和第二RRO正弦曲线并且进一步基于在磁头切换发生时所述第一磁盘表面和所述第二磁盘表面之间的相位偏移计算与目标磁道有关的调整的寻找距离; 以及

至少部分基于所述计算选择所述多个存取命令中的一个来执行。

9. 如权利要求8所述的方法, 其进一步包括:

生成所述第一RRO正弦曲线, 其依据:

$a_1\cos(2\pi k/N)+b_1\sin(2\pi k/N)$; 以及

生成所述第二RRO正弦曲线, 其依据:

$a_2\cos(2\pi k/N)+b_2\sin(2\pi k/N)$

其中:

a_1, b_1, a_2, b_2 是系数;

k 代表伺服扇区指数; 以及

N 是伺服扇区数量。

10. 如权利要求9所述的方法, 其进一步包括计算伺服扇区的第一RRO正弦曲线和第二RRO正弦曲线之间的所述调整的寻找距离, 其依据:

$[a_1\cos(2\pi i/N)+b_1\sin(2\pi i/N)]-[a_2\cos(2\pi i/N)+b_2\sin(2\pi i/N)];$

其中 i 代表寻找操作的起始伺服扇区。

11. 如权利要求9所述的方法, 其进一步包括计算伺服扇区的第一RRO正弦曲线和第二RRO正弦曲线之间的所述调整的寻找距离, 其依据:

$[a_1\cos(2\pi j/N)+b_1\sin(2\pi j/N)]-[a_2\cos(2\pi j/N)+b_2\sin(2\pi j/N)];$

其中 j 代表寻找操作的终止伺服扇区。

12. 如权利要求9所述的方法, 其进一步包括计算所述调整的寻找距离, 其依据:

$[a_1\cos(2\pi(i-\Delta_1)/N)+b_1\sin(2\pi(i-\Delta_1)/N)]-[a_2\cos(2\pi(i-\Delta_2)/N)+b_2\sin(2\pi(i-\Delta_2)/N)];$

其中 Δ_1 和 Δ_2 代表所述第一多个伺服扇区和所述第二多个伺服扇区之间的歪斜, i 代表寻找操作的起始伺服扇区。

13. 如权利要求9所述的方法,进一步包括计算所述调整的寻找距离,其依据:

$[a_1 \cos(2\pi(j - \Delta_1)/N) + b_1 \sin(2\pi(j - \Delta_1)/N)] - [a_2 \cos(2\pi(j - \Delta_2)/N) + b_2 \sin(2\pi(j - \Delta_2)/N)];$

其中 Δ_1 和 Δ_2 代表所述第一多个伺服扇区和所述第二多个伺服扇区之间的歪斜, j 代表寻找操作的终止伺服扇区。

14. 如权利要求8所述的方法,其中选择所述多个存取命令中的一个来执行是至少部分基于所述第一多个伺服扇区和所述第二多个伺服扇区之间的歪斜。

为补偿可重复性偏摆调整旋转位置优化算法的磁盘驱动器

背景技术

[0001] 磁盘驱动器包括磁盘和连接到致动器臂远端的磁头，致动器臂通过音圈马达(VCM)绕枢轴旋转以在磁盘上径向定位磁头。磁盘包括多个径向间隔的同心磁道，用于记录用户数据扇区和伺服扇区。伺服扇区包括磁头定位信息(例如，磁道地址)，磁头定位信息由磁头读取并由伺服控制系统处理以控制致动器臂从一个磁道到另一个磁道搜寻时的速度。

[0002] 由于磁盘以恒定角速度旋转，因此数据速率通常朝外径磁道方向(其中磁盘表面旋转更快)增加以实现穿过磁盘半径的范围内更为恒定的线性位密度。为了简化设计的考虑，数据磁道通常结合(band)在一起形成多个物理分区，其中穿过分区的数据速率是恒定的，并且从内直径分区向外直径分区增加。这由图1示出，其示出现有技术中包括多个数据磁道4的磁盘格式2，其中本示例中的数据磁道结合在一起从磁盘的内直径(分区1)到磁盘的外直径(分区3)形成3个物理分区。

[0003] 图1所示的现有技术磁盘还包括围绕(around)每个数据磁道的周边记录的多个伺服扇区 6_0 - 6_N 。每个伺服扇区 6_i 包括用于存储周期模式(pattern)的前导码8和同步标记10，前导码8允许适当的增益调节和读信号的时序同步，同步标记10存储用于符号同步到伺服数据字段12的特定模式。伺服数据字段12存储粗略的磁头定位信息，例如磁道地址，用于在寻找操作期间定位目标数据磁道上的磁头。每个伺服扇区 6_i 进一步包括伺服脉冲(burst)分组14(例如，A、B、C和D脉冲)，其包括相对于数据磁道中心线以精确间隔和偏移记录的多个连续跃迁。伺服脉冲分组14提供精确的磁头位置信息用于在写/读操作期间访问数据磁道时进行中心线寻道。

[0004] 当磁盘驱动器正在执行当前存取命令时，可从主机接收多个存取命令。存取命令通常缓存在命令队列中，并且在磁盘驱动器正在完成执行当前命令时，根据旋转位置优化(RPO)算法从命令队列中选择下一命令。RPO算法尝试选择下一命令，其将存取磁盘的机械延迟最小化，包括移动磁头到目标磁道所需的寻找时间和磁头到达目标数据扇区所需的旋转时间。

附图说明

- [0005] 图1示出现有技术中包括由嵌入的伺服扇区限定的多个磁道的磁盘格式。
- [0006] 图2A示出根据本发明实施例的磁盘驱动器，其包括在磁盘表面上方致动的磁头。
- [0007] 图2B示出根据本发明实施例的磁盘驱动器，其包括多个磁盘表面。
- [0008] 图2C是根据本发明实施例的流程图，其中基于第一和第二磁盘表面的可重复性偏摆(RRO)从命令队列选择存取命令。
- [0009] 图2D图示根据本发明实施例的第一和第二磁盘表面的RRO。
- [0010] 图3图示本发明的一个实施例，其中存取命令自命令队列选择，其利用旋转位置优化算法(RPO)最小化寻找和旋转延迟。
- [0011] 图4A图示根据本发明实施例的生成第一和第二磁盘表面的RRO正弦曲线的方程式。

[0012] 图4B图示本发明的一个实施例,其中当在第一和第二磁盘表面间切换时,寻找操作开始时的第一和第二磁盘表面的RRO正弦曲线之差用于估计寻找距离。

[0013] 图4C图示本发明的一个实施例,其中当在第一和第二磁盘表面间切换时,寻找操作接近结束时的第一和第二磁盘表面的RRO正弦曲线之差用于估计寻找距离。

[0014] 图4D和4E图示本发明的一个实施例,其中当执行磁头切换操作时(例如在寻找操作开始或结束时),寻找延迟可能受到影响。

[0015] 图5A图示本发明的一个实施例,其中第一和第二磁盘表面的伺服扇区间存在歪斜(skew)。

[0016] 图5B图示本发明的一个实施例,其中当计算RRO正弦曲线之差时,伺服扇区的歪斜被考虑。

具体实施方式

[0017] 图2A和2B示出根据本发明实施例的磁盘驱动器,其包括第一磁盘表面 16_0 和第二磁盘表面 16_1 ,第一磁盘表面 16_0 包括多个磁道,其中每个磁道包括多个数据扇区和多个伺服扇区 18_0-18_N ,第二磁盘表面 16_1 包括多个磁道,其中每个磁道包括多个数据扇区和多个伺服扇区 18_0-18_N 。磁盘驱动器进一步包括在每个磁盘表面 16_0-16_3 上方致动的磁头 20_0-20_3 和可操作用于执行图2C的流程图的控制电路22。生成代表第一磁盘表面的可重复性偏摆(RRO)的第一RRO正弦曲线(步骤24),以及生成代表第二磁盘表面的RRO的第二可重复性偏摆(RRO)正弦曲线(步骤26)。从主机接收多个存取命令,将其存储在命令队列中(步骤28),以及选择存取命令中的一个来执行以响应第一和第二RRO正弦曲线(步骤30)。

[0018] 在图2A的实施例中,控制电路22处理从磁头 16_0 发出的读信号32,来解调伺服扇区 18_0-18_N 并生成代表检测的磁头位置和相对于目标磁道的目标位置之间误差的位置误差信号(PES)。控制电路22利用适当的补偿滤波器对PES进行滤波,以生成控制信号34,控制信号34施加于围绕枢轴旋转致动器臂380的音圈马达(VCM)36,从而朝减少PES的方向在磁盘表面上方径向致动磁头 16_0 。在对应于选择的存取命令磁头从当前磁道移动到目标磁道的寻找操作中,控制电路22处理来自伺服扇区 18_0-18_N 的位置信息以便以相对于起始和终止磁道定义的速度分布的目标速度移动磁头 20_0 。

[0019] 伺服扇区 18_0-18_N 可以任何适当的方式写入每个磁盘表面,例如在安装到每个磁盘驱动器之后或者在安装之前伺服写入磁盘表面,(例如,采用介质编写器或冲压磁盘表面)。在一个实施例中,伺服扇区 18_0-18_N 相对于使磁盘旋转的主轴电机的中心定义非中心磁道。例如,在将磁盘安装到磁盘驱动器之前磁盘表面被伺服写入的实施例中,磁盘可以被夹紧(clamp)到主轴电机,使得磁盘中心不和主轴电机的中心对齐。这会引起每个磁盘表面相对于各磁头的可重复性偏摆(RRO)。另外,每个磁盘表面之间的RRO可能不同,例如,如果图2B所示的两个磁盘以不同的对齐方式夹紧到主轴电机,使得每个磁盘的中心相对于主轴电机的中心以不同的幅度和相位偏移。这在图2D的实施例中示出,其显示分别对应于第一和第二磁盘表面的第一和第二RRO正弦曲线。每个RRO正弦曲线的幅度和相位对应于每个磁盘与主轴电机的中心非中心对齐时的幅度和相位。

[0020] 在本发明的各实施例中,不同磁盘表面的不同RRO正弦曲线影响从命令队列中选择要执行的下一个存取命令的算法。例如,在一个实施例中,选择算法包括旋转位置优化

(RPO)算法,其以最小化寻找和旋转延迟的顺序选择要执行的存取命令(从而最大化磁盘驱动器吞吐量)。图3示出从当前命令结尾到有可能的下一个命令的寻找和旋转延迟示例,其中延迟按照伺服楔(连续伺服扇区之间的区域)计算。可以针对命令队列中的每个存取命令计算寻找和旋转延迟,然后将具有最小延迟的存取命令选为下一个待执行的存取命令。

[0021] 在图3的示例中,当前命令可能处在第一磁盘表面上,而可能的下一存取命令可能处在第二磁盘表面上(需要磁头切换)。如果第一和第二磁盘表面的RRO不同,如图2D所示,则如果相对第一磁盘表面计算寻找延迟则估计的寻找延迟可能不正确。因此,本发明实施例在估计命令队列中的每个存取命令的寻找延迟时考虑第一和第二磁盘表面间的不同RRO。

[0022] 代表磁盘表面RRO的RRO正弦曲线可以通过采用任何适当的运算以任何适当的方式生成。在图4A所示的实施例中,根据以下运算生成第一磁盘表面的RRO正弦曲线:

[0023] $a_1\cos(2\pi k/N)+b_1\sin(2\pi k/N)$;

[0024] 根据以下运算生成第二磁盘表面的RRO正弦曲线:

[0025] $a_2\cos(2\pi k/N)+b_2\sin(2\pi k/N)$;

[0026] 其中 a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 是系数, k 代表伺服扇区指数, N 是每个磁盘表面伺服扇区的数量。系数 a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 确定产生的RRO正弦曲线的幅度和相位并且可以以任何适当的方式被确定。在一个实施例中,RRO正弦曲线的系数通过计算误差信号(例如,寻道操作期间响应伺服扇区的PES),接着调整系数使得误差信号趋于0进行递归估计。在另一个实施例中,每个磁盘表面的RRO正弦曲线可以自前馈RRO值生成,前馈RRO值由在寻道操作中遵循RRO的伺服系统生成。伺服系统的前馈RRO值以VCM控制信号度量(in units of),因此前馈RRO值(例如,正弦曲线系数)被转换,使得图4A所示的RRO正弦曲线产生的幅度以磁道来度量。

[0027] 图4A示出从伺服扇区*i*的起始磁道到伺服扇区*j*的终止磁道(例如,图3示例中从伺服扇区9到11)的寻找操作,其中起始磁道和终止磁道都在第一磁盘表面上。由于伺服系统将调整磁头速度来补偿RRO(例如,相对于磁盘表面保持恒定速度),因此第一磁盘表面的RRO将不会影响估计的寻找距离(及估计的寻找延迟)。不过,如果终止磁道在第二磁盘表面上,如图4B所示,则第一和第二磁盘表面的不同的RRO将影响估计的寻找距离。若利用第一磁盘表面执行寻找操作,则当磁头到达第一磁盘表面的目标磁道时,其与第二磁盘表面上的目标磁道之间将产生距离 d' ,如图4B所示。因此,如果在穿过第一磁盘表面进行寻找后执行磁头切换以切换到第二磁盘表面,则伺服系统仍然需要将磁头移动距离 d' 以到达第二磁盘表面的目标磁道。换句话说,当寻找涉及切换磁盘表面时实际寻找距离将是不同的(更长或更短)。

[0028] 在一个实施例中,假设磁头切换发生在寻找操作开始时,鉴于RRO调整的寻找距离被估计。再次参照图4B,假设在开始寻找时,磁头从第一磁盘表面切换到第二磁盘表面,则第一磁盘表面的起始磁道和第二磁盘表面的起始磁道不同,相差 d 磁道(其可能是整数个磁道或整数加分数个磁道)。就是说,第二磁盘表面的起始磁道可能更接近于或更远离寻找操作的终止磁道距离 d ,因此估计的寻找距离被调整距离 d 。在一个实施例中,如图4B所示,距离 d 被计算为伺服扇区*i*的第一和第二磁盘表面的RRO正弦曲线之差:

[0029] $[a_1\cos(2\pi i/N)+b_1\sin(2\pi i/N)]-[a_2\cos(2\pi i/N)+b_2\sin(2\pi i/N)]$

[0030] 其中,*i*代表寻找操作的起始伺服扇区。一旦调整的寻找距离已知,即可以估计相

应的寻找延迟并将其用于如上所述的RPO算法中。

[0031] 在另一实施例中,假设磁头切换发生在寻找操作结束时,鉴于RRO调整的寻找距离被估计。参照图4C,基于起始伺服扇区i、磁盘旋转速度Vr和初始寻找距离D(在被调整前)估计寻找操作的终止伺服扇区j。寻找操作结束时的终止磁道(利用第一磁盘表面)之间的距离d和对寻找距离的对应调整d被计算为伺服扇区j的第一和第二磁盘表面的RRO正弦曲线之差:

$$[0032] [a_1 \cos(2\pi j/N) + b_1 \sin(2\pi j/N)] - [a_2 \cos(2\pi j/N) + b_2 \sin(2\pi j/N)]$$

[0033] 在一个实施例中,伺服系统执行第一寻找,从第一磁盘表面上的起始磁道到终止(目标)磁道寻找磁头,执行磁头切换至第二磁盘表面,之后执行第二寻找(利用距离d)以将磁头定位在第二磁盘表面的目标磁道上方。在可替代实施例中,伺服系统可以将第一寻找调整距离d,从而第一次寻找结束时在磁头切换后(从而排除第二寻找困难)将磁头定位在(或非常接近)第二磁盘表面上的目标磁道。在这两种实施例的任何一个实施例中,可以估计总的寻找距离并针对RPO算法将其转换为估计寻找延迟。

[0034] 在又一实施例中,磁头切换可以在寻找操作中间执行,并且对估计的寻找距离的对应调整d可以相对于磁头切换发生的伺服扇区来计算。换句话说,对估计的寻找长度的调整d可以在任何伺服扇区沿寻找操作长度来计算。在一个实施例中,可以针对多个不同的伺服扇区(例如,起始和终止伺服扇区)计算估计的寻找距离,并且针对产生最短寻找距离的伺服扇区执行磁头切换。

[0035] 图4D和4E示出由于磁盘表面相对于磁头移动(鉴于RRO)而执行磁头切换操作时,寻找延迟是如何被影响的。由于寻找操作以相对磁盘表面的恒定速度(忽略加速和减速)穿过磁盘表面的半径移动磁头,因此至第二磁盘表面的目标磁道的寻找速度可能是不同的,这取决于磁盘表面相对磁头的移动。例如,如果第二磁盘表面正在朝向磁头移动(鉴于RRO),则在第一磁盘表面执行寻找操作并在寻找操作结束时执行磁头切换,寻找速度更快。相反,如果第二磁盘表面正远离磁头移动(鉴于RRO),则磁头切换发生在寻找开始时并且寻找操作在第二磁盘表面上执行,寻找速度更快。

[0036] 图4D显示第一磁盘表面(实线)和第二磁盘表面(虚线)的寻找操作的起始和终止磁道。在图4D的示例中,执行从第一磁盘表面(内实线)到第二磁盘表面(外实线)的寻找。如果在寻找操作开始时执行磁头切换且在第二磁盘表面上执行从A点到B点的寻找,则相对于在第一磁盘表面上执行从A点到C点的寻找,执行磁头切换,接着在第二磁盘表面上执行从C点到D点的寻找,寻找速度会更慢(寻找延迟更长)。这是因为在本例中,由于RRO第二磁盘表面正向磁头移动。

[0037] 图4E示出第一磁盘表面(虚线)和第二磁盘表面(实线)的寻找操作的起始和终止磁道。在图4D的示例中,执行从第一磁盘表面(内虚线)到第二磁盘表面(外实线)的寻找。在这个示例中,如果磁头切换发生在寻找操作开始,且接着在第二磁盘表面上从A点到B点寻找,寻找速度更快。如果在第一磁盘表面上执行寻找并在寻找结束时执行磁头切换,该寻找耗时更长并在C点结束。

[0038] 上述实施例假设每个磁盘表面的伺服扇区18₀-18_N在表面间对齐,从而在执行磁头切换时没有伺服扇区的歪斜/偏差(skew)。例如,上述实施例假设第一磁盘表面16₀的第一伺服扇区18₀和第二磁盘表面16₂的第一伺服扇区18₀对齐。在可替代实施例中,例如,由于当

第一和第二磁盘被夹紧到主轴电机时磁盘彼此发生旋转,或者由于在同一磁盘上的上下表面记录伺服扇区中出现的歪斜,第一和第二磁盘表面的数据扇区之间存在歪斜。图5A示出这种歪斜的示例实施例,其中第二磁盘表面 16_2 相对于第一磁盘表面 16_0 旋转相位偏移 Δ 。相位偏移 Δ 可以包括分数组个伺服楔、整数组个伺服楔或整数加分数组个的伺服楔。在如图5A所示的示例中,相位偏移 Δ 包括大约一个半的伺服楔。

[0039] 在一个实施例中,代表每个磁盘表面RRO的RRO正弦曲线的起始点相对于参考伺服扇区(例如,第一伺服扇区 18_0)生成。在磁盘表面之间存在伺服扇区歪斜的实施例中(图5A),RRO正弦曲线中将有相应的相位偏移 Δ 。在一个实施例中,通过将至少一个RRO正弦曲线相移相位偏移 Δ 来计算这个相位偏移 Δ ,例如图4B和图4C的实施例中所示的相移至少一个RRO正弦曲线。例如,可以调整图4B所示的方程式以包括如图5B的方程式所示的相位偏移(一个或多个),其中 Δ_1 和 Δ_2 代表第一和第二磁盘表面的伺服扇区之间的歪斜。

[0040] 在一个实施例中,在计算上述估计的寻找距离的调整d之前,所有RRO正弦曲线相对于参考磁盘表面移位一个相位偏移。例如,第一磁盘表面 16_0 可以被视为对于此表面相位偏移 Δ 总是0的参考表面。其他磁盘表面 16_1-16_3 的相位偏移 Δ 相对于第一磁盘表面 16_0 确定,也就是说,其他磁盘表面 16_1-16_3 的每个RRO正弦曲线的起始点被相移,因此它们与第一磁盘表面 16_0 的RRO正弦曲线的起始点对齐。然后如上所述计算估计的寻找距离的调整d,并将该调整d用于估计RPO算法的寻找延迟。

[0041] 每个磁盘表面相对于参考磁盘表面的相位偏移 Δ 可以以任何适当的方式确定。在一个实施例中,每个磁盘表面的相位偏移 Δ 通过计时每个磁盘表面的第一伺服扇区 18_0 之间的圆周距离来确定。例如,当读取参考磁盘表面并检测到第一伺服扇区 18_0 时,磁头可以被切换到选择的磁盘表面。之后,当检测到该磁盘表面的第一伺服扇区 18_0 时,确定选择的磁盘表面的相位偏移 Δ 。

[0042] 在一个实施例中,用于计算估计的寻找距离的调整d的RRO正弦曲线可以被调谐以提高准确度。例如,在一个实施例中,估计的调整d和寻找期间磁头切换后确定的实际调整之间的误差用于以减少误差的方向来调整RRO正弦曲线的系数。在一个实施例中,每个磁盘表面的RRO会随着时间而变化,例如,由于环境变化(例如,温度),或者由于相对于主轴电机的磁盘滑动。因此,在一个实施例中,可以连续调谐RRO正弦曲线来补偿每个磁盘表面的RRO的变化。

[0043] 可以使用任何适当的控制电路来实施本发明各实施例中的流程图,例如任何适当的集成电路或多个电路。例如,控制电路可以在读通道集成电路内实施,或者在与读通道分开的组件内,例如磁盘控制器,或者上述某些步骤可以由读通道执行而其他步骤由磁盘控制器执行。在一个实施例中,读通道和磁盘控制器分别由独立的集成电路实施,并且在可替代实施例中,它们被制作到单一集成电路内或片上系统(SOC)中。另外,控制电路可以包括适当的前置放大电路,其实施为单独的集成电路、集成到读通道内或磁盘控制器电路中或者集成到SOC中。

[0044] 在一个实施例中,控制电路包括执行指令的微处理器,这些指令可操作用于使微处理器执行本文描述的流程图步骤。这些指令可以被存储在任何计算机可读介质中。在一个实施例中,它们可以被存储在微处理器外的非易失性半导体存储器内或与SOC中的微处理器集成。在另一实施例中,指令被存储在磁盘上,并且在磁盘驱动器上电时被读取到易失

性半导体存储器中。在又一实施例中，控制电路包括适当的逻辑电路，例如状态机电路。

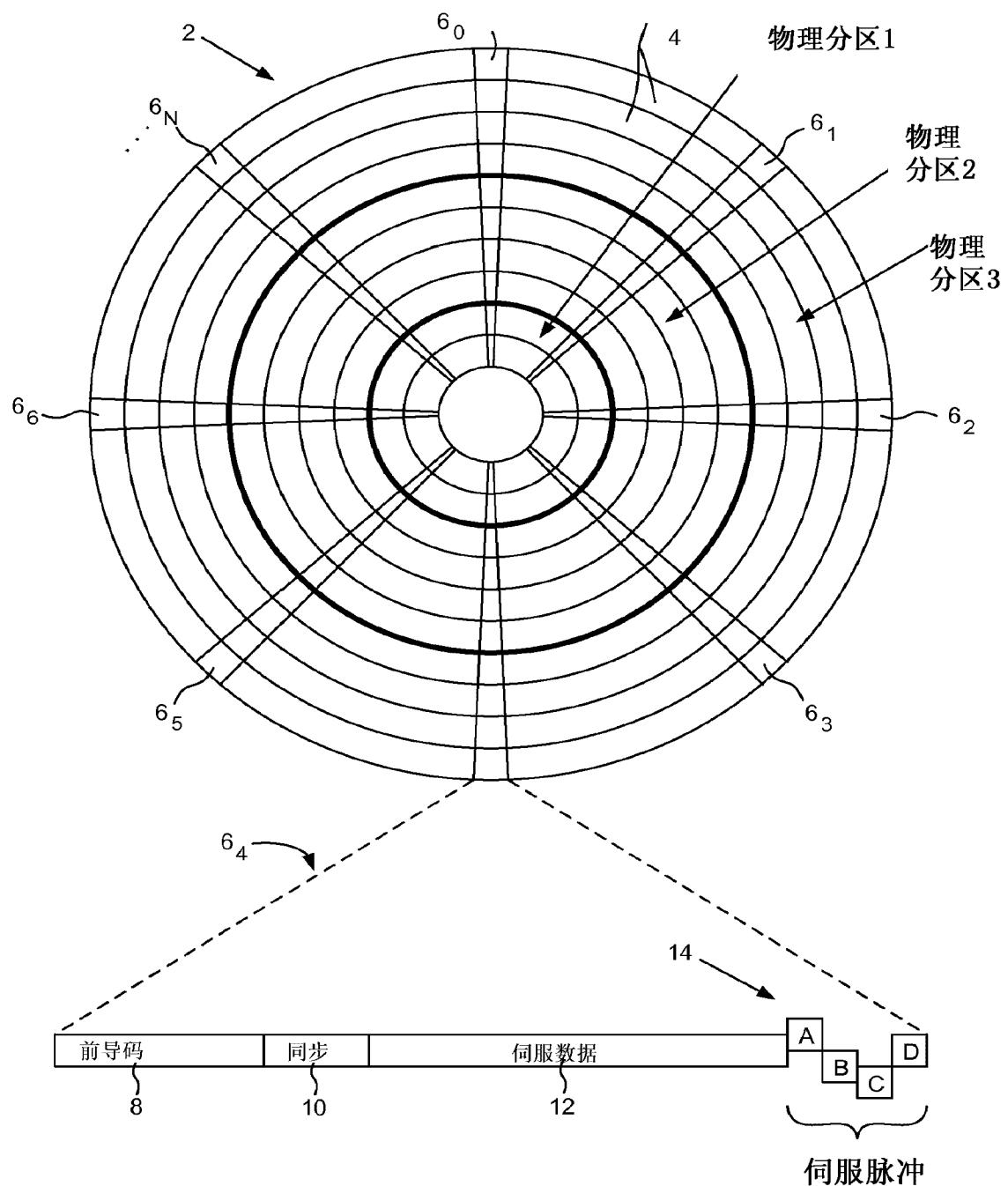


图1(现有技术)

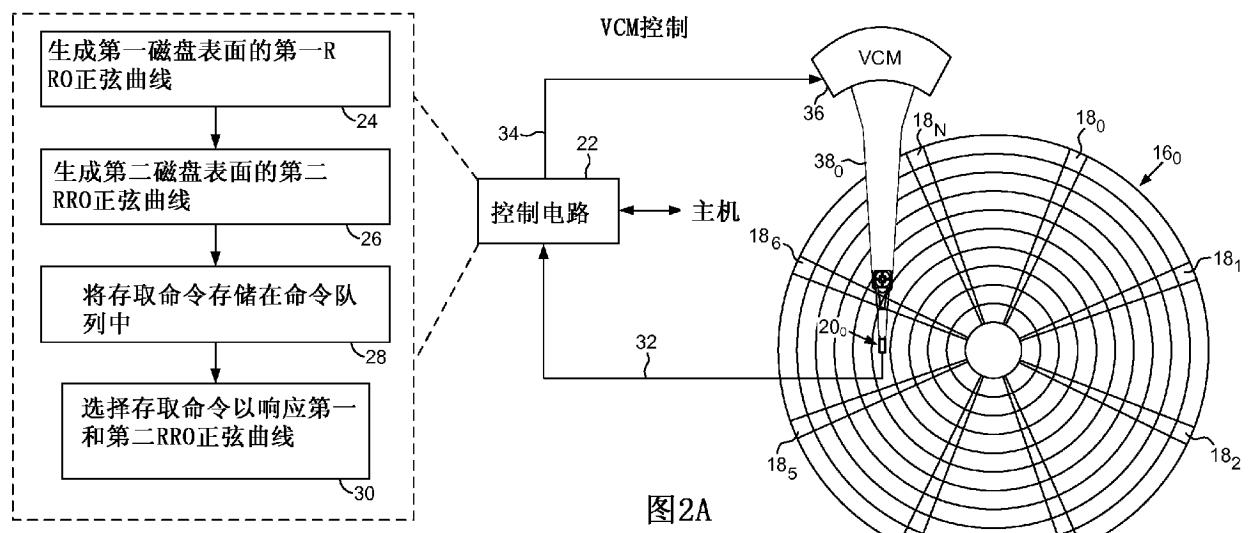


图2C

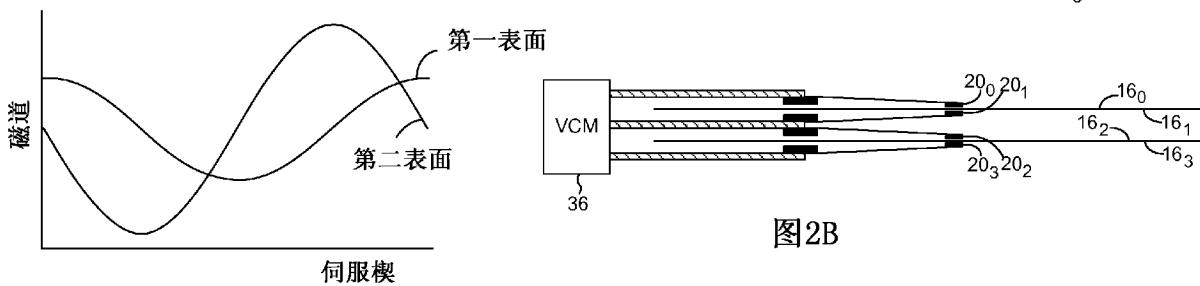
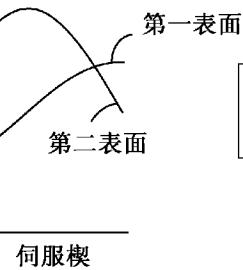


图2D



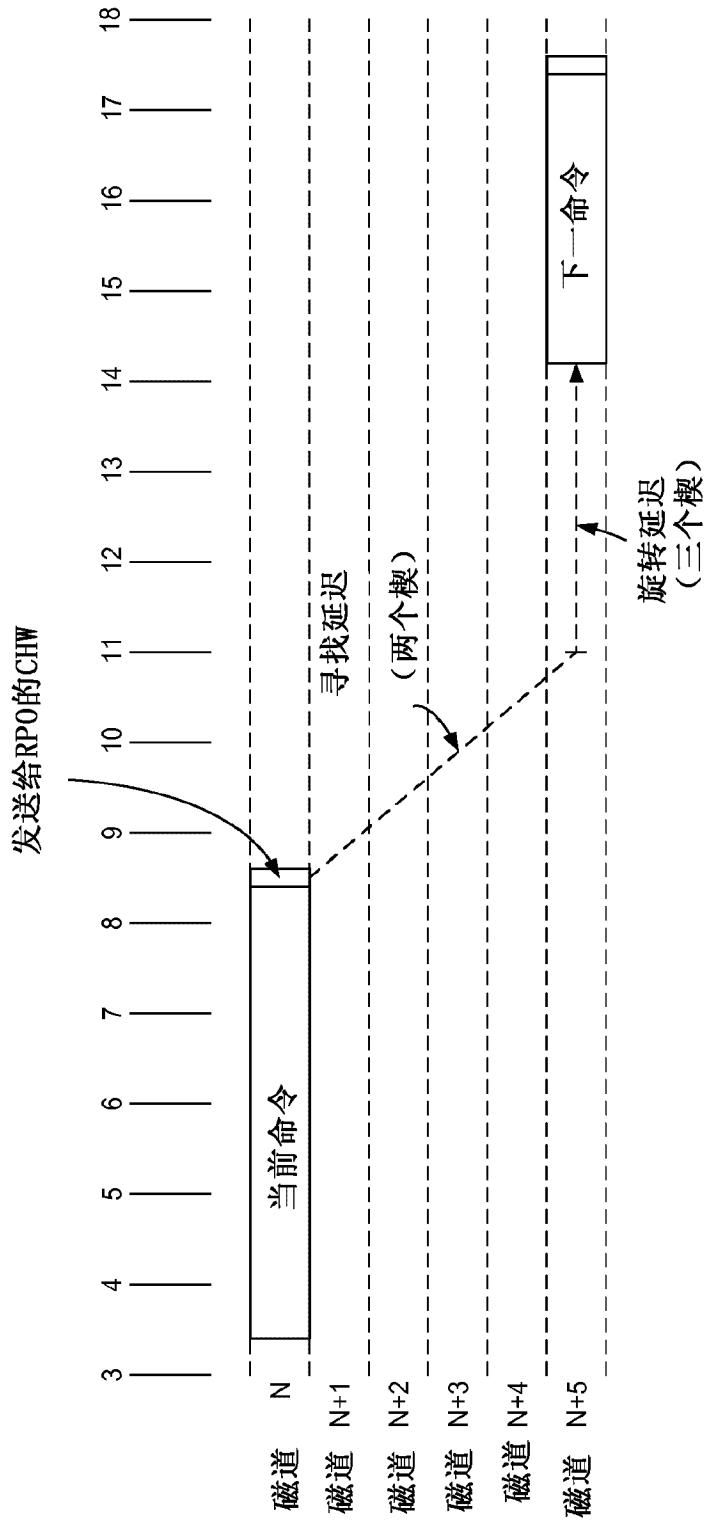


图3

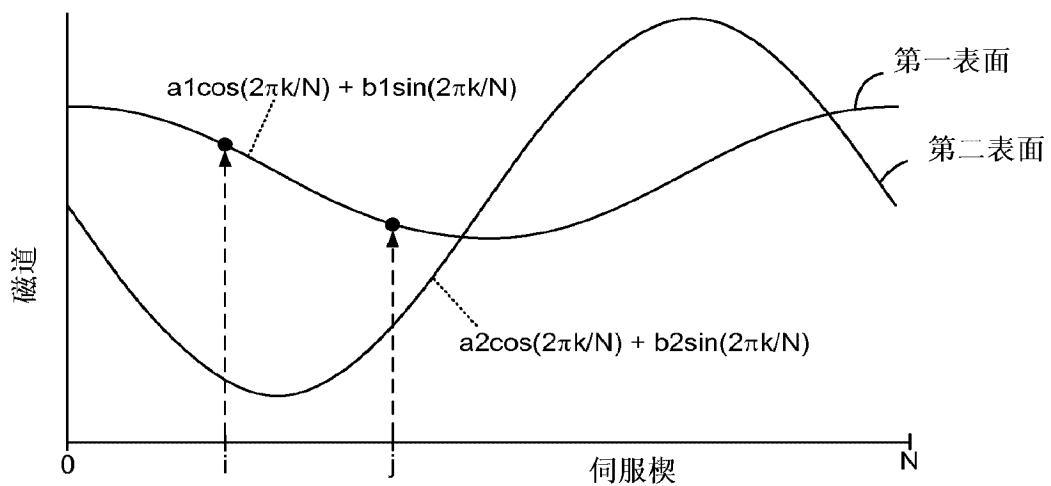


图4A

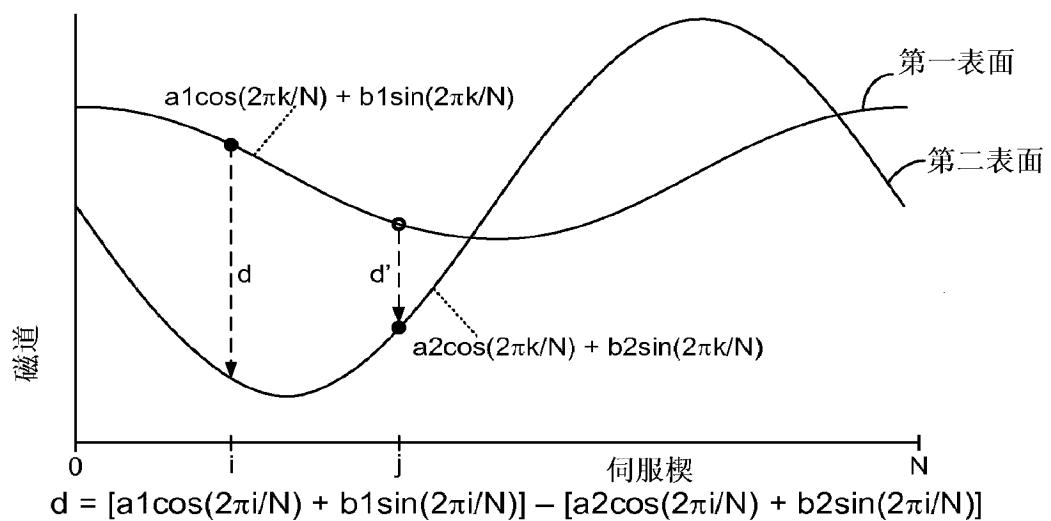


图4B

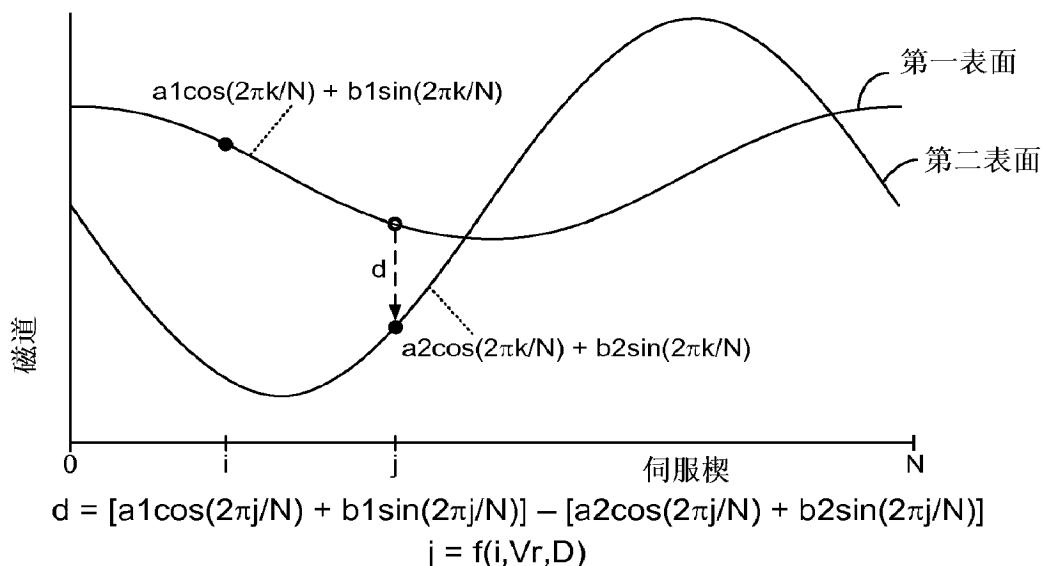


图4C

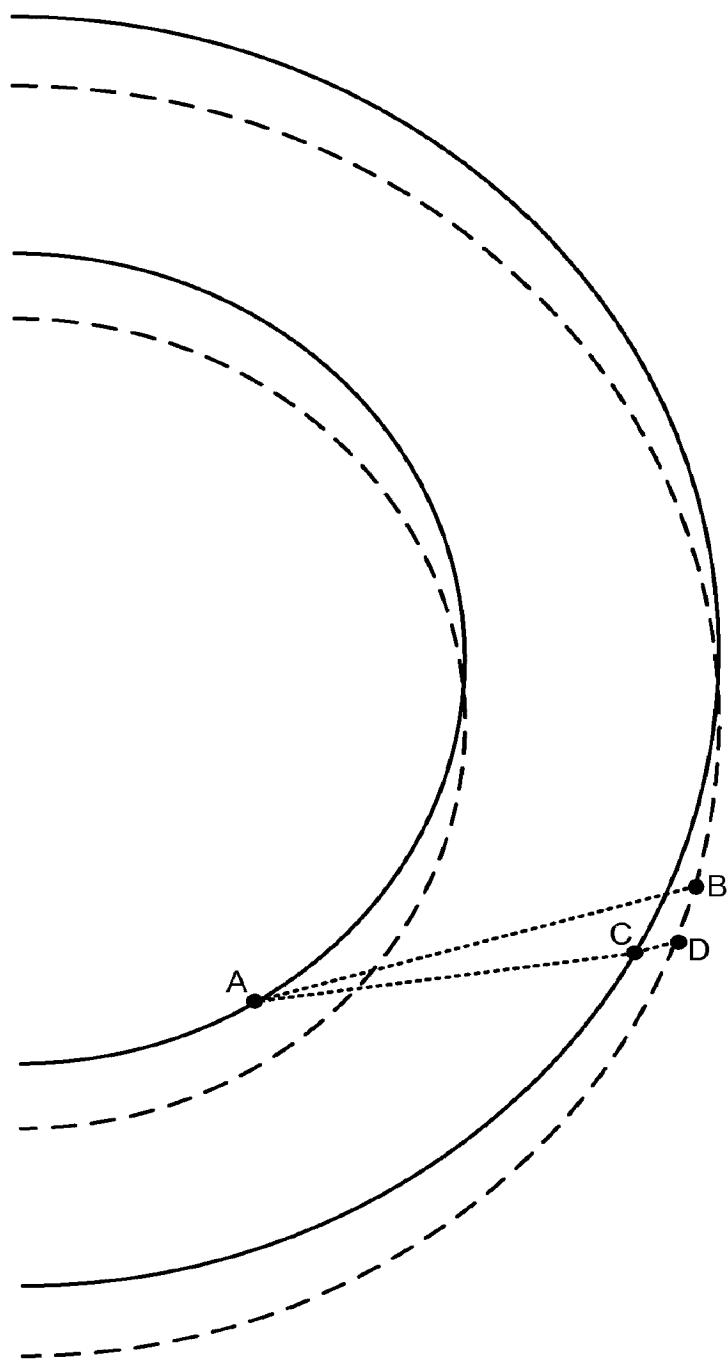


图4D

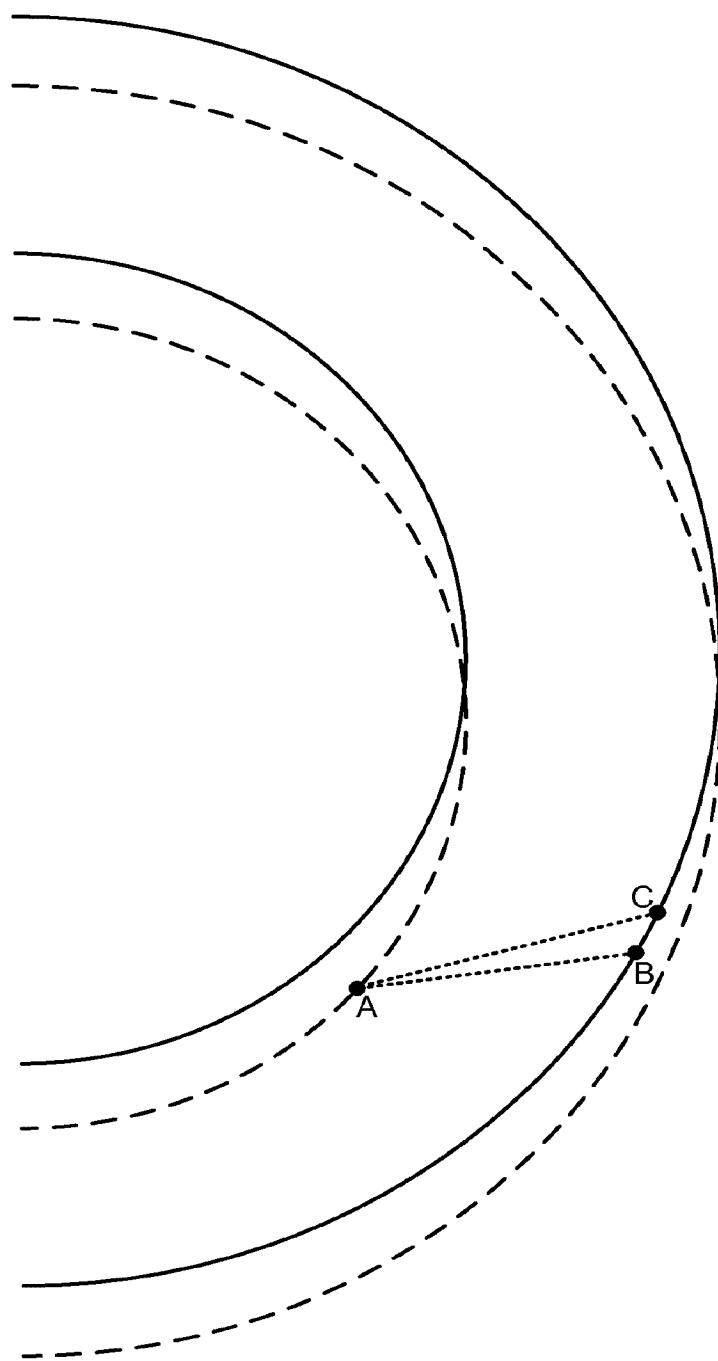


图4E

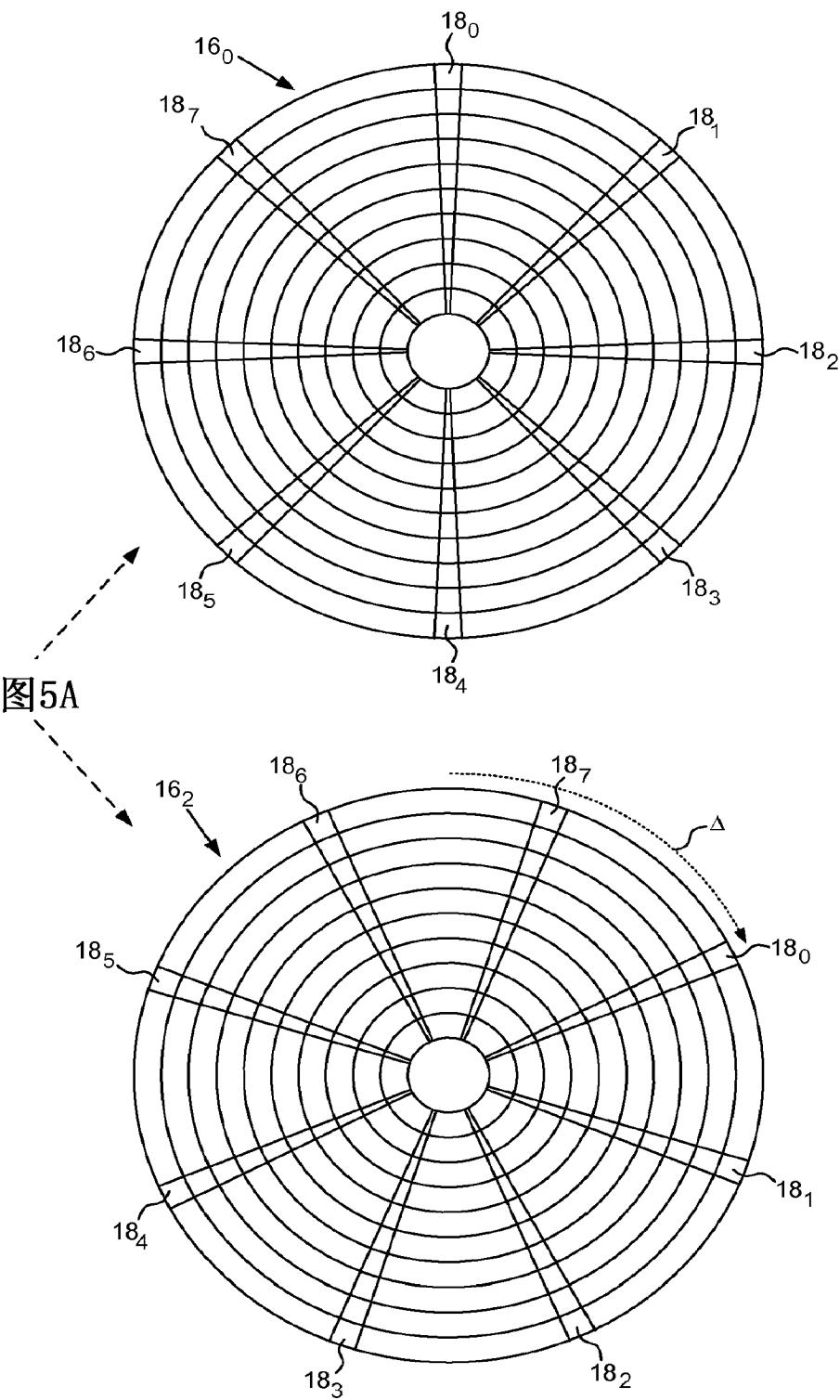


图5B

$$d = [a_1 \cos(2\pi(i-\Delta_1)/N) + b_1 \sin(2\pi(i-\Delta_1)/N)] - [a_2 \cos(2\pi(i-\Delta_2)/N) + b_2 \sin(2\pi(i-\Delta_2)/N)]$$