(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 104424969 A
(43)申请公布日 2015.03.18

(21)申请号 201410300948.9

(22)申请日 2014.06.27

(30)优先权数据
61/872,161 2013.08.30 US
14/048,897 2013.10.08 US

(71)申请人 LSI 公司
地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 G·马修 A·R·马斯特罗蔻拉
R·A·格林

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限责任公司 11287
代理人 王田

(51)Int.Cl.
G11B 20/02(2006.01)
G11B 5/008(2006.01)

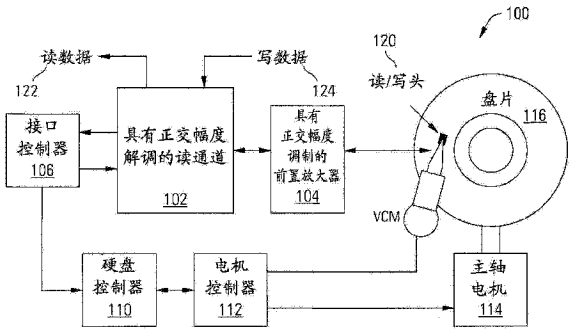
权利要求书3页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

具有正交幅度调制的基于阵列读取器的磁记录系统

(57)摘要

一种磁记录系统包括:模拟输入阵列,其能够操作来接收从磁存储介质取得的模拟信号;正交幅度调制器,其能够操作来组合所述模拟信号来产生正交幅度调制信号;正交幅度解调器,其能够操作来与所述阵列的每个通道对应地从所述正交幅度调制信号产生多个解调信号;和联合均衡器,其能够操作来对多个解调信号滤波,来产生均衡的输出。



CN 104424969 A

1. 一种磁记录系统，包括：

模拟输入的阵列，其能够操作来接收从磁存储介质取得的模拟信号；

正交幅度调制器，其能够操作来组合所述模拟信号以产生正交幅度调制信号；

正交幅度解调器，其能够操作来与所述阵列中的每个通道对应地从正交幅度调制信号产生多个解调信号；和

联合均衡器，其能够操作来对所述多个解调信号滤波来产生均衡的输出。

2. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述正交幅度调制器能够操作来在所述正交幅度调制信号中包括载波信号以及所述模拟信号。

3. 如权利要求 1 所述的系统，还包括载波同步器，所述载波同步器能够操作来提取所述载波信号，并且将所述正交幅度调制信号与所提取的载波信号同步。

4. 如权利要求 3 所述的系统，其中所述载波同步器包括：

载波提取器，其能够操作来通过对所述正交幅度调制信号的类似相位样本进行平均，从所述正交幅度调制信号恢复所述载波信号；

减法器电路，其能够操作来从所述正交幅度调制信号减去所述载波信号；

相位估计器，其能够操作来估计所述载波信号的相位偏移；和

移相器，其能够操作来从所述正交幅度调制信号中消除所述载波信号的相位偏移。

5. 如权利要求 1 所述的系统，还包括柔性线缆，其能够操作来传输所述正交幅度调制信号。

6. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述正交幅度调制器包括：

第一乘法器，其能够操作来以同相载波信号乘所述模拟输入中的第一个来产生第一调制信号；

第二乘法器，其能够操作来以正交载波信号乘所述模拟输入中的第二个，来产生第二调制信号，其中所述同相载波信号和正交载波信号包括具有 90 度相位偏移的相同模拟信号；和

加法器电路，其能够操作来组合所述第一调制信号和第二调制信号来产生所述正交幅度调制信号。

7. 如权利要求 6 所述的系统，其中所述加法器电路还能够操作来将所述同相载波信号组合在所述正交幅度调制信号中。

8. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述正交幅度解调器包括：

第一乘法器，其能够操作来以同相载波信号乘所述正交幅度调制信号来产生第一解调信号；

第一低通滤波器，其能够操作来对所述第一解调信号滤波来产生第一滤波信号；

第二乘法器，其能够操作来以正交载波信号乘所述正交幅度调制信号来产生第二解调信号，其中所述同相载波信号和正交载波信号包括具有 90 度相位偏移的相同信号；和

第二低通滤波器，其能够操作来对所述第二解调信号滤波来产生第二滤波信号。

9. 如权利要求 8 所述的系统，其中所述正交幅度解调器包括数字解调器，其中所述同相载波信号和所述正交载波信号包括数字信号，所述系统还包括模数转换器，其能够操作来对所述正交幅度调制信号采样，来产生数字正交幅度调制信号，并且其中所述正交幅度解调器对所述数字正交幅度调制信号进行操作。

10. 如权利要求 9 所述的系统，其中所述正交幅度解调器还包括第一下采样器，其能够操作来对第一滤波信号下采样；以及第二下采样器，其能够操作来对第二滤波信号下采样。

11. 如权利要求 8 所述的系统，其中所述正交幅度解调器包括模拟解调器，其中所述同相载波信号和所述正交载波信号包括模拟信号，所述系统还包括多个模数转换器，所述模数转换器能够操作来对所述第一滤波信号和第二滤波信号采样。

12. 如权利要求 1 所述的系统，还包括信号衰减器，其能够操作来衰减从所述模拟信号得出的信号。

13. 如权利要求 1 所述的系统，还包括载波同步器，其能够操作来恢复用于产生所述正交幅度调制信号的载波信号的定时信息，其中所述载波信号不被所述正交幅度调制器包括在所述正交幅度调制信号中。

14. 一种将磁存储系统中的阵列读取器头组件连接到所述磁存储系统中的读通道的方法，包括：

在所述阵列读取器头组件中提供正交幅度调制器，其能够操作来产生包含来自所述阵列读取器头组件的模拟信号阵列的正交幅度调制信号；

通过柔性线缆对将所述阵列读取器头组件中的正交幅度调制器连接到所述读通道；

在所述读通道中提供正交幅度解调器，其能够操作来与所述阵列的每个成员对应地从所述正交幅度调制信号产生多个解调信号；和

在所述读通道中提供联合均衡器，其能够操作来对所述多个解调信号滤波来产生均衡的输出。

15. 如权利要求 14 所述的方法，其中所述正交幅度调制器能够操作来以载波信号的不同相位偏移版本调制所述模拟信号阵列，来产生调制信号，并且将所述调制信号和所述载波信号的版本中的一个版本组合在所述正交幅度调制信号中。

16. 如权利要求 15 所述的方法，还包括提供载波同步器，其能够操作来从所述正交幅度调制信号恢复所述载波信号，从所述正交幅度调制信号减去所述载波信号，估计所述载波信号的相位偏移，和从所述正交幅度调制信号消除所述载波信号的相位偏移。

17. 如权利要求 16 所述的方法，其中所述载波同步器能够操作来通过对以规则的间隔捕捉的所述正交幅度调制信号的类似相位样本进行平均，恢复所述载波信号。

18. 如权利要求 14 所述的方法，还包括提供模数转换器，其能够操作来对所述正交幅度调制信号采样，来产生采样的正交幅度调制信号，其中所述正交幅度解调器能够操作来对从所述采样的正交幅度调制信号得出的信号进行解调。

19. 如权利要求 14 所述的方法，其中所述正交幅度解调器包括数字解调器，其还能够操作来对所述多个解调信号进行低通滤波和下采样。

20. 一种存储系统，包括：

存储介质；

阵列读取器头组件，所述阵列读取器头组件相对于所述存储介质布置，并且能够操作来提供与所述存储介质上的信息对应的模拟信号阵列；

前置放大器，其能够操作来放大所述模拟信号阵列；

正交幅度调制器，其能够操作来组合所述模拟信号来产生正交幅度调制信号；和

柔性线缆，其能够操作来将所述正交幅度调制信号从所述阵列读取器头组件携载到读

通道电路，所述读通道电路包括：

模拟前端电路，其能够操作来执行所述正交幅度调制信号的模拟均衡，来减少有限带宽的影响；

正交幅度解调器，其能够操作来与所述阵列中的每个通道对应地从所述正交幅度调制信号产生多个解调信号；和

联合均衡器，其能够操作来对所述多个解调信号滤波来产生均衡的输出。

具有正交幅度调制的基于阵列读取器的磁记录系统

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 Mathew 等于 2013 年 8 月 30 日提交的题目为 "Array-Reader Based Magnetic Recording Systems with Quadrature Amplitude Modulation" 的美国专利申请 No.61/872,161 的优先权，出于所有目的，通过引用将其完全结合在此。

技术领域

[0003] 本发明的各种实施例提供了用于处理数据的系统和方法，并且更具体地，用于多路复用来自磁记录系统中的阵列读取器的信号的系统和方法。

背景技术

[0004] 在典型的磁存储系统中，数字数据被沿着存储介质以一系列同心圆形轨迹存储。通过在存储介质旋转时将读 / 写头组件定位在选择的位置处，并且随后传递调制的电流通过头组件从而在存储介质中感生出相应应的磁通量模式，将数据写到介质。为了取得存储的数据，头组件被在存储介质旋转时重新定位在轨迹之上。在该位置，以前存储的磁通量模式在头组件中感生出电流，该电流可被转换为以前记录的数字数据。

发明内容

[0005] 本发明某些实施例提供了一种磁记录系统，该磁记录系统具有 ：一系列模拟输入，所述模拟输入可以操作来接收从磁存储介质取得的模拟信号 ；正交幅度调制器，所述正交幅度调制器可以操作来组合所述模拟信号以产生正交幅度调制信号 ；正交幅度解调器，所述正交幅度解调器可以操作来与所述阵列中的每个通道对应地从所述正交幅度调制信号产生多个解调信号 ；和联合均衡器，所述联合均衡器可以操作来对所述多个解调信号滤波来产生均衡的输出。

[0006] 本发明内容仅仅提供根据本发明某些实施例的一般概述。根据下面的详细说明、所附的权利要求和附图，本发明的许多其它实施例将变成更加明了。

附图说明

[0007] 通过参考附图，可以实现对本发明的各种实施例的进一步理解，在本说明书的剩余部分中描述这些附图。在附图中，在几个附图中使用类似的参考号指示类似的组件。在有些情况下，由小写字母组成的子标记与参考号相关联，表示多个类似组件中的一个组件。当引用参考号而没有说明有子标记时，旨在指所有这些多个类似的组件。

[0008] 图 1 示出了根据本发明某些实施例的包括具有正交幅度调制和解调的阵列读取器的磁存储系统 ；

[0009] 图 2 示出了根据本发明某些实施例的具有正交幅度调制和数字解调器的阵列读取器磁记录系统 ；

[0010] 图 3 示出了根据本发明某些实施例的具有正交幅度调制和模拟解调器的阵列读

取器磁记录系统；

[0011] 图 4A 示出了根据本发明某些实施例的具有正交幅度调制的前置放大器；

[0012] 图 4B 示出了根据本发明某些实施例，通过正交幅度调制多路复用的多个读取器通道的频率域图；

[0013] 图 5 示出了根据本发明某些实施例的具有正交幅度解调器的读通道；

[0014] 图 6 示出了根据本发明某些实施例的载波同步器；

[0015] 图 7 示出了根据本发明某些实施例的正交幅度解调器；和

[0016] 图 8 示出了根据本发明某些实施例，从磁记录系统中的阵列读取器传输数据的操作的流程图。

具体实施方式

[0017] 本发明的实施例涉及用于使用正交幅度调制 (QAM) 多路复用来自磁记录系统中的阵列读取器的信号的系统和方法。在阵列读取器中，提供读取头阵列，产生多个数据流。在某些实施例中可以使用多个数据流来改善噪声补偿，例如，通过以对轨迹中心的若干偏离读取数据轨迹，来减少轨迹间干扰，或通过读取写到多个轨迹上的数据来增加吞吐量。在某些实施例中，阵列读取器以多个读取头在不同位置同时读取特定数据轨迹。数据首先被连接到读 / 写头的前置放大器处理，然后被读通道处理，读通道包括电路，诸如但不限于，模拟前端、模数转换器、均衡器和数据检测器电路。因为读取头在磁记录系统中的存储介质之上移动，因此前置放大器通过柔性线缆或者挠性线缆 (flex cable) 连接到读通道。阵列读取器输出的每个通道被读通道中的单独的模拟前端电路处理，执行诸如（但不限于）放大、偏置和滤波的功能。通过对阵列读取器的输出的联合均衡版本应用数据检测算法来恢复数据，其中联合均衡器是多输入单输出滤波器或者多输入多输出滤波器。对于阵列中的两个读取头，读通道包括在该读通道中的两个模拟前端电路，如果不使用此处公开的使用正交幅度调制的阵列读取器信号的组合，则这需要两对挠性线缆来将信号从前置放大器传递到读通道。

[0018] 在某些实施例中，通过使得，具有正交幅度调制的基于阵列读取器的磁存储系统将信号的两个通道组合到具有前置放大器内的带宽两倍的一个通道，由此节省挠性线缆和模拟电路。该存储系统使用一对挠性线缆将信号从前置放大器传递到读通道。在某些实施例中，读通道包括一个高带宽模拟前端和一个高速模数转换器。在某些实施例中，在模拟域进行解调，并且读通道包括两个正常速度的模数转换器。在某些实施例中，使用正交幅度调制来减少挠性线缆的数目，但是仍然包括多于一对的挠性线缆。

[0019] 转到图 1，示出了根据本发明某些实施例的具有正交幅度调制和解调的基于阵列读取器的磁存储系统 100。存储系统 100 包括具有正交幅度解调的读通道电路 102。存储系统 100 可以是，例如，硬盘驱动器。存储系统 100 还包括前置放大器 104、接口控制器 106、硬磁盘控制器 110、电机控制器 112、主轴电机 114、盘片 116 和具有阵列读取器的读 / 写头组件 120。接口控制器 106 控制去往 / 来自盘片 116 的数据的寻址和定时。盘片 116 上的数据由磁信号的群组组成，其可以由读 / 写头组件 120 在读 / 写头组件 120 被适当地定位在盘片 116 之上时检测。在一个实施例中，盘片 116 包括根据纵向或垂直记录方案记录的磁信号。

[0020] 在一种典型的读操作中，通过电机控制器 112 将读 / 写头组件 120 准确定位在盘片 116 上所希望的数据轨迹之上。通过在硬盘控制器 110 的指引下将读 / 写头组件 120 移动到盘片 116 上适当的数据轨迹，电机控制器 112 相对于盘片 116 定位读 / 写头组件 120 并且驱动主轴电机 114。主轴电机 114 使盘片 116 以确定的旋转速率 (RPM) 旋转。一旦读 / 写头组件 120 被与适当的数据轨迹相邻地定位，读 / 写头组件 120 中的阵列读取器在盘片 116 被主轴电机 114 旋转时感测表示盘片 116 上的数据的磁信号。感测到的磁信号被作为表示盘片 116 上的磁数据的连续的微小的模拟信号提供。这些微小的模拟信号由读 / 写头组件中的前置放大器 104 处理，并且被使用正交幅度调制组合，然后通过挠性线缆从读 / 写头组件 120 传输到读通道电路 102。前置放大器 104 可以操作来对于两个通道中的每一个放大从盘片 116 获取的微小模拟信号。读通道电路 102 又对接收的模拟信号进行解调、数字化和解码，来重新创建最初写到盘片 116 的信息。该数据被作为读出数据 122 提供给接收电路。可以与下面关于图 2、7 的公开一致地实现使用正交幅度调制的信号组合。在某些实施例中，与下面关于图 8 公开的流程图一致地进行数据处理。

[0021] 转到图 2，示出了根据本发明某些实施例的具有正交幅度调制器 200 和数字正交幅度解调器 202 的阵列读取器磁记录系统。来自具有两个读取头的阵列读取器的一对模拟输入 204、206 被提供给阵列读取器前置放大器 226 中的前置放大器 214、216，产生放大的模拟信号 230、232。在某些实施例中，前置放大器 214、216 中的每一个与其相关联的模拟输入 204、206 以及阵列读取器中的从其获得该模拟输入的读取器的特性相适合。所述两个通道中的每一个具有 B Hz 的带宽，并且前置放大器 214、216 中的每一个具有至少 B Hz 的带宽。前置放大器 214、216 可以是本领域已知的任何电路，或者，可以是将来开发的任何能够放大模拟信号的电路。基于此处提供的本公开，本领域的技术人员可以认识到可以与本发明的不同实施例相关使用的各种放大器电路。

[0022] 来自前置放大器 214、216 的放大的模拟信号 230、232 被提供给阵列读取器前置放大器 226 中的正交幅度调制器 200。在某些实施例中，通过两个通道的载波信号的正交幅度调制，正交幅度调制器 200 将两个通道组合到一个通道中。在某些实施例中，以来自一个读取器的信号对正弦载波信号进行幅度调制，以来自另一个读取器的信号对该载波信号的 90 度相移版本进行幅度调制，并且调制输出被组合在正交幅度调制信号 240 中。在某些实施例中，该载波信号也被组合在该正交幅度调制信号中，来给解调器提供载波相位信息。

[0023] 所得到的正交幅度调制信号 240 具有 2B Hz 的带宽，其中 B 是阵列读取器的单个通道的带宽。正交幅度调制信号 240 被在挠性线缆（或者任何其它适合的连接）上传输到读通道 242。在模拟前端电路 244 中处理正交幅度调制信号 240，该模拟前端电路 244 是具有至少 2B Hz 带宽的模拟电路。模拟前端电路 244 执行，诸如但不限于，模拟信号 240 的放大、偏置和滤波的功能，产生经处理的模拟信号 246。模拟前端电路 244 可以是本领域已知的用于在采样和进一步处理（诸如，均衡以及值检测）之前处理模拟信号的任何电路。基于此处提供的本公开，本领域普通技术人员可以认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种模拟前端电路。

[0024] 经处理的模拟信号 246 被提供给模数转换器 (ADC) 248，模数转换器 (ADC) 248 对经处理的模拟信号 246 采样，来产生数字数据样本流 250。模数转换器 248 具有至少大约 2B Hz 的带宽，其采样速率是一个通道所需的速率的至少两倍。例如，在某些实施例中，用于单

个通道的采样速率是 2B 样本 / 秒，并且模数转换器 248 具有 4B 样本 / 秒的采样速率，以支持两个组合的通道。模数转换器 248 可以是本领域已知的能够产生对应于模拟输入信号的数字样本的任何电路。基于此处提供的本公开，本领域技术人员可以认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种模数转换器电路。因此，读通道 242 中的模拟电路 252 是适合于处理两通道正交幅度调制信号 240 的高速、高带宽模拟电路。

[0025] 数据样本 250 被提供给数字正交幅度解调器 202，数字正交幅度解调器 202 操作来将数据样本 250 的信号分离到两个独立的数据通道 254、256 中，每个数据通道具有 2B 样本 / 秒的速率，每个数据通道对应于模拟输入 204、206 中的一个。两个数据通道 254、256 被提供给联合均衡器 264，联合均衡器 264 对两个数据通道 254、256 进行均衡或者滤波。在某些实施例中，联合均衡器 264 对两个数据通道 254、256 应用数字有限脉冲响应滤波，来基于两个数据通道 254、256 产生数据轨迹的均衡的数据样本 266。因此，对于数据轨迹，联合均衡器 264 基于阵列读取器中的多个通道中的信息提高信噪比。基于此处提供的本公开，本领域的技术人员可以认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种均衡器电路。均衡的数据样本 266 随后可被以任何适合的方式处理，诸如在维特比算法检测器或者最大后验检测器中处理，来识别均衡的数据样本 266 中的值。如果阵列读取器被配置为使得信号 204、206 来自对介质 116 上的两个轨迹的回读，则可以将联合均衡器 264 配置为产生两个输出信号流，来便于对来自介质 116 上的两个轨迹的数据比特的检测。

[0026] 转到图 3，其示出了一种根据本发明某些实施例的具有正交幅度调制器 300 和模拟正交幅度解调器 370 的阵列读取器磁记录系统。在本实施例中，模拟正交幅度解调器 370 在读通道 398 的模拟电路 368 中执行解调，并且提供两个模数转换器 382、384，每个模数转换器具有 2B 的采样速率以及至少高到足以支持解调信号的带宽。

[0027] 来自阵列读取器的两个模拟输入 304、306 被提供给阵列读取器前置放大器 326 中的前置放大器 314、316，产生放大的模拟信号 330、332。在某些实施例中，前置放大器 314、316 中的每一个与其相关联的模拟输入 304、306 和阵列读取器中的从其获得该模拟输入的读取器的特性相适合。所述两个通道中的每一个具有 B Hz 的带宽，并且前置放大器 314、316 中的每一个具有至少 B Hz 的带宽。前置放大器 314、316 可以是本领域已知的任何电路，或者，可以是将来开发的能够放大模拟信号的任何电路。基于此处提供的本公开，本领域的技术人员可以认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种放大器电路。

[0028] 来自前置放大器 314、316 的放大的模拟信号 330、332 被提供给阵列读取器前置放大器 326 中的正交幅度调制器 300。在某些实施例中，正交幅度调制器 300 通过两个通道的载波信号的正交幅度调制将两个通道组合为一个通道。在某些实施例中，以来自一个读取器的信号对正弦载波信号进行幅度调制，以来自另一个读取器的信号对该载波信号的 90 度相移版本进行幅度调制，并且调制输出被组合在正交幅度调制信号 340 中。在某些实施例中，该载波信号也被组合在该正交幅度调制信号中，来给解调器提供载波相位信息。

[0029] 在模拟前端电路 344 中处理模拟信号 340，该模拟前端电路 344 是具有至少 2B Hz 带宽的模拟电路。模拟前端电路 344 进行，诸如但不限于，模拟信号 340 的放大、偏置和滤波的功能，产生经处理的模拟信号 346。模拟前端电路 344 可以是本领域已知的用于在采样和进一步处理（诸如，均衡和值检测）之前处理模拟信号的任何电路。基于此处提供的本公开，本领域的技术人员可以认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种模拟前端电

路。

[0030] 经处理的模拟信号 346 被提供给模拟正交幅度解调器 370，该模拟正交幅度解调器 370 操作来将经处理的模拟信号 346 的信号分离为两个独立的模拟信号 372、374，每一个具有 B Hz 的带宽，每一个对应于模拟输入 304、306 中的一个。两个模拟信号 372、374 每一个被提供给模数转换器 (ADC)382、384，模数转换器 (ADC)382、384 对两个模拟信号 372、374 采样来产生两个数字数据样本流 391、392。模数转换器 382、384 每个都具有至少大约 B Hz 的带宽，以及 2B 样本 / 秒的采样速率。模数转换器 382、384 可以是本领域已知的能够产生对应于模拟输入信号的数字样本的任何电路。基于此处提供的本公开，本领域的技术人员可以认识到可以几何本发明的不同实施例使用的各种模数转换器电路。因此，读通道 398 中的模拟前端 344 是适于处理两通道模拟信号 340 的高带宽电路，而模数转换器 382、384 是较低带宽的电路。

[0031] 两个数字数据样本流 391、392 被提供给联合均衡器 396，联合均衡器 396 对两个数字数据样本流 391、392 进行均衡或者滤波。在某些实施例中，联合均衡器 396 对两个数字数据样本流 391、392 应用数字有限脉冲响应滤波，来恢复数据轨迹的均衡的数据样本 397。因此，联合均衡器 396 基于来自阵列读取器的多个通道中的信息提高对于该数据轨迹的信噪比。均衡的数据样本 266 随后可被以任何适合的方式处理，诸如，在维特比算法检测器或者最大后验检测器中处理，来识别均衡的数据样本 397 中的值。在某些实施例中，联合均衡器 396 输出由两个数字样本流组成，来促进对来自存储介质上的两个轨迹的数据比特的检测。

[0032] 转到图 4A，示出了根据本发明某些实施例的正交幅度调制器 400，正交幅度调制器 400 与两个通道前置放大器 404、424 集成在阵列读取器前置放大器 438 中。在某些实施例中，正交幅度调制器 400 可用于取代图 2 的正交幅度调制器 200。

[0033] 来自阵列读取器的两个模拟输入 402、422 被提供给阵列读取器前置放大器 438 中的前置放大器 404、424，产生放大的模拟信号 406。在某些实施例中，前置放大器 404、424 中的每一个与其相关联的模拟输入 402、422 和阵列读取器中的从其获得该模拟输入的读取器的特性相适合。两个通道中的每一个具有 B Hz 的带宽，并且前置放大器 404、424 中的每一个具有至少 B Hz 的带宽。前置放大器 404、424 可以是本领域的任何已知电路，或者，可以是将来开发的能够放大模拟信号的任何电路。基于此处提供的本公开，本领域的技术人员可以认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种放大器电路。

[0034] 来自前置放大器 404、424 的放大的模拟信号 406、426 被提供给阵列读取器前置放大器 438 中的正交幅度调制器 400。每个放大的模拟信号 406、426 被用于对载波信号 408、428 进行幅度调制。载波信号 408(在某些实施例中被表示为 $2\cos[2\pi Bt]$) 和载波信号 428(或者，$2\sin[2\pi Bt]$) 是具有相同频率 B 但是具有 90 度相位差的模拟载波信号。在乘法器 410 中将放大的模拟信号 406 乘以载波信号 408，产生调制信号或者调制的通道一 412。在乘法器 430 中将放大的模拟信号 426 乘以载波信号 428，产生调制的通道二 432。载波信号 408、428 可被以任何适合的方式产生，诸如但不限于，频率合成器，并且乘法器 410、430 可以是能够乘随时间变化的模拟信号的本领域已知的任何适合的电路。基于此处提供的公开，本领域技术人员将认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种信号发生器和乘法器电路。

[0035] 调制的通道412、432彼此组合，并且在加法器434中与载波信号408组合，来产生组合的模拟信号436。再次，载波信号408被加到组合的模拟信号436，来提供关于所述载波的相位信息，以便于接收器处的相干解调。载波信号408的幅度被设置在对于特定系统产生所希望的性能平衡的点，较小的幅度不会在模拟前端电路中那么多地降低信噪比，而较大的幅度减小接收器中提取相干载波信号的延迟(latency)。组合的模拟信号436的带宽大约为2B Hz，其中B是单个通道的带宽。加法器434可以是本领域已知的能够组合模拟信号来产生包含所有输入的信息的单个模拟输出的任何电路。基于此处提供的公开，本领域技术人员将认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种加法器电路。

[0036] 可以使用任何适合的导体或者传输介质（诸如但不限于，挠性线缆或者柔性印刷电路）将组合的模拟信号436传输到任何适合的接收器，诸如但不限于，读通道中的模拟前端。

[0037] 在其中将多个模拟信号组合到一个模拟前端中的某些实施例中，组合的模拟信号可能需要被衰减。假设多个模拟信号被组合到具有固定的可允许信号范围的一个模拟前端中，多个模拟信号的总信号能量可能超过该模拟前端的可允许的信号范围。因此，在某些实施例中，在将组合的信号施加到模拟前端之前，将组合的信号衰减，或者在模拟前端的早期的级中衰减，只要组合的信号在被衰减之前仍然保持在允许的信号范围的界限内即可。然而，由于衰减之后出现在信号路径中的下游的噪音的相对贡献，将信号衰减易于使信噪比范围(SNR)劣化；因此，衰减量应当被设置为最小所需值。另外，衰减应当被置于信号路径中尽可能晚的位置。基于此处提供的公开，本领域技术人员将认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种衰减技术。

[0038] 下面的公式描述了正交幅度调制器400的操作，其中信号的大写符号表示以小写符号表示的信号的傅里叶变换，即，$R_k(f)$是$r_k(t)$的傅里叶变换。正交幅度调制器400的某些实施例进行的信号组合可被描述为：

[0039] $$Z(f) = R_1(f+B) + R_2(f-B) + jR_2(f+B) - jR_2(f-B) + \delta(f+B) - \delta(f-B) \quad (公式1)$$

[0040] 其中Z(f)是组合的模拟信号436的傅里叶变换，B是单个通道的带宽或1/T，其中T是单个通道的波特率，$R_2(f+b)$和$R_2(f-B)$是放大的模拟信号406$r_1(t)$的傅里叶变换，其被上下偏移B Hz；$R_2(f+B)$和$R_2(f-B)$是放大的模拟信号426$r_2(t)$的傅里叶变换，其被上下偏移B Hz；并且$\delta(f+B)$和$\delta(f-B)$是载波信号的傅里叶变换。

[0041] 转到图4B，频域频谱图示出了图4A的正交幅度调制器400的实施例组合的两个阵列读取器通道。示出了在正交幅度调制之前的两个通道$X_1(f)$450和$X_2(f)$452的放大的模拟信号406、426的傅里叶变换。（仅仅为了清楚地在图4B中区分包络线450和452而选择它们的形状，并且其不表示内容或者频率响应。）两个通道$X_1(f)$450和$X_2(f)$452中的每一个在调制前以中心频率零为中心。组合的模拟信号454的傅里叶变换Z(f)454组合这两个通道，如图4B所示的频率偏移的和复制的。正交幅度调制将两个放大的模拟信号406、426组合为可以在单个挠性线缆上传输的单个组合的模拟信号436，其带宽从-2B到2B。（取决于传输方式，“单个挠性线缆”可以包含单个导体，或者，在某些实施例中，多个导体，诸如以差分信号。）正交幅度调制的模拟信号436具有重叠的频带，其具有以它们不同的相位区分的成分。通过在组合的模拟信号436中包括载波信号408，将用于分离所述成分的这种相位信息提供给接收器。

[0042] 转到图 5，示出了根据本发明某些实施例的具有正交幅度解调器 516 的读通道 500。读通道 500 接收和处理正交幅度调制的模拟信号 502z(t)，其可以被表示为：

[0043] $z(t) = A_1 r_1(t)\cos(\omega_0 t+\theta_0)+A_2 r_2(t)\sin(\omega_0 t+\theta_0)+A_0\cos(\omega_0 t+\theta_0)$ （公式 2）

[0044] 其中 $r_1(t)$ 和 $r_2(t)$ 是来自阵列读取器的要被调制的信号，并且 A_1 和 A_2 是用于要被调制的信号的幅度系数，$\cos(\omega_0 t+\theta_0)$ 和 $\sin(\omega_0 t+\theta_0)$ 是相同频率的具有 90 度相位偏移的载波信号，并且 $A_0\cos(\omega_0 t+\theta_0)$ 是加到正交幅度调制的模拟信号 502z(t) 的载波信号分量，其中 A_0 是用于载波信号的幅度系数，并且 θ_0 是载波信号的相位。幅度系数 A_0、A_1 和 A2 是信号被传输时信号中的增益改变，并且不是事先已知的。频率 ω_0、信道带宽 B 和波特率 T 之间的关系如下：

[0045] $$\omega_0 = 2\pi B = \frac{\pi}{T}$$ （公式 3）

[0046] $$B = \frac{0.5}{T}$$ （公式 4）

[0047] 正交幅度调制的模拟信号 502z(t) 被模拟前端电路 504 处理，模拟前端电路 504 是具有至少 2B Hz 的带宽的模拟电路。模拟前端电路 504 执行功能，诸如但不限于，正交幅度调制的模拟信号 502 的放大、偏置和滤波，产生经处理的模拟信号 506。在某些实施例中，模拟前端电路 504 还进行正交幅度调制的模拟信号 502z(t) 的模拟均衡，在模拟域中对信号 502 进行均衡或者滤波来补偿前置放大器（例如，图 1，104）和读通道（例如，图 1，102；图 5，500）之间的信号路径中的有限带宽。模拟前端电路 504 中的模拟均衡器可以是基于有限带宽对正交幅度调制的模拟信号 502z(t) 的影响改进所得到的信号的数据检测的任何适合的均衡器。在某些实施例中，模拟均衡器是线性均衡器，其具有基于预期的信号和信号的带宽配置的滤波抽头系数。在某些实施例中，模拟均衡器被实现为实极点和 / 或复极点和 / 或零的系统，从而加强某些频率，同时削弱其它频率，来利用模数转换器的动态范围。在某些实施例中，模拟均衡器是自适应判决反馈均衡器，其基于检测到的数据（例如，528）调整滤波抽头系数。模拟前端电路 504 可以是本领域已知的用于在采样之前处理模拟信号的任何电路。基于此处提供的本公开，本领域的技术人员可以认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种模拟前端电路。

[0048] 经处理的模拟信号 506 被提供给模数转换器 508，模数转换器 508 对经处理的模拟信号 506 进行采样，来产生数字数据样本流 510z[m]。模数转换器 508 具有至少大约 2B Hz 的带宽，其采样速率至少是一个通道所需的速率的两倍。例如，在某些实施例中，对于单个通道的采样速率是 2B 样本 / 秒，并且模数转换器 508 具有 4B 样本 / 秒的采样速率。模数转换器 508 可以是本领域已知的能够产生与模拟输入信号对应的数字样本的任何电路。基于此处提供的本公开，本领域的技术人员可以识别出可以结合本发明的不同实施例使用的各种模数转换器电路。数字数据样本 510z[m] 可被表示为：

[0049] $z[m] = z(mT_s) = z(mT/2)$，$\omega_0 mT_s = m\pi/2 = A_1 r_1[m]\cos(m\pi/2+\theta_0)+A_2 r_2[m]\sin(m\pi/2+\theta_0)+A_0\cos(m\pi/2+\theta_0)$

[0050] （公式 5）

[0051] 其中 $T_s = T/2$

[0052] 定时和 / 或载波恢复的替换方法不需要将实际的载波信号插入到被传输到模拟

前端的信号中。例如，将该模拟信号施加于具有足够非线性的电路块，并随后对该非线性块的信号输出进行滤波（例如，带通滤波）将产生具有载波分量的信号，可以通过已知的技术从该载波分量得出定时时钟。对于该信号在滤波输出处可能需要信号增益，来根据需要增加信号幅度。类似地，还可能需要以适当电路进行相位调整。替换地，上述功能（非线性、滤波、增益、载波 / 定时恢复、相位调整）也可以在数字域中实现（在模数转换器之后），条件是模数转换器被适当地钟控。在某些实施例中，也可以在模数转换器之后，在数字域中应用这些技术。基于此处提供的公开，本领域技术人员将认识到可以结合本发明的不同实施例使用的用于定时和 / 或载波恢复的各种技术。

[0053] 在某些实施例中，模数转换器 508 不与正交幅度调制的模拟信号 502 同步，并且在接收器处可以不知道载波信号的相位 θ_0。因此，通过载波同步器 512 处理数字数据样本 510z[m]，载波同步器 512 从数字数据样本 510z[m] 提取载波信号和其相位，并且将数字数据样本 510z[m] 相位偏移，来使它们与载波同步，产生同步的数字数据样本 514p[m]。因为在采样的信号 z[m]510 中载波信号 $\cos\left(\frac{\pi n\pi}{2}+\theta_0\right)$ 是周期性的，其以 4 个样本为周期，因此，载波同步器 512 通过在四个样本的块上进行所接收的信号的平均，提取所接收的信号中的嵌入的载波。通过估计的载波相位对接收的信号的调制的通道部分进行相移使其适合于以本地（局部）产生的载波参考的相干解调。在其中不将载波信号插入到正交幅度调制的模拟信号 502 中的某些实施例中，载波同步器 512 或者其它电路元件可以操作来如上面所公开地进行定时和 / 或载波恢复。

[0054] 同步的数字数据样本 514p[m] 中的两个通道被正交幅度解调器 516 分离，产生两个独立的数据通道 $518x_1[n]$、$520x_2[n]$，每一个都包含与阵列读取器输出中的一个对应的数字样本。正交幅度解调涉及通过处于基带的相应载波对相位补偿的接收信号的奇数和偶数流进行下采样。值得注意的是，此处有时使用术语“正交幅度解调器”来指结合有载波同步器 512 和解调器 516 两者的功能的电路或者装置。将两个数据通道 518x1[n]、520x2[n] 提供给联合均衡器 522，联合均衡器 522 对两个数据通道 518x1[n]、520x2[n] 进行均衡或者滤波。在某些实施例中，联合均衡器 522 对两个数据通道 $518x_1[n]$、$520x_2[n]$ 应用数字有限脉冲响应滤波，来基于两个数据通道 $518x_1[n]$、$520x_2[n]$ 产生数据轨迹的均衡的数据样本 524y[n]。因此，联合均衡器 522 基于来自阵列读取器的多个通道中的信息提高数据轨迹的信噪比。基于此处提供的本公开，本领域的技术人员可以识别出可以结合本发明的不同实施例使用的各种均衡电路。均衡的数据样本 524y[n] 随后可被以任何适合的方式处理，诸如，在维特比算法检测器或最大后验检测器中处理，来产生均衡的数据样本 524y[n] 的比特判决。在某些实施例中，联合均衡器 522 输出包括数字样本的两个流，以促进对来自存储介质上的两个轨迹的数据位的检测。

[0055] 在某些实施例中，均衡的数据样本 524y[n] 被提供给数据检测器电路 526，数据检测器电路 526 通过对数据输入应用数据检测算法产生检测输出 528。在某些实施例中，该数据检测算法可以是，但是不局限于，本领域已知的维特比算法检测算法或者最大后验检测算法。基于此处提供的公开，本领域技术人员将认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种数据检测算法。

[0056] 检测输出 528 被提供给中央队列存储器电路 530，中央队列存储器电路 530 操作来缓冲在数据检测器电路 526 和数据解码器电路 534 之间传递的数据。当数据解码器电路

534 可用时，数据解码器电路 534 从中央队列存储器 530 接收检测输出 528 作为解码器输入 532。数据解码器电路 534 对解码器输入 532 应用数据解码算法，来试图恢复最初的写数据。数据解码算法的结果被提供作为解码输出 538。数据解码器电路 534 可以是本领域已知的能够对接收的输入应用解码算法的任何数据解码器电路。数据解码器电路 534 可以是（但是不限于）本领域已知的低密度奇偶校验解码器电路或者里德所罗门 (Reed Solomon) 解码器电路。基于此处提供的公开，本领域技术人员将认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种数据解码器电路。在原始数据被恢复（即，数据解码算法收敛）或发生超时状况的情况下，数据解码器电路 534 提供数据解码算法的结果作为解码输出 542。解码输出 542 被提供给硬判决输出电路 544，在硬判决输出电路 544，在作为数据输出 546 提供一系列有序数据集合之前，数据被重新排序。

[0057] 为了收敛于最初的写数据集合，可以进行经过数据检测器电路 526 和数据解码器电路 534 的组合的一个或多个迭代。经过数据检测器电路 526 和数据解码器电路 534 两者的处理被称为“全局迭代”。对于第一个全局迭代，数据检测器电路 526 在没有来自解码输出的指引的情况下应用数据检测算法。对于随后的全局迭代，数据检测器电路 526 在解码输出 538 的指引下对均衡的数据样本 524y[n] 应用数据检测算法。从中央队列存储器 530 接收解码输出 538 作为检测器输入 540。

[0058] 在每个全局迭代过程中，数据解码器电路 534 可以进行一个或多个局部迭代，包括对解码器输入 532 应用数据解码算法。对于第一个局部迭代，数据解码器电路 534 在没有来自解码输出 536 的指引的情况下应用数据解码器算法。对于随后的局部迭代，数据解码器电路 534 在先前的解码输出 536 的指引下，对解码器输入 532 应用数据解码算法。

[0059] 转到图 6，示出了根据本发明某些实施例，可以用于取代载波同步器 512 的载波同步器 600。数字数据样本 602z[m] 被存储在缓冲器 604 中，以后从缓冲器 604 取得延迟的数字数据样本 606z[m-d]。数字数据样本 602z[m] 还可被载波提取器 608 处理，提取载波信号并且产生估计的载波信号 610c[m]。在某些实施例中，对于具有两个读取器的阵列读取器，载波提取器 608 通过在调制数据的块（诸如，数据扇区）上对于四个样本相位中的每一个对样本进行平均，计算载波信号，即，具有每周期四个样本的重复信号。载波提取器 608 可以是本领域已知的能够从包含载波信号的正交幅度调制信号提取载波信号的任何电路。基于此处提供的公开，本领域的技术人员可以认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种载波提取电路。在某些实施例中，载波提取器 608 事先知道载波信号频率。估计的载波信号 610c[m] 是 $A_0\cos(m\pi/2+\theta_0)$ 的估计，并且可被如下计算：

[0060] $$c[m]=\frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K}z[m+i4] \qquad \text{（公式 6）}$$

[0061] 其中 K 是传输的数据块或扇区中的 4 个样本的周期的数目，并且其中 c[m] 对于每四个样本重复。因此，c[m] ＝ c[m+4] ＝ c[m+8] 等等。

[0062] 减法电路 612 从延迟的数字数据样本 606z[md]（其在缓冲 604 中被基于载波提取器 608 中的延迟而延迟减去载波信号 610c[m]，产生没有载波分量的正交幅度调制信号 614q[m]。正交幅度调制信号 614q[m] 对应于调制通道一 412 和调制通道二 432 的组合，虽然可能具有某个相位偏移，这是因为模数转换器 508 不与载波信号同步地采样。在某些实

施例中减法电路 612 如下计算正交幅度调制信号 614q[m]：

[0063] $q[m] = z[m-d]-c[m]$ （公式 7）

[0064] 相位估计器 616 确定在前置放大器（例如，438）的输出和模数转换器 508 的输出之间的传输过程中发生在数字数据样本 510z[m] 中的载波分量中的相位偏移 618 τ_0，该相位偏移使得数字数据样本 510z[m] 与被采样时的原始组合模拟信号 436 之间异相。相位估计器 616 可以是本领域已知的能够基于提取的载波信号确定数字样本中的相位偏移的任何电路。基于此处提供的公开，本领域技术人员将认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种相位估计器电路。在某些实施例中，相位估计器 616 根据下面的公式 9 估计在传输过程中由于载波引起的延迟，公式 9 得自于公式 8：

[0065] $c[m] = A_0\cos(m\pi/2+\theta_0) = (-1)^{m/2}A_0\cos(\theta_0)$，对于 m = 偶数 $= (-1)^{(m+1)/2}A_0\sin(\theta_0)$，对于 m = 奇数 （公式 8）

[0066] $$\tau_0 = \frac{1}{\omega_0}\tan^{-1}\left(\frac{\sum(-1)^n c[2n-1]}{\sum(-1)^n c[2n]}\right)$$ （公式 9）

[0067] 移相器 620 对正交幅度调制信号 614q[m] 应用相位偏移，来消除相位偏移 618 τ_0，产生同步的数字数据样本 622p[m]。移相器 620 可以是本领域已知的能够将包括来自模拟信号的样本的数字信号的相位偏移的任何电路。基于此处提供的公开，本领域的技术人员可以认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种相移器电路。所得到的同步的数字数据样本 622p[m] 对应于原始的组合的调制的通道一 412 和调制的通道二 432，没有载波信号并且没有相位变化。在某些实施例中，相移器 620 根据下面的公式将接收的信号与本地载波同步，去除传输的相位变化：

[0068] $$p[m] = q[m-\tau_0]$$
$$= A_1 r_1[m]\cos\left(\frac{m\pi}{2}\right) + A_2 r_2[m]\sin\left(\frac{m\pi}{2}\right)$$ （公式 10）

[0069] 其中 $\cos(m\pi/2) = \{1,0,-1,0,1,0,-1,0,...\}$ 并且 $\sin(m\pi/2) = \{0,1,0,-1,0,1,0,-1,...\}$。

[0070] 转到图 7，示出了根据本发明某些实施例的可以取代正交幅度解调器 516 使用的正交幅度解调器。同步的数字数据样本 702p[m] 被乘以相位补偿的载波信号的数字形式 704、718，对通道进行频移。一个数字载波信号 704 对应于正交幅度调制器 400 中的载波信号 408，并且在某些实施例中可被表示为 $\cos[m\pi/2]$。另一数字载波信号 718 具有相同频率和 90 度相位偏移，对应于载波信号 428，并且在某些实施例中可被表示为 $\sin[m\pi/2]$。这产生解调信号 $v_1[m]$708、$v_2[m]$722，表示来自于阵列读取器的通道一和通道二，但是具有带宽 2B Hz，每秒 4B 个样本。解调信号 $v_1[m]$708 和 $v_2[m]$722 以下式给出：

[0071] $v_1[m] = 2p[m]1\cos[m\pi/2] = A_1r_1[m]*(1+\cos(m\pi))$ （公式 11）

[0072] $v_2[m] = 2p[m]2\sin(m\pi/2) = A_2r_2[m]*(1-\cos(m\pi))$ （公式 12）

[0073] 低通滤波器 710、724 是带宽 B Hz 的低通滤波器，它们对解调的信号 $v_1[m]$708 和 $v_2[m]$722 进行滤波，以拒绝超过频带 [-B,+B] 的频率分量。低通滤波器信号 $712p_1[m]$ 和 $726p_2[m]$ 仍然具有每秒 4 个样本，但是带宽为 B Hz。低通滤波器滤波器 710、724 可以是本领域已知的能够对数字信号进行低通滤波的任何电路。基于此处提供的公开，本领域技术人

员将认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种低通滤波器。滤波后的信号 712p_1[m] 和 726p_2[m] 可被如下表示：

[0074] $p_1[m] = LPF\{v_1[m]\} = A_1r_1[m]$ （公式 13）

[0075] $p_2[m] = LPF\{v_2[m]\} = A_2r_2[m]$ （公式 14）

[0076] 在下采样器 714、728 中对滤波后的信号 712p_1[m] 和 726p_2[m] 下采样，下采样器 714、728 对滤波后的信号 712p_1[m] 和 726p_2[m] 进行抽取或下采样，产生频带受限的数字信号 716x_1[n] 和 730x_2[n]，每一个都包含每秒 2B 样本的速率的数字样本，并且每一个对应于阵列读取器输出中的一个输出。下采样器 714、728 可以是本领域已知的能够对信号采样或以其它方式减小数字信号的数据速率（例如，每隔一个样本丢弃一个）的任何电路。基于此处提供的公开，本领域技术人员将认识到可以结合本发明的不同实施例使用的各种下采样电路。在某些实施例中，对滤波后的信号 712p_1[m] 和 726p_2[m] 的下采样可以如下表示：

[0077] $x_1[n] = p_1[2n] = A_1r_1[2n]$ （公式 15）

[0078] $x_2[n] = p_2[2n] = A_2r_2[2n]$ （公式 16）

[0079] 在某些实施例中，读通道包括模拟正交幅度解调器，如图 3 中那样。在这些实施例中，如图 3 所示在解调之后进行模数转换。以任何适合的方式进行模拟正交幅度解调，诸如（但不限于），以与图 6-7 和公式 2-14 中所公开的相同方式，虽然是在模拟域中，并且不需要下采样器 714 和 728。

[0080] 转到图 8，流程图 800 示出了根据本发明某些实施例的从磁记录系统中的阵列读取器传输数据的操作。按照流程图 800，从阵列读取器接收多个模拟信号（块 802）。使用正交幅度调制将该多个模拟信号和载波信号组合，来产生调制的模拟信号（块 804）。在某些实施例中，通过使用同相和正交的载波调制每个模拟信号，并将结果相加，来组合两个模拟信号。在某些实施例中，与多个模拟信号组合的载波信号是同相载波，由此便于接收器中的相干解调。调制的模拟信号被在挠性线缆上传输到读通道（块 806）。

[0081] 提取或者恢复嵌入在所接收到的调制信号中的载波（块 810）。在其中接收的调制信号被在解调之前采样的某些数字解调实施例中，这通过在传输的数据块上对相位相似的样本进行平均而实现。例如，假定对于具有 2 读取器的阵列读取器每个周期四个样本，则传输的数据块中的每个周期中的四个样本中的第一个样本被平均来产生平均的第一样本，传输的数据块中的每个周期中的四个样本中的第二个样本被平均来产生平均的第二样本，如此等等。因此，相位相似的样本是以重复的规则的间隔捕捉的样本。从接收的调制信号去除提取的载波分量，产生调制数据信号（块 812）。在某些数字解调实施例中，这通过从调制信号样本减去提取的载波来实现。估算提取的载波的相位，产生相位偏移（块 814）。消除调制数据信号中的相位偏移（块 816），产生相位补偿的调制数据。通过同相和正交的载波信号的本地产生版本对相位补偿的调制数据进行频移，产生表示阵列读取器的输出的解调版本的高带宽通道信号（块 820）。该高带宽通道（信道）信号被低通滤波（块 822）。在某些数字解调实施例中，低通滤波器的输出被下采样来获得阵列读取器的输出的解调版本。

[0082] 应当注意，在上面的申请中讨论的各个块可被与其它功能一起在集成电路中实现。这些集成电路可以包括给定的模块、系统或电路的全部功能，或者所述块、系统或电路的子集。此外，所述模块、系统或电路的元素可被跨多个集成电路实现。这些集成电路可以是本领域已知的任何类型的集成电路，包括但不限于，单片式集成电路、倒装片集成电路、

多芯片模块集成电路、和 / 或混合信号集成电路。还应当注意，此处讨论的模块、系统或电路的各种功能可以以软件或者固件实现。在某些这样的情况下，整个系统、模块或电路可使用其软件或者固件等同物实现。在其它情况下，给定的系统、模块或电路的一部分可以以软件或者固件实现，而其它部分被以硬件实现。

[0083] 总之，本发明的实施例提供了用于利用正交幅度调制的用于基于阵列读取器的磁记录系统的新颖的系统、设备、方法和布置。虽然上面给出了本发明的一个或多个实施例的详细说明，各种替换、修改和等同对于本领域技术人员来说将是明显的，而不偏离本发明的精神。因此，上面的说明不应被认为是对所附权利要求所涵括的本发明的实施例的范围的限制。

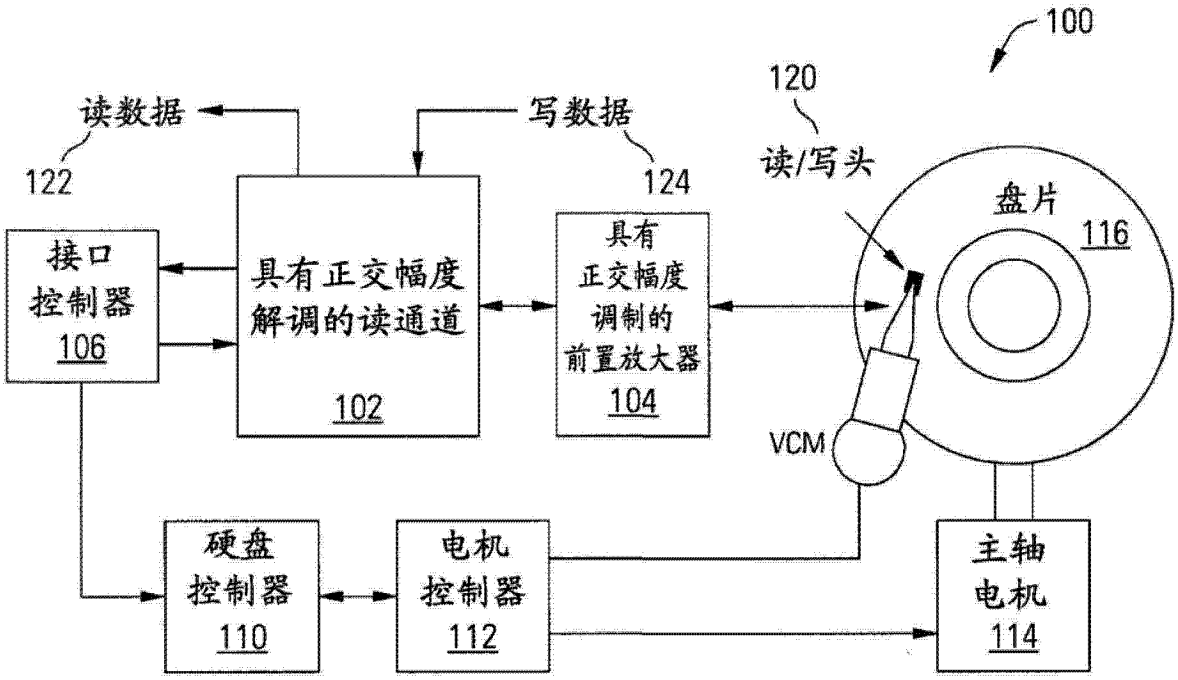

100
120
读/写头
读数据
122
写数据
124
盘片
116
接口
控制器
106
具有正交幅度
解调的读通道
102
具有
正交幅度
调制的
前置放大器
104
VCM
硬盘
控制器
110
电机
控制器
112
主轴
电机
114

图 1

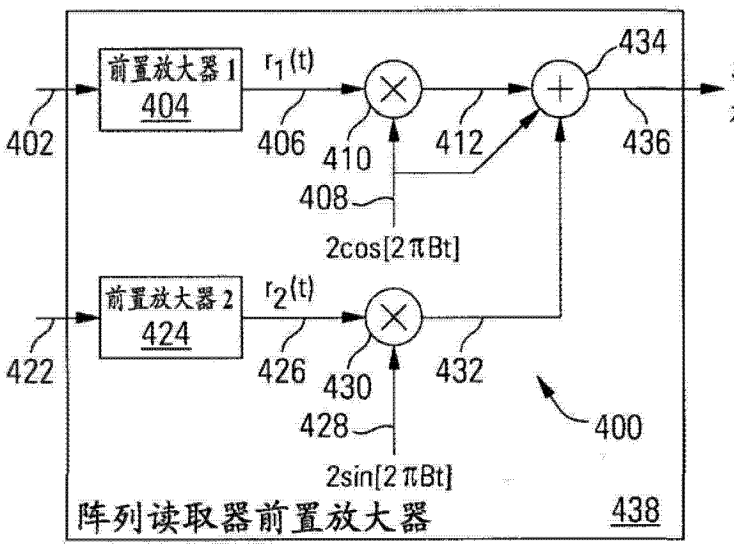

前置放大器 1
404
$r_1(t)$
402
406
410
408
2cos[2πBt]
412
434
436
到读通道
模拟前端
前置放大器 2
424
$r_2(t)$
422
426
430
428
2sin[2πBt]
432
400
阵列读取器前置放大器
438

图 4A

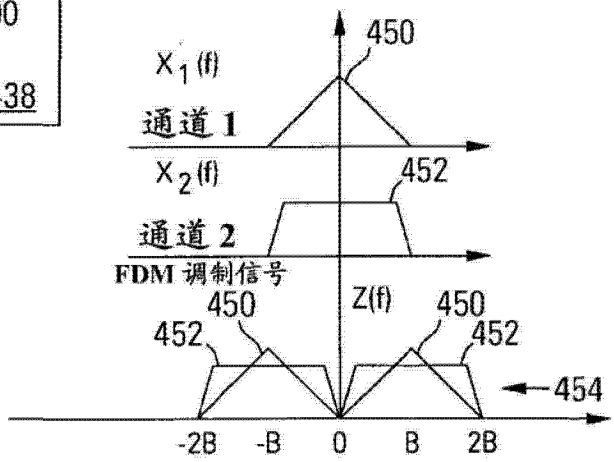

$X_1(f)$
450
通道 1
$X_2(f)$
452
通道 2
FDM 调制信号
Z(f)
450
452
450
452
454
-2B
-B
0
B
2B

图 4B

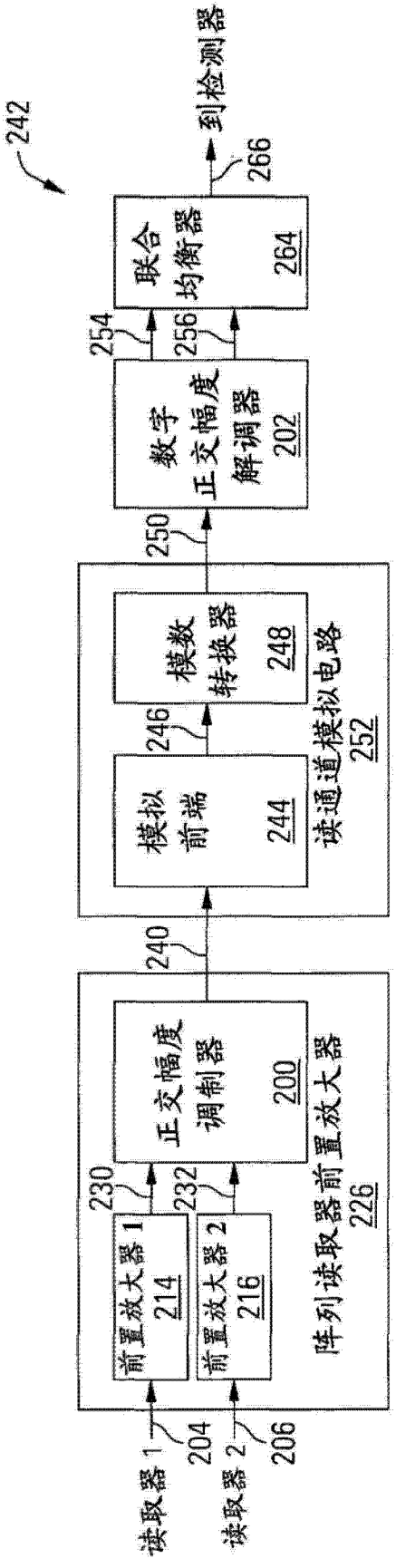

242
到检测器
266
联合
均衡器
264
254
256
数字
正交幅度
解调器
202
250
模数
转换器
248
246
模拟
前端
244
读通道模拟电路
252
240
正交幅度
调制器
200
230
232
前置放大器 1
214
前置放大器 2
216
阵列读取器前置放大器
226
读取器 1
204
读取器 2
206

图 2

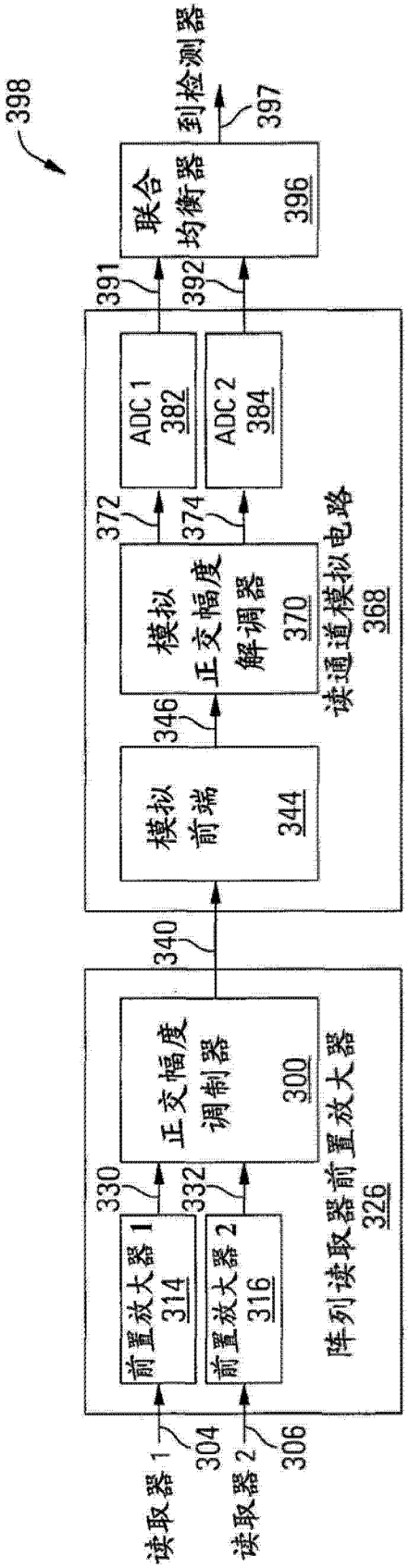

398
到检测器
397
联合
均衡器
396
391
392
ADC 1
382
ADC 2
384
372
374
模拟
正交幅度
解调器
370
读通道模拟电路
368
346
模拟
前端
344
340
正交幅度
调制器
300
330
332
前置放大器 1
314
前置放大器 2
316
阵列读取器前置放大器
326
读取器 1
304
读取器 2
306

图 3

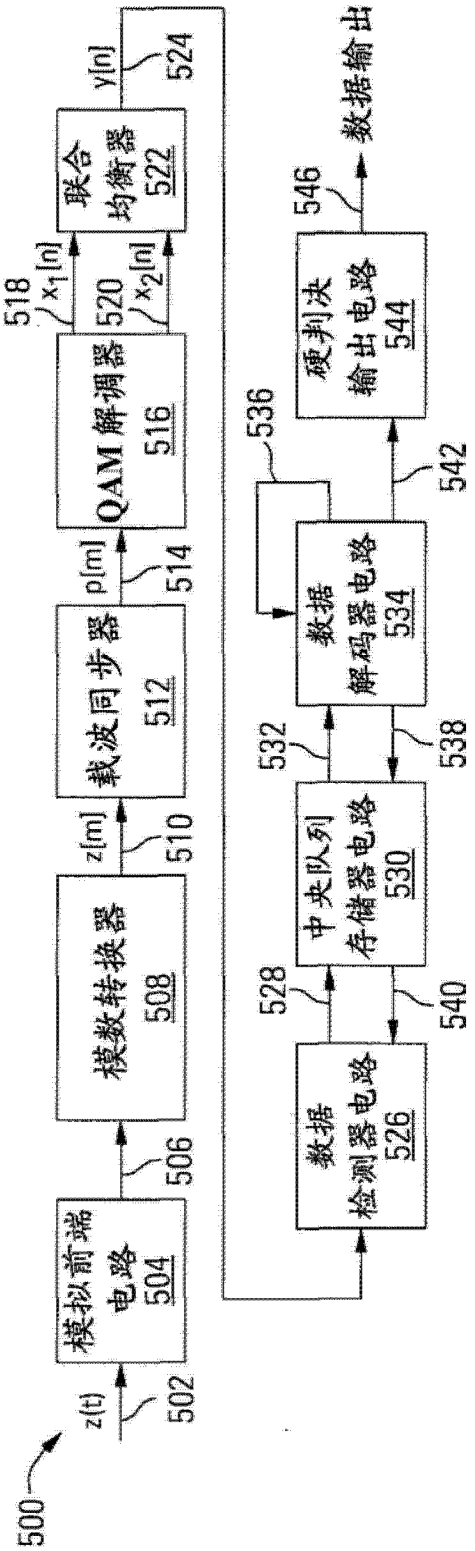

500
z(t)
502
模拟前端电路 504
506
模数转换器 508
z[m]
510
载波同步器 512
p[m]
514
QAM 解调器 516
518
x1[n]
520
x2[n]
联合均衡器 522
y[n]
524
536
硬判决输出电路 544
546
数据输出
542
数据解码器电路 534
532
538
中央队列存储器电路 530
528
540
数据检测器电路 526

图 5

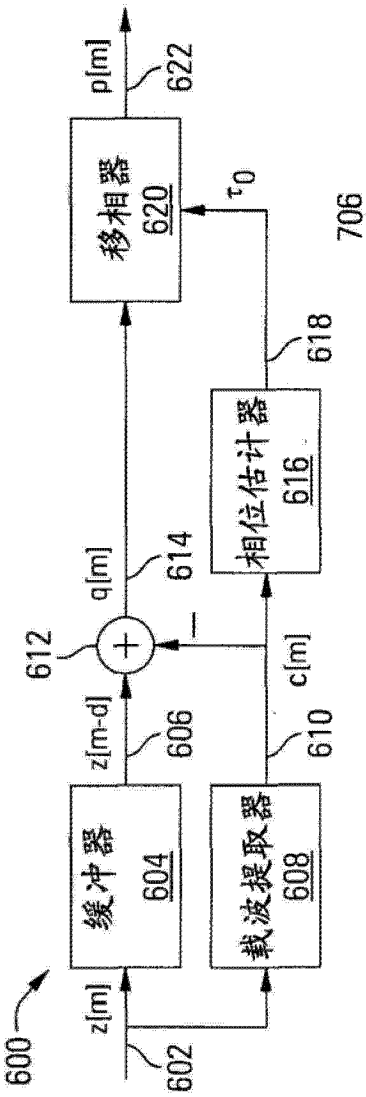

600
z[m]
602
缓冲器
604
z[m-d]
606
载波提取器
608
c[m]
610
612
+
−
q[m]
614
相位估计器
616
618
移相器
620
p[m]
622
τ_0

图 6

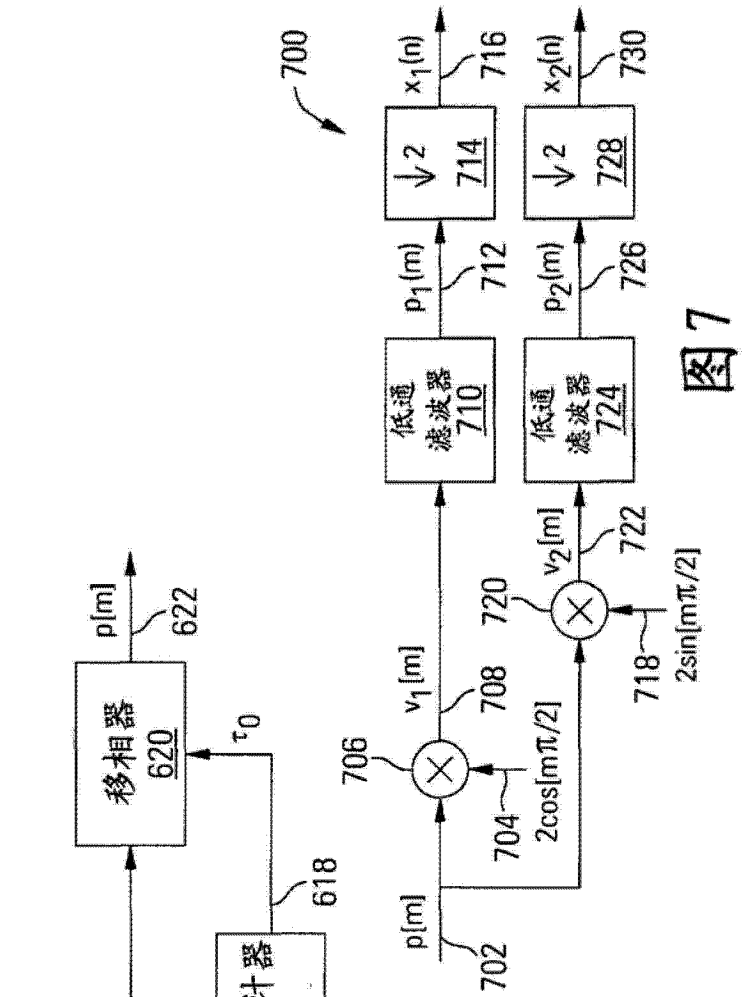

700
p[m]
702
704
2cos[mπ/2]
706
v_1[m]
708
低通滤波器
710
p_1(m)
712
↓2
714
x_1(n)
716
718
2sin[mπ/2]
720
v_2[m]
722
低通滤波器
724
p_2(m)
726
↓2
728
x_2(n)
730

图 7


800
从阵列读取器接收多个模拟信号
802
利用正交幅度调制组合模拟信号，
以产生调制的模拟信号
804
在挠性线缆上将调制的模拟信号传输到读通道
806
提取接收到的调制信号中嵌入的载波
810
从接收的调制信号去除提取的载波分量，
产生调制的数据信号
812
估计提取的载波的相位偏移
814
消除调制的数据信号中的相位偏移，
产生相位补偿的调制数据
816
通过同相和正交的载波信号的本地产生版本
对相位补偿的调制数据进行频移，
产生阵列读取器的输出的解调版本
820
对阵列读取器的输出的解调版本进行低通滤波
822

图 8