(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2023 年 6 月 29 日 (29.06.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/116133 A1

(51) 国际专利分类号:
H02P 23/14 (2006.01) *H02P 25/06* (2016.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/124546

(22) 国际申请日: 2022 年 10 月 11 日 (11.10.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202111583028.9 2021年12月22日 (22.12.2021) CN

(71) 申请人: 歌尔股份有限公司(GOERTEK INC.) [CN/CN]; 中国山东省潍坊市高新技术产业开发区东方路268号, Shandong 261031 (CN)。

(72) 发明人: 刘钰佳(LIU, Yujia); 中国山东省潍坊市高新技术产业开发区东方路268号, Shandong 261031 (CN)。 刘兵(LIU, Bing); 中国山东省潍坊市高新技术产业开发区东方路268号, Shandong 261031 (CN)。 杨鑫峰(YANG, Xinfeng); 中国山东省潍坊市高新技术产业开发区东方路268号, Shandong 261031 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE,

WO 2023/116133 A1

(54) **Title:** MOTOR-BASED VIBRATION SENSE ADJUSTMENT METHOD AND DEVICE, AND COMPUTER-READABLE STORAGE MEDIUM

(54) **发明名称:** 基于马达的振感调整方法、设备和计算机可读存储介质

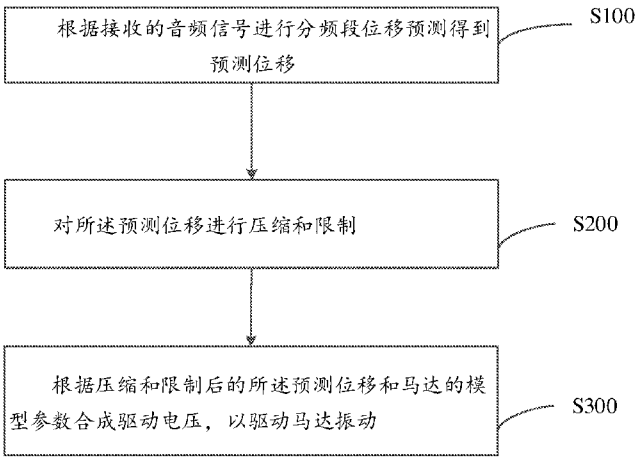


图 2

S100 Perform displacement prediction by frequency band according to a received audio signal, so as to obtain a predicted displacement
S200 Compress and limit the predicted displacement
S300 Synthesize a driving voltage according to the predicted displacement which has been compressed and limited and model parameters of a motor, so as to drive the motor to vibrate

(57) **Abstract:** Disclosed in the present application are a motor-based vibration sense adjustment method and device, and a computer-readable storage medium. The method comprises the following steps: performing displacement prediction on a motor by frequency band according to a received audio signal, so as to obtain a predicted displacement; compressing and limiting the predicted displacement; and synthesizing a driving voltage according to the predicted displacement which has been compressed and limited and model parameters of the motor. By means of the present application, the richness of the vibration of a linear resonant actuator is guaranteed,

[见续页]

SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

a vibration sense is improved, and it can also be ensured that the linear resonant actuator vibrates within an allowed maximum space range, thereby avoiding damage to the motor, the occurrence of noise, etc.

(57) 摘要：本申请公开了一种基于马达的振感调整方法、设备和计算机可读存储介质，所述方法包括以下步骤：根据接收的音频信号对马达进行分频段位移预测得到预测位移；对所述预测位移进行压缩和限制；根据压缩和限制后的所述预测位移和马达的模型参数合成驱动电压。通过本申请既保证了线性马达振动的丰富性并提升了振感，又能够保证线性马达在允许的最大空间范围内振动，避免了马达破损或出现杂音等情况。

基于马达的振感调整方法、设备和计算机可读存储介质

技术领域

本申请涉及线性马达技术领域，具体涉及一种基于马达的振感调整方法、设备和计算机可读存储介质。

背景技术

目前，线性马达（Linear Resonant Actuator，LRA）凭借其振感强烈、丰富、清脆，能耗低等优点，已经广泛应用于消费电子的各种振动场合，包括游戏与 AR（AugmentedReality，增强现实）/VR（Virtual Reality，虚拟现实）产品。

为了保证振感强度和丰富性，在宽频驱动场景，通常用音频信号直接驱动线性马达，因此可能导致马达的高频振感弱且容易发声、小音量情况下低频振感也不强，为了提升振感强调和丰富性，通常使用时域整体加大电压的方法，但该方法也无法保证提升马达的振感丰富性，并且整体振感强度仍然较弱。

发明内容

本申请提供了一种基于马达的振感调整方法、设备和计算机可读存储介质，旨在解决用音频信号直接驱动线性马达时振感弱的技术问题。

为实现上述目的，本申请提供了一种基于马达的振感调整方法，该方法包括以下步骤：

根据接收的音频信号对马达进行分频段位移预测得到预测位移；

对所述预测位移进行压缩和限制；

根据压缩和限制后的所述预测位移和马达的模型参数合成驱动电压，以驱动马达振动。

可选地，通过预处理滤除音频信号中超低频信号和发声频段信号；

对预处理后的所述音频信号进行分频滤波，得到多个子带音频信号；

对所述多个子带音频信号进行位移预测以得到预测位移。

可选地，构建输出电压为输入，预测位移为输出的位移电压传递函数；

根据所述位移电压传递函数和所述子带音频信号的输出电压计算得到预测位移。

可选地，对所述预测位移进行压缩；

对所述压缩后的预测位移进行合并，并根据线性马达预留的最大振动空间整体限制合并后的所述预测位移。

可选地，将所述音频信号对应的子带音频信号的预测位移转换为数字信号；

根据预设压缩公式将所述数字信号分段进行压缩，得到压缩后的预测位移。

可选地，预设压缩公式为：

$output = 2input+20$ ，$input \in (-20dB, -15dB)$

$output = input+5$，$input \in (-15dB, -10dB)$

$output = 0.6input+1$，$input \in (-10dB, -5dB)$

$output = 0.4input$，$input \in (-5dB, 0dB)$

其中，input 为数字信号，output 为压缩后的预测位移。

可选地，检测合并后的所述预测位移的最大值；

计算所述最大值和所述线性马达预留的最大振动空间的限制比率；

将所述预测位移按所述限制比率进行整体放大或缩小。

可选地，基于马达的模型参数构建电压合成的力学端模型；

根据压缩和限制后的所述预测位移和所述力学端模型合成驱动电压。

为实现上述目的，本申请还提出一种基于马达的震感调整设备，基于马达的震感调整设备包括存储器、处理器、以及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的基于马达的震感调整程序，所述基于马达的震感调整程序被处理器执行时实现所述基于马达的振感调整方法。

为实现上述目的，本申请还提出一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质上存储有基于马达的震感调整程序，所述基于马达的震感调整程序被处理器执行时实现所述基于马达的振感调整方法。

本申请技术方案中，根据接收的音频信号对马达进行分频段位移预测得

到预测位移；然后对所述预测位移进行压缩和限制；并根据压缩和限制后的所述预测位移和马达的模型参数合成驱动电压。和现有技术相比，本申请并非用音频信号直接驱动线性马达，而是根据音频信号合成驱动电压以驱动线性马达。通过本申请对预测位移进行压缩和限制，并根据压缩和限制后的预测位移合成驱动电压以驱动线性马达振动，既保证了线性马达振动的丰富性并提升了振感，又能够保证线性马达在允许的最大空间范围内振动，避免了马达破损或出现杂音等情况。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图示出的结构获得其他的附图。

图 1 为本申请一实施例的基于马达的振感调整方法的模块结构示意图；

图 2 为本申请一实施例的基于马达的振感调整方法的流程图；

图 3 为本申请一实施例的基于马达的振感调整方法的实例图；

图 4 为本申请一实施例的基于马达的振感调整方法的实例；

图 5 为本申请一实施例的基于马达的振感调整方法的流程图；

图 6 为本申请一实施例的基于马达的振感调整方法的流程图。

具体实施方式

应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

请参照图 1，图 1 为本申请各个实施例中所提供的基于马达的震感调整设备的硬件结构示意图。所述基于马达的震感调整设备包括执行模块 01、存储器 02、处理器 03、电池系统等部件。本领域技术人员可以理解，图 1 中所示出的设备还可以包括比图示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者不同的部件布置。其中，所述处理器 03 分别与所述存储器 02 和所述执行模块 01 连接，所述存储器 02 上存储有基于马达的震感调整程序，所述基于马达的

震感调整程序同时被处理器 03 执行。

执行模块 01，可根据接收的音频信号进行分频段位移预测得到预测位移，对所述预测位移进行压缩和限制，并根据压缩和限制后的所述预测位移和马达的模型参数合成驱动电压，同时反馈以上信息发送给所述处理器 03。

存储器 02，可用于存储软件程序以及各种数据。存储器 02 可主要包括存储程序区和存储数据区，其中，存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序等；存储数据区可存储根据物联网终端的使用所创建的数据或信息等。此外，存储器 02 可以包括高速随机存取存储器，还可以包括非易失性存储器，例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他易失性固态存储器件。

处理器03，是处理平台的控制中心，利用各种接口和线路连接整个物联网终端的各个部分，通过运行或执行存储在存储器02内的软件程序和/或模块，以及调用存储在存储器02内的数据，执行物联网终端的各种功能和处理数据，从而对基于马达的震感调整设备进行整体监控。处理器03可包括一个或多个处理单元；优选的，处理器03可集成应用处理器和调制解调处理器，其中，应用处理器主要处理操作系统、用户界面和应用程序等，调制解调处理器主要处理无线通信。可以理解的是，上述调制解调处理器也可以不集成到处理器03中。

本领域技术人员可以理解，图1中示出的基于马达的震感调整设备结构并不构成对设备的限定，可以包括比图示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者不同的部件布置。

根据上述硬件结构，提出本申请方法各个实施例。

目前，线性马达（Linear Resonant Actuator，LRA）凭借其振感强烈、丰富、清脆，能耗低等优点，已经广泛应用于消费电子的各种振动场合，包括游戏与 AR（AugmentedReality，增强现实）/VR（Virtual Reality，虚拟现实）产品。

为了保证振感强度和丰富性，在宽频驱动场景，通常用音频信号直接驱动线性马达，因此可能导致马达的高频振感弱且容易发声、小音量情况下低频振感也不强，为了提升振感强调和丰富性，通常使用时域整体加大电压的方法，但该方法也无法保证提升马达的振感丰富性，并且整体振感强度仍然

较弱。

为了解决上述问题，本申请提出了一种基于马达的振感调整方法，参照图 2，在本申请基于马达的振感调整方法的第一实施例中，所述基于马达的振感调整方法包括：

步骤 S100，根据接收的音频信号进行分频段位移预测得到预测位移；

本实施例中，本设计提出的基于位移保护的马达多频带振感增强调整方法应用在线性马达上，为对线性马达振动位移的调整方法。具体地，先对音频信号进行预处理，其中预处理的步骤为对音频信号进行高通滤波以去除超低频信号，再对音频信号进行低通滤波去除马达发声频段信号。其中，接收的音频信号可以是安装线性马达的终端设备中游戏应用实际输出的音效，也可以是根据 AR /VR/游戏场景定制设计的宽频信号，并以音频格式存储与输入。然后，将预处理后的音频信号分频滤波，得到多个子带音频信号，并根据子带音频信号的输出电压对马达进行位移预测以得到预测位移。具体地，位移预测信息为对多个子带音频信号位移的预测。位移预测包括根据相关参数构建位移模型，然后根据构建的位移模型对多个子带音频信号进行位移预测。其中，位移指的是马达振动的位移。

步骤 S200，对所述预测位移进行压缩和限制；

本实施例中，在对多个子带音频信号进行位移预测，并得到预测位移之后，为了保证马达振动的丰富性和振感强度，且保证马达振动位移不会过大以至于碰壳，出现马达破损或出现杂音等情况，需要对预测位移依次进行压缩和限制。压缩的具体方式由本领域技术人员提前设置，且对于不同频段的音频信号，其压缩的方式并不相同。在一实施例中，由本领域技术人员将每个频段位移的振动范围的最大预设值和最小预设值输入到动态范围压缩模块中，并将小于子带音频信号所在频段最小预设值的小预测位移信号根据动态范围压缩率进行放大，大于子带音频信号所在频段最大预设值的大预测位移信号根据动态范围压缩率进行缩小；以保证马达振动的丰富性且能提升振感。压缩完成之后，将各子带音频信号进行合并，并观测合并后的音频信号，并对位移进行整体限制，保证预测位移在马达的最大空间范围内。整体限制具体为将预测位移按照一定的比例进行整体放大或整体缩小，从而保证马达在振动过程中不会触碰到外部壳体。

步骤 S300，根据压缩和限制后的所述预测位移和马达的模型参数合成驱动电压，以驱动马达振动。

本实施例中，在对预测位移进行压缩和限制之后，可根据压缩和限制后的预测位移和马达的模型参数合成驱动电压。其中，马达的模型参数包括振子质量 m、磁场强度 Bl、弹簧劲度系数 Kms、阻尼系数 Rms、线圈直流电阻 Re。具体地，在将压缩和限制后的位移信息和模型参数输入到振动力学端模型建模模块中，以计算离散时间速度模型和位移到力的离散模型，最后将马达的模型参数、力、速度等信息输入到驱动电压合成模块合成驱动电压。并以该合成的驱动电压来驱动线性马达的振动。

如图 5 所示，本实施例中，在接收到输入的音频信号之后，通过一系列的算法对音频信号进行处理，以得到驱动电压，并将驱动电压的功率放大以驱动马达振动，产生增强的宽频振动反馈。

通过本申请对预测位移进行压缩和限制，并根据压缩和限制后的预测位移合成驱动电压以驱动线性马达振动，既保证了线性马达振动的丰富性并提升了振感，又能够保证线性马达在允许的最大空间范围内振动，避免了马达破损或出现杂音等情况。

在一实施例中，所述根据接收的音频信号进行分频段位移预测得到预测位移的步骤包括：

通过预处理滤除音频信号中超低频信号和发声频段信号；

本实施例中，在接收到音频信号之后，首先对音频信号进行预处理，具体地，对音频信号进行高通滤波以去除超低频信号，再对音频信号进行低通滤波去除马达发声频段信号。

对预处理后的所述音频信号进行分频滤波，得到多个子带音频信号；

对所述多个子带音频信号进行位移预测以得到预测位移。

本实施例中，在通过预处理滤除音频信号中超低频信号和发声频段信号之后，再对预处理后的音频信号进行分频滤波，得到多个子带音频信号。具体地，如图 6 所示，分频滤波使用的滤波器的各项参数，如截止频率由本领域技术人员根据所需提升的振感需求来提前设定，其中，所需提升的振感需求可以是所需提升振感的频段或增益等。在设定好滤波器截止频率之后，依次对输入的音频信号进行低通滤波、带通滤波、高通滤波，得到多个子带音

频信号 BD1,BD2…BDn，其子带输出电压为 u1,u2…un。

在一实施例中，所述对所述多个子带音频信号进行位移预测以得到预测位移的步骤包括：

构建输出电压为输入，预测位移为输出的位移电压传递函数；

根据所述位移电压传递函数和所述子带音频信号的输出电压计算得到预测位移。

本实施例中，在已知马达的模型参数：振子质量 m、磁场强度 Bl、弹簧劲度系数 Kms、阻尼系数 Rms、线圈直流电阻 Re 的情况下，可以得到以音频信号的输出电压为输入、位移预测为输出的位移电压传递函数，并可将该位移电压传递函数转换为位移电压的离散化传递函数，在得到离散化传递函数之后，通过公式变形可获得位移预测公式。然后，将采样得到的子带音频信号的输出电压代入位移预测公式，即可得到子带音频信号的预测位移。

具体地，线性马达的位移电压传递函数为：

$$\frac{X(s)}{U(s)}=\frac{Bl}{mR_e}\frac{1}{s^2+s\frac{Bl^2+R_{ms}R_e}{mR_e}+\frac{K_{ms}}{m}}$$

$$=G\frac{1}{s^2+s\frac{w_c}{Q}+w_c^2}$$

其中，$G=\frac{Bl}{mR_e}$，$Q=\frac{w_c mR_e}{Bl^2+R_{ms}R_e}$，$w_c=\frac{K_{ms}}{m}$，

具体地，离散化传递函数为：

$$\frac{x(z)}{u(z)}=\frac{b_0+b_1z^{-1}+b_2z^{-2}}{a_0+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}}$$

其中，

$$a_0=1;a_1=\frac{-8+2w_c^2T_s^2}{4+2T_s\frac{w_c}{Q}+w_c^2T_s^2};a_2=\frac{4+2w_c^2T_s^2-2T_s\frac{w_c}{Q}}{4+2T_s\frac{w_c}{Q}+w_c^2T_s^2}$$

$$b_0=\frac{GT_s^2}{4+2T_s\frac{w_c}{Q}+w_c^2T_s^2};b_1=\frac{2GT_s^2}{4+2T_s\frac{w_c}{Q}+w_c^2T_s^2};b_2=\frac{GT_s^2}{4+2T_s\frac{w_c}{Q}+w_c^2T_s^2}$$

进一步地，转换得到的位移预测公式为：

$$x(k)=\frac{b_0u(k)+b_1u(k-1)+b_2u(k-2)-a_1x(k-1)-a_2x(k-2)}{a_0}$$

由于本实施例中是为了预测多个子带音频信号的预测位移，因此可将位移预测公式进一步转换为子带位移预测公式，该子带位移预测公式为：

$$x_i(k)=\frac{b_0u_i(k)+b_1u_i(k-1)+b_2u_i(k-2)-a_1x_i(k-1)-a_2x_i(k-2)}{a_0}$$

其中，子带 1~子带 n 输出位移是$x_1(k)\sim x_n(k)$，子带 1~子带 n 电压表示为$u_1(k)\sim u_n(k)$，$i=1,2,...n$，Ts 为采样时间，m 为振子质量、Bl 为磁场强度、Kms 为弹簧劲度系数、Rms 为阻尼系数、Re 为线圈直流电阻，x(z)为传递函数的输出量预测位移，u（z）为传递函数的输入量输出电压，z 为传递函数的常规系数。

因此，将子带音频信号的输出电压代入子带位移预测公式，即可得到子带音频信号的预测位移。

在一实施例中，所述对所述预测位移进行压缩和限制的步骤包括：

对所述预测位移进行压缩；

对所述压缩后的预测位移进行合并，并根据线性马达预留的最大振动空间整体限制合并后的所述预测位移。

本实施例中，在根据位移电压传递函数和子带音频信号的输出电压计算得到子带音频信号的预测位移之后，为了保证马达振动的丰富性和振感强度，且保证马达振动位移不会过大以至于碰壳，出现马达破损或出现杂音等情况，需要对预测位移依次进行压缩和整体限制。压缩的具体方式由本领域技术人员提前设置，在一实施例中，由本领域技术人员将每个频段位移的振动范围的最大预设值和最小预设值输入到动态范围压缩模块中，并将小于子带音频信号所在频段最小预设值的小预测位移信号根据动态范围压缩率进行放大，大于子带音频信号所在频段最大预设值的大预测位移信号根据动态范围压缩率进行缩小；以保证马达振动的丰富性且能提升振感。压缩完成之后，将各子带音频信号进行合并，并观测合并后的音频信号，并对位移进行整体限制，保证预测位移在马达的最大空间范围内。具体地，整体限制为计算得到线性马达预留的最大振动空间和预测位移最大值的比值，将预测位移整体按照该线性马达预留的最大振动空间和预测位移最大值的比值进行放大或整体缩小，从而保证马达在振动过程中，预测位移的最大值不会超过线性马达预留的最大振动空间，因此不会触碰到外部壳体。

在一实施例中，所述对所述预测位移进行压缩的步骤包括：

将所述子带音频信号的预测位移转换为数字信号；

根据预设压缩公式将所述数字信号分段进行压缩，得到压缩后的预测位移。

本实施例中，预设压缩公式为本领域技术人员根据预设规则提前设置的压缩方式，并可根据实际需求进行调整。由于本申请需要对小位移信号进行放大，将大位移信号进行缩小，因而不同位移的音频信号的压缩方式不同，所以需要用不同的预设压缩公式压缩不同位移的音频信号。具体地，在压缩之前，先将音频信号对应的子带音频信号的预测位移转换为数字信号，具体的转换方式为：

input=20*log10(BD)

其中，BD 为预测位移，input 为转换获得的数字信号。

由于不同的预测位移其压缩方式并不相同，因此在应用上述方法将预测位移转换为数字信号之后，还需要将数字信号进行分段，并将不同的数字信号代入不同的预设压缩公式，以得到压缩后的预测位移。其中，预设压缩公式为本领域技术人员根据预设规则提前设置，并可根据实际情况实时调整。

在一实施例中，所述预设压缩公式为：

output = 2input+20 ，input∈(-20dB，-15dB)

output = input+5，input∈(-15dB，-10dB)

output = 0.6input+1，input∈(-10dB，-5dB)

output = 0.4input，input∈(-5dB，0dB)

其中，input 为数字信号，output 为压缩后的预测位移。

本实施例中，将不同大小的数字信号代入对应的预设压缩公式中，即可得到压缩后的预测位移。进一步地，通过上述预设压缩公式，可以达到对小位移信号进行放大，对大位移信号进行缩小。具体地，当输入的数字信号在处于(-20dB，-15dB)的区间内，预测位移的计算公式为 output = 2input+20；当输入的数字信号在处于(-15dB,-10dB)的区间内,预测位移的计算公式为 output = input+5；当输入的数字信号在处于(-10dB，-5dB)的区间内，预测位移的计算公式为 output = 0.6input+1；当输入的数字信号在处于(-5dB, 0dB)的区间内，预测位移的计算公式为 output = 0.4input。例如，若输入的数字信号为-16dB 时，则选取公式 output = 2input+20 进行计算，计算得到的输出的预测位移为-13dB。若输入的数字信号为-10dB，则可以选取 output = input+5 或 output =

0.6input+1 进行计算，计算得到的输出的预测位移为-5dB。如图 3 所示，以数字信号为横轴，预测位移为纵轴的坐标系上，预设压缩公式为存在 3 个拐点的线性分段函数，函数的拐点分别为（-15，-10）（-10，-5）（-5，-2）。

在一实施例中，所述根据线性马达预留的最大振动空间整体限制合并后的所述预测位移的步骤包括：

检测合并后的所述预测位移的最大值；

计算所述最大值和所述线性马达预留的最大振动空间的限制比率；

将所述预测位移按所述限制比率进行整体放大或缩小。

本实施例中，在对各子带音频信号压缩后的预测位移进行压缩之后，将各压缩后的预测位移进行合并，然后对预测位移进行整体限位，保证预测位移小于马达振动最大空间。在一实施例中，如图 4 所示，x1、x2.....xn 为各子带音频信号的预测位移，首先将各子带音频信号进行合并，然后将合并后的各子带音频信号输入至 x_limiter 模块，对预测位移进行整体限位，保证预测位移小于马达振动最大空间。具体地，将合并后的各子带音频信号输入至 x_limiter 模块之后，检测合并后的预测位移 x 的最大值 xmax，并获取线性马达设计预留的最大振动空间 x_lim，并计算最大值和线性马达预留的最大振动空间 x_lim 的限制比率 x_ratio，计算式为：

x_ratio = xmax/x_lim。

在得到限制比率 x_ratio 之后，再对预测位移整体放大或缩小限制比率 x_ratio 对应的倍数，以保证线性马达在振动的过程中，不会超过预留的振动最大空间。在一实施例中，整体放大或缩小的方式为：

x_out = x/x_ratio

其中，x_out 为整体限制之后的预测位移。

在一实施例中，所述根据压缩和限制后的所述预测位移和马达的模型参数合成驱动电压的步骤包括：

基于马达的模型参数构建电压合成的力学端模型；

根据压缩和限制后的所述预测位移和所述力学端模型合成驱动电压。

本实施例中，在对线性马达的预测位移进行压缩和整体限制之后，还根据压缩和整体限制之后的预测位移合成对应的驱动电压。进一步地，合成驱动电压需要构建电压合成的力学端模型，其中，力学端模型包括速度的离散

模型、位移到力的离散化模型。

具体地，在一实施例中，力学方程为：

$$f = K_{ms}x + m_{ms}a + R_{ms}v$$

音圈振动速度方程为：

$$v(k) = \frac{x(k) - x(k-1)}{T_s}$$

又根据u=Bl*v+i*Re，f=Bl*i

从而能够推导得到驱动电压合成的方程为：

$$u(k) = R_e \frac{f(k)}{Bl} + Blv(k)$$

其中，T_s为采样时间，m_{ms}为振子质量、Bl为磁场强度、K_{ms}为弹簧劲度系数、R_{ms}为阻尼系数、R_e为线圈直流电阻，x为线性马达的预测位移，v为音圈振动的速度，f为马达的驱动力，u为合成的驱动电压，k为常规系数。

在得到上述驱动电压合成的方程之后，根据所述力学端模型合成驱动电压。

本申请还提出一种基于马达的震感调整设备，设备包括存储器、处理器、以及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的基于马达的震感调整程序，所述基于马达的震感调整程序用于执行本申请各个实施例所述的方法。

本申请还提出一种计算机可读存储介质，其上存储有基于马达的震感调整程序。所述计算机可读存储介质包括计算机可读计算机可读存储介质，所述计算机可读计算机可读存储介质可以是图 1 的中的存储器，也可以是如ROM（Read-Only Memory，只读存储器）/RAM（Random Access Memory，随机存取存储器）、磁碟、光盘中的至少一种，所述计算机计算机可读存储介质包括若干指令用以使得一台具有处理器的物联网终端设备(可以是手机，计算机，服务器，物联网终端，或者网络设备等)执行本申请各个实施例所述的方法。

在本申请中，术语“第一”“第二”“第三”“第四”“第五”仅用于描述的目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性，对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描

述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本申请的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外，在不相互矛盾的情况下，本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

尽管上面已经示出和描述了本申请的实施例，本申请保护的范围并不局限于此，可以理解的是，上述实施例是示例性的，不能理解为对本申请的限制，本领域的普通技术人员在本申请的范围内可以对上述实施例进行变化、修改和替换，这些变化、修改和替换都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

权 利 要 求 书

1、一种基于马达的振感调整方法，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

根据接收的音频信号进行分频段位移预测得到预测位移；

对所述预测位移进行压缩和限制；

根据压缩和限制后的所述预测位移和马达的模型参数合成驱动电压，以驱动马达振动。

2、如权利要求 1 所述的基于马达的振感调整方法，其特征在于，所述根据接收的音频信号进行分频段位移预测得到预测位移的步骤包括：

通过预处理滤除音频信号中超低频信号和发声频段信号；

对预处理后的所述音频信号进行分频滤波，得到多个子带音频信号；

对所述多个子带音频信号进行位移预测以得到预测位移。

3、如权利要求 2 所述的基于马达的振感调整方法，其特征在于，所述对所述多个子带音频信号进行位移预测以得到预测位移的步骤包括：

构建输出电压为输入，预测位移为输出的位移电压传递函数；

根据所述位移电压传递函数和所述子带音频信号的输出电压计算得到预测位移。

4、如权利要求 1 所述的基于马达的振感调整方法，其特征在于，所述对所述预测位移进行压缩和限制的步骤包括：

对所述预测位移进行压缩；

对所述压缩后的预测位移进行合并，并根据线性马达预留的最大振动空间整体限制合并后的所述预测位移。

5、如权利要求 4 所述的基于马达的振感调整方法，其特征在于，所述对所述预测位移进行压缩的步骤包括：

将所述音频信号对应的子带音频信号的预测位移转换为数字信号；

根据预设压缩公式将所述数字信号分段进行压缩，得到压缩后的预测位移。

6、如权利要求 5 所述的基于马达的振感调整方法，其特征在于，所述预设压缩公式为：

output = 2input+20 ， input∈(-20dB，-15dB)

output = input+5，input∈(-15dB，-10dB)

output = 0.6input+1，input∈(-10dB，-5dB)

output = 0.4input，input∈(-5dB，0dB)

其中，input 为数字信号，output 为压缩后的预测位移。

7、如权利要求 4 所述的基于马达的振感调整方法，其特征在于，所述根据线性马达预留的最大振动空间整体限制合并后的所述预测位移的步骤包括：

检测合并后的所述预测位移的最大值；

计算所述最大值和所述线性马达预留的最大振动空间的限制比率；

将所述预测位移按所述限制比率进行整体放大或缩小。

8、如权利要求 1 所述的基于马达的振感调整方法，其特征在于，所述根据压缩和限制后的所述预测位移和马达的模型参数合成驱动电压的步骤包括：

基于马达的模型参数构建电压合成的力学端模型；

根据压缩和限制后的所述预测位移和所述力学端模型合成驱动电压。

9、一种基于马达的震感调整设备，其特征在于，包括存储器、处理器、以及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的基于马达的震感调整程序，所述基于马达的震感调整程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 8 中任一项所述基于马达的振感调整方法的步骤。

10、一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质

上存储有基于马达的震感调整程序，所述基于马达的震感调整程序被处理器执行时实现如权利要求1至8中任一项所述基于马达的振感调整方法的步骤。

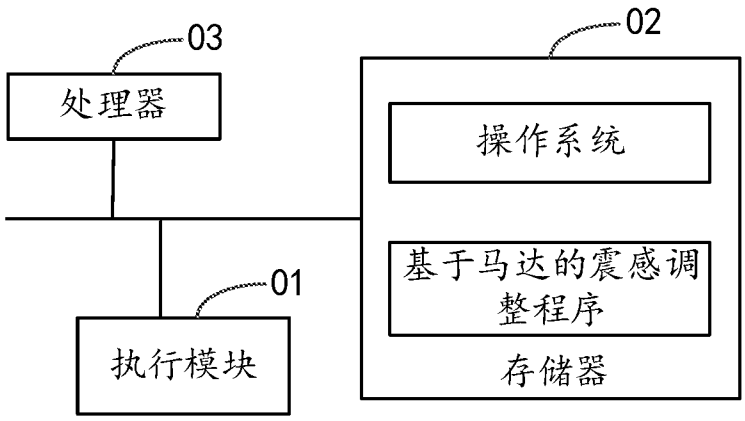

03
处理器
02
操作系统
基于马达的震感调整程序
存储器
01
执行模块

图 1

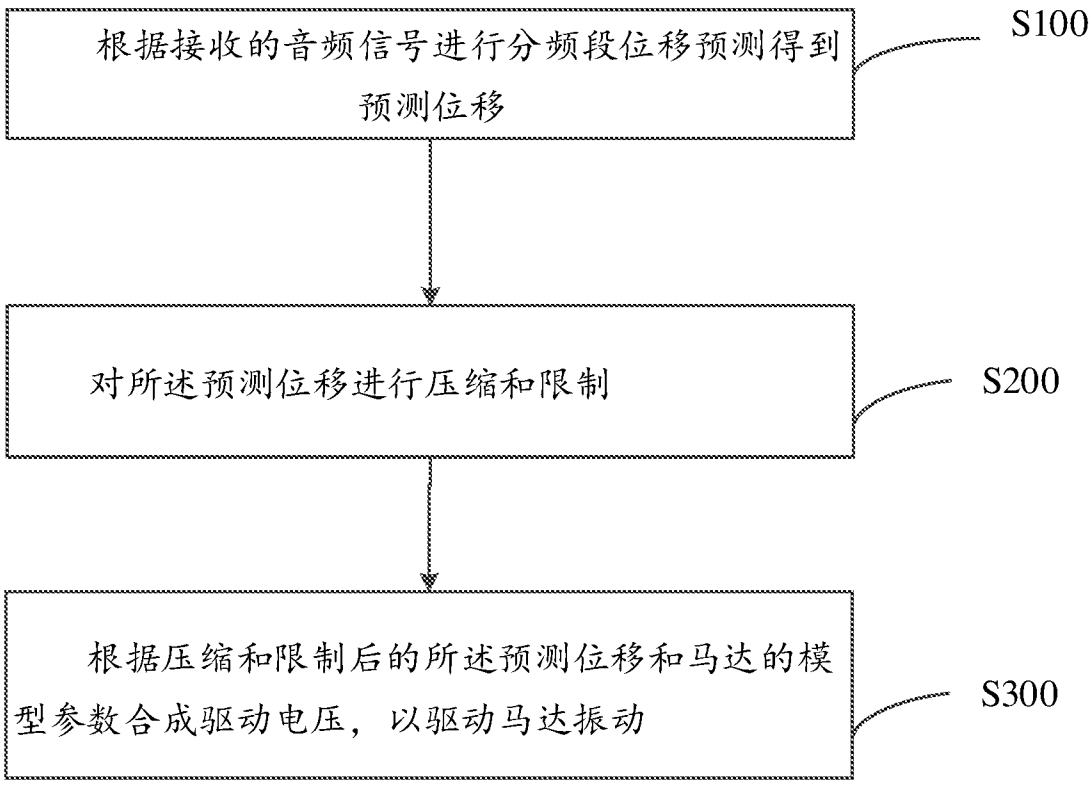

根据接收的音频信号进行分频段位移预测得到预测位移
S100
对所述预测位移进行压缩和限制
S200
根据压缩和限制后的所述预测位移和马达的模型参数合成驱动电压，以驱动马达振动
S300

图 2

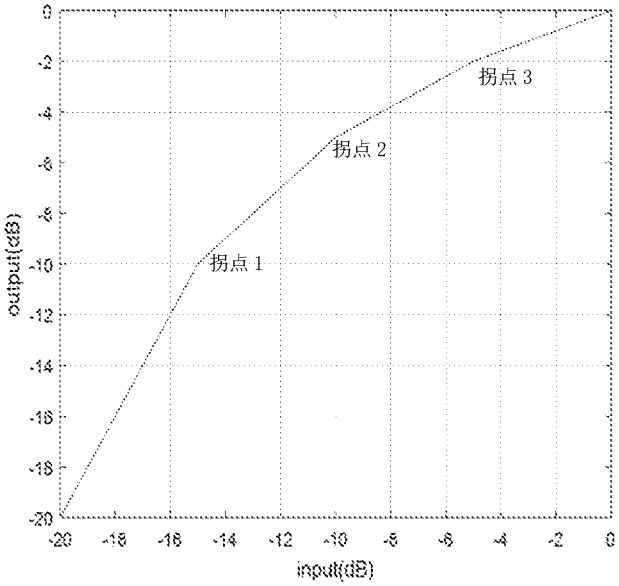

拐点 3
拐点 2
拐点 1
output(dB)
input(dB)

图 3

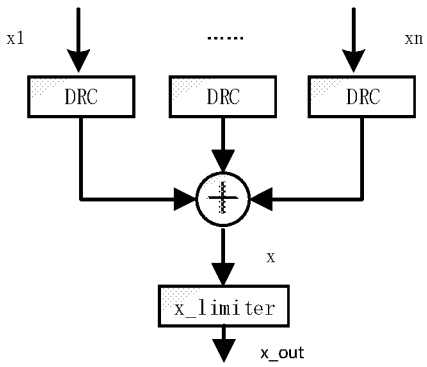

x1
xn
DRC
DRC
DRC
x
x_limiter
x_out

图 4

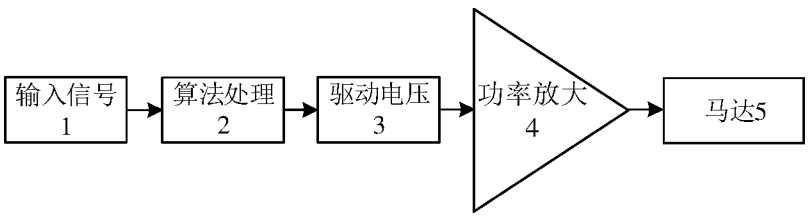

输入信号
1
算法处理
2
驱动电压
3
功率放大
4
马达5

图 5

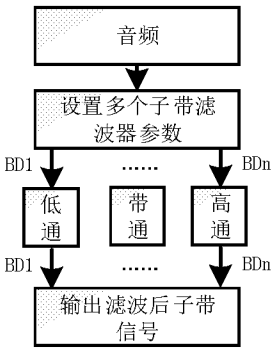

音频
设置多个子带滤波器参数
BD1
BDn
低通
带通
高通
输出滤波后子带信号

图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2022/124546

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 23/14(2006.01)i; H02P 25/06(2016.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE, CNKI, CNTXT, ENTXT, DWPI, WPABS: 马达, 振感, 音频, 偏移, 位移, 压缩, 限制, 预测, 频段, 分频, 子带, 电压, motor, vibration, displacement, prediction, compressing, limiting, frequencyband, voltage

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 114221596 A (GOERTEK INC.) 22 March 2022 (2022-03-22) description, paragraphs 0039-0120, and figures 1-6	1-10
X	CN 107431858 A (WOLFSON MICROELECTRONICS PLC.) 01 December 2017 (2017-12-01) description, paragraphs 85-213, and figures 1-17	1-5, 8-10
A	CN 107431858 A (WOLFSON MICROELECTRONICS PLC.) 01 December 2017 (2017-12-01) entire document	6, 7
A	CN 111741407 A (AAC TECHNOLOGIES PTE. LTD.) 02 October 2020 (2020-10-02) entire document	1-10
A	CN 112650388 A (SCIENCE AND EDUCATION CITY BRANCH OF AAC NEW ENERGY DEVELOPMENT (CHANGZHOU) CO., LTD.) 13 April 2021 (2021-04-13) entire document	1-10
A	CN 111030547 A (AAC TECHNOLOGIES PTE. LTD.) 17 April 2020 (2020-04-17) entire document	1-10
A	US 2009268918 A1 (SOLGAARD, M. E.) 29 October 2009 (2009-10-29) entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
07 December 2022	**04 January 2023**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2022/124546

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	114221596	A	22 March 2022	None			
CN	107431858	A	01 December 2017	US	2018014121	A1	11 January 2018
				KR	20170122760	A	06 November 2017
				EP	3254472	A1	13 December 2017
				GB	201510031	D0	22 July 2015
				US	2018014120	A1	11 January 2018
				KR	20170122761	A	06 November 2017
				CN	107439018	A	05 December 2017
				EP	3254473	A1	13 December 2017
				WO	2016124897	A1	11 August 2016
				WO	2016124896	A1	11 August 2016
				GB	201510030	D0	22 July 2015
				GB	2534950	A	10 August 2016
				GB	2534950	B	10 May 2017
				US	10356521	B2	16 July 2019
				CN	107431858	B	17 November 2020
				KR	102410440	B1	22 June 2022
CN	111741407	A	02 October 2020	WO	2021248529	A1	16 December 2021
				CN	111741407	B	10 August 2021
CN	112650388	A	13 April 2021	CN	112650388	B	28 June 2022
				WO	2022134219	A1	30 June 2022
CN	111030547	A	17 April 2020	WO	2021103089	A1	03 June 2021
US	2009268918	A1	29 October 2009	US	8712065	B2	29 April 2014

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/124546

A. 主题的分类

H02P 23/14(2006.01)i; H02P 25/06(2016.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H02P

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

IEEE, CNKI, CNTXT, ENTXT, DWPI, WPABS: 马达，振感，音频，偏移，位移，压缩，限制，预测，频段，分频，子带，电压，motor, vibration, displacement, prediction, compressing, limiting, frequencyband, voltage

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 114221596 A (歌尔股份有限公司) 2022年3月22日 (2022-03-22) 说明书第0039-0120段，附图1-6	1-10
X	CN 107431858 A (思睿逻辑国际半导体有限公司) 2017年12月1日 (2017-12-01) 说明书第85-213段，附图1-17	1-5、8-10
A	CN 107431858 A (思睿逻辑国际半导体有限公司) 2017年12月1日 (2017-12-01) 全文	6、7
A	CN 111741407 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2020年10月2日 (2020-10-02) 全文	1-10
A	CN 112650388 A (瑞声新能源发展常州有限公司科教城分公司) 2021年4月13日 (2021-04-13) 全文	1-10
A	CN 111030547 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2020年4月17日 (2020-04-17) 全文	1-10
A	US 2009268918 A1 (Mads Emil Solgaard) 2009年10月29日 (2009-10-29) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2022年12月7日	2023年1月4日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 姚雪梅 电话号码 86-（10）-62411791

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2022/124546

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	114221596	A	2022年3月22日	无			
CN	107431858	A	2017年12月1日	US	2018014121	A1	2018年1月11日
				KR	20170122760	A	2017年11月6日
				EP	3254472	A1	2017年12月13日
				GB	201510031	D0	2015年7月22日
				US	2018014120	A1	2018年1月11日
				KR	20170122761	A	2017年11月6日
				CN	107439018	A	2017年12月5日
				EP	3254473	A1	2017年12月13日
				WO	2016124897	A1	2016年8月11日
				WO	2016124896	A1	2016年8月11日
				GB	201510030	D0	2015年7月22日
				GB	2534950	A	2016年8月10日
				GB	2534950	B	2017年5月10日
				US	10356521	B2	2019年7月16日
				CN	107431858	B	2020年11月17日
				KR	102410440	B1	2022年6月22日
CN	111741407	A	2020年10月2日	WO	2021248529	A1	2021年12月16日
				CN	111741407	B	2021年8月10日
CN	112650388	A	2021年4月13日	CN	112650388	B	2022年6月28日
				WO	2022134219	A1	2022年6月30日
CN	111030547	A	2020年4月17日	WO	2021103089	A1	2021年6月3日
US	2009268918	A1	2009年10月29日	US	8712065	B2	2014年4月29日