

(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
2022 年 9 月 1 日 (01.09.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/179201 A1

(51) 国际专利分类号:

H02P 25/034 (2016.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2021/131366

(22) 国际申请日:

2021 年 11 月 18 日 (18.11.2021)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

202110202517.9 2021年2月23日 (23.02.2021) 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: 张一凡(ZHANG, Yifan); 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)。 冯蓬勃(FENG, Pengbo); 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)。 王学强(WANG,

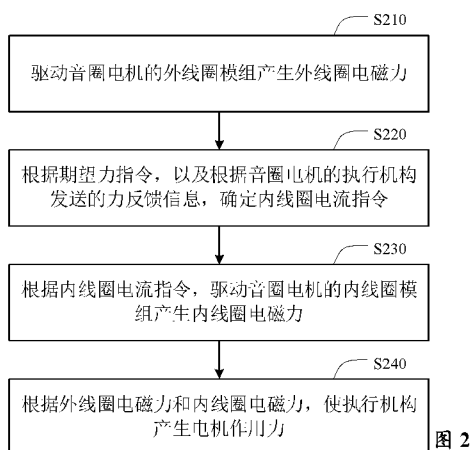
Xueqiang); 中国山东省潍坊市高新技术产业开发区东方路268号, Shandong 261031 (CN)。 韩涛(HAN, Tao); 中国山东省潍坊市高新技术产业开发区东方路268号, Shandong 261031 (CN)。

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, 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,

(54) Title: VOICE COIL ELECTRIC MOTOR, AND CONTROL METHOD AND CONTROL APPARATUS THEREFOR

(54) 发明名称: 音圈电机及其控制方法和控制装置



S210 Drive an outer coil module of a voice coil electric motor to generate an outer coil electromagnetic force
S220 Determine an inner coil current instruction according to a desired force instruction, and force feedback information sent by an actuating mechanism of the voice coil electric motor
S230 According to the inner coil current instruction, drive an inner coil module of the voice coil electric motor to generate an inner coil electromagnetic force
S240 Enable the actuating mechanism to generate an electric motor action force according to the outer coil electromagnetic force and the inner coil electromagnetic force

图 2

(57) Abstract: Provided are a voice coil electric motor (100), and a control method and control apparatus therefor. The voice coil electric motor (100) is composed of an inner coil module and an outer coil module, wherein the inner coil module is arranged within the outer coil module, and an air gap (150) allowing the inner coil module to move is formed between the inner coil module and the outer coil module. The control method for a voice coil electric motor (100) comprises: driving an outer coil module of a voice coil electric motor (100) to generate an outer coil electromagnetic force; determining an inner coil current instruction according to a desired force instruction, and force feedback information sent by an actuating mechanism of the voice coil electric motor (100); according to the inner coil current instruction, driving an inner coil module of the voice coil electric motor (100) to generate an inner coil electromagnetic force; and enabling the actuating mechanism (140) to generate an electric motor action force according to the outer coil electromagnetic force and the inner coil electromagnetic force.



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, 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))。

(57) 摘要：提供了音圈电机（100）及其控制方法和控制装置。其中音圈电机（100）由内线圈模组和外线圈模组构成，内线圈模组设置在外线圈模组内，内线圈模组与外线圈模组间形成可供内线圈模组移动的气隙（150）。音圈电机（100）的控制方法包括：驱动音圈电机（100）的外线圈模组产生外线圈电磁力；根据期望力指令，以及根据音圈电机（100）的执行机构发送的力反馈信息，确定内线圈电流指令；根据内线圈电流指令，驱动音圈电机（100）的内线圈模组产生内线圈电磁力；根据外线圈电磁力和内线圈电磁力，使执行机构（140）产生电机作用力。

音圈电机及其控制方法和控制装置

技术领域

本申请涉及电机技术领域，尤其涉及音圈电机及其控制方法和控制装置。

发明背景

近年来，在消费电子、半导体、医疗设备等产品组装和生产领域，产品的精密性和复杂度不断提高，对生产设备的作业速度和控制精度的要求日益提高。在需要实施力控制的场景中，音圈电机由于具有响应速度快、控制精度高等优点，在高速高精度设备上的应用越来越广泛。

目前常见的音圈电机通常由永磁体和线圈组成，其中永磁体产生的磁场与通电线圈导体产生的磁场相互作用，从而产生运动。同时，音圈电机结合反馈及控制系统，能够实现精确的控制。

然而，由于永磁体产生的磁场及磁感应强度无法主动控制调节，并且在高温、高热、撞击等场景中容易改变磁场的强弱，因此会影响音圈电机的运动及控制精度。

发明内容

本申请实施例提供了音圈电机及其控制方法和控制装置，以增强音圈电机对环境适应性和稳定性，提高音圈电机的运动和控制精度。

本申请实施例采用下述技术方案：

第一方面，本申请实施例提供一种音圈电机控制方法，采用由内线圈模组和外线圈模组构成的音圈电机，将内线圈模组设置在外线圈模组内，在内线圈模组与外线圈模组间形成可供内线圈模组移动的气隙，该方法还包括：驱动音圈电机的外线圈模组产生外线圈电磁力；根据期望力指令，以及根据音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，确定内线圈电流指令；根据内线圈电流指令，驱动音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力；根据外线圈电磁力和内线圈电磁力，使执行机构产生电机作用力。

第二方面，本申请实施例还提供一种音圈电机控制装置，其中音圈电机由内线圈模组和外线圈模组构成，内线圈模组设置在外线圈模组内，内线圈模组与外线圈模组间形成可供内线圈模组移动的气隙；该音圈电机控制装置包括：外线圈控制单元，用于驱动音圈电机的外线圈模组产生外线圈电磁力；内线圈控制单元，用于根据期望力指令，以及根据音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，确定内线圈电流指令；以及根据内线圈电流指令，驱动音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力；执行单元，用于根据外线圈电磁力和内线圈电磁力，使执行机构产生电机作用力。

第三方面，本申请实施例还提供一种音圈电机，包括基座、可移动的内线圈模组、外线圈模组和执行机构；外线圈模组嵌设于基座上，内线圈模组设置在外线圈模组内，内线圈模组与外线圈模组间形成可供内线圈模组移动的气隙；执行机构与内线圈模组连接；外线圈模组可响应于如上的音圈电机控制装置而产生外线圈电磁力，内线圈模组可响应于如上的音圈电机控制装置而产生内线圈电磁力，从而使执行机构根据外线圈电磁力和内线圈电磁力产生电机作用力。

在一些实施例中，音圈电机中，执行机构的末端设置有力传感器，用于生成力反馈信息并发送给音圈电机控制装置。

本申请实施例采用的上述至少一个技术方案能够达到以下有益效果：舍弃永磁体，通过采用内外双线圈模组构成的音圈电机，解决了采用永磁体的电机在高温等环境中无法维持稳定的问题，并且通过获取音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，联合期望力指令确定内线圈电流指令，最终实现了内线圈电磁力的闭环控制，提高了电机作用力的控制精度和控制范围，从而使得本申请控制的音圈电机能够应用到机器人手指等需要精密控制的场景中。

附图简要说明

此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解，构成本申请的一部分，本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请，并不构成对本申请的不当限定。在附图中：

图 1 示出了根据本申请一个实施例的一种音圈电机的结构示意图；

图 2 示出了根据本申请一个实施例的一种音圈电机控制方法的流程示意图；

图 3 示出了根据本申请一个实施例的一种音圈电机控制原理图；

图 4 示出了根据本申请一个实施例的音圈电机控制装置的结构示意图；

图 5 示出了根据本申请实施例的一种音圈电机控制系统的结构示意图。

具体实施方式

为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请具体实施例及相应的附图对本申请技术方案进行清楚、完整地描述。显然，所描述的实施例仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

本申请的技术构思在于，不采用有永磁体的音圈电机，利用电磁线圈模组实现磁场在多场景下的稳定性，并且通过力闭环来对内线圈模组产生的内线圈电磁力进行控制，提高了执行机构产生的电机作用力的控制精度和控制范围。

以下结合附图，详细说明本申请各实施例提供的技术方案。

图 1 示出了根据本申请一个实施例的一种音圈电机的结构示意图。如图 1 所示，音圈电机 100 包括基座 110、可移动的内线圈模组、外线圈模组和执行机构 140；其中，外线圈模组嵌设于基座 110 上，内线圈模组设置在外线圈模组内，内线圈模组与外线圈模组间形成气隙 150，可供内线圈模组在其中进行无摩擦运动。执行机构 140 与内线圈模组连接。

在一些实施例中，外线圈模组和内线圈模组均由铁芯和缠绕在铁芯上的线圈构成，如图 1 所示，外线圈模组包括外线圈 131 和外线圈铁芯 132，内线圈模组包括内线圈 121 和内线圈铁芯 122。

执行机构 140 可连接到内线圈铁芯 122 的末端，由内线圈模组带动运动。在通电后，外线圈模组可产生外线圈电磁力，内线圈模组可产生内线圈电磁力，从而使执行机构 140 根据外线圈电磁力和内线圈电磁力对外施加电机作用力。

内线圈电磁力和外线圈电磁力可根据下面实施例示出的音圈电机控制方法和音圈电机控制装置来实现精确的控制。

在一些实施例中，音圈电机 100 中，执行机构 140 的末端设置有力传感器，用于生成力反馈信息并发送给音圈电机控制装置。

图 2 示出了根据本申请一个实施例的一种音圈电机控制方法的流程示意图，可用于控制上述实施例示出的音圈电机，该音圈电机控制方法可由音圈电机控制装置实现。如图 2 所示，音圈电机控制方法包括：

步骤 S210，驱动音圈电机的外线圈模组产生外线圈电磁力。

在一些实施例中，可以使外线圈模组产生固定的外线圈电磁力，即使外线圈模组产生稳定的电磁场，由此克服了永磁体磁场在高温、高热、撞击等场景中容易改变的问题。

在另一些实施例中，也可以使外线圈模组产生的外线圈电磁力与内线圈模组产生的内线圈电磁力相适应，以提高内线圈电磁力的控制精度。

步骤 S220，根据期望力指令，以及根据音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，确定内线圈电流指令。

期望力指令可以指示需要音圈电机产生的电机作用力的大小，即表征电机作用力的期望值。可以根据实际场景的需求来确定具体数值，例如，利用规划软件按照工艺需求来生成期望力指令，如利用的生成期望力指令可以得到一条随时间变化的力指令轨迹。

然而，执行机构产生的电机作用力很难与期望力指令完全匹配，可能存在一定误差，为了提高在精密需求场景下的控制精度，可以采用力闭环控制，即根据期望力指令和力反馈信息，来确定内线圈电流指令。

由于内线圈电磁力是根据内线圈电流大小而变化的，因此，确定了内线圈电流指令，也就能够执行步骤 S230，根据内线圈电流指令，驱动音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力。

步骤 S240，根据外线圈电磁力和内线圈电磁力，使执行机构产生电机作用力。根据两类电磁力产生电机作用力的原理与音圈电机的作用原理相同，在此

不再赘述。

可见，图 2 所示的方法，能够对舍弃永磁体、采用内外双线圈模组构成的音圈电机进行有效控制，解决了采用永磁体的音圈电机在高温等环境中无法维持稳定的问题，并且通过获取音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，联合期望力指令确定内线圈电流指令，最终实现了内线圈电磁力的闭环控制，提高了电机作用力的控制精度和控制范围，从而使得本申请控制的音圈电机能够应用到机器人手指等需要精密控制的场景中。

在一些实施例中，音圈电机控制方法中，步骤 S210 还包括：根据期望力指令确定外线圈力指令；根据外线圈力指令确定外线圈电流指令；获取外线圈电流反馈信息，根据外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息确定外线圈驱动指令；根据外线圈驱动指令驱动外线圈模组产生外线圈电磁力。

图 3 示出了根据本申请一个实施例的控制原理图，其中，外线圈电磁力与内线圈电磁力的控制相互独立。

在外线圈电磁力的控制方面，需要先确定外线圈力指令，例如，外线圈力指令 F_o 可由期望力指令 F_r 计算得到： $F_o = \alpha \cdot F_r$ ，其中， α 表示转换系数，即表示外线圈电磁力的期望值与电机作用力的期望值的转换关系。在这种情况下，根据对电机作用力的需求不同，外线圈电磁场也会适应变化，从而方便内线圈电磁力的控制。

然后，将外线圈力指令输入到力开环控制器，生成外线圈电流指令，将生成的外线圈电流指令输入到外线圈电流控制器中，也就是基于与前述实施例相类似的考虑，通过外线圈电流反馈信息来对外线圈电流进行更精确的控制。

外线圈电流控制器根据外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息，确定外线圈驱动指令，从而驱动外线圈模组产生外线圈电磁力。

具体地，在一些实施例中，音圈电机控制方法中，根据外线圈力指令确定外线圈电流指令包括：根据外线圈模组的线圈长度、圈数、磁极面积和磁导率，以及外线圈力指令，确定外线圈电流指令。

具体的，采用下述计算公式，来得到外线圈电流指令 I_o ：

外线圈电流指令 $I_o = \sqrt{2F_o l^2 / \mu A N^2}$ ，其中， F_o 为外线圈力指令， l 表示外线圈模组的线圈长度， μ 表示磁导率， A 表示外线圈模组的磁极面积， N 表示外线圈模组的线圈圈数。

在一些实施例中，音圈电机控制方法中，根据外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息确定外线圈驱动指令包括：根据外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息，确定外线圈电流差值；将外线圈电流差值分别与外线圈电流环比例增益、外线圈电流环积分增益及外线圈电流环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值确定外线圈驱动指令。

具体地，可以根据 PID（比例、积分、微分）控制算法来确定外线圈驱动指令，即图 3 中的外线圈电流控制器可以包含比例控制器、积分控制器和微分控制器。例如，根据外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息确定外线圈电流差值 ΔI_o ，则可以采用下述计算公式，来得到外线圈驱动指令 U_o ：

外线圈驱动指令 $U_o = K_{P_o} \cdot \Delta I_o + K_{I_o} \cdot \int \Delta I_o + K_{D_o} \cdot \dot{\Delta I_o}$ ，其中， K_{P_o} 为外线圈电流环比例增益， K_{I_o} 为外线圈电流环积分增益， K_{D_o} 为外线圈电流环微分增益。

在一些实施例中，音圈电机控制方法中，步骤 S220 还包括：根据期望力指令和力反馈信息确定力差值；将力差值分别与力闭环比例增益、力闭环积分增益及力闭环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值和期望力指令，确定内线圈电流指令。

参照图 3，期望力指令和力反馈信息输入到力闭环控制器中，得到内线圈电流指令。具体地，力闭环控制器也可以包含比例控制器、积分控制器和微分控制器，根据期望力指令和力反馈信息确定力差值 ΔF ，则可以采用下述计算公式，来得到内线圈电流指令 I_i ：

内线圈电流指令 $I_i = J \cdot F_a + (K_{P_F} \cdot \Delta F + K_{I_F} \cdot \int \Delta F + K_{D_F} \cdot \dot{\Delta F})$ ，其中， J 为预设的转换系数， F_a 为期望力指令， K_{P_F} 为力闭环比例增益， K_{I_F} 为力闭环积分增益， K_{D_F} 为力闭环微分增益。

在一些实施例中，音圈电机控制方法中，步骤 S230 还包括：获取内线圈电

流反馈信息；根据内线圈电流指令和内线圈电流反馈信息确定内线圈驱动指令；根据内线圈驱动指令，驱动音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力。

参照图 3，基于与前述实施例相类似的考虑，通过获取内线圈电流反馈信息，从而对内线圈电流进行更精确的控制，从而使得产生的内线圈电磁力更符合期望值。内线圈电流指令和内线圈电流反馈信息输入到内线圈电流控制器中，得到内线圈驱动指令，从而驱动音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力。

具体地，在一些实施例中，音圈电机控制方法中，根据内线圈电流指令和内线圈电流反馈信息确定内线圈驱动指令包括：根据内线圈电流指令和内线圈电流反馈信息，确定内线圈电流差值；将内线圈电流差值分别与内线圈电流环比例增益、内线圈电流环积分增益及内线圈电流环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值确定内线圈驱动指令。

参照图 3，内线圈电流控制器也可以包含比例控制器、积分控制器和微分控制器，根据内线圈电流指令和内线圈电流反馈信息，确定内线圈电流差值 ΔI_i ；则可以采用下述计算公式，来得到内线圈驱动指令 U_i ：

内线圈驱动指令 $U_i = K_{P_i} \cdot \Delta I_i + K_{I_i} \cdot \int \Delta I_i + K_{D_i} \cdot \dot{\Delta I_i}$ ，其中， K_{P_i} 为内线圈电流环比例增益， K_{I_i} 为内线圈电流环积分增益， K_{D_i} 为内线圈电流环微分增益。

根据图 3 可知，采用外线圈模组和内线圈模组电磁力同步控制的方式，通过控制外线圈电磁力大小，控制外线圈电磁场的磁感应强度，使内线圈电磁力能够处于外线圈电磁场的最优位置，从而提升电机作用力的准确性。

图 4 示出了根据本申请一个实施例的音圈电机控制装置的结构示意图，该音圈电机控制装置可以控制如上述实施例所述的音圈电机。如图 4 所示，音圈电机控制装置 400 包括：

外线圈控制单元 410，用于驱动音圈电机的外线圈模组产生外线圈电磁力。

在一些实施例中，可以使外线圈模组产生固定的外线圈电磁力，即使外线圈模组产生稳定的电磁场，由此克服了永磁体磁场在高温、高热、撞击等场景中容易改变的问题。

在另一些实施例中，也可以使外线圈模组产生的外线圈电磁力与内线圈模组产生的内线圈电磁力相适应，以提高内线圈电磁力的控制精度。

内线圈控制单元 420，用于根据期望力指令，以及根据音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，确定内线圈电流指令；以及根据内线圈电流指令，驱动音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力。

期望力指令可以指示需要音圈电机产生的电机作用力的大小，即表征电机作用力的期望值。可以根据实际场景的需求来确定具体数值，例如，利用规划软件按照工艺需求来生成期望力指令，如利用的生成期望力指令可以得到一条随时间变化的力指令轨迹。

然而，执行机构产生的电机作用力很难与期望力指令完全匹配，可能存在一定误差，为了提高在精密需求场景下的控制精度，可以采用力闭环控制，即根据期望力指令和力反馈信息，来确定内线圈电流指令。

由于内线圈电磁力是根据内线圈电流大小而变化的，因此，确定了内线圈电流指令，也就能够驱动音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力。

执行单元 430，用于根据外线圈电磁力和内线圈电磁力，使执行机构产生电机作用力。

可见，图 4 所示的装置，能够对舍弃永磁体、采用内外双线圈模组构成的音圈电机进行有效控制，解决了采用永磁体的音圈电机在高温等环境中无法维持稳定的问题，并且通过获取音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，联合期望力指令确定内线圈电流指令，最终实现了内线圈电磁力的闭环控制，提高了电机作用力的控制精度和控制范围，从而使得本申请控制的音圈电机能够应用到机器人手指等需要精密控制的场景中。

在一些实施例中，音圈电机控制装置中，外线圈控制单元 410，用于根据期望力指令确定外线圈力指令；根据外线圈力指令确定外线圈电流指令；获取外线圈电流反馈信息，根据外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息确定外线圈驱动指令；根据外线圈驱动指令驱动外线圈模组产生外线圈电磁力。

在一些实施例中，音圈电机控制装置中，外线圈控制单元 410，用于根据外

线圈模组的线圈长度、圈数、磁极面积和磁导率，以及外线圈力指令，确定外线圈电流指令。

在一些实施例中，音圈电机控制装置中，外线圈控制单元 410，用于根据外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息，确定外线圈电流差值；将外线圈电流差值分别与外线圈电流环比例增益、外线圈电流环积分增益及外线圈电流环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值确定外线圈驱动指令。

在一些实施例中，音圈电机控制装置中，内线圈控制单元 420，用于根据期望力指令和力反馈信息确定力差值；将力差值分别与力闭环比例增益、力闭环积分增益及力闭环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值和期望力指令，确定内线圈电流指令。

在一些实施例中，音圈电机控制装置中，内线圈控制单元 420，用于获取内线圈电流反馈信息；根据内线圈电流指令和内线圈电流反馈信息确定内线圈驱动指令；根据内线圈驱动指令，驱动音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力。

在一些实施例中，音圈电机控制装置中，内线圈控制单元 420，用于根据内线圈电流指令和内线圈电流反馈信息，确定内线圈电流差值；将内线圈电流差值分别与内线圈电流环比例增益、内线圈电流环积分增益及内线圈电流环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值确定内线圈驱动指令。

能够理解，上述音圈电机控制装置，能够实现前述实施例中提供的音圈电机控制方法的各个步骤，关于音圈电机控制方法的相关阐释均适用于音圈电机控制装置，此处不再赘述。

图 5 示出了根据本申请实施例的一种音圈电机控制系统的结构示意图，如图 5 所示，音圈电机控制系统 500 包括用于产生期望力指令的指令规划单元 510，控制器 520，驱动器 530，线圈模组 540，执行机构 550 和力传感器 560，其中控制器 520 包含外线圈控制器 521 和内线圈控制器 522，驱动器 530 包括外线圈驱动器 531 和内线圈驱动器 532，线圈模组 540 包括外线圈 541 和内线圈 542。可以看出，外线圈控制器 521 与外线圈驱动器 531 形成图 4 中的外线圈控制单元 410，内线圈控制器 522 与内线圈驱动器 532 形成图 4 中的内线圈控制单元

420。

综上所述，本申请的技术方案，能够对舍弃永磁体、采用内外双线圈模组构成的音圈电机进行有效控制，解决了采用永磁体的音圈电机在高温等环境中无法维持稳定的问题，并且通过获取音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，联合期望力指令确定内线圈电流指令，最终实现了内线圈电磁力的闭环控制，提高了电机作用力的控制精度和控制范围，从而使得本申请控制的音圈电机能够应用到机器人手指等需要精密控制的场景中。而且，外线圈电磁场也可以根据实际需求进行控制，使得外线圈电磁力与内线圈电磁力相适应，进一步提高内线圈电磁力的控制精度。

以上所述仅为本申请的实施例而已，并不用于限制本申请。对于本领域技术人员来说，本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的权利要求范围之内。

权利要求

1、一种音圈电机控制方法，其中，采用由内线圈模组和外线圈模组构成的音圈电机，将所述内线圈模组设置在所述外线圈模组内，在所述内线圈模组与所述外线圈模组间形成可供所述内线圈模组移动的气隙，该方法还包括：

驱动音圈电机的外线圈模组产生外线圈电磁力；

根据期望力指令，以及根据所述音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，确定内线圈电流指令；

根据所述内线圈电流指令，驱动所述音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力；

根据所述外线圈电磁力和所述内线圈电磁力，使所述执行机构产生电机作用力。

2、如权利要求1所述的方法，其中，所述驱动音圈电机的外线圈模组产生外线圈电磁力包括：

根据所述期望力指令确定外线圈力指令；

根据所述外线圈力指令确定外线圈电流指令；

获取外线圈电流反馈信息，根据所述外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息确定外线圈驱动指令；

根据所述外线圈驱动指令驱动所述外线圈模组产生外线圈电磁力。

3、如权利要求2所述的方法，其中，所述根据所述外线圈力指令确定外线圈电流指令包括：

根据外线圈模组的线圈长度、圈数、磁极面积和磁导率，以及所述外线圈力指令，确定外线圈电流指令。

4、如权利要求2所述的方法，其中，所述根据所述外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息确定外线圈驱动指令包括：

根据所述外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息，确定外线圈电流差值；

将所述外线圈电流差值分别与外线圈电流环比例增益、外线圈电流环积分增益及外线圈电流环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值确定外线圈驱动指令。

5、如权利要求1所述的方法，其中，所述根据期望力指令，以及根据所述音圈电机的执行机构发送的力反馈信息，确定内线圈电流指令包括：

根据期望力指令和力反馈信息确定力差值；

将所述力差值分别与力闭环比例增益、力闭环积分增益及力闭环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值和所述期望力指令，确定内线圈电流指令。

6、如权利要求1所述的方法，其中，所述根据所述内线圈电流指令，驱动所述音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力包括：

获取内线圈电流反馈信息；

根据所述内线圈电流指令和所述内线圈电流反馈信息确定内线圈驱动指令；

根据所述内线圈驱动指令，驱动所述音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力。

7、如权利要求6所述的方法，其中，所述根据所述内线圈电流指令和所述内线圈电流反馈信息确定内线圈驱动指令包括：

根据所述内线圈电流指令和所述内线圈电流反馈信息，确定内线圈电流差值；

将所述内线圈电流差值分别与内线圈电流环比例增益、内线圈电流环积分增益及内线圈电流环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值确定内线圈驱动指令。

8、一种音圈电机控制装置，其中，所述音圈电机由内线圈模组和外线圈模组构成，所述内线圈模组设置在所述外线圈模组内，所述内线圈模组与所述外线圈模组间形成可供所述内线圈模组移动的气隙；该装置包括：

外线圈控制单元，用于驱动音圈电机的外线圈模组产生外线圈电磁力；

内线圈控制单元，用于根据期望力指令，以及根据所述音圈电机的执行机

构发送的力反馈信息，确定内线圈电流指令；以及根据所述内线圈电流指令，驱动所述音圈电机的内线圈模组产生内线圈电磁力；

执行单元，用于根据所述外线圈电磁力和所述内线圈电磁力，使所述执行机构产生电机作用力。

9、如权利要求 8 所述的装置，其中，

所述外线圈控制单元，用于根据期望力指令确定外线圈力指令；根据外线圈力指令确定外线圈电流指令；获取外线圈电流反馈信息，根据外线圈电流指令和外线圈电流反馈信息确定外线圈驱动指令；根据外线圈驱动指令驱动外线圈模组产生外线圈电磁力。

10、如权利要求 8 所述的装置，其中，

所述内线圈控制单元，用于根据期望力指令和力反馈信息确定力差值；将力差值分别与力闭环比例增益、力闭环积分增益及力闭环微分增益进行相应运算，利用得到的各运算值和期望力指令，确定内线圈电流指令。

11、如权利要求 8 所述的装置，其中，

所述内线圈控制单元，用于获取内线圈电流反馈信息；根据内线圈电流指令和内线圈电流反馈信息确定内线圈驱动指令；根据内线圈驱动指令，驱动音圈。

12、一种音圈电机，其中，包括基座、可移动的内线圈模组、外线圈模组和执行机构；

所述外线圈模组嵌设于所述基座上，所述内线圈模组设置在所述外线圈模组内，所述内线圈模组与所述外线圈模组间形成可供所述内线圈模组移动的气隙；

所述执行机构与所述内线圈模组连接；

所述外线圈模组可响应于如权利要求 8 所述的音圈电机控制装置而产生外线圈电磁力，所述内线圈模组可响应于如权利要求 8 所述的音圈电机控制装置而产生内线圈电磁力，从而使所述执行机构根据所述外线圈电磁力和所述内线圈电磁力产生电机作用力。

13、如权利要求 12 所述的音圈电机，其中，所述执行机构的末端设置有力传感器，用于生成力反馈信息并发送给所述音圈电机控制装置。

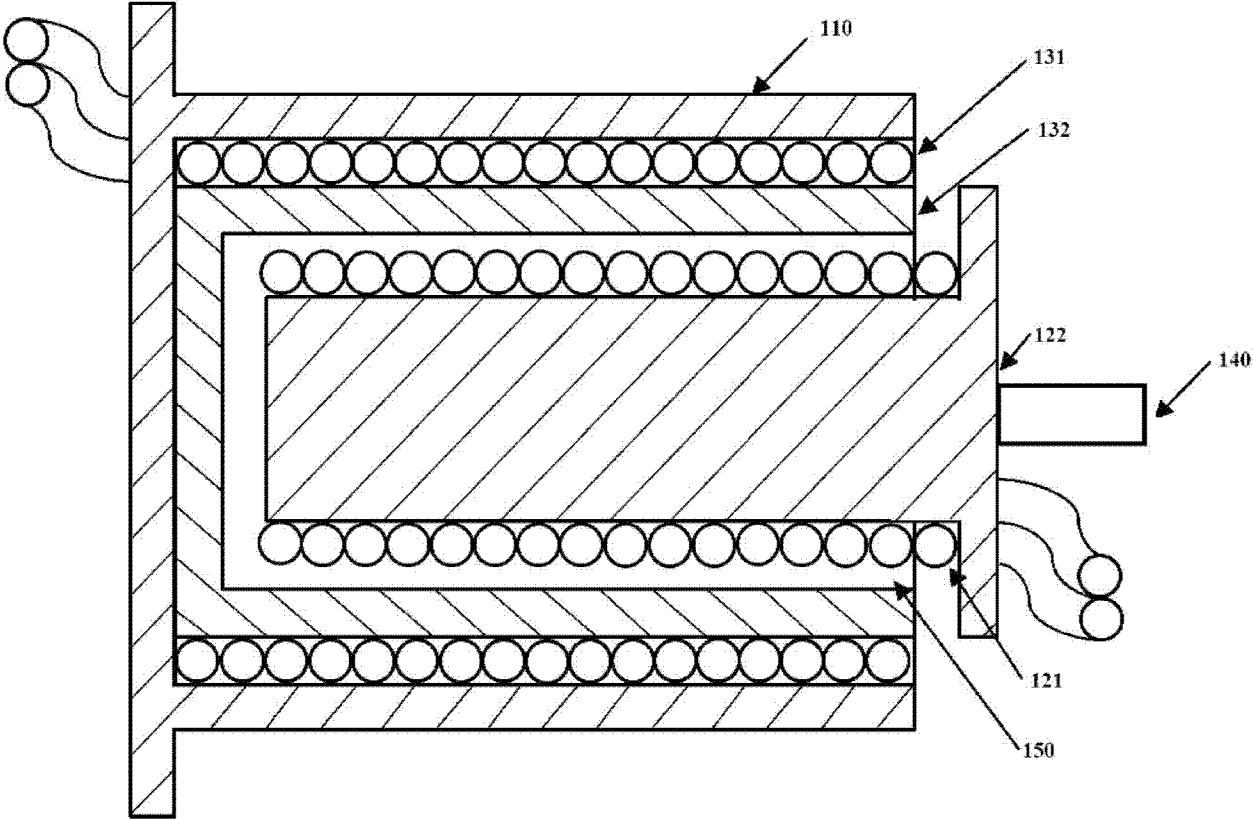


图 1

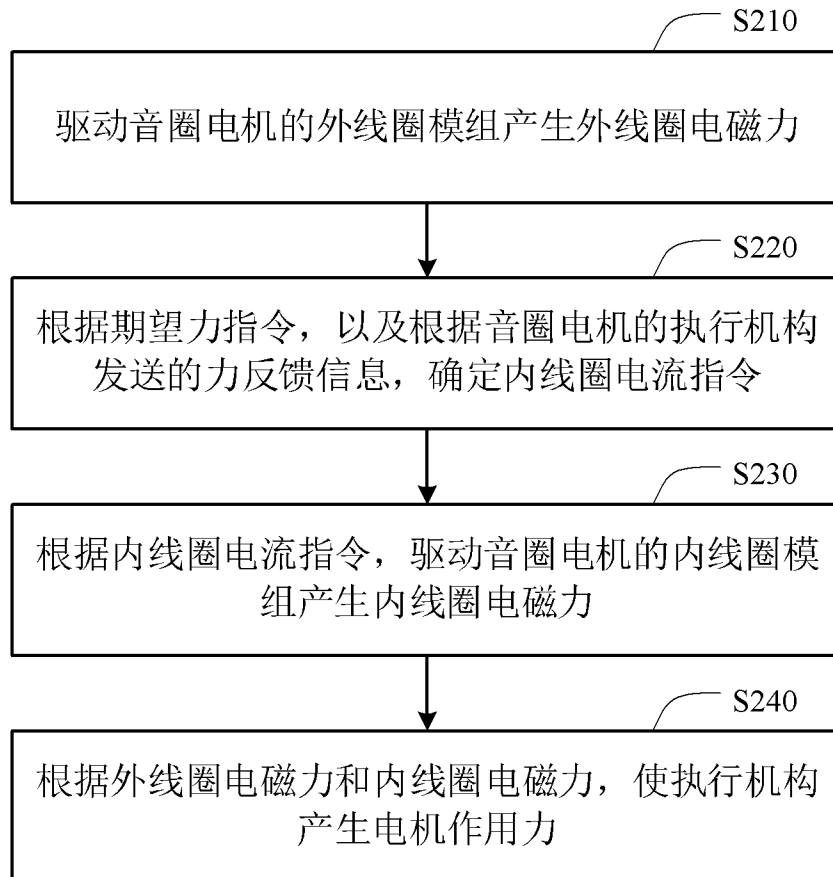


图 2

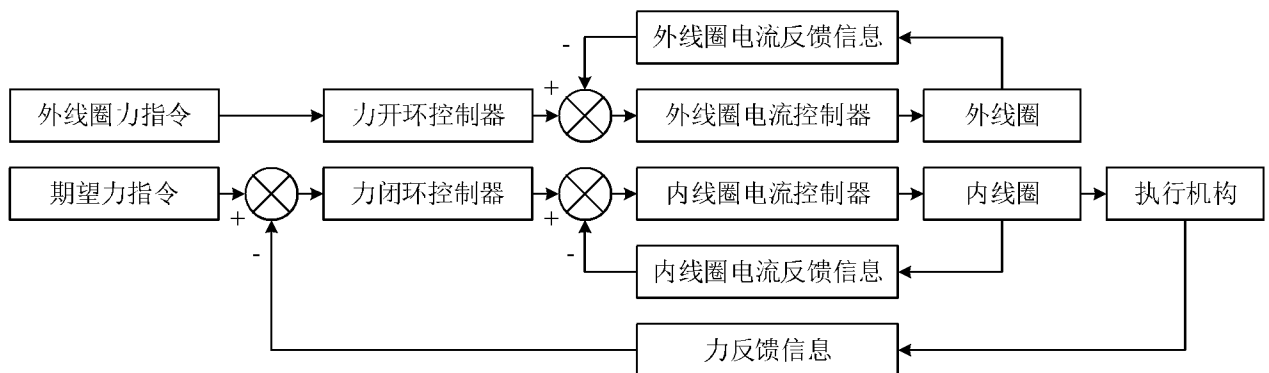


图 3

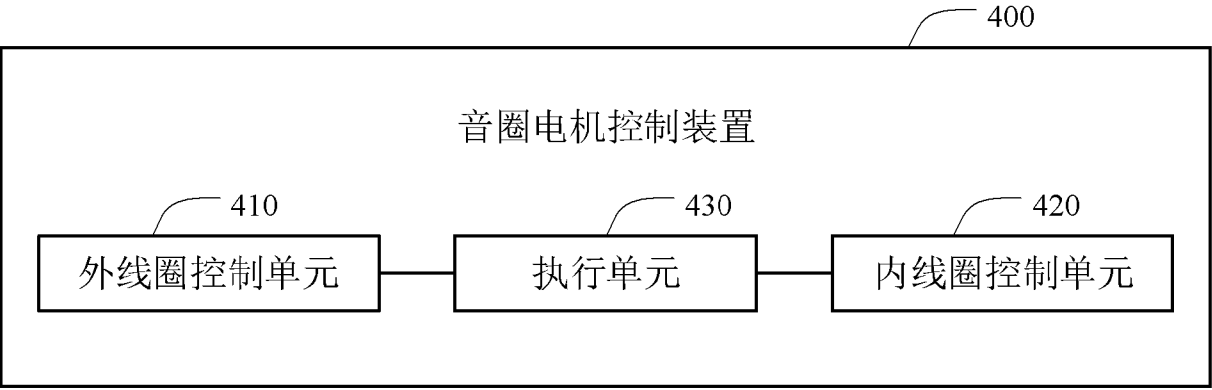


图 4

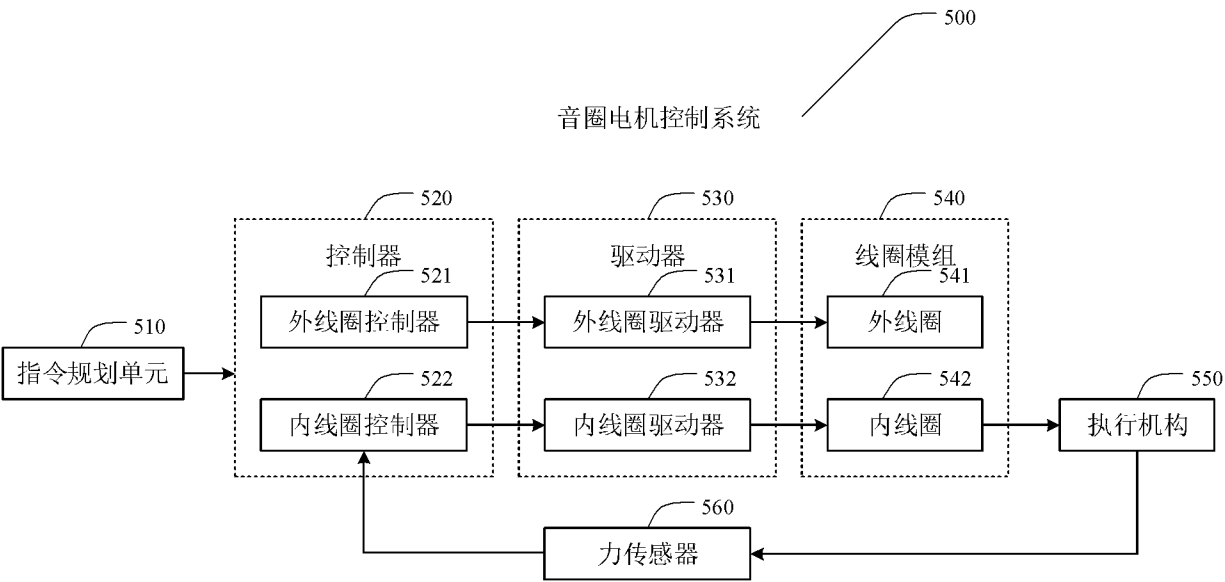


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/131366

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 25/034(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)

DWPI, SIPOABS, CNTXT, CNABS, EPTXT, WOTXT, USTXT, CNKI: 绕组, 线圈, 马达, 电机, 外线圈, 内线圈, 动子, 转子, 电流, 控制, 异步, 感应, 反馈, 指令, 交流, 定子; coil, winding, motor, rotor, current, controll, asynchronous, induction, feedback, instruction, alternating, stator

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 201234176 Y (ORCHID RADIO CO., LTD.) 06 May 2009 (2009-05-06) description, specific embodiments, and figures 1-3	1, 6-8, 12
Y	CN 201234176 Y (ORCHID RADIO CO., LTD.) 06 May 2009 (2009-05-06) description, specific embodiments, and figures 1-3	2-5, 9-11, 13
X	CN 1144988 A (WU, Jialin) 12 March 1997 (1997-03-12) description, specific embodiments, and figure 1	1, 6-8, 12
Y	CN 111478631 A (NANJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 31 July 2020 (2020-07-31) description, specific embodiments, and figures 1-3	2-5, 9-11, 13
PX	CN 113162512 A (GOERTEK INC.) 23 July 2021 (2021-07-23) claims 1-13	1-13
A	GB 0520725 D0 (SUXE INTERNAT LTD) 23 November 2005 (2005-11-23) entire document	1-13
A	CN 111404436 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 10 July 2020 (2020-07-10) entire document	1-13



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

09 January 2022

Date of mailing of the international search report

28 January 2022

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/CN2021/131366

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	201234176	Y	06 May 2009	None			
CN	1144988	A	12 March 1997	None			
CN	111478631	A	31 July 2020	CN	111478631	B	17 August 2021
CN	113162512	A	23 July 2021	None			
GB	0520725	D0	23 November 2005	GB	2431294	A	18 April 2007
				GB	2431294	B	15 April 2009
CN	111404436	A	10 July 2020	CN	211791342	U	27 October 2020

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/131366

A. 主题的分类 H02P 25/034(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)) DWPI, SIPOABS, CNTXT, CNABS, EPTXT, WOTXT, USTXT, CNKI:绕组, 线圈, 马达, 电机, 外线圈, 内线圈, 动子, 转子, 电流, 控制, 异步, 感应, 反馈, 指令, 交流, 定子; coil, winding, motor, rotor, current, controll, asynchronous, induction, feedback, instruction, alternating, stator																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 201234176 Y (兰记股份有限公司) 2009年5月6日 (2009 - 05 - 06) 说明书具体实施方式, 图1-3</td> <td>1, 6-8, 12</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 201234176 Y (兰记股份有限公司) 2009年5月6日 (2009 - 05 - 06) 说明书具体实施方式, 图1-3</td> <td>2-5, 9-11, 13</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 1144988 A (吴加林) 1997年3月12日 (1997 - 03 - 12) 说明书具体实施方式, 图1</td> <td>1, 6-8, 12</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 111478631 A (南京工程学院) 2020年7月31日 (2020 - 07 - 31) 说明书具体实施方式, 图1-3</td> <td>2-5, 9-11, 13</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 113162512 A (歌尔股份有限公司) 2021年7月23日 (2021 - 07 - 23) 权利要求1-13</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>GB 0520725 D0 (SUKE INTERNAT LTD) 2005年11月23日 (2005 - 11 - 23) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 111404436 A (西安交通大学) 2020年7月10日 (2020 - 07 - 10) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 201234176 Y (兰记股份有限公司) 2009年5月6日 (2009 - 05 - 06) 说明书具体实施方式, 图1-3	1, 6-8, 12	Y	CN 201234176 Y (兰记股份有限公司) 2009年5月6日 (2009 - 05 - 06) 说明书具体实施方式, 图1-3	2-5, 9-11, 13	X	CN 1144988 A (吴加林) 1997年3月12日 (1997 - 03 - 12) 说明书具体实施方式, 图1	1, 6-8, 12	Y	CN 111478631 A (南京工程学院) 2020年7月31日 (2020 - 07 - 31) 说明书具体实施方式, 图1-3	2-5, 9-11, 13	PX	CN 113162512 A (歌尔股份有限公司) 2021年7月23日 (2021 - 07 - 23) 权利要求1-13	1-13	A	GB 0520725 D0 (SUKE INTERNAT LTD) 2005年11月23日 (2005 - 11 - 23) 全文	1-13	A	CN 111404436 A (西安交通大学) 2020年7月10日 (2020 - 07 - 10) 全文	1-13
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
X	CN 201234176 Y (兰记股份有限公司) 2009年5月6日 (2009 - 05 - 06) 说明书具体实施方式, 图1-3	1, 6-8, 12																								
Y	CN 201234176 Y (兰记股份有限公司) 2009年5月6日 (2009 - 05 - 06) 说明书具体实施方式, 图1-3	2-5, 9-11, 13																								
X	CN 1144988 A (吴加林) 1997年3月12日 (1997 - 03 - 12) 说明书具体实施方式, 图1	1, 6-8, 12																								
Y	CN 111478631 A (南京工程学院) 2020年7月31日 (2020 - 07 - 31) 说明书具体实施方式, 图1-3	2-5, 9-11, 13																								
PX	CN 113162512 A (歌尔股份有限公司) 2021年7月23日 (2021 - 07 - 23) 权利要求1-13	1-13																								
A	GB 0520725 D0 (SUKE INTERNAT LTD) 2005年11月23日 (2005 - 11 - 23) 全文	1-13																								
A	CN 111404436 A (西安交通大学) 2020年7月10日 (2020 - 07 - 10) 全文	1-13																								
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
<table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> “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 </td> </tr> </table>			* 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																						
* 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 2022年1月9日		国际检索报告邮寄日期 2022年1月28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		授权官员 周清霞 电话号码 (86-27)-59371881																								

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/131366

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	201234176	Y	2009年5月6日	无	
CN	1144988	A	1997年3月12日	无	
CN	111478631	A	2020年7月31日	CN	111478631 B 2021年8月17日
CN	113162512	A	2021年7月23日	无	
GB	0520725	D0	2005年11月23日	GB	2431294 A 2007年4月18日
				GB	2431294 B 2009年4月15日
CN	111404436	A	2020年7月10日	CN	211791342 U 2020年10月27日