



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113400322 B

(45) 授权公告日 2022. 06. 03

(21) 申请号 202110652399.1

A61B 34/30 (2016.01)

(22) 申请日 2021.06.11

H05K 9/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 黄俊境

申请公布号 CN 113400322 A

(43) 申请公布日 2021.09.17

(73) 专利权人 北京精准医械科技有限公司

地址 100083 北京市海淀区王庄路1号院清

华同方科技大厦B座29层2970号

(72) 发明人 王大庆

(74) 专利代理机构 北京竹辰知识产权代理事务

所(普通合伙) 11706

专利代理师 陈龙

(51) Int. Cl.

B25J 11/00 (2006.01)

B25J 19/00 (2006.01)

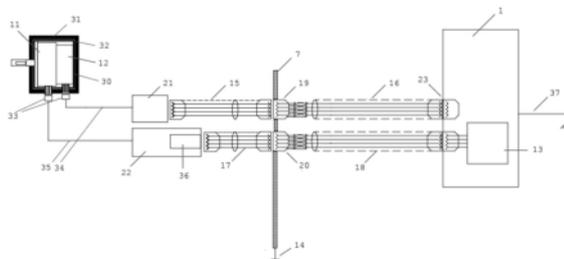
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种磁共振兼容的机器人系统

(57) 摘要

本公开实施例中提供了一种磁共振兼容的机器人系统,属于医疗机器人技术领域,该机器人系统包括机器人本体、控制柜和线缆,所述控制柜经由所述线缆控制所述机器人本体的操作,所述机器人本体包括电机和编码器,所述电机和编码器的外部依次设置有绝缘膜、金属屏蔽层和绝缘壳。通过本公开的处理方案,可以提高机器人系统与MRI系统的兼容性,大大降低MRI图像上的噪声和伪影,从而实现实时影像引导的介入手术。



1. 一种磁共振兼容的机器人系统,包括机器人本体(4)、控制柜(1)和线缆(6),所述控制柜(1)经由所述线缆(6)控制所述机器人本体(4)的操作,其特征在于,

所述机器人本体(4)包括电机(11)和编码器(12),所述电机(11)和编码器(12)的外部依次设置有绝缘膜(30)、金属屏蔽层(32)和绝缘壳(31),

其中所述线缆(6)包括用于通讯的通讯线缆(15,16)和用于电机驱动的电机驱动线缆(17,18),

所述电机驱动线缆(17,18)由内至外依次包括导线(27)、设置于所述导线(27)外的导线绝缘层(28)、覆盖于所述导线绝缘层(28)的电机驱动线缆内屏蔽层(26)、设置于所述电机驱动线缆内屏蔽层(26)外的外屏蔽层(25)以及设置于所述外屏蔽层(25)外的外绝缘层(24),

所述通讯线缆(15,16)由内至外依次包括双绞线(29),其中所述双绞线(29)中的每根导线(27)外设置有导线绝缘层(28),设置于所述双绞线(29)外的通讯线缆内屏蔽层(41)、设置于所述通讯线缆内屏蔽层(41)外的外屏蔽层(25)以及设置于所述外屏蔽层(25)外的外绝缘层(24),并且

所述电机驱动线缆内屏蔽层(26)为金属箔和金属编织网的双重屏蔽层,所述通讯线缆内屏蔽层(41)为金属箔,所述电机驱动线缆和通讯线缆的外屏蔽层(25)为金属编织网。

2. 根据权利要求1所述的磁共振兼容的机器人系统,其特征在于,所述绝缘膜(30)为覆盖在所述电机(11)和所述编码器(12)外部的绝缘涂料,并且所述金属屏蔽层(32)为覆盖在所述绝缘壳(31)内部的金属屏蔽膜。

3. 根据权利要求1所述的磁共振兼容的机器人系统,其特征在于,所述线缆(6)包括位于所述机器人本体(4)内部的编码器屏蔽线缆(34)和电机驱动屏蔽线缆(35),所述编码器屏蔽线缆(34)和所述电机驱动屏蔽线缆(35)均采用柔性印刷电路板技术制成。

4. 根据权利要求3所述的磁共振兼容的机器人系统,其特征在于,所述编码器屏蔽线缆(34)经由编码器跳线盒(21)与所述通讯线缆(15,16)连接,并且所述电机驱动屏蔽线缆(35)经由电机驱动跳线盒(22)与所述电机驱动线缆(17,18)连接。

5. 根据权利要求4所述的磁共振兼容的机器人系统,其特征在于,所述电机驱动屏蔽线缆(35)在所述电机驱动跳线盒(22)一端集成有谐波滤波器(36),用于调整所述电机(11)的电气性能。

6. 根据权利要求4所述的磁共振兼容的机器人系统,其特征在于,所述通讯线缆(15,16)和用于电机驱动的电机驱动线缆(17,18)分别经由低通滤波器(19,20)、专用接地(14)和屏蔽墙(7)连接到所述控制柜(1),并且所述低通滤波器(19,20)被设置于所述屏蔽墙(7)内。

7. 根据权利要求6所述的磁共振兼容的机器人系统,其特征在于,所述外屏蔽层(25)、所述电机驱动线缆内屏蔽层(26)、所述通讯线缆内屏蔽层(41)、所述低通滤波器(19,20)的外壳与专用接地(14)连接,其中所述专用接地(14)经由屏蔽墙(7)接地。

8. 根据权利要求1所述的磁共振兼容的机器人系统,其特征在于,所述控制柜(1)具有铝制外壳,并且所述铝制外壳连接到保护接地(37)。

9. 根据权利要求1所述的磁共振兼容的机器人系统,其特征在于,所述机器人系统还包括驱动器(13),所述驱动器(13)用于驱动所述电机(11),所述驱动器(13)包括控制器(38)

和线性功率放大电路,所述控制器(38)用于产生驱动信号,并且所述线性功率放大电路对所述驱动信号进行线性功率放大。

10. 根据权利要求9所述的磁共振兼容的机器人系统,其特征在于,所述线性功率放大电路包括偏置电路(39)和放大电路(40),所述偏置电路(39)用于隔离各放大电路(40)的直流电压成分并为所述放大电路(40)提供偏置电压,所述放大电路(40)用于将所述驱动信号进行放大。

## 一种磁共振兼容的机器人系统

### 技术领域

[0001] 本公开涉及医疗机器人技术领域,尤其涉及一种磁共振兼容的机器人系统,特别涉及磁共振环境下机器人系统的电路屏蔽保护系统。

### 背景技术

[0002] 磁共振成像(MRI)在任意方向上均具有出色的软组织对比度和空间分辨率,与计算机断层扫描(CT)相比,MRI的辐射危害小。此外,MRI图像可用于检查体内组织特性以及观察手术器械在体内的位置。以肝癌为例,MRI可以识别直径小于20毫米的病灶,而超声和CT很难定位这样的小病灶。基于MRI引导的机器人微创手术已经成为一种越来越广泛的应用和迫切的需求。

[0003] 但是,目前市场上适用于MRI环境的介入手术机器人产品非常有限。其原因在于开发MRI引导的手术机器人所面临的多个挑战。例如,MRI双向兼容性的要求:一方面,机器人的电气系统不能干扰MRI的扫描功能也不能造成图像伪影,另一方面,MRI设备具有的磁场、梯度场、射频场等不能干扰机器人电气系统的正常使用。再如,MRI扫描孔的空间限制是对手术机器人电气设计的巨大挑战。为了满足MRI兼容性要求,需要考虑电子元器件的布局和电气屏蔽措施。

[0004] 在专利文献US8,275,443B2中,机器人和序列扫描不能同时运行:一旦电机通电,MRI图像的质量就下降,出现噪声和伪影。如果电机运行,则MRI图像质量的下降程度还会增加。原因在于,尽管超声电机适用于MRI环境,但是控制电机运行的驱动电子元器件通常会在MRI图像上产生噪声。通常,当电机驱动器电子元器件通电时,它们会产生射频噪声。另外,用于电机驱动和通信的长线缆可以充当发射干扰MR成像过程的射频信号天线。这种干扰以在MRI图像上的噪声和伪影的形式出现。这是阻碍超声电机与MRI扫描同时运行的典型难题。广泛接受的解决方案是在序列扫描停止时运行电机,反之亦然。但是,这种方法无法实现实时介入手术。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本公开实施例提供一种磁共振兼容的机器人系统,至少部分解决现有技术中存在的问题。

[0006] 本发明提供了一种磁共振兼容的机器人系统,包括机器人本体、控制柜和线缆,所述控制柜经由所述线缆控制所述机器人本体的操作,所述机器人本体包括电机和编码器,所述电机和编码器的外部依次设置有绝缘膜、金属屏蔽层和绝缘壳。

[0007] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述绝缘膜为覆盖在所述电机和所述编码器外部的绝缘涂料,并且所述金属屏蔽层为覆盖在所述绝缘壳内部的金属屏蔽膜。

[0008] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述线缆包括位于所述机器人本体内部的编码器屏蔽线缆和电机驱动屏蔽线缆,所述编码器屏蔽线缆和所述电机驱动屏蔽线缆均采用柔性印刷电路板技术制成。

[0009] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述线缆包括用于通讯的通讯线缆和用于电机驱动的电机驱动线缆,所述编码器屏蔽线缆经由编码器跳线盒与所述通讯线缆连接,并且所述电机驱动屏蔽线缆经由电机驱动跳线盒与所述电机驱动线缆连接。

[0010] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述电机驱动屏蔽线缆在所述电机驱动跳线盒一端集成有谐波滤波器,用于调整所述电机的电气性能。

[0011] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述通讯线缆和用于电机驱动的电机驱动线缆分别经由低通滤波器、专用接地和屏蔽墙连接到所述控制柜,并且所述低通滤波器被设置于所述屏蔽墙内。

[0012] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述电机驱动线缆由内至外依次包括导线、设置于所述导线外的导线绝缘层、覆盖于所述导线绝缘层的内屏蔽层、设置于所述内屏蔽层外的外屏蔽层以及设置于所述外屏蔽层外的外绝缘层。

[0013] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述通讯线缆由内至外依次包括双绞线,其中所述双绞线中的每根导线外设置有导线绝缘层,设置于所述双绞线外的内屏蔽层、设置于所述内屏蔽层外的外屏蔽层以及设置于所述外屏蔽层外的外绝缘层。这两层屏蔽构成双屏蔽层。

[0014] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述内屏蔽层和所述双屏蔽层为金属箔和金属编织网的双重屏蔽层。

[0015] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述外屏蔽层、所述内屏蔽层、所述双屏蔽层与专用接地连接。

[0016] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述低通滤波器的外壳为导电性能良好的金属,并与专用接地连接。根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述控制柜具有铝制外壳,并且所述铝制外壳连接到保护接地。

[0017] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述机器人系统还包括驱动器,所述驱动器用于驱动所述电机,所述驱动器包括控制器和线性功率放大电路,所述控制器用于产生驱动信号,并且所述线性功率放大电路对所述驱动信号进行线性功率放大。

[0018] 根据本发明实施例的一种具体实现方式,所述线性功率放大电路包括偏置电路和放大电路,所述偏置电路用于隔离各放大电路的直流电压成分并为所述放大电路提供偏置电压,所述放大电路用于将所述驱动信号进行放大。

[0019] 本公开实施例中的磁共振兼容的机器人系统包括机器人本体、控制柜和线缆,所述控制柜经由所述线缆控制所述机器人本体的操作,所述机器人本体包括电机和编码器,所述电机和编码器的外部依次设置有绝缘膜、金属屏蔽层和绝缘壳。通过本公开的处理方案,可以提高机器人系统与MRI系统的兼容性,大大降低MRI图像上的噪声和伪影,从而实现实时影像引导的介入手术。

## 附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本公开实施例的技术方案,下面将对实施例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公开的一些实施例,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获得其它的附图。

[0021] 图1为本发明实施例的机器人系统的系统架构和工作环境;

- [0022] 图2为本发明实施例的控制柜的结构示意图；
- [0023] 图3为本发明实施例的机器人系统的电气系统的屏蔽与接地示意图；
- [0024] 图4A为本发明实施例的电机驱动线缆的截面图；
- [0025] 图4B为本发明实施例的通信线缆的截面图；
- [0026] 图5是电机驱动器的电路原理图。
- [0027] 在图中,1-控制柜,2-工作站,3-MRI控制室,4-机器人本体,5-MRI扫描室,6-线缆,7-屏蔽墙,8-滤波器,9-MRI工作站,10-医生,11-电机,12-编码器,13-电机驱动器,14-专用接地,15/16-通讯线缆,17/18-电机驱动线缆,19/20-滤波器,21-编码器跳线盒,22-电机驱动线缆跳线盒,23-接口板,24-外绝缘层,25-外屏蔽层,26-电机驱动线缆内屏蔽层,27-导线,28-导线绝缘层,29-双绞线,30-绝缘膜,31-绝缘壳,32-金属屏蔽层,33-线缆接头外壳,34-编码器屏蔽线缆,35-电机驱动屏蔽线缆,36-谐波滤波器,37-保护接地,38-控制器,39-偏置电路,40-放大电路,41-通讯线缆内屏蔽层。

### 具体实施方式

[0028] 下面结合附图对本公开实施例进行详细描述。

[0029] 以下通过特定的具体实例说明本公开的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本公开的其他优点与功效。显然,所描述的实施例仅仅是本公开一部分实施例,而不是全部的实施例。本公开还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本公开的精神下进行各种修饰或改变。需说明的是,在不冲突的情况下,以下实施例及实施例中的特征可以相互组合。基于本公开中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本公开保护的范围。

[0030] 需要说明的是,下文描述在所附权利要求书的范围内的实施例的各种方面。应显而易见,本文中所描述的方面可体现于广泛多种形式中,且本文中所描述的任何特定结构及/或功能仅为说明性的。基于本公开,所属领域的技术人员应了解,本文中所描述的一个方面可与任何其它方面独立地实施,且可以各种方式组合这些方面中的两者或两者以上。举例来说,可使用本文中所阐述的任何数目个方面来实施设备及/或实践方法。另外,可使用除了本文中所阐述的方面中的一或多者之外的其它结构及/或功能性实施此设备及/或实践此方法。

[0031] 还需要说明的是,以下实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本公开的基本构想,图式中仅显示与本公开中有关的组件而非按照实际实施时的组件数目、形状及尺寸绘制,其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为一种随意的改变,且其组件布局型态也可能更为复杂。

[0032] 另外,在以下描述中,提供具体细节是为了便于透彻理解实例。然而,所属领域的技术人员将理解,可在没有这些特定细节的情况下实践所述方面。

[0033] 本发明提出的磁共振兼容的机器人系统能够满足电气系统的磁共振兼容,实现同时运行机器人系统和MRI扫描,有效降低系统运行过程中MRI图像中的噪声和伪影,从而实现实时影像引导的介入手术。

[0034] 接下来,参考附图,详细描述本发明的磁共振兼容的机器人系统。

### [0035] 整体设置

[0036] 首先,参考图1描述本发明实施例的机器人系统的系统架构和工作环境。根据本发明的机器人系统包括控制柜1、工作站2、机器人本体4、线缆6和滤波器8,其中工作站2与控制柜1通讯连接,控制柜1经由滤波器8通过线缆6与机器人本体4连接,以对机器人本体4的操作进行控制。

[0037] 此外,本发明的机器人系统可以与MRI系统配合,从而实现MRI系统引导下的机器人手术,其中MRI系统可以是常规的MRI系统,并且可以包括MRI设备和MRI工作站9。

[0038] 在本发明中,工作站2是机器人系统的操作控制台,它的实现方式可以是一台或多台具有用户交互界面的导航规划计算机。工作站2分别与控制柜1和MRI工作站9连接。在工作时,诸如手术医生10之类的操作者通过工作站2的用户交互界面向工作站2发出命令,工作站2将命令传输到控制柜1,控制柜1经由线缆6向机器人本体4提供动力和控制命令,使手术机器人4执行命令。应当理解,在本发明中,机器人系统和MRI系统还可以包括其他未示出的组件。

[0039] 图2示出了本发明的控制柜1的结构示意图。控制柜1包括作为控制单元的中央处理单元(CPU) 101。此外,控制柜1包括只读存储器(ROM) 102、随机存取存储器(RAM) 103和硬盘驱动器(HDD) 104。此外,控制柜1包括接口I/F 105。ROM 102、RAM 103、HDD 104和I/F 105经由总线连接到CPU 101。用于使CPU 101运行的基本程序被存储在ROM 102中。RAM 103是在其中临时存储诸如CPU 101的计算处理结果之类的各种数据的存储设备。HDD 104是在其中存储CPU 101的计算处理的结果的存储设备,并且还用于在其中记录用于使CPU 101执行各种控制的程序。CPU 101通过根据记录在HDD 104中的程序来控制机器人本体4的操作。

[0040] 在本发明中,为了减少MRI设备的强磁场等对于MRI设备自身电子设备(例如MRI工作站9)以及机器人系统的电子设备(例如电机驱动器13)的影响,MRI设备被置于MRI扫描室5内,MRI工作站9被置于MRI控制室3内,并且MRI扫描室5和MRI控制室3例如可以通过屏蔽墙7隔离,如此减少MRI扫描室5内的强磁场对于MRI控制室3内的电子设备的影响。也就是说,MRI设备与其控制设备被分离设置。

[0041] 而且,为了有效减少机器人系统的电子器件产生的电磁干扰和射频信号对于MRI系统的干扰,本发明将机器人系统的控制柜1和工作站2放置在MRI控制室3内,并将超声电机驱动的机器人本体4放置在MRI扫描室5内。也就是说,控制柜1、工作站2以及MRI工作站9被置于MRI控制室3内,并且机器人本体4和MRI设备被置于MRI扫描室5内,并且控制柜1与机器人本体4之间通过屏蔽的线缆6连接,如此通过尽可能减少MRI扫描室5内的电子器件,可以减少电磁干扰和射频信号干扰。

[0042] 在本发明中,机器人本体4的主要电气组件包括电机11与编码器12,控制柜1的主要电气组件包括电机驱动器13,线缆6可以包括用于通讯的通讯线缆和用于电机驱动的电机电驱动线缆。控制柜1和机器人本体4通过采用屏蔽措施的线缆6连接,线缆6经由滤波器8穿过MRI扫描室5和MRI控制室3之间的屏蔽墙7,并且滤波器8可以被嵌入屏蔽墙7内。如此,提高了空间的利用率并且尽可能减少了电磁干扰和射频信号干扰。更具体地,通过如此布置机器人系统的各个部件,可以提高机器人系统与MRI系统的兼容性。

[0043] 在本发明中,电机11可以是超声电机,但是也可以是其他类型的电磁兼容电机,并且编码器12可以是通用的编码器。

[0044] 另外,本发明的机器人系统结合了屏蔽、接地和滤波,如此在使用超声电机时,可以大大降低MRI图像上的噪声和伪影。以下结合附图进一步描述本发明的机器人系统的这些特征。

#### [0045] 电机与编码器的设置

[0046] 图3是本发明机器人系统的电气系统屏蔽与接地示意图。在本发明中,机器人本体4的主要电气组件包括电机11与编码器12,控制柜1的主要电气组件包括电机驱动器13,线缆6可以包括用于通讯的通讯线缆15/16和用于电机驱动的电机驱动线缆17/18。

[0047] 由于电机11与编码器12被设置于MRI扫描室5内,故而其电磁兼容性以及绝缘性对于提高MRI图像质量以及操作人员的安全性具有重要影响。

[0048] 在本发明中,机器人本体4的电机11与编码器12都是MRI兼容的,并且不包含铁磁材料。电机11与编码器12的外部设置有至少一层绝缘膜30,以提高电机11和编码器12的绝缘等级和安全防护等级。绝缘膜30例如可以是一种绝缘涂料,并且被覆盖在电机11和编码器12盒子的外部。

[0049] 此外,为了防止电机11和编码器12与MRI设备之间的双向射频信号干扰,还需要在电机11和编码器12的外部设置法拉第笼或者金属屏蔽层32。该金属屏蔽层32需要与随后描述的线缆屏蔽层以及编码器屏蔽线缆34、电机驱动屏蔽线缆35的线缆接头外壳33连接。

[0050] 另外,在金属屏蔽层32的外部还需要设置绝缘壳31,以满足绝缘等级以及安全防护等级要求。

[0051] 也就是说,在本发明中,电机11和编码器12的外部依次设置有绝缘膜30、金属屏蔽层32和绝缘壳31,如此既实现了屏蔽的要求,又实现了绝缘以及安全防护的要求。

[0052] 由于本机器人系统需要适应MRI设备内的狭小空间,各电气组件也需要有较为紧凑的设计。因此,本发明的上述金属屏蔽层32不是一个单独的屏蔽壳,而是覆盖在绝缘壳31内部的金属屏蔽膜,金属屏蔽膜例如可以是金属镀层,并且也可以是金属涂料。此外,绝缘膜30可以是覆盖在电机11和编码器12盒子的外部的绝缘涂料。本发明的紧凑屏蔽绝缘设计,可以有效解决狭小空间内电机11和编码器12与MRI设备的双向兼容问题。

#### [0053] 线缆的设置

[0054] 在本发明中,线缆6包括多个部分,并且位于机器人本体4内部的线缆包括编码器屏蔽线缆34和电机驱动屏蔽线缆35,其中编码器屏蔽线缆34用于编码器的通讯,并且电机驱动屏蔽线缆35用于电机11的驱动。编码器屏蔽线缆34和电机驱动屏蔽线缆35二者均可以采用柔性印刷电路板技术制成,其中一端经由线缆接头外壳33分别连接至电机11和编码器12,并且另一端分别连接至电机驱动线跳线盒22和编码器跳线盒21。电机驱动线跳线盒22和编码器跳线盒21分别将各关节的电机驱动线、编码器信号线集合在一起,通过合并相同的信号线,进而减少连接至控制柜的线缆数量,同时为连接器提供机械固定方法。

[0055] 在本发明中,电机驱动屏蔽线缆35在电机驱动线跳线盒22一端集成有谐波滤波器36,通过滤波,可以调整电机11的电气性能。

[0056] 在本发明中,用于控制机器人本体4各关节的编码器屏蔽线缆34和电机驱动屏蔽线缆35采用柔性印刷电路板技术,实现了机器人本体4内部的编码器屏蔽线缆34和电机驱动屏蔽线缆35的设计与布线,以适应MRI设备内部和机器人本体4内部窄小有限的空间。此种电路屏蔽效果好、重量轻、厚度薄、体积小、柔韧性好,可以很容易的弯曲、折叠,安装方

便,可以和机器人本体4结构较为完美的集成为一体。且其在机器人本体4运动部位还可以达到动态的弯曲,从而解除了编码器屏蔽线缆34和电机驱动屏蔽线缆35对机器人本体4运动范围的束缚。

[0057] 在本发明中,线缆6还包括用于通讯的通讯线缆15/16和用于电机驱动的电机驱动线缆17/18,机器人本体4内部的编码器屏蔽线缆34经由编码器跳线盒21与通讯线缆15/16连接,并且电机驱动屏蔽线缆35经由电机驱动线跳线盒22与电机驱动线缆17/18连接。在本发明中,电机11的电机驱动线缆17/18和编码器12的通讯线缆15/16均采用双重屏蔽措施,并经由低通滤波器19/20、专用接地14和屏蔽墙7连接到控制柜1。采用专用接地14能够获得比保护接地更好的屏蔽效果,这是因为保护接地通常通过长接地线缆连接到地面,而且通常会有许多其他设备也通过保护接地来接地,因此,保护接地不被视为“干净”的地面。而专用接地14连接到屏蔽墙7,屏蔽墙7用于屏蔽射频噪声,从而能够提供比保护接地更可靠并且更“干净”的接地。

[0058] 在本发明中,两个滤波器19/20分别位于通信线缆15/16以及电机驱动线缆17/18的中间。通信线缆15将所有的编码器,包括位置/速度编码器、零位传感器、限位传感器和力传感器等,从编码器跳线盒21连接到滤波器19的输入端。通信线缆16将滤波器19的输出端连接到控制柜1中的接口板23。电机驱动线缆18将控制柜1中的电机驱动器13的所有驱动输出连接到滤波器20的输入端。电机驱动线缆17将所有电机11的电机动力连接从滤波器20的输出端连接到电机驱动线跳线盒22,并从电机驱动线跳线盒22分别连接至机器人本体4的各关节电机11。

[0059] 接下来,参考图4A和图4B描述通信线缆15/16以及电机驱动线缆17/18的屏蔽,其中图4A是电机驱动线缆17/18的横截面,并且图4B是通信线缆15/16的横截面。

[0060] 如图4A所示,电机驱动线缆17/18包括若干条单独屏蔽的线缆,每条线缆用于为一台电机11供电。电机驱动线缆17/18的最外侧是外绝缘层24,外绝缘层24内是外屏蔽编织层,即外屏蔽层25,外屏蔽编织层例如可以是镀锡铜管套。在本发明中,每条线缆6有单独的屏蔽,即电机驱动线缆内屏蔽层26。也就是说,为每个电机11的线缆6设置单独的电机驱动线缆内屏蔽层26。在图4A中,每个电机11具有4条用于驱动其的线缆。

[0061] 在本发明中,电机驱动线缆内屏蔽层26是金属箔和金属编织网的双重屏蔽层,更具体地,可以是铝箔和镀锡铜编织网的双重屏蔽层。金属箔和金属编织网的双重屏蔽层可以100%覆盖在导线27外的导线绝缘层28上,因此能够比单屏蔽提供更好的射频噪声屏蔽。换句话说,在本发明中,电机驱动线缆17/18由内至外依次包括导线27、设置于导线27外的导线绝缘层28、覆盖于导线绝缘层28的电机驱动线缆内屏蔽层26、设置于电机驱动线缆内屏蔽层26外的外屏蔽层25以及设置于外屏蔽层25外的外绝缘层24。

[0062] 此外,在本发明中,外屏蔽层25和电机驱动线缆内屏蔽层26与屏蔽墙7的专用接地14连接,用于屏蔽射频噪声,比保护接地更可靠且更“干净”。

[0063] 与电机驱动线缆17/18类似,通讯线缆15/16的最外侧是外绝缘层24,外绝缘层24内是外屏蔽编织层,即外屏蔽层25,外屏蔽编织层25例如可以是金属编织网。外屏蔽编织层25的内部是具有金属箔屏蔽的通讯线缆内屏蔽层41。

[0064] 在本发明中,屏蔽材料中的金属箔可以是铝箔,并且金属编织网可以是镀锡铜编织层。所采用的屏蔽材料必须具有良好的导电性。选择铝箔加上镀锡铜是因为它在屏蔽效

果和成本之间达到了良好的平衡。本领域技术人员将理解,也可以使用替代的射频屏蔽材料,其他选择可以是裸铜、银或金。

[0065] 在本发明中,设置于通讯线缆内屏蔽层41内的是双绞线29。双绞线是把两根有绝缘层28的导线27互相绞在一起而形成的线缆。如此设置通讯线缆15/16可以使得每一根导线在传输中辐射出来的电波会被另一根线上发出的电波抵消,可以有效降低外界信号干扰的程度。换句话说,在本发明中,通讯线缆15/16由内至外依次包括双绞线,其中双绞线中的每根导线外设置有导线绝缘层,设置于双绞线外的通讯线缆内屏蔽层41、设置于通讯线缆内屏蔽层41外的外屏蔽层25以及设置于外屏蔽层25外的外绝缘层24。

[0066] 在本发明中,外屏蔽层25和电机驱动线缆内屏蔽层26、通讯线缆内屏蔽层41与屏蔽墙7的专用接地14连接,用于屏蔽射频噪声,比保护接地更可靠且更“干净”。

[0067] 通过以上的描述可以看出,通讯线缆15/16与电机驱动线缆17/18的主要区别在于导线27存在的状态以及电机驱动线缆内屏蔽层26和通讯线缆内屏蔽层41。

[0068] 具体地,在通讯线缆15/16中,导线27以双绞线的方式存在,从而减少通讯过程中信号的干扰,与此不同,电机驱动线缆17/18中的导线27以单根导线27的形式存在,这是因为输出动力的电机驱动线缆17/18传递的信号为单端非平衡驱动信号、而通讯线缆15/16传递的信号为差分平衡信号。

[0069] 此外,电机驱动线缆内屏蔽层26是金属箔和金属编织的双重屏蔽层,通讯线缆内屏蔽层41为金属箔,如此设置电机驱动线缆内屏蔽层26和通讯线缆内屏蔽层41的原因在于电机驱动线缆17/18为高压、高频率和相对大的电流信号,对磁共振图像的电磁干扰主要由电机驱动线缆17/18产生,所以屏蔽要求更高,因此电机驱动线缆内屏蔽层26采用双重屏蔽,且仍需加上外屏蔽层25。与电机驱动线缆17/18不同,通讯线缆15/16主要是低压、低频率和小电流信号,对磁共振图像的影响较小,所以屏蔽无需达到电机驱动线缆17/18的高要求,从而节省成本。

#### [0070] 控制柜的设置

[0071] 在本发明中,控制柜1具有铝制外壳,所有控制电子元器件都位于铝制外壳内,控制柜1的铝制外壳连接到保护接地37。控制柜1同时采用铝制外壳屏蔽和接地,能够有效地屏蔽射频噪声。

#### [0072] 驱动器的设置

[0073] 在本发明中,电机驱动器13控制电机11的运行,电机驱动动力通过电机驱动线缆18、滤波器20、电机驱动线缆17传递到电机11。

[0074] 图5是电机驱动器13的电路原理图。本发明的电机驱动器13采用线性驱动技术,并且包括控制器38、偏置电路39和放大电路40,控制器38内包含高性能微处理器产生行波,从而为电机11提供最佳驱动信号,并经线性功率放大后驱动电机11。其中,控制器38通过变换行波频率对电机11进行速度控制;线性功率放大电路用于线性功率放大,并且包括偏置电路39和放大电路40,放大电路40用于将驱动信号放大至 $\pm 200\text{V}$ 或 $400\text{V}$ 峰值电压,偏置电路39用于隔离各个放大电路40的直流电压成分,提供放大电路40正常工作所需要的偏置电压,使放大电路40正常工作。

[0075] 目前市面上现有的电机驱动器13通常采用开关方式产生方波信号来驱动超声电机11,原因是开关方式可以获得较高的效率、驱动器发热小、体积小、成本低。但开关方式产

生的方波信号通常含有较多的高次谐波,而这些高次谐波在传输中会产生较高的电磁干扰、从而对MRI图像造成诸如阴影、亮点、图像变形等影响。

[0076] 与此不同,本发明中采用的线性驱动技术产生的是单频纯正弦波,高频谐波成分较少,可以降低对MRI图像的干扰。且由于行波超声电机的最佳驱动方式是相差 $90^{\circ}$ 的两相正弦波驱动,因此线性驱动器所产生的正弦波是最适合超声电机的驱动信号。因此,本发明将对电机驱动器进行改造,使其产生更纯净的正弦波用于驱动电机,降低电气系统对MRI成像的影响,以达到本机器人与MRI扫描实时进行的要求。

#### [0077] 滤波器的设置

[0078] MRI设备通常对特定频率范围的信号敏感。例如,3.0T MR扫描仪工作在127.8MHz频率,并且对该频率附近的射频信号敏感。在本发明中,通过设置低通滤波器19和20来减小该频率和更高频率的噪声。“低通”滤波器意味着仅低频信号可以通过,而高频信号将被滤除。滤波参数将取决于磁场强度、拉莫尔频率、电机参数、线缆参数、信号频率和带宽、信号功率、工作电压和电流、负载阻抗等。在本发明中,滤波器的外壳与专用接地14连接。全面的接地、屏蔽、滤波技术可以有效降低射频噪声,消除干扰和伪影,从而使本系统和MR扫描可以同时运行。

[0079] 本发明的机器人系统通过在电机和编码器的外部依次设置绝缘膜、金属屏蔽层和绝缘壳,以及屏蔽、滤波、接地一体的设计,可以提高机器人系统与MRI系统的兼容性,大大降低MRI图像上的噪声和伪影。

[0080] 以上所述,仅为本公开的具体实施方式,但本公开的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本公开揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本公开的保护范围之内。因此,本公开的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

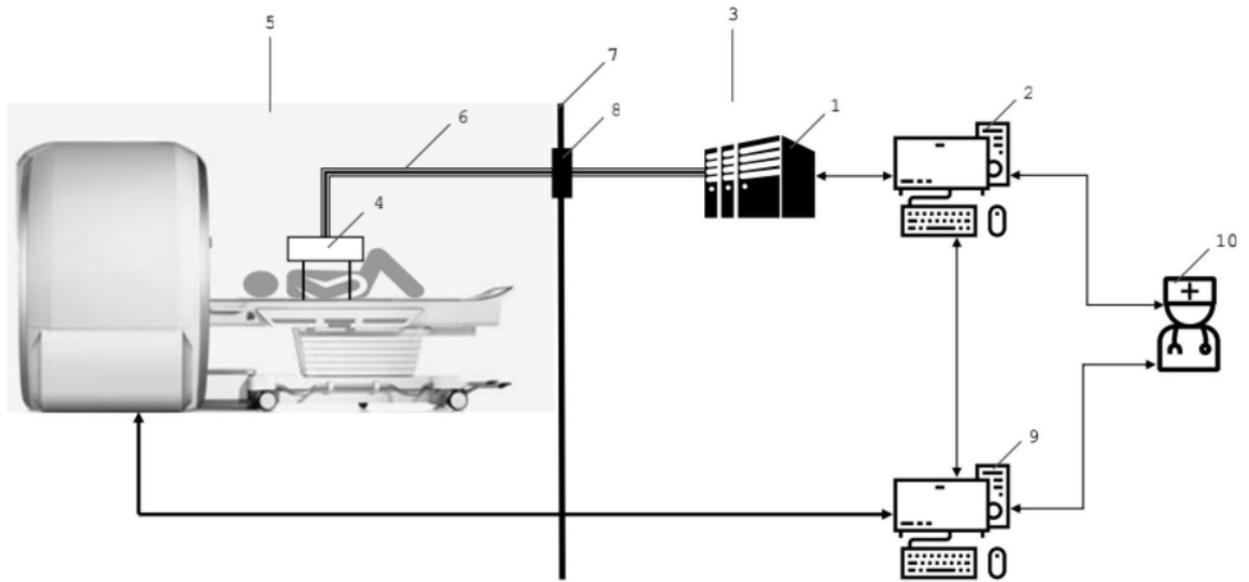


图1

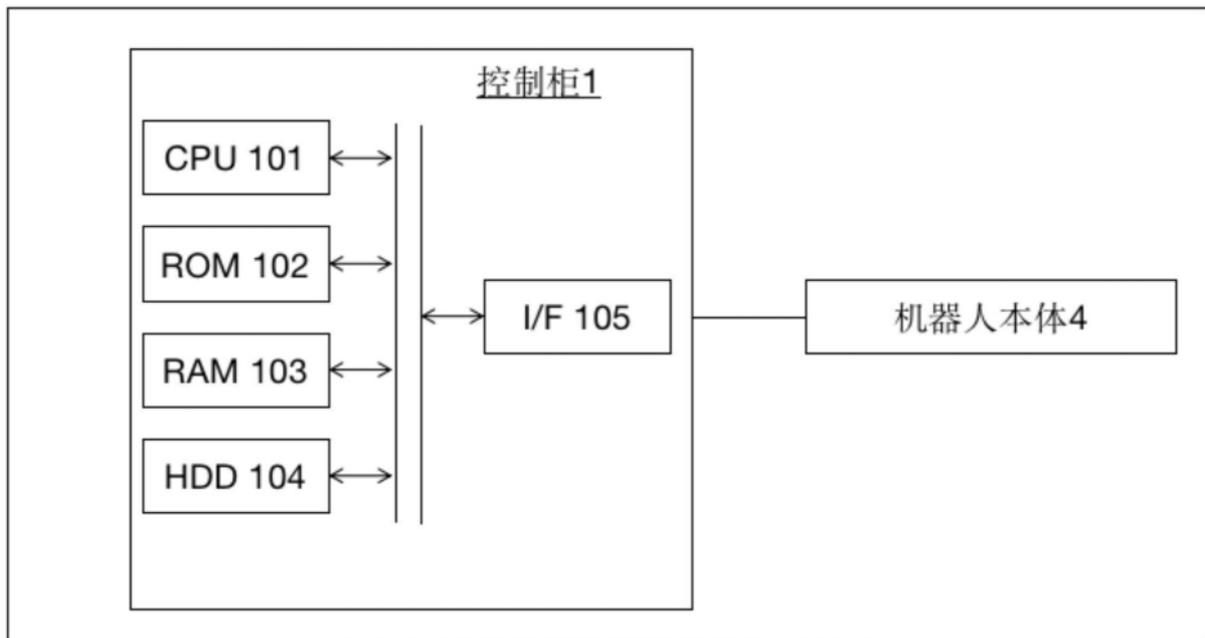


图2

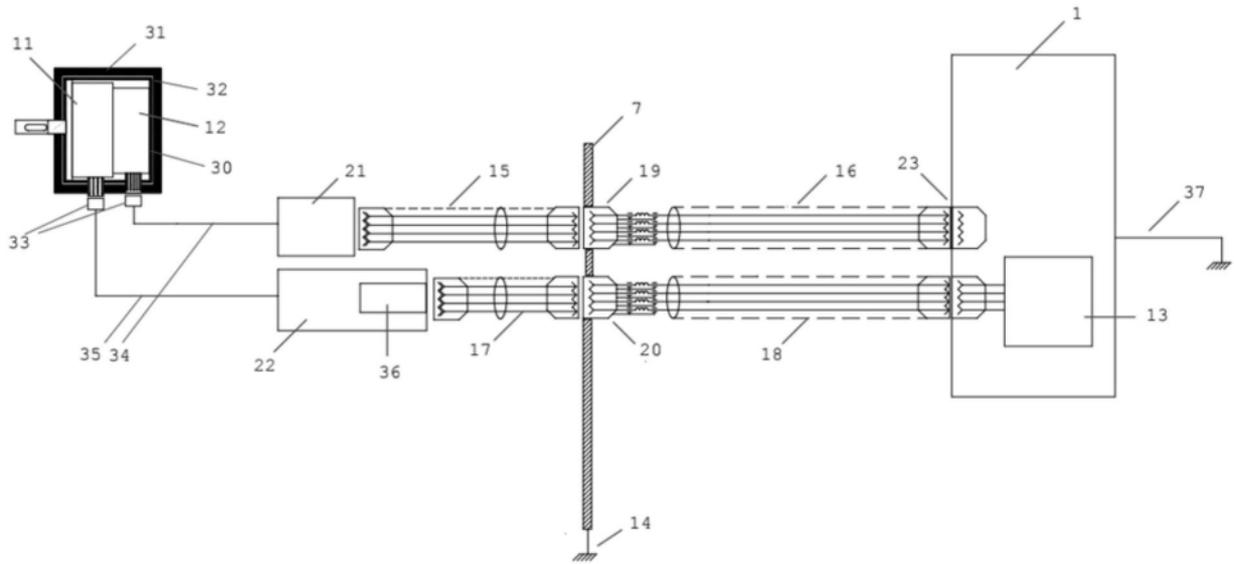


图3

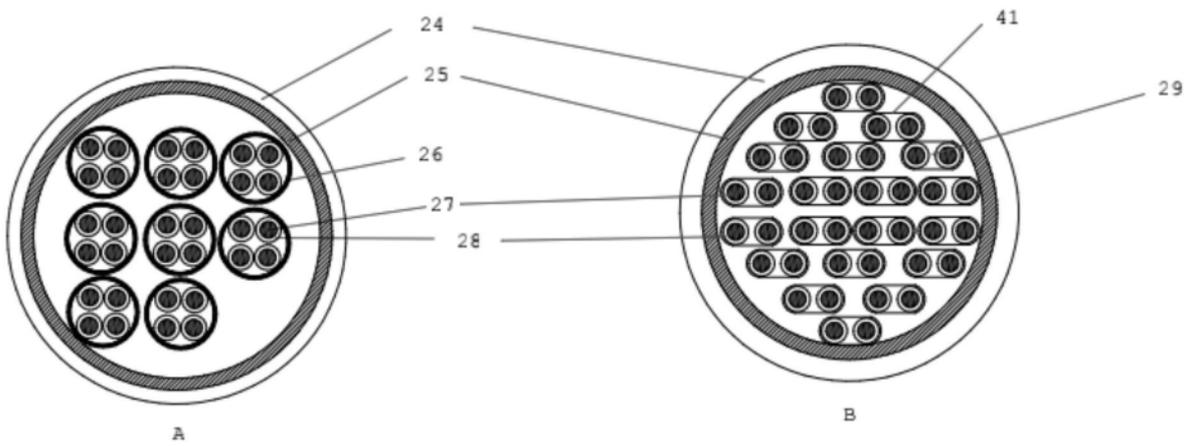


图4

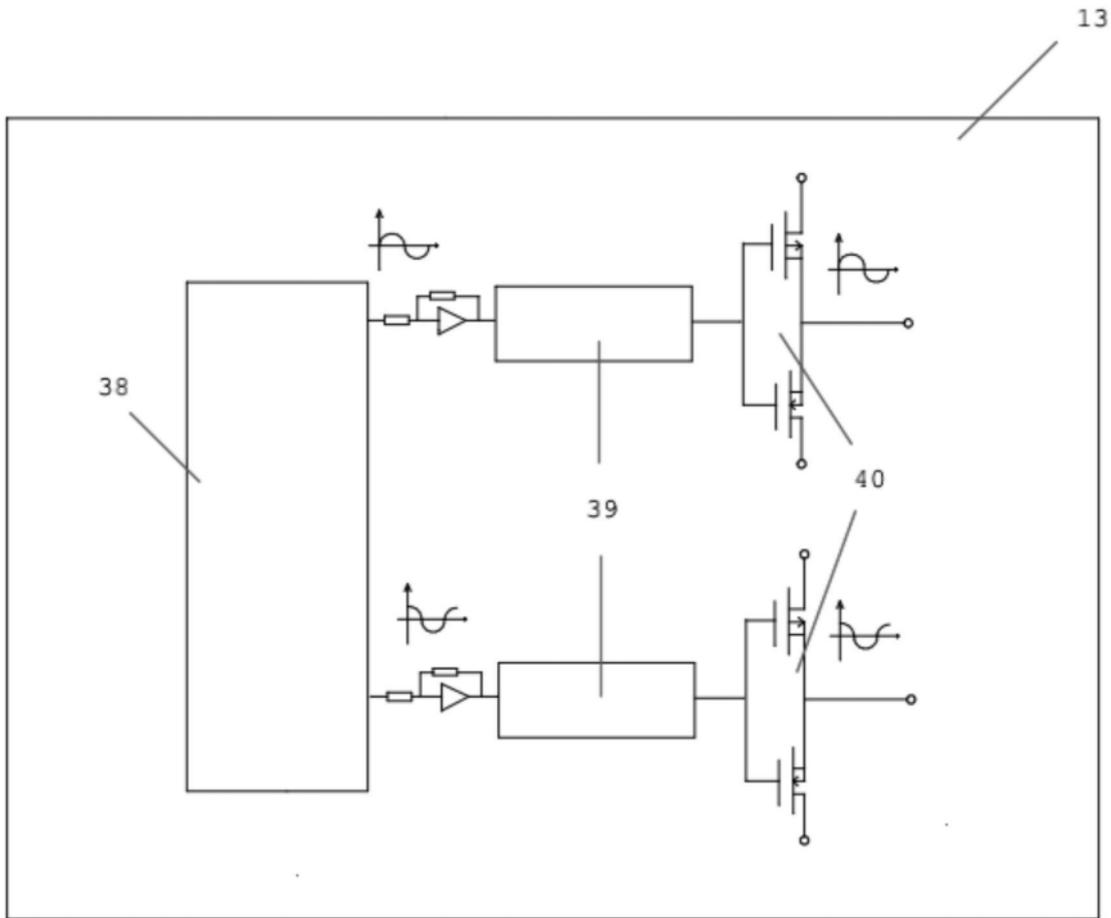


图5