



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114917975 A

(43) 申请公布日 2022.08.19

(21) 申请号 202210538249.2

(22) 申请日 2022.05.17

(71) 申请人 中国科学院沈阳自动化研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市沈河区南塔街  
114号

(72) 发明人 赵忆文 赵新刚 高子奇 姜运祥

罗阳 张元林 李英立 江超

魏仁松 刘前前 孙锦程

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限

公司 21002

专利代理师 汪海

(51) Int. Cl.

B01L 3/02 (2006.01)

B25J 9/16 (2006.01)

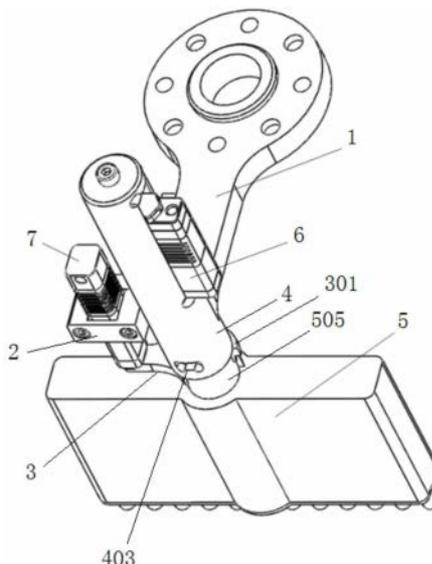
权利要求书3页 说明书8页 附图6页

### (54) 发明名称

一种机器人末端移液装置及机器人移液控制方法

### (57) 摘要

本发明涉及一种机器人末端移液装置及机器人移液控制方法,包括法兰、安装套管、吸注驱动器、卸载驱动器和移液枪,其中法兰与协作机器人末端连接,安装套管设于所述法兰上,吸注驱动器设于所述安装套管内,卸载驱动器设于所述安装套管一侧,移液枪设于所述安装套管下端,所述移液枪内设有移液枪杆和卸载板,且所述移液枪杆通过所述吸注驱动器驱动移动,所述卸载板通过所述卸载驱动器驱动移动。本发明能够实现无人条件下的自主移液操作,且操作简单,动作可靠,控制精确。



1. 一种机器人末端移液装置,其特征在于:包括法兰(1)、安装套管(4)、吸注驱动器(6)、卸载驱动器(7)和移液枪(5),其中法兰(1)与协作机器人(11)末端连接,安装套管(4)设于所述法兰(1)上,吸注驱动器(6)设于所述安装套管(4)内,卸载驱动器(7)设于所述安装套管(4)一侧,移液枪(5)设于所述安装套管(4)下端,所述移液枪(5)内设有移液枪杆(504)和卸载板(502),且所述移液枪杆(504)通过所述吸注驱动器(6)驱动移动,所述卸载板(502)通过所述卸载驱动器(7)驱动移动。

2. 根据权利要求1所述的机器人末端移液装置,其特征在于:所述移液枪(5)的壳体上端设有连接端管(505)与所述安装套管(4)下端连接,所述移液枪(5)内设有多个移液枪杆(504)以及驱动各个移液枪杆(504)同步移动的驱动座(501),所述驱动座(501)上设有连接轴(503),且所述连接轴(503)穿过所述连接端管(505)后插入至所述安装套管(4)中并与所述吸注驱动器(6)的吸注驱动轴(601)相连。

3. 根据权利要求2所述的机器人末端移液装置,其特征在于:所述安装套管(4)下端设有卡槽(403),所述连接端管(505)设有卡块(5051)卡置于所述卡槽(403)中。

4. 根据权利要求2所述的机器人末端移液装置,其特征在于:所述安装套管(4)下端设有一个卸载推块(3),且所述卸载推块(3)一端与所述卸载驱动器(7)的输出轴相连,另一端设有套环(301)套装于所述连接端管(505)上,所述卸载板(502)上端与所述套环(301)连接。

5. 根据权利要求1所述的机器人末端移液装置,其特征在于:所述吸注驱动器(6)一侧设有凸出部(602),所述安装套管(4)上部一侧设有固定槽(402),且所述吸注驱动器(6)的凸出部(602)卡装于所述固定槽(402)中,所述安装套管(4)后端设有预紧螺钉(401)。

6. 根据权利要求1所述的机器人末端移液装置,其特征在于:所述法兰(1)一侧设有卸载固定座(2),所述卸载固定座(2)包括与所述法兰(1)连接的连接件(201)以及设于所述连接件(201)前端的安装槽口(202),所述卸载驱动器(7)安装于所述安装槽口(202)上且输出轴由所述安装槽口(202)穿过。

7. 一种机器人移液控制方法,其特征在于:包括协作机器人(11)、视觉相机(10)、目标识别物(13)以及权利要求1所述的机器人末端移液装置,所述视觉相机(10)和机器人末端移液装置均设于协作机器人(11)末端,所述协作机器人(11)设于一个基座(12)上,包括如下步骤:

步骤一:将目标识别物(13)设于工作台面(9)上建立标识物坐标系(marker坐标系),并对视觉相机(10)外参标定,构建机器人视觉系统;

步骤二:布置工作台面(9)形成多个操作路点;

步骤三:标定协作机器人(11)末端在基座(12)的base坐标系内的初始点P1以及在marker坐标系内的初始点P2,并求出协作机器人(11)末端移动到与marker坐标系下的初始点P2位姿重合时,此时协作机器人(11)末端相对于base坐标系的位姿 ${}^{base}T_{end}^{P2}$ ;

步骤四:标定各个操作路点 $P_i$ 相对于P2点的位姿 ${}^{P2}T_{P_i}$ ,并求出协作机器人(11)末端移动到与任一操作路点 $P_i$ 重合时,此时协作机器人(11)末端相对于base坐标系的位姿 ${}^{base}T_{end}^{P_i}$ ;

步骤五:机器人系统控制协作机器人(11)末端移动实现自主移液操作。

8. 根据权利要求1所述的机器人移液控制方法,其特征在于:步骤一中,记协作机器人

(11) 末端相对于基座 (12) 位姿为  ${}^{base}T_{end}$ , 目标识别物 (13) 相对于视觉相机 (10) 位姿为  ${}^{camera}T_{marker}$ , 目标识别物 (13) 相对于基座 (12) 位姿为  ${}^{base}T_{marker}$ , 视觉相机 (10) 相对于协作机器人 (11) 末端的位姿为  ${}^{end}T_{camera}$ , 基于位姿变换关系得到下式:

$${}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end} {}^{end}T_{camera} \quad (1);$$

设协作机器人 (11) 移动前的  ${}^{base}T_{end}$  和  ${}^{camera}T_{marker}$  分别为  ${}^{base}T_{end}^i$  和  ${}^{camera}T_{marker}^i$ , 协作机器人 (11) 移动后的  ${}^{base}T_{end}$  和  ${}^{camera}T_{marker}$  分别为  ${}^{base}T_{end}^j$  和  ${}^{camera}T_{marker}^j$ , 则有:

$${}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^i {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^i \quad (2);$$

$${}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^j {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^j \quad (3);$$

联立式 (2) 和 (3) 可得:

$${}^{base}T_{end}^i {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^i = {}^{base}T_{end}^j {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^j \quad (4);$$

将上式 (4) 左右两边同时左乘  ${}^{base}T_{end}^{j-1}$ 、右乘  ${}^{camera}T_{marker}^{i-1}$ , 可得:

$${}^{base}T_{end}^{j-1} {}^{base}T_{end}^i {}^{end}T_{camera} = {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^j {}^{camera}T_{marker}^{i-1} \quad (5);$$

记  ${}^{base}T_{end}^{j-1} {}^{base}T_{end}^i$  为 A, 记  ${}^{camera}T_{marker}^j {}^{camera}T_{marker}^{i-1}$  为 B, 记  ${}^{end}T_{camera}$  为 X, 则上式

(5) 可写为:

$$AX = XB;$$

解算方程  $AX = XB$  得到 X, 也即得到视觉相机 (10) 外参  ${}^{end}T_{camera}$ , 机器人视觉系统构建完成。

9. 根据权利要求 1 所述的机器人移液控制方法, 其特征在于: 步骤三中, 记协作机器人 (11) 的末端与 base 坐标系内的初始点 P1 重合时, 此时协作机器人 (11) 末端相对于基座 (12) 的位姿为  ${}^{base}T_{end}^{P1}$ , 协作机器人 (11) 末端与 marker 坐标系的 P2 点重合时, 此时目标识别物 (13) 相对于视觉相机 (10) 的位姿为  ${}^{camera}T_{marker}^{P2}$ ;

当 marker 坐标系最后一次移动后, marker 坐标系相对于 base 坐标系位姿固定, 协作机器人 (11) 末端由 P1 运动到 P2 时有下式成立:

$${}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^{P1} {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^{P1} \quad (7);$$

$${}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^{P2} {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^{P2} \quad (8);$$

由上式 (7) 和 (8) 可得:

$${}^{base}T_{end}^{P2} = {}^{base}T_{marker} {}^{camera}T_{marker}^{P2-1} {}^{end}T_{camera}^{-1} \quad (9);$$

上式 (9) 中, 由于 marker 坐标系相对于 base 坐标系位姿固定,  ${}^{base}T_{marker}$  确定,  ${}^{end}T_{camera}$  和  ${}^{camera}T_{marker}^{P2}$  通过机器人视觉系统获得, 进而求出  ${}^{base}T_{end}^{P2}$ 。

10. 根据权利要求 9 所述的机器人移液控制方法, 其特征在于: 步骤四中, 记协作机器人 (11) 末端移动到与任一操作路点 Pi 重合时, 此时协作机器人 (11) 末端相对于基座 (12) 的位

姿为  ${}^{base}T_{end}^{P_i}$  , 协作机器人(11) 末端由P2点移动到任一操作路点P<sub>i</sub>时有:

$${}^{base}T_{end}^{P_i} = {}^{base}T_{end}^{P_2} {}^{P_2}T_{P_i} \quad (10);$$

$${}^{P_2}T_{P_i} = {}^{base}T_{end}^{P_i-1} {}^{base}T_{end}^{P_i} \quad (11)。$$

## 一种机器人末端移液装置及机器人移液控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及实验设备技术领域,具体地说是一种机器人末端移液装置及机器人移液控制方法。

### 背景技术

[0002] 随着技术发展,目前多自由度协作机器人运动控制技术和力控制技术已经趋于成熟,其可以控制机器人末端在其工作空间内实现直线运动,并且可以指定速度和加速度,在许多机器人系统中,可以通过运行机器人来“示教”位置和姿态,也即将操作臂运行至一期望位置并将这一位置记录下来,在用这种方法示教时,机器人不必要求返回原来的位姿,此位姿可以是工件位置也可以是夹具位置,这样进行姿态示教就可以完全不需要程序员处理姿态描述问题。

[0003] 在实验室中经常需要进行移液操作,而移液器(又称移液枪)等定量转移液体的装置已经获得广泛应用,在进行分析测试方面的研究时,只需将移液枪(器)垂直插入滴管中即可拾取转移,并且移液枪可以实现自动吸注。但现有技术中的移液器通常为人工操作,由于人在某一方向施加恒力时很容易产生偏移,因此操作相对繁琐,比如需稍微用力左右微微转动即使其与滴管紧密结合,而在多道(如8道或12道)移液枪使用时,则先将移液枪的第一道对准第一个滴管,然后倾斜地插入并前后方向摇动实现卡紧,滴管卡紧的标志是略为超过O型环,并可以看到连接部分形成清晰的密封圈。如果能将移液器与多自由度协作机器人相结合,由于机器人可以实现垂直向下施加恒力且不发生力方向的变化,操作会大大简化。另外现在许多场景需要无人化操作以尽可能减少人与人的接触,比如疫情期间的实验操作,将移液器与多自由度协作机器人相结合也可以满足上述要求。

[0004] 但实验室环境属于典型的动态非结构化场景,实验室内的设备及操作对象的姿态会动态变化,机器人单一位置控制难以实现接触作业任务,因此这也对机器人的环境感知能力及柔顺操作能力提出了挑战。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种机器人末端移液装置及机器人移液控制方法,能够实现无人条件下的自主移液操作,且操作简单,动作可靠,控制精确。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:

[0007] 一种机器人末端移液装置,包括法兰、安装套管、吸注驱动器、卸载驱动器和移液枪,其中法兰与协作机器人末端连接,安装套管设于所述法兰上,吸注驱动器设于所述安装套管内,卸载驱动器设于所述安装套管一侧,移液枪设于所述安装套管下端,所述移液枪内设有移液枪杆和卸载板,且所述移液枪杆通过所述吸注驱动器驱动移动,所述卸载板通过所述卸载驱动器驱动移动。

[0008] 所述移液枪的壳体上端设有连接端管与所述安装套管下端连接,所述移液枪内设有多个移液枪杆以及驱动各个移液枪杆同步移动的驱动座,所述驱动座上设有连接轴,且

所述连接轴穿过所述连接端管后插入至所述安装套管中并与所述吸注驱动器的吸注驱动轴相连。

[0009] 所述安装套管下端设有卡槽,所述连接端管设有卡块卡置于所述卡槽中。

[0010] 所述安装套管下端设有一个卸载推块,且所述卸载推块一端与所述卸载驱动器的输出轴相连,另一端设有套环套装于所述连接端管上,所述卸载板上端与所述套环连接。

[0011] 所述吸注驱动器一侧设有凸出部,所述安装套管上部一侧设有固定槽,且所述吸注驱动器的凸出部卡装于所述固定槽中,所述安装套管后端设有预紧螺钉。

[0012] 所述法兰一侧设有卸载固定座,所述卸载固定座包括与所述法兰连接的连接件以及设于所述连接件前端的安装槽口,所述卸载驱动器安装于所述安装槽口上且输出轴由所述安装槽口穿过。

[0013] 一种机器人移液控制方法,包括协作机器人、视觉相机、目标识别物以及权利要求1所述的机器人末端移液装置,所述视觉相机和机器人末端移液装置均设于协作机器人末端,所述协作机器人设于一个基座上,包括如下步骤:

[0014] 步骤一:将目标识别物设于工作台上建立标识物坐标系(marker坐标系),并对视觉相机外参标定,构建机器人视觉系统;

[0015] 步骤二:布置工作台面形成多个操作路点;

[0016] 步骤三:标定协作机器人末端在基座的base坐标系内的初始点P1以及在marker坐标系内的初始点P2,并求出协作机器人末端移动到与marker坐标系下的初始点P2位姿重合时,此时协作机器人末端相对于base坐标系的位姿 ${}^{base}T_{end}^{P2}$ ;

[0017] 步骤四:标定各个操作路点Pi相对于P2点的位姿 ${}^{P2}T_{Pi}$ ,并求出协作机器人末端移动到与任一操作路点Pi重合时,此时协作机器人末端相对于base坐标系的位姿 ${}^{base}T_{end}^{Pi}$ ;

[0018] 步骤五:机器人系统控制协作机器人末端移动实现自主移液操作。

[0019] 步骤一中,记协作机器人末端相对于基座(12)位姿为 ${}^{base}T_{end}$ ,目标识别物相对于视觉相机(10)位姿为 ${}^{camera}T_{marker}$ ,目标识别物相对于基座位姿为 ${}^{base}T_{marker}$ ,视觉相机相对于协作机器人末端的位姿为 ${}^{end}T_{camera}$ ,基于位姿变换关系得到下式:

$$[0020] \quad {}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end} {}^{end}T_{camera} \quad (1);$$

[0021] 设协作机器人移动前的 ${}^{base}T_{end}$ 和 ${}^{camera}T_{marker}$ 分别为 ${}^{base}T_{end}^i$ 和 ${}^{camera}T_{marker}^i$ ,协作机器人移动后的 ${}^{base}T_{end}$ 和 ${}^{camera}T_{marker}$ 分别为 ${}^{base}T_{end}^j$ 和 ${}^{camera}T_{marker}^j$ ,则有:

$$[0022] \quad {}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^i {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^i \quad (2);$$

$$[0023] \quad {}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^j {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^j \quad (3);$$

[0024] 联立式(2)和(3)可得:

$$[0025] \quad {}^{base}T_{end}^i {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^i = {}^{base}T_{end}^j {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^j \quad (4);$$

[0026] 将上式(4)左右两边同时左乘 ${}^{base}T_{end}^{j-1}$ 、右乘 ${}^{camera}T_{marker}^{i-1}$ ,可得:

[0027]  ${}^{base}T_{end}^{j-1} {}^{base}T_{end}^i {}^{end}T_{camera} = {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^j {}^{camera}T_{marker}^{i-1}$  (5);

[0028] 记  ${}^{base}T_{end}^{j-1} {}^{base}T_{end}^i$  为A, 记  ${}^{camera}T_{marker}^j {}^{camera}T_{marker}^{i-1}$  为B, 记  ${}^{end}T_{camera}$  为X, 则上式(5)可写为:

[0029]  $AX=XB$ ;

[0030] 解算方程  $AX=XB$  得到X, 也即得到视觉相机外参  ${}^{end}T_{camera}$ , 机器人视觉系统构建完成。

[0031] 步骤三中, 记协作机器人的末端与base坐标系内的初始点P1重合时, 此时协作机器人末端相对于基座的位姿为  ${}^{base}T_{end}^{P1}$ , 协作机器人末端与marker坐标系的P2点重合时, 此时目标识别物相对于视觉相机的位姿为  ${}^{camera}T_{marker}^{P2}$ ;

[0032] 当marker坐标系最后一次移动后, marker坐标系相对于base坐标系位姿固定, 协作机器人末端由P1运动到P2时有下式成立:

[0033]  ${}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^{P1} {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^{P1}$  (7);

[0034]  ${}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^{P2} {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^{P2}$  (8);

[0035] 由上式(7)和(8)可得:

[0036]  ${}^{base}T_{end}^{P2} = {}^{base}T_{marker} {}^{camera}T_{marker}^{P2-1} {}^{end}T_{camera}^{-1}$  (9);

[0037] 上式(9)中, 由于marker坐标系相对于base坐标系位姿固定,  ${}^{base}T_{marker}$  确定,  ${}^{end}T_{camera}$  和  ${}^{camera}T_{marker}^{P2}$  通过机器人视觉系统获得, 进而求出  ${}^{base}T_{end}^{P2}$ 。

[0038] 步骤四中, 记协作机器人末端移动到与任一操作路点Pi重合时, 此时协作机器人末端相对于基座的位姿为  ${}^{base}T_{end}^{Pi}$ , 协作机器人末端由P2点移动到任一操作路点Pi时有:

[0039]  ${}^{base}T_{end}^{Pi} = {}^{base}T_{end}^{P2} {}^{P2}T_{Pi}$  (10);

[0040]  ${}^{P2}T_{Pi} = {}^{base}T_{end}^{Pi-1} {}^{base}T_{end}^{Pi}$  (11)。

[0041] 本发明的优点与积极效果为:

[0042] 1、本发明的末端移动装置将吸注驱动器、卸载驱动器以及移液枪集成于一体, 机器人控制系统可以通过控制各个部件实现自动拾取滴管和液体吸注操作, 并且由于协作机器人末端可以实现垂直向下施加恒力且不发生力方向的变化, 因此不必像人工操作那样拾取后再进行调整, 操作简单且动作可靠。

[0043] 2、本发明考虑到实验室环境属于典型的动态非结构化场景, 尤其是工作台面会发生移动, 协作机器人处于不同位姿时,  ${}^{base}T_{end}$  (机器人末端相对于基座)、 ${}^{camera}T_{marker}$  (目标识别物相对于视觉相机) 和  ${}^{base}T_{marker}$  (目标识别物相对于基座) 均是变化状态, 本发明方法保证在每次移动工作台面后, 各个操作路点在marker (目标识别物) 坐标系的表达不变, 也即不受工作台面移动影响, 只要视觉相机能够识别目标识别物, 就可以控制完成自动移液操

作。

### 附图说明

- [0044] 图1为本发明末端移液装置的结构示意图，
- [0045] 图2为图1中末端移液装置去掉吸注驱动器、卸载驱动器和移液枪后的结构示意图，
- [0046] 图3为图2中结构的另一角度示意图，
- [0047] 图4为图1中的吸注驱动器示意图，
- [0048] 图5为图1中移液枪的内部结构示意图，
- [0049] 图6为图5中移液枪拾取滴管时的状态示意图，
- [0050] 图7为图1中卸载驱动器及移液枪上的卸载板连接示意图，
- [0051] 图8为图7中的卸载板工作状态示意图，
- [0052] 图9为本发明方法的机器人视觉系统手眼标定示意图，
- [0053] 图10为本发明方法的机器人自主移液操作工作平面示意图，
- [0054] 图11为本发明方法的各操作路点坐标系相对位姿关系。
- [0055] 其中,1为法兰,2为卸载固定座,201为连接件,202为安装槽口,3为卸载推块,301为套环,4为安装套管,401为预紧螺钉,402为固定槽,403为卡槽,5为移液枪,501为驱动座,502为卸载板,503为连接轴,504为移液枪杆,505为连接端管,5051为卡块,6为吸注驱动器,601为吸注驱动轴,602为凸出部,7为卸载驱动器,8为滴管,9为工作台面,10为视觉相机,11为协作机器人,12为基座,13为目标识别物。

### 具体实施方式

- [0056] 下面结合附图对本发明作进一步详述。
- [0057] 如图1~8所示,本发明的末端移液装置包括法兰1、安装套管4、吸注驱动器6、卸载驱动器7和移液枪5,其中法兰1与协作机器人11末端连接,安装套管4垂直设于所述法兰1上,吸注驱动器6设于所述安装套管4内,卸载驱动器7设于所述安装套管4一侧,移液枪5设于所述安装套管4下端。
- [0058] 如图5~6所示,所述移液枪5内设有多个移液枪杆504以及驱动各个移液枪杆504同步移动的驱动座501,所述移液枪杆504下端用于与滴管8(又称为移液枪头)连接实现拾取,并且所述移液枪杆504移动实现吸注液体功能,所述移液枪杆504为本领域公知技术且为移液枪5的常规结构,所述移液枪5的壳体上端设有连接端管505,且所述连接端管505与所述安装套管4下端卡接,本实施例中,所述安装套管4下端设有卡槽403,所述连接端管505设有卡块5051卡置于所述卡槽403中,从而实现安装套管4和连接端管505相连,所述驱动座501上设有连接轴503,且所述连接轴503穿过所述连接端管505后插入至所述安装套管4中并与所述吸注驱动器6上的吸注驱动轴601相连,所述吸注驱动器6即驱动所述驱动座501移动,进而驱动各个移液枪杆504移动。
- [0059] 如图7~8所示,所述移液枪5内设有卸载板502,且所述卸载板502通过所述卸载驱动器7驱动移动,如图1所示,所述安装套管4下端设有一个卸载推块3,且所述卸载推块3一端与所述卸载驱动器7的输出轴相连,另一端设有套环301套装于所述连接端管505上,并且

所述卸载板502上端与所述套环301连接,如图7所示,平时所说卸载板502处于升起状态,当需要将各个滴管8卸下时,如图8所示,所述卸载驱动器7驱动所述卸载推块3下移,所述卸载推块3驱动所述卸载板502下移,所述卸载板502下端将各个滴管8向下推动实现卸载功能。

[0060] 如图4所示,本实施例中,所述吸注驱动器6为偏轴型直线电动推杆,其一侧设有凸出部602,如图1和图3所示,所述安装套管4上部一侧设有固定槽402,且所述吸注驱动器6的凸出部602卡装于所述固定槽402中,另外所述安装套管4后端设有预紧螺钉401辅助固定安装套管4内的吸注驱动器6后端,防止其轴向窜动。

[0061] 如图2所示,所述法兰1一侧设有卸载固定座2,本实施例中,所述卸载驱动器7为常规的直线电动推杆,其安装于所述卸载固定座2上。本实施例中,所述卸载固定座2包括与所述法兰1连接的连接件201以及设于所述连接件201前端的安装槽口202,所述卸载驱动器7安装于所述安装槽口202上且输出轴由所述安装槽口202穿过并与所述卸载推块3连接。

[0062] 如图9~11所示,本发明的工作台面9上的路点主要包括滴管装配路点、吸取溶液路点、释放溶液路点和卸载滴管路点,其中协作机器人11驱动末端移液装置移动至滴管装配路点时,利用协作机器人11的力控制技术使机器人末端沿着Z轴向下,以与滴管8中心轴线重合的方向下压并以一定恒力压4~10秒,完成滴管8拾取,由于机器人末端可以实现垂直向下施加恒力且不发生力方向的变化,因此不必像人工拾取那样再进行调整,然后协作机器人11驱动末端移液装置移动至吸取溶液路点,吸注驱动器6启动实现吸取液体,协作机器人11驱动末端移液装置移动至释放溶液路点时,吸注驱动器6再次启动释放液体,然后协作机器人11驱动末端移液装置移动至卸载滴管路点,卸载驱动器7启动驱动卸载板502下移并推动各个一次性滴管8脱离落入医用废料箱中。所述吸注驱动器6和卸载驱动器7均可以通过机器人控制系统操作,从而满足无人化操作要求。

[0063] 考虑到实验室环境属于典型的动态非结构化场景,实验室内的设备及操作对象的姿态会动态变化,本发明设计了一种机器人移液控制方法,如图9所示,实现该方法的机器人系统除了协作机器人11和所述末端移液装置外,还包括视觉相机10和目标识别物13,其中协作机器人11设于一个基座12上,视觉相机10设于协作机器人11末端。

[0064] 本发明方法具体包括如下步骤:

[0065] 步骤一:将目标识别物13设于工作台面9上建立标识物坐标系(marker坐标系),并对视觉相机10外参标定,构建机器人视觉系统。

[0066] 如图9所示:

[0067] 设视觉相机10(camera)相对于协作机器人11末端(end)的位姿为 $X$ ,记为 ${}^{\text{end}}T_{\text{camera}}$ ,这就是相机外参,这里协作机器人11末端为协作机器人11与图1中法兰1连接的端部;

[0068] 设协作机器人11末端(end)相对于所述基座12(base)的位姿为 ${}^{\text{base}}T_{\text{end}}$ ;

[0069] 根据目标识别物13建立标识物坐标系(marker坐标系),视觉相机10可以识别到所述目标识别物13相对于相机坐标系的位姿,因此只要移动所述目标识别物13就是移动了marker坐标系,那么marker坐标系就相对于基座12的基座坐标系(base坐标系)位姿发生变化,所述marker坐标系的建立就是将目标识别物13粘贴到图10所示的工作台面9中并设定相应的坐标轴,如果移动了工作台面9就是移动了marker坐标系,那么marker坐标系相对于base坐标系位姿就发生变化。

[0070] 设目标识别物13(marker坐标系)相对于视觉相机10的位姿为 ${}^{\text{base}}T_{\text{marker}}$ ;

[0071] 基于位姿变换关系,可以得到下式:

$$[0072] \quad {}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end} {}^{end}T_{camera} \quad (1);$$

[0073] 进行标定时,如果marker坐标系(目标识别物13)和base坐标系(基座12)之间的相对位姿固定不变,协作机器人11处于其可达到工作空间内的任何位姿时,上式(1)基本关系均成立,但实际上协作机器人11处于不同位姿时,  ${}^{base}T_{end}$  (机器人末端相对于基座12)、 ${}^{camera}T_{marker}$  (目标识别物13相对于视觉相机10)和  ${}^{base}T_{marker}$  (目标识别物13相对于基座12)均是变化的;

[0074] 记协作机器人11移动前的  ${}^{base}T_{end}$  和  ${}^{camera}T_{marker}$  分别为  ${}^{base}T_{end}^i$  和  ${}^{camera}T_{marker}^i$ , 协作机器人11移动后的  ${}^{base}T_{end}$  和  ${}^{camera}T_{marker}$  分别为  ${}^{base}T_{end}^j$  和  ${}^{camera}T_{marker}^j$ , 则有:

$$[0075] \quad {}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^i {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^i \quad (2);$$

$$[0076] \quad {}^{base}T_{marker} = {}^{base}T_{end}^j {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^j \quad (3);$$

[0077] 联立式(2)和(3)可得:

$$[0078] \quad {}^{base}T_{end}^i {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^i = {}^{base}T_{end}^j {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^j \quad (4);$$

[0079] 将上式(4)左右两边同时左乘  ${}^{base}T_{end}^{j-1}$ 、右乘  ${}^{camera}T_{marker}^{i-1}$ , 可得:

$$[0080] \quad {}^{base}T_{end}^{j-1} {}^{base}T_{end}^i {}^{end}T_{camera} = {}^{end}T_{camera} {}^{camera}T_{marker}^j {}^{camera}T_{marker}^{i-1} \quad (5);$$

[0081] 记  ${}^{base}T_{end}^{j-1} {}^{base}T_{end}^i$  为A, 记  ${}^{camera}T_{marker}^j {}^{camera}T_{marker}^{i-1}$  为B, 记  ${}^{end}T_{camera}$  为X, 则上式(5)可写为:

$$[0082] \quad AX = XB;$$

[0083] 解算方程  $AX = XB$ , 就可以得到X, 也即得到视觉相机10外参  ${}^{end}T_{camera}$ , 机器人视觉系统构建完成。

[0084] 步骤二: 布置工作台面9形成滴管装配路点、吸取溶液路点、释放溶液路点、卸载滴管路点等各个操作路点。

[0085] 如图10所示,除了目标识别物13粘贴于所述工作台面9上外,将滴管盒、溶液容器等操作对象分别设于所述工作台面9上形成各个路点,这些操作对象相对目标识别物13的位姿固定不变,因此只要机器人视觉系统识别到了目标识别物13(marker)的位姿,那么就可以通过处理这个信息得到各个操作对象位姿信息,也即各个路点信息。

[0086] 步骤三: 标定协作机器人11末端在基座12的base坐标系内的初始点P1以及在marker坐标系内的初始点P2,并求出机器人末端移动到与marker坐标系下的初始点P2位姿重合时,此时机器人末端(end)相对于base坐标系的位姿  ${}^{base}T_{end}^{P2}$ 。

[0087] 标定机器人基座坐标系base的初始点P1:

[0088] 初始点P1应满足一个必要条件,即协作机器人11的末端与base坐标系内的一个固定初始点P1重合时,设于协作机器人11末端的视觉相机10可以识别到工作台面9内的目标识别物13并返回其相对于相机坐标系的位姿,满足这个条件,才能解算出marker坐标系初

始点位姿。

[0089] 记这时协作机器人11末端(end)相对于基座12(base)的位姿为： $baseT_{end}^{P1}$ 。

[0090] 标定marker坐标系的初始点P2：

[0091] 当机器人视觉系统识别到目标识别物13时,这个marker坐标系内的初始点P2也应当满足机器人末端与这个marker坐标系的P2点重合时,机器人视觉系统也可以识别到marker并读取这个位姿的marker坐标系相对于相机坐标系的位姿,此时目标识别物13(marker)相对于视觉相机10(camera)的位姿记为： $cameraT_{marker}^{P2}$ ,另外设机器人末端位姿移动到与这个marker坐标系下的初始点P2位姿重合时,此时机器人末端(end)相对于基座12(base)的位姿为： $baseT_{end}^{P2}$ 。

[0092] 如何将机器人末端从base初始点P1移动到marker初始点P2,而且marker相对于base的位姿是可变的(如步骤一中所述,移动了工作台面9就是移动了marker坐标系),具体计算如下：

[0093] 首先当marker坐标系(即工作台面9)最后一次移动后,marker坐标系相对于base坐标系位姿固定,那么机器人末端由P1运动到P2,机器人末端处于这两个位姿时有下式成立：

$$[0094] \quad baseT_{marker}^{P1} = baseT_{end}^{P1} endT_{camera} cameraT_{marker}^{P1} \quad (7);$$

$$[0095] \quad baseT_{marker}^{P2} = baseT_{end}^{P2} endT_{camera} cameraT_{marker}^{P2} \quad (8);$$

[0096] 由上式(7)和(8)可得：

$$[0097] \quad baseT_{end}^{P2} = baseT_{marker}^{P2} cameraT_{marker}^{P2-1} endT_{camera}^{P2-1} \quad (9);$$

[0098] 通过上述推导可知,当机器人末端移动到base坐标系一固定位姿P1,然后再移动到marker坐标系一固定位姿P2时,由于marker坐标系相对于base坐标系位姿固定, $baseT_{marker}^{P1}$ 已知, $endT_{camera}^{P1}$ 和 $cameraT_{marker}^{P1}$ 则通过机器人视觉系统获得,然后利用 $endT_{camera}^{P1}$ 以及 $cameraT_{marker}^{P1}$ 就可以求出 $baseT_{end}^{P1}$ ,并可以将其转化为x、y、z,RX、RY、RZ的形式发送给机器人控制系统,就可以实现机器人末端直线运动到P2点,此为本领域公知技术。

[0099] 步骤四:标定各个操作路点Pi相对于所述P2点的位姿 $P2T_{Pi}$ ,并求出机器人末端移动到与操作路点Pi重合时,此时机器人末端(end)相对于base坐标系的位姿 $baseT_{end}^{Pi}$ 。

[0100] 机器人进行自主移液操作前,需要标定步骤二中确定的各个路点Pi相对于所述P2点的位姿 $P2T_{Pi}$ ,并传输给机器人控制系统。

[0101] 如图11所示,以机器人末端由所述P2点移动到第一个路点P3为例,有下式成立：

$$[0102] \quad baseT_{end}^{P3} = baseT_{end}^{P2} P2T_{P3} \quad (10);$$

[0103] 由上式(10)进一步获得：

$$[0104] \quad P2T_{P3} = baseT_{end}^{P3-1} baseT_{end}^{P3} \quad (11);$$

[0105] 这样就求出了 ${}^{P2}T_{P3}$ ,同理可以求出 ${}^{P2}T_{P4}$ 、 ${}^{P2}T_{P5}$ ...

[0106] P3相对于marker坐标系是固定的,因此其相对于marker坐标系的一个固定位姿 $P2$ 也是固定的,即 ${}^{P2}T_{P3}$ 不变。

[0107] 当marker坐标系改变时(即工作台面9移动时), ${}^{base}T_{end}^{P3}$ 、 ${}^{base}T_{end}^{P2}$ 会发生变化,但 ${}^{P2}T_{P3}$ 仍然不变, $P2$ 、 $P3$ 、 $P4$ ...是marker坐标系(目标识别物13)的固定路点,也即每次移动工作台面9后,各个操作路点在marker坐标系的表达不变,但在base坐标系中的表达会变化。

[0108] 另外需注意,上述标定过程中利用机器人示教功能返回的 ${}^{base}T_{end}^{P3}$ 只是在标定过程中使用,机器人自主移液操作时是根据标定出的 ${}^{P2}T_{P3}$ 求出了目标点 ${}^{base}T_{end}^{P3}$ 。

[0109] 标定出 ${}^{P2}T_{P3}$ 后,当marker坐标系相对于基座12的base坐标系改变时,也即工作台面9移动时,可以利用上述公式(9)求出marker坐标系初始点 $P2$ 相对于机器人基座base坐标系的位姿,再利用上述公式(10)求出 ${}^{base}T_{end}^{P3}$ ,将其转化为机器人可以接受的 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $RX$ 、 $RY$ 、 $RZ$ 指令形式,就可以控制机器人末端移动到 $P3$ 位姿。

[0110] 将上述(10)和(11)改写为通用形式,其中 $i=3,4,5$ ...

$$[0111] \quad {}^{base}T_{end}^{Pi} = {}^{base}T_{end}^{P2} {}^{P2}T_{Pi} \quad (10);$$

$$[0112] \quad {}^{P2}T_{Pi} = {}^{base}T_{end}^{Pi-1} {}^{base}T_{end}^{Pi} \quad (11)。$$

[0113] 步骤五:机器人系统控制协作机器人11末端移动实现自主移液操作。

[0114] 由上述可知,机器人在 $P1$ 利用机器人视觉系统的返回信息可以用上述方法求出 ${}^{base}T_{end}^{Pi}$ , $i=2,3,4$ ...后,机器人末端只要依次移动到目标路点,就完成了无人环境下的机器人自主移液操作。

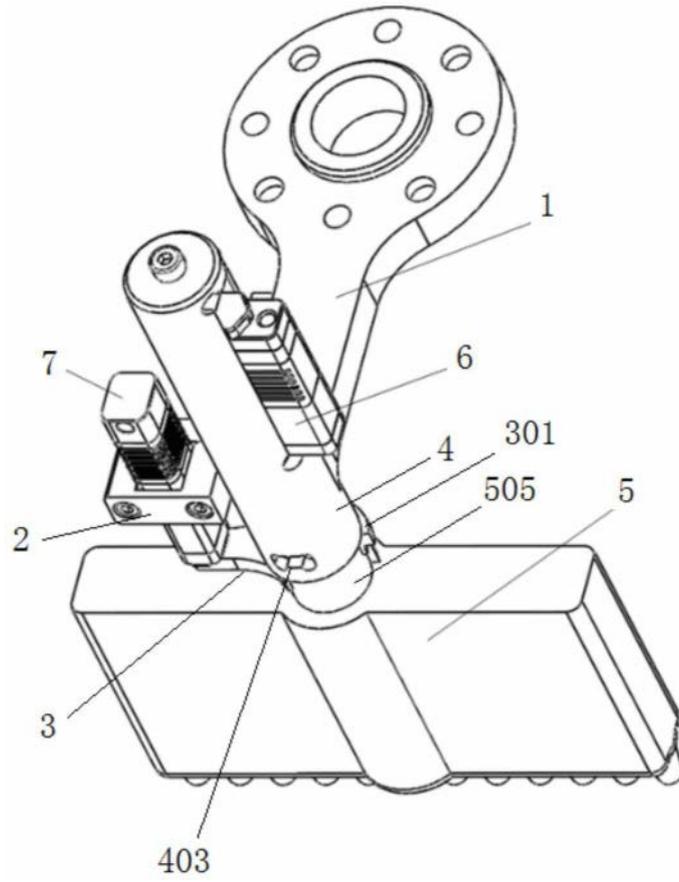


图1

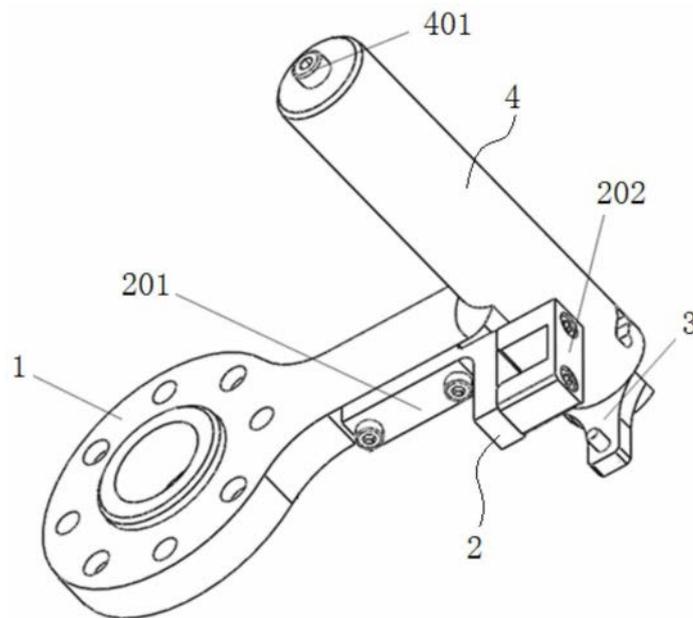


图2

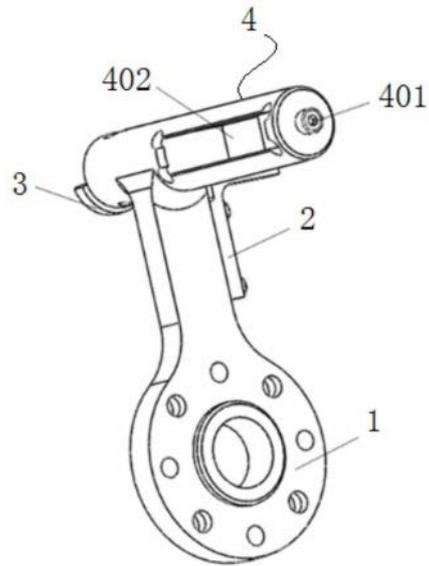


图3

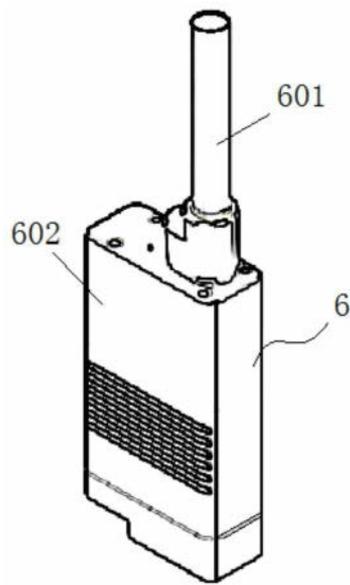


图4

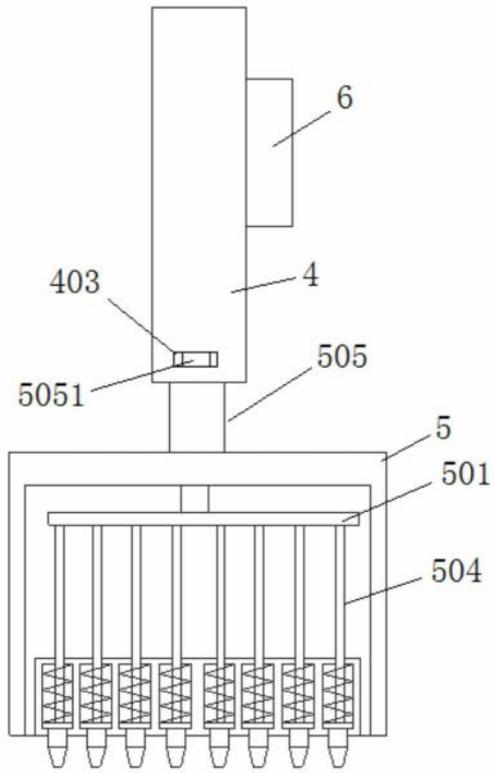


图5

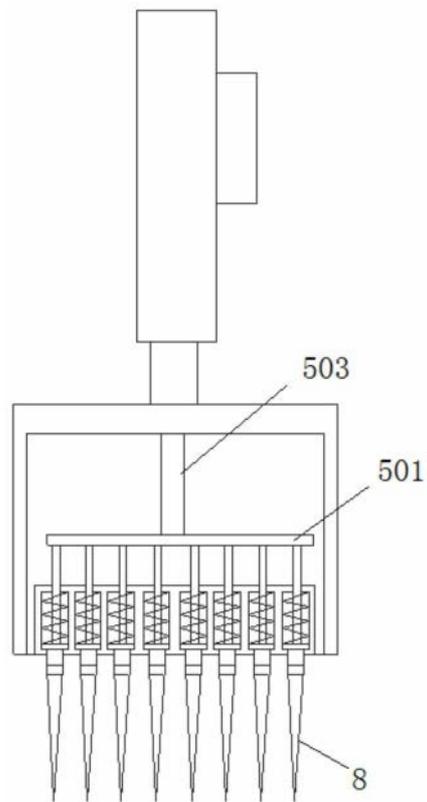


图6

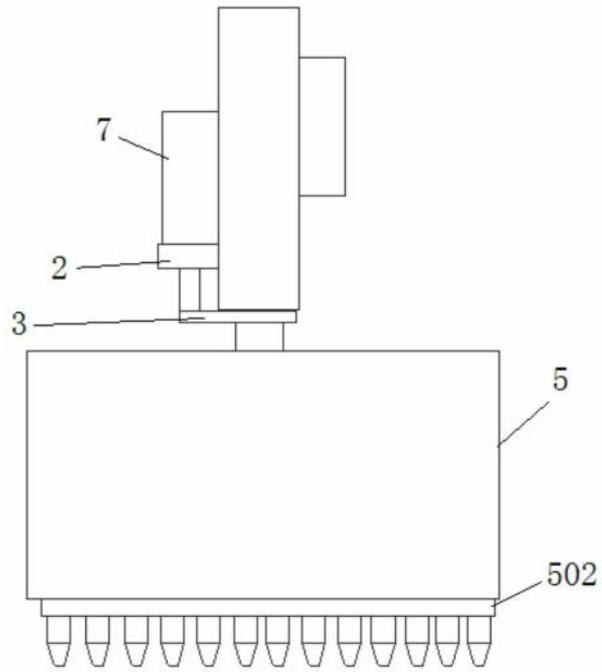


图7

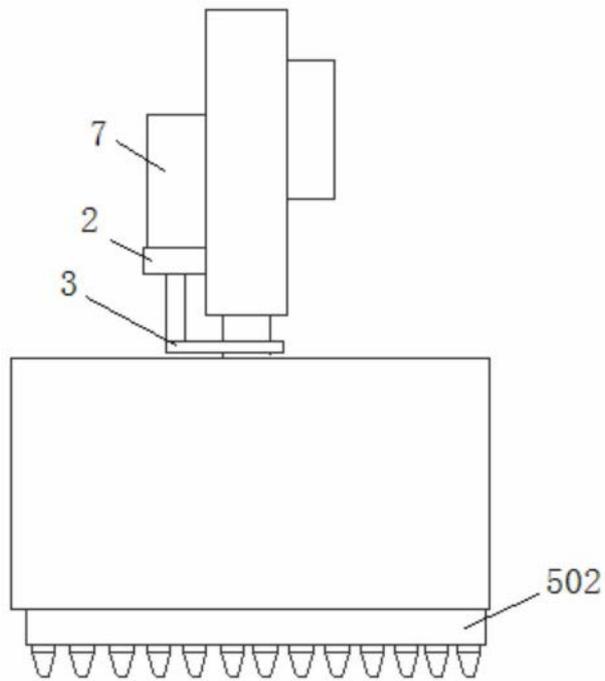


图8

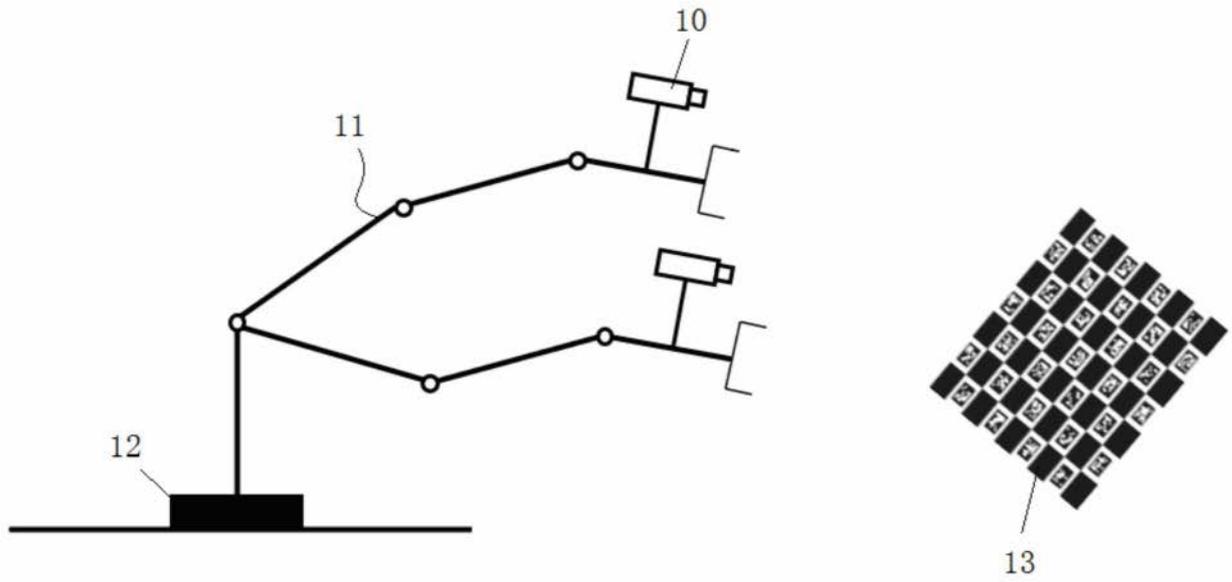


图9

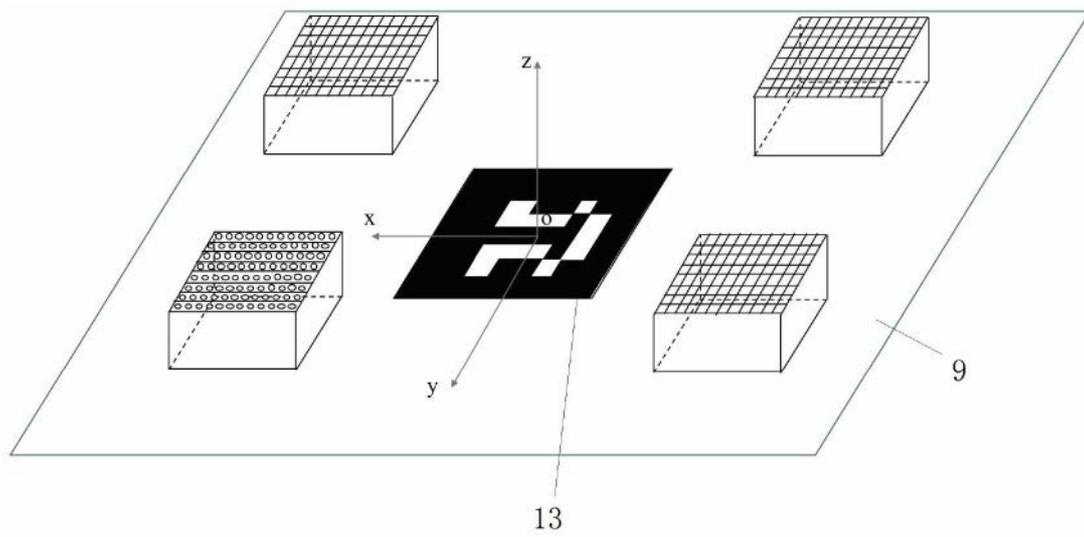


图10

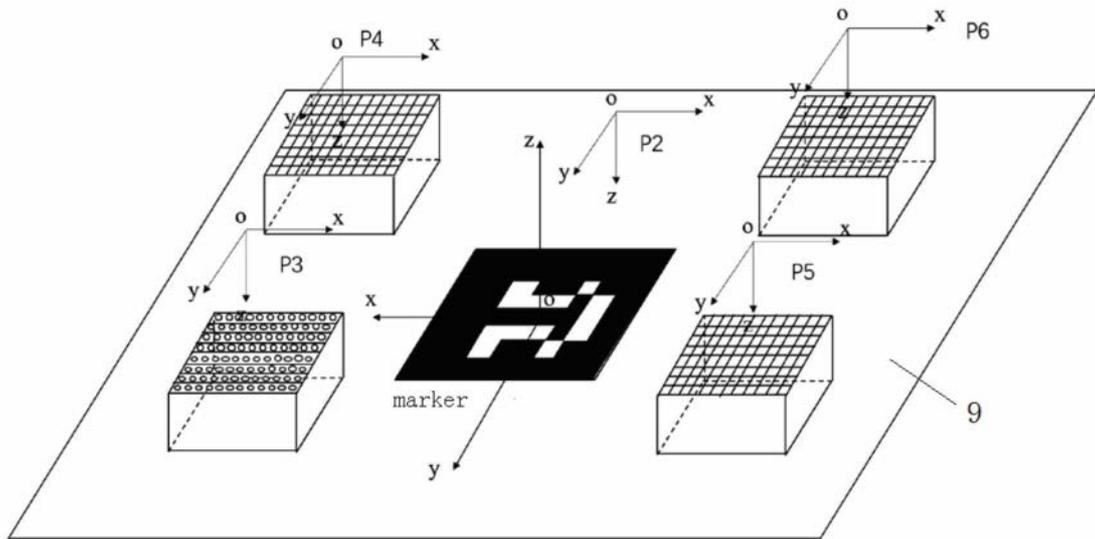


图11