

(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
2018 年 10 月 25 日 (25.10.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/192177 A1

- (51) 国际专利分类号:
B25J 9/16 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/103435
- (22) 国际申请日: 2017 年 9 月 26 日 (26.09.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710257077.0 2017年4月19日 (19.04.2017) CN
- (71) 申请人: 广州视源电子科技有限公司 (GUANGZHOU SHIYUAN ELECTRONICS CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省广州市黄埔区云埔四路6号, Guangdong 510530 (CN)。
- (72) 发明人: 阳 方 平 (YANG, Fangping); 中国广东省广州市黄埔区云埔四路6号, Guangdong 510530 (CN)。
- (74) 代理人: 广州华进联合专利商标代理有限公司 (ADVANCE CHINA IP LAW OFFICE); 中国

广东省广州市天河区花城大道 85 号 3901 房, Guangdong 510623 (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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) Title: ROS AND OROCOS-BASED ROBOT CONTROL METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 基于ROS和OROCOS的机器人控制方法和系统

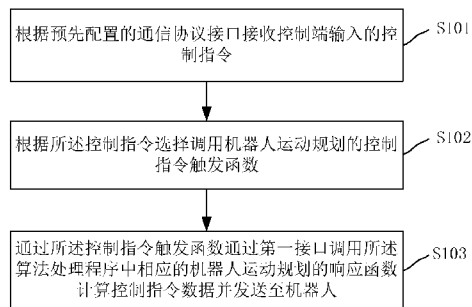


图 1

- S101 Receive, according to a pre-configured communication protocol interface, a control command inputted from a control end
- S102 Choose, according to the control command, to call a control command trigger function of a robot motion plan
- S103 Use the control command trigger function to call, by means of a first interface, a corresponding response function of the robot motion plan in an algorithm processing program to calculate control command data, and transmit same to a robot

(57) Abstract: Provided are a ROS and OROCOS-based robot control method and system. The method comprises: receiving, according to a pre-configured communication protocol interface, a control command inputted from a control end; choosing, according to the control command, to call a control command trigger function of a robot motion plan; and using the control command trigger function to call, by means of a first interface, a corresponding response function of the robot motion plan in an algorithm processing program to calculate control command data, and transmitting same to a robot, wherein each control command trigger function corresponds to a response function of a robot motion plan in the algorithm processing program, and the first interface is a real-time input/output interface of OROCOS created on the basis a ROS and is used to establish a communication connection with the algorithm processing program. The system constitutes a piece of complete robot controller software, thereby reducing development costs of a robot control system, and enhancing control performance.

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：一种基于ROS和OROCOS的机器人控制方法和系统，该方法包括：根据预先配置的通信协议接口接收控制端输入的控制指令；根据控制指令选择调用机器人运动规划的控制指令触发函数；通过控制指令触发函数通过第一接口调用所述算法处理程序中相应的机器人运动规划的响应函数计算控制指令数据并发送至机器人；其中，每个控制指令触发函数对应算法处理程序中的一种机器人运动规划的响应函数对应；第一接口是基于ROS上创建OROCOS的实时输入/输出接口，用于与算法处理程序进行通信连接。该系统可以构成一个完整的机器人控制器软件，降低机器人控制系统开发成本，提高控制效果。

基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法和系统

技术领域

5 本发明涉及机器人控制技术领域，特别是涉及一种基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法和系统。

背景技术

Robot Operating System (ROS) 是开源的机器人操作系统，可以为机器人开发者提供一个标准化的、开源的编程框架。但是 ROS 目前不支持实时线程操作。Open Robot Control Software (OROCOS) 也是一种开源的机器人控制软件编程框架，它的特点是支持实时的线程操作，但是它的开放性，通用性没有 ROS 好。

因此，目前在一些应用方案中，在 ROS 上采用 OROCOS，但现有技术方案在搭建的架构上，不能构成一个完整的机器人控制器软件，无法充分利用 ROS 和 OROCOS 的特性，系统开发成本高，控制效果差。

发明内容

10 基于此，有必要针对上述技术问题，提供一种基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法和系统，降低系统开发成本，提高控制效果。

一种基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法，包括：

根据预先配置的通信协议接口接收控制端输入的控制指令；

根据所述控制指令选择调用机器人运动规划的控制指令触发函数；

15 通过所述控制指令触发函数通过第一接口调用所述算法处理程序中相应的机器人运动规划的响应函数计算控制指令数据并发送至机器人；

其中，每个控制指令触发函数对应算法处理程序中的一种机器人运动规划

的响应函数对应；所述第一接口是基于 ROS 上创建 OROCOS 的实时输入/输出接口，用于与算法处理程序进行通信连接。

一种基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制系统，包括：

接收单元，用于根据预先配置的通信协议接口接收控制端输入的控制指令；

5 选择单元，用于根据所述控制指令选择调用机器人运动规划的控制指令触发函数；

发送单元，用于通过所述控制指令触发函数通过第一接口调用所述算法处理程序中相应的机器人运动规划的响应函数计算控制指令数据并发送至机器人；

10 其中，每个控制指令触发函数对应算法处理程序中的一种机器人运动规划的响应函数对应；所述第一接口是基于 ROS 上创建 OROCOS 的实时输入/输出接口，用于与算法处理程序进行通信连接。

上述基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法和系统，利用 OROCOS 的实时输入/输出接口与算法处理程序进行通信，通过预先配置的通信协议接口
15 接收控制指令，通过控制指令触发函数，调用算法处理程序的机器人运动规划的响应函数，计算控制指令数据并发送至机器人，实现控制指令的接收分发、解析和传输，可以构成一个完整的机器人控制器软件，降低机器人控制系统开发成本，提高控制效果。

20 附图说明

图 1 是本发明实施例的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法流程图；

图 2 是一种机器人控制系统的硬件结构模型；

图 3 是基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法搭建的软件架构图；

图 4 是控制器状态机的状态变化示意图；

25 图 5 是设备状态机的状态变化示意图；

图 6 是本发明实施例的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制系统结构示意图。

具体实施方式

下面结合附图阐述本发明的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法和系统的实施例。

5 参考图 1 所示，图 1 是本发明实施例的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法流程图；主要包括如下步骤：

S101，根据预先配置的通信协议接口接收控制端输入的控制指令；可以通过 ICE 开发的通信协议建立与控制端的通信连接，通过调用所述通信协议的动态异步远程过程调用方法输入的控制指令。

10 S102，根据所述控制指令选择调用机器人运动规划的控制指令触发函数；其中，每个控制指令触发函数对应算法处理程序中的一种机器人运动规划的响应函数对应。

S103，通过所述控制指令触发函数通过第一接口调用所述算法处理程序中相应的机器人运动规划的响应函数计算控制指令数据并发送至机器人；所述第
15 一接口是基于 ROS 上创建 OROCOS 的实时输入/输出接口，用于与算法处理程序进行通信连接。

上述实施例的技术方案，利用 OROCOS 的实时输入/输出接口与算法处理程序进行通信，通过预先配置的通信协议接口接收控制指令，通过控制指令触发函数，调用算法处理程序的机器人运动规划的响应函数，计算控制指令数据
20 并发送至机器人，实现控制指令的接收分发、解析和传输，可以构成一个完整的机器人控制器软件，降低机器人控制系统开发成本，提高控制效果。

在一个实施例中，对于步骤 S101 中的通信协议接口，可以采用 ICE (The Internet Communications Engine，互联网通信引擎) 通信协议，接收控制端输入的控制指令时，可以通过 ICE 开发的通信协议建立与控制端的通信连接，通
25 过调用所述通信协议的动态异步远程过程调用方法输入的控制指令。

在一个实施例中，所述算法处理程序根据所述响应函数计算得到控制指令数据，并通过第二接口发送至通信管理程序，所述通信管理程序将控制指令数

据发送至机器人；所述第二接口是基于 ROS 上创建 OROCOS 的实时输入/输出接口，用于算法处理程序与通信管理程序进行通信连接。

在一个实施例中，在接收控制端输入的控制指令前，将控制端发起的控制指令与所述算法处理程序中相应的机器人运动规划的响应函数进行绑定；在接收控制端输入的控制指令后，获取所述控制指令的第一个参数，根据所述参数判断当前调用的运动规划类型，根据所述运动规划类型选择调用相应的运动规划的控制指令触发函数，调用算法处理程序中相应的响应函数计算控制指令参数。

在一个实施例中，所述运动规划包括：点到点运动，直线运动，圆弧运动，手动示教，回到原点、暂停、恢复或急停。

在一个实施例中，还可以获取算法处理程序和通信管理程序的相关信息并进行处理。

(1) 可以通过回调函数方式从所述第一接口接收算法处理程序传入的反馈信息；其中，所述反馈信息包括事件报告信息、机器人电机运行的诊断数据；包括生成错误的时间戳，事件级别等信息，并将事件信息，这些信息可以发送给控制端的人机交互界面显示；

(2) 可以通过所述第三接口接收通信管理程序传入的反馈信息；其中，所述第三接口是基于 ROS 上创建 OROCOS 的实时输入/输出接口，用于与通信管理程序进行通信连接；

所述反馈信息包括事件报告信息、机器人电机运行的诊断数据；比如，位置，速度，加速度是否超限等等。

在一个实施例中，在步骤 S102 的选择调用机器人运动规划的控制指令触发函数前，还可以进行先进行初始化处理：检测历史运行所记录的日志报告，若日志报告正常，通过事件报告接口接收相关信息并进行处理；若日志报告异常，则退出。

在一个实施例中，还可以通过控制器状态机来对算法处理程序和通信管理程序的运行状态进行控制，具体如下：

根据接收到的控制指令的类型，向控制器状态机写入状态事件；根据所述状态事件控制所述算法处理程序和通信管理程序的运行状态；其中，控制器状态机设有初始化、指令等待、指令执行、中断和使能对应的状态，所述使能状态为分别与每种运动规划对应的子状态的合集。

5 对于第一接口、第二接口和第三接口，是指分别用于与算法处理程序进行通信连接的接口，用于算法处理程序和通信管理程序进行通信连接的接口，以及用于与通信管理程序进行通信的接口；按照输入/输出接口方式划分，第一接口包括向算法处理程序的输入/输出接口，第二接口包括向通信管理程序的输入/输出接口。

10 可以使用 ROS 的 `rocreate-catkin-pkg` 方法创建为 ROS 的 Package，并在 Package 中继承 OROCOS 的 `RTT::TaskContext` 类，利用 OROCOS 的 `RTT::Input` 与 `RTT::Output` 方法定义实时输入/输出接口。

为了更加清晰本发明的实施例的技术方案，下面阐述采用本发明的方法实现的实例。

15 本实例中，硬件和软件环境可以如下：

参考图 2 所示，图 2 是一种机器人控制系统的硬件结构模型，在机器人控制器的搭建软件架构，运行于 Linux 操作系统，该 Linux 主机可以是 X86 架构的 PC 机，或者 ARM 芯片嵌入式架构的开发板，控制器管理程序接入控制端的人机交互界面的控制指令。

20 Linux 主机可以安装如下软件：可以安装 Xenomai 或者 RTAI 的实时内核补丁；可以安装 ROS，OROCOS，rFSM 等软件。

参考图 3 所示，图 3 是基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法搭建的软件架构图；在控制过程中，操作系统上运行控制器管理程序、算法处理程序和通信管理程序；控制器管理程序对应运行本发明的基于 ROS 和 OROCOS 的机
25 器人控制方法。

1、对于控制器管理程序：

(1) 控制器管理程序使用 ROS 的 `rocreate-catkin-pkg` 方法创建 ROS 的

Package，记为 Ec_control_system，然后在 Package 中，通过继承 OROCOS 的 RTT::TaskContext 类，记为 Ec_control_system_component。

在 Ec_control_system_component 类的构造函数中，设置为执行如下操作：

a) 利用 OROCOS 的 RTT::Input 与 RTT::Output 方法，对模块的输入，

5 输出接口进行定义。

其中输入的接口包括：

①通信管理程序传入的诊断数据；

②通信管理程序传入的状态反馈信息：包括电机运行状态等等；

③控制器状态机的状态；

10 输出的接口包括：

①控制器状态机事件触发，输出给控制器状态机。

b) 利用 OROCOS 的 Operational Caller 方法设置函数调用接口。

第一，设置事件报告的回调函数：对事件报告处理请求进行响应，包括生成错误的时间戳，事件级别等信息，并将事件信息，发送给人机交互界面显示。

15 第二，设置警报设置的回调函数：依据诊断信息，判断是否生成警报。比如，位置，速度，加速度是否超限等等。

第三，设置各种运动规划的控制指令触发函数，这些函数将对算法处理程序的相应响应函数进行调用，包括：

①点到点运动；

20 ②回到原点；

③直线运动；

④圆弧运动；

⑤暂停；

⑥恢复；

25 ⑦急停；

⑧手动示教。

c) 调用 OROCOS 的 Properties 方法定义控制器管理程序的属性，将控制

器管理程序定义一个机械臂关节个数的属性。

(2) 在 Ec_control_system_component 的 StartHook()成员函数中，设置执行如下操作：

a) 检查日志报告是否正常，若异常直接退出，并将相关信息通过事件报告接口传递给控制器管理程序处理；

b) 通过 ICE 开发的通信协议建立与人机交互界面的通信连接，并调用通信协议提供的动态异步远程过程调用 (RPC) 方法，对人机交互界面发起的控制指令进行响应的回调函数进行绑定。该回调函数，首先根据 ICE(The Internet Communications Engine，互联网通信引擎) 提供的远程过程异步调用方法传入的
10 的第一个参数，判断调用类型，然后依据此类型选择调用相应运动规划的控制指令触发函数，包括：恢复，暂停，手动示教，回到原点，点到点运动，直线运动，圆弧运动，急停。

(3) 对于 Ec_control_system_component 的 CleanUpHook()成员函数，为了使得该函数在控制器管理程序结束运行时，实现自动调用，还可以设置为执行
15 如下操作：

a) 调用 ICE 开发的通信协议接口，关闭与人机交互界面的通信连接。

(4) 对于控制器状态机，参考图 4 所示，图 4 是控制器状态机的状态变化示意图；可以设置 Init、 Ready、 Fault、 Active.Recovery、 Active.Halt、 Active.Hands、 Active.ToZero、 Active.PTP、 Active.Line、 Active.Circle、
20 Active.Stop 共十一个状态，分别代表初始化、等待指令输入、恢复、暂停、手动示教、回到原点、点到点运动、直线运动、圆弧运动、急停状态。其中， Active.Recovery、 Active.Halt、 Active.Hands、 Active.ToZero、 Active.PTP、 Active.Line、 Active.Circle、 Active.Stop 这八个状态组成一个 Active 状态的集合， Active 的状态转移规则，对八个子状态均有效。例如，给八个状态中的
25 的任一个，写入“e_ready”事件，将控制器状态机的状态从当前状态转移到 Ready 状态 (即等待指令输入状态)。

另外，还可以使用 Lua 语言，编写控制器管理程序的启动文件，该启动文

件设置为执行如下动作：

a) 通过 OROCOS 的 import 方法，加载模块进行运行；

b) 定义模块的刷新频率，线程的优先级别；

c) 对模块的属性进行赋值；

5 d) 通过 OROCOS 的 connect 方法，将控制器管理程序的输入、输出接口和算法处理程序和通信管理程序的接口建立连接。

e) 通过 OROCOS 的 start 方法，运行控制器管理程序，控制器管理程序将先调用 StartHook() 函数，然后按预设刷新频率，实时地周期性调用 UpdateHook() 函数。

10 2、对于算法处理程序：

算法处理程序使用 ROS 的 orocreate-catkin-pkg 方法创建 ROS 的 Package，记为 Ec_control_loop，然后在 Package 中，通过继承 OROCOS 的 RTT::TaskContext 类，记为 Ec_control_loop_component。

15 (1) 在 Ec_control_loop_component 类的构造函数中，设置为执行如下操作：

a) 算法处理程序利用 OROCOS 的 RTT::Input 与 RTT::Output 方法，对输入，输出接口进行定义。

其中输入的接口包括：

①通信管理程序传入的电机运行数据；

20 ②通信管理程序传入的诊断数据；

③设备状态机的状态；

④控制器状态机的状态；

输出的接口包括：

①电机控制指令数据，输出给设备通信模块；

25 ②电机运行数据，输出给控制算法处理程序；

③设备状态机事件触发，输出给设备状态机；

④控制器状态机事件触发，输出给控制器状态机。

b) 利用 OROCOS 的 Operational Caller 方法设置函数调用接口，设置事件报告的接口：该接口将触发控制器管理程序的事件报告处理函数设置各种运动规划的控制指令响应函数，包括：

- ①点到点运动；
- ②回到原点；
- ③直线运动；
- ④圆弧运动；
- ⑤暂停；
- ⑥恢复；
- ⑦急停；
- ⑧手动示教。

c) 调用 OROCOS 的 Properties 方法定义算法处理程序的属性，算法处理程序定义一个机械臂关节个数的属性。

(2) 在 Ec_control_loop_component 的 StartHook()成员函数中，设置为执行如下操作：

a) 检查日志报告是否正常，若异常直接退出，并将相关信息通过事件报告接口传递给控制器管理程序处理；

b) 检查电机运行数据通道是否有数据，若无数据直接退出，并将相关信息通过事件报告接口传递给控制器管理程序处理。

(3) 对于 Ec_control_loop_component 类的 UpdateHook()成员函数，设置该函数在算法处理程序运行时，按照用户设定的频率实时运行(如设为 100Hz)，可以设置为执行如下操作：

a) 读取控制器状态机状态；

b) 根据控制器状态机的不同状态，执行不同操作：

1、如果是点到点运动，直线运动，圆弧运动，手动示教，急停，回到原点状态。此时，执行如下操作：

如果指令缓冲区的控制指令个数小于 20 个，则将所有指令一起发送给通

信管理程序，并将控制器状态机的状态改变为等待指令输入状态；

如果指令缓冲区的控制指令个数大于 20 个，则取指令队列末尾的 20 个，发送给通信管理程序；

II、如果是暂停状态，则什么也不做。

5 (4) 对于 Ec_control_loop_component 类，定义点到点运动，直线运动，圆弧运动，手动示教，急停，回到原点，暂停，恢复等函数调用接口，实现如下：

a) 点到点运动，直线运动，圆弧运动，手动示教，回到原点的函数，内部实现如下：

10 检查控制器状态机是否处于等待指令输入状态。如果不是则退出，并将相关信息通过事件报告接口传递给控制器管理程序处理；

读取电机的当前的状态信息；

依据电机的当前状态，分别调用点到点运动，直线运动，圆弧运动，手动示教，回到原点的运动规划，并将生成的电机控制指令保存到指令缓冲区；

15 将控制器状态机设为相应的状态。比如点到点运动回调函数，则将控制器状态机设为点到点运动状态。

b) 暂停函数，内部实现如下：

20 检查控制器状态机是否是点到点运动，直线运动，圆弧运动，手动示教，回到原点等状态。如果不是则退出，并将相关信息通过事件报告接口传递给控制器管理程序进行处理；

记录当前控制器状态机的当前状态，并将控制器状态机的状态转变为暂停状态。

c) 恢复函数，内部实现如下：

25 检查控制器状态机是否是暂停状态。如果不是则退出，并将相关信息通过事件报告接口传递给控制器管理程序处理；

将控制器状态机的状态转变为暂停前的状态。

d) 急停函数，内部实现如下：

I、检查控制器状态机是否是点到点运动，直线运动，圆弧运动，手动示教，回到原点等状态。如果不是则退出，并将相关信息通过事件报告接口传递给控制器管理程序处理；

II、读取电机的当前的状态信息；

5 III、将电机控制指令缓冲区清零；

IV、调用速度规划运动规划，让电机以最短时间，速度降为 0，并将生成的电机控制指令保存到指令缓冲区。

(5) 使用 Lua 语言，编写算法处理程序的启动文件，设置为执行如下动作：

10 a) 通过 OROCOS 的 import 方法，加载算法处理程序；

d) 定义算法处理程序的刷新频率，线程的优先级别；

c) 对算法处理程序的属性进行赋值；

d) 通过 OROCOS 的 connect 方法，将算法处理程序的输入，输出接口和控制器管理程序和通信管理程序的接口建立连接。

15 e) 通过 OROCOS 的 start 方法，运行算法处理程序，算法处理程序先调用 StartHook() 函数，然后按设置的刷新频率，实时地周期性调用 UpdateHook() 函数。

3、对于通信管理程序：

通信管理程序可以通过 linux 主机 minicom 中的 ttyACM0 与 Arm 开发板
20 通信，可以在该 Arm 开发板上运行一个 CANOpen 主站协议，该主站协议可以设置一个指令缓存区，最多可以存储 25 个指令。

通信管理程序可以利用 OROCOS 的 RTT :: Input 与 RTT :: Output 方法与机器人算法处理程序和控制器管理程序进行通信。

利用 rFSM 软件建立设备状态机，对通信管理程序的业务逻辑进行控制。

25 通信管理程序利用 OROCOS 的 RTT :: Input 与 RTT :: Output 方法与设备状态机连接，可改变设备状态机的状态，并读取状态。

(1) 通信模块使用 ROS 的 orocreate-catkin-pkg 方法创建为 ROS 的 Package，

然后在 Package 中，通过继承 OROCOS 的 `RTT::TaskContext` 类，创建一个 OROCOS 的实时模块，记为 `Ec_component`。

在 `Ec_component` 类的构造函数中，设置为执行如下操作：

- a) 通信管理程序利用 OROCOS 的 `RTT::Input` 与 `RTT::Output` 方法，
5 对输入，输出接口进行定义。

其中输入的接口包括：

- ① 算法处理程序传入的控制指令数据；
- ② 设备状态机的状态；

输出的接口包括：

- ① 诊断数据，输出至算法处理程序和控制器管理程序；
- ② 电机运行数据，输出给算法处理程序；
- ③ 状态机事件触发，输出给设备状态机。

- b) 利用 OROCOS 的 `Operational Caller` 方法定义函数调用接口，通信管理
15 程序定义事件报告的接口，通过该接口触发控制器管理程序的事件报告处理函数。

c) 调用 OROCOS 的 `Properties` 方法定义通信管理程序的属性，通信管理程序定义一个机械臂关节个数的属性。

(2) 在 `Ec_component` 的 `StartHook()` 成员函数中，设置为执行如下操作：

- a) 检查日志报告是否正常，若异常直接退出，并将相关信息通过事件报
20 告接口传递给控制器管理程序进行处理；

b) 电机驱动初始化：

I、通过 `ttyACM0` 与电机驱动器建立通信；

II、电机指令缓冲队列清空；

III、电机使能，如果使能成功，则进行下一步，否则退出；

- IV、读取电机的位置，计算机器人的机械臂当前状态，包括关节角度，机
25 械臂末端位姿；

c) 机械臂状态初始化：

依据电机位置，判断机械臂是否需要执行回零运动。如果机械臂任一关节角度与零度相差大于 0.01 度，则执行回零运动，调用点到点运动规划，对回零运动进行规划。

d) 改变设备状态机的状态：

5 如果机器人的机械臂需要执行回零运动，则控制设备状态机保持 Init 状态不变；否则，向设备状态机发送“e_nominal”事件，将设备状态机的状态转换为 Active.Nominal。

(3) 对于 Ec_component 的 UpdateHook()成员函数，设置该函数在通信管理程序运行时，以用户设定的频率实时运行 (如设为 1KHz)，设置为执行如下
10 操作：

a) 读取设备状态机状态；

b) 根据设备状态机的不同状态，执行不同操作：

I、如果是 Init 状态，执行机械臂的回零运动。此时，执行如下操作：

15 读取系统的时钟，依据回零运动轨迹规划结果，计算该时刻电机的运动指令，并将该单条运动指令发送给 CANOpen 主站。

如果运动已回零成功，向设备状态机发送“e_nominal”事件，将设备状态机转换为 Active.Nominal，并将该事件报告给控制器管理程序。

II、如果是 Active.Nominal 状态。此时，执行如下操作：

20 从控制指令数据的输入通道中，读取控制指令，并存储到电机指令缓冲队列中。

读取 CANOpen 主站指令缓冲区的现有指令个数，如果小于 10 个，则一次性从电机指令缓冲队列中取出 15 个运动指令发送给 CANOpen 主站。如果电机指令缓冲队列的指令个数小于 15 个，则一次性全部发送给 CANOpen 主站。

25 III、如果是 Active.Recovery 状态。此时，通信管理程序处于恢复状态。

此时，依据诊断信息，对系统状态进行恢复，若恢复成功，向设备状态机发送“e_nominal”事件，将设备状态机转换为 Active.Nominal。并将该事件报告

给控制器管理程序。

若恢复不成功，给状态机发送“e_fault”事件，状态机转换为 Fault 状态，将该事件报告给控制器管理程序，并直接退出 UpdateHook()。

IV、如果是 Active.Halt 状态。此时，模块处于暂停状态，执行如下操作：

- 5 检查控制指令数据的输入通道中是否有新的指令，若有新指令，则读取控制指令，并存储到电机指令缓冲队列中。

V、如果是 Active.Hands 状态。此时，模块处于手控模式，执行如下操作：

读取系统的时钟，依据运动轨迹规划结果，计算该时刻电机的运动指令，并将该单条运动指令发送给 CANOpen 主站。

- 10 VI、如果是 Fault 状态，则直接退出 UpdateHook()。

c) 读取电机状态，计算机械臂关节以及末端运动状态信息，并通过输出数据通道，传递给算法处理程序与控制器管理程序；

- d) 检查控制主站是否有错误报告信息，如果有错误信息，则将诊断信息传递给算法处理程序与控制器管理程序。向设备状态机发送“e_recovery”事件，
15 将设备状态机转换为 Active.Recovery 状态、 并将该事件报告给控制器管理程序。

(4) 对于 Ec_component 的 CleanUpHook()成员函数，该函数在模块结束运行时，自动调用，设置执行如下操作：

- a) 关闭电机驱动使能；
20 b) 关闭电机驱动连接。

- (5) 参考图 5 所示，图 5 是设备状态机的状态变化示意图。共有 Init (初始化)、 Fault (中断)、 Active.Recovery (恢复)、 Active.Hands (手动示教)、 Active.Halt (暂停)、 Active.Nominal (运转) 六个状态。Active.Recovery、 Active.Hands、 Active.Halt、 Active.Nominal 四个状态组成一个 Active(使能)
25 的状态集合， Active 的状态转移规则，对四个子状态均有效。

(6) 使用 Lua 语言，编写该模块的启动文件，该启动文件设置执行如下动作：

a) 通过 OROCOS 的 import 方法，加载通信管理程序；

b) 定义通信管理程序的刷新频率，线程的优先级别；

c) 对通信管理程序的属性进行赋值；

5 d) 通过 OROCOS 的 connect 方法，将通信管理程序的输入，输出接口和
控制器管理程序和算法模等的接口建立连接。

e) 通过 OROCOS 的 start 方法，运行通信管理程序，通信管理程序先调用 StartHook() 函数，然后按定义好的刷新频率，实时地周期性调用 UpdateHook() 函数。

10 对于上述控制器管理程序、算法处理程序和通信管理程序，设置为当运行
后，如果用户需要中途停止该模块，同时按键盘的 ctrl 键与 D 键。

15 综上实施例，基于 ROS 和 OROCOS，利用 OROCOS 的实时性特点，保证软件程序的实时性能；充分利用 ROS 的开放性，基于 ROS、OROCOS 开发的控制器管理程序、算法处理程序和通信管理程序进行实时通信，共同构成一个完整的机器人控制器软件；进一步建立了控制器状态机和设备状态机，从而
实现对控制器管理程序、通信管理程序的业务逻辑进行有效管理。

20 通过 OROCOS 的 RTT :: Input, RTT :: Output 方法建立控制器管理程序、
算法处理程序和通信管理程序的数据输入、输出通道，通过 OROCOS 的 Operational Caller 方法定义函数调用接口，通过 OROCOS 的 Properties 方法定义控制器管理程序、算法处理程序和通信管理程序的属性。因此，保证了控制
器管理程序、算法处理程序和通信管理程序之间的独立性与解耦性。

参考图 6，图 6 是本发明实施例的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制系统结构示意图，包括：

接收单元 101，用于根据预先配置的通信协议接口接收控制端输入的控制指令；

25 选择单元 102，用于根据所述控制指令选择调用机器人运动规划的控制指令触发函数；

发送单元 103，用于通过所述控制指令触发函数通过第一接口调用所述算

法处理程序中相应的机器人运动规划的响应函数计算控制指令数据并发送至机器人；

其中，每个控制指令触发函数对应算法处理程序中的一种机器人运动规划的响应函数对应；所述第一接口是基于 ROS 上创建 OROCOS 的实时输入/输出接口，用于与算法处理程序进行通信连接。

本发明的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制系统与本发明的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法一一对应，在上述基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法的实施例阐述的技术特征及其有益效果均适用于基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制系统的实施例中，特此声明。

以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求书

1、一种基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法，其特征在于，包括：
根据预先配置的通信协议接口接收控制端输入的控制指令；
根据所述控制指令选择调用机器人运动规划的控制指令触发函数；

5 通过所述控制指令触发函数通过第一接口调用所述算法处理程序中相应的机器人运动规划的响应函数计算控制指令数据并发送至机器人；

其中，每个控制指令触发函数对应算法处理程序中的一种机器人运动规划的响应函数对应；所述第一接口是基于 ROS 上创建 OROCOS 的实时输入/输出接口，用于与算法处理程序进行通信连接。

10 2、根据权利要求 1 所述的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法，其特征在于，根据预先配置的通信协议接口接收控制端输入的控制指令的步骤包括：

通过 ICE 开发的通信协议建立与控制端的通信连接，通过调用所述通信协议的动态异步远程过程调用方法输入的控制指令。

15 3、根据权利要求 1 所述的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法，其特征在于，所述算法处理程序根据所述响应函数计算得到控制指令数据，并通过第二接口发送至通信管理程序，所述通信管理程序将控制指令数据发送至机器人；

所述第二接口是基于 ROS 上创建 OROCOS 的实时输入/输出接口，用于
20 算法处理程序与通信管理程序进行通信连接。

4、根据权利要求 3 所述的基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制方法，其特征在于，在接收控制端输入的控制指令前，将控制端发起的控制指令与所述算法处理程序中相应的机器人运动规划的响应函数进行绑定；

在接收控制端输入的控制指令后，获取所述控制指令的第一个参数，根据
25 所述参数判断当前调用的运动规划类型，根据所述运动规划类型选择调用相应的运动规划的控制指令触发函数，调用算法处理程序中相应的响应函数计算控制指令参数。

5、根据权利要求4所述的基于ROS和OROCOS的机器人控制方法，其特征在于，所述运动规划包括：点到点运动，直线运动，圆弧运动，手动示教，回到原点、暂停、恢复或急停。

6、根据权利要求1至5任一项所述的基于ROS和OROCOS的机器人控制方法，其特征在于，还包括：

通过回调函数方式从所述第一接口接收算法处理程序传入的反馈信息，通过所述第三接口接收通信管理程序传入的反馈信息，并对所述反馈信息进行处理；

其中，所述反馈信息包括事件报告信息、机器人电机运行的诊断数据；所述第三接口是基于ROS上创建OROCOS的实时输入/输出接口，用于与通信管理程序进行通信连接。

7、根据权利要求6所述的基于ROS和OROCOS的机器人控制方法，其特征在于，在根据所述控制指令选择调用机器人运动规划的控制指令触发函数前，还包括：

检测历史运行所记录的日志报告，若日志报告正常，通过事件报告接口接收相关信息并进行处理；

若日志报告异常，则退出。

8、根据权利要求6所述的基于ROS和OROCOS的机器人控制方法，其特征在于，还包括：

根据接收到的控制指令的类型，向控制器状态机写入状态事件；根据所述状态事件控制所述算法处理程序和通信管理程序的运行状态；

其中，控制器状态机设有初始化、指令等待、指令执行、中断和使能对应的状态，所述使能状态为分别与每种运动规划对应的子状态的合集。

9、根据权利要求1所述的基于ROS和OROCOS的机器人控制方法，其特征在于，使用ROS的orocreate-catkin-pkg方法创建为ROS的Package，并在Package中继承OROCOS的RTT::TaskContext类，利用OROCOS的RTT::Input与RTT::Output方法定义实时输入/输出接口。

10、一种基于 ROS 和 OROCOS 的机器人控制系统，其特征在于，包括：
接收单元，用于根据预先配置的通信协议接口接收控制端输入的控制指令；
选择单元，用于根据所述控制指令选择调用机器人运动规划的控制指令触发函数；

5 发送单元，用于通过所述控制指令触发函数通过第一接口调用所述算法处理程序中相应的机器人运动规划的响应函数计算控制指令数据并发送至机器人；

 其中，每个控制指令触发函数对应算法处理程序中的一种机器人运动规划的响应函数对应；所述第一接口是基于 ROS 上创建 OROCOS 的实时输入/输出接口，用于与算法处理程序进行通信连接。

10

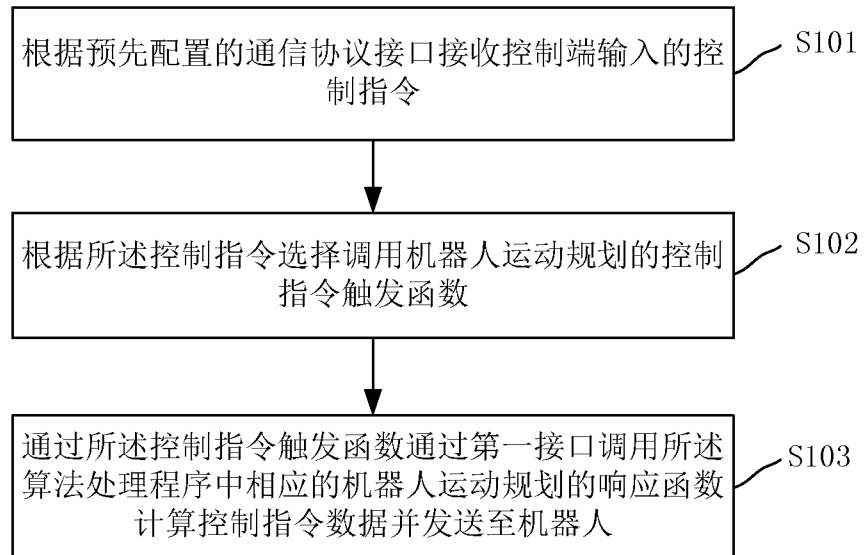


图 1

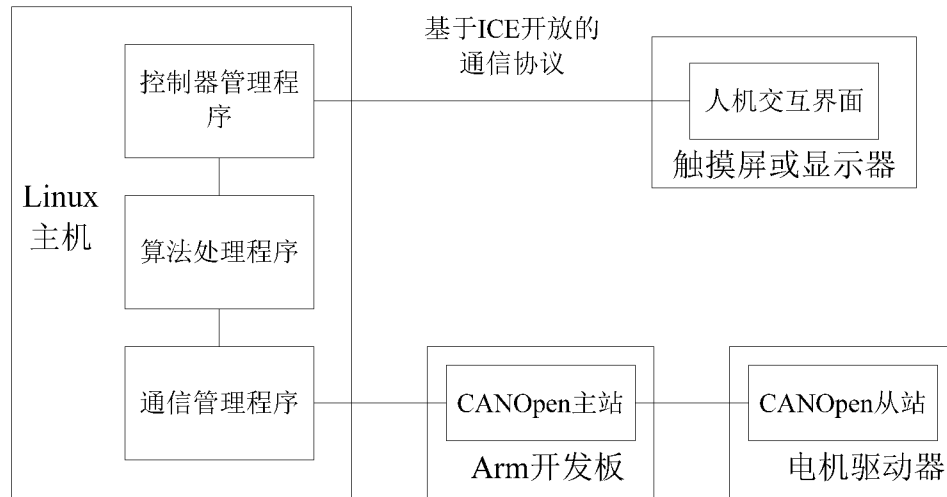


图 2

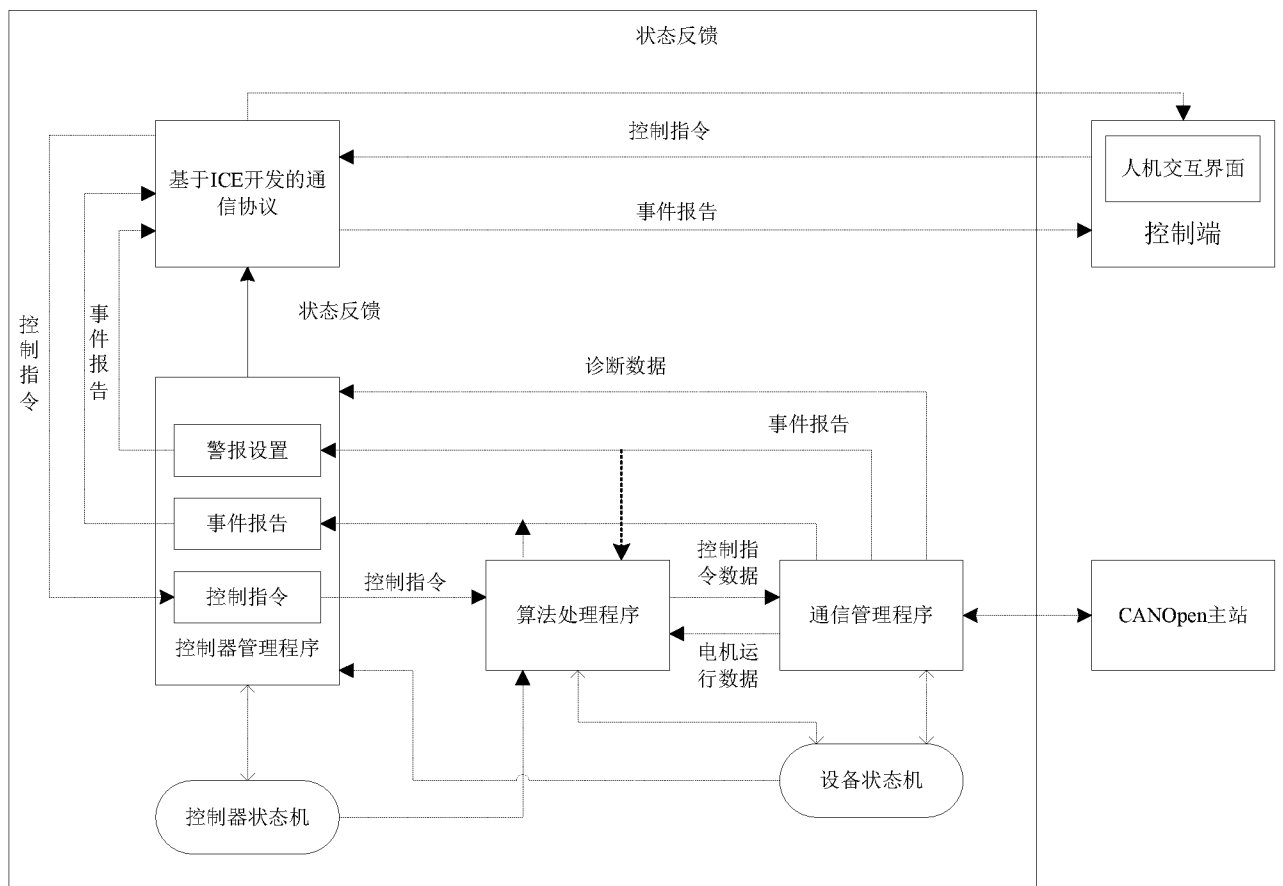


图 3

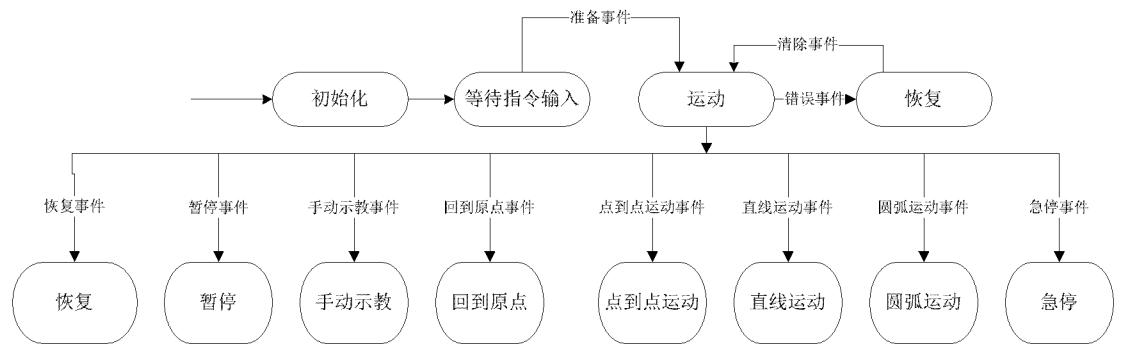


图 4

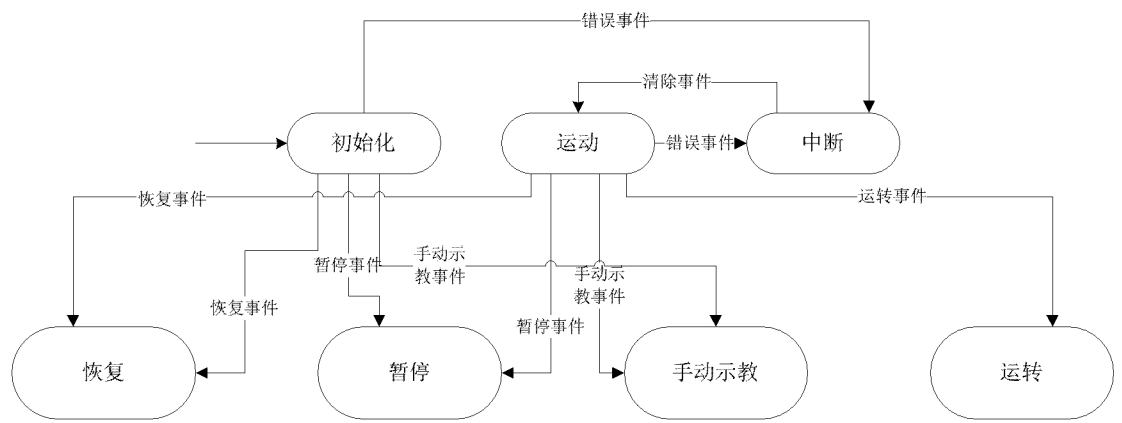


图 5

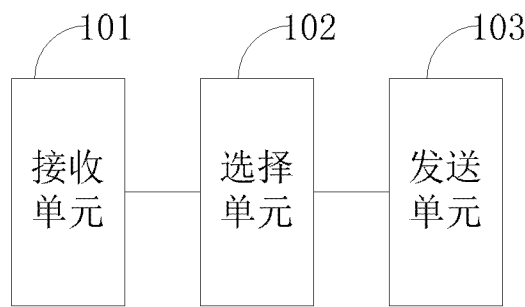


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/103435

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 9/16 (2006.01) 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)

B25J

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)

CNABS, CNKI, VEN: 机器人, 控制, 开源, 开放, 编程, 软件, 实时, 指令, 触发函数, 响应, ROS, OROCOS, robot, control+, open, software, real, time, instruction, order, trigger, function, response

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 106965181 A (GUANGZHOU CVT ELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.), 21 July 2017 (21.07.2017), claims 1-10	1-10
PX	CN 106914900 A (GUANGZHOU CVT ELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.), 04 July 2017 (04.07.2017), claims 1-17, and description, page 9	1-10
PX	CN 106950924 A (GUANGZHOU CVT ELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.), 14 July 2017 (14.07.2017), claims 6-10, and description, paragraphs 24-342	1-10
PX	CN 106959694 A (GUANGZHOU CVT ELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.), 18 July 2017 (18.07.2017), claims 6-10, and description, paragraphs 24-276	1-10
A	CN 101537613 A (SHANGHAI GRANDAR ROBOTICS CO., LTD.), 23 September 2009 (23.09.2009), description, page 3, lines 7-20, and figures 1-2	1-10
A	CN 104786221 A (ZHEJIANG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY et al.), 22 July 2015 (22.07.2015), entire document	1-10
A	US 2008141220 A1 (KOREA IND TECH INST), 12 June 2008 (12.06.2008), entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 05 January 2018	Date of mailing of the international search report 25 January 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer XU, Yuan Telephone No. (86-10) 62089943

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/103435

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106965181 A	21 July 2017	None	
CN 106914900 A	04 July 2017	None	
CN 106950924 A	14 July 2017	None	
CN 106959694 A	18 July 2017	None	
CN 101537613 A	23 September 2009	None	
CN 104786221 A	22 July 2015	CN 104786221 B	07 December 2016
US 2008141220 A1	12 June 2008	US 7823126 B2	26 October 2010
		KR 20050108518 A	17 November 2005
		WO 2005109299 A1	17 November 2005
		KR 100607141 B1	01 August 2006

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/103435

A. 主题的分类

B25J 9/16(2006.01)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)

B25J

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))

CNABS, CNKI, VEN:机器人, 控制, 开源, 开放, 编程, 软件, 实时, 指令, 触发函数, 响应, ROS, OROCOS, robot, control+, open, software, real, time, instruction, order, trigger, function, response

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 106965181 A (广州视源电子科技有限公司) 2017年 7月 21日 (2017 - 07 - 21) 权利要求1-10	1-10
PX	CN 106914900 A (广州视源电子科技有限公司) 2017年 7月 4日 (2017 - 07 - 04) 权利要求1-17、说明书第9页	1-10
PX	CN 106950924 A (广州视源电子科技有限公司) 2017年 7月 14日 (2017 - 07 - 14) 权利要求6-10, 说明书第24-342段	1-10
PX	CN 106959694 A (广州视源电子科技有限公司) 2017年 7月 18日 (2017 - 07 - 18) 权利要求6-10、说明书第24-276段	1-10
A	CN 101537613 A (上海广茂达伙伴机器人有限公司) 2009年 9月 23日 (2009 - 09 - 23) 说明书第3页第7-20行、附图1-2	1-10
A	CN 104786221 A (浙江工业大学 等) 2015年 7月 22日 (2015 - 07 - 22) 全文	1-10
A	US 2008141220 A1 (KOREA IND TECH INST) 2008年 6月 12日 (2008 - 06 - 12) 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

2018年 1月 5日

国际检索报告邮寄日期

2018年 1月 25日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(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

徐媛

电话号码 (86-10)62089943

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/103435

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	106965181	A	2017年 7月 21日	无			
CN	106914900	A	2017年 7月 4日	无			
CN	106950924	A	2017年 7月 14日	无			
CN	106959694	A	2017年 7月 18日	无			
CN	101537613	A	2009年 9月 23日	无			
CN	104786221	A	2015年 7月 22日	CN	104786221	B	2016年 12月 7日
US	2008141220	A1	2008年 6月 12日	US	7823126	B2	2010年 10月 26日
				KR	20050108518	A	2005年 11月 17日
				WO	2005109299	A1	2005年 11月 17日
				KR	100607141	B1	2006年 8月 1日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)