

高负载移动双臂平台方案

Solution of High Load Mobile Double Arm Platform

方案名称:高负载移动双臂平台方案



武汉京天电器有限公司

WUHAN JINGTIAN ELECTRICAL CO., LIMITED

2020年02月17日

1、介绍 INTRODUCTION

加拿大 clearpath 公司的 Ridgeback 无人车的负载可以达到 100kg，机械臂可以配上瑞森可公司的 Baxter 双臂协作机器人做人机交互、室内搬运分拣、双臂协作等任务。

1.1 方案目的 Purpose of this document

本文包含移动双臂平台应用介绍。

通过对 Clearpath Ridgeback UGV 和 Baxter 机械臂的优化布置与系统整合，实现更加智能通用的机器人柔性任务解决方案，例如：危险物品排爆、货物搬运、产品分拣，以及替代人到危险位置勘察，同时也可用于教学科研，包括人机协调 (Human Robot Interaction)，机器人学习 (Robot Learning)，柔顺操作 (Compliant Manipulation)，远程遥控操作 (Remote operation) 双臂协作 (manipulate Cooperation)，机器人抓取 (Robotic Grasping) 以及多模态协作装配等 (Multi-Modal Collaborative Assembly) 等。

1.2 硬件设备列表 HARDWARE EQUIPMENT

本方案资源扩展性强，可根据不同需求进行合理搭配，详细信息可咨询我公司销售或技术人员。

序号	型号	数量	厂商	选项
1	Ridgeback 移动平台	1	加拿大 Clearpath	必选
2	Baxter 双臂机器人	1	美国 Rethink	必选
3	SEED 灵巧手	2	英国 SEED	必选

1.3 方案技术指标 GENERAL TECHNICAL INDICATORS OF THE SCHEME

此项不含各传感器和夹爪技术参数指标。

序号	项目	参数
1	UGV 负载	最大 100KG
2	锂电池容量	DC24V100AH 可扩展
3	持续工作时长	5-8 小时
4	最大移动速度	1.1 m/s
5	最大过障高度	18 mm
6	末端最大速度	20 cm/s

7	手臂负载	2.2KG
8	双臂自由度	14
9	协作性能	功率和力度受限的柔性机械臂，符合协作机器人安全标准，每个关节采用串联弹性驱动柔性关节，内置力传感器；
10	单臂臂展	1210mm

2、方案描述 PROPOSAL DESCRIPTION

2.1 总体介绍

该方案主要硬件包括：1 台移动机器人 Ridgeback、1 台 Baxter 双臂机器人，2 个 5 指灵巧手以及各种传感器视觉系统等，通过自主搭配满足演示移动抓取需求。

➤ 概述

将 Baxter 双臂机器人置于 Ridgeback 移动本体合适位置，利用 Ridgeback 内置大容量电池（48VDC）进行供电，实现一台可移动的协作双臂，该方案无需外部电缆，行动方便，通过无线 WIFI 控制。

➤ 基座设计

Ridgeback 设计了全向麦克纳姆轮，配以精密驱动器和高分辨率编码器（每转 35840 脉冲），可在 3 度的可操纵性内实现精确的位置控制。Ridgeback 的多功能性可实现不受限制的路径和算法规划 Ridgeback 甚至可以不使用其并排功能来模拟更受限制的平台。

集成的 LIDAR 和顶板设计用于畅通无阻的 360 度 LIDAR 视场（需要后置 LIDAR）。这使 Ridgeback 能够自主运行，避免碰撞，并充分利用其多功能驱动器底座提供的可操作性来规划路径。

Ridgeback 的高度仅为 11 英寸（30 厘米），可插入标准的 32 英寸（80 厘米）门。这使 Ridgeback 可以在典型的工业和商业环境中有效运行而不会出现问题。它还具有被动悬挂系统，以确保在地面过渡或地形变化（即混凝土到地毯）上的可靠牵引力。

提供开源激光 SLAM 导航包（完成地图创建、定位、路径规划和障碍物绕障碍）在 Ridgeback 上设计合适插槽，以方便安装一台 Baxter 双臂机械臂，同时可

在基座上固定相关传感器，如视觉摄像头。

➤ 双臂设计

Baxter 是协作双臂机器人先驱者，其手腕部最大负载达到 2.2kg，运动半径可达 1210mm，作为一款智能协作机器人，可以在没有安全围栏的情况下与人类在同一空间工作。因为它接触到人时，它就会立刻安全地自动停止，同时其红色的柔软罩壳可以缓和冲击力，保证人员不受伤害。

使用 Baxter 开展的科学研究，已有数百篇白皮书发表。进行科研、课题研究的研究人员在一天之内就能完成 Baxter 的设置并开始学习，利用 Baxter 的开源 SDK 和传感功能，能够迅速展开人机互动、计算机视觉、机器学习、人工智能、动作规划、机电学等多个领域的科研。

通过 Baxter 开展的课程会更加生动，教授代码编写、机器人技术和工程概念，然后让学生磨炼技能并在实际应用中掌握 Baxter 应用程序的设计，以适应将来在工厂中的工作。

➤ 电气接口

直接从 Ridgeback 内部引出 12VDC 和 48VDC 电源，接入 Baxter 控制箱对应电源入口；移动本体平台与双臂机器人通过网口或者通用 IO 口进行必要的信息交互，详细电源接口电气图见附录 2。

➤ 传感器接口

各传感器均采用以太网（Ethernet）接口（也可单独定制接口）内的路由器即可，电源也由移动本体平台提供。该部分为选配，可根据实际需求定制。

2.2 软件方案

1. 基础软件包

基础软件包是基于 ROS 的开源软件包，对各个传感器均有较好的支持。在 ROS 中可以对整个移动双臂平台，可在 RVIZ 中对整个移动双臂系统进行运动规划与控制，可在 Gazebo 中对移动双臂系统进行仿真，可以基于 wifi 对移动双臂系统进行远程控制，也可通过 IO 模块进行通信对接。

2. 扩展软件包

该软件包双臂机器人 Baxter 和移动机器人平台 Ridgeback 以及各传感器，执行机构等通过 ROS 开源机器人操作系统有机结合，使系统各部分协同工作，包含各种驱动包，内部通信包、各部分演示 demo 以及整个系统的典型应用 demo

(智能抓取等)。系统中 Baxter 和 Ridgeback 软件均有原厂提供详细的技术支持, 另外扩展软件包可根据用户需求进行定制。具体如下:

驱动包: 力传感器驱动包

激光雷达传感器驱动包

视觉系统驱动包

机械臂驱动包

提供基于 AR 二维码的单目相机三维定位技术

通信包: Ridgeback 任务发布包

Ridgeback+Baxter 信息发布包

仿真通信包 (集成 Gazebo 模拟器, 创建一个模拟的世界, 可以显示机器人及其与环境的互动, 使研究人员能够在仿真环境中运行和测试代码, 然后再在机器人上运行)

Demo: Baxter 智能抓取 demo

视觉处理 demo

Ridgeback 任务发布 demo, 实现远程控制机器人

Ridgeback+Baxter 协作 demo

双臂协调 MoveIt 无障碍运动规划软件包

✓ 用户概览

国际: 麻省理工学院、滑铁卢大学、卡内基梅隆大学、乔治亚理工学院……

国内: 清华大学, 北京大学, 香港理工大学, 武汉大学, 华中科技大学, 上海交通大学, 东南大学, 中南大学, 中科院沈阳自动化研究所……

✓ 应用案例

(一) 工程教育训练:

(1) 运动学和动作规划; (2) 语言编程、C++、Python; (3) 机器人和控制 (4) 机器人视觉 (5) 系统工程学 (6) SLAM 即时定位与地图构建 (7) 自主导航与避障 (8) 远程遥操作 (9) 双臂协作 (10) 物品搬运

(二)应用实训:

(1)模拟现场、多个工业应用在实验室反应出来;

(2)机器人系统集成 (3)制造流程/工作间设计; (4)制造工程学。

2.3 通用步骤示例

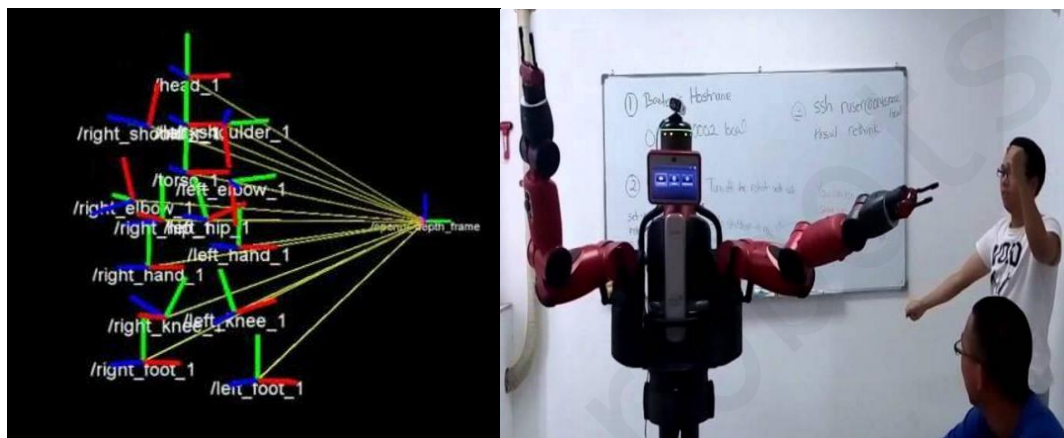


图 1 人体姿态识别与人机随动

(1) 远程操控

Baxter 的软件基于 ROS 开发,ROS 的各功能节点通过标准的 TCP 协议进行通讯,因此 Baxter 可以很容易实现远程操控。除了 Baxter SDK 提供的一些示例外。此方案还提供了键盘远程控制 Baxter 的方法。

end_effector_teleoperation_control 是一个通过键盘来遥控 Baxter 机器人的程序包:

a、接收消息节点: 节点: end_effector_trajectory_client.py 节点: control_command_subscriber.py

b、发布消息节点 节点: end_effector_trajectory_client.py 节点: control_command_subscriber.py 节点: keyboard_control.py

(2) 自动抓取和放置

此方案中 Baxter 可以找到桌子上的球,然后拿起并将球放置到指定位置。

主要操作步骤:

- 设置 Baxter 要使用的手臂;
- 使用手部的红外线传感器记录手部相机到桌面的距离;
- 将手臂移动到球所在的大概位置;

d、用手部相机拍摄图片, 转为灰阶图, 然后使用 openCV 的 Canny 边距检测算法, 根据图片中的球轮廓找到球;

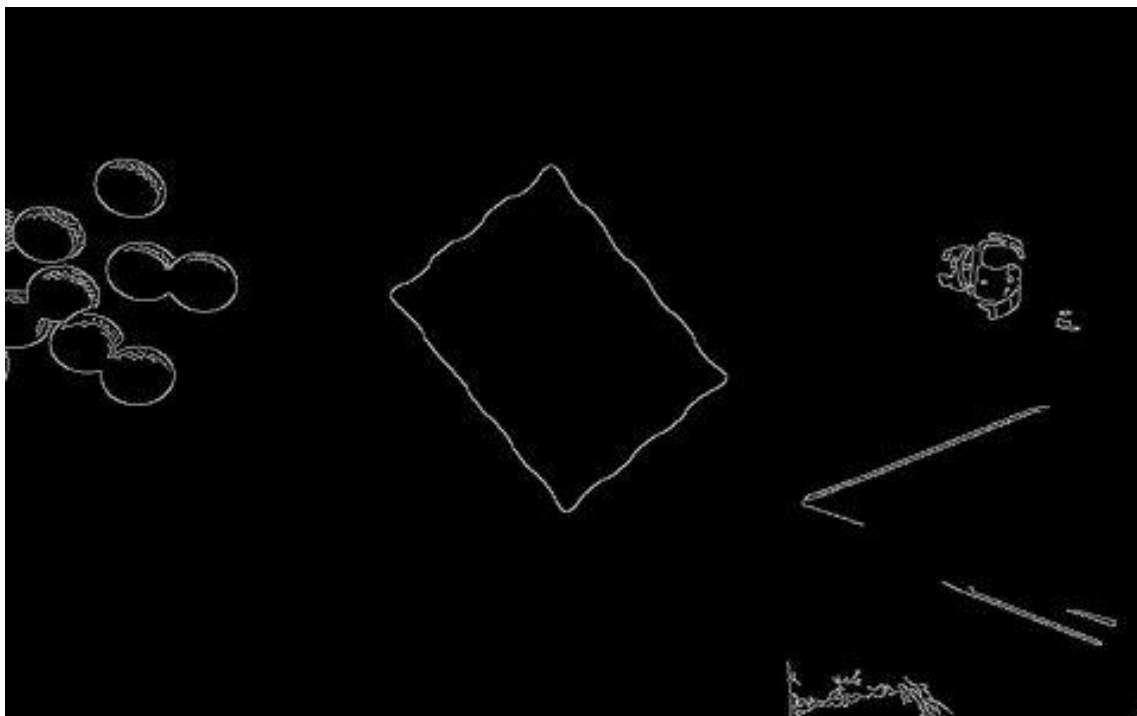


图 3 Baxter 相机轮廓提取

e、选择一个球, 计算手部相机和球在 $x-y$ 平面上的实际距离, 使用 IK 移动手臂使得相机在球的正上方, 然后调整为夹子在球的正上方;

f、向下移动手臂, 关闭夹子抓起球, 然后抬起手臂, 移动到球盒上方, 向下移动手臂, 打开夹子放下球, 之后抬起手臂, 移动回球的上方。

(3) 多自由度机械臂路径规划和紧急避障技术

Baxter 双臂机器人采用国际机器人领域最新的 7 自由度机械臂系统, 利用特定臂型角约束规划技术, 能够进行各关节空间坐标系的正解、笛卡尔空间坐标系的反解, 具有很大的空间操作能力; 同时具备强大的障碍物紧急避障功能, 遇到人或障碍物遮挡操作路径时, 能够进行干涉检查和紧急避障, 确保了人机协同或协作操作过程中的安全性。机械臂的路径规划及操作空间如图 4 Baxter 双臂机器人在 MoveIt 软件包中的路径规划示意图, 图 5 三维空间避障规划

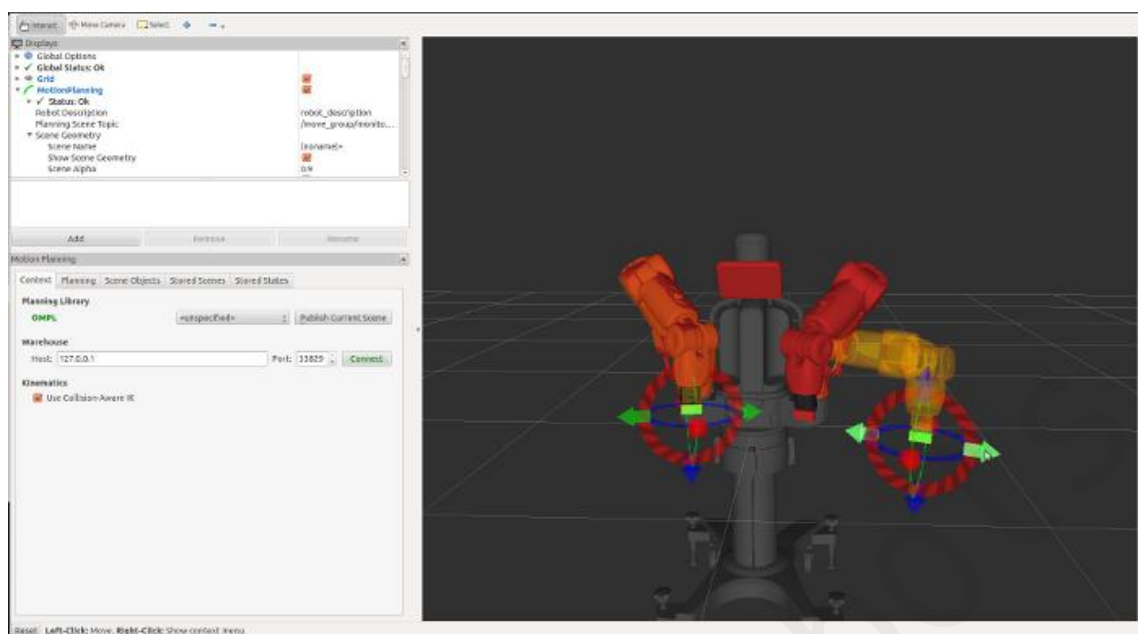


图 4 Baxter 双臂机器人在 MoveIt 软件包中的路径规划示意图

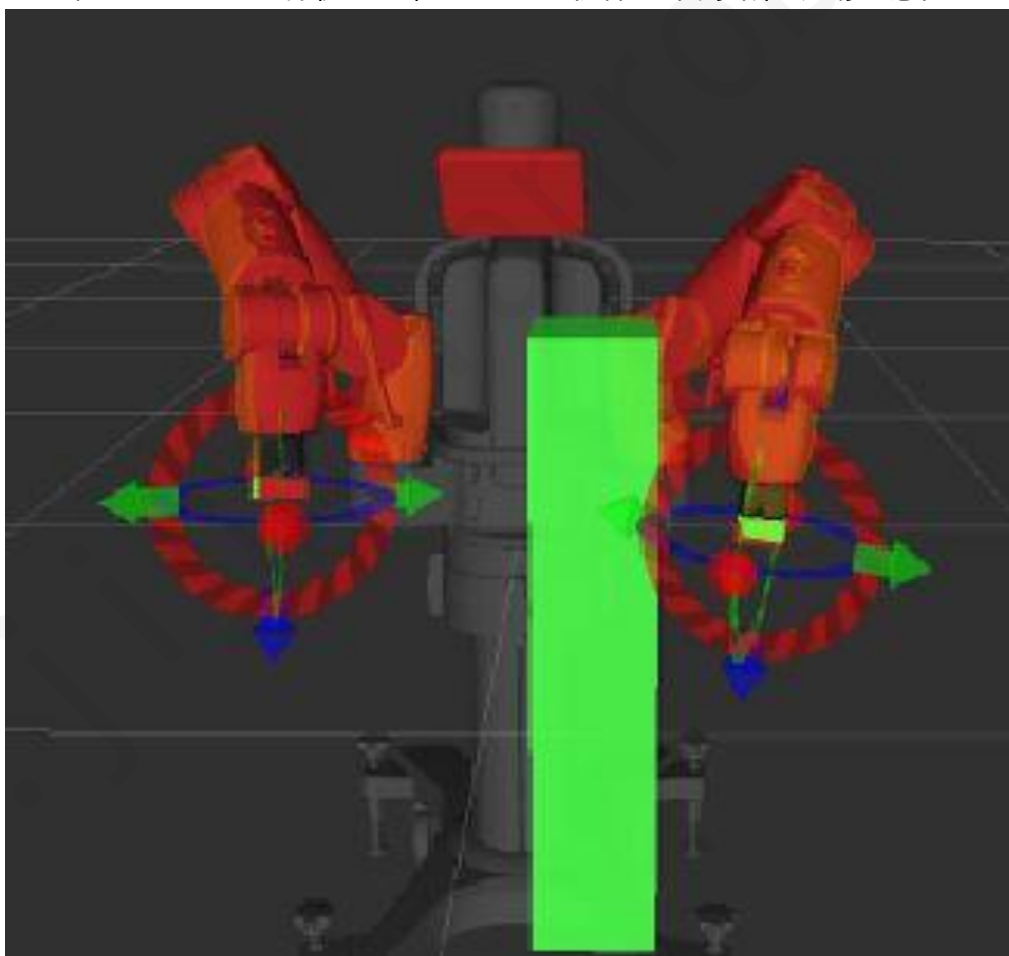


图 5 三维空间避障规划

Top view, arms extended

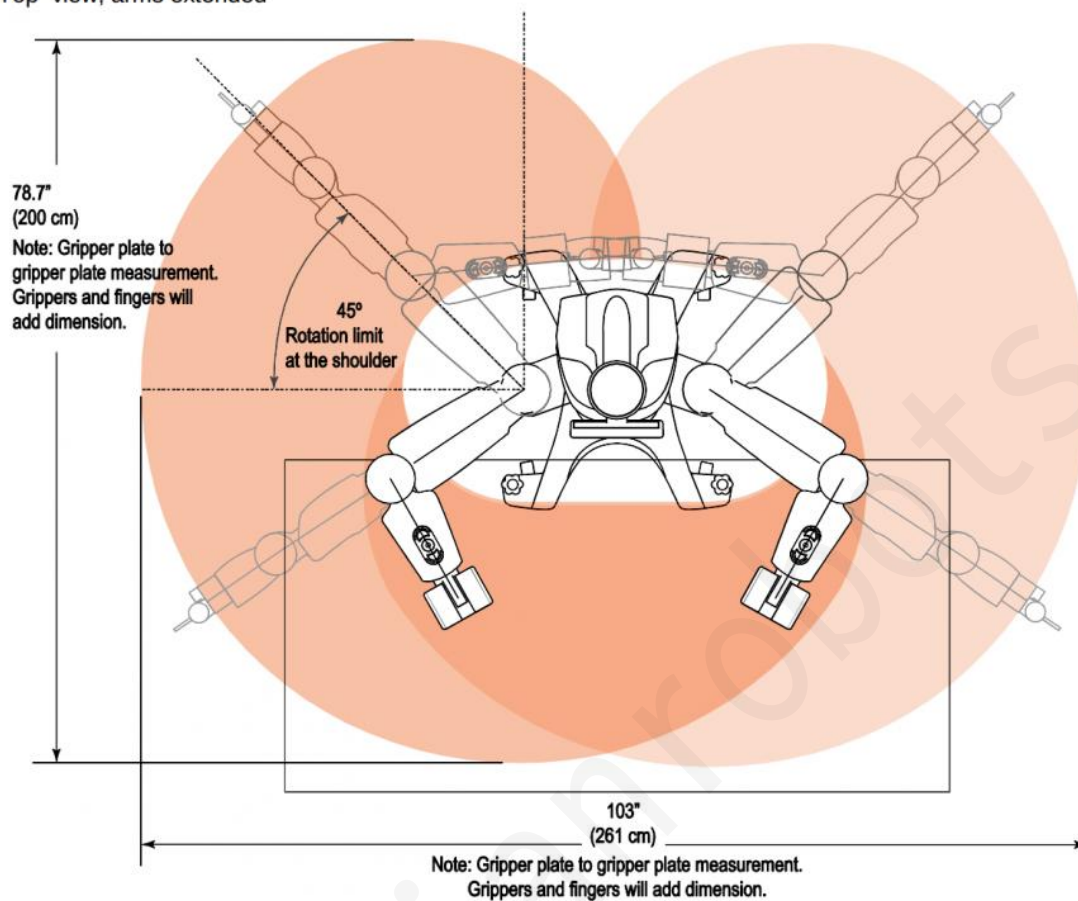
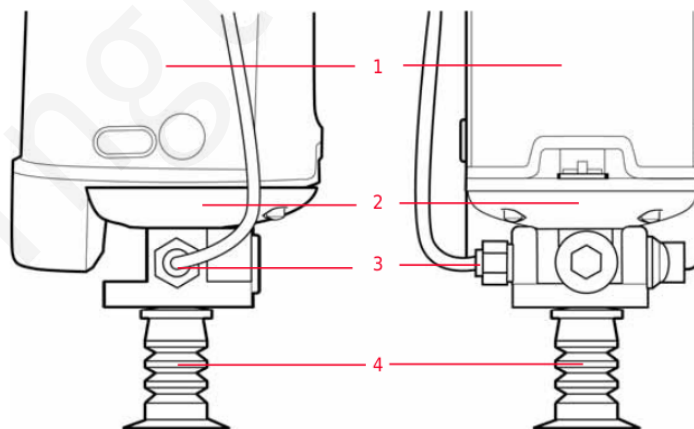


图 6 Baxter 双臂机器人的双臂操作空间示意图

VACUUM CUP GRIPPER



1. Training cuff
2. Gripper body
3. Pneumatic tube fitting
4. Vacuum cup

图 7 Baxter 双臂机器人的末端吸附式工具结构示意图

(4) 基于 AR 二维码的目标定位技术

Baxter 双臂机器人的两个机械臂末端均分别安装了一套视觉相机和红外测距仪, 能够对目标进行特征提取、位姿确定。

ELECTRIC PARALLEL GRIPPER

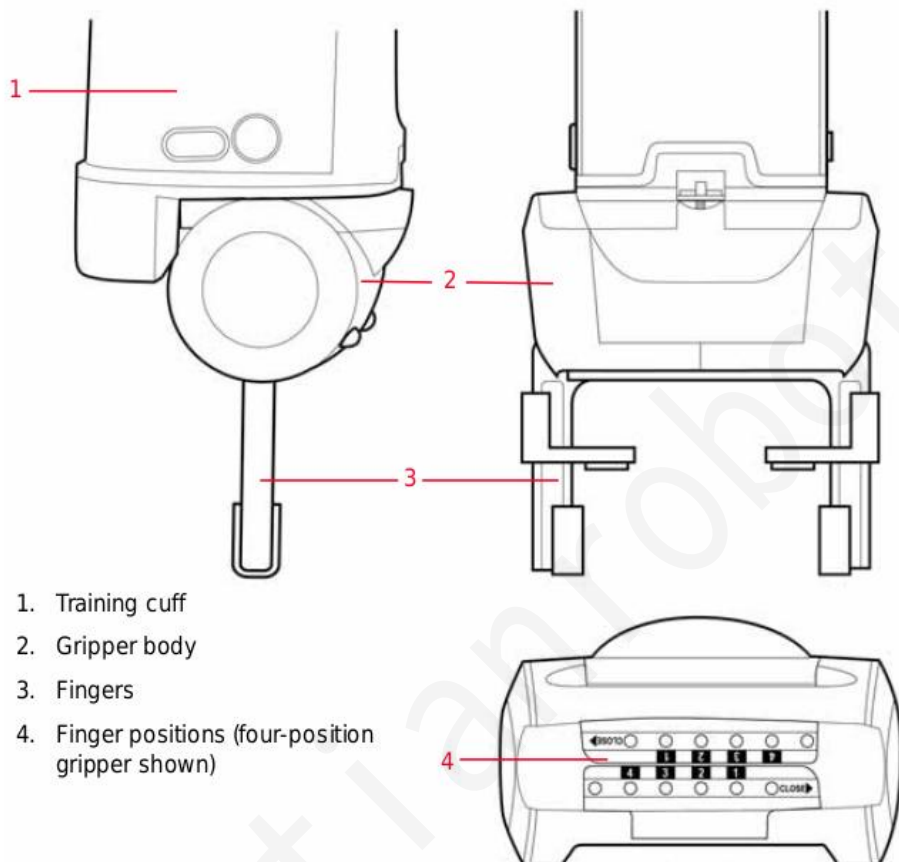


图 8 Baxter 双臂机器人的末端电动夹持工具结构示意图

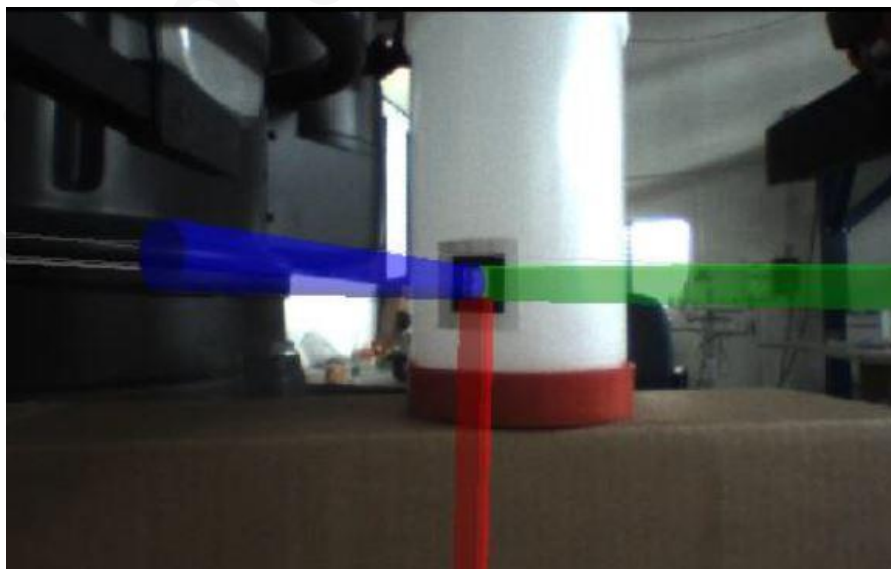


图 9 Baxter 双臂机器人视觉三维定位示意图

(5) 运动仿真系统

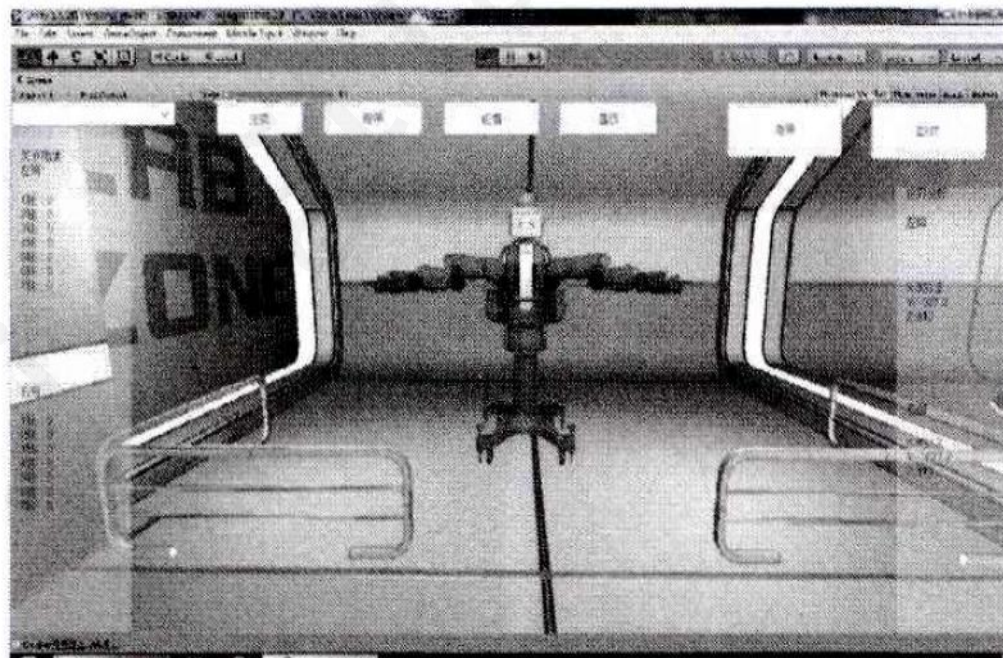
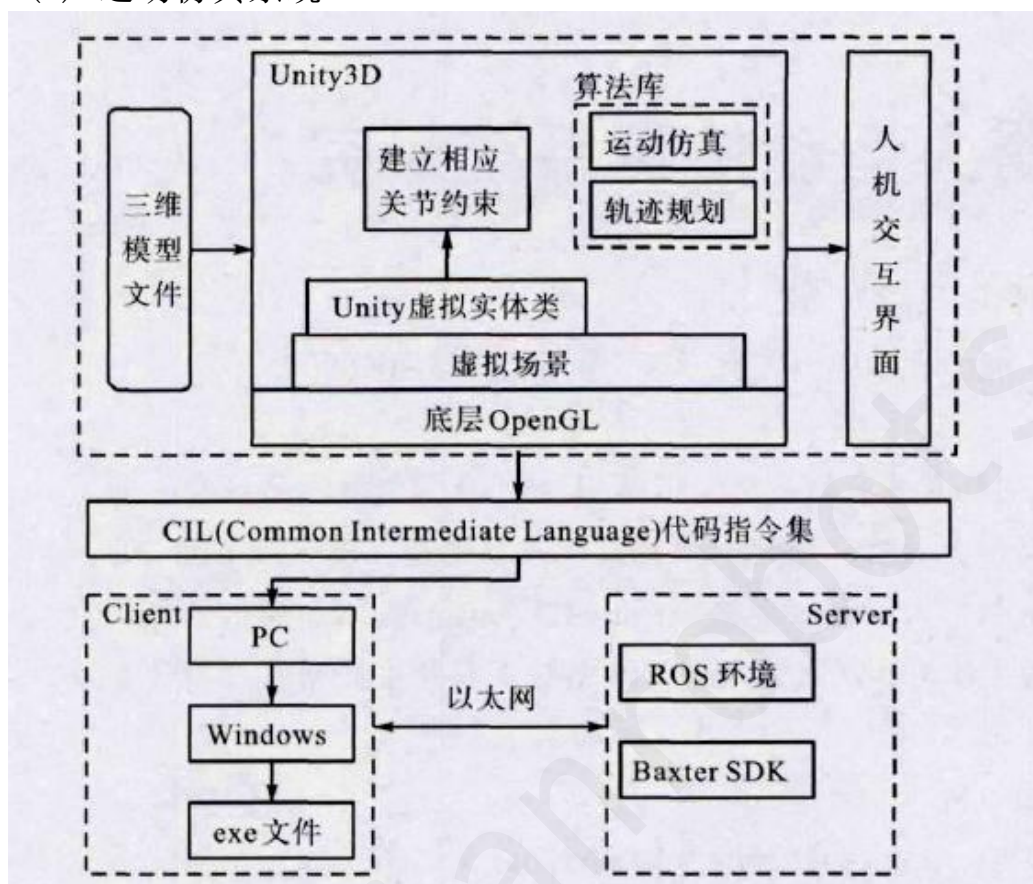


图 10 虚拟仿真图

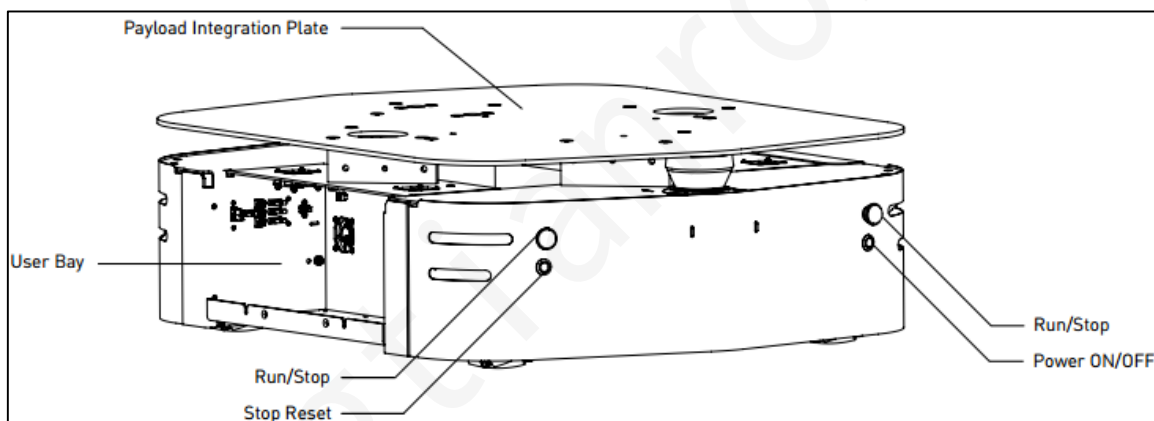
(6) 可扩展定制嵌入式微控制系统

可根据客户需求, 为客户定制单片机微控制系统。该微控制系统能够提供数字量、模拟量、PWM 通道, 且能够支持 RS232、SPI、I2C 或其他总线。该微控制器系统能够无缝的和 Baxter 集成在一起, 方便客户将其他设备整合到当前系统中。

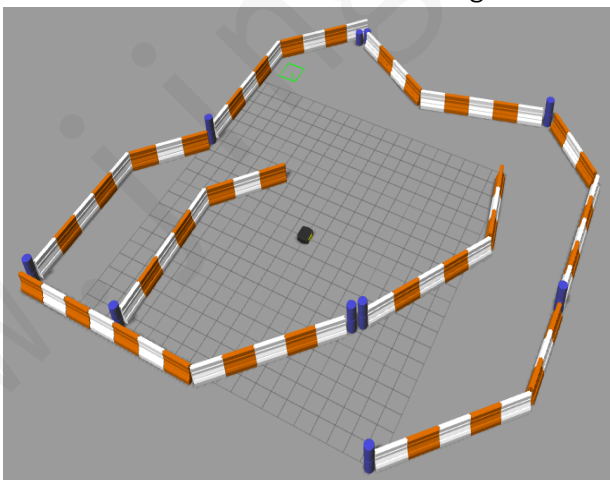


图 11 可定制微控制器

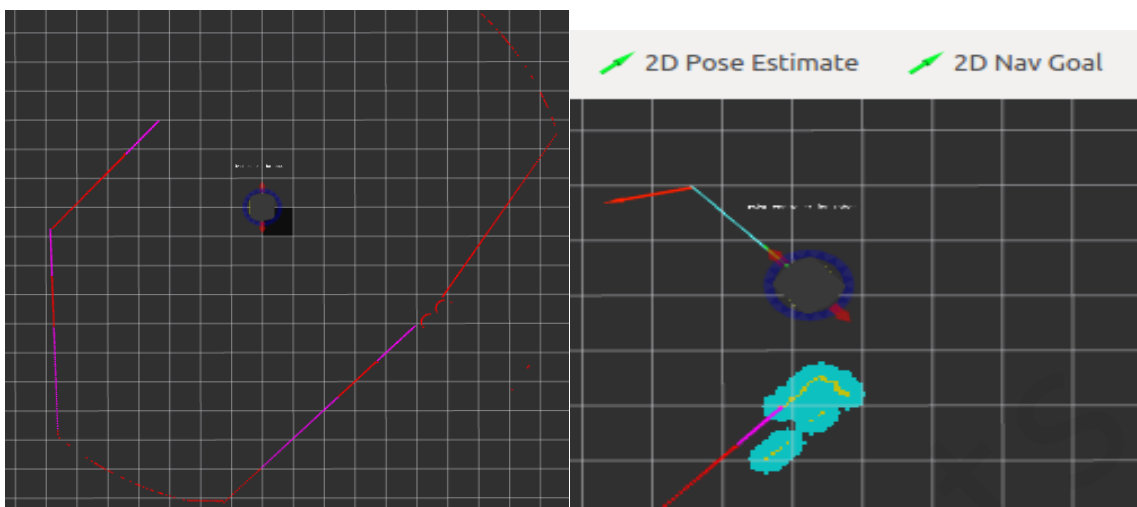
(7) 移动本体平台系统



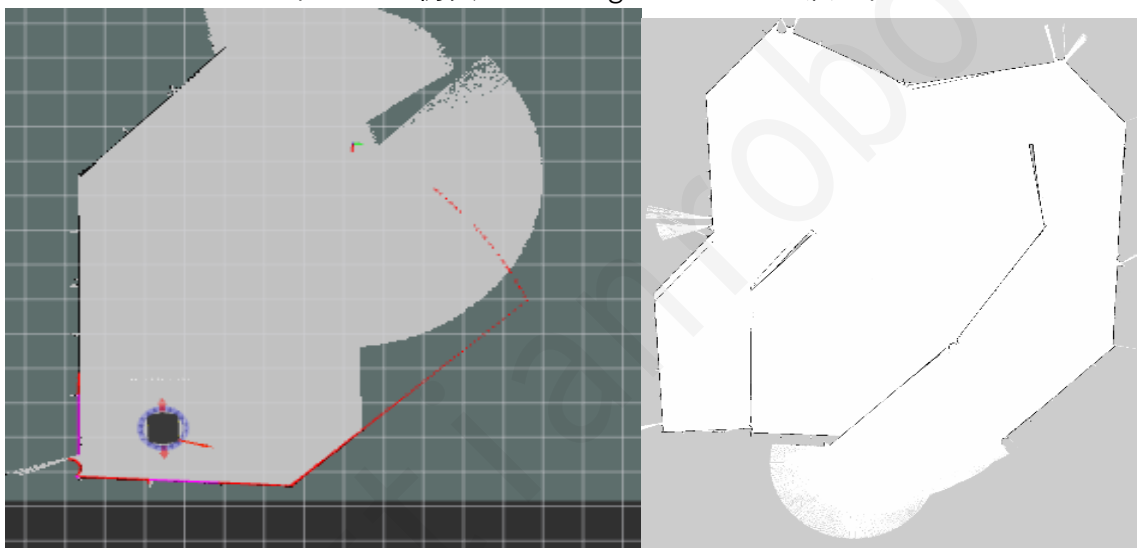
Ridgeback 外观介绍图



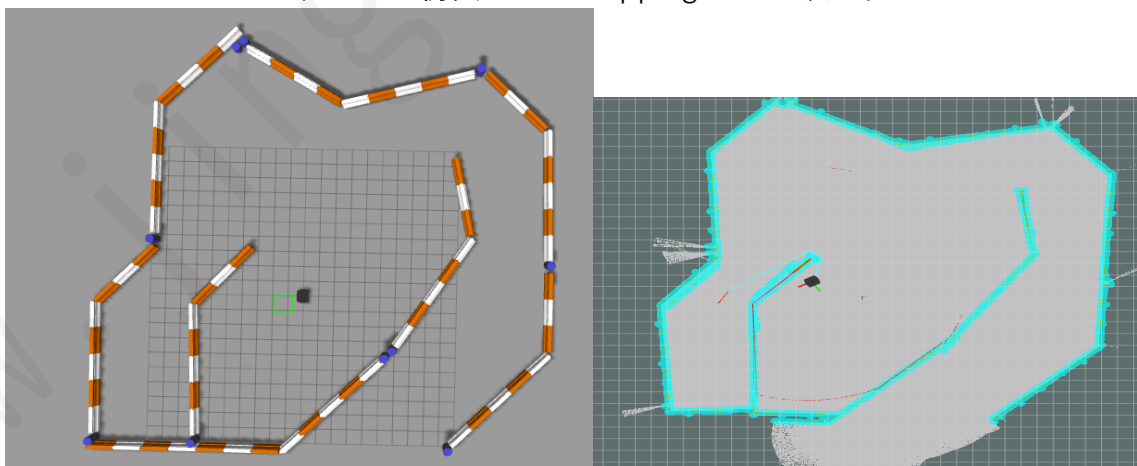
移动底盘仿真演示在 ROS 的 Gazebo 中



上图：rviz 仿真显示 navigation Demo 演示图



上图：rviz 仿真显示 Gmapping Demo 演示图



上图：rviz 仿真显示 ACML Demo 演示图

该操作平台最大的特点是：

- 通用性：目前，世界上每年都有好几十家的机器人研发机构及机器人 的制造公

司宣布所开发的机器人支持 ROS, 这意味着全世界的越来越多的机器人设计者已把 ROS 作为标准的机器人的开发平台;

- 开源性: 在 ROS 的官方网站上提供大量开源的机器人应用程序供使用者下载使用, 机器人的开发者可以非常方便了解和从事机器人研究领域前沿课题;
- 复用性: ROS 模块化开发环境使得程序的复用性成为可能, 机器人开发者可以非常方便的复用前人已开发完成的程序, 同时更能专注新增功能的开发;
- 社区性: 目前在 ROS 官方论坛上已聚集了大量的全世界的机器人开发者, 大家共同讨论, 共同开发, 使的机器人开发工作变得更为简单与方便。

注: 示例任务基于基本软件包编辑, 本方案基于 ROS 系统, 所以示例步骤可作为常规系统任务发布, 对于有对该系统深入了解的客户, 通过我公司扩展软件包可方便进行学习研究, 打造自己的任务编辑系统, 更科学合理的分配任务。更详细的操作, 以及任务发布 demo 需查看具体手册或咨询我司技术人员。

3、方案说明和结果 APPLICATION NOTICE AND RESULT

3.1 方案说明

本方案硬件需求简单, 接口开放, 对接方便, 具体实施快捷, 适合快速改造上手。通过以上分析, 以及我公司实际经验得知, 本方案稳定性强, 科研价值突出(多种传感器融合以及全部基于 ROS 开发)。另外, 该方案在工业应用领域也具有很高得适用价值, 比如物品的自动化搬运, 远程拆弹操作, 地面巡检以及一些特殊行业如危险作业等等。

详细结论及方案对比见附录 3。

3.2 方案结果

逆变器将 Ridgeback 的电源直接给 Baxter 供电是可选方案, Ur5 的控制柜里面用的是两个交流转直流的稳压电源, 可以换成两个直流转直流的稳压电源。

该方案可用于室内移动抓取任务、算法验证、商业物流仓储、货物搬运、药品分拣分类等行业。该方案已经在较多的高校落地使用, 在实际应用中反响很好, 性能稳定, 开放程度高。

典型案例: 中国科学技术大学信息科学实验中心 【移动双臂协调研究】

广东工业大学

【移动双臂智能制造研究】

新加坡南洋理工大学

【移动双臂人机协同研究】

4、相关论文目录 THESIS CONTENTS

- 1) Ridgeback 搭载机械臂进行混凝土 3D 打印
Tiryaki M E, Zhang X, Pham Q-C. Printing-while-moving: a new paradigm for large-scale robotic 3D Printing[J]. arXiv preprint arXiv:1809.07940, 2018.
- 2) 移动机械臂导航和抓取
Iovino M. Navigation and Grasping with a Mobile Manipulator: from Simulation to Experimental Results[D]. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA, 2019.
- 3) Baxter 安装在 Ridgeback 上进行移动操作, 探讨在智能制造中的应用
Roa M A, Berenson D, Huang W. Mobile Manipulation: Toward Smart Manufacturing [TC Spotlight][J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2015, 22(4): 14-15.
- 4) 室内环境目标三维识别和语义对应
Grinvald M, Furrer F, Novkovic T, et al. Volumetric Instance-Aware Semantic Mapping and 3D Object Discovery. arXiv e-prints. 2019.
- 5) Ridgeback 安装机械臂用于人机协作
Khoramshahi M, Billard A. A dynamical system approach to task-adaptation in physical human-robot interaction[J]. Autonomous Robots, 2019, 43(4): 927-946.

附录 1 :

Ridgeback +Baxter 双臂移动机器人平台参数

- Ridgeback AGV 产品参数
 - 1、尺寸: 960 x 793 x 296 mm (L x W x H)
 - 2、重量: 135 kg
 - 3、越障高度: 18mm
 - 4、轮系: 4 个独立驱动的全向轮 (麦克纳姆轮配以精密驱动器和高分辨率编码器 (每转 35840 脉冲))
 - 5、移动步态: 全向移动 (运动控制 (前进, 侧向, 旋转), 各个车轮速度)
 - 6、导航方式: 激光 SLAM 导航
 - 7、额定负载: 100kg
 - 8、运动速度: 0~1.1m/s
 - 9、驱动动力: 铅酸电池 (24V, 100Ah)
 - 10、工作时间: 最大有效负载 15 小时
 - 11、充电时间: 约 8 小时

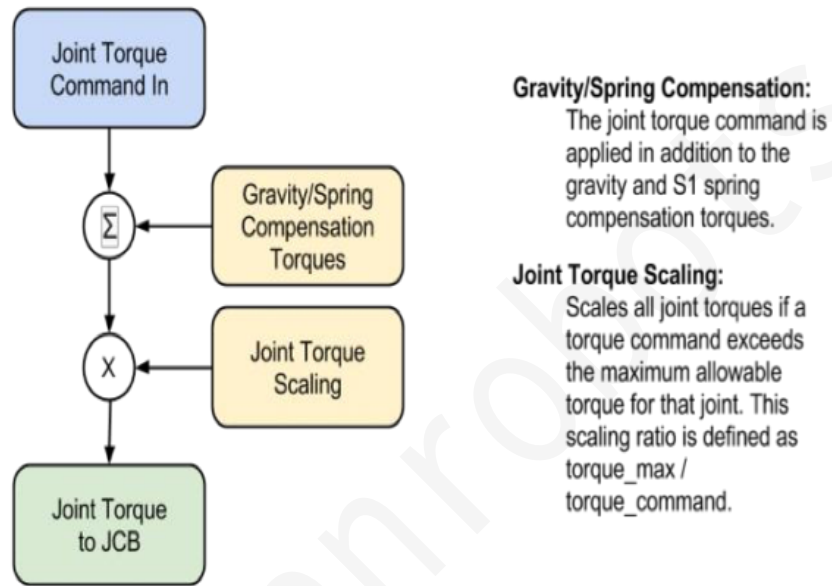
- 12、功率: 800 W 典型情况下
- 13、反馈: 内置 IMU 编码器
- 14、通讯方式与接口: 以太网, USB 3.0, RS 232, WiFi
- 15、电源接口: 5 V, 12 V, 24 VDC (每个以 10A 熔断), 可选 120 VAC
- 16、交互控制方式: 手柄控制、外接键盘控制
- 17、系统: Ubuntu14.04 ROS Indigo Gazebo, navigation support

➤ Baxter 双臂机器人技术指标

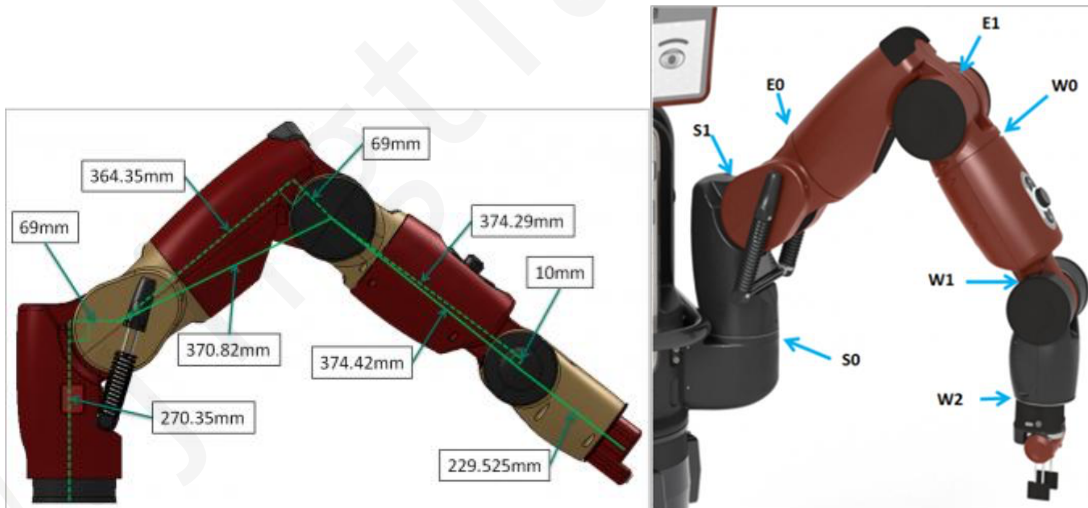
- 1、手臂数量:2
- 2、自由度 14(每个臂 7 个自由度);
- 3、最大单臂展:1.210m;
- 4、手臂与躯干接触面直径:0.330m;
- 5、夹持器数量:2 套;
- 6、夹持器范围(最大直径):0.1m;
- 7、夹持器最大夹持力:40N;
- 8、机器人高度(无底座):0.925m;
- 9、机器人高度(有底座):1.750~1.875m;
- 10、机器人重量(无底座):74Kg;总重量(带底座):137.7 kg;
- 11、额定有效负载:2.2Kg;
- 12、末端执行器最大速度(无负载):1m/s;
- 13、末端执行器最大速度(额定有效负载):0.6m/s;
- 14、拥有 3 个集成摄像头,摄像头最大分辨率 1280*800;
- 15、拥有 2 个自由度的显示器,内置声呐 12 通道,内置红外测距传感器 2 套;
- 16、每个关节配置串联弹性驱动器以及速度、扭矩和位置传感器,能精确的在机器人操作系统(ROS)系统下获取相关信息;
- 17、提供 rethink 标配移动基座,具有被动式移动底座,支持轮角锁定;
- 18、具有 1 个 DB15 的 I/O 口和 1 个 USB 口,支持 PPI、MPI 通信协议,有自由口通信能力;
- 19、提供 ROS 培训,内容包括:Linux 安装、ROS 安装、Linux 常用命令的介绍、ROS 常用命令介绍、rqt,rviz 常用 ROS 软件的介绍,并提供正式出版的 ROS 书籍;提供 ROS 中文书籍(ROS 入门实例)和英文书籍(ROS By Example)一套;
- 20、可为客户提供定制的嵌入式微控制系统;
- 21、双臂机器人功率小、能耗低,国内 220V 交流电源可以直接使用;
- 22、底座占地面积:900×800 mm;
- 23、机器人功能包括:(1)人机互动;(2)无需编程,可手动引导机器人进行动作;(3)可集成到现有工业自动化系统中;(4)建立在标准的 ROS 平台上;(5)软件二次开发平台(SDK)。
- 24、配套夹爪:双指大扭矩电动平行夹持器,夹持器运动范围(最大开度)0.144m,夹指长度可配置,夹持力最大 35N,可设定夹紧力;
- 25、提供中文版机器人开发指南或教程;

- 26、建立于标准的机器人操作系统（ROS）上，提供完全开源、免费的机器人操作系统 ROS 以及系统下的软硬件资源教程、SDK 包、开放源代码的 Example；
- 27、提供开源 ROS 操作系统，可以通过人机交互界面进行示教和视觉抓取功能

附录 2



上图：机械臂关节分布示意图



上图：关节转动示意图

关节最大速度、弯曲刚度与峰值力矩

关节	最大速度 (弧度/秒)	弯曲刚度	峰值力矩

S0	2.0	50 Nm 时 3.4 度 (约 843 Nm/rad)	50 Nm
S1	2.0	50 Nm 时 3.4 度 (约 843 Nm/rad)	50 Nm
E0	2.0	50 Nm 时 3.4 度 (约 843 Nm/rad)	50 Nm
E1	2.0	50 Nm 时 3.4 度 (约 843 Nm/rad)	50 Nm
W0	4.0	15 Nm 时 3.4 度 (约 250 Nm/rad)	15 Nm
W1	4.0	15 Nm 时 3.4 度 (约 250 Nm/rad)	15 Nm
W2	4.0	15 Nm 时 3.4 度 (约 250 Nm/rad)	15 Nm

其他硬件参数如下表：

相机参数	
最大分辨率	1280×800 像素
有效分辨率	640×480 像素
帧速	30 帧/秒
焦距	1.2 mm
处理器	第三代 Intel Core i7-3770(8 MB,3.4 GHz)
内存	4 GB,1600 MHz,DDR3
硬盘	128 GB 固态硬盘
总重	137.7 kg
单臂	21.1 kg
躯干	31.8 kg
底座	63.7 kg
电气参数	
电源要求	中国标准 220 V AC 电源

电池供电时	需要 DC-120 V AC 逆变器(Baxter 内部电脑不能通过 24 V DC 直接供电)
接口	标准 120V AC 电源,Baxter 内部电源系统和电脑也支持 90~264 V AC(47~63 Hz)
最大功耗	120V AC,6A,约 720 W
电气效率	87%~92%
内部电源	医用级直流开关电源
电压骤降	电压骤降至 90 V 时,持续中断需要手动启动
电压闪变	滞留时间 20 ms
电压不平衡	只需单相电供电
其他参数	
屏幕分辨率	1024×600 像素
位置精度	+/-0.25 mm
最大负载(含夹持器)	2.2 kg
夹持器最大夹持力	40 N
红外探测距离	4~40 cm
嵌入式视觉	腕部摄像头(每侧各一)
嵌入式受力传感器	每一个关节都有高分辨率的力度传感器
固有安全设计	功率和力度受限的柔性机械臂,带有串联弹性驱动器和内置传感器
防护等级	IP50

附录 3

表 1: 方案对比一览表

项目	本方案	其他方案
对接难度	无需其他电源及通信接口	一般需要重新匹配电源
可选资源	各配件由我司自主开发	大部分外部采购
开发方式	1、界面开发；2、ROS 开发	界面开发
开源形式	代码开源并提供接口	第三方接口
兼容性	自主软硬件，开发兼容性好	第三方配件接口不统一
售后支持	全技术支持	部分第三方

刘裕诗 (销售总监)

TEL: (+86) 180-6202-0228

武汉京天电器有限公司

Wuhan Jingtian Electrical Co.limited

公司地址: 武汉市洪山区光谷时代广场 A 座 1907、1908 室

No.1908 Building A, Optics Valley Times Square, Wuhan City, Hubei Province,
China

Tel: 027-87522899

Fax: 027-87522899

<http://www.jingtianrobots.com/>