



用户手册

HEX

力扭矩传感器

用于 KUKA KRC4

版本 E9

OnRobot FT KUKA 软件版本 4.0.0

2018 年 9 月

目录

1	前言.....	5
1.1	目标用户.....	5
1.2	预期用途.....	5
1.3	重要安全须知.....	5
1.4	警告符号.....	5
1.5	排版惯例.....	6
2	开始.....	7
2.1	交货范围.....	7
2.2	安装.....	8
2.2.1	ISO 9409-1-50-4-M6 工具凸缘.....	8
2.2.2	ISO 9409-1-31.5-7-M5 工具凸缘.....	8
2.2.3	ISO 9409-1-40-4-M6 工具凸缘.....	9
2.3	电缆连接.....	10
2.4	软件安装.....	10
2.4.1	KUKA 线路接口设置（以太网）	10
2.4.2	KUKA 机器人传感器接口软件包安装	12
2.4.3	OnRobot KUKA 软件安装	15
3	OnRobot 软件包编程	18
3.1	概览.....	18
3.1.1	KRL 变量	18
3.1.2	KRL 功能和子程序	18
3.2	初始化.....	18
3.2.1	OR_INIT()	18
3.3	手动引导.....	18
3.3.1	OR_HANDGUIDE().....	18
3.4	路径记录和播放.....	19
3.4.1	记录路径.....	19
3.4.2	播放路径: OR_PATH_REPLAY()	22

3.5	力控制.....	23
3.5.1	OR_BIAS().....	23
3.5.2	OR_FORCE_TORQUE_ON()	23
3.5.3	OR_FORCE_TORQUE_OFF().....	24
3.5.4	OR_WAIT().....	24
3.5.5	力控制示例.....	24
4	术语表	26
5	首字母缩略词列表.....	27
6	附录.....	28
6.1	更改 Compute Box 的 IP 地址	28
6.2	软件卸载.....	29
6.3	版本.....	30

版权所有 © 2017-2018 OnRobot A/S。保留所有权利。未经 OnRobot A/S 事先书面许可，严禁以任何形式或通过任何方式复制本出版物的任何部分。

在本文件出版之时，我们已经尽量保证其中信息的准确性。如果产品版本发生更新，则更新日期后的产品的用户手册可能会与本文件存在差异。

对于本文件中出现的任何错误或遗漏，OnRobot A/S 不承担任何责任。在任何情况下，对于因为使用本文件而造成的任何人身伤害或财产损失，OnRobot A/S 概不负责。

本文所列信息随时可能发生变更，恕不另行通知。您可以访问我们的网站获取最新版本的用户手册，网址：<https://onrobot.com/>。

本出版物的原始语言为英文。其他语言版本均翻译自英文版本。

所有商标均属于其各自的所有者。(R) 和 TM 标志已省略。

1 前言

1.1 目标用户

本文件的目标用户为设计和安装整套机器人应用的集成商。操作传感器的工作人员需要具备以下相关知识：

机械系统方面的基础知识

电子和电气系统方面的基础知识

机器人系统方面的基础知识

1.2 预期用途

本传感器设计用于测量力和扭矩，安装在机器人的末端执行器上。本传感器可以在指定测量范围内使用。超出范围使用传感器将被视为误用。对于因此造成的任何损害或人身伤害，OnRobot 概不负责。

1.3 重要安全须知

本传感器属于*半成品机器*，当用作应用中的部件时，需要分别对应用进行风险评估。需要遵守此处的所有安全说明。本安全说明仅针对传感器，并不能涵盖整个应用的安全注意事项。

完整应用的设计和安装必须遵循应用安装国家/地区的相应标准和法规中的具体安全要求。

1.4 警告符号



危险：

指示非常危险的情形，如果不能避免可能会导致严重伤害甚至死亡。



警告：

指示潜在的电气危险情形，如果不能避免可能会导致人身伤害或设备损坏。



警告：

指示潜在的危险情形，如果不能避免可能会导致人身伤害或严重的设备损坏。



小心：
指示如果不能避免可能会导致设备损坏的情形。



注意：
表示附加信息，例如提示或建议。

1.5 排版惯例

本文件中使用了下述排版惯例。

表 1：惯例

Courier 文本	用于文件路径和文件名、代码、用户输入和计算机输出。
<i>斜体文本</i>	用于引用内容或以文本形式标记的插图中的内容。
粗体文本	用于表示 UI 元素，包括按钮和菜单选项上的文本。
粗体、蓝色文本	表示外部链接或内部交叉引用。
<尖括号>	表示必须用实际的数值或字符串代替的变量名称。
1. 数字编号	程序步骤。
A. 字母编号	插图内容说明

2 开始

2.1 交货范围

KUKA KRC4 OnRobot HEX 传感器套件中包括将 OnRobot 力/扭矩传感器连接到 KUKA 机器人所需的所有物品。

- OnRobot 六轴力/扭矩传感器（型号为 HEX-E v2 或 HEX-H v2）
- OnRobot Compute Box
- OnRobot USB 盘
- 适配器 A2、B2 或 C2
- 传感器电缆（4 针 M8 - 4 针 M8，5 米）
- Compute Box 电源电缆（3 针 M8 - 末端开口）
- Compute Box 电源
- UTP 电缆 (RJ45 - RJ45)
- PG16 电缆密封套
- 塑料袋，其中装有：
 - 电缆支架
 - M6x8 螺钉 (6)
 - M5x8 螺钉 (9)
 - M4x6 螺钉 (7)
 - M5 垫片 (9)
 - M6 垫片 (6)

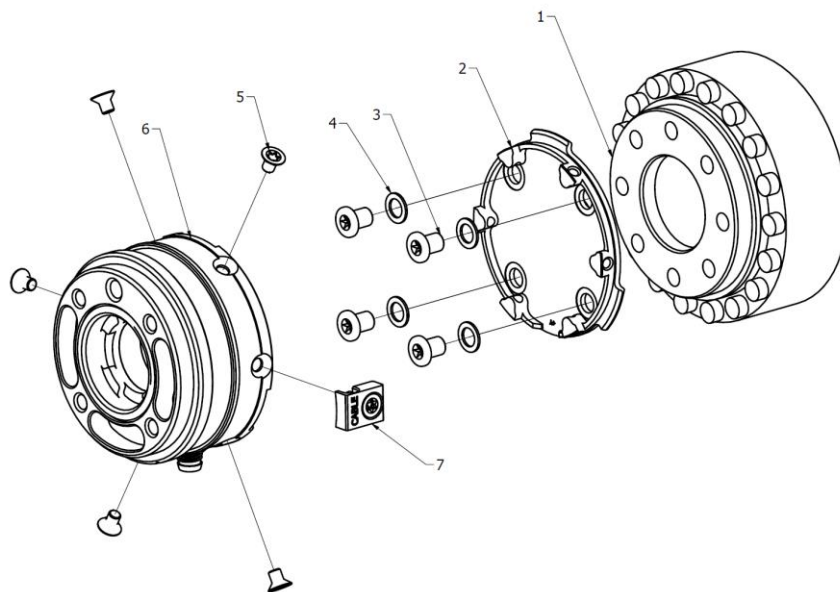
2.2 安装

仅限使用随传感器提供的螺钉。过长的螺钉可能会损坏传感器或机器人。

2.2.1 ISO 9409-1-50-4-M6 工具凸缘

要将传感器安装到 *ISO 9409-1-50-4-M6* 工具凸缘上，请按以下步骤操作：

1. 用 4 颗 M6x8 螺钉将适配器 A2 固定到机器人上。用 6 Nm 扭矩拧紧。
2. 用 5 颗带 M4 垫片的 M4x6 螺钉将传感器固定到适配器上。用 1.5 Nm 扭矩拧紧。
3. 用 1 颗带 M4 垫片的 M4x12 螺钉将电缆固定到带电缆支架的传感器上。用 1.5 Nm 扭矩拧紧。

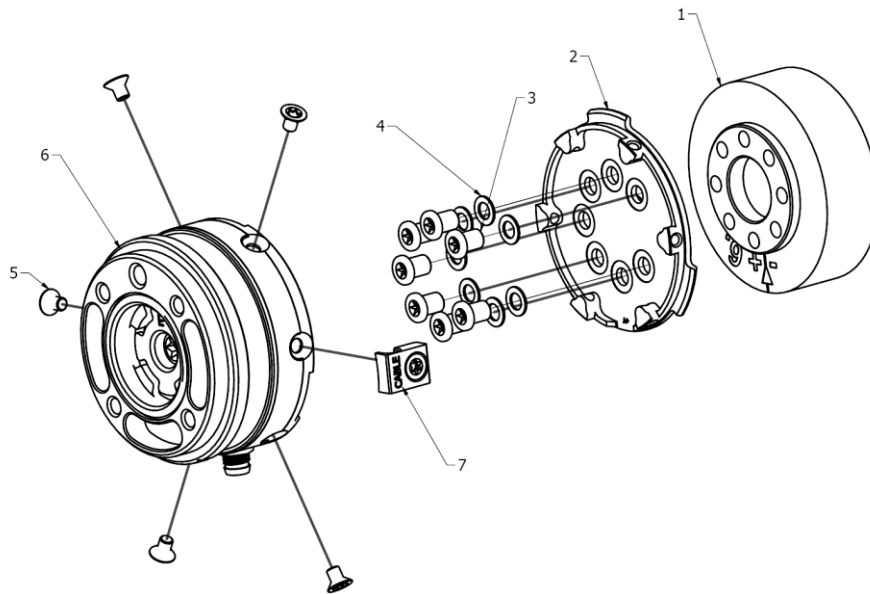


图例：1 - 机器人工具凸缘，2 - 适配器 A2，3 - M6x8 螺钉，4 - M4 垫片，5 - M4x6 螺钉，6 - 传感器，7 - 电缆支架

2.2.2 ISO 9409-1-31.5-7-M5 工具凸缘

要将传感器安装到 *ISO 9409-1-31.5-7-M5* 工具凸缘上，请按以下步骤操作：

- 用 7 颗 M5x8 螺钉将适配器 B2 固定到机器人上。用 4 Nm 扭矩拧紧。
- 用 5 颗带 M4 垫片的 M4x6 螺钉将传感器固定到适配器上。用 1.5 Nm 扭矩拧紧。
- 用 1 颗带 M4 垫片的 M4x12 螺钉将电缆固定到带电缆支架的传感器上。用 1.5 Nm 扭矩拧紧。



图例：1 - 机器人工具凸缘，2 - 适配器-B2，3 - M5x8 螺钉，4 - M5 垫片，5 - M4x6 螺钉，6 - 传感器，7 - 电缆支架

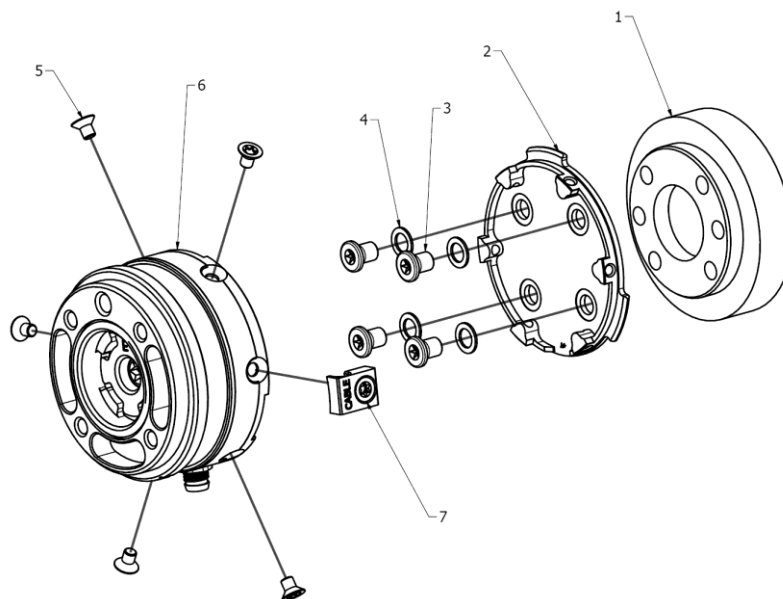
2.2.3 ISO 9409-1-40-4-M6 工具凸缘

要将传感器安装到 *ISO 9409-1-40-4-M6* 工具凸缘上，请按以下步骤操作：

1. 用 4 颗 M6x8 螺钉将适配器 C2 固定到机器人上。用 6 Nm 扭矩拧紧。

用 5 颗带 **M4** 垫片的 M4x6 螺钉将传感器固定到适配器上。用 1.5 Nm 扭矩拧紧。

用 1 颗带 **M4** 垫片的 M4x12 螺钉将电缆固定到带电缆支架的传感器上。用 1.5 Nm 扭矩拧紧。



图例：1 - 机器人工具凸缘，2 - 适配器 C2，3 - M6x8 螺钉，4 - M4 垫片，5 - M4x6 螺钉，6 - 传感器，7 - 电缆支架

2.3 电缆连接

要连接传感器，请按以下程序操作：

1. 将 4 针 M8 电缆（长 5 米）与传感器连接，并用电缆夹固定到机器人上。

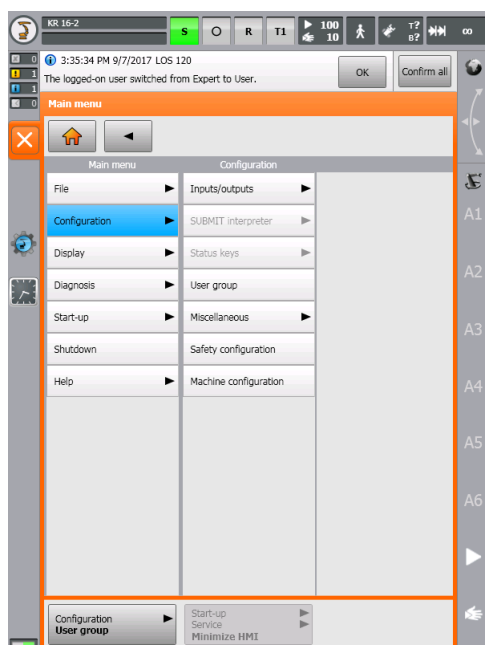
确保接头附近的电缆有足够的长度可以弯曲。

2. 将转换器放置在 KUKA 机器人控制柜附近，并连接 4 针 M8 电缆。
3. 利用提供的 UTP 电缆（黄色）将 Compute Box 的以太网接口与 KUKA 机器人控制器的以太网接口 (KLI) 连接。
4. 使用 Compute Box 电源为 Compute Box 供电，传感器则由壁式插座供电。
5. 为以太网转换器和 KUKA 机器人采用正确的网络设置。默认的以太网转换器 IP 地址为 192.168.1.1。如果您需要更改传感器的 IP 地址，请参阅 [更改传感器 IP 地址](#)。

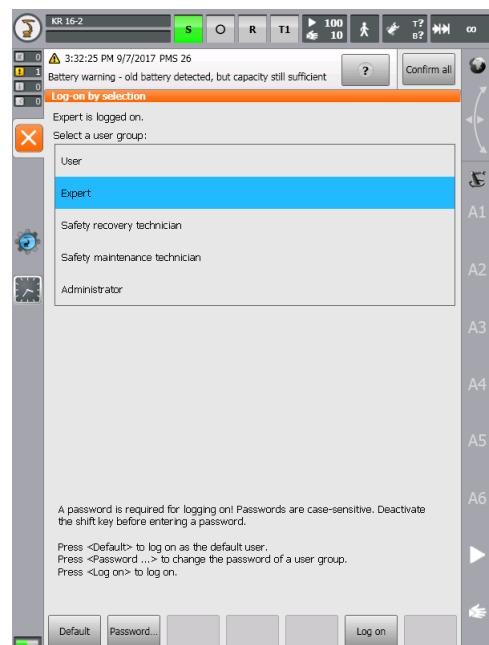
2.4 软件安装

2.4.1 KUKA 线路接口设置（以太网）

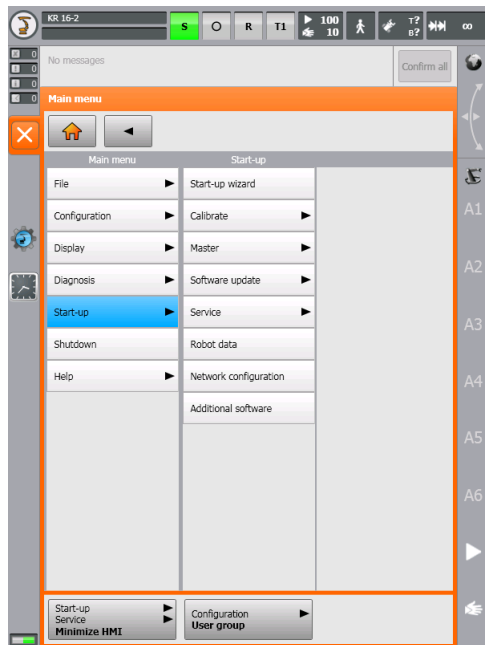
要更改 KUKA 机器人控制器的 IP 设置，请按以下程序操作：



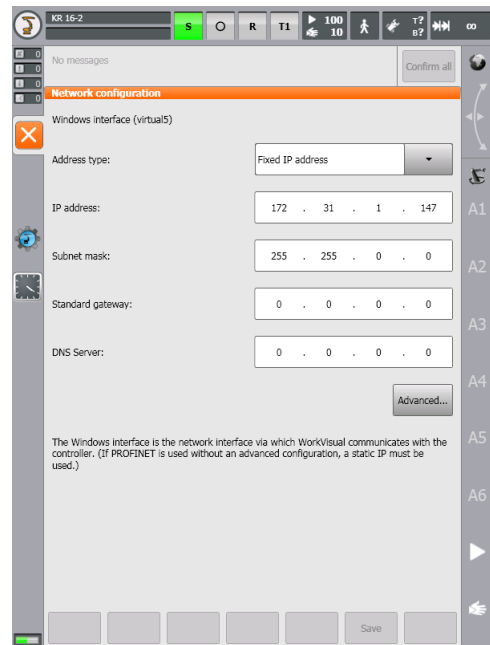
1. 进入 ‘Configuration’ > ‘User group’



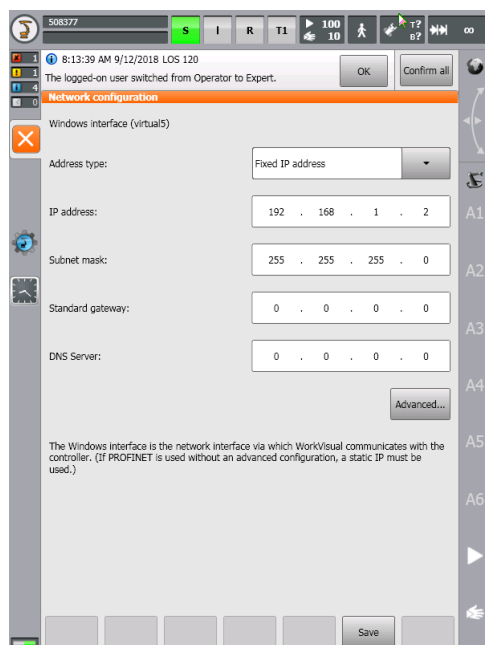
2. 选择 ‘Expert’ 并输入密码



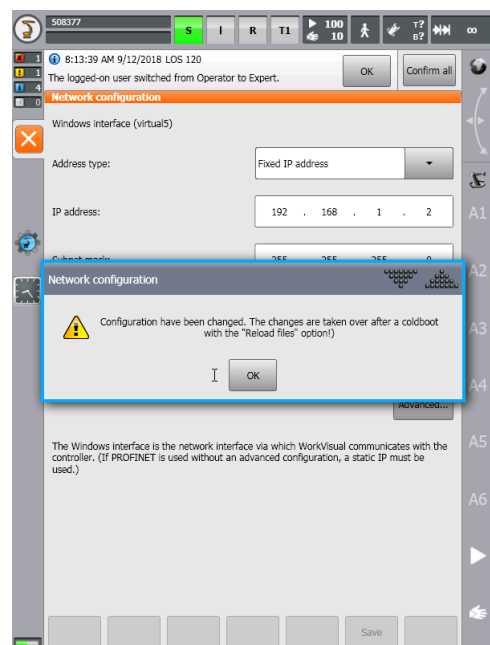
3. 进入 ‘Start-up’ > ‘Network configuration’



4. 设置 IP 地址，使其与 Compute Box 在相同的子网中

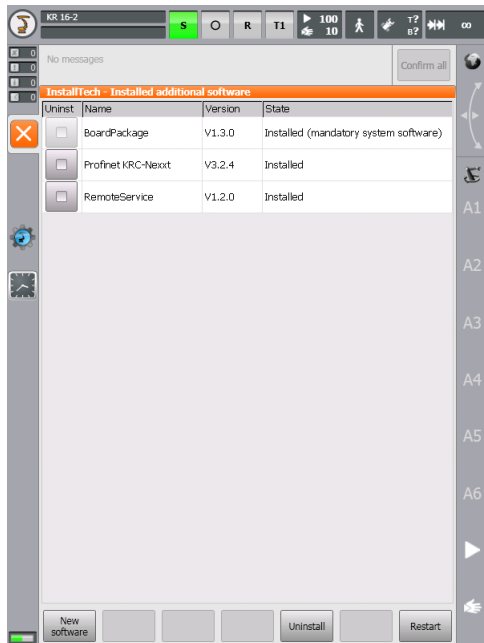


5. 单击 save

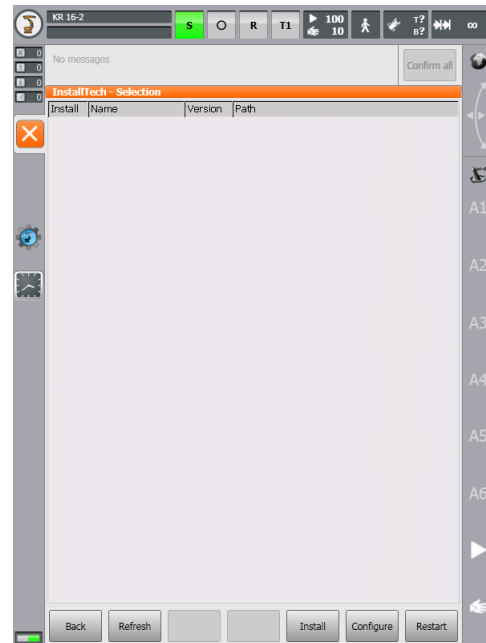


6. 接受提示，并重启机器人控制器

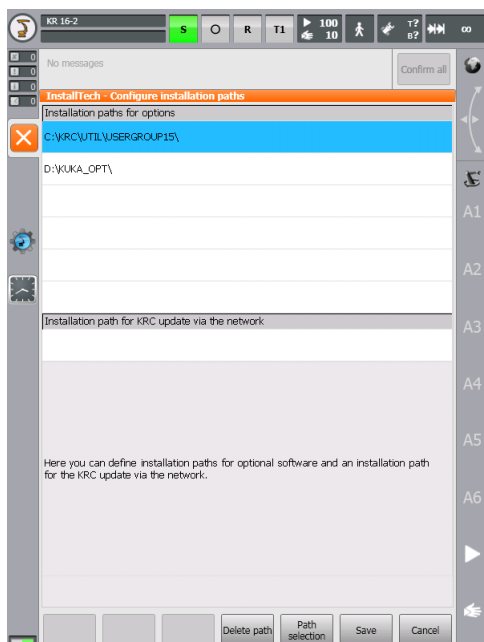
2.4.2 KUKA 机器人传感器接口软件包安装



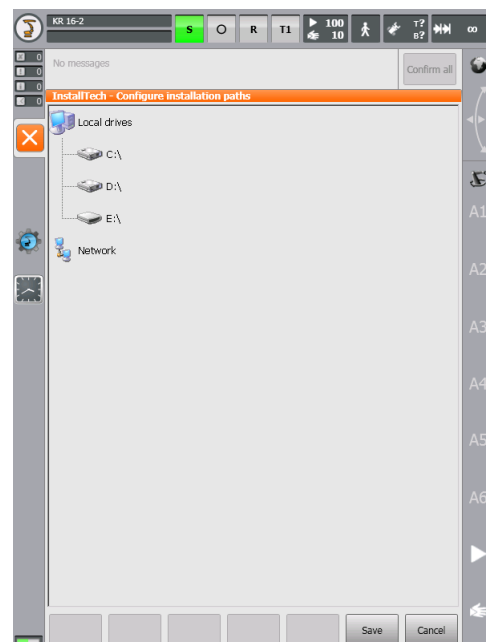
1. 进入 'Start-up' > 'Additional software', 单击 'New software'



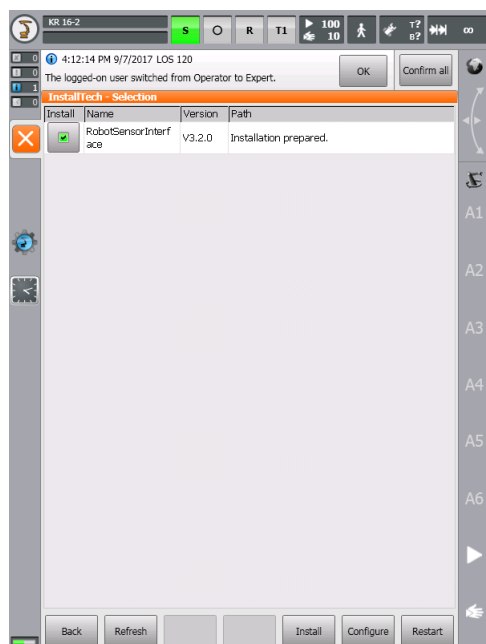
2. 如果列表中没有软件包，单击 'Configure'。



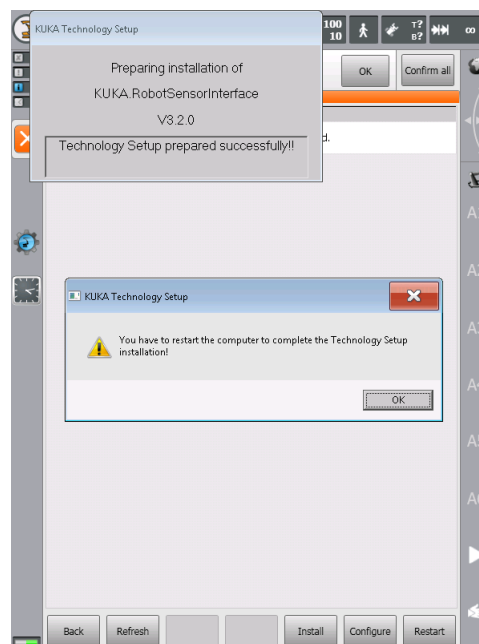
3. 单击空槽，接着单击 'Path selection'



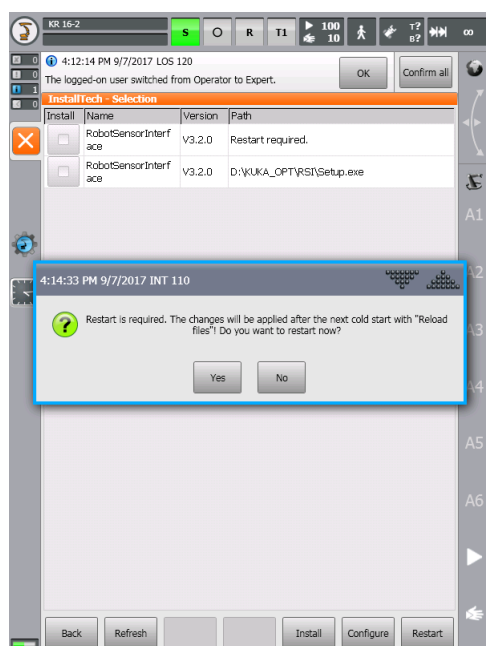
4. 浏览 RSI 安装文件夹，接着点击两次 'Save'。



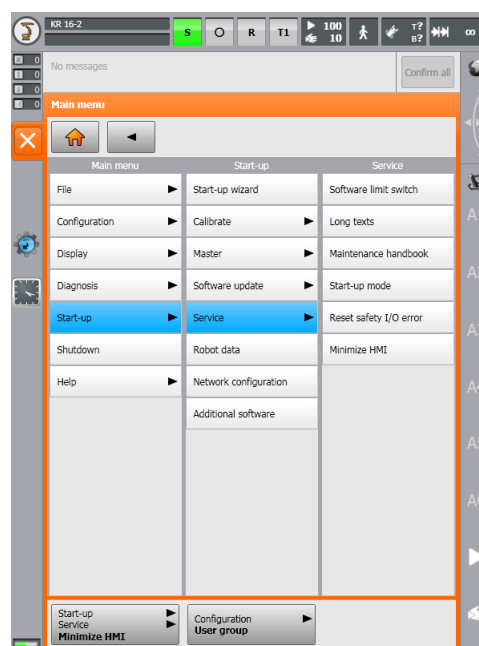
5. 选中 RSI 软件包名称旁边的复选框



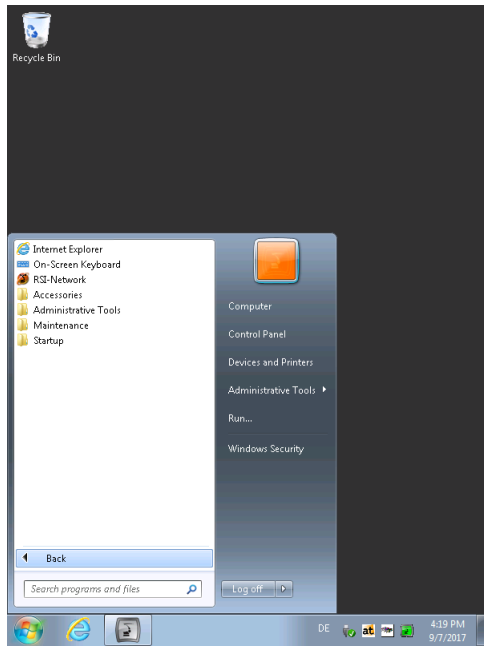
6. 等待安装完成，接受所有提示



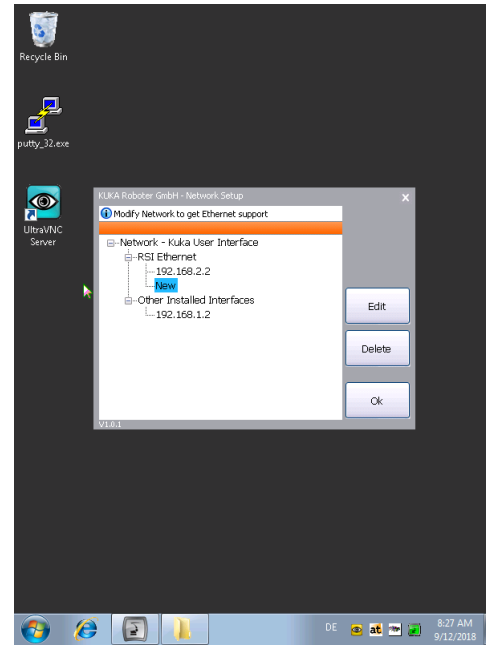
7. 在提示重启机器人控制器时，单击 'Yes'



8. 重启后进入 'Start-up' > 'Service' > 'Minimize HMI'



9. 单击 Start 菜单，接着打开‘RSI-Network’应用



10. 单击‘RSI-Ethernet’下的‘New’字段，接着单击‘Edit’。输入与 KLI 子网不同的 IP 地址

2.4.3 OnRobot KUKA 软件安装

进入 ‘Main Menu’ > ‘Configuration’ > ‘User group’ 并选择 ‘Expert’ 模式。

输入密码，接着进入 ‘Start-up’ > ‘Service’ > ‘Minimize HMI’

将提供的 U 盘插入控制盒的其中一个 USB 接口中。

浏览 OnRobot KUKA 安装程序，并启动程序。这一程序有多种用途：您可以将其用于初次安装 OnRobot KUKA 软件包，也可以作为网络配置工具。

在欢迎屏幕上，单击 ‘Next’ 。



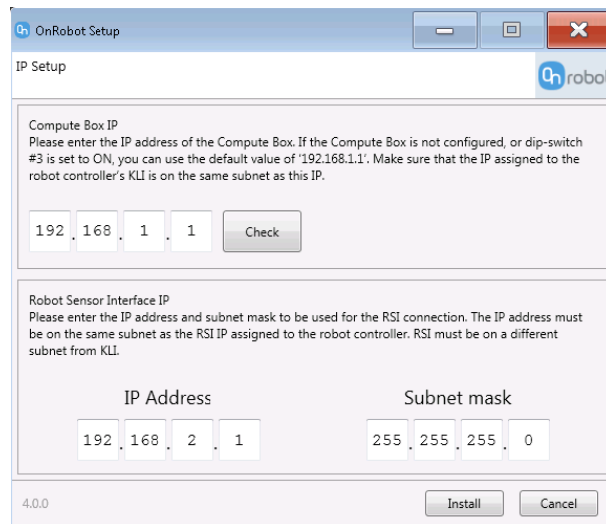
在接下来的窗口中，会出现三个输入字段。第一个字段用于定义机器人要使用的 Compute Box。第二个和第三个字段用于定义 RSI 连接。

首先输入机器人要使用的 Compute Box 的 IP 地址。默认地址是 192.168.1.1，如果您的 Compute Box 尚未配置或设置为固定 IP 模式，则使用这一默认地址。

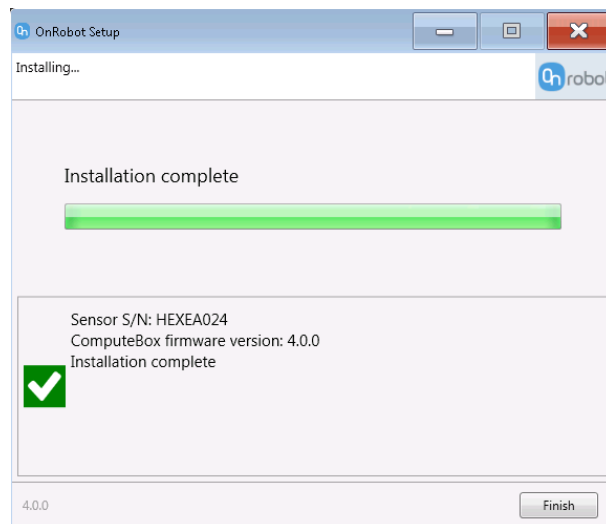
输入 IP 地址后，单击 ‘Check’。如果程序成功连接 Compute Box，则屏幕上会出现绿色对号，同时还会显示插入到 Compute Box 内的传感器的名字以及 Compute Box 软件的版本。

成功设置 Compute Box IP 后，输入 RSI 连接的 IP 地址和子网掩码，然后继续。

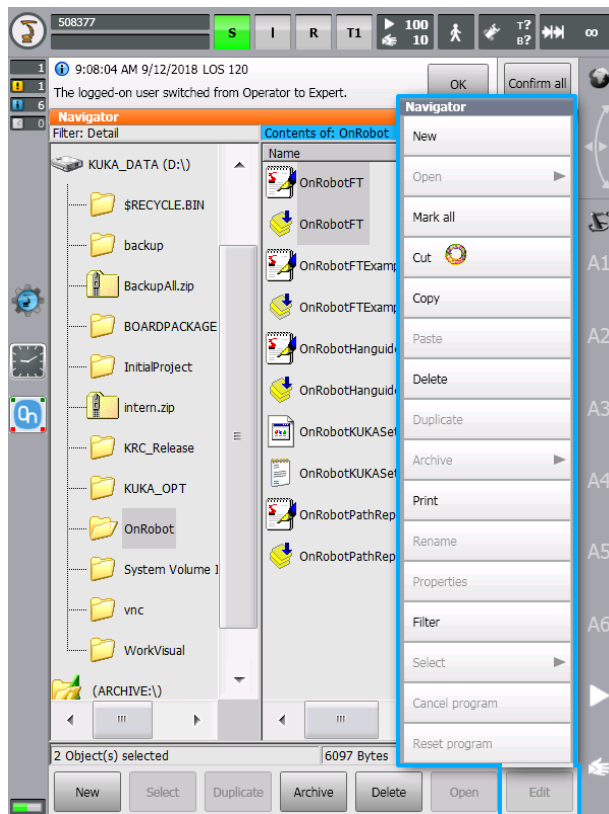
输入的 IP 地址必须与在 RSI 设置中定义的 IP 地址在相同的子网上。（例如，如果将机器人控制器的 RSI 设置为 192.168.173.1，那么这里应设置为 192.168.173.X。X 可以是 2 和 255 之间的任意数值。）确保使用的子网掩码与机器人控制器的子网掩码相同。



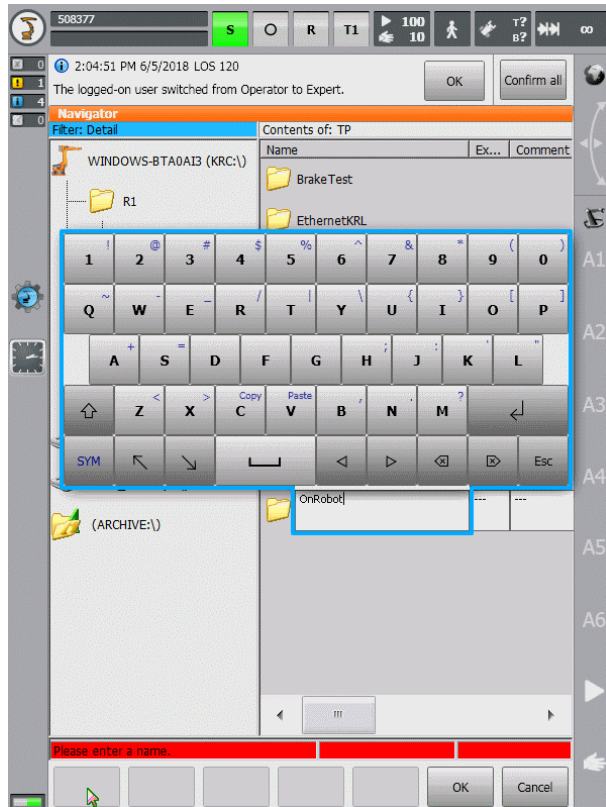
在填写所有字段后，单击 ‘Install’ 完成安装/配置。如果安装成功，则会出现绿色对号。如果与 **Compute Box** 连接出现问题或机器人控制器硬盘启用写保护，则安装会失败。



要完成安装，返回 **Smart HMI**，然后从 **Navigator** 中进入 ‘D:\OnRobot’ 。选择 ‘OnRobotFT.src’ 和 ‘OnRobotFT.dat’ ，接着在 ‘Edit’ 菜单中，按下 ‘copy’ 。



进入 ‘KRC:\R1\TP’，并创建以下名称的文件夹：OnRobot。将两个文件夹粘贴到新文件夹中。



重新启动机器人控制器。

3 OnRobot 软件包编程

3.1 概览

3.1.1 KRL 变量

STRUC OR_AXEN BOOL X,Y,Z,A,B,C

用于启用或禁用力控制轴的结构。

STRUC OR_FORCE_TORQUE_PARAM

用于定义力控制参数的结构。该结构有许多字段，我们将在力-扭矩控制部分进行说明。

3.1.2 KRL 功能和子程序

OR_INIT()

OR_BIAS()

OR_HANDGUIDE()

OR_PATH_REPLAY()

OR_WAIT()

OR_FORCE_TORQUE_ON()

OR_FORCE_TORQUE_OFF()

3.2 初始化

3.2.1 OR_INIT()

必须使用 OnRobot 力控制指令将此子程序插入任何代码，以初始化所有参数，以确保所有指令正常执行。其中必须只包含一次，并且必须在第一个 OnRobot 指令之前。

3.3 手动引导

3.3.1 OR_HANDGUIDE()

这一子程序会启动机器人传感器手动引导。这一程序包括 BCO 移动到程序启动时的实际位置。在启动程序时，不要触碰传感器或任何连接的工具。

该子程序的参数用于限制机器人沿某些轴或围绕某些轴的运动。在下面的示例中，沿着 Z 轴的移动以及围绕 A 轴和 B 轴的旋转被禁用。

OR_HANDGUIDE 有一个保守的速度限制，但是

示例：

```
DECL OFAXEN ENABLED_AXES
ENABLED_AXES={X TRUE, Y TRUE, Z FALSE, A FALSE, B FALSE, C TRUE}
OR_INIT()
OR_HANDGUIDE(ENABLED_AXES)
```


3.4 路径记录和播放

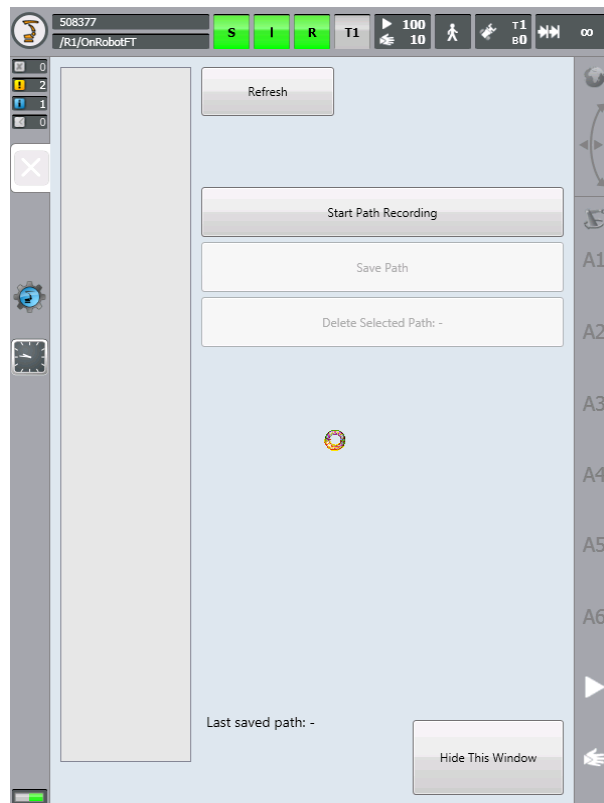
3.4.1 记录路径

您可以记录机器人所做的任何运动，无论是通过手动引导机器人还是在力控制运动期间表面形状创建的路径。在任何情况下，必须使用路径记录 GUI 手动启动路径记录。可以使用 SmartHMI 左侧工具栏上的“On”图标调出 GUI。

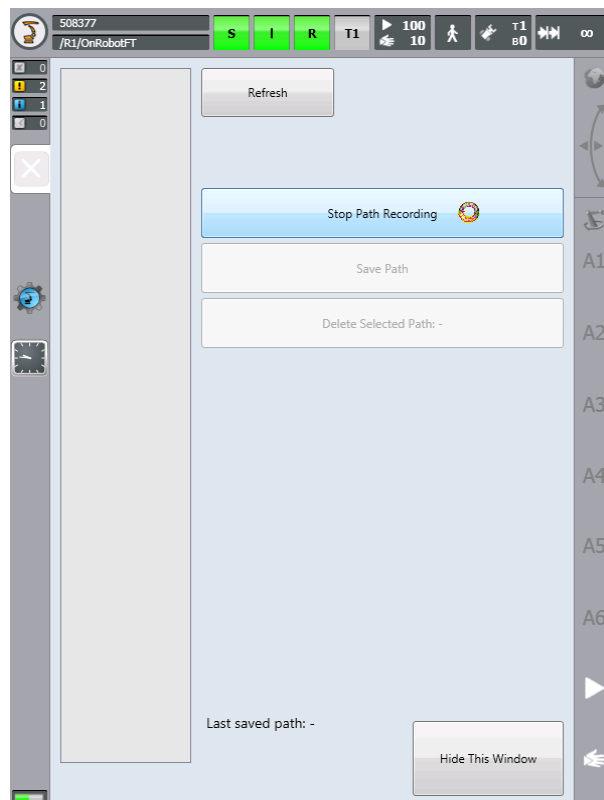


如要记录手动引导路径，请按以下步骤操作：

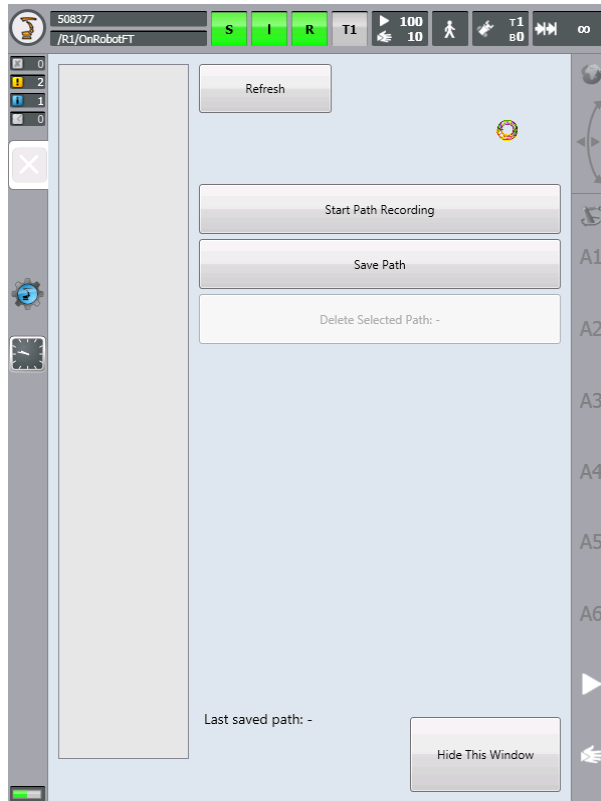
1. 创建一个包含 `OR_HANDGUIDE()` 指令的程序（或使用提供的示例程序）以启动手动引导。
2. 选择程序并启动它。建议您使用 **Teach**（示教）模式。
3. 将机器人移动到要从中开始路径记录的位置。您可以使用手动引导，但由于所有记录的路径都被视为相对运动，因此建议使用明确的已编程位置作为起点。这使播放和路径重用变得更为容易。
4. 当机器人处于手动引导模式并处于正确的初始位置时，选择左侧工具栏上的  图标以调出路径记录 GUI。
5. 按下 **Start Path Recording** 开始记录。



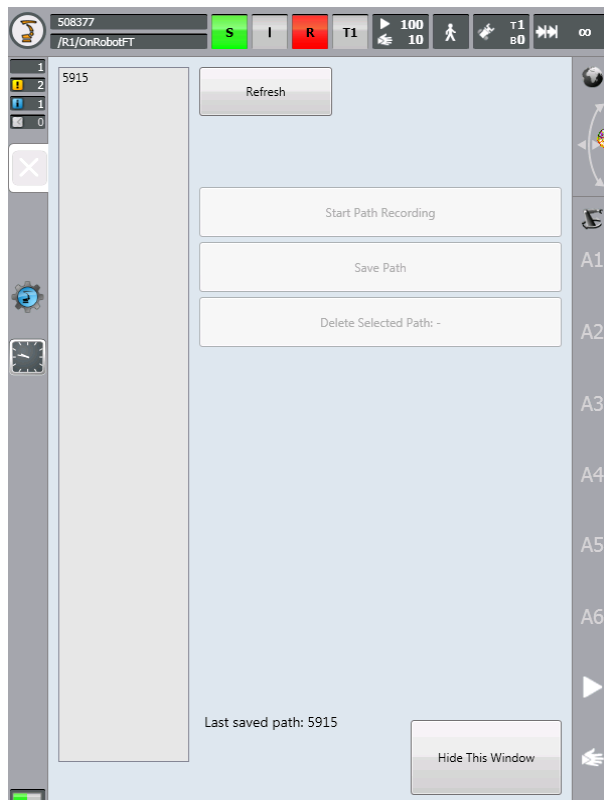
6. 沿着您要记录的路径移动机器人。
7. 完成记录后，请按下 **Stop Path Recording** 。



8. 如果您对记录的路径感到满意，请单击 **Save Path**。



新路径将被添加到左侧列表中，其标识符将显示在 **Last saved path** 旁边。
该路径现在保存在 **Compute Box** 中。



此过程也可用于记录力控制的运动。这可以大大提高力控制的准确性和速度。

保存的路径可以通过 Compute Box 网页导出，并上传到其他 Compute Box。保存的路径在机器人制造之间是通用的（例如，记录在 KUKA 机器人上的路径可以在 Compute Box 支持的任何其他机器人上播放）

3.4.2 播放路径：OR_PATH_REPLAY()

此功能可用于播放存储在 Compute Box 上的路径。这些指令有三个参数：

OR_PATH_REPLAY(SPEED:IN,ACCELERATION:IN,PATHID:IN)

SPEED: 恒定的平移速度，单位为 mm/s，用于播放路径。这种速度是全局性的；因此，机器人将尝试以此速度播放所有运动。因此，应避免没有平移的旋转。

ACCELERATION: 加速度和减速度，单位为 mm/s²，用于播放路径。使用较小的数字可以在路径的开始和结束处实现更柔和的加速。

PATHID: 要播放的路径的 4 位标识符。

返回的数值：

9: 完成的路径

-1: 一般错误

-11: 找不到指定的路径

-13: 指定的路径为空

-14: 无法打开指定的路径文件。

示例：

```
DECL INT retval
OR_INIT()
PTP {A1 0,A2 -90, A3 90, A4 0, A5 90, A6 0}
retval = OR_PATH_REPLAY(50, 50, 9159)
```

3.4.3

3.5 力控制

3.5.1 OR_BIAS()

用于重置给定负载的传感器值。用于在力控制期间（手动引导除外）对传感器值进行初始偏置，或在传感器方向改变时进行偏置。

3.5.2 OR_FORCE_TORQUE_ON()

使用预定义参数激活力控制。在激活力控制之后，所有运动将叠加在力控制上（KUKA 运动指令或路径播放）。

OR_FORCE_TORQUE_ON(PARAM:IN)

PARAM 为 OR_FORCE_TORQUE_PARAM 结构，包含以下字段：

FRAME_TYPE: 用于力控制的运动框架。**#BASE** 是机器人的基本坐标系，固定在机器人底座上。**#TOOL** 是固定在机器人凸缘上的框架。

ENABLE: 定义具有 OR_AXEN 结构的参考轴。

FRAME_MOD: 使用的坐标系的框架补偿。主要用途是沿着倾斜轴或平面旋转坐标轴以进行力控制。

P_GAIN: 力控制器的比例增益。这是基本力控制最常用的参数。确定机器人对力的变化做出反应的速度，但可能导致振荡。这些值应从较小值开始（力从 1 开始，扭矩从 0.1 开始），逐渐增加以改进行为。

I_GAIN: 力控制器的积分增益。可用于校正持久力误差（例如倾斜表面）。减慢机器人反应，增加过冲。

D_GAIN: 力控制器的微分增益。可用于减小控制器引起的振荡。减慢机器人反应，数值越大，振荡越大。

FT: 沿 FRAME_TYPE 和 FRAME_MOD 定义的轴保持的目标力的定义。禁用的轴将忽略此参数。

F_SQR_TH: 力灵敏度平方的力阈值。可用作低力情况下的软力截止值（力越小，灵敏度越低，振荡越小）。**如果使用，则必须大幅减少所有增益值 (GAIN)。**

T_SQR_TH: 扭矩灵敏度平方的扭矩阈值。可用作低扭矩情况下的软扭矩截止值（扭矩越低，灵敏度越低，振荡越小）。**如果使用，则必须大幅减少所有增益值 (GAIN)。**

MAX_TRANS_SPEED: 力控制器允许的最大平移速度。[mm/s]

MAX_ROT_SPEED: 力控制器允许的最大角速度。[deg/s]

3.5.3 OR_FORCE_TORQUE_OFF()

该子程序用于关闭力控制。

3.5.4 OR_WAIT()

在力控制期间等待指定的时间量。

OR_WAIT(TIMEOUT:IN)

超时: 等待过程中已用的时间 (以毫秒为单位)。

返回的数值: 7: 已过去的指定时间量。

3.5.5 力控制示例

此示例显示了在工具 z 方向保持 20N 的同时, 沿着所有三条平移轴的力控制运动的参数化。激活后, 机器人等待两秒钟 (例如机器人移动接触), 然后沿 x 方向移动 200 毫米。

```
DECL OR_AXEN enable
DECL OR_FORCE_TORQUE_PARAM param
DECL POS pgain, dgain, igain, framemod, force
DECL INT retval, tmp

OR_INIT()

PTP {A1 0,A2 -90, A3 90, A4 0, A5 90, A6 0}

OR_BIAS()
enable = {X TRUE, Y TRUE, Z TRUE, A FALSE, B FALSE, C FALSE}
pgain = {X 1, Y 1, Z 1, A 0.1, B 0.1, C 0.1}
dgain = {X 0, Y 0, Z 0, A 0, B 0, C 0}
igain = {X 0, Y 0, Z 0, A 0, B 0, C 0}
framemod = {X 0, Y 0, Z 0, A 0, B 0, C 0}
force = {X 0, Y 0, Z 20, A 0, B 0, C 0}
param.FRAME_TYPE = #TOOL
param.ENABLE = enable
param.FRAME_MOD = framemod
param.P_GAIN = pgain
param.I_GAIN = igain
```



```
param.D_GAIN = dgain
param.FT = force
  param.F_SQR_TH = 0
  param.T_SQR_TH = 0
  param.MAX_TRANS_SPEED = 0
  param.MAX_ROT_SPEED = 0
  OR_FORCE_TORQUE_ON(param)

;WAIT 2 sec
tmp = OR_WAIT(2000)

;KUKA MOVE
PTP_REL {X 200}
OR_FORCE_TORQUE_OFF()
```

4 术语表

术语	说明
Compute Box	OnRobot 随传感器提供的设备，用于执行使用 OnRobot 执行的指令和应用所需的计算，需要连接到传感器和机器人控制器。
OnRobot 数据可视化	OnRobot 创建的数据可视化软件，用于以可视化形式表述传感器提供的数据。可以安装到 Windows 操作系统上。

5 首字母缩略词列表

首字母缩略词	全称
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DIP	Dual in-line package
F/T	Force/Torque
ID	Identifier
IP	Internet Protocol
IT	Information technology
MAC	Media access control
PC	Personal Computer
RPY	Roll-Pitch-Yaw
SP	Starting Position
SW	Software
TCP	Tool Center Point
UTP	Unshielded twisted pair

6 附录

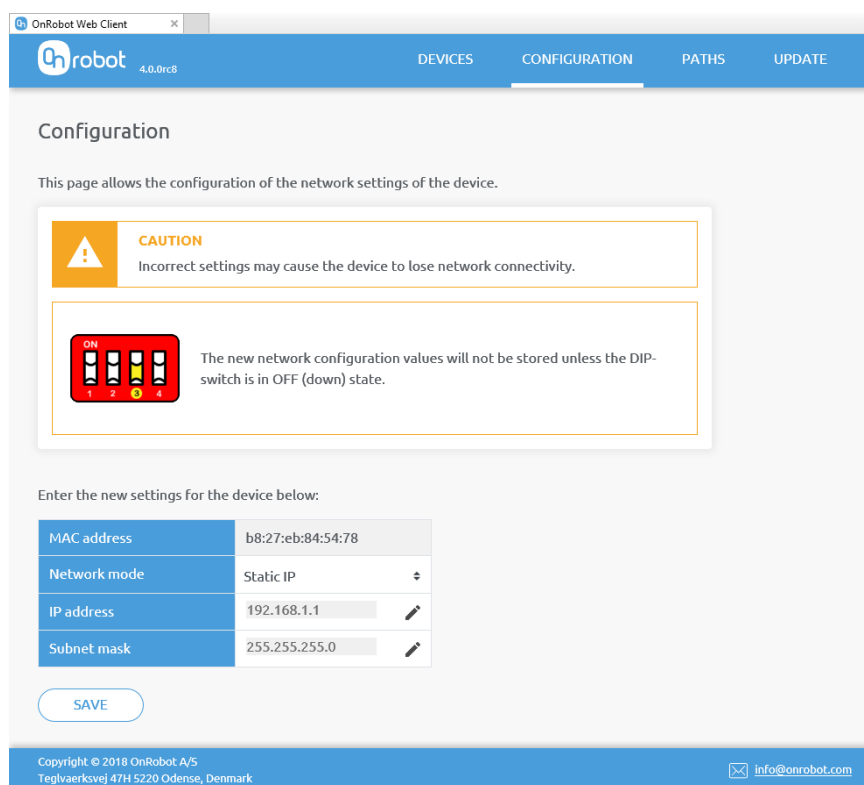
6.1 更改 Compute Box 的 IP 地址

要更改传感器 IP 地址，将笔记本电脑或外部台式机连接到 OnRobot Compute Box。

1. 确保设备没有通电。用提供的以太网电缆连接设备和计算机。
2. 如果设备采用出厂默认设置，参考步骤 3。否则，确保将 DIP 3 切换到 ON 位置（向上），接着将 DIP 4 切换到 OFF 位置（向下）。



3. 用提供的电源给设备供电，等候 30 秒，待设备启动。
4. 打开 web 浏览器（建议采用 Internet Explorer），导航到 <http://192.168.1.1>。显示欢迎屏幕。
5. 单击顶部菜单中的 **Configuration**。显示以下屏幕：

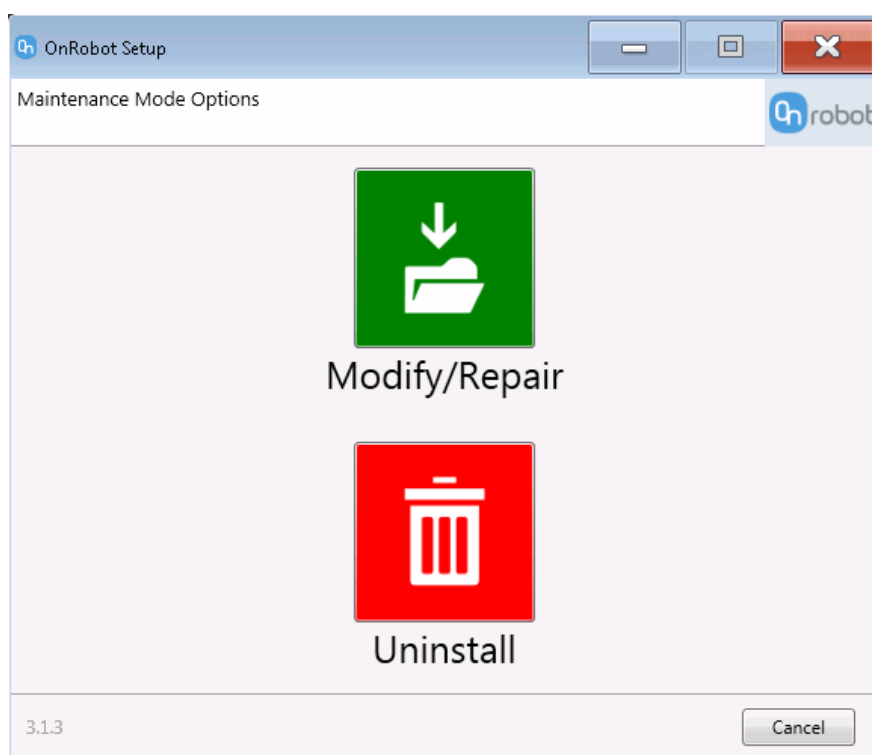


6. 从 **Network mode** 下拉菜单中选择 **Static IP** 选项。
7. 编辑 IP 地址。
8. 将 DIP 开关 3 切换到关闭位置。
9. 单击 **Save** 按钮
10. 打开 web 浏览器（建议采用 Internet Explorer），导航到第 7 步中设置的 IP 地址。

6.2 软件卸载

您可以按照下述步骤卸载您的机器人控制器上的 OnRobot 软件包：

1. 进入主菜单，接着依次进入 ‘Configuration’ > ‘User group’，然后进入 ‘Expert’ 模式。
2. 进入 ‘Start-up (’ > ‘Service’ > ‘Minimize HMI’，将用户界面最小化。
3. 打开文件管理器，并进入 ‘D:\OnRobot’。
4. 启动 OnRobot Setup 可执行文件。
5. 单击 ‘Uninstall’ 并接受提示。



6. 重新启动机器人控制器。

6.3 版本

版本	注释
版本 2	重新组织了文档结构。 添加了术语表。 添加了首字母缩略词列表。 添加了附录。 添加了目标用户。 添加了预期用途。 添加了版权、商标、联系信息、原始语言信息。
版本 3	编辑方面的更改。
版本 4	编辑方面的更改。
版本 5	编辑方面的更改。
版本 6	编辑方面的更改。