



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

机器人操作系统及开发环境

牛建伟

北京航空航天大学

2021年8月21日

第三届国产嵌入式操作系统技术与产业发展论坛

汇报内容



产业背景与趋势



主要工作



成果应用



下一步工作



机器人：未来30年人类科技发展最重要方向之一

- 2007年1月，比尔·盖茨在《科学美国人》上撰文预言：
- **机器人即将重复个人电脑崛起的道路，进入各行各业** 机器人行业现今面临的挑战，和30年前电脑行业遇到的问题“如出一辙”
 - 流行的应用程序很难在五花八门的装置上运行
 - 在一台机器上使用的编程代码，几乎不可能在另一台机器发挥作用，如果想开发新的产品，通常得从零开始

□原因

- 标准化工作还未全面开始
 - 还没有形成具有垄断地位的机器人操作系统
- 媲美30年前的一篇文章：1977年9月Intel公司创始人罗伯特·诺伊斯撰文预言**计算机**将走进千家万户

未来10-30年，将实现PC到PR和IT到RT的历史性变革

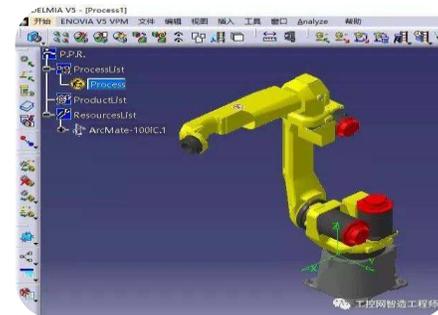




机器人控制系统现状

国产工业机器人的产业现状

- 机器人企业**小而散，低水平重复**：相对四大家族，国内三十余家每家都不大（四大家族年销售分别5万台左右，国内没有年销超过3000台的企业）
- 各家机器人产品**不开放/源、无法跨平台，实时性/稳定性不强，智能不足，研发工艺难**
- 机器人**软件化（SDR）趋势显著，软件研发投入巨大，机器人行业招聘高水平软件人才难**



机器人厂商生存困境

1. 前期大量资金投入建立技术体系，视为“核心技术”不愿共享

2. 机器人市场场景过于细分，导致单项体量难以突破

3. 市场规模难以维系研发持续投入，变成“低水平重复”

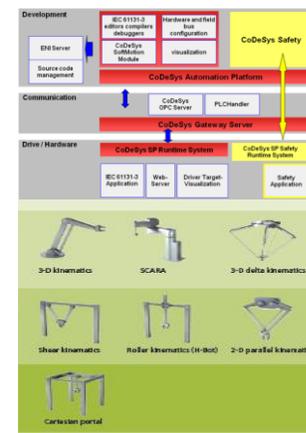


机器人控制系统现状

国外 机器人企业

- ABB: Vxworks+运动控制
- KUKA: Vxworks+运动控制
- 发那科: 自研嵌入式OS+运动控制
- 安川: 自研嵌入式OS+运动控制

- 德国3S CodeSys
- 奥地利 贝加莱 AS
- 德国倍福TwinCAT3
 - 专机厂家
 - 国内小机器人厂家



国内机器人厂家，低水平重复造轮子，缺乏“底座”型技术平台。

面向实时性、稳定性、组件化、智能化、高速高精度控制等共性基础需求

突破高端市场需要长期的技术积累，平台化基础能力有助于降低研发成本，改善行业环境。



国内机器人市场发展现状

- 中国：世界最大机器人市场，发展速度很快，年销量约为15万
- 机器人品牌以外资为主：
FANUC, YASKAWA, KUKA, ABB, KAWASAKI, NACHI, EPSEN, DENSO, STAUBLI, YAMAHA, UR
, COMAU
- 国内厂商提供的多关节机器人仅2万余台，但厂家众多，规模型企业20余家
- 新松, 广数, 埃夫特, 埃斯顿, 新时达, 傲博, 华数, 摩卡, 伯朗特, 尔必地, 柴孚, 图灵, 欢颜
- 就目前形势来看，集全国机器人厂家之力，也很难与国外机器人巨头抗衡

从机器人控制系统到机器人操作系统

- 机器人控制程序
 - 机器人控制系统
 - 机器人操作系统
 - 机器人云操作系统（智能机器人操作系统）
 - 群智机器人操作系统
- 
- 目前阶段：控制系统向机器人操作系统过渡阶段

如何构建下一代智能机器人操作系统？

从机器人控制系统到机器人操作系统

工业控制安全

机器人开发及仿真环境

机器人云平台

机器人运行环境

机器人操作系统

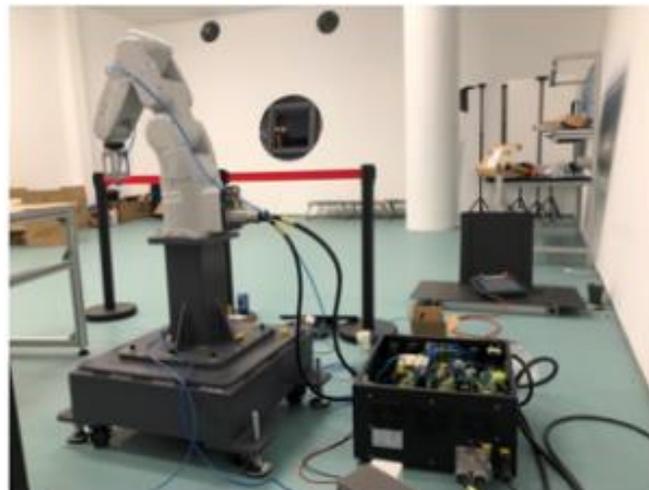
HAL

机器人整机

机器人控制器

伺服电机驱动器

减速器



机器人控制系统是机器人运行和功能实现的核心

从机器人控制系统到机器人操作系统

机器人控制系统 = 硬件 (外形) + 软件 (灵魂)

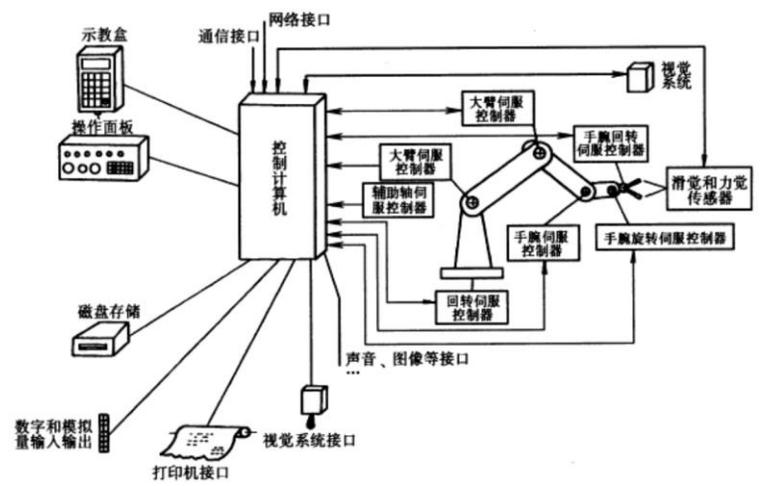
硬件

工控计算机
工业总线
/通信接口

I/O控制和逻辑

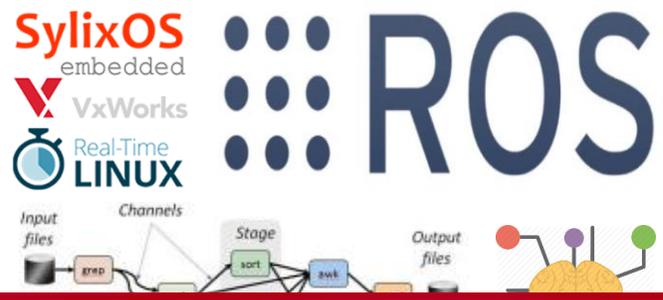
.....

示教盒
各种传感器
轴控制器



软件

开放性模块化的控制系统体系结构
嵌入式实时OS内核
运动控制算法
机器人网络化通信制



机器人硬件趋于稳定，控制系统软件是核心竞争力

从机器人控制系统到机器人操作系统



对比与思考：手机从控制系统到操作系统

初期手机



从功能上：仅仅通信，用**控制系统**就能实现
从开发上：封闭系统，厂家自己软硬件都管，自己开发
从应用上：打电话、接电话、电话本、短信等几个功能



出厂时应用程序和功能基本固定

功能可灵活扩充→**智能**可动态扩充（开放、标准化）



以史为鉴:Android历史介绍

世界上曾经存在很多自研手机系统

2003:Andy Rubin创办Android,做开放手机系统

2005:Google收购Android

2008:Apple推出ios2.0+AppStore

Google推出Android1.0+Market

2010:Microsoft推出WindowsPhone

2012:PalM被HP放弃

2013:Symbian宣布终止

2018:MicroSoft宣布WindowsPhone终止

symbian
OS

NOKIA
Connecting People



NOKIA

ERICSSON

alcatel

PHILIPS

SIEMENS

SAMSUNG



从机器人控制系统到机器人操作系统

■非商用机器人软件项目

- 开源机器人基金会的ROS
- 美国Player/Stage
- 欧洲Orocos
- 欧洲YARP
- 日本OpenRTM-aist
- 微软机器人开发平台RDS (不开源, 免费提供下载)
-

■商用机器人控制软件

- 德国3S软件公司 CodeSys
- 德国菲尼克斯软件公司的Soft Motion 产品组件
- Kithara软件公司Kithara产品组件
- Kuka公司Sunrise OS
- 德国倍福TwinCAT.....



国外在机器人操作系统领域起步远远早于国内

■ 开源机器人操作系统ROS(Robot Operating System)

- 起源于2007年Stanford, 开源开放不实时
- 其初衷是提高代码重用率, 科研与教学!
- 包含了2000多个机器人平台常用软件包
- 正在逐步成为机器人研发领域的**事实标准**



■ 德国3S软件公司 CodeSys

- 被誉为工业控制界的**安卓**
- 支持IEC 61131-3标准
- 多家厂商使用
- 不开放源代码, 复杂应用支持度极低



思路: ROS+CoDeSys + 实时OS内核 → 国产机器人操作系统

从机器人控制系统到机器人操作系统

■国内工业机器人操作系统

- 新松、埃夫特、埃斯顿、纳博特、傲博等国内领先的机器人厂商都有自己专用的机器人中间件（基于风河Linux和RTEMS等实时OS的专用机器人组件）

SIASUN 新松
超越期望 Beyond Expectation



EFORT



■国内偏向于服务型机器人软件

- Turning OS
- iBOT OS
- Roobo
-

iBot Cloud

roobo

图灵机器人
TURING ROBOT

■ 国内外趋势分析

- 国外有较成熟的工业机器人系统，国内也有一些专用系统
- 国外略领先国内

■ 针对机器人操作系统的迫切需求

- 面向复杂机器人功能
- 开源、开放、强实时
- 可扩展、易用性强

研发机器人领域内的“安卓系统”



目前国产机器人发展机遇及挑战

★中国机器人产业机遇与挑战并存

中国目前有800多家机器人企业，但多数主要是做系统集成的，重复开发、制造工作偏多，在产品核心技术及整体解决方案上，生态相对闭塞，存在巨大想象空间。

★互联网技术正在向机器人方面渗透，智能化成未来主流趋势越来越多的新兴机器人公司，例如大族、JAKA等采用互联网技术体系，打造爆款机器人。

★国内机器人突破高端领域的战斗刚刚开始

国产机器人质量正在快速提升，政府支持导引下的高端市场正在逐步突破，汽车、3C、医药等领域机器人突破只是时间问题。



当前机器人操作系统研发的技术挑战

1. 实时系统内核



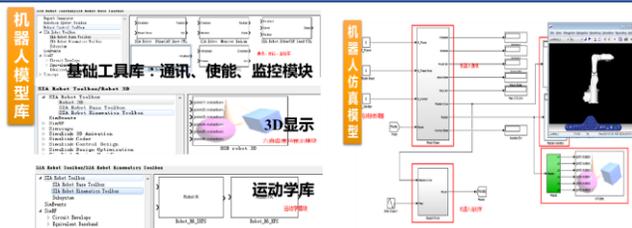
基于linux: 实时性弱

基于SylixOS、RTLinux: 实时性强



挑战一: 国产实时工业操作系统 (卡脖子)

2. 跨平台、组件化差



起步阶段: 平台多样 设备多样 厂家多样

机器人组件: 智能 高性能 跨平台



挑战二: 跨平台、组件化、可重用的高效机器人应用开发环境

3. 开放的技术生态维护

SUNSON 新松



EFORT



起步阶段: 开放效率低 智能化程度低 各自为战

开发环境: 可视化编程 跨平台 智能 开放



挑战三: 机器人开放开源生态环境



发展目标

研发**国产机器人操作系统及开发环境**，形成**机器人操作系统应用生态**，降低**机器人企业软件研发成本**。

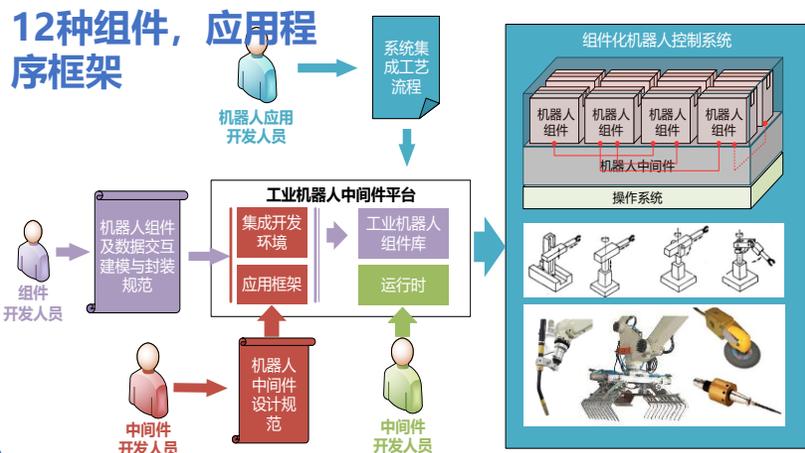
1

强实时、高可靠国产机器人操作系统内核



2

跨平台、组件库的IDE (运动、视觉、通信等)



3

示范应用验证 开源开放生态



核心任务 —— 打造机器人领域的“安卓系统”

汇报内容



产业背景与趋势



主要成果



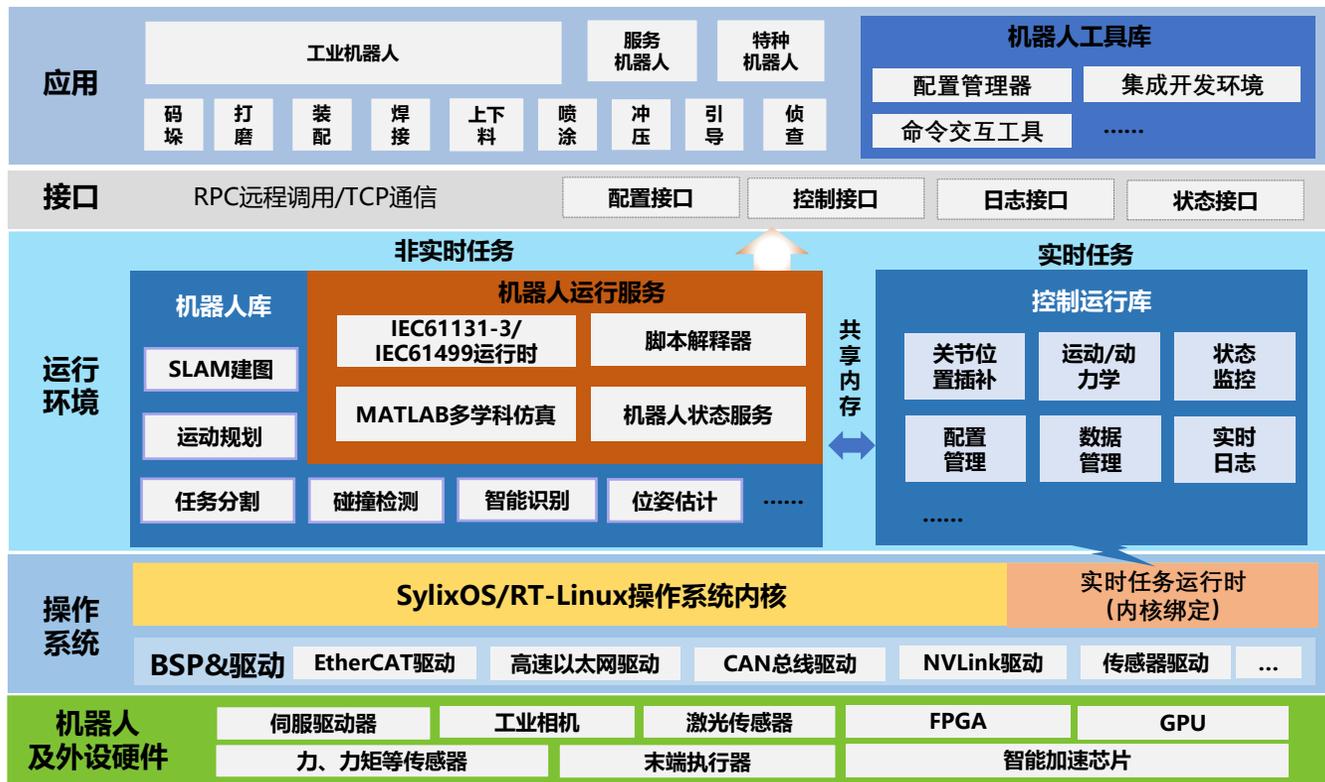
成果应用



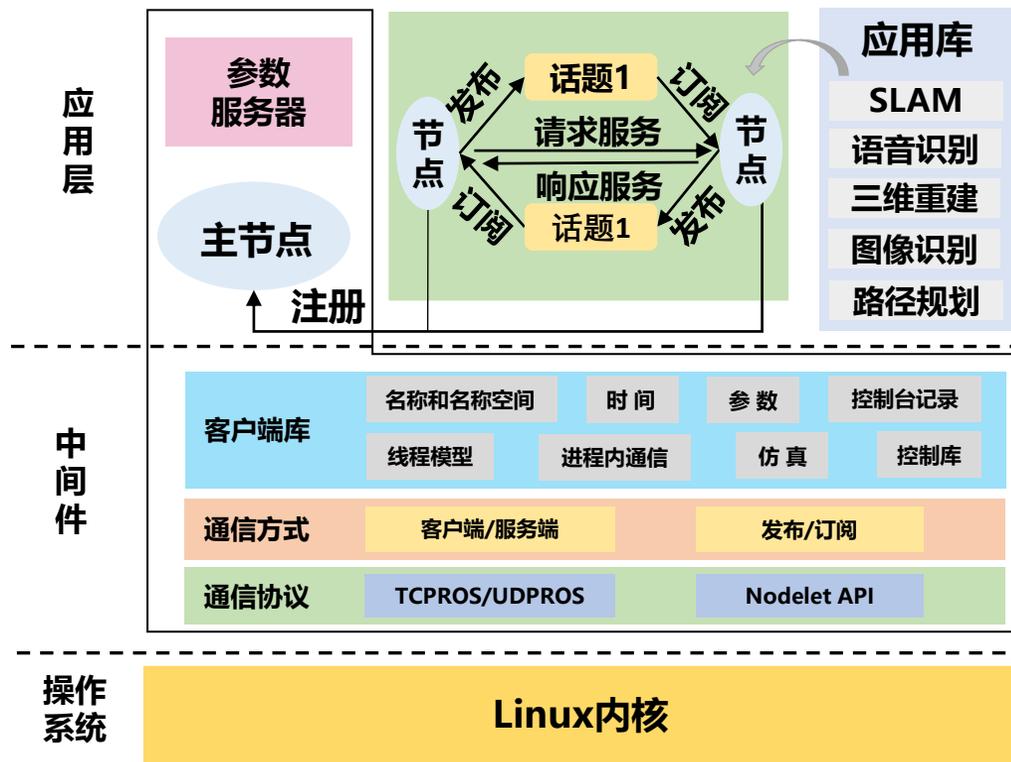
下一步工作

机器人操作系统总体设计

国产机器人操作系统架构



ROS 机器人开源软件ROS架构



国产机器人操作系统

VS

ROS

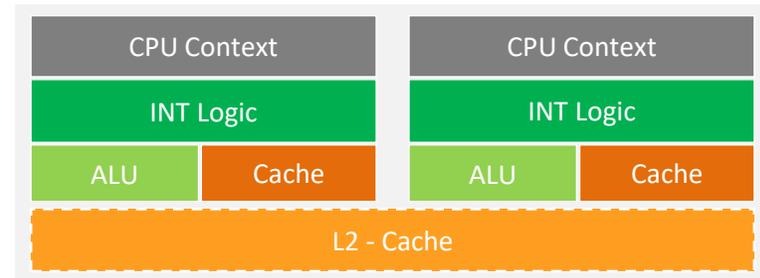
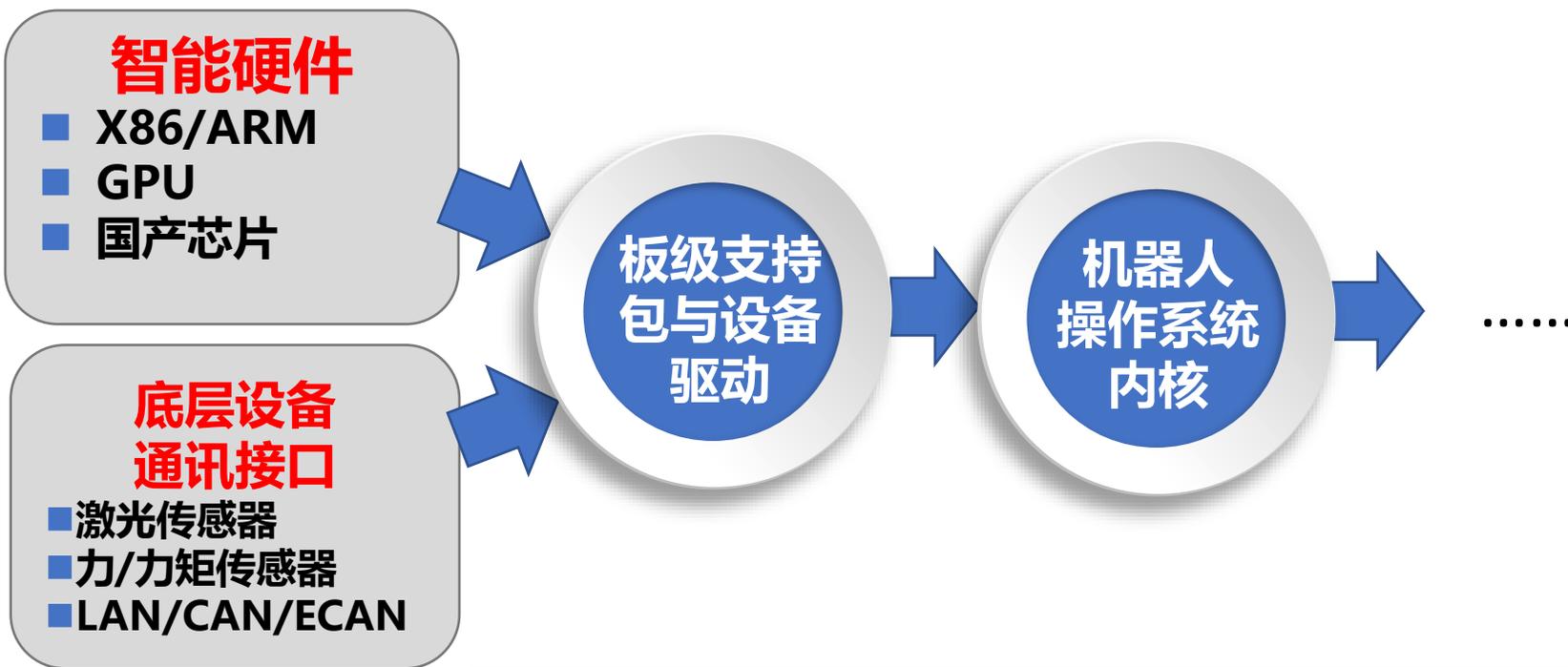
- ✓ 提供了一整套全国产化的强实时机器人操作系统解决方案
 - 包括从底层硬件驱动 (或BSP) 到机器人工艺组件全系列
- ✓ 提供了配套的集成开发环境 (IDE), 包括编辑 (文本和图形化)、编译、仿真和 (单步、断点和回退) 调试
- ✓ 提供了面向力、视觉传感器的机器人库, 支持国产智能芯片

- ✓ 通过解耦 (PUB/SUB) 的分布式方式提供了丰富的机器人相关第三方软件开发工具, 支持仿真和离线编程等功能
 - ✓ 具有完善的开发工具链, 已形成机器人软件技术生态
 - ✓ 软件可靠性和成熟度高, 在教学科研领域应用多, 在工业界应用较少
- 注: ROS仅仅为机器人中间件, 并非完整的机器人操作系统**

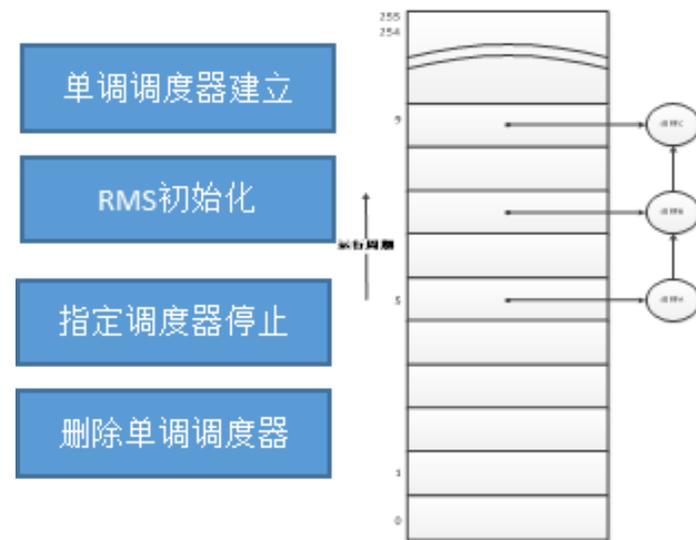
支持实时性和智能计算的机器人操作系统内核

重点研究

- 面向工业机器人应用的强实时任务调度算法
- 非核心态板级支持包与驱动程序
- 智能芯片支持



BMP多核实时调度技术研究



RMS速率单调调度算法

解决国产自主实时操作系统内核研发，支持智能模块

机器人控制器运行及开发环境

重点研究

- 机器人运动控制技术研究
- 功能组件封装技术研究
- 可视化集成开发环境

Robot1	+	-	重置	次自由度		
杆长/mm	380	340.4	347.4	90	-1.3	31.2
关节1	关节2	关节3	关节4	关节5	关节6	关节7
单位	0.57...	-2.29...	-1.14...	5.15...	-2.29...	3.1
转向	0	1	1	1	1	0
位置min/度	-170	-95	-210	-170	-135	-3
位置max/度	170	135	66	170	135	36
速度min	-330	-180	-330	-320	-318	-5
速度max	330	180	330	320	318	50
加速度min	-1800	-1500	-1800	-1800	-1000	-3
加速度max	1800	1500	1800	1800	1000	30
加加速度min	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5
加加速度max	5000	5000	5000	5000	5000	50
基座俯仰值	1.23...	1.23...	1.23...	1.23...	1.23...	1.23...
最大允许速度						
平动	100000	100000	100000			
转动	2000	2000	2000			

机器人通用模型适配

```

Algorithm normalOperation
Language: ST
Comment: new algorithm
1 QO := QI;
2
3 IF TRUE = QI THEN
4 (* only perform normal operation of QI is true*)
5
6 END_IF;
7
    
```

机器人可视化集成开发环境

一、编写S-Function模型

二、配置模型参数并关联

具有特定功能的功能模块

MATLAB平台
功能块封装过程

四、刷新底层固件

三、添加到运动控制库中

Matlab模型组件

一、定义一个新模型

二、修改上层配置文件

具有特定功能的功能模块

IEC61131-3平台
功能块封装过程

四、添加模块底层实现代码

```

#define TESTFB_A 0x0C
#define TESTFB_B 0x08
#define TESTFB_C 0x08
#define TESTFB_D 0x0E
LSWRITE TESTFB (void)
{
    int start_signal_0=0;
    int wait_start_signal_0=1;
    SETBIT(TESTFB_C_WaitSB0);
    return (&recOP);
}
    
```

三、修改底层固件

机器人示教模型组件

```

sia_init_1 (INIT INITO sia_init)
sia_move_start_1 (INIT INITO sia_move_start)
MoveMotor (INIT INITO [6,6,6,6,0,0,0,0]rjoint 60speed)
MoveMotor_1 (INIT INITO [-6,-6,-6,-6,0,0,0,0]rjoint 60speed)
sia_move_stop_1 (INIT INITO sia_move_stop)
    
```

模块类型：运动控制功能块

模块功能：用于机器人运动控制部分应用程序可视化编程

模块列表

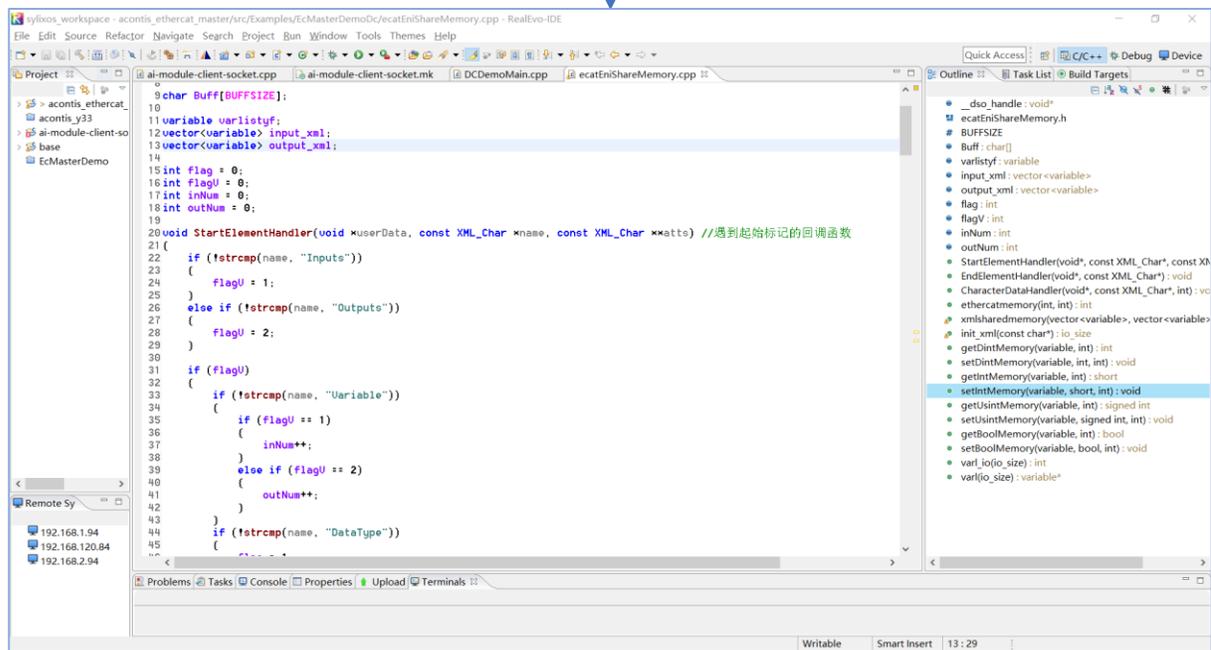
sia_move_start	sia_move_stop	CircleMOVE	LineTraj
sia_moveA	sia_moveC	CircleTraj	twoTraj
sia_moveL	sia_moveJ	LineMOVE	MoveMotor

机器人运动控制组件

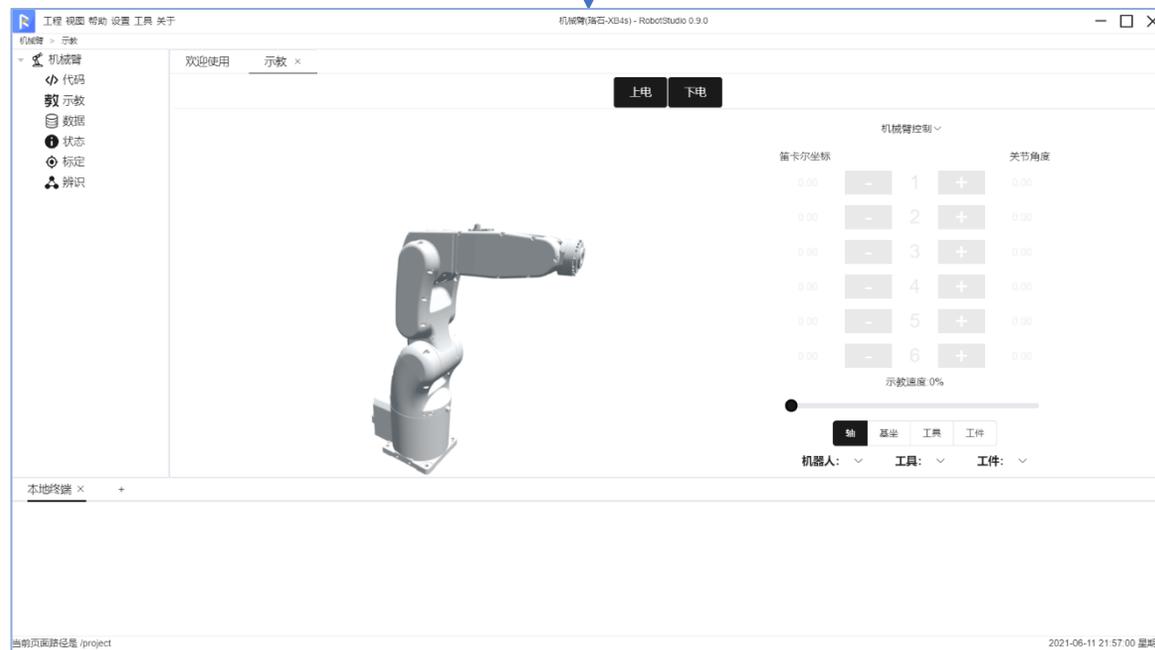


机器人控制器运行及开发环境

研发2种跨平台、组件化机器人集成开发环境



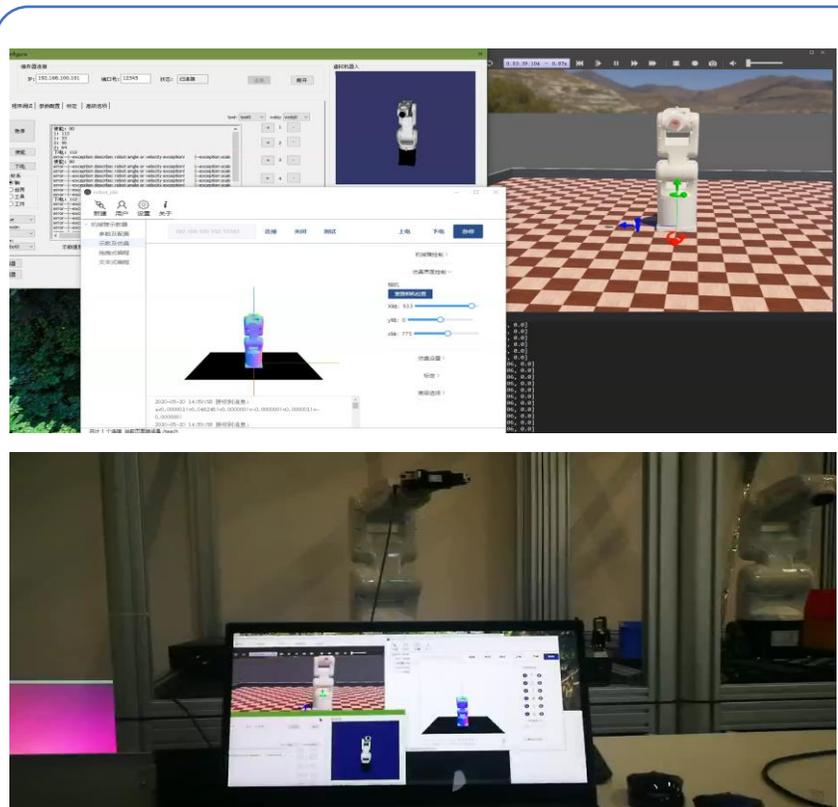
RealEvo: 面向机器人厂商的底层开发人员, 算法开发高效



RobotStudio: 面向机器人应用开发人员, 工艺开发高效

机器人控制器运行及开发环境

建立**分布式数据通信和协同架构**，在多机场景下，保障数据进行**实时、高效、灵活**地分发和订阅。（符合OMG标准规范）



基于DDS的虚-实协同联动



分布式调度

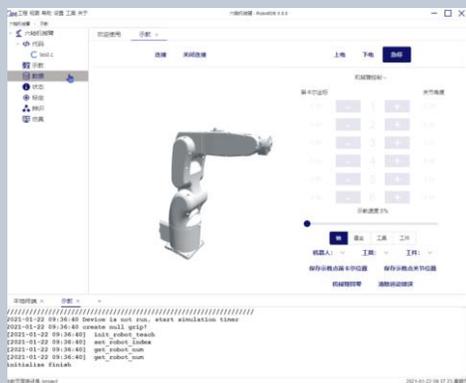
- 解决单机**多进程多节点**的实时通信、交互问题
- 解决机器人**互连、互通和互操作**的基本问题

围绕数据为中心，实时数据分发和自适应任务分割

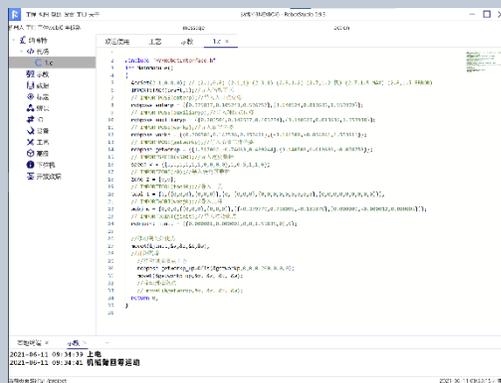


机器人控制器运行及开发环境

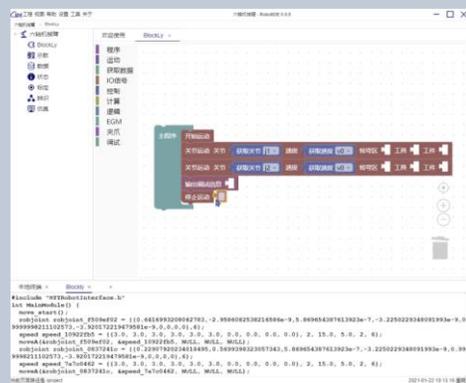
Robot Studio



点动示教



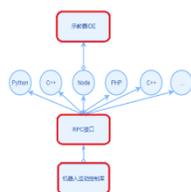
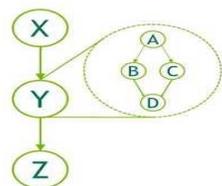
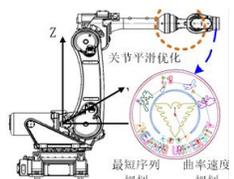
代码编程



模块拖拽



Robot Brain



常用机器人组件

任务状态管理

远程调用服务

数据分发服务

配置管理



OS Kernel



SylixOS



RT-Linux



一键式安装的开发平台，从底层到上层提供完整解决方案

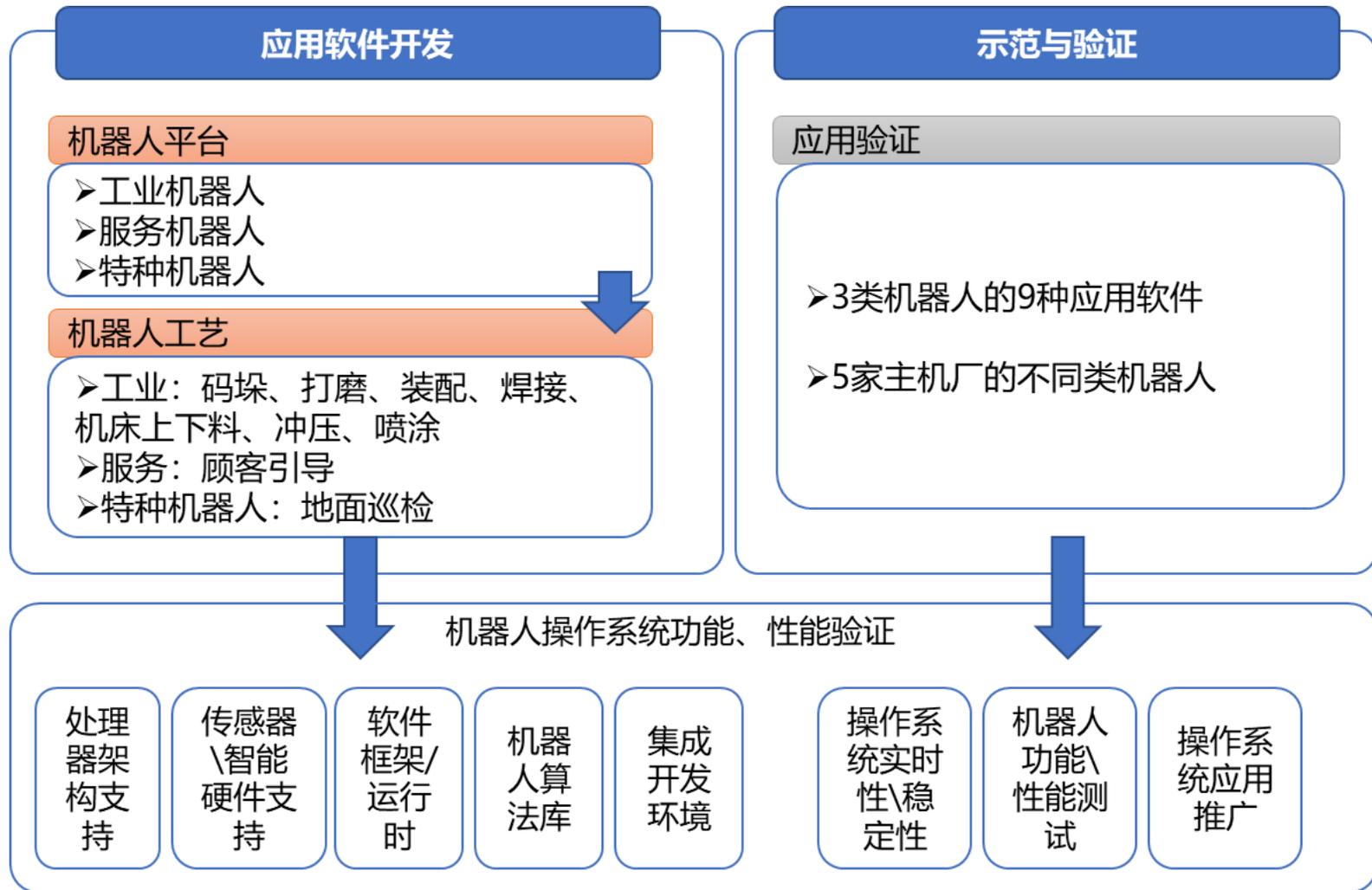
机器人操作系统应用验证

重点研究

- 行业应用软件包研发
- 在5家9种机器人应用验证



操作系统各项性能指标测试



机器人行业应用验证

机器人操作系统应用验证



上下料



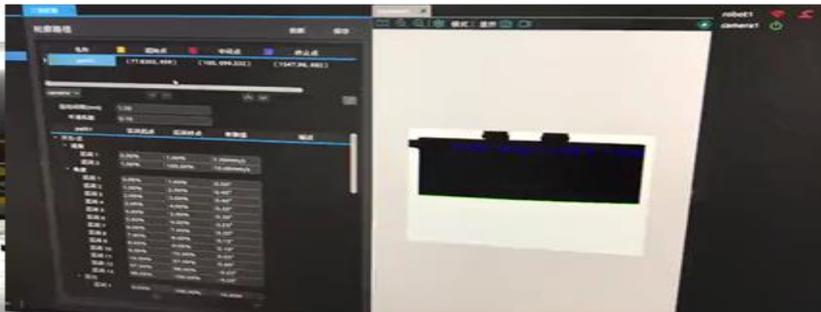
冲压



巡检



焊接



服务



打磨



完成在5家机器人上的9种工艺应用验证



开源开放的机器人系统技术生态-ROSC

建立机器人操作系统成果发布平台、论坛等，打造机器人系统的开源开放技术社区



项目介绍

机器人操作系统及开发环境研究及应用验证

打造国内自主可控的软硬机器人操作系统，兼具实时性、智能化和交互性好的机器人操作系统及开发测试平台，有效提高机器人教育应用度，降低机器人编程开发难度，降低开发成本和周期，提高开发效率。

研究背景

随着智能制造、工业生产和人类生活中的逐步应用，智能机器人已经展现出巨大的发展潜力和应用前景，已成为未来信息技术重点发展的方向之一。在智能化和智能化的应用环境下，目前机器人操作系统及其开发平台存在普遍痛点：跨平台和可扩展性差，机器人编程学习难度大等痛点。因此，国内机器人操作系统行业亟需建立统一开放的机器人操作系统平台，降低高性能机器人开发难度和研发成本，满足我国机器人行业快速发展的市场需求。

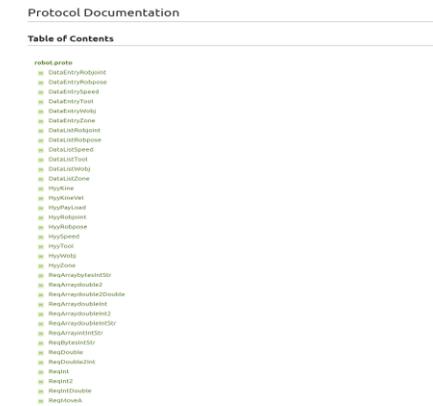
研究内容

- (1) 机器人操作系统总体设计与运行环境。研究机器人操作系统的整体架构设计，支持机器人中软件的对系统内核的适配技术，构建支持高计算复杂度的实时机器人操作系统和运行环境。
- (2) 支持实时性和智能计算的机器人操作系统内核。研究操作系统内核及其与机器人运行中软件的内核适配技术，非核心态根据支持包与驱动程序，并和计算资源的高效率统一调度管理。
- (3) 机器人云端操作与可定制化开发环境。研究机器人通用编程适配技术，基于机器人控制框架的功能组件库及其封装技术和可视化机器人应用集成开发环境。
- (4) 机器人网络分布处理关键技术。研究网络分布处理框架，构建网络分布计算环境，实现实时任务分配与任务的分布协同，为机器人分布式操作提供实时通信和解耦支持。
- (5) 机器人操作系统应用验证。以机器人操作系统整体架构和统一运行环境为基础，基于国际化的集成开发环境，研究机器人控制器的设计和实现方法，设计和实现多种机器人驱动及控制板，并在5家以上机器人企业，多家机器人产品上进行应用验证。

官网：<http://www.ros.org.cn/>



技术论坛：<http://discuss.ros.org.cn/>



远程调用接口：<http://rpc.ros.org.cn/>



机器人技术开源社区

专业、自由、完善的开源开放生态，持续促进产业升级！



开源开放的机器人系统技术生态-ROSC

中国机器人技术开源开放联盟



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY



哈尔滨工业大学
International Student Center Harbin Institute of Technology



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY



中国科学院沈阳自动化研究所
SHENYANG INSTITUTE OF AUTOMATION CHINESE ACADEMY OF SCIENCES



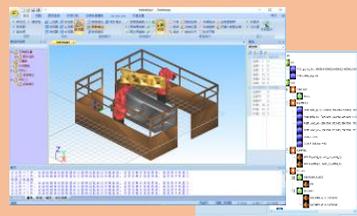
HAN'S ROBOT
大族机器人

拟联合北航，翼辉，信通院，新松，哈工大，埃夫特，沈自所，浙大，钱江、大族等十余家单位，准备筹建“中国机器人技术开源开放联盟”并开放机器人操作系统及开发环境



成果总结

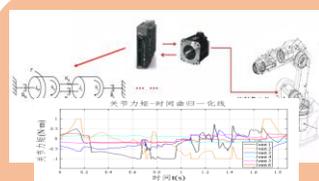
开放式操作系统架构



离线编程平台



rosc-studio
集成开发环境



高速、高精度
柔顺控制算法



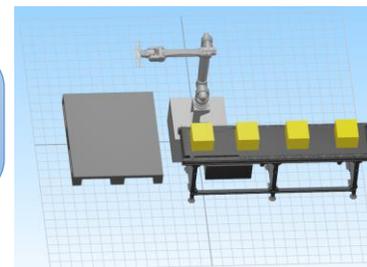
工艺包及定制化
二次开发接口



MatLab-Simulink
算法一键部署

工艺台站设计

轨迹规划



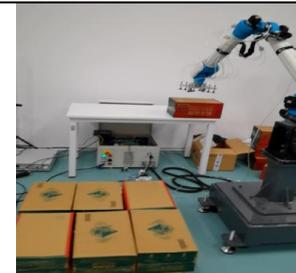
仿真与示教



高性能算法约束优化



工艺流程设计和自动化编程





成果总结

(国产化+高可靠+跨平台+组件化+智能化) → 开源开放生态

2

硬件上支持X86和ARM两种架构CPU

2

SylixOS和RT-Linux两种操作系统内核

12+

十九种机器人通用驱动器和传感器

12

十二种机器人运动控制、作业、工艺、CV等组件和应用软件包

5+

新松、埃夫特、启帆、珞石、大族、纳博特和钱江等9家国内机器人企业应用

9

码垛、装配、打磨、焊接等九种机器人工艺

国产机器人“安卓”系统雏形已显，机器人操作系统开源开放联盟与产业生态已初步构建，不再畏惧国际上在机器人操作系统领域对我们“卡脖子”。

汇报内容



产业背景与趋势



主要成果



成果应用



下一步工作



当前成果应用情况

成果的应用推广

- 新松等单位率先将项目成果应用到产品生产线上（包括工业机器人、核工业特种机器人），与翼辉公司签订多个应用合同。
- 哈工大机器人、深圳同川科技等单位将项目成功应用在他们开发的机器人、数控机床和工控机等产品中。



哈工大六轴CSP转动测试



已形成合作的相关领域集成及应用厂商





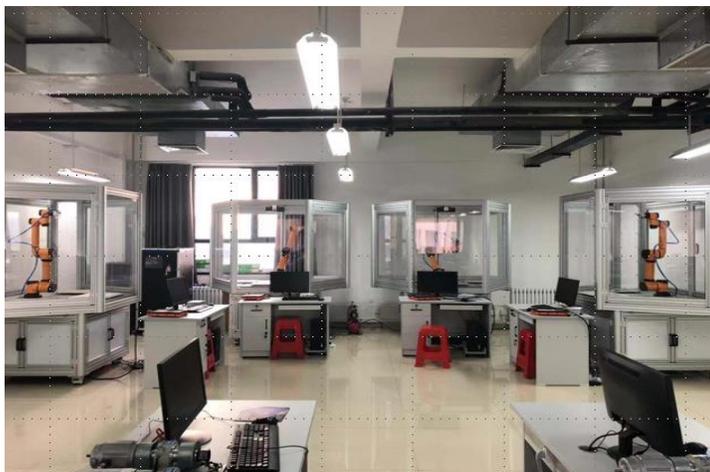
- 纳博特南京科技有限公司，与翼辉签订****套机器人操作系统采购合同，基于该成果研发的控制器广泛应用于喷漆、焊接、打磨等行业中。
- 钱江机器人与北航等单位形成深度战略合作。
- 百博机器人、漆者(上海)智能科技，与项目单位形成合作，目前处于产品联合研发阶段。



当前成果应用情况

机器人操作系统教学产品孵化

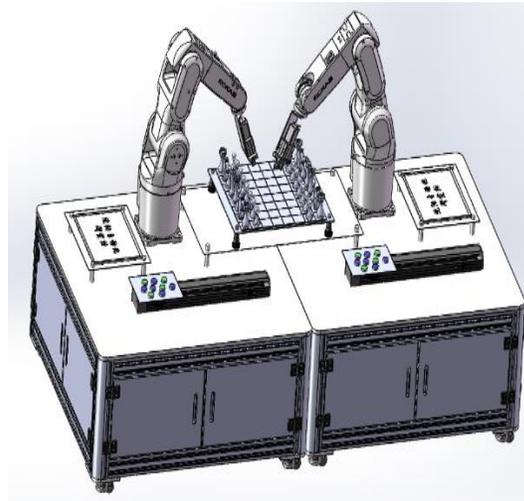
项目研发成果，孵化机器人教学产品



东北大学工业机器人实验室



华东理工大学工业机器人实验室



北京联合大学-对弈



华中科技大学-机器人遥操作



中南大学机器人实验室

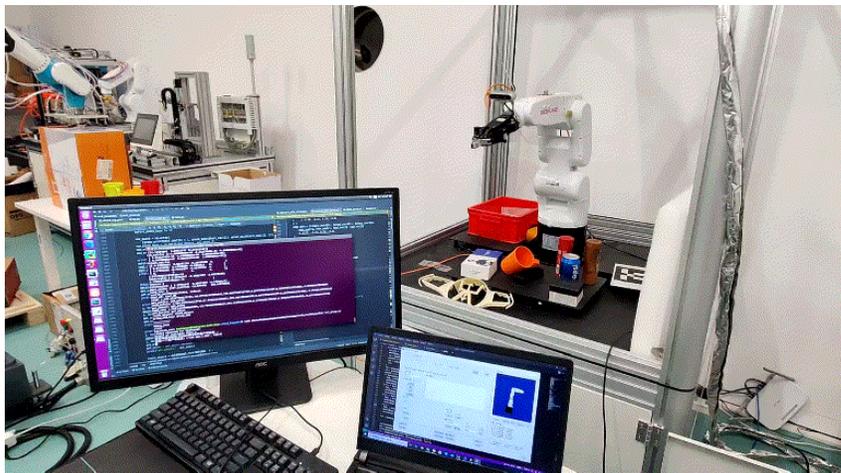


北京航空航天大学实验教学中心

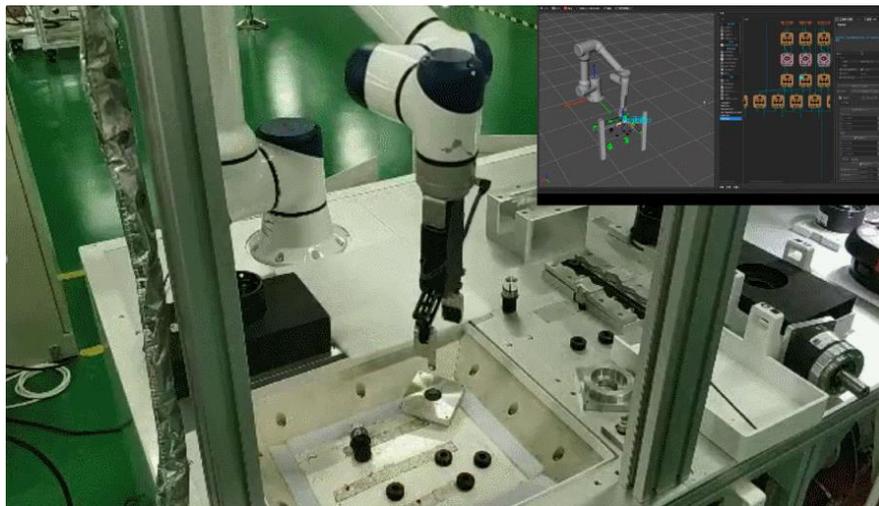


当前成果应用情况

项目成果应用于科研领域



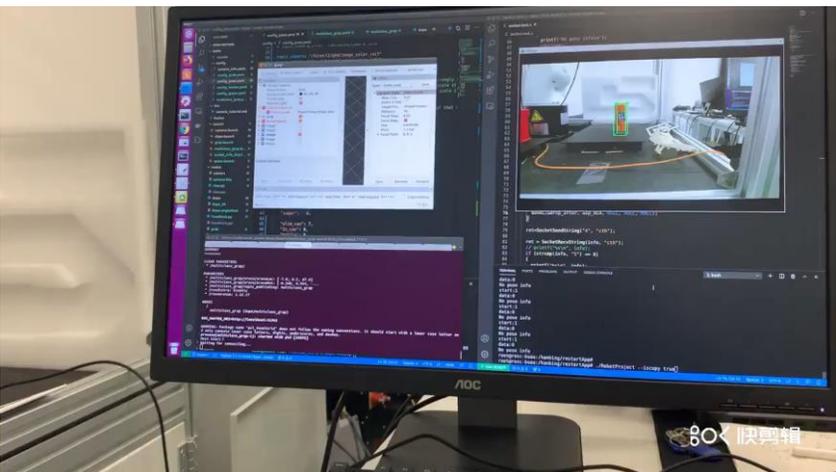
常规物品视觉抓取



视觉装配



零件乱序抓取



基于视觉算法的不同物品抓取



高速物体跟踪及抓取

汇报内容



产业背景与趋势



主要成果



成果应用

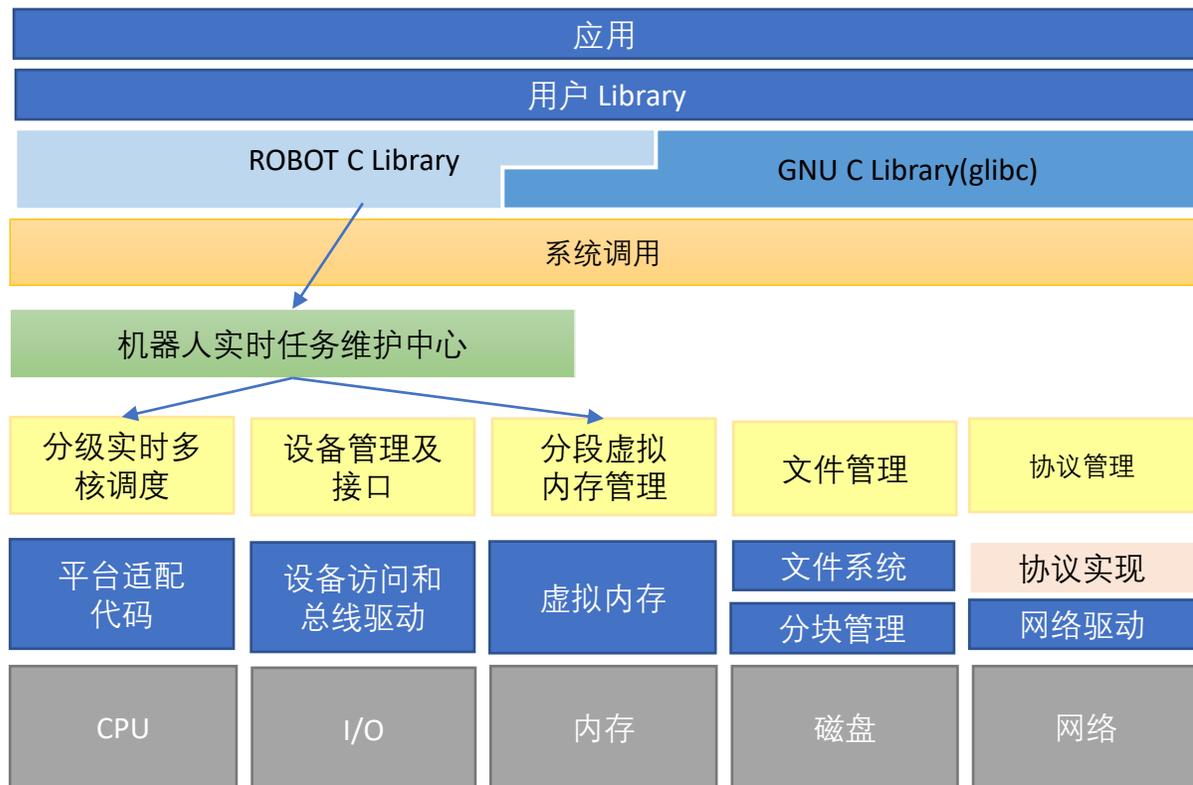


下一步工作

底层实时内核技术的持续夯实

对传统操作系统体系架构做出再突破！采用核心任务分核、分区等方式，从稳定性、实时性等方面，持续提升机器人操作系统内核性能，降低成本。

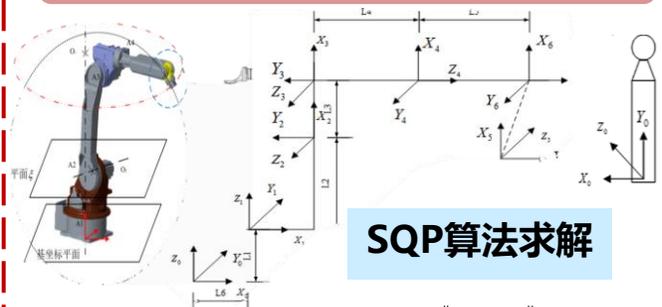
实时任务采用单独内核，占用独有分段内存，降低进程换页、内存碎片整理等带来的问题。



机器人高速、高精度、高适应性控制算法研究

提升机器人核心能力，帮助国产机器人产品突破高速、高精度算法

误差参数指数积模型

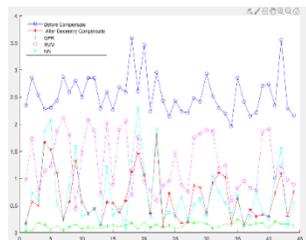


SQP算法求解

$$\min \sum \| \Gamma_{\text{real}} - \Gamma_p \|$$

$$= \min \sum \| \Gamma_{\text{real}} - f_{fk}(\theta, x) \|$$

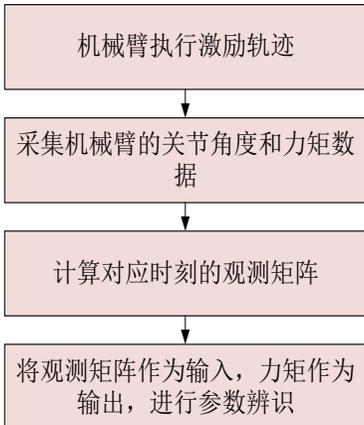
示教器中待
辨识几何参数



建立误差模型，解决误差辨识矩阵的秩亏问题，提高杆长和关节角度误差的辨识精度，末端精度提升1.527mm

动力学激励轨迹优化设计

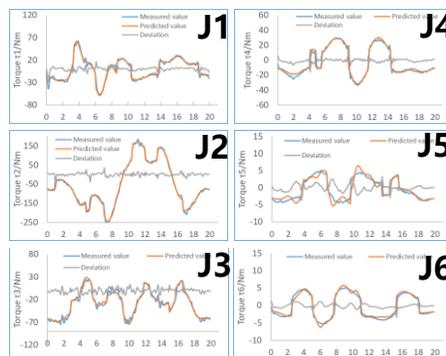
动力学参数辨识流程



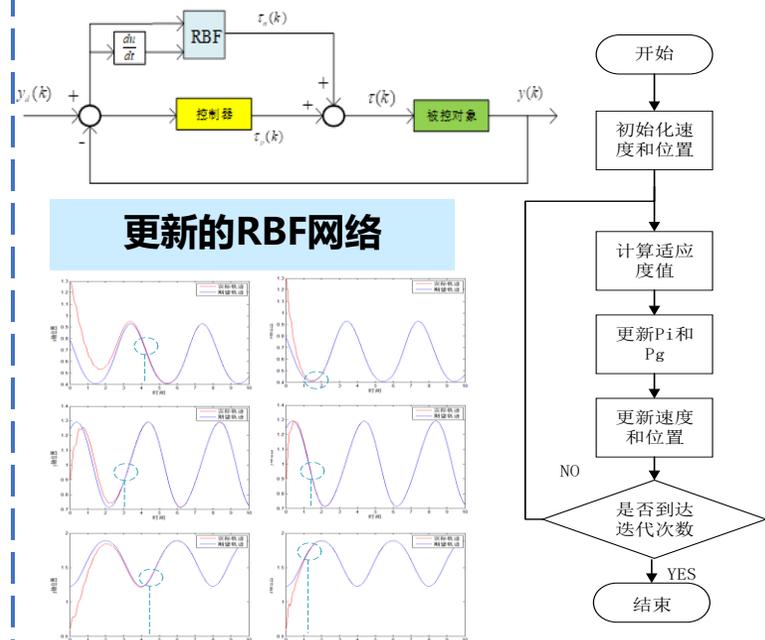
验证指标：力矩残差根

$$\varepsilon_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\tau'_m(k) - \tau_{pred}(k))^2}$$

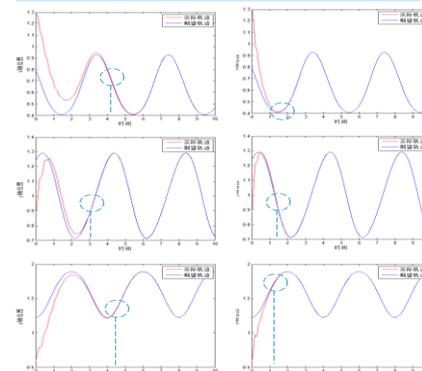
基于改进傅里叶级数和免疫克隆算法设计激励，保证平稳执行且首尾封闭，提高辨识精度和可靠性。



二阶振荡因子设计改进MPSO算法



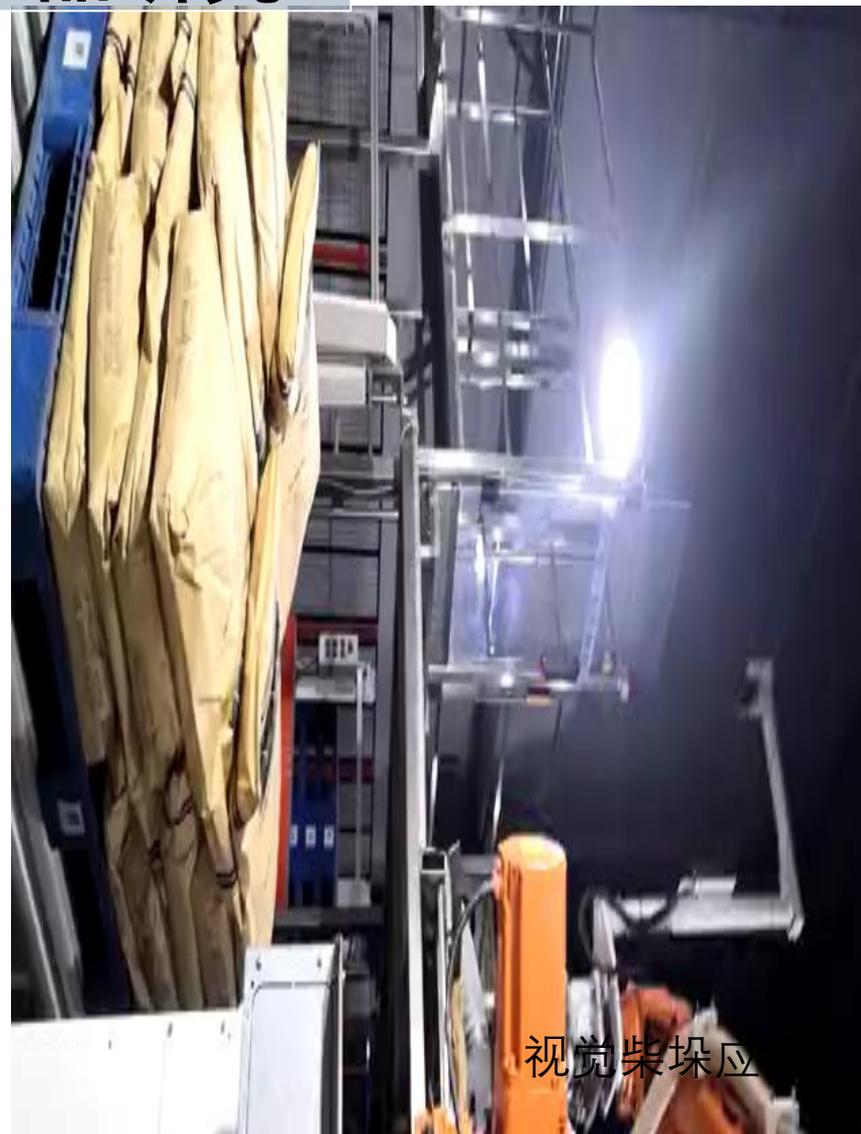
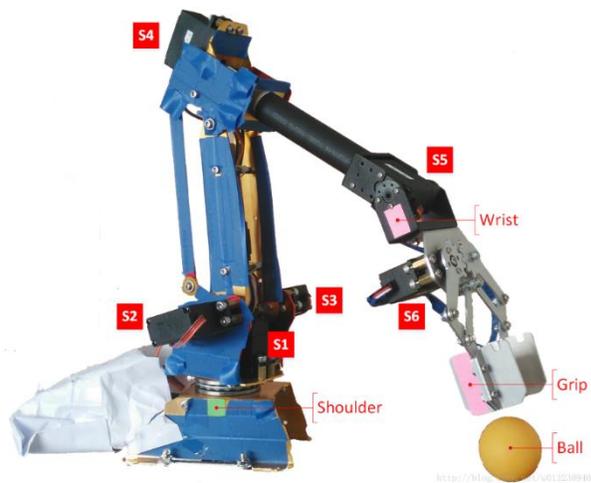
更新的RBF网络



改进粒子群算法，提升轨迹跟踪控制系统的响应特性和收敛精度，误差均值下降2.42mm

机器人智能算法技术产品化工作

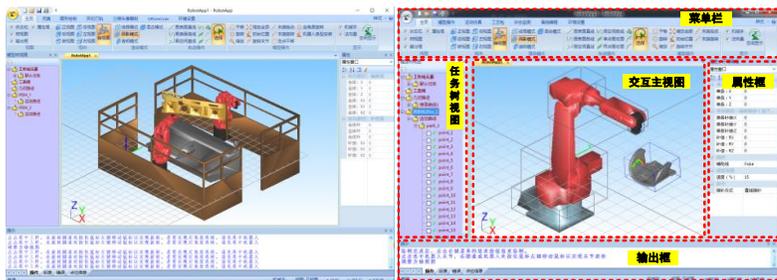
力觉、视觉智能算法及标准化组件产品研究



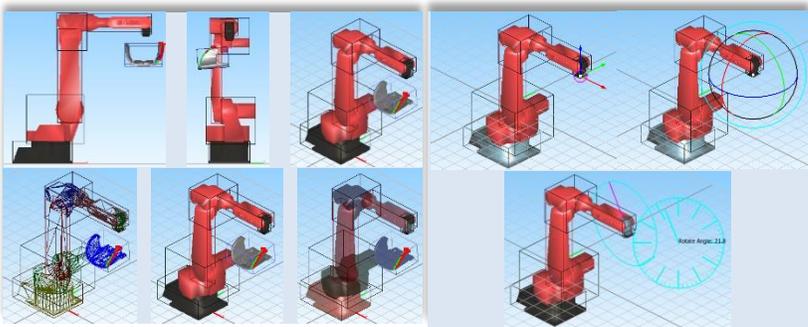
与离线编程软件的深度融合

界面设计与模型仿真： 构建友好、便捷的交互界面，通过接口文件设计实现三维建模与渲染。
曲线生成与路径规划： 智能提取表面特征并绘制曲线，通过空间映射生成机器人可执行路径轨迹。
运动仿真与离线指令： 实现工作站运动仿真与逻辑控制，支持生成离线编程指令。

界面设计与模型仿真

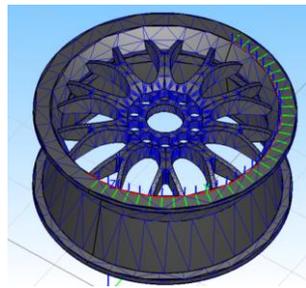


工作单元布局读写与可视化

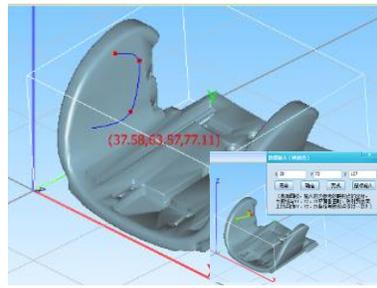


仿真建模与虚拟示教

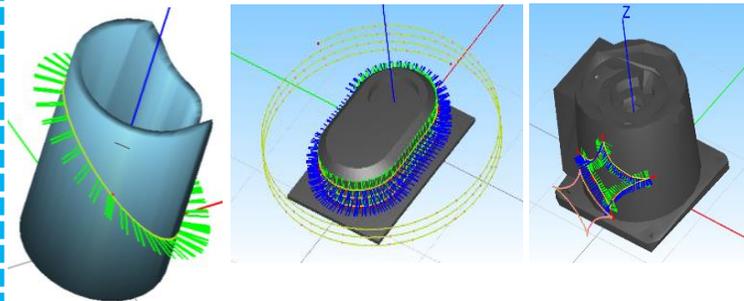
曲线生成与路径规划



三维表面特征提取

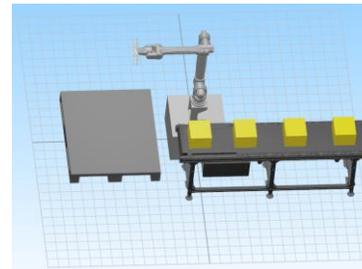


绘制表面曲线

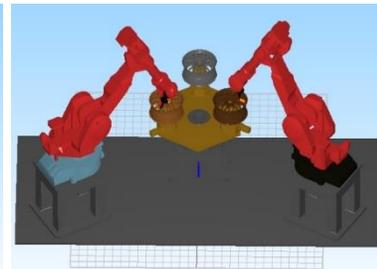


绘制空间曲线与投影曲线

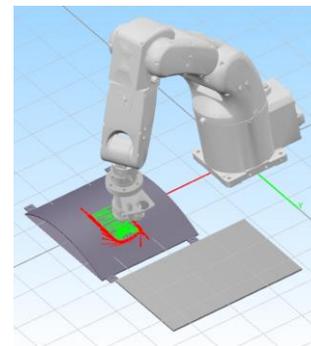
运动仿真与离线指令



码垛台站



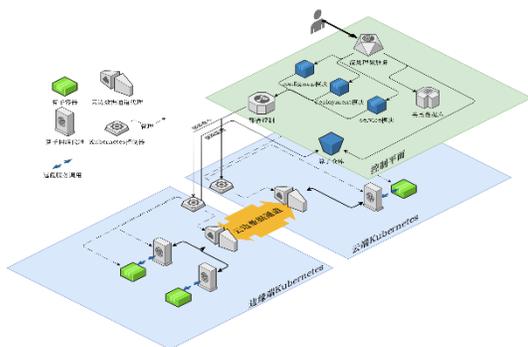
打磨台站



生成离线编程指令

云边端配套服务应用软件研发

- 横向分为端、边、云三部分
- 包含数据采集、实时监控的数据流



工业机器人智能运维云服务

基于云平台的工业机器人远程监控

- 三类数据
- 异构问题
- 远程监控

基于云平台的工业机器人状态分析

- 时序数据
- 领域知识
- 状态分析

基于云平台的工业机器人预测性维护

- 生产效率
- 使用寿命
- 精准预测



机器人软件未来发展思路



- 感知设备自识别与动态配置
- 视觉/力智能感知信息模型
- 基于外部感知信息的优化控制



喷涂、装配、打磨、焊接.....

典型行业工艺定制开发

二次开发接口支撑

末端感知设备
即插即用

云端网络协同
扩展服务

模块化

开放性

开放式体系架构

- 机器人实时系统内核研究
- 机器人运行时环境
- 实时数据分发与交互



- 模块化的机器人功能组件
- IEC61131-3/61499解析
- IDE集成应用开发环境

数据采集/分析
在线运行决策
调度和控制一体化



- 机器人远程监控与故障监测
- 基于大数据的机器人智能状态分析
- 基于云平台的机器人预测性维护
- 云端工艺定制二次开发
- 云平台协同设计IDE开发环境
- 面向单机和产线的工艺优化



未来工作计划

持续研发机器人套件

持续研发操作系统内核、控制算法、以及开发工具，形成Robot Kernel, Robot Brain, Robot Studio、Robot Cloud系列产品。

持续完善机器人OS生态

继续推动机器人操作系统开源社区建设，持续完善相关教程及文档，**筹备机器人操作系统开源发布**，完善国产机器人操作系统生态建设

协同并进推动产业发展工作

协同国产机器人厂商，推进机器人操作系统的验证、应用和普及，为各个机器人厂家做好基础服务，推动国内机器人产业发展。

持续推动建设**我国开源开放的机器人软件技术生态链**，推动国内机器人厂商底层基础软件开放共享

结语

基础科研环境及产业导向正在发生变化.....

外部大环境：中美贸易争端，倒逼中国产业改革，推动国产制造发展。

内部环境：人口结构影响，国内劳动力优势逐步消失，智能制造替代低端劳动力趋势明显。

基本国策：“重制造、强科技”，成为“十四五”期间政策主旋律。

往者不可谏，来者犹可追

**未来已至，愿与各方合作伙伴一道协同，
共创“中国制造”新高度。**



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY



敬请各位聆听，请批评指正！