



工业机器人操作系统及云平台

牛建伟

北京航空航天大学计算机学院

niujianwei@buaa.edu.cn

www.ldmc.buaa.edu.cn/~jwniu

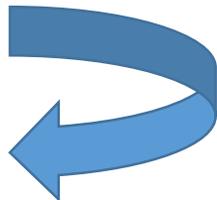
汇报内容

 **工业机器人操作系统**

 工业机器人云平台



机器人操作系统发展路线

- 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



工业机器人系统

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

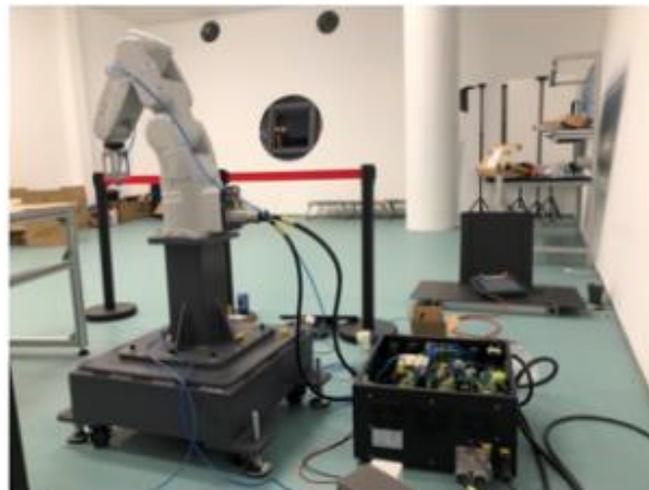
HAL

机器人整机

机器人控制器

伺服电机驱动器

减速器





机器人控制器 = 硬件 (外形) + 软件 (灵魂)

硬件

工控计算机

工业总线 / 通信接口

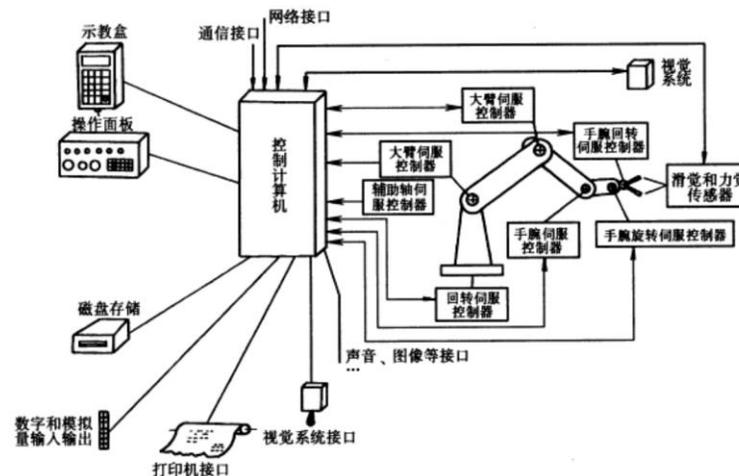
I/O控制和逻辑

.....

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

SylixOS
embedded

VxWorks

Real-Time
LINUX

ROS



机器人硬件趋于稳定，控制系统软件是核心竞争力



机器人控制系统

从下往上，机器人控制系统所包含的软件模块有BSP&驱动、实时操作系统内核、网络化分布处理模块、机器人运动控制库、运行时环境、智能算法库等众多算法和模块



机器人控制系统的软件、模块越来越多，越来越复杂

从机器人控制系统到机器人操作系统



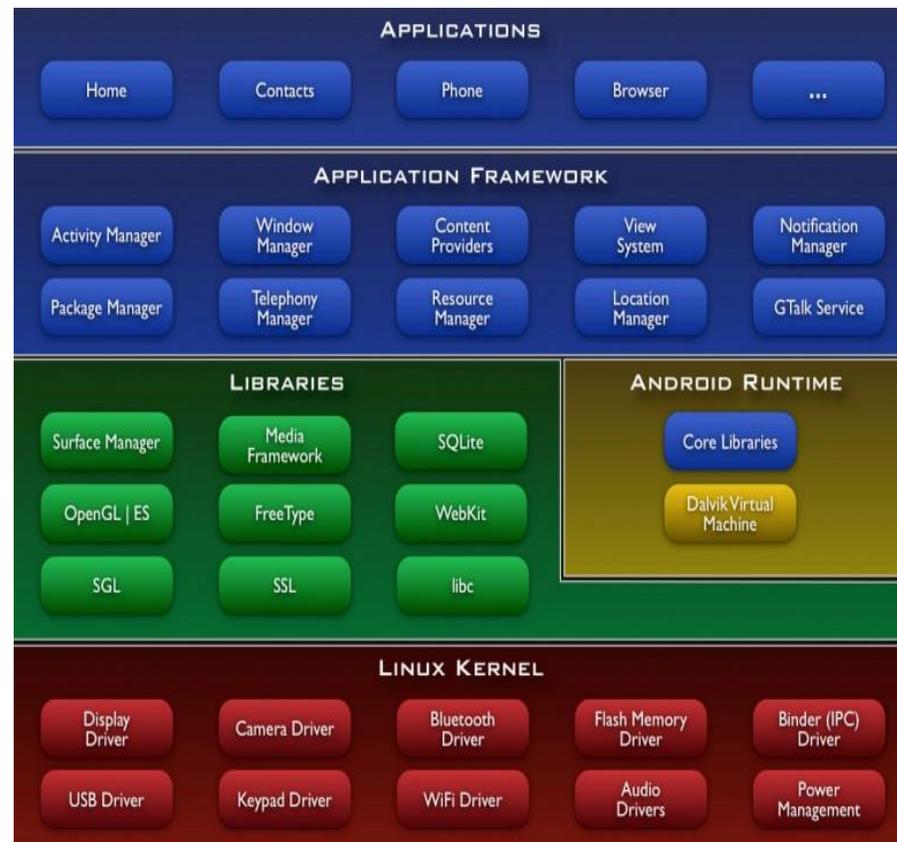
对比与思考：手机从控制系统到操作系统

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



从机器人控制系统到机器人操作系统

- 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10-20年，将实现PC到PR和IT到RT的历史性变革



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** 实时不开放
- 支持IEC 61131-3标准 可扩展性差
- 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
- 国内外基本处于同一起跑线

■ 针对机器人操作系统的迫切需求

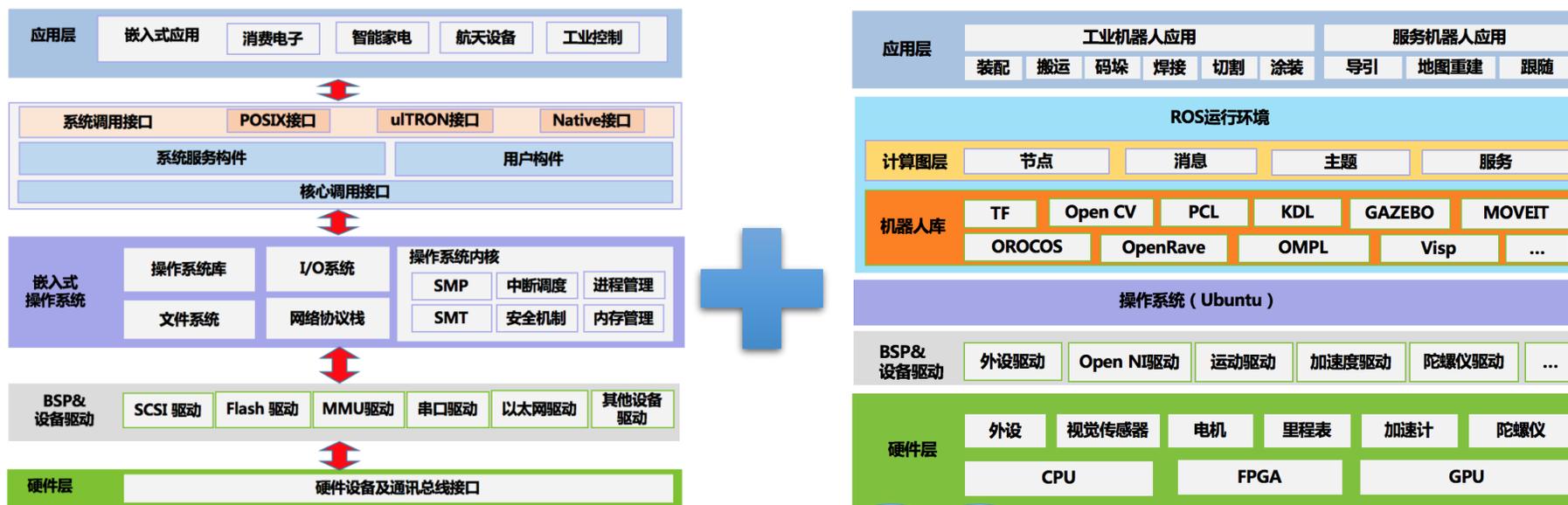
- 面向复杂机器人功能
- 开源、开放、强实时
- 可扩展、易用性强

研发机器人领域内的“安卓系统”



机器人操作系统

以往机器人控制软件只依靠机器人厂家自己开发，功能单一，无法跨系列、厂家



嵌入式实时操作系统

强强联合
研发机器人OS及其开发IDE环境

机器人中间件



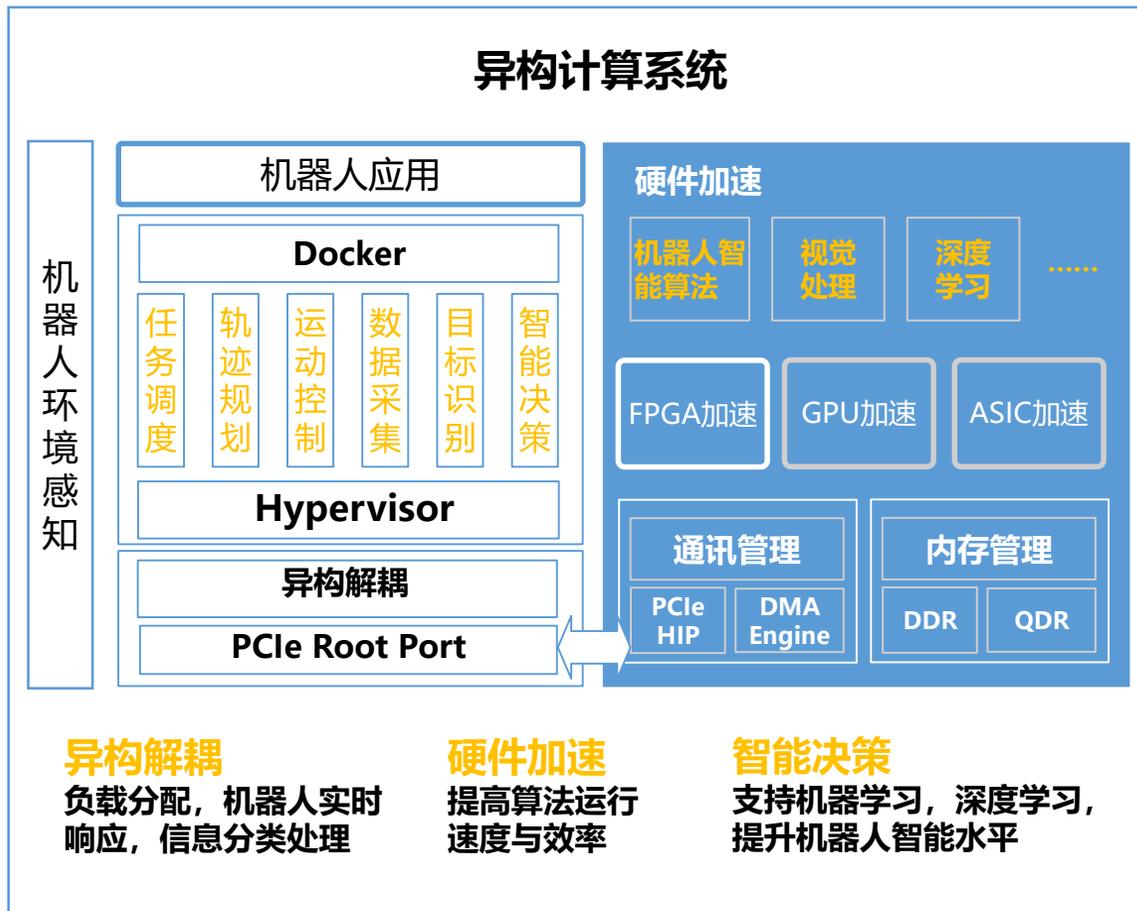
机器人开发面临的挑战



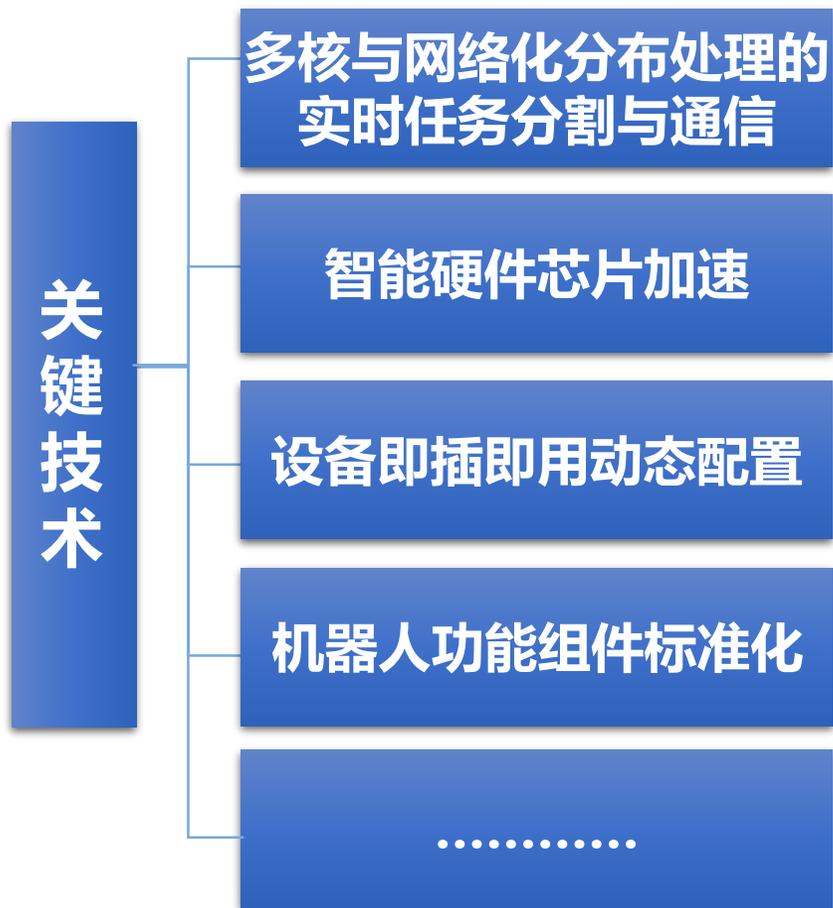
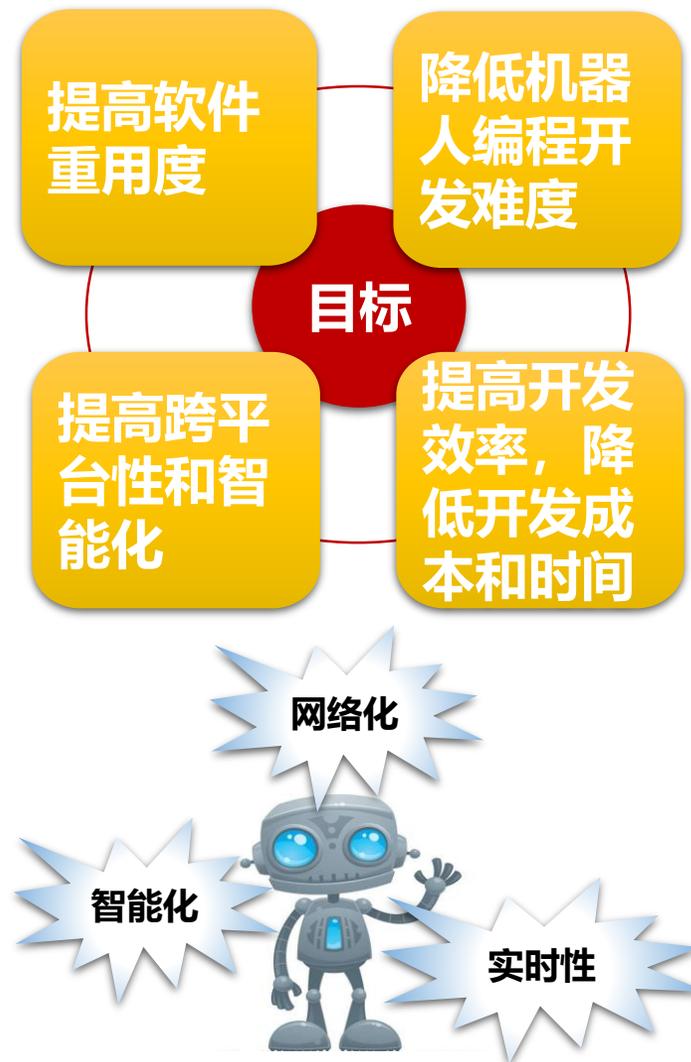
资源管理 CPU资源 (传统计算机任务)
任务调度 业务多样, 离线或在线完成

运动控制 FPGA 硬件加速
数据采集 强实时性, 周期 < 1ms

智能算法 GPU硬件加速 (智能计算)
智能决策 高强度计算, 周期 < 1s



亟待解决业务多样、硬件加速、智能应用等问题





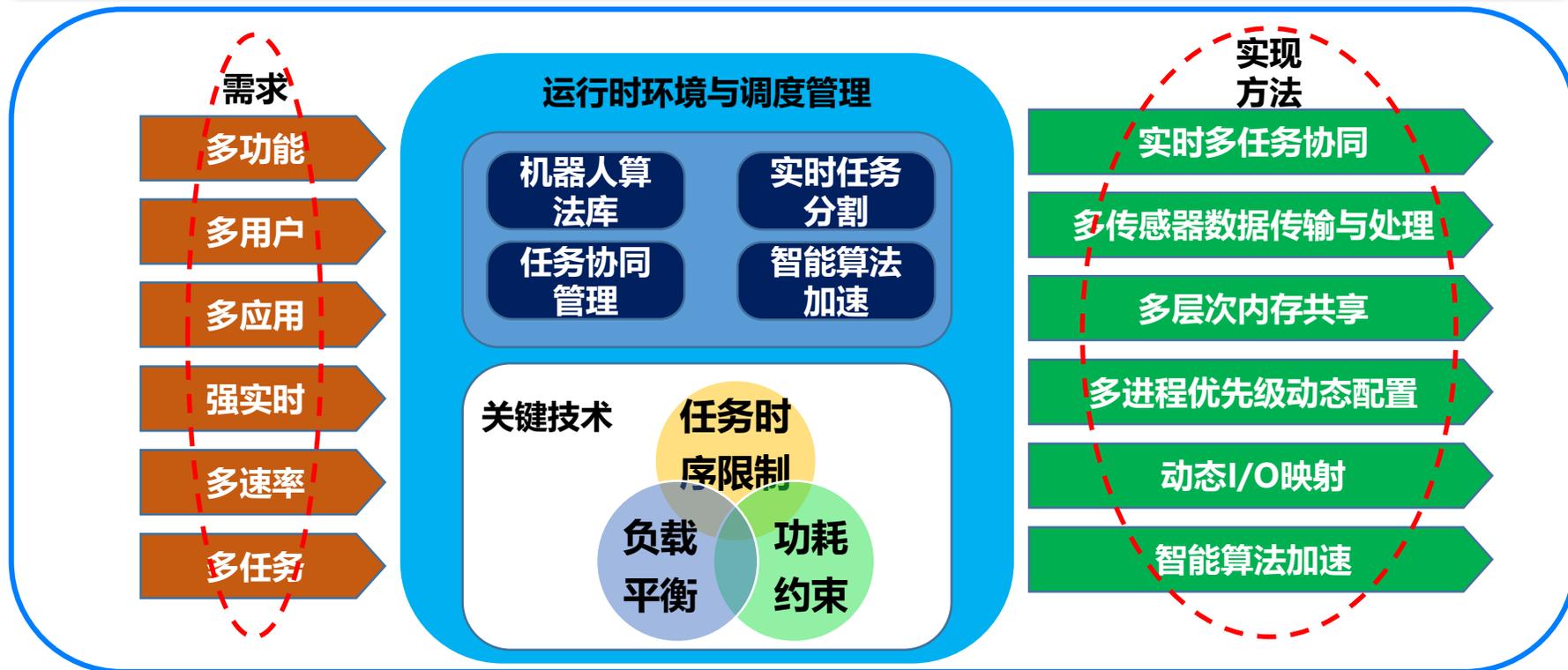
支持文本和图形化两种编程模式

集成开发环境IDE与应用框架



- 机器人操作系统总体架构设计
- 支持机器人中间件的实时系统内核（RT-Linux/VxWorks）的适配设计
- 机器人操作系统的运行环境

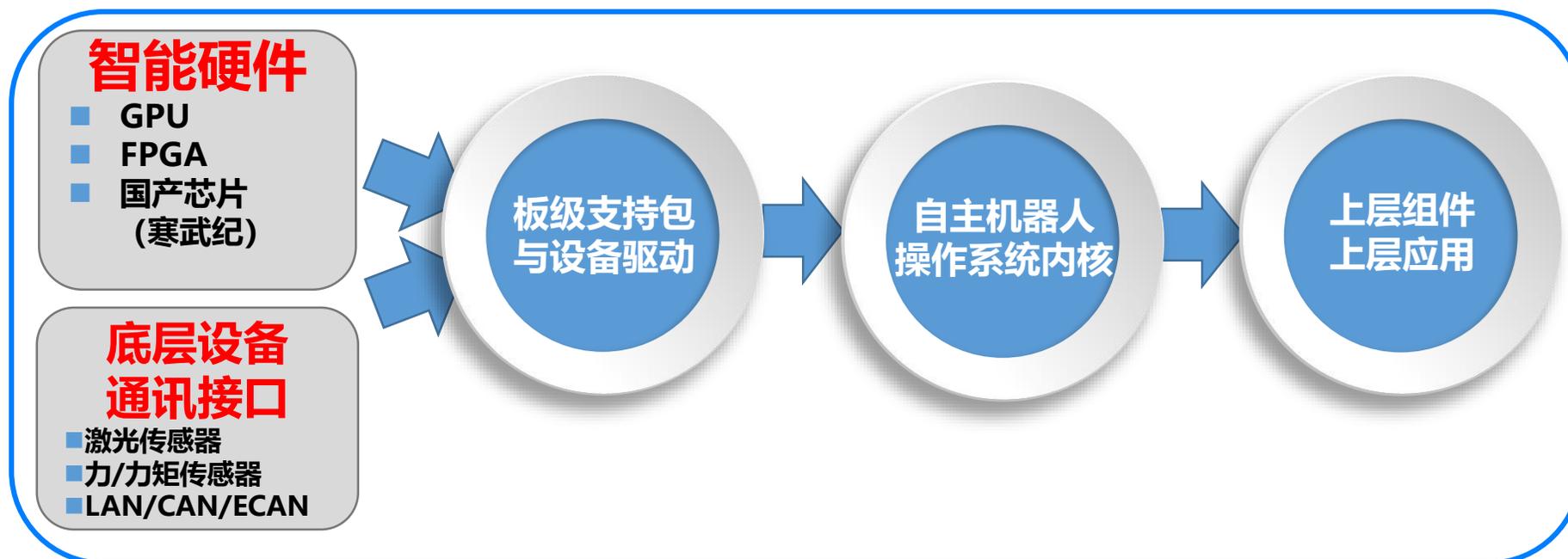
设计整体架构，定义分层接口，构建机器人操作系统统一运行环境





- 系统微内核设计及其与机器人中间件的适配
- 非核心态板级支持包与驱动程序
- 异构计算资源管理

研发支持实时性和多种智能硬件加速的自主实时机器人操作系统内核



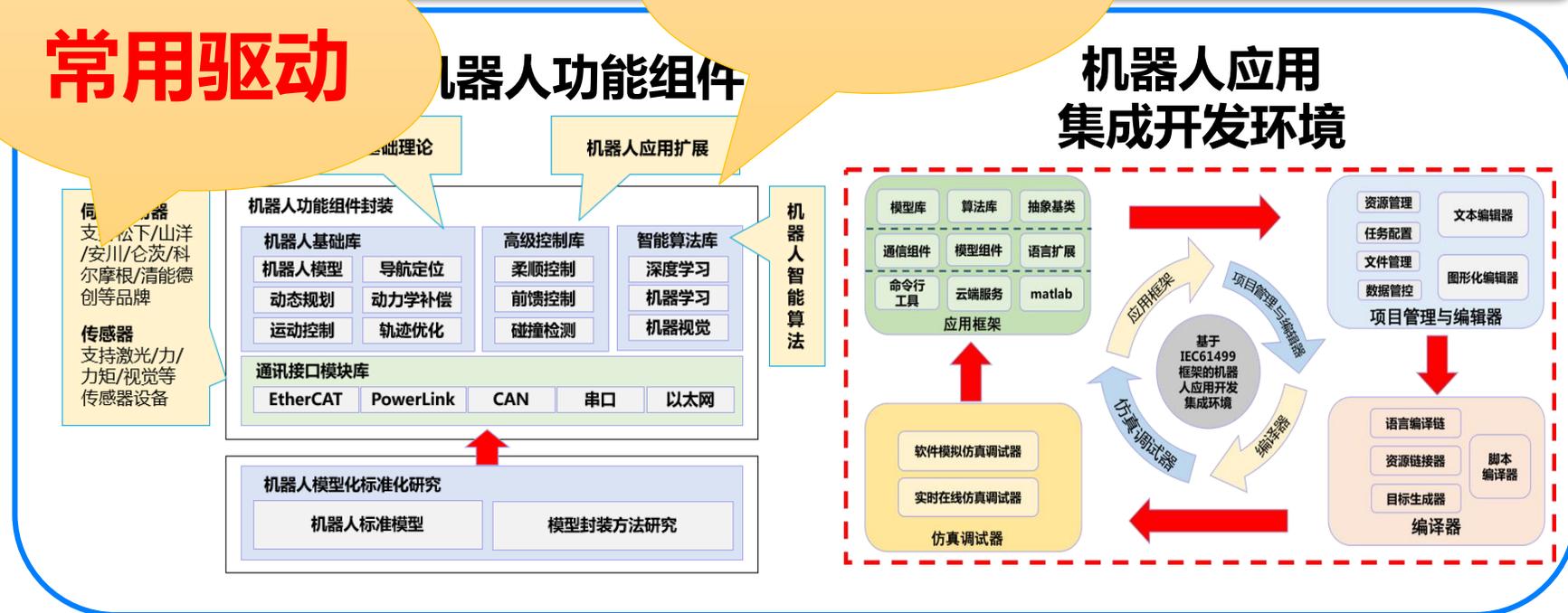


- 机器人通用模型适配技术
- 机器人功能组件封装技术
- 机器人可视化集成开发环境

研究机器人通用模型适配技术和机器人功能组件封装技术，研发易用、高效的集成开发环境

常用驱动

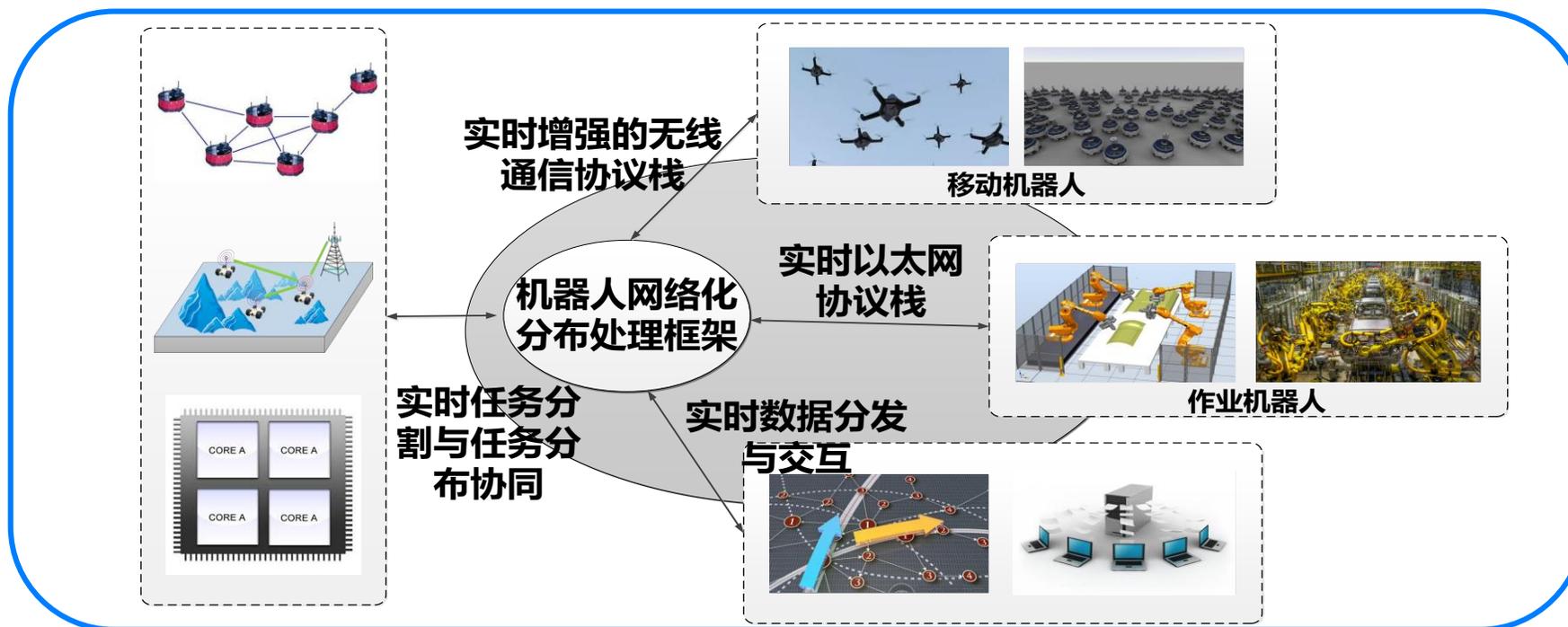
基础算法库





- 网络化分布计算环境
- 实时任务分割与任务分布协同

研制机器人多模块协同的网络化分布处理支撑平台和相关工具软件

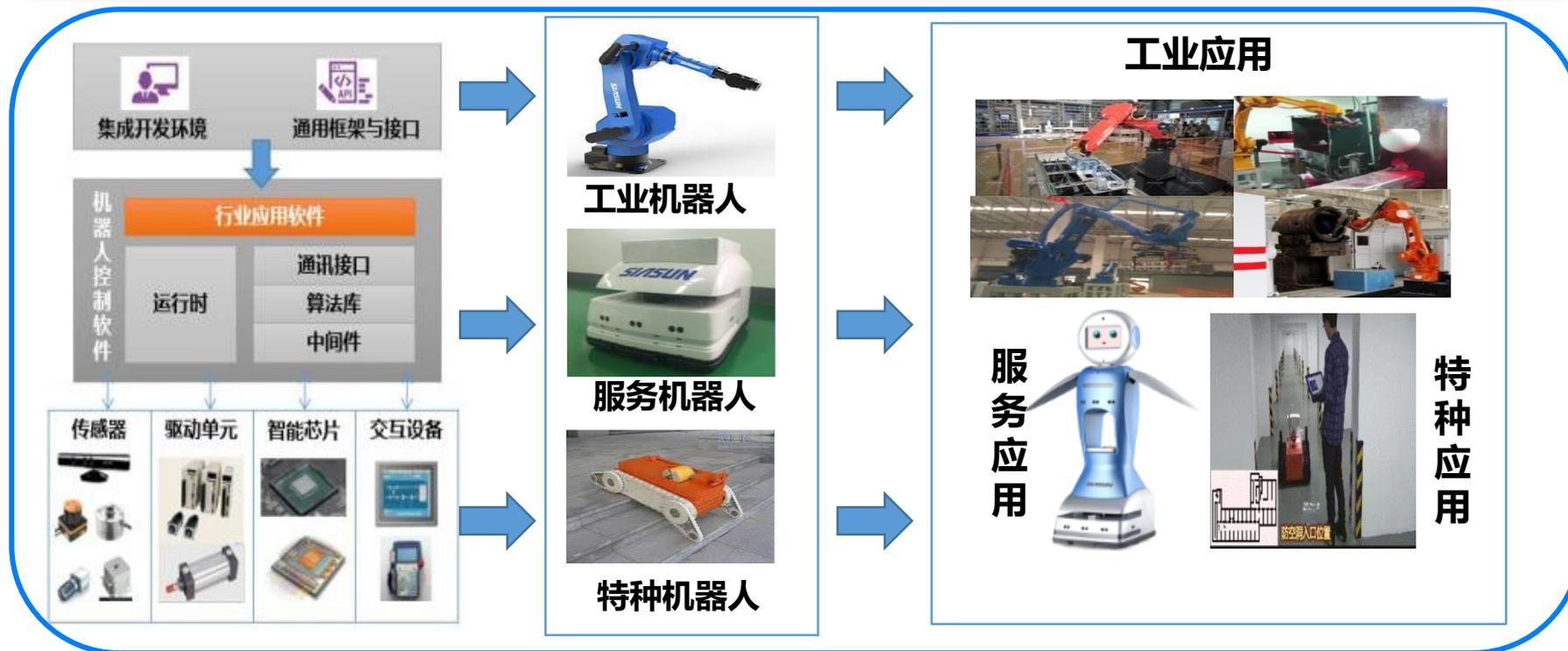




下一步工作

- 行业应用软件包研发
- 机器人应用验证

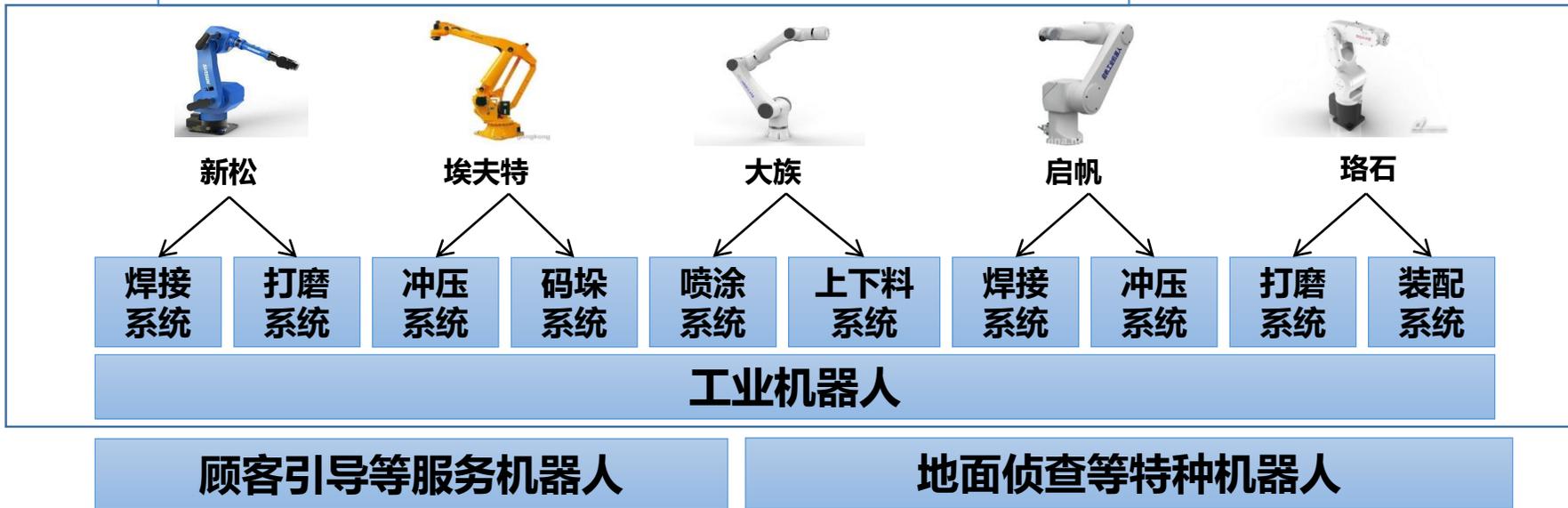
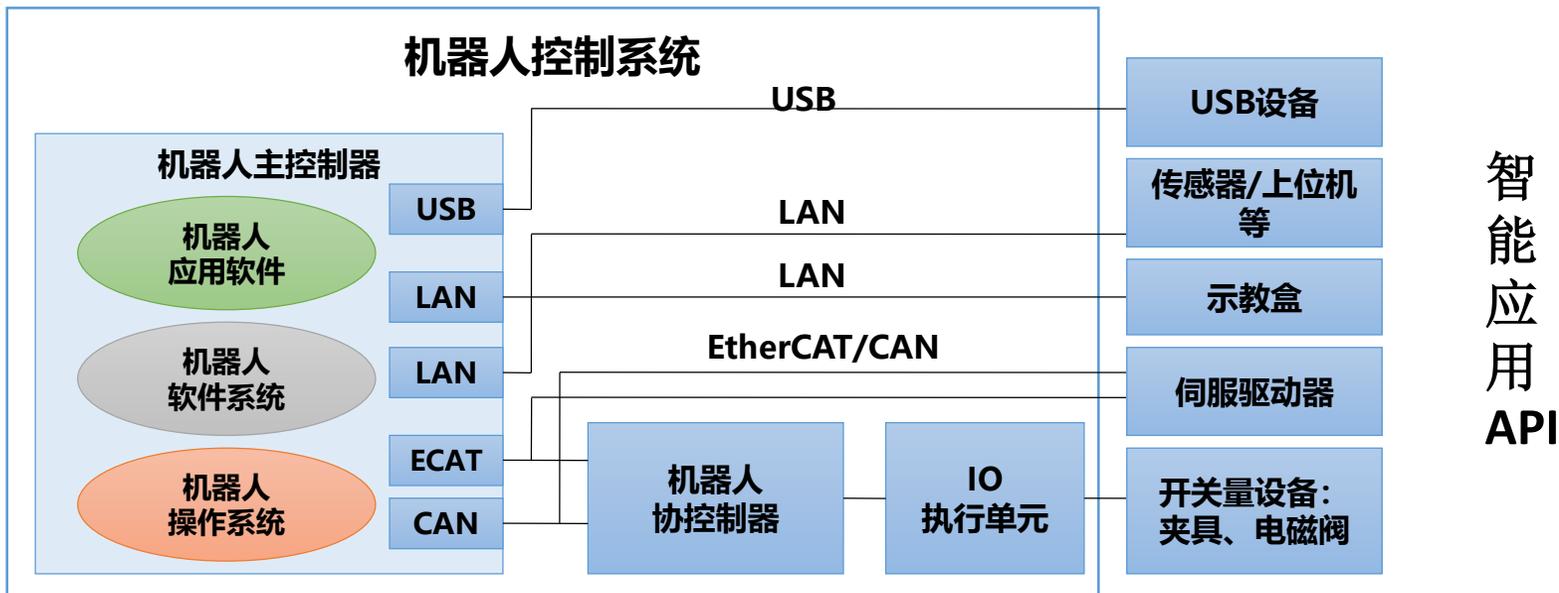
进行各类机器人应用软件包的开发，搭建各类机器人的应用平台，验证机器人操作系统各项功能和性能指标。





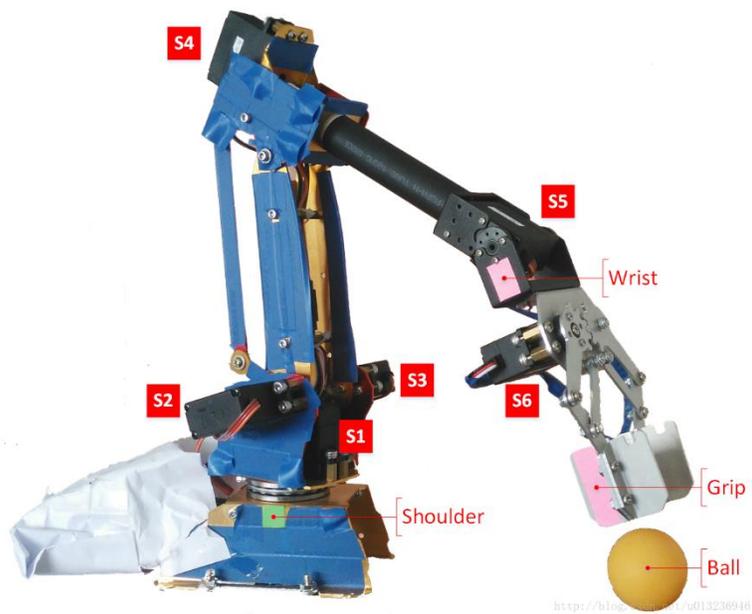
机器人操作系统

机器人操作系统应用支撑

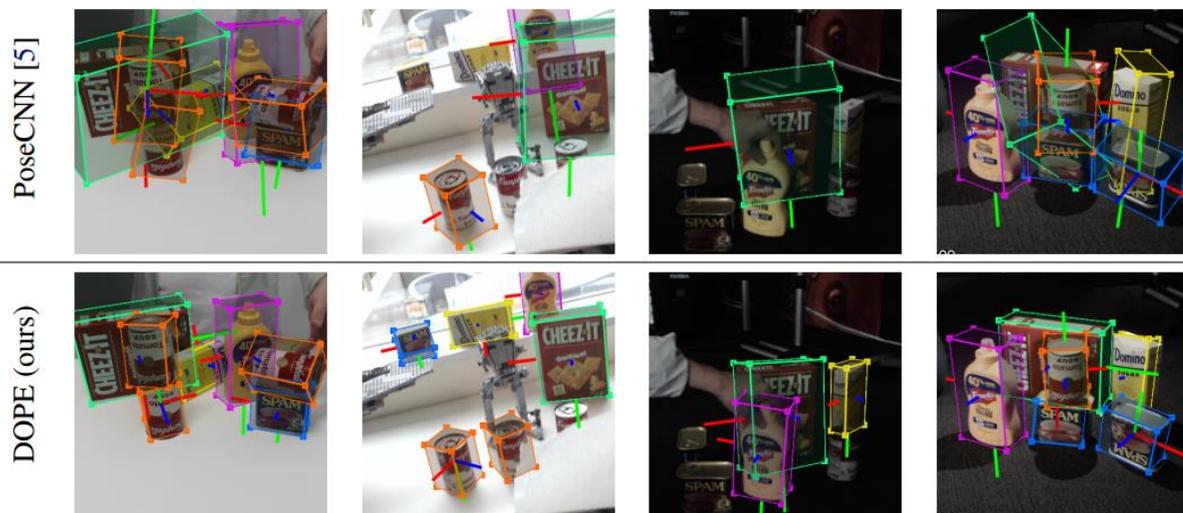
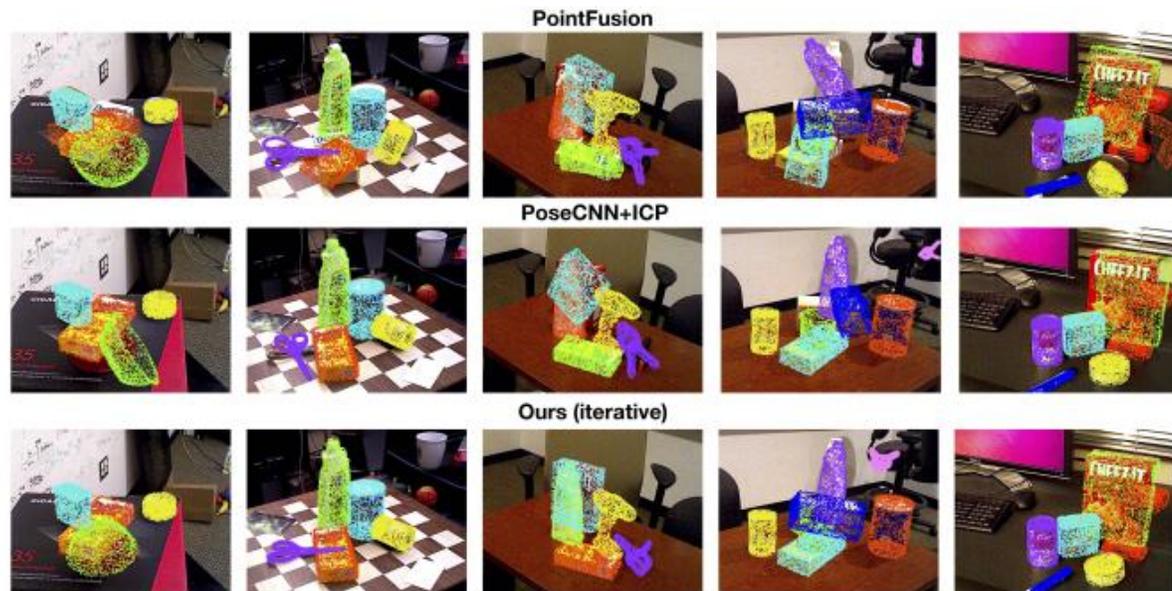




工业机器人感知及智能化应用



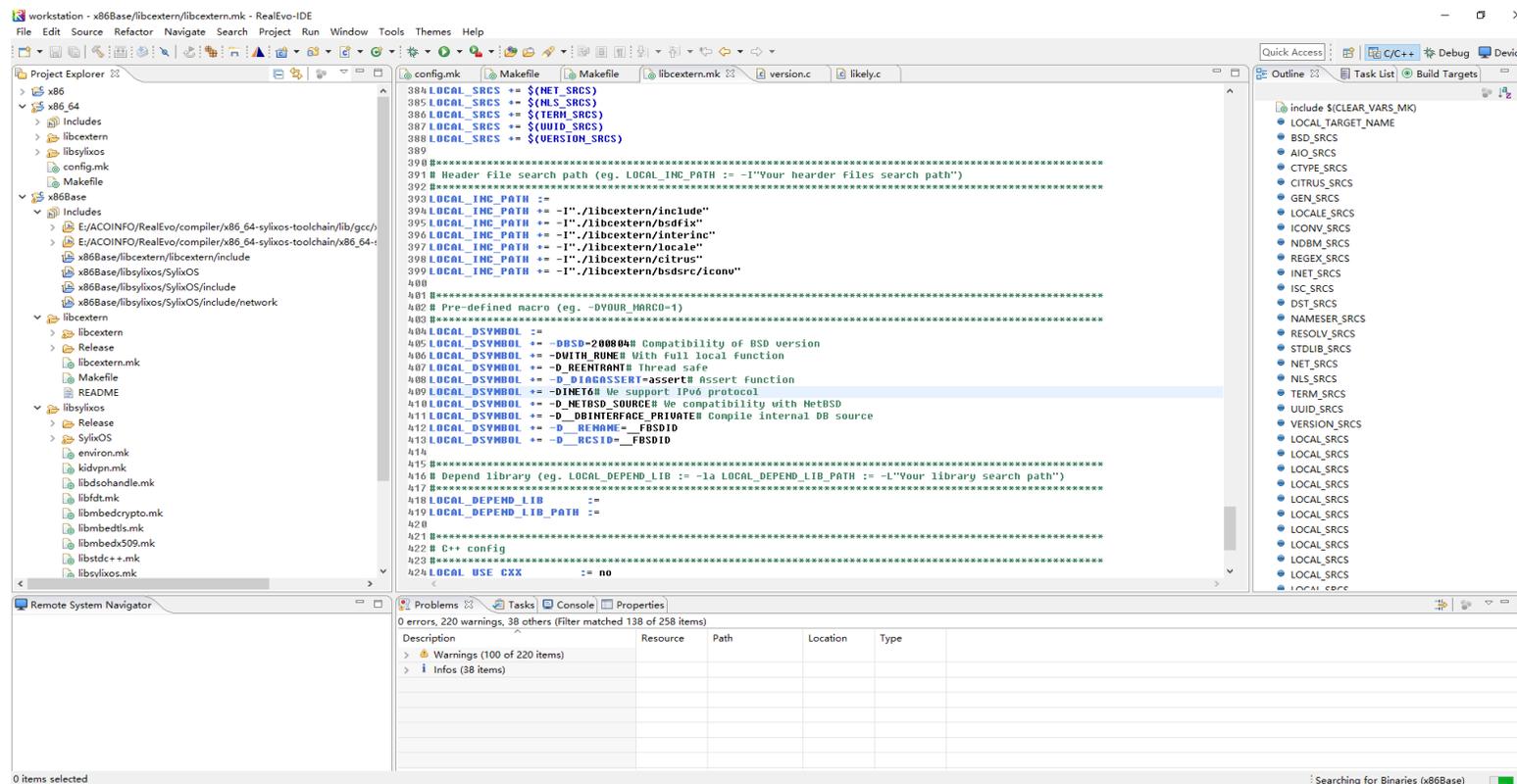
通过摄像头捕捉画面，并确定三维目标物体的方位和指向问题。6D位姿(6-Dof pose)即**3D位置**和**3D方向**。6D位姿估计是机械臂抓取物品的关键技术，也开启了工业机器人走向智能化的大门。



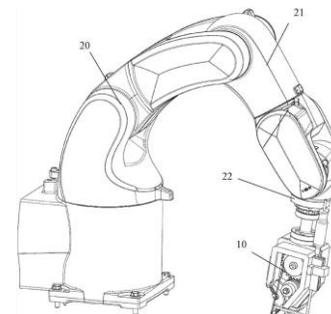


机器人操作系统的开发环境

基于C/C++/Python
语言编程的机器人操
作系统及应用软件开发
环境



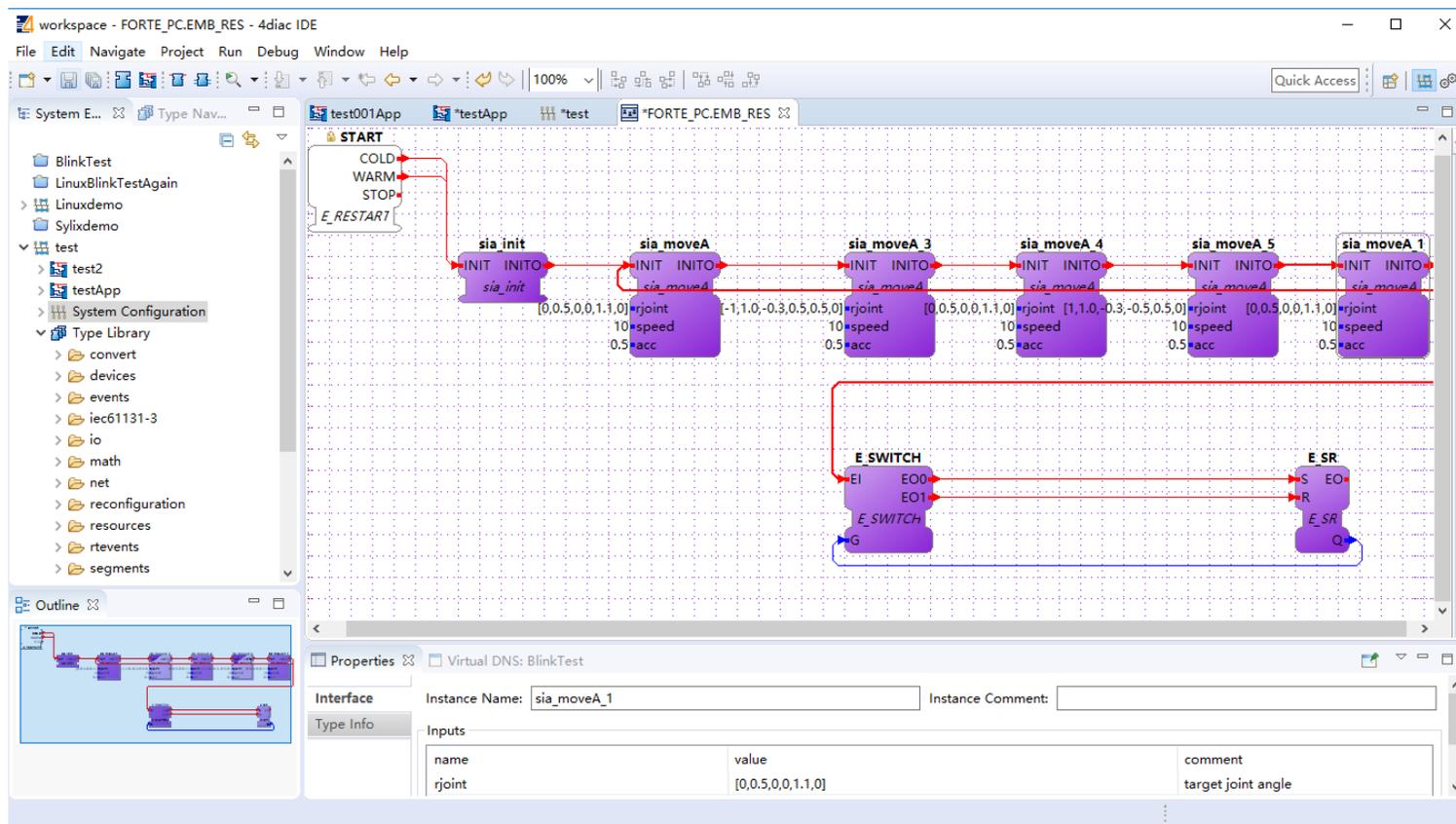
- 便于机器人生产厂商进行机器人操作系统或功能模块的**定制化开发**
- 机器人用户也能够使用通用编程语言，开发个性化的机器人应用程序或软件工艺包
- 便于用户根据需要，进行**程序的调试和跟踪开发**





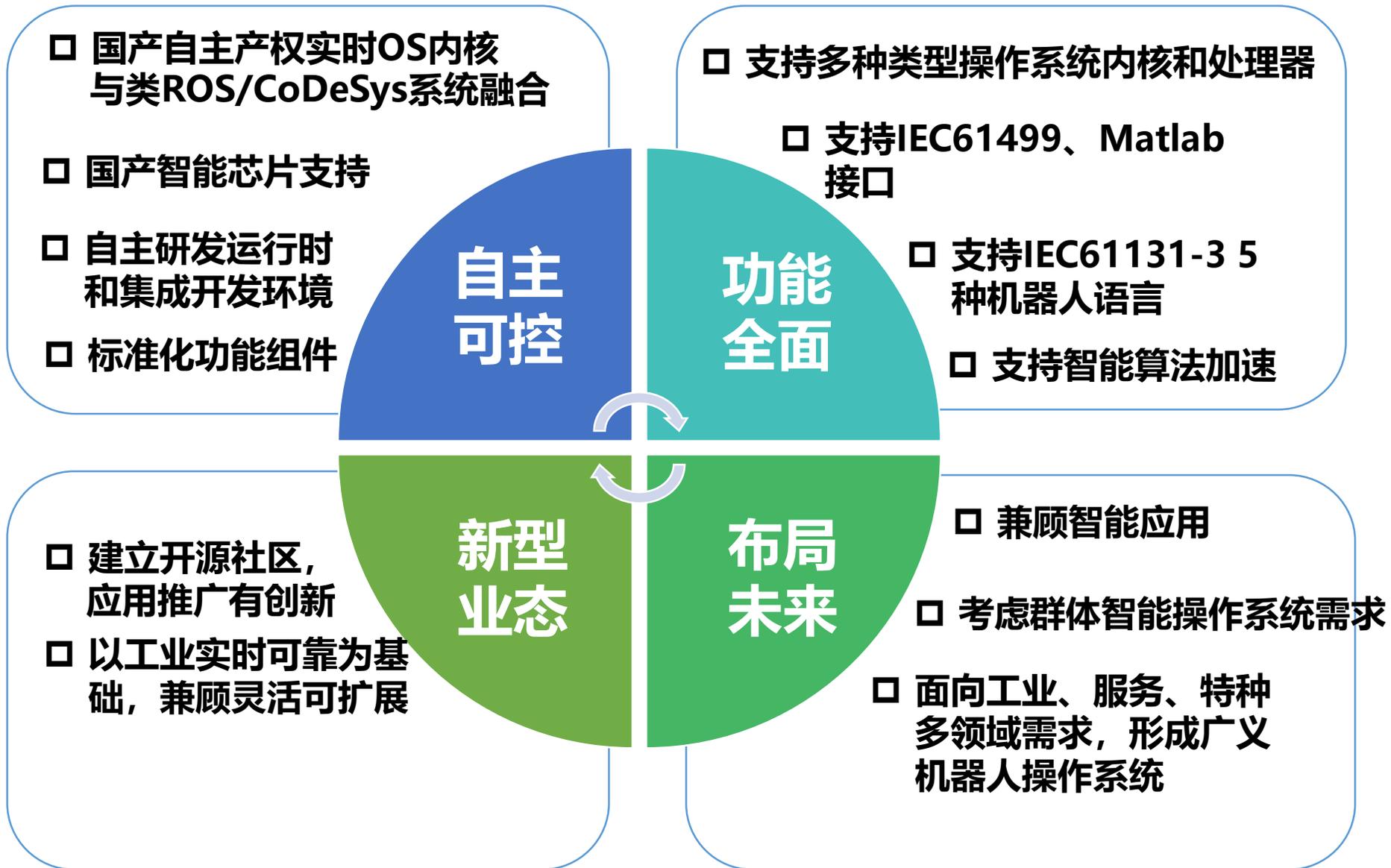
机器人操作系统的开发环境

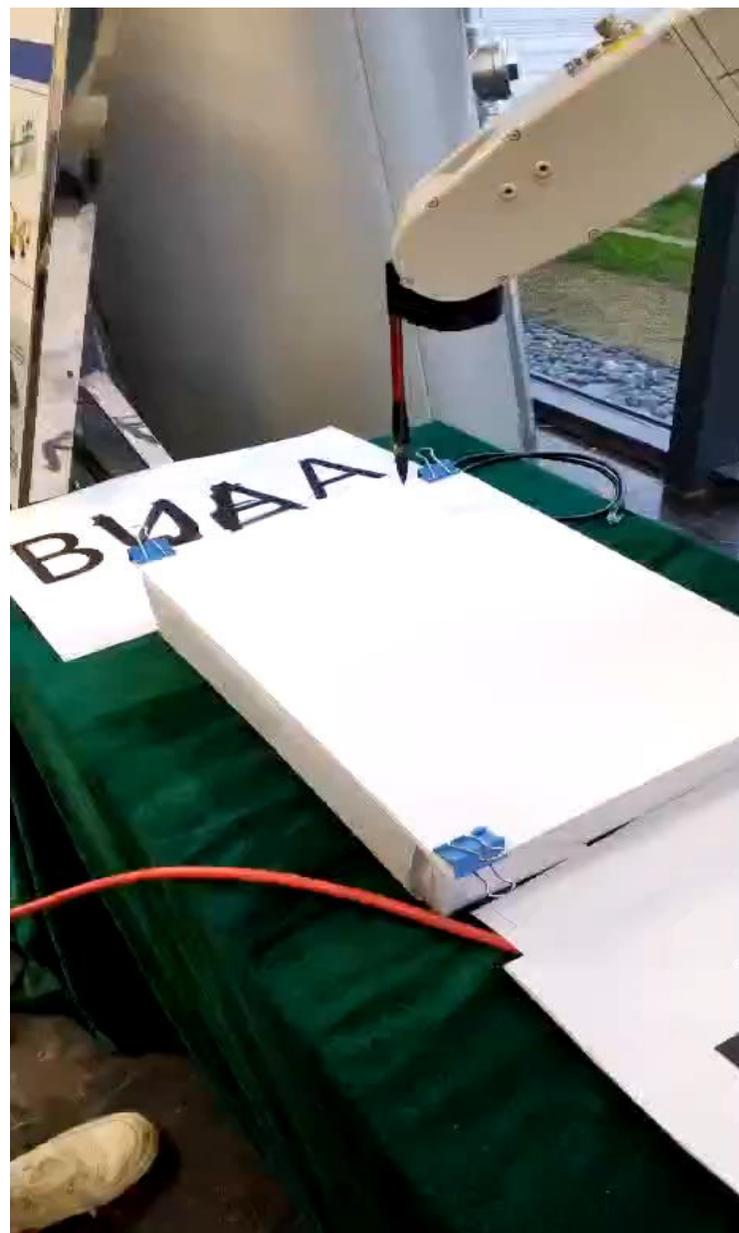
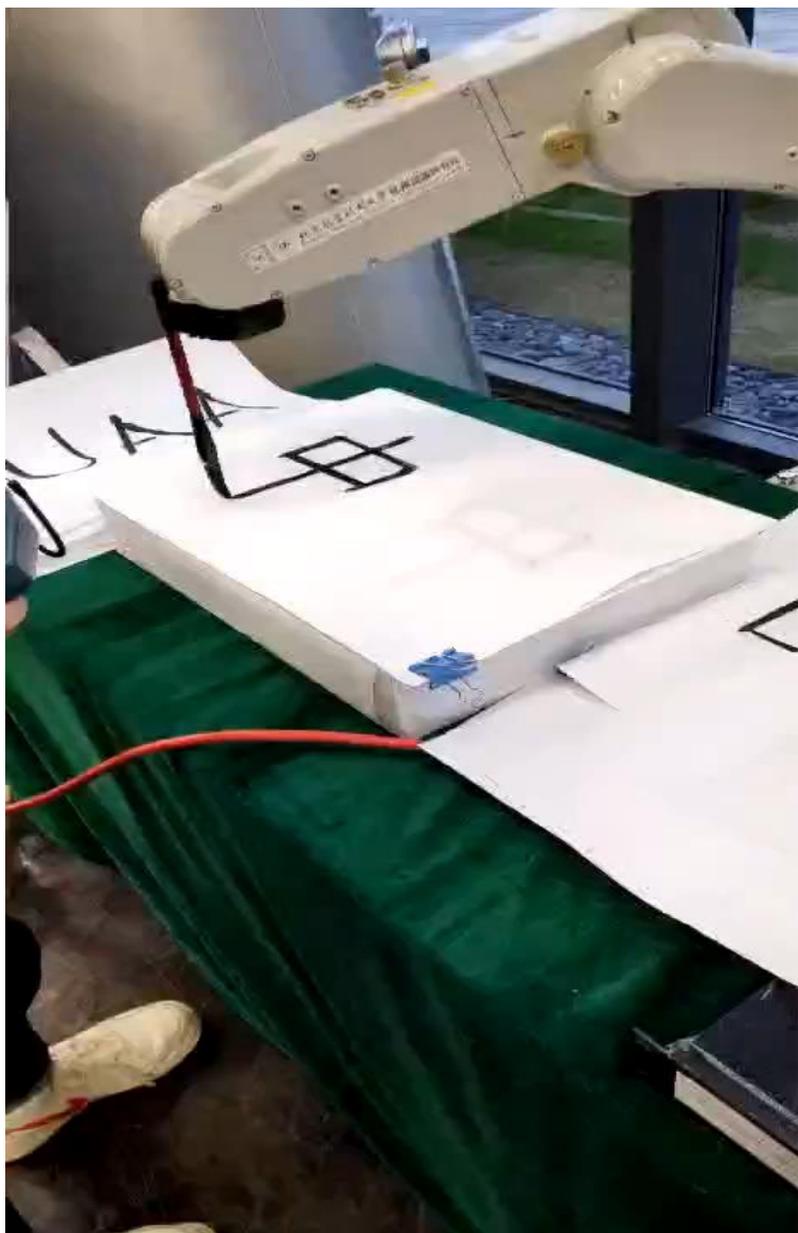
基于图形化的 机器人操作系统及应用软件 开发环境

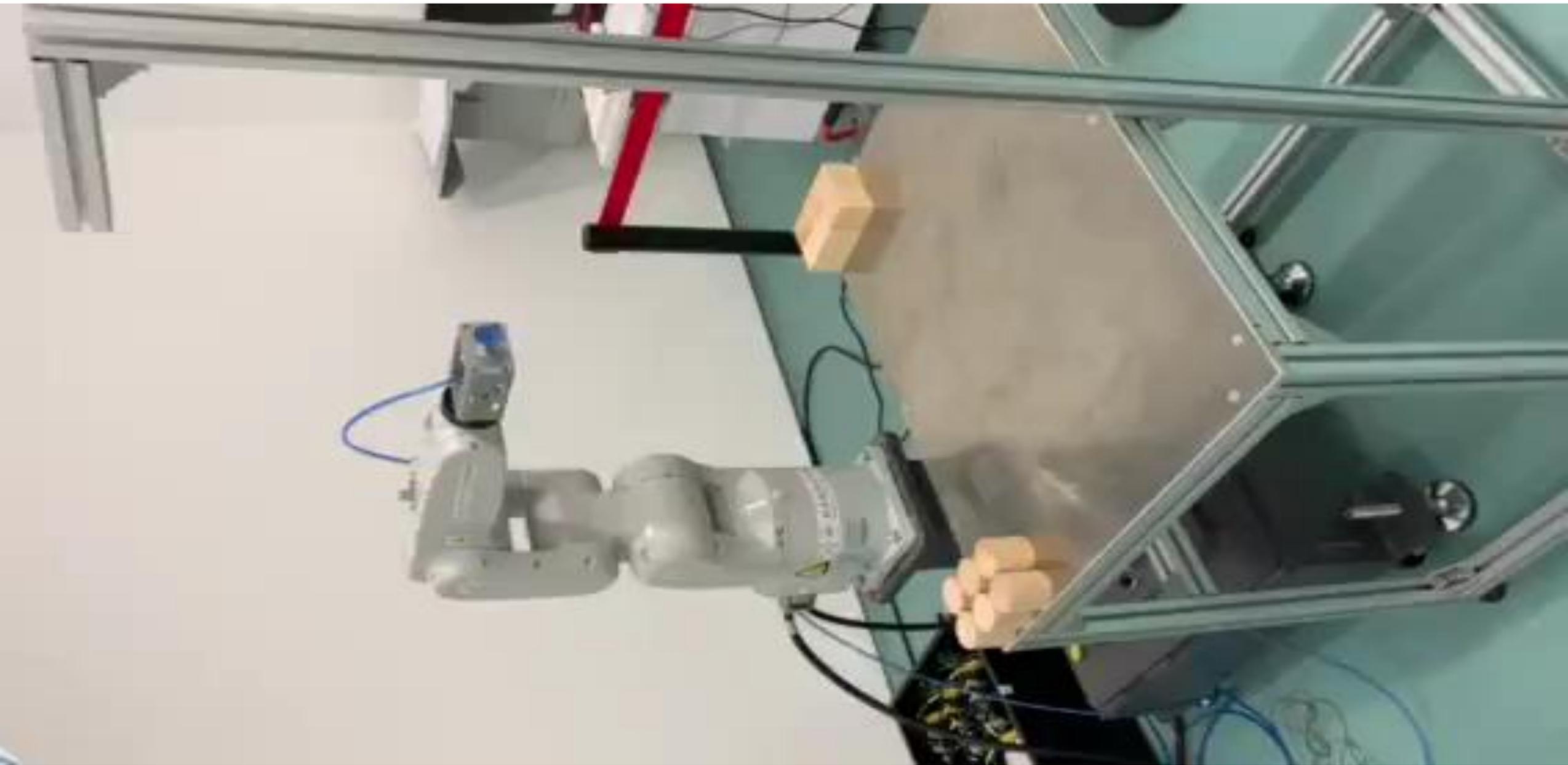


- 基于开源项目Eclipse 4DIAC改造，采用模块化方式开发，快速生成机器人操作系统模块或功能软件包
- 有效提高代码重用度，提高机器人程序开发效率
- 有利于机器人初创企业开发人员、科研院所研究人员或学生，快速上手机器人操作系统或软件的开发过程，降低入行门槛









汇报内容

 工业机器人操作系统

 **工业机器人云平台**



机器人操作系统发展路线

- 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）
-
- 目前阶段：控制系统向机器人操作系统过渡阶段



工业机器人云平台的趋势分析

平台部署

- 混合云特点: 兼顾私有云的数据安全与公有云的资源分布与弹性扩展
- 企业的需求: 机器人制造企业, 产品遍布全球、数据处理分布、应用服务云化
机器人应用企业, 数据安全保障、资源弹性扩展

公有云



私有云



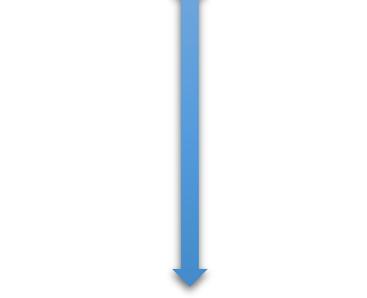
用户企业



混合云模式



自建私有云模式



租用公有云模式

按混合云模式构建机器人云平台更契合企业的真实需求



工业机器人云平台的趋势分析

平台架构

- 功能需求：从机器人端到云端的网络连接、数据汇聚和应用服务
- 性能需求：工业复杂场景下海量数据处理的高实时性



构建云边端协同的体系架构是机器人混合云平台的必然选择



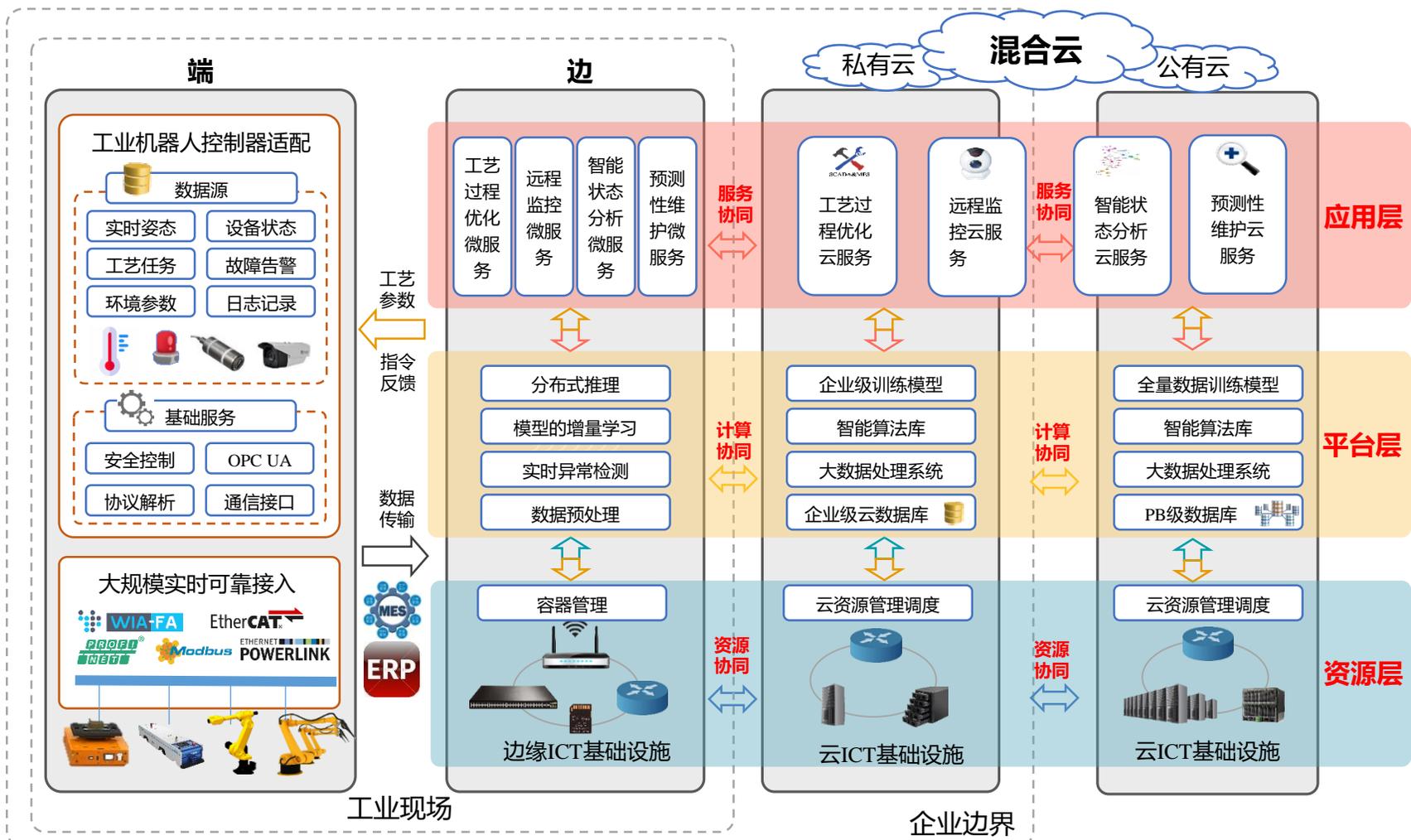
机器人混合云平台

类型	研究内容/任务内容	成果产出
应用验证	<p>任务七</p>  焊接  打磨  装配  喷涂  搬运	 <p>解决方案与技术白皮书</p>
智能服务	<p>任务六</p> <p>工艺优化智能服务 远程监控智能服务 状态分析智能服务 预测维护智能服务</p>	 <p>智能算法库知识图谱, 软著</p>
平台搭建	<p>任务五</p>  <p>云边端协同的工业机器人混合云平台</p> <p>服务管理 智能算法 云 workflow 引擎</p> <p>数据预处理 数据分析 资源调度</p> <p>PB级工业机器人数据库</p>	 <p>混合云平台</p>
技术研发	<p>任务一 云边端协同的工业机器人混合云平台体系架构</p> <ul style="list-style-type: none"> 云边端异构资源一体化管理技术 云边端多维度资源管理与任务编排技术 混合云资源管理与调度技术 <p>任务二 实时可靠接入及无线传输技术</p> <ul style="list-style-type: none"> 高并发、低时延、高可靠无线通信技术 无线通信设备研制 网关级信息集成技术 <p>任务三 海量数据传输、存储和处理技术</p> <ul style="list-style-type: none"> 工业机器人数据的云汇聚技术 工业机器人应用场景的大数据处理系统技术 多源数据可视化交互分析技术 <p>任务四 工业机器人智能优化与运维技术</p> <ul style="list-style-type: none"> 工艺过程优化、仿真及可视化技术 远程监控及智能状态分析技术 预测性维护及智能运维技术 	 <p>论文、专利标准规范</p>



机器人混合云平台的体系架构

端：网络接入、数据采集、协议转换和控制适配等基础性服务
边：数据预处理、异常监测、增量学习与控制反馈等实时性处理
云：海量数据管理、关联挖掘、知识发现和应用服务等智能化服务



问题

- **时序大数据管理**：时序大数据高效存储、查询
- **共性大数据服务**：算法复用、模型复用、知识复用

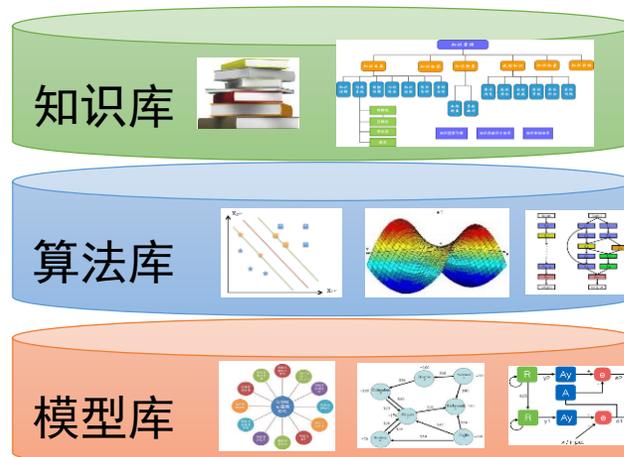
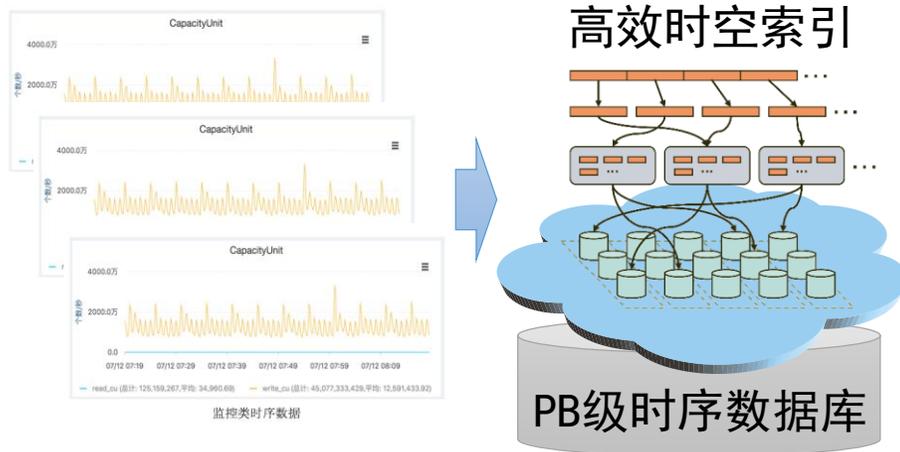
技术路线

1. 时序大数据管理

- **低延迟分布式文件系统**
- **多模时空索引、模糊查询、预聚合**

2. 共性大数据服务

- **在线时序流式数据汇聚**
- **离线批量数据处理**
- **共性处理算法库、知识库、模型库**





工业机器人工艺优化

问题

- **知识发现难**: 工艺数据量大、变更频繁、关系复杂
- **自主优化难**: 工艺制定依赖经验, 智能化程度低
- **价值共享难**: 企业边界限制, 缺乏行业全面数据信息

技术路线

1. 研究基于大数据的工艺知识发现

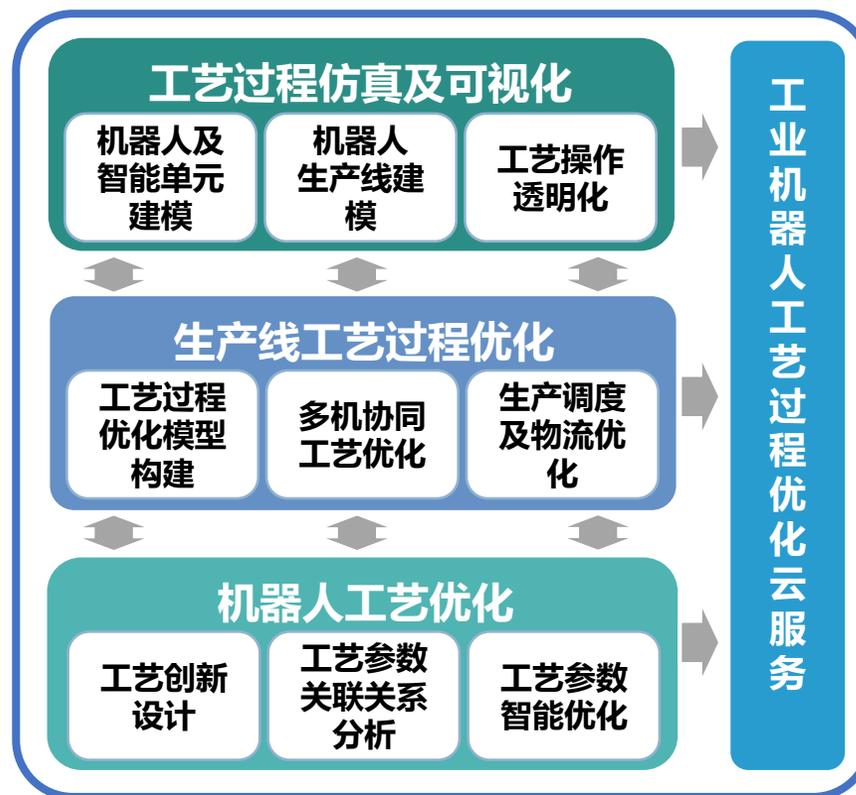
- 海量设计数据分析, 工艺设计模式创新
- 隐含关联关系挖掘, 工艺知识库构建

2. 研究面向多目标的工艺过程优化

- 考虑环境工况, 机器人作业工艺智能规划
- 基于群体智能, 生产线工艺过程自主优化

3. 研究工艺过程建模及仿真

- 机器人智能单元建模, 生产线建模
- 工艺操作仿真及透明化





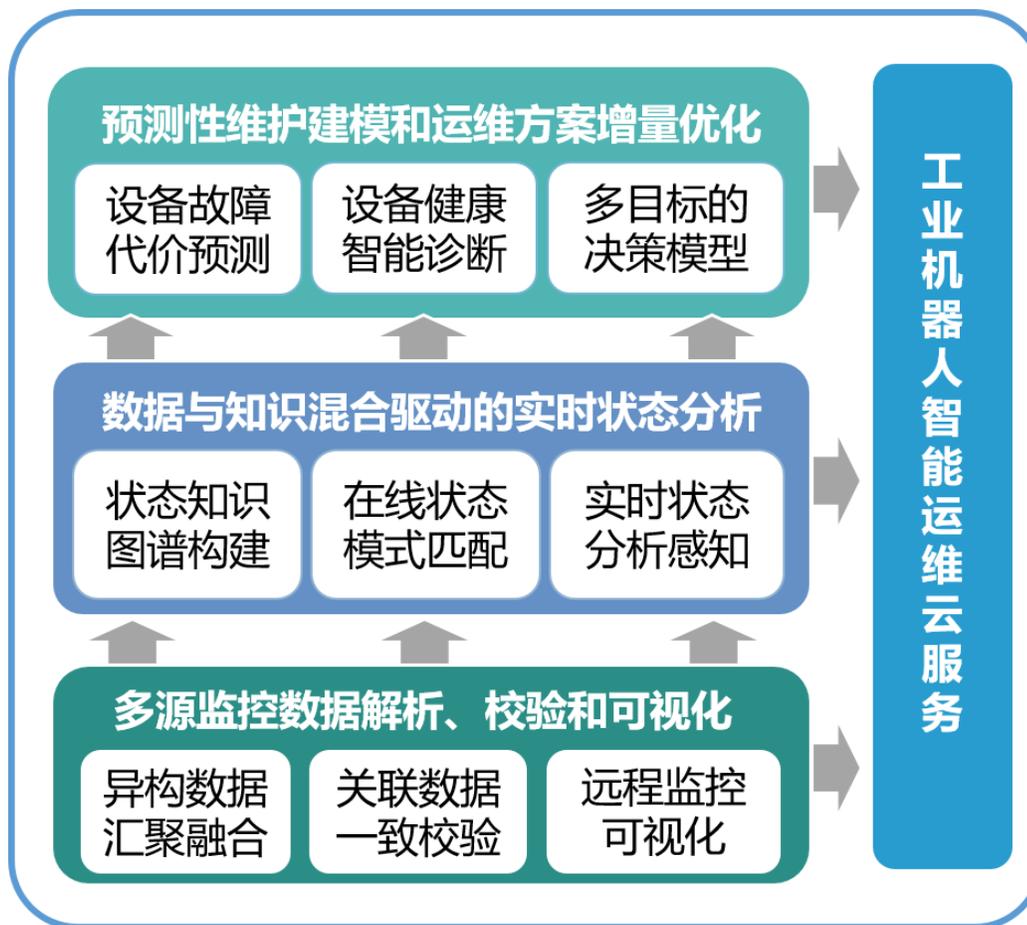
工业机器人智能运维

问题

- **数据感知难**: 监控数据海量、多源、时空跨度大, 难以有效关联感知
- **状态分析难**: 物理特性复杂, 参数状态多变, 可解释性、实时性低
- **健康预测难**: 故障机理不明, 状态空间爆炸, 预测模型精度低

技术路线

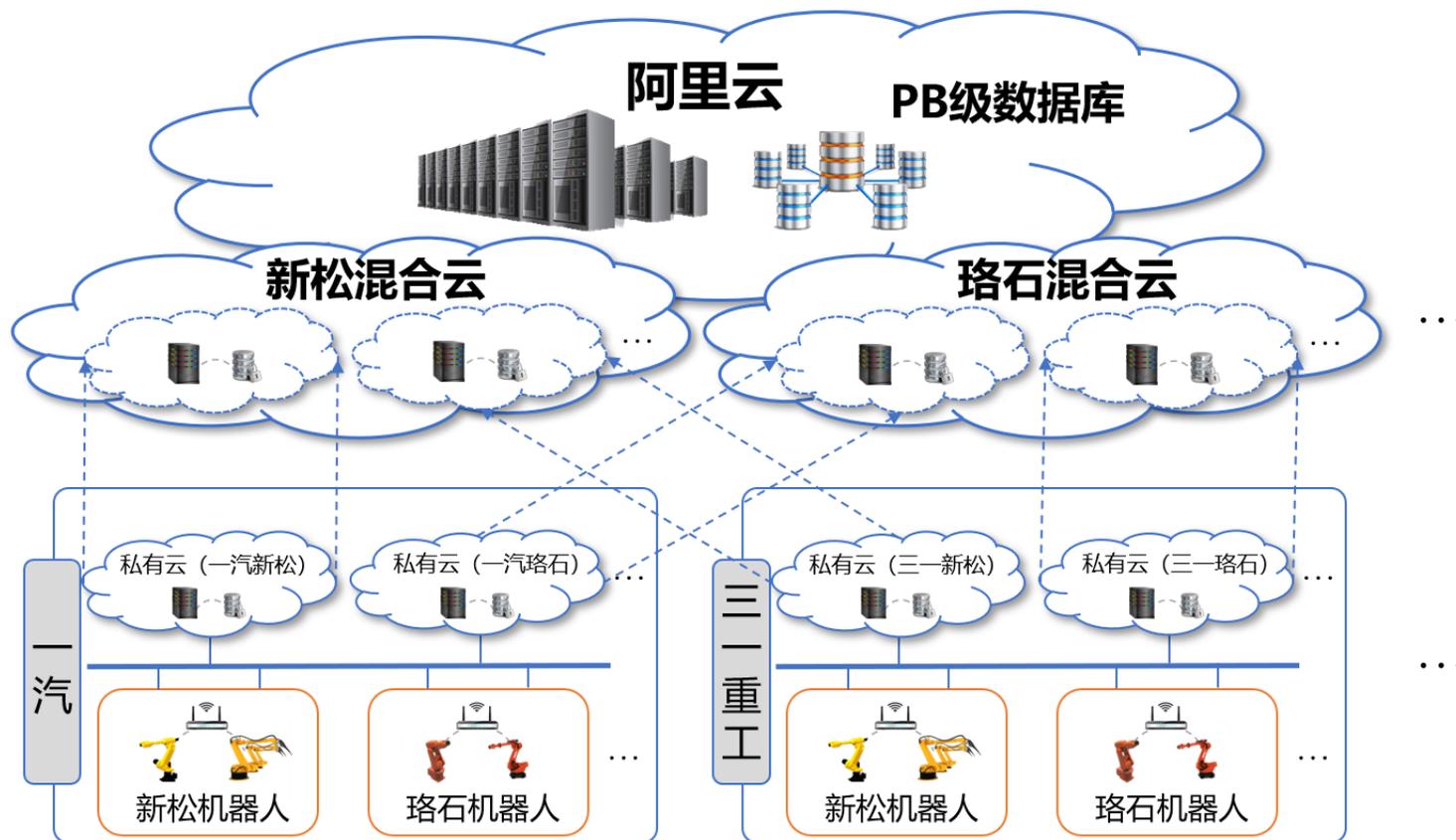
- 研究多源监控数据的解析、校验和可视化**
 - 时空数据关联校验, 数字孪生
- 研究数据与知识混合驱动的状态分析**
 - 构建知识图谱汇聚多源知识, 增强状态分析的可解释性
 - 基于实时数据在线模式匹配的状态分析
- 研究预测性维护建模和运维方案优化方法**
 - 自主学习故障模式, 构建诊断模型
 - 强化学习、动态博弈助力运维决策





云边端协同的工业机器人混合云平台

- **搭建混合云平台：机器人数据上云**
- **建立PB级数据库：时序数据+结构化数据+非结构化数据**



4类智能云服务

1. 远程监控智能服务

- 数据解析和校验云服务
- 可视化监控云服务

2. 状态分析智能服务

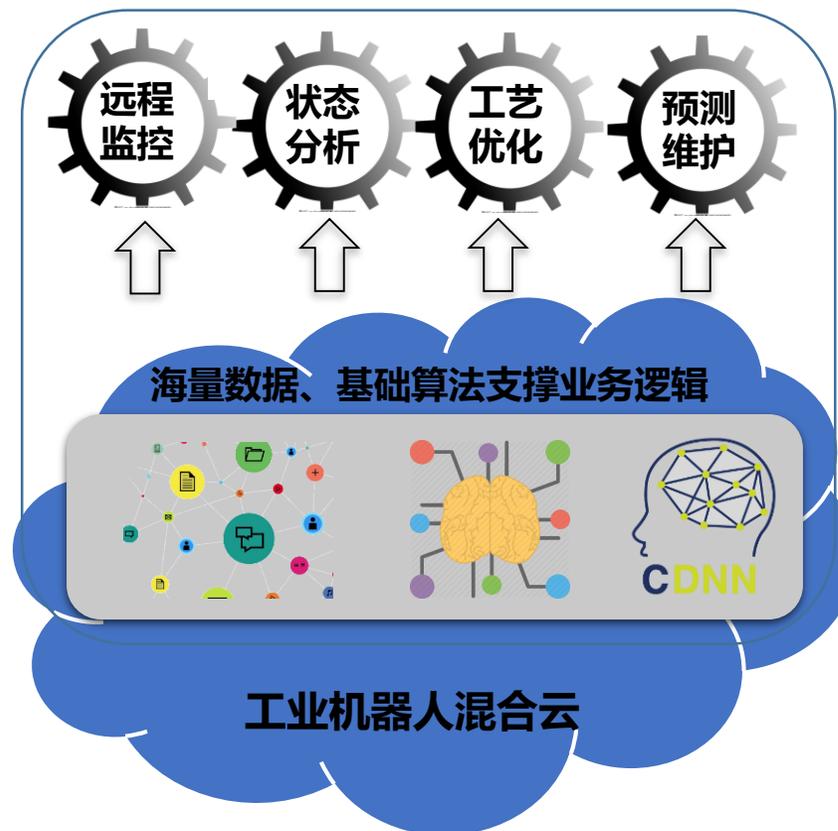
- 状态知识查询云服务
- 状态分析云服务

3. 工艺优化智能服务

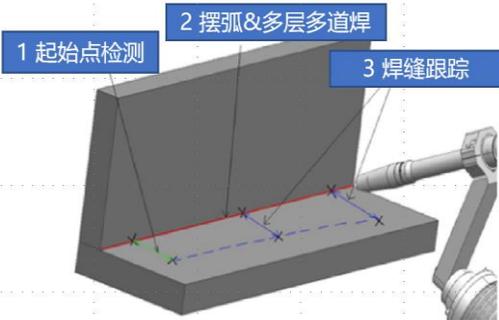
- 单机工艺优化云服务
- 多机协同工艺优化云服务
- 生产线工艺优化云服务

4. 预测维护智能服务

- 异常诊断云服务
- 在线运维云服务
- 预测性维护方案优化服务



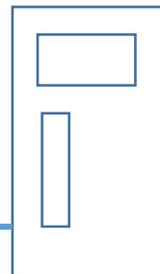
机器人混合云平台典型应用



中厚板焊接



机器人控制器



集成工艺柜



机器人本体

喷枪\雾化器

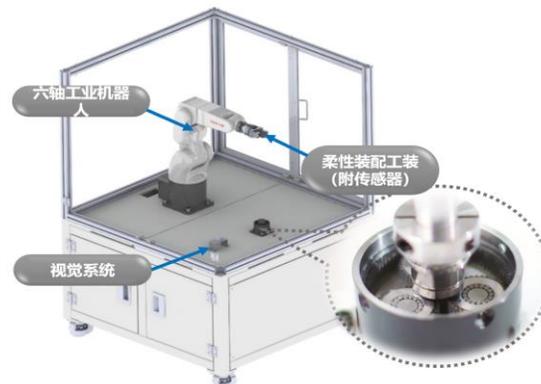
机械臂本体喷漆



金属毛刺打磨



机械臂底座运输



齿轮箱装配



机器人生产线应用

“机器人生产机器人” 生产线应用

- 生产线级私有云部署及实施
- 多种异构机器人和传感器数据的数据采集
- 基于混合云的智能运维、工艺优化，结合公司MES和ERP，优化整个生产过程

工业机器人云平台



智能化生产控制中心

中央控制器 | 现场监控装置 | 现场传感装置



智能化生产

智能化加工设备 | 工业机器人 | 分布式数据 | 智能道具管理



智能化仓储/运输及物流

自动化立体仓库 | 移动机器人 | 公共资源定位



智能化生产执行过程管控

高级计划排程 | 执行过程调度 | 数字化物流管控 | 数字化质量检测



搬运



涂胶



喷涂



装配



展望：群体智能机器人操作系统

应用层

无人机群侦察任务

无人战车和无人战士协同突防

无人系统空天一体协同作战

平台层

集群协同
路径规划

群体智能系
统决策方法

集群实时
避障控制

集群编队
控制重构

集群资源
分配优化

集群任务
协同分配

多源信息
协同感知

多源信息
深度融合

复杂语义
融合机制

自主协作
激励机制

自主协作
传播机理

类人注意力
感知机制

心理稳态
度量机制

异构自适应
网络中间件

实时以太网协议栈

实时增强无线通信协议栈

实时数据分发

控制交互

数据交互

系统层

实时操作
系统内核

SylixOS/RT-Linux/Vxworks
内核

SMP

SMT

中断调度

任务调度

进程管理

内存管理

文件系统

I/O系统

安全机制

网络通讯

BSP&驱动

串口驱动

EtherCAT驱动

PowerLink驱动

CAN驱动

高速以太网驱动

PCIE驱动

Nvlink驱动

...



硬件层



多智能体交互协作：机机交互、人机交互
模仿生物群体智能：蚁群、鸟群协作智能

谢谢聆听！
THANK YOU



牛建伟

北京航空航天大学

niujianwei@buaa.edu.cn

www.ldmc.buaa.edu.cn/~jwniu