
机器人操作系统

——从自动化走向智能化、协作化

易晓东

yixiaodong@nudt.edu.cn

国防科技大学



国防科学技术大学

National University of Defense Technology



National University of Defense Technology

报告提纲

- 机器人操作系统的兴起
- 什么是机器人操作系统
- 智能机器人操作系统

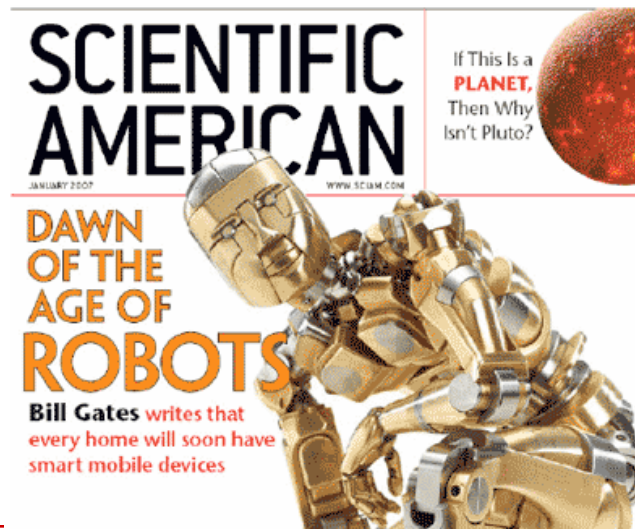


机器人操作系统的兴起

- 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，走进千家万户
 - 推动机器人走进千家万户的核心技术——**机器人操作系统**
- 业界认为可以媲美30年前的另一篇文章
 - 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

我们站在时代的节点：一个崭新的产业即将崛起。

——比尔·盖茨



国防科学技术大学

National University of Defense Technology

机器人操作系统的兴起

□ 微软的机器人开发平台RDS (Robotics Developer Studio)

Microsoft®
Robotics
Developer
Studio 2008



- 目标是开发不同机器人硬件平台的应用程序
 - ❖ 与机器人或控制计算机平台的Windows配合
- 不开放源代码，但可免费下载
- 有60家以上的硬件/软件厂商支持或使用该软件开发工具
 - ❖ 例如乐高公司



国防科学技术大学

National University of Defense Technology

机器人操作系统的兴起

□ 开源的机器人软件项目

- 美国的Player/Stage
- 欧洲的Orocos
- 欧洲的YARP
- 日本的OpenRTM-aist
- 美国的ROS
-



The Orocos Project
Smarter control in robotics & automation!



YARP 2.3.63
Yet Another Robot Platform



ROS



国防科学技术大学

National University of Defense Technology

机器人操作系统的兴起

□ ROS(Robot Operating System)



➤ 起源于2007年Stanford大学AI实验室与Google合作的项目，2008年起由Willow Garage公司维护，2013年起移交开源机器人基金会（OSRF）管理

❖ 最初动机是提高代码的可重用率

✓ 构建一个能够整合不同研究成果，实现算法发布、代码重用的机器人软件平台

❖ 正在被学术界广泛使用

❖ 已引起工业界高度重视



这些软件都还仅仅是机器人操作系统的雏形



国防科学技术大学

National University of Defense Technology

为什么要研究机器人操作系统？

□ 智能性与自主性是智能机器人必须解决的共性技术问题

➤ 认知方法与软件实现是智能性、自主性的基础

- ❖ 冯·诺依曼体系结构的计算机之所以有智能，就是因为它是可编程序的计算机，否则机器永远不可能有智能

➤ 人工智能方法与软件实现的支撑平台

- ❖ 为算法与软件的运行提供支撑环境
- ❖ 支撑应用于不同形态的机器人

➤ 无人系统自主学习和训练的平台

- ❖ 支撑无人系统智能的生成和提升



为什么要研究机器人操作系统？

□ 标准化、模块化、平台化是实现产业化的必由之路

- 当前机器人产业面临的问题与上世纪七十年代计算机产业“如出一辙”——比尔·盖茨
 - ❖ 行业高度分散，缺乏统一的标准和平台，软硬件技术难以实现共享，造成了整个行业烟囱林立，产业化进程缓慢
 - ❖ 在计算机行业，计算机操作系统的出现，促进了计算机硬件的标准化，也实现了计算机软件的重用，从而促进了计算机产业的高速发展
- 面对千差万别的机器人产品研发，业界已经越来越迫切地需要标准化、模块化和平台化——机器人操作系统是核心技术



为什么要研究机器人操作系统？

□ **安全与自主可控**是我国智能机器人发展的必然要求

- 人类正面临新的产业革命和军事革命，机器人大量进入市场和战场后，安全形势将更加尖锐和复杂
- 自主可控方面，我国没有抓住20世纪70年代计算机技术发展机遇，计算机发展过程中出现了“空心化”问题
- 加紧布局智能机器人操作系统，抢占技术和市场制高点，就能避免计算机发展所走的弯路，为机器人时代的自主可控打下基础



为什么要研究机器人操作系统？

□ 多种技术交叉融合是智能机器人发展的必然趋势

- 美国著名智库大西洋理事会发表罗伯特·曼宁的研究报告，认为机器人是第三次工业革命“最流行”的商品，将走入千家万户
- 信息技术与多种技术交叉融合是第三次工业革命的本质特征
 - ❖ 信息技术、生物技术、新材料技术、新能源技术广泛渗透而导致的群体性技术革命

机器人操作系统是人工智能、虚拟现实、云计算与大数据等颠覆性技术应用于机器人的载体和容器



机器人操作系统的兴起

□ 国内外都在大力支持机器人操作系统研发

美国

- 《国家机器人》计划专门将软件和机器人操作系统作为基础设施需求和支持

日本

- 发布《机器人新战略》，明确将人工智能和操作系统作为其下一代重点研发的“要素”技术
- 提出实现机器人的模块化、开发通用的基础操作系统

我国

- “机器人革命”；中国制造2025；智能制造重大工程；新一代人工智能发展规划
- 基金委、科技部正在开展机器人操作系统及软件的相关论证和立项



机器人操作系统的兴起

□ PC时代造就了Windows、Linux操作系统



□ 移动互联网时代造就了Android、IOS操作系统



□ 智能与机器人时代一定会孕育新的机器人操作系统



报告提纲

- 机器人操作系统的兴起
- 什么是机器人操作系统
- 智能机器人操作系统



什么是机器人操作系统？

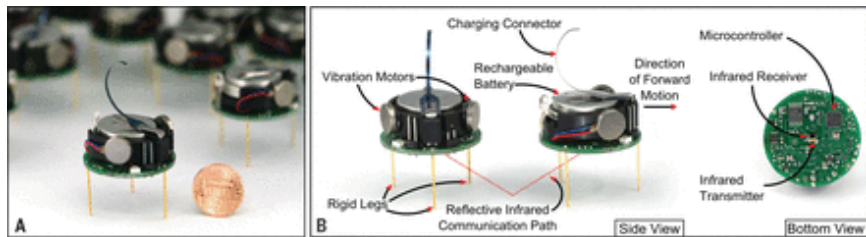
- 从软件角度看，**机器人**是由程序控制运行的机械电子装置，能脱离人的直接干预而独立形成判断
- 三个（主要）组成部分为
 - 机械机构
 - 计算机及电子设备
 - 算法及软件



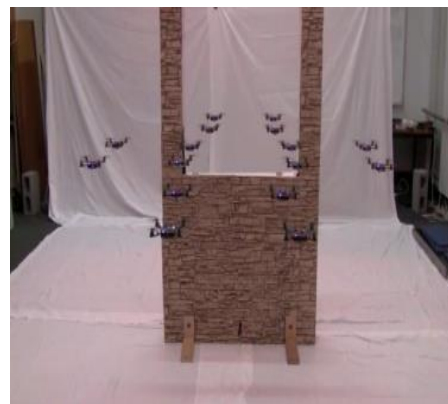
什么是机器人操作系统？

□ 多个机器人协作，构成群体机器人

- 由众多个体（结点）构成
- 基于网络链接
- 具有自组织性、动态性、开放性



2014年SCIENCE杂志十大科技突破之四：
千机器人（哈佛大学）



无人机编队飞行
宾夕法尼亚大学



美军恶劣环境集
群探索



国防科学技术大学

National University of Defense Technology

什么是机器人操作系统？

- 我们认为：机器人操作系统是运行在“**由机器人和计算机组成的网络**”上的分布式软件，负责管控机器人及机器人群体
 - 机器人节点
 - 计算机节点
 - 无线网络
- 机器人操作系统是人工智能的载体

机器人操作系统定义了机器人的功能和特性
——软件“定义”机器人



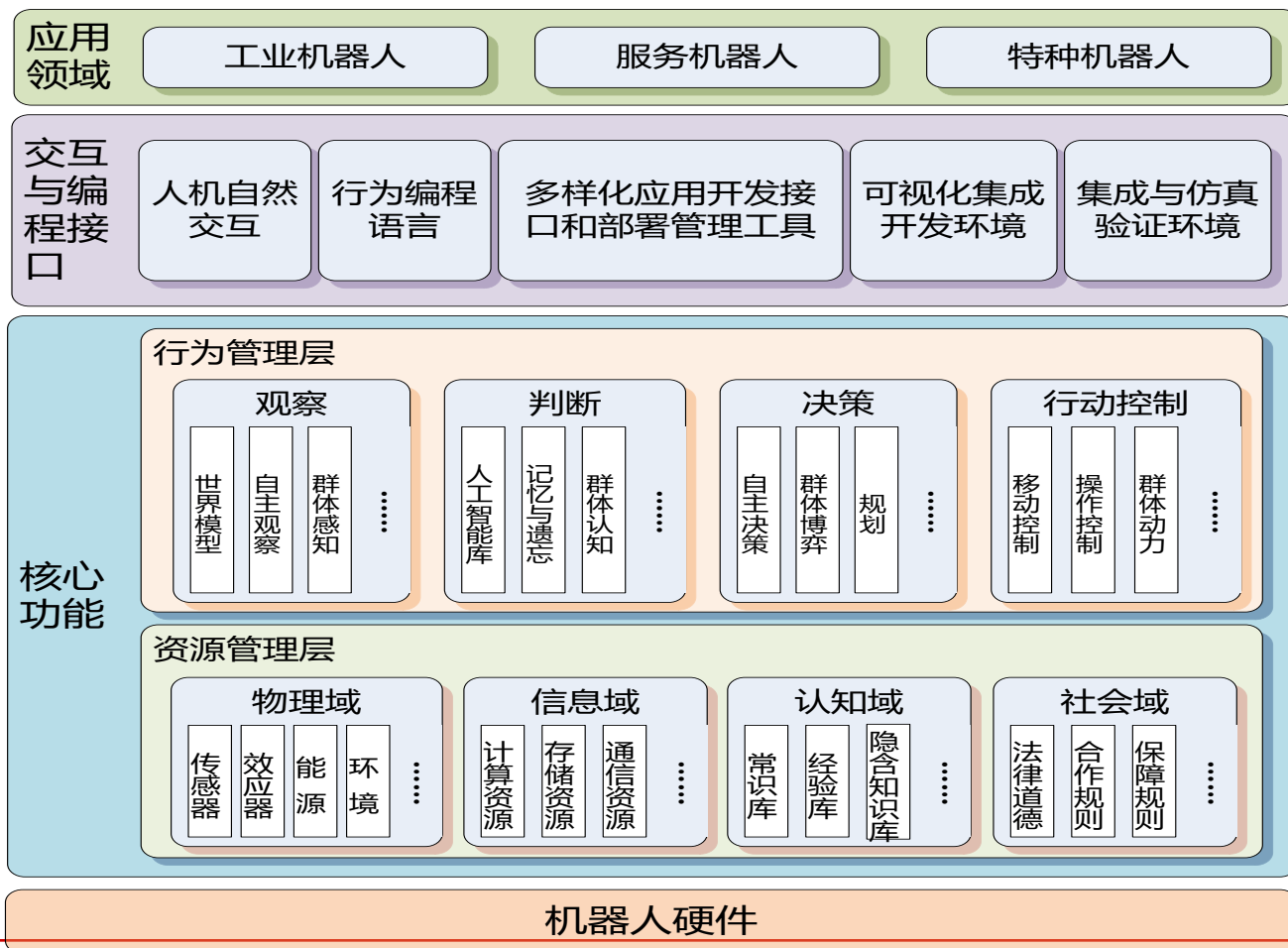
micROS

- 多态、智能、群体机器人操作系统
- Mophable, Intelligent and Collective Robot Operating System
- 杨学军院士发起，并主持了体系架构设计



体系架构

□ 层次式结构



层次式结构

□ 资源管理层

➤ 物理域资源

- ❖ 传感器、效应器、能源、环境等

➤ 信息域资源

- ❖ 计算、存储、通信等

➤ 认知域资源

- ❖ 环境语义模型、任务模型、知识库、常识库、AI算法模块等

➤ 社会域资源

- ❖ 规则、过程、法律、合约等

➤ 实现各域资源抽象，并设计管理的架构和接口

- ❖ 支撑标准化、模块化、平台化

- ❖ 支撑互连、互通、互操作



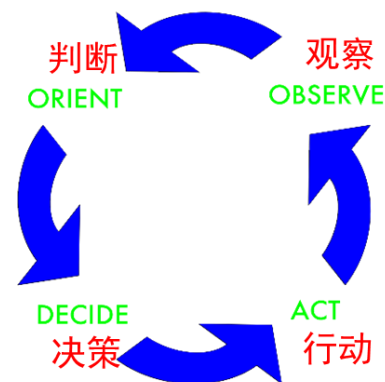
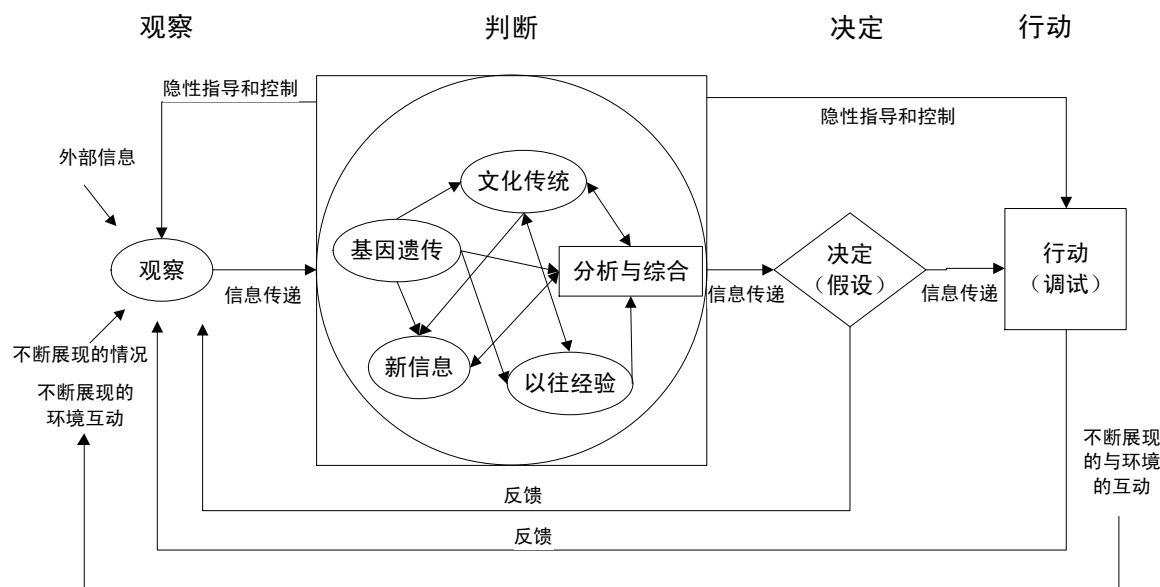
层次式结构

□ 行为管理层

➤ 博伊德OODA循环——一个著名的行为认知模型

❖ 描述战争对抗的系统行为，也可以描述一般系统的行为

✓ 例如商业、社会等



层次式结构

□ 行为管理层

➤ 面向机器人节点，以博伊德OODA循环为行为认知模型设计机器人操作系统的自主行为管理架构

- ❖ 观察——管理传感器数据，进行信息过滤、压缩、融合
- ❖ 判断——对机器人所处情景进行分析、理解、判断
 - ✓ 是行为管理的重难点
- ❖ 决定——根据任务和情景，对机器人的行动进行规划、决策
- ❖ 行动控制——按规划和反馈实施行动控制



体系架构

□ 分布式架构

➤ 传感器节点

- ❖ 位置、力、视觉传感器等

➤ 计算存储通信节点

- ❖ 运行判断、规划决策等算法

- ❖ 地图、知识库等

- ❖ 网络通信模块、消息等

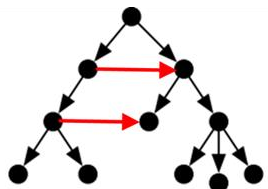
➤ 控制执行节点

- ❖ 如分层递阶控制等

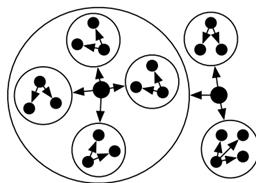


分布式架构

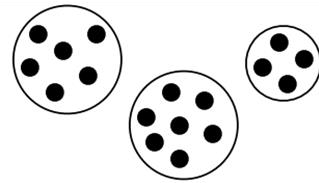
□ 面向多智能体和群体的常见组织结构



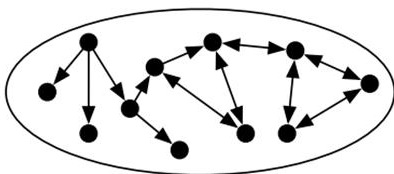
Hierarchy



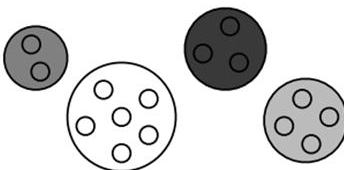
Holarchies



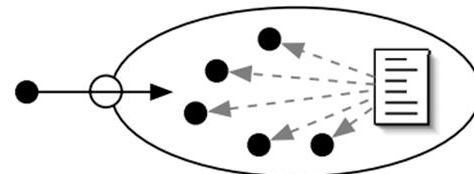
Coalition



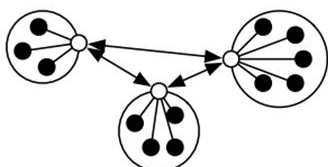
Team



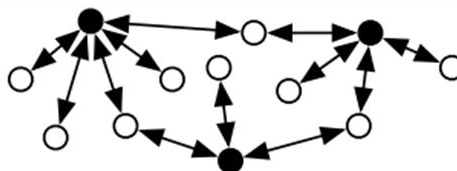
Congregation



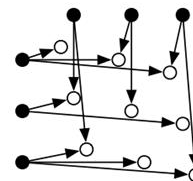
Society



Federation



Market



Matrix

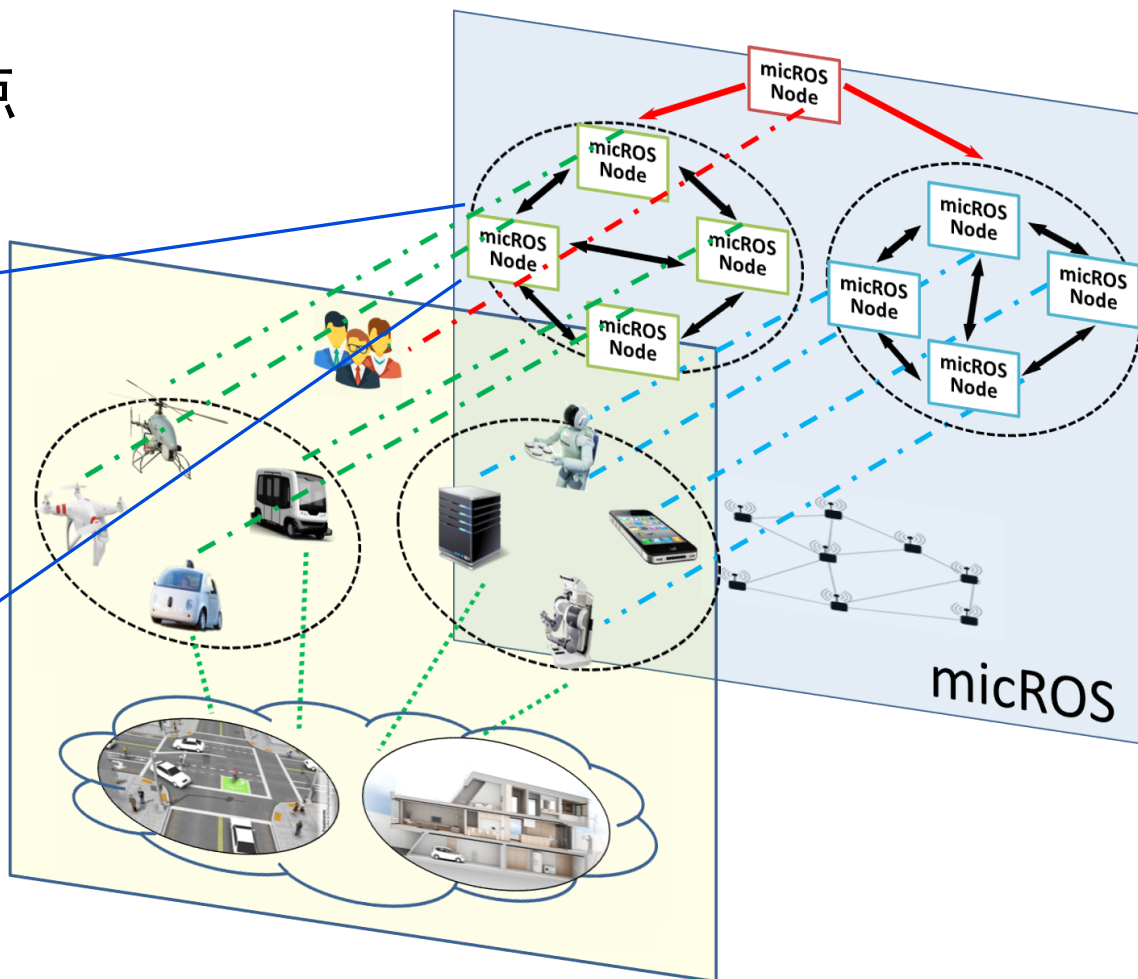
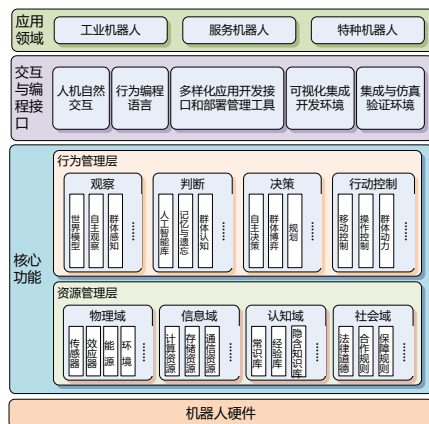


分布式架构

□ 群体分布式架构

➤ 安装于每个节点

➤ 通过网络互联

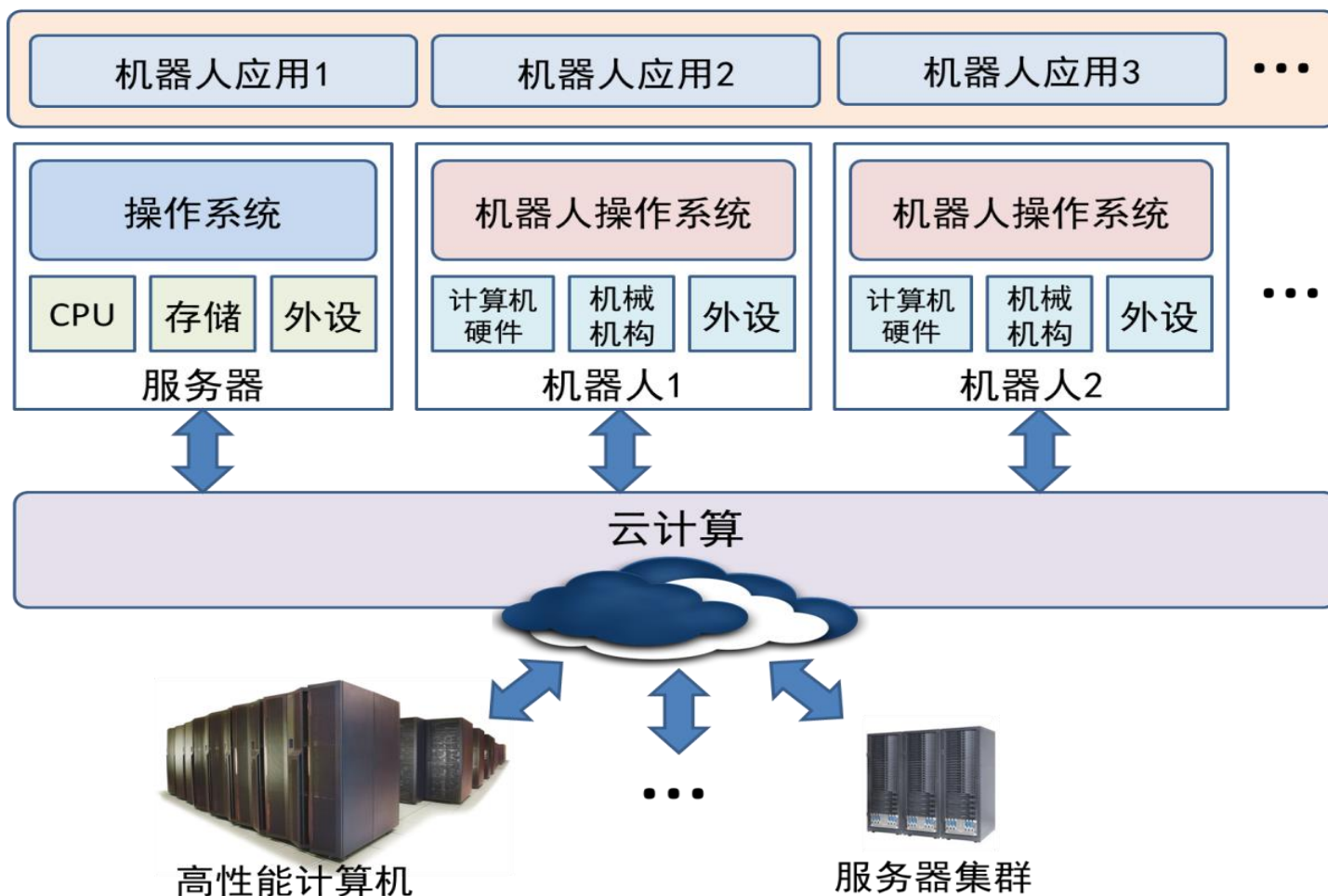


国防科学技术大学

National University of Defense Technology

分布式架构

□ 机器人与互联网、云计算融合为分布式架构



分布式架构

- OODA模型充分考虑到了开放环境和复杂系统的非线性、不确定性、涌现、自组织、创造等特征，能够用于描述高级和复杂的**群体行为模式**

- 群体以OODA循环的行为模型与所处的开放环境持续互动，能表现开放系统的自组织、涌现和自然选择的过程，这个过程是进化、开放和远离平衡的

——博伊德，《胜利与失败的本质》

- 科学问题——**自主行为与群体智能**

- 自主**观察**与群体**感知**
 - 自主**判断**与群体**认知**
 - 自主**决定**与群体**决策**
 - 自主**行动**与群体**动力**



与传统计算机操作系统的区别

	计算机操作系统	智能机器人操作系统
节点架构	分核内/核外两层，实现资源管理	分资源管理、行为管理两层，实现资源与行为管理
群体架构	互连、互通、互操作，实现分布计算	互连、互通、互操作、互理解、互遵守，实现群体智能
运行机制	进程/线程模型	基于角色的管理和执行模型，虚实互动的自主学习机制
功能	管理硬件、软件、数据等资源	除传统信息资源外，还管理物理、认知、社会资源，和机器人的行为，以及群体行为
人机交互	输入命令和数据，输出结果数据	输入任务和环境，输出行动



报告提纲

- 机器人操作系统的兴起
- 什么是机器人操作系统
- 智能机器人操作系统



智能机器人操作系统

□ 如何注入智能？

➤ 集成人工智能算法库

□ 注入什么样的智能？

➤ DARPA认为人工智能发展经历了三次浪潮(2017.3)

❖ 第一次浪潮：手工知识(Handcrafted Knowledge)

❖ 第二次浪潮：统计学习(Statistical Learning)

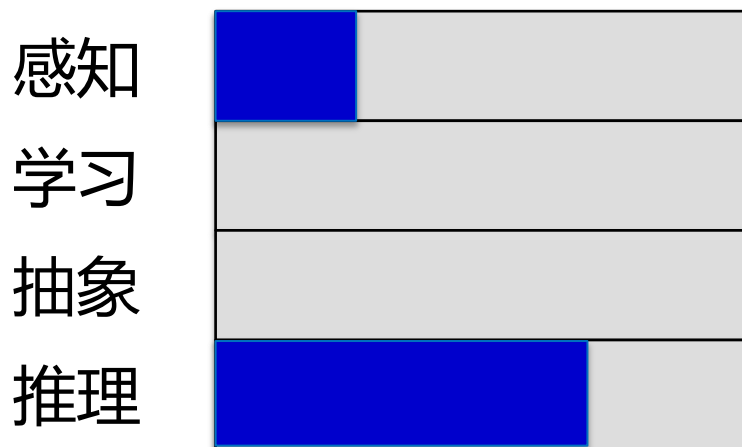
❖ 第三次浪潮：适应环境 (Contextual Adaptation)



第一次浪潮：手工知识

□ 专家根据自身掌握的**特定领域**知识，将其转化为能够输入计算机的一系列**规则**，计算机能够对规则的“**含义**”进行分析和使用

➤ 人类定义知识的**结构**，机器探索知识的**细节**



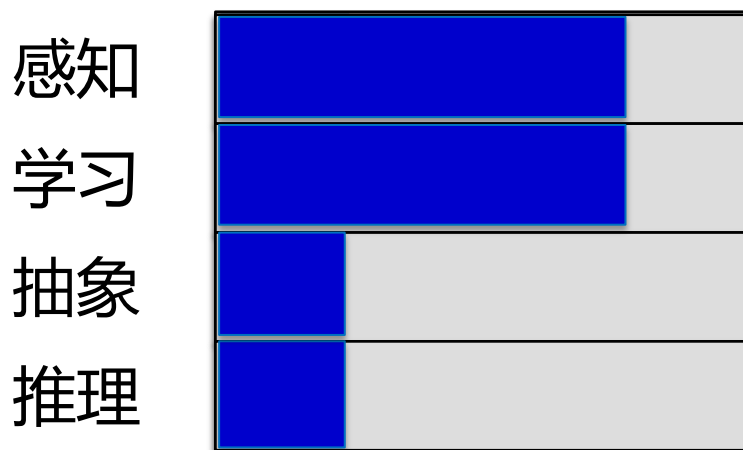
➤ 优点：对少数特定领域的知识推理能力很强

➤ 缺点：感知能力很弱→知识提取靠人工，几乎没有学习和抽象能力

第二次浪潮：统计学习

□ 基于数据，面向特定应用建立合适的“模型”

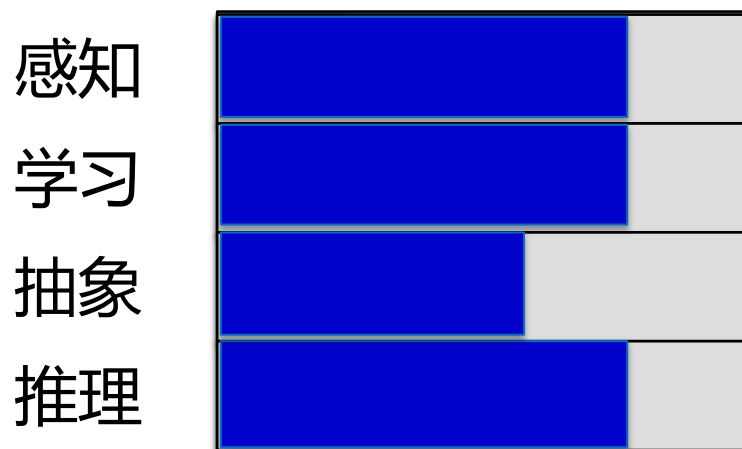
- 往往统计是模型的数学基础
- “学习”需数天 “预测”一瞬间



- 优点：对特定（非结构化）领域感知和学习能力强
- 缺点：抽象能力和推理能力弱，泛化能力不足

第三次浪潮：适应环境

- 具备独立创建模型的能力，并能够自我训练，甚至具备抽象思维和自主决策能力；目标是理解环境以及自身行为产生的结果，从而替代人类大多数甚至全部工作



- 不是前两次浪潮能力的简单迭加
- 具备持续学习能力
- 抽象能力大幅提升



注入什么样的智能？

□ 面向特定领域或任务的“手工知识”

- 人掌握知识，再手工设计符合逻辑规则的算法“教”给机器
- 稳定可靠，但没有学习和抽象能力

□ 大数据驱动的“统计学习”

- 基于数据样本训练统计模型，实现机器自己学习
- 感知和学习能力好，但统计性知识导致逻辑性、鲁棒性问题

□ 适应复杂环境和行为的“适应环境”

- 如何实现？



适应环境的人工智能

□ DARPA启动“终生学习机器”（L2M）项目

- 类似生物智能，具备自主持续学习能力
- 重点关注两个技术领域
 - ❖ 持续从过往经验中学习，将所学知识应用于新情况，可以不断扩展自身能力并提高可靠性的机器学习机制
 - ✓ 涵盖网络理论、算法、软件及计算机体系结构
 - ❖ 生物如何学习并获得自适应能力的原理及在机器学习系统中的应用

终身学习机器如何实现？



国防科学技术大学

National University of Defense Technology

适应环境的平行学习系统架构

□ 提出“持续自主学习系统”（2016年）

➤ V.S. 终身学习机器（L2M）, DARPA 2017.04

□ 设计“实际系统+人工系统”架构的平行学习系统

➤ 物理空间多个“实际系统”

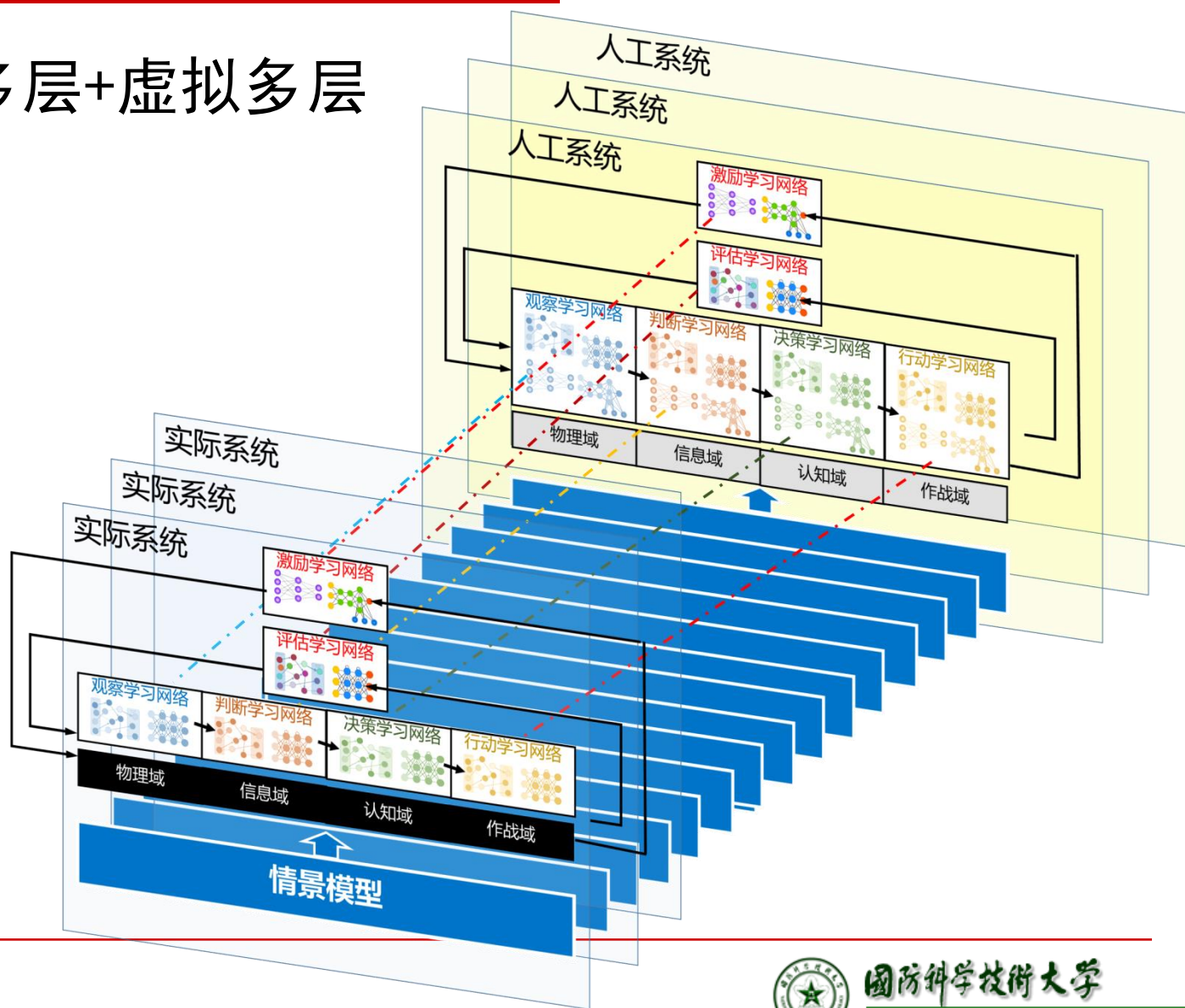
➤ 虚拟空间多个“人工系统”

➤ 相互耦合、平行学习，实现了智能无人系统的虚实互动式的学习



适应环境的平行学习系统架构

□ 物理多层+虚拟多层



适应环境的平行学习系统架构

□ 机器学习网络

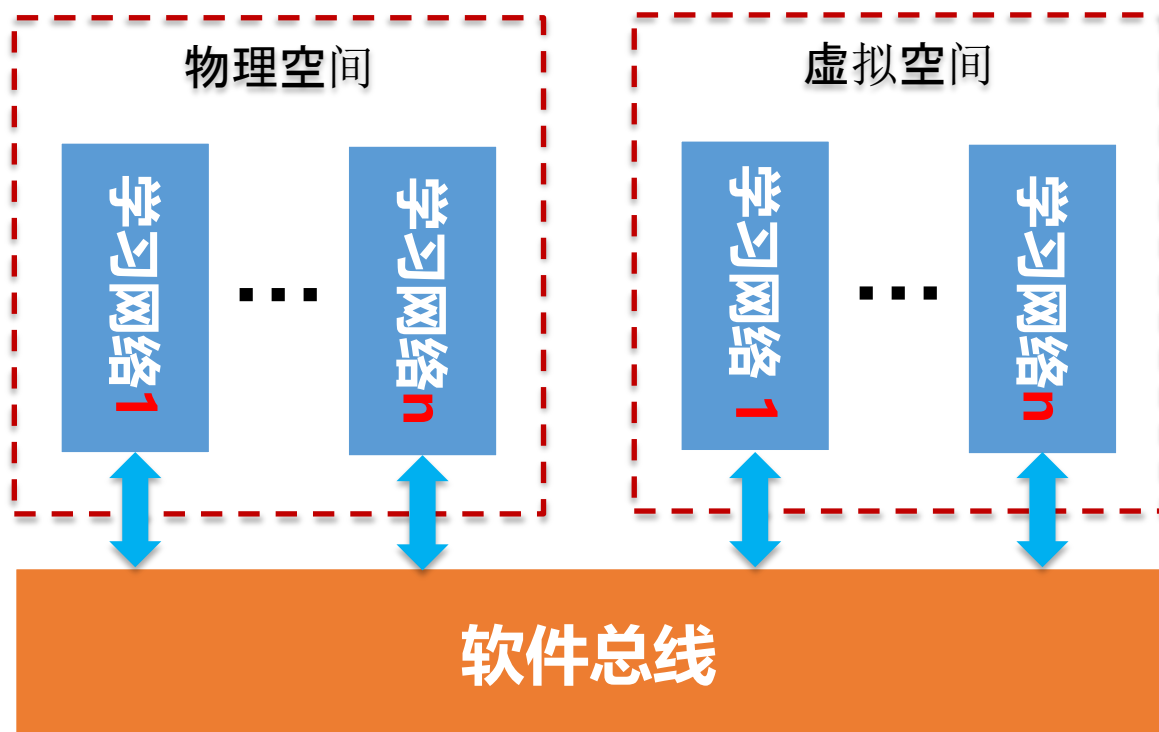
- 观察学习网络
- 判断学习网络
- 决策学习网络
- 行动学习网络
- 评估学习网络
- 激励学习网络
-



适应环境的平行学习系统架构

□ 软件总线

- 支持学习网络作为插件接入
- 支持虚拟空间和物理空间互动



适应环境的平行学习系统架构

□ 情景模型

➤ 环境地图

❖ GIS + 机器人地图 + ...

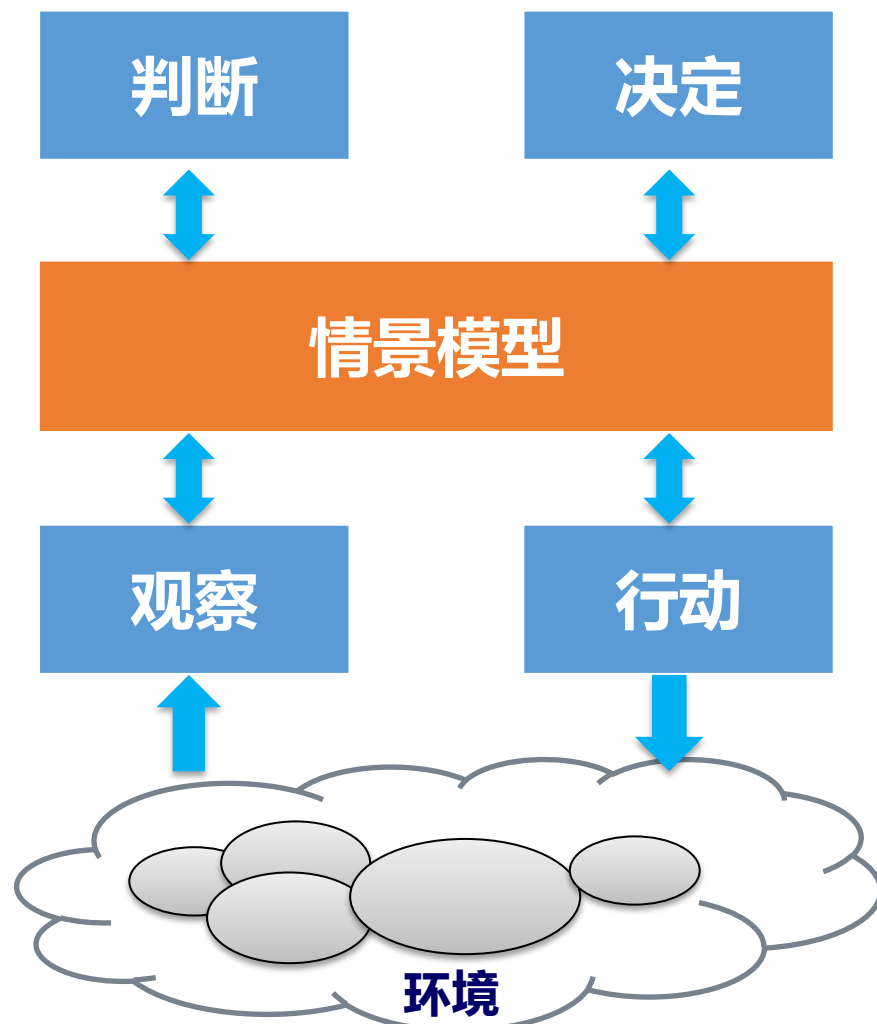
❖ 操作函数

➤ 情景语义

❖ 特征、概念、 ...

❖ 面向OODA循环

➤ 情景知识



国防科学技术大学

National University of Defense Technology

适应环境的平行学习系统架构

□ 训练与学习

➤ 人-机对抗

❖ 将人类智能和经验教给机器

➤ 机-机对抗

❖ 快速自学习

□ 持续在线控制、学习和进化

➤ 机器人工作于物理空间

➤ 在虚拟空间中进行模拟和交互

➤ 平行控制、学习和进化



敬 请 批 评 指 正 !



國防科學技術大學

National University of Defense Technology