人工智能产业峰会交流报告

基于知识智能的机器人灵巧操作

孙富春

清华大学人工智能研究院
智能技术与系统国家重点实验室

中国苏州，2019.12.01

Outline



1. 脑启发的行为智能
2. 基于经验的灵巧操作？
3. 知识和数据结合的灵巧操作？
4. 团队的主要工作
5. 未来展望

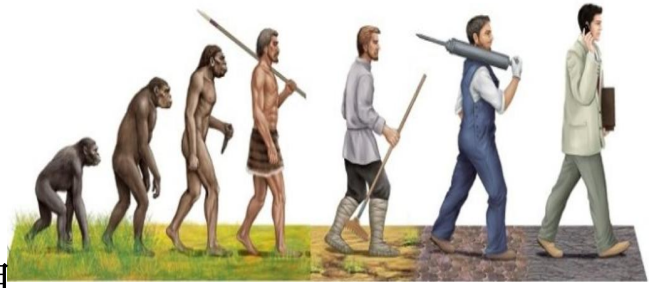
一、脑启发的行为智能

人的进化

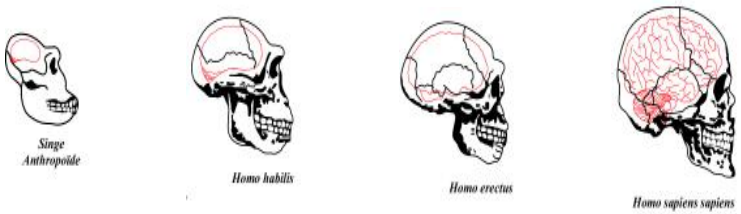








越来越灵巧: 适合操作越来越多的工具



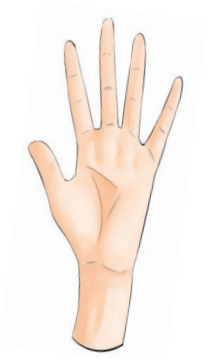


脑越来越复杂: 学习精细的操作

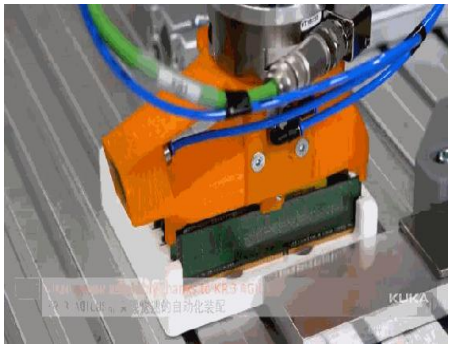
一、脑启发的行为智能

机器人如何发展





灵巧手



精细操作



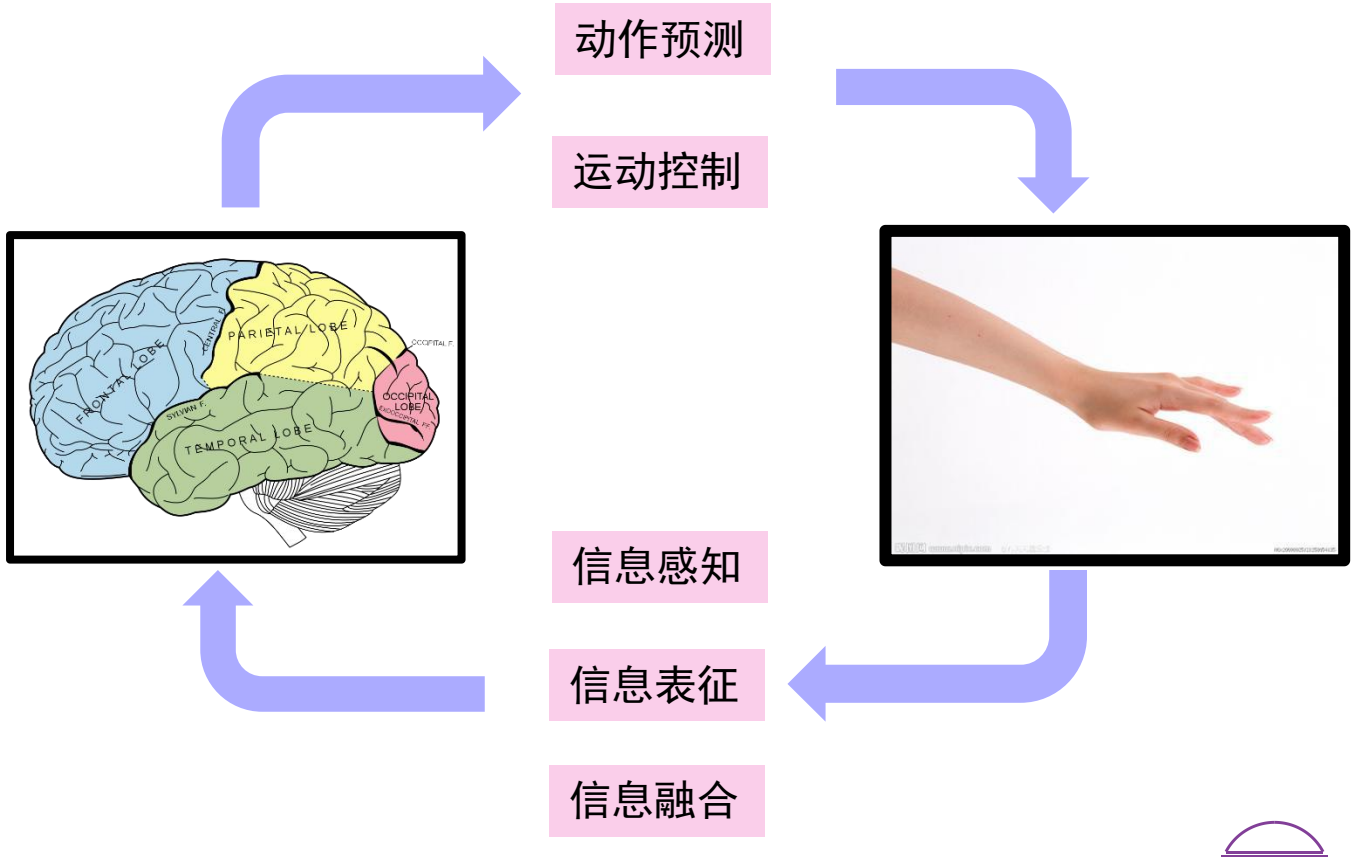
人工智能控制器



学习复杂的技能

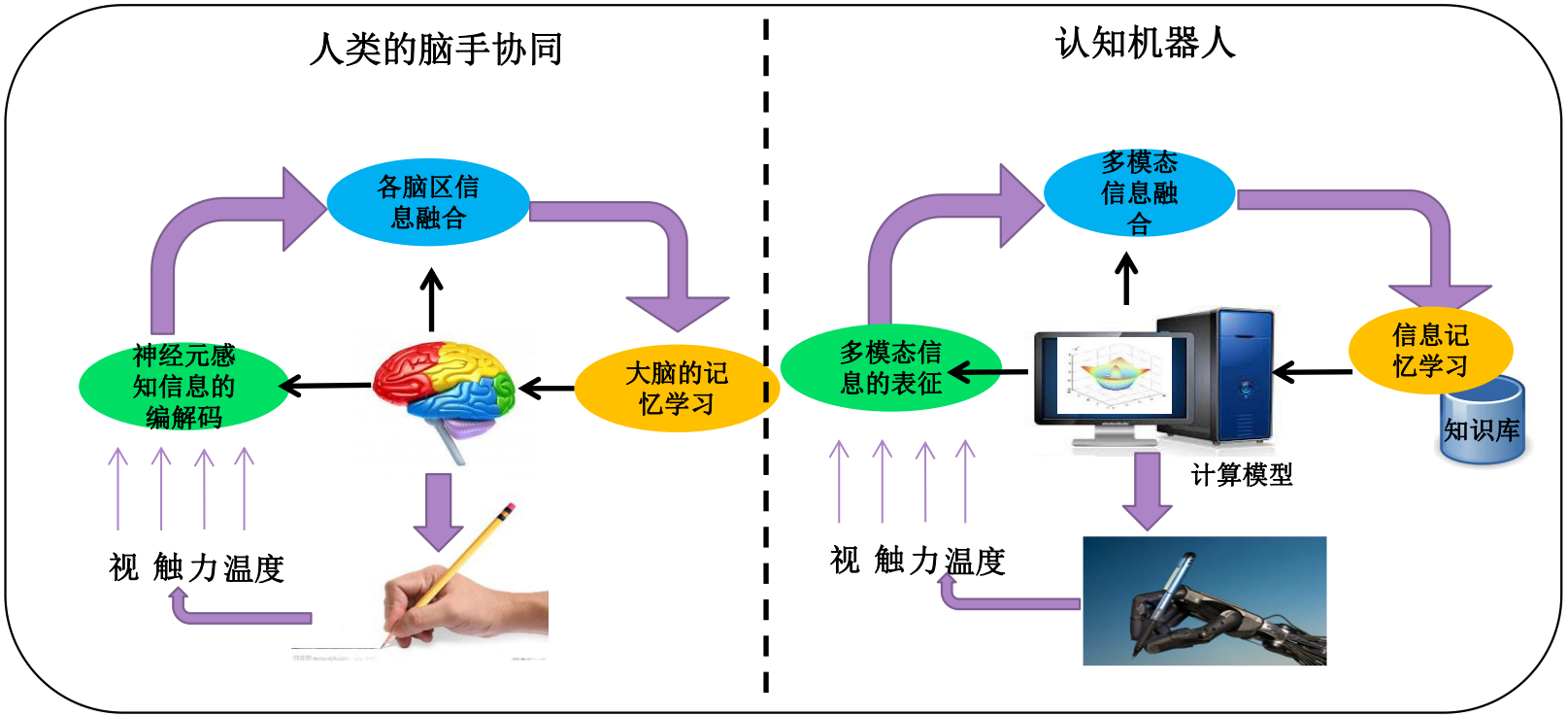
一、脑启发的行为智能

脑手系统



脑手具有明确的功能映射关系，是当前探索大脑奥秘的一个重要窗口。

一、脑启发的行为智能



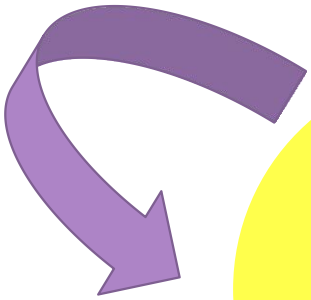
- 认知机器人与人类的脑手协同机理极为相似，借鉴认知机器人领域的信息技术可为脑手系统研究提供新的技术途径。

一、脑启发的行为智能





模仿人脑



模仿人脑、眼、手





动态性、自适应性、鲁棒性和交互性

机器人学习强调机器人对人脑与人体(手、眼、体)的感知与行为共融的模拟，使得机器人具有类似人类的高层认知能力，通过与人、物体和环境的交互，机器人能够理解和适应复杂环境，并完成复杂的作业任务。

一、脑启发的行为智能



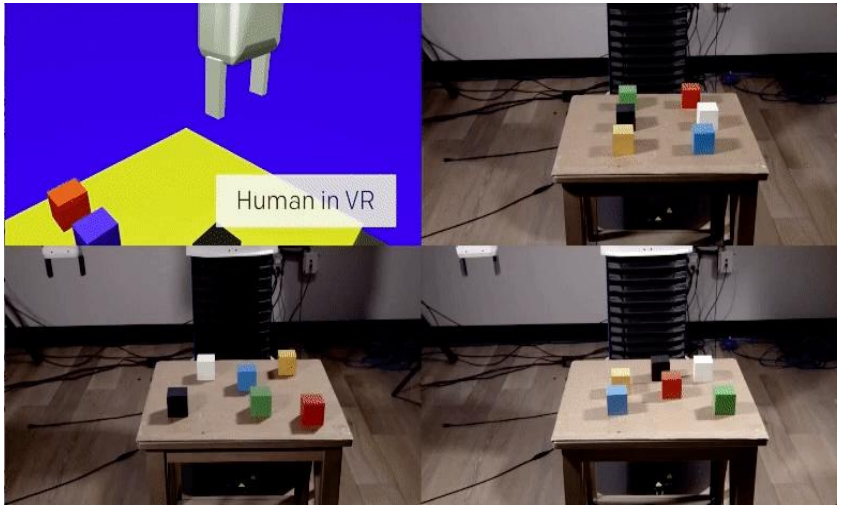
一、脑启发的行为智能

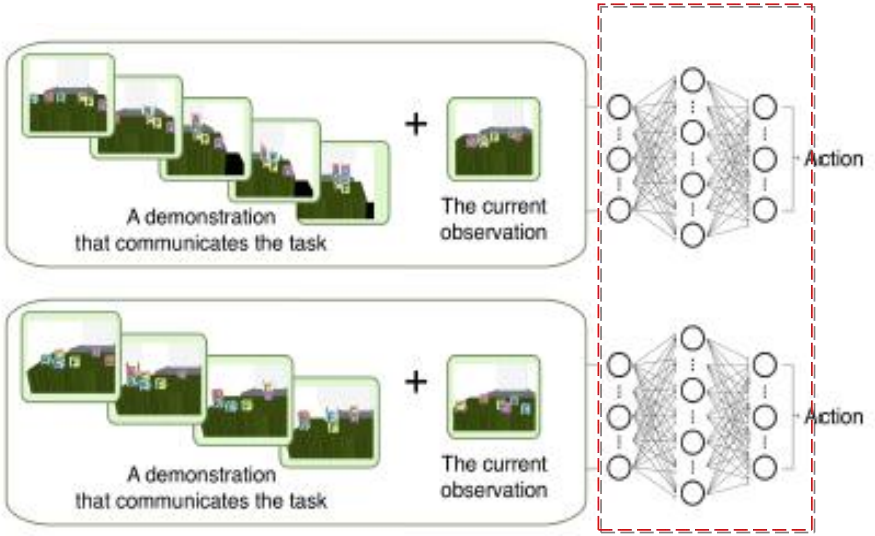
- **经验学习**

One-Shot Imitation Learning, Open AI, 2017

- **机器人从少量的示教中学习**

深度学习



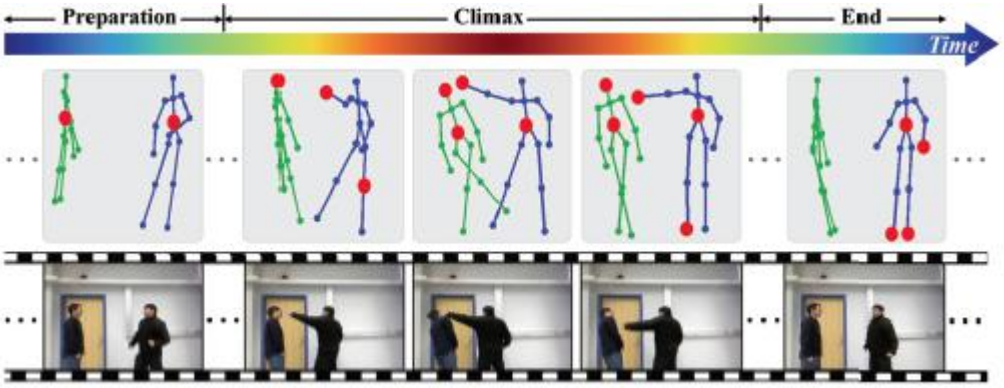


训练网络输入: 一次示教和现有状态；
训练网络输出: 前面产生的状态和动作对应与第二次演示尽可能地匹配。

一、脑启发的行为智能

- **经验学习**

An End-to-End Spatio-Temporal Attention Model for Human Action Recognition From Skeleton Data, AAAI, 2017.



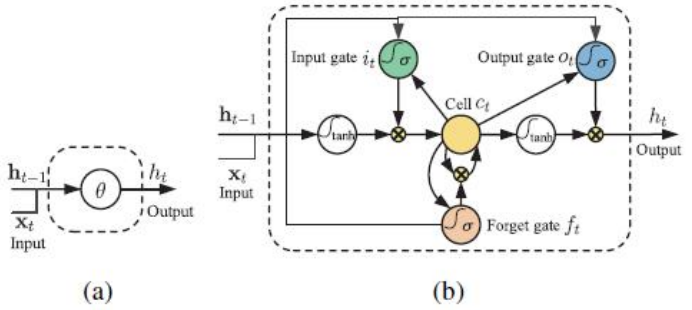
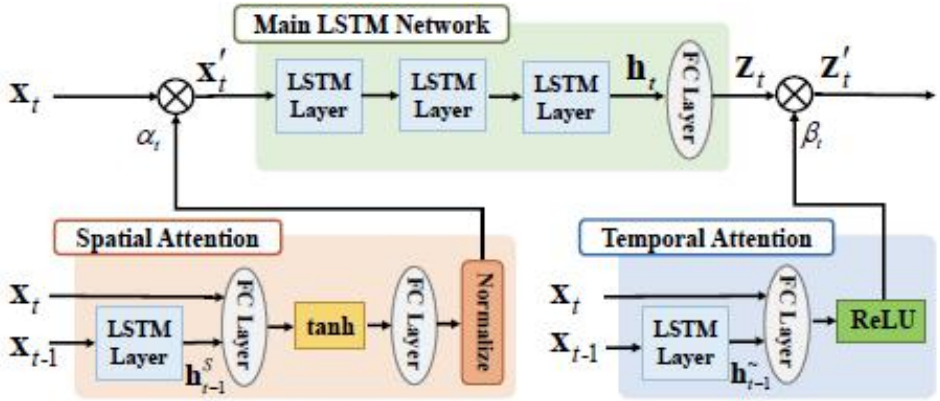


Figure 2: Structures of the neurons. (a) RNN, (b) LSTM.

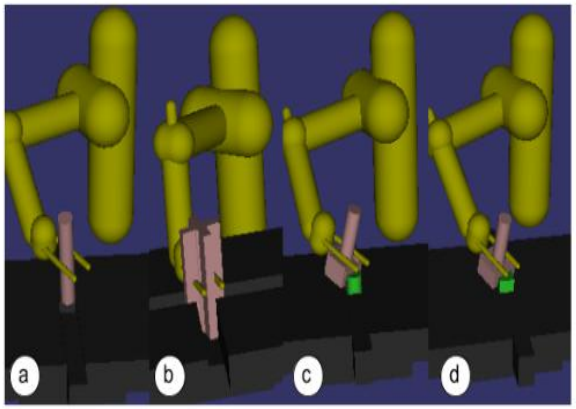


整个网络结果由主长短记忆网络、
空间注意子网络和时间注意子网络过程。

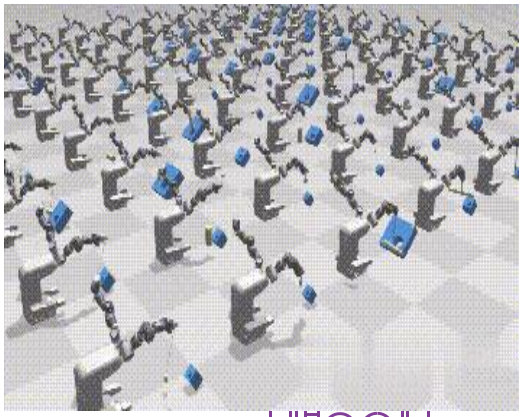
一、脑启发的行为智能

目前最高级机器人的智力尚不及小孩子的智力。与此同时，机器人的研发几乎没有统一的标准，大部分机器人学家也都让机器人用自己研发的方式来积累数据。这就让机器人很难共享人类已经创造的丰富知识。

机器人到现在为止仍然无法理解和应对非结构化的工作环境(人类工作环境)，基本都依赖于事先的编程和对每种可能遇到的可能性概率统计，但是每次执行新的任务时需要重新获取传感器数据重建模。



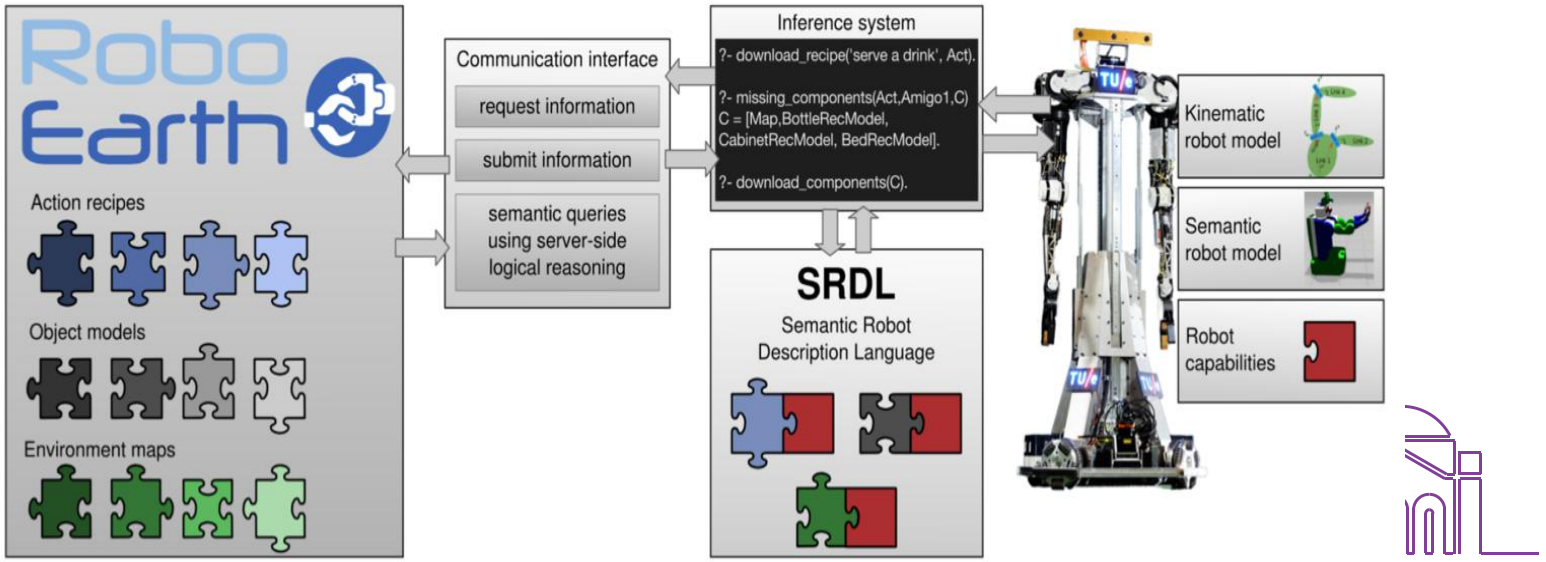




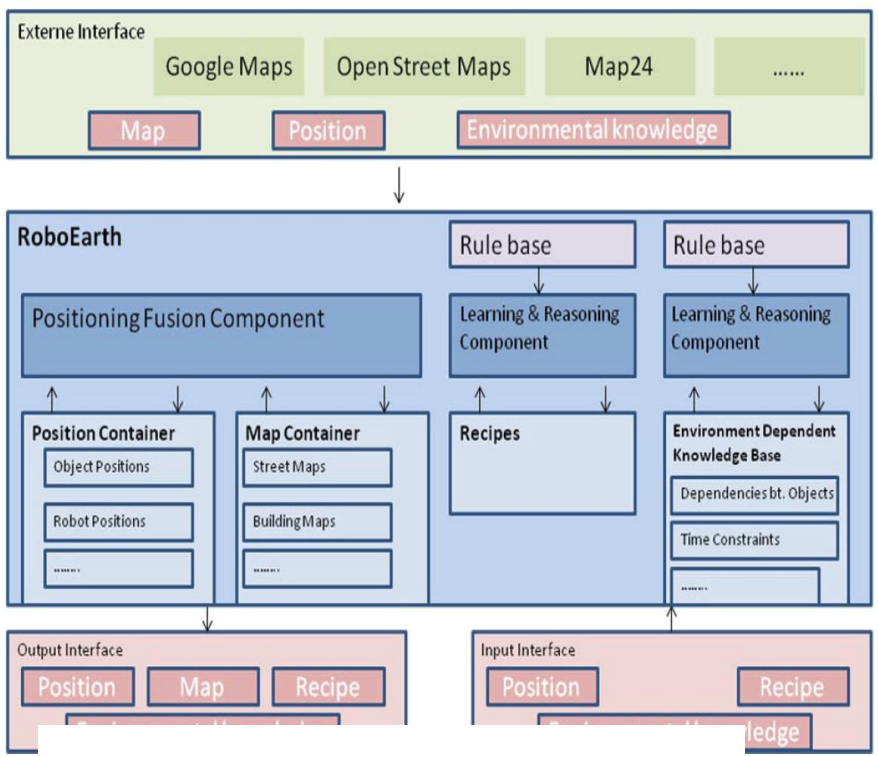
一、脑启发的行为智能

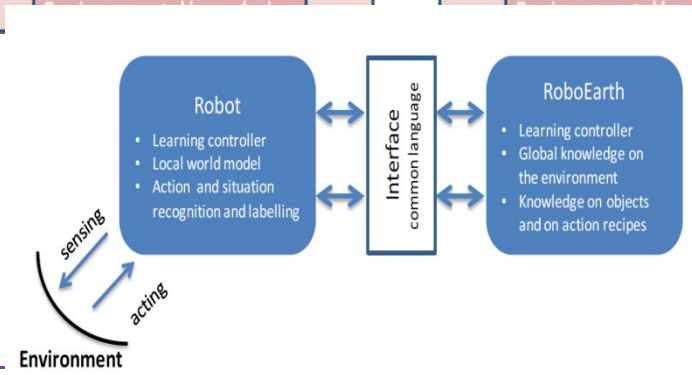
欧洲启动的*RoboEarth*计划，试图让机器人共享知识并存储它们的发现。这意味着机器人很快将拥有自己的互联网和维基百科。当机器人执行任务时，它们能下载数据，并寻求其他机器人的帮助，更快地在新环境下工作。

不同用户通过自己的应用机器人可以在Rapyuta上建立计算环境，通过任务检索从紧密相连的数据知识库中检索对应的经验技能和需要的对象及软件，从而实现用户解放机器的繁重计算任务。



一、脑启发的行为智能

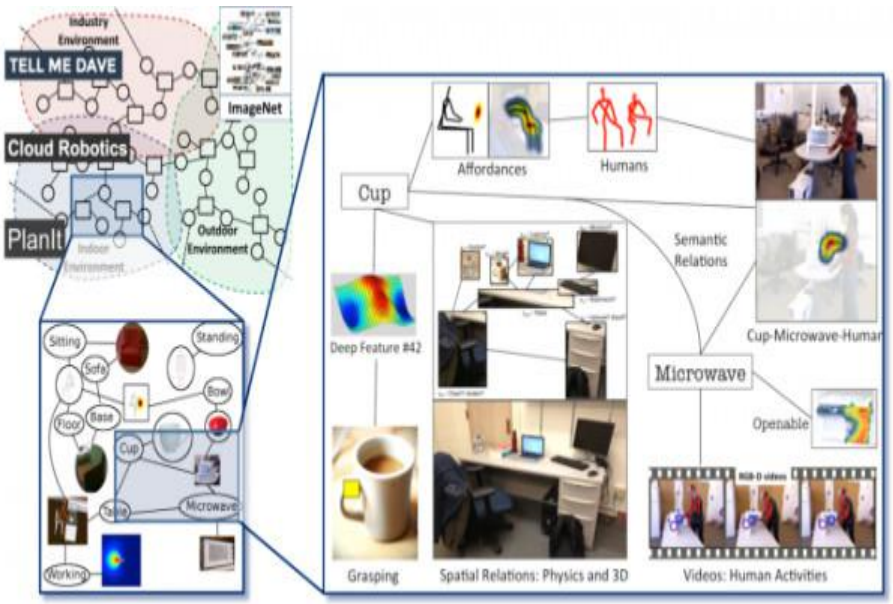




- **KnowRob:** 知识处理系统，通过知识表示和推理方法等相关技术结合，建立一个整合不同来源信息的通用语义框架，在RoboEarth中做机器人本地的知识库。
- **Rapyuta:** 系统的云引擎，即开源平台框架，在云中提供了安全的且可定制的计算环境，帮助机器人解放繁重的计算，轻松访问RoboEarth知识库。
- **RoboEarth Database:** 基于Apache Hadoop集群分布式框架，该数据平台允许用户参与共享环境、操作对象数据。

一、脑启发的行为智能

RoboBrain



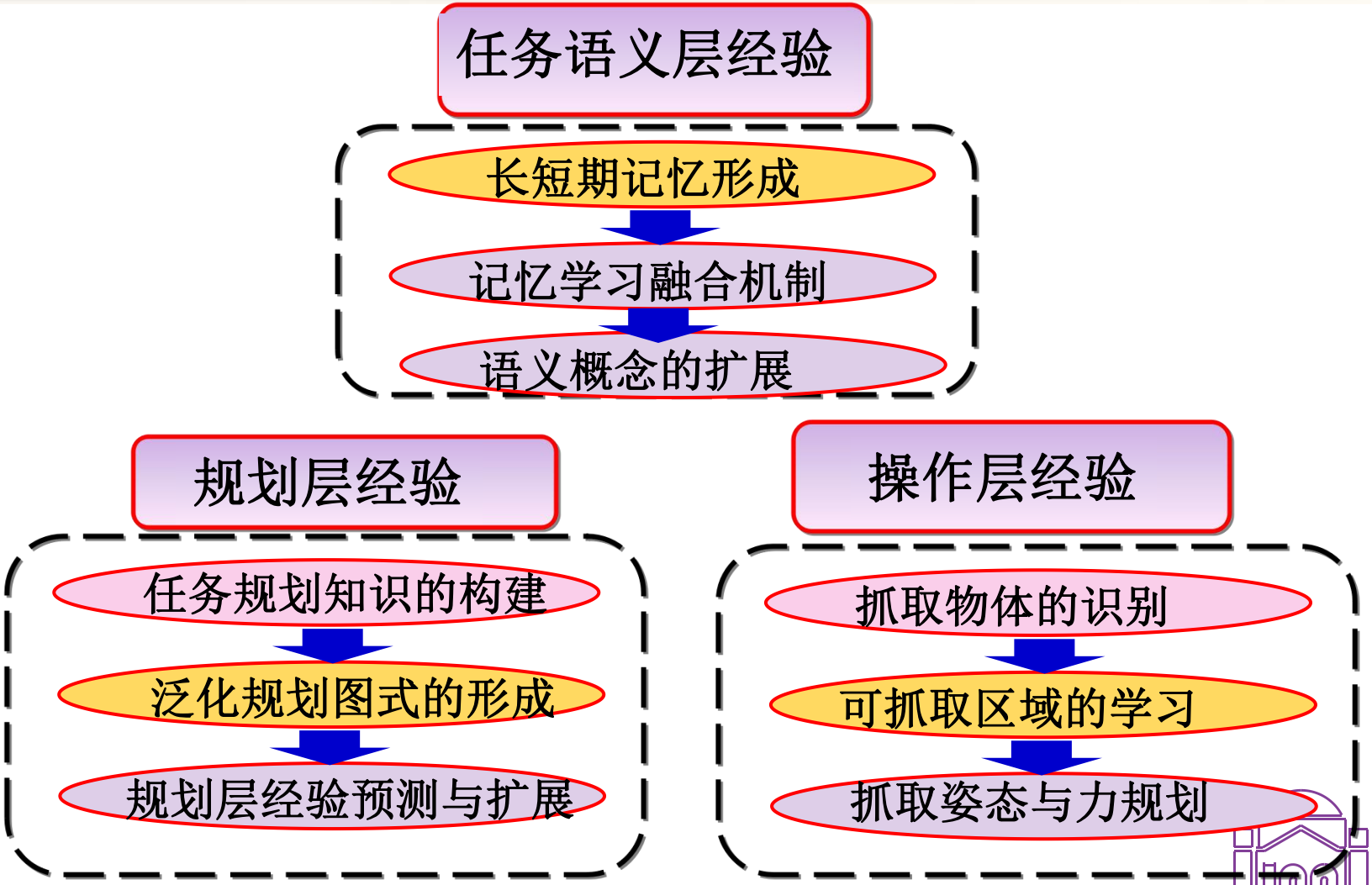
- 机器人知识引擎，它可以学习和分享知识表示，用于机器人执行各种任务。
- 存储在引擎中的知识来自多个来源，包括机器人在执行任务（感知，计划和控制）时的物理交互，来自互联网的知识库以及来自多个机器人研究小组的学习表示。
- 在不同的任务和模式中有效地处理这种联合知识表示
- RoboBrain未来将打造成一个大数据平台，每个人都可以调用里面的数据，并且也可以导入更多程序
- 通过线上众包的方式，机器人可以学习更多知识。

Outline



1. 脑启发的行为智能
2. **基于经验的灵巧操作？**
3. 知识与数据结合的灵巧操作？
4. 团队的主要工作
5. 未来展望

二、基于经验的灵巧操作


任务语义层经验
长短期记忆形成
记忆学习融合机制
语义概念的扩展
规划层经验
任务规划知识的构建
泛化规划图式的形成
规划层经验预测与扩展
操作层经验
抓取物体的识别
可抓取区域的学习
抓取姿态与力规划

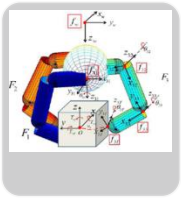
二、基于经验的灵巧操作



面向任务的机器人经验学习



面向任务的机器人自主规划



基于经验学习的机器人控制与遥操作技术

经验表达、收集、概念化和预测机制

基于经验的规划、并行化和异常处理技术

机械臂精准操作、共享控制遥操作。

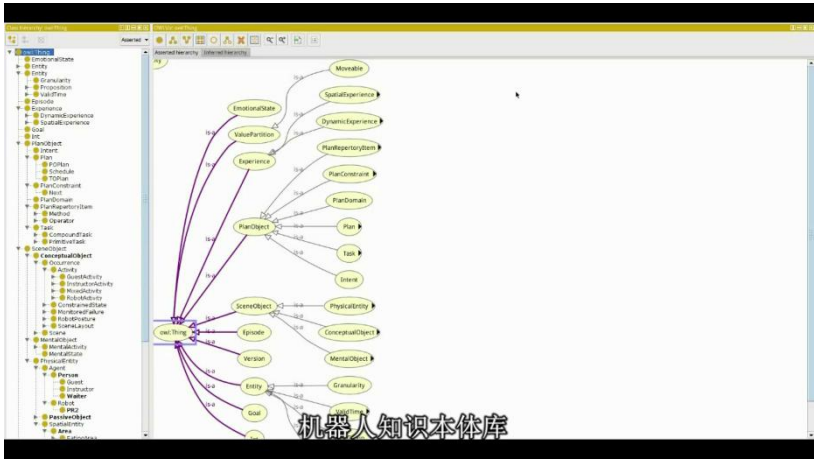
二、基于经验的灵巧操作

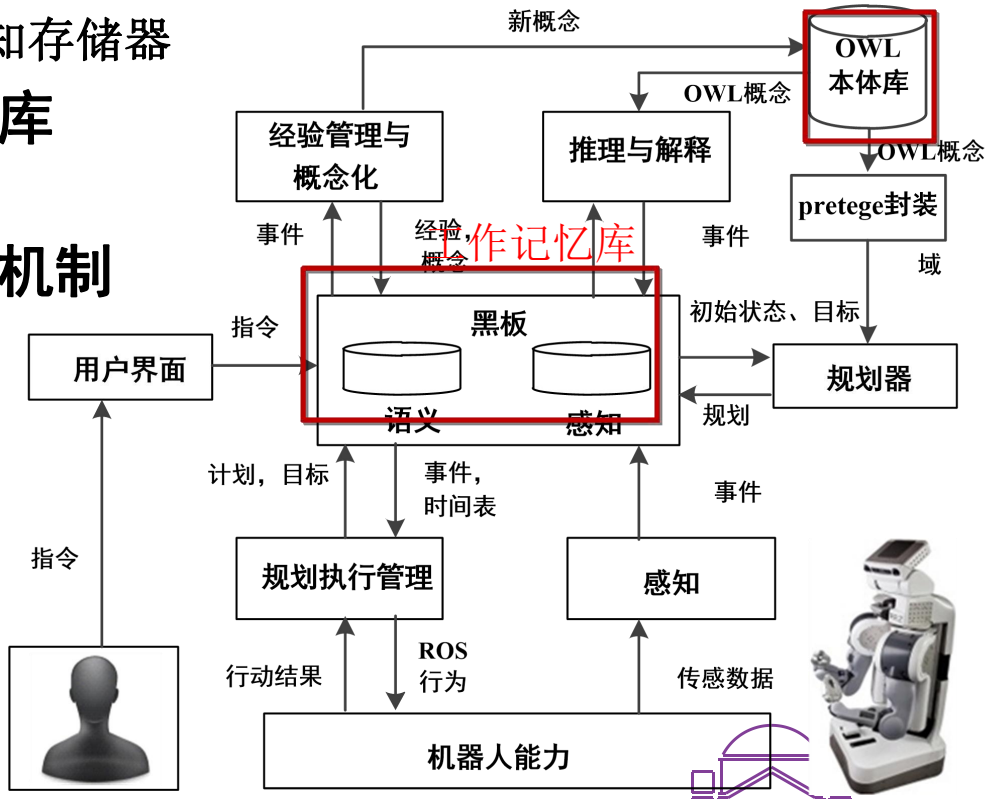
- 机器人经验的获取
  - 经验学习总体框架
  - 本体知识库构建
  - 环境经验获取
  - 基于规划的机器人活动经验获取
- 经验概念化与泛化
  - 事件概念化
  - 机器人活动概念化
- 基于经验的预测
  - 基于推测与行为评价的想象系统
  - 机器人状态预测
  - 环境状态预测
  - 任务参数预测

二、基于经验的灵巧操作

机器人经验学习总体架构

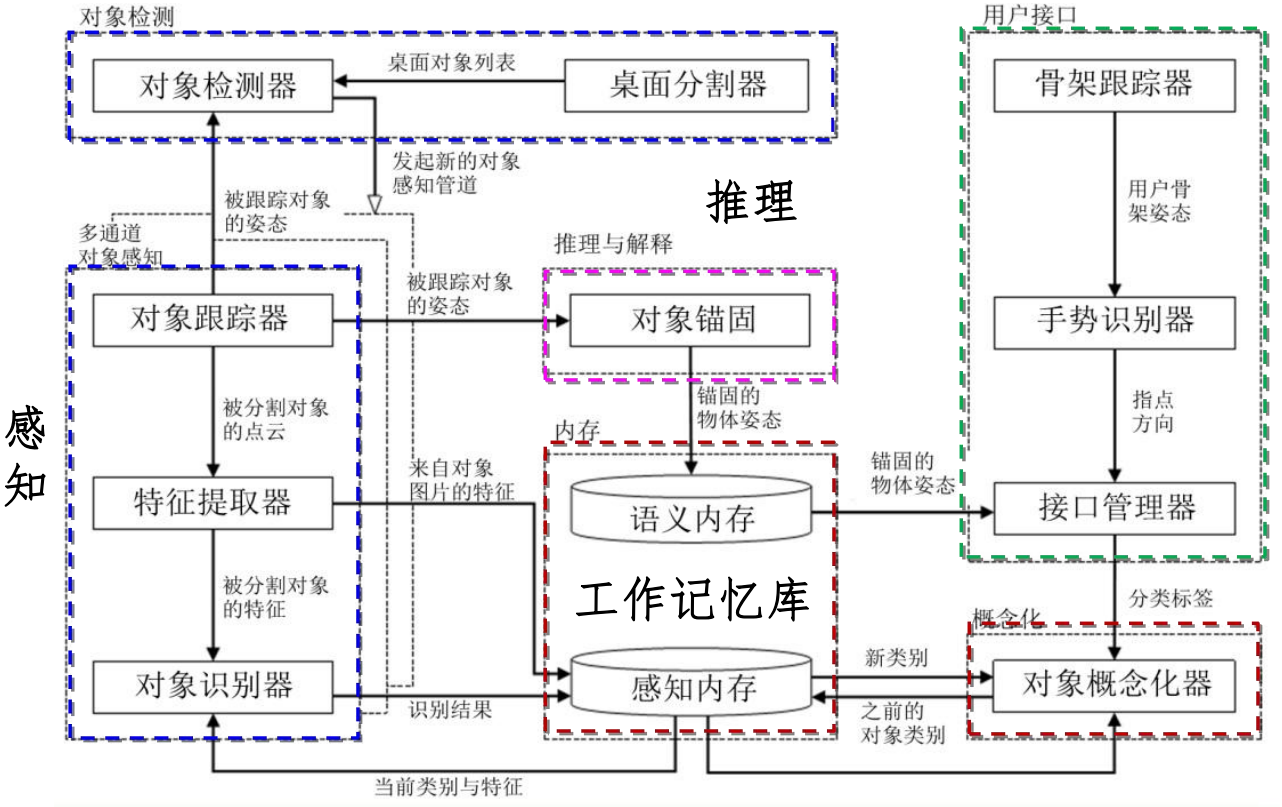
- 感知存储与语义存储分离式经验存储架构（工作记忆库）
  - 保证语义存储节点通讯实时性
  - 基于ROS nodelets设计多线程感知存储器
- 高层模型与域模型结合的知识库
  - 增强知识库的扩展性
- 记忆与推理、规划和执行融合机制





二、基于经验的灵巧操作

机器人环境经验的获取



物品的识别、感知和学习的总体结构



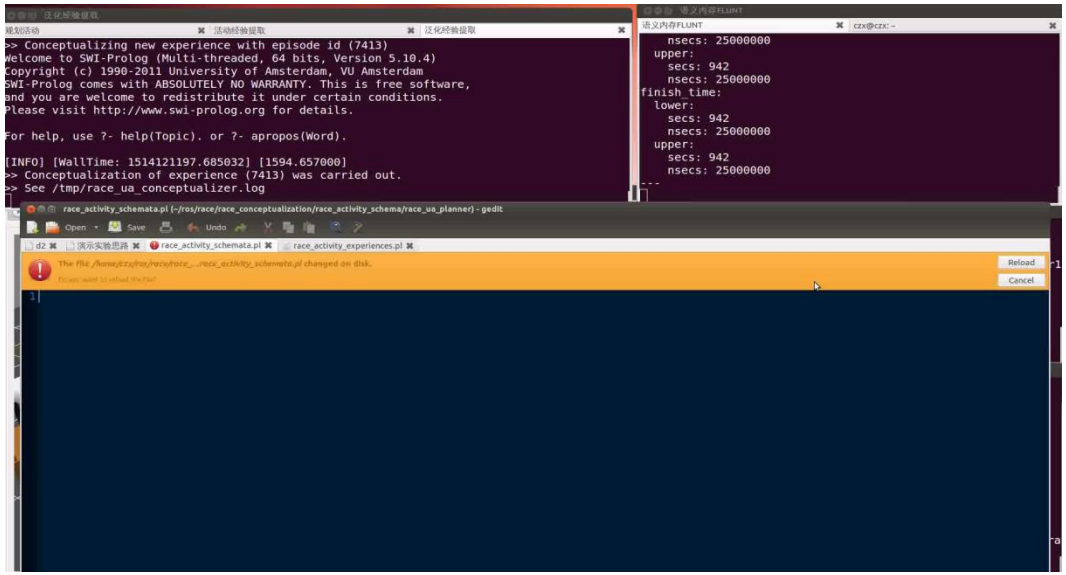
物品经验获取

虚线框：感知（对象识别、跟踪）、人机交互界面、推理和解释、存储和概念化

二、基于经验的灵巧操作

任务规划经验泛化与概念化

- 通过对任务活动参数与经验记录中对象属性相关特征提取、抽象，实现了基于活动图式的机器人任务活动经验的泛化方法。
- 开发了情境记忆中概念相关断言的搜索提取技术、概念类及其结构的定义和调整技术，实现了对经验的概念化和扩展。



概念化情景记忆片段

输入: - 本体
- 情节记忆片段, 背景知识 (机器人记录的)
- 构建新概念的情节片段中的机器人活动

过程: - 从情节记忆片段中找出相关的断言
- 对断言进行概念化
- 创建新的类定义

输出: - 更新本体的新类定义

根据正例调整概念

- 概念化示例
- 与老概念对齐
- 计算最小公共包含集
- 更新本体

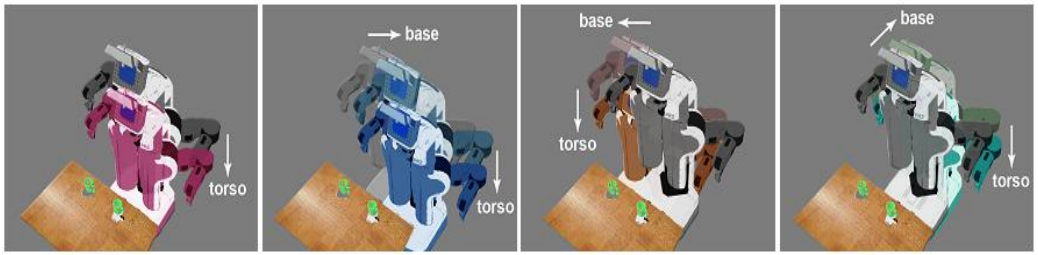
根据反例调整概念

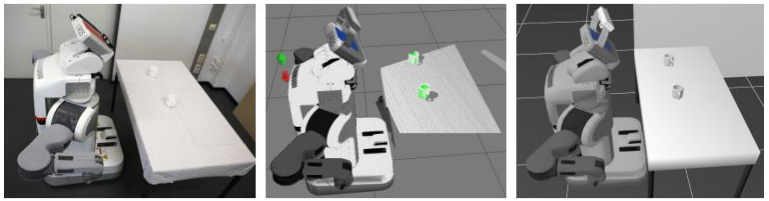
- 增加Affordance 属性以建立必需的区分属性
- 扩展对附加特征的支持

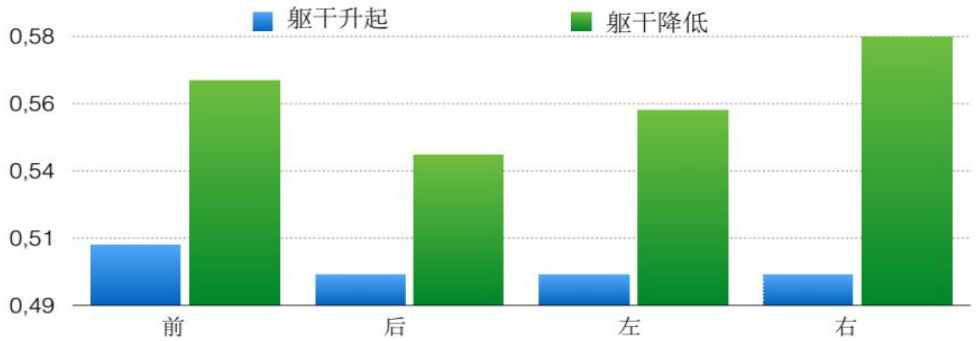
二、基于经验的灵巧操作

基于想象系统的经验预测

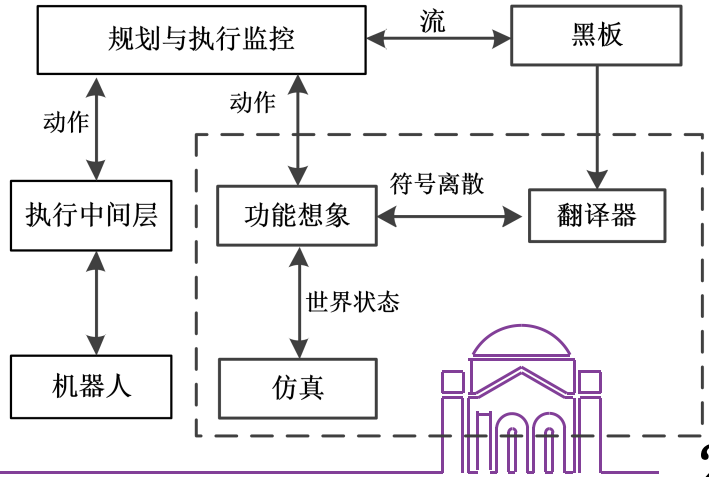
- 基于物理学的预测集成到基于规划的认知系统中，构建了想象系统，用于仿真场景的经验进行无监督学习。
- 基于想象系统经验对机器人状态、环境状态、任务参数进行预测







不同躯干和机体位置下的桌面物体抓取成功率



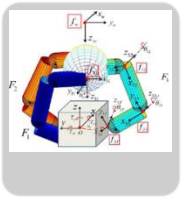
二、基于经验的灵巧操作



面向任务的机器人经验学习



面向任务的机器人自主规划



基于经验学习的机器人控制与遥操作技术

主要研究进展

经验表达、收集、概念化和预测机制

基于经验的规划、并行化和异常处理技术

机械臂精准操作、共享控制遥操作。

二、基于经验的灵巧操作

- 基于经验的任务规划
  - 基于活动图式的任务规划
  - 基于记忆状态推理的任务规划
  - 基于统筹策略的多任务并行规划
- 任务执行监控与异常处理
  - 规划双层监控
  - 高效的再规划
  - 异常处理与规划知识扩展

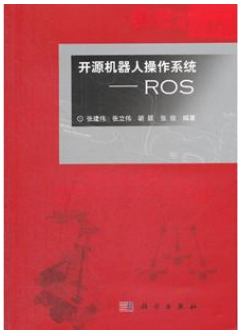
二、基于经验的灵巧操作

基于经验的任务规划

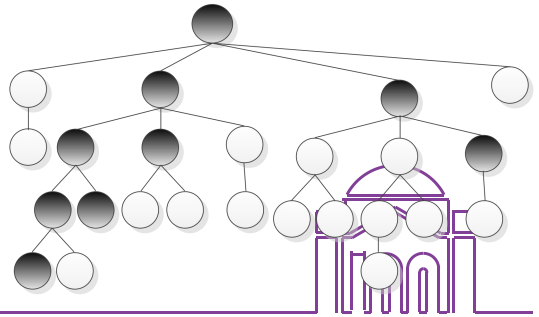
- 针对机器人在不确定环境下目标状态的缺失的问题，提出了基于记忆状态推理的任务规划方法。
- 无经验下任务规划漫无目的，提出测量规划方案与经验图式间的相似度，实现了基于经验活动图式模型的任务规划。

传送物品及异常处理：

目标位置不确定



张建伟，张立伟，胡颖，张俊. 开源机器人操作系统-ROS. 北京：科学出版社

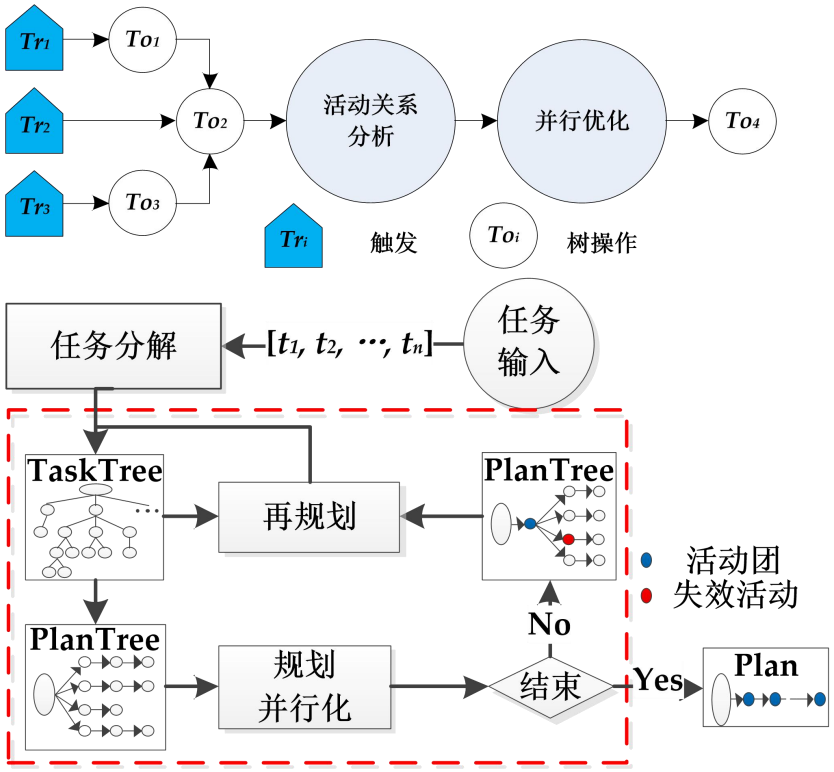


二、基于经验的灵巧操作

基于统筹策略的多任务并行规划

挑战：多任务和动态任务规划效率低下

策略：提出了一种基于统筹策略的多任务并行处理的规划方法。



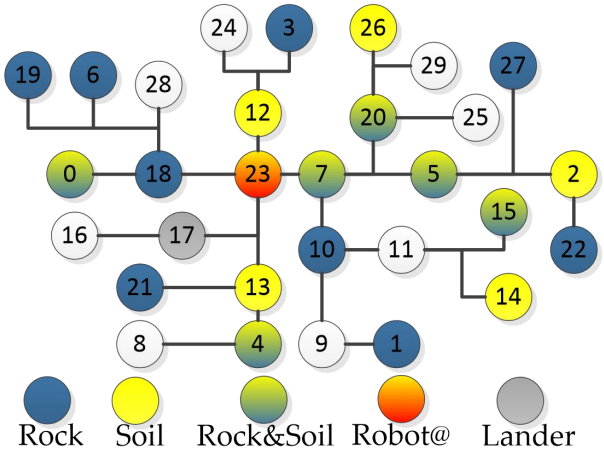
总体架构：分解-并联-再规划的循环

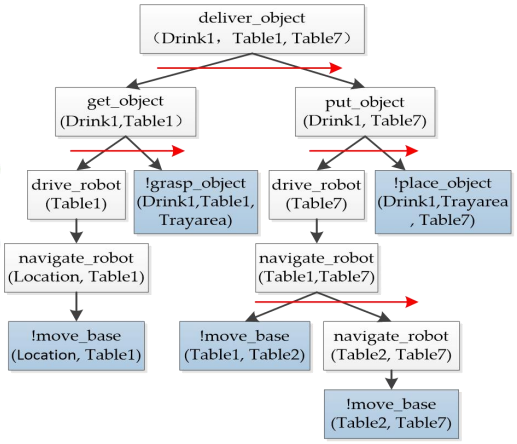
基于活动关系分析和最大加权团模型的规划并行优化



二、基于经验的灵巧操作

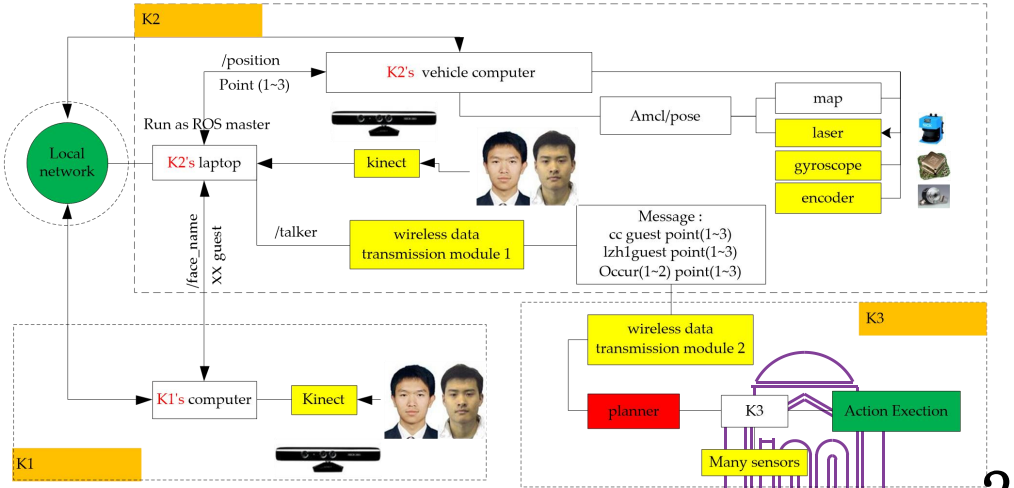
基于统筹策略的多任务并行规划





Zhixian Chen, Ying Hu, Jianwei Zhang, Multitasking Planning for Service Robot Based on Hierarchical Decomposing. ICIC Express Letters, Part B: Applications, 2016,7(1): 77-83

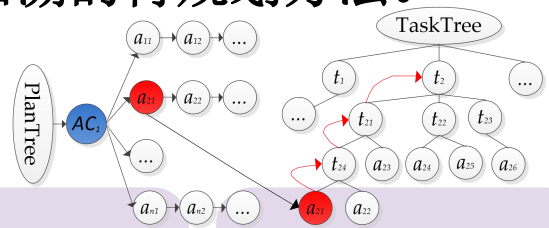
Jun Zhang, Zhixian Chen, Ying Hu, Jianwei Zhang. Multitasking Planning and Executing of Intelligent Vehicles for Restaurant Service by Networking [J].International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 2015

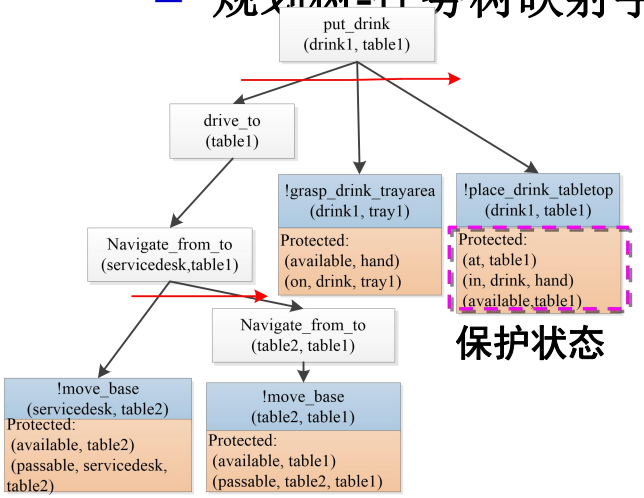


二、基于经验的灵巧操作

规划监控与异常处理

- 挑战：环境动态变化，任务规划知识扩展困难
- 建立了规划预期效果和保护状态的双层监控体系。根据保护状态监控的异常分类情形，提出了多模式处理和规划扩展策略。
- 针对再规划效率低下的问题，提出了基于局部回溯的再规划方法。
  - 只回溯到失效活动的直接父节点
  - 递归回溯直到获得规划解
  - 规划树-任务树映射字典





执行成功

- 预期效果状态确认
- 保护状态未被破坏
- 触发新活动执行

执行失败

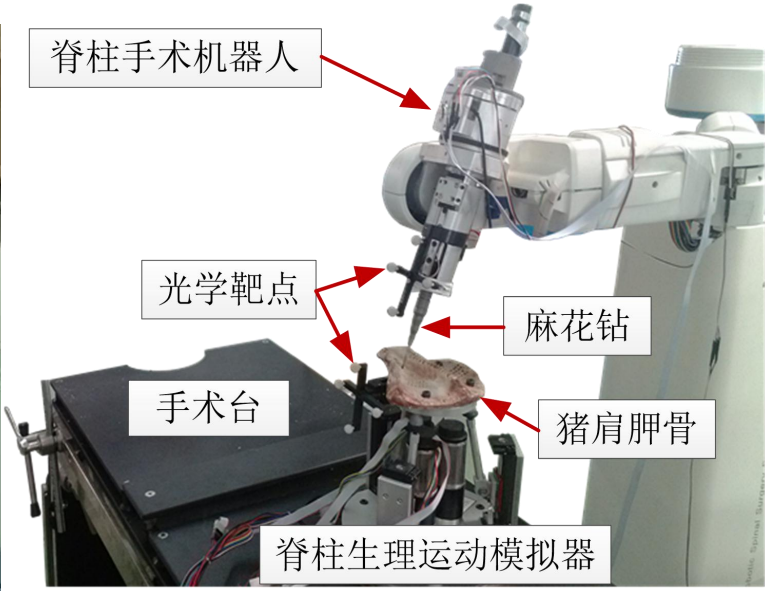
- 保护状态被破坏
- 尝试等待恢复
- 启动再规划

执行超时

- 限定时间内无法完成任务
- 认定为执行失败并再规划

二、基于经验的灵巧操作





Deng Zhen, Hu Ying, Jianwei Zhang. Fuzzy force control and state detection in vertebral lamina milling. Mechatronics, 2016, 35: 1-10.

Ying Hu, Jin Haiyang ,Jianwei Zhang. State recognition of pedicle drilling with force sensing in a robotic spinal surgical system. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2014, 19(1): 357-365.

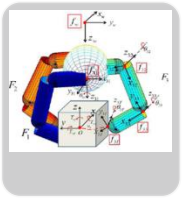
二、基于经验的灵巧操作



面向任务的机器人经验学习



面向任务的机器人自主规划



基于经验学习的机器人控制与遥操作技术

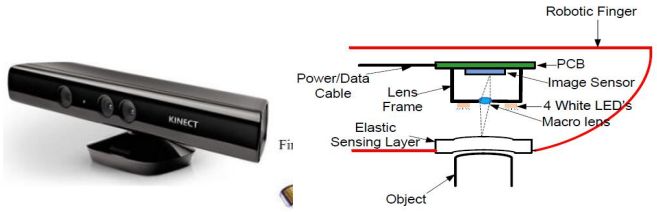
主要研究进展

经验表达、收集、概念化和预测机制

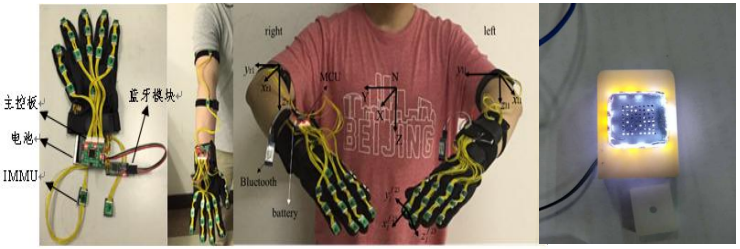
基于经验的规划、并行化和异常处理技术

机械臂精准操作、共享控制遥操作。

二、基于经验的灵巧操作



机器人视触融合感知



人机交互理解

机器人的经验执行层主要包括：

- 视触觉序列的表征与学习方法
- 基于记忆学习的人机交互与遥操作
- 基于经验学习的机器人灵巧操作

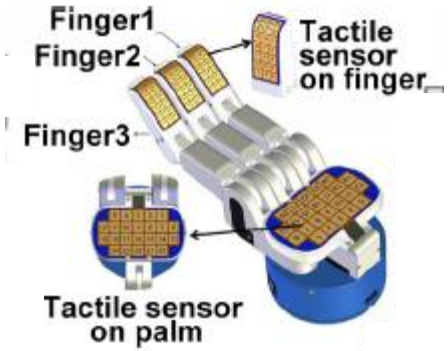


基于经验的灵巧操作

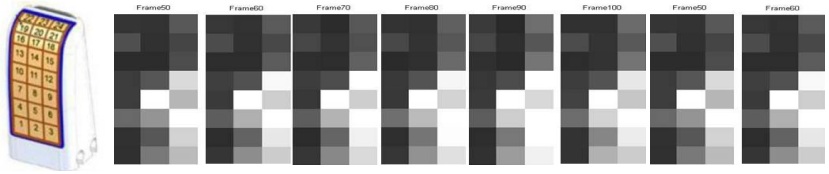
二、基于经验的灵巧操作

1）机器人视触觉序列的表征与学习方法

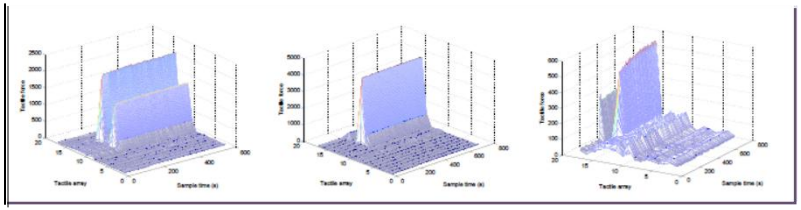




获取触觉数据　　触觉阵列



指尖触觉时间序列



Linear Dynamical System

1. 给定触觉观测序列 $y(1),...,y(\tau)$

2.估计参数矩阵 A,B,C

$$\begin{cases} x(t+1) = Ax(t) + Bv(t) \\ y(t) = Cx(t) + w(t) \end{cases}$$

3.用L阶有限观测矩阵描述触觉子序列的特征

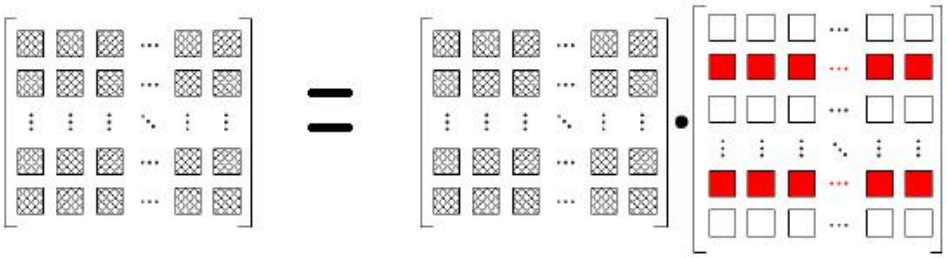
$$O = [C^{\mathrm{T}}, (CA)^{\mathrm{T}}, (CA^2)^{\mathrm{T}}, ..., (CA^{\mathrm{L}})]^{\mathrm{T}}$$

4.采用Bag of Words方法，描述每个触觉子序列的特征

二、基于经验的灵巧操作

建立了经验表示的字典学习方法

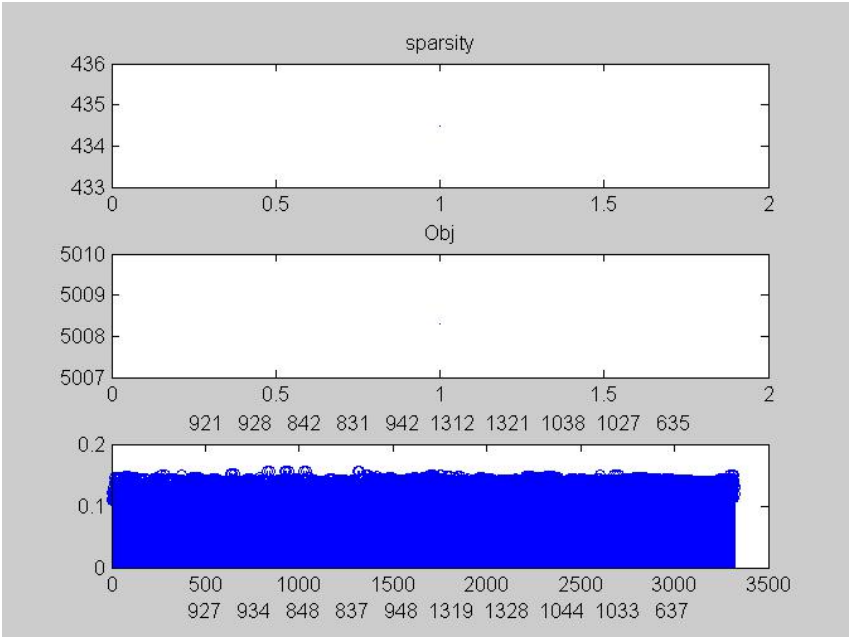
利用数据样本的“自相似性”提取经验



$$\min_{\mathbf{X}} \frac{1}{2}||\mathbf{B}-\mathbf{B}\mathbf{X}||_F^2 + \lambda||\mathbf{X}||_{2,0},$$

$$||\mathbf{X}||_{2,0} = \sum_{i=1}^{N} \delta(||\mathbf{X}^{(i)}||_2),$$

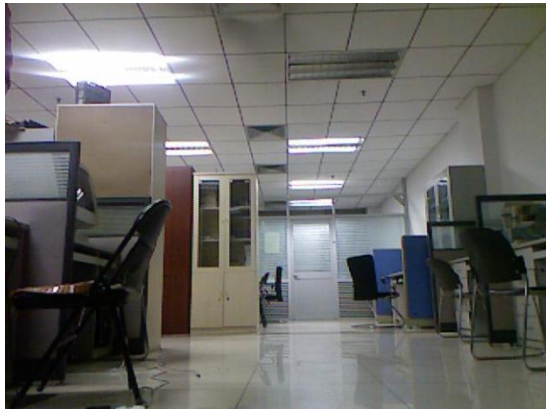
$$\min_{\mathbf{X}} \frac{1}{2}||\mathbf{B}-\mathbf{B}\mathbf{X}||_F^2 + \lambda||\mathbf{X}||_{2,1},$$



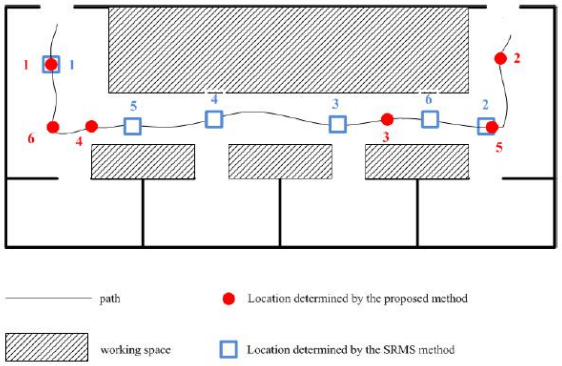
Diversified key-frame selection using structured L2,1 optimization, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol.10, no.3, 2014, pp.1736-1745

二、基于经验的灵巧操作

实现了移动机器人场景经验提取









Diversified key-frame selection using structured L2,1 optimization, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol.10, no.3, 2014, pp.1736-1745

二、基于经验的灵巧操作

鲁棒经验提取

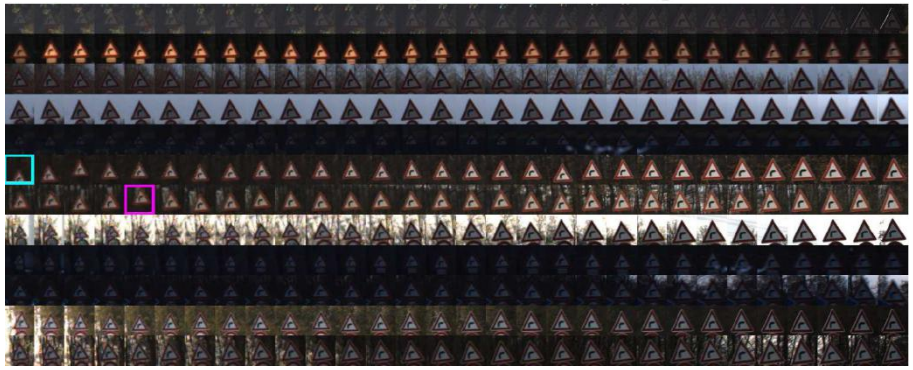


D X E

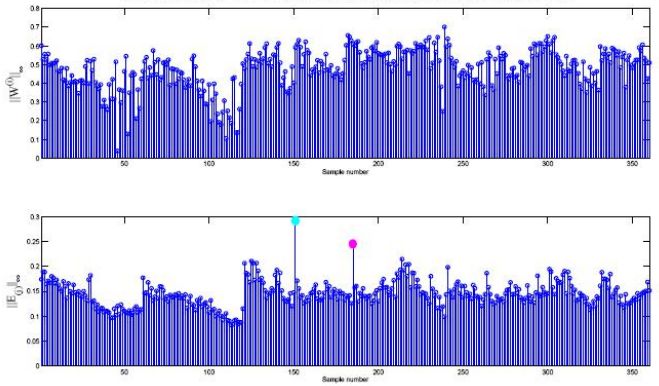
$$\min_{\mathbf{X}} ||\mathbf{X}||_{2,1} + \lambda||\mathbf{D} - \mathbf{DX}||_F^2.$$

$$\min_{\mathbf{X},\mathbf{E}} ||\mathbf{X}||_{2,1} + \lambda||\mathbf{E}||_{1,2}, \quad \text{s.t.} \quad \mathbf{D} - \mathbf{DX} = \mathbf{E}.$$

$\mathbf{D} =$ $[\mathbf{d}_1\ \mathbf{d}_2\ \mathbf{d}_3\ \cdots\ \mathbf{d}_{N-1}\ \mathbf{d}_N] \cdot$ Row sparse $+$ Column sparse



The results for the 21st class in GTSRB dataset



Robust exemplar extraction using structured sparse coding, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol.26, no.8, 2015, pp.1816-1821

二、基于经验的灵巧操作

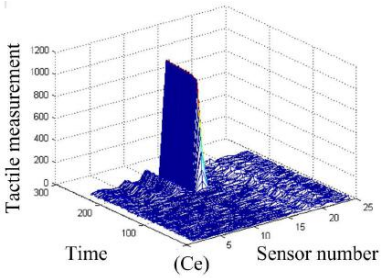
设计了经验学习的多模态融合感知方法

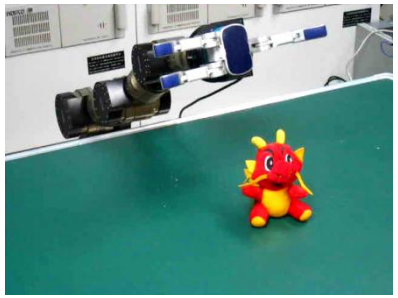
视觉经验与触觉经验的融合是高效操作的关键！

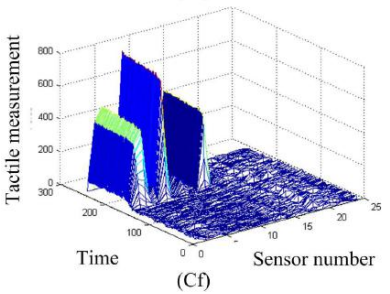
主要难点

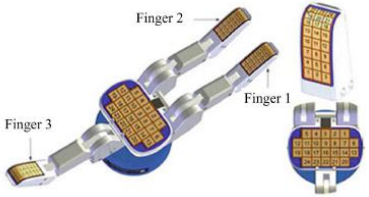
- 触觉动力学特性的特征提取难
- 训练样本量少，应用深度学习难
- 与视觉等其它模态感知信息融合难







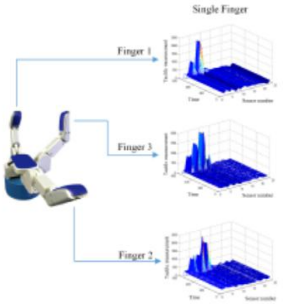




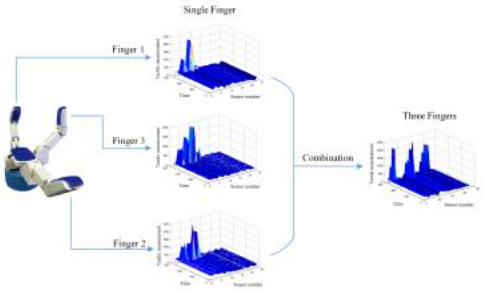


二、基于经验的灵巧操作

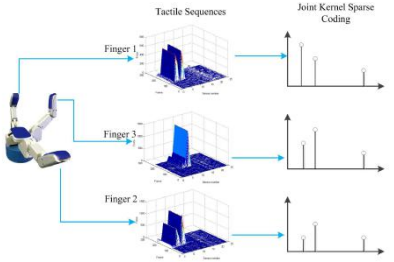
Separate coding



Combined coding



Joint coding



有效地建模“指间”关系

$$Sp(\boldsymbol{x}^{(1)}) = Sp(\boldsymbol{x}^{(2)}) = \cdots = Sp(\boldsymbol{x}^{(M)}),$$

$$\min_{\boldsymbol{X}} \sum_{m=1}^{M} ||\Phi(\mathbf{S}^{(m)}) - \Phi(\mathcal{S}^{(m)})\boldsymbol{x}^{(m)}||_F^2 + \lambda||\boldsymbol{X}||_{2,1}$$

Object recognition using tactile measurements: Kernel sparse coding methods,IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.65, no.3, 2016, pp.656-665

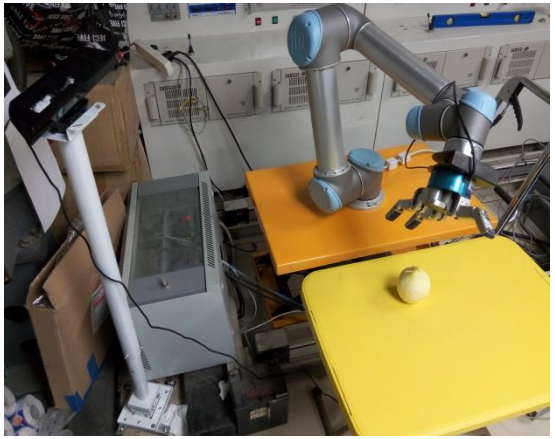
二、基于经验的灵巧操作

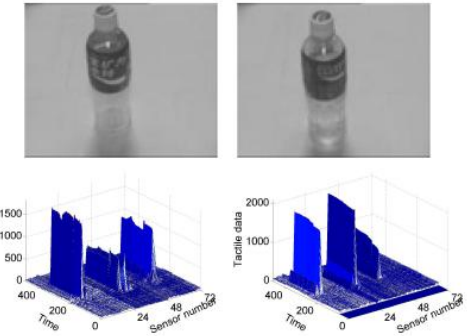
视触觉融合

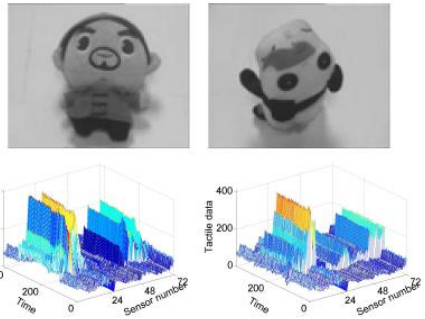








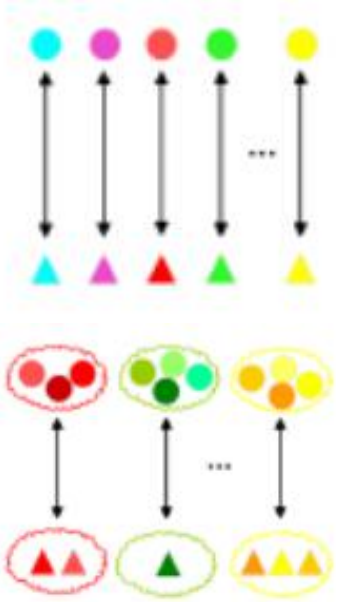




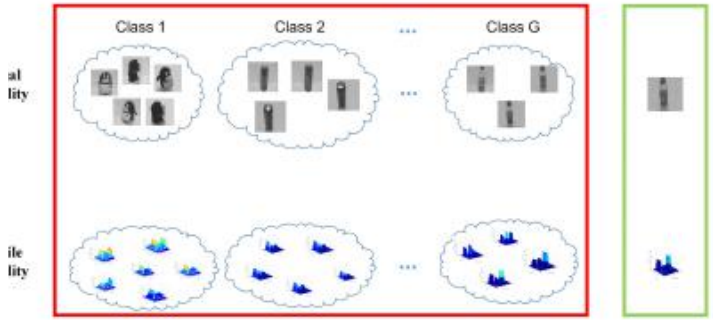
Visual-tactile fusion for object recognition, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol.14, no.2, 2017, pp.996-1008

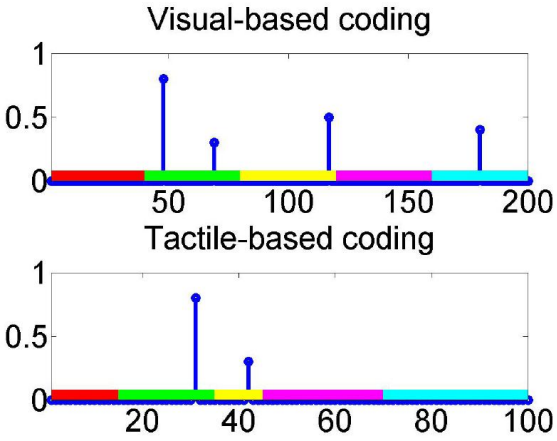
二、基于经验的灵巧操作

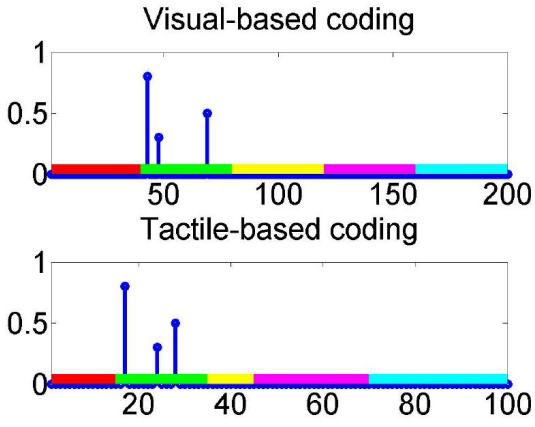
多模态感知信息融合的弱配对









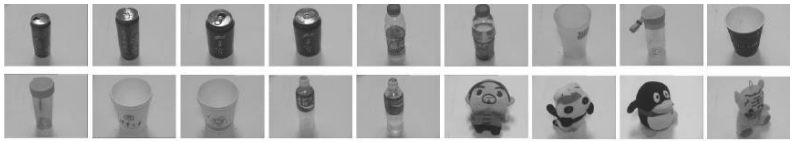


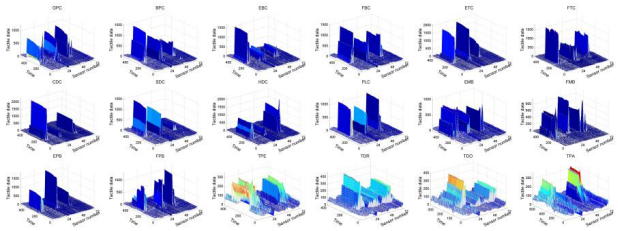
$$\min_{\boldsymbol{x}_m} \sum_{m=1}^{M} \{||\Phi_m(\mathbf{O}_m) - \Phi_m(\mathcal{O}_m)\boldsymbol{x}_m||_2^2 + \lambda_m||\boldsymbol{x}_m||_1\},$$

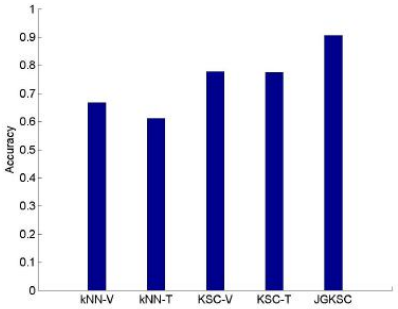
$$\min_{\boldsymbol{x}_m} \sum_{m=1}^{M} \{||\Phi_m(\mathbf{O}_m) - \Phi_m(\mathcal{O}_m)\boldsymbol{x}_m||_2^2 + \lambda_m||\boldsymbol{x}_m||_1\} + \lambda||\mathbf{X}||_{2,1},$$

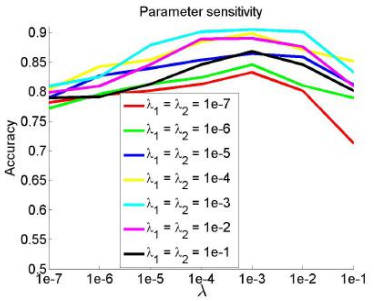
二、基于经验的灵巧操作

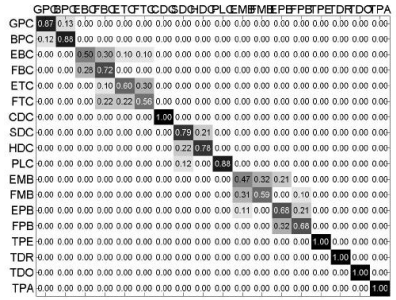


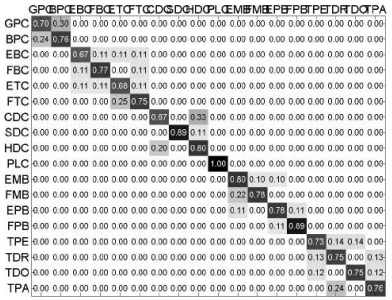




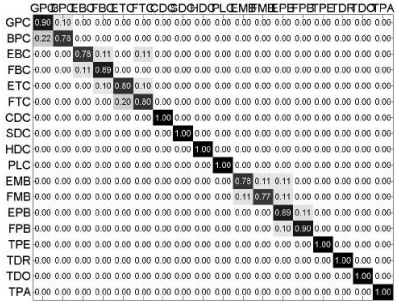








视觉1　　触觉



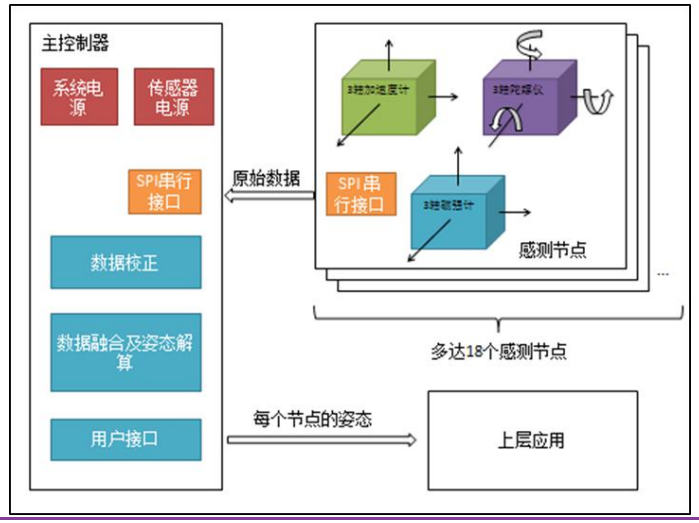
视触融合

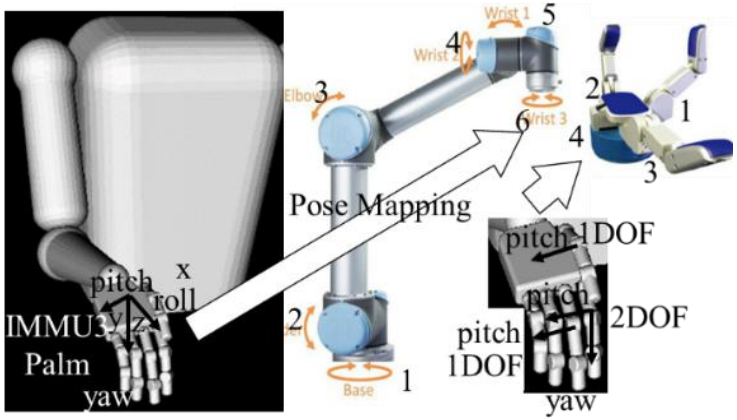
二、基于经验的灵巧操作

2）基于记忆学习的人机交互与遥操作

研制了一款新型数据手套，其传感器分布于手臂与手指，实现基于该数据手套的机器人遥操作。同时，通过数据手套捕获人手臂的操作信息，由经验学习指导机器人操作。





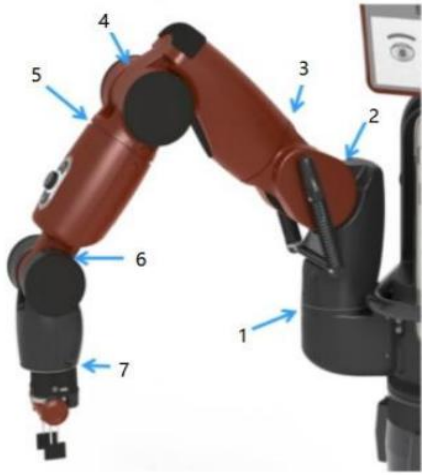


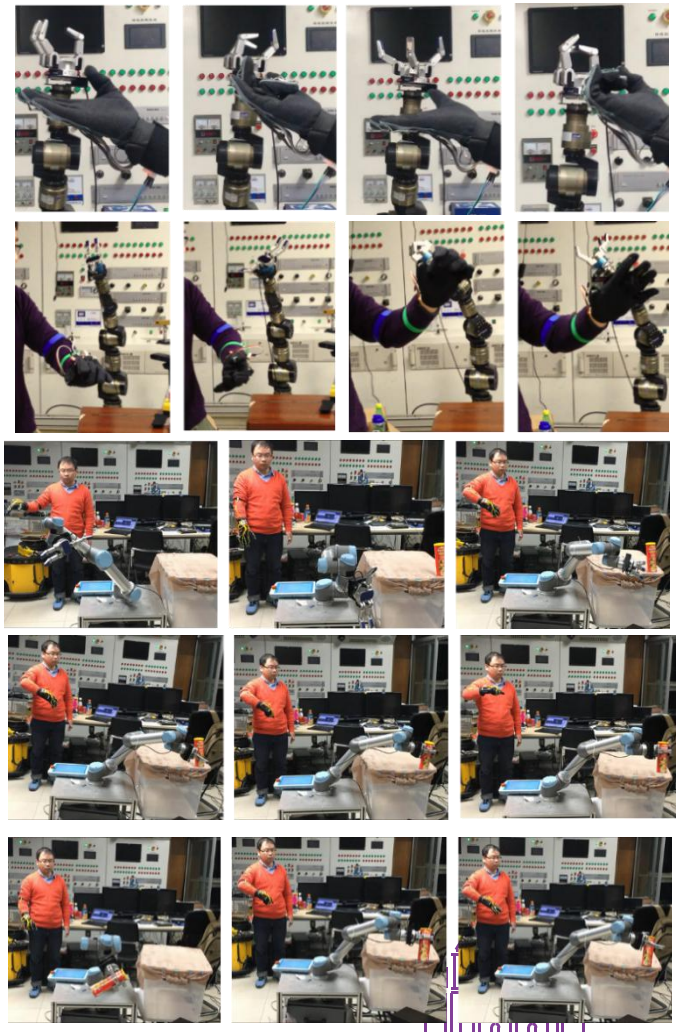
“3D human gesture capturing and recognition by the IMMU-based data glove,” ELM2016, Best paper award.

二、基于经验的灵巧操作



mapping





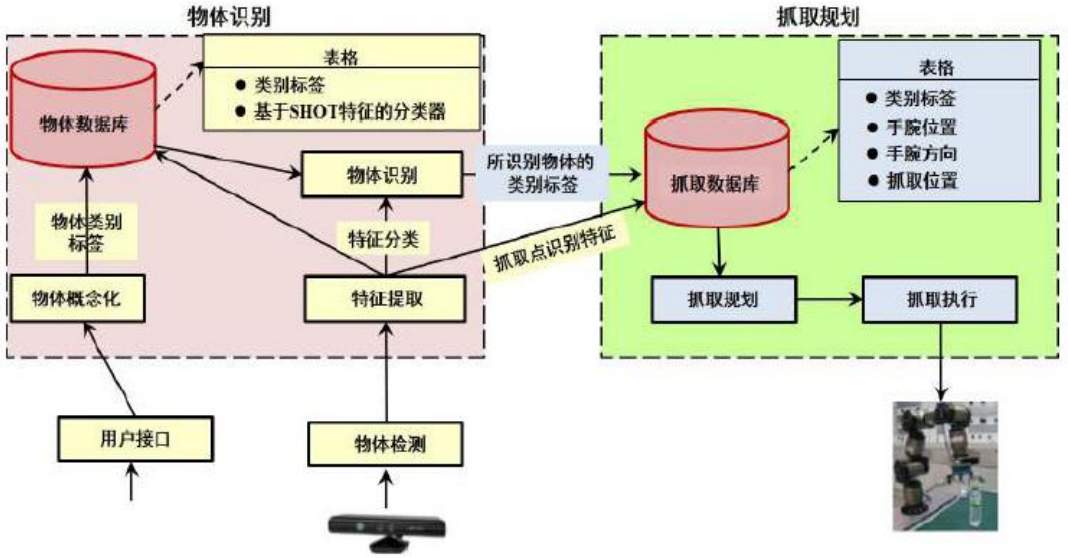




二、基于经验的灵巧操作

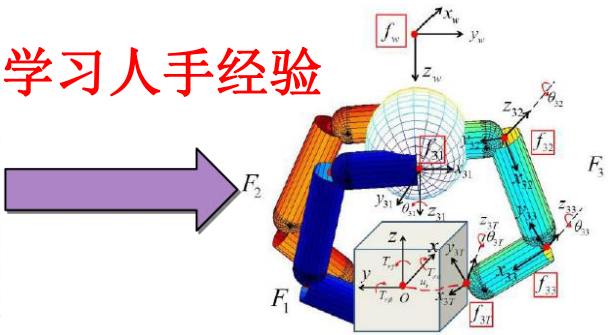
3）基于经验学习的机器人灵巧操作

提出一种基于经验学习的抓取规划模型，将人类关键手指与手腕的经验信息融入机器人的操作规划中，有效地降低了逆运动学求解的复杂程度，同时能够体现人手的操作意图。



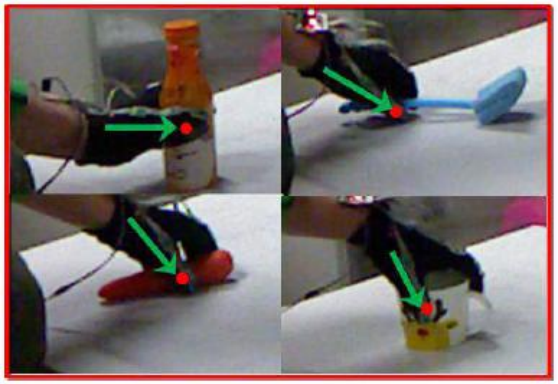


学习人手经验

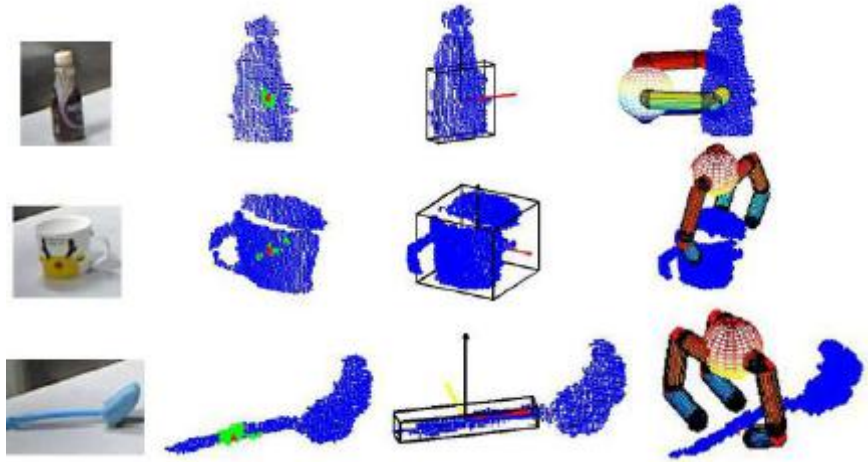


F. Sun, C. Liu, W. Huang and J. Zhang: “Object Classification and Grasp Planning using Visual and Tactile Sensing”, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics: Systems, Vol.46, No.7, pp. 969-979, 2016.7. (SCI, IF：2.169)

二、基于经验的灵巧操作



人手-经验库

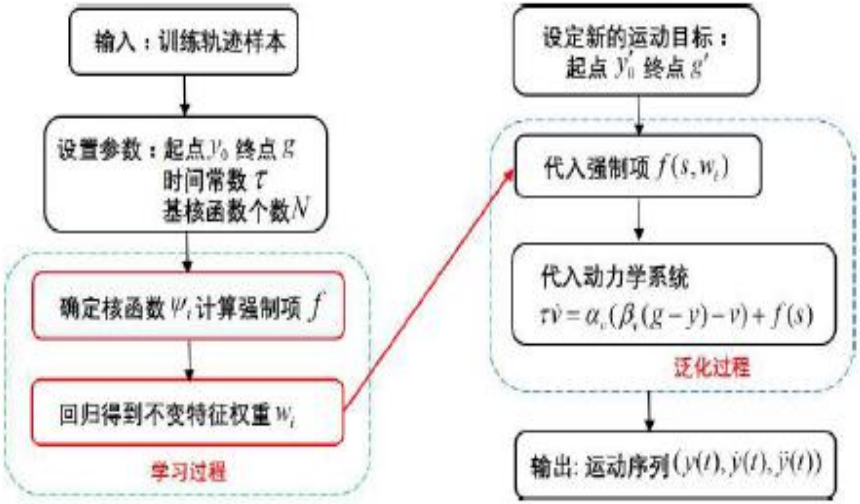


经验库-机器人



二、基于经验的灵巧操作

提出用动态运动基元来描述机器人示教轨迹的不变特征，并实现泛化与轨迹再生成，为机器人完成复杂任务奠定基础。





机器人示教运动轨迹



应用学习所获得的技能重新生成轨迹



用新起始点生成轨迹

Chunfang Liu, Fuchun Sun,Grasp Planning by Human Experience on a Variety of Objects with Complex Geometry IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and Systems，2015

Outline



1. 脑启发的行为智能
2. 基于经验的灵巧操作？
3. **知识与数据结合的灵巧操作？**
4. 团队的相关工作
5. 未来展望

三、知识与数据结合的灵巧操作

如何像人一样操作?

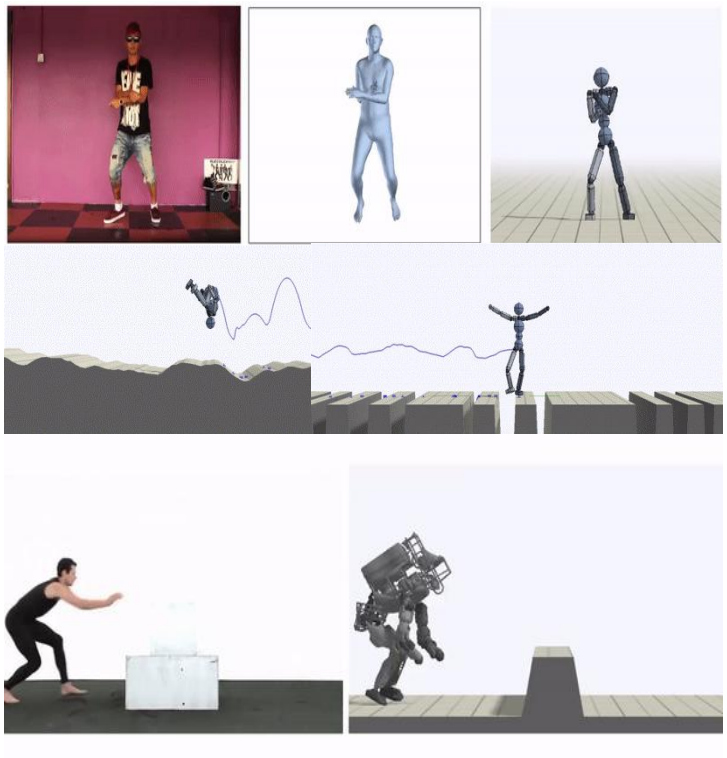
- 眼：通过观察其他人的行为结果学习策略
- 手：通过反复试错尝试积累交互操作经验
- 脑：通过大量任务学习建立环境描述模型







三、知识与数据结合的灵巧操作



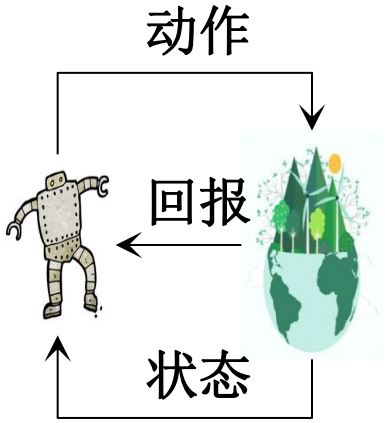
学习方法

- 依赖效用函数，示教，倾向性
- 较少依赖人的直接调参
- 不依赖系统模型
- 较差的可解释性，较强的任务普适性
- 可以应对多种传感信号，如图像文字

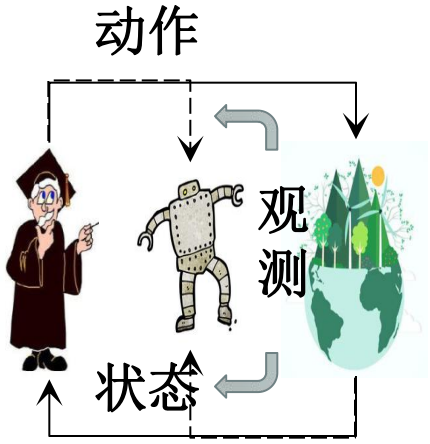
控制方法

- 依赖系统模型
- 依赖人的直接计算与调参
- 较强的可解释性，较差的任务普适性
- 当输入信号不是被控目标时，需要结合其他识别手段

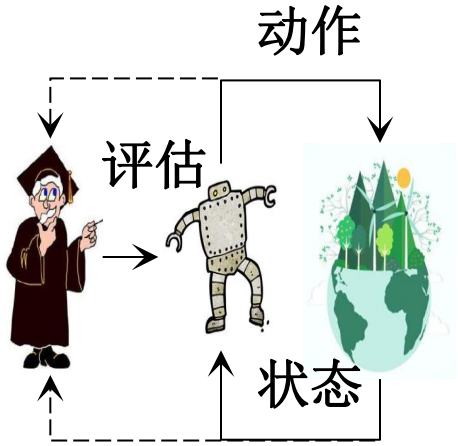
三、知识与数据结合的灵巧操作



强化学习：智能体和环境交互，最大化获得的回报



模仿学习：智能体观测专家和环境交互过程，学习专家行为逻辑



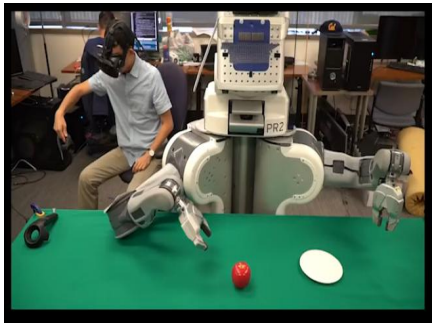
偏好学习：专家观测并评估智能体和环境交互过程，智能体学习最大化专家评估的策略

三、知识与数据结合的灵巧操作

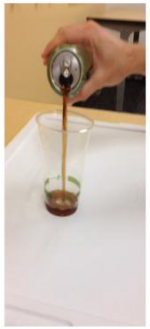
操作技能学习——主动模仿学习



直接示教：拖拽



间接示教：遥操作





主动示教、观测示教

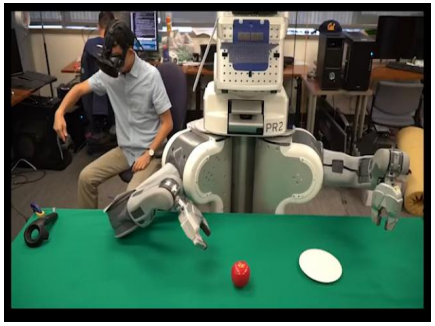
Chao Yang, Xiaojian Ma, Fuchun Sun, et al. Imitation Learning from Observations by Minimizing Inverse Dynamics Disagreement.

三、知识与数据结合的灵巧操作

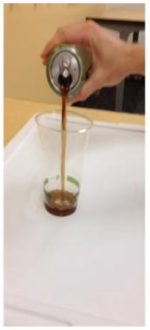
通过最小化逆动力不一致性实现基于观测的主动模仿学习



直接示教：拖拽



间接示教：遥操作



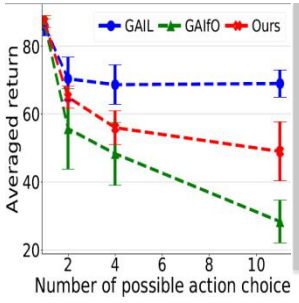


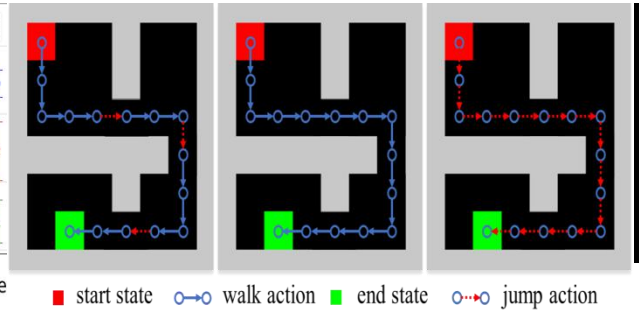
主动示教、观测示教

Chao Yang, Xiaojian Ma, Fuchun Sun, et al. Imitation Learning from Observations by Minimizing Inverse Dynamics Disagreement.

三、知识与数据结合的灵巧操作

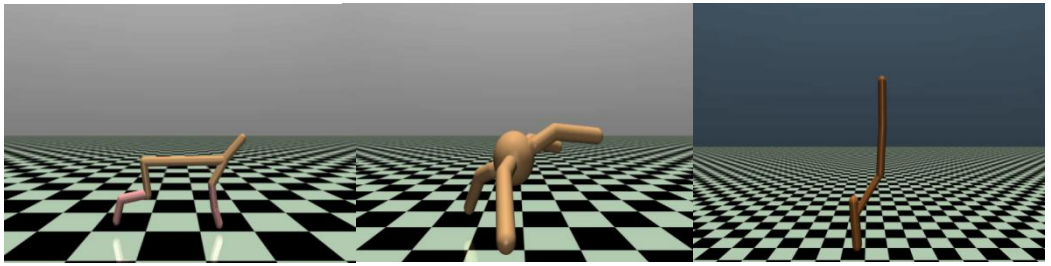
通过最小化逆动力不一致性实现基于观测的主动模仿学习







Num. of Action	1	2	4	11
GAIL [4]	86.0±3.0	70.4±6.4	68.7±5.8	69±4.0
GAIfO [10]	86.8±1.3	55.7±11.9	48.3±9.3	28.3±6.2
Ours	87.3±1.8	65.0±3.3	56.0±5.0	49.0±8.6



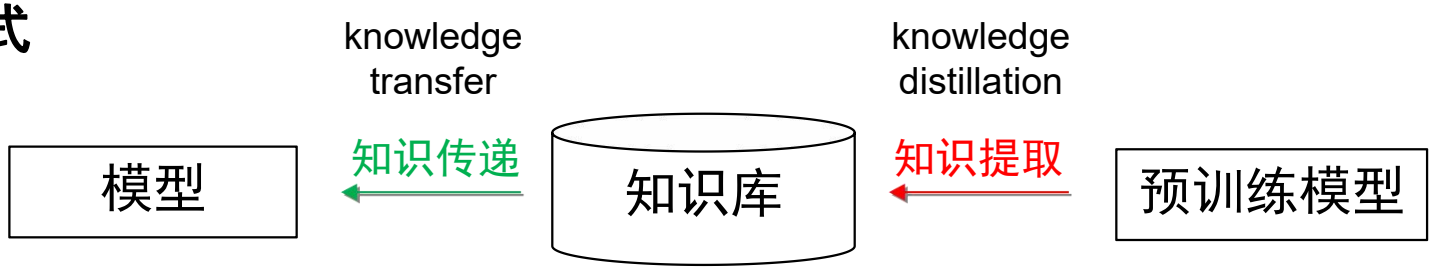
Chao Yang, Xiaojian Ma, Fuchun Sun, et al. Imitation Learning from Observations by Minimizing Inverse Dynamics Disagreement.

三、知识与数据结合的灵巧操作

知识利用的两种形式

传统做法：离线

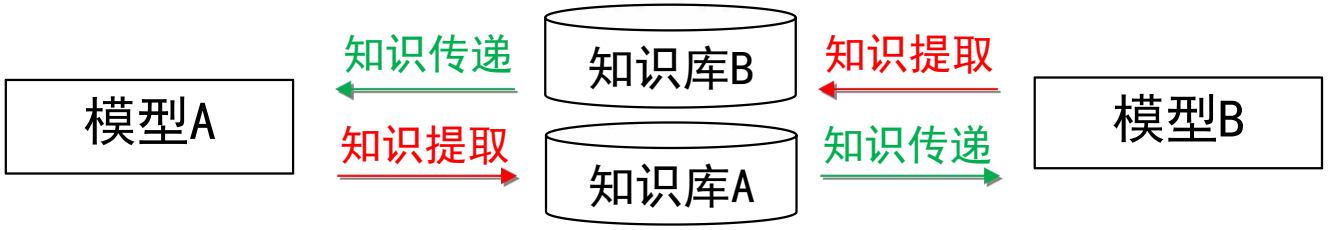
知识库离线获得
知识并不再更新



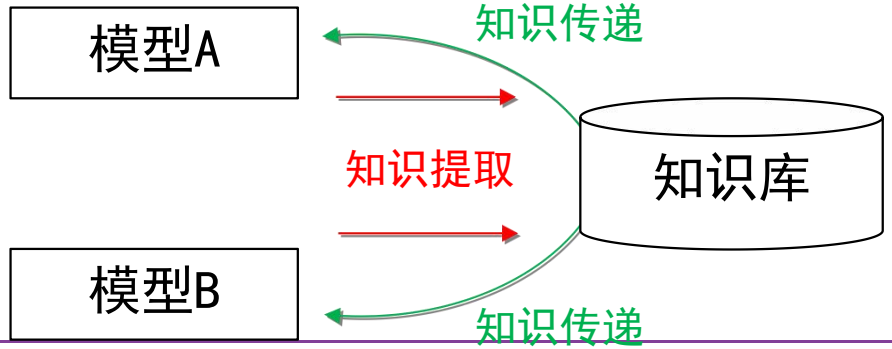
最新做法：在线（闭环）

知识库在线更新

方式一：原地知识迁移：
inplace knowledge distillation and transfer



方式二：知识聚集并迁移：
knowledge distillation, ensemble and transfer

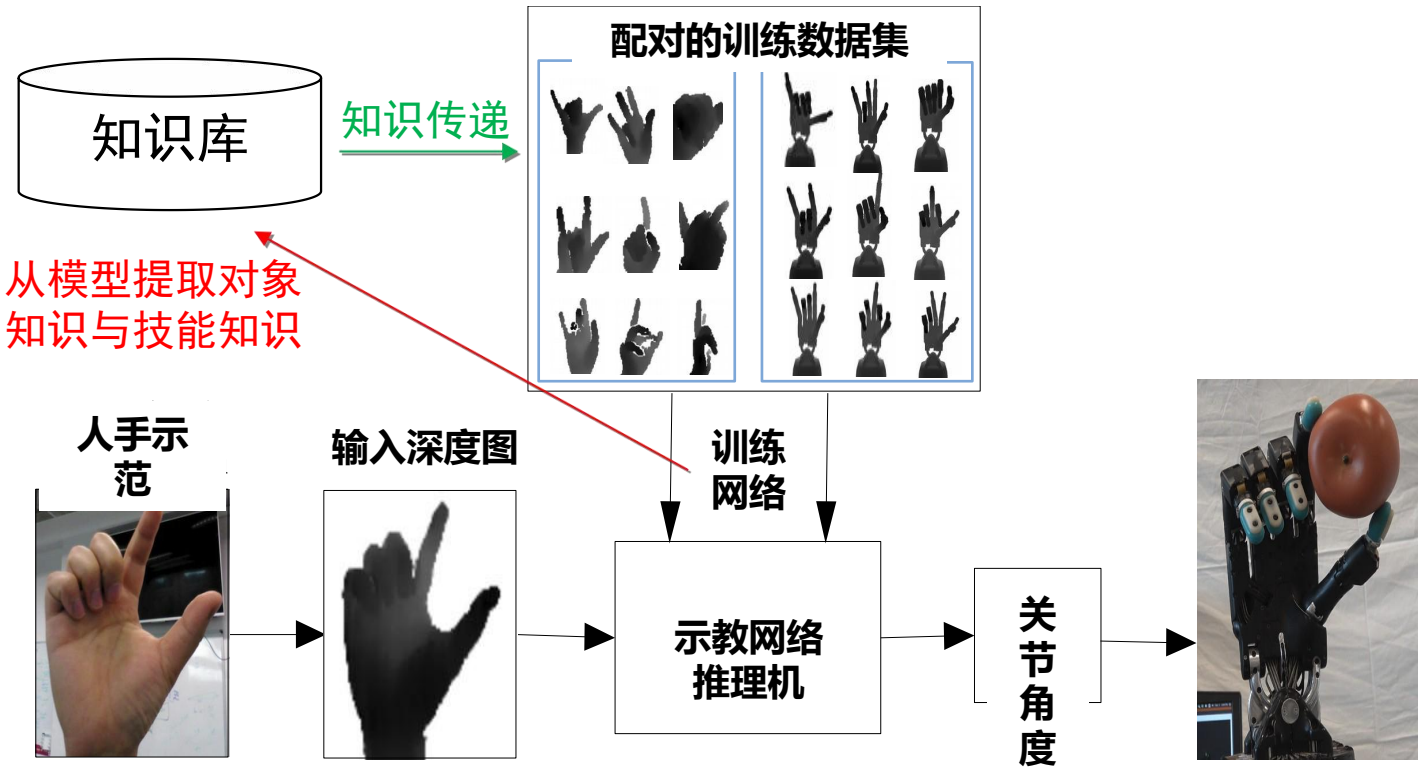


形成闭环、在线更新：

- 从模型提取对象知识
- 从模型提取场景知识
- 从模型提取技能知识

三、知识与数据结合的灵巧操作

基于深度卷积特征对齐的端到端灵巧手遥操作模型

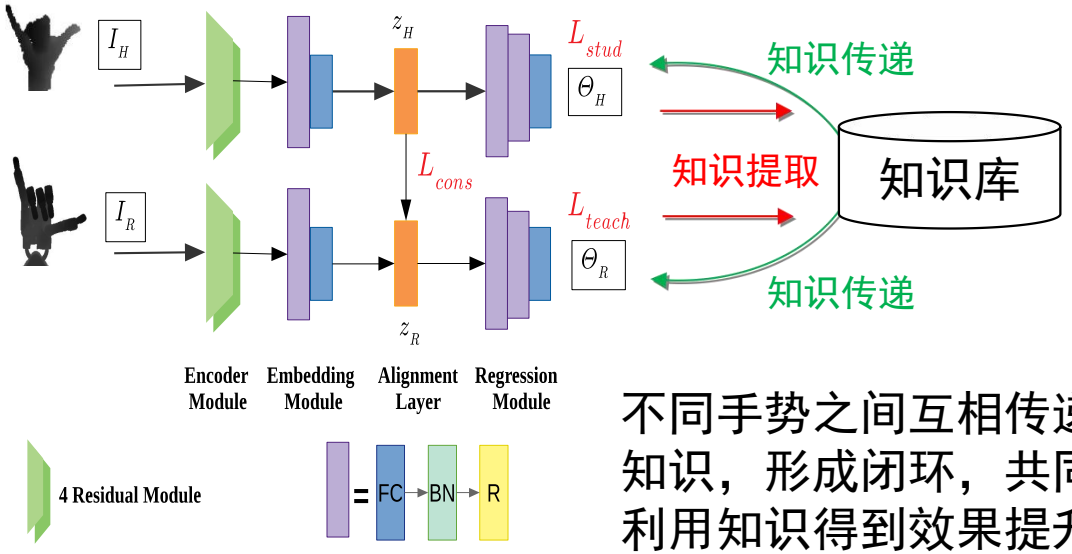


Xiaojian Ma, Shuang Li, Hongzhuo Liang, Michael Görner, Philipp Ruppel, Bing Fang, Fuchun Sun, Jianwei Zhang. Vision-based Teleoperation of Shadow Dexterous Hand using End-to-end Deep Neural Networks, ICRA 2019.

三、知识与数据结合的灵巧操作

基于深度卷积特征对齐的端到端灵巧手遥操作模型





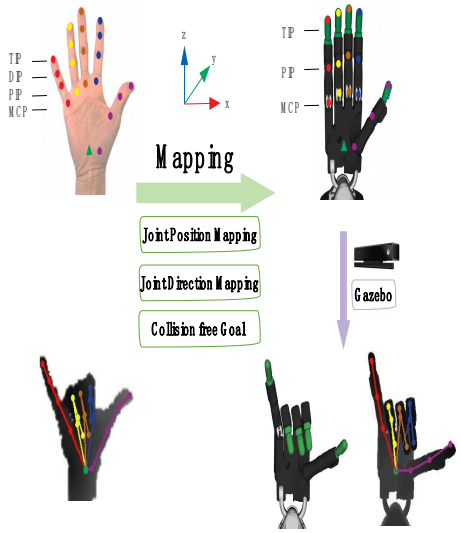
不同手势之间互相传递知识，形成闭环，共同利用知识得到效果提升

离线示教数据采集与映射

TeachNet 网络结构

Xiaojian Ma, Shuang Li, Hongzhuo Liang, Michael Görner, Philipp Ruppel, Bing Fang, Fuchun Sun, Jianwei Zhang. Vision-based Teleoperation of Shadow Dexterous Hand using End-to-end Deep Neural Networks, ICRA 2019.

三、知识与数据结合的灵巧操作





知识库流程思考点

1. 知识抽取：
   ① “The shadow depth images from nine viewpoints->one human gesture”（手势姿态实体）
   ② 从多模态信息（视频、音频、触觉）中分割技能、动作。
2. 知识表示：与多模态信息的联合表征.
3. 知识融合：实体消歧（多层次知识之间，详见下一页）
4. 知识推理：
   ① 推理两个手势之间的过度动作，实现非完整动作序列的自动补全与识别。
   ② 类推当前技能到不同的对象目标，实现技能迁移。
   ③ 依据技能间的层级关系，探索由简单技能生成复杂技能，实现技能增强。

三、知识与数据结合的灵巧操作

实体消歧：单手势与联合上下文后的含义可能会不同，如何识别？

举例：五指张开的手势

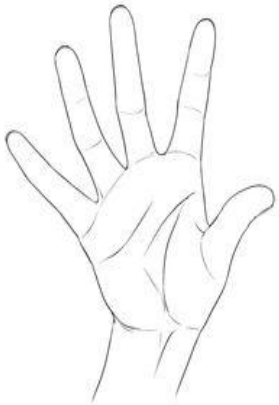
单手势：可能表示拒绝或数字5.

连续上下文结合->动作（上层实体）：挥手。

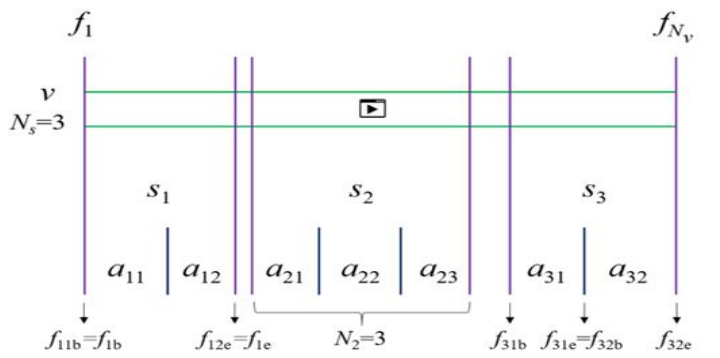
可能表示拒绝或打招呼或告别，具体需根据环境判断

离散上下文结合->集合：计数。表示数字5（上下文为数字4、6）

实体	属性	关系
gesture	1.关节位置 2.含义：拒绝、5	上下文： 1.连续（action） 2.离散（计数）
action	1.关键帧 2.轨迹 3.含义：拒绝/打招呼/告别（环境）、击掌（交互）	……

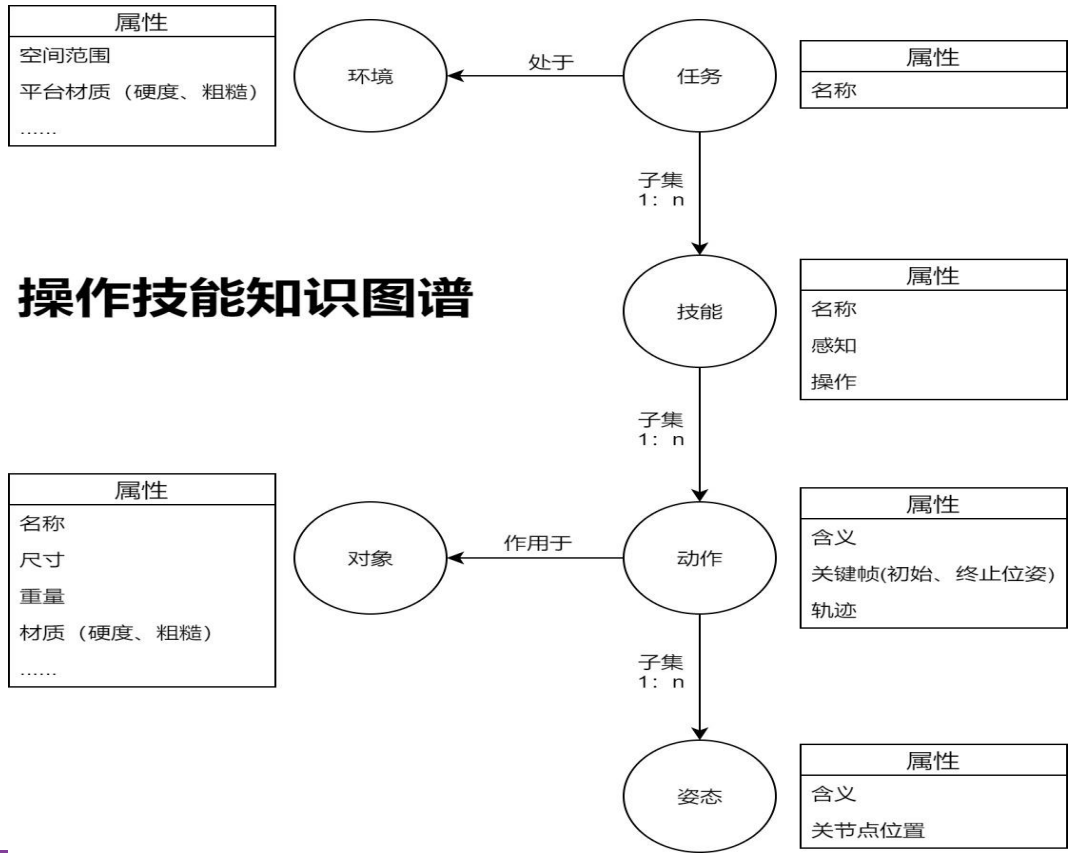


三、知识与数据结合的灵巧操作





参考论文MASD：A Multimodal Assembly Skill Decoding System for Robot Programming by Demonstration，关于如何从视频中提取技能。个人参考了其对于技能、动作的分割，设计了操作技能的知识图谱框架，还需修改完善。

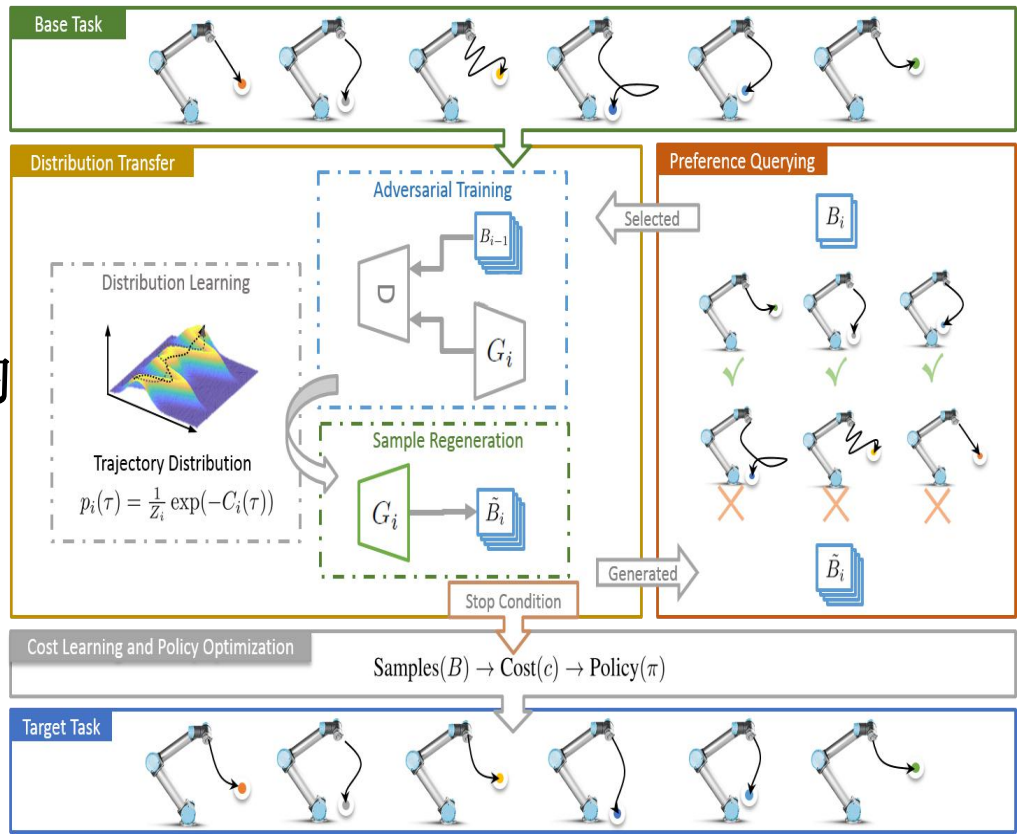


三、知识与数据结合的灵巧操作



三、知识与数据结合的灵巧操作

操作技能学习——从模仿与偏好中学习操作技能



分布学习

环境交互
&
样本采集

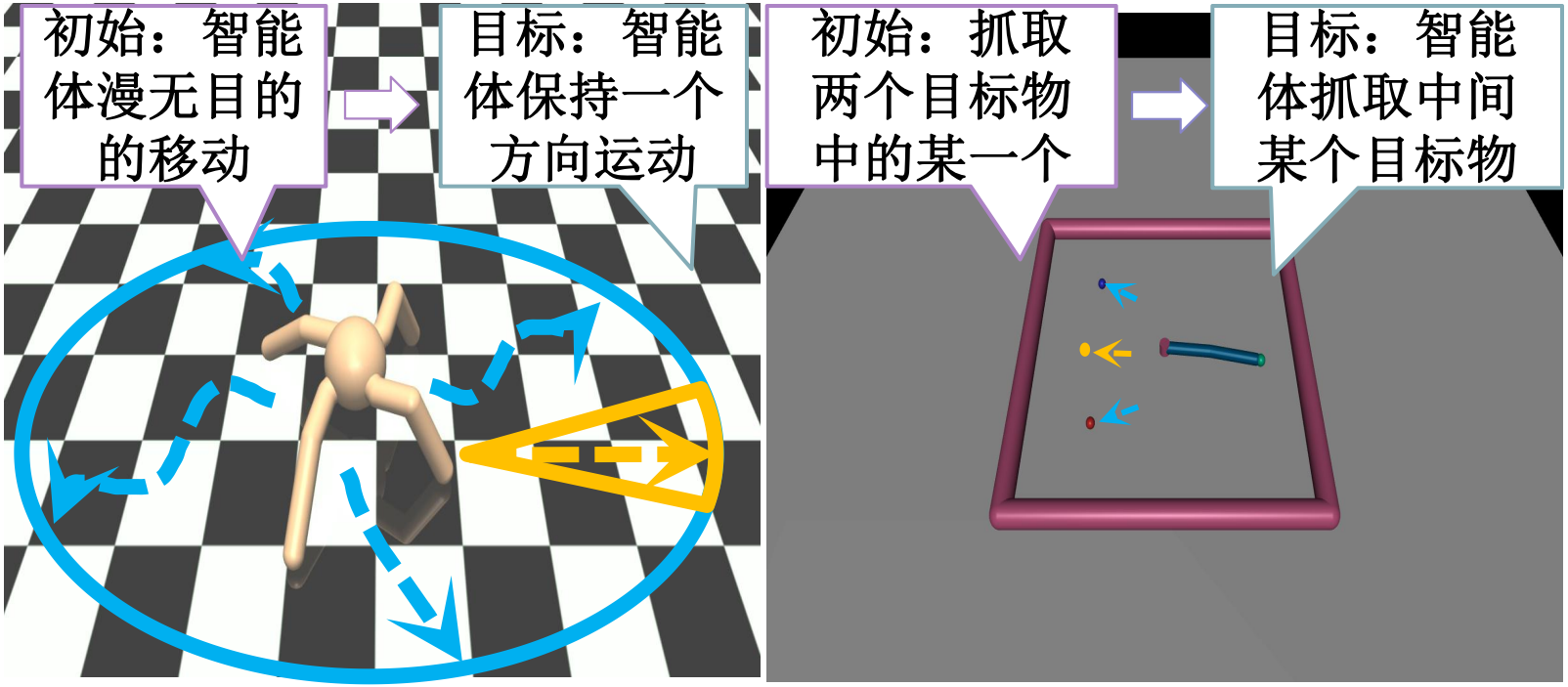
专家评估（选择）

还原逐时刻效用
并以此优化策略
更符合评估的行为

Mingxuan Jing, Xiaojian Ma, Wenbing Huang, Fuchun Sun, Huaping Liu. Task transfer by preference-based cost learning. AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI).

三、知识与数据结合的灵巧操作

基于倾向性选择的任务迁移



Mingxuan Jing, Xiaojian Ma, Wenbing Huang, Fuchun Sun, Huaping Liu. Task transfer by preference-based cost learning. AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI).

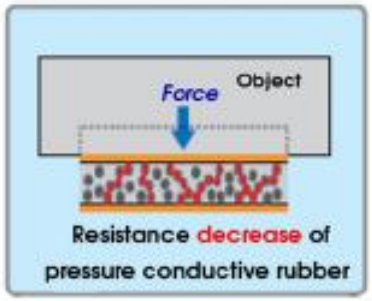
Outline



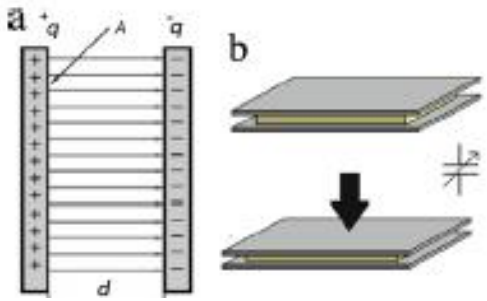
1. 脑启发的行为智能
2. 基于经验的灵巧操作
3. 知识和数据集合的灵巧操作
4. **团队相关工作**
5. 未来展望

机器人操作的触觉感知

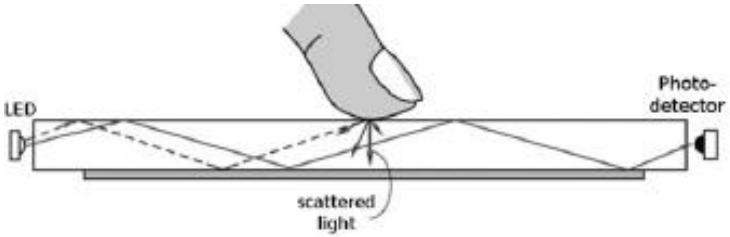
触觉传感器类型



压阻式



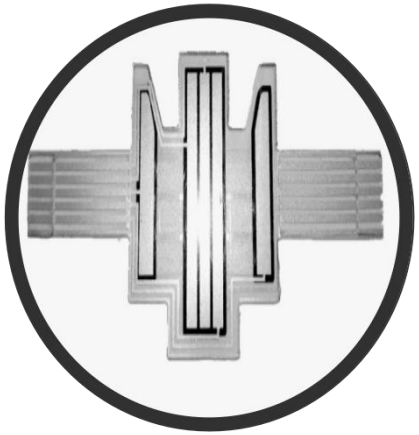
电容式



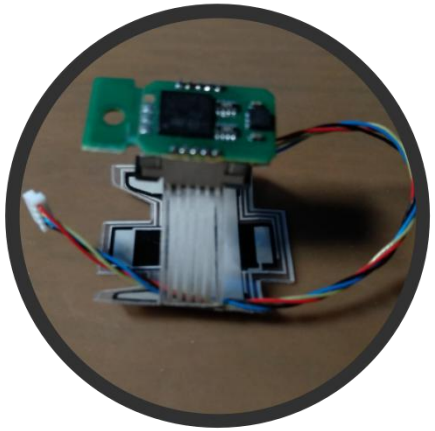
基于微视觉的触觉传感

机器人操作的触觉感知

柔性压阻式触觉阵列



压阻式触觉传感器电路



应用于灵巧手指尖



柔性压阻式触觉阵列传感器，传感器上分布23个压力感应点，能够准确感应0-20N的受力。该传感器应用于指尖部位，采用低功耗芯片驱动,导电极为5*5的外接接口，线间距1.0mm。极轻的质量和极小的体积，使得该传感器可以轻松贴附于物体的表面。通过精密印刷工艺，将纳米力敏材料转移到柔性薄膜基材上，经干燥固化制作而成。

Tactile Sensors for Robotic Perception

Flexible tactile sensor structure with PDMS

Pros:

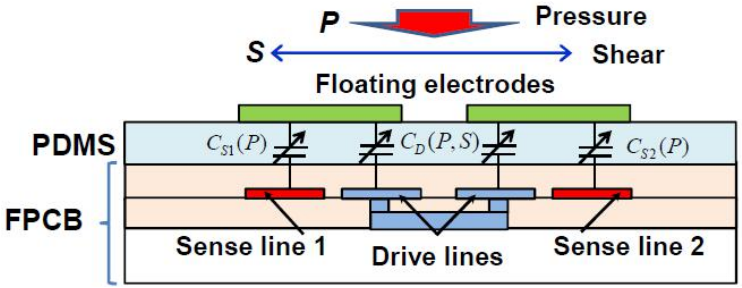
- **Stability**
- **Sensitivity**
- **Flexibility**

Mechanism:

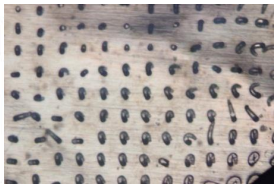
- Micro-needle structure (diameter: 200μm height: 50μm space: 100μm)
- Main material: PDMS
- Basal layer: PET

Results:

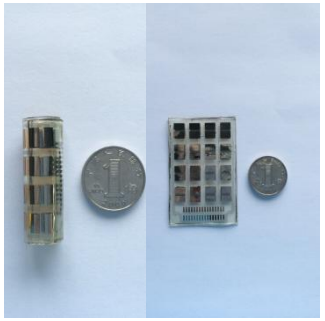
- $r_{max}=C_m/C_0==1.35$
- 3.26%/mN & 30mN(1kPa)



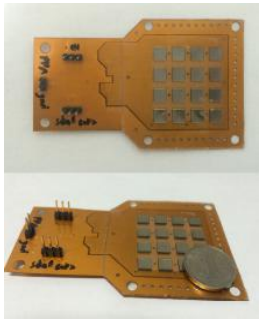
Micro-needle



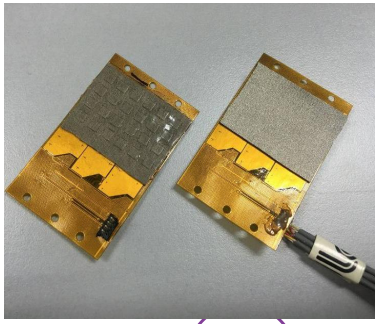
Flexible tactile array



Version I



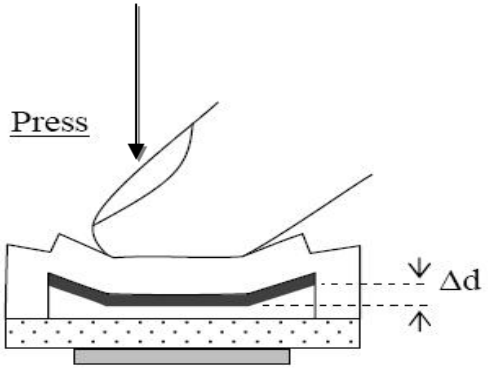
Version II



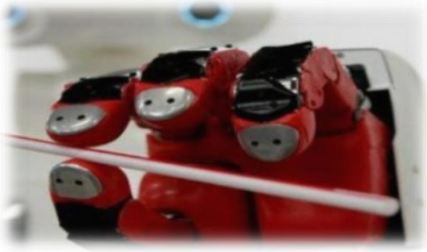
Version III

机器人操作的触觉感知

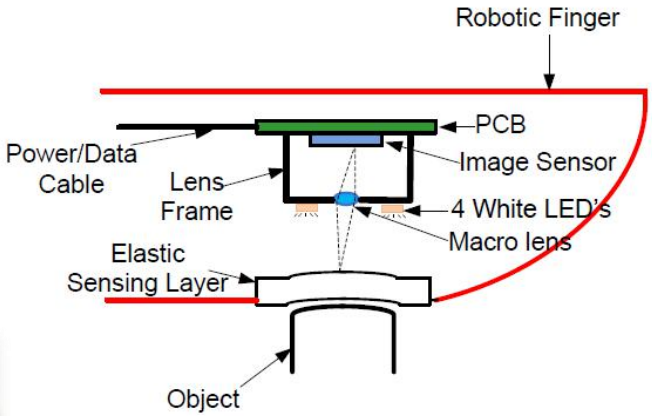
柔韧的触觉阵列



仅正压力信息可以获取



基于微视觉的触觉传感器



三维接触力信息可以获取

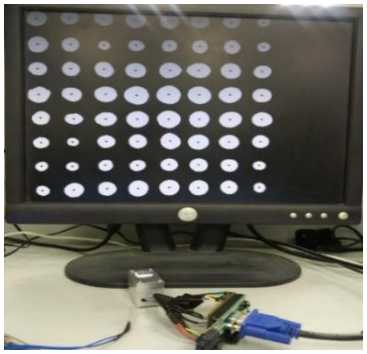
实际应用中，仅正压力是不足够的，
必须获取**其三维力信息**

机器人操作的触觉感知

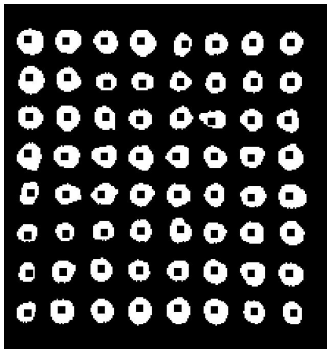
由标记阵列确定的力向量

白色圆区域是双体标记点，中间的黑色点是计算的重心

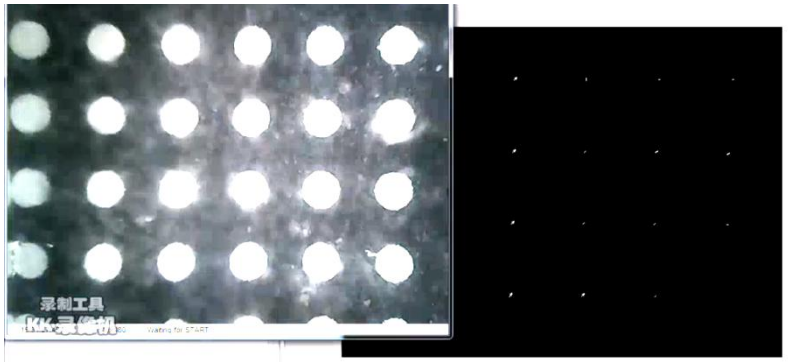
接口



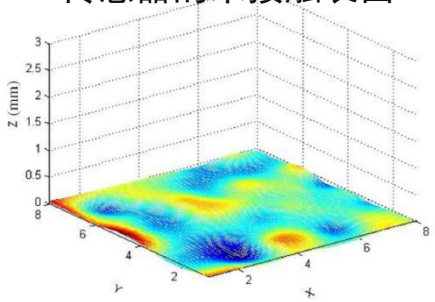
标记阵列



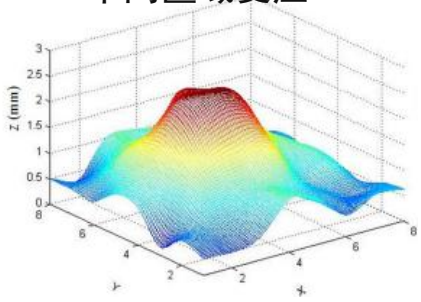
实时测量



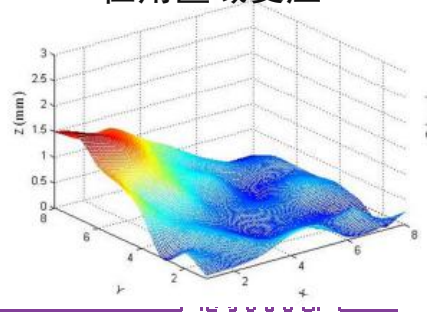
传感器的未接触表面



中间区域受压



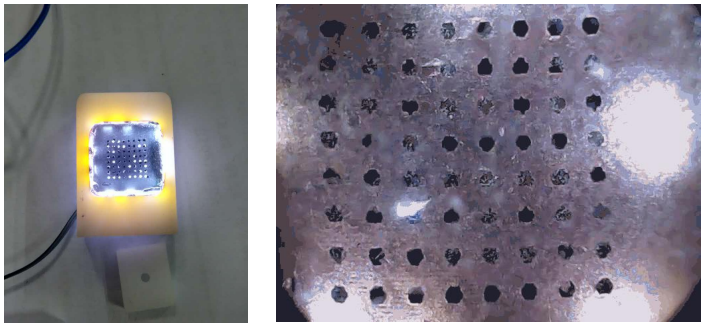
在角区域受压

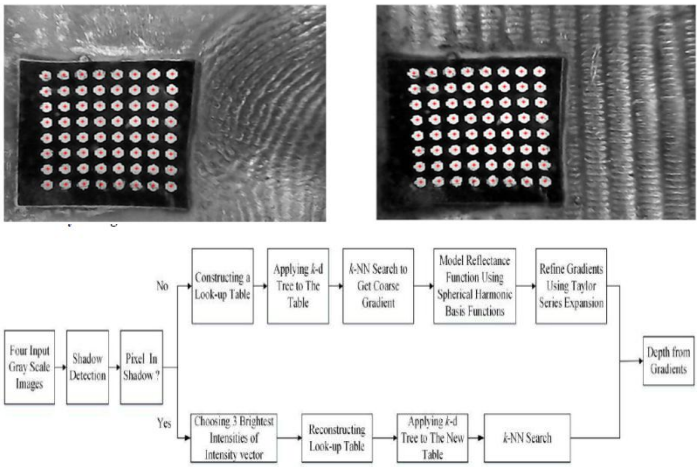


机器人操作的触觉感知

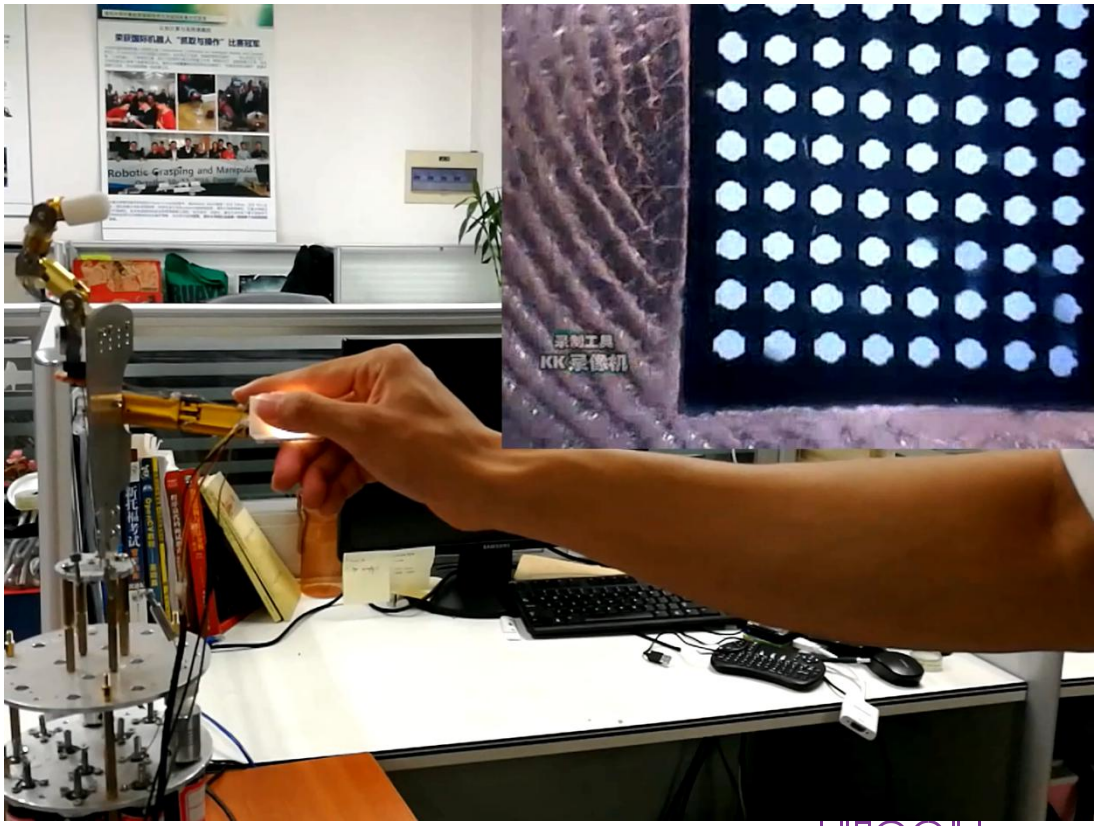
微视觉触觉传感器

样机



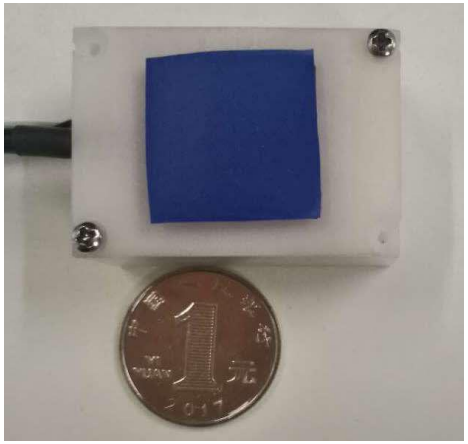


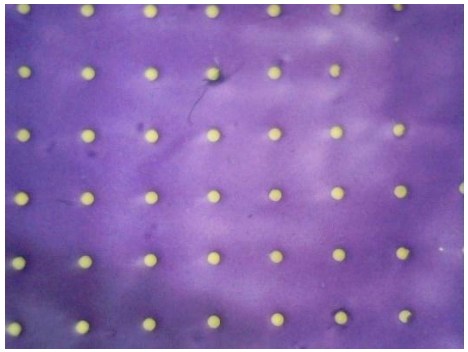
触觉力和特征测量同时进行



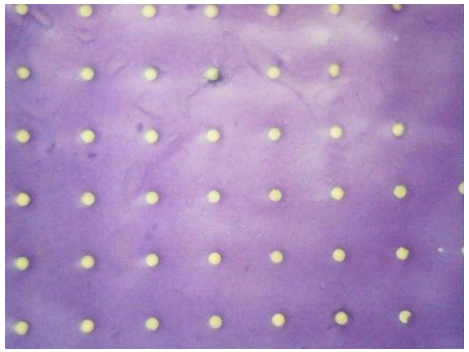
4.2 软体灵巧手的触觉感知

多模态触感装置：温、力、纹理

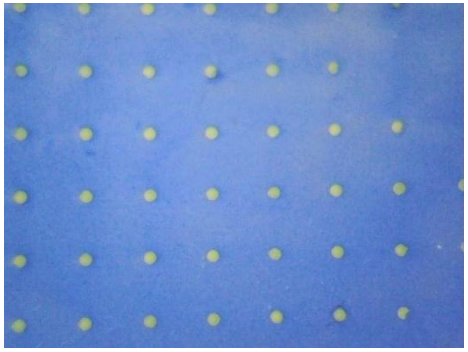




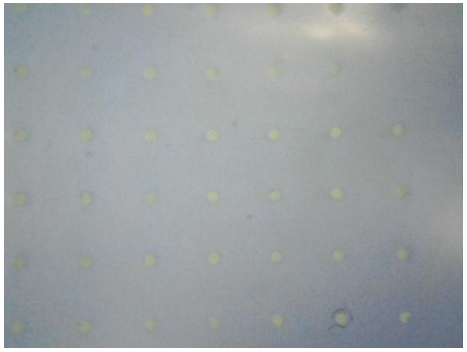
5度以下的环境——紫黑色



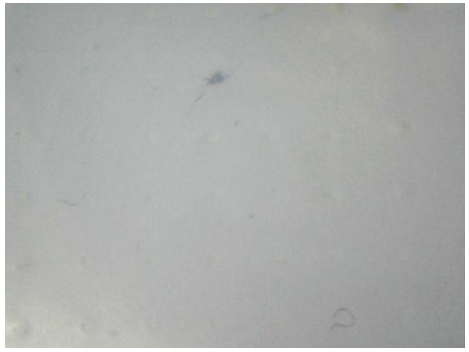
5度～22度的环境——紫色



22度～45度——蓝色



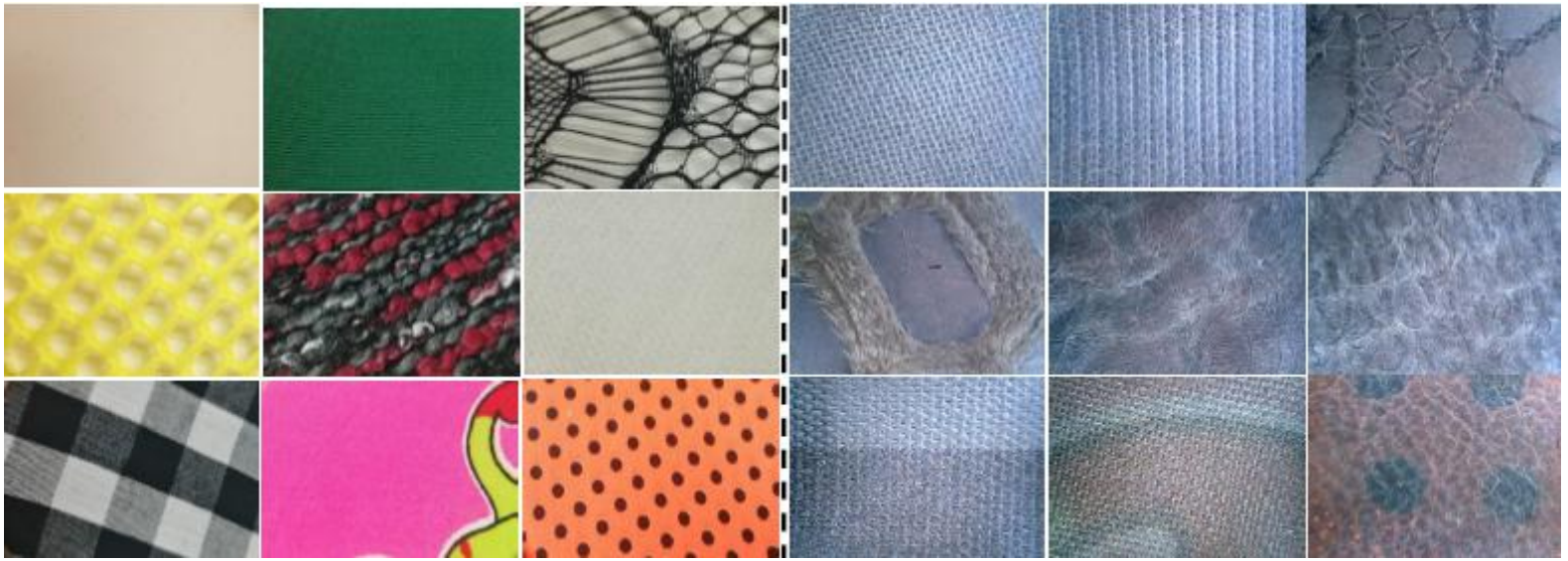
45～65度——白色



65度以上 ——标记点消失

机器人操作的触觉感知

布料纹理数据集

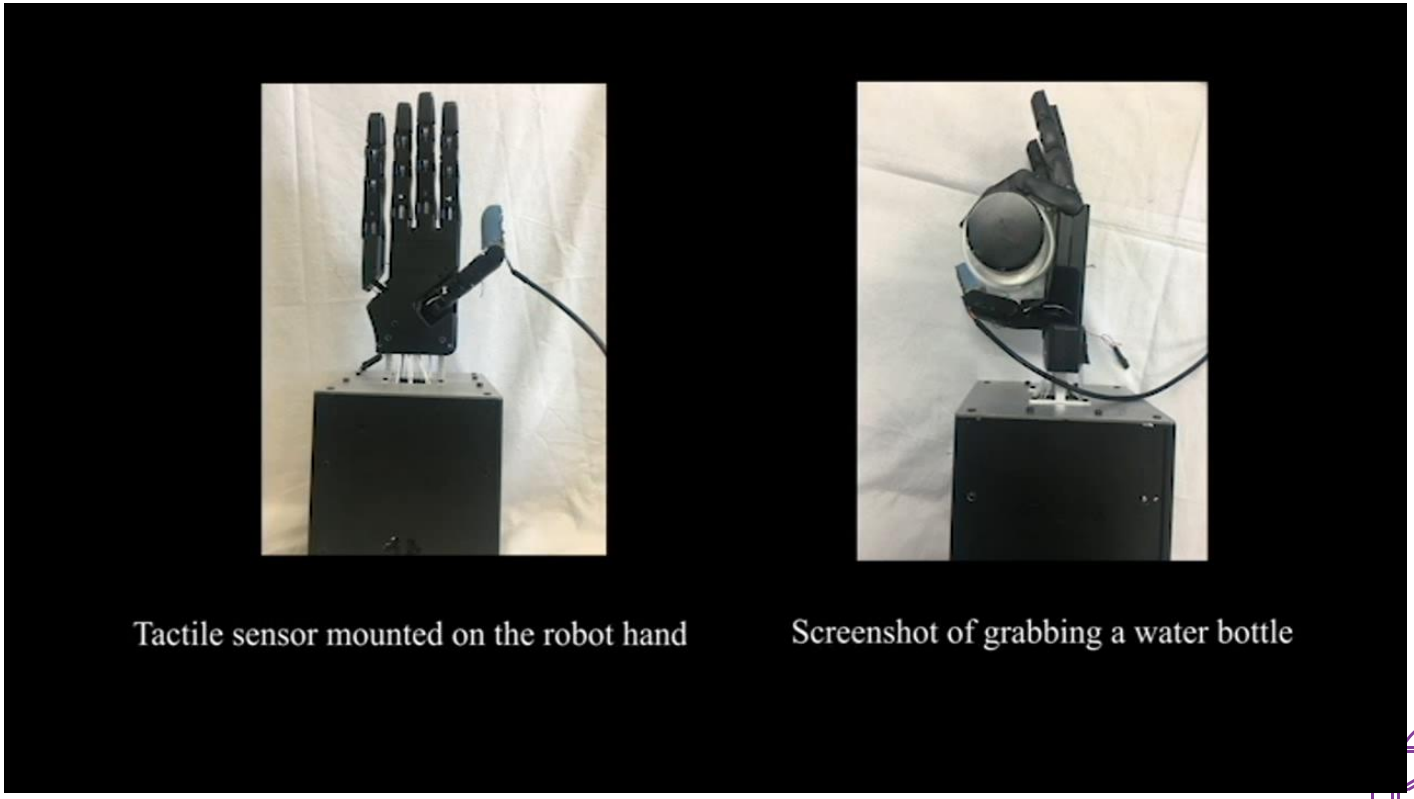


43种布料，每种布料采集200组实验得到8600个样本的数据集

基础模型	不使用背景图	使用背景图
Gabor 滤波器 +KNN	90.5%	-
SIFT+FV+KNN	82.9%	-
AlexNet	97.9%	99.4%
VGG16	98.7%	98.8%
ResNet-18	99.6%	99.9%
VGG16+Encoding	99.5%	-

机器人操作的触觉感知

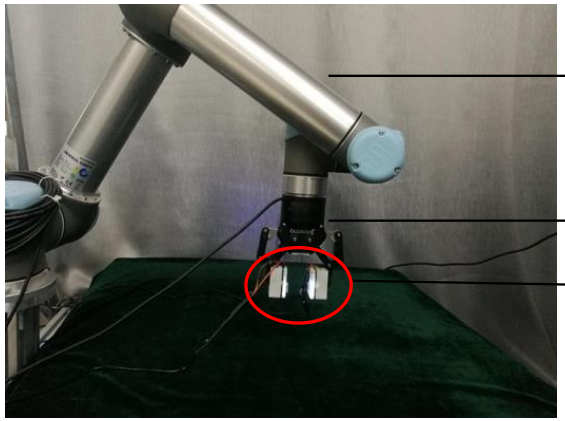
开发了多模态触觉传感装置，可以感知灵巧手操作过程中物体表面的纹理、温度和三维操作力。



Tactile sensor mounted on the robot hand

Screenshot of grabbing a water bottle

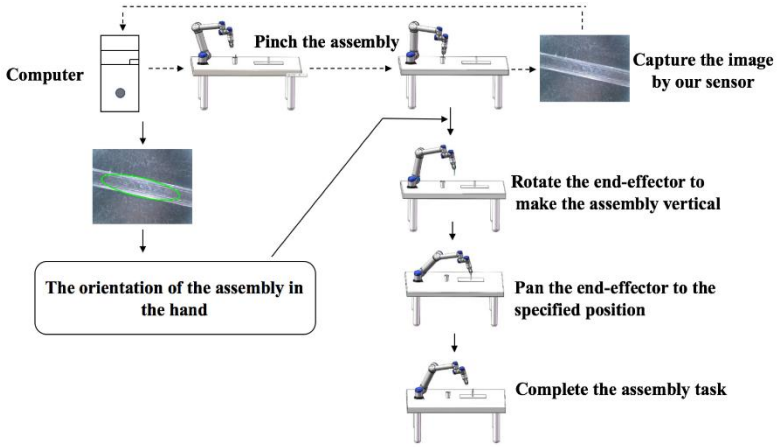
机器人操作的触觉感知



UR5机械臂

Robotiq二指机械手

基于视觉的触觉传感器

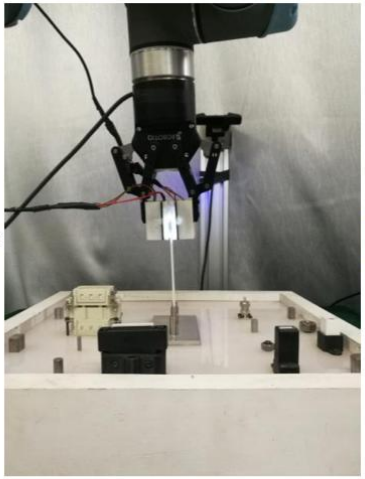




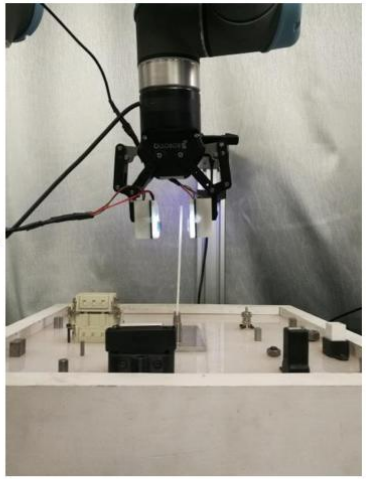
抓取装配样品
获取物体手内姿态



旋转机械臂末端
装配体样品竖直



保持机械臂末端方向
移动机械臂垂直向下

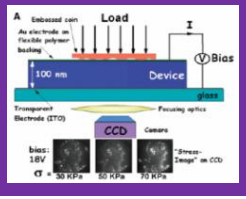
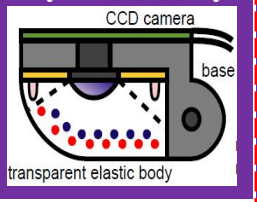
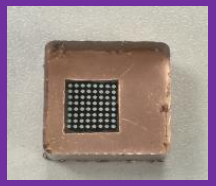


完成插孔操作

Tactile Sensors for Robotic Perceptionh



Tactile Sensors for Robotic Perception

	Tactile array (Stanford)	Thin-Film (University of Nebraska)	Gelsight (MIT)	Gelforce (Tokyo University)	TH-Tactile (Tsinghua University)
					
Principle	**Capacitive**	**Optical**	**Optical**	**Optical**	**Optical**
Force	√	×	×	√	√
Recognize Pattern	×	√	√	×	√
Resolution	**High**	**High**	**High**	**High**	**Medium**
Flexibility	**Low**	**Medium**	**High**	**High**	**High**
Manufacture	**High**	**High**	**Low**	**Medium**	**Low**

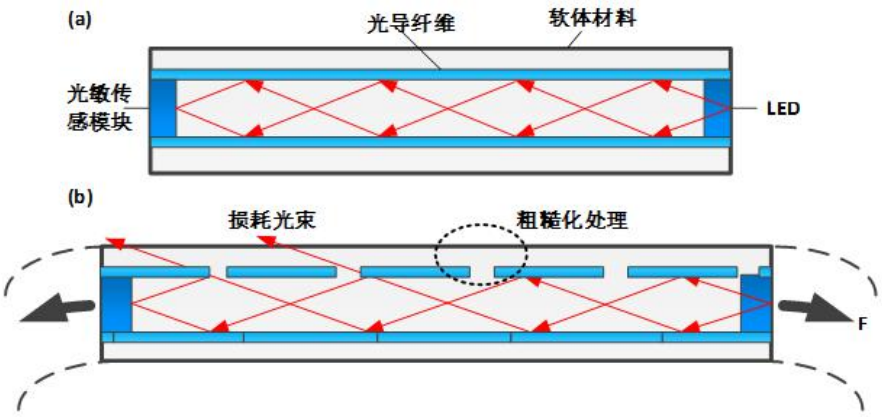
机器人操作的触觉感知

触觉传感器类别	传感原理	优点	缺点
压阻式触觉传感器	阵列中两个相邻（或相对）电极之间的电阻随施加压力而变化	动态范围宽； 耐用； 良好负载能力； 与集成电路相容。	存在迟滞； 弹性材料的机械和电性能需优化； 有限空间分辨率，需要大量布线； 单调相应非线性。
电容式触觉传感器	两平行极板间弹性介质层受压变形使容量变化	动态范围宽； 线性相应； 坚固耐用。	易受噪音干扰； 介电性易受温度影响； 电容随结构而变化； 有限空间分辨率。
视觉的触觉传感器	用弹性体变形法使压力转换为光图像	高分辨率；与视觉技术相容性好；无电气干扰问题；信号处理电路可远离传感器；低布线要求	在一些设计中，性能对弹性体依赖较强；存在一定滞后。

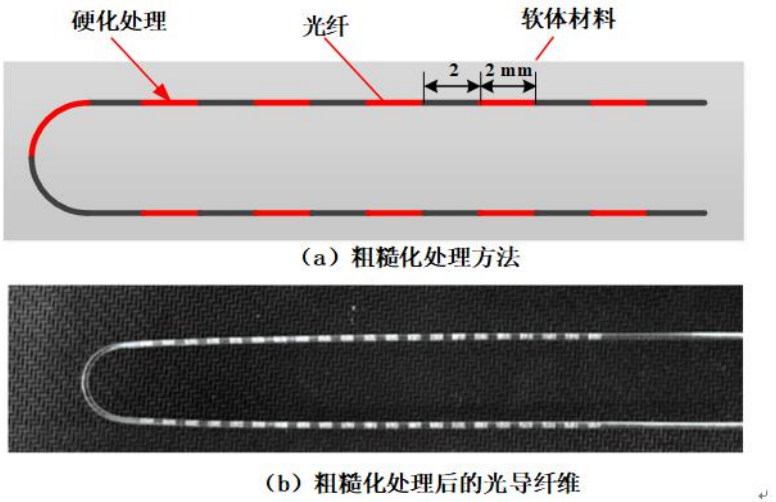
4.1 软体灵巧手的触觉感知

弯曲传感器原理：

红外二极管（LED）光线经光导纤维传输到光敏传感器，因光导纤维经过粗糙化处理，在不同弯曲程度时，对外损耗的光线不同，通过检测光敏传感器接收到的光强，推算出弯曲度。



弯曲度传感器原理



（a）粗糙化处理方法

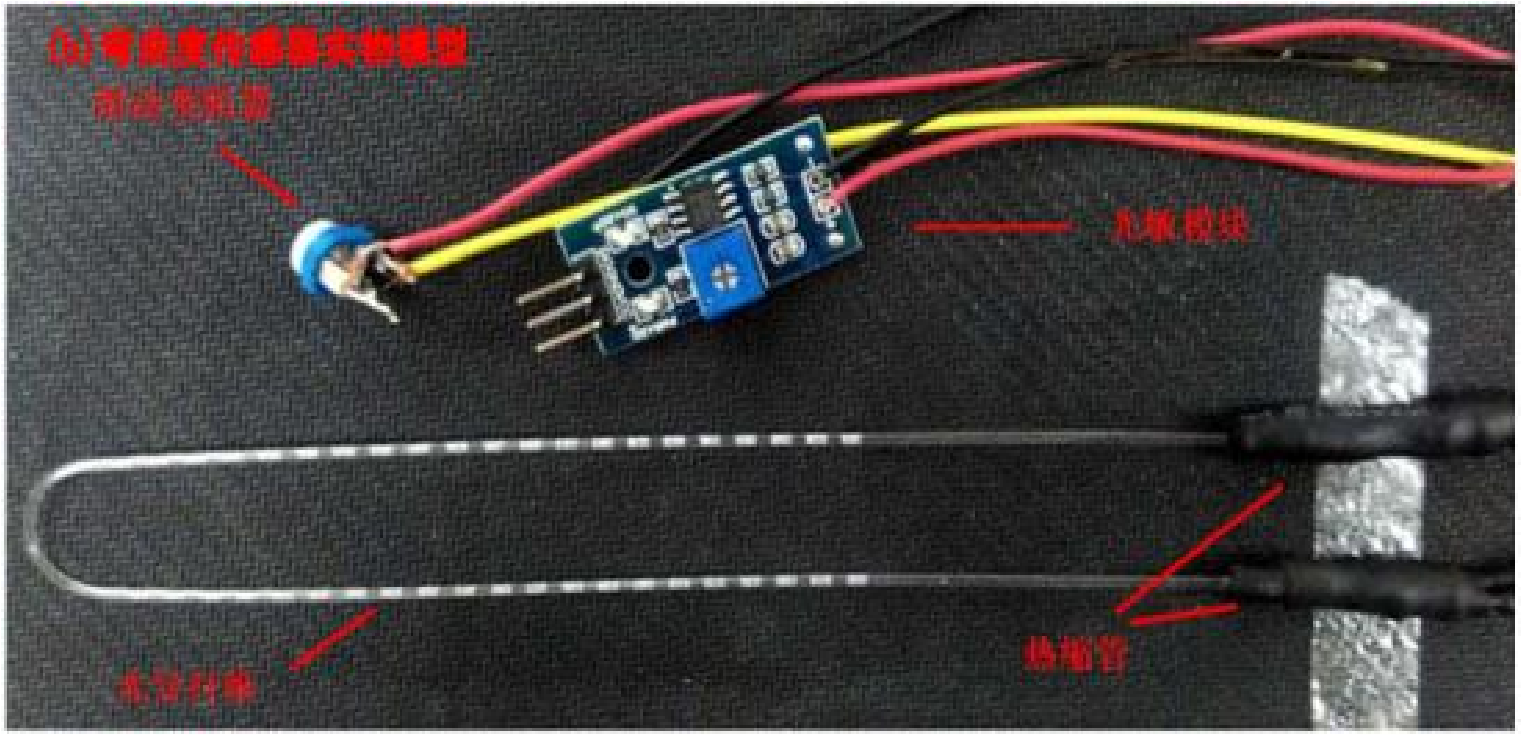
（b）粗糙化处理后的光导纤维

弯曲度传感器主体（光导纤维）的粗糙化处理

4.1 软体灵巧手的触觉感知

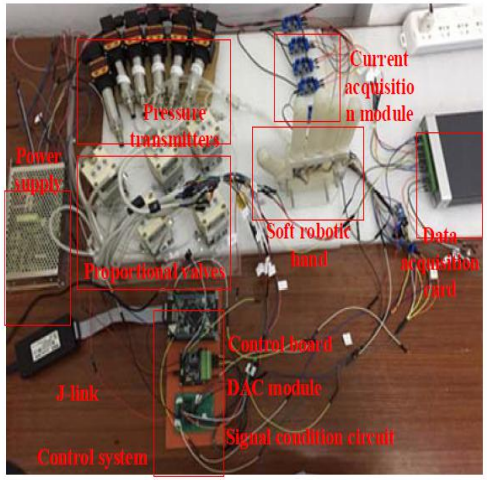
基于光导纤维的弯曲传感器：

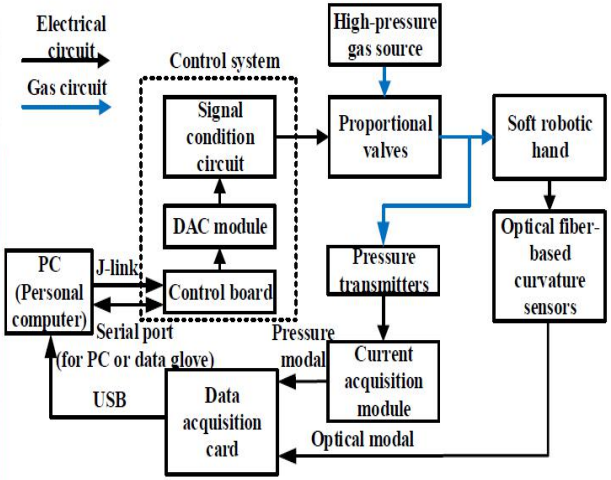
延展性能好、抗拉扯、高弹性，是软体手的理想传感器。

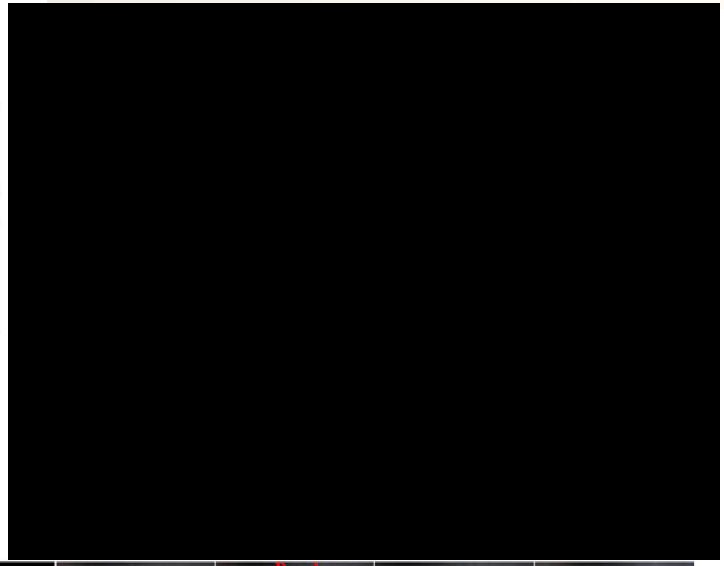


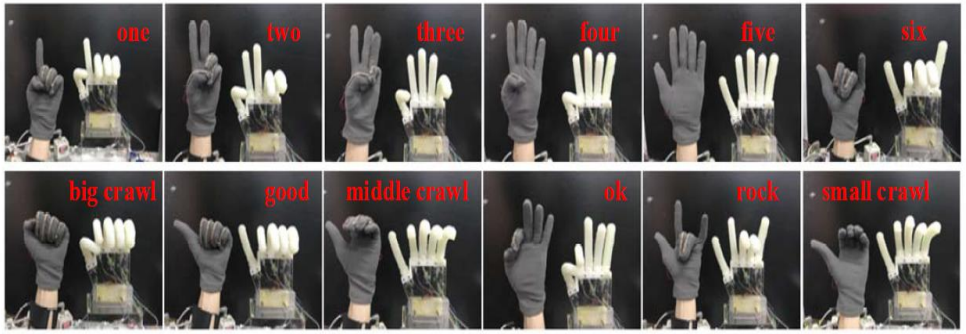
弯曲度传感器原型

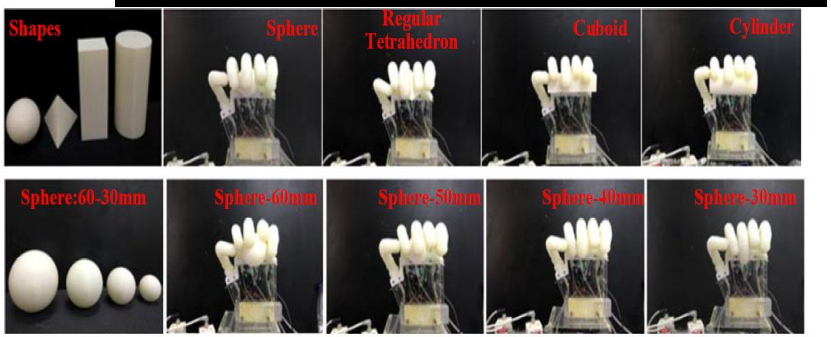
灵巧手与抓取操作







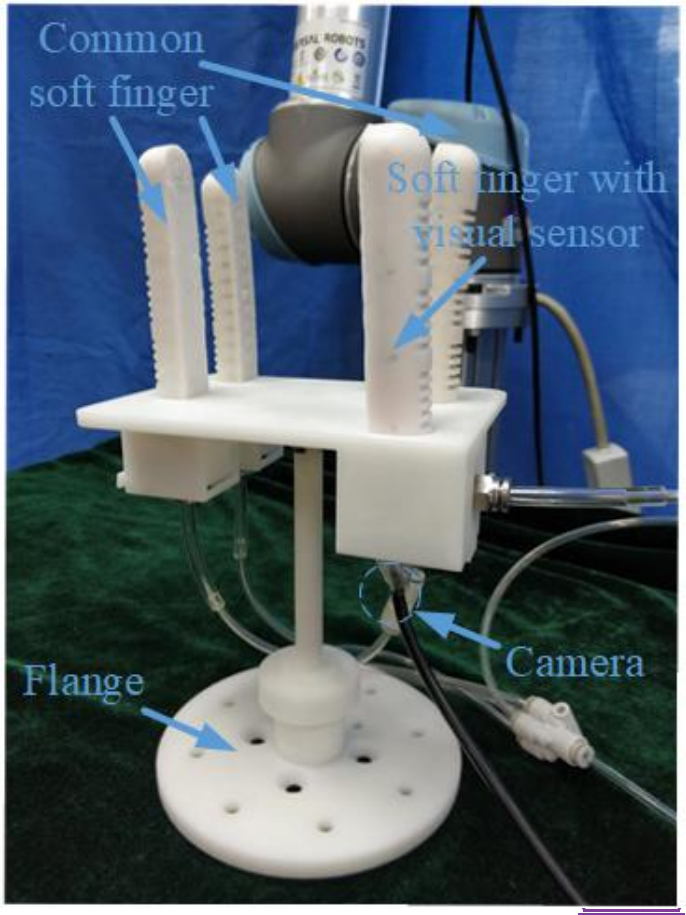




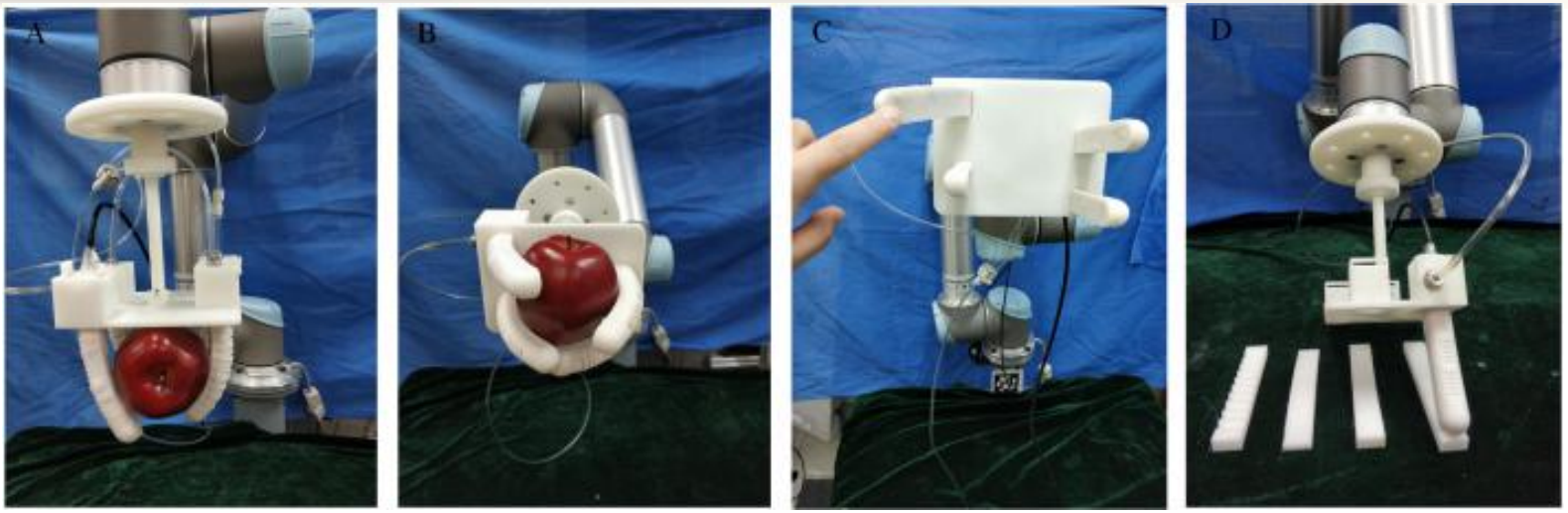
Haiming Huang, Fuchun Sun, Bin Fang, A novel mode controllable hybrid valve pressure control method for soft robotic gripper, International journal of advanced robotic systems, 2018, 15(5):1-12.

共融操作

- 我们所设计的四指软体手如图所示；
- 四指中只在一指中应用视觉传感器；
- 四只气管分别与软体手的气压阀相连，气管采用并联的方式与气泵相连；
- 法兰盘用于软体手和UR5机械臂相连。

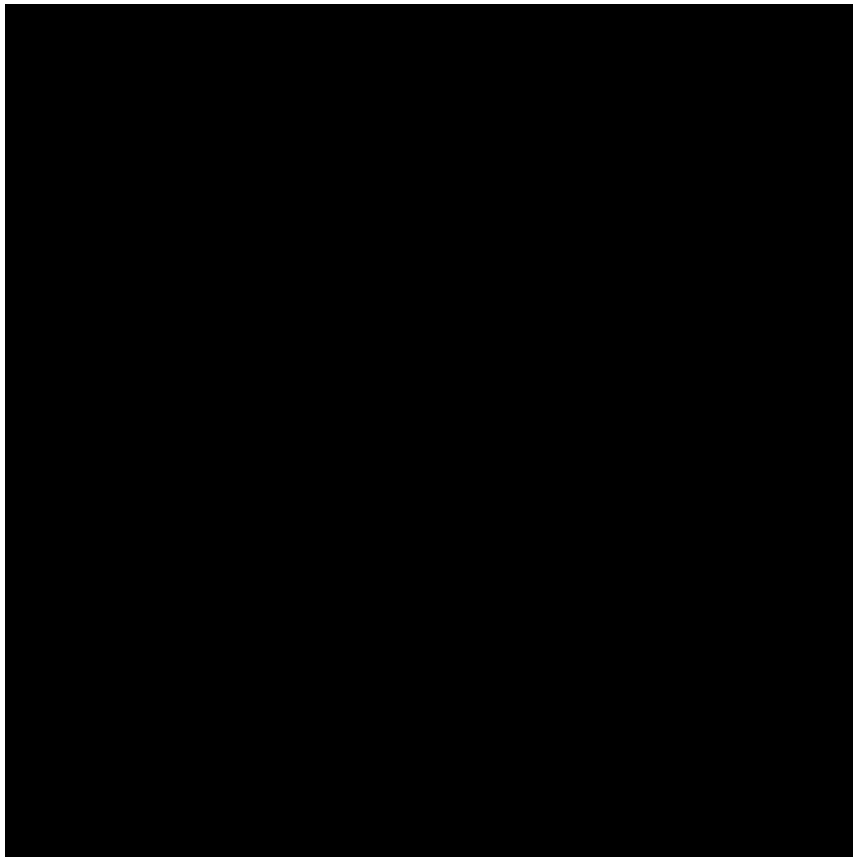


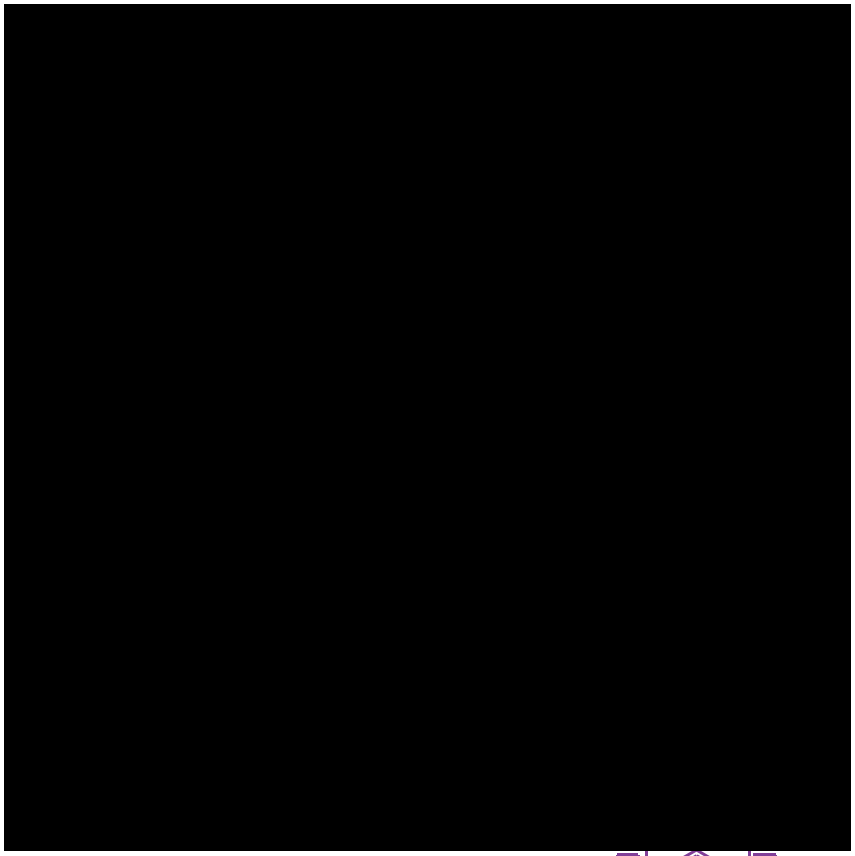
共融操作



- 应用视觉传感器的软体手没有影响其气动弯曲的性能。
- 四指软体手可以像人手一样牢牢地抓取物体。
- 软体手滑动触摸不同表面特征的物体，可以基于图像识别出表面深度分布

灵巧手与抓取操作

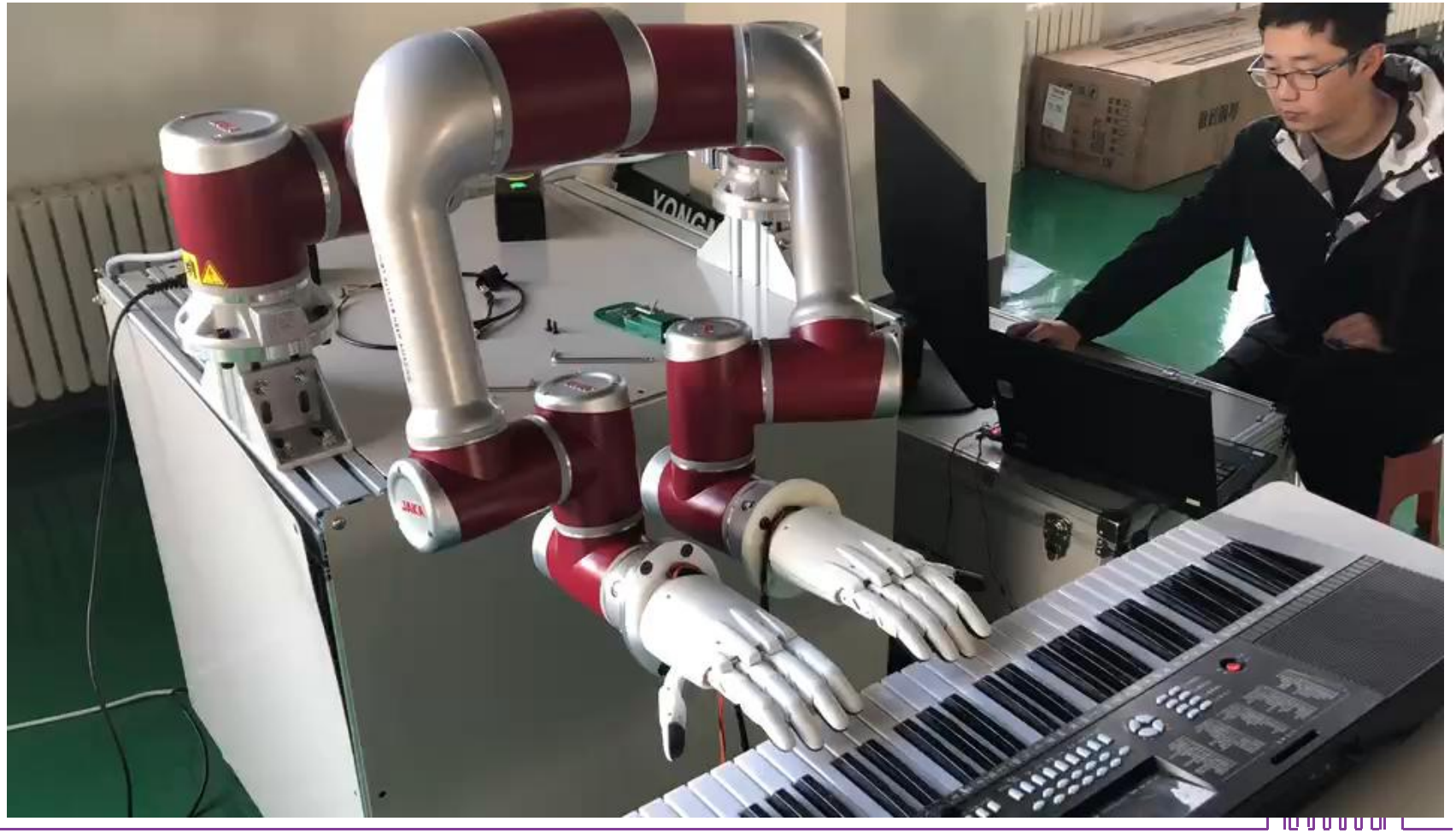




灵巧手与抓取操作

清華大學 Tsinghua University

灵巧手弹钢琴



灵巧手与抓取操作

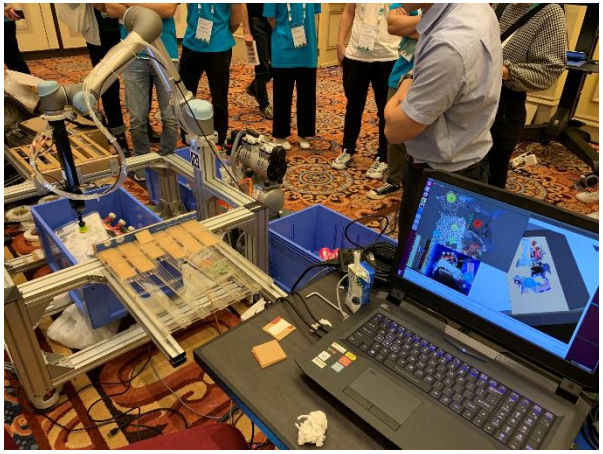
清華大學 Tsinghua University

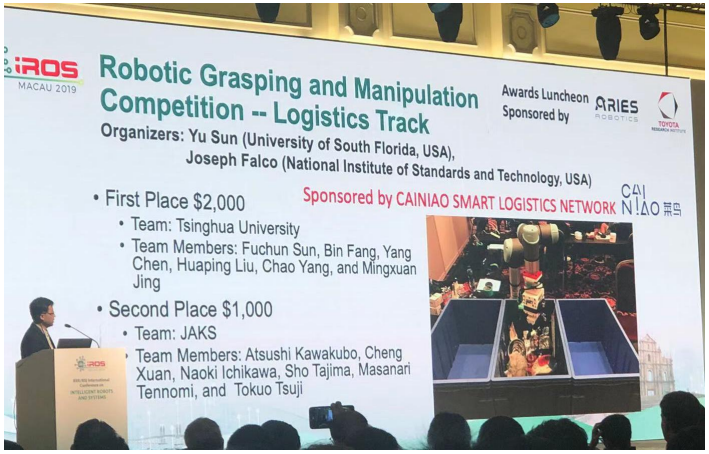
机器人遥操作演示



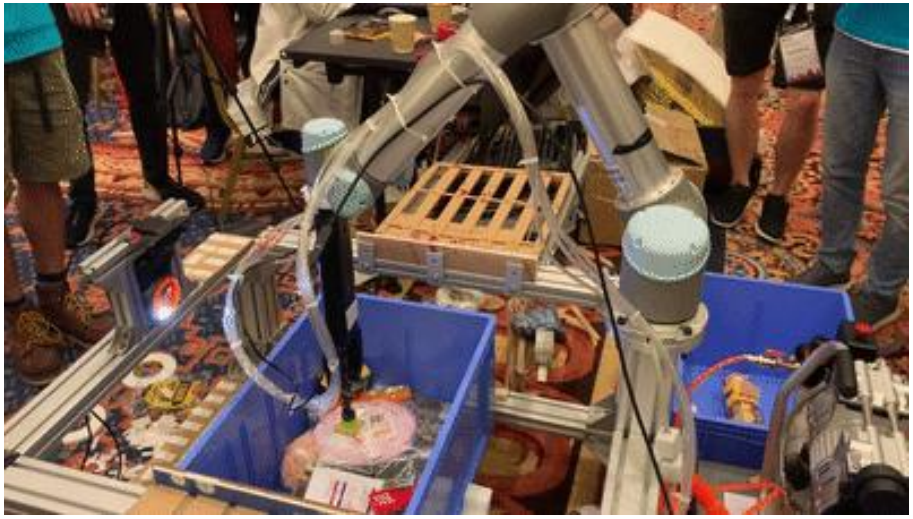
灵巧手与抓取操作

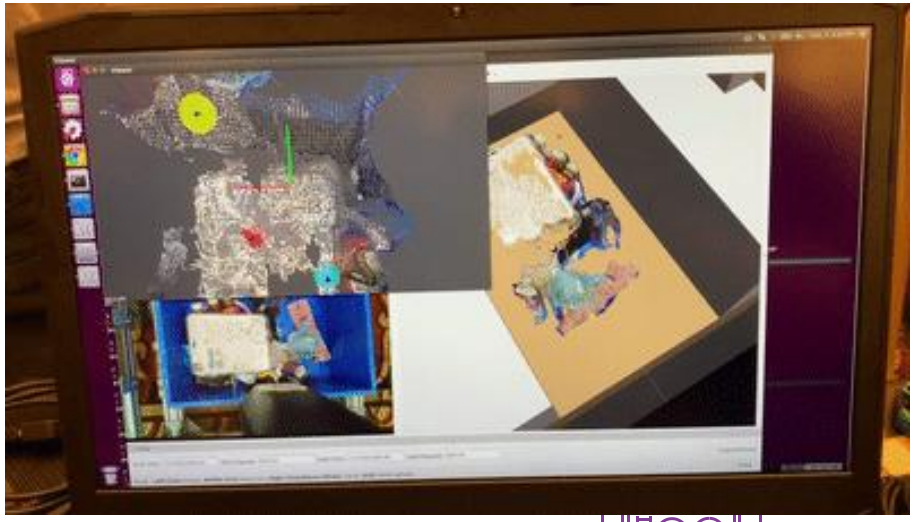
机器人操作的国际比赛冠军











Outline



1. 机器人学习
2. 如何像人一样感知与理解？
3. 如何像人一样操作？
4. 团队主要工作
5. **未来展望**

五、未来展望


AIRSKIN 人机协作装配

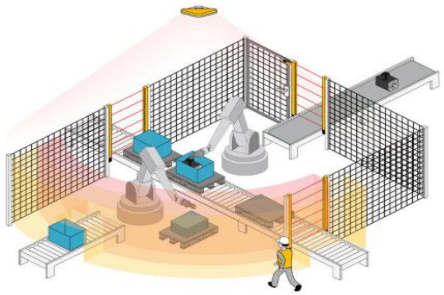

原见精机佳世达3C生产线

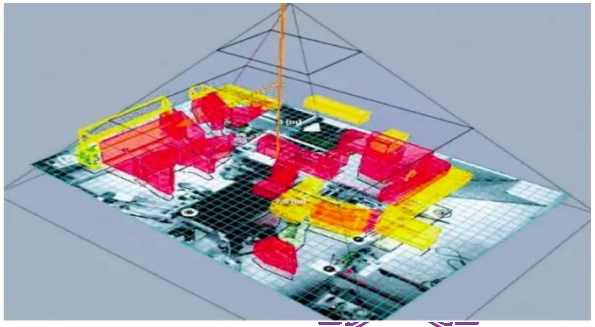


Bosch APAS 人机协作装配

佳世达桃园龟山厂生产线，3道安全防护机制，第一道以划分工作区域让人机动作互相搭配，第二道则利用光学感应，当人员进入警戒区则自动减缓速度，而第三道则是导入原见精机开发的触觉皮肤感知。



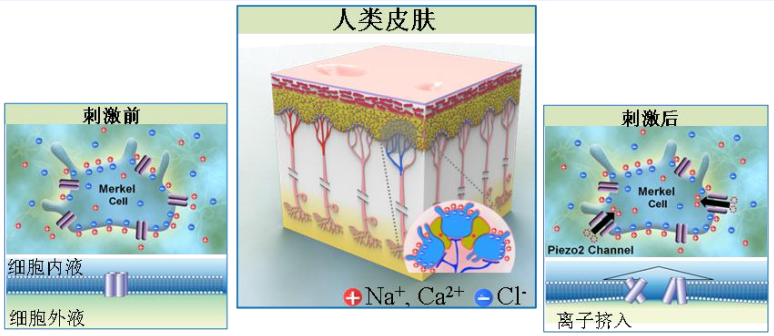




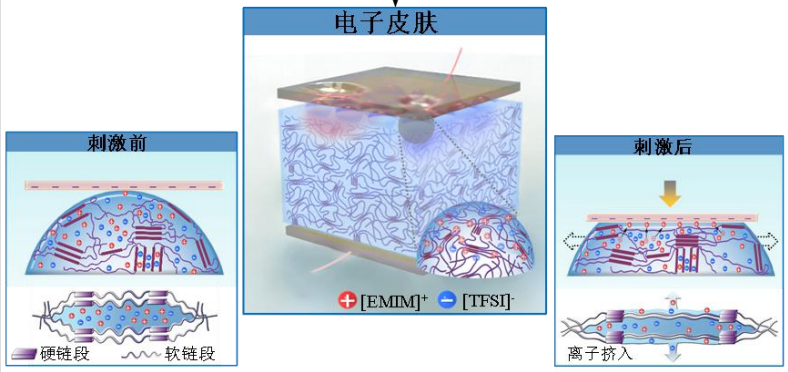
在Zimmer工厂内每一个位置均始终处于三维摄像安全系统SafetyEYE的监视之下。

五、未来展望

触觉



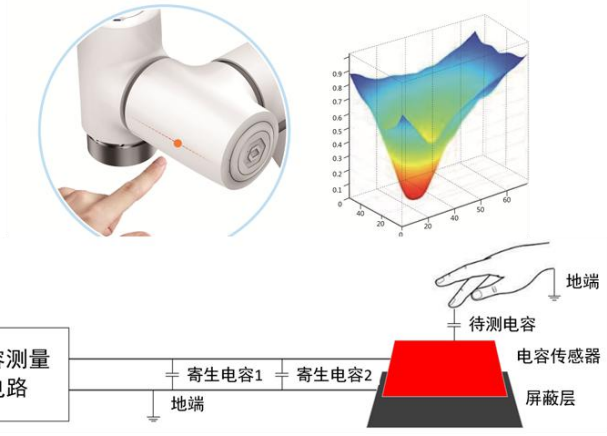
人类表皮触觉感受器Merkel细胞感应机制启发



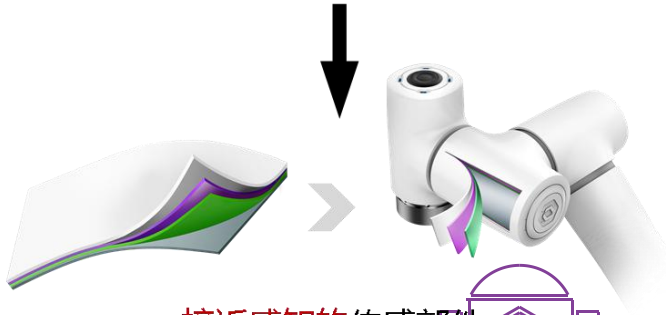
超高灵敏度，超宽范围感知的电子皮肤

多级响应

接近觉



自电容式电容传感机理



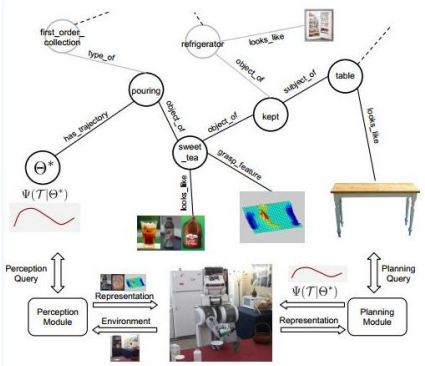
接近感知的传感部件

接近觉与触觉功能融合的多级响应电子皮肤

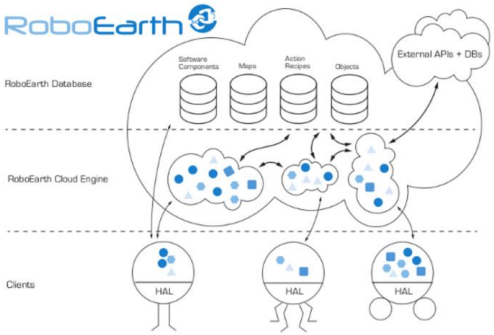
五、未来展望

基于知识的学习—元学习

类脑学习



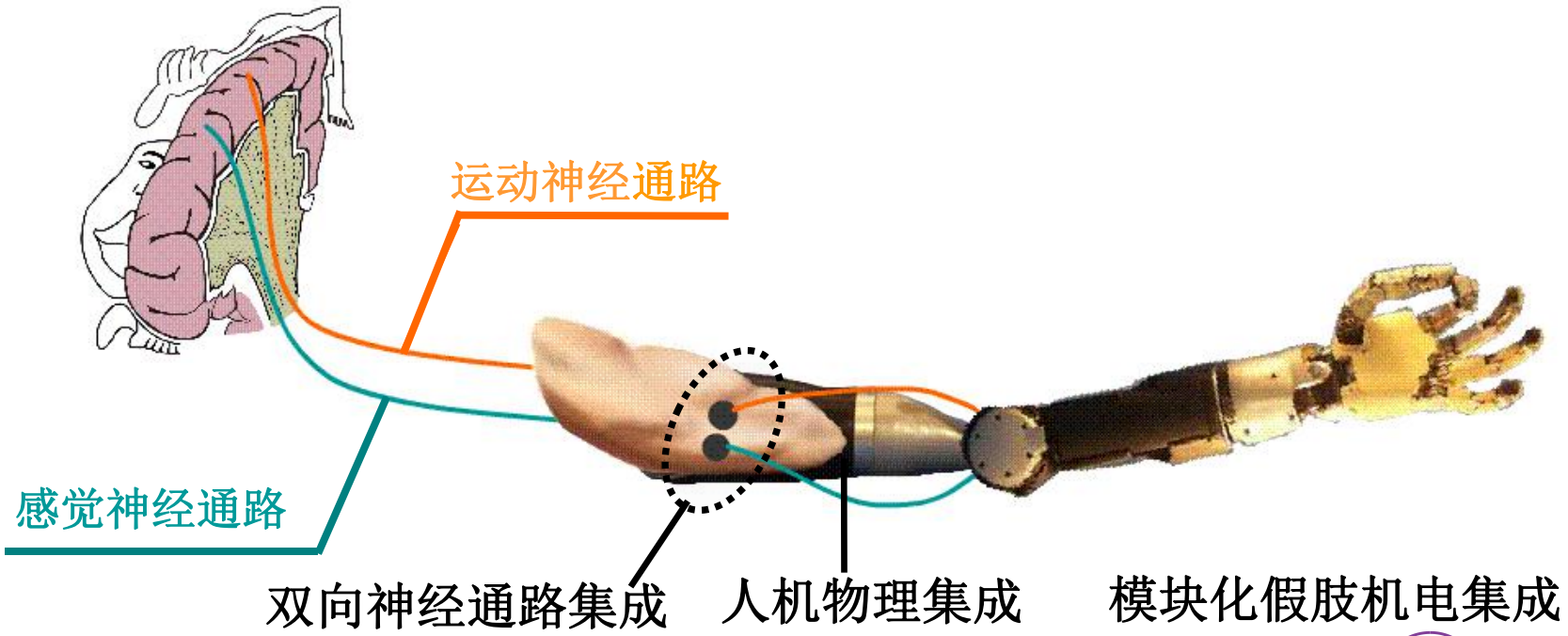
云端知识库



（1）元学习（Meta Learning）或者叫做“学会学习”（Learning to learn），它是要“学会如何学习”，即利用以往的知识经验来指导新任务的学习，具有学会学习的能力。

(2) 主要方法：1、基于记忆Memory的方法;2、基于预测梯度的方法;3、利用Attention注意力;4、借鉴LSTM的方法

五、未来展望



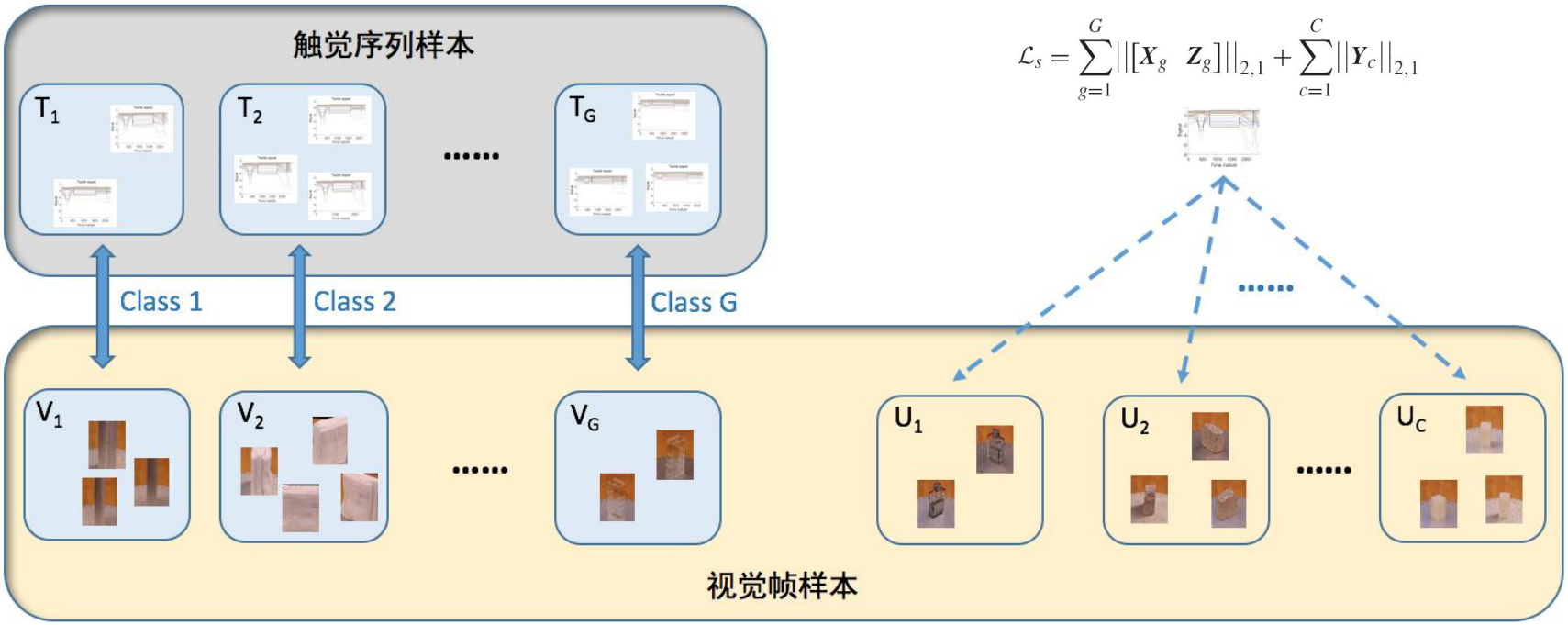
五、未来展望

基于记忆表征的跨模态学习

难点：异构模态的联合表示

异构模态联合编码与融合

$$\mathcal{L}_s = \sum_{g=1}^{G} ||[X_g \;\; Z_g]||_{2,1} + \sum_{c=1}^{C} ||Y_c||_{2,1}$$



利用深度学习网络实现特征学习

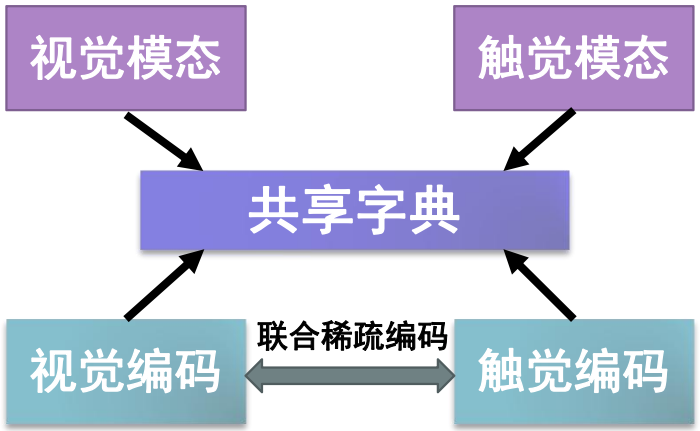
记忆感觉表征

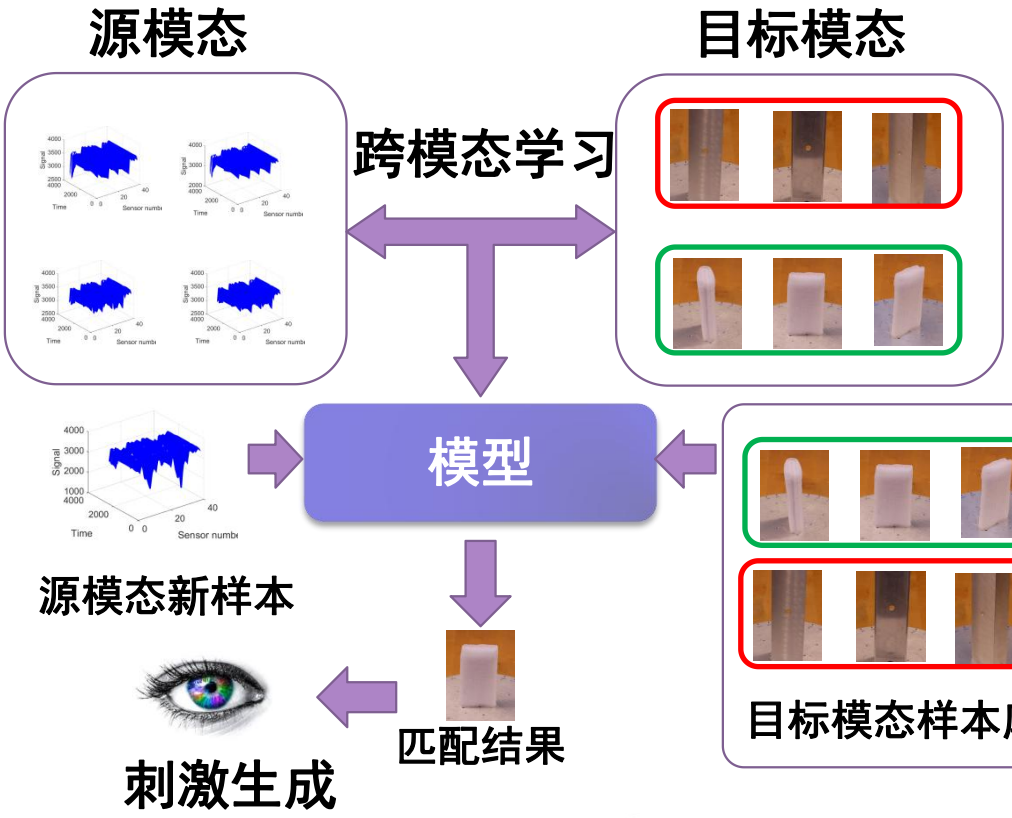
五、未来展望

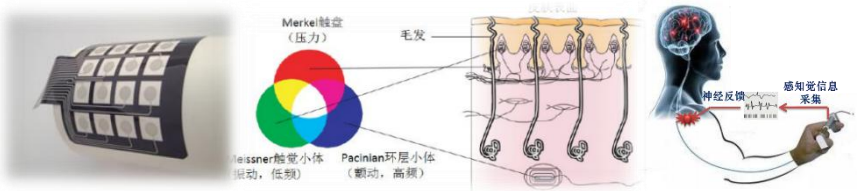
跨模态刺激生成

难点：异构跨模态表征与检索

在单一模态刺激生成的基础上，研究利用“感知-记忆”机制的跨模态刺激生成方法







$$\min_{X,Y} \|W_T^T T - DX\|_F^2 + \|W_V^T V - DY\|_F^2 + \gamma \sum_{g=1}^{G} (\|[X_g \; Y_g]\|_{2,1})$$

五、未来展望

多通道意图识别

难点：多尺度多通道的异步融合

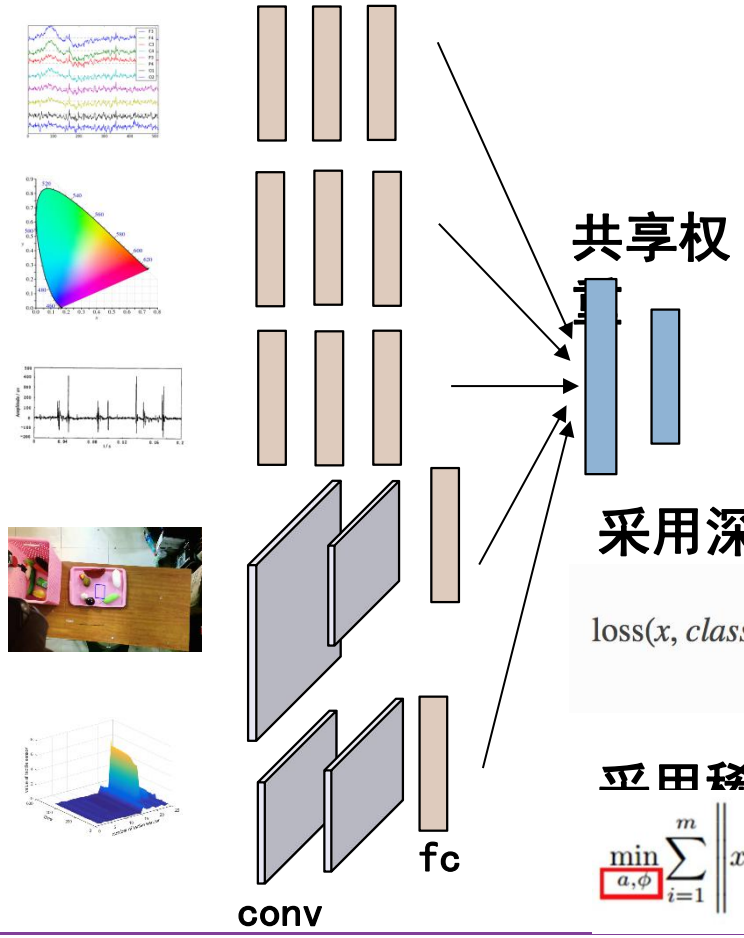
脑电

眼电

肌电

视觉

触觉



脑电	高频	高噪声不稳定
眼电	低频	易解码模式少
肌电	低频	难解码较稳定
视觉	高频	易采集易分析
触觉	低频	融合难度较高

采用深度学习提取出尺度相同的特征，

$$\text{loss}(x, class) = -\log\left(\frac{\exp(x[class])}{\sum_j \exp(x[j])}\right) = -x[class] + \log\left(\sum_j \exp(x[j])\right)$$

采用稀疏编码实现多通道的信号融合

$$\min_{a,\phi} \sum_{i=1}^{m} \left\| x_i - \sum_{j=1}^{k} a_{i,j}\phi_j \right\|^2 + \lambda \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{k} |a_{i,j}|$$

机器人云端操作技能学习

操作示范与技能传授


视觉捕获


穿戴设


用户技


文本语


声音

多模态交互

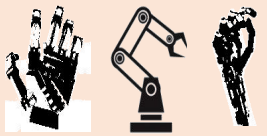
多模态融合理论

操作意图理解

交互关联模型

传授效能评估

操作技能表示和知识化表达


分层表示理论



通信服务

迁移学习与技能增强

技能元

技能迁移与增强

知识存储与共享

对象数据库

场景数据库

动作数据库

运动映射与规划控制

自主智能体

动作映射策略

动作基元

驱动器

传感器

作业运动规划

动作指令

任务奖惩机制

自主运动规划

协调控制方法

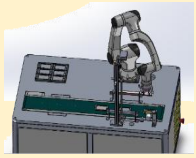
轨迹精度跟踪

精细操作控制

复杂协调控制

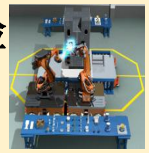
协同感知

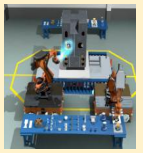
多任务规划



灵巧精准操作技能学习的平台验证

3C电子装配、航天领域





与大家共勉

贺人工智能产业峰会　　孙富春诗作

手脑相合创智能，仿生技艺竞鲲鹏。
宽深学习呈佳绩，类脑知识启远征。
古代伶人妆艺妓，今朝机仆扮龙腾。
智能产业添金翼，开拓唯新励志登。



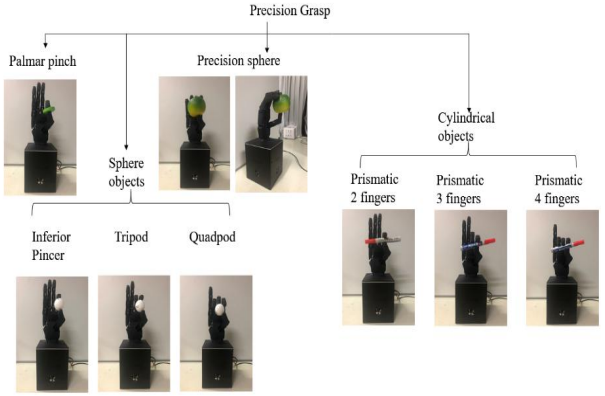


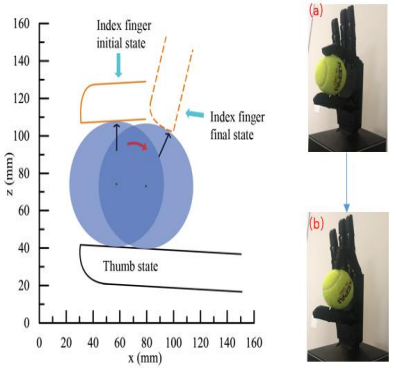

THANK YOU



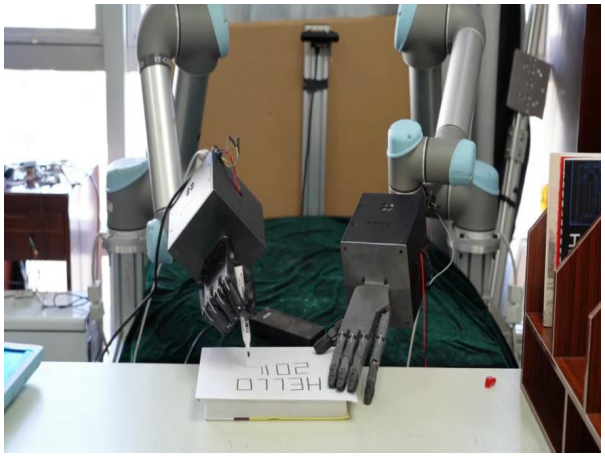
Dexterous Manipulation













Bin Fang, Fuchun Sun, Mechanical design and analysis of a novel dexterous hand based on grasping manipulation, International Conference on Robotics and Biomimetics, 2017,1973-1978.