

毕业设计开题答辩



# 3D视觉识别及其在机器人抓取中的应用

赞助企业：深圳慧智星晨科技有限公司

答辩人：代贤晨、杨帆、崔城铭

指导老师：李广晔



# 目录

## CONTENTS



1

背景与目标

2

项目需求与设计规范

3

概念设计方案

4

分工与进度计划

5

预期成果



背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

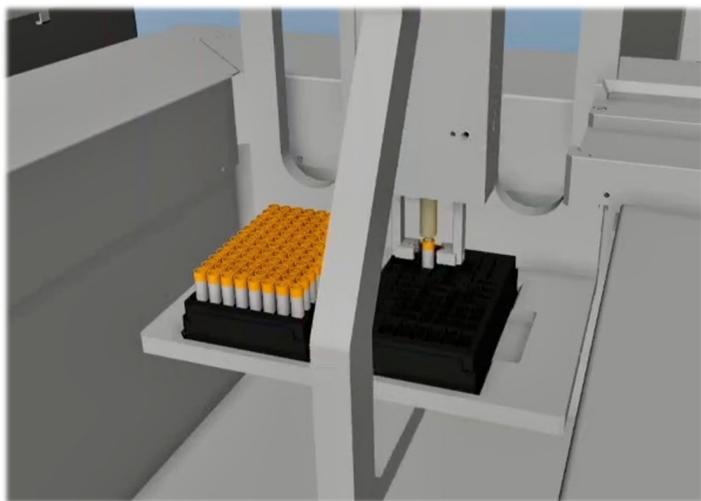
预期成果

# 背景与目标

选题背景 | 项目目标 | 项目创新点

## 项目背景

- 生物样本库-196°~-80°深低温存放**冻存盒**，保存样本；
- **机械臂**-30°环境夹取样本出入库。



## 现存问题

冻存盒体表面**结霜**

盒体滑动，孔位识别困难

定位精度下降，误差增大

挑管成功率下降，样本损坏

样本管出现斜倚重叠等**异常情况**，  
难以通过定位孔位抓取



### 背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

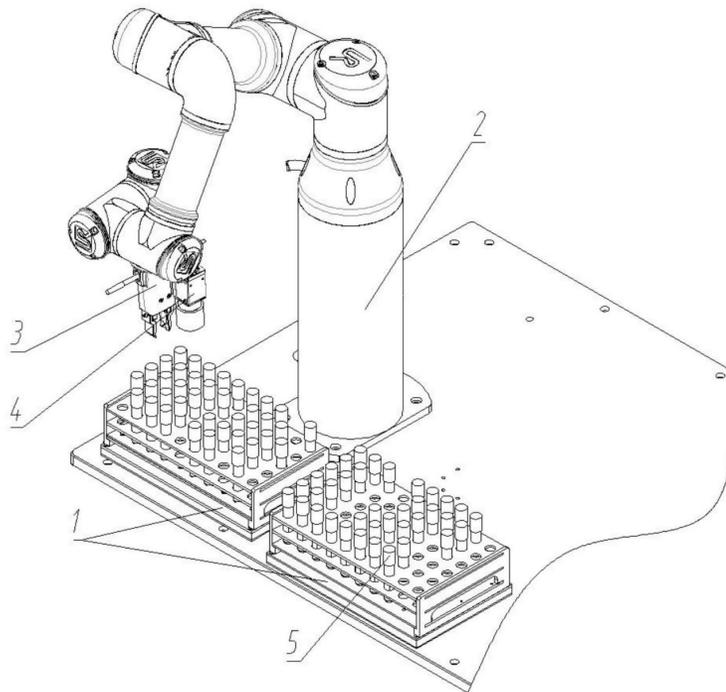
分工与进度  
计划

预期成果

## 研究现状

### 基于机器视觉的试管进出料装置<sup>[1]</sup>

- 机器视觉获取图像、孔位灰度值等状态信息;
- 自动识别孔位中是否存在试管;
- 未涉及对于孔位识别模糊、试管位姿异常情况的处理。



[1] 周硕. 基于机器视觉的试管进出料装置: 中国, CN219807434U [P]. 2023-10-10.



## 背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

# 背景与目标

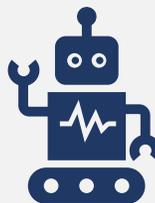
选题背景 | 项目目标 | 项目创新点

项目需要一套视觉辅助的机械臂挑管系统，能够实现定位精度更高的**目标识别**、完成精准的**抓取**与稳定的**路径规划**，同时在检测到样本管**异常情况**时实现良好的**抓取与归置**。



准确性、实时性

- ◆ 抓取物品图像分割
- ◆ 机械臂姿态估计



鲁棒性

- ◆ 机械臂轨迹规划
- ◆ 基于环境持续学习



高性能

- ◆ 仿真环境搭建
- ◆ 仿真到现实算法



# 背景与目标

选题背景 | 项目目标 | 项目创新点

## 背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

## 安全策略引入

基于力反馈的强化学习提高安全性

### 视觉定位方法

通过深度学习算  
法增加视觉系统  
定位精度



### 可迁移仿真系统

仿真→现实  
单机器人→多机器人



## 创新点



# 目录

## CONTENTS



1

背景与目标

2

项目需求与设计规范

3

概念设计方案

4

分工与进度计划

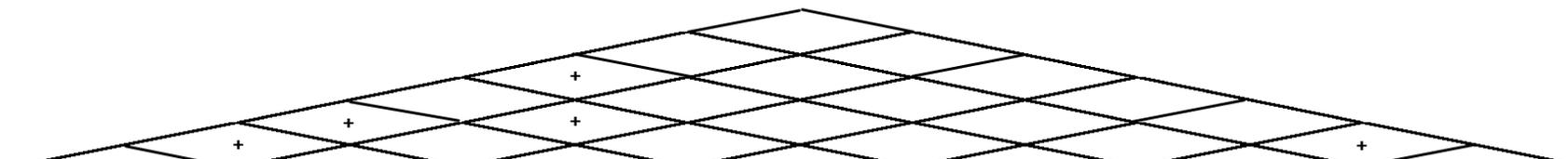
5

预期成果



# 项目需求与设计规范

相关性:  
 ++ 强强  
 + 强  
 - 弱  
 基本不相关



设计指标	重要性	工程措施						
		医用物品的图像分割	机械臂最佳抓取姿态估计	医用物品抓取顺序优化	机械臂抓取路径规划	基于环境理解的智能抓取	基于末端执行器力反馈的持续学习系统	Isaac Sim仿真环境搭建与部署
执行成功率	6	3	4	2	1	5	5	4
执行实时性	6	5	4	2	3	5	1	3
执行稳定性	5	3	5	2	1	4	4	3
异常处理能力	4	3	4	1	2	5	3	2
系统可移植性	3	4	3	2	2	4	3	5
小样本学习效率	2	5	5	3	3	5	2	1
成本	2	2	4	3	2	3	4	3
操作简便性	1	3	2	2	3	2	3	4
技术重要性		104	118	58	56	130	92	92

图 QFD质量屋

## 设计目标

- I. 尽可能平衡图像分割算法和姿态估计算法的实时性和准确性
- II. 环境理解和力反馈对机械臂抓取的稳定性和鲁棒性至关重要
- III. 仿真环境搭建与部署为工业应用提供数据支撑和辅助验证

背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果



# 目录

## CONTENTS



1

背景与目标

2

项目需求与设计规范

3

概念设计方案

4

分工与进度计划

5

预期成果



背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

## 视觉部分硬件选型



NVIDIA Jetson Orin

- 强大的计算和视觉处理能力
- 高能效比芯片
- 紧凑的尺寸
- 丰富的输入/输出接口
- 支持NVIDIA生态系统

- 具备深度感知能力
- 提供高分辨率RGB图像
- 实时生成环境三维点云
- 提供简单的API和SDK



ZED2双目立体摄像头



背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

# 基于物品抓取图像分割

算法选型 | 算法优势 | 算法原理



图 实例分割主流算法归纳



图 一个典型的物品抓取场景



背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

# 基于物品抓取的图像分割

算法选型 | 算法优势 | 算法原理

## Mask R-CNN相比其他算法的优势:

- 可在语义分割的基础上实现**实例分割**，即能够对**同类物体**进行精细的分割
- 高速性**：创造性结合了经典的**目标检测算法Faster-RCNN**和经典的**语义分割算法FCN**。在复杂性高于Faster-RCNN的情况下，仍可以达到5fps的和原始Faster-RCNN的相当的速度。
- 高准确性**：由于发现了ROI Pooling中所存在的像素偏差问题，提出了对应的ROI Align策略，加上FCN精准的像素掩码，使其获得高准确率。
- 简单直观**：Mask R-CNN算法的思路和结构简单，即在原始Faster-RCNN算法的基础上增加FCN以产生对应的掩码分支。

	backbone	AP	AP <sub>50</sub>	AP <sub>75</sub>	AP <sub>S</sub>	AP <sub>M</sub>	AP <sub>L</sub>
MNC [7]	ResNet-101-C4	24.6	44.3	24.8	4.7	25.9	43.6
FCIS [21] +OHEM	ResNet-101-C5-dilated	29.2	49.5	-	7.1	31.3	50.0
FCIS+++ [21] +OHEM	ResNet-101-C5-dilated	33.6	54.5	-	-	-	-
<b>Mask R-CNN</b>	ResNet-101-C4	33.1	54.9	34.8	12.1	35.6	51.1
<b>Mask R-CNN</b>	ResNet-101-FPN	35.7	58.0	37.8	15.5	38.1	52.4
<b>Mask R-CNN</b>	ResNeXt-101-FPN	<b>37.1</b>	<b>60.0</b>	<b>39.4</b>	<b>16.9</b>	<b>39.9</b>	<b>53.5</b>

图 Mask R-CNN在COCO测试集上的表现

[2] He, K., et al. (2017). Mask R-CNN. 16th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Venice, ITALY.



背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

# 基于物品抓取的图像分割

算法选型 | 算法优势 | 算法原理

## Mask R-CNN算法思路

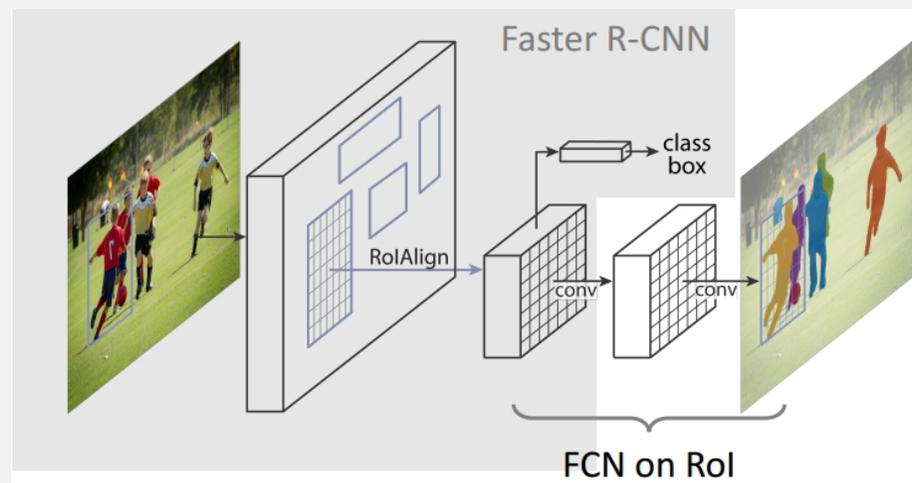
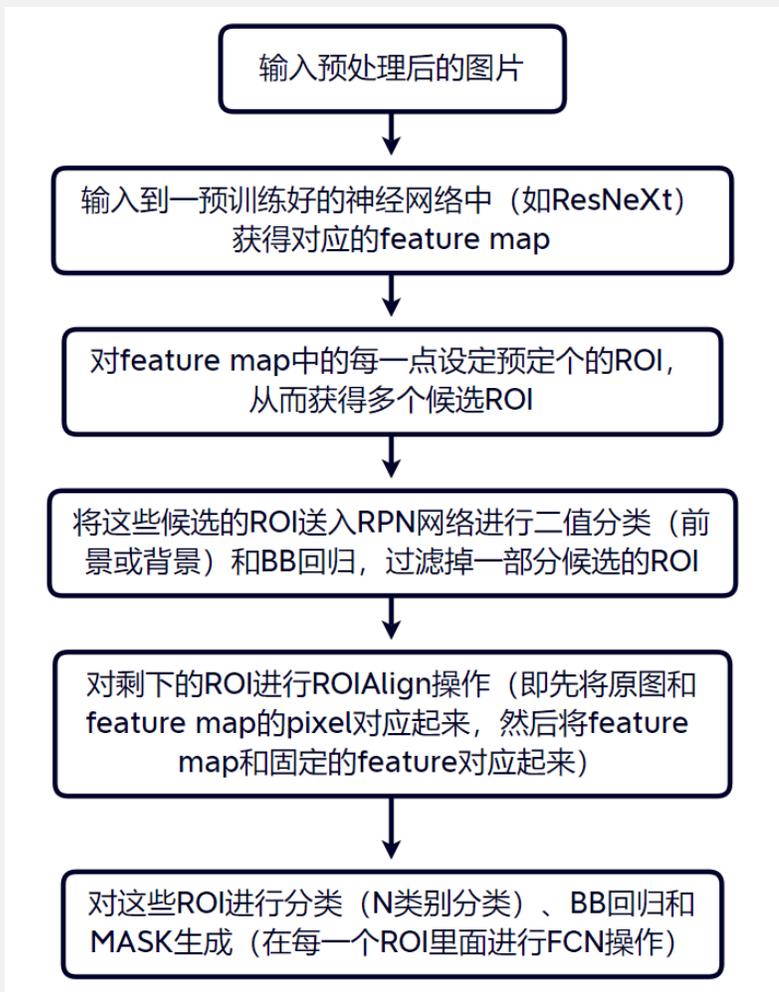


图 Mask R-CNN算法框架



背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

# 机械臂抓取的姿态估计

算法选型 | 算法优势 | 算法原理



图 姿态估计主流算法归纳



# 机械臂抓取的姿态估计

算法选型 | 算法优势 | 算法原理

背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

🧠 基于实例语义分割的深度学习——PVN3D

PVN3D算法的主要思路是通过深度神经网络**检测物体的三维关键点**，然后以**最小二乘拟合**的方式估计6D姿态参数。

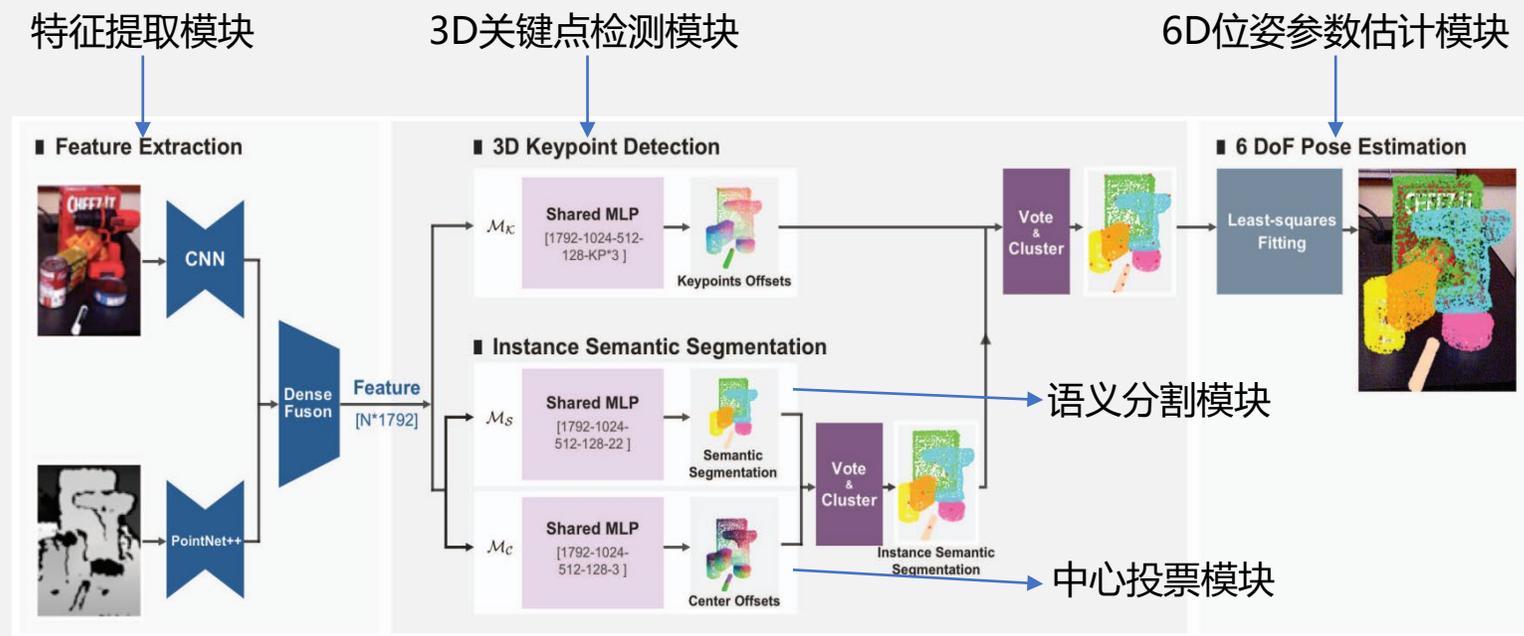


图 PVN3D算法框架

[3] Yisheng, H., et al. (2020). PVN3D: a deep point-wise 3D keypoints voting network for 6DoF pose estimation.



背景与目标

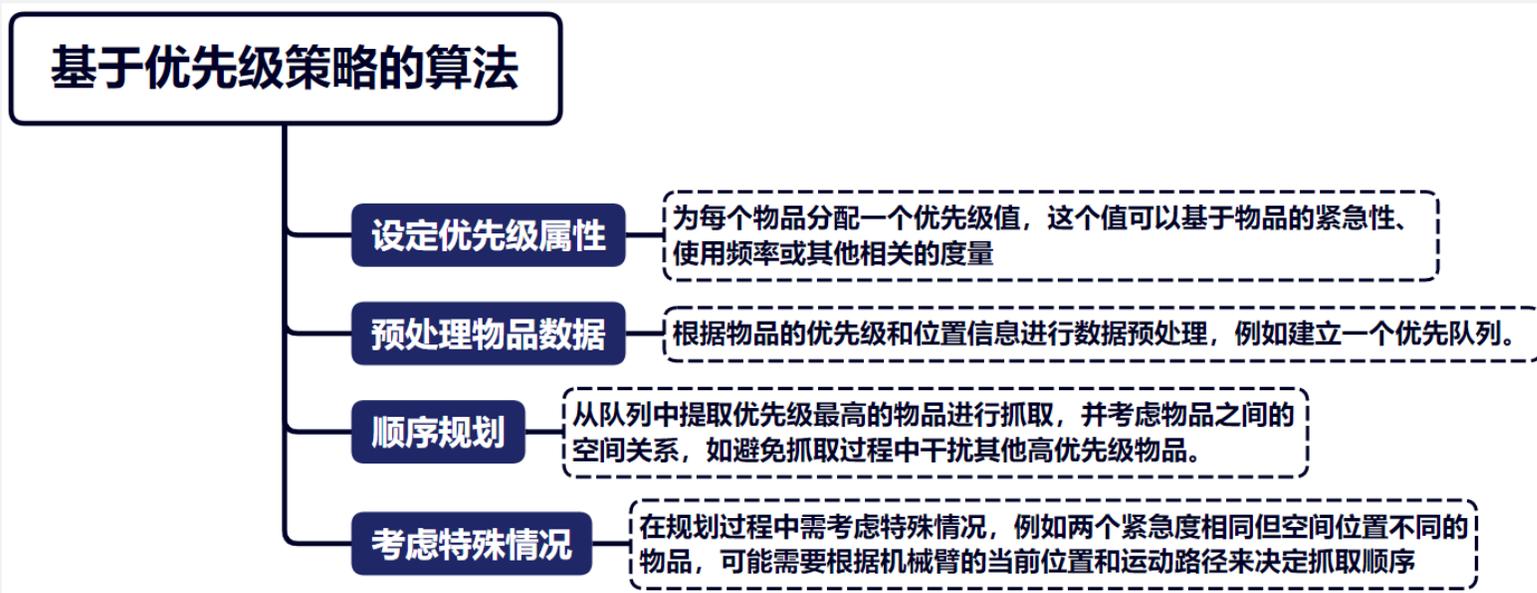
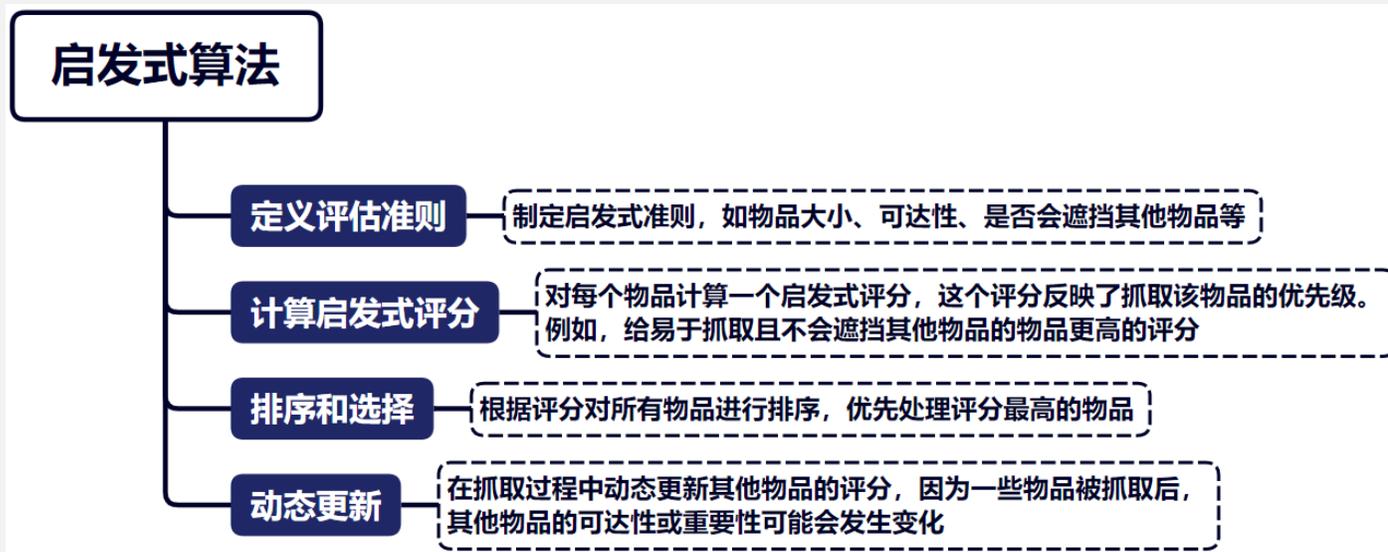
项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

# 机械臂抓取顺序的计算





# 视觉部分算法总结

背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

## 图像分割

- Mask-RCNN系列算法

## 姿态估计

- PVN3D / PoseCNN算法

## 顺序优化

- 启发式算法 /  
基于优先级策略的算法



# 机械臂轨迹规划和持续学习

- ◆ 精准的**抓取**与稳定的**路径规划**
- ◆ 对**异常姿态**样本管的良好归置

背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

INPUT

- 目标抓取位姿
- 初始关节配置

3D视觉图像

力反馈数据

OUTPUT

机械臂最优轨迹

推动-抓取协同动作  
智能抓取策略

基于力反馈的  
持续学习系统



# 机械臂轨迹规划和持续学习

自适应机械臂平台

背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

NVIDIA Jetson  
开发平台



触觉/测力传感器



非夕7轴自适应机器人

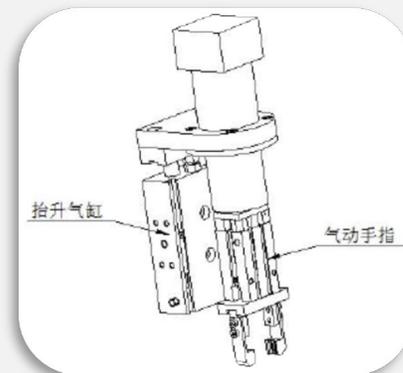


- 重复定位精度  $\pm 0.05\text{mm}$
- 臂展  $941\text{mm}$

末端执行器



Grav力控型夹爪



定制试管夹爪



# 机械臂轨迹规划和持续学习

轨迹规划 | 智能抓取 | 持续学习

背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

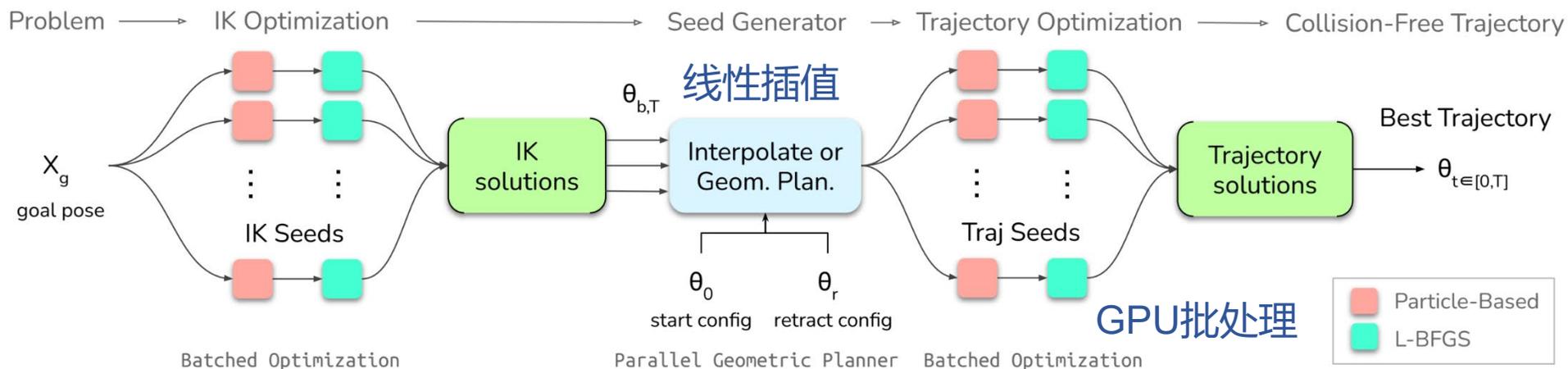
## 机械臂轨迹规划 cuRobo

### 全局运动优化

- 将运动生成问题定义为全局优化问题
- 利用**GPU**通过多个并行种子迭代优化

### 并行几何规划器

- 平均**23**毫秒内 生成无碰撞路径
- 比现有SOTA **RRT Connect** 实现快**28**倍





# 机械臂轨迹规划和持续学习

轨迹规划 | 智能抓取 | 持续学习

## 基于环境理解的智能抓取



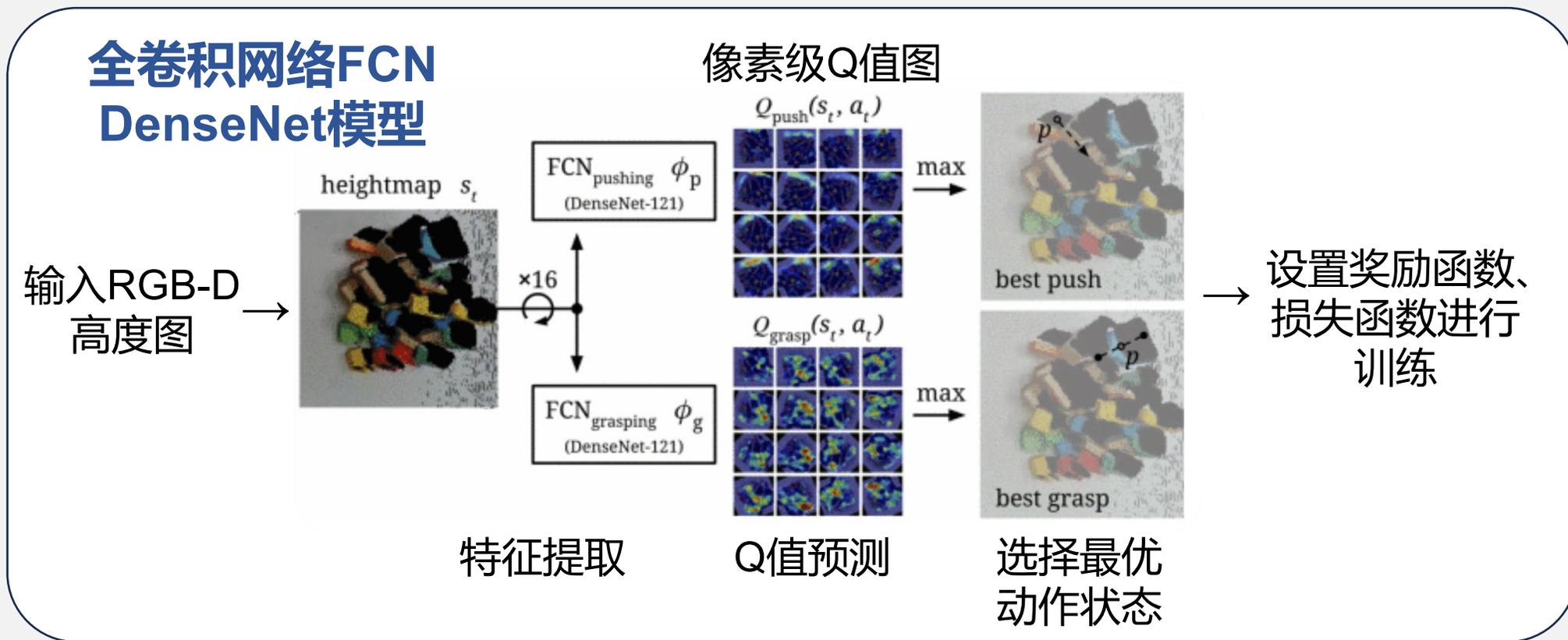
背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果





# 机械臂轨迹规划和持续学习

轨迹规划 | 智能抓取 | 持续学习

背景与目标

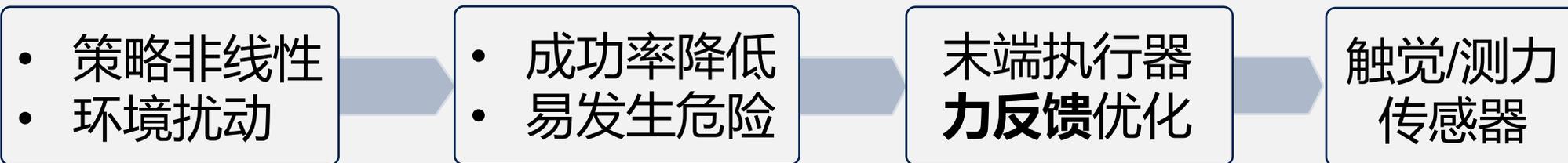
项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

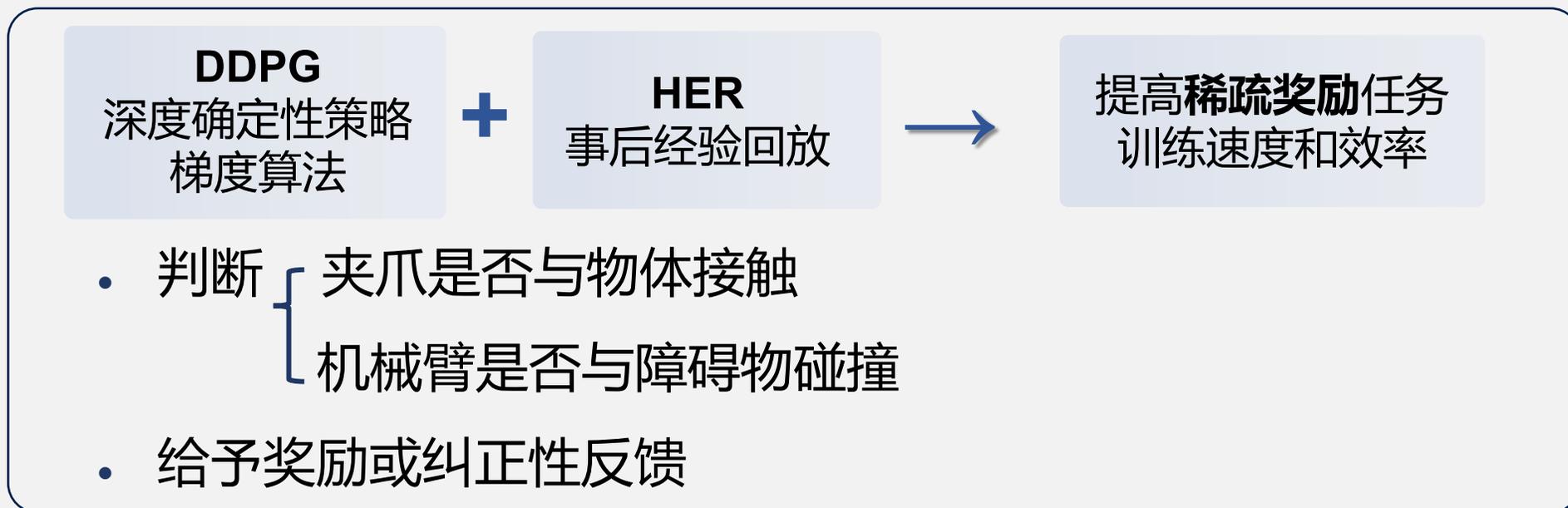
预期成果

## 基于力反馈的持续学习系统



◆ 触觉/测力传感器测量力/力矩

◆ 基于力的强化学习训练





# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果





# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

▶ 仿真平台选择: NVIDIA Isaac Sim

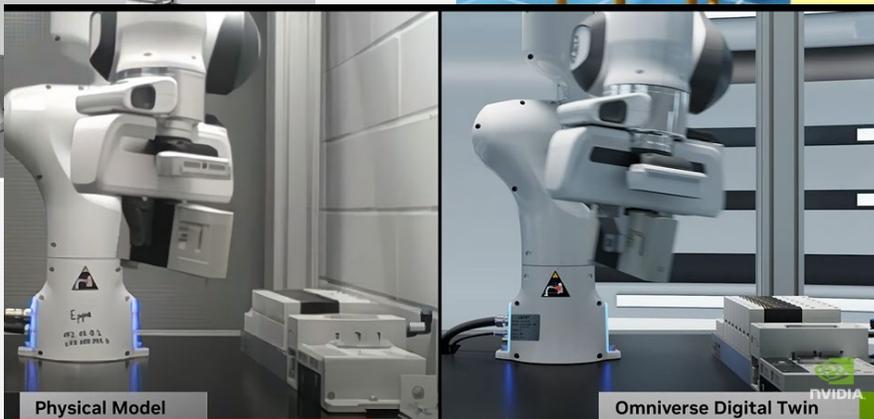
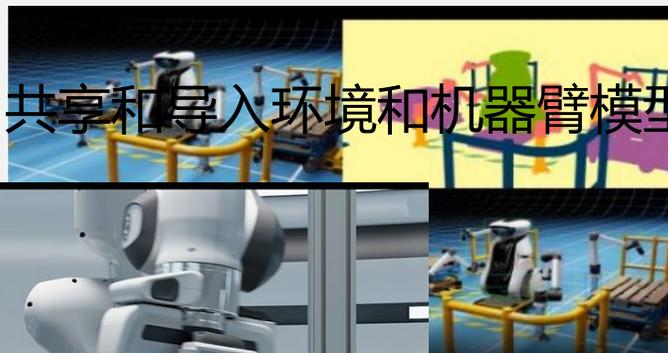
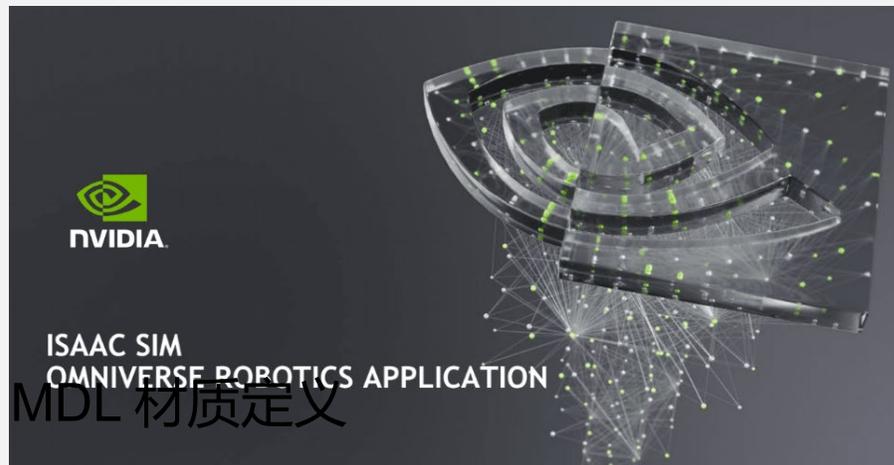
▶ Isaac Sim 介绍 Webots 等

- 物理引擎、GPU加速、深度学习集成
- 真实模拟、(基于Omniverse)

GPU 物理模拟、实时光线和路径追踪、

- 无缝衔接和互操作性:

Isaac ROS/ROS 2接口, Python 共享和导入环境和机器臂模型





# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

## ▶ 仿真平台搭建:



- 导入机器人模型：： STL、URDF等格式
- 设置工作环境：工作台、冻存盒、目标样本等



# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

## ▶ 仿真平台搭建:



- 
- A red arrow points downwards from the flowchart to a blue dashed box containing the following details:
- 定义材质及物性: MDL定义工具
  - 配置机械臂动力学参数: 关节限制、速度限制、力矩限制



# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

背景与目标

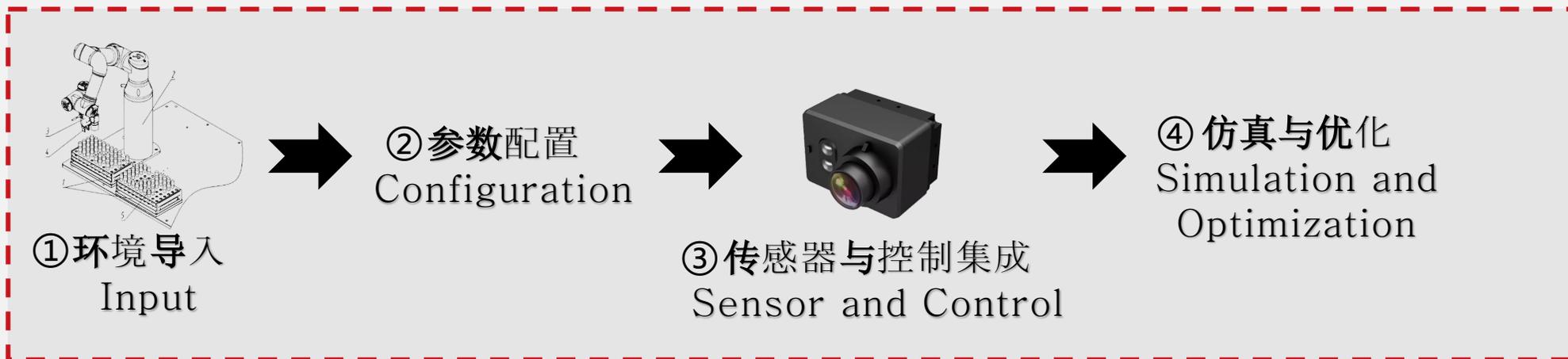
项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

## ▶ 仿真平台搭建:



- 传感器设置: 相机、力/扭矩和触觉传感器
- 控制算法集成: 深度学习、基于力的强化学习算法



# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

背景与目标

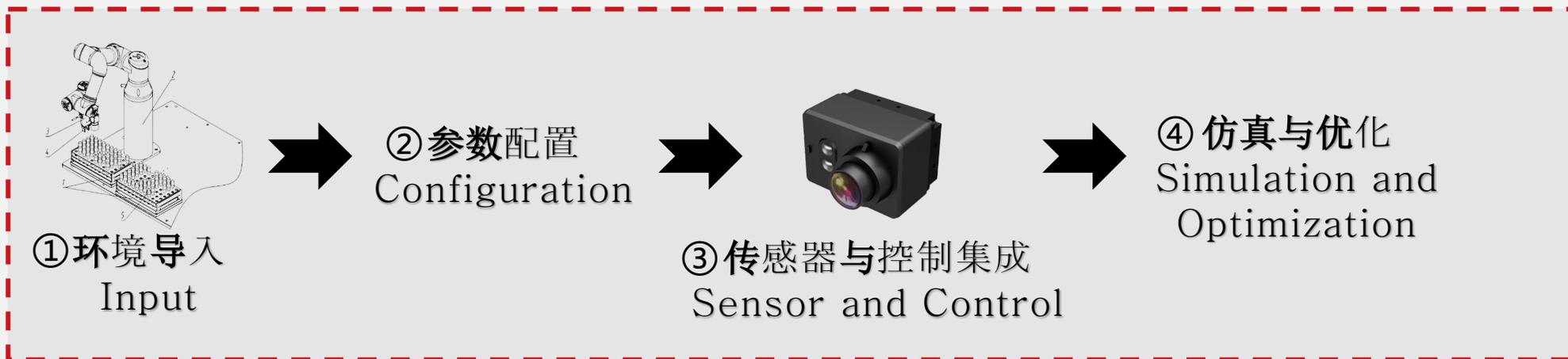
项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

## ▶ 仿真平台搭建:



- 异常场景模拟：样本倒斜
- 数据采集与分析
- 优化与迭代：根据仿真结果进行模型参数和算法的优化



背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

## Isaac Sim 可在 Omniverse Cloud 上使用

### ► 更高级的扩展性:

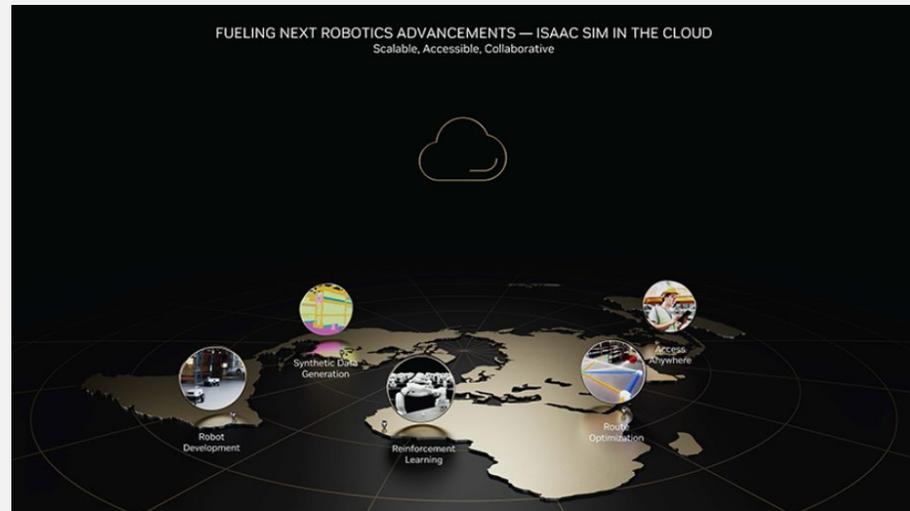
- 强大的计算资源, 确保数据采集的效率与规模

### ► 协作性:

- 多个团队成员可以在云端共同工作, 实时共享场景、模型和仿真数据。

### ► 灵活性:

- 可以通过云服务在任何地方访问仿真环境, 无需受地理环境限制





背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

## ▶ Sim2real: (Simulation to Reality)

### ① 原理:

将仿真环境中训练和优化的模型、算法、策略等有效地迁移到真实世界中，是强化学习的一个分支。

### ② 目的:

适应各种未知的、在仿真中未能完全模拟的真实条件。解决模拟与真实差异较大问题以提高抓取成功率。

## ▶ 大致分类:

### ① 领域自适应:

原理: 真实模拟环境共同映射

适用: 计算机视觉相关问题

### ② 渐进网络:

原理: Progressive Neural Network

适用: 逐步过渡从简单任务到复杂任务

### ③ 领域随机化:

原理: 模拟中物理参数随机化

适用: 机器人避障问题



背景与目标

项目需求与设计规范

概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

## ▶ 领域自适应 (Domain Adaption) 思路:

数据标准化

对图像、传感器数据标准化, 降维



特征提取和映射

引入一个映射函数, 将数据从原始特征空间映射到一个共享的特征空间。

$$p(f(s_S)) = p(g(s_T))$$



领域分类器

通过对抗训练, 学习生成在共享特征空间中不可区分领域的表示。



深度特征对齐

确保共享特征空间中的深度特征在模拟和真实环境中对齐。



实验优化



# 仿真系统搭建

仿真平台 | 云端部署 | 算法开发

背景与目标

项目需求与设计规范

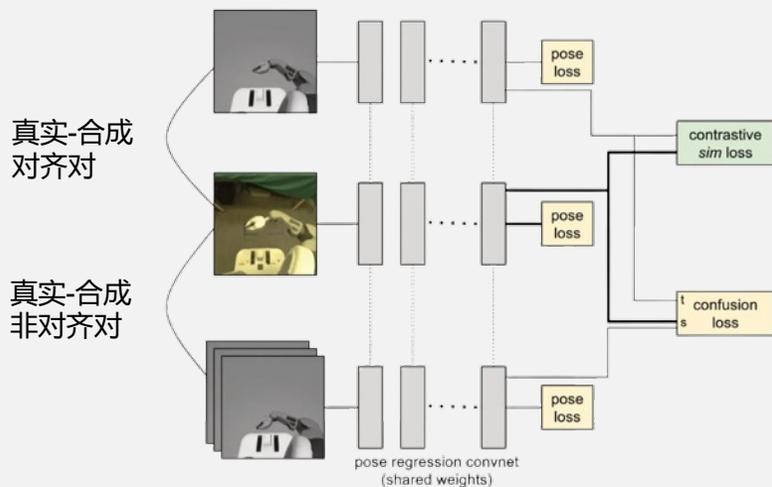
概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

## ▶ 共享权重的姿态估计模型:

目的: 使模型在模拟和真实环境均良好



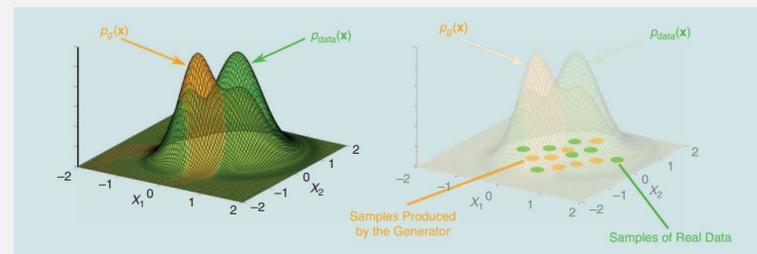
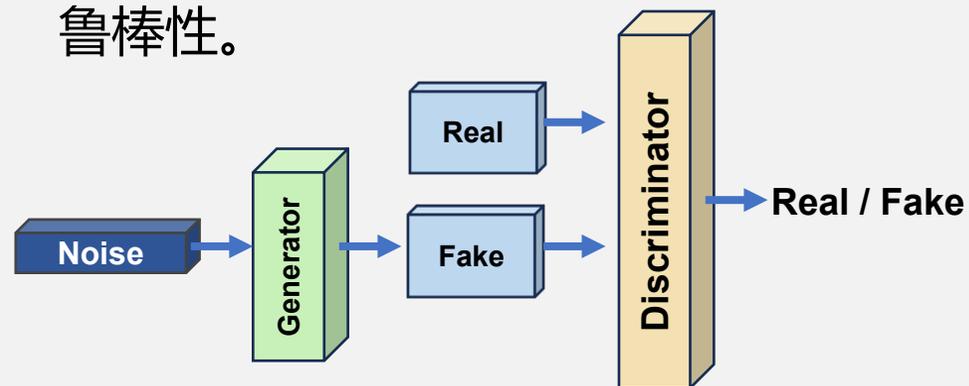
姿态估计损失 (Pose Estimation Loss)

域混淆损失 (Domain Confusion Loss)

对比损失 (Contrastive Loss)

## ▶ 对抗训练:

引入对抗性训练, 提高模型泛化能力。同时生成更多逼真数据, 以增加模型在仿真中的训练数据量, 提高模型的鲁棒性。



GANs网络原理



# 目录

## CONTENTS



1

背景与目标

2

项目需求与设计规范

3

概念设计方案

4

分工与进度计划

5

预期成果



背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

# 分工与进度计划

分工 | 进度计划 | 预算

<b>I. 代贤晨</b>	<b>◆ 力反馈学习系统:</b> 利用末端执行器传感器动态调整抓取力度和姿态。
<b>◆ 图像分割:</b> 利用3D视觉技术对医疗物品进行图像分割, 深度学习处理3D点云数据。	<b>III. 崔城铭</b>
<b>◆ 抓取姿态估计:</b> 构建物体模型, 优化算法确保抓取成功率和效率。	<b>◆ 仿真环境搭建:</b> 在NVIDIA Isaac Sim环境建立多机器人仿真场景, 支持云端部署。
<b>◆ 抓取顺序计算:</b> 计算最优抓取顺序, 适配边缘计算算法提供最优解。	<b>◆ 仿真到现实算法:</b> 开发将仿真中学到的参数和策略迁移到真实机器臂操作的算法。
<b>II. 杨帆</b>	<b>IV. 全员</b>
<b>◆ 轨迹规划:</b> 基于3D视觉信息生成最优抓取和放置路径。	<b>◆ 整体系统集成与测试:</b> 将医疗物品抓取的3D视觉图像分割、机械臂抓取姿态规划、仿真环境与真实操作的算法有机整合, 以实现高效、稳定的医用物品拣选系统。
<b>◆ 智能抓取系统:</b> 基于3D视觉信息生成最优抓取和放置路径。	



# 分工与进度计划

分工 | 进度计划 | 预算

背景与目标

项目需求与设计规范

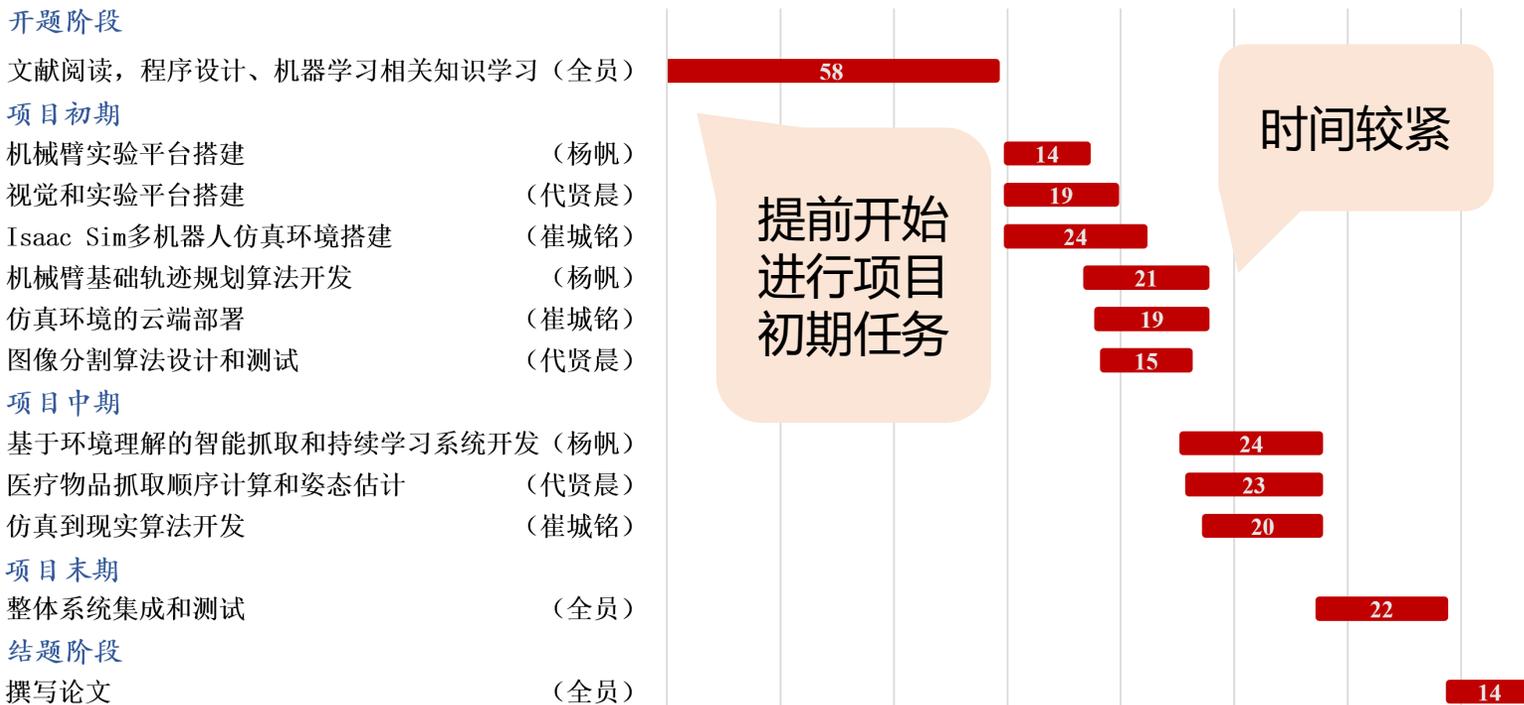
概念设计方案

分工与进度计划

预期成果

### 工作安排甘特图

1月1日 1月21日 2月10日 3月1日 3月21日 4月10日 4月30日 5月20日





背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

# 分工与进度计划

分工 | 进度计划 | 预算

序号	项目模块	金额
1	摄像设备	3000
2	软件许可	2500
3	硬件组件	2000
4	实验耗材	2500
总计	10000	



# 目录

## CONTENTS



1

背景与目标

2

项目需求与设计规范

3

概念设计方案

4

分工与进度计划

5

预期成果



背景与目标

项目需求与  
设计规范

概念设计方案

分工与进度  
计划

预期成果

# 预期成果

---

## ① 优化挑管系统：

➤ 提高抓取成功率、稳定性、安全性。

## ② 专利

## ③ 最终项目演示

## ④ 论文期刊

.....



上海交通大學  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

谢谢