

## 问题背景与核心挑战（第一二章）

高维冗余系统的  
动力学耦合

Sim2Real 迁移的  
异构动力学鸿沟

移动与操作协同中的  
局部最优陷阱

## 第三章：控制框架与 Sim2Real

### 非对称 Actor-Critic 架构 (POMDP)

**Actor:** LSTM 隐式推断  
(处理观测噪声/延迟)

**Critic:** 特权信息融合  
(物理参数/地形真值)

### Sim-to-Real 迁移策略

双队列延迟注入机制  
(模拟真实通讯/计算滞后)

机械臂高刚度宽限福建模  
(解决高增益下的梯度饱和)

监督学习神经网络速度估计  
(基于本体感知的状态重构)

## 第四章：PFG 奖励重塑与优化

### 物理可行域与几何先验

**数值逆运动学**  
阻尼最小二乘法  
(处理奇异性/热启动)

**可行性判定**  
物体雅可比矩阵  
(李代数误差度量)

### 复合奖励函数重塑策略

PFG 引导奖励  
(可行性内控与最小激励机制)

Keypoint 隐式位姿度量  
(消除权重分配/提升收敛稳定性)

异构正则化惩罚  
(力矩宽限幅 / 速度 / 平滑 / 碰撞)

## 第五章：实物部署与实验验证 (X20-Z1 复合机器人平台)

### 基础能力验证

- 移动操作稳定性
- 全身运动学协同

### 高动态鲁棒性验证

- 模仿体操运动
- 内源性扰动抑制

### 安全泛化验证

- 机械臂突发失能
- 零样本容错控制

## 第六章：总结与展望