

问题背景与核心挑战（第二章）

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)

机械臂高刚度宽限幅建模
(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
(可行性门控与最小激励机制)

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