

第四届 中国机器人学术年会

THE 4TH CHINA ROBOTICS ACADEMIC ANNUAL CONFERENCE

人机融合 共迎挑战

2023.7.7-9 中国·杭州

重力场自适应的机器人扩展动力学参数集 与稳健混合建模：机理+学习

黄石峰^{1,2}, 周星^{1,2}, 杨海滨¹, 王群¹, 张建伟^{3*}

1. 佛山智能装备技术研究院

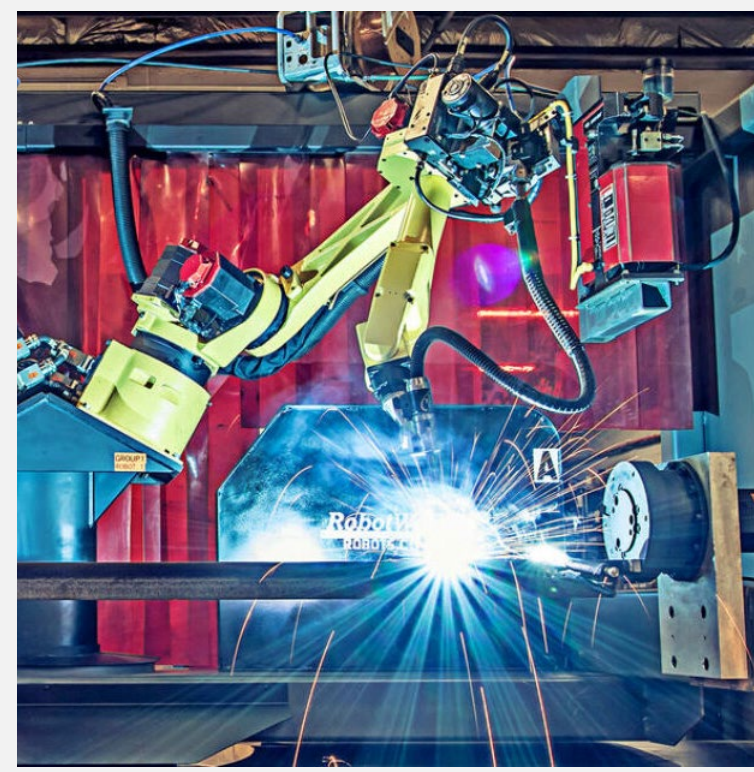
2. 华中科技大学国家智能设计与数控技术创新中心

3. 德国汉堡大学多模态智能机器人系统研究所（通讯单位）

一、学科挑战

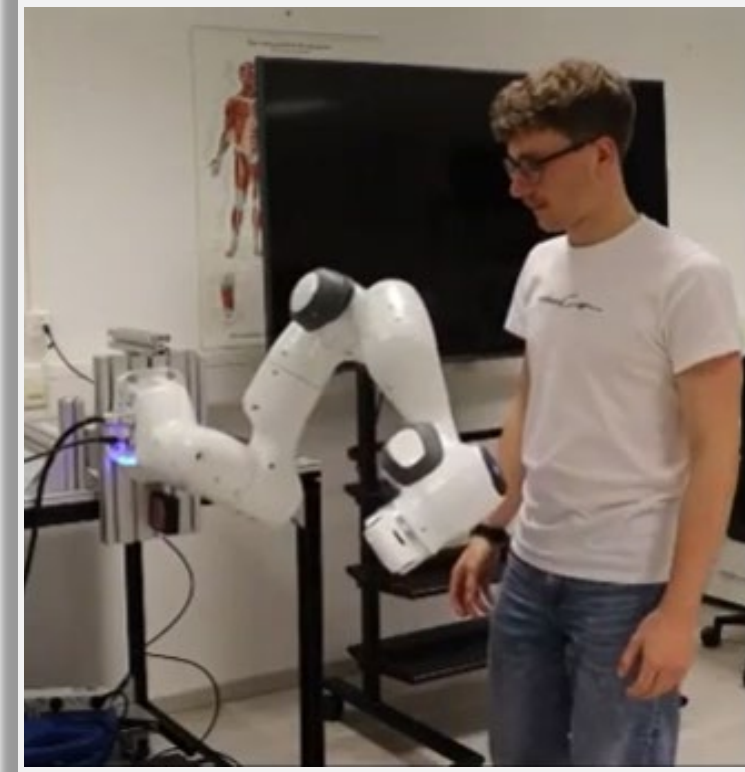
● 当前的机器人动力学建模理论体系，重力加速度需被先验设定以确定模型重力项和基础回归阵。这造成了所建立的动力学模型及辨识出的基础动力学参数集（BDS）势必与机器人安装姿态先验相关，因此模型无法适用于除辨识姿态以外的其他空间安装姿态。

现实瓶颈



当前主流技术是依据安装姿态角，重构基础回归阵，见Raviola博士2021年研究成果：Effects of Temperature and Mounting Configuration on the Dynamic Parameters Identification of Industrial Robots

研究热点

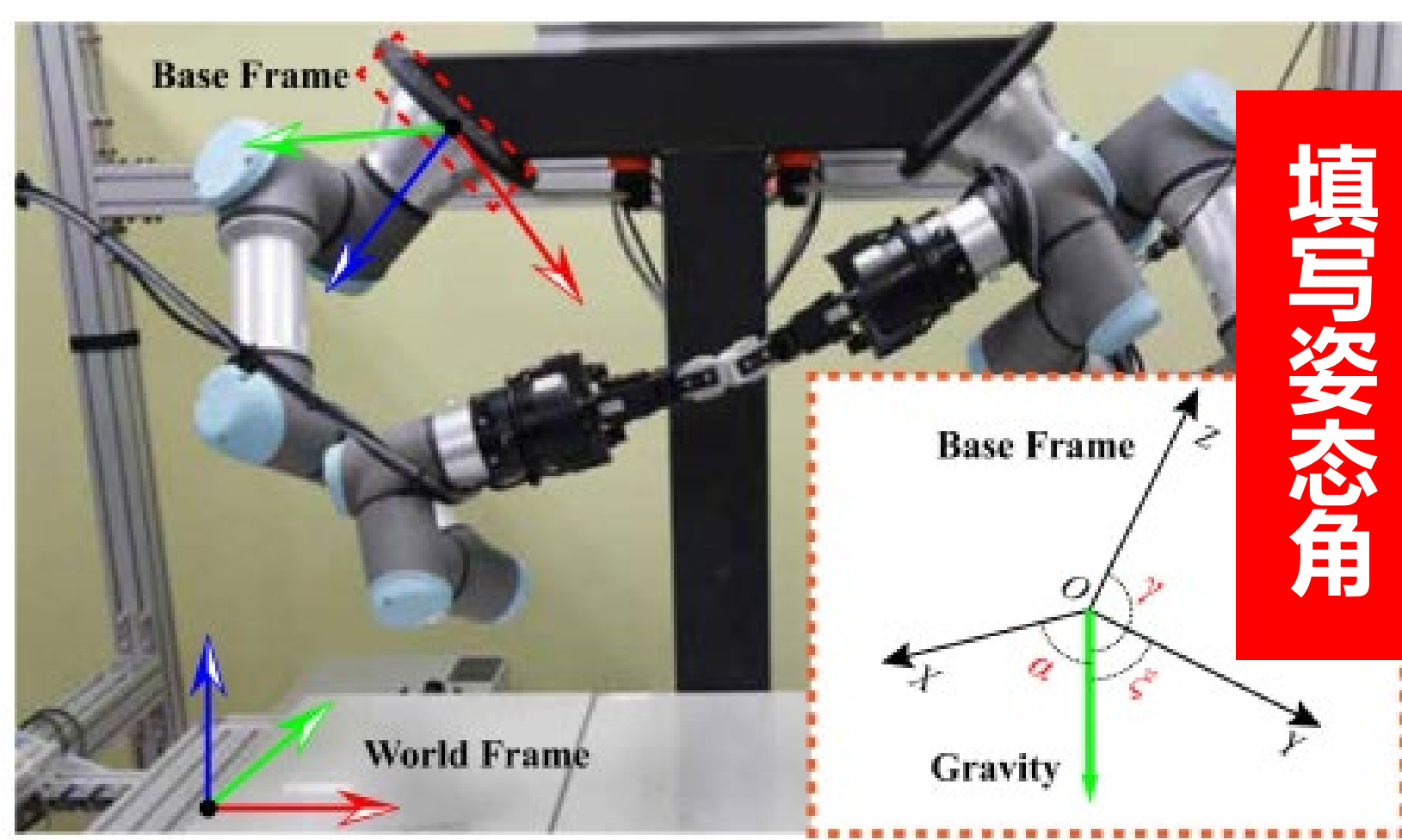


Franka创始人Sami Haddadin博士认为该议题是研究缺陷，在2023年ICRA大会上做主题报告：Identification of a Generalized Base Inertial Parameter Set of Robotic Manipulators Considering Mounting Configurations

● 针对串联机器人末端侧连杆自重较小进而辨识精度不高的共性缺陷，业界常采用逆序辨识策略，即从末端侧向基座侧逐一辨识。然而，该过程涉及的基础回归阵子矩阵块满秩与否尚无系统性论证。因而逆序辨识的理论完备性存疑。

二、提出的创新方法

◆ 将重力加速度矢量融入惯性参数元素中，提出了扩展动力学参数集（EDS），能适应任意安装姿态下的重力场分布，打破了机器人社区创立近40年的基础动力学参数集（BDS）需重力加速度先验知识的瓶颈，克服了动力学模型在变安装姿态下的重建模挑战，提升了机器人部署快速性。



姿态自适应

$$g_0 = [A_a \ B_b \ C_c]^T g$$
$$A_a = \cos(\alpha), \ B_b = \cos(\xi), \ C_c = \cos(\gamma).$$
$$\pi_i^1 = \left([m_i A_a \ m_i B_b \ m_i C_c] \right)^T$$
$$\pi_i^2 = \left([m_i l_{c_{ix}} A_a \ m_i l_{c_{ix}} B_b \ m_i l_{c_{ix}} C_c] \right)^T$$
$$\pi_i^3 = \left([m_i l_{c_{iy}} A_a \ m_i l_{c_{iy}} B_b \ m_i l_{c_{iy}} C_c] \right)^T$$
$$\pi_i^4 = \left([m_i l_{c_{iz}} A_a \ m_i l_{c_{iz}} B_b \ m_i l_{c_{iz}} C_c] \right)^T$$

◆ 引入动力学子系统辅助分析，论证了逆序辨识策略的理论不完备性。提出了基于稳健估计的序列辨识技术RSIH，其能有效应对子回归阵秩亏的情况及粗大测量噪声扰动，提出机理模型+增量学习I-SSGPR的动力学混合建模方法，实现未建模误差补偿，极大提升了模型精度，并对缺失物理可解释性的机器学习黑盒模型引入失效防御机制，最终实现稳健的纹理级逆动力学预测精度。

