

# 机器人行业仿真分析解决方案

深圳市优飞迪科技有限公司

# 议题

- 机器人行业概述
- 机器人行业仿真需求
- 工业机器人的联合仿真技术
- 机器人行业应用案例
- 仿真技术在机器人研发各个阶段的应用

# 机器人分类

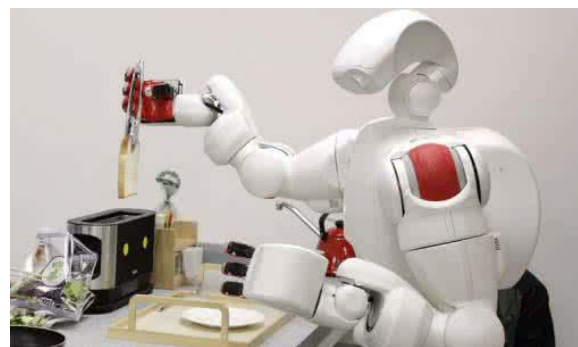
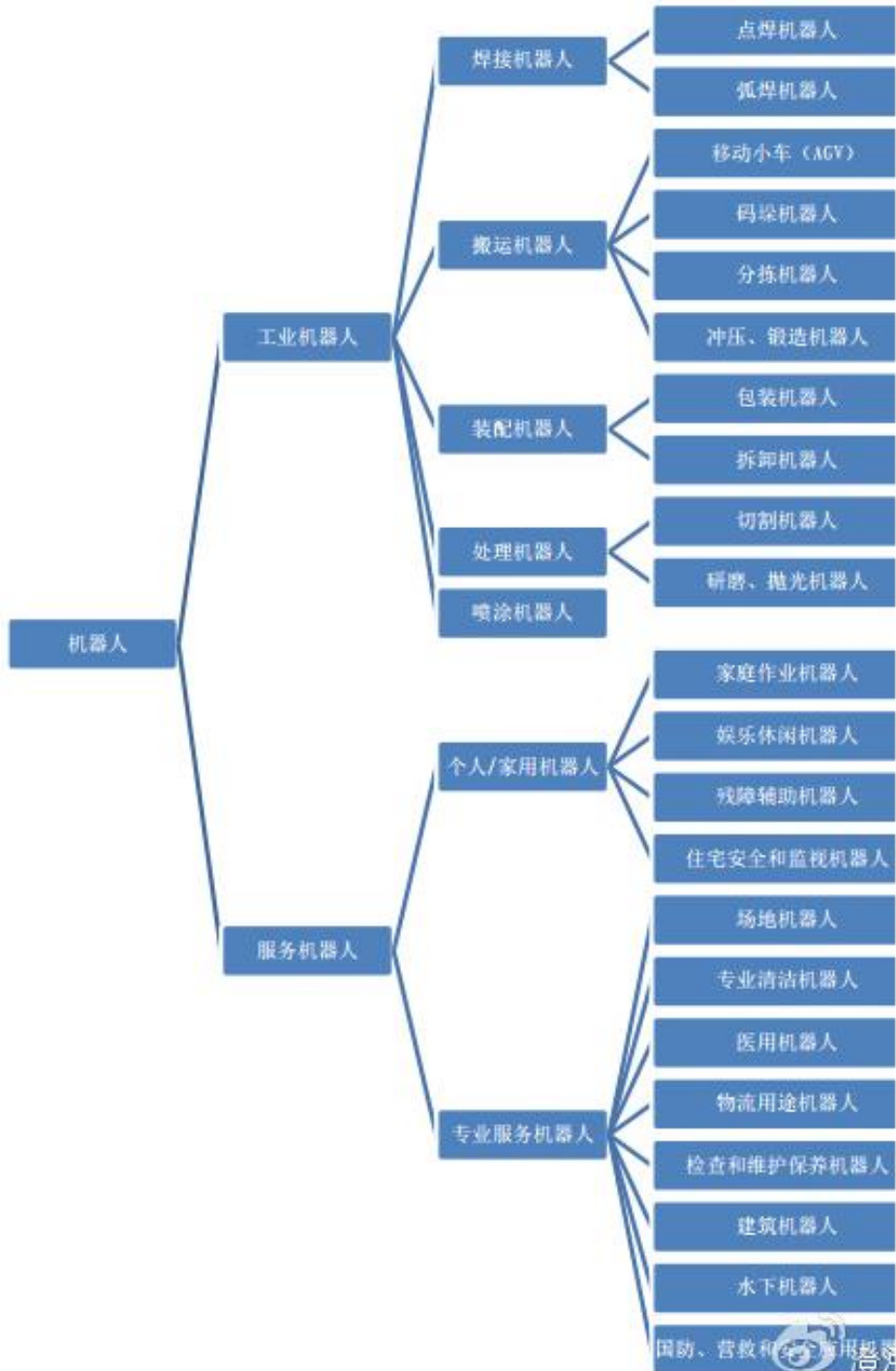
## 工业机器人

- ✓ 焊接机器人
- ✓ 搬运机器人
- ✓ 装配机器人
- ✓ 处理机器人
- ✓ 喷涂机器人

## 服务机器人

- ✓ 个人/家用机器人
- ✓ 专业服务机器人

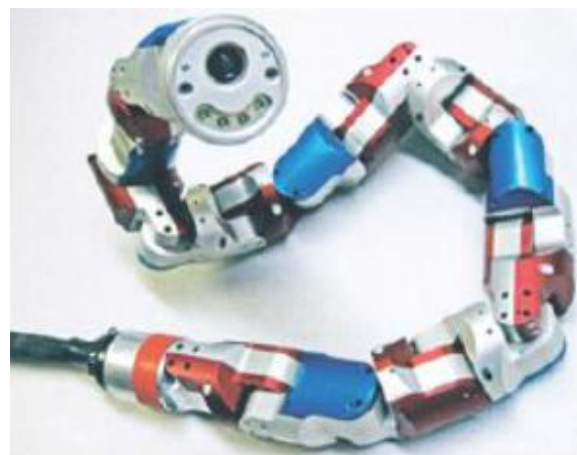
## 军用机器人



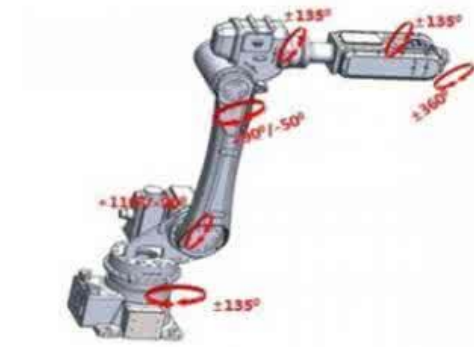
# 工业机器人按照运动方式分类



直角坐标机器人



冗余机器人



六轴机器人



水平关节机器人



双臂机器人

# 分析需求

- 结构强度、刚度分析

结构强度、刚度是机器人产品的基本要求。分析内容包括：

- 零部件和整机产品的强度、刚度
- 部件和整机装配连接分析(螺栓连接和预紧、装配应力，接触应力)

- 结构动特性分析

结构动特性是影响工业机器人产品性能的一个重要指标。工作条件下工作频率是否远离系统的固有频率，是否发生共振。机器人产品的动特性分析包括：

- 零部件和整机的模态分析
- 工作过程的瞬态响应分析
- 零部件动特性匹配：频率响应分析
- 接合面动刚度、阻尼特性

# 分析需求

## ● 结构优化分析

优化产品结构是降低产品成本、提高产品性能的有效方法。对于机器人产品，可以进行的优化有：

- 满足设计要求的材料参数优化
- 节省材料的构架结构截面尺寸优化
- 零部件最优结构形式的拓扑形状优化
- 满足强度、模态、动响应等多学科要求的多学科优化

## ● 疲劳寿命分析及优化

准确预测和合理设计零部件的疲劳寿命对于预防事故、降低产品成本和提升产品质量具有十分重要的意义。机器人产品的疲劳分析及优化包括：

- 疲劳载荷谱的编制
- 零部件和整机的疲劳强度计算
- 零部件和整机的疲劳寿命预测
- 疲劳灵敏度分析及优化



# 分析需求

- 机构运动特性分析及优化

机器人产品的工作功能是通过机构运动来实现的，因此对其进行机构运动特性分析和优化是检验产品性能，优化产品设计的有效方法。通过建立机器人产品的功能化数字样机，可以对机器人产品进行如下分析

- 整机运动协调性
- 零部件运动轨迹、工作范围
- 工作过程零部件受力分析
- 定位精度、工作精度分析
- 刚弹耦合分析，工作过程中关键部件变形、精度影响分析
- 机构设计方案比较和参数优化

# 分析需求

## ●控制系统特性分析及优化

液压系统和气动系统是机器人产品主要的运动控制系统，直接控制着机器人产品的运动。控制系统的性能直接影响机器人的工作性能。控制系统特性分析和优化包括：

- 液压/机构的耦合作用对整机的影响
- 执行机构的受控运动和对电液系统的反馈
- 液压系统动力源、管路的能量损失和压力波动
- 阀和执行环节的动态响应
- 液压油特性和流动状态的变化，液压油温度变化
- 部件参数对整体系统性能的影响

## ●多学科耦合分析

机器人是集成结构、液压、电气、控制、运动等多学科耦合的机电液一体化复杂产品。其中结构、机构运动、液压控制等具有较强的交互作用，需要对其进行多学科耦合分析。包括：

- 刚-弹耦合分析，
- 运动-控制联合分析，运动系统和控制系统的耦合
- 结构-运动-疲劳一体化分析



# 柔性系统动力学仿真 MBD-FEA

## 包含部件柔性

从任意的有限元分析软件获得部件的柔性信息

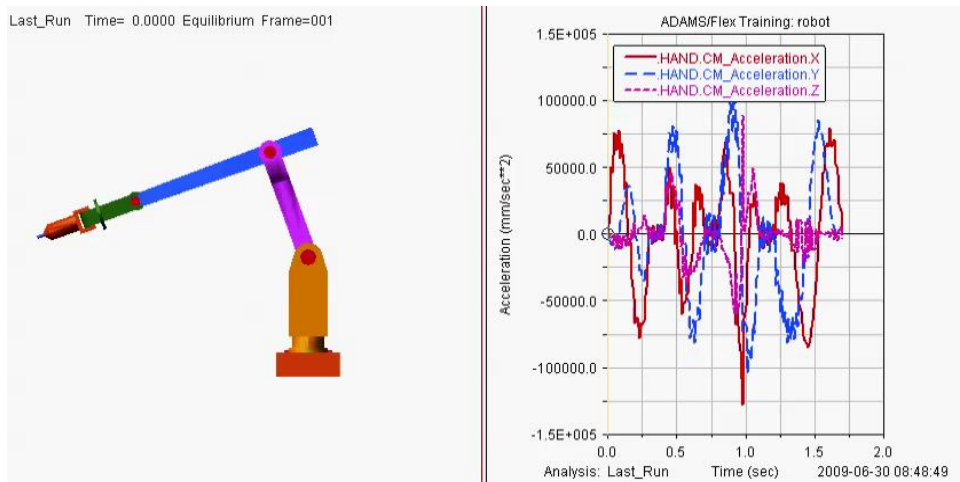
- Nastran
- Marc
- Abaqus
- Ansys

## 好处

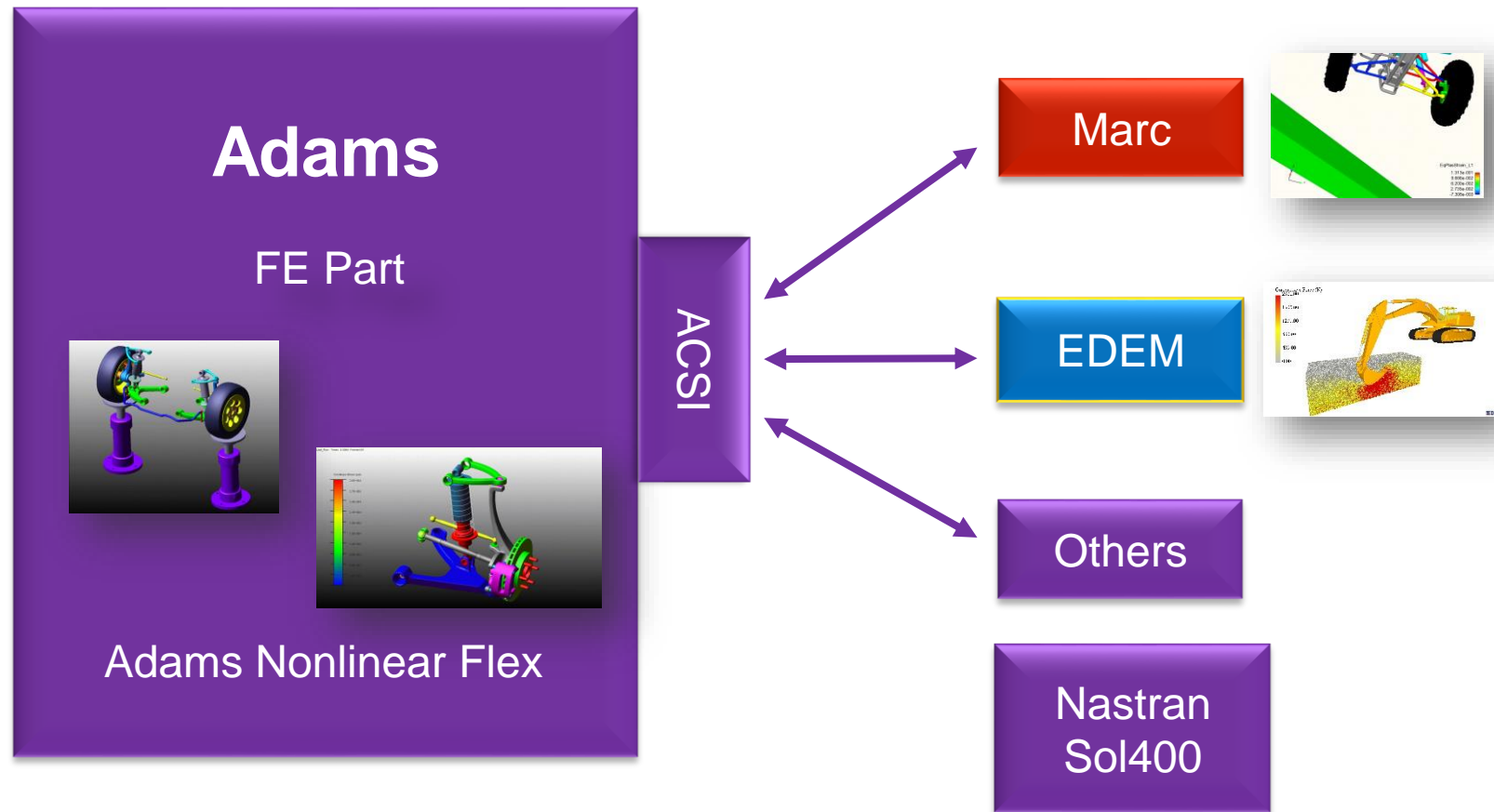
- 捕捉部件的变形
- 计算精度更高的机器人手臂轨迹
- 包含线性和非线性柔性

*Long hours on industrial sewing machines cause extreme level of shuddering resulting in worker stress. By modeling parts as flexible bodies using Adams/Flex we identified primary cause of the resonance and improved the design by reducing hazardous vibrations.*

**- JUKI Corporation**



# MBD-Nonlinear耦合仿真

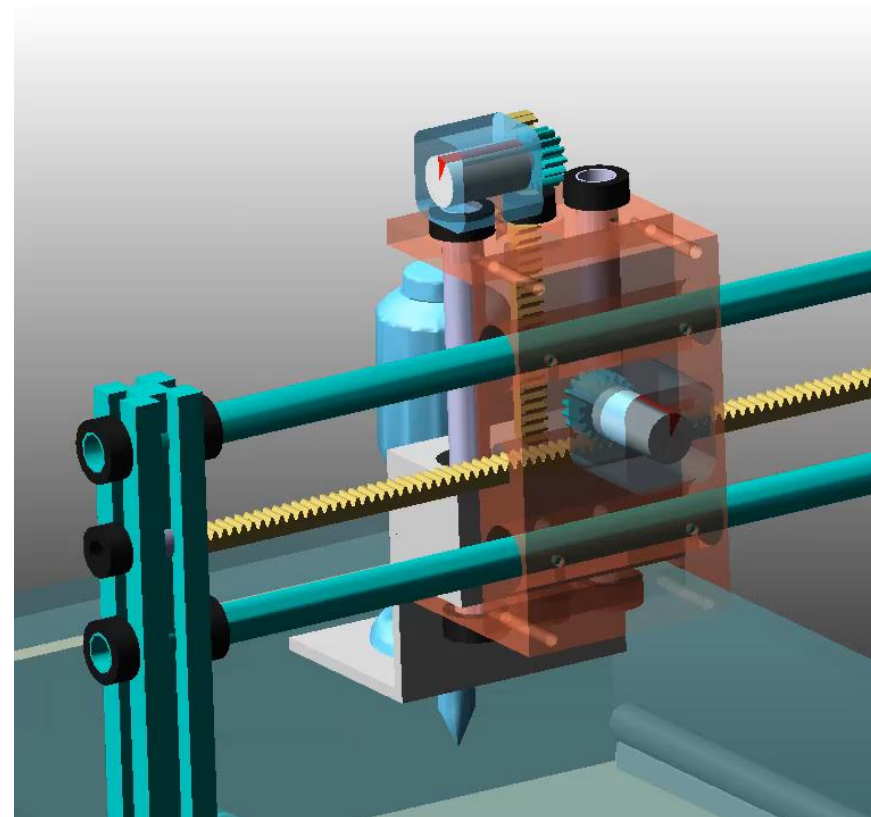


# 控制系统集成 Mechatronics

同时模拟和理解机械系统与控制系统的操作

## 好处:

- 研究控制（电子、液压和气动）与机械系统的相互作用
- 系统仿真的更高保真度
- 可以模拟所有的非线性因素，包括柔性和碰撞
- 与控制系统模型无缝集成
  - MATLAB/Simulink
  - Easy5
  - FMI支持的软件

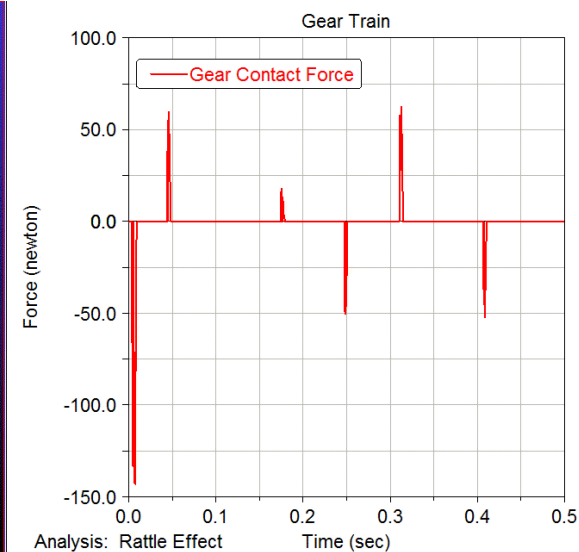
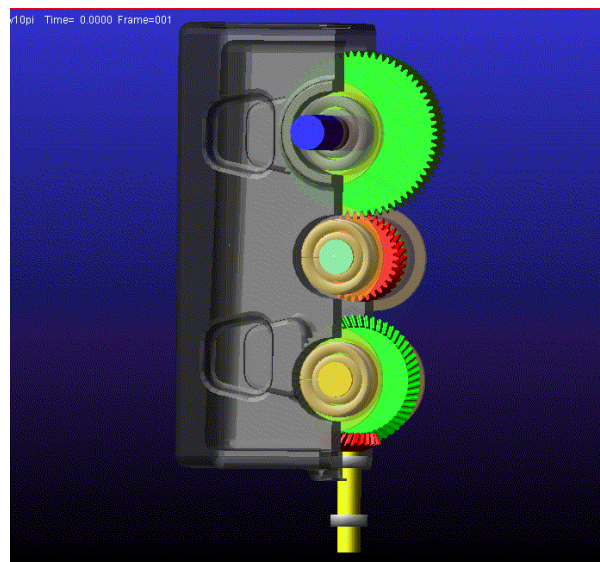


# 晃动效应及齿轮噪声预测

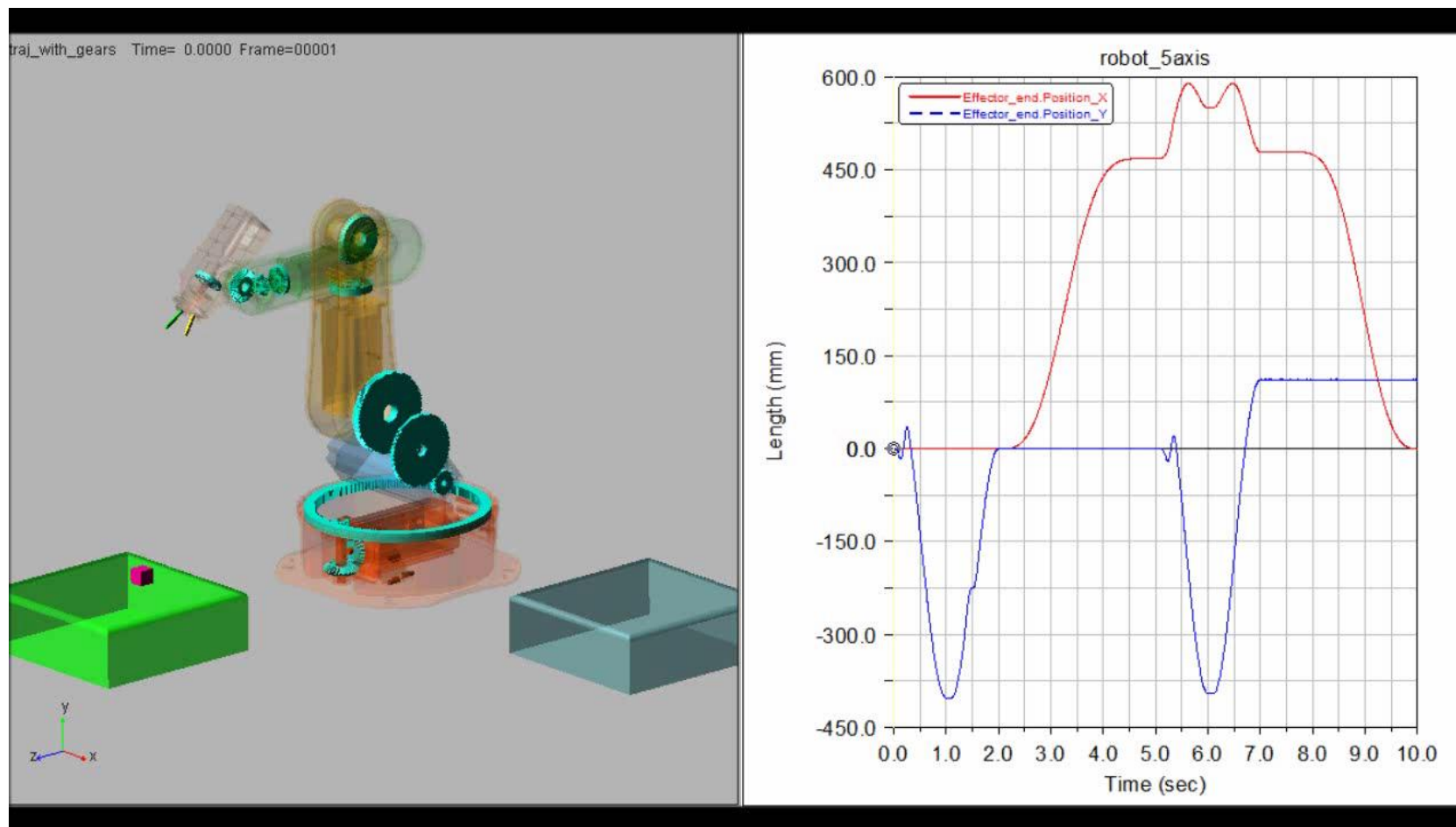
解决哪些问题？

- 研究齿轮间隙的影响
- 齿轮副之间的接触力预测
- 研究齿轮摩擦的影响
- 评估和降低齿轮的声响

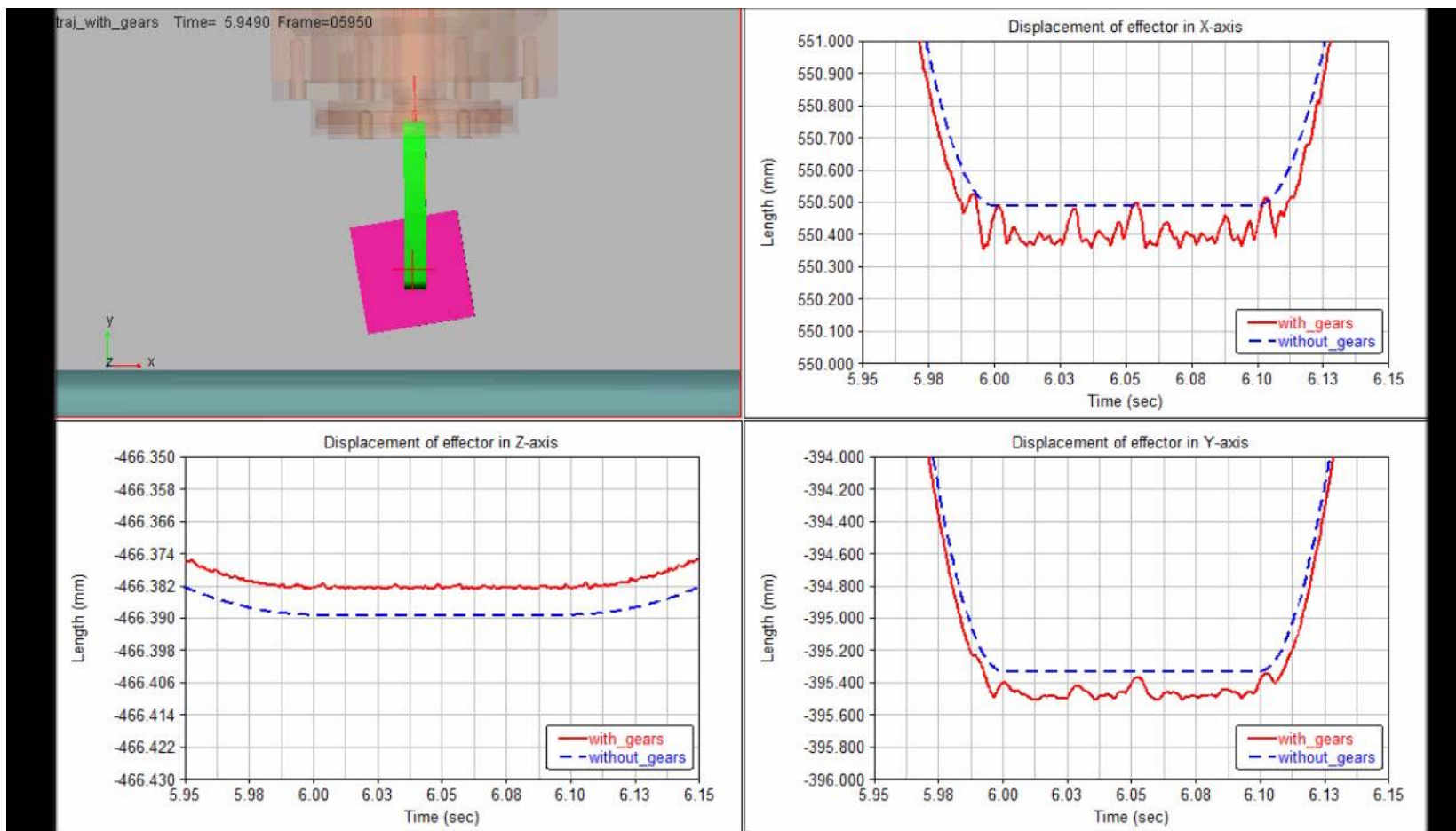
Gear Types	Modeling Fidelity Options	
	Simplified	3D Contact
Spur Gear (Internal/External)	✓	✓
Helical Gear (Internal/External)	✓	✓
Bevel Gear Straight	✓	✓
Bevel Gear Spiral	✓	✓
Hypoid Gear	✓	✓
Worm Gear	✓	✓
Rack & Pinion Gear	✓	✓



# 齿隙引起的晃动效应



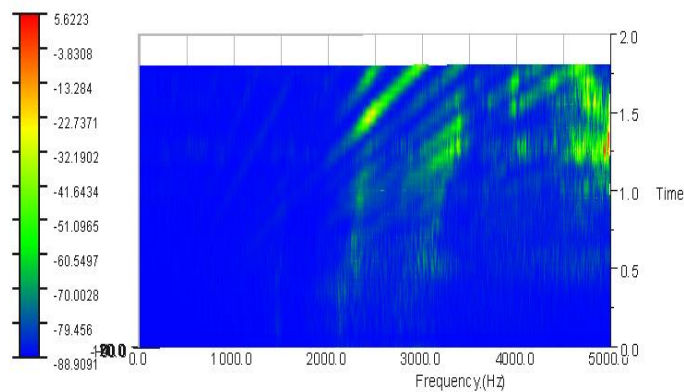
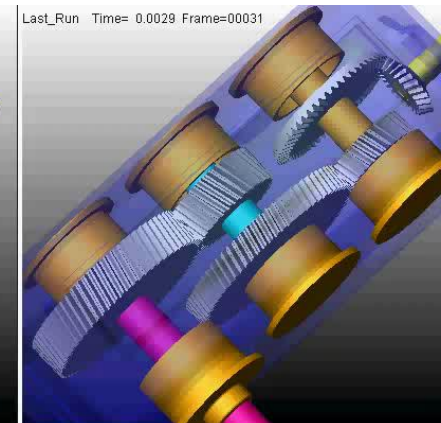
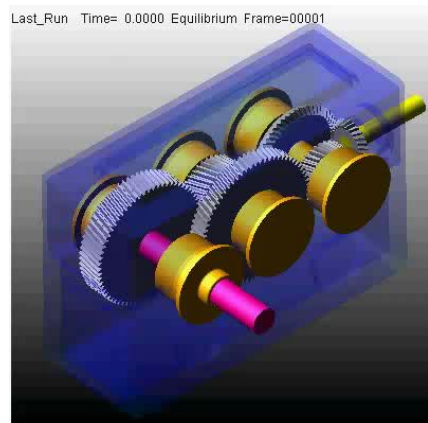
# 齿隙引起的晃动效应



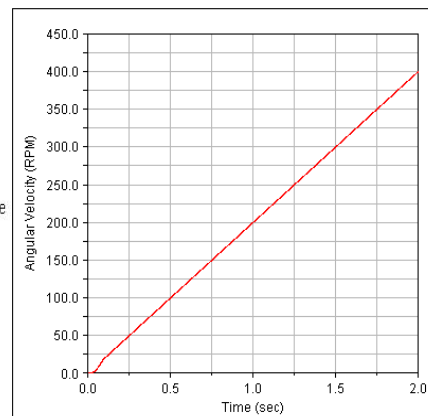


# 齿轮箱辐射噪声预测

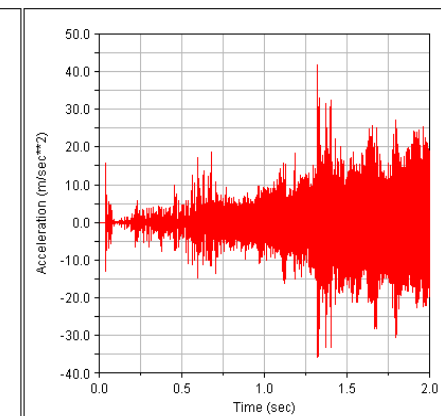
Acoustics-MBD



齿轮箱辐射噪声



齿轮轴转速



齿轮箱加速度



# 振动分析

## 解决哪些问题？

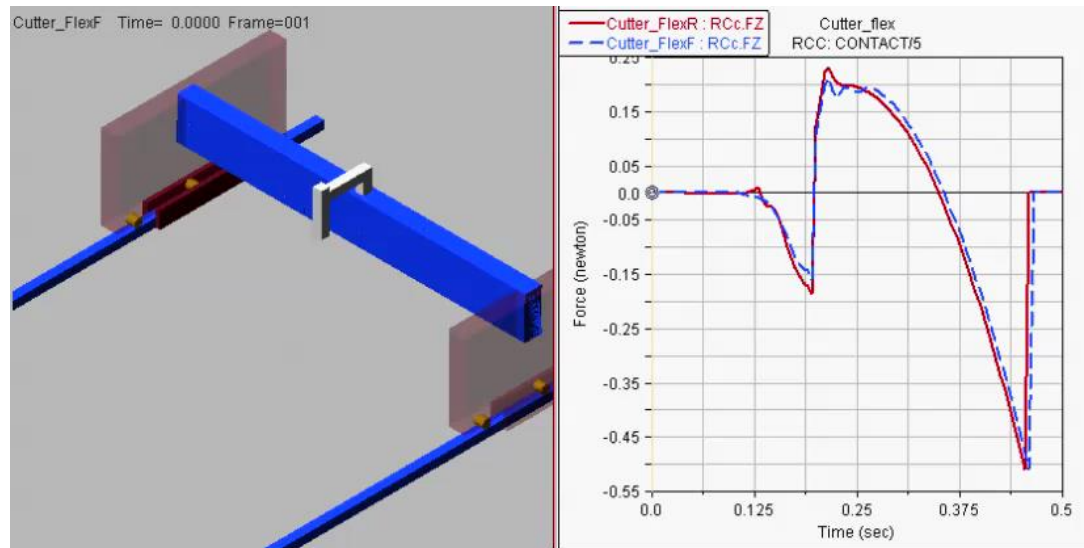
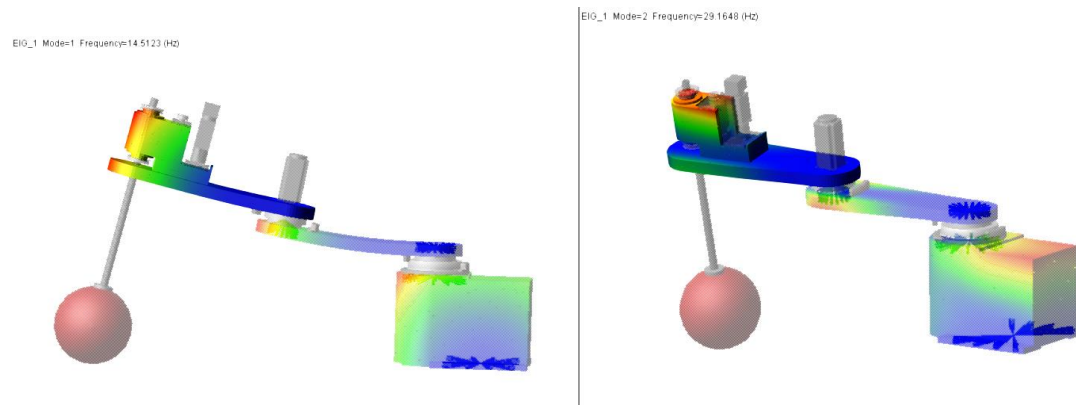
- 轻量化机器人可能会改变其固有特性
- 验证工作频率是否远离固有频率，避免共振
- 部件越轻，柔度越大，可能会看到更多的振动现象
- 工艺机器人，刀具和工件之间存在较强的相互作用，可能引起过大的热和振动问题。

## 执行系统级的振动分析

- 正则模态分析
- 频率响应分析

## 好处

- 使用同一个模型
  - 减少重复劳动
  - 节约时间
- 相比时域法，频域法分析速度更快



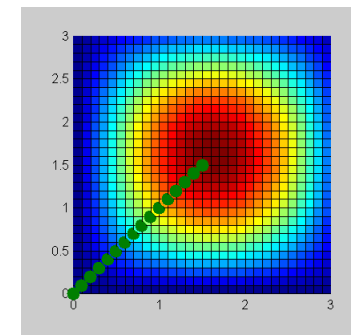
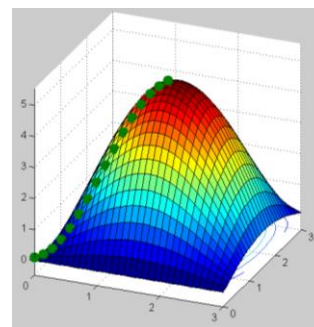
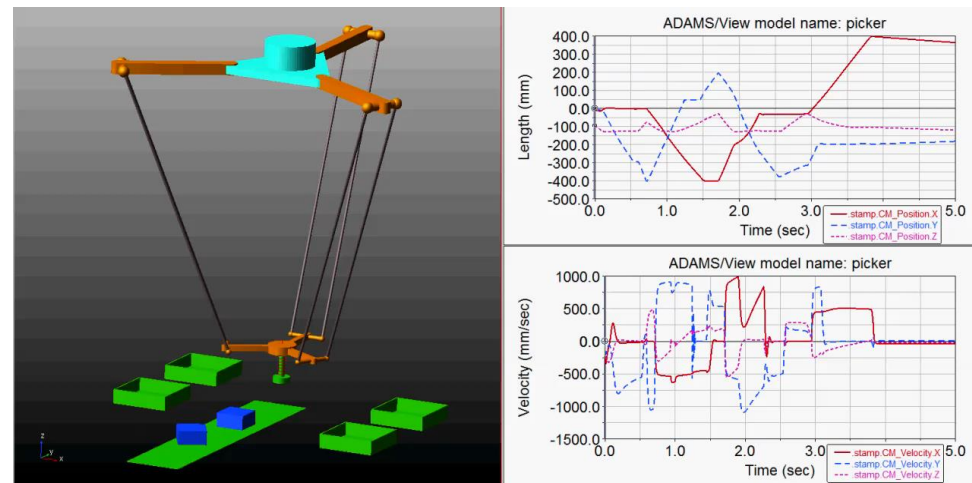
# 试验设计与优化 DOE / Optimization

## 运用Adams/Insight优化设计

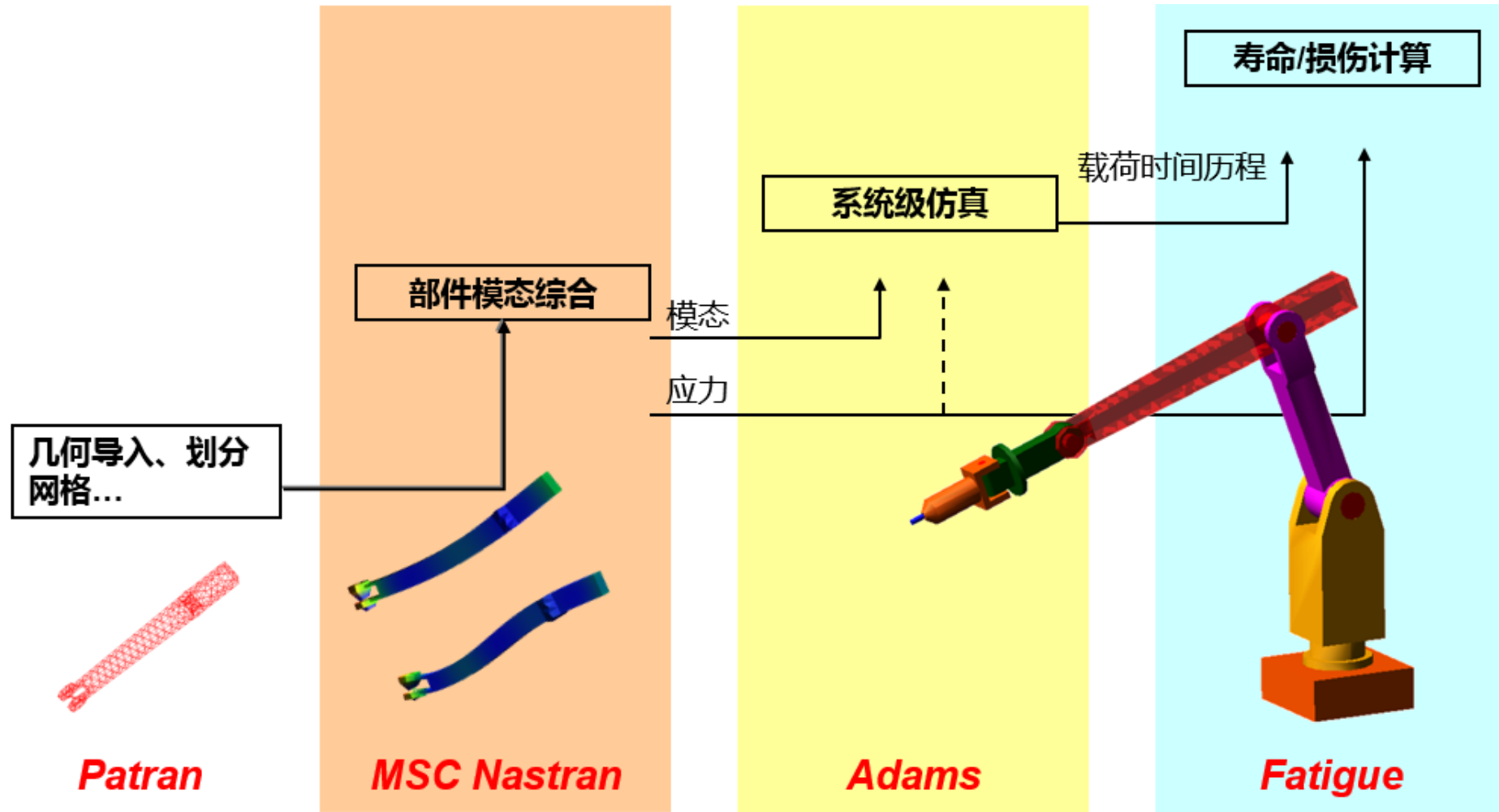
- 调整设计变量，最大限度提高性能指标
- 设置不同设计变量的变化范围
- 添加一般运动副，以保持整体范围内的优化设计

## 好处

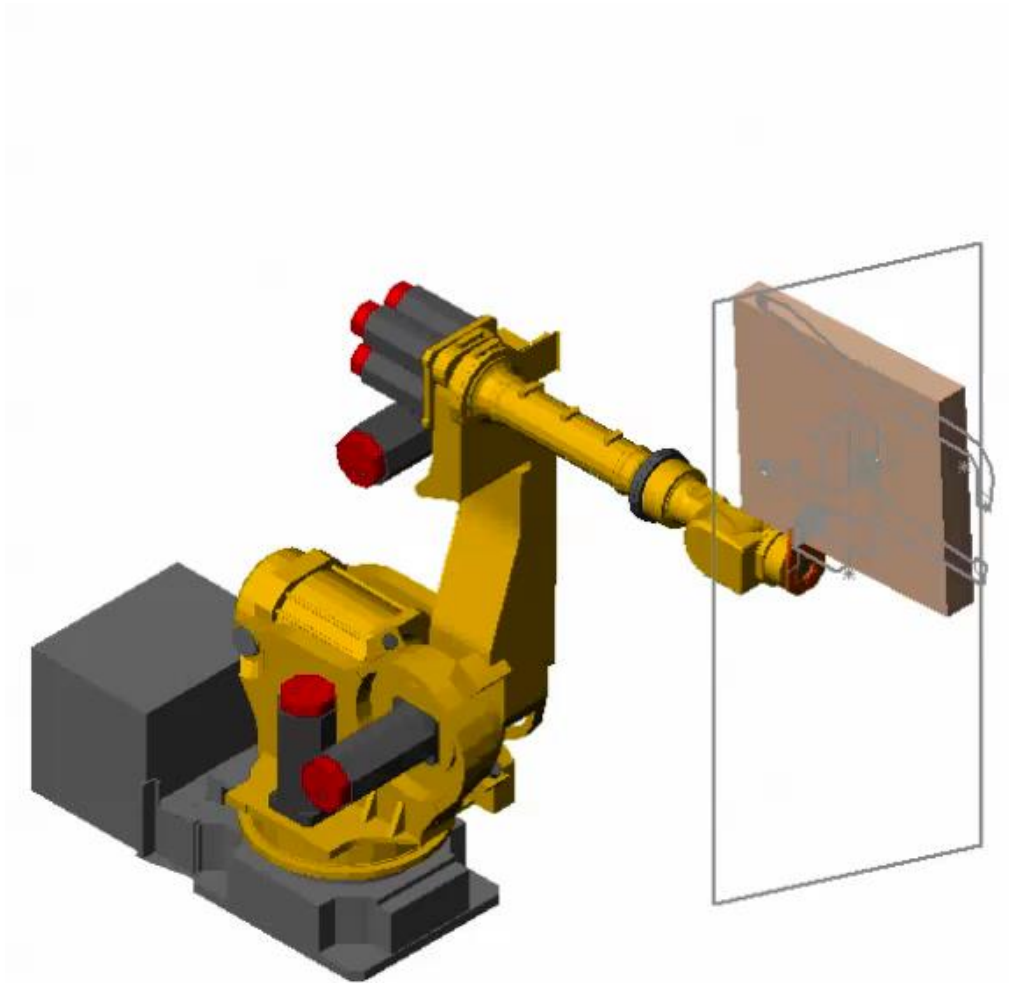
- 自动生成试验设计的网页或Excel表格形式的仿真结果
- 降低成本，并从模型中获得设计信心



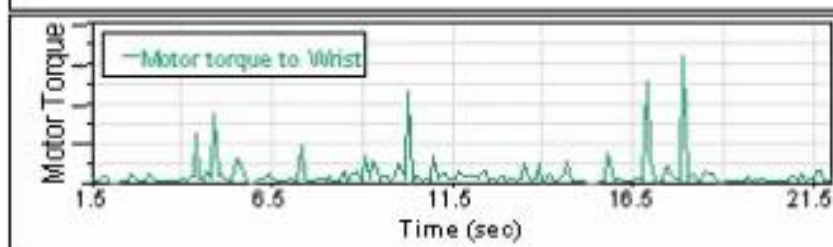
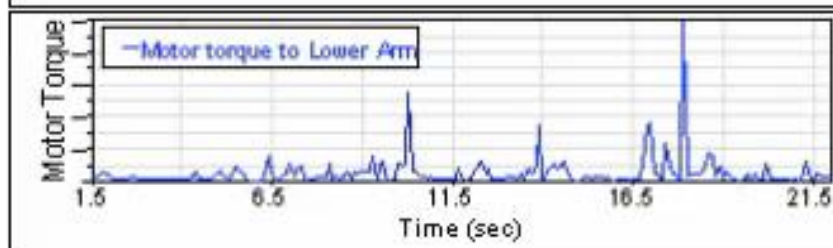
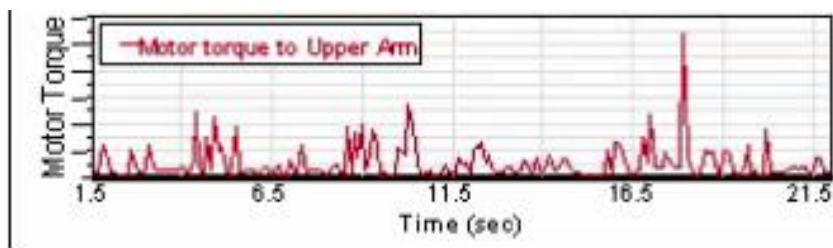
# 一体化的疲劳寿命预测工具MSC Fatigue



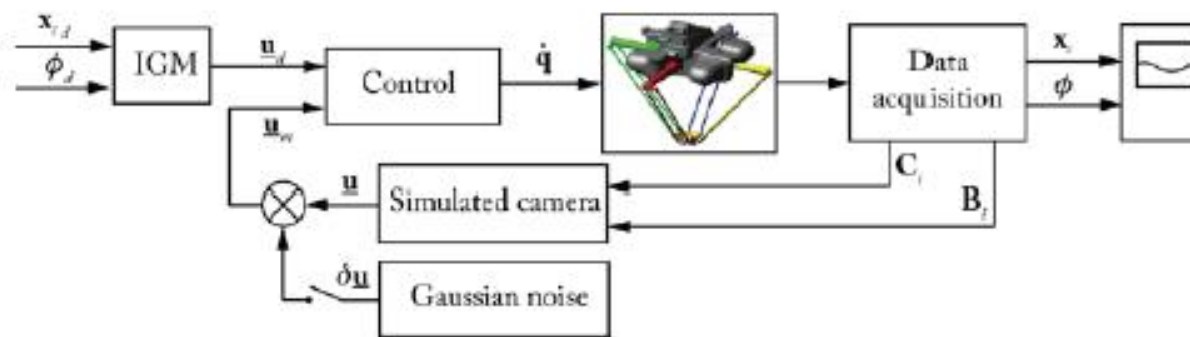
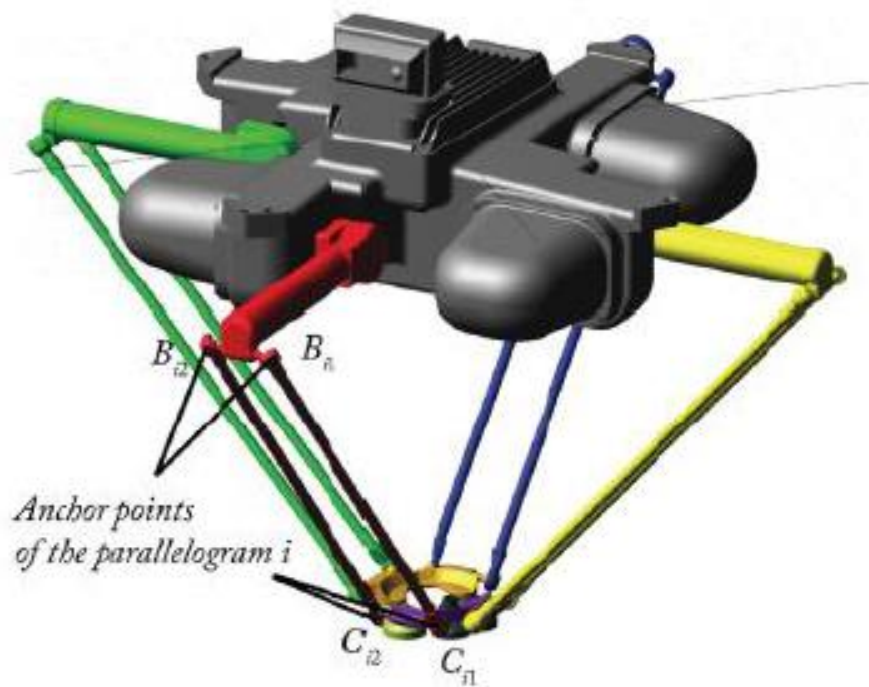
# 成功案例：FANUC



# 成功案例：ABB



# 南特通信与控制研究院 (IRCCyN)





# Italian Institute of Technology (意大利技术研究所)

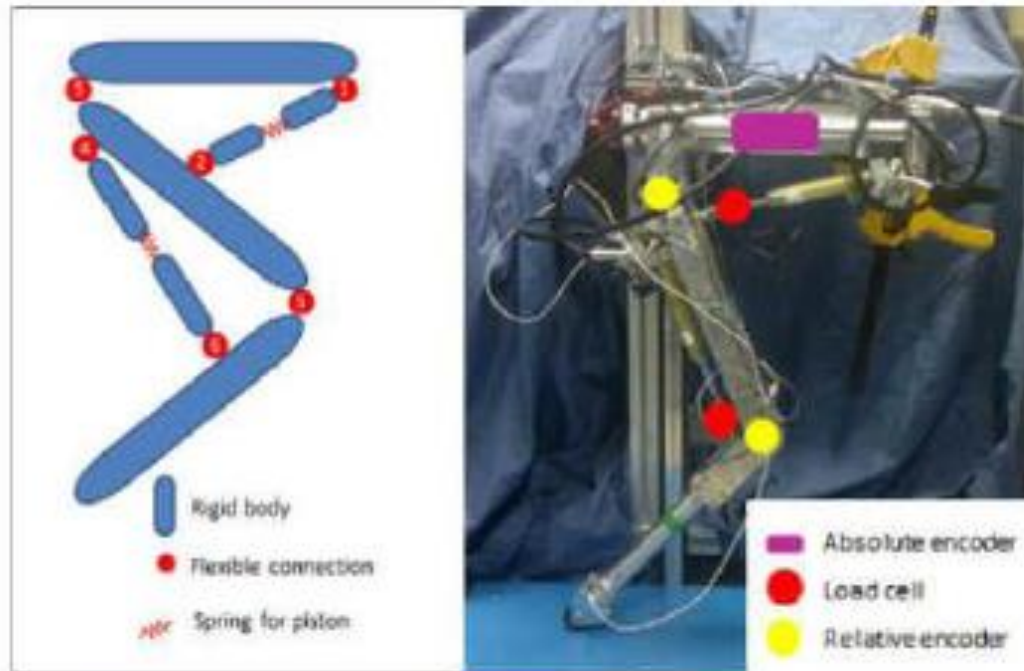
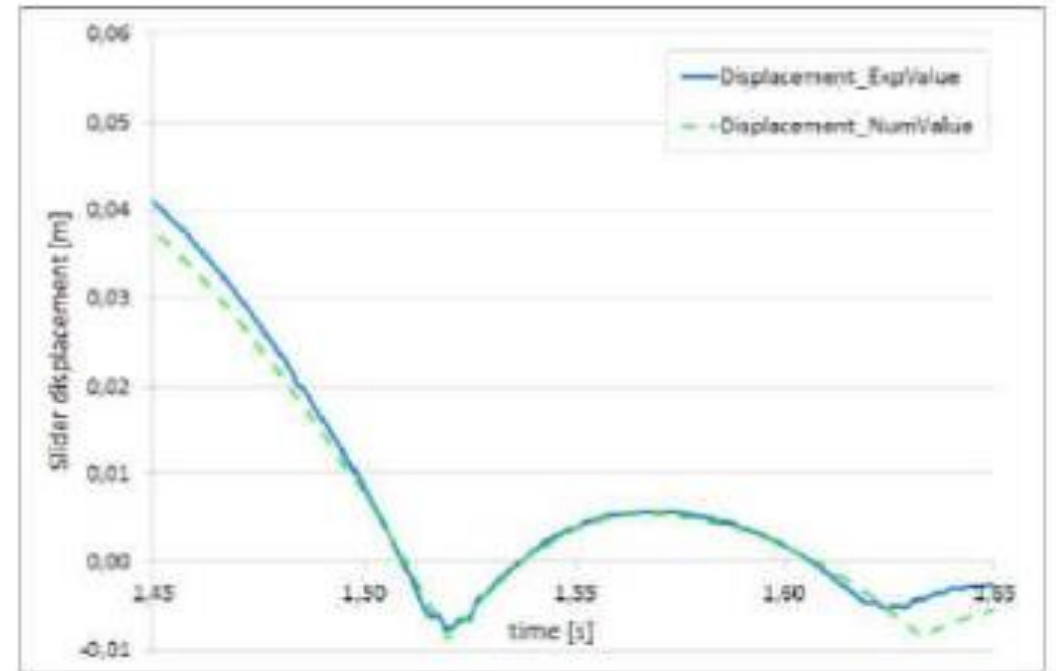


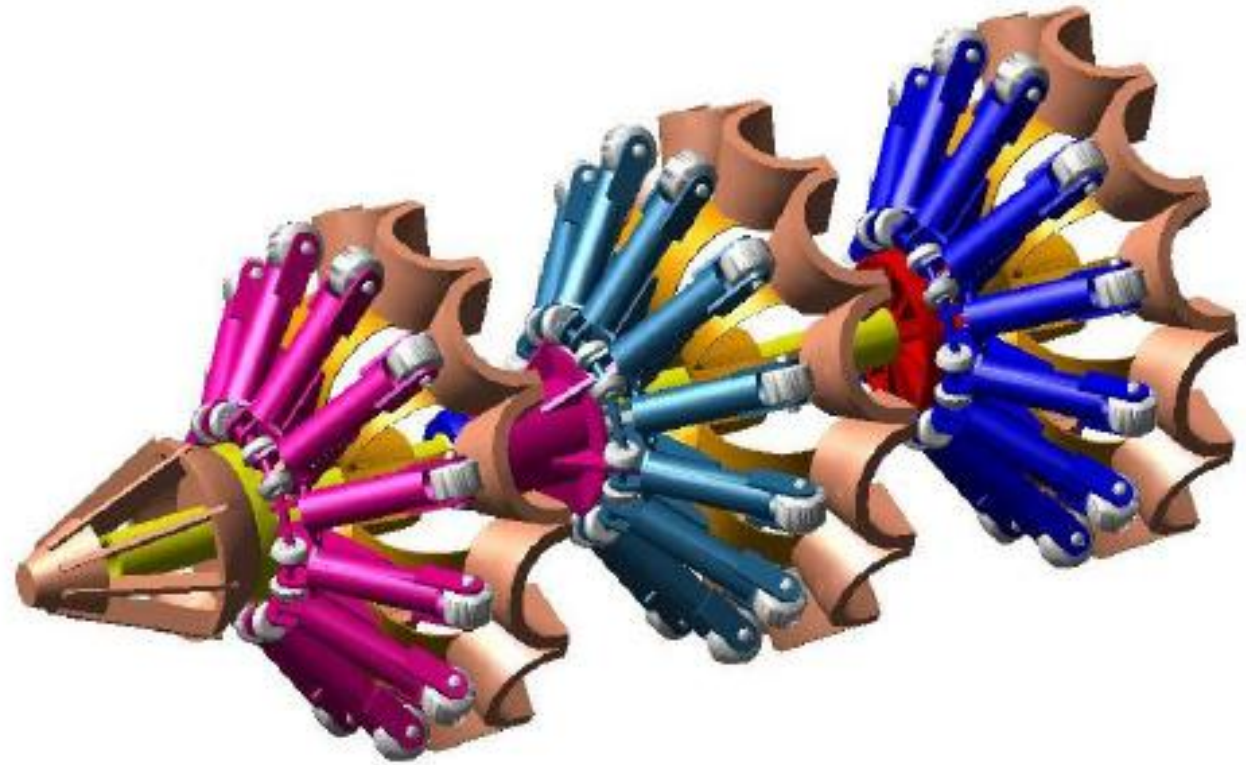
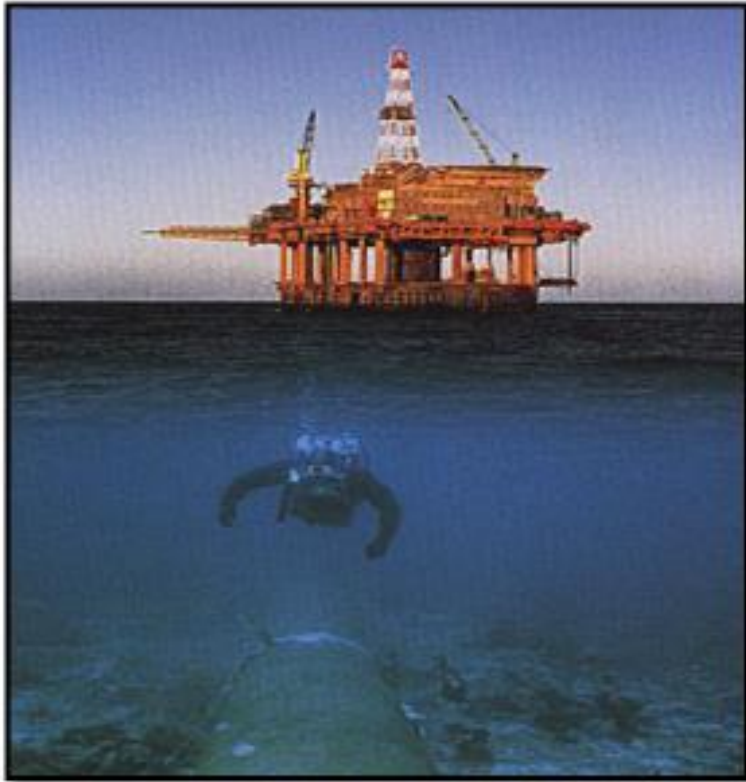
Figure 2. Diagram of rigid multibody model and Drop test



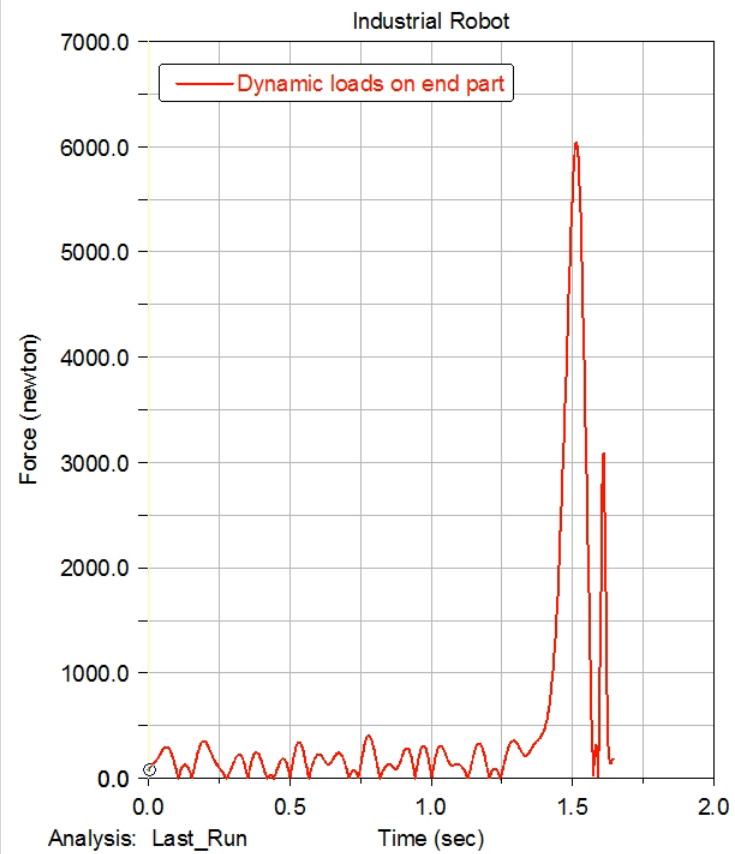
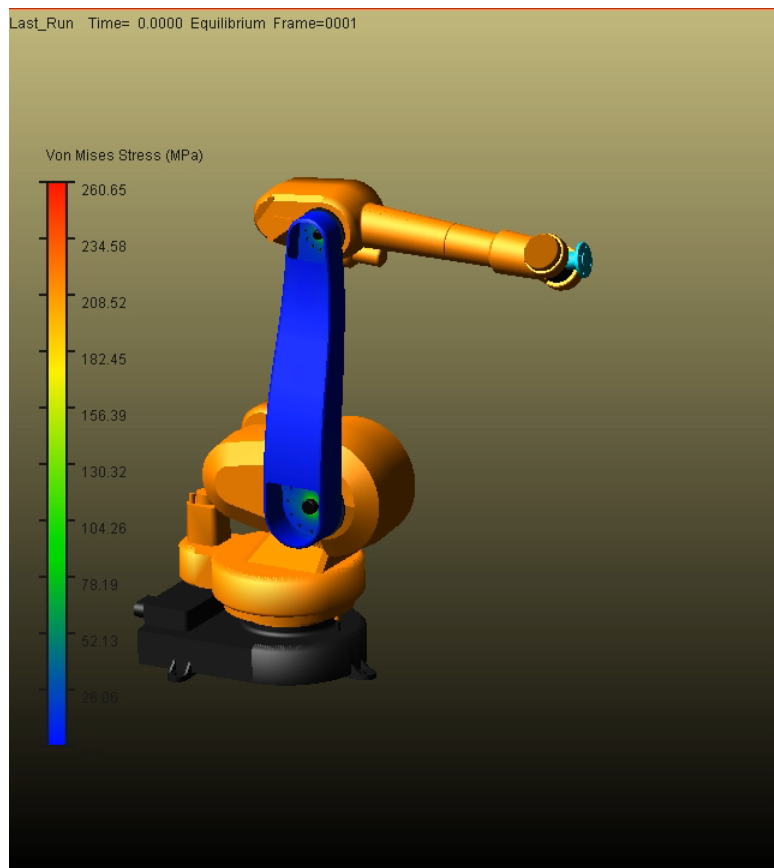
RCP simulation slider displacement vs experimental results



# Pipetronix



# 多学科仿真流程



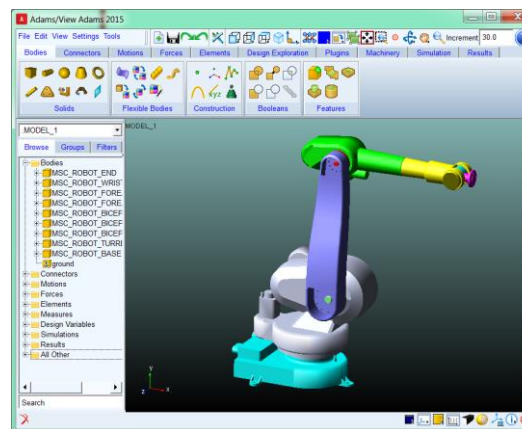
# 多学科仿真流程

1. 从CAD导入几何
2. 执行瞬态动力学仿真以进行载荷预测
3. 集成部件柔性
4. 振动分析以避免共振
5. 多体动力学-控制系统集成以评估控制算法



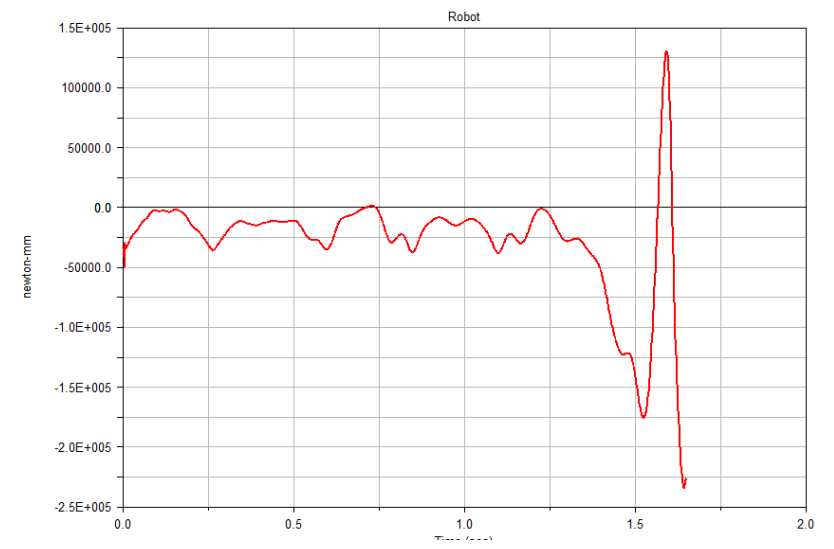
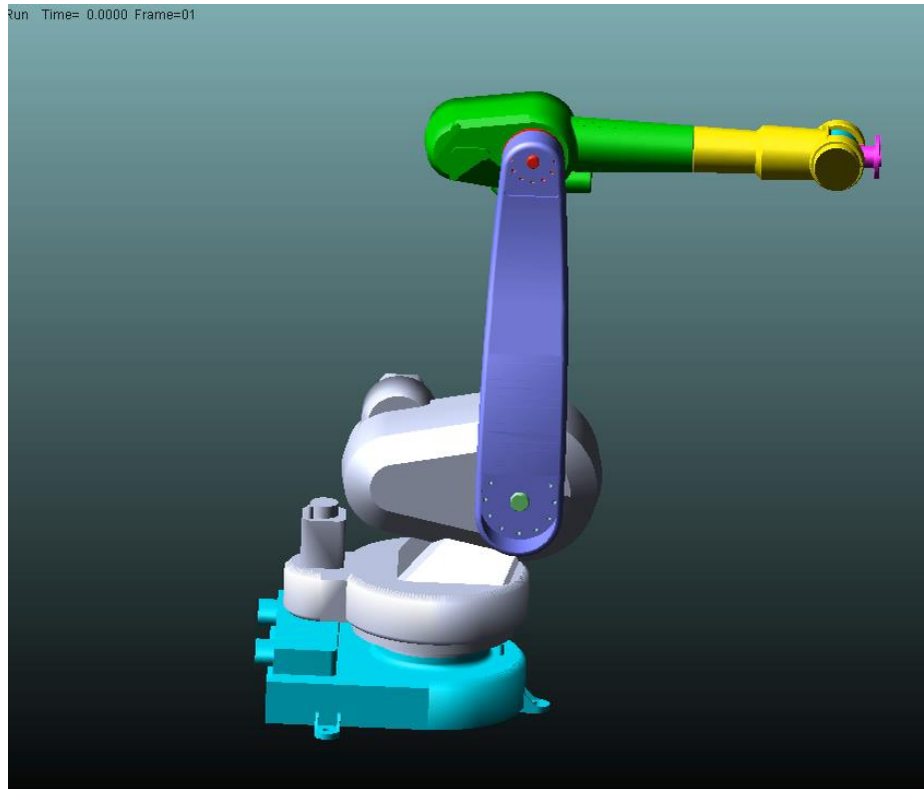
CAD几何

导入几何，添加约束、  
作用力和驱动，定义质  
量属性。



Adams 模型

1. 从CAD导入几何
2. 执行瞬态动力学仿真以进行载荷预测
3. 集成部件柔性
4. 振动分析以避免共振
5. 多体动力学-控制系统集成以评估控制算法



# 多学科仿真流程

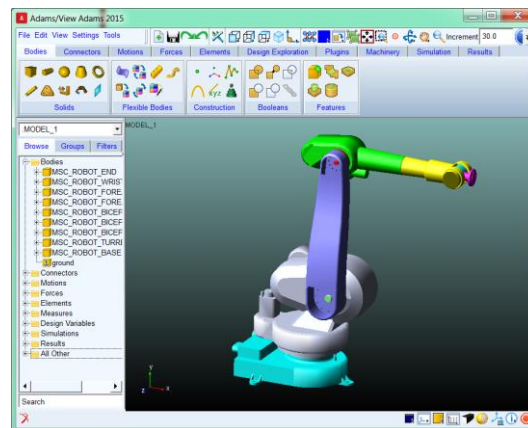
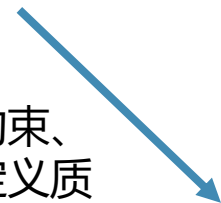
1. 从CAD导入几何
2. 执行瞬态动力学仿真以进行载荷预测
3. **集成部件柔性**
4. 振动分析以避免共振
5. 多体动力学-控制系统集成以评估控制算法



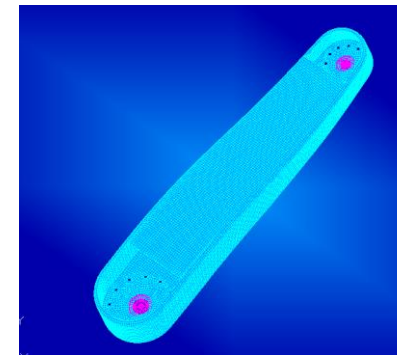


**CAD几何**

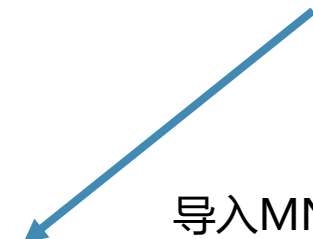
导入几何，添加约束、  
作用力和驱动，定义质  
量属性。



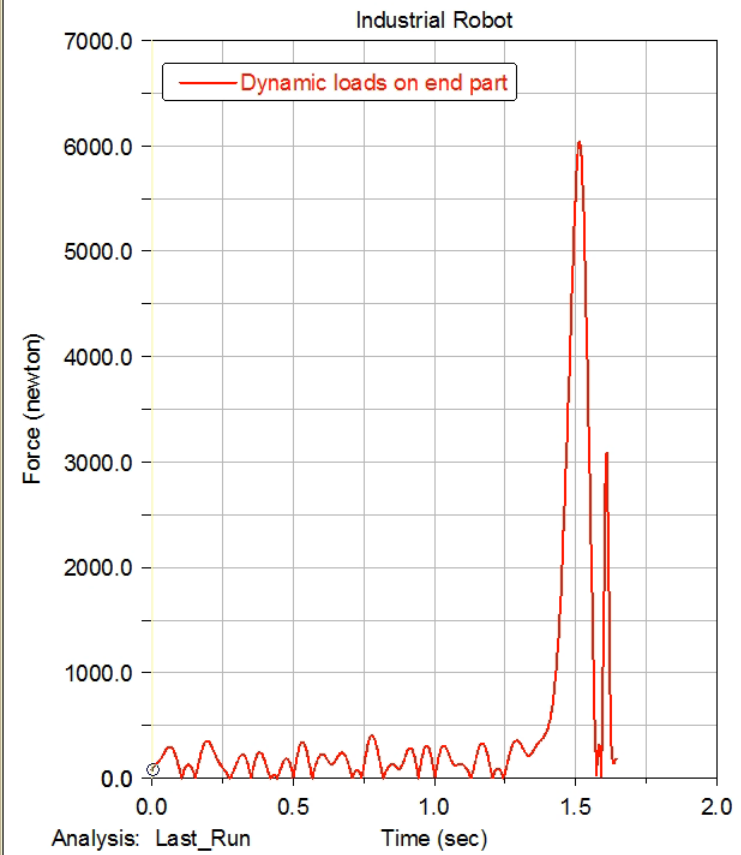
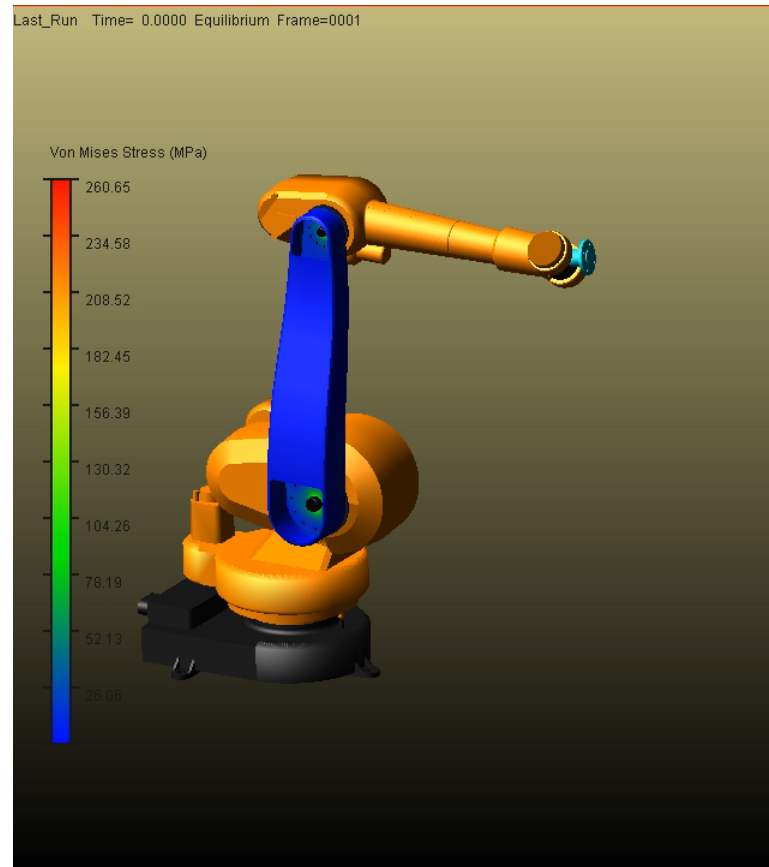
**Adams 模型**



**FEA**

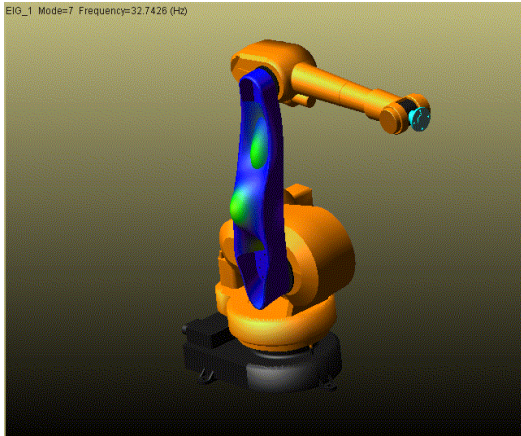


导入MNF文件



# 多学科仿真流程

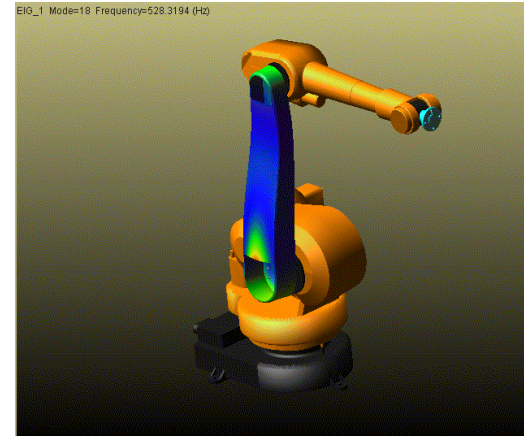
1. 从CAD导入几何
2. 执行瞬态动力学仿真以进行载荷预测
3. 集成部件柔性
4. 振动分析以避免共振
5. 多体动力学-控制系统集成以评估控制算法



Mode number:7/29  
Natural Frequency: 1178.3 Hz



Mode number:27/29  
Natural Frequency: 1567.8 Hz



Mode number:18/29  
Natural Frequency: 534.7 Hz

# 多学科仿真流程

1. 从CAD导入几何
2. 执行瞬态动力学仿真以进行载荷预测
3. 集成部件柔性
4. 振动分析以避免共振
5. 多体动力学-控制系统集成以评估控制算法

**Adams™**



驱动力

位移、速度



**Easy5®**



**MATLAB/Simulink**

f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4\_PB0001\_KR\_AGILUS\_en.pdf (SECURED) - Adobe Reader

File Edit View Window Help

1 / 18 143%

Tools Sign Comment



The image shows two orange KUKA industrial robot arms positioned side-by-side against a dark, gradient background. The KUKA logo is prominently displayed in orange text above the robots. The robots are articulated with multiple joints and are mounted on black cylindrical bases. The overall aesthetic is clean and professional, typical of industrial equipment marketing.

Taskbar: e, Chrome, Folder, MATLAB R2013a, adams\_sys\_, A A/View, f776ebab-f613-48...

Desktop 7:44 PM 6/11/2013



# 仿真技术在机器人研发各个阶段的应用

## 概念系统方案设计阶段:

利用Adams建立参数化模型, 确定臂长, 机械臂的重量设计要求, 电机及减速箱选型, 电机加速和减速曲线要求。



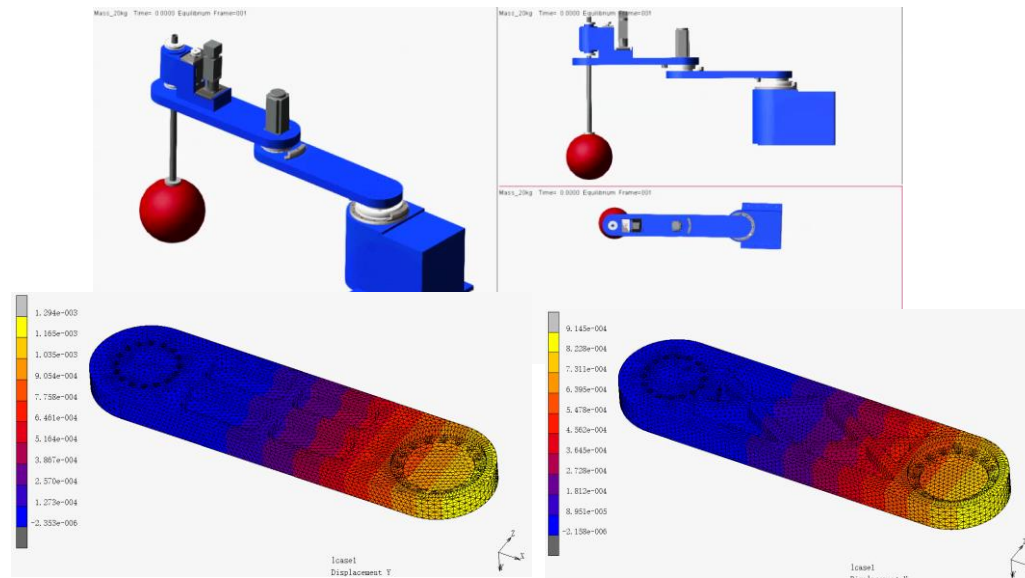
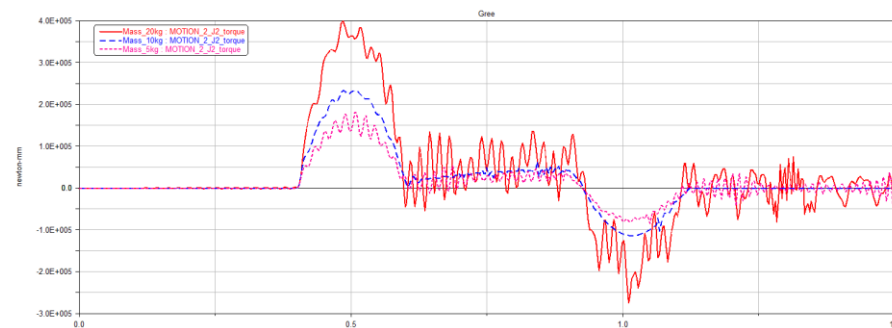
## 详细设计阶段:

利用Nastran优化结构, 底座、机械臂的结构的刚度质量比最大化。利用Adams和Nastran进行刚弹耦合分析, 确定夹持、摆动等各个工况, 夹持终端的振动情况。



## 系统优化阶段:

通过振幅、电机输出扭矩等来验证整机的性能是否达到设计要求, 后一阶段可以输入实际的电机转速曲线或利用Adams和Matlab的联合仿真来进行控制系统和机械系统的匹配分析。



谢谢!