

# TenonStudio工业机器人离线仿真编程平台

许中兴、赵伟峰、汪达、邢明杰、武延军  
智能软件研究中心

xuzhongxing@iscas.ac.cn 13811674668

概况

工业机器人离线编程仿真平台是一类重要的工业软件。它帮助工业机器人用户创建生产线的三维仿真模型，对工件和生产环境进行几何建模，自动生成或辅助用户生成机械臂的运动指令程序，对程序进行模拟执行，对工作站中的工具和工件交互进行物理仿真，让生产线的真实运行效果以可视化的方式展现在用户面前，提高用户的编程调试效率。本系统涉及技术领域广泛，以下分成五个方面介绍系统的关键技术。

关键技术介绍

**1. 工业机器人编程语言及控制器。**工业机器人为了满足各种工业需求，它的编程是相当复杂的，各大厂商均提供了自己的编程语言，如ABB的RAPID。团队自主设计并开发了工业机器人编程语言Tenon，提供语言编译器及虚拟机执行环境。此外，TenonStudio包含一个自主研发的完整的机器人控制器，包括程序执行，轨迹规划，机械臂逆运动学解算，逆动力学解算等控制器核心功能。

**2. 三维几何建模及自动路径生成。**工业机器人编程的本质是将物理世界转换为用坐标描述的几何世界，从而能够生成包含精确坐标的运动指令。对各种工件和工具的精确几何CAD描述是建立坐标描述的基础。CAD软件的核心是几何内核(geometric modeling kernel)。目前世界上主要的几何内核均为国外开发（“卡脖子”技术之一），代表作包括ACIS和Parasolid。本系统使用了唯一工业级的开源几何内核OpenCascade，在其基础上进行深度二次开发，实现对标准STEP文件的读写和绘制，几何特征选取，几何数值测量，机构和生产线元素几何建模，几何特征建模等功能，帮助用户建立工作站的精准几何模型。

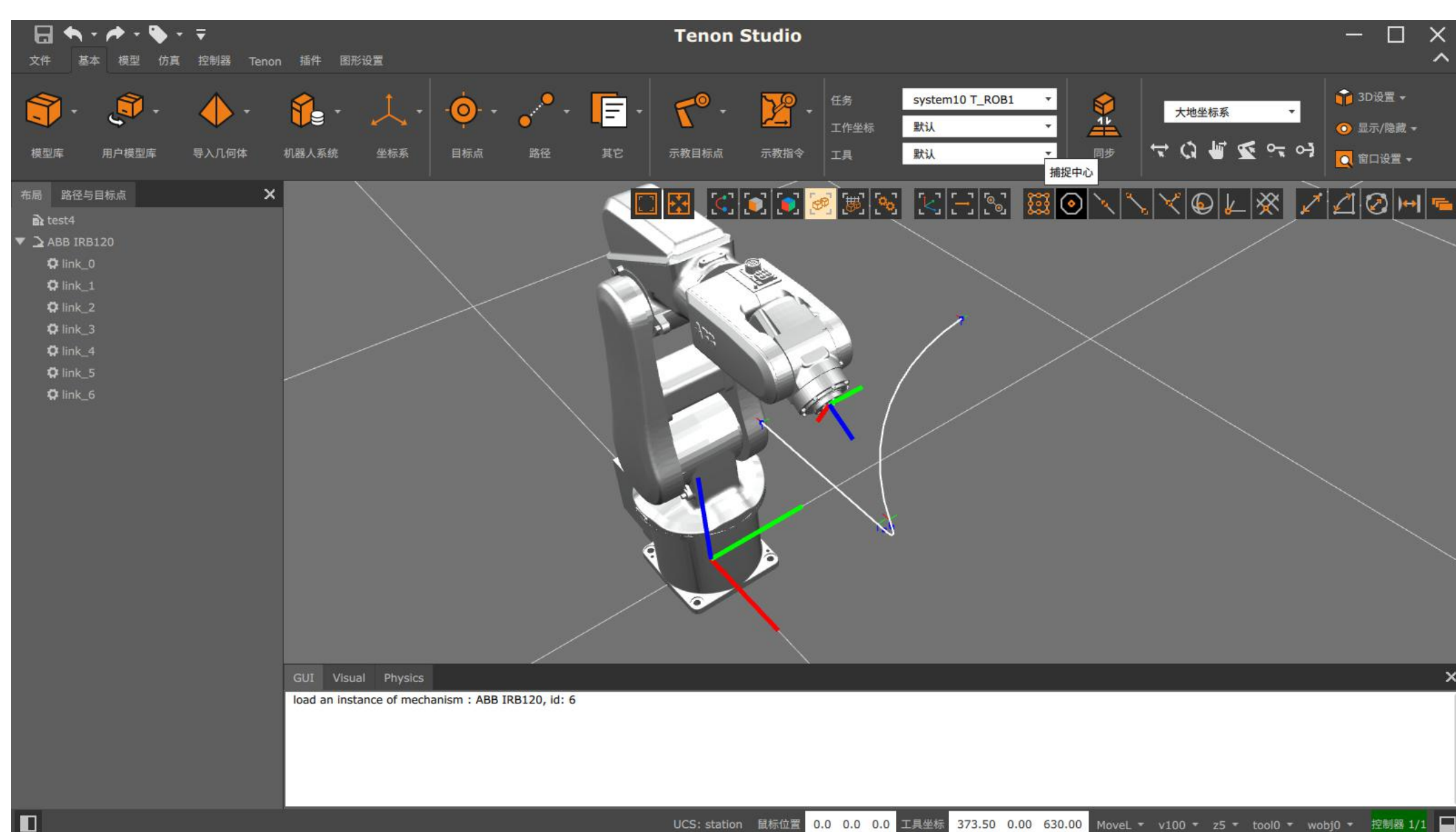
有了模型的几何数据，系统提供高度自动化的路径生成功能，可针对NURBS曲线生成近似运动指令。并可交互式调整机械臂工具的方向。在对路径仿真过程中，系统能实时发现不合法路径，路径中的奇异点，不可达点，检测机械臂工具和工件的碰撞。

**3. GUI人机交互。**本系统提供丰富的人机交互界面，参考下面的系统截图。用户可在系统中以可视化的方式创建、编辑、测试所有的工作站数据，包括坐标系，工件，工具，目标点，路径等等。可以以可视化的方式修改和仿真程序路径，查看工作站元素的几何空间关系。本系统在GUI方面采用了QtQuick技术，三维界面采用OpenGL进行绘制。目前系统基于Linux开发，但由于所采用技术的平台无关性，未来可移植至Windows或其他支持Qt和OpenGL的操作系统。

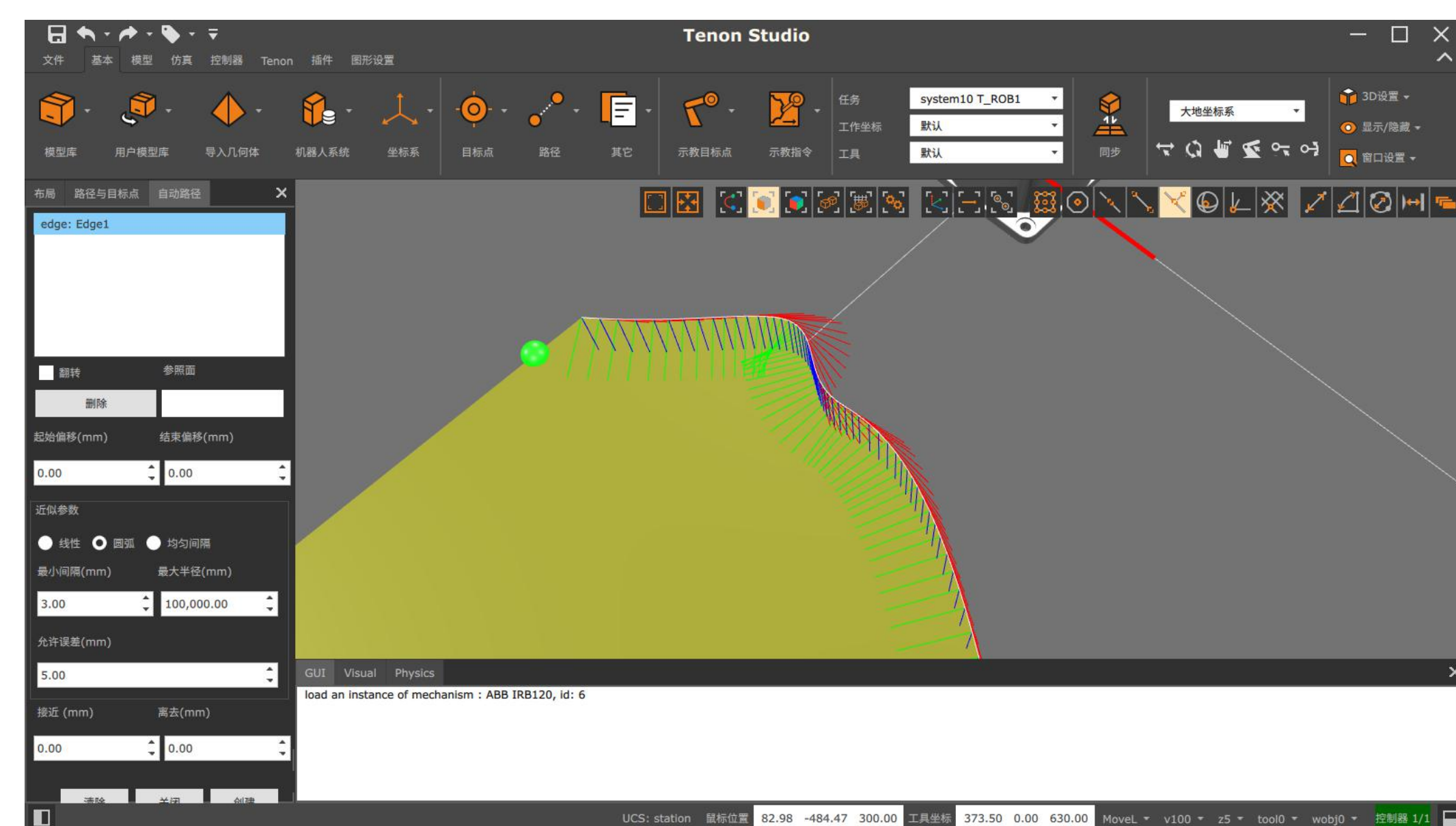
**4. 基于物理的渲染。**近年来，随着图形学的发展，工业仿真软件越来越重视对仿真对象的渲染。本系统采用了基于物理的渲染(physically based rendering), 使用遵循光学原理的光照模型，支持各种材质的真实感渲染，如：钢铁、铝、铜、塑料等。

**5. 多体动力学及自动化仿真。**为了对机器人工作环境进行仿真，系统将包含一个基于多体动力学(multibody dynamics)的物理引擎。拟采用的技术路线为ADAMS等软件使用的绝对坐标加约束的建模方法，使用拉格朗日力学模型，对得到的微分代数方程组进行数值求解。同时包含碰撞检测，基于非线性弹性力学的线缆动力学仿真，接触力学建模。

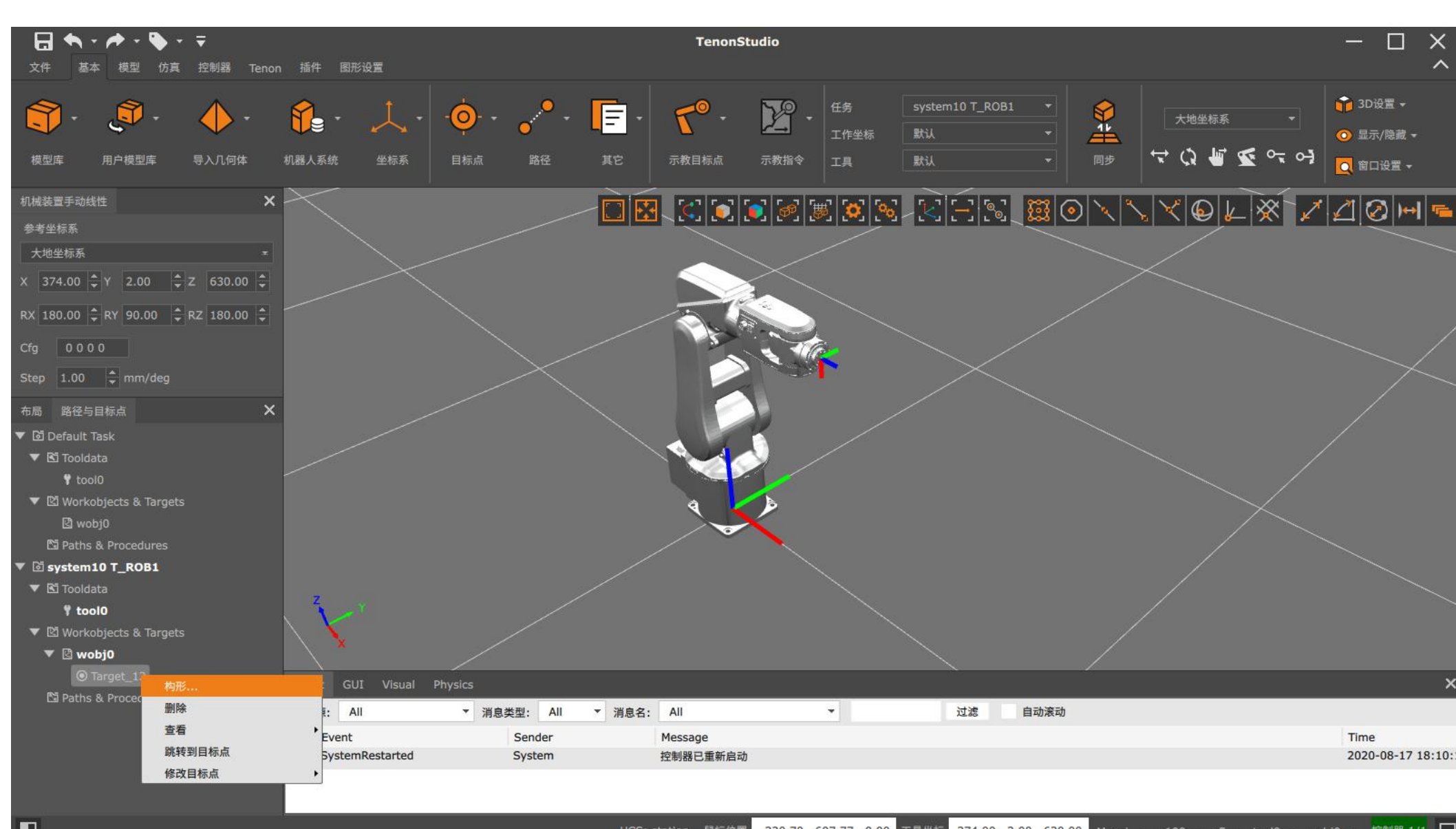
系统将提供对智能制造中涉及的各种数字化部件的建模支持，如各类逻辑单元、传感器、传动带、抓取工具、数字信号等，使系统能够对现代工厂中的智能生产线进行完整建模和仿真。



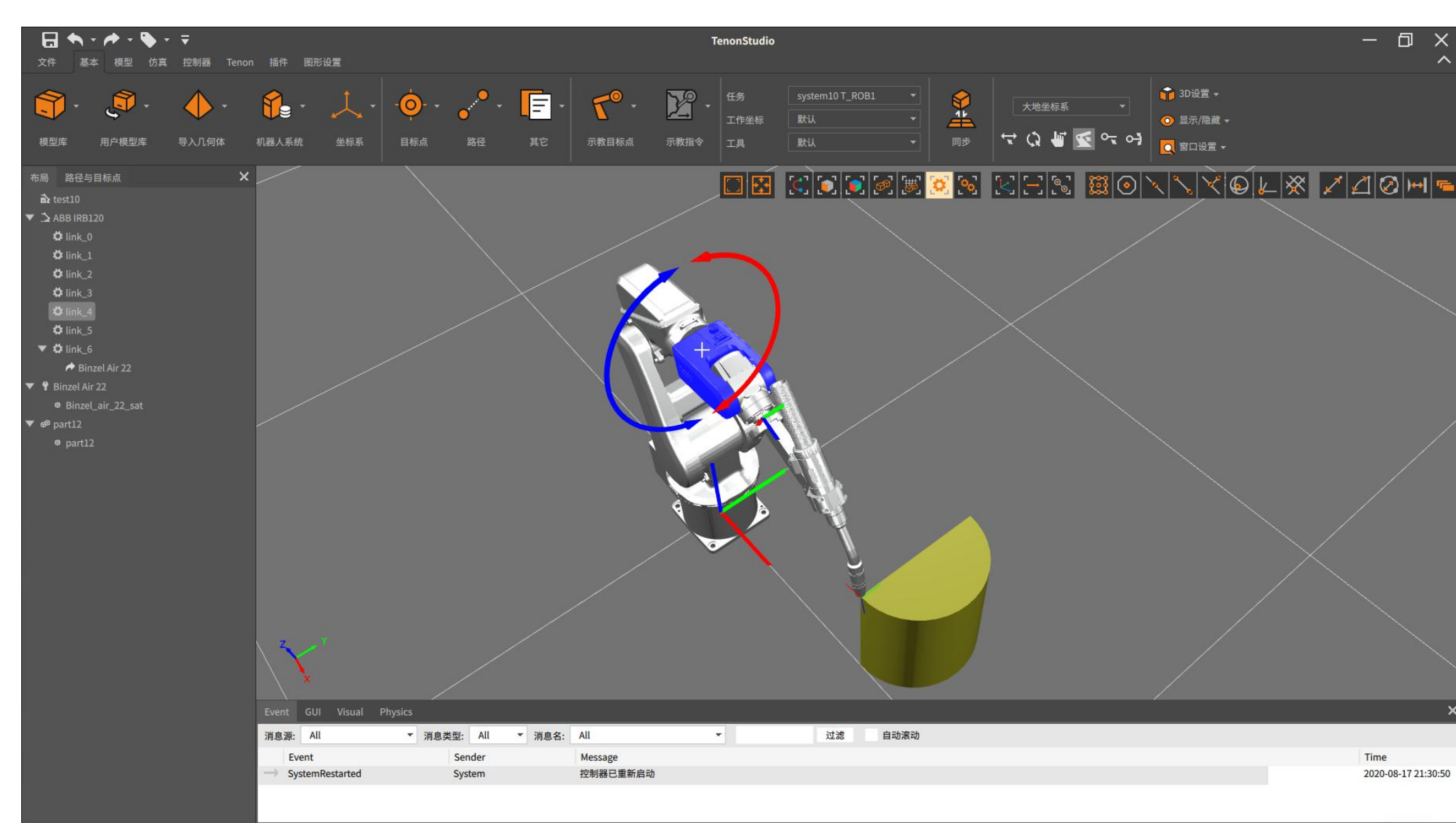
路径可视化仿真



NURBS路径自动生成



目标点构形设置



带工具的关节点动