

手术机器人 测试系统

动态光学六自由度测量与运动性能分析



机器人运动性能测量

双目光学测量 · 器械位姿跟踪 · 主从性能分析

6D

位置与姿态

500 Hz

最高动态测量频率

多目标

同步追踪

01 系统概述

系统组成与测量功能

双目测量单元、同步控制器、编码靶标及分析软件组成完整测量系统。

系统构成

系统由双目高速数字化视频测量单元、联动控制器、编码靶标、定位工装及配套分析软件组成。支持多相机扩展，并可配置探针与空间计量分析模块。



双相机与背景标定点阵布置示例

典型测量对象

测量对象包括器械末端、操作臂及主从运动单元。系统连续记录目标在统一坐标系中的位置和姿态，支持单目标轨迹测量与多目标相对运动分析。

02 测量原理

双目摄影测量原理

双目视觉获取空间位置，结合靶标几何特征解算旋转姿态。



光学相机、联动控制器与计算机连接示意

01 同步图像采集

两台相机同步触发闪光，采集附着于被测对象的编码靶标，建立同一时刻的观测数据。

02 特征识别与立体匹配

识别图像中的特征点并进行匹配，结合标定参数，通过三角交会计算空间坐标。

03 位姿与轨迹输出

输出 X、Y、Z 坐标以及俯仰、偏航、滚转姿态，连续采集形成六自由度运动轨迹。

03 测试布置

测量系统布置

双相机分体布置，联动控制器同步采集，计算机完成结果分析。



光学测量系统现场布置示例

相机与控制器连接

相机通过配套线缆连接联动控制器，控制器与计算机连接，完成同步触发和数据采集。根据测试范围确定相机间距、观察角度与工作距离。

靶标与观测条件

靶标安装于器械或操作臂，与被测运动单元保持固定连接。相机观测区域覆盖测试路径；对于较大空间或存在遮挡的结构，可采用多相机布置扩展观测范围。

04 采集性能

动态采集性能

最高动态测量频率 500 Hz，高频模式下图像分辨率 ≥ 750 万像素。

≥ 1000 万

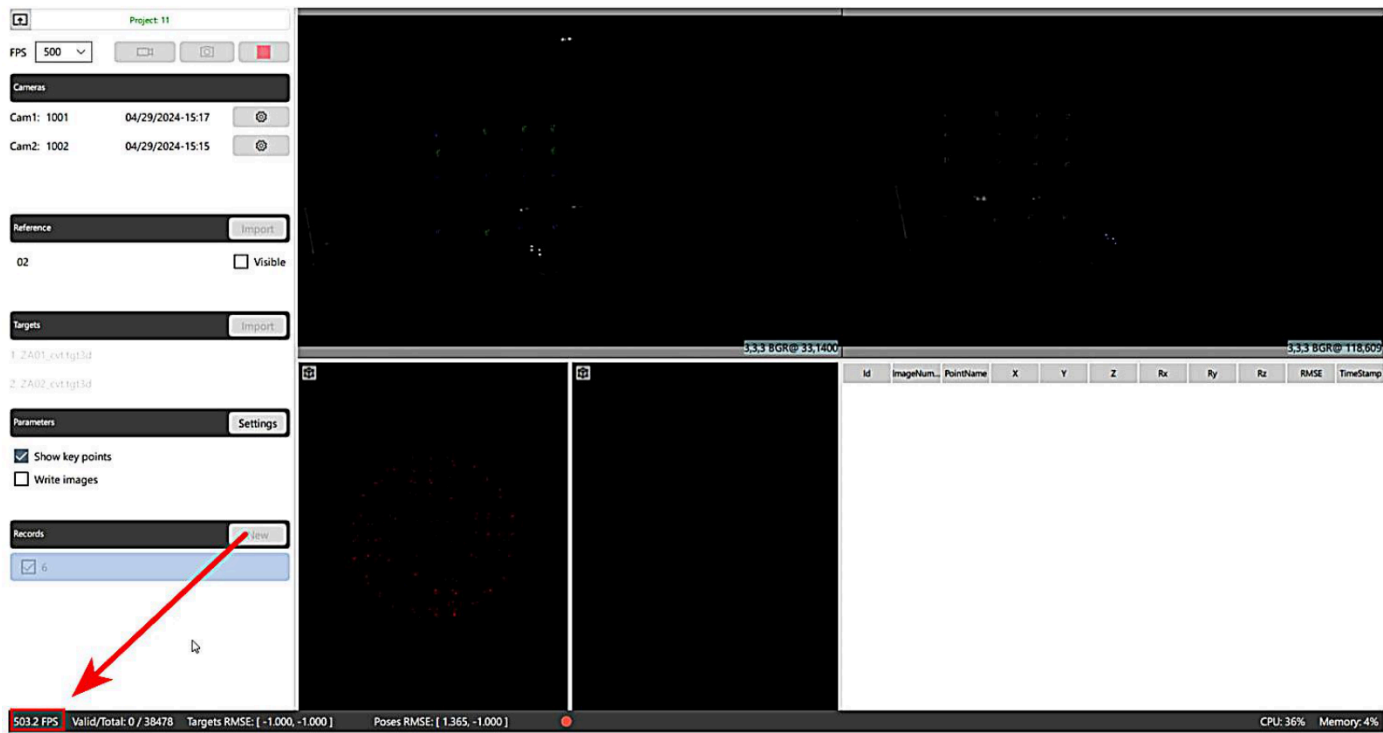
相机分辨率

200 Hz

全帧输出频率

500 Hz

动态测量模式



动态采集与坐标显示界面

高频模式下的图像分辨率

相机分辨率不低于 1000 万像素，支持 200 Hz 全帧输出。在 500 Hz 动态采集模式下，图像分辨率不低于 750 万像素，用于捕捉运动过程中的靶标特征与位姿变化。

测量精度与视场

静态与动态测量采用不同精度指标，覆盖精密定位与运动轨迹测试。

静态测量精度

$15\ \mu\text{m} + 15\ \mu\text{m}/\text{m}$

动态测量精度

$20\ \mu\text{m} + 20\ \mu\text{m}/\text{m}$

视场角

$\geq 60^\circ$

空间坐标重建

通过特征匹配与多视图几何计算建立三维坐标，结合三角交会和光束平差优化重建结果。系统输出空间位置及旋转姿态数据，用于几何偏差与运动性能分析。

测量条件

精度指标与测量距离、标定状态、靶标安装及环境条件相关。测试使用统一坐标系，并记录相机布置、靶标参考点和环境条件，便于重复测试与结果比较。

06 数据采集与处理

图像处理与数据接口

图像采集、特征识别、立体匹配与位姿解算。

图片像素：3584*2176=7,798,784 像素：



靶标特征采集界面示例

图像预处理与特征提取

配套软件对采集图像进行处理，提取目标特征点，为立体匹配及空间坐标计算提供数据。曝光与识别参数根据靶标和现场光照配置。

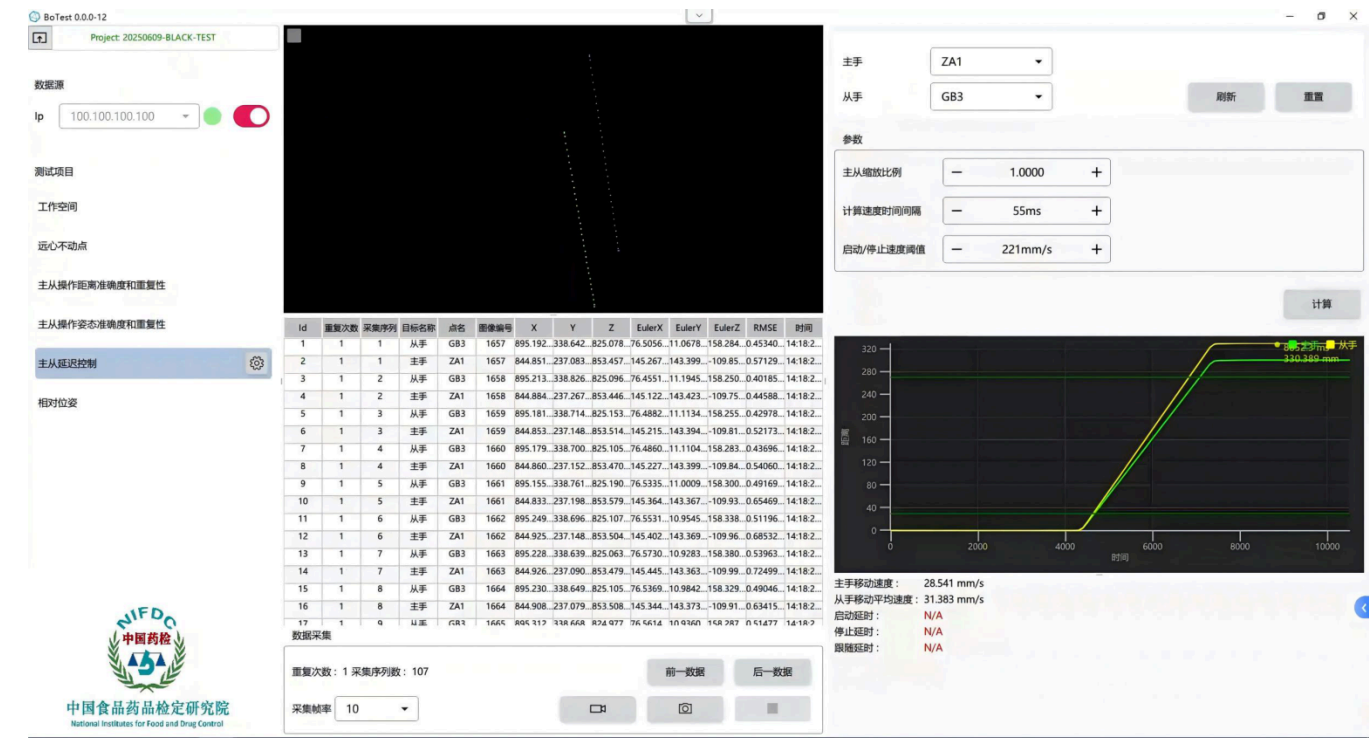
数据输出与系统集成

支持标准化数据输出与二次开发，可与上层分析软件衔接。测量数据包含三维坐标及三轴旋转姿态，用于多目标跟踪、轨迹处理与专项测试计算。

07 专项测试软件

手术机器人专项测试

支持远心不动点、有效工作空间、主从距离、主从姿态与控制延迟分析。



腹腔镜手术机器人自动分析软件界面示例

01 远心不动点与工作空间

跟踪器械运动，分析远心不动点偏移与有效工作空间。

02 主从距离与姿态

分析主从操作距离、姿态准确度及重复性。

主从控制延迟与自定义测试

软件支持主从控制延迟测试，可设置测量靶标数量与测量点数。距离和姿态测试分别输出准确度与重复性结果，并结合运动轨迹展示测量过程。

08 空间计量分析

空间计量分析软件

配套 SpatialAnalyzer 空间计量分析软件开展扩展分析。

几何元素与形位分析

支持点、线、面、圆、圆柱、圆锥及椭圆等几何元素的测量分析；可开展平面度、圆度、直线度、圆柱度、位置度、平行度与垂直度等评价。

距离、角度与运动参数

对空间距离、角度偏差和运动轨迹进行分析，统计重复性及动态性能数据，并可基于连续运动数据分析速度与加速度。

数模导入与偏差展示

支持 IGES、CATIA 等 CAD 数据读取，以及 IGES、TXT 等数据输出。实测几何数据可与理论数模比对，以文本和图形报告展示位置偏差与几何误差。

扩展测量与数据处理

支持坐标转换、测量数据分析与图形化报告。可配合探针、定位工装及附加测量模块，开展不同结构工件的空间测量。软件功能按授权模块配置。

几何拟合 / 偏差分析 / 轨迹计算 / CAD 比对

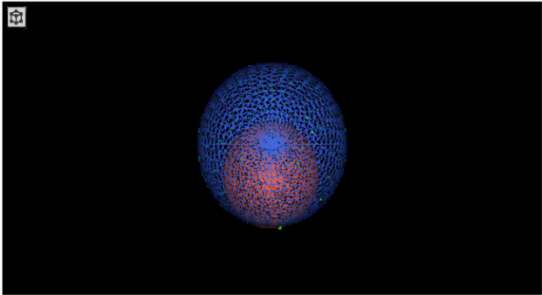
09 结果与报告

测试报告与结果输出

空间点分布、运动曲线、误差统计与测试数据集中输出。

测试报告

标准：YY/T 1941
测试项目：5.2.1-从手有效工作空间
测试时间：2025-08-29 10:53:36



曲面 1 [最小曲面半径]

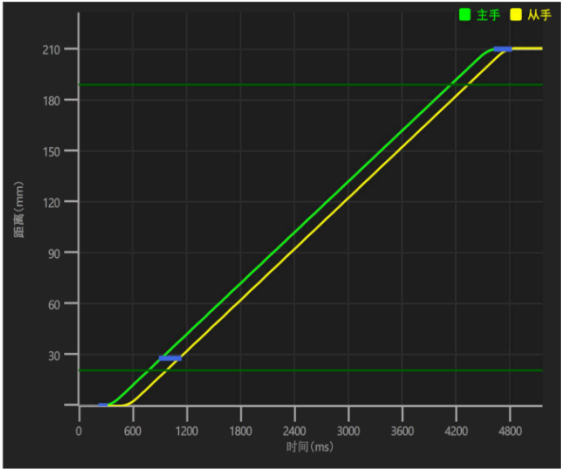
中心：	337.986, 475.553, 540.352
半径：	92.800
内点数：	7
距曲面最大距离：	79.794

曲面 2 [最大曲面半径]

中心：	340.543, 526.954, 570.854
半径：	137.004
内点数：	17
距曲面最大距离：	26.235

测试报告

标准：YY/T 1941
测试项目：5.3.5-主从延时
测试时间：2025-08-05 15:34:00



从手缩放比例：1.0000
启停速度阈值：0.0 mm/s
主手速度(最高20%采样)：51.995 mm/s
从手速度(最高20%采样)：51.975 mm/s
启动延时：52 ms
停止延时：150 ms
跟随延时：200 ms

测试报告示例：空间点分布与运动曲线

报告内容

报告包含原始坐标与姿态数据、误差统计、轨迹曲线及测试项目结果。空间点分布反映工作空间与采样位置，运动曲线用于展示主从跟随及动态变化。

记录与复核

原始测量数据与分析结果用于测试复核及不同轮次比较。文本与图形报告可根据测试项目组织输出，报告格式按分析软件配置。

10 测量硬件

相机与联动控制器

硬件采集、同步触发与数据传输构成系统基础。



高速光学相机



联动控制器

光学采集单元

相机与闪光系统配合采集目标特征，采用模块化结构，支持按照被测对象调整观察位置。配置主动散热结构与高速数据接口。

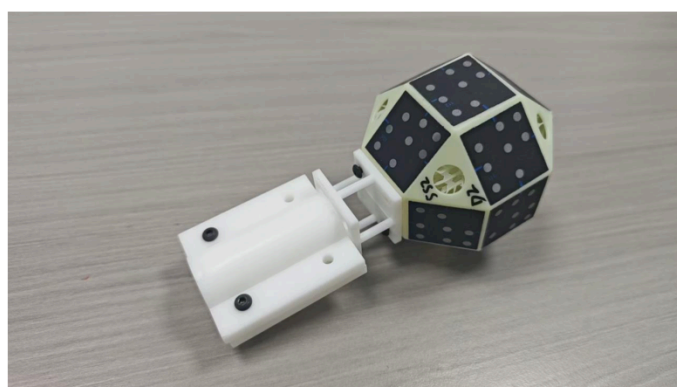
同步与接口控制

联动控制器用于多相机同步触发和数据采集。支持外触发接口，并可配置负载传感器通信与数据读取功能。

11 靶标与工装

编码靶标与安装工装

通过多面体编码靶标建立被测运动单元的可追踪特征。



多面体编码靶标及安装工装

安装适配

结合器械末端结构、运动范围和操作臂空间条件，选择合适的靶标连接方式。安装后确认连接稳定性，避免滑移或松动影响测量结果。

测量前检查

确认靶标在目标运动路径中的可见性，检查靶标坐标系与被测对象参考点之间的关系，并将必要的偏置或转换关系纳入测试设置。

12 应用与方案配置

应用对象与测试项目

面向腹腔镜、骨科导航及主从式手术系统的运动性能测试。

01 腹腔镜手术机器人

围绕远心不动点、有效工作空间与主从操控性能配置测试。

02 骨科导航机器人

围绕末端位置、姿态及运动轨迹配置光学测量方案。

03 主从式手术系统

同步跟踪相关运动单元，分析距离、姿态及控制延迟。

04 研发与实验室测试

支持测试过程数据采集、重复性评估与性能结果分析。

测试配置

相机与靶标配置取决于运动范围、工作距离及器械结构。多目标测试采用统一坐标系与时间基准；动态项目根据运动速度设置采样模式，并通过配套软件完成计算。

适用范围

系统用于机器人位置、姿态与运动性能测量。测试方法与判定限值按适用标准或技术要求设置；电气安全、EMC 等项目需配置相应专项测试设备。

13 典型配置

系统配置清单

东莞市精邦机械科技有限公司 | 手术机器人测试系统

配置名称	参考数量
双相机测量系统（含闪光系统）	2 台相机
相机支架	2 台
防震运输箱	1 个
腹腔镜手术机器人自动分析软件	1 套
联动控制器	1 台
5 m 电源及光纤传输线	1 套
空间计量分析软件（SpatialAnalyzer）	1 套
多面体靶标与工装套件	1 套

可选配置

可根据测试对象配置多相机扩展、专用安装工装、探针与空间计量软件模块。系统交付内容包括测量硬件、配套线缆、分析软件及靶标工装，具体以技术配置清单为准。