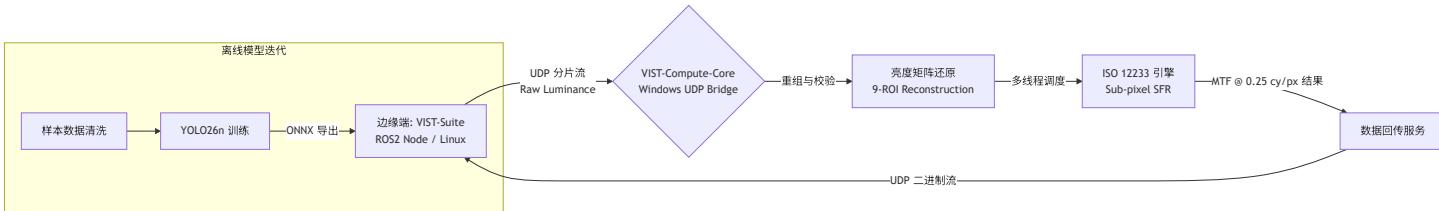


VIST-Compute-Core: 高性能光学分析与自动化计算节点

VIST-Compute-Core 是分布式测试系统 **VIST-Suite** (Vision-Inertial Sensor Testing Suite) 的中央计算中枢。该项目专为高性能 Windows 工作站设计，旨在接管边缘端（如运行 ROS2 的 Ubuntu 虚拟机或嵌入式设备）的计算密集型任务。系统深度集成了 **YOLO 目标检测训练**、**高速 UDP 桥接服务**以及严谨的 **ISO 12233:2023 SFR 算法**，能够对车载级摄像头进行实时、亚像素级的光学解析度分析（MTF）。

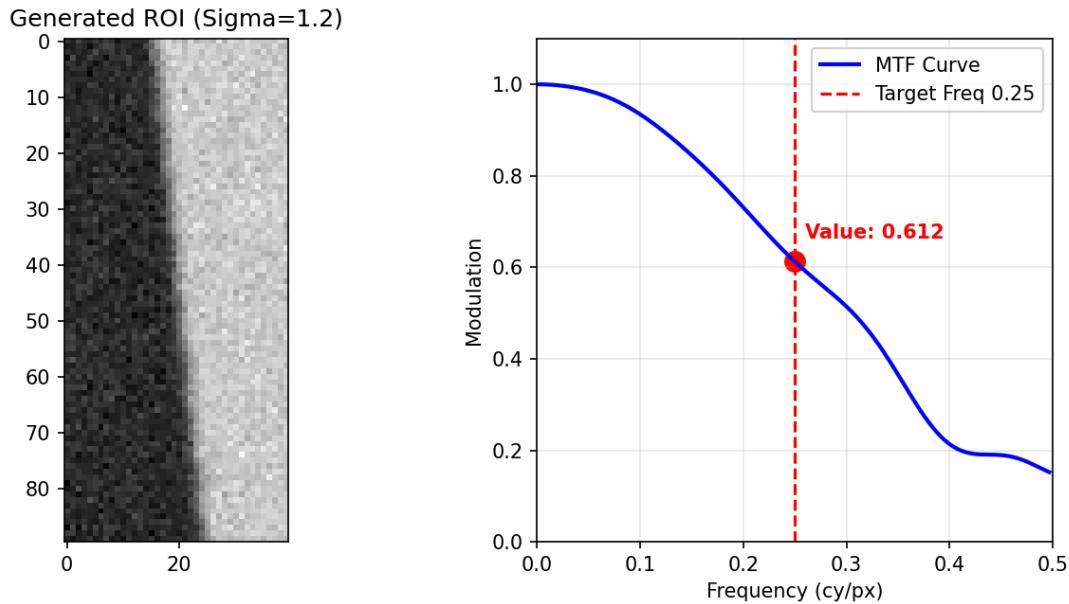
1. 系统架构 (System Architecture)

系统遵循“端-云”协同的工业测试模式，通过以太网实现数据采集与精密计算的解耦：



2. 核心算法验证 (Algorithm Verification)

系统核心计算单元基于 ISO 12233 斜边法 (Slanted Edge)。下图展示了系统对模拟生成的 ROI 进行计算的反馈结果：



图：VIST 计算核心生成的 SFR 分析报告。左侧为提取的斜边 ROI ($blur_sigma=1.2$, $noise_level=0.05$ 模拟模糊度)，右侧为推导出的 MTF 曲线。当前 Target Frequency (0.25 cy/px) 处的调制值为 0.612。

2.1 ISO 12233 光学评估链路

- **亚像素边缘定位**：利用一阶导数重心法精确定位边缘轨迹，克服像素空间量化误差。
- **4倍超采样装箱**：通过重组 ESF（边缘扩散函数），在 1/4 像素维度上重构信号。
- **离散傅里叶变换 (DFT)**：将 LSF（线扩散函数）转换至频域，并应用汉明窗抑制边缘泄露。

3. 核心功能模块

3.1 高速 UDP 数据桥接服务 (UDP Bridge)

针对跨虚拟机通讯的高延迟问题，设计了基于自定义协议头的非阻塞式接收服务：

- **协议定义**：采用 `0xEE` 作为帧头，结合 `Offset` 与 `Total Length` 实现无序分片的逻辑重组。
- **资源优雅释放**：针对 Win11 环境优化，确保 `Ctrl+C` 信号能触发 Socket 句柄的彻底注销，避免端口残留挂死。

3.2 深度学习模型生产线 (YOLO Pipeline)

- **矩形训练策略**：针对工业相机 16:9 画幅优化，提升标靶边缘小目标的检出率。
- **部署闭环**：利用计算端算力完成模型迭代，导出轻量化 ONNX 供边缘端执行毫秒级 ROI 定位。

4. 工程化配置参数

配置维度	参数设定 (Windows Host)	说明与作用
IP 地址	0.0.0.0 (Binding)	监听所有网卡，物理 IP 建议固定
接收端口	5005 (UDP)	接收来自边缘端的原始亮度数据流
发送端口	5006 (Target VM)	将计算完成的 MTF@0.25 cy/px 结果回传至虚拟机
超时设定	1.0s (Socket Timeout)	维持心跳检测，保证主线程对中断信号的响应

5. 局限性

- UDP 协议的非绝对可靠性：**当前仅靠偏移量检查。在工业现场，需要引入 CRC32 校验。
- ISP 强行锐化的干扰：**Astra Pro 相机内部的数字增强无法完全关闭，会造成MTF曲线人为抬升，目前采用高斯模糊来对冲。理想测试应基于 Raw 数据进行，这需要更底层的驱动支持。
- 环境光一致性：**SFR 对光照均匀度极其敏感。建议在恒温、恒光（高显指背光源）的实验室环境下使用。

6. 作者信息

- 开发者：**Zhang Lei (上海交通大学 机械工程与自动化专业)
- 资历：**19 年跨国 Tier 1 项目管理与自动化测试开发经验
- 技术方向：**Teststand/LabVIEW/Python 并行自动测试平台架构开发、智能摄像头、计算机视觉、SFR 算法、ROS2 集成
- 联系邮箱：**lei.3.zhang@gmail.com
- 最后更新日期：**2026-02-28