

# TCAR

## 机器人检测认证联盟认证技术规范

CR-3-0601TS:2025

### 人形机器人数据集采集系统通用要求

General Requirements For Dataset Acquisition System of Humanoid Robots

2025-09-16 发布

2025-09-16 实施

机器人检测认证联盟发布

# 目 次

前 言 .....	III
引 言 .....	V
1 范围 .....	6
2 规范性引用文件 .....	6
3 术语和定义 .....	6
4 缩略语 .....	7
5 系统通用要求 .....	7
5.1 人形机器人数据集采集系统最小技术指标 .....	7
5.2 智能性能要求 .....	9
5.3 信息安全性能要求 .....	9
5.4 MTBF 可靠性能要求 .....	10
5.5 数据质量控制可信性能要求 .....	10
5.6 散热设计绿色性能要求 .....	10
5.7 兼容性能要求 .....	10
5.8 其他要求 .....	11
6 测试要求与方法 .....	12
6.1 测试环境 .....	12
6.2 智能性能 .....	12
6.3 信息安全性能 .....	14
6.4 MTBF 可靠性能 .....	14
6.5 数据质量控制可信性能 .....	15
6.6 散热设计绿色性能 .....	15
6.7 兼容性能 .....	15
6.8 其他 .....	15
6.9 测试流程与判定准则 .....	16
6.10 测试报告要求 .....	16
参 考 文 献 .....	17

# 前 言

本文件按照GB/T1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件起草单位：上海机器人产业技术研究院、睿尔曼智能科技（北京）有限公司、江淮前沿技术协同创新中心、国家机器人检测与评定中心（广州）、湖南省产商品质量检验研究院、重庆凯瑞机器人技术有限公司、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、上海电器科学研究所（集团）有限公司、上海电器设备检测所有限公司、上海添唯认证有限公司、中国信息通信研究院、北京人形机器人创新中心有限公司、人形机器人(上海)有限公司、中汽检测技术有限公司、芜湖赛宝机器人产业技术研究院有限公司、中国软件评测中心、中国科学院沈阳自动化研究所、杭州宇树科技有限公司、北京小米机器人公司、深圳市优必选科技股份有限公司、五八智能科技（杭州）有限公司、上海智元创新技术有限公司、上海库帕思科技有限公司、上汽通用动力科技(上海)有限公司、节卡机器人股份有限公司、上海ABB工程有限公司、中晶新源（上海）半导体有限公司、中国电子科技集团公司第二十一研究所、中移（杭州）信息技术有限公司、江淮前沿技术协同创新中心、深圳市人工智能与机器人研究院、上海电气集团股份有限公司中央研究院、上汽集团北京有限公司、北京工业大学、上海工业控制安全创新科技有限公司、具身智人（北京）科技有限公司、四川具身人形机器人科技有限公司、合肥科大智能机器人技术有限公司、智昌科技集团股份有限公司、科沃斯机器人股份有限公司、苏州泰斯特智能科技有限公司、上海思岚科技有限公司、苏州大学、中国计量大学、工业和信息化部电子第五研究所、江苏省产品质量监督检验研究院、福建省特种设备检验研究院、上海仪器仪表自控系统检验测试所有限公司、北京市产品质量监督检验研究院、威凯检测技术有限公司、常州检验检测标准认证研究院、浙江华电器材检测研究院有限公司、中数（深圳）时代科技有限公司、UL美华认证有限公司、上海识度数字科技有限公司、杭州汉德质量认证服务有限公司、深圳市北测检测技术有限公司。

本文件主要起草人：郑军奇、朱晓鹏、郑随兵、友清、李强、曹天翔、朱滨、李一朵、刘亚楠、朱晓俊、曹懿莎、钟声、熊友军、刘宇飞、辛强、陈仟、卫能、李峰、梁学修、李志海、任容玮、全琪、王启舟、王俊芳、郭文平、陈利钦、梁乔玲、张国亮、闫维新、曹宇、徐啸顺、许雄、李顺冲、张文敏、张楠、王洪武、蒲琪然、刘佳璐、陈忠、李博程、石照耀、李嘉茂、张璇、刘宇龙、冯振宇、汪中原、甘中学、严海、宋伟、安伯廷、张丽萍、陈良、张斌、董成举、陈胜利、陈照春、江旭强、李海涛、张传甲、王直荣、张浩、王光、章韧、张弋、郑威、宛江坤、陆迪康。

本文件为首次发布。

# 引 言

人形机器人数据集采集系统是获取高质量训练数据的核心环节，其性能与规范性直接影响数据集的质量，进而决定人形机器人感知、决策与执行能力的培育效果。随着人形机器人向通用具身智能方向发展，数据采集系统需适配多场景、多模态、多型号机器人的数据需求，成为打通“数据-模型-应用”链路的关键支撑。

我国在人形机器人数据采集领域已具备规模化布局基础，建成多个综合性采集场地，配备多样化传感器与环境模拟设施。然而，当前数据采集系统存在以下突出问题：

- 兼容性方面，不同品牌、型号的采集设备接口协议不统一，难以实现多设备协同工作；
- 规范性方面，采集流程、参数设置、数据同步等环节缺乏统一标准，导致采集数据格式混乱、精度差异大；
- 适应性方面，针对特定场景（如家庭服务、工业操作、医疗辅助等）的采集系统定制化能力不足，难以满足场景化训练需求；
- 安全性方面，采集过程中涉及的环境数据、交互数据等存在隐私泄露风险，缺乏系统级安全防护规范。

现有标准多聚焦于数据集本身的格式、标注等环节，尚未对数据采集系统的通用要求作出规定。本文件的制定，旨在明确人形机器人数据集采集系统的设计、功能、性能及安全等通用要求，为采集系统的研发、应用与测评提供依据。

本文件与 T/SAIAS 026—2025 人形机器人数据集格式要求、T/SAIAS 024—2025 人形机器人数据集分类与编码、T/SAIAS 025—2025 人形机器人数据集数据标注规范及 T/SAIAS 027—2025 人形机器人数据集质量评价 配套使用，共同构成人形机器人训练数据全流程技术标准化体系。

# 人形机器人数据集采集系统通用要求

## 1 范围

本文件规定了人形机器人数据集采集系统的设计原则、功能要求、性能指标、安全规范及测试方法。

本文件适用于人形机器人数据集采集系统的设计、开发、生产、测试与应用验证活动，可作为相关系统选型、验收及质量评价的依据。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T12643—2025 机器人 词汇

GB/T36625.3—2021 智慧城市 数据融合 第3部分：数据采集规范

GB/T42135—2022 智能制造 多模态数据融合技术要求

GB/T42404—2023 信息技术 系统间远程通信和信息交换 局域网和城域网 桥接局域网用时间敏感应用的定时和同步

T/SAIAS 017—2024 人形机器人分类分级应用指南

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 机器人 robot

具有一定自主能力，执行运动、操作或定位的可编程机构。

注1：机器人包括控制系统。

注2：机器人机械结构示例为操作机、移动平台和可穿戴机器人。

[来源：GB/T 12643—2025 机器人 词汇 3.1]

### 3.2

#### 人形机器人 humanoid robot

具有类似于人的躯干、头部、四肢和关节，外观和动作与人类相似，基于通用具身智能来实现的感知、认知、决策、执行等能力的机器人。

[来源：T/SAIAS 017—2024 人形机器人分类分级应用指南 3.1.2]

### 3.3

#### 数据采集 data acquisition

从数据源中得到原始数据，通过标准化处理并转化为满足数据共享与利用需求的功能。

[来源：GB/T36625.3—2021 智慧城市 数据融合 第3部分：数据采集规范 3.2]

### 3.4

#### 多模态数据 multi-modal data

多种形态的数据。

注：包含结构化数据（例如业务系统数据等），半结构化数据（例如XML文件、JSON文件等）和非结构化数据（例如文本、语音和图像视频等）。

[来源：GB/T42135—2022 智能制造 多模态数据融合技术要求 3.1]

### 3.5

#### 可追溯性 traceability

测量结果或标准值的一种属性，该属性可通过不间断的、具有规定不确定度的比较链，将测量结果或标准值与规定的参考值（通常为国家标准或国际标准）相关联。

[来源：GB/T42404—2023 信息技术 系统间远程通信和信息交换局域网和城域网 桥接局域网用时间敏感应用的定时和同步 3.22]

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

表1 缩略语

缩略语	中文名称	英文全称
API	应用程序编程接口	Application Programming Interface
CISP-DSO	注册数据安全官	Certified Information Security Professional Data Security Officer
CPU	中央处理器	Central Processing Unit
CRC	循环冗余校验	Cyclic Redundancy Check
DRAM	动态随机存取存储器	Dynamic Random Access Memory
FS	满量程	Full Scale
ID	标识符	Identifier
IP	进入防护	Ingress Protection
JSON	JavaScript 对象表示法	JavaScript Object Notation
MTBF	平均无故障运行时间	Mean Time Between Failures
Protobuf	二进制数据序列化协议	Protocol Buffers
RBAC	基于角色的访问控制	Role-Based Access Control
RH	相对湿度	Relative Humidity
ROS2	机器人操作系统 2	Robot Operating System 2
SDK	软件开发工具包	Software Development Kit
SSD	固态硬盘	Solid State Drive
VPN	虚拟专用网络	Virtual Private Network

## 5 系统通用要求

### 5.1 人形机器人数据集采集系统最小技术指标

下列技术指标适用于本文件。

表2 人形机器人数据集采集系统通用要求概述表

专业技术领域	类别	项目	通用要求概述
智能性能	大小脑性能	视觉	采集设备分辨率 $\geq 1280 \times 720$ ，畸变率 $\leq 1\%$ ，采集频率 $\geq 30\text{Hz}$
		听觉	采集设备支持语音采集，采集频率 $\geq 16\text{kHz}$
	肢肌体性能	肢体力学和运动学参数	灵巧手控制精度： 角度 $0.01^\circ$ ，力 $0.01\text{N}$ 机械臂关节参数精度： 1) 关节电流 $0.1\text{mA}$ ，关节温度 $0.1^\circ\text{C}$ ，关节电压 $0.1\text{V}$ 2) 力控指标： $200\text{N}/7\text{N} \cdot \text{m}$ ， $\pm 0.5\% \text{FS}$ 3) 机械臂有效负载： $5\text{kg}$ 4) 最大角速度： $180 \sim 225^\circ / \text{s}$ 5) 重复定位精度： $\pm 0.05\text{mm}$
安全性能	信息安全	传输安全	采集系统采用 IPsecVPN 加密隧道+AES-256 分片加密，支持分片重传，CRC 校验防篡改。
		存储安全	数据存储系统采用敏感数据加密及脱敏
		访问控制安全	采集系统采用 RBAC $\geq 5$ 级权限，越权禁止访问，宜支持生物认证，密码 90 天强制更换，操作日志留存 $\geq 180$ 天
		多模态同步	多传感器采集系统时间戳偏差 $\leq 500\mu\text{s}$ ，空间转换误差 $\leq \pm 0.3\text{mm}$
可靠性能	系统可靠性	MTBF	采集系统在 $-10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ 、 $10\% \sim 90\%$ 湿度下平均无故障时间 $\geq 100$ 小时
可信性能	数据可信	数据质量控制	全流程标准化，参数偏差标注，元数据完整
绿色性能	能效管理	散热设计	采集系统支持自然散热，无强制风冷时可连续运行 4 小时，减少风扇等部件的能源消耗。
兼容性能	系统兼容性适配	接口协议兼容	采集系统支持 $\geq 3$ 种接口协议
		无线通信兼容	采集系统远程控制支持 5G/Wi-Fi6 传输，适配不同无线环境

表 2 人形机器人数据集采集系统通用要求概述表（续）

## 5.2 智能性能要求

其他	通用特性	软件开放性	采集系统开放 API 接口，兼容上下游数据链路，提升场景化适配灵活性。
		规范性	采集系统的采集全流程需按标准操作，涵盖前期准备、执行及后期处理，明确各类数据的采样频率和精度要求以统一参数基准，并需标注参数偏差，完整保留元数据以保障数据可追溯
		数据处理效率	采集系统处理单元支持多模态数据实时预处理，速率 $\geq 100\text{MB/s}$ ；日批量处理 $\geq 20\text{TB}$ ；动态调度资源，保障效能稳定。
		可扩展性	采集系统采用模块化架构，支持硬件、软件、容量扩展，确保功能与规模随需求动态升级。

### 5.2.1 视觉传感器

视觉传感器需要满足以下性能要求：

- a. 分辨率  $\geq 1280 \times 720$  像素，像素尺寸  $\geq 1.4\mu\text{m} \times 1.4\mu\text{m}$ ，畸变率  $\leq 1\%$ 。
- b. 采集频率：  $\geq 30\text{Hz}$ 。

### 5.2.2 听觉传感器

听觉传感器需要满足以下性能要求：

- a. 单个麦克风灵敏度  $\geq -38\text{dBFS}$  (1kHz, 94dB SPL)，等效输入噪声  $\leq 15\text{dBA}$ ，确保微弱声音的采集能力，采集频率  $\geq 16\text{kHz}$ 。
- b. 集成低噪声前置放大器与自适应增益控制 (AGC) 模块，可在 30dB 至 110dB SPL 声压范围内自动调节增益，避免信号饱和或失真。

### 5.2.3 灵巧手与机械臂

灵巧手与机械臂需要满足以下性能要求：

- a. 灵巧手控制精度  
角度控制精度  $\leq 0.01^\circ$ ，力控制精度  $\leq 0.01\text{N}$ ，充分满足在精密装配、微操作、精细抓取等复杂场景下的精细力控需求，有效保障操作过程的准确性与柔顺性。
- b. 机械臂
  - 1) 关节性能：关节电流精度  $\leq 0.1\text{A}$ ，关节温度精度  $\leq 0.1^\circ\text{C}$ ，关节电压精度  $\leq 0.1\text{V}$ ，同时配备力矩传感器，量程  $0\text{--}7\text{N}\cdot\text{m}$ ，力矩精度  $\leq \pm 0.5\%\text{FS}$ ，支持关节力矩实时采集与动态力监测，确保机械臂在与环境交互或负载变化时，可快速响应并调整输出力矩，保障操作安全性与力控精度。
  - 2) 运动与负载性能：有效负载  $5\text{kg}$ ，最大角速度范围  $180\sim 225^\circ/\text{s}$ ，重复定位精度  $\leq \pm 0.05\text{mm}$ ，确保机械臂在批量重复作业中保持高度一致性以及运动平稳性。

## 5.3 信息安全性能要求

### 5.3.1 传输安全

采用 IPsec 协议构建 VPN 加密隧道，所有数据按 1MB 分片传输，每片独立采用 AES-256 加密算法，确保部分数据丢失时可单独重传，不影响整体完整性。

### 5.3.2 存储安全

敏感数据存储时采用商用密码，并执行脱敏处理（人脸图像模糊处理、声纹特征降维），脱敏覆盖率 100%且不可逆。

### 5.3.3 访问控制安全

访问控制安全需要满足以下性能要求：

- a. 基于 RBAC（角色基础访问控制）机制设置 $\geq 5$ 级用户权限（管理员、高级操作员、操作员、审计员、访客），越权访问拦截率 100%。
- b. 密码需每 90 天强制更换（含复杂度校验： $\geq 8$  位字符，包含大小写字母、数字及特殊符号）。
- c. 操作日志（含登录、数据导出、参数修改、异常操作）留存时间 $\geq 180$  天，支持日志审计与追溯。

### 5.3.4 多模态同步

多模态同步需要满足以下性能要求：

- a. 时间同步：不同模态数据的时间戳偏差 $\leq \pm 500\mu\text{s}$ ，通过硬件触发（如同步脉冲）与软件校准（时间戳插值）双重机制实现。
- b. 空间同步：传感器坐标系间的转换误差 $\leq \pm 0.3\text{mm}$ ，支持动态标定，坐标转换残差 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ ；多设备协同采集时，空间基准一致性偏差 $\leq \pm 0.5\text{mm}$ 。

## 5.4 MTBF 可靠性能要求

在常规工作环境（温度 $-10^{\circ}\text{C}$ - $50^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 10%-90%无凝结）中，系统平均无故障运行时间应 $\geq 100$  小时。

## 5.5 数据质量控制可信性能要求

数据质量控制可信需要满足以下性能要求：

- a. 全流程标准化管控：覆盖数据采集的前期准备（传感器校准、环境参数标定）、执行过程（采样频率稳定性、同步机制有效性）及后期处理（噪声过滤、异常值剔除）等环节，建立标准化操作流程（SOP），确保各环节操作可复现、可追溯。
- b. 参数偏差实时监测：对关键采集参数进行实时监控，当参数偏差超过预设阈值时，系统自动触发报警（响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ），并在数据中进行偏差标注，保留偏差产生的环境参数（温度、湿度等）记录。
- c. 元数据完整性管理：元数据需包含传感器型号、校准时间（精确至秒）、采集场景类型、数据采集场环境参数（温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $\pm 2\%\text{RH}$ ）、数据采集 ID、操作人员信息等，与原始数据绑定存储，支持通过元数据逆向追溯采集全流程细节。

## 5.6 散热设计绿色性能要求

散热设计绿色需要满足以下性能要求：

- a. 自然散热结构：采用高导热系数材质构建散热壳体，通过鳍片式设计扩大散热面积，确保核心部件在无强制风冷时可通过热传导、对流方式散热。
- b. 温度自适应调节：内置温度传感器（精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ），实时监测核心部件温度，当温度 $\geq 70^{\circ}\text{C}$ 时，确保无强制风冷条件下连续运行 4 小时后，核心部件温度 $\leq 95^{\circ}\text{C}$ 。

## 5.7 兼容性能要求

### 5.7.1 接口协议兼容

系统需具备强大的跨协议适配能力，支持至少 3 种主流接口协议，涵盖机器人专用协议与通用工业协议，具体包括但不限于 Ethernet/IP、Modbus、CanFD 等。为实现异构设备间的无缝数据交互。

### 5.7.2 无线通信兼容

系统需具备广泛的无线通信适配能力，支持 5G 与 Wi-Fi6 无线技术，满足不同场景下的传输需求：5G 通信侧重低延迟、广覆盖特性，适配工业厂区、室外移动等大范围场景；Wi-Fi6 则聚焦高带宽、多设备并发能力，适配家庭、实验室等密集设备部署场景。

## 5.8 其他要求

### 5.8.1 可扩展性要求

采集系统采用模块化架构，支持硬件、软件、容量扩展，确保功能与规模随需求动态升级。

### 5.8.2 软件开放性要求

接口开放：提供 SDK 开发工具包及标准化 API 接口，支持第三方算法（如目标检测、行为识别）的集成，接口调用响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ，调用成功率=100%。

### 5.8.3 规范性要求

在人形机器人数据采集作业中，规范性应严格遵循以下原则：作业流程全环节需确保各步骤标准化且可复现；参数基准需统一各类数据的采样频率、精度等关键指标，实时监测并标注偏差；可追溯性需完整保留元数据及操作日志，实现从采集到销毁的全流程逆向追溯；同时，需保障数据处理的规范性，确保实时与批量处理效能稳定、误差可控，且符合安全与隐私保护相关要求，具体作业流程如下：

#### a. 任务规划

制定场景脚本时，需明确采集场景的环境参数阈值范围及机器人动作序列的时间节点精度；风险评估表需细化风险发生概率等级，并针对隐私泄露风险明确具体操作。

示例：家庭场景温度 18-28°C、光照 50-500lux，工业场景噪声 $\leq 85\text{dB}$ 。

#### b. 环境准备

按场景脚本布置时，需使用标准化量具记录环境参数。

#### c. 设备点检

传感器校准需记录校准工具信息，校准结果需标注“允许误差范围”；点检表需由操作员与质检员双人签字确认。

#### d. 采集

需实时显示多模态数据同步状态；针对异常情况，需记录“异常发生的具体动作阶段”。

示例：时间戳偏差 $\leq 500\mu\text{s}$ 时亮绿灯，超限时亮红灯并报警。

#### e. 质检

需采用分层抽样法进行 10%抽检（家庭、工业、医疗、高速、低速场景均覆盖），质检报告需包含各模态数据合格率明细。

示例：某帧视觉分辨率降至 500×300，低于 1280×720 标准。

#### f. 上传

加密传输需记录“每片数据的加密校验码”并与 AES-256 加密结果绑定。

#### g. 归档

版本管理需采用“场景编号+采集日期+版本号”的命名规则，修改记录需注明“修改人、修改原因及影响范围”；元数据需额外包含“传感器固件版本”“采集软件版本”“机器人标定信息”，确保追溯时可复现系统状态。

示例：家庭场景\_20250610\_V1.2 因力觉校准参数更新，重新生成 V1.2 版本，涉及第 5-8 段数据”。

#### h. 销毁

数据擦除需采用“三次覆写”方式，销毁日志需补充“数据存储介质编号”（SSD 序列号、磁带库槽位号）及“擦除后的数据不可恢复性验证结果”，必须通过专业工具检测确认无残留，日志需由管理员与审计员共同签章存档。

各环节角色与职责如下表所示：

表3 人形机器人数据采集作业角色权责与交付规范表

角色	职责	关键交付件	资质要求
任务规划工程师	场景脚本、风险评估表	任务说明书	机器人中级工程师
采集操作员	设备点检、启动记录、异常处置	点检表、日志	特种作业证
质检员	10%抽检、出具质检报告	质检报告	ISO-9001 内审员
数据治理工程师	元数据标注、加密上传	数据标签、校验文件	CISP-DSO
安全监督员	现场安全巡查、应急演练	安全日报	注册安全工程师

#### 5.8.4 数据处理效率要求

数据处理效率需要满足以下要求：

- a. 实时处理：支持多模态数据的实时预处理（如降噪、拼接、格式转换），处理速率 $\geq 100\text{MB/s}$ ，单帧数据处理延迟 $\leq 50\text{ms}$ ，确保下游决策系统的实时性。
- b. 批量处理：具备离线批量处理能力，日均可处理 $\geq 20\text{TB}$ 数据。
- c. 资源优化：采用动态资源调度机制，根据数据量自动分配计算资源（CPU、内存），资源利用率维持在60%–80%区间，避免资源闲置或过载导致的效能下降。

## 6 测试要求与方法

### 6.1 测试环境

测试环境需要满足以下要求：

- 1) 温度控制范围： $-25^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，可覆盖低温、常温、高温等多种极端环境模拟需求，满足人形机器人在不同温度条件下的数据采集系统性能测试。
- 2) 湿度控制范围：5%–95%RH，可模拟干燥、潮湿等不同湿度环境，覆盖家庭、工业、医疗等场景的典型湿度条件。
- 3) 如果测试环境不在上述范围中，请在报告中写明。

### 6.2 智能性能

#### 6.2.1 大小脑性能

##### 6.2.1.1 视觉测试

视觉测试需要满足以下要求：

- 1) 采用专业的测试软件进行测试（如foxglove），采集频率基于不同模态数据，判断采集频率是否满足要求（ $\geq 30\text{HZ}$ ）。
- 2) 使用专业测试软件测试分辨率，判断分辨率是否 $\geq 1280*720\text{p}$ 。

- 3) 评估视觉采集系统畸变率是否 $\leq 1\%$ 。

## 6.2.1.2 听觉测试

听觉测试需要满足以下要求

- 1) 使用听觉采集系统（如麦克风）采集音频。
- 2) 使用专业软件加载采集完的音频，并计算采集频率是否大于16kHz。

## 6.2.2 肢肌体性能

### 6.2.2.1 灵巧手控制精度

#### 6.2.2.1.1 角度精度测试方法：

- 1) 使用激光跟踪仪，在每个被测指节上粘贴三反射靶。
- 2) 设定一组角度命令 $\theta_{cmd}$ （如0、10、20、...覆盖工作区）。
- 3) 每个角度稳态1s后采集数据，计算实际角度 $\theta_{meas}$ （由相邻两刚体夹角）。
- 4) 按照以上步骤全区往返测试3次。
- 5) 计算角度误差均值： $e = (\sum_{i=1}^{n=3} \theta_{meas} - \theta_{cmd}) / 3$ ，根据计算结果判定是否 $|e| \leq 0.01^\circ$ 。

#### 6.2.2.1.2 力精度测试方法：

- 1) 使用微力传感器/力计并指定力指令 $F_{cmd}$ （如0-2N，步进0.05N）。
- 2) 每级稳态1s，使用力传感器测试实际力 $F_{meas}$ 。
- 3) 按照以上步骤重复测试3轮。
- 4) 计算： $|e| = |F_{meas} - F_{cmd}|$ 并记录最大 $|e|$ ，根据计算结果判定是否最大 $|e| \leq 0.01N$ 。

### 6.2.2.2 机械臂关节参数精度

#### 6.2.2.2.1 关节电流精度测试方法

- 1) 将精密分流电阻（例如0.1 $\Omega$ /0.01 $\Omega$ ）串于相位回路，四线开尔文引出至24bit数字万用表。
- 2) 令关节在空载+恒速/恒扭转工况，记录电机相电流 $i_{meas}$ ；记录控制器内部电流 $i_{ref}$ 。
- 3) 按照以上步骤重复测试3次。
- 4) 计算： $|e| = |i_{meas} - i_{ref}|$ ；统计最大 $|e|$ ，根据计算结果判定是否最大误差 $\leq 0.1mA$ 。

#### 6.2.2.2.2 关节温度精度测试

- 1) 使用PT1000或高精度数字温度探头，贴附定子壳/绕组热点位。
- 2) 稳定各工况10-15min，记录传感器温度 $T_{meas}$ 与控制器内部温度 $T_{ref}$ 。
- 3) 按照以上步骤重复测试3次。
- 4) 计算： $|e| = |T_{meas} - T_{ref}|$ ；统计最大 $|e|$ ，根据计算结果判定是否最大误差 $\leq 0.1^\circ C$ 。

#### 6.2.2.2.3 关节电压测试方法

- 1) 使用数字万用表，记录空载与负载工况下实际电压 $V_{meas}$ 与控制器内部电压 $V_{ref}$ 。
- 2) 按照以上步骤重复测试3次。
- 3) 计算： $|e| = |V_{meas} - V_{ref}|$ ，统计最大 $|e|$ ，根据计算结果判定是否最大误差 $\leq 0.1V$ 。

#### 6.2.2.2.4 力控/力矩控测试方法

- 1) 使用线性测功台与转矩测功机分别进行静态/动态测试。
- 2) 静态测试中分0、20%、40%、60%、80%、100%FS六点，上/下行各一次，稳态为3s，结果取平均值。
- 3) 计算误差（%FS）= $(|读数值 - 设定值| / FS) \times 100\%$ ，根据计算结果判定是否静态最大误差 $\leq \pm 0.5\%FS$ 。

#### 6.2.2.2.5 机械臂有效负载测试方法

- 1) 使用标准砝码或等效工装安装5kg负载。
- 2) 运行代表任务：加减速、轨迹跟随、末端停靠、持重悬停。
- 3) 记录最大电流/温度，并判断是否触发限流/过温。
- 4) 判定是否全程无保护触发/掉步。

#### 6.2.2.2.6 最大角速度测试方法

- 1) 机械臂设定梯形速度剖面，目标峰值覆盖机械臂最大角速度。
- 2) 使用激光跟踪仪进行测试采样关节角度 $\theta(t)$  ( $\geq 1\text{kHz}$ )，用中心差分法计算角速度。
- 3) 计算测试角速度及设定角速度差值。
- 4) 判定是否稳定达到目标角速度区间。

#### 6.2.2.2.7 重复定位精度测试方法

测试方法参考《GB/T12642-2013 工业机器人 性能规范及其试验方法》。

### 6.3 信息安全性能

#### 6.3.1 测试要求

安全测试需覆盖传输、存储、访问控制及多模态同步等环节的全面验证。传输安全层面，要验证加密隧道、分片加密及防篡改等机制的有效运行情况；存储安全方面，重点检测敏感数据加密及脱敏措施的合规性；访问控制安全需确认权限分级、越权禁止访问、身份认证及操作日志留存等机制的合规性与有效性；多模态同步环节，要测试多传感器在时间和空间维度的同步性，从而全面保障系统的信息安全能力。

#### 6.3.2 测试方法

##### 6.3.2.1 传输安全

通过自动化软件检查数据传输是否采用 IPsecVPN 隧道及 AES-256 分片加密（每 1MB 分片），通过 CRC 校验确认数据无篡改。

##### 6.3.2.2 存储安全

敏感数据是否单独存储于加密分区，备份周期是否 $\leq 24$ 小时且异地存放。

##### 6.3.2.3 访问控制安全

测试不同等级权限（管理员至访客）的越权拦截率是否 100%；验证生物认证（指纹/人脸）及密码复杂度与强制更换机制；检查操作日志留存是否 $\geq 180$ 天。

##### 6.3.2.4 多模态同步

采集视觉、听觉等 4 类模态设备时间戳，评估每小时时间戳最大偏差 $\leq 500\mu\text{s}$ ；以激光跟踪仪建立空间基准，测各传感器坐标系转换误差 $\leq \pm 0.3\text{mm}$ ，机器人运动时坐标转换残差 $\leq 0.1\text{mm}$ ，多设备协同采集空间基准偏差 $\leq \pm 0.5\text{mm}$ 。

### 6.4 MTBF 可靠性能

#### 6.4.1 测试要求

可靠性测试需验证系统在不同环境下的无故障运行能力——MTBF，同时需考核系统在常规及强化环境下 MTBF 的达标情况，还要验证系统在宽温域、宽湿度范围及高湿度等典型场景下运行稳定性，评估性能衰减幅度，同时测试系统对传感器离线、数据传输中断等故障的自动检测速度，确保数据丢失率可控。

#### 6.4.2 测试方法

在常规环境（ $-10^{\circ}\text{C}$ - $50^{\circ}\text{C}$ 、湿度 10%-90%）及强化环境中，连续运行系统并记录故障间隔，统计 MTBF 是否分别 $\geq 100$ 小时。

## 6.5 数据质量控制可信性能

### 6.5.1 测试要求

可信性测试需验证多模态数据的数据质量控制能力，确保数据采集全流程标准化、可追溯，还要考核数据质量管控机制的有效性，如参数偏差的实时监测与标注准确性、元数据的完整性及全流程追溯的可行性。

### 6.5.2 测试方法

#### 6.5.2.1 全流程检查

验证采集前期（设备校准、环境设置）、执行（采样触发、同步机制）、后期（清洗、转换）是否按标准操作，操作日志是否完整。

#### 6.5.2.2 参数与追溯

检查采样频率、精度是否符合基准（如视觉 $\geq 30\text{Hz}$ 、力觉 $\leq \pm 0.5\%FS$ ），参数偏差是否标注；元数据（传感器型号、校准时间等）是否与原始数据绑定，存储期限是否 $\geq$ 数据生命周期，能否通过元数据追溯全流程。

## 6.6 散热设计绿色性能

### 6.6.1 测试要求

绿色性能测试需验证系统的能效管理——散热设计，确保低能耗运行，同时需检验散热结构在无强制风冷条件下的持续运行稳定性，评估核心部件温度控制效果。

### 6.6.2 测试方法

在 $70^{\circ}\text{C}$ 环境下，无强制风冷条件下连续运行系统4小时，监测核心部件温度变化，验证是否无需风扇等部件即可稳定运行，减少能源消耗。

## 6.7 兼容性能

### 6.7.1 测试要求

兼容性测试需验证系统在接口协议、电磁环境及无线通信方面的适配能力，确保多设备协同及复杂环境下的稳定运行，同时检验对主流接口协议的兼容与转换效率，考核强电磁和特殊环境下的抗干扰能力，以及无线通信的传输稳定性与数据完整性保障。

### 6.7.2 测试方法

#### 6.7.2.1 接口协议兼容

通过协议测试验证软件验证是否支持 $\geq 3$ 种接口协议（如Ethernet/IP）通信；检查是否能与主流机器人控制系统及外围设备（工业相机、力传感器等）通信。

#### 6.7.2.2 无线通信兼容

通过ping命令测试5G/Wi-Fi6通信功能是否正常。

## 6.8 其他

### 6.8.1 测试要求

其他特性测试需验证系统的可扩展性、软件开放性、规范性及数据处理效能，确保功能可扩展、适配灵活且处理高效。

### 6.8.2 测试方法

#### 6.8.2.1 可扩展性

测试系统模块化架构是否支持硬件（新增传感器）、软件（新增功能模块）、容量（数据存储扩展）扩展，验证扩展后功能与规模是否随需求动态升级。

#### 6.8.2.2 软件开放性

软件开放性测试应包含以下内容：

- a. 测试 API 接口调用响应时间是否 $\leq 100\text{ms}$ ，调用成功率是否等于 100%；验证是否支持第三方算法（目标检测、行为识别）集成。
- b. 测试与上下游系统（机器人控制系统、云端平台）的对接能力，数据格式转换（JSON、Protobuf）是否支持。

#### 6.8.2.3 规范性

规范性测试应包含以下内容：

- a. 检查采集全流程（前期准备、执行、后期处理）是否按标准操作，各环节操作日志（人员、时间、参数变更）是否规范。
- b. 监测参数偏差（如精度偏差 $\geq 1\%$ ）时是否自动报警（响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ）并标注，元数据是否完整且可追溯。

#### 6.8.2.4 数据处理效率

数据处理效率测试应包含以下内容：

- a. 实时处理：测试多模态数据预处理（降噪、拼接）速率是否 $\geq 100\text{MB/s}$ ，单帧处理延迟是否 $\leq 50\text{ms}$ 。
- b. 批量处理：验证日处理数据量是否 $\geq 20\text{TB}$ 。
- c. 资源优化：监测动态资源调度机制是否将 CPU、内存利用率维持在 60%-80%，避免闲置或过载。

### 6.9 测试流程与判定准则

#### 6.9.1 测试流程

测试流程应包含以下内容：

- a. 前期准备：检查测试环境参数（温度、湿度等）是否符合要求，校准测试设备（计量器具在有效期内），编制测试方案（含测试项目、步骤、样本量）。
- b. 执行测试：按测试项目依次进行，记录原始数据（含环境参数、设备状态、测试结果），保留关键过程的视频记录。
- c. 结果分析：对测试数据进行统计分析，计算合格率、误差范围等指标，比对与标准要求的符合性，形成初步测试报告。
- d. 整改验证：对不合格项提出整改建议，整改后进行复测（复测样本量不少于原样本量的 50%），直至符合要求。

#### 6.10 测试报告要求

测试报告应包含以下内容：

- a. 测试概况：测试对象（系统型号、配置）、测试环境、测试时间、测试人员。
- b. 测试依据：引用本文件及相关标准。
- c. 测试项目与结果：按硬件性能、软件功能等分类列出测试数据，附原始记录和统计图表。
- d. 符合性判定：逐项说明是否符合要求，对不合格项说明原因及整改情况。
- e. 结论与建议：给出系统是否符合通用要求的结论，提出优化改进建议。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T12643—2025 机器人 词汇
  - [2] GB/T36625.3—2021 智慧城市 数据融合 第3部分：数据采集规范
  - [3] GB/T42135—2022 智能制造 多模态数据融合技术要求
  - [4] GB/T42404—2023 信息技术 系统间远程通信和信息交换 局域网和城域网 桥接局域网用  
时 间敏感应用的定时和同步
  - [5] T/SAIAS 017—2024 人形机器人分类分级应用指南
  - [6] T/SAIAS 024—2025 人形机器人数据集分类与编码
  - [7] T/SAIAS 025—2025 人形机器人数据集数据标注规范
  - [8] T/SAIAS 026—2025 人形机器人数据集格式要求
  - [9] T/SAIAS 027—2025 人形机器人数据集质量评价
- 

TTCAR