

ICS 25.040.30

CCS J 28



团体标准

T/CEATEC XXX—2026

AI 赋能缆控机器人智能感知与决策 技术要求

Technical requirements for AI enabled intelligent perception and
decision-making of cable controlled robots

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 系统架构与基本要求	2
4.1 逻辑架构	2
4.2 硬件要求	2
4.3 软件要求	3
5 智能感知要求	3
5.1 视觉感知要求	3
5.2 激光雷达感知要求	3
5.3 毫米波雷达感知要求	4
5.4 位姿与状态感知要求	4
6 智能决策与控制要求	4
6.1 辅助操作决策要求	4
6.2 自主导航要求	4
6.3 作业决策要求	5
6.4 人机交互要求	5
7 数据融合与通信要求	5
7.1 多模态融合感知要求	5
7.2 智能带宽分配要求	5
7.3 通信协议要求	5
7.4 数据安全要求	6
8 试验方法	6
8.1 智能感知试验	6
8.2 智能决策与控制试验	7
8.3 数据融合与通信试验	7

前言

本文件按照GB/T 1.1—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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

AI 赋能缆控机器人智能感知与决策技术要求

1 范围

本文件规定了AI赋能缆控机器人智能感知与决策的系统架构与基本要求、智能感知要求、智能决策与控制要求、数据融合与通信要求、试验方法。

本文件适用于各类缆控机器人的设计、研发与应用。

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/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 5271.31 信息技术 词汇 第31部分：人工智能 机器学习

GB/T 5271.34 信息技术 词汇 第34部分：人工智能 神经网络

GB/T 7665 传感器通用术语

GB/T 12642 工业机器人 性能规范及其试验方法

GB/T 12643 机器人 词汇

GB/T 32197 工业机器人控制器开放式通信接口规范

GB/T 32907 信息安全技术 SM4分组密码算法

GB/T 36092 信息技术 备份存储 备份技术应用要求

GB/T 38834.2 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第2部分：导航

GB/T 38834.3 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第3部分：操作

GB/T 42983.2 工业机器人 运行维护 第2部分：故障诊断

GB/T 42983.4 工业机器人 运行维护 第4部分：预测性维护

GB/T 42983.3 工业机器人 运行维护 第3部分：健康评估

GM/T 0002 SM4分组密码算法

3 术语和定义

GB/T 5271.31、GB/T 5271.34、GB/T 7665和GB/T 12643界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

缆控机器人 cable controlled robot

通过缆绳或脐带缆与操作台连接，由操作人员控制或由机载计算机辅助控制，具备移动和作业功能的机器人系统。

3.2

智能感知 intelligent perception

利用视觉、激光、声学等传感器并结合人工智能算法，对环境、目标物及机器人自身状态进行检测、识别、定位与理解的综合能力。

3.3

多模态融合 multi-modal fusion

将来自不同物理属性传感器（如相机、激光雷达、毫米波雷达等）的数据进行时空配准与特征级或决策级结合，形成对环境一致性描述的过程。

3.4

目标检测 object detection

在图像或点云数据中定位感兴趣目标并识别其类别的技术过程。

3.5

脐带缆 tether cable

连接缆控机器人与操作台，用于传输电能、控制信号和数据的复合缆线。

4 系统架构与基本要求

4.1 逻辑架构

应包含下列层次：

- a) 感知层：由各类传感器及其驱动单元构成，负责采集原始数据；
- b) 融合与理解层：对感知层采集的多源数据进行处理，实现环境理解和状态估计；
- c) 决策与控制层：基于融合与理解层的输出，生成控制指令或操作建议。

4.2 硬件要求

4.2.1 计算单元

应满足实时处理需求，具体要求如下：

- a) 机载AI计算模块整数运算算力不应低于16 TOPS；
- b) 应支持TensorFlow Lite、ONNX Runtime、PyTorch Mobile、OpenVINO等主流深度学习推理框架；
- c) 应具备GPU、NPU、FPGA或DSP等异构计算硬件加速能力；
- d) 满载功耗不应超过系统额定功率的30%。

4.2.2 存储单元

应满足数据记录和运行需求，具体要求如下：

- a) 系统存储容量不应低于128GB；
- b) 连续写入速度不应低于50MB/s；
- c) 连续读取速度不应低于100MB/s；
- d) 应支持数据断点续传功能，确保通信中断期间数据不丢失。

4.2.3 接口要求

应满足传感器接入和控制指令输出的需求，具体要求如下：

- a) 应符合GB/T 32197的规定，并提供不少于2个千兆以太网接口、4个RS-232/RS-485/CAN串行接口、8路数字量输入输出接口、4路模拟量输入接口、8路PWM信号输出接口；
- b) 应提供标准化的SDK或API，支持与ROS、ROS2等主流机器人控制系统的对接；
- c) 所有接口应具备过压、过流、静电防护能力。

4.2.4 防护等级

AI系统各组成部分的防护等级应根据使用环境确定（符合GB/T 4208），具体要求如下：

- a) 室内环境下整机防护等级不应低于IP20；
- b) 室外工业环境下整机防护等级不应低于IP54；
- c) 潮湿多尘环境下整机防护等级不应低于IP65；
- d) 涉水作业环境下整机防护等级不应低于IP68。

4.2.5 电源要求

应满足可靠供电的需求，具体要求如下：

- a) 输入电压范围应支持额定电压的±20%宽压输入；
- b) 应具备反接保护、过压保护、欠压保护功能；
- c) 应具备电源状态监测功能，实时上报电压、电流、功耗数据。

4.3 软件要求

4.3.1 操作系统

应满足实时性要求，具体要求如下：

- a) 应使用实时操作系统或支持实时内核的通用操作系统；
- b) 系统中断响应时间不应大于 $100\ \mu\text{s}$ ，任务调度延迟不应大于 $500\ \mu\text{s}$ 。

4.3.2 中间件

应满足分布式通信需求，具体要求如下：

- a) 宜采用机器人操作系统作为软件中间件；
- b) 同一计算单元内节点间通信延迟不应大于 10ms ；
- c) 应支持QoS配置，满足不同数据类型的可靠性要求。

4.3.3 算法管理

应支持全生命周期管理，具体要求如下：

- a) 应支持算法模型的在线更新与版本管理，以及多算法模型的并行加载与动态切换；
- b) 应支持算法运行状态的实时监控与日志记录；
- c) 应提供算法性能评估工具，支持准确率、召回率、推理时延等指标的在线统计。

5 智能感知要求

5.1 视觉感知要求

5.1.1 图像采集

视觉传感器的配置应满足下列要求：

- a) 高清摄像机的分辨率不应低于 1920×1080 ，帧率不应低于 30fps ；
- b) 红外摄像机的工作波段应为 $8\ \mu\text{m}$ 至 $14\ \mu\text{m}$ 或 $3\ \mu\text{m}$ 至 $5\ \mu\text{m}$ ；
- c) 深度相机的测量范围应覆盖 0.3m 至 5m ，深度测量误差不应大于 2% ；
- d) 应配备可调照明光源，照度调节范围应满足 $01\times$ 至 $10001\times$ 。

5.1.2 目标检测与识别

应满足下列要求：

- a) 良好/弱光照条件下识别准确率分别不低于 90% 和 80% ；
- b) 可识别人员、车辆、设备仪表、障碍物、标志标识、工具等典型目标；
- c) 识别输出应包含目标类别、置信度、边界框坐标及相对方位；
- d) 单帧图像的多目标检测能力不应少于 30 个目标；
- e) 模型推理时延不应大于 50ms 。

5.1.3 视觉测距与定位

测量范围 $0.5\text{m}\sim 2\text{m}$ 时相对误差 $\leq 2\%$ ， $2\text{m}\sim 5\text{m}$ 时 $\leq 3\%$ ， $5\text{m}\sim 10\text{m}$ 时 $\leq 5\%$ ；支持视觉里程计功能，在无其他定位源时提供相对位置估计。

5.1.4 图像增强

应支持实时去雾算法且处理后图像对比度提升不低于 30% ，支持自适应亮度调节，支持低光照图像增强且信噪比提升不低于 5dB ，且处理单帧图像的增强算法时延不大于 20ms 。

5.2 激光雷达感知要求

5.2.1 激光雷达配置

测量范围应为 $0.1\text{m}\sim 50\text{m}$ ，测距误差不大于 $\pm 3\text{cm}$ ，角分辨率不大于 0.2° ，扫描频率不低于 10Hz ，且点云输出包含距离、角度、反射强度信息

5.2.2 点云处理

支持滤波、分割、聚类功能，单帧处理时延不大于 50ms 。

5.2.3 激光目标检测

应能检测机器人前方 $1\text{m}\sim 30\text{m}$ 范围内的障碍物，最小可识别尺寸不大于 $0.2\text{m}\times 0.2\text{m}\times 0.2\text{m}$ ，检测准确率不低于 95% ，虚警率不高于 3% 。

5.3 毫米波雷达感知要求

5.3.1 毫米波雷达配置

工作频率24GHz或77GHz、测距范围0.5m~100m，距离分辨率不大于0.5m、速度测量范围-20m/s~+20m/s，角度分辨率不大于5°。

5.3.2 雷达目标检测

应能检测运动目标的距离、速度和方位，区分静止目标和运动目标；检测更新频率不应低于20Hz，多目标跟踪能力不应少于32个目标。

5.4 位姿与状态感知要求

5.4.1 位姿感知

横滚角与俯仰角误差应不大于0.5°，航向角误差不大于1°，加速度测量范围覆盖±2g至±16g，角速度测量范围覆盖±250°/s至±2000°/s，且数据输出频率不低于100Hz。

5.4.2 关节状态感知

关节角度测量精度不应大于0.5°，角速度误差不应大于1°/s，力矩测量误差不应大于满量程的2%，机械臂状态的三维可视化更新频率不应低于20Hz。

5.4.3 故障预测与健康管理

应监测电机电流、驱动器温度、轴承振动、电源状态及通信链路质量，预警提前量不小于30s，且对电机堵转、通信中断、电源异常等典型故障的检测准确率不低于95%、虚警率不高于5%。

5.4.4 脐带缆状态监测

应满足下列要求：

- a) 应实时监测脐带缆张力，测量误差不应大于满量程的5%，张力超过安全阈值时应触发报警；
- b) 应监测通信链路质量，包括信号强度、误码率、丢包率，通信质量低于设定阈值时应发出预警。

6 智能决策与控制要求

6.1 辅助操作决策要求

6.1.1 自动目标跟踪

应满足下列要求：

- a) 跟踪响应延迟不应大于200ms；
- b) 目标尺寸适应范围应为0.1m至5m，移动速度适应范围应为0m/s至2m/s；
- c) 目标短暂遮挡后重新捕获成功率不应低于90%；
- d) 水平跟踪偏差不应大于0.5m，垂直跟踪偏差不应大于0.3m；
- e) 应支持手动干预，随时接管控制权。

6.1.2 智能预警

智能预警功能应在下列情况下通过声光报警提示操作员：

- a) 检测到脐带缆与障碍物可能发生缠绕；
- b) 感知到未知障碍物进入安全距离；
- c) 横滚角或俯仰角超过安全工作阈值；
- d) 偏离预定路径超过阈值；
- e) 关键部件故障或效率显著下降；
- f) 通信链路质量低于设定阈值；
- g) 剩余电量低于任务完成所需估计值。

6.1.3 作业引导

操作指令应叠加在视频画面上，不遮挡关键作业区域，支持作业步骤的自动记录、回放以及模板化存储与调用。

6.2 自主导航要求

6.2.1 定点保持

水平/垂直位置保持偏差分别不应大于0.2m和0.1m，航向保持偏差不应大于2°。

6.2.2 路径跟踪

路径跟踪横向偏差不应大于0.3m，速度控制精度不应大于设定值的5%，并支持直线、圆弧、样条等多种路径的在线修改和重规划。

6.2.3 自主避障

自主避障功能应能检测前进方向3m范围内的障碍物，避障决策响应时间不大于300ms，路径平滑且加速度变化不大于 0.5m/s^2 ，并支持动态障碍物的规避。

6.2.4 同步定位与地图构建

闭环检测准确率不应低于95%，累积定位误差不应大于航行距离的2%，实时建图更新频率不应低于1Hz，并支持先验地图的导入、匹配、本地存储和回传。

6.3 作业决策要求

6.3.1 机械臂辅助控制

应具备机械臂避障功能和力反馈功能，并支持末端位置手柄映射控制、典型作业动作的示教与复现。

6.3.2 目标操作决策

应能估计目标物的姿态和抓取点，规则几何体的抓取成功率不应低于90%，失败后提供备选操作方案，并记录操作过程中的力数据。

6.3.3 多任务调度

应支持多任务并发执行与优先级管理，允许高优先级任务中断低优先级任务，且任务切换时间不应大于100ms。

6.4 人机交互要求

6.4.1 操作界面

应提供图形化操作界面，实时显示机器人状态、传感器数据及感知结果，支持多视图显示，且界面响应延迟不应大于100ms。

6.4.2 告警与提示

告警信息应分级显示，严重告警伴有声音报警和闪烁提示，并提供告警历史记录查询功能。

6.4.3 数据记录与回放

应支持传感器数据、操作指令、系统状态的自动记录与按时间索引回放，且数据存储格式应开放以便第三方分析工具使用。

7 数据融合与通信要求

7.1 多模态融合感知要求

7.1.1 时空配准

不同传感器数据的时间同步误差应不大于50ms，所有数据应转换至同一参考坐标系，支持外参自动标定与校准，且平移标定误差不大于5mm、旋转标定误差不大于 0.5° 。

7.1.2 目标级融合

应在多传感器识别结果冲突时基于置信度进行加权融合，在界面上分别标注各传感器及融合后的结果，确保融合后的目标位置误差不大于单一传感器最优精度，并支持目标轨迹的平滑与预测。

7.1.3 环境建模

应建立二维或三维环境栅格地图，室内环境下栅格分辨率不大于0.1m、室外环境下不大于0.5m，地图更新频率不低于1Hz，并支持地图的本地存储与回传。

7.2 智能带宽分配要求

应支持动态调整压缩比，整体视频流带宽占用降低不低于30%，支持将感知结果以结构化数据回传且更新频率不低于10Hz，在带宽严重受限时可仅回传结构化数据和关键帧图像。

7.3 通信协议要求

7.3.1 上行通信

应支持视频流、感知数据、状态数据实时上传；其中视频流采用H.264或H.265编码，码率1Mbps~20Mbps可调，感知数据应采用JSON或Protobuf格式封装。

7.3.2 下行通信

应支持控制指令、任务参数、算法模型下载，控制指令端到端延迟不大于100ms，具备确认与重传机制，且紧急停机指令享有最高优先级。

7.3.3 通信可靠性

通信误码率不应高于 10^{-6} ，中断后自动重连时间不应大于5s，支持通信状态的实时监测和告警，且通信中断期间机器人应能按预设安全策略自主运行。

7.4 数据安全要求

7.4.1 访问控制

应具备用户认证与权限管理功能，不同级别用户操作权限不同，并记录所有用户的操作日志。

7.4.2 数据加密

敏感数据传输应加密，加密算法应符合GM/T 0002的规定，密钥管理安全可靠。

7.4.3 数据完整性

应支持数据传输完整性校验，关键数据具有数字签名或消息认证码。

7.4.4 数据备份

应符合GB/T 36092的规定，关键作业数据应自动备份至非易失性存储介质，防止未经授权的访问。

8 试验方法

8.1 智能感知试验

8.1.1 视觉感知试验

应按照以下方法进行：

a) 图像采集：用分辨率测试卡、帧率测试仪检测高清摄像机参数；光谱分析仪测红外摄像机波段；0.3m~5m量程布靶标，校准仪测深度相机测距误差；照度计检测照明光源调节范围；

b) 目标检测与识别：搭建良好/弱光照环境，布置典型目标，采集识别数据，统计单帧检测数、推理耗时，提取识别输出信息；

c) 视觉测距与定位：分0.5m~2m、2m~5m、5m~10m区间布靶标，以激光测距仪为参考测试测距值；关闭其他定位源，采集视觉里程计相对位置数据；

d) 图像增强：搭建雾天环境，采集去雾处理前后对比度及单帧耗时；低光照下采集增强前后信噪比，观察自适应亮度调节效果。

8.1.2 激光雷达感知试验

应按照以下方法进行：

a) 配置测试：校准仪在0.1m~50m量程测测距值、角分辨率，数据采集仪采集扫描频率，提取点云输出信息；

b) 点云处理：采集复杂环境点云数据，调用滤波、分割、聚类功能，测试单帧处理耗时，提取处理后点云特征；

c) 目标检测：机器人前方1m~30m布置标准及多规格障碍物，采集检测及虚警相关数据。

8.1.3 毫米波雷达感知试验

应按照以下方法进行：

a) 配置测试：综合测试仪检测工作频率、测距范围等参数，搭建运动目标平台，测试速度、角度分辨率；

b) 目标检测：布置静/动态目标，采集雷达输出的目标参数及状态识别结果，多目标模拟系统下，采集跟踪数据及检测更新频率。

8.1.4 位姿与状态感知试验

应按照以下方法进行：

a) 位姿感知：按GB/T 12642的规定进行；

b) 关节状态感知：按GB/T 38834.3的规定进行；

- c) 故障预测与健康管理：按GB/T 42983.2、GB/T 42983.3、GB/T 42983.4的规定进行；
- d) 脐带缆状态监测：张力校准仪多档位采集测量数据，模拟超阈值采集报警信号，网络分析仪模拟不同链路状态，采集监测及预警数据。

8.2 智能决策与控制试验

8.2.1 辅助操作决策试验

应按照以下方法进行：

- a) 自动目标跟踪：布置不同尺寸、速度目标，采集跟踪响应耗时，模拟目标遮挡，采集重捕数据；测试跟踪偏差，触发手动干预采集接管响应数据；
- b) 智能预警：模拟脐带缆缠绕、障碍物入安全距离等场景，采集系统声光报警及预警信息；
- c) 作业引导：开展典型作业，采集视频指令叠加位置及形式，测试作业步骤记录、回放功能，采集存储格式及调用耗时。

8.2.2 自主导航试验

按GB/T 38834.2的规定进行。

8.2.3 作业决策试验

按GB/T 38834.3的规定进行。

8.2.4 人机交互试验

应按照以下方法进行：

- a) 操作界面：开启图形化界面，采集状态、传感器数据等显示维度及实时性，测试多视图切换，采集响应耗时，操作功能按钮，采集界面延迟及反馈；
- b) 告警与提示：模拟不同等级告警，采集显示形式、分级标识；采集严重告警声光参数，测试告警历史查询功能；
- c) 数据记录与回放：开展常规作业，采集传感器数据、操作指令等记录维度及频次，按时间索引回放，采集流畅性及完整性，测试存储格式第三方适配性。

8.3 数据融合与通信试验

8.3.1 多模态融合感知试验

应按照以下方法进行：

- a) 时空配准：同步采集多传感器数据，计算时间同步差值；采集坐标系转换数据，执行外参自动标定，采集平转、旋转标定数据；
- b) 目标级融合：搭建传感器识别冲突场景，采集加权融合算法及结果数据；测试融合后定位精度，跟踪目标采集轨迹平滑及预测数据；
- c) 环境建模：室内/室外分别建图，采集栅格分辨率；统计更新频次，采集环境特征还原数据；测试地图存储、回传的格式、速率及完整性。

8.3.2 智能带宽分配试验

应按照以下方法进行：

- a) 采集系统动态调压缩比前后视频流带宽占用数据；
- b) 采集感知结果结构化数据回传的内容维度及更新频次；
- c) 模拟带宽受限场景，采集回传数据类型、传输稳定性及完整性数据。

8.3.3 通信协议试验

应按照以下方法进行：

- a) 上行通信：采集视频流编码、码率及传输流畅性数据；采集感知/状态数据上传速率，提取封装格式；
- b) 下行通信：发送控制指令等，采集端到端传输耗时；模拟指令丢失，采集确认及重传数据；发送紧急停机指令，采集优先级及机器人响应数据；
- c) 通信可靠性：采集链路误码率；模拟通信中断，采集自动重连耗时；采集通信状态监测及告警数据，记录机器人自主运行动作及轨迹。

8.3.4 数据安全试验

应按照以下方法进行：

- a) 访问控制：不同级别账号登录，采集操作权限；尝试越权操作，采集拦截反馈数据；采集用户操作日志维度；
 - b) 数据加密：按GB/T 32907、GM/T 0002的规定进行加密测试，开展窃听、篡改测试，采集防护数据；
 - c) 数据完整性：发送关键数据，采集校验算法数据，提取数字签名/消息认证码信息；发送篡改数据，采集识别及拦截反馈数据；
 - d) 数据备份：按GB/T 36092的规定进行。
-