

团体标准

T/TJRIA002—2025

仿人灵巧手智能化操作等级评价

Assessment Criteria for Intelligent Operation Capabilities of Humanoid Dexterous Hands

2025 - 06 - 16 发布

2025 - 06 - 23 实施

目次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 智能化操作等级评价 1

 4.1 分级原则 1

 4.2 等级划分要素 2

 4.3 等级技术要求 3

5 智能化等级评估流程 5

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。

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这些专利的责任。

本文件由天津市机器人产业协会提出。

本文件由天津市机器人产业协会归口。

本文件起草单位：帕西尼感知科技（天津）有限公司、帕西尼感知科技（深圳）有限公司。

本文件主要起草人：许晋诚、张恒第、聂相如、于隽雅、易冲、阳宇星。

本文件为首次发布。

引 言

随着力触觉传感、多模态融合、具身智能等技术的迅猛发展，仿人灵巧手的智能化水平得以持续提升，其在复杂环境下的自主操作能力已经成为衡量相关技术先进性的核心指标。然而，目前行业内尚未形成统一的智能化操作等级划分标准，不同产品在任务能力、场景适应性等智能化操作方面存在显著差异，这在一定程度上阻碍了技术成果的标准化应用与产业化推广。

本文件依据仿人灵巧手的精细感知能力、智能决策水平、规划执行效能、复杂任务处理能力及场景适应性五大核心技术特性为基准，提出了一套系统化、层级化的智能化操作等级划分体系。内容涵盖仿人灵巧手智能化操作分级基本原则、等级划分要素、各级技术要求及智能化等级评估流程等关键内容，旨为仿人灵巧手及具身智能产业发展提供规范化技术依据。

仿人灵巧手智能化操作等级评价

1 范围

本文件规定了仿人灵巧手智能化操作等级评价的体系框架、技术要求及评估流程，明确了从基础操作到类人智能的五级划分准则。

本文件适用于仿人灵巧手智能化操作等级划分与评估。

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 28219-2018 智能家用电器通用技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

仿人灵巧手 dexterous hand

仿人手结构设计的特殊末端执行器，具备多自由度、多关节协同运动能力及高精度感知功能，可实现对不同形状、尺寸物体的精细抓取与操作。

3.2

智能 intelligence

具有人类或类似人类智慧特征的能力。

[来源：GB/T 28219-2018, 3.1]

3.3

感知 perception

接收并转换信息的能力和过程。

[来源：GB/T 28219-2018, 3.2]

3.4

决策 decision-making

对输入的信息进行处理并做出判断与决定的能力和过程。

[来源：GB/T 28219-2018, 3.3]

4 智能化操作等级评价

4.1 分级原则

仿人灵巧手智能化操作等级划分以感知驱动、智能决策为核心的任务执行能力为依据，采用感知-决策-控制-任务-交互五大维度框架。该划分方法允许硬件结构（如驱动类型、传动方式）存在差异，弱化本体硬件结构对等级判定的直接影响。仿人灵巧手的智能化操作等级评价逻辑框架，如图1所示。具体等级划分基于各维度下的技术要素及其要素特征展开：

- a) 感知能力：感知融合与环境表征；
- b) 智能决策：规划决策与智能学习；
- c) 规划执行：控制策略与执行性能；
- d) 任务复杂度：任务层级与操作对象；
- e) 场景适应性：场景泛化与动态鲁棒性。

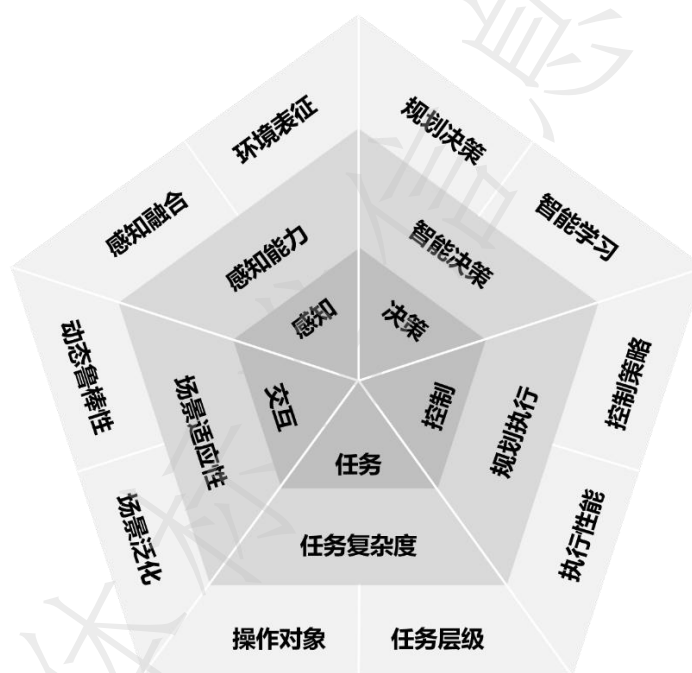


图 1 仿人灵巧手智能化操作等级评价体系

4.2 等级划分要素

仿人灵巧手智能化操作等级依据技术复杂度与场景适应性由低到高划分为5个等级，自低向高分别为基础操作（1级）、辅助协同（2级）、主动智能（3级）、高级智能（4级）、类人智能（5级）。该等级划分体系可通过定性描述与定量指标相结合的方式实现仿人灵巧手智能化操作能力的系统性评价，具体分类详见表1，等级与分级要素的具体关系详见图2。

表 1 智能化操作等级划分

等级	等级特征	感知能力	智能决策	规划执行	任务复杂度	场景适应性
1	基础操作	无感知	被动执行	开环控制	完全确定性操作	完全结构化场景 (固定参数)

等级	等级特征	感知能力	智能决策	规划执行	任务复杂度	场景适应性
2	辅助协同	本体感知	条件响应	闭环控制	部分确定性操作	半结构化简单场景 (微调参数)
3	主动智能	力触觉	非完全自主决策	伺服控制	简单自适应操作	半结构化复杂场景 (操作对象改变)
4	高级智能	多模态感知融合	完全自主决策	多模态融合控制	复杂自适应操作	非结构化场景 (光照/遮挡改变)
5	类人智能	全模态感知与建模	类人智能决策	自适应模态控制	组合创新性操作	开放未知场景 (场景/任务改变)

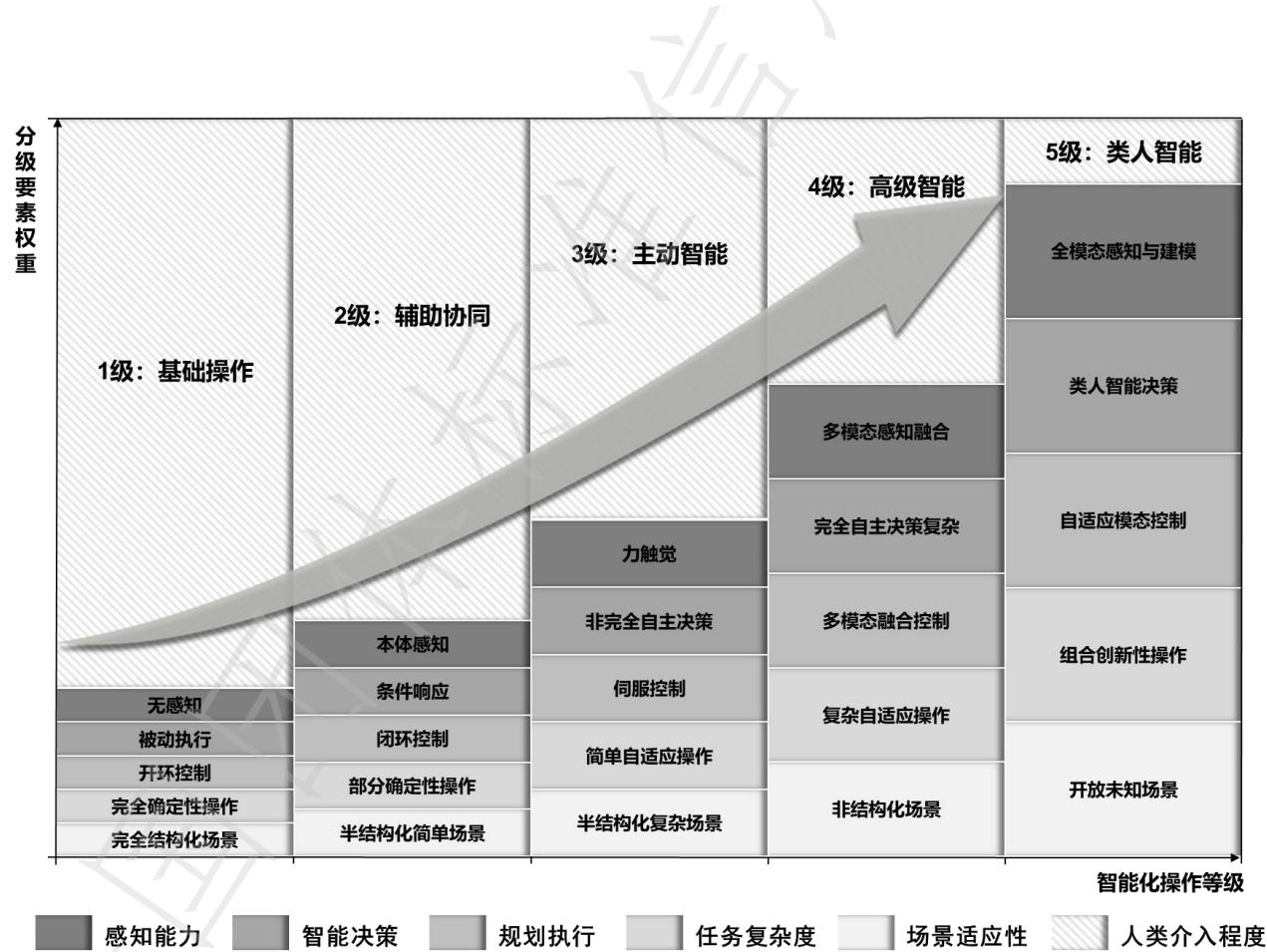


图 2 仿人灵巧手智能化操作等级与分级要素关系

4.3 等级技术要求

基于仿人灵巧手智能化操作等级划分框架，从信息获取到智能操作实现的基本逻辑，系统规范各分级要素的技术要求。遵循分级递进原则，各等级指标按技术复杂度与性能水平递进设置，高等级指标须完全覆盖并优于低等级技术要求。鉴于不同应用场景对灵巧手智能化操作分级要素的侧重差异，最后针对性地描述各等级划分所适应的典型场景，详见表2。

注：鉴于当前技术发展阶段，本文件暂不涉及智能决策等要素的量化评价。

全国团体标准信息平台

表 2 仿人灵巧手智能化操作等级技术要求

等级 分级要素	1	2	3	4	5
感知能力	无感知	本体感知	力触觉感知	多模态融合感知	全模态感知与建模
	不具备感知能力	感知自身运动学参数	部署力触觉传感器	融合力触觉传感器与视觉传感器	集成力触觉全特征（温度/纹理/滑动/材质/硬度/粘滞性/回弹性等）传感器、视觉传感器与环境语义信息
智能决策	被动执行	条件响应	非完全自主决策	完全自主决策	类人智能决策
	无决策能力；无反馈执行	基于预定义规则的决策能力；闭环反馈执行	基于基础感知结果和预定义规则的混合决策；以人工干预为主的策略学习	基于多模态感知结果的完全自主决策的能力；以自主探索为主、以人工干预为辅的策略学习	类人程度的自主决策；完全自主学习
规划执行	开环控制	闭环控制	伺服控制	多模态融合控制	自适应模态控制
	无反馈控制	具备位置环、电流环等闭环控制能力	具备力触觉伺服、视觉伺服、被动柔顺性等能力	具备力触觉、视觉等多模态融合控制能力	具备根据任务和场景自主选择关键模态的伺服控制能力
任务能力	完全确定性操作	部分确定性操作	简单自适应操作	复杂自适应操作	组合创新性操作
	固定动作序列，无感知需求的重复性任务	动作序列变化有限，需要至少一种模态感知能力的任务	动作序列不固定，需要结合力触觉模态感知能力的任务	动作序列高度复杂，需要多模态感知能力的任务	动作序列创新复杂，需要全模态感知与环境建模能力的任务
典型场景	结构化场景	半结构化场景	动态可变场景	非结构化场景	开放未知场景
	预设坐标抓取	流水线分拣作业	微创手术操作	餐厅餐饮服务	陌生家居整理

5 智能化等级评估流程

等级评估流程基于场景适应性出发，围绕分级要素进行评估规划，明确评估范围并提取分级技术要求指标，逐项开展单项能力测试，再整合到场景开展协同测试，最后形成等级评估判定报告。具体流程如图3所示，包括以下环节：

- 评估规划阶段：依据被测仿人灵巧手的目标等级及预期应用场景，参照分级要素分解测试项目，明确对应等级的技术指标阈值。根据场景需求搭建标准化测试环境（物理实体环境或数字孪生仿真环境），并完成测试设备与工具的准备工作；
- 基础能力测试：针对各分级要素，逐项开展基础能力测试，如针对感知能力进行微力感知、温度感知、视觉定位、视觉/力触觉感知等测试；针对规划执行进行定位精度、动态力控、响应延迟等测试；针对任务能力进行常规任务能力和极端任务能力等测试，记录定量数据或定性结果；

- c) 场景化系统测试：基于仿人灵巧手的多要素协同性能进行测试，验证各分级要素在应用场景中的协同有效性；
- d) 等级综合评估：基于基础能力测试与场景化系统测试结果：若所有分级要素均符合目标等级要求，则判定为对应等级；若存在未达标要素，则根据降级规则重新评估，并分析不达标项的技术原因；
- e) 评估报告编制：输出等级评估报告，需包含被测对象概述、测试项结果、等级评定结论、不达标项分析等。

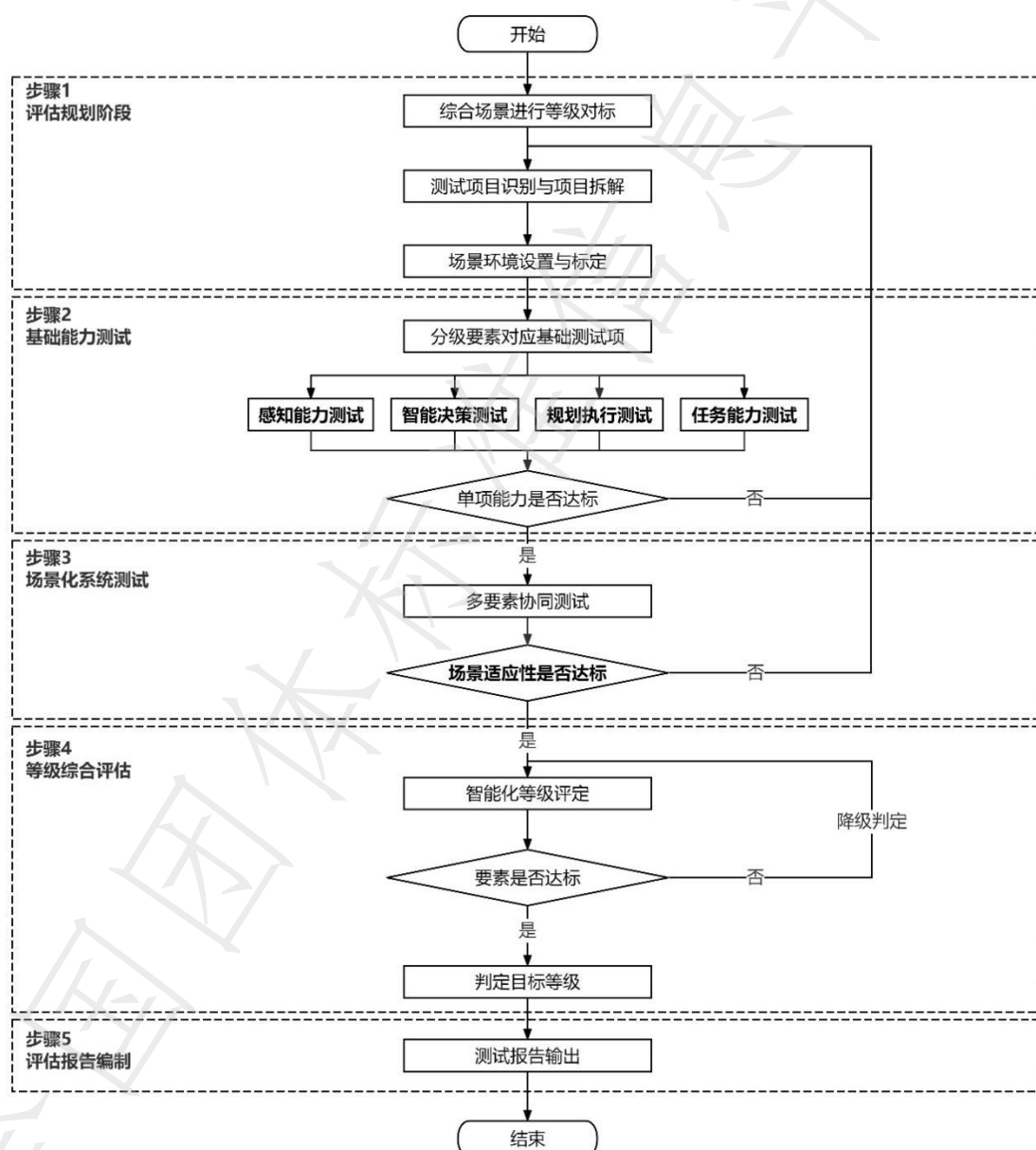


图3 灵巧手智能化操作等级评估流程总框架