

# T/CAMETA

中国机电一体化技术应用协会团体标准

T/CAMETA xxxxxx—2025

## 无人车复杂动态场景主动感知与理解 技术规范

Technical Specifications for Active Perception and Understanding of  
Complex Dynamic Scenarios in Unmanned Vehicles

(意见稿)

2025 — xx — 08 发布

2025 — xx — 28 实施

中国机电一体化技术应用协会 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 场景要求 .....       | 2  |
| 4.1 环境条件 .....     | 2  |
| 4.2 场地要求 .....     | 2  |
| 4.3 设备要求 .....     | 2  |
| 5 技术要求 .....       | 3  |
| 5.1 一般要求 .....     | 3  |
| 5.2 主动感知技术要求 ..... | 3  |
| 5.3 场景理解技术要求 ..... | 3  |
| 6 测试方法 .....       | 3  |
| 6.1 主动感知性能 .....   | 3  |
| 6.2 场景理解性能 .....   | 4  |
| 参考文献 .....         | 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。

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这些专利的责任。

本文件由中国机电一体化技术协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 无人车复杂动态场景主动感知与理解技术规范

## 1 范围

本文件界定了无人车复杂动态场景主动感知与理解技术的术语和定义，规定了无人车行驶的场景要求，无人驾驶时的技术要求，以及主动感知与理解技术测试方法。

本文件适用于矿区、港口或其他非结构区域行驶的无人车。

## 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 20868.1—2022《道路车辆 功能安全》

GB/T 40429—2021《汽车驾驶自动化分级》

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**无人车 Self-driving cars**

具有自动驾驶能力、无需驾驶人操作的车辆。

### 3.2

**主动感知 Active perception**

车辆在行驶过程中，利用各种传感器（如摄像头、激光雷达等）对周围环境进行目标检测和跟踪的能力。

### 3.3

**场景理解 Scene Understanding**

利用同步定位与建图和GPS等技术，对车辆周围的环境进行建图、定位并理解其结构和动态特征的过程。

### 3.4

**复杂场景 Complex scenes**

非结构化道路场景，无明显道路边界和标志信息，道路条件复杂且具有一定危险性。该场景中，传感器的有效感知范围受限，存在强烈的地形变化，且可能有重型机械和人员的活动。

### 3.5

**目标检测 Object Detection**

通过传感器（如摄像头、激光雷达等）对周围环境进行扫描，实时识别并定位不同类型的目标物体（如人员、车辆、障碍物等）。

### 3.6

**目标跟踪 Target Tracking**

完成目标检测之后，持续追踪这些目标物体的位置、速度、运动轨迹等信息的过程。

### 3.7

#### 建图与定位 position

即时构建周围环境地图并在环境地图上实时获取自身的位置与姿态。

## 4 场景要求

### 4.1 环境条件

无人车正常工作环境应满足下列要求：

a) 环境温度： $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

b) 气候条件：无人感知系统应能在24h降水量在0ml~10ml条件下（小雨、小雪），10% 到 95% 相对湿度正常进行数据采集。

### 4.2 场地要求

#### 4.2.1 弯道

弯曲半径不少于 10m，单次转弯角度在 $45^{\circ}\sim 120^{\circ}$  之间，采用急弯缓弯交织的连续弯道，要求道路宽度4m~6m。

#### 4.2.2 直行道

直道长度80m~150m，宽度5m~7m，道路材料包括不同材质包括沙地、碎石、泥地，小坡度变化（高差变化 $<0.5\text{m}$ ）。

#### 4.2.3 存在机械设备道路

场地内有随机出现在道路旁或道路中间动态或者静态的大型机械设备进行机械动作（包括开动、旋转、举升）。

#### 4.2.4 存在行人道路

测试场地内有行人随机穿越、停留、走动的情况。并通过假人与预设脚本来实现复杂运动模式。

#### 4.2.5 存在其他障碍物道路

适度密集的随机障碍物（石块、废料堆积物、坑洼路段），石块（直径10cm到50cm）、废料堆（高1~2m）、坑洼（深度不超过30cm），确保障碍物之间有至少1m~1.5m的间距且障碍物周围要有最少2.5m~3m的通行区域。

### 4.3 设备要求

#### 4.3.1 无人车载激光雷达系统

无人车车顶应配置 $\geq 1$ 个激光雷达设备，选型为工业级，有效检测距离 $\geq 100\text{m}$ ，激光雷达采集的点云数据应包含车身周边范围点云三维数据。

#### 4.3.2 无人车载相机系统

无人车应配置 $\geq 6$ 个相机设备，有效检测范围能覆盖无人车周围 $360^{\circ}$  视场范围。

#### 4.3.3 组合导航

无人车应配置 $\geq 1$ 台组合导航设备，选型为工业级，组合导航输出频率 $\geq 100\text{Hz}$ ，定位精度达到厘米级，可实时输出无人车的定位信息。

## 5 技术要求

### 5.1 一般要求

主动感知与理解系统应满足以下要求：

- a) 具有明确的设计运行条件，并在产品说明书中进行说明；
- b) 允许在满足设计运行条件下激活，并具备明确的激活和退出策略；
- c) 支持多传感器时间戳同步（误差 $<10\text{ms}$ ）和空间标定（精度 $<1\text{cm}$ ），确保数据一致性。
- d) 车载计算设备需要具备支持多传感器数据融合、深度学习模型推理（如 BEV 感知模型）的毫秒级延迟（ $<200\text{ms}$ ）的计算能力。

### 5.2 主动感知技术要求

根据GB/T 34590系列要求，无人车主动感知技术应满足以下要求：

- a) 明确定义失效风险与安全目标；
- b) 硬件可靠、软件安全开发，感知算法开发必须遵循安全相关软件开发流程（参考 GB/T 34590.6）；
- c) 具备失效检测和冗余机制；
- d) 目标检测与跟踪：
  - 1.支持对车辆、行人、障碍物等动态目标的实时检测（ $\text{mAP}@0.5 \geq 85\%$ ）；
  - 2.多目标跟踪（MOT）精度（ $\text{IDF1} \geq 70\%$ ），适应遮挡、快速运动场景；
- e) 运动状态估计：预测目标速度、加速度、轨迹（如卡尔曼滤波）。

### 5.3 场景理解技术要求

根据GB/T 34590系列要求，无人车场景理解技术应满足以下要求：

- a) 明确定义失效风险与安全目标；
- b) 硬件可靠、软件安全开发，感知算法开发必须遵循安全相关软件开发流程（参考 GB/T 34590.6）；
- c) 具备失效检测和冗余机制；
- d) 即时建图与定位：
  - 1.支持对车辆自身位姿进行定位，位置误差 $\leq 0.1\text{m}$ ，姿态误差 $\leq 2^\circ$ ；
  - 2.能够对周围环境进行实时建图，建图绝对误差 $\leq 0.10\text{m}$ ；
- e) 静态环境理解：
  - 1.识别交通标志、路沿、障碍物（精度 $>95\%$ ）；
  - 2.区分可行驶区域、不可行驶区域带等语义区域（ $\text{IoU} \geq 95\%$ ）。

## 6 测试方法

### 6.1 主动感知性能

#### 6.1.1 试验原理

通过传感器（如激光雷达、摄像头等）实时感知车辆周围环境，识别和跟踪动态或静态物体。验证感知系统在不同场景（如晴天、雨雾、夜间、沙尘）和地形（如矿区、坑洼、坡道）条件下的准确性、稳定性、鲁棒性和实时性。对比感知输出结果与地面真实数据，统计检测率、误检率、跟踪精度、识别延迟等关键性能指标。

#### 6.1.2 试验设施与设备

6.1.2.1 测试车辆，配备激光雷达、摄像头、组合导航（GNSS+IMU）系统的无人车

6.1.2.2 静态障碍物，包括模拟障碍物、假人模型、废料堆等

6.1.2.3 动态障碍物，移动假人装置、遥控假车、移动障碍车

- 6.1.2.4 天气模拟设备，造雾机、洒水系统、强光灯模拟逆光、沙尘喷洒机
- 6.1.2.5 真值标注系统，高精度 GPS/RTK 系统或场地光学追踪系统，用于标注真实障碍物位置
- 6.1.2.6 录制设备，车载数据记录器（采集传感器输出数据）、环境摄像机（用于辅助校验）
- 6.1.2.7 测试场地，包括直行道、弯道、矿区模拟地形、坡道、碎石路、沙尘路段，符合场景复杂性要求。

### 6.1.3 试验步骤

试验步骤如下：

#### 6.1.3.1 测试准备阶段

- a) 布置道路类型（直道、弯道、坡道、碎石路等）；
- b) 安放静态障碍物（矿石堆模型、假人、交通锥等）；
- c) 准备动态障碍物设备（遥控车、移动假人）；
- d) 部署天气模拟装置（造雾机、洒水系统、强光灯、沙尘喷洒机）；
- e) 确认无人车载激光雷达系统、相机、GNSS+IMU 正常工作；
- f) 数据记录系统上线（确认可以完整采集感知输出、环境录像、定位数据）。

#### 6.1.3.2 实验执行阶段

- a) 静态障碍物检测测试：设定车辆起点，设定车速（如 30 km/h），启动数据记录。车辆驶过静态障碍物区域，感知系统进行实时检测，完成后停车，保存感知数据与真实数据；
- b) 动态目标跟踪测试：安排动态目标（假人或遥控车）从侧面或前方横穿或并行移动。车辆匀速行驶（20~40 km/h）。启动感知系统检测与跟踪，记录动态障碍物识别、ID 分配、轨迹跟踪情况。结束后保存检测轨迹与真值轨迹；
- c) 极端环境适应性测试：启动天气模拟设备（造雾、洒水、撒沙），车辆按照同样路线、同样速度进行感知测试，记录天气影响下的感知系统性能变化（检测率、误报率、延迟）；
- d) 地形适应能力测试：驶入矿区模拟地形，包括起伏、坑洼、坡道区域，感知系统需实时识别地形变化、可行驶区域，记录地形识别准确率与漏检情况；
- e) 传感器失效响应测试：实验中途模拟传感器故障（如遮挡摄像头、关闭雷达），观察系统是否及时检测故障并执行降级（限速、停车、报警）。

### 6.1.4 试验结果

每次试验时，满足以下标准：

- 6.1.4.1 静态障碍物检测检测率 $\geq 98\%$ ，误差 $\leq 0.5\text{m}$
- 6.1.4.2 动态目标跟踪成功率 $\geq 95\%$ ，误差 $\leq 0.8\text{m}$
- 6.1.4.3 雨雾沙尘中检测率变化相对于晴天基准下降 $\leq 10\%$
- 6.1.4.4 可行驶区域识别正确率 $\geq 90\%$ ；故障检测时间 $\leq 2\text{s}$
- 6.1.4.5 正确执行安全降级

## 6.2 场景理解性能

### 6.2.1 实验原理

通过无人车搭载的感知系统，实时采集环境信息（激光雷达、摄像头融合数据），对自车位置进行定位并识别环境中关键场景要素及动态变化。通过设定典型复杂场景，实时对比识别结果与真实标注数据，评估系统在场景理解方面的正确率、稳定性和实时性。

### 6.2.2 实验设施与设备

#### 6.2.2.1 同 6.1.2



6.2.2.2 交通标志，包括减速标志、禁行标志、锥桶等场景标志

6.2.2.3 录制与回放系统，采集感知输入、识别结果与真值

### 6.2.3 试验步骤

#### 6.2.3.1 测试准备阶段

- a) 场地布置：设置非结构化道路场景，包括无清晰边界的道路、凹凸不平道路等；
- b) 真值标注系统上线，确保实时记录自车运动和场景变化；
- c) 确认测试车场景理解模块正常运行，数据记录系统准备就绪。

#### 6.2.3.2 实验执行阶段

- a) 静态场景理解测试：车辆匀速驶入设定场景，系统识别静态要素（路缘、标志等），记录识别结果与真实布局对比；
- b) 极端环境适应性测试：启动天气模拟设备（造雾、洒水、撒沙），车辆按照同样路线、同样速度进行感知测试，记录天气影响下的感知系统性能变化（准确率、延迟）；
- c) 环境变化适应测试：通过控制光照变化、洒水造雾，测试系统在低可见度下的场景理解变化；
- d) 建图与定位能力测试：车辆在设定道路场景，包括信号遮挡场景等，输出自车位姿变化和环境地图，记录结果和真值进行对比；
- e) 推理延迟与响应测试：测量从感知数据输入到推理结果输出的延迟时间，评估延迟对预测准确率的影响。

### 6.2.4 试验结果

每次试验时，满足以下标准：

6.2.4.1 静态元素识别准确率 $\geq 95\%$ ，误差 $\leq 0.5\text{m}$

6.2.4.2 自车建图精度误差 $\leq 0.1\text{m}$ ，定位位置误差 $\leq 0.1\text{m}$ ，定位姿态误差 $\leq 2^\circ$

6.2.4.3 场景理解系统平均响应延迟  $\leq 300$  毫秒

6.2.4.4 恶劣天气条件下、遮挡条件下准确率下降不超过 10%

## 参 考 文 献

[1] GB/T 20868.1—2022 道路车辆 功能安全

---

# 无人车复杂动态场景主动感知与理解 技术规范

## 编 制 说 明

2025 年 4 月

## 目 录

|                  |   |
|------------------|---|
| 1. 任务来源 .....    | 3 |
| 2. 起草单位 .....    | 3 |
| 3. 编制背景 .....    | 3 |
| 4. 主要工作过程 .....  | 3 |
| 5. 编写规则 .....    | 4 |
| 6. 标准的主要内容 ..... | 5 |
| 7. 标准制定的目的 ..... | 6 |
| 8. 有关专利的说明 ..... | 6 |
| 9. 关于标准性质 .....  | 7 |

## 1.任务来源

《新一代人工智能发展规划》明确提出要重点突破自主无人系统的智能技术，包括复杂动态场景感知与理解等共性技术，以支撑无人系统应用和产业发展。随着自动驾驶技术的快速发展，无人车的应用场景日益复杂，需要较高的主动感知与理解能力。这不仅是实现高级别自动驾驶的必要条件，也是推动智能交通产业升级的关键任务。然而，如矿区等非结构化复杂场景无人车领域技术要求不统一，感知系统的技术路线存在差异。通过编制《无人车复杂动态场景主动感知与理解技术规范》团体标准，有助于提升无人车在复杂场景下主动感知能力，保障无人车安全行驶；并促进相关技术的突破创新及相关传感器的研发，为相关科技成果产出、提升无人车行驶可靠性提供有力支撑。

## 2.主编单位

《无人车复杂动态场景主动感知与理解技术规范》团体标准主编单位北京航空航天大学。

## 3.编制背景

近些年，无人驾驶技术包括感知、决策、控制等核心模块在算法、传感器、算力等方面取得显著突破，逐步从封闭测试场景向开放道路

和复杂动态场景延伸。然而，复杂动态场景对无人车的感知与理解能力提出了更高要求。复杂动态场景具有高度不确定性，环境多变，实时性要求高，多模态数据融合并解决数据冲突与冗余问题。当前，针对复杂动态场景的感知与理解技术缺乏统一的测试标准、性能评估体系和功能安全规范，导致技术研发分散、产品落地困难，甚至可能引发安全隐患。

通过编制技术规范，可统一主动感知算法的性能指标、传感器配置要求、场景覆盖范围等，促进产学研协同创新，避免重复投入。明确复杂场景下的功能安全要求，确保无人车在极端条件下仍能稳定运行，降低事故风险。有助于降低企业研发成本，推动行业互认，促进跨地区、跨平台的技术兼容。

## 4.主要工作过程

2024年8月9日，《无人车复杂动态场景主动感知与理解技术规范》团体标准获批立项。

2025年2月19日，在北京航空航天大学召开了《无人车复杂动态场景主动感知与理解技术规范》编制工作组会，会议讨论确定了技术标准整体框架与相关技术内容，并明确了以实际应用为导向的编制方向。

2025年4月28日，《无人车复杂动态场景主动感知与理解技术规范》首稿完成。

## 5.编写规则

本标准按照 GB/T 1.1—2020 的规则起草。

## 6.标准的主要内容

本标准界定了“无人车复杂动态场景主动感知与理解技术”的主要内容，包括基本定义、应用场景要求、主动感知技术要求、场景理解技术要求以及试方法等方面的标准。本文件适用于在开放道路、复杂动态环境中运行的无人车，针对存在障碍物的雨雪雾霾等低能见度场景。其具体章节条款如下：

### 前言

#### 1. 范围

#### 2. 规范性引用文件

#### 3. 术语和定义

#### 4. 场景要求

##### 4.1 环境条件

##### 4.2 场地要求

##### 4.3 设备要求

#### 5 技术要求

##### 5.1 一般要求

##### 5.2 主动感知技术要求

##### 5.3 场景理解技术要求

## 6 测试方法

### 6.1 主动感知性能

### 6.2 场景理解性能

### 参考文献

## 7.标准制定的目的

本规范主要阐述了无人车复杂动态场景主动感知与理解技术的相关要求、条件及测试方法等方面内容。旨在解决以下方面问题：

1. 改变矿区等复杂动态场景下无人车主动感知无据可依的局面：通过本标准的编制，为测试无人车主动感知与理解能力提供全面的标准依据，提升测试方法的标准化程度，并期望借助本标准形成行业共识，助力无人车的规范化、标准化发展。

2. 提升无人车复杂动态场景主动感知与理解技术规范化水平：通过制定在复杂动态场景下主动感知与理解的标准规范，为无人车性能测试提供明确的执行依据。

3. 确立无人车在复杂场景下主动感知与理解性能的测试要求：本标准对无人车在复杂场景下主动感知与理解性能具体要求进行了明确规定。这些规定有助于推动自动驾驶感知技术的发展，促进行业技术水平的整体提升。

## 8.有关专利的说明

本标准不涉及专利。

## 9.关于标准性质

建议作为推荐性团体标准执行，用于无人车在复杂动态场景下的主动感知与场景理解的指导和规范，明确主动感知与场景理解的相关技术要求与测试实施方案。