

# T/SAITA

## 团 体 标 准

T/SAITA 006—2025

工业应用移动机器人 复合机器人仿真技术通用要求

Mobile robot for industrial applications ——

General requirements for simulation technology of composite robot

2025 - 04 - 02 发布

2025 - 04 - 02 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 基本要求 .....	1
5 技术要求 .....	1
5.1 概述 .....	1
5.2 软件界面 .....	2
5.3 软件组成 .....	2
5.4 仿真工作流程 .....	7
6 版本管理 .....	8
参考文献 .....	9

# 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。

本文件由上海市人工智能技术协会提出。

本文件由上海市人工智能技术协会归口。

本文件起草单位：上海飒智智能科技有限公司、上海市人工智能技术协会、蔚来汽车科技（安徽）有限公司、上海交通大学、上海大学、上海理工大学、上海人工智能研究院有限公司、上海计算机软件开发中心、上海工博士人工智能产业研究院、上海应用技术大学、上海尊优自动化设备股份有限公司、嘉兴市机床工具与智能装备协会、河南埃尔森智能科技有限公司、安徽恒创智能装备有限公司、安徽省滁州市人工智能协会、嘉兴大学、祥符实验室、上海师范大学商学院、昆山市人工智能应用创新协会。

首期承诺执行单位：上海飒智智能科技有限公司、上海市人工智能技术协会、蔚来汽车科技（安徽）有限公司、上海交通大学、上海大学、上海理工大学、上海人工智能研究院有限公司、上海计算机软件开发中心、上海工博士人工智能产业研究院、上海应用技术大学、上海尊优自动化设备股份有限公司、嘉兴市机床工具与智能装备协会、河南埃尔森智能科技有限公司、安徽恒创智能装备有限公司、安徽省滁州市人工智能协会、嘉兴大学、祥符实验室、昆山市人工智能应用创新协会。

本文件主要起草人：张建政、韦鲲、董易、朱伟民、冷春涛、汪未雅、于新、李桂琴、李清都、王资凯、袁野、陈敏刚、刘兆骐、胡达、荆学东、李书训、肖浩泽、徐必勇、黄冠、周振峰、徐晓华、司宏掌、郝亮、马维。

# 引 言

复合机器人是移动机器人的一个重要分支，近年来在生产制造等工业领域应用越来越广泛，可实现对物料的识别、拾取、转运、归置等移动操作，成为智能制造系统中柔性生产线上的重要组成设备。然而，在实际应用中，随应用行业、应用场景不同，对复合机器人的要求也不尽相同，主要表现在机器人的移动导航、操作动作、避障行为等受应用场景、作业性质的影响较大，因而造成机器人在实际场景中部署时，需要花费大量的人力、物力和时间进行现场编程并调试机器人，甚至对场景进行改造，以使得机器人在生产场景中能安全运行，并达到生产线对机器人的移动操作的要求。纵观国内外现有的移动机器人标准，大多聚焦于某一个细分领域的机器人种类或某一个细分行业的移动机器人应用标准，而对于移动机器人尤其复合机器人在仿真部署方面的标准化工作尚未开展。

复合机器人作为移动机器人的一个重要分支，因其既能移动又具备操作能力，因而在工业领域的应用越来越广泛。与普通移动机器人相比，复合机器人更容易实现与自动化生产线的柔性融合，执行产线的上下料操作，物料搬运等，无需其他机器人或设备的辅助。目前在复合机器人的仿真领域，各企业有不同的解决方案，有的采用市场免费的第三方软件可进行一定程度的建模仿真，有的企业有一定能力开发自己的仿真软件进行建模仿真，也有的企业不具备建模仿真能力，不经过仿真环节，直接派驻工程师到现场进行设备的现场部署和调试。鉴于以上情况，制定仿真技术通用要求显得很有必要，也具有现实意义。

本文件针对复合机器人应用于工业制造领域的趋势和现状，制定了仿真技术通用要求，从基本要求、技术要求和版本管理等方面进行了系列规定，以期能够对复合机器人的仿真部署、仿真编程等工作建立一定的规范，填补我国在该领域标准的空白，助力复合机器人与智能制造系统深度融合，促进我国智能制造水平的提升。

# 工业应用移动机器人 复合机器人仿真技术通用要求

## 1 范围

本文件规定了应用于工业应用的复合机器人仿真技术的基本要求、技术要求和版本管理。  
本文件适用于工业移动机器人中复合机器人仿真技术的仿真应用。

## 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 12643-2013/ISO 8373:2012 机器人与机器人装备 词汇

## 3 术语和定义

GB/T 12643-2013 界定的术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**移动机器人 mobile robot**

基于自身控制、可移动的机器人。

[GB/T 12643-2013/ISO 8373:2012, 2.13]

### 3.2

**复合机器人 composite robot**

移动底盘上安装有协作机械臂，并在机械臂末端安装有末端执行器的机器人。

[GB/T 12643-2013/ISO 8373:2012 3.11]

## 4 基本要求

复合机器人仿真技术，应从与实际应用场景和要求尽量相符合的角度出发进行建模仿真，并以可为实际机器人现场部署工作提供指导或帮助解决实际问题为出发点，建模、仿真过程应基于丰富的资源库并允许用户自己建模，在人机交互良好的软件界面上开展。仿真结果应直观呈现，或宜以数据、曲线、图表等结果输出；并可对主要功能模块或指定模块生成后置代码，提供给用户实际使用，并允许用户可编辑。

## 5 技术要求

### 5.1 概述

仿真技术通用要求在仿真软件中体现，包含软件界面、软件组成和仿真工作流程。

## 5.2 软件界面

软件界面宜参照图1所示界面。



图1 软件界面

软件界面应包含菜单及功能区、基础资源库及工具界面、2D/3D 仿真环境/在线程序编辑、交互及属性区和状态及信息提示区。

- a) 菜单及功能区：位于顶部，提供文件、编辑、视图和高级功能模块等功能；
- b) 基础资源库及工具界面：位于菜单及功能区下方左侧，以图标形式提供常用功能的快捷入口；
- c) 2D/3D 仿真环境/在线程序编辑：中央工作区，支持任务执行和布局自定义；
- d) 状态及信息提示区：位于底部，实时显示任务进度、仿真状态、出错信息和提示信息。
- e) 交互及属性区：位于菜单及功能区下方右侧，可显示对应功能模块的属性参数，可允许用户设置或修改。

## 5.3 软件组成

### 5.3.1 软件组成概述

以树状方式展示仿真软件中可用的各种资源库及工具包，软件应包括以下功能模块和算法库：

- a) 基础资源库模块；
- b) 路径规划及调度算法库；
- c) 仿真模块；
- d) 后置模块；
- e) 自定义功能模块；
- f) 地图库；
- g) 避障算法库；
- h) 订单任务模块；
- i) 节拍编辑模块；
- j) 机械臂操作资源模块；
- k) 安全模块；
- l) 可导入第三方模型，如：.stp、.obj、.vrml 或.stl 等格式文件；

m) 高级功能模块库。

### 5.3.2 基础资源库模块

基础资源库模块宜包含如下模块。

a) 基础功能库，包括但不限于如下功能库：

- “移动行走”功能库包含行走模块，转弯模块，掉头模块；行走模块包括点到点、直线、圆弧、抛物线、椭圆行走模块；转弯模块包含 U 形转弯，L 形转弯；掉头模块包含原地掉头、前进模块和后退模块；

- “自主避障”功能库包含障碍物大小尺寸设置、位置标定、距离设置，绕障方式设定，障碍物识别，动态障碍物模型及参数设置。

- “激光导航”功能库包含激光传感器类型、规格、安装位置、导航方式如三点导航；

- “视觉伺服”功能库包含视觉传感器类型、规格、安装位置、速度限制参数、加速度限制参数；

- “物料拾取”功能库包含移动拾取、静止拾取、手爪类型及参数、位置坐标设定、末端轨迹参数；

- “物料放置”功能库包含移动放置、静止放置、位置坐标设定、末端轨迹参数。

b) 部件模型资源模块：

- 通信数据包资源模块，复合机器人与调度系统交互的通信数据包模块，调度系统与外部系统交互的通信数据包模块；

- 辅助执行以上任务涉及的仿真过程中的设备模型库，包括但不限于 PLC、传输带、状态机等；

- 服务接口方式库，调度系统与机器人之间的接口交互协议方式，例如，报文通信接口（TCP/IP，UDP），Web API 服务接口，Web Service 服务接口，动态链接库 SDK 等；

- 传感器模型库，包含可模拟实际传感器输出数据的主流传感器模块，如激光雷达，相机，IMU，GPS 等；

- 复合机器人零部件模型库，包含常用的如差速驱动轮毂模块，麦克纳姆轮模块等，又如各类关节模组模块等；

- 应用软件 API 接口模块，如 Python API 接口，用于提供与外部用户控制程序（GB/T 12643-2013/ISO 8373:2012 5.1.2）的数据交互接口。

### 5.3.3 路径规划及调度算法库

路径规划及调度算法库模块应包含起点位置、中间位置和终点位置设定，同时应具备下列功能：

a) 两点间路径最短/最优规划功能；

b) 同一条路径时间最短/最优规划功能：

1) 从 A 点到 B 点的总的运动距离最短；

2) 在最短运动路径已确定的情况下，最优化速度曲线，使得总的运动时间最短。

c) 基于指定时间节点、指定点路径规划功能；

d) 基于生产线工艺顺序要求的路径规划功能；

e) 基于多机器人同时运行的路径规划功能；

f) 基于优先级设定的路径规划功能；

g) 具备 CAM 功能，能够根据 CAD 模型进行轨迹规划。

### 5.3.4 仿真模块

仿真模块宜包含以下功能：

- a) 机器人沿规划轨迹模拟的仿真功能；
- b) 机器人仿真模拟出错信息提示；
- c) 仿真速率调整；
- d) 仿真碰撞检测；
- e) 仿真自动避障检测；
- f) 仿真机器人运行时间、进度、行驶路径长度、避障信息等的展示界面；
- g) 支持外部算法导入仿真环境的模块或插件；
- h) 支持外部点云地图导入仿真环境的模块或插件；
- i) 支持外部零部件设计模块导入仿真环境的模块或插件；
- j) 仿真运行时间设置模块；
- k) 可进行速度/加速度分析、力学或动力学分析等高级仿真分析功能；
- l) 可兼容 NVIDIA Isaac Sim 中导出的模型格式。

### 5.3.5 后置模块

后置模块宜包含以下功能：

- a) 根据轨迹、坐标系等信息生成机器人可执行的通用代码语言功能；
- b) 支持主流品牌机器人编程语法规则和机器人指令规则模块导入，可生成对应品牌机器人可执行的代码语言功能；
- b) 后置代码编辑器，允许对生成的代码进行编辑，以符合实际需要；
- c) 后置代码应能以文件数据包形式导出，或支持一键发送至真实机器人。

### 5.3.6 自定义功能模块

#### 5.3.6.1 概述

自定义功能模块是工业应用复合机器人仿真应用的一个要素，其子要素包含自定义复合机器人功能、自定义机械臂功能，自定义末端拾取结构和自定义场景元素四个方面。

#### 5.3.6.2 自定义功能模块

自定义功能模块应支持三维模型导入，包括以下内容。

- a) 根据输入的参数定义仿真软件中复合机器人模型，包括以下：
  - 三维模型：模型宜符合 STEP Part 203 标准；
  - 移动速度：需要根据移动类型（直线运动，圆弧运动或者转弯运动）和负载情况（环境因素、外部负载结构种类，负载大小和重心高度等）进行合理限定，单位：米/分钟（m/min）。
- b) 定位偏差：
 

可对仿真环境中机器人的定位偏差进行设定：

  - 偏差单位：位移定位偏差单位：毫米（mm）；
  - 旋转定位偏差单位：度（°）。
- c) 导航方式：
  - 磁带导航；
  - 磁钉导航；
  - 光学导航；

- 二维码导航；
- 坐标导航；
- 激光导航；
- 视觉导航；
- 基站导航；
- GPS 导航。

d) 转弯半径：

根据驱动轮运动结构和布局结构确定：

- 根据地面条件确定；
- 根据负载结构，负载重量及负载重心高度确定。

e) 驱动轮类型：

- 差速结构驱动；
- 舵轮结构驱动；
- 麦克纳姆轮结构驱动；
- 履带结构驱动。

#### 5.3.6.3 自定义机械臂功能

根据输入的参数定义仿真软件中的机械臂模型，参数应包括以下内容。

- a) 三维模型：模型宜符合 STEP Part 203 标准；
- b) 连杆结构配置；
- c) 轴运动参数，包括运动极限位置角度，运动角加速度，额定运动速度；
- d) 运动学解算：
  - 运动学正解（GB/T 12643-2013/ISO 8373:2012 4.1）；
  - 运动学逆解（GB/T 12643-2013/ISO 8373:2012 4.2）。
- e) D-H 解算方法参数：
  - 连杆长度；
  - 连杆扭转角；
  - 连杆偏移量；
  - 关节角度。

注：D-H 解算方法即 Denavit 和 Hartenberg 提出的一种用于机器人和其他机械系统的运动学建模技术。

#### 5.3.6.4 自定义末端拾取结构

根据输入的参数定义仿真软件中零件模型，参数应包括：

- a) 三维模型：宜符合 STEP Part 203 标准；
- b) 末端拾取动力驱动种类；
- c) 末端拾取起始位置，传动机构组成，运动副类型和运动路径定义；
- d) 末端拾取零件重量，重心位置，惯量。

#### 5.3.6.5 自定义场景

根据需要仿真的场景要求设置仿真环境，或定义场景参数：

- a) 场景环境因素，宜包括：人为因素、避障约束和安全行驶条件约束；

- b) 场景中周边障碍物约束；
- c) 场景中交叉作业约束；
- d) 场景地图条件。

### 5.3.7 地图库

仿真环境中采用的地图数据库，应包括以下来源：

- a) 包括典型应用场景的示例地图库或历史导入、编辑的应用场景库；导入的点云地图数据库；
- b) 典型示例地图库包括：典型生产车间示例地图库和典型生产流水线示例地图库等，可为用户熟悉仿真环境、学习仿真流程提供帮助，应允许用户基于实际场景要求进行编辑修改。

### 5.3.8 避障算法库

复合机器人常用行走避障算法模块库、交通管制模块库，用户在建模过程中可直接采用，避免重复建模，允许用户导入或自建相应功能的算法库或模块库。

### 5.3.9 订单任务模块

对复合机器人进行任务分单指派的订单任务模块，主要包括复合机器人的移动和操作的目標点位、移动和操作的节拍要求，任务类型，应允许对移动行为和操作行为的参数分别进行编辑。

### 5.3.10 节拍编辑模块

可对复合机器人执行任务时的时间、运行区间、运行目标点和操作目标点等模块进行规定和条件约束，应允许编辑，满足对复合机器人移动节拍和操作节拍的要求。

### 5.3.11 机械臂操作资源模块

专用于对复合机器人本体上搭载的机械臂操作动作进行控制和编辑的模块库，应包括以下内容。

- a) 校准模块，通过模型上的点位数据，匹配真实环境与机械臂操作环境中模型位置，宜包含三点校准模块、多点校准模块或点云校准模块等；
- b) 轨迹模块，生成机械臂轨迹及可对其进行编辑的模块；
- c) 后置代码模块，可单独生成机械臂轨迹控制程序。

### 5.3.12 安全模块

专用于对复合机器人的移动、操作进行安全性限定和设置的功能模块，包括以下内容。

- a) 可对机器人移动区域、点位、移动速度、加速度等进行设定或约束；
- b) 可对复合机器人的机械臂末端操作空间范围、操作区域进行限定或约束；
- c) 可对机器人的行为安全设定外部触发条件，且该条件可是多序列、多类型触发。

### 5.3.13 高级功能模块库宜包含

为实现机器人系统更复杂、更智能的功能仿真，仿真软件中宜包含以下高级功能模块库：

- a) 移动、操作协同控制算法库；
- b) 多机器人协同控制算法库；
- c) 可导入第三方模型，如：.stp、.obj、.vrm1 或.stl 等格式文件；
- d) 真实机器人与仿真系统在线仿真功能库；
- e) 在线代码编辑功能库或可基于仿真环境进行在线二次开发功能库；
- f) 真实感呈现仿真模块仿真效果，如可仿真呈现焊接起弧、火焰切割、喷涂粒子等效果；

g) 机器人虚拟控制器数字孪生体，可具有与真实控制器一致的功能与性能，有助于增强仿真效果及保证仿真结果正确。

## 5.4 仿真工作流程

### 5.4.1 仿真基本工作流程

在仿真软件中建立仿真模型及进行仿真的基本工作流程如图2所示。

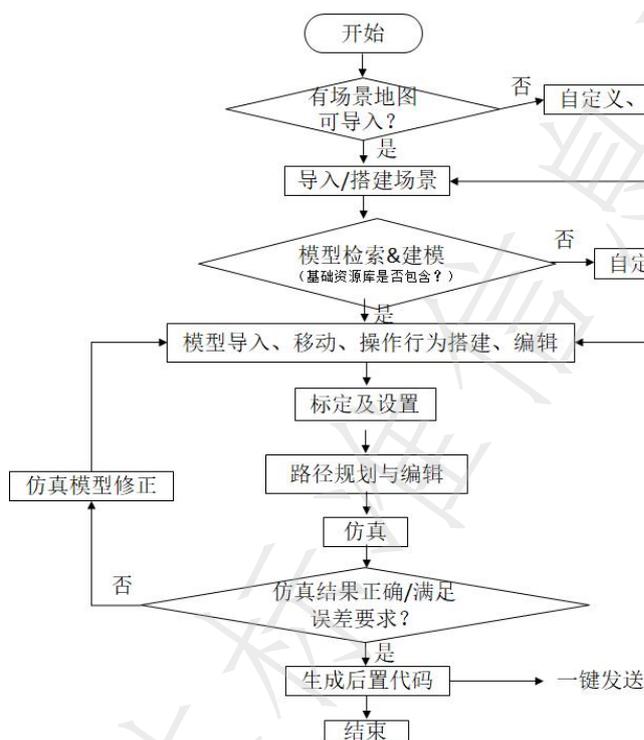


图2 仿真工作流程

### 5.4.2 场景地图导入

选择导入已建好的场景地图，或在仿真环境中自定义、自建场景地图。

### 5.4.3 场景搭建

可导入已有场景地图；或通过“地图库”中的元素模块，根据实际工作环境，进行场景搭建，实现机器人可行驶区域、禁止行驶区域、设备、工具和障碍物就位。

### 5.4.4 模型建模&检索

通过在仿真软件中检索相应的模块库，进行建模。

5.4.4.1 通过“基础资源库模块”检索仿真所需要的机器人、工具、设备的实体数字模型，并调用至操作环境。

5.4.4.2 若“基础资源库”中不包含编程模型时，通过“自定义、自建模块”载入自定义的设计模型并定义相应参数。

### 5.4.5 模型导入、移动、操作行为搭建、编辑

通过模型导入、路径规划、避障算法库、调度算法库、订单任务模块、节拍编辑模块等，进行移动、操作行为搭建、编辑，实现机器人、设备、行驶路线等就位。

#### 5.4.6 标定及设置

根据机器人实际运行点位数据及节拍要求，对操作环境中的对应点位，包括机器人起始点等进行标定及设置。

#### 5.4.7 路径规划与编辑

对复合机器人的移动路径和机械臂的末端动作轨迹参数进行设置或编辑。

a) 通过“路径规划”，确定“坐标系”、“点”、“线”、“面”等要素，在“操作环境”中生成机器人离线作业路径。

b) 通过路径规划（如起点、中间若干路径节点、终点等），优化任务程序，实现最佳移动、作业过程。

#### 5.4.8 仿真

模型建立完整之后，可开始仿真执行过程。

5.4.8.1 通过“仿真模块”，在“操作环境”中对机器人的移动、作业程序进行模拟，验证程序的正确性。

5.4.8.2 若仿真结果不正确，包含但不限于问题或异常的路径点、碰撞，通过“路径规划”重新进行作业路径优化。

#### 5.4.9 仿真结果正确与误差评估

对仿真结果的正确性或者准确性进行判断，如仿真结果未达到要求或未满足设定的误差值，可返回至仿真模型并对相应模块、参数等进行重新修正设置，再重新进行仿真。

仿真结果正确与否或误差值，宜由用户自行设定。

#### 5.4.10 生成后置代码

通过“后置模块”，根据机器人的语言格式要求，生成可执行的作业程序。

#### 5.4.11 一键发送

可在仿真环境中，通过一键发送功能模块，将生成的代码文件或可执行文件发送至实际机器人控制器。

### 6 版本管理

企业根据内部修订要求完成仿真软件版本管理工作。

### 参考文献

- [1] GB/T 12643-2013/ISO 8373:2012 机器人与机器人装备 词汇
  - [2] GB/T 16977-2019/ISO 9787:2013 机器人与机器人装备坐标系和运动命名原则
  - [3] GB/T 39478-2020 停车服务移动机器人通用技术条件
  - [4] GB/T 40229-2021/IEC 62849:2016 家用移动机器人性能评估方法
  - [5] GB/T 40327-2021 轮式移动机器人导引运动性能测试方法
  - [6] GB/T 42830-2023 移动机器人 词汇
  - [7] ISO 10303-203:2011 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 203: Application protocol: Configuration controlled 3D design of mechanical parts and assemblies
  - [8] IEC 63281-3-2:2024 E-Transporters - Part 3-2: Performance test methods for mobility of cargo e-Transporters
  - [9] Mobile Industrial Robots 发布《移动机器人部署白皮书》
-