



# 北京市地方计量技术规范

JJF (京) XXXX-XXXX

## 物流机器人位姿计量性能校准规范

Calibration Specification for position and orientation metrological properties of

logistics robot

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市市场监督管理局 发布

# 物流机器人位姿计量性能 校准规范

JJF(京) XX-XXXX

Calibration Specification for position and orientation  
metrological properties of logistics robot

归口单位：北京市市场监督管理局

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

参加起草单位：北京物资学院

国家智能网联汽车创新中心

北京朴津智能科技有限公司

本规范委托 XXXXXXXX 负责解释

# 目 录

引言 .....	(IV)
1 范围 .....	(1)
2 引用文件 .....	(1)
3 术语 .....	(1)
4 概述 .....	(2)
5 计量性能 .....	(2)
6 校准条件 .....	(2)
7 校准项目和校准方法 .....	(3)
8 校准结果表达 .....	(5)
9 复校时间间隔 .....	(6)
附录 A 示值误差的不确定度评定示例 .....	(2)
附录 B 校准记录格式(推荐) .....	(7)
附录 C 校准证书内页格式(推荐) .....	(9)

# 引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的规定而制定，参考了 GB/T 38124-2019《服务机器人性能测试方法》和 T/AIIA 001-2020《移动机器人定位导航性能评估规范》的相关内容。

本规范为首次发布。

# 物流机器人位姿计量性能校准规范

## 1 范围

本规范适用于物流机器人定位性能的测试方法，且室内定位方式以视觉或者激光雷达为主的物流机器人。

本规范适用但不限于轮式、腿式、履带式物流机器人。

## 2 引用文件

GB/T 12643-2013 《机器人与机器人装备词汇》

GB/T 38124-2019 《服务机器人性能测试方法》

T/AIIA 001-2020 《移动机器人定位导航性能评估规范》

BD 420073-2022 《中国第二代卫星导航系统重大专项标准》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语

### 3.1 正常工作状态 normal operating status

机器人制造商规定的使用环境下正常运行的状态。

### 3.2 移动平台 mobile platform

能使移动机器人实现运动的全部部件的组装件。

注 1：移动平台包含一个用于支承负载的底盘。

[来源 GB/T 12643—2013，3.18]

### 3.3 位姿 pose

空间位置和姿态的合称，包含三个位置和三个姿态角信息。对于在平面场地工作的机器人，位姿可以简化为由二维平面坐标和机器人航向角构成的三维向量。

[来源 改写 T/AIIA 001-2020 3.3.2]

### 3.3 定位 localization

在环境地图上识别或分辨机器人的位姿，对于不需要姿态的场景，可以简化为只确定机器人的位置。

[来源 GB/T 12643-2013, 7.2]

## 4 概述

物流机器人在工作的过程中需要不断获取当前的工作状态与位置，使物流机器人能够实时躲避障碍物，从而顺利完成工作，达到目标。准确的位置是物流机器人完成工作的前提条件，是物流机器人的重要组成部分。本规范为了测试物流机器人动态环境下连续位置精度和重复性，包括室内和室外环境。

## 5 计量性能

仪器各项计量性能指标见表 1。

表 1 物流机器人计量性能指标

计量性能要求	技术指标
数据更新频率	优于 1Hz
室外定位性能	位置精度优于 15cm; 位置重复性由于 5cm
室内定位性能	位置精度优于 10cm; 位置重复性由于 2cm

注：以上计量特性要求仅供参考，不作为判定依据

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(0~40)℃。

6.1.2 相对湿度：0%~85%。

注：测试环境应与制造商规定的机器人正常工作状态的使用环境一致。测试环境应开阔，且在测试路径上以及测试路径附近不应有非设定障碍物。如果制造商制定的环境条件超出以上条件，应在测试报告内说明。

### 6.2 校准用设备

#### 6.2.1 高精度组合导航系统

水平定位精度：RTK 1cm+1ppm。

#### 6.2.2 全站仪

距离测量精度：1mm+1.5ppm。

#### 6.2.3 三维移动激光扫描仪

扫描范围：1.5m-620m;

测距精度：5mm@100m。

## 6.2.4 棋盘方格板

精度：5mm。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目及对应校准方法见表1。

表 1 校准项目及对应校准方法一览表

序号	校准项目名称	校准方法对应条款
1	外观及功能检查	7.2.1
2	数据更新率	7.2.2
3	室外定位性能	7.2.3
4	室内定位性能	7.2.4

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观及工作正常性检查

用目测的方法检查物流机器人的外观和结构。被校物流机器人不应有影响其正常运行故障和异常现象。文字、符号及标志应清晰、规范。金属件无锈蚀、损伤等缺陷。表面无凹痕、划伤、裂痕、变形及严重污染等缺陷。

#### 7.2.2 数据更新频率

根据物流机器人的说明书，将物流机器人的输出接口接入计算机，通过厂家提供的软件或第三方软件读取物流机器人的输出信息，计算数据输出频率。

#### 7.2.3 室外定位性能

室外环境下，在楼宇附近进行测试，测试步骤如下：

- (a) 将高精度组合导航系统固定安装于物流机器人移动平台上；
- (b) 启动电源，进行搜星；
- (c) 物流机器人沿着规划的路线平稳行驶半小时；
- (d) 重复步骤 (c) N 次， $N \geq 6$ ；

(e) 按式 (1) 计算动态条件下物流机器人位置精度 ( $P$ )，并将 N 次位置精度的平均值作为最终的位置精度指标；

$$P = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (1)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n}}, \quad \beta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n}}$$

$$l_i = (x_i - \hat{x}_i) \square R_e, \quad m_i = (y_i - \hat{y}_i) \square R_e \square \cos(\hat{x}_i)$$

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i, \quad \bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$$

式中:

$x_i, y_i$  -- 物流机器人测量的第  $i$  个位置点的纬度和经度;

$\hat{x}_i, \hat{y}_i$  -- 高精度组合导航系统测量的第  $i$  个位置点的纬度和经度;

$R_e$  -- 地球半径。

(f) 按式 (2) 计算位置重复性 ( $R$ )

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (P_j - \bar{P})^2}{N-1}} \quad (2)$$

式中:

$P_j$  -- 第  $j$  次测量计算得到的位置精度;

$\bar{P}$  --  $N$  次重复测量实验计算得到的位置精度的平均值。

#### 7.2.4 室内定位性能

室内环境下, 实验步骤如下:

(a) 挑选一个合适的长方形的室内区域作为测试场地, 然后在其中每隔 30 米在墙面上粘贴棋盘方格板作为控制点 (控制点个数  $S \geq 3$ );

(b) 用全站仪在室内构筑一个独立坐标系, 然后测出布设的控制点坐标;

(c) 用三维移动激光扫描仪扫描测试场地, 并记录布设在墙面上的控制点;

(d) 将全站仪测量得到的控制点坐标导入三维移动激光扫描仪处理软件中, 生成在独立坐标系下的点云数据;

(e) 利用步骤 (d) 得到的点云数据对物流机器人进行定位, 并测量计算墙面控制点的坐标;

(f) 重复上述步骤  $U$  次,  $U \geq 6$ ;



(g) 按式 (3) 计算物流机器人位置精度 ( $p$ ), 并将  $N$  次位置精度的平均值作为最终的位置精度指标;

$$p = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S D_i \quad (3)$$

$$D_i = \sqrt{(\lambda_i - \hat{\lambda}_i)^2 + (\mu_i - \hat{\mu}_i)^2}$$

式中:

$\lambda_i, \mu_i$  -- 全站仪测量得到的第  $i$  个控制点的坐标;

$\hat{\lambda}_i, \hat{\mu}_i$  -- 物流机器人测量得到的第  $i$  个控制点的坐标;

(f) 按式 (4) 计算位置重复性 ( $r$ )

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^U (p_j - \bar{p})^2}{U - 1}} \quad (4)$$

式中:

$p_j$  -- 第  $j$  次测量计算得到的位置精度;

$\bar{p}$  --  $U$  次重复测量实验计算得到的位置精度的平均值。

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息:

- a) 标题: “校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点 (如果与实验室的地址不同);
- d) 证书或报告的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;

- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范偏离的说明;
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识以及签发日期;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书或报告的声明。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般不超过一年。复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素决定, 送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。如果仪器经维修、更换重要部件或对仪器性能有怀疑时, 应重新校准。

## 附录 A

## 原始记录格式

委托单位	
被校设备	
校准地点	
环境条件	
校准时间	
校准人员	
核验人员	
校准依据	
校准仪器	
校准项目	<input type="checkbox"/> 外观及工作正常性检查 <input type="checkbox"/> 数据更新率 <input type="checkbox"/> 室外定位性能 <input type="checkbox"/> 室内定位性能

## A.1 外观和工作正常性检查

外观： <input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 损坏
工作正常性检查： <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常

## A.2 数据更新频率

数据更新频率 (Hz)	测量不确定度 $U$ (Hz)

## A.3 室外定位性能

位置精度 (m)	位置重复性 (m)	测量不确定度 $U$ (m)

## A.4 室内定位性能

位置精度 (m)	位置重复性 (m)	测量不确定度 $U$ (m)

## 附录 B

## 校准证书内页格式

## B.1 外观和工作正常性检查

外观： <input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 损坏
工作正常性检查： <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常

## B.2 数据更新频率

数据更新频率 (Hz)	测量不确定度 $U$ (Hz)

## B.3 室外定位性能

位置精度 (m)	位置重复性 (m)	测量不确定度 $U$ (m)

## B.4 室内定位性能

位置精度 (m)	位置重复性 (m)	测量不确定度 $U$ (m)

## 附录 C

### 测量结果的不确定度评定示例

#### 概述

本规范给出了基于物流机器人的数据更新频率、室外定位性能和室内定位性能的校准方法。下面对数据更新频率、室外定位性能和室内定位性能的测量不确定度给出评定示例。

室外定位性能不确定度来源主要有：

- 高精度组合导航安装误差引入的不确定度
- 高精度组合导航测量引入的不确定度
- GPS 和 IMU 测量中心之间的杆臂测量误差引入的不确定度
- 高精度组合导航系统定位中心和物流机器人定位中心位置转化误差引入的不确定度
- 高精度组合导航系统和物流机器人时间同步引入的不确定度
- 高精度组合导航系统 GPS 天线安装位置和物流机器人 GPS 天线位置引入的不确定度

室内定位性能不确定度来源主要有：

- 全站仪测量引入的不确定度
- 三维移动扫描系统测量引入的不确定度

#### C.1 高精度组合导航安装误差引入的不确定度

高精度组合导航系统测量引入的不确定度是仪器出厂时固有的，一般高精度组合导航系统测量引入的最大不确定度为  $U_I$ 。

#### C.2 高精度组合导航系统测量引入的不确定度

获得结果后用如下标准不确定度方法计算出来。

$$U_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(s_i - \bar{s})^2}{n(n-1)}}$$

式中：

#### C.3 GPS 和 IMU 测量中心之间的杆臂测量误差引入的不确定度

获得结果后用如下标准不确定度方法计算出来。

$$U_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(s_i - \bar{s})^2}{n(n-1)}}$$

式中:

#### C.4 高精度组合导航系统定位中心和物流机器人定位中心位置转化误差引入的不确定度

获得结果后用如下标准不确定度方法计算出来。

$$U_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(s_i - \bar{s})^2}{n(n-1)}}$$

式中:

#### C.5 高精度组合导航系统和物流机器人时间同步引入的不确定度

获得结果后用如下标准不确定度方法计算出来。

$$U_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(s_i - \bar{s})^2}{n(n-1)}}$$

式中:

#### C.6 高精度组合导航系统 GPS 天线安装位置和物流机器人 GPS 天线位置引入的不确定度

获得结果后用如下标准不确定度方法计算出来。

$$U_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(s_i - \bar{s})^2}{n(n-1)}}$$

式中:

##### C. 6.1.1 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量
高精度组合导航安装误差引入的不确定度 $u_1$	均匀	$\sqrt{3}$	1.05%
高精度组合导航测量引入的不确定度 $u_2$	均匀	$\sqrt{3}$	1.87%
GPS 和 IMU 测量中心之间的杆臂测量误差引入的不确定	均匀	$\sqrt{3}$	1.87%

度 $u_3$			
高精度组合导航系统定位中心和物流机器人定位中心位置转化误差引入的不确定度 $u_4$	均匀	$\sqrt{3}$	1.05%
高精度组合导航系统和物流机器人时间同步引入的不确定度 $u_5$	均匀	$\sqrt{3}$	1.05%
高精度组合导航系统 GPS 天线安装位置和物流机器人 GPS 天线位置引入的不确定度 $u_6$	均匀	$\sqrt{3}$	1.05%

#### C.6.1.2 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

#### C. 6.1.3 合成标准不确定度

当各不确定度分量彼此不相关时，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \approx 2.15\%$$

#### C. 6.1.4 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c \approx 4.3\%$$

引入的不确定度为  $U = 4.3\%$  ( $k=2$ )

室内定位性能不确定度评定：

#### C.1 三维移动扫描系统测量引入的不确定度

三维移动扫描系统测量引入的不确定度是仪器出厂时固有的，一般三维移动扫描系统测量引入的最大不确定度为  $U_i = 0.23\%$ 。

#### C.2 全站仪测量引入的不确定度

全站仪测量引入的不确定度是仪器出厂时固有的，一般全站仪测量引入的最大不确定度为  $U_i =$

## C.2.2.3 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量
三维移动扫描系统测量引入的不确定度 $u_1$	均匀	$\sqrt{3}$	1.05%
全站仪测量引入的不确定度 $u_2$	均匀	$\sqrt{3}$	1.87%

## C.2.3 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

## C.2.4 合成标准不确定度

当各不确定度分量彼此不相关时，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \approx 2.15\%$$

## C.2.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c \approx 4.3\%$$

室内位置误差引入的不确定度为  $U = 4.3\%$  ( $k=2$ )