

团 体 标 准

T/SZAS XXX—XXXX

商用移动机器人数字地图技术规范

Technical specification for digital maps of commercial mobile
robots

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

深圳市标准化协会 发 布

目次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 地图数据模型与格式要求 2

 4.1 总体要求 2

 4.2 数据模型 2

 4.3 地图数据组织要求 5

5 空间坐标体系要求 5

 5.1 地图坐标系要求 5

 5.2 坐标转换要求 5

 5.3 传感器坐标标定要求 6

6 数字地图构建要求 6

 6.1 建图准备要求 6

 6.2 数据采集要求 7

 6.3 数据预处理要求 7

 6.4 地图生成 8

 6.5 地图优化 8

 6.6 地图扩展、合并与增量更新要求 8

 6.7 成果输出 9

7 地图交换与互操作要求 9

 7.1 交换内容要求 10

 7.2 交换格式要求 10

 7.3 交换元数据要求 10

 7.4 交换接口要求 10

 7.5 交换一致性检查要求 11

8 数字地图质量要求 11

 8.1 通用质量要求 11

 8.2 点云地图质量要求 12

8.3 二维栅格地图质量要求	13
8.4 语义地图质量要求	14
8.5 拓扑地图质量要求	14
8.6 质量验证方法	14
9 数字地图存储与应用要求	15
9.1 存储要求	15
9.2 地图应用要求	16
10 数字地图管理与运维要求	17
10.1 版本管理要求	17
10.2 更新维护要求	17
10.3 异常处理要求	18
附 录 A（资料性） 数字地图数据格式示例	19
附 录 B（资料性） 数字地图质量验证方法示例	22
附 录 C（资料性） 数字地图存储结构示例	25
附 录 D（资料性） 传感器标定流程与验收方法	29
附 录 E（资料性） 数字地图建图作业流程与参数示例	31
附 录 F（资料性） 数字地图管理与运维示例	34
参 考 文 献	36

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。

本文件由深圳大学和万物云空间科技服务股份有限公司联合提出。

本文件由深圳市标准化协会归口。

本文件起草单位：深圳大学、万物云空间科技有限公司、武汉大学、深圳技术大学、人工智能与数字经济广东省实验室（深圳）、北京邮电大学、丰图科技有限公司、北京中创川海科技有限公司、苏州广目智能科技有限公司、汉宁云智技术（深圳）有限公司。

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

引 言

随着移动机器人技术快速发展，商用移动机器人在清扫、巡检、安防等领域的应用场景不断拓展。由于不同机器人系统在地图数据表达方式、数据组织形式和应用环境适配等方面存在差异，导致机器人在跨场景应用、跨设备协同和规模化部署过程中面临一定挑战，亟需建立统一的技术参考。

本文件面向商用移动机器人应用需求，结合国内外机器人导航地图相关技术实践，在编制过程中主要考虑以下方面：一是根据机器人定位、导航、任务执行及服务应用需求，确定适宜的数据类型、数据内容、表达方式及相关技术要求；二是采用统一的数据模型、空间参考、数据格式和表达方式，支持不同类型商用移动机器人之间的数据共享与交换；三是兼顾不同机器人系统、传感器类型及软件平台之间的数据交互需求，支持不同系统之间的数据兼容和互操作；四是考虑机器人类型、应用场景、数据类型及功能需求的变化，支持数据模型、属性信息、数据内容及应用功能的扩展。

本文件旨在为推动商用移动机器人产业规范化发展提供参考。

商用移动机器人数字地图技术规范

1 范围

本文件规定了商用移动机器人数字地图数据模型与格式要求、空间坐标体系要求、数字地图构建要求、地图交换与互操作要求、质量要求、存储与应用要求以及管理与运维要求。

本文件适用于商业及公共服务场景中室内、半室内及室外环境下，移动引导机器人、移动广告机器人、清扫机器人、巡检机器人、安防机器人、送餐机器人等具有自主移动能力的商用移动机器人数字地图的构建、验收与应用。对于仓储物流、港口作业等封闭或相对独立区域内使用的自主搬运机器人、物流分拣机器人等，其数字地图的构建、验收与应用可参照本文件执行。

本文件不适用于军用特种机器人地图、山区、沙漠、树林、野外等极限场景中使用的特种机器人地图、公共道路上使用的无人驾驶设备导航地图、高精度测绘地图和导航电子地图。

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 16977 机器人与机器人装备坐标系和运动命名原则

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 35646 导航电子地图增量更新基本要求

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

CH/T 2014 大地测量控制点坐标转换技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

商用移动机器人 commercial mobile robot

面向商业及公共服务场景应用，具备自主移动、环境感知、定位导航和任务执行能力，用于完成移动引导、广告展示、清洁作业、设备巡检、安全巡查、送餐等服务任务的机器人。

注：商用移动机器人的结构包括轮式、履带式、足腿式。

3.2

数字地图 digital map

以数字化形式表示机器人运行环境的空间信息、环境要素及其相互关系，用于支持机器人定位、导航和环境理解的数据集合。

3.3

点云地图 point cloud map

由空间离散点数据构成，用于表达机器人运行环境三维几何特征的数字地图。

3.4

二维栅格地图 2D grid map

将机器人运行环境划分为规则二维网格，并通过栅格属性表达空间占用状态的数字地图。

3.5

语义地图 semantic map

在空间信息基础上关联环境对象类别、属性及功能信息，用于支持机器人环境理解和任务执行的数字地图。

3.6

拓扑地图 topological map

以节点和连接关系表达机器人运行环境区域之间空间关联和通行关系的数字地图。

3.7

几何地图 geometric map

通过点、线、面等几何要素及其空间坐标描述机器人运行环境几何特征的数字地图。

3.8

坐标参考系统 coordinate reference system

由坐标系和提供地理定位依据的基准组成，用于描述空间位置。

3.9

空间参考 spatial reference

地理参考的位置和姿态，用于标识物理世界中唯一的位置和方向。

3.10

坐标转换 coordinate transformation

采用适用的转换模型和转换参数，将大地测量控制点坐标从某一坐标系转换到另一坐标系。

[来源：CH/T 2014—2016，2.1.1]

3.11

增量更新 incremental mapping

更新操作时，采用增量数据更新变化的区域，不重复更新未变化区域。

[来源：GB/T 35646—2017，3.1]

3.12

动态目标残留 dynamic object residual

由于动态物体运动、传感器误差或数据处理不足，在数字地图中保留的不属于静态环境的异常数据。

4 地图数据模型与格式要求

4.1 总体要求

4.1.1 商用移动机器人数字地图应根据机器人定位、导航、环境理解及任务执行需求，采用一种或多种地图数据模型进行表达。

4.1.2 数字地图数据模型宜包括几何地图模型、语义地图模型和拓扑地图模型。

4.1.3 不同类型的地图模型之间应具有明确的空间参考，并能够通过坐标转换建立空间位置对应关系。

4.2 数据模型

4.2.1 点云地图

4.2.1.1 点云地图基本数据项及要求见表1。

表1 点云地图基本数据项及要求

数据项	要求	数据单位	说明
空间坐标	应包含	m	表示点的三维空间位置，包括 X、Y、Z 三个坐标分量
颜色信息	可选	/	可采用红绿蓝（Red-Green-Blue，RGB）等方式表示
反射强度	可选	/	表示传感器获取的反射强度信息

4.2.1.2 点云地图描述信息及要求见表 2。

表 2 点云地图描述信息及要求

数据项	要求	数据单位	说明
坐标系标识	应包含	/	与地图坐标参考系统一致
长度单位	应包含	m	应明确比例和坐标轴
采集时间段	应包含	s	注明时基和时间戳位置
传感器及标定版本	应包含	/	可追溯至原始配置
处理与质量信息	应包含	/	关联处理参数及独立验收报告
逐点/逐块时间戳	可选	s	记录通道号、回波序号、有效性及坐标单位
帧内运动补偿方法	仅使用单帧时间戳时应包含	/	说明帧内运动补偿方法
原始数据索引	静态发布地图应包含	/	关联原始数据索引及处理版本
有效测距范围	应包含	m	记录传感器有效测距范围
反射率与环境条件	可选	/	记录反射率与环境条件
质量分区	可选	/	记录质量分区信息

4.2.1.3 点云地图数据宜采用点云数据（Point Cloud Data，PCD）格式、激光雷达点云数据交换（LAS，LASer）格式或其他满足应用需求的数据格式进行存储和交换，具体数据结构和字段要求见附录 A。

4.2.2 二维栅格地图

4.2.2.1 二维栅格地图适用于以二维平面导航为主要需求的环境，基本数据项及要求见表 3。

表 3 二维栅格地图基本数据项及要求

数据项	要求	说明
栅格单元	应包含	用于将地图覆盖区域划分为规则的网格单元
栅格分辨率	应包含	表示单个栅格单元对应的实际空间尺寸，单位宜采用 m/pixel
占用状态	应包含	应至少支持障碍物、空闲区域和未知区域的表达
地图原点	应包含	表示栅格地图坐标系的原点位置
地图范围	应包含	表示地图覆盖的空间区域
坐标参考信息	应包含	用于确定地图采用的坐标参考系统及坐标轴方向等信息
占用概率或通行代价	可选	用于进一步表达栅格被占用的可能性或机器人通过该栅格的代价
存储方式	应包含	应明确栅格数据的组织方式，包括行列排列顺序及数据读取顺序

4.2.2.2 二维栅格地图可采用便携式灰度图（Portable Gray Map，PGM）文件与 YAML 元数据文件联合存储，并提供与栅格数据相对应的地图元数据，其像素值、元数据字段及数据结构见附录 A。

4.2.3 语义地图

4.2.3.1 语义地图应以几何地图为基础，表达对象类别、业务功能、空间关系及运行约束，并通过对对象标识关联拓扑节点和任务配置。

4.2.3.2 语义对象应按地点、设施、功能区域、任务点及通行约束分类；临时障碍和设备实时状态应单独管理，并记录生效及失效时间。

- 4.2.3.3 每个对象应包含 id、type、geometry、frame_id、floor_id 和 properties。id 在同一地图生命周期内应唯一且稳定；对象修改保留 id，删除记录状态和版本，标识不应复用。
- 4.2.3.4 properties 应按对象类型定义必填属性。出入口应记录净宽及通行方向；充电点和任务点应记录目标姿态及到达容差；限制区域应记录规则、适用机器人和有效时段；电梯应记录服务楼层及接口依赖。
- 4.2.3.5 对象应通过标识表达包含、邻接、连接和业务关联关系。连接关系应由拓扑地图统一管理，语义地图保留引用；同一对象在各地图层的坐标、楼层和版本应一致。
- 4.2.3.6 运行规则应明确优先级、适用范围和生效条件。同一区域规则冲突时宜按禁止、限制、允许的顺序处理；现场安全系统及实时障碍约束应优先于地图中的允许通行属性。
- 4.2.3.7 语义对象几何应采用点、线、面或组合几何，要求见表 4。坐标单位、几何类型、边界闭合及跨楼层表达应符合统一数据模式。

表 4 语义要素空间表达要求

几何类型	适用对象示例	要求
点	充电桩、任务点、服务点、出入口	应能够准确表示对象的位置
线	虚拟墙、通道边界、路线	应能够表示对象的空间延伸方向
面	限行区域、功能区域、服务区域	应能够表示对象的空间范围
组合几何	多楼层设施、复杂功能区域	应根据实际空间结构采用多个几何对象组合表达

4.2.3.8 语义地图数据宜采用 JavaScript 对象表示法（JavaScript Object Notation, JSON）、可扩展标记语言（eXtensible Markup Language, XML）储存，字段要求见附录 A，完整示例见附录 C。交换前应校验数据模式、标识引用及空间参考。

4.2.4 拓扑地图

- 4.2.4.1 拓扑节点可表示地点、功能区域、出入口、任务点、服务点、楼层转换位置及其他具有导航意义的位置。
- 4.2.4.2 拓扑连接关系应至少包含关联节点信息，并可根据应用需求包含通行方向、距离、通行条件及路径代价等信息。
- 4.2.4.3 拓扑地图基本数据项及要求见表 5。

表 5 拓扑地图基本数据项及要求

数据对象	数据项	要求
节点	唯一标识	应唯一
节点	空间位置	宜包含
节点	节点类型	应明确
节点	所属区域或楼层	多区域、多楼层场景应明确
连接关系	起始节点	应包含
连接关系	目标节点	应包含
连接关系	通行方向	按应用需求确定
连接关系	距离	宜包含
连接关系	通行条件	按应用需求确定
连接关系	路径代价	按应用需求确定

4.2.4.4 拓扑地图数据宜采用 JSON、XML 或其他能够表达节点及连接关系的结构化数据格式进行存储和交换，具体数据结构见附录 A。

4.2.4.5 拓扑边应关联可通行几何走廊，并记录最小净宽、净高、坡度、单向约束和适用机器人外廓；电梯边应记录楼层、门状态或服务接口依赖，不应将楼梯默认作为轮式机器人可通行连接。

4.3 地图数据组织要求

4.3.1 地图数据组织方式应根据地图覆盖范围、数据规模、空间复杂度及机器人运行需求确定。

4.3.2 地图数据组织应支持按空间范围查询、按需加载和增量更新。

4.3.3 大范围、高数据量或多区域地图宜采用分层、分块等方式进行组织。

4.3.4 分层组织要求如下：

- a) 地图数据可按照空间范围、数据分辨率或应用用途进行分层组织；
- b) 多分辨率地图宜设置不同空间分辨率的数据层级，并应保持不同层级之间的空间对应关系；
- c) 地图应用时宜根据机器人运行需求选择适宜的数据层级。

4.3.5 分块组织要求如下：

- a) 大范围地图宜采用分块方式进行组织，不同数据块之间应保持空间位置关系一致；
- b) 地图数据块宜具有唯一标识，并支持根据空间范围进行索引；
- c) 地图数据块信息宜包括数据标识、空间范围、层级信息和版本信息等内容；
- d) 地图数据块宜支持按区域、按层级或按需进行加载和更新。

5 空间坐标体系要求

5.1 地图坐标系要求

5.1.1 数字地图应建立统一的坐标参考系统，确保地图数据、机器人定位数据及传感器采集数据之间的空间一致性。

5.1.2 数字地图应明确地图坐标系，并记录坐标系名称、原点位置、坐标单位及坐标参考信息。

5.1.3 地图坐标系应采用右手笛卡尔坐标系，并应满足以下要求：

- a) X轴、Y轴位于水平面内，用于表示地图平面位置；
- b) Z轴方向应与重力方向一致，指向空间上方。

5.1.4 地图坐标系原点应根据应用场景确定：

- a) 室内固定场景宜选择建筑结构特征点、地图起始位置或其他稳定位置作为原点；
- b) 室外大范围场景宜结合当地可用的空间参考基准确定原点，并记录投影、单位及与局部坐标系的转换参数；
- c) 多楼层场景应采用统一建筑坐标系，分别记录楼层标识、楼层高程及楼层局部坐标系与建筑坐标系的转换关系。

5.1.5 机器人坐标系的定义及命名原则应符合 GB/T 16977 的相关要求。

5.2 坐标转换要求

5.2.1 数字地图应用过程中，应支持地图坐标参考系统、机器人坐标参考系统及传感器坐标参考系统之间的转换。

5.2.2 坐标转换关系应包括：

- a) 源坐标系定义；
- b) 目标坐标系定义；
- c) 平移参数；
- d) 旋转参数；

e) 比例。

5.2.3 动态应用场景下，坐标转换信息宜包含时间信息。

5.2.4 坐标转换可采用齐次变换矩阵、旋转矩阵与平移向量或其他等效方式表达。

5.2.5 数字地图用于不同机器人系统之间交换时，应提供地图坐标系与机器人运行坐标系之间的转换参数。

5.2.6 涉及大地测量控制点坐标转换至 2000 国家大地坐标系时，应符合 CH/T 2014 的相关要求。

5.2.7 坐标变换应采用明确的方向约定，并明确变换矩阵的源坐标系和目标坐标系。坐标变换关系应符合以下要求：

- a) 坐标变换应采用旋转和平移表示。采用齐次变换矩阵时，应明确表示从源坐标系到目标坐标系的转换关系。连续坐标变换应满足矩阵乘法组合规则，逆变换应满足矩阵求逆规则；
- b) 平移参数的单位应为米(m)。采用角度描述旋转参数时，交换文件中的角度单位宜为弧度(rad)；
- c) 采用欧拉角表示旋转参数时，应明确旋转顺序及其定义；采用四元数表示旋转参数时，应明确四元数的元素排列顺序，并应对四元数进行归一化处理。

5.2.8 机器人局部连续里程计坐标系与全局地图坐标系之间的关系应符合以下要求：

- a) 机器人局部连续里程计坐标系宜与全局地图坐标系分离；
- b) 全局优化或重定位导致地图坐标系与里程计坐标系之间的坐标变换关系发生变化时，宜通过更新两者之间的坐标变换关系进行修正；
- c) 全局优化或重定位不应导致控制器使用的局部位姿发生非预期突变；
- d) 各坐标系之间的坐标变换关系不应存在循环依赖；
- e) 采用时间插值计算坐标变换或位姿时，插值时刻应处于相关数据的有效时间范围内。

5.3 传感器坐标标定要求

5.3.1 激光雷达、惯性测量单元(IMU)、摄像机等传感器应进行外参标定，以确定传感器坐标系与机器人坐标系之间的空间关系。

5.3.2 传感器外参标定结果应至少包括：

- a) 坐标系标识；
- b) 平移参数；
- c) 旋转参数；
- d) 标定时间；
- e) 标定精度或误差评价信息。

5.3.3 多传感器融合应用时，应明确各传感器坐标系之间的坐标转换关系，并确保坐标转换关系的一致性。

5.3.4 外参误差、时间同步误差、测距误差和建图误差宜纳入统一的精度预算。

5.3.5 标定参数应随地图数据一并交换，或可通过标准接口查询。标定参数应受控保存并验证生效；设备及软件不应重复复用同一套外参。

5.3.6 典型传感器标定流程、标定场景要求、数据采集要求、验收指标及误差估算方法见附录 D。

6 数字地图构建要求

6.1 建图准备要求

6.1.1 场景分析

6.1.1.1 建图前应确定覆盖范围、楼层连接、机器人外廓、运行速度、任务精度和风险区域，形成场景清单。

6.1.1.2 应重点调查玻璃、负障碍、窄通道、弱特征区、动态密集区及定位信号遮挡区，明确补采、辅助约束或禁行措施。

6.1.2 建图方案

6.1.2.1 建图方案应明确坐标基准、质量等级、设备配置、采集路线、预处理参数、验收样本、责任人及更新方式。质量等级应与第8章指标对应。

6.1.2.2 作业应按准备、采集、预处理、建图标注、验证和发布顺序实施。各阶段应保留输入、参数、输出及检查结果；未通过阶段检查的成果应退回整改。数字地图作业阶段及交接要求见表6。

表6 数字地图作业阶段及交接要求

阶段	主要操作	交接成果及放行条件
准备	调查场景；配置设备；完成标定与同步验证	作业方案、场景清单、标定及同步记录；满足第6章要求
采集	按路线采集；检查覆盖、闭环和数据连续性	原始数据、轨迹及补采记录；关键区域无缺采
预处理	校验、对时、去畸变、滤波及质量分段	预处理数据、参数与异常清单；通过本章检查
建图与标注	配准及优化；生成栅格；标注语义并关联拓扑	地图候选包及对象审核记录；空间关系一致
验证	自动检查、独立测量、人工核验及实机试验	质量报告；满足第8章全部适用要求
发布与运维	批准发布；校验加载；监测变化并更新	受控发布包及回滚版本；按第9、10章管理

6.2 数据采集要求

6.2.1 采集设备要求

6.2.1.1 数字地图构建应采用适宜的数据采集设备获取环境信息，数据采集设备包括：

- 激光雷达，用于获取环境三维几何信息；
- 摄像机，用于获取环境图像及视觉特征信息；
- 惯性测量单元（Inertial Measurement Unit, IMU），用于获取机器人运动姿态信息；
- 轮式里程计，用于获取机器人运动距离和速度信息；
- 全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System, GNSS）及实时动态测量技术（Real-Time Kinematic, RTK），用于大范围室外环境下的位置测量和绝对坐标约束。

6.2.1.2 多传感器联合采集时，应确保不同传感器之间的时间同步。

6.2.1.3 设备选型应验证工作距离、材料反射率、光照、温度和振动条件。玻璃、薄障碍及低矮障碍无法可靠观测时，应补充传感器、人工测量或禁行约束。

6.2.2 采集范围与连续性要求

6.2.2.1 数据采集范围应覆盖机器人运行区域及相关环境信息。

6.2.2.2 数据采集过程中，应避免因遮挡、动态目标或设备异常导致的数据缺失。

6.2.2.3 对于复杂环境或大范围场景，应满足分区域、多阶段采集对应的成果连续性要求。

6.2.2.4 采集路线成果应包含起终点、闭环、补采点、楼层连接及独立检查点信息。

6.2.3 采集记录要求

采集记录应保存数据总量、预期包数、丢包量、时钟异常信息及补采位置。典型采集参数、时间同步方法及作业要求见附录E。

6.3 数据预处理要求

6.3.1 总体要求

6.3.1.1 数据预处理应包括数据校验、时间校正、运动补偿、单源数据清洗和融合检查。

6.3.1.2 原始数据应采用只读方式保存。

6.3.2 处理记录要求

6.3.2.1 处理记录应包括数据标识与校验值、标定版本、时间校正量、算法版本、处理参数、输入与输出数据数量及数据剔除原因。

6.3.2.2 处理失败的区段应保留原始数据并作出标记，数据缺口不应通过删除处理记录予以掩盖。

6.3.3 预处理质量检查

6.3.3.1 预处理完成后，应检查同步误差、静态结构重合、局部密度、边界保真及有效覆盖

6.3.3.2 关键区域存在缺失、畸变或误删时应回退参数或补采；通过检查的数据方可进入建图。

6.3.3.3 数据校验、时间校正、运动补偿、点云清洗、多源数据处理及场景要素处理的具体方法见附录 E。

6.4 地图生成

6.4.1 几何地图生成应满足以下要求：

- a) 点云地图可基于激光雷达、视觉或多传感器融合数据生成；
- b) 点云地图生成过程中，应进行数据配准和空间一致性优化，对于大范围、长距离或易产生累计误差的场景，宜采取相应措施降低累计误差；
- c) 二维栅格地图可基于点云地图投影或二维传感器数据生成；
- d) 三维地图转换为二维地图时，应根据机器人尺寸、底盘高度、通行能力及环境特征，确定参与投影的空间范围和高度范围。

6.4.2 语义地图应按对象清单建立、候选提取、空间落位、属性补全、关系关联和人工审核的流程生成。

6.4.3 语义信息可通过自动识别、人工标注或数据融合方式获取。语义对象应与对应空间位置建立关联。

6.4.4 未审核、安全属性冲突或位置不可确定的对象不得进入可执行任务配置。审核通过后应按第 8 章验收，并与几何及拓扑层按同一版本发布。

6.4.5 拓扑地图应根据空间连接关系、通行关系及任务需求建立，并宜包含多楼层环境中的楼层连接关系。

6.4.6 地图生成的具体方法、算法及参数见附录 E。

6.5 地图优化

6.5.1 原始地图生成后，应根据应用需求进行优化处理。

6.5.2 地图优化宜包括：

- a) 空间配准优化；
- b) 重复数据删除；
- c) 动态目标清除；
- d) 地图拼接优化；
- e) 数据压缩。

6.5.3 地图优化过程中，不应改变地图空间参考关系。

6.5.4 地图优化的具体方法及验收指标见附录 E。

6.6 地图扩展、合并与增量更新要求

6.6.1 增量更新要求

- 6.6.1.1 数字地图宜支持增量更新，以适应机器人运行环境变化和地图持续维护需求。
- 6.6.1.2 增量更新应基于已有地图数据进行局部更新，并保持与原地图数据的空间一致性。
- 6.6.1.3 增量更新内容宜包括：
 - a) 新增空间区域；
 - b) 环境结构变化区域；
 - c) 固定设施变化区域；
 - d) 语义对象变化信息。
- 6.6.1.4 增量更新后，应对新增数据与原地图数据进行一致性检查。
- 6.6.1.5 增量更新应保留稳定锚点并输出增删改清单。更新后应联合验证几何、语义和拓扑。
- 6.6.1.6 增量更新时，未变化区边界偏差 P95 宜≤原图一个栅格，且满足所在区域空间精度要求。
- 6.6.1.7 地图增量更新的数据组织与管理、数据传输的相关要求应符合 GB/T 35646 的规定。

6.6.2 地图扩展要求

- 6.6.2.1 当机器人运行区域超出已有地图覆盖范围时，宜对数字地图进行扩展。
- 6.6.2.2 地图扩展应满足以下要求：
 - a) 新增区域与已有地图应使用统一的坐标参考系统；
 - b) 新增区域与已有地图的拼接边界应进行几何一致性检查；
 - c) 扩展后的地图应保持语义对象标识和拓扑关系的连续性；
 - d) 扩展区域应按第 8 章要求进行质量验证。
- 6.6.2.3 地图扩展后，应更新地图版本信息，并记录扩展区域范围及拼接边界检查结果。

6.6.3 地图合并要求

- 6.6.3.1 当存在多张子地图需要融合为一张全局地图时，宜进行地图合并。
- 6.6.3.2 地图合并应满足以下要求：
 - a) 参与合并的各子地图应声明各自的坐标参考系统及变换参数；
 - b) 合并时应基于重叠区域的稳定静态结构进行空间对齐；
 - c) 重叠区域应进行一致性检查，不应存在错层、双墙或重复对象；
 - d) 合并后的语义对象和拓扑关系应保持唯一性和连续性；
 - e) 合并后的地图应按第 8 章要求进行质量验证。
- 6.6.3.3 地图合并过程中，应保留各子地图的来源标识和版本信息。合并完成后，应输出合并报告，记录参与合并的子地图标识、重叠区域范围、对齐参数及一致性检查结果。

6.7 成果输出

- 6.7.1 成果输出应包含可加载地图、元数据、标定与同步记录、建图处理记录、质量报告及版本发布清单。
- 6.7.2 数字地图成果应采用文件形式交付，各类成果文件的基本要求见表 7。

表 7 数字地图成果文件及要求

文件类型	要求	主要内容
地图数据	应包含	点云、栅格、语义和拓扑等适用数据
元数据及发布清单	应包含	版本、坐标参考、依赖和文件校验值
采集及标定记录	应包含	原始数据索引、轨迹、内外参及同步验证
质量报告	应包含	独立检测、实机试验、整改和审核结论

- 6.7.3 数字地图成果文件按第 8 章验收，不合格项应整改并复验。

7 地图交换与互操作要求

7.1 交换内容要求

- 7.1.1 地图数据交换时，应确保空间位置、数据结构、属性信息的一致性。
- 7.1.2 交换的地图数据应包含接收方完成导航任务所需的全部必要元素，包括：
- a) 几何数据；
 - b) 拓扑关系；
 - c) 语义对象及属性；
 - d) 坐标参考信息；
 - e) 版本信息。
- 7.1.3 不同类型地图数据交换时，应保持模型之间的关联关系。涉及对象标识引用的，应保证引用关系的有效性。
- 7.1.4 交换的地图数据不应包含接收方系统无法解析的私有格式或未声明的扩展字段。

7.2 交换格式要求

- 7.2.1 交换格式应与机器人系统内部表示格式分离。机器人系统可采用私有内部格式进行地图处理，但交换时应转换为标准格式。
- 7.2.2 二维地图交换宜采用 XML 格式，三维地图交换宜采用 JSON 格式，或采用其他满足本文件数据模型要求的结构化格式。
- 7.2.3 交换格式应满足以下要求：
- a) 支持第 4 章规定的全部数据模型元素；
 - b) 提供完整的模式定义（Schema），确保符合标准的系统均能解析；
 - c) 支持版本标识，便于接收方判断兼容性；
 - d) 支持数据完整性校验。
- 7.2.4 采用压缩传输时，应声明压缩方式及解压所需信息。

7.3 交换元数据要求

- 7.3.1 地图数据交换时，应附带表 8 所列交换元数据。

表 8 地图交换元数据

信息项	要求	说明
地图标识	应包含	用于标识本次交换所涉及的地图数据
版本信息	应包含	用于标识地图数据的版本
数据类型	应包含	用于标识地图数据的类型，如点云地图、栅格地图、语义地图或拓扑地图
坐标参考信息	应包含	用于说明地图采用的坐标参考系统及坐标轴方向等信息
时间信息	可选	用于记录地图数据的采集时间、生成时间或更新时间，具体时间类型应予以明确
数据范围	可选	用于描述本次交换数据覆盖的范围
数据完整性信息	可选	用于校验数据的完整性，可采用校验值等方式
压缩信息	采用压缩传输时应包含	用于说明数据采用的压缩方式及解压所需的信息

- 7.3.2 接收方能根据交换元数据判断地图数据是否适用于目标机器人系统及目标场景。

7.4 交换接口要求

- 7.4.1 地图交换接口应支持地图数据的读取、写入和查询操作。
- 7.4.2 接口宜采用 HTTP 或 HTTPS 协议，并宜支持以下操作：

- a) 按地图标识获取指定地图数据;
 - b) 按空间范围查询地图数据;
 - c) 按版本获取历史地图数据;
 - d) 写入或更新地图数据。
- 7.4.3 接口响应应包含 7.3 规定的交换元数据, 以及 7.2 规定的交换格式编码的地图数据。
- 7.4.4 接口应提供以下信息:
- a) schema_version;
 - b) map_id;
 - c) release_id;
 - d) frame_id;
 - e) floor_id;
 - f) 时间;
 - g) 覆盖范围;
 - h) 内容校验;
 - i) 兼容设备类型。
- 7.4.5 增量接口应提供以下信息:
- a) base_version;
 - b) target_version;
 - c) 增删改对象;
 - d) 冲突状态。
- 7.4.6 网络失败、重复请求和乱序更新应有幂等或拒绝机制, 不应产生混合版本。
- 7.4.7 接口应支持身份验证和访问控制, 未授权请求不应获取地图数据。

7.5 交换一致性检查要求

- 7.5.1 地图数据交换前后, 应进行一致性检查, 确保以下方面未发生非预期变化:
- a) 空间位置一致;
 - b) 数据结构完整;
 - c) 属性信息无损;
 - d) 对象引用关系有效;
 - e) 坐标系声明与实际数据一致。
- 7.5.2 接收方应在加载交换地图后, 验证地图数据的可解析性和完整性。解析失败或完整性校验不通过的地图数据不应投入使用。
- 7.5.3 交换后的地图在接收方系统中重新加载时, 关键地图元素(如通行走廊、禁行边界、楼层连接)的空间位置偏差不应超过第 8 章规定的精度限值。

8 数字地图质量要求

8.1 通用质量要求

8.1.1 完整性

- 8.1.1.1 数字地图应覆盖机器人运行区域及任务相关区域, 不应存在影响定位、导航和任务执行的数据缺失。
- 8.1.1.2 数字地图应包含必要的元数据信息, 包括但不限于:
- a) 地图标识;
 - b) 数据版本;
 - c) 坐标参考信息;
 - d) 数据更新时间。

8.1.1.3 必填元数据和文件校验完整率应为 100%。机器人计划运行区域的有效已知栅格覆盖率应 $\geq 99\%$ ，关键通行走廊应为 100%。未覆盖区域应明确标为未知或禁行，不应通过修改覆盖范围隐藏缺口。

8.1.2 一致性

8.1.2.1 不同类型数字地图数据之间应保持空间位置一致。

8.1.2.2 点云地图、二维栅格地图、语义地图和拓扑地图关联应用时，应满足以下要求：

- a) 坐标参考系统一致；
- b) 空间位置对应；
- c) 数据关联关系正确。

8.1.3 准确性

8.1.3.1 数字地图的空间精度、密度、分辨率等指标应满足本章各专项质量要求。

8.1.3.2 地图数据不应存在影响机器人定位、导航和环境识别的错误表达、异常噪声或冗余数据。

8.1.3.3 设备单次测距准度、重复测量标准差、配准残差及最终地图精度应分别记录，不应相互替代。

8.1.4 时效性

8.1.4.1 数字地图应记录数据采集时间和更新时间，确保接收方能够判断地图数据的时效性。

8.1.4.2 地图更新周期宜与应用场景的环境变化频率相适应。对于动态变化频繁的区域，宜提高更新频率。

8.2 点云地图质量要求

8.2.1 空间精度要求

8.2.1.1 点云地图空间精度应符合表 9 的规定。

表 9 点云地图空间精度要求

应用场景	平面精度（XY 轴）	高程精度（Z 轴）	检测要求
室内复杂场景	$\leq 2\text{ cm}$	$\leq 1\text{ cm}$	独立检查点不少于 20 个，计算均方根误差（RMSE）；设备不确定度宜 $\leq$ 对应场景精度限值的 1/3
室外一般区域	$\leq 5\text{ cm}$	$\leq 50\text{ cm}$	独立检查点不少于 20 个，计算 RMSE；RTK 应验证高程基准与精度
普通室内场景	$\leq 5\text{ cm}$	$\leq 5\text{ cm}$	独立检查点不少于 20 个，计算 RMSE

8.2.1.2 精度评价时，应选取具有代表性的控制点进行检测，检测点数量不宜少于 20 个。检查点应独立于建图控制点和优化约束，均匀覆盖边界、转角、长走廊、拼接区及高程变化区；每层或独立分区不少于 20 个，无法布点时应采用不少于 20 组独立可测几何特征并说明方法。检测设备的扩展测量不确定度宜 $\leq$ 被测限值的 1/3，不足时应降低结论置信程度或更换测量设备。

8.2.1.3 应同时报告偏差、RMSE、P95 和最大误差。基准对齐仅允许预先规定的刚体转换，不应通过缩放或局部非刚性变形压低误差。关键对接和安全边界应按任务要求采用更严格限值。

8.2.2 点云密度要求

8.2.2.1 点云密度应满足机器人定位、环境识别和导航需求，并符合表 10 的规定。

表 10 点云密度要求

环境复杂程度	典型区域	点云密度
高复杂度区域	设备间、狭窄通道、复杂结构区域	≥ 600 点/m ²
一般区域	大厅、办公区域、普通通行区域	≥ 200 点/m ²
低复杂度区域	开放道路、停车区域、园区空旷区域	≥ 80 点/m ²

8.2.2.2 点云密度按有效静态可观测表面积统计，不以项目占地面积代替。采用局部表面窗口统计有效点数；不足的边界窗口按实际面积归一化。应记录降采样体素边长、有效表面范围和遮挡排除规则，避免重复点或多回波重复计数虚增密度。各质量分区至少的有效窗口应达到表列密度，关键定位与通行边界窗口应全部达到；整体平均密度达标不能替代局部验收。

8.2.3 点云完整性要求

8.2.3.1 点云地图应覆盖机器人运行区域内的主要空间结构信息。

8.2.3.2 点云数据不应存在影响机器人定位、导航和环境识别的明显缺失、异常噪声或冗余数据。

8.2.4 动态目标残留要求

8.2.4.1 动态环境中构建点云地图时，应降低行人、车辆等动态目标对地图质量的影响。

8.2.4.2 最终地图中动态目标残留点云数量占点云总数量的比例不宜超过 0.5%。

8.2.4.3 机器人主要运行区域内不应存在影响定位、导航和通行的动态目标残留。

8.2.4.4 动态残留率的分子为经多时相数据或人工核验确认的动态残留点，分母为最终同一有效范围内的全部有效点。应全量筛查并对候选聚类人工确认；关键通道即使残留率低于 0.5% 仍不应存在阻碍通行或导致错误连接的残留。点云地图质量验证方法示例见附录 B。

8.3 二维栅格地图质量要求

8.3.1 栅格分辨率要求

8.3.1.1 二维栅格地图分辨率应根据机器人尺寸、定位精度和路径规划需求确定，并符合表 11 的规定。占用阈值设置、通行边界误差评价及通道净宽验证方法见附录 B。

表 11 二维栅格地图分辨率要求

应用场景	地图分辨率
室内精细导航场景	≤ 0.05 m
普通室内导航场景	≤ 0.10 m
室外区域导航场景	≤ 0.20 m

8.3.1.2 占用阈值应记录在元数据中，满足 $0 \leq \text{free_thresh} < \text{occupied_thresh} \leq 1$ 。狭窄通道不应仅因符合表列分辨率就认定可通行。直线通道可通行净宽宜满足机器人含附件的最大宽度加两侧经验证的横向误差上界及每侧净距；弯道应基于完整扫描外廓检查。

8.3.2 空间状态表达要求

8.3.2.1 二维栅格地图应正确表达机器人运行区域内的占用状态，包括障碍物区域、可通行区域和未知区域。

8.3.2.2 栅格占用状态应与实际环境相对应，不应存在影响机器人定位、路径规划或避障的错误表达。

8.3.3 通行区域连续性要求

8.3.3.1 二维栅格地图中的可通行区域应保持空间连续，满足机器人路径规划需求。

8.3.3.2 不应因地图数据缺失、异常或处理错误导致机器人可通行区域出现非实际的断裂、封闭或错误连通。

8.3.3.3 通行边界误差 P95 应不超过对应场景平面精度限值，且不应占用已分配的安全净距。关键走廊、负障碍和禁行边界应全量比对；其他区域至少检查 30 处边界或全部边界中较少者。二维栅格地图质量验证方法示例见附录 B。

8.4 语义地图质量要求

8.4.1 语义对象完整性

8.4.1.1 语义地图应包含与机器人定位、导航、任务执行相关的环境对象。

8.4.1.2 关键语义对象不应遗漏，包括但不限于：

- a) 出入口；
- b) 楼梯、电梯；
- c) 充电设施；
- d) 禁行区域；
- e) 任务目标区域。

8.4.1.3 关键语义对象完整率、禁行属性正确率及楼层归属正确率应为 100%。

8.4.1.4 应记录核验对象总数、错误数和空间误差。少于 50 个对象时宜全量核验，否则至少抽查 30 个并覆盖全部类别。

8.4.2 语义属性一致性

8.4.2.1 语义对象类别应与实际环境相符合。

8.4.2.2 语义对象空间位置应与实际位置保持一致。

8.4.2.3 语义对象属性信息应满足机器人运行和任务执行需求。其他对象类别及必填属性正确率宜 $\geq 98\%$ 。

8.4.2.4 语义对象位置 P95 应不超过对应场景平面精度限值或一个栅格宽度中的较小者；对接点、危险边界应执行任务专用限值。标注置信度不足、类别冲突或跨楼层歧义应进入人工复核，不应自动改写已审核安全约束。语义地图质量验证方法示例见附录 B。

8.5 拓扑地图质量要求

8.5.1 拓扑关系完整性

8.5.1.1 拓扑地图应正确表达具有导航意义的区域、节点及其连接关系。

8.5.1.2 拓扑关系不应存在影响机器人路径规划的错误连接、缺失连接或不可达连接。

8.5.1.3 发布前应自动检测全部拓扑引用、重复标识和悬空边，错误数应为 0。

8.5.2 路径一致性

8.5.2.1 拓扑路径关系应符合实际空间通行条件。

8.5.2.2 多区域、多楼层环境中，拓扑地图应正确表达区域之间及楼层之间的通行关系。

8.5.2.3 关键任务路线及所有楼层转换边应开展几何通行核查。应分别验证允许路线可达、禁止路线不可达；非连通功能区可存在，但应声明原因和服务范围。

8.6 质量验证方法

8.6.1 自动检测

8.6.1.1 数字地图质量验证宜采用自动化检测方法。

8.6.1.2 自动检测内容宜包括：

- a) 空间精度计算；
- b) 数据完整性检查；
- c) 点云密度统计；
- d) 空间一致性分析。

8.6.2 人工检查

8.6.2.1 人工检查宜通过地图可视化工具开展。

8.6.2.2 人工检查内容宜包括：

- a) 地图覆盖范围；
- b) 环境对象表达情况；
- c) 关键区域数据质量；
- d) 语义标注情况。

8.6.3 实机验证

8.6.3.1 数字地图发布前，宜通过机器人实际运行验证地图适用性。

8.6.3.2 实机验证结果应满足机器人定位、导航及任务执行需求。

8.6.3.3 实机验证宜包括：

- a) 定位稳定性测试；
- b) 路径规划测试；
- c) 避障测试；
- d) 任务执行测试。

8.6.3.4 定位稳定性测试、路径规划测试和避障测试的试验条件及方法，宜参照 GB/T 38834.2 执行。

8.6.3.5 定位动态误差应使用独立真值逐时比较测量，不应以最终到点误差代替全程定位误差。

8.6.3.6 定位动态误差指标宜满足：普通室内 $P95 \leq 0.10 \text{ m}$ 及 2° ，室外一般区 $P95 \leq 0.20 \text{ m}$ 及 3° 。精细对接场景的定位动态误差限值按业务要求确定。

8.6.3.7 重定位宜测试不少于 30 次，成功率宜 $\geq 95\%$ 。

8.6.3.8 成功条件为 30 s 内恢复且保持在适用定位误差阈值内不少于 5 s；应分别报告成功次数、总次数、耗时 $P95$ 及失败样本，失败试验不应从分母剔除。

8.6.3.9 导航任务宜至少开展 50 次，完成率宜 $\geq 98\%$ ，发生碰撞、越过禁行边界、跨楼层误定位或无保护持续失定位的次数应为 0。

8.6.4 验收流程与报告要求

8.6.4.1 验收应依次完成格式与校验、独立几何、语义拓扑和实机测试。任一关键安全约束不合格时不应以总体平均值掩盖，应整改后复验问题区域及关联路线。

8.6.4.2 报告应记录阈值来源、适用等级、仪器、环境、原始数据、样本量、计算方法、软件版本、结果和审核人。

9 数字地图存储与应用要求

9.1 存储要求

9.1.1 存储结构要求

9.1.1.1 数字地图数据应采用结构化方式进行组织和存储，并应支持地图数据、元数据及质量信息的统一管理。

9.1.1.2 数字地图存储结构宜包括以下内容：

- a) 地图数据，用于存储点云地图、二维栅格地图、语义地图或拓扑地图数据；
- b) 元数据，用于描述地图标识、版本信息、坐标参考、数据类型等信息；
- c) 索引数据，用于支持地图数据查询、分块管理和快速加载；
- d) 质量信息，用于记录地图质量评价结果。

9.1.1.3 数字地图存储结构示例见附录 C。

9.1.2 文件管理要求

9.1.2.1 地图文件应具有唯一标识，并应包含版本信息。

9.1.2.2 地图文件命名应能够反映地图类型、版本或其他必要信息。

9.1.2.3 地图数据与关联元数据之间应保持一致。

9.1.2.4 交付包应具有清单文件，记录各文件大小、SHA-256 校验值、必需依赖及格式版本。读取前应 100%校验必需文件。

9.1.2.5 存储宜采用原始层、处理层和发布层分离。

9.2 地图应用要求

9.2.1 地图加载要求

9.2.1.1 数字地图应用时，应根据机器人运行区域、任务需求及计算资源情况加载适宜范围和精度等级的地图数据。

9.2.1.2 大范围地图宜支持：

- a) 按区域加载；
- b) 按层级加载；
- c) 按任务需求加载。

9.2.1.3 地图加载过程中，应保持坐标参考、版本信息和数据完整性一致。

9.2.1.4 地图加载和切换应先校验地图标识、坐标系、楼层、外参版本及依赖关系，再整体生效。地图包中几何、栅格、语义和拓扑应使用同一发布版本；不完整或校验不一致时应拒绝激活并保持上一可用版本。

9.2.1.5 加载时间应在声明的地图规模和终端配置下测量，P95 宜 ≤ 5 s；不能满足时应采用分块预加载。

9.2.2 机器人应用要求

9.2.2.1 数字地图应支持机器人定位、导航、路径规划和任务执行等应用。

9.2.2.2 地图应用过程中，应满足以下要求：

- a) 地图空间位置与机器人运行环境一致；
- b) 可通行区域表达应满足机器人运行需求；
- c) 语义信息和拓扑关系满足任务执行需求。

9.2.3 地图修改要求

9.2.3.1 数字地图使用过程中，宜支持对地图对象的修改，包括几何数据、语义属性、拓扑关系及运行规则的修改。

9.2.3.2 地图修改应满足以下要求：

- a) 修改后的地图应保持对象标识的稳定性；
- b) 修改涉及安全相关对象时，应经人工审核后方可生效；
- c) 修改应记录修改内容、修改时间及修改依据；
- d) 修改后的地图应按第 8 章要求进行质量验证。

9.2.3.3 地图修改可生成补丁版本，补丁版本应记录其基于的基准版本及修改内容清单。

10 数字地图管理与运维要求

10.1 版本管理要求

10.1.1 版本标识

数字地图应建立版本管理机制。地图版本信息至少应包括：地图标识、版本编号、创建时间、更新时间、数据范围、版本状态。

10.1.2 版本更新

10.1.2.1 出现以下情况时，应生成新的地图版本：

- a) 空间数据发生变化；
- b) 语义信息发生变化；
- c) 坐标参考发生变化；
- d) 数据组织格式发生变化；
- e) 地图扩展或合并导致地图范围或内容发生变化；
- f) 影响机器人定位、导航或任务执行的其他变化。

10.1.2.2 地图版本更新时，应记录版本变更内容。历史版本地图宜保留，并支持版本追溯。至少保留最近 3 个验收版本。

10.1.3 版本回滚

回滚应恢复全部地图层及参数，宜在 60 s 内完成并复核定位。地图版本状态管理及管理权限示例见附录 F。

10.2 更新维护要求

10.2.1 更新要求

数字地图宜采用增量更新方式，支持局部区域更新。地图更新过程中，应保持未变化区域的数据一致性。增量更新的具体技术要求见 6.6。

10.2.2 紧急更新

发现禁行边界、负障碍、通道净宽或楼层连接变化时，应立即将影响区域标记不可用或实施现场限制，复验通过前不应仅等待例行更新。

10.2.3 更新验证

地图更新后，应对更新区域开展质量验证。验证内容宜包括：空间位置一致性、数据完整性、语义信息准确性、机器人应用适用性。更新验证应覆盖变化区、拼接边界及受影响路线，并抽查稳定锚点；不合格时不应发布。

10.3 异常处理要求

10.3.1 异常分类

数字地图运行过程中出现数据异常、加载异常、定位异常或安全风险时，应开展异常识别、原因分析、处置和效果验证。异常应按数据、加载、定位及安全问题分类，记录影响范围并采取限制运行、恢复文件、重标定或更新措施。

10.3.2 异常处理

地图运行异常处理宜包括：

- a) 定位异常处理，包括地图版本检查、坐标参数校验、传感器标定信息检查及地图更新等措施，处理后应对机器人定位结果进行验证；
- b) 加载异常处理，包括数据完整性检查、文件恢复、重新加载或数据重新传输等措施，处理后应验证地图数据的完整性及加载结果；
- c) 数据安全异常处理，包括权限检查、访问控制调整和安全风险处置等措施，处理后应验证异常风险是否得到有效处置。

10.3.3 异常记录与恢复

10.3.3.1 异常处理过程应形成记录，记录内容宜包括：异常时间、异常类型、异常原因、处置措施、处理结果。

10.3.3.2 定位、楼层或版本无法确认时，应进入已验证的安全状态。恢复运行前应核验版本、时钟和标定参数，并完成局部复验。

10.3.4 安全防护要求

数字地图相关系统的网络安全防护要求应根据应用场景、业务重要程度和数据敏感程度确定，并应符合 GB/T 22239 的相关要求。数据传输应使用加密通道，更新包应验证来源和完整性。

附录 A
(资料性)
数字地图数据格式示例

A.1 PCD格式

A.1.1 文件头

PCD 格式文件头宜采用 ASCII 文本表示，并包括表 A.1 所列字段。

表 A.1 PCD 文件头字段

字段	数据类型	说明
VERSION	字符串	表示版本信息，如“0.7”或“PCD_V7”
FIELDS	字符串数组	定义点云数据字段，至少包括 x、y、z，可扩展其他字段
SIZE	整数数组	表示各字段数据长度，单位为字节
TYPE	字符数组	表示各字段数据类型，I 表示 int，U 表示 unsigned，F 表示 float
COUNT	整数数组	表示各字段数据元素数量，通常为 1
WIDTH	整数	表示点云宽度，即每行点数
HEIGHT	整数	表示点云高度，1 表示无序点云，大于 1 表示有序点云
POINTS	整数	表示点云总点数
DATA	字符串	表示数据存储方式，如 ascii、binary 或 binary_compressed

A.1.2 数据体

- A.1.2.1 PCD格式数据体宜包括空间坐标数据。空间坐标x、y、z宜采用32位浮点数表示。
- A.1.2.2 包含颜色信息时，RGB宜采用无符号32位整数表示；包含反射强度信息时，Intensity宜采用32位浮点数表示。
- A.1.2.3 采用压缩二进制方式存储时，DATA字段宜标识相应的压缩存储方式。

A.2 LAS格式

- A.2.1 LAS格式数据宜对公共头块、变长记录和点数据记录进行组织。
- A.2.2 公共头块宜包括：
 - a) 文件签名；
 - b) 版本信息；
 - c) 点数据记录格式；
 - d) 点数据总数；
 - e) X、Y、Z 方向的最小值和最大值。
- A.2.3 变长记录可用于存储坐标参考系统、传感器元数据及其他附加信息。
- A.2.4 点数据记录宜包含三维空间坐标，并可根据应用需求包含强度、返回序号、分类、颜色及其他属性。

A.3 PGM及YAML格式

A.3.1 PGM格式

A. 3. 1. 1 采用PGM格式存储二维栅格地图时，可采用二进制P5格式存储单通道灰度图像。

A. 3. 1. 2 采用与ROS兼容的地图表达方式时，像素值宜按照表A. 2进行解释。

表 A. 2 PGM 像素值语义

像素值	语义
0	空闲
100	障碍物
-1	未知区域
其他值	无意义

A. 3. 2 YAML元数据

采用YAML格式描述二维栅格地图元数据时，宜提供表A. 3所列字段。

表 A. 3 YAML 元数据字段

字段	数据类型	说明
image	字符串	关联栅格图像文件
resolution	数值	栅格空间分辨率，单位为 m/pixel
origin	数值数组	地图原点位置及姿态
occupied_thresh	数值	占用状态判定阈值
free_thresh	数值	空闲状态判定阈值
negate	整数	图像像素值反转标志

A. 4 语义地图JSON格式

A. 4. 1 语义地图字段的必填性及取值约束宜通过数据模式检查。

A. 4. 2 单个语义要素宜包括表A. 4所列字段。geometry宜采用GeoJSON式type与coordinates结构；使用局部坐标时应明确其frame_id和单位，不宜默认按经纬度解释。

表 A. 4 语义地图数据字段

字段	数据类型	说明
id	字符串	语义要素唯一标识，同一地图生命周期内唯一且稳定
type	字符串	语义要素类型，取值应符合类别字典
geometry	对象	几何类型及坐标，含 type 和 coordinates 两个子字段
properties	对象	语义要素属性，键值对形式，按键类型定义
frame_id	字符串	坐标系标识，应与地图空间参考一致
floor_id	字符串	所属楼层，室外按统一约定编码
source	对象	来源及采集记录引用，含来源类型、引用地址、采集时间
review	对象	审核状态、审核人及核验时间
validity	对象	规则生效及失效时间；长期有效应显式声明
relations	数组	包含、邻接及拓扑连接引用

A. 4. 3 语义要素类型可采用表A. 5所列编码。

表 A.5 典型语义要素类型

编码	含义
virtual_wall	虚拟墙
restricted_area	限行区域
charger	充电设施
task_point	任务点
service_point	服务点
entrance	出入口
elevator	电梯
fire_facility	消防设施
sanitation_facility	卫生设施
obstacle	障碍物
lope_up	上坡
slope_down	下坡
slow_zone	路口减速区
vegetation	草丛

A.5 拓扑地图JSON格式

A.5.1 拓扑地图采用JSON格式表达时，基本结构宜包括map_id、version、nodes和edges。

A.5.2 拓扑节点宜包括表A.6所列字段。

表 A.6 拓扑节点数据字段

字段	数据类型	说明
id	字符串	节点唯一标识
name	字符串	节点名称
position	数组	节点空间位置
floor	字符串	所属楼层
type	字符串	节点类型

A.5.3 拓扑连接关系宜包括表A.7所列字段。

表 A.7 拓扑连接关系数据字段

字段	数据类型	说明
id	字符串	连接关系唯一标识
source	字符串	起始节点
target	字符串	目标节点
direction	字符串	通行方向
distance	数值	节点间距离
cost	数值	路径代价
condition	对象	通行条件

附录 B

（资料性）

数字地图质量验证方法示例

B.1 概述

B.1.1 数字地图质量验证可结合地图类型、应用场景和实际需求，采用自动检测、人工检查和机器人实机验证等方式开展。本附录给出不同类型数字地图的质量验证方法示例。

B.1.2 验证记录模板宜包含：项目匿名标识、区域及楼层、地图版本、机器人配置、仪器与校准信息、适用阈值、样本数量、误差原始值、统计结果、异常、整改、复验和审核结论。验收样本应在测试前冻结，避免结果导向筛选。

B.2 点云地图质量验证

B.2.1 几何精度验证

B.2.1.1 几何精度验证宜包括以下步骤：

- a) 建立真值并冻结检查点；
- b) 加载发布地图且只应用既定坐标转换；
- c) 逐点读取误差；
- d) 计算平面及高程 RMSE、P95、最大值；
- e) 逐区比较第 8 章限值；
- f) 保存错误点分布与复验记录。

B.2.1.2 点到平面误差宜按式（B.1）计算：

$$e_i = |n_i^T(Rp_i + t - q_i)| \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- e_i ——点到平面误差，单位为米（m）；
- n_i ——单位法向；
- q_i ——参考平面上的点；
- R ——旋转矩阵；
- t ——平移向量；
- p_i ——待检测点坐标。

B.2.1.3 该残差仅度量法向误差，宜结合独立角点或控制点检查平面内漂移；全为平行平面的场景不宜据此验证全部平移自由度。

B.2.1.4 基准对齐仅允许预先规定的刚体转换，不宜通过缩放或局部非刚性变形压低误差。关键对接和安全边界宜按任务要求采用更严格限值。

B.2.2 点云完整性验证

点云完整性验证宜检查点云覆盖范围、缺失区域和异常点情况。

B.2.3 点云质量分析

B.2.3.1 点云质量分析宜采用点云处理软件进行噪声、密度和重叠区域分析。

B.2.3.2 点云密度宜按有效静态可观测表面积统计，不以项目占地面积代替。宜采用局部表面窗口统计有效点数；不足的边界窗口按实际面积归一化。宜记录降采样体素边长、有效表面范围和遮挡排除规则，避免重复点或多回波重复计数虚增密度。

B.2.3.3 示例工具包括但不限于：

- a) CloudCompare;
- b) PCL (Point Cloud Library);
- c) 其他点云分析工具。

B.3 二维栅格地图质量验证

B.3.1 栅格完整性检查

栅格完整性检查宜核对栅格覆盖范围、缺失区域和异常栅格。

B.3.2 分辨率与坐标参数检查

B.3.2.1 分辨率与坐标参数检查宜核对栅格分辨率、地图原点、地图范围及坐标参考信息。

B.3.2.2 采用PGM格式时，0为占用，255为空闲，中间区间为未知。0.65及0.196仅为兼容配置示例，不是所有地图统一必用值。

B.3.3 占用状态合理性检查

占用状态合理性检查宜核对障碍物区域、可通行区域和未知区域的表达是否与实际环境一致。

B.3.4 通行区域连续性验证

B.3.4.1 通行区域连续性验证宜核对可通行区域是否保持空间连续，是否存在非实际的断裂、封闭或错误连通。

B.3.4.2 直线通道可通行净宽宜满足机器人含附件的最大宽度加两侧经验证的横向误差上界及每侧净距；弯道宜基于完整扫掠外廓检查。地图静态净距不宜替代动态避障及制动距离设计。

B.3.5 机器人加载验证

B.3.5.1 机器人加载验证宜将地图加载至目标机器人系统，验证地图可解析性、可加载性及导航可用性。

B.3.5.2 示例工具包括但不限于：

- a) ROS 导航相关工具；
- b) 地图可视化工具；
- c) 自研地图管理平台。

B.4 语义地图质量验证

B.4.1 验证顺序

语义验收宜先检查字段与标识引用，再核对对象、位置、属性及运行规则。关键对象应全量核查，其他对象按第8章抽查。应记录对象标识、证据、错误类型和结论。

B.4.2 规则测试

规则测试宜覆盖允许通行、禁止通行、时段失效、机器人类型不匹配及跨楼层引用。禁止路线应不可达；未审核和失效对象不应进入自动任务配置。巡检点应验证可达性及观测姿态。

B. 4. 3 统计指标

B. 4. 3. 1 语义完整率按式（B. 2）计算：

$$\text{语义完整率} = \frac{\text{正确存在的应有对象数}}{\text{应有对象总数}} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{B. 2})$$

B. 4. 3. 2 属性正确率按式（B. 3）计算：

$$\text{属性正确率} = \frac{\text{全部必填属性正确的对象数}}{\text{已核验对象数}} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{B. 3})$$

B. 4. 3. 3 路线完成率按式（B. 4）计算：

$$\text{路线完成率} = \frac{\text{无人工救援完成次数}}{\text{全部预设试验次数}} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{B. 4})$$

B. 4. 3. 4 宜报告分子和分母，样本不足时不宜仅提供百分比。

附录 C
(资料性)
数字地图存储结构示例

C.1 概述

数字地图数据可根据地图类型、应用场景及系统部署方式采用不同方式进行组织和存储。

本附录给出一种典型数字地图文件组织结构示例，用于说明地图数据文件、元数据文件、索引文件及质量信息文件之间的关联关系。

实际应用中，可根据系统架构和应用需求进行调整。

C.2 数字地图文件组织结构示例

数字地图文件可采用如下层级结构组织：



C.3 文件说明

数字地图文件说明见表 C.1。

表 C.1 数字地图文件说明

文件名称	文件类型	主要内容
metadata.json	JSON	地图基本信息、版本信息、坐标参考信息
map.pcd	PCD	三维点云地图数据
map.pgm	PGM	二维栅格地图图像数据
map.yaml	YAML	二维栅格地图参数信息
semantic.json	JSON	语义对象及属性信息
topology.json	JSON	节点、连接关系及通行属性信息
map_index.json	JSON	地图分块、索引及空间范围信息
quality_report.json	JSON	地图质量评价结果

C.4 地图元数据示例

地图元数据文件宜包含地图基本信息、空间参考信息、传感器与标定信息、质量信息及发布信息等内容。地图元数据 JSON 示例如下：

```
</> JSON
{
  "map_id": "example_map_001",
  "version": "1.0",
  "release_id": "release_20260101",
  "schema_version": "1.0",
  "map_type": ["pointcloud", "raster", "semantic", "topology"],
  "created_time": "2026-01-01T00:00:00Z",
  "updated_time": "2026-01-01T00:00:00Z",
  "coordinate_system": "local_coordinate",
  "frame_id": "map",
  "floor_id": "F1",
  "units": "m",
  "sensor_ids": ["lidar_01", "camera_01", "imu_01"],
  "calibration_id": "calib_20260101",
  "clock_source": "PTP",
  "time_sync_report": "sync_report_001.json",
  "quality_class": "A",
  "processing_version": "pipeline_v2.1",
  "checksum_manifest": "checksum_manifest.json",
  "robot_envelope": {
    "length": 0.8,
    "width": 0.6,
    "height": 1.2
  },
  "valid_area": "polygon_001"
}
```

C.5 地图索引文件示例

地图索引文件可用于支持大范围地图查询和分块加载。示例如下：

```
</> JSON
{
  "map_id": "example_map_001",
  "tiles": [
    {
      "tile_id": "001",
      "level": 1,
      "bounding_box": [
        0,
        0,
        100,
        100
      ],
      "file": "tile_001.pcd"
    }
  ]
}
```

C.6 二维栅格地图存储示例

二维栅格地图可采用图像文件与参数文件组合方式存储。其中：

- a) PGM 文件用于存储栅格占用状态；
- b) YAML 文件用于存储地图分辨率、原点位置及占用阈值等参数；
- c) 示例如下：

```
</> YAML
image: map.pgm
resolution: 0.05
origin: [0.0, 0.0, 0.0]
occupied_thresh: 0.65
free_thresh: 0.196
negate: 0
```

C.7 语义地图数据示例

语义地图可采用结构化数据格式表达。示例如下：

```
</> JSON
{
  "map_id": "example_map_001", "version": "1.0",
  "frame_id": "building_map", "floor_id": "F1",
  "dictionary_version": "1.0",
  "features": [{
    "id": "charger_001", "type": "charger",
    "frame_id": "building_map", "floor_id": "F1",
    "geometry": {"type": "Point", "coordinates": [10.5, 8.2, 0.0]},
    "properties": {
```

T/SZAS XXX—XXXX

```
        "target_yaw":0.0, "position_tolerance_m":0.03,
        "yaw_tolerance_rad":0.035, "robot_types":["robot_A"]
    },
    "source":{"method":"manual","record_id":"survey_001"},
    "review":{"
        "status":"approved", "reviewer_id":"reviewer_001",
        "checked_at":"2026-09-30T08:00:00Z"
    }
  }
}
```

C.8 拓扑地图数据示例

拓扑地图可采用节点—连接关系结构表达。示例如下：

```
</> JSON

{"map_id":"example_map_001","version":"1.0","nodes":[{"id":"node_001","position":[10,5],"floor":"F1",
"type":"room"}, {"id":"node_002","position":[12,5],"floor":"F1","type":"entrance"}], "edges":[{"id":"ed
ge_001","source":"node_001","target":"node_002","direction":"bidirectional","distance":2.0,"cost":2.0
,"condition":{"min_width":1.2}}]}
```

附录 D

(资料性)

传感器标定流程与验收方法

D.1 标定前检查

标定前宜检查传感器安装刚性、设备序列号和相机内参。当发生设备安装调整、镜头更换、焦距变更或设备碰撞后，宜重新对外参进行验证。

D.2 标定流程

D.2.1 外参标定宜采用粗初始化、特征提取、鲁棒优化与独立复验流程。可选用平面、角点或标靶约束。

D.2.2 开展标定工作时，宜检查场景共面、共线及几何退化问题。

D.3 标定场景与数据要求

联合标定宜采集不少于 20 组有效姿态数据，覆盖实际工作距离与视场不同位置；其中至少 5 组姿态数据独立保留用于复验，不参与参数优化。三维标定场景宜提供至少 3 个法向不共面的平面或等效空间约束。二维雷达标定应保证标靶与扫描平面有效相交。

D.4 标定验收指标

D.4.1 标定结果验收宜基于独立验证数据进行，并根据标定对象计算相应的几何误差或投影误差。相关误差应符合以下要求：

- a) 雷达间标定的点到平面均方根误差 (RMSE) 宜 ≤ 0.02 m，第 95 百分位误差 (P95) 宜 ≤ 0.05 m；
- b) 雷达与相机间标定的重投影均方根误差 (RMSE) 宜 ≤ 2.0 pixel，第 95 百分位误差 (P95) 宜 ≤ 4.0 pixel；
- c) 相机内参标定的重投影均方根误差 (RMSE) 宜 ≤ 0.5 pixel。

D.4.2 进行标定结果误差评价时，宜记录图像分辨率、验证距离及噪声水平等影响评价结果的条件。

D.4.3 宜开展不少于 3 次独立标定。任意两次标定结果的平移差值宜 ≤ 0.01 m，旋转差值宜 $\leq 0.1^\circ$ 。

D.4.4 标定验收宜同时核查几何残差与测量重复性。指标不达标时，宜重新布置标靶、增加有效约束并再次复验。重复性合格不宜替代绝对精度检验。

D.5 误差估算方法

D.5.1 外参影响可通过有效距离 r 、平移误差 δt 、旋转误差 $\delta \theta$ 估算，见式 (D.1)：

$$e_{ext} \leq \|\delta t\| + r \cdot |\delta \theta| \quad (D.1)$$

式中：

e_{ext} ——外参引入的位置误差，单位为米 (m)；

r ——有效测量距离，单位为米 (m)；

δt ——平移误差，单位为米 (m)；

$\delta \theta$ ——旋转误差，单位为弧度 (rad)。

D.5.2 运动误差可通过同步残余偏差 Δt 估算，见式 (D.2)：

$$e_{time} \leq (v + r \cdot |\omega|) \cdot |\Delta t| \quad (D.2)$$

式中：

e_{time} ——时间同步引入的位置误差，单位为米（m）；

v ——载体运动速度，单位为米每秒（m/s）；

r ——有效测量距离，单位为米（m）；

ω ——载体角速度，单位为弧度每秒（rad/s）；

Δt ——时间同步残余偏差，单位为秒（s）。

D.6 误差合成注意事项

存在相关性或系统性的误差分量，宜按上界相加。开展误差合成时，不宜未经误差独立性论证，直接采用平方和开根号方式合成误差。

附录 E

(资料性)

数字地图建图作业流程与参数示例

E.1 数据采集方法与参数

E.1.1 采集参数建议值

传感器采集参数宜为：激光雷达采样频率 ≥ 10 Hz、相机采样频率 ≥ 20 Hz、IMU 采样频率 ≥ 100 Hz、里程计采样频率 ≥ 30 Hz。采集参数低于上述指标的设备可通过降低采集速度，并经独立的质量验证后使用。

E.1.2 时间同步方法

E.1.2.1 多传感器宜采用硬件触发、PPS或PTP统一时基，并记录时钟源、时间戳生成位置、时钟锁定和失锁状态。采集作业时，不宜将主机接收时间直接视作传感器测量时间。对相机宜考虑曝光时间及滚动快门，对旋转雷达宜考虑逐点发射时刻。

E.1.2.2 用于运动融合的补偿后时间偏差宜满足预算，在不少于60 s记录中通过共同事件或可靠硬件测量核验。失锁或超出预算的数据宜标记不应用于精细融合，并停止该段采集或重新同步。不宜以单传感器设备时钟指标替代全链路时间同步核验。用于运动融合的补偿后时间偏差，P95宜 ≤ 1 ms、最大值宜 ≤ 5 ms。

E.1.3 采集作业参数

E.1.3.1 场景关键结构宜具备多方向观测数据；分区有效静态表面重叠率宜 $\geq 30\%$ ，并留存计算范围与判定依据。

E.1.3.2 采集运动参数宜满足：室内采集速度 ≤ 0.5 m/s，室外采集速度 ≤ 1.0 m/s，旋转角速度 ≤ 3 $^{\circ}$ /s；窄通道、弱特征及动态密集区域，宜降低采集运动速度。采集起始与结束阶段宜保持不少于10 s的静止状态，用于外参与时间同步校验。

E.1.3.3 有效数据包丢失率宜 $\leq 0.1\%$ 。数据采集过程中不宜存在影响配准的连续数据中断；数据缺口时长超过2个雷达帧周期时，宜开展该段数据复查与补采。

E.2 数据预处理方法

E.2.1 数据校验与时间校正

E.2.1.1 数据校验宜检查文件可解码性、字段、单位、时间戳、序号及传感器状态。时间倒退、重复帧、丢包、饱和及无效量测宜分别统计。

E.2.1.2 时间校正宜统一时基并估计偏移；存在漂移时宜分段补偿。IMU及位姿可在有效区间内插值，相机宜关联曝光时刻。超过允许缺口或时钟失锁区段不宜进行无约束外推，宜补采或隔离使用。

E.2.2 运动补偿

E.2.2.1 运动补偿宜将帧内点统一到参考时刻。可采用式 (E.1) 进行补偿：

$$p_r = T_{WS}(t_r)^{-1} T_{WS}(t_i) p_i \dots \dots \dots (E.1)$$

式中：

p_r ——参考时刻下目标点的坐标；

p_i ——测量时刻采集的原始点坐标；
 $T_{ws}(t)$ —— t 时刻传感器坐标系至世界坐标系的齐次变换矩阵；
 t_r ——参考时刻；
 t_i ——点的测量时刻。

E.2.2.2 宜利用独立静态平面检查补偿效果；轨迹不足时宜降低采集速度或重新采集。

E.2.3 点云处理

E.2.3.1 点云清洗宜依次执行无效值剔除、测距与视场裁剪、自身遮挡剔除、离群点过滤及体素降采样。参数宜依据设备有效范围和局部点密度确定，并检查薄障碍、边缘及远距离稀疏结构是否保留。

E.2.3.2 体素边长宜分别取0.01 m（室内精细）、0.05 m（普通室内）、0.10 m（室外一般）。统计离群过滤可从邻点数、标准差倍数进行调参；上述为初始参数，不作统一验收限值。半径过滤宜按距离和点密度分区设置。

E.2.4 多源传感器数据处理

E.2.4.1 图像预处理宜检查曝光、模糊及镜头遮挡，并按实际内参校正畸变。图像裁剪或缩放宜同步更新内参及像素坐标；几何融合影像不宜使用改变结构的增强或修复。失真和低质量帧宜隔离并记录。

E.2.4.2 IMU宜检查单位、轴向、偏置、量程饱和及数据连续性；初始化宜按设备要求估计偏置与重力方向。里程计宜校验轮径、轮距和方向，并识别打滑；GNSS宜记录解状态与协方差，异常跳变及低质量观测宜降权或剔除。

E.2.5 场景要素处理

E.2.5.1 地面分割宜采用高度、法向与局部平面联合判定；坡道和楼层宜分区建模。滤波不宜删除台阶、低矮及悬空障碍，负障碍不宜因无回波而标为空闲。玻璃和反射异常区域宜补充观测或人工核验。

E.2.5.2 动态剔除宜结合多时相占用一致性、运动轨迹与语义识别。稳定几何、临时障碍及实时状态宜分层管理；仅凭对象类别不宜删除静止车辆等实际占用。

E.3 地图生成方法

E.3.1 建图融合方法

E.3.1.1 建图宜采用激光、视觉、惯性及里程计融合，按观测可靠性分配权重，并以鲁棒损失抑制异常观测；室外可引入GNSS或控制点约束。

E.3.1.2 前端宜监测匹配残差及退化状态，后端宜采用位姿图或因子图优化。回环候选宜通过几何复核后加入。

E.3.1.3 弱特征、强光及GNSS遮挡区宜增加有效观测或外部约束；失去有效约束的区段宜标记并补采。

E.3.1.4 三维转二维宜依据地面模型及机器人扫掠高度保留障碍。坡道、多层空间宜采用分层栅格或高程模型，负障碍和玻璃边界宜复核。学习型地图可作扩展，但宜导出可检验的几何和通行约束。

E.3.2 语义地图生成方法

E.3.2.1 语义地图生成宜先确定类别字典及必填属性，再开展自动识别或人工标注。

E.3.2.2 空间落位宜使用已验收的坐标变换，将图像识别结果关联到点云或栅格几何。二维识别框不宜直接作为三维对象位置；缺少深度或尺度约束的对象宜保留待核验状态。

E.3.2.3 多次观测宜依据楼层、类别、空间范围及稳定特征合并同一对象，并保留观测来源。空间重叠但用途不同的对象宜分别建模；对象合并、拆分及关系变更宜记录版本。

E.3.2.4 审核宜检查类别、几何、属性、楼层及拓扑引用。巡检点宜关联服务对象、观测姿态和到达容差；出入口及电梯宜验证连接方向和接口条件；禁行边界宜核对实际危险范围。

E.4 地图优化方法与验收指标

分区拼接宜在未参与优化的重叠静态结构上复验，点到平面 RMSE 宜 ≤ 0.03 m、P95 宜 ≤ 0.05 m；精细区域宜执行更严格的第 8 章限值。宜记录对应点筛选规则及剔除比例，不宜通过过度剔除掩盖错层和双墙。

附 录 F
(资料性)
数字地图管理与运维示例

F.1 数据管理职责与权限

F.1.1 管理职责

F.1.1.1 数字地图管理宜覆盖地图数据创建、审核、发布、应用、更新、归档和注销等全过程。

F.1.1.2 数字地图管理主体宜明确数据管理职责，负责地图数据采集、整理、审核、发布、更新和版本维护等工作。宜指定专人担任地图管理员，负责日常管理及协调。

F.1.2 权限管理

F.1.2.1 数字地图数据访问宜根据用户角色、业务需求和数据敏感程度实施权限管理。

F.1.2.2 数字地图管理权限宜包括数据创建、审核、发布、修改、查询和使用等权限。

F.1.2.3 不同角色的权限范围和操作记录要求见表F.1。

表 F.1 数字地图权限管理示例

角色	权限范围	操作记录要求
管理员	地图生成、审核、发布、更新、权限配置等管理操作	记录操作时间、操作内容、操作结果
开发人员	地图查看、测试、格式转换等操作	记录操作时间、涉及地图标识
机器人终端	地图读取、加载和使用	记录使用时间、地图版本、终端标识
第三方使用方	经授权的数据访问和使用	记录访问时间、使用范围等信息

F.1.3 操作记录

F.1.3.1 地图数据操作宜形成操作记录，操作记录宜包括：

- a) 操作时间；
- b) 操作对象；
- c) 操作类型；
- d) 操作结果；
- e) 操作主体。

F.1.3.2 操作记录宜保留不少于180 d，实际期限宜结合适用规定及项目要求确定。

F.2 版本状态管理

F.2.1 状态划分

地图宜按草稿、验证、审核、灰度、正式和归档状态管理。各状态宜明确进入条件、退出条件及责任人。

F.2.2 状态转换要求

各状态的主要要求宜包括：

- a) 草稿：地图数据正在编辑或生成中，尚未提交验证；
- b) 验证：地图数据已完成初步处理，正在进行质量验证；
- c) 审核：地图数据已通过质量验证，等待人工审核；
- d) 灰度：地图数据已审核通过，在小范围机器人或区域内试用；
- e) 正式：地图数据已通过灰度验证，可全面发布使用；
- f) 归档：地图数据已被新版本替代，保留备查。

F.3 更新维护周期建议

F.3.1 非关键变化宜在确认后24 h内完成影响评估。

F.3.2 常态地图复核周期宜 ≤ 90 d，频繁变化区域宜 ≤ 30 d。上述为运维建议周期，责任方可按场景制定更严格时限。

F.4 质量维护记录

F.4.1 数字地图运行过程中，宜根据地图应用反馈、质量评价结果和环境变化情况开展持续优化。

F.4.2 质量问题宜记录现象、原因、责任人、整改措施及复验结果，并纳入维护档案。

F.4.3 质量问题处理过程宜形成记录，记录内容宜包括：

- a) 问题发现时间；
- b) 问题描述及影响范围；
- c) 原因分析；
- d) 整改措施；
- e) 复验结果及结论。

F.5 安全管理与审计备份

F.5.1 数据共享与访问控制

F.5.1.1 数字地图数据共享或提供第三方使用时，宜明确数据使用范围、访问权限和管理责任。

F.5.1.2 涉及商业场所、工业场所、公共设施等空间布局、设施位置和运行区域信息的数字地图数据，宜根据应用场景采取访问控制、授权管理和安全防护措施。

F.5.1.3 数字地图数据存储、传输和使用过程中，宜采取必要措施保障数据的完整性、可用性和可追溯性。

F.5.2 审计记录

F.5.2.1 操作审计记录宜保留不少于180 d，实际期限宜结合适用规定及项目要求确定。

F.5.2.2 审计记录宜包括操作时间、操作主体、操作对象、操作类型、操作结果及异常情况。

F.5.3 备份恢复演练

F.5.3.1 备份恢复演练宜至少每季度1次，宜验证地图文件、标定参数及质量证据同时可恢复。

F.5.3.2 备份内容宜包括：

- a) 地图数据文件；
- b) 元数据及版本信息；
- c) 标定参数及同步记录；
- d) 质量报告及审核记录。

F.5.3.3 恢复演练后宜记录演练时间、参与人员、恢复内容、恢复结果及发现问题。

参 考 文 献

- [1] GB/T 17966—2024 地理信息 元数据
 - [2] GB/T 28448—2012 全球导航卫星系统（GNSS）术语
 - [3] GB/T 30170—2013 地理信息 基于坐标的空间参照
 - [4] GB/T 35273—2020 信息安全技术 个人信息安全规范
 - [5] GB/T 39264—2020 机器人导航性能评估方法
 - [6] BS ISO 18646-2:2024 Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Part 2: Navigation
 - [7] ISO 19649:2017 Mobile robots — Vocabulary
 - [8] IEEE 1873-2015 IEEE Standard for Robot Map Data
 - [9] IEEE 2751-2025 IEEE Standard for 3D Map Data
 - [10] 龚子恺等 激光雷达外参数的自动标定. 激光与光电子学进展, 2023, 60(22); 平面约束与优化方法, 仿真结果不等于现场验收证据。
 - [11] 颜洪杰等 二维激光雷达与相机数据融合标定. 附件论文; 二维标靶与融合标定、重投影误差; 实验均值不转换为通用强制阈值。
 - [12] 陈广永等 自动匹配角点特征的激光雷达与光学相机标定方法. 激光杂志, 2025, 46(10); 角点自动匹配与迭代优化。
 - [13] 柳炳琦等 激光与视觉 SLAM 的算法综述. 激光与光电子学进展, 2026, 63(8); 融合、优化和学习方法路线。
-