
Magicbot-Z1 SDK Development Documentation

发布 1.2.2-doc1

MagicLab

2025 年 12 月 16 日

关于 MagicBot-Z1:

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 1 概述 | 1 |
| 1.1 部件名称 | 1 |
| 1.2 灵巧手 MagicHand S01 | 3 |
| 1.3 电气接口 | 4 |
| 1.4 机载计算机 | 6 |
| 1.5 雷达与相机的视场角 | 7 |
| 1.6 关节电机 | 9 |
| 1.7 自由度配置与坐标系、关节旋转轴、关节零点 | 9 |
| 1.8 规格参数 | 11 |
| 2 遥控器按键说明 | 13 |
| 2.1 按键示意图 | 14 |
| 2.2 遥控器设置 | 15 |
| 2.3 功能模式 | 15 |
| 2.4 姿态展示 | 16 |
| 2.5 充电说明 | 16 |
| 3 SDK 概述 | 17 |
| 3.1 SDK 通信接口介绍 | 17 |
| 3.2 获取 SDK | 18 |
| 4 软硬件架构 | 19 |
| 4.1 软件系统架构图 | 20 |
| 4.2 硬件系统架构图 | 21 |
| 5 服务介绍 | 23 |
| 6 快速开始 | 25 |
| 6.1 系统环境 | 25 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 6.2 网络环境 | 26 |
| 6.3 安装与编译 | 30 |
| 6.4 例程示例 | 31 |
| 6.5 Python 例程示例 | 32 |
| 6.6 其他 | 36 |
| 7 机器人主控制服务 C++ | 37 |
| 7.1 接口定义 | 37 |
| 8 高层运动控制服务 C++ | 43 |
| 8.1 接口定义 | 43 |
| 8.2 类型定义 | 46 |
| 8.3 枚举类型定义 | 46 |
| 8.4 遥控器示意图 | 47 |
| 8.5 头部运动范围示意图 | 48 |
| 8.6 高层运动控制机器人状态介绍 | 48 |
| 8.7 高层运动控制接口 | 49 |
| 9 底层运动控制服务 C++ | 51 |
| 9.1 接口定义 | 51 |
| 9.2 类型定义 | 57 |
| 9.3 URDF 参考 | 61 |
| 9.4 底层运动控制机器人状态介绍 | 61 |
| 9.5 注意事项 | 62 |
| 10 传感器控制服务 C++ | 63 |
| 10.1 接口定义 | 63 |
| 10.2 类型定义 | 70 |
| 10.3 注意事项 | 72 |
| 11 语音控制服务 C++ | 73 |
| 11.1 接口定义 | 73 |
| 11.2 类型定义 | 78 |
| 11.3 结构体定义 | 78 |
| 11.4 DOA | 79 |
| 11.5 注意事项 | 80 |
| 12 状态监控服务 C++ | 81 |
| 12.1 接口定义 | 81 |
| 12.2 错误码映射表 | 84 |
| 13 SLAM 导航控制服务 C++ | 87 |
| 13.1 接口定义 | 87 |
| 13.2 类型定义 | 95 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 13.3 枚举类型定义 | 96 |
| 13.4 SLAM 导航控制介绍 | 97 |
| 14 机器人主控制服务 Python | 99 |
| 14.1 接口定义 | 99 |
| 15 高层运动控制服务 Python | 105 |
| 15.1 接口定义 | 105 |
| 15.2 类型定义 | 108 |
| 15.3 枚举类型定义 | 108 |
| 15.4 遥控器示意图 | 109 |
| 15.5 头部运动范围示意图 | 110 |
| 15.6 高层运动控制机器人状态介绍 | 110 |
| 15.7 高层运动控制接口 | 111 |
| 16 底层运动控制服务 Python | 113 |
| 16.1 接口定义 | 113 |
| 16.2 类型定义 | 119 |
| 16.3 URDF 参考 | 123 |
| 16.4 底层运动控制机器人状态介绍 | 123 |
| 16.5 注意事项 | 123 |
| 17 传感器控制服务 Python | 125 |
| 17.1 接口定义 | 125 |
| 17.2 数据类型 | 131 |
| 17.3 注意事项 | 133 |
| 18 语音控制服务 Python | 135 |
| 18.1 接口定义 | 135 |
| 18.2 类型定义 | 139 |
| 18.3 结构体定义 | 140 |
| 18.4 DOA | 141 |
| 18.5 注意事项 | 141 |
| 19 状态监控服务 Python | 143 |
| 19.1 接口定义 | 143 |
| 19.2 错误码映射表 | 146 |
| 20 SLAM 导航控制服务 Python | 149 |
| 20.1 接口定义 | 149 |
| 20.2 类型定义 | 157 |
| 20.3 枚举类型定义 | 158 |
| 20.4 SLAM 导航控制介绍 | 159 |

| | |
|---|------------|
| 21 高层运动控制示例 | 163 |
| 21.1 C++: | 163 |
| 21.2 Python | 169 |
| 21.3 运行说明 | 179 |
| 22 底层运动控制示例 | 181 |
| 22.1 C++: | 181 |
| 22.2 Python | 184 |
| 22.3 运行说明 | 193 |
| 23 传感器控制示例 | 195 |
| 23.1 C++ | 195 |
| 23.2 Python | 208 |
| 23.3 运行说明 | 223 |
| 24 语音控制示例 | 225 |
| 24.1 C++ | 225 |
| 24.2 Python | 233 |
| 24.3 运行说明 | 245 |
| 25 状态监控示例 | 247 |
| 25.1 C++ | 247 |
| 25.2 Python | 249 |
| 25.3 运行说明 | 252 |
| 26 SLAM 导航示例 | 253 |
| 26.1 C++ | 253 |
| 26.2 Python | 278 |
| 26.3 运行说明 | 313 |
| 27 FAQ | 317 |
| 27.1 开发准备环境 | 317 |
| 27.2 支持无线开发吗? | 317 |
| 27.3 目前底层控制接口通讯频率是多少? | 317 |
| 27.4 SDK 无法订阅和发布话题数据? | 317 |
| 27.5 SDK 订阅话题数据频率不稳定? | 318 |
| 27.6 SDK 接口调用报错: Deadline Exceeded | 318 |
| 27.7 SDK 内部配置和日志如何查看? | 318 |
| 27.8 视频推流 | 319 |
| 27.9 SLAM 重定位失败? | 319 |
| 27.10 SLAM 导航不执行? | 319 |
| 27.11 运行报错: Invalid IP address | 320 |
| 27.12 日志报错打印: Call of pthread_setschedparam with insufficient privileges! | 320 |

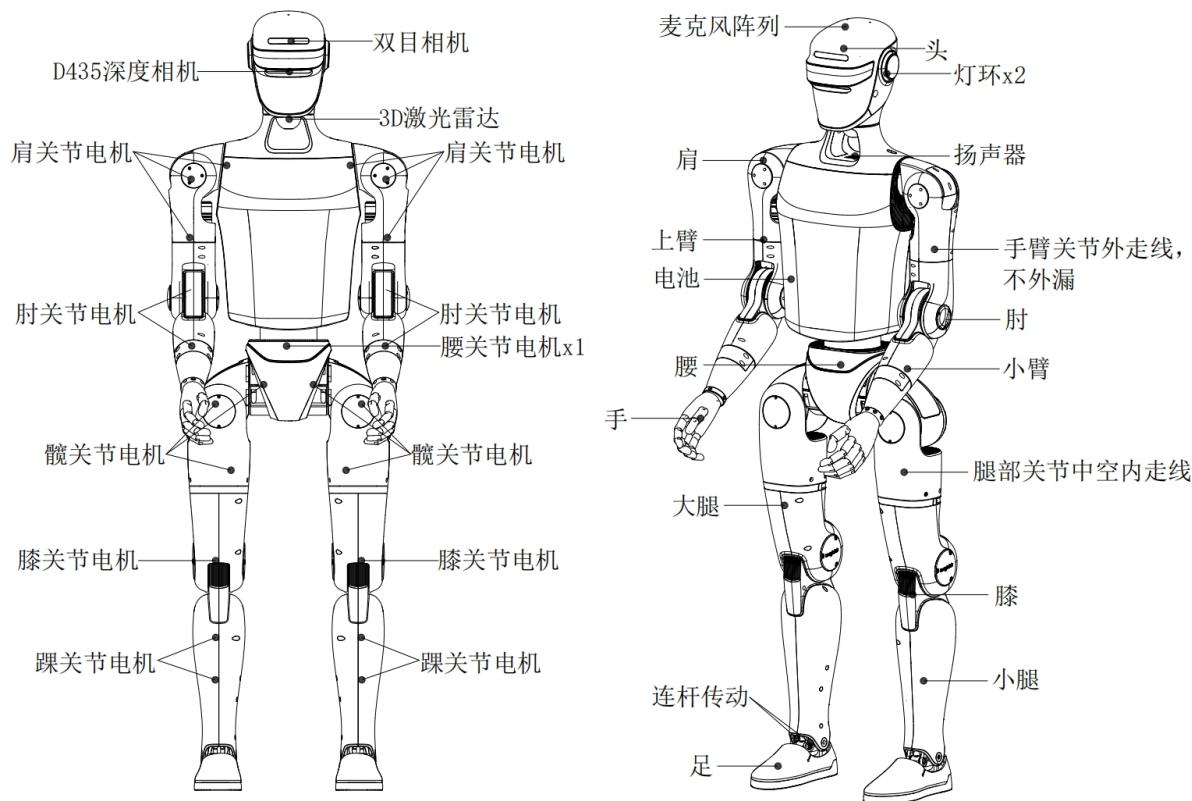
| | |
|---|-----|
| 27.13 connect 返回报错: Failed to connect to robot, code: ErrorCode.SERVICE_ERROR, message: failed to connect to all addresses; last error: UNKNOWN: ipv4:192.168.54.119:50051: Failed to connect to remote host: Connection refused | 320 |
| 27.14 如何查看机器本体软件版本? | 320 |
| 27.15 执行特技报错: Failed to execute robot trick, code: ErrorCode.SERVICE_ERROR, message: 优先级过低 | 322 |

CHAPTER 1

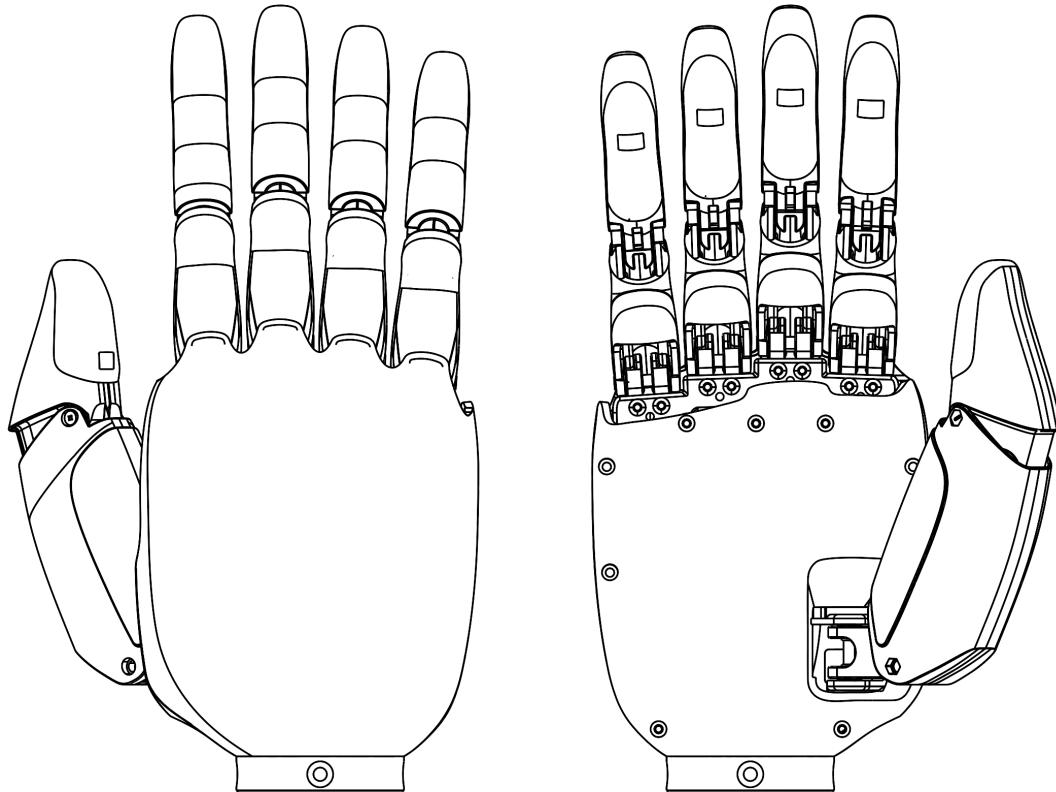
概述

1.1 部件名称

MagicBot Z1 整机分为上半身和下半身，具备多个自由度。头部具有 1 个自由度 (Yaw)。单手臂拥有 5+ 个自由度，包括肩身关节、上臂关节、手肘关节和腕关节（选配）。单腿拥有 6 个自由度，包括胯关节、腿关节、髋关节、膝关节和踝关节。腰部具备 1 自由度 (Yaw)。整机根据版本不同，可以分为 Z1 基础版本 24 自由度，Z1 开发版可选 24 ~ 50 自由度，拥有多个关节电机自由度，使得机器人能够实现精确的运动和姿态控制。MagicBot Z1_24 自由度人形机器人本体如下图所示，具体请以实物为准。



1.2 灵巧手 MagicHand S01



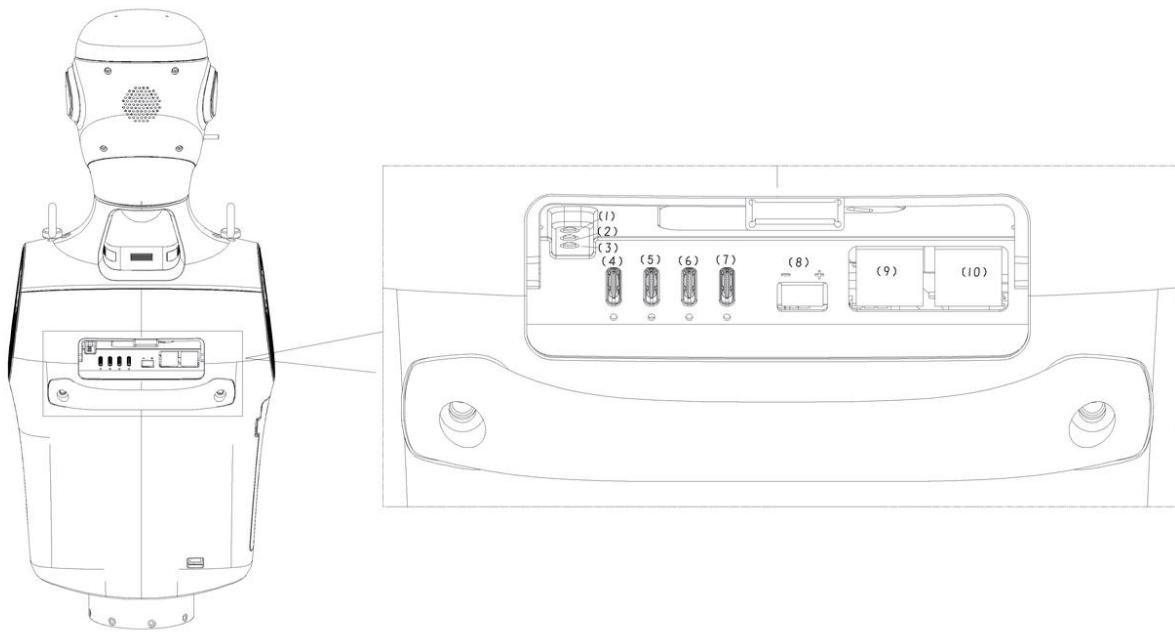
| 参数 | 规格参数 |
|------------|---|
| 长宽厚 | 200mm x 87mm x 55mm |
| 整手重量 | ≤650g |
| 指数 | 5 |
| 总自由度（关节数） | 11 |
| 主动自由度（电机数） | 6， 普指主动自由度：1；拇指主动自由度：2 |
| 关节角度 | 普指弯曲：13° ~ 203°；拇指弯曲：-9° ~ 66.6°；拇指侧摆：71° ~ 180°。 |
| 驱动方式 | 空心杯电机 + 减速齿轮箱 + T型丝杆 |
| 传动方式 | 连杆传动 |
| 可实现动作 | 捏合、抓握、按、提、推等拟人动作 |
| 工作电压 | DC12V |
| 静态电流 | 0.1A @12V |
| 最大电流 | 3A@12V |
| 接近觉方案 | ToF |
| 触觉传感器数量 | 5 个 |
| 触觉传感器维度 | 法向力、切向力 |
| 触觉传感器分辨率 * | 0.1N |
| 触觉传感器量程 | 0.1-10N |
| 单指握力 * | 2.5kg |
| 四指握力 * | 9.1kg |
| 整手负载 * | 5kg |
| 末端重复定位精度 * | 0.1mm |
| 张合时间 * | 1.2s |
| 拇指侧摆速度 * | 112°/s |
| 拇指弯曲速度 * | 106°/s |
| 四指弯曲速度 * | 150°/s |
| 通讯接口 | RS485、EtherCAT |
| SDK 语言 | C++ |
| 耐久性寿命 * | 10 万次以上 |

* 单指握力、四指握力、整手负载等参数为实验室环境下测得。

* 以上参数在不同业务场景和机型配置下可能存在差异，请以实际使用体验为准。

1.3 电气接口

MagicBot Z1 的背部配备了电气接口，这些接口用于连接各个机身关节电机、传感器外设、网口等。这样的设计使您能够方便地进行调试、排查问题以及进行二次开发。



| 序号 | 接口类型 | 接 口 名 称 | 使 用 说 明 |
|----|----------------|---------------|--|
| 1 | 按键 | 遥控器匹配 | 长按此按键，遥控器开机，开始配对，遥控器的蜂鸣器鸣叫完成配置，释放按键。具体可以参考遥控器的使用说明书。 |
| 2 | 按键 | 无线急停匹配 | 短按 3 次，进入配对模式，遥控器按任意键，可以匹配成功 |
| 3 | 按键 | 蓝牙配网按键 | 短按一次，进入蓝牙匹配模式 |
| 4 | Type-C | Type-C USB3.0 | 支持 USB3.0 Host，最大 5V/1.5A 输出 |
| 5 | Type-C | Type-C USB3.0 | 支持 USB3.0 Host，最大 5V/1.5A 输出 |
| 6 | Type-C | Type-C USB3.0 | 支持 USB3.0 Host，最大 5V/1.5A 输出 |
| 7 | Type-C | Type-C USB3.0 | 支持 USB3.0 Host，最大 5V/1.5A 输出 |
| 8 | XT30PW-M30.G.Y | VBAT | 直连电池输出，电压 54V，电流建议不超过 5A。注意正负极 |
| 9 | RJ45 | 1000Base-T | 支持 10/100/1000Mbps，支持调试 |
| 10 | RJ45 | 1000Base-T | 支持 10/100/1000Mbps，支持调试 |

1.4 机载计算机

MagicBot Z1 机载标配 1 块【运控计算单元】，并且标配一块【开发计算单元】。

| 参数 | 开发计算单元 |
|-----------|---|
| 型号 | Jetson Orin NX |
| CPU | Arm® Cortex®-A78AE |
| 内核数 | 8 |
| 线程数 | 8 |
| 最大睿频频率 | 2GHz |
| 显存 | 16G |
| 内存 | 16G |
| 缓存 | 2MB L2 + 4MB L3 |
| 存储 | 512G |
| GPU | 搭载 32 个 Tensor Core 的 1024 核 NVIDIA Ampere 架构 GPU |
| 显卡最大动态频率 | 918MHz |
| 高斯和神经加速器 | 3 |
| 指令集 | 64bit |
| OpenGL | 4.6 |
| OpenGL ES | 3.2 |
| Vulkan™ | 1.1 |
| CUDA | 11.4 |

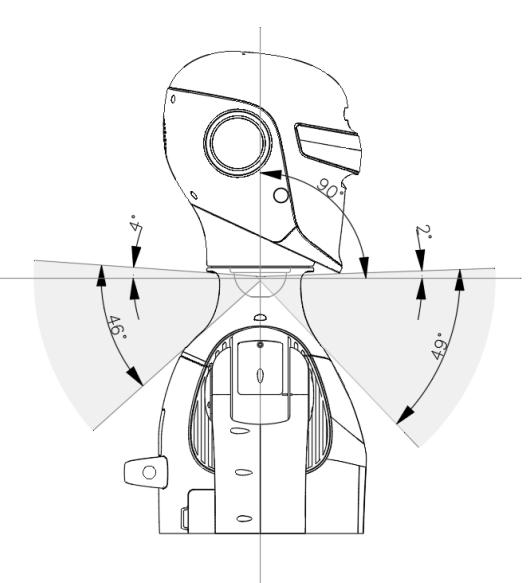
【运控计算单元】为魔法原子运动控制程序专用，不对外开放。开发者仅可使用【开发计算单元】进行二次开发。

1.5 雷达与相机的视场角

MagicBot Z1 头部搭载 LIVOX-MID360 激光雷达，为机器人提供了卓越的环境感知能力。激光雷达采用全方位、全角度的扫描技术，FOV 水平可达 360°，垂直最大 49°，能够实时获取精准的环境数据。它能够快速识别和测量周围的物体，提供高分辨率的点云数据。

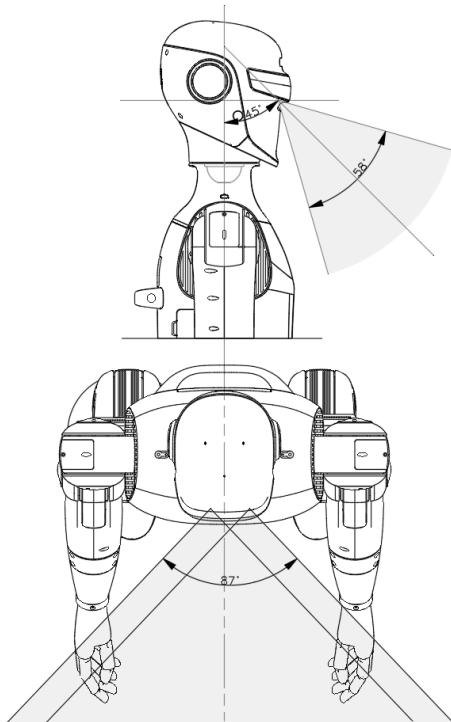
Z1 头部搭载 D435i 深度相机（FOV 水平 87°，垂直 58°）与双目鱼眼相机（FOV 水平 135°，垂直 75°）。为机器人提供了卓越的视觉感知能力，能够更准确地感知和理解周围环境，实现精确的空间感知和障碍物检测，使机器人能够更智能、灵活地与环境进行交互和应对各种场景。

视场示意图 1



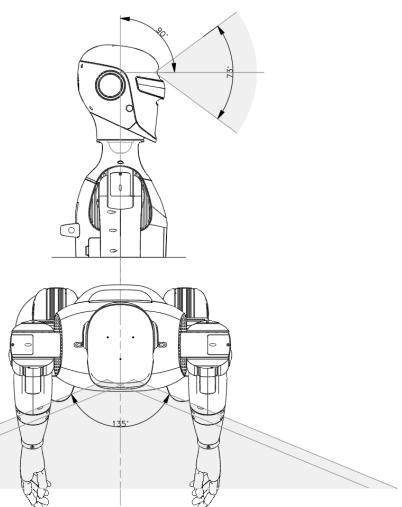
MID360 FOV

视场示意图 2



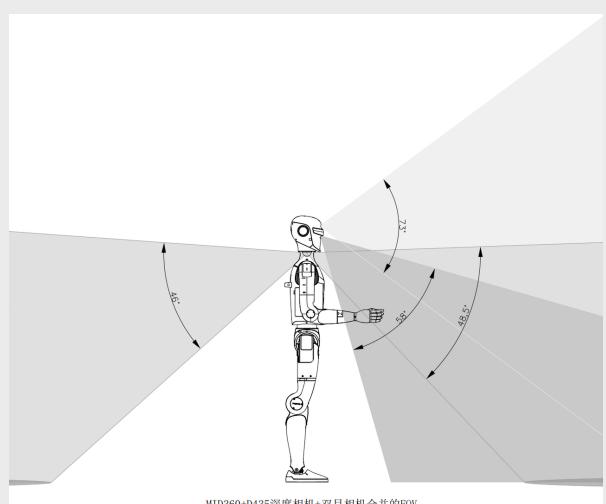
D435深度相机 FOV

视场示意图 3



双目相机 FOV

视场示意图 4



MID360+D435深度相机+双目相机合并的FOV

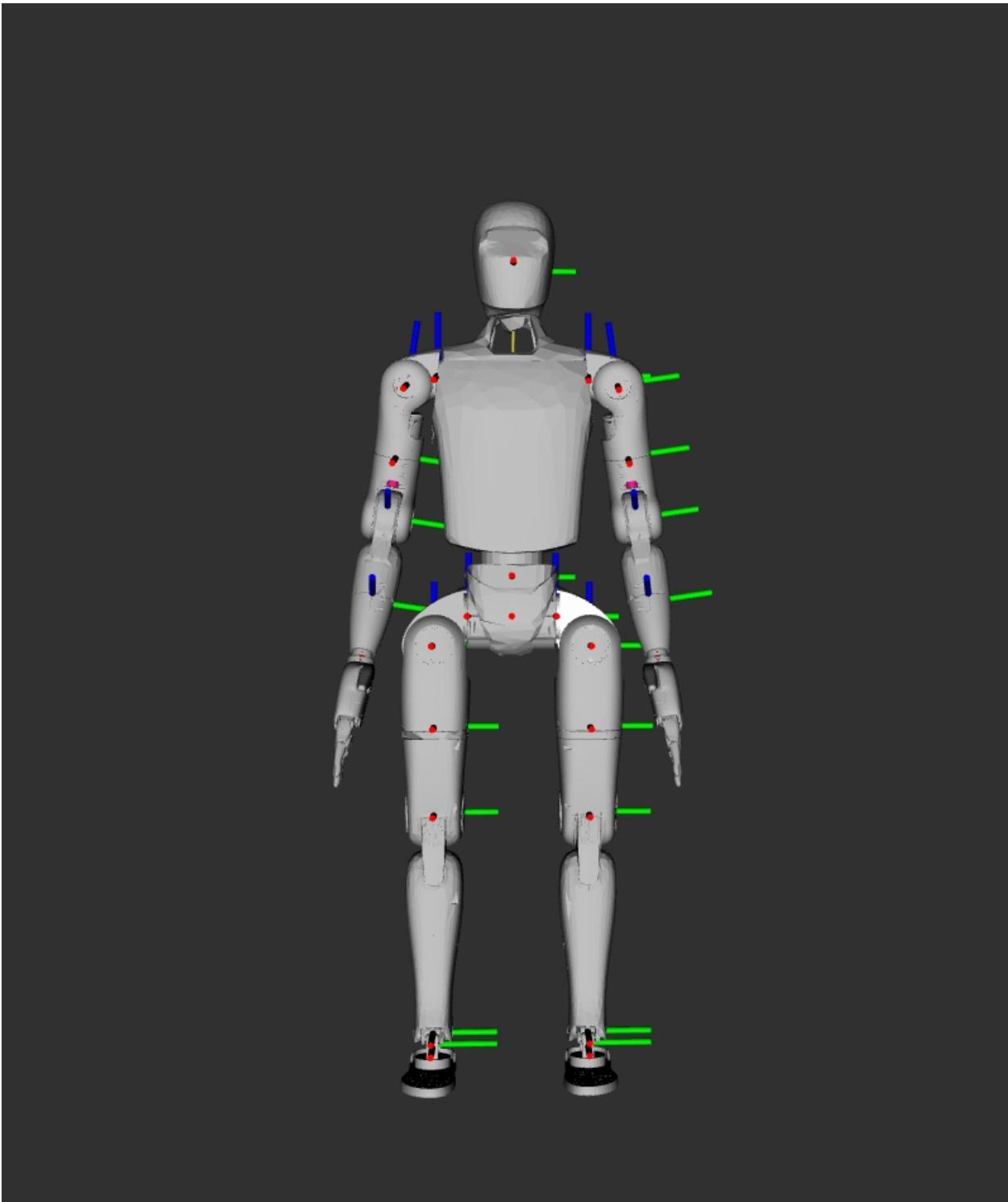
1.6 关节电机

MagicBot Z1 关节采用了魔法原子全栈自研电机，具备出色的性能和特点。电机的最大扭矩为 130N.m，电机结构轻量化、紧凑化。电机还配备了双编码器，提供更准确的位置和速度反馈，以满足高精度控制的需求。关节顺序名称与关节限位

| 关节序号 | 关节名称 | 限位（弧度） |
|------|----------------------------|----------------|
| 1 | left_hip_pitch_joint | -2.7925~2.7925 |
| 2 | left_hip_roll_joint | -0.524~2.967 |
| 3 | left_hip_yaw_joint | -2.7925~2.7925 |
| 4 | left_knee_joint | 0~2.653 |
| 5 | left_ankle_pitch_joint | -0.83~0.524 |
| 6 | left_ankle_roll_joint | -0.262~0.262 |
| 7 | right_hip_pitch_joint | -2.7925~2.7925 |
| 8 | right_hip_roll_joint | -2.967~0.524 |
| 9 | right_hip_yaw_joint | -2.7925~2.7925 |
| 10 | right_knee_joint | 0~2.653 |
| 11 | right_ankle_pitch_joint | -0.83~0.524 |
| 12 | right_ankle_roll_joint | -0.262~0.262 |
| 13 | left_shoulder_pitch_joint | -2.88~2.88 |
| 14 | left_shoulder_roll_joint | -0.175~2.2515 |
| 15 | left_shoulder_yaw_joint | -2.618~2.618 |
| 16 | left_elbow_joint | -0.96~1.70 |
| 17 | left_wrist_yaw_joint | -2.618~2.618 |
| 18 | right_shoulder_pitch_joint | -2.88~2.88 |
| 19 | right_shoulder_roll_joint | -2.2515~0.175 |
| 20 | right_shoulder_yaw_joint | -2.618~2.618 |
| 21 | right_elbow_joint | -0.96~1.70 |
| 22 | right_wrist_yaw_joint | -2.618~2.618 |

1.7 自由度配置与坐标系、关节旋转轴、关节零点

当各个关节均为零度时，各坐标系如下图。红色为 x 轴，绿色为 y 轴，蓝色为 z 轴。



1.8 规格参数

| 类别 | 规格参数 | Z1 |
|--------------|--|-----------------------------------|
| 机械参数 | 高宽厚(站立) | 1369422200mm |
| 高宽厚(折叠) | 730422395mm | 730422395mm |
| 带电池重量 | 约 40kg | 约 40kg+ |
| 总自由度(关节数) | 24 | 24 - 50 |
| 单腿自由度 | 6 | 6 |
| 头部自由度 | 1 | 1 |
| 腰部自由度 | 1 | 1 |
| 单手臂自由度 | 5 | 5+ (可加选 2 个手) |
| 灵巧手自由度 | / | 可选配 11 自由度触觉传感器 |
| 关节输出轴承 | 工业级高刚性滚子轴承 (可承受 8.7KN 冲击力) | 工业级高刚性滚子轴承 |
| 关节电机 | 低惯量高转速大过载永磁同步电机 (控制频率 25kHz, 高爆发力, 更好散热) | 低惯量高转速大过载永磁同步电机 |
| 膝关节最大扭矩 * | 100N.m | 130N.m |
| 手臂最大负载 * | 2kg | 3kg |
| 小腿 + 大腿长度 | 0.6m | 0.6m |
| 手臂臂展 | 约 0.5m | 约 0.5m |
| 头部 Z 轴关节活动范围 | ±40° | ±40° |
| 腰部 Z 轴关节活动范围 | ±160° | ±160° |
| 膝关节关节活动范围 | 0~152°、 | 0~152°、 |
| 髋关节活动范围 | P±160°、R-30~+110°、Y±160° | P±160°、R-30~+110°、Y±160° |
| 电气特性 | 关节编码器 | 双编码器 |
| 散热系统 | 智能风冷散热 | 智能风冷散热 |
| 供电方式 | 15 串电池 | 15 串电池 |
| 基础算力 | 8 核高性能 CPU | 8 核高性能 CPU |
| 感知传感器: | 3D 激光雷达 + 深度相机 + 双目鱼眼相机 + 头部触觉传感器 | 3D 激光雷达 + 深度相机 + 双目鱼眼相机 + 头部触觉传感器 |
| WiFi6、蓝牙 5.2 | 有 | 有 |
| 麦克风阵列 | 有 | 有 |
| 5W 扬声器 | 有 | 有 |
| 配套 | 高算力模组 | 无 |
| 智能电池(快拆) | 10000mAh | 10000mAh |
| 充电器 | 62V 5A | 62V 5A |
| 手持式遥控器 | 有 | 有 |
| 其他 | 续航时间 * | 约 2h |
| OTA 升级 | 支持 | 支持 |
| 二次开发 | 无 | 有 |

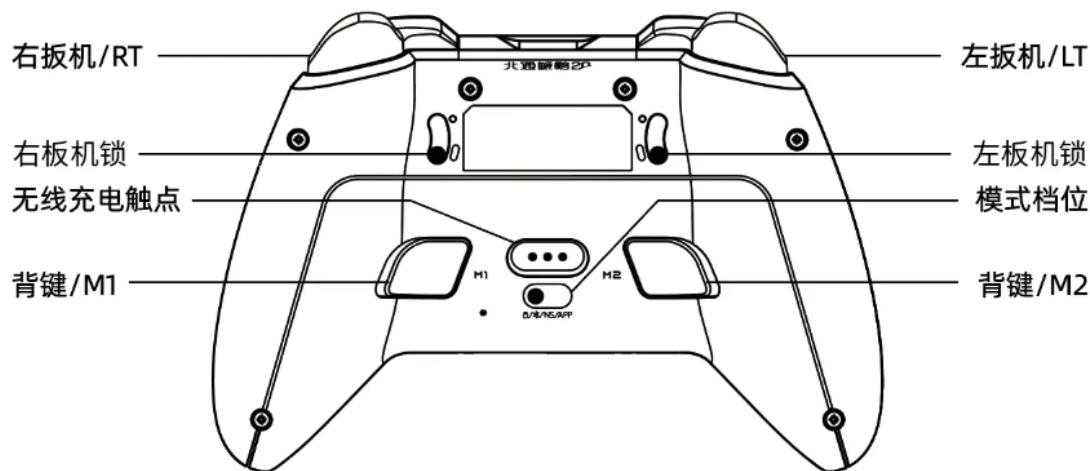
* 最大扭矩、手臂最大载荷、续航时间等为实验室环境下测得。

* 以上参数在不同业务场景和机型配置下可能存在差异, 请以实际使用体验为准。

CHAPTER 2

遥控器按键说明

2.1 按键示意图



2.2 遥控器设置

| 遥控器设置 | 按键/操作 |
|-----------|---|
| 遥控器开机 | 按 Home 键 |
| 遥控器关机 | Back + B 长按 3s；一段时间没用会自动关机（灯灭） |
| 遥控器与机器人配对 | 靠近机器人可自动配对，配对成功遥控器会震动一下，配对不成功指示灯则会红色快速闪烁。 |
| 获取机器人控制权 | 按 Home+Start 键 |
| 释放机器人控制权 | 按 Home+Back 键 |

注：遥控器是与机器人是通过 2.4G 进行配对通信的，对应的指示灯是红色，若出现黄、蓝、绿等其他颜色，则遥控器的模式档位不正确，需把模式挡位推到反面的最左侧，如按键示意图。

2.3 功能模式

| 功能模式 | 按键 |
|--------|-----------|
| 原地站立 1 | LT+RT + A |
| 姿态展示 2 | LT+RT + B |
| 拟人行走 3 | LT+RT + X |
| 拟人奔跑 4 | LT+RT + Y |

吊架开机: 开机->1-> 演示->1-> 关机。演示分为姿态展示、拟人行走/奔跑

2.4 姿态展示

| 姿态展示 | 按键 |
|----------|------|
| 欢迎 | LT+A |
| 摇头 | LT+B |
| 打招呼 (左手) | LT+X |
| 打招呼 (右手) | LT+Y |
| 握手-左手-伸手 | LB+A |
| 握手-左手-收手 | LB+B |
| 握手-右手-伸手 | LB+X |
| 握手-右手-收手 | LB+Y |
| 左转身介绍-高 | RB+A |
| 左转身介绍-低 | RB+B |
| 右转身介绍-高 | RB+X |
| 右转身介绍-低 | RB+Y |

注：展示上表姿态时，需先进入2姿态展示模式。

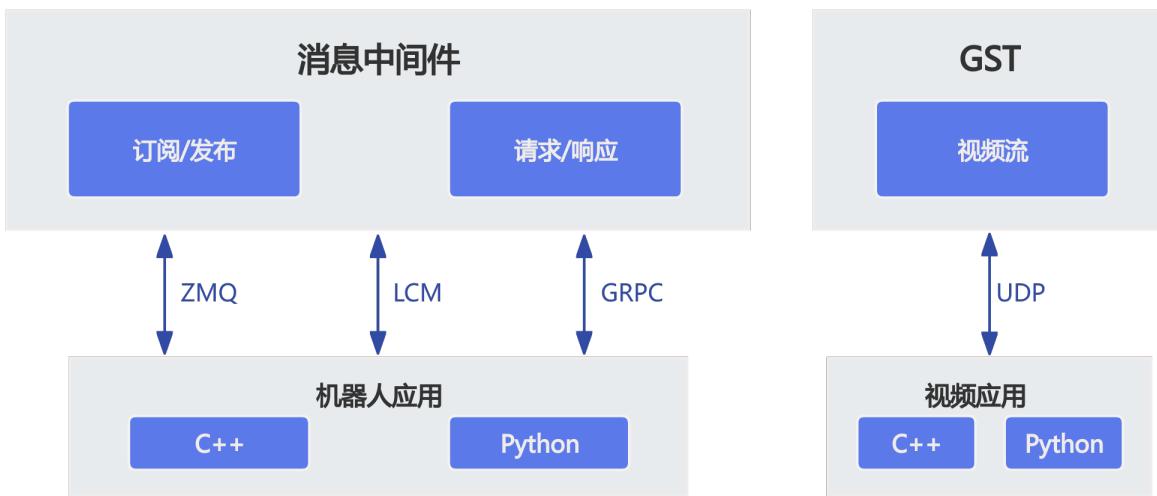
2.5 充电说明

| 电量状态 | 指示灯灯效提示 |
|----------|------------|
| 电量不足 20% | 红色快闪提示 |
| 充电中 | 红色呼吸（慢闪） |
| 开机充电完成 | 红色常亮 |
| 关机充电完成 | 红色常亮 7秒后熄灭 |

注：遥控器通过 Type-C 充电线进行充电。

SDK 概述

3.1 SDK 通信接口介绍



- 当前软件版本暂不支持 GST 视频流传输

Z1 采用 LCM/GRPC/UDP/ZMQ 作为消息中间件，主要数据交互模式：话题（订阅/发布）和 RPC（请求/响应）

- **话题（订阅/发布）**：接收方订阅某个消息，发送方根据订阅列表向接收方发送消息，主要用于中高频或持续的数据交互。

- **RPC (请求/响应)**: 问答模式，通过请求实现数据获取或操作。用于低频或功能切换时的数据交互。
话题和 RPC 接口的主要调用方式：函数式接口
- **函数式接口**: 将 API 调用封装成函数调用，方便用户使用。

3.2 获取 SDK

magicbot-z1_sdk 是魔法原子新一代机器人 Z1 开发 SDK。SDK 将高层运动控制、底层电机控制、语音控制等接口进行封装，并提供相关的函数式接口。您可以参考我们提供的 SDK 教程，学习机器人控制，完成 z1 的二次开发；

3.2.1 SDK 下载地址：

[magicbot-z1_sdk](#)

SDK 版本与机器本体软件版本对齐记录，请参考：[ChangeLog](#)

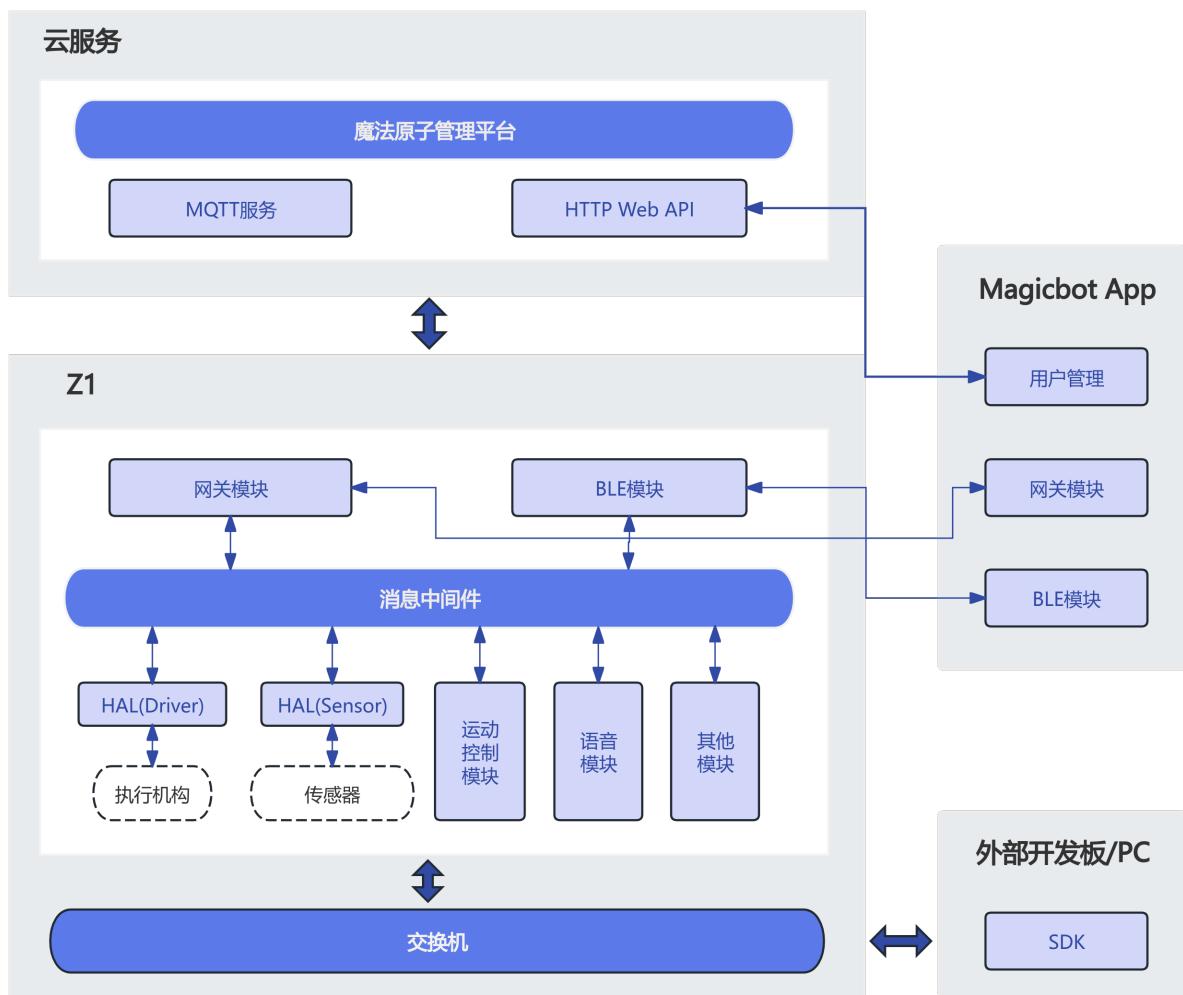
3.2.2 URDF/MJCF 下载地址：

[URDF/MJCF](#)

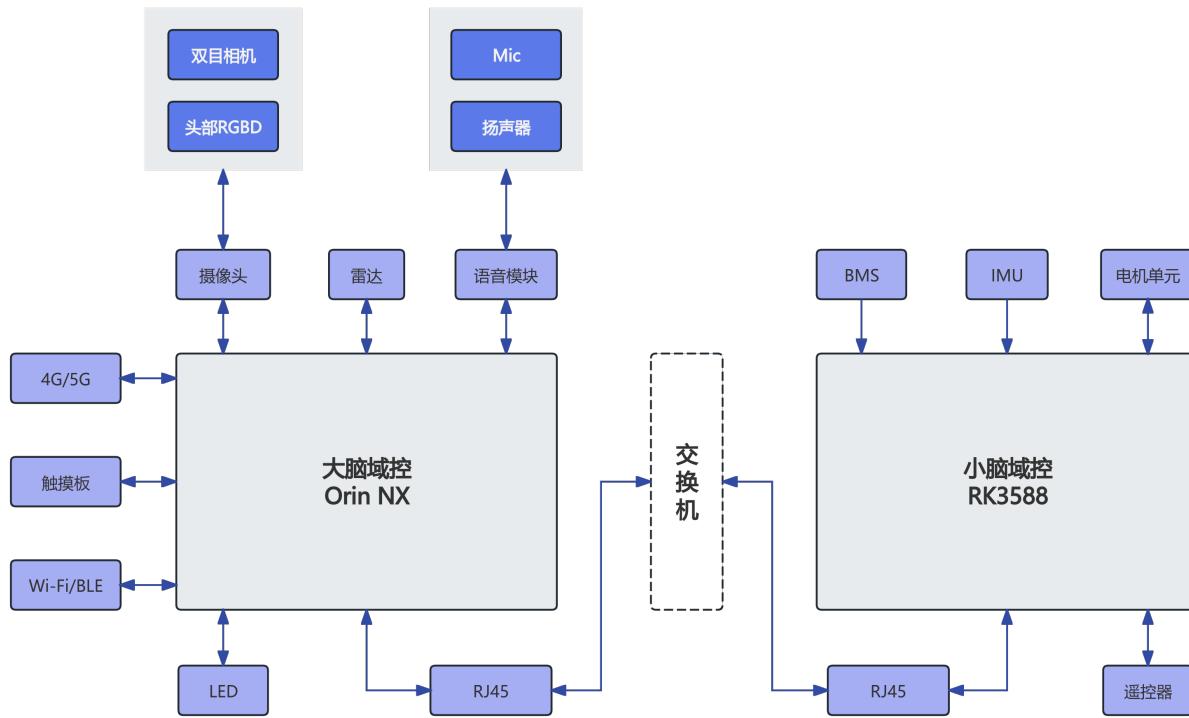
CHAPTER 4

软硬件架构

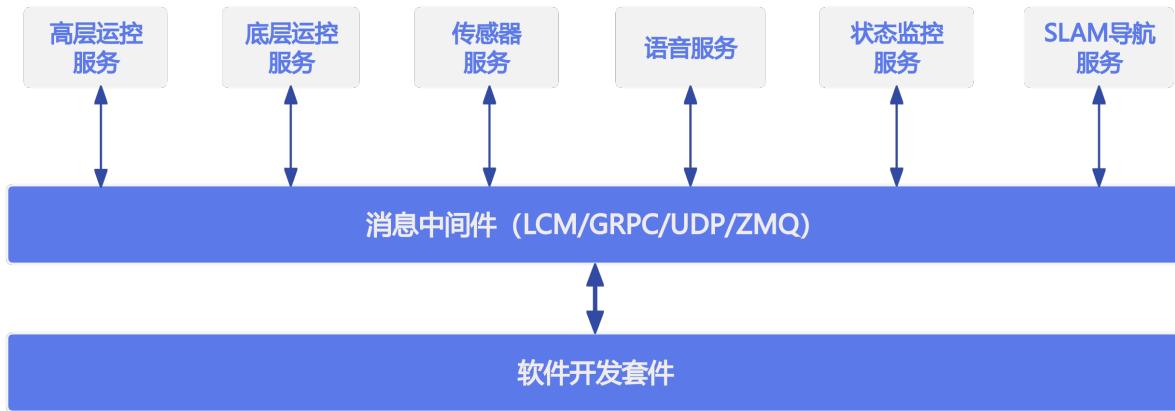
4.1 软件系统架构图



4.2 硬件系统架构图



服务介绍



Magicbot Z1 通过消息中间件（LCM/GRPC/UDP/ZMQ）提供如下服务：

- **高层运控服务**

基于 Z1 内置步态控制器，可进行步态切换、特技执行、控制姿态和速度（等价遥控器）等功能。高层运控服务使用 GRPC 进行通信。

- **底层运控服务**

通过服务接口可实时获取关节、IMU 等数据，同时可实时下发关节指令控制电机。底层运控服务使用 LCM 进行通信。

- **语音服务**

通过服务接口可控制音量和语音控制。语音服务使用 GRPC/LCM 进行通信。

- **传感器服务**

支持 lidar、rgbd、双目相机等传感器的数据订阅。传感器服务使用 GRPC/UDP/LCM/ZMQ 进行通信。

Notice: 当前版本仅支持 lidar 数据订阅，rgbd/双目相机数据暂不支持

- **状态监控服务**

通过服务接口可订阅机器人本体软硬件故障和 bms 状态。状态监控服务使用 LCM 进行通信。

- **SLAM 导航服务**

通过服务接口可进行机器人 SLAM 建图和导航控制。SLAM 导航服务使用 GRPC/LCM 进行通信。

CHAPTER 6

快速开始

6.1 系统环境

推荐在 ubuntu22.04 系统下开发，暂不支持 Mac/Windows 系统下开发，机器人本体 PC 运行官方服务，不支持开发；

APP 和 SDK 不支持同时控制机器人

6.1.1 开发环境要求

- GCC ≥ 11.4 (for Linux)
- CMake ≥ 3.16
- Make build system
- C++20 (minimum)
- Eigen3
- python3.10

6.1.2 系统配置

首先，为了实现普通用户下通信实时性，需要在 /etc/security/limits.conf 文件中增加如下配置：

```
* - rtprio 98
```

其次，为了增加每个 socket 链接的接收缓存，需要在 /etc/sysctl.conf 文件中增加如下配置，`sudo sysctl -p` 立即生效或重启生效：

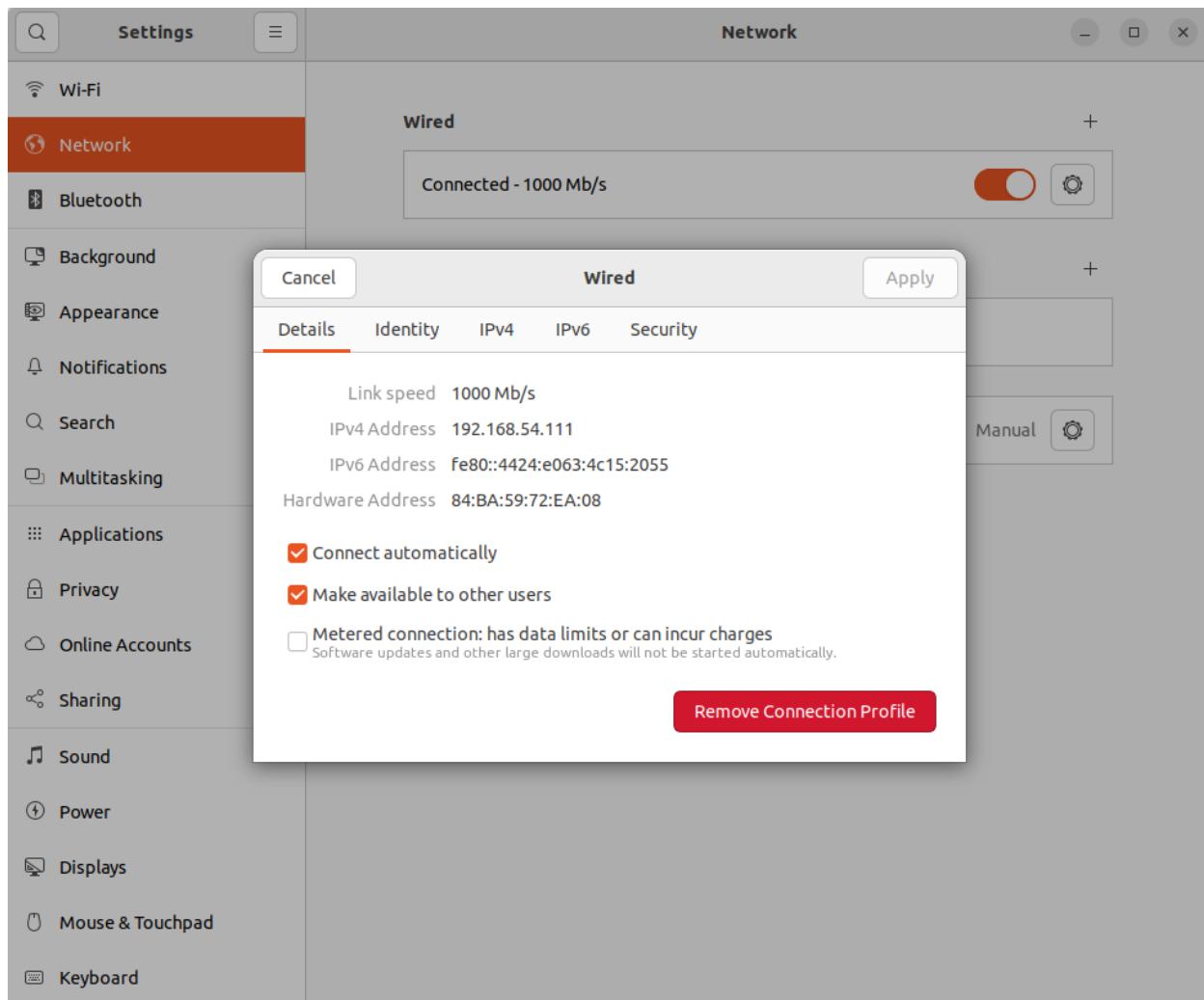
```
net.core.rmem_max=20971520  
net.core.rmem_default=20971520  
net.core.wmem_max=20971520  
net.core.wmem_default=20971520
```

6.2 网络环境

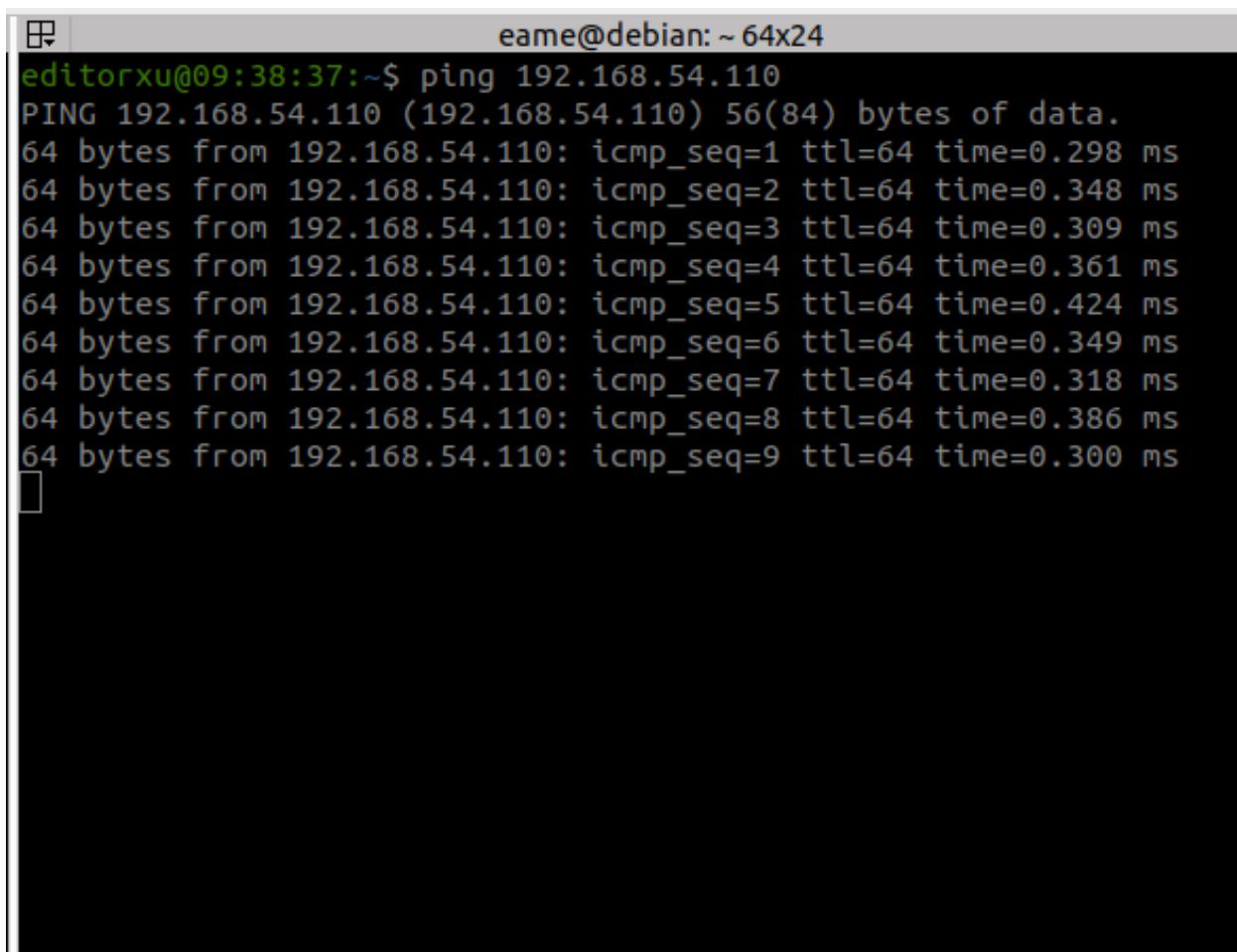
将用户计算机与机器人交换机接入统一网络。建议新用户使用网线将用户计算机接入机器人交换机，并将与机器人通信的网卡设置在 192.168.54.X 网段下，推荐使用 192.168.54.111。有经验的用户可自行配置网络环境。

6.2.1 配置步骤

1. 用网线的一端连接机器人，另一端连接用户电脑。机器人工载电脑的 IP 地址为 192.168.54.110（小脑算力板）和 192.168.54.119（大脑算力板），所以需要将电脑 ip 设置为同一网段，建议 192.168.54.111.



2. 为了测试通信连接是否正常，可以通过 ping 进行测试：



```
eame@debian: ~ 64x24
editorxu@09:38:37:~$ ping 192.168.54.110
PING 192.168.54.110 (192.168.54.110) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.54.110: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.298 ms
64 bytes from 192.168.54.110: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.348 ms
64 bytes from 192.168.54.110: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.309 ms
64 bytes from 192.168.54.110: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.361 ms
64 bytes from 192.168.54.110: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.424 ms
64 bytes from 192.168.54.110: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.349 ms
64 bytes from 192.168.54.110: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.318 ms
64 bytes from 192.168.54.110: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.386 ms
64 bytes from 192.168.54.110: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.300 ms
```

3. 查看 192.168.54.111 网址对应的网卡名称，通过 `ifconfig` 命令查看网卡名字，如图所示：

```
eame@debian: ~/ws/hal_driver/build/install/bin
eame@debian: ~/ws/hal_driver/build/install/bin 92x48
editorxu@11:35:09:~$ ifconfig
docker0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    inet 172.17.0.1 netmask 255.255.0.0 broadcast 172.17.255.255
        ether 02:42:a5:79:70:7c txqueuelen 0 (Ethernet)
            RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
            RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
            TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
            TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

enp0s31f6: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.54.111 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.54.255
        inet6 fe80::4e80:4e80:31f6:111%enp0s31f6 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
            ether 84:ba:59:72:ea:08 txqueuelen 1000 (Ethernet)
            RX packets 1042289 bytes 354005321 (354.0 MB)
            RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
            TX packets 1050126 bytes 280690787 (280.6 MB)
            TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
            device interrupt 16 memory 0x82200000-82220000

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
        loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
        RX packets 87371077 bytes 9065855211 (9.0 GB)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 87371077 bytes 9065855211 (9.0 GB)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

virbr0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.122.1 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.122.255
        ether 52:54:00:9e:77:df txqueuelen 1000 (Ethernet)
        RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

wlp0s20f3: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 172.29.41.197 netmask 255.255.252.0 broadcast 172.29.43.255
        inet6 fe80::4eb3:a694:2eba:ac34 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
            ether 5c:b4:7e:8f:79:97 txqueuelen 1000 (Ethernet)
            RX packets 26672293 bytes 13099885890 (13.0 GB)
            RX errors 0 dropped 101 overruns 0 frame 0
            TX packets 20349743 bytes 3661275993 (3.6 GB)
            TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

假设 SDK 二次开发 PC 与机器人链接的网口为 enp0s31f6，需要进行如下配置以便 SDK 与机器人的底层通信：

```
sudo ifconfig enp0s31f6 multicast
sudo route add -net 224.0.0.0 netmask 240.0.0.0 dev enp0s31f6
```

为避免每次网卡拔插都需要重新配置网卡多播路由，用户可以选择在其二开 PC 上进行如下操作（要求操作系统：ubuntu22.04，并且本系统网络配置工具是 NetworkManager）：

- 检查服务状态：

```
$ systemctl is-active NetworkManager  
active
```

当显示为: active, 则可以继续下面操作; 否则, 跳过下面操作;

- 编辑配置, sudo vim /etc/NetworkManager/dispatcher.d/90-add-mcast-route:

```
#!/bin/bash

IFACE="$1"
STATUS="$2"

# 目标网卡
TARGET_IF="enp0s31f6"

# 仅在指定网卡 carrier on 或 up 时执行
if [ "$IFACE" = "$TARGET_IF" ] && [ [ "$STATUS" = "up" || "$STATUS" = "carrier" ] ]; then
    # 删除可能存在的旧路由
    ip route del 224.0.0.0/4 dev "$TARGET_IF" 2>/dev/null

    # 添加你需要的 route (带 scope link)
    ip route add 224.0.0.0/4 dev "$TARGET_IF" scope link
fi
```

- 加上执行权限:

```
sudo chmod +x /etc/NetworkManager/dispatcher.d/90-add-mcast-route
```

- 启动生效:

```
sudo systemctl restart NetworkManager
```

检查网卡路由配置是否正常:

```
$ ip route | grep 224.0.0.0
224.0.0.0/4 dev enp0s31f6 scope link
```

6.3 安装与编译

以下步骤假设工作目录为/home/magicbot/workspace

6.3.1 安装 magicbot-z1_sdk:

安装步骤：进入 `magicbot-z1_sdk` 目录，并按步骤执行如下命令，将 `sdk` 安装至`/opt/magic_robots/magicbot_z1_sdk`目录下，便于二次开发程序 `find_package` 检索编译链接：

```
cd /home/magicbot/workspace/magicbot-z1_sdk/
mkdir build
cd build
cmake .. -DCMAKE_INSTALL_PREFIX=/opt/magic_robots/magicbot_z1_sdk
sudo make install
```

6.3.2 例程编译

编译步骤：进入 `magicbot-z1_sdk` 目录，并按步骤执行如下命令，在 `build` 目录下生成例程可执行程序：

```
cd /home/magicbot/workspace/magicbot-z1_sdk/
mkdir build
cd build
cmake .. -DBUILD_EXAMPLES=ON
make -j8
```

6.4 例程示例

`magicbot-z1_sdk/build` 目录中：

- 语音示例：
 - `audio_example`
- 传感器示例：
 - `sensor_example`
- 状态监控示例：
 - `monitor_example`
- 底层遥控示例：
 - `low_level_motion_example`
- 高层遥控示例：
 - `high_level_motion_example`
- 建图示例：
 - `slam_example`
- 导航示例：
 - `navigation_example`

- navigation_example

Notice: 其中，高层运控示例中几种示例有先后依赖顺序（锁定站立-> 平衡站立-> 执行特技/遥控器控制）

6.4.1 进入调试模式：

按照操作流程，确保机器人进入调试模式

6.4.2 运行例程

进入 magicbot-z1_sdk/build 目录，执行如下命令：

```
cd /home/magicbot/workspace/magicbot-z1_sdk/build
# 环境配置
sudo ifconfig enp0s31f6 multicast
sudo route add -net 224.0.0.0 netmask 240.0.0.0 dev enp0s31f6
export LD_LIBRARY_PATH=/opt/magic_robots/magicbot_z1_sdk/lib:$LD_LIBRARY_PATH

# 执行语音控制示例
./audio_example
```

6.5 Python 例程示例

magicbot-z1_sdk/example/python 目录中：

- 语音示例：

- audio_example.py

- 传感器示例：

- sensor_example.py

- 状态监控示例：

- monitor_example.py

- 底层运控示例：

- low_level_motion_example.py

- 高层运控示例：

- high_level_motion_example.py

- 建图示例：

- slam_example.py

- 导航示例：

- navigation_example.py

Notice: 其中，高层运控示例中几种示例有先后依赖顺序（锁定站立-> 平衡站立-> 执行特技/遥控器控制）

6.5.1 进入调试模式：

按照操作流程，确保机器人进入调试模式

6.5.2 运行例程

进入 magicbot-z1_sdk/example/python 目录，执行如下命令：

```
cd /home/magicbot/workspace/magicbot-z1_sdk/example/python
# 环境配置
sudo ifconfig enp0s31f6 multicast
sudo route add -net 224.0.0.0 netmask 240.0.0.0 dev enp0s31f6
export PYTHONPATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$PYTHONPATH
export LD_LIBRARY_PATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$LD_LIBRARY_PATH

# 执行语音控制示例
python3 audio_example.py
```

获取 python api 帮助信息：

```
# 环境配置
export PYTHONPATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$PYTHONPATH
export LD_LIBRARY_PATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$LD_LIBRARY_PATH

$ python3
Python 3.10.12 (main, Aug 15 2025, 14:32:43) [GCC 11.4.0] on linux
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
# 导入 Magic z1 python SDK 接口
>>> import magicbot_z1_python
# 查看所有接口信息
>>> help(magicbot_z1_python)
# 查看 CameraInfo 结构信息
>>> help(magicbot_z1_python.CameraInfo)
# 查看 HighLevelMotionController 对象信息
>>> help(magicbot_z1_python.HighLevelMotionController)
# 查看 LowLevelMotionController 对象信息
>>> help(magicbot_z1_python.LowLevelMotionController)
# 查看 SensorController 对象信息
>>> help(magicbot_z1_python.SensorController)
# 查看 AudioController 对象信息
>>> help(magicbot_z1_python.AudioController)
```

(下页继续)

(续上页)

```
# 查看StateMonitor对象信息
>>> help(magicbot_z1_python.StateMonitor)
```

比如，如果想查看特技动作 TrickAction 的枚举值：

```
$ python3
Python 3.10.12 (main, Aug 15 2025, 14:32:43) [GCC 11.4.0] on linux
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> import magicbot_gen1_python
>>> help(magicbot_gen1_python.TrickAction)
Help on class TrickAction in module magicbot_z1_python:

class TrickAction(pybind11_builtins.pybind11_object)
| Method resolution order:
|     TrickAction
|     pybind11_builtins.pybind11_object
|     builtins.object
|
| Methods defined here:
|
|     __eq__(...)
|         __eq__(self: object, other: object, /) -> bool
|
|     __getstate__(...)
|         __getstate__(self: object, /) -> int
|
|     __hash__(...)
|         __hash__(self: object, /) -> int
|
|     __index__(...)
|         __index__(self: magicbot_z1_python.TrickAction, /) -> int
|
|     __init__(...)
|         __init__(self: magicbot_z1_python.TrickAction, value: typing.SupportsInt) -> None
|
|     __int__(...)
|         __int__(self: magicbot_z1_python.TrickAction, /) -> int
|
|     __ne__(...)
|         __ne__(self: object, other: object, /) -> bool
|
|     __repr__(...)
|         __repr__(self: object, /) -> str
| 
```

(下页继续)

(续上页)

```
| __setstate__(...)
|     __setstate__(self: magicbot_z1_python.TrickAction, state: typing.SupportsInt, /) -> None
|
| __str__(...)
|     __str__(self: object, /) -> str
|
| -----
| Readonly properties defined here:
|
| __members__
|
| name
|     name(self: object, /) -> str
|
| value
|
| -----
| Data and other attributes defined here:
|
| ACTION_LEFT_GREETING = <TrickAction.ACTION_LEFT_GREETING: 300>
|
| ACTION_NONE = <TrickAction.ACTION_NONE: 0>
|
| ACTION_RIGHT_GREETING = <TrickAction.ACTION_RIGHT_GREETING: 301>
|
| ACTION_SHAKE_HEAD = <TrickAction.ACTION_SHAKE_HEAD: 220>
|
| ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_REACHOUT = <TrickAction.ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_...
|
| ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_WITHDRAW = <TrickAction.ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_...
|
| ACTION_SHAKE_RIGHT_HAND_REACHOUT = <TrickAction.ACTION_SHAKE_RIGHT_HAN...
|
| ACTION_SHAKE_RIGHT_HAND_WITHDRAW = <TrickAction.ACTION_SHAKE_RIGHT_HAN...
|
| ACTION_TRUN_LEFT_INTRODUCE_HIGH = <TrickAction.ACTION_TRUN_LEFT_INTROD...
|
| ACTION_TRUN_LEFT_INTRODUCE_LOW = <TrickAction.ACTION_TRUN_LEFT_INTRODU...
|
| ACTION_TRUN_RIGHT_INTRODUCE_HIGH = <TrickAction.ACTION_TRUN_RIGHT_INTR...
|
| ACTION_TRUN_RIGHT_INTRODUCE_LOW = <TrickAction.ACTION_TRUN_RIGHT_INTRO...
```

(下页继续)

(续上页)

```
| ACTION_WELCOME = <TrickAction.ACTION_WELCOME: 340>
|
| -----
| Static methods inherited from pybind11_builtins.pybind11_object:
|
|     __new__(*args, **kwargs) from pybind11_builtins.pybind11_type
|         Create and return a new object. See help(type) for accurate signature.
```

6.6 其他

6.6.1 SDK 配置文件

SDK 运行时默认会在/tmp 目录下生成其默认配置文件，如果配置文件已存在则使用已有配置：

```
$ ls /tmp/magicbot_z1_mjrrt.yaml
/tmp/magicbot_z1_mjrrt.yaml
```

6.6.2 SDK 日志

SDK 运行时内部的日志信息默认生成在/tmp/logs 目录下：

```
$ ls /tmp/logs/magicbot_z1_sdk.log
/tmp/logs/magicbot_z1_sdk.log
```

机器人主控制服务 C++

提供机器人系统主控制器，通过 MagicRobot 可以进行资源初始化、管理通信连接、访问各子控制器如运动控制器、语音、状态监控以及传感器控制器等。

7.1 接口定义

MagicRobot 是机器人 SDK 的统一入口类。

7.1.1 MagicRobot

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------|
| 函数名 | MagicRobot |
| 函数声明 | MagicRobot(); |
| 功能概述 | 构造函数，创建 MagicRobot 实例。 |
| 备注 | 构造内部状态。 |

7.1.2 ~MagicRobot

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------|
| 函数名 | ~MagicRobot |
| 函数声明 | ~MagicRobot(); |
| 功能概述 | 析构函数，释放 MagicRobot 实例资源。 |
| 备注 | 确保资源安全释放。 |

7.1.3 Initialize

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | Initialize |
| 函数声明 | bool Initialize(const std::string& local_ip); |
| 功能概述 | 初始化机器人系统，包括控制器与网络模块。 |
| 参数说明 | local_ip: 本地通信 IP 地址。 |
| 返回值 | true 表示成功，false 表示失败。 |
| 备注 | 首次使用前必须调用。 |

7.1.4 Shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------|
| 函数名 | Shutdown |
| 函数声明 | void Shutdown(); |
| 功能概述 | 关闭机器人系统，释放资源。 |
| 备注 | 配合 Initialize 使用。 |

7.1.5 Release

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------|
| 函数名 | Release |
| 函数声明 | void Release(); |
| 功能概述 | 释放资源。 |
| 备注 | 释放 SDK 占用话题资源。 |

7.1.6 Connect

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------|
| 函数名 | Connect |
| 函数声明 | Status Connect(); |
| 功能概述 | 与机器人服务建立通信连接。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口，需初始化后调用。 |

7.1.7 Disconnect

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------|
| 函数名 | Disconnect |
| 函数声明 | Status Disconnect(); |
| 功能概述 | 断开与机器人服务的连接。 |
| 返回值 | gRPC 调用状态。 |
| 备注 | 阻塞接口，与 Connect 配对使用。 |

7.1.8 GetSDKVersion

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------------|
| 函数名 | GetSDKVersion |
| 函数声明 | std::string GetSDKVersion() const; |
| 功能概述 | 获取当前 SDK 的版本号。 |
| 返回值 | SDK 版本字符串（如 0.0.1）。 |
| 备注 | 非阻塞接口，便于调试或日志标记。 |

7.1.9 GetMotionControlLevel

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | GetMotionControlLevel |
| 函数声明 | ControllerLevel GetMotionControlLevel(); |
| 功能概述 | 获取当前运动控制级别（高层/低层）。 |
| 返回值 | ControllerLevel 枚举值。 |
| 备注 | 非阻塞接口，用于判断当前控制权限。 |

7.1.10 SetMotionControlLevel

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | SetMotionControlLevel |
| 函数声明 | Status SetMotionControlLevel(ControllerLevel level); |
| 功能概述 | 设置当前运动控制级别。 |
| 参数说明 | level: 控制权限枚举值。 |
| 返回值 | Status::OK 表示设置成功，其他代表设置失败。 |
| 备注 | 阻塞接口，控制模式切换时使用。 |

7.1.11 GetHighLevelMotionController

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | GetHighLevelMotionController |
| 函数声明 | HighLevelMotionController& GetHighLevelMotionController(); |
| 功能概述 | 获取高层运动控制器对象。 |
| 返回值 | 引用类型，用于调用高层控制接口。 |
| 备注 | 非阻塞接口，封装了步态、特技、遥控等控制。 |

7.1.12 GetLowLevelMotionController

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | GetLowLevelMotionController |
| 函数声明 | LowLevelMotionController& GetLowLevelMotionController(); |
| 功能概述 | 获取低层运动控制器对象。 |
| 返回值 | 引用类型，用于控制关节或电机。 |
| 备注 | 非阻塞接口，直接控制关节电机、获取 imu 等。 |

7.1.13 GetAudioController

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | GetAudioController |
| 函数声明 | AudioController& GetAudioController(); |
| 功能概述 | 获取音频控制器对象。 |
| 返回值 | 引用类型，用于语音控制。 |
| 备注 | 非阻塞接口，播放语音和控制音量。 |

7.1.14 GetSensorController

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | GetSensorController |
| 函数声明 | SensorController& GetSensorController(); |
| 功能概述 | 获取传感器控制器对象。 |
| 返回值 | 引用类型，用于访问传感器数据。 |
| 备注 | 非阻塞接口，封装了 Lidar、RGBD 等读取。 |

7.1.15 GetStateMonitor

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | GetStateMonitor |
| 函数声明 | StateMonitor& GetStateMonitor(); |
| 功能概述 | 获取状态监控器对象。 |
| 返回值 | 引用类型，用于获取机器人当前状态信息。 |
| 备注 | 非阻塞接口，封装了 BMS、故障等状态信息的读取。 |

7.1.16 GetSlamNavController

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | GetSlamNavController |
| 函数声明 | SlamNavController& GetSlamNavController(); |
| 功能概述 | 获取 SLAM 与导航控制器对象。 |
| 返回值 | 引用类型，用于建图与定位。 |
| 备注 | 非阻塞接口，用于机器人 SLAM 建图与自主导航功能。 |

CHAPTER 8

高层运动控制服务 C++

提供机器人系统高层运动控制服务，通过 HighLevelMotionController 可以通过 RPC 通信方式实现对机器人的步态、特技、遥控的控制。

8.1 接口定义

HighLevelMotionController 是面向语义控制的高层运动控制器，支持如行走、特技、头部运动等控制操作，封装底层细节以供上层系统调用。

8.1.1 HighLevelMotionController

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------|
| 函数名 | HighLevelMotionController |
| 函数声明 | HighLevelMotionController(); |
| 功能概述 | 构造函数，初始化高层控制器状态 |
| 备注 | 构造内部控制资源 |

8.1.2 ~HighLevelMotionController

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>~HighLevelMotionController</code> |
| 函数声明 | <code>virtual ~HighLevelMotionController();</code> |
| 功能概述 | 析构函数，释放控制器资源 |
| 备注 | 配合构造函数使用 |

8.1.3 Initialize

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>Initialize</code> |
| 函数声明 | <code>virtual bool Initialize() override;</code> |
| 功能概述 | 初始化控制器，准备高层控制功能 |
| 返回值 | <code>true</code> 表示成功， <code>false</code> 表示失败 |
| 备注 | 首次使用前必须调用 |

8.1.4 Shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>Shutdown</code> |
| 函数声明 | <code>virtual void Shutdown() override;</code> |
| 功能概述 | 关闭控制器并释放资源 |
| 备注 | 配合 <code>Initialize</code> 使用，安全断开连接 |

8.1.5 SetGait

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>SetGait</code> |
| 函数声明 | <code>Status SetGait(const GaitMode gait_mode, int timeout_ms);</code> |
| 功能概述 | 设置机器人步态模式（如锁定站立、平衡站立、拟人行走等） |
| 参数说明 | <code>gait_mode</code> : 步态控制枚举 |
| 返回值 | <code>Status::OK</code> 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口，可切换多种步态模式 |

8.1.6 GetGait

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------------|
| 函数名 | GetGait |
| 函数声明 | Status GetGait(GaitMode& gait_mode); |
| 功能概述 | 获取机器人步态模式（如锁定站立、平衡站立、摆臂行走等） |
| 参数说明 | gait_mode: 步态控制枚举 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口，获取当前步态模式 |

8.1.7 ExecuteTrick

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | ExecuteTrick |
| 函数声明 | Status ExecuteTrick(const TrickAction trick_action, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 执行特技动作（如庆祝、挥手等） |
| 参数说明 | trick_action: 特技动作标识 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口，需确保机器人当前可执行特技注意事项：特技动作必须要在 GaitMode::GAIT_BALANCE_STAND(46) 步态下才能进行 |

- 注意事项：特技动作必须要在 GaitMode::GAIT_BALANCE_STAND(46) 步态下才能进行特技展示

8.1.8 SendJoyStickCommand

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SendJoyStickCommand |
| 函数声明 | Status SendJoyStickCommand(const JoyStickCommand& joy_command); |
| 功能概述 | 发送实时摇杆控制指令 |
| 参数说明 | joy_command: 包含摇杆坐标的控制数据 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 非阻塞接口，建议发送频率为 20Hz |

8.1.9 HeadMove

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | HeadMove |
| 函数声明 | Status HeadMove(float shake_angle, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 控制机器人头部摆动 |
| 参数说明 | shake_angle: 头部摆动角度, 单位: rad, 范围: [-0.698, 0.698] timeout_ms: 超时时间, 默认 5000 毫秒 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 控制机器人头部左右摆动 |

8.2 类型定义

8.2.1 JoystickCommand — 高层运动控制摇杆指令结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------------|-------|-----------------------------------|
| left_x_axis | float | 左侧摇杆的 X 轴方向值 (-1.0: 左, 1.0: 右) |
| left_y_axis | float | 左侧摇杆的 Y 轴方向值 (-1.0: 下, 1.0: 上) |
| right_x_axis | float | 右侧摇杆的 X 轴方向值 (旋转 -1.0: 左, 1.0: 右) |
| right_y_axis | float | 右侧摇杆的 Y 轴方向值 (暂未定义用途) |

8.3 枚举类型定义

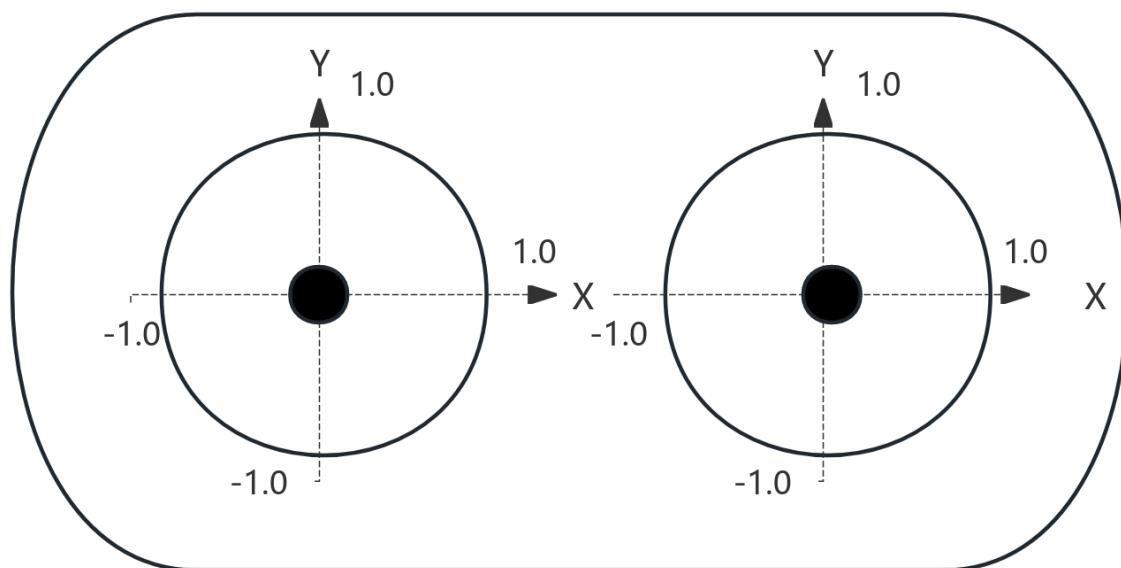
8.3.1 GaitMode — 机器人步态模式枚举

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|---------------------|-----|-------------|
| GAIT_PASSIVE | 0 | Passive |
| GAIT_RECOVERY_STAND | 1 | 站立锁定 |
| GAIT_BALANCE_STAND | 46 | 平衡站立 (支持移动) |
| GAIT_ARM_SWING_WALK | 78 | 摆臂行走 |
| GAIT_HUMANOID_WALK | 79 | 拟人行走 |
| GAIT_LOWLEV1_SDK | 200 | 底层控制 SDK 模式 |

8.3.2 TrickAction — 特技动作指令枚举

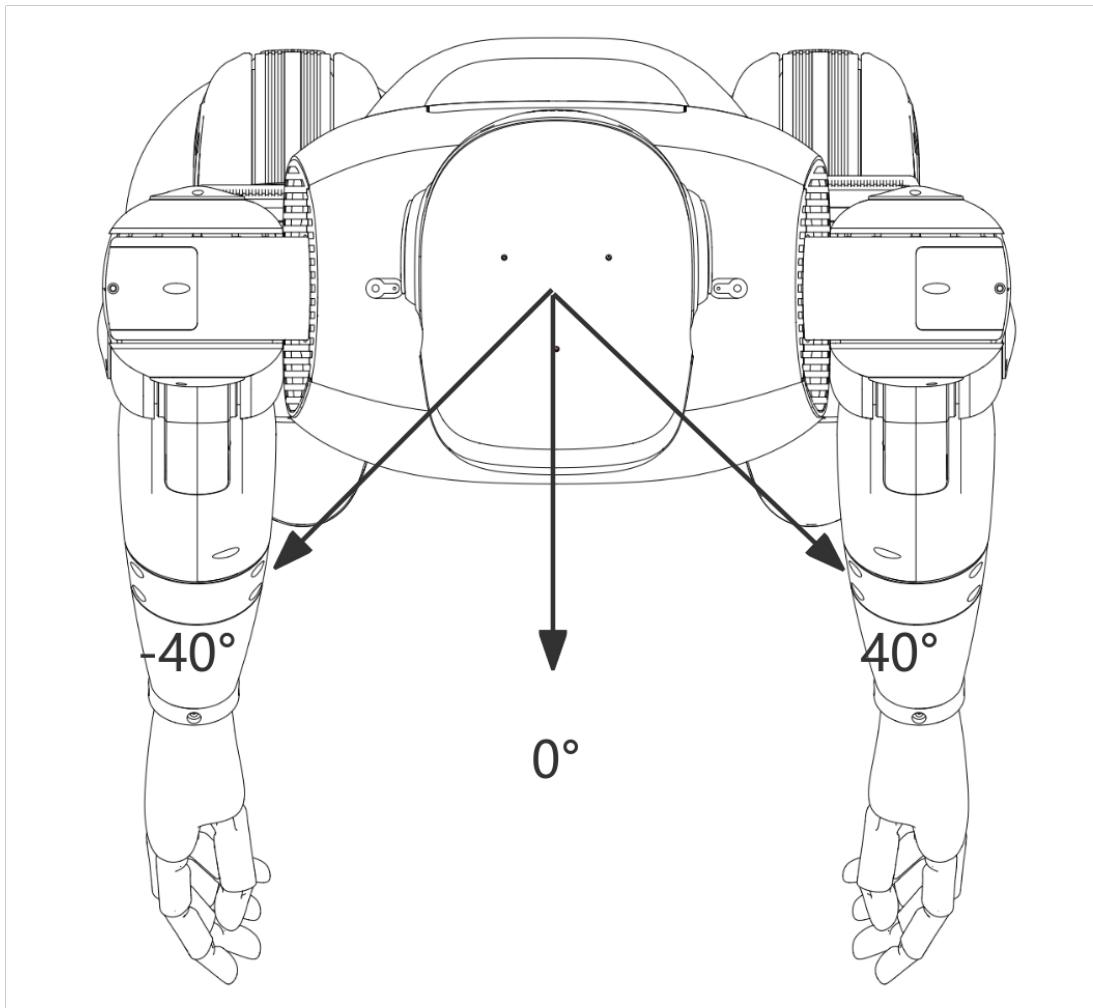
| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|----------------------------------|-----|--------------|
| ACTION_CELEBRATE | 201 | 庆祝 |
| ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_REACHOUT | 215 | 握手 (左手) - 伸出 |
| ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_WITHDRAW | 216 | 握手 (左手) - 撤回 |
| ACTION_SHAKE_RIGHT_HAND_REACHOUT | 217 | 握手 (右手) - 伸出 |
| ACTION_SHAKE_RIGHT_HAND_WITHDRAW | 218 | 握手 (右手) - 撤回 |
| ACTION_SHAKE_HEAD | 220 | 摇头 |
| ACTION_LEFT_GREETING | 300 | 打招呼 (左手) |
| ACTION_RIGHT_GREETING | 301 | 打招呼 (右手) |
| ACTION_TRUN_LEFT_INTRODUCE_HIGH | 304 | 左转身介绍-高 |
| ACTION_TRUN_LEFT_INTRODUCE_LOW | 305 | 左转身介绍-低 |
| ACTION_TRUN_RIGHT_INTRODUCE_HIGH | 306 | 右转身介绍-高 |
| ACTION_TRUN_RIGHT_INTRODUCE_LOW | 307 | 右转身介绍-低 |
| ACTION_WELCOME | 340 | 欢迎 |

8.4 遥控器示意图



1. 左右摇杆 x 轴和 y 轴的取值范围为 [-1.0, 1.0];
2. 左右摇杆 x 轴和 y 轴的方向上/右为正，如示意图所示；

8.5 头部运动范围示意图



- 运动范围 $[-40^\circ, 40^\circ]$ ($[-0.698\text{rad}, 0.698\text{rad}]$)

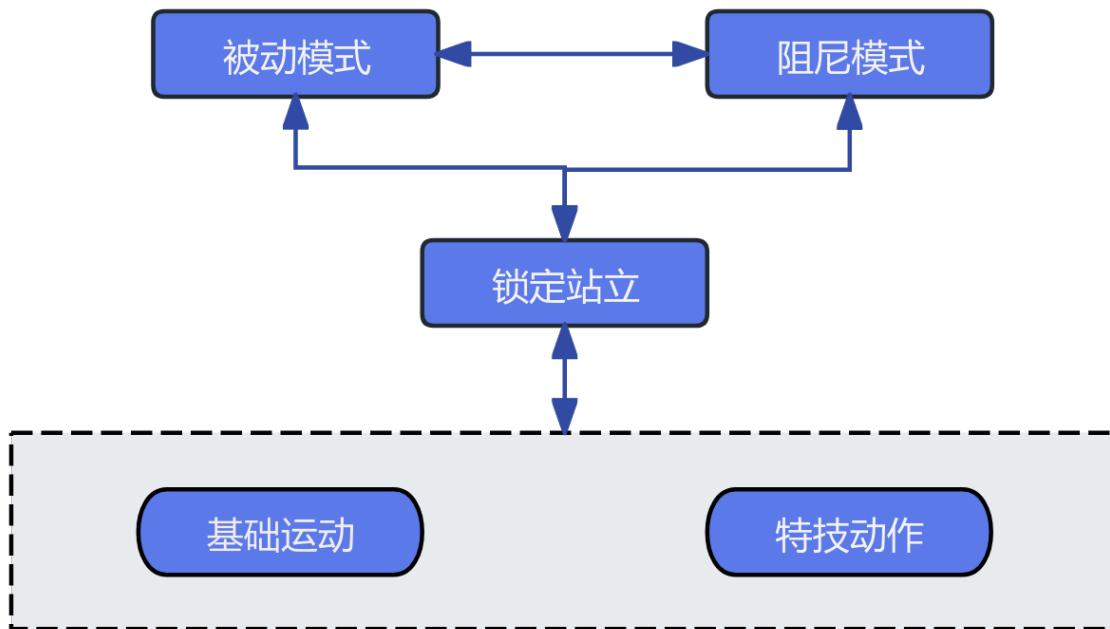
8.6 高层运动控制机器人状态介绍

机器人的运动包含站立锁定、平衡站立、基础运动、特技动作状态，机器人在运行过程中，通过状态机在不同状态之间进行切换，以实现不同的控制任务。各个状态的解释说明如下：

- **站立锁定**：站立锁定是连接机器人挂起落地和平衡站立的状态，机器狗需要进入平衡站立状态后，才能调用相应的运动服务实现机器人的控制。
- **平衡站立**：在平衡站立状态下，可调用 SDK 的各部分接口实现机器人的特技动作和基础运动控制。

- **基础运动**: 在运动执行过程中, 可调用 SDK 接口, 让机器人进入不同的步态。
- **特技动作**: 当进入特殊动作执行状态后, 其他运动控制服务会先被挂起, 等待当前动作执行完毕并进入平衡站立状态后再生效。

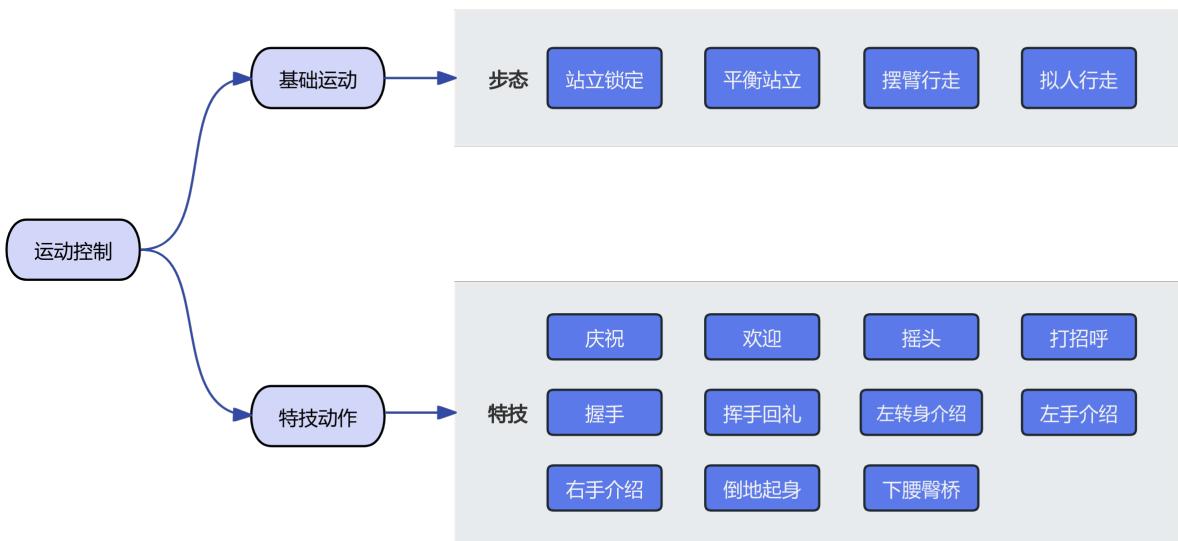
机器人状态切换机制;



8.7 高层运动控制接口

机器人的高层运动控制服务可分为基础运动控制和特技动作控制。

- 基础运动控制服务中, 可调用相应的接口, 根据不同的地形场景和任务需求切换机器人的行走步态。
- 特技动作控制服务中, 可调用相应的接口, 实现机器人内置的特殊特技, 比如庆祝、握手、打招呼等。



底层运动控制服务 C++

提供机器人系统底层运动控制服务，通过 LowLevelMotionController 可以通过话题通信方式实现对机器人的关节进行指令控制和状态获取。

9.1 接口定义

LowLevelMotionController 是面向底层开发的运动控制器，支持对手臂、腿、头、腰、手等运动部件的直接控制与状态订阅，以及身体 IMU 数据的获取。

9.1.1 LowLevelMotionController

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------------------|
| 函数名 | LowLevelMotionController |
| 函数声明 | LowLevelMotionController(); |
| 功能概述 | 构造函数，初始化低层控制器对象。 |
| 备注 | 构造内部资源。 |

9.1.2 ~LowLevelMotionController

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | <code>~LowLevelMotionController</code> |
| 函数声明 | <code>virtual ~LowLevelMotionController();</code> |
| 功能概述 | 析构函数，释放资源。 |
| 备注 | 清理底层资源。 |

9.1.3 Initialize

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>Initialize</code> |
| 函数声明 | <code>virtual bool Initialize() override;</code> |
| 功能概述 | 初始化控制器，建立底层连接。 |
| 返回值 | <code>true</code> 表示成功， <code>false</code> 表示失败。 |
| 备注 | 首次调用必须初始化。 |

9.1.4 Shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>Shutdown</code> |
| 函数声明 | <code>virtual void Shutdown() override;</code> |
| 功能概述 | 关闭控制器，释放底层资源。 |
| 备注 | 配合 <code>Initialize</code> 使用。 |

9.1.5 SubscribeArmState

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>SubscribeArmState</code> |
| 函数声明 | <code>void SubscribeArmState(ArmJointStateCallback callback);</code> |
| 功能概述 | 订阅手臂关节状态数据 |
| 参数说明 | callback：接收数据处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.6 PublishArmCommand

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | PublishArmCommand |
| 函数声明 | Status PublishArmCommand(const JointCommand& command); |
| 功能概述 | 发布手臂控制指令 |
| 参数说明 | command: 目标位置/速度等 |
| 返回值 | true 表示成功, false 表示失败。 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.7 SubscribeLegState

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeLegState |
| 函数声明 | void SubscribeLegState(LegJointStateCallback callback); |
| 功能概述 | 订阅腿部关节状态数据 |
| 参数说明 | callback: 接收数据处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.8 PublishLegCommand

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | PublishLegCommand |
| 函数声明 | Status PublishLegCommand(const JointCommand& command); |
| 功能概述 | 发布腿部控制指令 |
| 参数说明 | command: 目标位置/速度等 |
| 返回值 | true 表示成功, false 表示失败。 |
| 备注 | 非阻塞接口, 发布或订阅时调用。 |

9.1.9 SubscribeHeadState

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeHeadState |
| 函数声明 | void SubscribeHeadState(HeadJointStateCallback callback); |
| 功能概述 | 订阅头部关节状态数据 |
| 参数说明 | callback: 接收数据处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.10 PublishHeadCommand

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | PublishHeadCommand |
| 函数声明 | Status PublishHeadCommand(const JointCommand& command); |
| 功能概述 | 发布头部控制指令 |
| 参数说明 | command: 目标位置/速度等 |
| 返回值 | true 表示成功, false 表示失败。 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.11 SubscribeWaistState

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeWaistState |
| 函数声明 | void SubscribeWaistState(WaistJointStateCallback callback); |
| 功能概述 | 订阅腰部关节状态数据 |
| 参数说明 | callback: 接收数据处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.12 PublishWaistCommand

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | PublishWaistCommand |
| 函数声明 | Status PublishWaistCommand(const JointCommand& command); |
| 功能概述 | 发布腰部控制指令 |
| 参数说明 | command: 目标位置/速度等 |
| 返回值 | true 表示成功, false 表示失败。 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.13 SubscribeHandState

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | SubscribeHandState |
| 函数声明 | void SubscribeHandState(HandStateCallback callback); |
| 功能概述 | 订阅手部状态数据 |
| 参数说明 | callback: 接收数据处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.14 PublishHandCommand

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | PublishHandCommand |
| 函数声明 | Status PublishHandCommand(const HandCommand& command); |
| 功能概述 | 发布手部控制指令 |
| 参数说明 | command: 手部关节目标位置等 |
| 返回值 | true 表示成功, false 表示失败。 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.15 SubscribeBodyImu

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeBodyImu |
| 函数声明 | void SubscribeBodyImu(const BodyImuCallback& callback); |
| 功能概述 | 订阅机体 IMU 数据 |
| 参数说明 | callback: IMU 数据处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.16 SubscribeEstimatorState

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeEstimatorState |
| 函数声明 | void SubscribeEstimatorState(const EstimatorStateCallback& callback); |
| 功能概述 | 订阅机体状态估计数据 |
| 参数说明 | callback: 状态估计数据处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

9.1.17 UnsubscribeArmState

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeArmState |
| 函数声明 | void UnsubscribeArmState(); |
| 功能概述 | 取消订阅手臂关节状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口, 与 SubscribeArmState 配对使用。 |

9.1.18 UnsubscribeLegState

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeLegState |
| 函数声明 | void UnsubscribeLegState(); |
| 功能概述 | 取消订阅腿部关节状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeLegState 配对使用。 |

9.1.19 UnsubscribeHeadState

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeHeadState |
| 函数声明 | void UnsubscribeHeadState(); |
| 功能概述 | 取消订阅头部关节状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeHeadState 配对使用。 |

9.1.20 UnsubscribeWaistState

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeWaistState |
| 函数声明 | void UnsubscribeWaistState(); |
| 功能概述 | 取消订阅腰部关节状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeWaistState 配对使用。 |

9.1.21 UnsubscribeHandState

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeHandState |
| 函数声明 | void UnsubscribeHandState(); |
| 功能概述 | 取消订阅手部状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeHandState 配对使用。 |

9.1.22 UnsubscribeBodyImu

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeBodyImu |
| 函数声明 | void UnsubscribeBodyImu(); |
| 功能概述 | 取消订阅机体 IMU 数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeBodyImu 配对使用。 |

9.1.23 UnsubscribeEstimatorState

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeEstimatorState |
| 函数声明 | void UnsubscribeEstimatorState(); |
| 功能概述 | 取消订阅机体状态估计数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeEstimatorState 配对使用。 |

9.2 类型定义

9.2.1 SingleHandJointCommand — 单个手部关节的控制命令

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------------|---------------|----------------------|
| operation_mode | int16_t | 控制字 |
| pos | vector<float> | 期望位置数组（7个自由度，单位：rad） |

9.2.2 HandCommand — 整个手部控制命令

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------|--------------------------------|-----------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳（单位：纳秒） |
| cmd | vector<SingleHandJointCommand> | 控制命令数组，依次为左手和右手 |

9.2.3 SingleHandJointState —单个手部关节的状态

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-------------|----------------|----------------|
| status_word | int16_t | 状态字 |
| pos | vector<float>; | 当前位置 (单位: rad) |
| toq | vector<float>; | 当前力矩 (单位: Nm) |
| cur | vector<float>; | 当前电流 (单位: A) |
| error_code | int16_t | 错误码 |

9.2.4 HandState —整个手部状态信息

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------|-------------------------------|--------------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳 (单位: 纳秒) |
| state | vector<SingleHandJointState>; | 所有手部关节状态 (左手、右手顺序) |

9.2.5 SingleJointCommand —单个关节的控制命令

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|------------|--------|--|
| operation_ | int16_ | 控制模式标识: • 200= 准备状态 • 3= 混合环力控 (位置 + 力矩) • 4= 串联 PID (位置环 + 速度环) • 5=ADRC 位控 (自抗扰控制) |
| pos | float | 目标位置 (单位: rad) |
| vel | float | 速度限制 (单位: rad/s) |
| toq | float | 力矩限制 (单位: Nm) |
| kp | float | 位置环比例增益 |
| kd | float | 速度环微分增益 |

- 左臂或者右臂 1-5 关节 operation_mode 需要从模式: 200 切换到模式: 3 (混合环力控模式) 进行指令下发;
- 腰部 1 关节 operation_mode 需要从模式: 200 切换到模式: 3 (混合环力控模式) 进行指令下发;
- 左腿或者右腿 1-6 关节 operation_mode 需要从模式: 200 切换到模式: 3 (混合环力控模式) 进行指令下发;
- 头部关节是纯位置控制, 不需要额外设置 operation_mode;

9.2.6 JointCommand —关节控制命令

下肢包含 12 个关节项，上肢 10(14) 个，头部 1(2) 个，腰部 1 个：

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------|----------------------------|------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳（单位：纳秒） |
| joints | vector<SingleJointCommand> | 所有关节的控制命令 |

9.2.7 SingleJointState —单个关节的状态信息

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-------------|---------|---------------------------------|
| status_word | int16_t | 当前关节状态（自定义状态机编码） |
| posH | float | 实际位置（高精度编码器读数） |
| posL | float | 实际位置（低精度编码器读数，用于冗余校验） |
| vel | float | 当前速度（单位：rad/s 或 m/s，根据关节类型自动切换） |
| toq | float | 当前力矩（单位：Nm） |
| current | float | 当前电流（单位：A） |
| err_code | int16_t | 错误码（如编码器异常、电机过流等，详见错误码对照表） |

9.2.8 JointState —关节状态数据

下肢包含 12 个关节项，上肢 10(14) 个，头部 1(2) 个，腰部 1 个：

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------|--------------------------|------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳（单位：纳秒） |
| joints | vector<SingleJointState> | 所有关节的状态数据 |

9.2.9 EstimatorState —状态估计数据

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|------------|-----------------------|---------------------|
| w_base_pos | std::array<double, 3> | 机体在世界坐标系中的位置 (m) |
| w_com_pos | std::array<double, 3> | 质心在世界坐标系中的位置 (m) |
| w_com_vel | std::array<double, 3> | 质心在世界坐标系中的线速度 (m/s) |
| w_base_vel | std::array<double, 3> | 机体在世界坐标系中的线速度 (m/s) |
| b_base_vel | std::array<double, 3> | 机体在机体坐标系中的线速度 (m/s) |

9.2.10 关节电机顺序

头部关节

| 索引 | 关节名 |
|----|------------|
| 0 | head_joint |

上臂关节

| 索引 | 关节名 |
|----|----------------------------|
| 0 | left_shoulder_pitch_joint |
| 1 | left_shoulder_roll_joint |
| 2 | left_shoulder_yaw_joint |
| 3 | left_elbow_joint |
| 4 | left_wrist_yaw_joint |
| 5 | left_wrist_roll_joint |
| 6 | left_wrist_pitch_joint |
| 7 | right_shoulder_pitch_joint |
| 8 | right_shoulder_roll_joint |
| 9 | right_shoulder_yaw_joint |
| 10 | right_elbow_roll_joint |
| 11 | right_wrist_yaw_joint |
| 12 | right_wrist_roll_joint |
| 13 | right_wrist_pitch_joint |

腰部关节

| 索引 | 关节名 |
|----|-----------------|
| 0 | waist_yaw_joint |

腿部关节

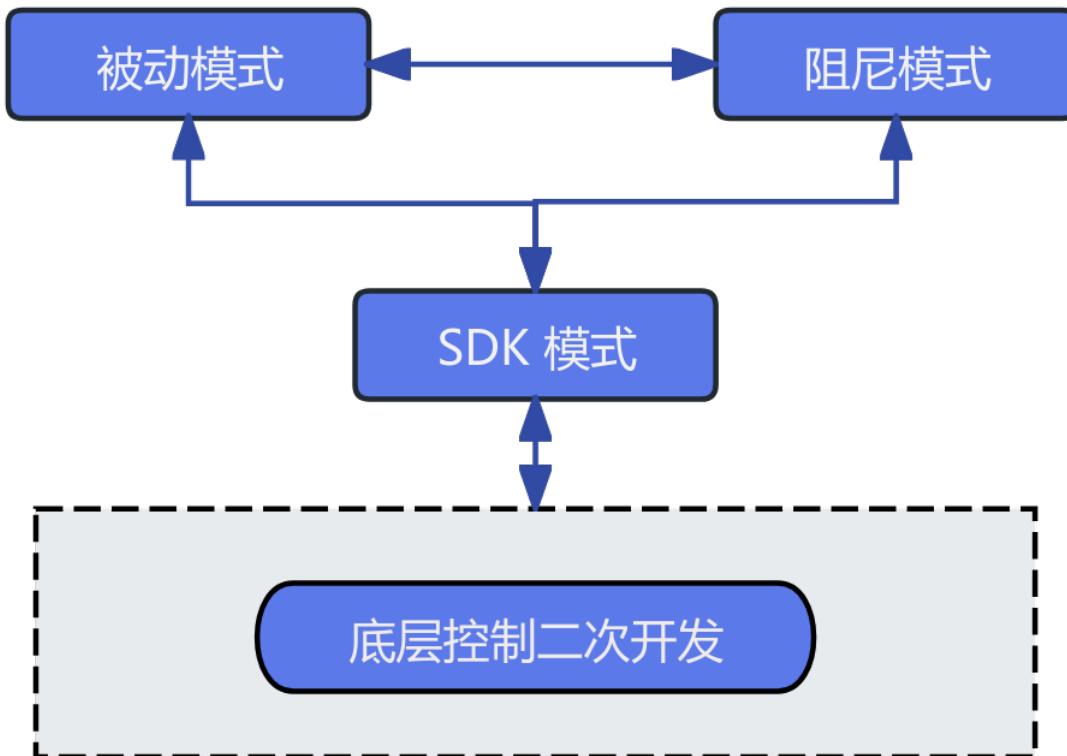
| 索引 | 关节名 |
|----|-------------------------|
| 0 | left_hip_pitch_joint |
| 1 | left_hip_roll_joint |
| 2 | left_hip_yaw_joint |
| 3 | left_knee_joint |
| 4 | left_ankle_pitch_joint |
| 5 | left_ankle_roll_joint |
| 6 | right_hip_pitch_joint |
| 7 | right_hip_roll_joint |
| 8 | right_hip_yaw_joint |
| 9 | right_knee_joint |
| 10 | right_ankle_pitch_joint |
| 11 | right_ankle_roll_joint |

9.3 URDF 参考

机器人 URDF

9.4 底层运动控制机器人状态介绍

机器人底层运动主要是开发关节的三环控制给开发人员进行机器人运动能力的二次开发，基本的控制状态切换机制：



9.5 注意事项

- 在使用 Subscribe 等订阅类 SDK 接口时，请避免在回调函数中执行阻塞式的数据处理操作。否则，可能导致消息堆积、处理延迟，甚至引发不可预期的错误。
- Z1 机器人上臂关节存在 5 自由度和 7 自由度 SKU 版本，针对不同版本，关节电机顺序和名称按序使用，不存在的关节忽略即可；

CHAPTER 10

传感器控制服务 C++

提供机器人系统传感器（雷达/rgbd 相机/双目相机）服务，通过 SensorController 可以通过 RPC 和话题方式实现对机器人的传感器进行指令控制和状态获取。

10.1 接口定义

SensorController 是封装机器人各类传感器的管理类，支持 Lidar、RGBD 相机与双目相机的初始化、控制与数据订阅。

△ **Notice:** 当前双目、RGBD 传感器接口暂未完全支持，请勿使用。

10.1.1 SensorController

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------|
| 函数名 | SensorController |
| 函数声明 | SensorController(); |
| 功能概述 | 构造函数，初始化传感器控制器对象。 |
| 备注 | 构造内部状态。 |

10.1.2 ~SensorController

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | <code>~SensorController</code> |
| 函数声明 | <code>virtual ~SensorController();</code> |
| 功能概述 | 析构函数，释放所有传感器资源。 |
| 备注 | 调用前应关闭传感器。 |

10.1.3 Initialize

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>Initialize</code> |
| 函数声明 | <code>bool Initialize();</code> |
| 功能概述 | 初始化控制器，包括资源申请和驱动加载。 |
| 返回值 | <code>true</code> 表示成功， <code>false</code> 表示失败。 |
| 备注 | 调用前需先构造对象。 |

10.1.4 Shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------|
| 函数名 | <code>Shutdown</code> |
| 函数声明 | <code>void Shutdown();</code> |
| 功能概述 | 关闭所有传感器连接并释放资源。 |
| 备注 | 配合 <code>Initialize</code> 使用。 |

10.1.5 OpenLidar

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------------------|
| 函数名 | <code>OpenLidar</code> |
| 函数声明 | <code>Status OpenLidar();</code> |
| 功能概述 | 打开雷达。 |
| 返回值 | <code>Status::OK</code> 表示成功，其他为失败。 |
| 备注 | 阻塞接口。 |

10.1.6 CloseLidar

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------|
| 函数名 | CloseLidar |
| 函数声明 | Status CloseLidar(); |
| 功能概述 | 关闭雷达。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败。 |
| 备注 | 阻塞接口，配合打开函数使用。 |

10.1.7 OpenRgbdCamera

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------|
| 函数名 | OpenRgbdCamera |
| 函数声明 | Status OpenRgbdCamera(); |
| 功能概述 | 打开 RGBD 相机（头部）。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败。 |
| 备注 | 阻塞接口。 |

10.1.8 CloseRgbdCamera

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------|
| 函数名 | CloseRgbdCamera |
| 函数声明 | Status CloseRgbdCamera(); |
| 功能概述 | 关闭 RGBD 相机。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败。 |
| 备注 | 阻塞接口，配合打开函数使用。 |

10.1.9 OpenBinocularCamera

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------------|
| 函数名 | OpenBinocularCamera |
| 函数声明 | Status OpenBinocularCamera(); |
| 功能概述 | 打开双目相机。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败。 |
| 备注 | 阻塞接口。 |

10.1.10 CloseBinocularCamera

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------|
| 函数名 | CloseBinocularCamera |
| 函数声明 | Status CloseBinocularCamera(); |
| 功能概述 | 关闭双目相机。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败。 |
| 备注 | 阻塞接口。 |

10.1.11 SubscribeLidarImu

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeLidarImu |
| 函数声明 | void SubscribeLidarImu(const LidarImuCallback& callback); |
| 功能概述 | 订阅雷达 IMU 数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到数据后的处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口，回调函数会在数据更新时被调用。 |

10.1.12 SubscribeLidarPointCloud

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeLidarPointCloud |
| 函数声明 | void SubscribeLidarPointCloud(const LidarPointCloudCallback& callback); |
| 功能概述 | 订阅雷达点云数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到点云后的处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口，回调函数会在数据更新时被调用。 |

10.1.13 SubscribeHeadRgbColorImage

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeHeadRgbColorImage |
| 函数声明 | void SubscribeHeadRgbColorImage(const RgbdImageCallback& callback); |
| 功能概述 | 订阅头部 RGBD 彩色图像数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到图像后的处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口，回调函数会在数据更新时被调用。 |

10.1.14 SubscribeHeadRgbDepthImage

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeHeadRgbDepthImage |
| 函数声明 | void SubscribeHeadRgbDepthImage(const RgbdImageCallback& callback); |
| 功能概述 | 订阅头部 RGBD 深度图像数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到图像后的处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口，回调函数会在数据更新时被调用。 |

10.1.15 SubscribeHeadRgbCameraInfo

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | SubscribeHeadRgbCameraInfo |
| 函数声明 | void SubscribeHeadRgbCameraInfo(const RgbdCameraInfoCallback& callback); |
| 功能概述 | 订阅头部 RGBD 相机参数 |
| 参数说明 | callback: 接收到参数后的处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口，回调函数会在数据更新时被调用。 |

10.1.16 SubscribeBinocularImage

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SubscribeBinocularImage |
| 函数声明 | void SubscribeBinocularImage(const BinocularImageCallback& callback); |
| 功能概述 | 订阅双目相机图像帧 |
| 参数说明 | callback: 接收到图像帧后的处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口，回调函数会在数据更新时被调用。 |

10.1.17 SubscribeBinocularCameraInfo

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | SubscribeBinocularCameraInfo |
| 函数声明 | void SubscribeBinocularCameraInfo(const RgbdCameraInfoCallback& callback); |
| 功能概述 | 订阅双目相机参数 |
| 参数说明 | callback: 接收到参数后的处理函数 |
| 备注 | 非阻塞接口，回调函数会在数据更新时被调用。 |

10.1.18 UnsubscribeLidarImu

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeLidarImu |
| 函数声明 | void UnsubscribeLidarImu(); |
| 功能概述 | 取消订阅雷达 IMU 数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeLidarImu 配对使用。 |

10.1.19 UnsubscribeLidarPointCloud

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | UnsubscribeLidarPointCloud |
| 函数声明 | void UnsubscribeLidarPointCloud(); |
| 功能概述 | 取消订阅雷达点云数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeLidarPointCloud 配对使用。 |

10.1.20 UnsubscribeHeadRgbIColorImage

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | UnsubscribeHeadRgbIColorImage |
| 函数声明 | void UnsubscribeHeadRgbIColorImage(); |
| 功能概述 | 取消订阅头部 RGBD 彩色图像数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeHeadRgbIColorImage 配对使用。 |

10.1.21 UnsubscribeHeadRgbDepthImage

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | UnsubscribeHeadRgbDepthImage |
| 函数声明 | void UnsubscribeHeadRgbDepthImage(); |
| 功能概述 | 取消订阅头部 RGBD 深度图像数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeHeadRgbDepthImage 配对使用。 |

10.1.22 UnsubscribeHeadRgbdCameraInfo

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | UnsubscribeHeadRgbdCameraInfo |
| 函数声明 | void UnsubscribeHeadRgbdCameraInfo(); |
| 功能概述 | 取消订阅头部 RGBD 相机参数 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeHeadRgbdCameraInfo 配对使用。 |

10.1.23 UnsubscribeBinocularImage

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeBinocularImage |
| 函数声明 | void UnsubscribeBinocularImage(); |
| 功能概述 | 取消订阅双目相机图像帧 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeBinocularImage 配对使用。 |

10.1.24 UnsubscribeBinocularCameraInfo

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | UnsubscribeBinocularCameraInfo |
| 函数声明 | void UnsubscribeBinocularCameraInfo(); |
| 功能概述 | 取消订阅双目相机参数 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 SubscribeBinocularCameraInfo 配对使用。 |

10.2 类型定义

10.2.1 Imu —IMU 数据结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|------------------------|---------------------------|------------------------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳 (单位: 纳秒) |
| orientation[4] | std::array<double, 4>; | 姿态四元数 (w, x, y, z) |
| angular_velocity[3] | std::array<double, 3>; | 角速度 (单位: rad/s) |
| linear_acceleration[3] | std::array<double, 3>; | 线加速度 (单位: m/s ²) |
| temperature | float | 温度 (单位: 摄氏度或其他, 应明确单位) |

10.2.2 Header —通用消息头结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------|-------------|--------------|
| stamp | int64_t | 时间戳 (单位: 纳秒) |
| frame_id | std::string | 坐标系名称 |

10.2.3 PointField —点字段描述

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------|-------------|-------------------------|
| name | std::string | 字段名 (如 x、y、z、intensity) |
| offset | int32_t | 起始字节偏移 |
| datatype | int8_t | 数据类型 (对应常量) |
| count | int32_t | 每点此字段包含元素数量 |

10.2.4 PointCloud2 —点云数据结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------------|---------------------|----------|
| header | Header | 消息头 |
| height | int32_t | 行数 |
| width | int32_t | 列数 |
| fields | vector<PointField>; | 点字段数组 |
| is_bigendian | bool | 字节序 |
| point_step | int32_t | 每个点的字节数 |
| row_step | int32_t | 每行的字节数 |
| data | vector<uint8_t>; | 原始点云字节数据 |
| is_dense | bool | 是否稠密点云 |

10.2.5 Image —图像数据结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------------|------------------|---------------------|
| header | Header | 消息头 |
| height | int32_t | 图像高度（像素） |
| width | int32_t | 图像宽度（像素） |
| encoding | std::string | 编码类型（如 rgb8, mono8） |
| is_bigendian | bool | 是否为大端模式 |
| step | int32_t | 每行图像占用字节数 |
| data | vector<uint8_t>; | 原始图像字节数据 |

10.2.6 CameraInfo — 相机内参与畸变信息

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|------------------|-------------------------|--------------------|
| header | Header | 消息头 |
| height | int32_t | 图像高度 |
| width | int32_t | 图像宽度 |
| distortion_model | std::string | 畸变模型 (如 plumb_bob) |
| D | vector<double>; | 畸变参数数组 |
| K | std::array<double, 9>; | 相机内参矩阵 |
| R | std::array<double, 9>; | 矫正矩阵 |
| P | std::array<double, 12>; | 投影矩阵 |
| binning_x | int32_t | 水平 binning 系数 |
| binning_y | int32_t | 垂直 binning 系数 |
| roi_x_offset | int32_t | ROI 起始 x 坐标 |
| roi_y_offset | int32_t | ROI 起始 y 坐标 |
| roi_height | int32_t | ROI 高度 |
| roi_width | int32_t | ROI 宽度 |
| roi_do_rectify | bool | 是否进行矫正 |

10.2.7 BinocularCameraFrame — 双目相机帧数据结构

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------|------------------|-----------------------------|
| header | Header | 通用消息头 |
| format | std::string | 图像格式 |
| data | vector<uint8_t>; | 左目和双目拼接图像数据，左半为左目图像，右半为右目图像 |

10.3 注意事项

在使用 Subscribe 等订阅类 SDK 接口时，请避免在回调函数中执行阻塞式的数据处理操作。否则，可能导致消息堆积、处理延迟，甚至引发不可预期的错误。

语音控制服务 C++

提供机器人系统语音服务控制器，通过 `AudioController` 可以通过 RPC 方式实现对机器人的音频进行指令控制和状态获取。

11.1 接口定义

`AudioController` 是一个封装音频控制功能的 C++ 类，主要用于音频播放控制、TTS 播放、音量设置与查询等场景。

11.1.1 `AudioController`

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------|
| 函数名 | <code>AudioController</code> |
| 函数声明 | <code>AudioController();</code> |
| 功能概述 | 初始化音频控制器对象，构造内部状态，分配资源等。 |
| 备注 | 构造内部状态。 |

11.1.2 ~AudioController

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | <code>~AudioController</code> |
| 函数声明 | <code>~AudioController();</code> |
| 功能概述 | 释放音频控制器资源，确保停止播放并清理底层资源。 |
| 备注 | 确保资源安全释放。 |

11.1.3 Initialize

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>Initialize</code> |
| 函数声明 | <code>bool Initialize();</code> |
| 功能概述 | 初始化音频控制模块，准备播放资源与设备。 |
| 返回值 | <code>true</code> 表示成功， <code>false</code> 表示失败。 |
| 备注 | 与 <code>Shutdown()</code> 配对使用。 |

11.1.4 Shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------------|
| 函数名 | <code>Shutdown</code> |
| 函数声明 | <code>void Shutdown();</code> |
| 功能概述 | 关闭音频控制器并释放资源。 |
| 备注 | 确保在销毁前调用。 |

11.1.5 Play

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>Play</code> |
| 函数声明 | <code>Status Play(const TtsCommand& cmd, int timeout_ms);</code> |
| 功能概述 | 播放 TTS（文本转语音）语音命令。 |
| 参数说明 | <code>cmd</code> : TTS 命令，包含文本、语速、语调等。 |
| 返回值 | <code>Status::OK</code> 表示成功，其他为失败状态。 |
| 备注 | 阻塞接口，调用前需确保已初始化模块。 |

11.1.6 Stop

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------|
| 函数名 | Stop |
| 函数声明 | Status Stop(); |
| 功能概述 | 停止当前音频播放。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败状态。 |
| 备注 | 阻塞接口，通常用于中断当前语音。 |

11.1.7 SetVolume

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------------|
| 函数名 | SetVolume |
| 函数声明 | Status SetVolume(int volume); |
| 功能概述 | 设置音频输出的音量。 |
| 参数说明 | volume: 音量值，通常范围为 0~100。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败状态。 |
| 备注 | 阻塞接口，设置后立即生效。 |

11.1.8 GetVolume

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------|
| 函数名 | GetVolume |
| 函数声明 | Status GetVolume(int& volume); |
| 功能概述 | 获取当前音频输出音量。 |
| 参数说明 | volume: 通过引用返回当前音量值。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败状态。 |
| 备注 | 阻塞接口，返回值需检查后再使用 volume。 |

11.1.9 OpenAudioStream

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------|
| 函数名 | OpenAudioStream |
| 函数声明 | Status OpenAudioStream(); |
| 功能概述 | 打开音频流，准备音频播放。 |
| 返回值 | 操作状态，成功返回 Status::OK。 |

11.1.10 CloseAudioStream

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------|
| 函数名 | CloseAudioStream |
| 函数声明 | Status CloseAudioStream(); |
| 功能概述 | 关闭音频流。 |
| 返回值 | 操作状态，成功返回 Status::OK。 |

11.1.11 SubscribeOriginAudioStream

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | SubscribeOriginAudioStream |
| 函数声明 | void SubscribeOriginAudioStream(const OriginAudioStreamCallback callback); |
| 功能概述 | 订阅原始音频流数据。 |
| 参数说明 | callback：接收到原始音频流数据后的处理回调函数 |

11.1.12 UnsubscribeOriginAudioStream

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeOriginAudioStream |
| 函数声明 | void UnsubscribeOriginAudioStream(); |
| 功能概述 | 取消订阅原始音频流数据。 |

11.1.13 SubscribeBfAudioStream

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | SubscribeBfAudioStream |
| 函数声明 | void SubscribeBfAudioStream(const BfAudioStreamCallback callback); |
| 功能概述 | 订阅 BF 音频流数据。 |
| 参数说明 | callback：接收到 BF 音频流数据后的处理回调函数 |

11.1.14 UnsubscribeBfAudioStream

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeBfAudioStream |
| 函数声明 | void UnsubscribeBfAudioStream(); |
| 功能概述 | 取消订阅 BF 音频流数据。 |

11.1.15 OpenWakeupStatusStream

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | OpenWakeupStatusStream |
| 函数声明 | Status OpenWakeupStatusStream(); |
| 功能概述 | 启用语音唤醒状态流。 |
| 返回值 | 操作状态，成功返回 Status::OK。 |

11.1.16 CloseWakeupStatusStream

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------------------------|
| 函数名 | CloseWakeupStatusStream |
| 函数声明 | Status CloseWakeupStatusStream(); |
| 功能概述 | 禁用语音唤醒状态流。 |
| 返回值 | 操作状态，成功返回 Status::OK。 |

11.1.17 SubscribeWakeupStatus

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | SubscribeWakeupStatus |
| 函数声明 | void SubscribeWakeupStatus(const WakeupStatusCallback callback); |
| 功能概述 | 订阅语音唤醒状态。 |
| 参数说明 | callback：接收到唤醒状态后的处理回调函数 |

11.1.18 UnsubscribeWakeupStatus

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeWakeupStatus |
| 函数声明 | void UnsubscribeWakeupStatus(); |
| 功能概述 | 取消订阅语音唤醒状态。 |

11.2 类型定义

11.2.1 TtsPriority —TTS 播报优先级等级

用于控制不同 TTS 任务之间的中断行为。优先级越高的任务将中断当前低优先级任务的播放。

| 枚举值 | 描述 |
|---------------------|----------------------|
| TtsPriority::HIGH | 最高优先级，例如：低电告警、紧急提醒 |
| TtsPriority::MIDDLE | 中优先级，例如：系统提示、状态播报 |
| TtsPriority::LOW | 最低优先级，例如：日常语音对话、背景播报 |

11.2.2 TtsMode —同一优先级下的任务调度策略

用于细化控制在相同优先级条件下多个 TTS 任务的播放顺序和清除逻辑。

| 枚举值 | 描述 |
|----------------------|-----------------------------------|
| TtsMode::CLEARTOP | 清空当前优先级所有任务（包括正在播放和等待队列），立即播放本次请求 |
| TtsMode::ADD | 将本次请求追加到当前优先级队列尾部，顺序播放（不打断当前播放） |
| TtsMode::CLEARBUFFER | 清空队列中未播放的请求，保留当前播放，之后播放本次请求 |

11.3 结构体定义

11.3.1 TtsCommand —TTS 播放命令结构体

描述一次 TTS 播放请求的完整信息，支持设置唯一标识、文本内容、优先级控制以及同优先级下的调度模式。

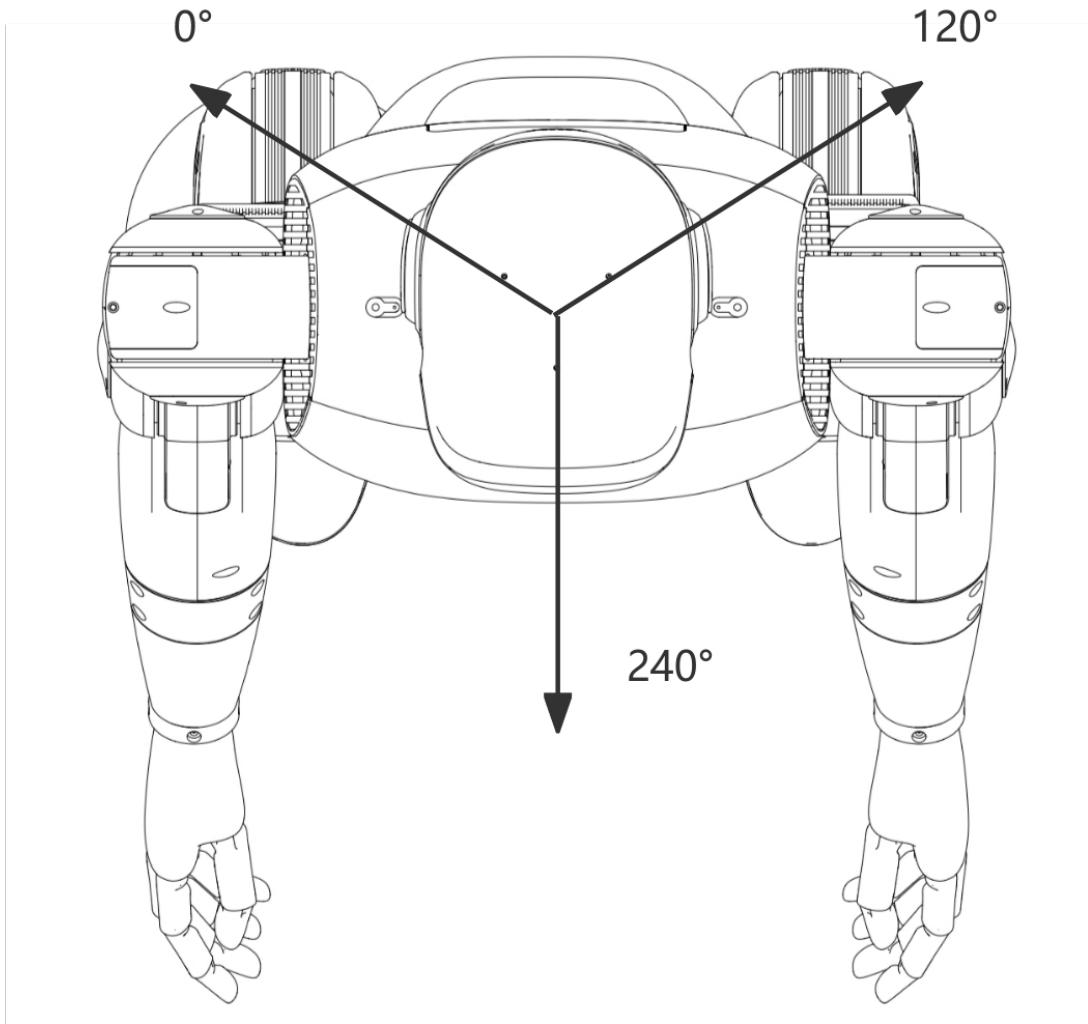
| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------|-------------|---------------------------------|
| id | std::string | TTS 任务唯一 ID，例如 "id_01"，用于追踪播放状态 |
| content | std::string | 要播放的文本内容，例如 " 你好，欢迎使用智能语音系统。 " |
| priority | TtsPriority | 播报优先级，控制是否中断正在播放的低优先级语音 |
| mode | TtsMode | 同优先级下的调度策略，控制任务是否追加、覆盖等 |

11.3.2 AudioStream - 音频流结构体

描述原始音频流或 BF 音频流数据。

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-------------|-----------------------|-------|
| data_length | int32_t | 数据长度 |
| raw_data | std::vector<uint8_t>; | 音频流数据 |

11.4 DOA



11.5 注意事项

在使用 Subscribe 等订阅类 SDK 接口时，请避免在回调函数中执行阻塞式的数据处理操作。否则，可能导致消息堆积、处理延迟，甚至引发不可预期的错误。

CHAPTER 12

状态监控服务 C++

提供机器人状态监控接口类，通过 StateMonitor 可以提供状态查询等接口。

12.1 接口定义

StateMonitor 是机器人系统状态监控管理类，该类通常用于控制机器人的状态管理，支持状态查询。

12.1.1 StateMonitor

| 项目 | 内容 |
|------|------------------|
| 函数名 | StateMonitor |
| 函数声明 | StateMonitor(); |
| 功能概述 | 构造函数，初始化状态监控器对象。 |
| 备注 | 构造内部状态。 |

12.1.2 ~StateMonitor

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------------|
| 函数名 | <code>~StateMonitor</code> |
| 函数声明 | <code>virtual ~StateMonitor();</code> |
| 功能概述 | 析构函数，释放资源。 |
| 备注 | 调用前应关闭传感器。 |

12.1.3 Initialize

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>Initialize</code> |
| 函数声明 | <code>bool Initialize();</code> |
| 功能概述 | 初始化控制器，包括资源申请和驱动加载。 |
| 返回值 | <code>true</code> 表示成功， <code>false</code> 表示失败。 |
| 备注 | 调用前需先构造对象。 |

12.1.4 Shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------|
| 函数名 | <code>Shutdown</code> |
| 函数声明 | <code>void Shutdown();</code> |
| 功能概述 | 关闭并释放资源。 |
| 备注 | 配合 <code>Initialize</code> 使用。 |

12.1.5 GetcurrentState

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | <code>GetCurrentState</code> |
| 函数声明 | <code>Status GetcurrentState(RobotState& robot_state);</code> |
| 功能概述 | 获取当前机器人聚合状态 |
| 返回值 | <code>Status::OK</code> 表示成功，其他为失败状态。 |
| 备注 | 非阻塞接口，获取最近监控到的机器人状态数据，包括 BMS/故障状态监控等，后续会迭代拓展 |

12.1.6 RobotState — 机器人状态数据结构体

用于表示机器人总体状态信息：

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------|----------------|----------|
| faults | vector<Fault>; | 故障信息列表 |
| bms_data | BmsData | 电池管理系统数据 |

12.1.7 BmsData — 电池管理系统数据结构体

表示电池的状态信息：

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|---------------------|-------------------|-----------------------|
| battery_percentage | float | 当前电池剩余电量 (百分比, 0~100) |
| battery_health | float | 电池健康状态 (越高越好) |
| battery_state | BatteryState | 电池状态 (见下方枚举) |
| power_supply_status | PowerSupplyStatus | 电池充放电状态 (见下方枚举) |

12.1.8 枚举类型定义

BatteryState — 电池状态枚举类型

用于表示电池当前的状态，用于系统中电池状态的判断和处理：

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|-------------------------------------|----|----------|
| BatteryState::UNKNOWN | 0 | 未知状态 |
| BatteryState::GOOD | 1 | 电池状态良好 |
| BatteryState::OVERHEAT | 2 | 电池过热 |
| BatteryState::DEAD | 3 | 电池损坏 |
| BatteryState::OVERVOLTAGE | 4 | 电池过电压 |
| BatteryState::UNSPEC_FAILURE | 5 | 未知故障 |
| BatteryState::COLD | 6 | 电池过冷 |
| BatteryState::WATCHDOG_TIMER_EXPIRE | 7 | 看门狗定时器超时 |
| BatteryState::SAFETY_TIMER_EXPIRE | 8 | 安全定时器超时 |

PowerSupplyStatus — 电池充放电状态

用于表示当前电池的充放电状态：

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|--------------------------------|----|--------|
| PowerSupplyStatus::UNKNOWN | 0 | 未知状态 |
| PowerSupplyStatus::CHARGING | 1 | 电池充电中 |
| PowerSupplyStatus::DISCHARGING | 2 | 电池放电中 |
| PowerSupplyStatus::NOTCHARGING | 3 | 电池未充放电 |
| PowerSupplyStatus::FULL | 4 | 电池充满 |

12.2 错误码映射表

| 错误码（十六进制） | 错误描述 |
|-----------|-------------------------------------|
| 0x0000 | No fault |
| 0x1101 | Service invocation failed |
| 0x1301 | Central control node lost |
| 0x1302 | App node lost |
| 0x1303 | Audio node lost |
| 0x1304 | Stereo camera node lost |
| 0x1305 | LIDAR node lost |
| 0x1306 | SLAM node lost |
| 0x1307 | Navigation node lost |
| 0x1308 | AI node lost |
| 0x1309 | Head node lost |
| 0x130A | Point cloud node lost |
| 0x2201 | No LIDAR data received |
| 0x2202 | No stereo camera data received |
| 0x2203 | Stereo camera data error |
| 0x2204 | Stereo camera initialization failed |
| 0x220B | No odometry data received |
| 0x220C | No IMU data received |
| 0x2215 | Depth camera not detected |
| 0x3101 | Failed to connect robot to app |
| 0x3102 | Heartbeat lost - assertion failed |
| 0x4201 | Failed to open head serial port |
| 0x4202 | No head data received |
| 0x5201 | No navigation TF data |
| 0x5202 | No navigation map data |
| 0x5203 | No navigation localization data |
| 0x5204 | No navigation LIDAR data |

下页继续

表 1 - 续上页

| 错误码 (十六进制) | 错误描述 |
|------------|---|
| 0x5205 | No navigation depth camera data |
| 0x5206 | No navigation multi-line LIDAR data |
| 0x5207 | No navigation odometry data |
| 0x6201 | SLAM localization error |
| 0x6102 | No SLAM LIDAR data |
| 0x6103 | No SLAM odometry data |
| 0x6104 | SLAM map data error |
| 0x7201 | LCM connection timeout |
| 0x8201 | Left leg hardware error |
| 0x8202 | Right leg hardware error |
| 0x8203 | Left arm hardware error |
| 0x8204 | Right arm hardware error |
| 0x8205 | Waist hardware error |
| 0x8206 | Head hardware error |
| 0x8207 | Hand hardware error |
| 0x8208 | Gripper hardware error |
| 0x8209 | IMU hardware error |
| 0x820A | Power system hardware error |
| 0x820B | Leg force sensor hardware error |
| 0x820C | Arm force sensor hardware error |
| 0x9201 | ECAT (EtherCAT) hardware error |
| 0xA201 | Motion posture error |
| 0xA202 | Foot position deviation during movement |
| 0xA203 | Joint velocity error during motion |

CHAPTER 13

SLAM 导航控制服务 C++

提供机器人系统 SLAM（同时定位与地图构建）和导航控制服务，通过 SlamNavController 可以通过 RPC 通信方式实现对机器人的建图、定位、导航等功能的控制。

13.1 接口定义

SlamNavController 是面向 SLAM 和导航控制的控制器，支持如建图、定位、导航、地图管理等控制操作，封装底层细节以供上层系统调用。

13.1.1 SlamNavController

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------------|
| 函数名 | SlamNavController |
| 函数声明 | SlamNavController(); |
| 功能概述 | 构造函数，初始化 SLAM 导航控制器状态 |
| 备注 | 构造内部控制资源 |

13.1.2 ~SlamNavController

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------------|
| 函数名 | <code>~SlamNavController</code> |
| 函数声明 | <code>~SlamNavController();</code> |
| 功能概述 | 析构函数，释放控制器资源 |
| 备注 | 配合构造函数使用 |

13.1.3 Initialize

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | <code>Initialize</code> |
| 函数声明 | <code>bool Initialize();</code> |
| 功能概述 | 初始化 SLAM 导航控制器，准备 SLAM 和导航功能 |
| 返回值 | <code>true</code> 表示成功， <code>false</code> 表示失败 |
| 备注 | 首次使用前必须调用 |

13.1.4 Shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------------|
| 函数名 | <code>Shutdown</code> |
| 函数声明 | <code>void Shutdown();</code> |
| 功能概述 | 关闭控制器并释放资源 |
| 备注 | 配合 <code>Initialize</code> 使用，安全断开连接 |

13.1.5 ActivateSlamMode

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | <code>ActivateSlamMode</code> |
| 函数声明 | <code>Status ActivateSlamMode(SlamMode mode, std::string map_path = "", int timeout_ms);</code> |
| 功能概述 | 激活 SLAM 模式并开始建图或定位模式 |
| 参数说明 | <code>mode</code> : SLAM 模式枚举 <code>map_path</code> : 地图绝对路径 (定位模式时使用), 可通过 <code>GetMapPath</code> 获取 <code>timeout_ms</code> : 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | <code>Status::OK</code> 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 支持建图和定位模式切换 |

13.1.6 StartMapping

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------------|
| 函数名 | StartMapping |
| 函数声明 | Status StartMapping(int timeout_ms); |
| 功能概述 | 开始建图 |
| 参数说明 | timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 需先激活建图模式 |

13.1.7 CancelMapping

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------------|
| 函数名 | CancelMapping |
| 函数声明 | Status CancelMapping(int timeout_ms); |
| 功能概述 | 取消建图 |
| 参数说明 | timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 取消当前建图任务 |

13.1.8 SaveMap

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | SaveMap |
| 函数声明 | Status SaveMap(const std::string& map_name, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 结束建图并保存地图 |
| 参数说明 | map_name: 地图名称 timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 需在建图模式下调用 |

13.1.9 LoadMap

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | LoadMap |
| 函数声明 | Status LoadMap(const std::string& map_name, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 加载地图并设置为当前地图 |
| 参数说明 | map_name: 地图名称 timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 加载指定名称的地图 |

13.1.10 DeleteMap

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | DeleteMap |
| 函数声明 | Status DeleteMap(const std::string& map_name, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 删除地图 |
| 参数说明 | map_name: 要删除的地图名称 timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 永久删除指定地图 |

13.1.11 GetMapPath

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | GetMapPath |
| 函数声明 | Status GetMapPath(const std::string& map_name, std::vector<std::vector<float>>& map_path, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 获取地图路径 |
| 参数说明 | map_name: 地图名称 map_path: 地图路径 (输出参数) timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 获取指定地图的存储路径 |

13.1.12 GetAllMapInfo

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | GetAllMapInfo |
| 函数声明 | Status GetAllMapInfo(AllMapInfo& all_map_info, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 获取所有地图信息 |
| 参数说明 | all_map_info: 所有地图信息 (输出参数) timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 获取系统中所有地图的详细信息 |

13.1.13 InitPose

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | InitPose |
| 函数声明 | Status InitPose(const Pose3DEuler& pose, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 初始化位姿 |
| 参数说明 | pose: 要发布的位姿信息 timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认 15000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 设置机器人初始位姿; 发布位姿时要对 Yaw 方向施加一个固定的 3.14rad 偏置, 因为激光雷达的机械安装与机器人本体存在一个 3.14rad 的偏置 |

13.1.14 GetCurrentLocalizationInfo

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | GetCurrentLocalizationInfo |
| 函数声明 | Status GetCurrentLocalizationInfo(LocalizationInfo& pose_info, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 获取当前位姿信息 |
| 参数说明 | pose_info: 当前位置和姿态信息 (输出参数) timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 获取机器人当前位姿状态 |

13.1.15 ActivateNavMode

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | ActivateNavMode |
| 函数声明 | Status ActivateNavMode(NavMode mode, std::string map_path = "", int timeout_ms); |
| 功能 | 激活导航模式 |
| 概述 | |
| 参数 | mode: 目标导航模式 map_path: 地图绝对路径 (GRID_MAP 模式时使用), 可通过 GetMapPath 获得 |
| 说明 | timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 激活指定导航模式 |

13.1.16 SetNavTarget

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | SetNavTarget |
| 函数声明 | Status SetNavTarget(const NavTarget& goal, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 设置全局导航目标点并开始导航任务 |
| 参数说明 | goal: 目标点的全局坐标 timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 设置导航目标并开始导航 |

13.1.17 PauseNavTask

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------|
| 函数名 | PauseNavTask |
| 函数声明 | Status PauseNavTask(); |
| 功能概述 | 暂停当前导航任务 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 非阻塞接口, 暂停导航任务 |

13.1.18 ResumeNavTask

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------|
| 函数名 | ResumeNavTask |
| 函数声明 | Status ResumeNavTask(); |
| 功能概述 | 恢复暂停的导航任务 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 非阻塞接口，恢复暂停的导航任务 |

13.1.19 CancelNavTask

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------|
| 函数名 | CancelNavTask |
| 函数声明 | Status CancelNavTask(); |
| 功能概述 | 取消当前导航任务 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 非阻塞接口，取消当前导航任务 |

13.1.20 GetNavStatus

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | GetNavStatus |
| 函数声明 | Status GetNavStatus(NavStatus& nav_status); |
| 功能概述 | 获取导航状态 |
| 参数说明 | nav_status: 导航状态 (输出参数) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 非阻塞接口，获取当前导航状态信息 |

13.1.21 OpenOdometryStream

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------|
| 函数名 | OpenOdometryStream |
| 函数声明 | Status OpenOdometryStream(); |
| 功能概述 | 打开里程计数据流 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口，返回值需检查是否执行成功 |

13.1.22 CloseOdometryStream

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------------|
| 函数名 | CloseOdometryStream |
| 函数声明 | Status CloseOdometryStream(); |
| 功能概述 | 关闭里程计数据流 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口，配合 OpenOdometryStream 使用 |

13.1.23 SubscribeOdometry

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | SubscribeOdometry |
| 函数声明 | void SubscribeOdometry(const OdometryCallback callback); |
| 功能概述 | 订阅里程计数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到里程计数据后的处理回调函数 |
| 备注 | 非阻塞接口，回调函数会在里程计数据更新时被调用 |

13.1.24 UnsubscribeOdometry

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------|
| 函数名 | UnsubscribeOdometry |
| 函数声明 | void UnsubscribeOdometry(); |
| 功能概述 | 取消订阅里程计数据 |
| 备注 | 非阻塞接口。与 SubscribeOdometry 配合使用 |

13.1.25 GetPointCloudMap

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | GetPointCloudMap |
| 函数声明 | Status GetPointCloudMap(PointCloud2& point_cloud_map, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 获取点云地图数据 |
| 参数说明 | point_cloud_map: 点云地图数据 (输出参数) timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口，获取当前点云地图数据 |

13.2 类型定义

13.2.1 Pose3DEuler —3D 位姿结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-------------|------------------------|-----------------------|
| position | std::array<double, 3>; | 位置坐标(x, y, z) |
| orientation | std::array<double, 3>; | 欧拉角(roll, pitch, yaw) |

13.2.2 NavTarget —导航目标点结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------|-------------|-----------|
| id | int | 目标点 ID |
| frame_id | std::string | 目标点坐标系 ID |
| goal | Pose3DEuler | 目标点位姿 |

13.2.3 LocalizationInfo —位姿信息结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------------|-------------|-------|
| is_localization | bool | 是否已定位 |
| pose | Pose3DEuler | 当前位姿 |

13.2.4 NavStatus —导航状态结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|------------|---------------|-------------------|
| id | int | 目标点 ID, -1 表示无目标点 |
| status | NavStatusType | 导航状态类型 |
| error_code | std::string | 导航状态码 |
| error_desc | std::string | 导航状态消息 |

13.2.5 PolyRegion —多边形区域结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------|-----------------------|---------|
| points | std::vector<Point2D>; | 多边形顶点列表 |

13.2.6 Point2D —2D 点结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----|--------|------|
| x | double | X 坐标 |
| y | double | Y 坐标 |

13.3 枚举类型定义

13.3.1 SlamMode —SLAM 模式枚举

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|--------------|----|------|
| IDLE | 0 | 空闲模式 |
| LOCALIZATION | 1 | 定位模式 |
| MAPPING | 2 | 建图模式 |

13.3.2 NavMode —导航模式枚举

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|----------|----|----------|
| IDLE | 0 | 空闲模式 |
| GRID_MAP | 1 | 网格地图导航模式 |

13.3.3 NavStatusType —导航状态类型枚举

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|-------------|----|------|
| NONE | 0 | 无状态 |
| RUNNING | 1 | 运行中 |
| END_SUCCESS | 2 | 成功结束 |
| END_FAILED | 3 | 失败结束 |
| PAUSE | 4 | 暂停 |
| CONTINUE | 5 | 继续 |
| CANCEL | 6 | 取消 |

13.4 SLAM 导航控制介绍

机器人的 SLAM 导航控制服务可分为 SLAM 功能和导航功能。

- SLAM 功能中，可调用相应的接口，实现建图、定位、地图管理等功能。
- 导航功能中，可调用相应的接口，实现目标导航、导航控制等功能。

13.4.1 适用场景与范围

- 小于 100m * 100m 且特征丰富的静态室内平地场景，请勿超过建议范围
- 该部分功能适用于教育科研行业，不建议用于行业应用，行业应用请联系销售

13.4.2 SLAM 功能流程

| 功能 | 操作流程 |
|------|---------------------------|
| 建图 | 激活建图模式 → 开始建图 → 保存地图 |
| 地图管理 | 加载地图、获取地图信息、删除地图、获取地图绝对路径 |

13.4.3 导航功能流程

| 功能 | 操作流程 |
|------|--|
| 定位 | 加载地图 → 激活定位模式 → 初始化位姿 → 获取定位状态 |
| 导航 | 定位成功 → 激活导航模式 → 设置目标位姿 (开始导航任务) → 获取导航状态 |
| 导航控制 | 设置目标姿态 (开始导航任务) → 暂停导航 → 恢复导航 → 取消导航 |

13.4.4 定位模式初始化

SLAM 处于定位模式时，可以指定初始位姿以快速完成重定位与初始化，在使用大规模地图时必须指定初始位姿：

小地图模式

满足如下条件：

- 条件一：地图不能太大例如在一个房间内，地图面积最好控制在 10m * 10m 以内；
- 条件二，修改配置适配该模式：

```
# 登录机器人本体
ssh eame@192.168.54.119
# 修改如下配置
# vim /opt/eame/eamegrapher_3d/share/eamegrapher_3d/config/params.yaml
```

(下页继续)

(续上页)

```
reloc_options: true

# 首次更改yaml文件后需要重启SLAM模块生效，重启指令为：
sudo systemctl restart slam.service
```

大地图模式

满足如下条件：

- 条件一：机器人必须处于建图原点（建图开始时机器人的出发点），机器人朝向也要保持一致
- 条件二：修改配置适配该模式：

SDK 方式 SLAM 导航不同于 App 端方便可视化进行定位，需要修改 SLAM 配置，固定地图方向，方便 SLAM 定位：

```
# 登录机器人本体
ssh eame@192.168.54.119
# 修改如下配置
# vim /opt/eame/eamegrapher_3d/share/eamegrapher_3d/config/params.yaml
align_map: false

# 首次更改yaml文件后需要重启SLAM模块生效，重启指令为：
sudo systemctl restart slam.service
```

- 条件三：初始化位姿时，需要对 yaw 角施加一个 180° (3.14rad) 偏置：

因为激光雷达的机械安装与机器人本体相差 180°

13.4.5 地图噪点擦除以及添加障碍

- 软件名称：GIMP
- 下载地址：<https://www.gimp.org/downloads/>
- 操作系统：Ubuntu
- 编辑对象：/home/eame/cust_para/maps/\${map_name}/map/map.pgm 登录机器人本体（ssh eame@192.168.54.119），将.pgm 地图文件通过 GIMP 进行编辑，编辑完成后进行替换；
- 编辑视频：

机器人主控制服务 Python

提供机器人系统主控制器，通过 `MagicRobot` 类可以进行资源初始化、管理通信连接、访问各子控制器如运动控制器、语音、状态监控以及传感器控制器等。

14.1 接口定义

`MagicRobot` 是机器人 SDK 的统一入口类。

14.1.1 MagicRobot

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------------------|
| 类名 | <code>MagicRobot</code> |
| 构造函数 | <code>robot = MagicRobot()</code> |
| 功能概述 | 构造函数，创建 <code>MagicRobot</code> 实例。 |
| 备注 | 构造内部状态。 |

14.1.2 initialize

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------------|
| 函数名 | initialize |
| 函数声明 | bool initialize(str local_ip) |
| 功能概述 | 初始化机器人系统，包括控制器与网络模块。 |
| 参数说明 | local_ip: 本地通信 IP 地址。 |
| 返回值 | True 表示成功, False 表示失败。 |
| 备注 | 首次使用前必须调用。 |

14.1.3 shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------|
| 函数名 | shutdown |
| 函数声明 | void shutdown() |
| 功能概述 | 关闭机器人系统，释放资源。 |
| 备注 | 配合 initialize 使用。 |

14.1.4 connect

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | connect |
| 函数声明 | Status connect() |
| 功能概述 | 与机器人服务建立通信连接。 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口，需初始化后调用。 |

14.1.5 disconnect

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | disconnect |
| 函数声明 | Status disconnect() |
| 功能概述 | 断开与机器人服务的连接。 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口，与 connect 配对使用。 |

14.1.6 get_sdk_version

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------------|
| 函数名 | get_sdk_version |
| 函数声明 | str get_sdk_version() |
| 功能概述 | 获取当前 SDK 的版本号。 |
| 返回值 | SDK 版本字符串 (如 0.0.1)。 |
| 备注 | 非阻塞接口，便于调试或日志标记。 |

14.1.7 get_motion_control_level

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | get_motion_control_level |
| 函数声明 | ControllerLevel get_motion_control_level() |
| 功能概述 | 获取当前运动控制级别 (高层/低层)。 |
| 返回值 | ControllerLevel 枚举值。 |
| 备注 | 非阻塞接口，用于判断当前控制权限。 |

14.1.8 set_motion_control_level

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | set_motion_control_level |
| 函数声明 | Status set_motion_control_level(ControllerLevel level) |
| 功能概述 | 设置当前运动控制级别。 |
| 参数说明 | level：控制权限枚举值。 |
| 返回值 | Status 对象，Status.code == ErrorCode.OK 表示设置成功。 |
| 备注 | 阻塞接口，控制模式切换时使用。 |

14.1.9 get_high_level_motion_controller

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | get_high_level_motion_controller |
| 函数声明 | HighLevelMotionController get_high_level_motion_controller() |
| 功能概述 | 获取高层运动控制器对象。 |
| 返回值 | HighLevelMotionController 对象，用于调用高层控制接口。 |
| 备注 | 非阻塞接口，封装了步态、特技、遥控等控制。 |

14.1.10 get_low_level_motion_controller

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | get_low_level_motion_controller |
| 函数声明 | LowLevelMotionController get_low_level_motion_controller() |
| 功能概述 | 获取低层运动控制器对象。 |
| 返回值 | LowLevelMotionController 对象，用于控制关节或电机。 |
| 备注 | 非阻塞接口，直接控制关节电机、获取 imu 等。 |

14.1.11 get_audio_controller

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | get_audio_controller |
| 函数声明 | AudioController get_audio_controller() |
| 功能概述 | 获取音频控制器对象。 |
| 返回值 | AudioController 对象，用于语音控制。 |
| 备注 | 非阻塞接口，播放语音和控制音量。 |

14.1.12 get_sensor_controller

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | get_sensor_controller |
| 函数声明 | SensorController get_sensor_controller() |
| 功能概述 | 获取传感器控制器对象。 |
| 返回值 | SensorController 对象，用于访问传感器数据。 |
| 备注 | 非阻塞接口，封装了 IMU、RGBD 等读取。 |

14.1.13 get_state_monitor

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | get_state_monitor |
| 函数声明 | StateMonitor get_state_monitor() |
| 功能概述 | 获取状态监控器对象。 |
| 返回值 | StateMonitor 对象，用于获取机器人当前状态信息。 |
| 备注 | 非阻塞接口，封装了 BMS、故障等状态信息的读取。 |

14.1.14 get_slam_nav_controller

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | <code>get_slam_nav_controller</code> |
| 函数声明 | <code>SlamNavController get_slam_nav_controller();</code> |
| 功能概述 | 获取 SLAM 与导航控制器对象。 |
| 返回值 | 引用类型，用于建图与定位。 |
| 备注 | 非阻塞接口，用于机器人 SLAM 建图与自主导航功能。 |

CHAPTER 15

高层运动控制服务 Python

提供机器人系统高层运动控制服务，通过 HighLevelMotionController 可以通过 RPC 通信方式实现对机器人的步态、特技、遥控的控制。

15.1 接口定义

HighLevelMotionController 是面向语义控制的高层运动控制器，支持如行走、特技、头部运动等控制操作，封装底层细节以供上层系统调用。

15.1.1 HighLevelMotionController

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 类名 | HighLevelMotionController |
| 构造函数 | controller = HighLevelMotionController() |
| 功能概述 | 构造函数，初始化高层控制器状态 |
| 备注 | 构造内部控制资源 |

15.1.2 initialize

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------|
| 函数名 | initialize |
| 函数声明 | bool initialize() |
| 功能概述 | 初始化控制器，准备高层控制功能 |
| 返回值 | True 表示成功，False 表示失败 |
| 备注 | 首次使用前必须调用 |

15.1.3 shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------|
| 函数名 | shutdown |
| 函数声明 | void shutdown() |
| 功能概述 | 关闭控制器并释放资源 |
| 备注 | 配合 initialize 使用，安全断开连接 |

15.1.4 set_gait

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | set_gait |
| 函数声明 | Status set_gait(GaitMode gait_mode, int timeout_ms) |
| 功能概述 | 设置机器人步态模式（如锁定站立、平衡站立、拟人行走等） |
| 参数说明 | gait_mode: 步态控制枚举 |
| 返回值 | Status 对象，Status.code == ErrorCode.OK 表示成功 |
| 备注 | 阻塞接口，可切换多种步态模式 |

15.1.5 get_gait

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------------|
| 函数名 | get_gait |
| 函数声明 | tuple[Status, GaitMode] get_gait() |
| 功能概述 | 获取机器人步态模式（如锁定站立、平衡站立、摆臂行走等） |
| 返回值 | Status 对象，包含当前步态模式信息 |
| 备注 | 阻塞接口，获取当前步态模式 |

15.1.6 execute_trick

| 项目 | 内容 |
|-----|---|
| 函数名 | execute_trick |
| 声明 | 函数 Status execute_trick(TrickAction trick_action, int timeout_ms) |
| 功能 | 执行特技动作（如庆祝、挥手等） |
| 概述 | |
| 参数 | trick_action: 特技动作标识 |
| 说明 | |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功 |
| 备注 | 阻塞接口, 需确保机器人当前可执行特技注意事项: 特技动作必须要在 GaitMode.GAIT_BALANCE_STAND(46) 步态下才能进行 |

15.1.7 send_joystick_command

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | send_joystick_command |
| 函数声明 | Status send_joystick_command(JoystickCommand joy_command) |
| 功能概述 | 发送实时摇杆控制指令 |
| 参数说明 | joy_command: 包含摇杆坐标的控制数据 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功 |
| 备注 | 非阻塞接口, 建议发送频率为 20Hz |

15.1.8 head_move

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | head_move |
| 函数声明 | Status head_move(float shake_angle, int timeout_ms); |
| 功能概述 | 控制机器人头部摆动 |
| 参数说明 | shake_angle: 头部摆动角度, 单位: rad, 范围: [-0.698, 0.698] timeout_ms: 超时时间, 默认 5000 毫秒 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 控制机器人头部左右摆动 |

15.2 类型定义

15.2.1 JoystickCommand — 高层运动控制摇杆指令结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------------|-------|-----------------------------------|
| left_x_axis | float | 左侧摇杆的 X 轴方向值 (-1.0: 左, 1.0: 右) |
| left_y_axis | float | 左侧摇杆的 Y 轴方向值 (-1.0: 下, 1.0: 上) |
| right_x_axis | float | 右侧摇杆的 X 轴方向值 (旋转 -1.0: 左, 1.0: 右) |
| right_y_axis | float | 右侧摇杆的 Y 轴方向值 (暂未定义用途) |

15.3 枚举类型定义

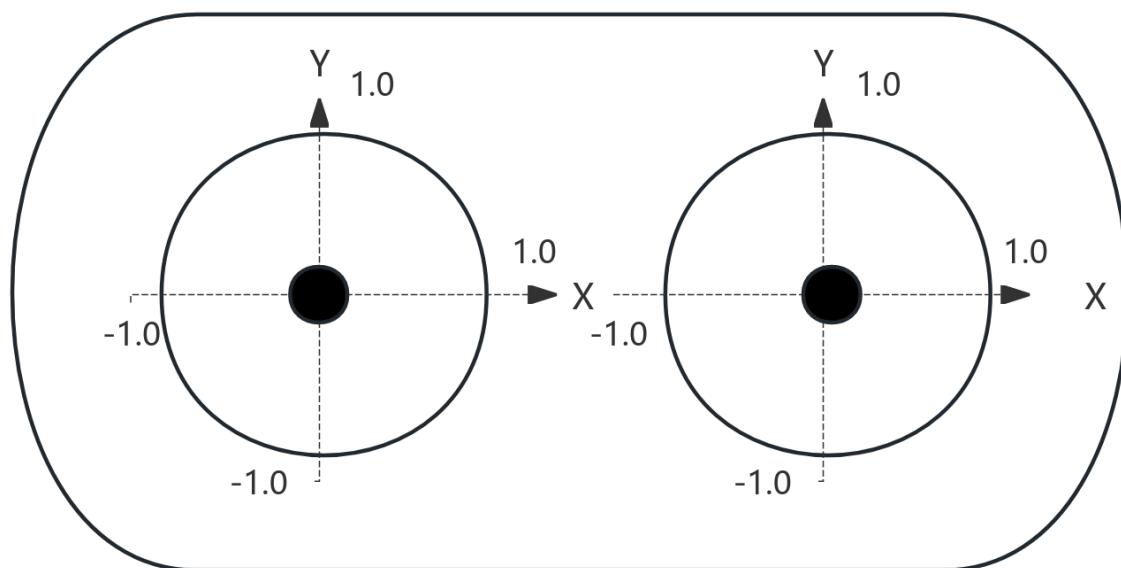
15.3.1 GaitMode — 机器人步态模式枚举

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|---------------------|-----|-------------|
| GAIT_PASSIVE | 0 | 空闲模式 |
| GAIT_RECOVERY_STAND | 1 | 站立锁定/站立恢复 |
| GAIT_BALANCE_STAND | 46 | 平衡站立 (支持移动) |
| GAIT_ARM_SWING_WALK | 78 | 摆臂行走 |
| GAIT_HUMANOID_WALK | 79 | 拟人行走 |
| GAIT_LOWLEV1_SDK | 200 | 底层控制 SDK 模式 |

15.3.2 TrickAction — 特技动作指令枚举

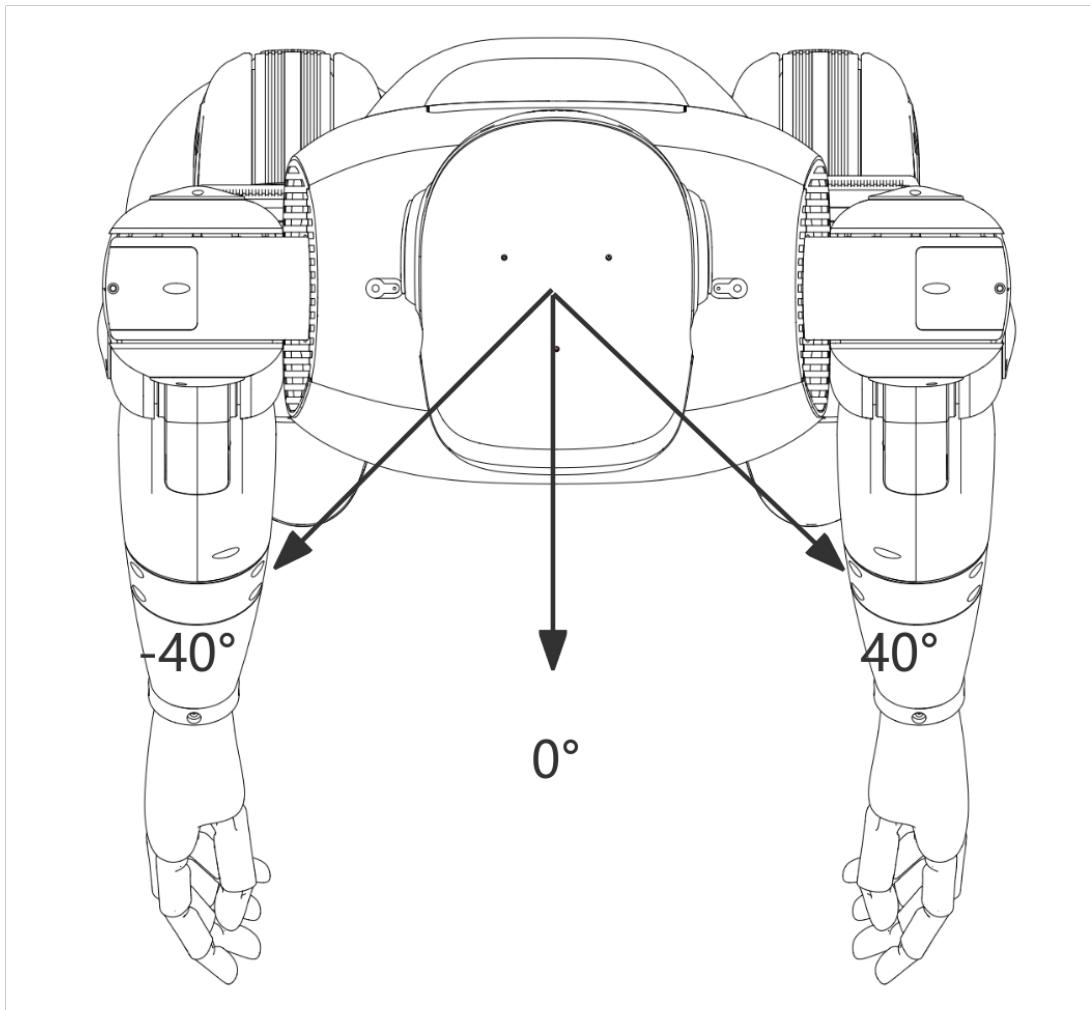
| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|----------------------------------|-----|--------------|
| ACTION_CELEBRATE | 201 | 庆祝 |
| ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_REACHOUT | 215 | 握手 (左手) - 伸出 |
| ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_WITHDRAW | 216 | 握手 (左手) - 撤回 |
| ACTION_SHAKE_RIGHT_HAND_REACHOUT | 217 | 握手 (右手) - 伸出 |
| ACTION_SHAKE_RIGHT_HAND_WITHDRAW | 218 | 握手 (右手) - 撤回 |
| ACTION_SHAKE_HEAD | 220 | 摇头 |
| ACTION_LEFT_GREETING | 300 | 打招呼 (左手) |
| ACTION_RIGHT_GREETING | 301 | 打招呼 (右手) |
| ACTION_TRUN_LEFT_INTRODUCE_HIGH | 304 | 左转身介绍-高 |
| ACTION_TRUN_LEFT_INTRODUCE_LOW | 305 | 左转身介绍-低 |
| ACTION_TRUN_RIGHT_INTRODUCE_HIGH | 306 | 右转身介绍-高 |
| ACTION_TRUN_RIGHT_INTRODUCE_LOW | 307 | 右转身介绍-低 |
| ACTION_WELCOME | 340 | 欢迎 |

15.4 遥控器示意图



1. 左右摇杆 x 轴和 y 轴的取值范围为 [-1.0, 1.0];
2. 左右摇杆 x 轴和 y 轴的方向上/右为正，如示意图所示；

15.5 头部运动范围示意图



- 运动范围 $[-40^\circ, 40^\circ]$ ($[-0.698\text{rad}, 0.698\text{rad}]$)

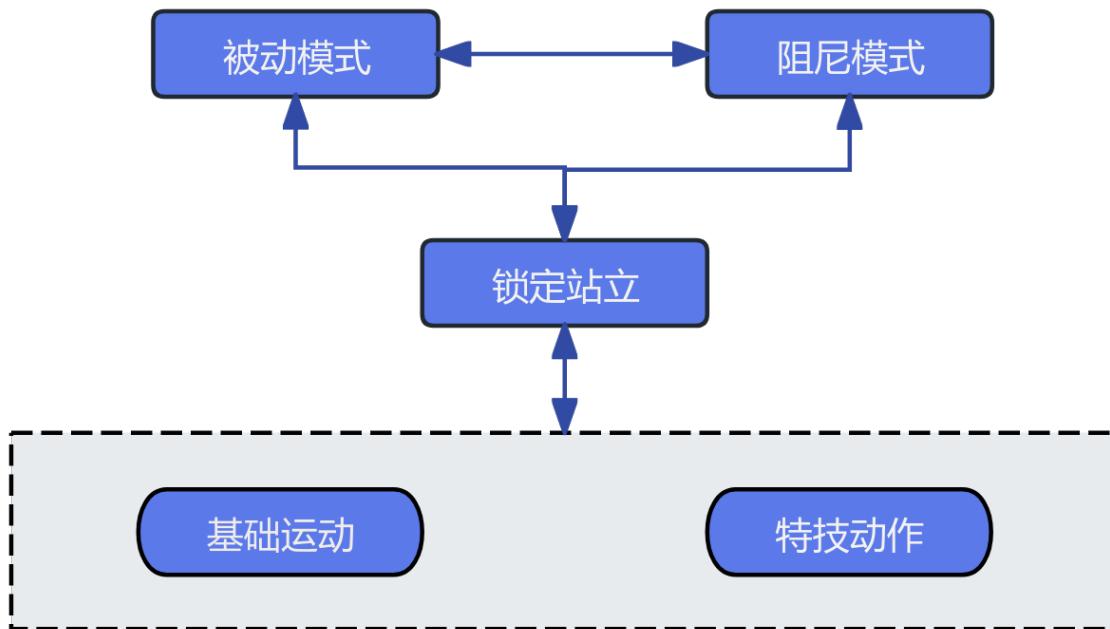
15.6 高层运动控制机器人状态介绍

机器人的运动包含站立锁定、平衡站立、基础运动、特技动作状态，机器人在运行过程中，通过状态机在不同状态之间进行切换，以实现不同的控制任务。各个状态的解释说明如下：

- **站立锁定**：站立锁定是连接机器人挂起落地和平衡站立的状态，机器狗需要进入平衡站立状态后，才能调用相应的运动服务实现机器人的控制。
- **平衡站立**：在平衡站立状态下，可调用 SDK 的各部分接口实现机器人的特技动作和基础运动控制。

- **基础运动**: 在运动执行过程中, 可调用 SDK 接口, 让机器人进入不同的步态。
- **特技动作**: 当进入特殊动作执行状态后, 其他运动控制服务会先被挂起, 等待当前动作执行完毕并进入平衡站立状态后再生效。

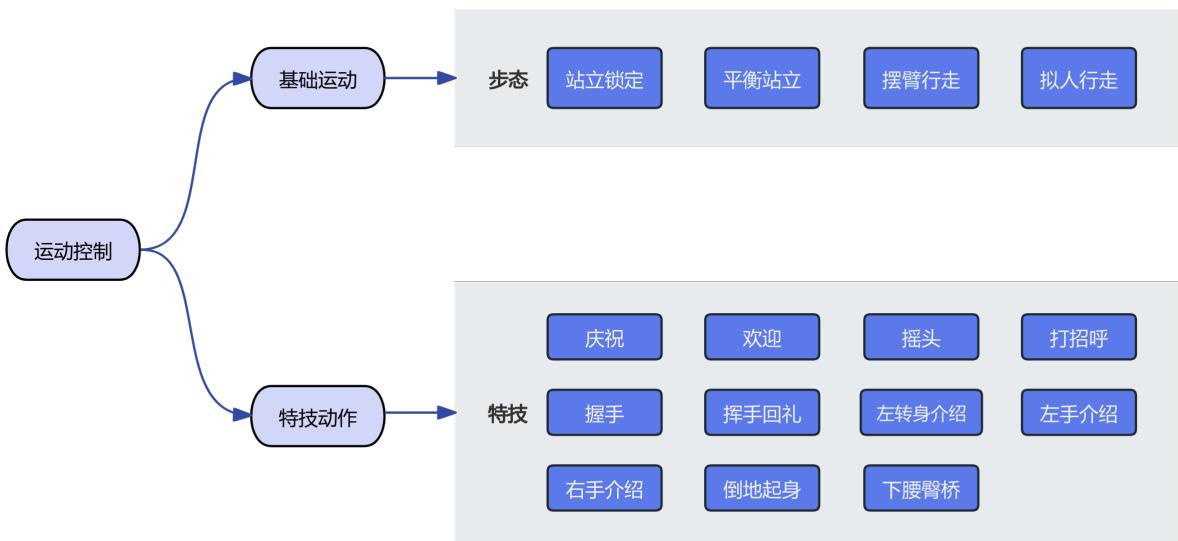
机器人状态切换机制:



15.7 高层运动控制接口

机器人的高层运动控制服务可分为基础运动控制和特技动作控制。

- 基础运动控制服务中, 可调用相应的接口, 根据不同的地形场景和任务需求切换机器人的行走步态。
- 特技动作控制服务中, 可调用相应的接口, 实现机器人内置的特殊特技, 比如庆祝、握手、打招呼等。



底层运动控制服务 Python

提供机器人系统底层运动控制服务，通过 LowLevelMotionController 可以通过话题通信方式实现对机器人的关节进行指令控制和状态获取。

16.1 接口定义

LowLevelMotionController 是面向底层开发的运动控制器，支持对手臂、腿、头、腰、手等运动部件的直接控制与状态订阅，以及身体 IMU 数据的获取。

16.1.1 LowLevelMotionController

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 类名 | LowLevelMotionController |
| 构造函数 | controller = LowLevelMotionController() |
| 功能概述 | 构造函数，初始化低层控制器对象。 |
| 备注 | 构造内部资源。 |

16.1.2 initialize

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------------|
| 函数名 | initialize |
| 函数声明 | bool initialize() |
| 功能概述 | 初始化控制器，建立底层连接。 |
| 返回值 | True 表示成功，False 表示失败。 |
| 备注 | 首次调用必须初始化。 |

16.1.3 shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------|
| 函数名 | shutdown |
| 函数声明 | void shutdown() |
| 功能概述 | 关闭控制器，释放底层资源。 |
| 备注 | 配合 initialize 使用。 |

16.1.4 subscribe_arm_state

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_arm_state |
| 函数声明 | void subscribe_arm_state(callback) |
| 功能概述 | 订阅手臂关节状态数据 |
| 参数说明 | callback: 接收数据处理函数, 签名为 callback(data: JointState) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.5 publish_arm_command

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | publish_arm_command |
| 函数声明 | Status publish_arm_command(JointCommand command) |
| 功能概述 | 发布手臂控制指令 |
| 参数说明 | command: 目标位置/速度等 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.6 subscribe_leg_state

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_leg_state |
| 函数声明 | void subscribe_leg_state(callback) |
| 功能概述 | 订阅腿部关节状态数据 |
| 参数说明 | callback: 接收数据处理函数, 签名为 callback(data: JointState) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.7 publish_leg_command

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | publish_leg_command |
| 函数声明 | Status publish_leg_command(JointCommand command) |
| 功能概述 | 发布腿部控制指令 |
| 参数说明 | command: 目标位置/速度等 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 非阻塞接口, 发布或订阅时调用。 |

16.1.8 subscribe_head_state

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_head_state |
| 函数声明 | void subscribe_head_state(callback) |
| 功能概述 | 订阅头部关节状态数据 |
| 参数说明 | callback: 接收数据处理函数, 签名为 callback(data: JointState) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.9 publish_head_command

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | publish_head_command |
| 函数声明 | Status publish_head_command(JointCommand command) |
| 功能概述 | 发布头部控制指令 |
| 参数说明 | command: 目标位置/速度等 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.10 subscribe_waist_state

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_waist_state |
| 函数声明 | void subscribe_waist_state(callback) |
| 功能概述 | 订阅腰部关节状态数据 |
| 参数说明 | callback: 接收数据处理函数, 签名为 callback(data: JointState) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.11 publish_waist_command

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | publish_waist_command |
| 函数声明 | Status publish_waist_command(JointCommand command) |
| 功能概述 | 发布腰部控制指令 |
| 参数说明 | command: 目标位置/速度等 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.12 subscribe_hand_state

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | subscribe_hand_state |
| 函数声明 | void subscribe_hand_state(callback) |
| 功能概述 | 订阅手部状态数据 |
| 参数说明 | callback: 接收数据处理函数, 签名为 callback(data: HandState) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.13 publish_hand_command

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | publish_hand_command |
| 函数声明 | Status publish_hand_command(HandCommand command) |
| 功能概述 | 发布手部控制指令 |
| 参数说明 | command: 手部关节目标位置等 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.14 subscribe_body_imu

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | subscribe_body_imu |
| 函数声明 | void subscribe_body_imu(callback) |
| 功能概述 | 订阅机体 IMU 数据 |
| 参数说明 | callback: IMU 数据处理函数, 签名为 callback(data: Imu) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.15 subscribe_estimator_state

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_estimator_state |
| 函数声明 | void subscribe_estimator_state(callback) |
| 功能概述 | 订阅机体状态估计数据 |
| 参数说明 | callback: 状态估计数据处理函数, 签名为 callback(data: EstimatorState) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

16.1.16 unsubscribe_arm_state

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------------|
| 函数名 | unsubscribe_arm_state |
| 函数声明 | void unsubscribe_arm_state() |
| 功能概述 | 取消订阅手臂关节状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口, 与 subscribe_arm_state 配对使用。 |

16.1.17 unsubscribe_leg_state

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------------|
| 函数名 | unsubscribe_leg_state |
| 函数声明 | void unsubscribe_leg_state() |
| 功能概述 | 取消订阅腿部关节状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口, 与 subscribe_leg_state 配对使用。 |

16.1.18 unsubscribe_head_state

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------------|
| 函数名 | unsubscribe_head_state |
| 函数声明 | void unsubscribe_head_state() |
| 功能概述 | 取消订阅头部关节状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_head_state 配对使用。 |

16.1.19 unsubscribe_waist_state

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------------------|
| 函数名 | unsubscribe_waist_state |
| 函数声明 | void unsubscribe_waist_state() |
| 功能概述 | 取消订阅腰部关节状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_waist_state 配对使用。 |

16.1.20 unsubscribe_hand_state

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------------|
| 函数名 | unsubscribe_hand_state |
| 函数声明 | void unsubscribe_hand_state() |
| 功能概述 | 取消订阅手部状态数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_hand_state 配对使用。 |

16.1.21 unsubscribe_body_imu

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | unsubscribe_body_imu |
| 函数声明 | void unsubscribe_body_imu() |
| 功能概述 | 取消订阅机体 IMU 数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_body_imu 配对使用。 |

16.1.22 unsubscribe_estimator_state

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | unsubscribe_estimator_state |
| 函数声明 | void unsubscribe_estimator_state() |
| 功能概述 | 取消订阅机体状态估计数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_estimator_state 配对使用。 |

16.2 类型定义

16.2.1 SingleHandJointCommand —单个手部关节的控制命令

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------------|-------------|-------------------------|
| operation_mode | int16_t | 控制模式（如位置、力矩、阻抗等），默认值为 0 |
| pos | list[float] | 期望位置数组（7 个自由度） |

16.2.2 HandCommand —整个手部控制命令

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------|------------------------------|-----------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳（单位：纳秒） |
| cmd | list[SingleHandJointCommand] | 控制命令数组，依次为左手和右手 |

16.2.3 SingleHandJointState —单个手部关节的状态

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-------------|-------------|----------------|
| status_word | int16_t | 状态 |
| pos | list[float] | 实际位置（单位视控制器定义） |
| toq | list[float] | 实际力矩（单位：Nm） |
| cur | list[float] | 实际电流（单位：A） |
| error_code | int16_t | 错误码（0 表示正常） |

16.2.4 HandState —整个手部状态信息

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------|----------------------------|--------------------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳 (单位: 纳秒) |
| state | list[SingleHandJointState] | 所有手部关节状态 (共两个), 依次为左手和右手 |

16.2.5 SingleJointCommand —单个关节的控制命令

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------------|---------|-----------------------------------|
| operation_mode | int16_t | 工作模式 (如位置控制、速度控制、力矩控制等), 默认值为 200 |
| pos | float | 目标位置 (单位: rad 或 m, 取决于关节类型) |
| vel | float | 目标速度 (单位: rad/s 或 m/s) |
| toq | float | 目标力矩 (单位: Nm) |
| kp | float | 位置环控制增益 (比例项) |
| kd | float | 速度环控制增益 (微分项) |

16.2.6 JointCommand —关节控制命令

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------|--------------------------|--------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳 (单位: 纳秒) |
| joints | list[SingleJointCommand] | 关节控制命令数组 |

16.2.7 SingleJointState —单个关节的状态

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-------------|---------|-------------------------|
| status_word | int16_t | 当前关节状态 (自定义状态机编码) |
| posH | float | 实际位置 (高编码器读取, 可能为冗余编码器) |
| posL | float | 实际位置 (低编码器读取) |
| vel | float | 当前速度 (单位: rad/s 或 m/s) |
| toq | float | 当前力矩 (单位: Nm) |
| current | float | 当前电流 (单位: A) |
| err_code | int16_t | 错误码 (如编码器异常、电机过流等) |

16.2.8 JointState —关节状态

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------|------------------------|--------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳 (单位: 纳秒) |
| joints | list[SingleJointState] | 关节状态数组 |

16.2.9 EstimatorState —状态估计数据

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|------------|-------------|---------------------|
| w_base_pos | list[float] | 机体在世界坐标系中的位置 (m) |
| w_com_pos | list[float] | 质心在世界坐标系中的位置 (m) |
| w_com_vel | list[float] | 质心在世界坐标系中的线速度 (m/s) |
| w_base_vel | list[float] | 机体在世界坐标系中的线速度 (m/s) |
| b_base_vel | list[float] | 机体在机体坐标系中的线速度 (m/s) |

16.2.10 关节电机顺序

头部关节

| 索引 | 关节名 |
|----|------------|
| 0 | head_joint |

上臂关节

| 索引 | 关节名 |
|----|----------------------------|
| 0 | left_shoulder_pitch_joint |
| 1 | left_shoulder_roll_joint |
| 2 | left_shoulder_yaw_joint |
| 3 | left_elbow_joint |
| 4 | left_wrist_yaw_joint |
| 5 | left_wrist_roll_joint |
| 6 | left_wrist_pitch_joint |
| 7 | right_shoulder_pitch_joint |
| 8 | right_shoulder_roll_joint |
| 9 | right_shoulder_yaw_joint |
| 10 | right_elbow_roll_joint |
| 11 | right_wrist_yaw_joint |
| 12 | right_wrist_roll_joint |
| 13 | right_wrist_pitch_joint |

腰部关节

| 索引 | 关节名 |
|----|-----------------|
| 0 | waist_yaw_joint |

腿部关节

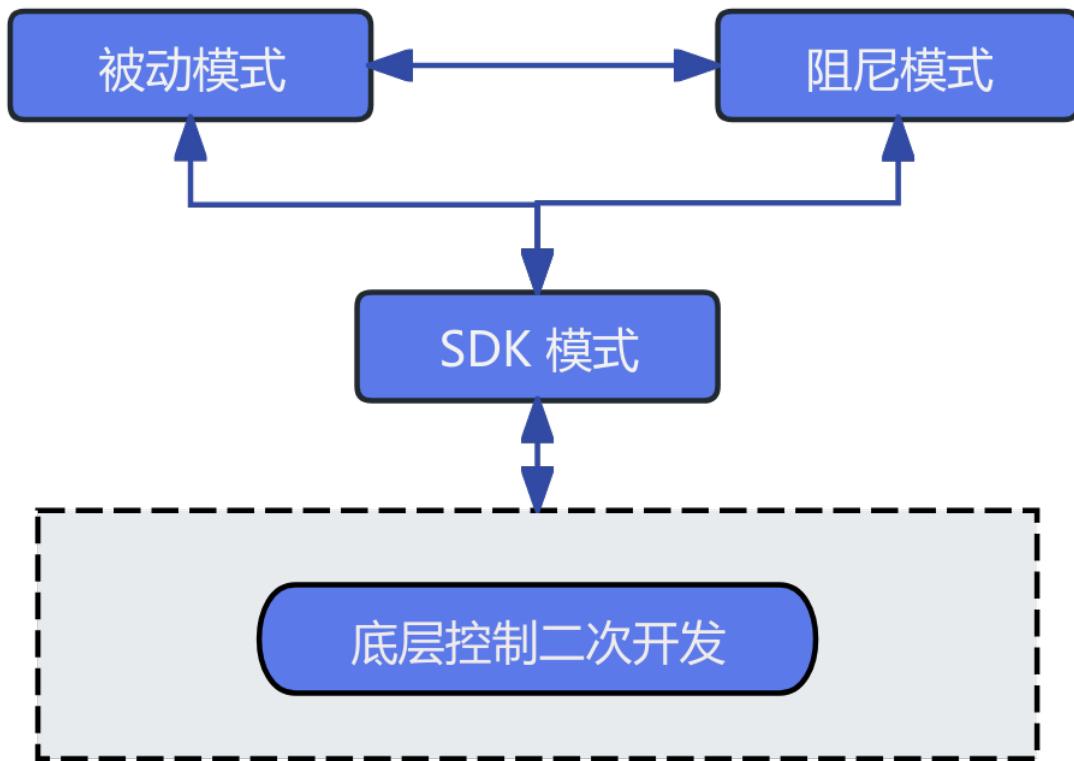
| 索引 | 关节名 |
|----|-------------------------|
| 0 | left_hip_pitch_joint |
| 1 | left_hip_roll_joint |
| 2 | left_hip_yaw_joint |
| 3 | left_knee_joint |
| 4 | left_ankle_pitch_joint |
| 5 | left_ankle_roll_joint |
| 6 | right_hip_pitch_joint |
| 7 | right_hip_roll_joint |
| 8 | right_hip_yaw_joint |
| 9 | right_knee_joint |
| 10 | right_ankle_pitch_joint |
| 11 | right_ankle_roll_joint |

16.3 URDF 参考

机器人 URDF

16.4 底层运动控制机器人状态介绍

机器人底层运动主要是开发关节的三环控制给开发人员进行机器人运动能力的二次开发，基本的控制状态切换机制：



16.5 注意事项

- 在使用 Subscribe 等订阅类 SDK 接口时，请避免在回调函数中执行阻塞式的数据处理操作。否则，可能导致消息堆积、处理延迟，甚至引发不可预期的错误。
- Z1 机器人上臂关节存在 5 自由度和 7 自由度 SKU 版本，针对不同版本，关节电机顺序和名称按序使用，不存在的关节忽略即可；

传感器控制服务 Python

提供机器人系统传感器（雷达/RGBD 相机/双目相机）服务，通过 SensorController 可以通过 RPC 和话题方式实现对机器人的传感器进行指令控制和状态获取。

17.1 接口定义

SensorController 是封装机器人各类传感器的管理类，支持 Lidar、RGBD 相机与双目相机的初始化、控制与数据订阅。

△ **Notice:** 当前双目、RGBD 传感器接口暂未完全支持，请勿使用。

17.1.1 SensorController

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------|
| 类名 | SensorController |
| 构造函数 | controller = SensorController() |
| 功能概述 | 构造函数，初始化传感器控制器对象。 |
| 备注 | 构造内部状态。 |

17.1.2 initialize

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------------|
| 函数名 | initialize |
| 函数声明 | bool initialize() |
| 功能概述 | 初始化控制器，包括资源申请和驱动加载。 |
| 返回值 | True 表示成功，False 表示失败。 |
| 备注 | 调用前需先构造对象。 |

17.1.3 shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------|
| 函数名 | shutdown |
| 函数声明 | void shutdown() |
| 功能概述 | 关闭所有传感器连接并释放资源。 |
| 备注 | 配合 initialize 使用。 |

17.1.4 open_lidar

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | open_lidar |
| 函数声明 | Status open_lidar() |
| 功能概述 | 打开雷达。 |
| 返回值 | Status 对象，Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口。 |

17.1.5 close_lidar

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | close_lidar |
| 函数声明 | Status close_lidar() |
| 功能概述 | 关闭雷达。 |
| 返回值 | Status 对象，Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口，配合打开函数使用。 |

17.1.6 open_head_rgbd_camera

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | open_head_rgbd_camera |
| 函数声明 | Status open_head_rgbd_camera() |
| 功能概述 | 打开头部 RGBD 相机。 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口。 |

17.1.7 close_head_rgbd_camera

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | close_head_rgbd_camera |
| 函数声明 | Status close_head_rgbd_camera() |
| 功能概述 | 关闭头部 RGBD 相机。 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口, 配合打开函数使用。 |

17.1.8 open_binocular_camera

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | open_binocular_camera |
| 函数声明 | Status open_binocular_camera() |
| 功能概述 | 打开双目相机。 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口。 |

17.1.9 close_binocular_camera

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | close_binocular_camera |
| 函数声明 | Status close_binocular_camera() |
| 功能概述 | 关闭双目相机。 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口, 配合打开函数使用。 |

17.1.10 subscribe_lidar_imu

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_lidar_imu |
| 函数声明 | void subscribe_lidar_imu(callback) |
| 功能概述 | 订阅雷达 IMU 数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到数据后的处理函数, 签名为 callback(data: Imu) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口, 回调函数会在数据更新时被调用。 |

17.1.11 subscribe_lidar_point_cloud

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_lidar_point_cloud |
| 函数声明 | void subscribe_lidar_point_cloud(callback) |
| 功能概述 | 订阅雷达点云数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到点云后的处理函数, 签名为 callback(data: PointCloud2) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口, 回调函数会在数据更新时被调用。 |

17.1.12 subscribe_head_rgbd_color_image

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_head_rgbd_color_image |
| 函数声明 | void subscribe_head_rgbd_color_image(callback) |
| 功能概述 | 订阅头部 RGBD 彩色图像数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到图像后的处理函数, 签名为 callback(data: Image) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口, 回调函数会在数据更新时被调用。 |

17.1.13 subscribe_head_rgbd_depth_image

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_head_rgbd_depth_image |
| 函数声明 | void subscribe_head_rgbd_depth_image(callback) |
| 功能概述 | 订阅头部 RGBD 深度图像数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到深度图像后的处理函数, 签名为 callback(data: Image) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口, 回调函数会在数据更新时被调用。 |

17.1.14 subscribe_head_rgbd_camera_info

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | subscribe_head_rgbd_camera_info |
| 函数声明 | void subscribe_head_rgbd_camera_info(callback) |
| 功能概述 | 订阅头部 RGBD 相机参数数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到相机内参信息后的处理函数, 签名为 callback(data: CameraInfo) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口, 回调函数会在数据更新时被调用。 |

17.1.15 subscribe_binocular_image

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | subscribe_binocular_image |
| 函数声明 | void subscribe_binocular_image(callback) |
| 功能概述 | 订阅双目相机图像帧数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到双目相机数据后的处理函数, 签名为 callback(data: BinocularCameraFrame) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口, 回调函数会在数据更新时被调用。 |

17.1.16 subscribe_binocular_camera_info

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | subscribe_binocular_camera_info |
| 函数声明 | void subscribe_binocular_camera_info(callback) |
| 功能概述 | 订阅双目相机参数数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到相机内参信息后的处理函数, 签名为 callback(data: CameraInfo) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口, 回调函数会在数据更新时被调用。 |

17.1.17 unsubscribe_lidar_imu

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------------|
| 函数名 | unsubscribe_lidar_imu |
| 函数声明 | void unsubscribe_lidar_imu() |
| 功能概述 | 取消订阅雷达 IMU 数据 |
| 备注 | 非阻塞接口, 与 subscribe_lidar_imu 配对使用。 |

17.1.18 unsubscribe_lidar_point_cloud

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | unsubscribe_lidar_point_cloud |
| 函数声明 | void unsubscribe_lidar_point_cloud() |
| 功能概述 | 取消订阅雷达点云数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_lidar_point_cloud 配对使用。 |

17.1.19 unsubscribe_head_rgbd_color_image

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | unsubscribe_head_rgbd_color_image |
| 函数声明 | void unsubscribe_head_rgbd_color_image() |
| 功能概述 | 取消订阅头部 RGBD 彩色图像数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_head_rgbd_color_image 配对使用。 |

17.1.20 unsubscribe_head_rgbd_depth_image

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | unsubscribe_head_rgbd_depth_image |
| 函数声明 | void unsubscribe_head_rgbd_depth_image() |
| 功能概述 | 取消订阅头部 RGBD 深度图像数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_head_rgbd_depth_image 配对使用。 |

17.1.21 unsubscribe_head_rgbd_camera_info

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | unsubscribe_head_rgbd_camera_info |
| 函数声明 | void unsubscribe_head_rgbd_camera_info() |
| 功能概述 | 取消订阅头部 RGBD 相机参数 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_head_rgbd_camera_info 配对使用。 |

17.1.22 unsubscribe_binocular_image

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | unsubscribe_binocular_image |
| 函数声明 | void unsubscribe_binocular_image() |
| 功能概述 | 取消订阅双目相机图像帧 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_binocular_image 配对使用。 |

17.1.23 unsubscribe_binocular_camera_info

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | unsubscribe_binocular_camera_info |
| 函数声明 | void unsubscribe_binocular_camera_info() |
| 功能概述 | 取消订阅双目相机参数 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_binocular_camera_info 配对使用。 |

17.2 数据类型

17.2.1 Imu

IMU 数据结构，包含姿态、角速度、线性加速度等传感器数据。

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|---------------------|------------|--------------------------|
| timestamp | int64_t | 时间戳（纳秒） |
| temperature | float | 温度（摄氏度） |
| orientation | Quaternion | 姿态四元数 |
| angular_velocity | Vector3 | 角速度（rad/s） |
| linear_acceleration | Vector3 | 线性加速度（m/s ² ） |

17.2.2 PointCloud2

点云数据结构，包含三维点云信息。

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------------|------------------|----------------------|
| header | Header | 标准消息头（时间戳 +frame_id） |
| height | int32_t | 点云高度（行数） |
| width | int32_t | 点云宽度（列数） |
| fields | list[PointField] | 点字段数组 |
| is_bigendian | bool | 字节序 |
| point_step | int32_t | 每个点占用的字节数 |
| row_step | int32_t | 每行占用的字节数 |
| data | list[uint8_t] | 原始点云数据（按字段打包） |
| is_dense | bool | 是否为稠密点云（无无效点） |

17.2.3 Image

图像数据结构，支持多种编码格式。

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------------|---------------|---------------------------------|
| header | Header | 标准消息头（时间戳 +frame_id） |
| height | int32_t | 图像高度（像素） |
| width | int32_t | 图像宽度（像素） |
| encoding | str | 图像编码类型，如”rgb8”, ”mono8”, ”bgr8” |
| is_bigendian | bool | 数据是否为大端模式 |
| step | int32_t | 每行图像占用的字节数 |
| data | list[uint8_t] | 原始图像字节数据 |

17.2.4 CameraInfo

相机内参与畸变信息，通常与 Image 消息一起发布。

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|------------------|---------------|----------------------|
| header | Header | 标准消息头（时间戳 +frame_id） |
| height | int32_t | 图像高度（行数） |
| width | int32_t | 图像宽度（列数） |
| distortion_model | str | 畸变模型，例如”plumb_bob” |
| D | list [double] | 畸变参数数组 |
| K | list [double] | 相机内参矩阵（9个元素） |
| R | list [double] | 矫正矩阵（9个元素） |
| P | list [double] | 投影矩阵（12个元素） |
| binning_x | int32_t | 水平 binning 系数 |
| binning_y | int32_t | 垂直 binning 系数 |
| roi_x_offset | int32_t | ROI 起始 x |
| roi_y_offset | int32_t | ROI 起始 y |
| roi_height | int32_t | ROI 高度 |
| roi_width | int32_t | ROI 宽度 |
| roi_do_rectify | bool | 是否进行矫正 |

17.2.5 BinocularCameraFrame

双目相机帧数据结构，包含格式和图像帧。

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------|----------------|-----------------------------|
| header | Header | 通用消息头（时间戳 +frame_id） |
| format | str | 图像格式 |
| data | list [uint8_t] | 左目和右目拼接图像数据，左半为左目图像，右半为右目图像 |

17.3 注意事项

在使用 Subscribe 等订阅类 SDK 接口时，请避免在回调函数中执行阻塞式的数据处理操作。否则，可能导致消息堆积、处理延迟，甚至引发不可预期的错误。

CHAPTER 18

语音控制服务 Python

提供机器人系统语音服务控制器，通过 `AudioController` 可以通过 RPC 方式实现对机器人的音频进行指令控制和状态获取。

18.1 接口定义

`AudioController` 是一个封装音频控制功能的 Python 类，主要用于音频播放控制、TTS 播放、音量设置与查询等场景。

18.1.1 `AudioController`

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 类名 | <code>AudioController</code> |
| 构造函数 | <code>controller = AudioController()</code> |
| 功能概述 | 初始化音频控制器对象，构造内部状态，分配资源等。 |
| 备注 | 构造内部状态。 |

18.1.2 initialize

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------------|
| 函数名 | initialize |
| 函数声明 | bool initialize() |
| 功能概述 | 初始化音频控制模块，准备播放资源与设备。 |
| 返回值 | True 表示成功，False 表示失败。 |
| 备注 | 与 shutdown() 配对使用。 |

18.1.3 shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------|
| 函数名 | shutdown |
| 函数声明 | void shutdown() |
| 功能概述 | 关闭音频控制器并释放资源。 |
| 备注 | 确保在销毁前调用。 |

18.1.4 play

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | play |
| 函数声明 | Status play(TtsCommand cmd, int timeout_ms) |
| 功能概述 | 播放 TTS（文本转语音）语音命令。 |
| 参数说明 | cmd: TTS 命令，包含文本、语速、语调等。 |
| 返回值 | Status 对象，Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口，调用前需确保已初始化模块。 |

18.1.5 stop

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | stop |
| 函数声明 | Status stop() |
| 功能概述 | 停止当前音频播放。 |
| 返回值 | Status 对象，Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口，通常用于中断当前语音。 |

18.1.6 set_volume

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | set_volume |
| 函数声明 | Status set_volume(int volume) |
| 功能概述 | 设置音频输出的音量。 |
| 参数说明 | volume: 音量值, 通常范围为 0~100。 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口, 设置后立即生效。 |

18.1.7 get_volume

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | get_volume |
| 函数声明 | tuple[Status, int] get_volume() |
| 功能概述 | 获取当前音频输出音量。 |
| 返回值 | 返回元组 (Status, volume), Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口, 返回值需检查后再使用 volume。 |

18.1.8 open_audio_stream

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | open_audio_stream |
| 函数声明 | Status open_audio_stream() |
| 功能概述 | 打开音频流, 准备进行音频播放。 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口, 返回值需检查是否执行成功 |

18.1.9 close_audio_stream

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | close_audio_stream |
| 函数声明 | Status close_audio_stream() |
| 功能概述 | 关闭音频流。 |
| 返回值 | Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功。 |
| 备注 | 阻塞接口, 返回值需检查是否执行成功 |

18.1.10 subscribe_origin_audio_stream

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_origin_audio_stream |
| 函数声明 | void subscribe_origin_audio_stream(callback) |
| 功能概述 | 订阅原始音频流数据。 |
| 参数说明 | callback: 接收到数据后的处理函数, 签名为 callback(data: AudioStream) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

18.1.11 subscribe_bf_audio_stream

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_bf_audio_stream |
| 函数声明 | void subscribe_bf_audio_stream(callback) |
| 功能概述 | 订阅 BF 音频流数据。 |
| 参数说明 | callback: 接收到数据后的处理函数, 签名为 callback(data: AudioStream) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口。 |

18.1.12 unsubscribe_origin_audio_stream

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | unsubscribe_origin_audio_stream |
| 函数声明 | void unsubscribe_origin_audio_stream() |
| 功能概述 | 取消订阅原始音频流数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_origin_audio_stream 配对使用。 |

18.1.13 unsubscribe_bf_audio_stream

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | unsubscribe_bf_audio_stream |
| 函数声明 | void unsubscribe_bf_audio_stream() |
| 功能概述 | 取消订阅 BF 音频流数据 |
| 备注 | 非阻塞接口，与 subscribe_bf_audio_stream 配对使用。 |

18.1.14 open_wakeup_status_stream

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------------|
| 函数名 | open_wakeup_status_stream |
| 函数声明 | Status open_wakeup_status_stream() |
| 功能概述 | 启用语音唤醒状态流 |
| 返回值 | 操作状态，成功返回 Status.OK |

18.1.15 close_wakeup_status_stream

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------------------|
| 函数名 | close_wakeup_status_stream |
| 函数声明 | Status close_wakeup_status_stream() |
| 功能概述 | 禁用语音唤醒状态流 |
| 返回值 | 操作状态，成功返回 Status.OK |

18.1.16 subscribe_wakeup_status

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_wakeup_status |
| 函数声明 | void subscribe_wakeup_status(callback) |
| 功能概述 | 订阅语音唤醒状态 |
| 参数说明 | callback：接收到唤醒状态后的处理回调函数 |

18.1.17 unsubscribe_wakeup_status

| 项目 | 内容 |
|------|----------------------------------|
| 函数名 | unsubscribe_wakeup_status |
| 函数声明 | void unsubscribe_wakeup_status() |
| 功能概述 | 取消订阅语音唤醒状态 |

18.2 类型定义

18.2.1 TtsPriority —TTS 播报优先级等级

用于控制不同 TTS 任务之间的中断行为。优先级越高的任务将中断当前低优先级任务的播放。

| 枚举值 | 描述 |
|--------------------|----------------------|
| TtsPriority.HIGH | 最高优先级，例如：低电告警、紧急提醒 |
| TtsPriority.MIDDLE | 中优先级，例如：系统提示、状态播报 |
| TtsPriority.LOW | 最低优先级，例如：日常语音对话、背景播报 |

18.2.2 TtsMode — 同一优先级下的任务调度策略

用于细化控制在相同优先级条件下多个 TTS 任务的播放顺序和清除逻辑。

| 枚举值 | 描述 |
|---------------------|-----------------------------------|
| TtsMode.CLEARTOP | 清空当前优先级所有任务（包括正在播放和等待队列），立即播放本次请求 |
| TtsMode.ADD | 将本次请求追加到当前优先级队列尾部，顺序播放（不打断当前播放） |
| TtsMode.CLEARBUFFER | 清空队列中未播放的请求，保留当前播放，之后播放本次请求 |

18.3 结构体定义

18.3.1 TtsCommand — TTS 播放命令结构体

描述一次 TTS 播放请求的完整信息，支持设置唯一标识、文本内容、优先级控制以及同优先级下的调度模式。

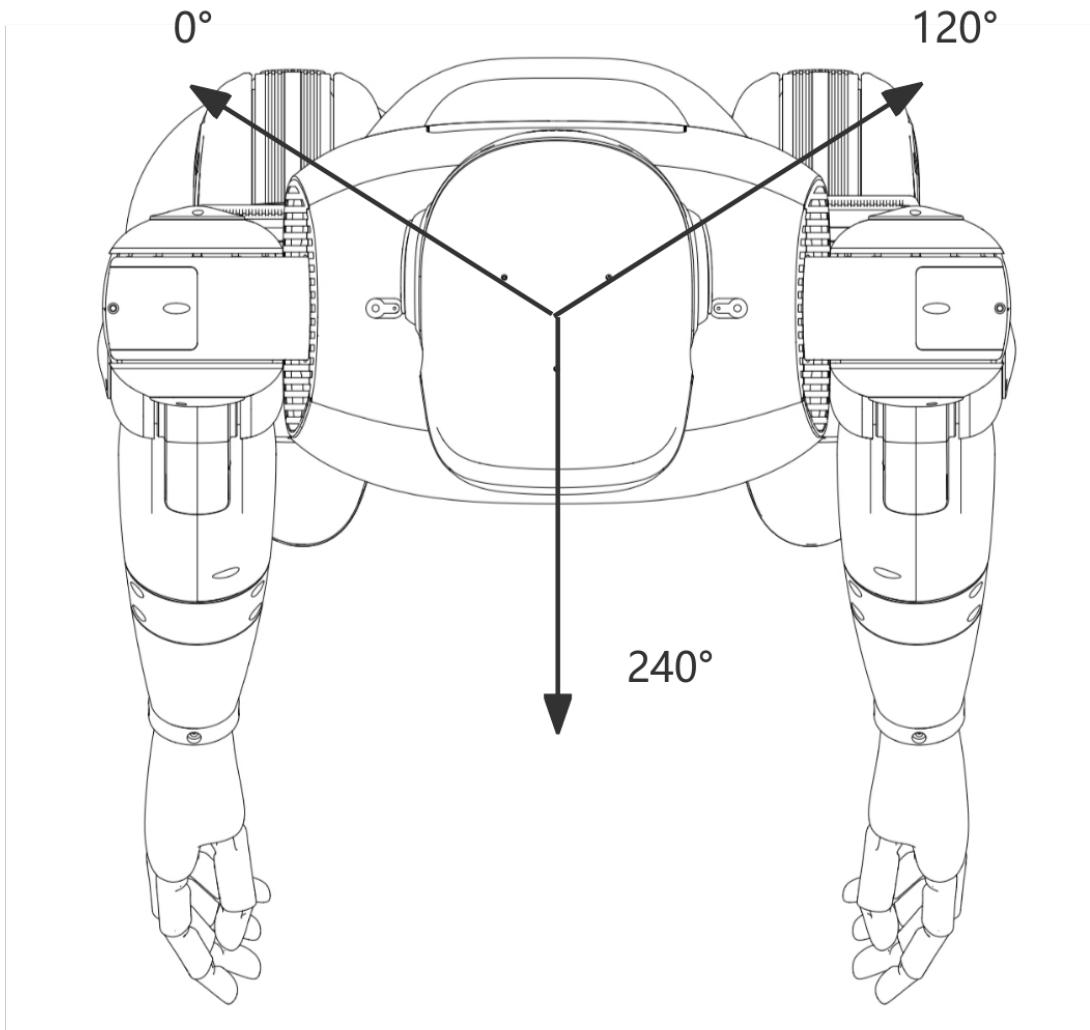
| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------|-------------|---------------------------------|
| id | str | TTS 任务唯一 ID，例如 "id_01"，用于追踪播放状态 |
| content | str | 要播放的文本内容，例如 "你好，欢迎使用智能语音系统。" |
| priority | TtsPriority | 播报优先级，控制是否中断正在播放的低优先级语音 |
| mode | TtsMode | 同优先级下的调度策略，控制任务是否追加、覆盖等 |

18.3.2 AudioStream - 音频流结构体

描述原始音频流或 BF 音频流数据。

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-------------|-------|-------|
| data_length | int | 数据长度 |
| raw_data | bytes | 音频流数据 |

18.4 DOA



18.5 注意事项

在使用 `Subscribe` 等订阅类 SDK 接口时，请避免在回调函数中执行阻塞式的数据处理操作。否则，可能导致消息堆积、处理延迟，甚至引发不可预期的错误。

状态监控服务 Python

提供机器人状态监控接口类，通过 StateMonitor 可以提供状态查询等接口。

19.1 接口定义

StateMonitor 是机器人系统状态监控管理类，该类通常用于控制机器人的状态管理，支持状态查询。

19.1.1 StateMonitor

| 项目 | 内容 |
|------|------------------|
| 函数名 | StateMonitor |
| 函数声明 | StateMonitor(); |
| 功能概述 | 构造函数，初始化状态监控器对象。 |
| 备注 | 构造内部状态。 |

19.1.2 ~StateMonitor

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------------|
| 函数名 | <code>~StateMonitor</code> |
| 函数声明 | <code>virtual ~StateMonitor();</code> |
| 功能概述 | 析构函数，释放资源。 |
| 备注 | 调用前应关闭传感器。 |

19.1.3 Initialize

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>Initialize</code> |
| 函数声明 | <code>bool Initialize();</code> |
| 功能概述 | 初始化控制器，包括资源申请和驱动加载。 |
| 返回值 | <code>true</code> 表示成功， <code>false</code> 表示失败。 |
| 备注 | 调用前需先构造对象。 |

19.1.4 Shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------|
| 函数名 | <code>Shutdown</code> |
| 函数声明 | <code>void Shutdown();</code> |
| 功能概述 | 关闭并释放资源。 |
| 备注 | 配合 <code>Initialize</code> 使用。 |

19.1.5 get_current_state

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | <code>get_current_state</code> |
| 函数声明 | <code>RobotState get_current_state()</code> |
| 功能概述 | 获取当前机器人聚合状态 |
| 返回值 | <code>tuple[Status, RobotState]</code> 对象 |
| 备注 | 非阻塞接口，获取最近监控到的机器人状态数据，包括 BMS/故障状态监控等，后续会迭代拓展 |

19.1.6 RobotState — 机器人状态数据结构体

用于表示机器人总体状态信息：

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------|-------------|----------|
| faults | list[Fault] | 故障信息列表 |
| bms_data | BmsData | 电池管理系统数据 |

19.1.7 BmsData — 电池管理系统数据结构体

表示电池的状态信息：

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|---------------------|-------------------|---------------------|
| battery_percentage | float | 当前电池剩余电量（百分比，0~100） |
| battery_health | float | 电池健康状态（越高越好） |
| battery_state | BatteryState | 电池状态（见下方枚举） |
| power_supply_status | PowerSupplyStatus | 电池充放电状态（见下方枚举） |

19.1.8 枚举类型定义

BatteryState — 电池状态枚举类型

用于表示电池当前的状态，用于系统中电池状态的判断和处理：

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|------------------------------------|----|----------|
| BatteryState.UNKNOWN | 0 | 未知状态 |
| BatteryState.GOOD | 1 | 电池状态良好 |
| BatteryState.OVERHEAT | 2 | 电池过热 |
| BatteryState.DEAD | 3 | 电池损坏 |
| BatteryState.OVERTVOLTAGE | 4 | 电池过电压 |
| BatteryState.UNSPEC_FAILURE | 5 | 未知故障 |
| BatteryState.COLD | 6 | 电池过冷 |
| BatteryState.WATCHDOG_TIMER_EXPIRE | 7 | 看门狗定时器超时 |
| BatteryState.SAFETY_TIMER_EXPIRE | 8 | 安全定时器超时 |

PowerSupplyStatus — 电池充放电状态

用于表示当前电池的充放电状态：

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|-------------------------------|----|--------|
| PowerSupplyStatus.UNKNOWN | 0 | 未知状态 |
| PowerSupplyStatus.CHARGING | 1 | 电池充电中 |
| PowerSupplyStatus.DISCHARGING | 2 | 电池放电中 |
| PowerSupplyStatus.NOTCHARGING | 3 | 电池未充放电 |
| PowerSupplyStatus.FULL | 4 | 电池充满 |

19.2 错误码映射表

| 错误码（十六进制） | 错误描述 |
|-----------|-------------------------------------|
| 0x0000 | No fault |
| 0x1101 | Service invocation failed |
| 0x1301 | Central control node lost |
| 0x1302 | App node lost |
| 0x1303 | Audio node lost |
| 0x1304 | Stereo camera node lost |
| 0x1305 | LIDAR node lost |
| 0x1306 | SLAM node lost |
| 0x1307 | Navigation node lost |
| 0x1308 | AI node lost |
| 0x1309 | Head node lost |
| 0x130A | Point cloud node lost |
| 0x2201 | No LIDAR data received |
| 0x2202 | No stereo camera data received |
| 0x2203 | Stereo camera data error |
| 0x2204 | Stereo camera initialization failed |
| 0x220B | No odometry data received |
| 0x220C | No IMU data received |
| 0x2215 | Depth camera not detected |
| 0x3101 | Failed to connect robot to app |
| 0x3102 | Heartbeat lost - assertion failed |
| 0x4201 | Failed to open head serial port |
| 0x4202 | No head data received |
| 0x5201 | No navigation TF data |
| 0x5202 | No navigation map data |
| 0x5203 | No navigation localization data |
| 0x5204 | No navigation LIDAR data |

[下页继续](#)

表 1 - 续上页

| 错误码 (十六进制) | 错误描述 |
|------------|---|
| 0x5205 | No navigation depth camera data |
| 0x5206 | No navigation multi-line LIDAR data |
| 0x5207 | No navigation odometry data |
| 0x6201 | SLAM localization error |
| 0x6102 | No SLAM LIDAR data |
| 0x6103 | No SLAM odometry data |
| 0x6104 | SLAM map data error |
| 0x7201 | LCM connection timeout |
| 0x8201 | Left leg hardware error |
| 0x8202 | Right leg hardware error |
| 0x8203 | Left arm hardware error |
| 0x8204 | Right arm hardware error |
| 0x8205 | Waist hardware error |
| 0x8206 | Head hardware error |
| 0x8207 | Hand hardware error |
| 0x8208 | Gripper hardware error |
| 0x8209 | IMU hardware error |
| 0x820A | Power system hardware error |
| 0x820B | Leg force sensor hardware error |
| 0x820C | Arm force sensor hardware error |
| 0x9201 | ECAT (EtherCAT) hardware error |
| 0xA201 | Motion posture error |
| 0xA202 | Foot position deviation during movement |
| 0xA203 | Joint velocity error during motion |

CHAPTER 20

SLAM 导航控制服务 Python

提供机器人系统 SLAM（同时定位与地图构建）和导航控制服务，通过 SlamNavController 可以通过 RPC 通信方式实现对机器人的建图、定位、导航等功能的控制。

20.1 接口定义

SlamNavController 是面向 SLAM 和导航控制的控制器，支持如建图、定位、导航、地图管理等控制操作，封装底层细节以供上层系统调用。

20.1.1 SlamNavController

| 项目 | 内容 |
|------|-----------------------|
| 类名 | SlamNavController |
| 类声明 | SlamNavController() |
| 功能概述 | 构造函数，初始化 SLAM 导航控制器状态 |
| 备注 | 构造内部控制资源 |

20.1.2 initialize

| 项目 | 内容 |
|------|------------------------------|
| 方法名 | initialize |
| 方法声明 | bool initialize() |
| 功能概述 | 初始化 SLAM 导航控制器，准备 SLAM 和导航功能 |
| 返回值 | True 表示成功，False 表示失败 |
| 备注 | 首次使用前必须调用 |

20.1.3 shutdown

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------|
| 方法名 | shutdown |
| 方法声明 | void shutdown() |
| 功能概述 | 关闭控制器并释放资源 |
| 备注 | 配合 initialize 使用，安全断开连接 |

20.1.4 activate_slam_mode

| 项目 | 内容 |
|---------|--|
| 方 法 名 | activate_slam_mode |
| 方 法 声 明 | Status activate_slam_mode(SlamMode mode, str map_path = "", int timeout_ms) |
| 功 能 概 述 | 激活 SLAM 模式并开始建图或定位模式 |
| 参 数 说 明 | mode: SLAM 模式枚举 map_path: 地图绝对路径 (定位模式时使用), 可通过 get_map_path 获取 timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返 回 值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备 注 | 阻塞接口, 支持建图和定位模式切换 |

20.1.5 start_mapping

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------------------|
| 方法名 | start_mapping |
| 方法声明 | Status start_mapping(int timeout_ms) |
| 功能概述 | 开始建图 |
| 参数说明 | timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 需先激活建图模式 |

20.1.6 cancel_mapping

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------------|
| 方法名 | cancel_mapping |
| 方法声明 | Status cancel_mapping(int timeout_ms) |
| 功能概述 | 取消建图 |
| 参数说明 | timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 取消当前建图任务 |

20.1.7 save_map

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 方法名 | save_map |
| 方法声明 | Status save_map(str map_name, int timeout_ms) |
| 功能概述 | 结束建图并保存地图 |
| 参数说明 | map_name: 地图名称 timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 需在建图模式下调用 |

20.1.8 load_map

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 方法名 | load_map |
| 方法声明 | Status load_map(str map_name, int timeout_ms) |
| 功能概述 | 加载地图并设置为当前地图 |
| 参数说明 | map_name: 地图名称 timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 加载指定名称的地图 |

20.1.9 delete_map

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 方法名 | delete_map |
| 方法声明 | Status delete_map(str map_name, int timeout_ms) |
| 功能概述 | 删除地图 |
| 参数说明 | map_name: 要删除的地图名称 timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 永久删除指定地图 |

20.1.10 get_map_path

| Item | Content |
|------|---|
| 方法名 | get_map_path |
| 方法声明 | tuple[Status, List[str]] get_map_path(str map_name, int timeout_ms) |
| 功能概述 | 获取地图路径 |
| 参数说明 | map_name: 地图名称 timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 List[str]: 地图路径 (输出参数) |
| 备注 | 阻塞接口, 获取指定地图的存储路径 |

20.1.11 get_all_map_info

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 方法名 | get_all_map_info |
| 方法声明 | tuple[Status, AllMapInfo] get_all_map_info(int timeout_ms) |
| 功能概述 | 获取所有地图信息 |
| 参数说明 | timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返回值 | Status::OK: 表示成功, 其他为失败 AllMapInfo: 所有地图信息 (输出参数) |
| 备注 | 阻塞接口, 获取系统中所有地图的详细信息 |

20.1.12 init_pose

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 方法名 | init_pose |
| 方法声明 | Status init_pose(Pose3DEuler pose, int timeout_ms) |
| 功能概述 | 初始化位姿 |
| 参数说明 | pose: 要发布的位姿信息 timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 15000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 设置机器人初始位姿; 发布位姿时要对 Yaw 方向施加一个固定的-1.57rad 偏置, 因为激光雷达的机械安装与机器人本体存在一个-1.57rad 的偏置 |

20.1.13 get_current_localization_info

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 方法名 | get_current_localization_info |
| 方法声明 | Status get_current_localization_info(LocalizationInfo pose_info, int timeout_ms) |
| 功能概述 | 获取当前位姿信息 |
| 参数说明 | pose_info: 当前位置和姿态信息 (输出参数) timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 获取机器人当前位姿状态 |

20.1.14 activate_nav_mode

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 方法名 | activate_nav_mode |
| 方法声明 | Status activate_nav_mode(NavMode mode, str map_path = "", int timeout_ms) |
| 功能概述 | 激活导航模式 |
| 参数说明 | mode: 目标导航模式 map_path: 地图绝对路径 (GRID_MAP 模式时使用), 可通过 get_map_path |
| 返回值 | timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 备注 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 激活指定导航模式 |

20.1.15 set_nav_target

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 方法名 | set_nav_target |
| 方法声明 | Status set_nav_target(.NavTarget goal, int timeout_ms) |
| 功能概述 | 设置全局导航目标点并开始导航任务 |
| 参数说明 | goal: 目标点的全局坐标 timeout_ms: 超时时间 (毫秒), 默认值为 10000 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 阻塞接口, 设置导航目标并开始导航 |

20.1.16 pause_nav_task

| 项目 | 内容 |
|------|-------------------------|
| 方法名 | pause_nav_task |
| 方法声明 | Status pause_nav_task() |
| 功能概述 | 暂停当前导航任务 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功, 其他为失败 |
| 备注 | 非阻塞接口, 暂停导航任务 |

20.1.17 resume_nav_task

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------|
| 方法名 | resume_nav_task |
| 方法声明 | Status resume_nav_task() |
| 功能概述 | 恢复暂停的导航任务 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 非阻塞接口，恢复暂停的导航任务 |

20.1.18 cancel_nav_task

| 项目 | 内容 |
|------|--------------------------|
| 方法名 | cancel_nav_task |
| 方法声明 | Status cancel_nav_task() |
| 功能概述 | 取消当前导航任务 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败 |
| 备注 | 非阻塞接口，取消当前导航任务 |

20.1.19 get_nav_task_status

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 方法名 | get_nav_task_status |
| 方法声明 | tuple[Status, NavStatus] get_nav_task_status() |
| 功能概述 | 获取当前导航任务的状态信息。 |
| 返回值 | Status::OK 表示成功，其他为失败，同时返回 NavStatus 对象（失败时为空对象）。 |
| 备注 | 非阻塞接口，用于查询导航任务状态。调用后返回 Status 状态码与 NavStatus 对象，可用于检测导航进度及状态。 |

20.1.20 open_odometry_stream

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | open_odometry_stream |
| 函数声明 | status open_odometry_stream() |
| 功能概述 | 打开里程计数据流 |
| 返回值 | status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功 |
| 备注 | 阻塞接口, 返回值需检查是否执行成功 |

20.1.21 close_odometry_stream

| 项目 | 内容 |
|------|---|
| 函数名 | close_odometry_stream |
| 函数声明 | status close_odometry_stream() |
| 功能概述 | 关闭里程计数据流 |
| 返回值 | status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功 |
| 备注 | 阻塞接口, 配合 open_odometry_stream 使用 |

20.1.22 subscribe_odometry

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | subscribe_odometry |
| 函数声明 | void subscribe_odometry(callback) |
| 功能概述 | 订阅里程计数据 |
| 参数说明 | callback: 接收到里程计数据后的处理函数, 签名为 callback(data: Odometry) -> None |
| 备注 | 非阻塞接口, 回调函数会在里程计数据更新时被调用 |

20.1.23 unsubscribe_odometry

| 项目 | 内容 |
|------|---------------------------------|
| 函数名 | unsubscribe_odometry |
| 函数声明 | void unsubscribe_odometry() |
| 功能概述 | 取消订阅里程计数据 |
| 备注 | 非阻塞接口。与 subscribe_odometry 配合使用 |

20.1.24 get_point_cloud_map

| 项目 | 内容 |
|------|--|
| 函数名 | get_point_cloud_map |
| 函数声明 | tuple[Status, PointCloud2] get_point_cloud_map(int timeout_ms) |
| 功能概述 | 获取点云地图数据 |
| 参数说明 | timeout_ms: 超时时间 (毫秒) |
| 返回值 | 返回元组, 第一个元素为 Status 对象, Status.code == ErrorCode.OK 表示成功; 第二个元素为点云地图数据 |
| 备注 | 阻塞接口, 获取当前点云地图数据 |

20.2 类型定义

20.2.1 Pose3DEuler —3D 位姿结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-------------|-------------|------------------------|
| position | List[float] | 位置坐标 (x, y, z) |
| orientation | List[float] | 欧拉角 (roll, pitch, yaw) |

20.2.2 NavTarget —导航目标点结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|----------|-------------|-----------|
| id | int | 目标点 ID |
| frame_id | str | 目标点坐标系 ID |
| goal | Pose3DEuler | 目标点位姿 |

20.2.3 LocalizationInfo —位姿信息结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----------------|-------------|-------|
| is_localization | bool | 是否已定位 |
| pose | Pose3DEuler | 当前位姿 |

20.2.4 NavStatus —导航状态结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|---------|---------------|-------------------|
| id | int | 目标点 ID, -1 表示无目标点 |
| status | NavStatusType | 导航状态类型 |
| message | str | 导航状态消息 |

20.2.5 PolyRegion —多边形区域结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|--------|---------------|---------|
| points | List[Point2D] | 多边形顶点列表 |

20.2.6 Point2D —2D 点结构体

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----|-------|------|
| x | float | X 坐标 |
| y | float | Y 坐标 |

20.3 枚举类型定义

20.3.1 SlamMode —SLAM 模式枚举

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|--------------|----|------|
| IDLE | 0 | 空闲模式 |
| LOCALIZATION | 1 | 定位模式 |
| MAPPING | 2 | 建图模式 |

20.3.2 NavMode —导航模式枚举

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|----------|----|----------|
| IDLE | 0 | 空闲模式 |
| GRID_MAP | 1 | 网格地图导航模式 |

20.3.3 NavStatusType —导航状态类型枚举

| 枚举值 | 数值 | 描述 |
|-------------|----|------|
| NONE | 0 | 无状态 |
| RUNNING | 1 | 运行中 |
| END_SUCCESS | 2 | 成功结束 |
| END_FAILED | 3 | 失败结束 |
| PAUSE | 4 | 暂停 |
| CONTINUE | 5 | 继续 |
| CANCEL | 6 | 取消 |

20.4 SLAM 导航控制介绍

机器人的 SLAM 导航控制服务可分为 SLAM 功能和导航功能。

- SLAM 功能中，可调用相应的接口，实现建图、定位、地图管理等功能。
- 导航功能中，可调用相应的接口，实现目标导航、导航控制等功能。

20.4.1 适用场景与范围

- 小于 100m * 100m 且特征丰富的静态室内平地场景，请勿超过建议范围
- 该部分功能适用于教育科研行业，不建议用于行业应用，行业应用请联系销售

20.4.2 环境准备

SDK 方式 SLAM 导航不同于 App 端方便可视化进行定位，需要修改 SLAM 配置，固定地图方向，方便 SLAM 定位：

```
# 登录机器人本体
ssh eame@192.168.54.119
# 修改如下配置
# vim /opt/eame/eamegrapher_3d/share/eamegrapher_3d/config/params.yaml
align_map: false

# 首次更改yaml文件后需要重启SLAM模块生效，重启指令为：
sudo systemctl restart slam.service
```

20.4.3 SLAM 功能流程

| 功能 | 操作流程 |
|------|---------------------------|
| 建图 | 激活建图模式 → 开始建图 → 保存地图 |
| 地图管理 | 加载地图、获取地图信息、删除地图、获取地图绝对路径 |

20.4.4 导航功能流程

| 功能 | 操作流程 |
|------|---|
| 定位 | 加载地图 → 激活定位模式 → 初始化位姿 → 获取定位状态 |
| 导航 | 定位成功 → 激活导航模式 → 设置目标姿态(开始导航任务) → 获取导航状态 |
| 导航控制 | 设置目标姿态(开始导航任务) → 暂停导航 → 恢复导航 → 取消导航 |

20.4.5 定位模式初始化

SLAM 处于定位模式时，可以指定初始位姿以快速完成重定位与初始化，在使用大规模地图时必须指定初始位姿：

小地图模式

满足如下条件：

- 条件一：地图不能太大例如在一个房间内，地图面积最好控制在 10m * 10m 以内；
- 条件二，修改配置适配该模式：

```
# 登录机器人本体
ssh eame@192.168.54.119
# 修改如下配置
# vim /opt/eame/eamegrapher_3d/share/eamegrapher_3d/config/params.yaml
reloc_options: true

# 首次更改yaml文件后需要重启SLAM模块生效，重启指令为：
sudo systemctl restart slam.service
```

大地图模式

满足如下条件：

- 条件一：机器人必须处于建图原点（建图开始时机器人的出发点），机器人朝向也要保持一致
- 条件二：修改配置适配该模式：

SDK 方式 SLAM 导航不同于 App 端方便可视化进行定位，需要修改 SLAM 配置，固定地图方向，方便 SLAM 定位：

```
# 登录机器人本体
ssh eame@192.168.54.119
# 修改如下配置
# vim /opt/eame/eamegrapher_3d/share/eamegrapher_3d/config/params.yaml
align_map: false

# 首次更改yaml文件后需要重启SLAM模块生效，重启指令为：
sudo systemctl restart slam.service
```

- 条件三：初始化位姿时，需要对 yaw 角施加一个 180° (3.14rad) 偏置：

因为激光雷达的机械安装与机器人本体相差 180°

20.4.6 地图噪点擦除以及添加障碍

- 软件名称：GIMP
- 下载地址：<https://www.gimp.org/downloads/>
- 操作系统：Ubuntu
- 编辑对象：`/home/eame/cust_para/maps/${map_name}/map/map.pgm` 登录机器人本体（`ssh eame@192.168.54.119`），将.pgm 地图文件通过 GIMP 进行编辑，编辑完成后进行替换；
- 编辑视频：

CHAPTER 21

高层运动控制示例

该示例展示了如何使用 Magicbot-Z1 SDK 进行初始化、连接机器人、高层运动控制（步态、特技、遥控）等基本操作。

21.1 C++:

示例文件: high_level_motion_example.cpp

```
#include "magic_robot.h"
#include "magic_sdk_version.h"

#include <termios.h>
#include <unistd.h>
#include <csignal>

#include <iostream>

using namespace magic::z1;

magic::z1::MagicRobot robot;

void signalHandler(int signum) {
    std::cout << "Interrupt signal (" << signum << ") received.\n";
```

(下页继续)

(续上页)

```

robot.Shutdown();
// Exit process
exit(signum);
}

void print_help() {
    std::cout << "Key Function Demo Program\n\n";
    std::cout << "High-Level Motion Control Function Description:\n";
    std::cout << "  1      Function 1: Recovery stand\n";
    std::cout << "  2      Function 2: Balance stand\n";
    std::cout << "  3      Function 3: Execute trick - greeting action\n";
    std::cout << "  w      Function w: Move forward\n";
    std::cout << "  a      Function a: Move left\n";
    std::cout << "  s      Function s: Move backward\n";
    std::cout << "  d      Function d: Move right\n";
    std::cout << "  x      Function x: Stop moving\n";
    std::cout << "  t      Function t: Turn left\n";
    std::cout << "  g      Function g: Turn right\n";
    std::cout << "  u      Function u: Reset head move\n";
    std::cout << "  j      Function j: Move head left\n";
    std::cout << "  k      Function k: Move head right\n";
    std::cout << "\n";
    std::cout << "  ?      Function ?: Print help\n";
    std::cout << "  ESC    Exit program\n";
}

int getch() {
    struct termios oldt, newt;
    int ch;
    tcgetattr(STDIN_FILENO, &oldt); // Get current terminal settings
    newt = oldt;
    newt.c_lflag &= ~(ICANON | ECHO); // Disable buffering and echo
    tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &newt);
    ch = getchar(); // Read key press
    tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &oldt); // Restore settings
    return ch;
}

void RecoveryStand() {
    // Get high-level motion controller
    auto& controller = robot.GetHighLevelMotionController();

    // Set gait
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

auto status = controller.SetGait(GaitMode::GAIT_RECOVERY_STAND);
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "set robot gait failed"
    << ", code: " << status.code
    << ", message: " << status.message << std::endl;
    return;
}

void BalanceStand() {
    // Get high-level motion controller
    auto& controller = robot.GetHighLevelMotionController();

    // Set posture display gait
    auto status = controller.SetGait(GaitMode::GAIT_BALANCE_STAND);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "set robot gait failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "robot gait set to GAIT_BALANCE_STAND successfully." << std::endl;
}

void ExecuteTrick() {
    // Get high-level motion controller
    auto& controller = robot.GetHighLevelMotionController();

    // Execute trick
    auto status = controller.ExecuteTrick(TrickAction::ACTION_LEFT_GREETING);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "execute robot trick failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "robot trick executed successfully." << std::endl;
}

void JoyStickCommand(float left_x_axis,
                     float left_y_axis,
                     float right_x_axis,
                     float right_y_axis) {

```

(下页继续)

(续上页)

```

// Get high-level motion controller
auto& controller = robot.GetHighLevelMotionController();

JoyStickCommand joy_command;
joy_command.left_x_axis = left_x_axis;
joy_command.left_y_axis = left_y_axis;
joy_command.right_x_axis = right_x_axis;
joy_command.right_y_axis = right_y_axis;
controller.SendJoyStickCommand(joy_command);
}

void HeadMove(float shake_angle) {
    // Get high-level motion controller
    auto& controller = robot.GetHighLevelMotionController();
    auto status = controller.HeadMove(shake_angle);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "head move failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "head move successfully." << std::endl;
    std::cout << "shake_angle: " << shake_angle << std::endl;
}

int main(int argc, char* argv[]) {
    // Bind SIGINT (Ctrl+C)
    signal(SIGINT, signalHandler);

    std::cout << "SDK Version: " << SDK_VERSION_STRING << std::endl;

    print_help();

    std::string local_ip = "192.168.54.111";
    // Configure local IP address for direct ethernet connection to robot and initialize SDK
    if (!robot.Initialize(local_ip)) {
        std::cerr << "robot sdk initialize failed." << std::endl;
        robot.Shutdown();
        return -1;
    }

    // Connect to robot
    auto status = robot.Connect();
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "connect robot failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    robot.Shutdown();
    return -1;
}

// Switch motion controller to high-level controller, default is high-level controller
status = robot.SetMotionControlLevel(ControllerLevel::HighLevel);
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "switch robot motion control level failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    robot.Shutdown();
    return -1;
}

std::cout << "Press any key to continue (ESC to exit)..." 
        << std::endl;

// Wait for user input
while (1) {
    int key = getch();
    if (key == 27)
        break; // ESC key ASCII code is 27

    std::cout << "Key ASCII: " << key << ", Character: " << static_cast<char>(key) << std::endl;
    switch (key) {
        case '1': {
            RecoveryStand();
            break;
        }
        case '2': {
            BalanceStand();
            break;
        }
        case '3': {
            ExecuteTrick();
            break;
        }
        case 'W':
        case 'w': {

```

(下页继续)

(续上页)

```

JoyStickCommand(0.0, 1.0, 0.0, 0.0); // Move forward
break;
}
case 'A':
case 'a': {
JoyStickCommand(-1.0, 0.0, 0.0, 0.0); // Move left
break;
}
case 'S':
case 's': {
JoyStickCommand(0.0, -1.0, 0.0, 0.0); // Move backward
break;
}
case 'D':
case 'd': {
JoyStickCommand(1.0, 0.0, 0.0, 0.0); // Move right
break;
}
case 'X':
case 'x': {
JoyStickCommand(0.0, 0.0, 0.0, 0.0); // Stop
break;
}
case 'T':
case 't': {
JoyStickCommand(0.0, 0.0, -1.0, 1.0); // Turn left
break;
}
case 'G':
case 'g': {
JoyStickCommand(0.0, 0.0, 1.0, 1.0); // Turn right
break;
}
case 'U':
case 'u': {
HeadMove(0.0);
break;
}
case 'J':
case 'j': {
HeadMove(-0.5);
break;
}
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

case 'K':
case 'k': {
    HeadMove(0.5);
    break;
}
case '?': {
    print_help();
    break;
}
default:
    std::cout << "Unknown key: " << key << std::endl;
    break;
}

// Disconnect from robot
status = robot.Disconnect();
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "disconnect robot failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    robotShutdown();
    return -1;
}

robotShutdown();

return 0;
}

```

21.2 Python

示例文件: high_level_motion_example.py

```

#!/usr/bin/env python3

import sys
import time
import signal
import logging
from typing import Optional

import magicbot_z1_python as magicbot

```

(下页继续)

(续上页)

```

# Configure logging format and level
logging.basicConfig(
    level=logging.INFO,    # Minimum log level
    format"%(asctime)s [%(levelname)s] %(message)s",
    datefmt="%Y-%m-%d %H:%M:%S",
)

# Global variables
robot: Optional[magicbot.MagicRobot] = None
running = True

def signal_handler(signum, frame):
    """Signal handler function for graceful exit"""
    global running, robot
    logging.info("Received interrupt signal (%s), exiting...", signum)
    running = False
    if robot:
        robot.disconnect()
        logging.info("Robot disconnected")
        robot.shutdown()
        logging.info("Robot shutdown")
    exit(-1)

def print_help():
    """Print help information"""
    logging.info("High-Level Motion Control Function Demo Program")
    logging.info("")
    logging.info("High-Level Motion Control Functions:")
    logging.info("  1      Function 1: Recovery stand")
    logging.info("  2      Function 2: Balance stand")
    logging.info("  3      Function 3: Execute trick - welcome action")
    logging.info("  w      Function w: Move forward")
    logging.info("  a      Function a: Move left")
    logging.info("  s      Function s: Move backward")
    logging.info("  d      Function d: Move right")
    logging.info("  x      Function x: stop move")
    logging.info("  t      Function t: Turn left")
    logging.info("  g      Function g: Turn right")
    logging.info("  u      Function u: Reset head move")
    logging.info("  j      Function j: Move head left")

```

(下页继续)

(续上页)

```

logging.info("  k          Function k: Move head right")
logging.info("  ")
logging.info("  ?          Function ?: Print help")
logging.info("  ESC        Exit program")

def get_user_input():
    """Get user input - 读取一行数据"""
    try:
        # 方法1: 使用 input() 读取一行 (推荐)
        return input("请输入命令: ").strip()
    except (EOFError, KeyboardInterrupt):
        return ""

def recovery_stand():
    """Recovery stand"""
    global robot
    try:
        logging.info("== Executing Recovery Stand ===")

        # Get high-level motion controller
        controller = robot.get_high_level_motion_controller()

        # Set gait to recovery stand
        status = controller.set_gait(magicbot.GaitMode.GAIT_RECOVERY_STAND, 10000)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to set robot gait, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
            return False

        logging.info("Robot gait set to recovery stand")
        return True

    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while executing recovery stand: %s", e)
        return False

def balance_stand():

```

(下页继续)

(续上页)

```

"""Balance stand"""
global robot
try:
    logging.info("== Executing Balance Stand ==")

    # Get high-level motion controller
    controller = robot.get_high_level_motion_controller()

    # Set gait to balance stand
    status = controller.set_gait(magicbot.GaitMode.GAIT_BALANCE_STAND, 10000)
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to set robot gait, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
        return False

    logging.info("Robot gait set to balance stand (supports movement)")
    return True

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while executing balance stand: %s", e)
    return False


def get_action(cmd):
    if cmd == "215":
        return magicbot.TrickAction.ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_REACHOUT
    elif cmd == "216":
        return magicbot.TrickAction.ACTION_SHAKE_LEFT_HAND_WITHDRAW
    elif cmd == "217":
        return magicbot.TrickAction.ACTION_SHAKE_RIGHT_HAND_REACHOUT
    elif cmd == "218":
        return magicbot.TrickAction.ACTION_SHAKE_RIGHT_HAND_WITHDRAW
    elif cmd == "220":
        return magicbot.TrickAction.ACTION_SHAKE_HEAD
    elif cmd == "300":
        return magicbot.TrickAction.ACTION_LEFT_GREETING
    elif cmd == "301":
        return magicbot.TrickAction.ACTION_RIGHT_GREETING
    elif cmd == "304":
        return magicbot.TrickAction.ACTION_TRUN_LEFT_INTRODUCE_HIGH

```

(下页继续)

(续上页)

```

elif cmd == "305":
    return magicbot.TrickAction.ACTION_TRUN_LEFT_INTRODUCE_LOW
elif cmd == "306":
    return magicbot.TrickAction.ACTION_TRUN_RIGHT_INTRODUCE_HIGH
elif cmd == "307":
    return magicbot.TrickAction.ACTION_TRUN_RIGHT_INTRODUCE_LOW
elif cmd == "340":
    return magicbot.TrickAction.ACTION_WELCOME
else:
    return magicbot.TrickAction.ACTION_NONE

def execute_trick_action(cmd):
    """Execute trick - welcome action"""
    global robot
    try:
        logging.info("== Executing Trick - %s Action ===", cmd)

        # Get high-level motion controller
        controller = robot.get_high_level_motion_controller()

        # Execute welcome trick
        status = controller.execute_trick(get_action(cmd), 10000)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to execute robot trick, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
            return False

        logging.info("Robot trick executed successfully")
        return True

    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while executing trick: %s", e)
        return False

def joystick_command(left_x_axis, left_y_axis, right_x_axis, right_y_axis):
    """Send joystick control command"""
    global robot
    try:

```

(下页继续)

(续上页)

```
# Get high-level motion controller
controller = robot.get_high_level_motion_controller()

# Create joystick command
joy_command = magicbot.JoystickCommand()
joy_command.left_x_axis = left_x_axis
joy_command.left_y_axis = left_y_axis
joy_command.right_x_axis = right_x_axis
joy_command.right_y_axis = right_y_axis

# Send joystick command
controller.send_joystick_command(joy_command)
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while sending joystick command: %s", e)

def move_forward():
    """Move forward"""
    logging.info("==== Moving Forward ====")
    return joystick_command(0.0, 1.0, 0.0, 0.0)

def move_backward():
    """Move backward"""
    logging.info("==== Moving Backward ====")
    return joystick_command(0.0, -1.0, 0.0, 0.0)

def move_left():
    """Move left"""
    logging.info("==== Moving Left ====")
    return joystick_command(-1.0, 0.0, 0.0, 0.0)

def move_right():
    """Move right"""
    logging.info("==== Moving Right ====")
    return joystick_command(1.0, 0.0, 0.0, 0.0)

def turn_left():
    """Turn left"""
    logging.info("==== Turning Left ====")
```

(下页继续)

(续上页)

```
    return joystick_command(0.0, 0.0, -1.0, 0.0)

def turn_right():
    """Turn right"""
    logging.info("==== Turning Right ====")
    return joystick_command(0.0, 0.0, 1.0, 0.0)

def stop_move():
    """Stop move"""
    logging.info("==== Stopping Move ====")
    return joystick_command(0.0, 0.0, 0.0, 0.0)

def head_move_reset():
    """Reset head move"""
    logging.info("==== Resetting Head Move ====")
    return head_move(0.0)

def head_move_left():
    """Move head left"""
    logging.info("==== Moving Head Left ====")
    return head_move(-0.5)

def head_move_right():
    """Move head right"""
    logging.info("==== Moving Head Right ====")
    return head_move(0.5)

def main():
    """Main function"""
    global robot, running

    # Bind signal handler
    signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

    logging.info("Robot model: %s", magicbot.get_robot_model())

    # Create robot instance
```

(下页继续)

(续上页)

```
robot = magicbot.MagicRobot()

try:
    # Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
    local_ip = "192.168.54.111"
    if not robot.initialize(local_ip):
        logging.error("Failed to initialize robot SDK")
        robot.shutdown()
        return -1

    # Connect to robot
    status = robot.connect()
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to connect to robot, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
        robot.shutdown()
        return -1

    logging.info("Successfully connected to robot")

    # Switch motion control controller to high-level controller
    status = robot.set_motion_control_level(magicbot.ControllerLevel.HighLevel)
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to switch robot motion control level, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
        robot.shutdown()
        return -1

    logging.info("Switched to high-level motion controller")

    # Initialize high-level motion controller
    controller = robot.get_high_level_motion_controller()
    if not controller.initialize():
        logging.error("Failed to initialize high-level motion controller")
        robot.disconnect()
        robot.shutdown()
        return -1
```

(下页继续)

(续上页)

```
logging.info("Successfully initialized high-level motion controller")

print_help()
logging.info("Press any key to continue (ESC to exit)...")


# Main loop
while running:
    try:
        str_input = get_user_input()

        # 按空格分割输入参数
        parts = str_input.strip().split()

        if not parts:
            time.sleep(0.01) # Brief delay
            continue

        # 解析参数
        key = parts[0]
        args = parts[1:] if len(parts) > 1 else []
        if key == "\x1b": # ESC key
            break

        if key == "1":
            recovery_stand()
        elif key == "2":
            balance_stand()
        elif key == "3":
            cmd = args[0] if args else 340
            execute_trick_action(cmd)
        elif key.upper() == "W":
            move_forward()
        elif key.upper() == "A":
            move_left()
        elif key.upper() == "S":
            move_backward()
        elif key.upper() == "D":
            move_right()
        elif key.upper() == "X":
            stop_move()
        elif key.upper() == "T":
            turn_left()
```

(下页继续)

(续上页)

```

        elif key.upper() == "G":
            turn_right()
        elif key.upper() == "U":
            head_move_reset()
        elif key.upper() == "J":
            head_move_left()
        elif key.upper() == "K":
            head_move_right()
        elif key.upper() == "?":
            print_help()
        else:
            logging.info("Unknown key: %s", key)

            time.sleep(0.01) # Brief delay

    except KeyboardInterrupt:
        break
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while processing user input: %s", e)

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred during program execution: %s", e)
    return -1

finally:
    # Clean up resources
    try:
        logging.info("Clean up resources")
        # Close high-level motion controller
        controller = robot.get_high_level_motion_controller()
        controller.shutdown()
        logging.info("High-level motion controller closed")

        # Disconnect
        robot.disconnect()
        logging.info("Robot connection disconnected")

        # Shutdown robot
        robot.shutdown()
        logging.info("Robot shutdown")

    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while cleaning up resources: %s", e)

```

(下页继续)

(续上页)

```
if __name__ == "__main__":
    sys.exit(main())
```

21.3 运行说明

21.3.1 环境准备

```
export PYTHONPATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$PYTHONPATH
export LD_LIBRARY_PATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$LD_LIBRARY_PATH
```

21.3.2 运行示例

```
# C++
./high_level_motion_example
# Python
python3 high_level_motion_example.py
```

21.3.3 控制说明

- 1: 恢复站立
- 2: 平衡站立
- 3: 庆祝动作
- w/a/s/d/x: 前进/左移/后退/右移/停止移动
- t/g: 左转/右转
- j/k/u: 头部向左/向右/复位
- ?: 打印帮助信息

注意：人形机器人要恢复站立状态下落地，落地之后才能切平衡站立，之后才能做特技等其他动作

21.3.4 停止程序

- 按 ESC 可以安全停止程序
- 程序会自动清理所有资源

CHAPTER 22

底层运动控制示例

该示例展示了如何使用 Magicbot-Z1 SDK 进行初始化、连接机器人、底层运动控制（手、臂、腿、腰、头）、Imu 传感器数据读取等基本操作。

22.1 C++:

示例文件: low_level_motion_example.cpp

```
#include "magic_robot.h"
#include "magic_sdk_version.h"

#include <unistd.h>
#include <csignal>

#include <iostream>
#include <chrono>
#include <thread>

using namespace magic::z1;

magic::z1::MagicRobot robot;

std::atomic<bool> running(true);
```

(下页继续)

(续上页)

```

void signalHandler(int signum) {
    std::cout << "Interrupt signal (" << signum << ") received.\n";
    running = false;
    robot.Shutdown();
    // Exit process
    exit(signum);
}

int main() {
    // Bind SIGINT (Ctrl+C)
    signal(SIGINT, signalHandler);

    std::cout << "SDK Version: " << SDK_VERSION_STRING << std::endl;

    std::string local_ip = "192.168.54.111";
    // Configure local IP address for direct ethernet connection to robot and initialize SDK
    if (!robot.Initialize(local_ip)) {
        std::cerr << "robot sdk initialize failed." << std::endl;
        robot.Shutdown();
        return -1;
    }

    // Connect to robot
    auto status = robot.Connect();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "connect robot failed"
            << ", code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        robot.Shutdown();
        return -1;
    }

    // Switch motion controller to low-level controller, default is high-level controller
    status = robot.SetMotionControlLevel(ControllerLevel::LowLevel);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "switch robot motion control level failed"
            << ", code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        robot.Shutdown();
        return -1;
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

// Get low-level controller
auto& controller = robot.GetLowLevelMotionController();

// Subscribe to IMU data
controller.SubscribeBodyImu([](const std::shared_ptr<Imu> msg) {
    static int32_t count = 0;
    if (count++ % 1000 == 1) {
        std::cout << "++++++ receive imu data." << std::endl;
        std::cout << "timestamp: " << msg->timestamp << std::endl;
        std::cout << "temperature: " << msg->temperature << std::endl;
        std::cout << "orientation: " << msg->orientation[0] << ", " << msg->orientation[1] << ",
        << msg->orientation[2] << ", " << msg->orientation[3] << std::endl;
        std::cout << "angular_velocity: " << msg->angular_velocity[0] << ", " << msg->angular_
        << velocity[1] << ", " << msg->angular_velocity[2] << std::endl;
        std::cout << "linear_acceleration: " << msg->linear_acceleration[0] << ", " << msg->
        << linear_acceleration[1] << ", " << msg->linear_acceleration[2] << std::endl;
    }
    // TODO: handle imu data
});

// Subscribe to arm data
controller.SubscribeArmState([](const std::shared_ptr<JointState> msg) {
    static int32_t count = 0;
    if (count++ % 1000 == 1) {
        std::cout << "++++++ receive arm joint data." << std::endl;
        std::cout << "timestamp: " << msg->timestamp << std::endl;
        std::cout << "pos: " << msg->joints[0].posH << ", " << msg->joints[0].posL << std::endl;
        std::cout << "vel: " << msg->joints[0].vel << std::endl;
        std::cout << "toq: " << msg->joints[0].toq << std::endl;
        std::cout << "current: " << msg->joints[0].current << std::endl;
        std::cout << "error_code: " << msg->joints[0].err_code << std::endl;
    }
    // TODO: handle arm joint data
});

// Using arm joint control as an example:
// Subsequent joint control commands, joint operation mode is 1, indicating joint is in_
// position control mode
auto now = std::chrono::steady_clock::now();
while (running.load()) {
    // Left arm joints, refer to documentation:
    // Left or right arm joints 1-5 operation_mode needs to switch from mode 200 to mode 4_

```

(下页继续)

(续上页)

```

→ (series PID mode) for command execution;

JointCommand arm_command;
arm_command.joints.resize(kArmJointNum);
for (int ii = 0; ii < kArmJointNum; ii++) {
    // Set joint to ready state
    arm_command.joints[ii].operation_mode = 200;
    // TODO: Set target position, velocity, torque and gains
    arm_command.joints[ii].pos = 0.0;
    arm_command.joints[ii].vel = 0.0;
    arm_command.joints[ii].toq = 0.0;
    arm_command.joints[ii].kp = 0.0;
    arm_command.joints[ii].kd = 0.0;
}
// Publish control command
controller.PublishArmCommand(arm_command);

// Send control commands at 500Hz frequency (2ms)
now += std::chrono::microseconds(2000);
std::this_thread::sleep_until(now);
}

// Disconnect from robot
status = robot.Disconnect();
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "disconnect robot failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    robot.Shutdown();
    return -1;
}

robot.Shutdown();

return 0;
}

```

22.2 Python

示例文件: low_level_motion_example.py

```

#!/usr/bin/env python3

import sys

```

(下页继续)

(续上页)

```

import time
import signal
import logging
from typing import Optional

import magicbot_z1_python as magicbot

# Configure logging format and level
logging.basicConfig(
    level=logging.INFO, # Minimum log level
    format"%(asctime)s [%(levelname)s] %(message)s",
    datefmt="%Y-%m-%d %H:%M:%S",
)

# Global variables
robot: Optional[magicbot.MagicRobot] = None
running = True

body_imu_counter = 0
arm_state_counter = 0
leg_state_counter = 0
head_state_counter = 0
waist_state_counter = 0


def signal_handler(signum, frame):
    """Signal handler function for graceful exit"""
    global robot, running
    running = False
    logging.info("Received interrupt signal (%s), exiting...", signum)

    if robot:
        robot.disconnect()
        logging.info("Robot disconnected")
        robot.shutdown()
        logging.info("Robot shutdown")
    exit(-1)


def body_imu_callback(imu_data):
    """Body IMU data callback function"""
    global body_imu_counter
    if body_imu_counter % 1000 == 0:

```

(下页继续)

(续上页)

```

logging.info("++++++ Received body IMU data")
# Print IMU data
logging.info("Received body IMU data, timestamp: %d", imu_data.timestamp)
logging.info("Received body IMU data, orientation: [%f,%f,%f,%f]", imu_data.
˓→orientation[0], imu_data.orientation[1], imu_data.orientation[2], imu_data.orientation[3])
logging.info(
    "Received body IMU data, angular_velocity: [%f,%f,%f]",
    imu_data.angular_velocity[0],
    imu_data.angular_velocity[1],
    imu_data.angular_velocity[2],
)
logging.info(
    "Received body IMU data, linear_acceleration: [%f,%f,%f]",
    imu_data.linear_acceleration[0],
    imu_data.linear_acceleration[1],
    imu_data.linear_acceleration[2],
)
logging.info("Received body IMU data, temperature: %f", imu_data.temperature)
body_imu_counter += 1

```

```

def arm_state_callback(joint_state):
    """Arm joint state callback function"""
    global arm_state_counter
    if arm_state_counter % 1000 == 0:
        logging.info("++++++ Received arm joint state data")
        # Print joint state data
        logging.info(
            "Received arm joint state data, status_word: %d",
            joint_state.joints[0].status_word,
        )
        logging.info(
            "Received arm joint state data, posH: %f", joint_state.joints[0].posH
        )
        logging.info(
            "Received arm joint state data, posL: %f", joint_state.joints[0].posL
        )
        logging.info(
            "Received arm joint state data, vel: %f", joint_state.joints[0].vel
        )
        logging.info(
            "Received arm joint state data, toq: %f", joint_state.joints[0].toq
        )

```

(下页继续)

(续上页)

```

logging.info(
    "Received arm joint state data, current: %f", joint_state.joints[0].current
)
logging.info(
    "Received arm joint state data, error_code: %d",
    joint_state.joints[0].err_code,
)
arm_state_counter += 1

def leg_state_callback(joint_state):
    """Leg joint state callback function"""
    global leg_state_counter
    if leg_state_counter % 1000 == 0:
        logging.info("++++++ Received leg joint state data")
        # Print joint state data
        logging.info(
            "Received leg joint state data, status_word: %d",
            joint_state.joints[0].status_word,
        )
        logging.info(
            "Received leg joint state data, posH: %f", joint_state.joints[0].posH
        )
        logging.info(
            "Received leg joint state data, posL: %f", joint_state.joints[0].posL
        )
        logging.info(
            "Received leg joint state data, vel: %f", joint_state.joints[0].vel
        )
        logging.info(
            "Received leg joint state data, toq: %f", joint_state.joints[0].toq
        )
        logging.info(
            "Received leg joint state data, current: %f", joint_state.joints[0].current
        )
        logging.info(
            "Received leg joint state data, error_code: %d",
            joint_state.joints[0].err_code,
        )
    leg_state_counter += 1

def head_state_callback(joint_state):

```

(下页继续)

(续上页)

```

"""Head joint state callback function"""
global head_state_counter
if head_state_counter % 1000 == 0:
    logging.info("++++++ Received head joint state data")
    # Print joint state data
    logging.info(
        "Received head joint state data, status_word: %d",
        joint_state.joints[0].status_word,
    )
    logging.info(
        "Received head joint state data, posH: %f", joint_state.joints[0].posH
    )
    logging.info(
        "Received head joint state data, posL: %f", joint_state.joints[0].posL
    )
    logging.info(
        "Received head joint state data, vel: %f", joint_state.joints[0].vel
    )
    logging.info(
        "Received head joint state data, toq: %f", joint_state.joints[0].toq
    )
    logging.info(
        "Received head joint state data, current: %f", joint_state.joints[0].current
    )
    logging.info(
        "Received head joint state data, error_code: %d",
        joint_state.joints[0].err_code,
    )
head_state_counter += 1

def waist_state_callback(joint_state):
    """Waist joint state callback function"""
    global waist_state_counter
    if waist_state_counter % 1000 == 0:
        logging.info("++++++ Received waist joint state data")
        # Print joint state data
        logging.info(
            "Received waist joint state data, status_word: %d",
            joint_state.joints[0].status_word,
        )
        logging.info(
            "Received waist joint state data, posH: %f", joint_state.joints[0].posH
        )

```

(下页继续)

(续上页)

```

)
logging.info(
    "Received waist joint state data, posL: %f", joint_state.joints[0].posL
)
logging.info(
    "Received waist joint state data, vel: %f", joint_state.joints[0].vel
)
logging.info(
    "Received waist joint state data, toq: %f", joint_state.joints[0].toq
)
logging.info(
    "Received waist joint state data, current: %f",
    joint_state.joints[0].current,
)
logging.info(
    "Received waist joint state data, error_code: %d",
    joint_state.joints[0].err_code,
)
waist_state_counter += 1

def main():
    """Main function"""
    global robot

    # Bind signal handler
    signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

    logging.info("Robot model: %s", magicbot.get_robot_model())

    # Create robot instance
    robot = magicbot.MagicRobot()

    try:
        # Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
        local_ip = "192.168.54.111"
        if not robot.initialize(local_ip):
            logging.error("Failed to initialize robot SDK")
            robot.shutdown()
            return -1

        # Connect to robot
        status = robot.connect()

```

(下页继续)

(续上页)

```
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error(
        "Failed to connect to robot, code: %s, message: %s",
        status.code,
        status.message,
    )
    robot.shutdown()
    return -1

logging.info("Successfully connected to robot")

# Switch motion control controller to low-level controller, default is high-level.
controller
status = robot.set_motion_control_level(magicbot.ControllerLevel.LowLevel)
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error(
        "Failed to switch robot motion control level, code: %s, message: %s",
        status.code,
        status.message,
    )
    robot.shutdown()
    return -1

logging.info("Switched to low-level motion controller")

# Get low-level motion controller
controller = robot.get_low_level_motion_controller()

# Subscribe to body IMU data
controller.subscribe_body_imu(body_imu_callback)
logging.info("Subscribed to body IMU data")

# Subscribe to arm joint state
controller.subscribe_arm_state(arm_state_callback)
logging.info("Subscribed to arm joint state")

# Subscribe to leg joint state
controller.subscribe_leg_state(leg_state_callback)
logging.info("Subscribed to leg joint state")

# Subscribe to head joint state
controller.subscribe_head_state(head_state_callback)
logging.info("Subscribed to head joint state")
```

(下页继续)

(续上页)

```
# Subscribe to waist joint state
controller.subscribe_waist_state(waist_state_callback)
logging.info("Subscribed to waist joint state")

# Main loop
interval = 0.002 # 2ms
next_t = time.perf_counter() + interval

global running
while running:

    # Create arm joint control command
    arm_command = magicbot.JointCommand()
    leg_command = magicbot.JointCommand()
    waist_command = magicbot.JointCommand()
    head_command = magicbot.JointCommand()

    # Set all joints to preparation state (operation mode 200)
    for i in range(magicbot.ARM_JOINT_NUM):
        joint = magicbot.SingleJointCommand()
        joint.operation_mode = 200 # Preparation state
        joint.pos = 0.0
        joint.vel = 0.0
        joint.toq = 0.0
        joint.kp = 0.0
        joint.kd = 0.0
        arm_command.joints.append(joint)

    for i in range(magicbot.LEG_JOINT_NUM):
        joint = magicbot.SingleJointCommand()
        joint.operation_mode = 200 # Preparation state
        joint.pos = 0.0
        joint.vel = 0.0
        joint.toq = 0.0
        joint.kp = 0.0
        joint.kd = 0.0
        leg_command.joints.append(joint)

    for i in range(magicbot.HEAD_JOINT_NUM):
        joint = magicbot.SingleJointCommand()
        joint.operation_mode = 200 # Preparation state
        joint.pos = 0.0
        joint.vel = 0.0
```

(下页继续)

(续上页)

```

joint.toq = 0.0
joint.kp = 0.0
joint.kd = 0.0
head_command.joints.append(joint)

for i in range(magicbot.WAIST_JOINT_NUM):
    joint = magicbot.SingleJointCommand()
    joint.operation_mode = 200 # Preparation state
    joint.pos = 0.0
    joint.vel = 0.0
    joint.toq = 0.0
    joint.kp = 0.0
    joint.kd = 0.0
    waist_command.joints.append(joint)

# Publish arm joint control command
controller.publish_arm_command(arm_command)

# Publish leg joint control command
controller.publish_leg_command(leg_command)

# Publish waist joint control command
controller.publish_waist_command(waist_command)

# Publish head joint control command
controller.publish_head_command(head_command)

next_t += interval
sleep_time = next_t - time.perf_counter()
if sleep_time > 0:
    time.sleep(sleep_time)

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred during program execution: %s", e)
    return -1

finally:
    # Clean up resources
    try:
        logging.info("Clean up resources")
        # Close low-level motion controller
        controller = robot.get_low_level_motion_controller()
        controller.shutdown()

```

(下页继续)

(续上页)

```

logging.info("Low-level motion controller closed")

# Disconnect
robot.disconnect()
logging.info("Robot connection disconnected")

# Shutdown robot
robot.shutdown()
logging.info("Robot shutdown")

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while cleaning up resources: %s", e)

if __name__ == "__main__":
    sys.exit(main())

```

22.3 运行说明

22.3.1 环境准备

```

export PYTHONPATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$PYTHONPATH
export LD_LIBRARY_PATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$LD_LIBRARY_PATH

```

22.3.2 运行示例

```

# C++
./low_level_motion_example
# Python
python3 low_level_motion_example.py

```

22.3.3 停止程序

- 按 Ctrl+C 可以安全停止程序
- 程序会自动清理所有资源

CHAPTER 23

传感器控制示例

该示例展示了如何使用 Magicbot-Z1 SDK 进行初始化、连接机器人、机器人传感器控制（雷达、RGBD 相机、双目相机）等基本操作。

23.1 C++

示例文件: sensor_example.cpp

```
#include "magic_robot.h"
#include "magic_sdk_version.h"
#include "magic_type.h"

#include <termios.h>
#include <unistd.h>
#include <csignal>

#include <atomic>
#include <iomanip>
#include <iostream>
#include <map>
#include <string>

using namespace magic::z1;
```

(下页继续)

(续上页)

```

// Global variables

magic::z1::MagicRobot robot;
std::atomic<bool> running(true);

// Counters for data reception
std::atomic<int> lidar_imu_counter(0);
std::atomic<int> lidar_pointcloud_counter(0);
std::atomic<int> head_rgbd_color_counter(0);
std::atomic<int> head_rgbd_depth_counter(0);
std::atomic<int> head_rgbd_camera_info_counter(0);
std::atomic<int> binocular_image_counter(0);

void signalHandler(int signum) {
    std::cout << "\nInterrupt signal (" << signum << ") received.\n";
    running = false;
    robotShutdown();
    exit(signum);
}

/**
 * @class SensorManager
 * @brief Manages sensor subscriptions for MagicBot Z1
 */
class SensorManager {
public:
    explicit SensorManager(sensor::SensorController& controller)
        : sensor_controller_(controller) {
        // Initialize sensor states
        sensors_state_["lidar"] = false;
        sensors_state_["head_rgbd_camera"] = false;
        sensors_state_["binocular_camera"] = false;

        // Initialize subscription states
        subscriptions_[ "lidar_imu" ] = false;
        subscriptions_[ "lidar_point_cloud" ] = false;
        subscriptions_[ "head_rgbd_color_image" ] = false;
        subscriptions_[ "head_rgbd_depth_image" ] = false;
        subscriptions_[ "head_rgbd_camera_info" ] = false;
        subscriptions_[ "binocular_image" ] = false;
    }

    // === LiDAR Control ===
    bool OpenLidar() {

```

(下页继续)

(续上页)

```

if (sensors_state_["lidar"]) {
    std::cout << "[WARN] LiDAR already opened" << std::endl;
    return true;
}

auto status = sensor_controller_.OpenLidar();
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "[ERROR] Failed to open LiDAR: " << status.message << std::endl;
    return false;
}

sensors_state_["lidar"] = true;
std::cout << "[INFO] ✓ LiDAR opened successfully" << std::endl;
return true;
}

bool CloseLidar() {
    if (!sensors_state_["lidar"]) {
        std::cout << "[WARN] LiDAR already closed" << std::endl;
        return true;
    }

    auto status = sensor_controller_.CloseLidar();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "[ERROR] Failed to close LiDAR: " << status.message << std::endl;
        return false;
    }

    sensors_state_["lidar"] = false;
    std::cout << "[INFO] ✓ LiDAR closed" << std::endl;
    return true;
}

// === Head RGBD Camera Control ===
bool OpenHeadRgbdCamera() {
    if (sensors_state_["head_rgbd_camera"]) {
        std::cout << "[WARN] Head RGBD camera already opened" << std::endl;
        return true;
    }

    auto status = sensor_controller_.OpenHeadRgbdCamera();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "[ERROR] Failed to open head RGBD camera: " << status.message << std::endl;
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```
    return false;
}

sensors_state_["head_rgbd_camera"] = true;
std::cout << "[INFO] ✓ Head RGBD camera opened" << std::endl;
return true;
}

bool CloseHeadRgbdCamera() {
    if (!sensors_state_["head_rgbd_camera"]) {
        std::cout << "[WARN] Head RGBD camera already closed" << std::endl;
        return true;
    }

    auto status = sensor_controller_.CloseHeadRgbdCamera();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "[ERROR] Failed to close head RGBD camera: " << status.message << std::endl;
        return false;
    }

    sensors_state_["head_rgbd_camera"] = false;
    std::cout << "[INFO] ✓ Head RGBD camera closed" << std::endl;
    return true;
}

// === Binocular Camera Control ===
bool OpenBinocularCamera() {
    if (sensors_state_["binocular_camera"]) {
        std::cout << "[WARN] Binocular camera already opened" << std::endl;
        return true;
    }

    auto status = sensor_controller_.OpenBinocularCamera();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "[ERROR] Failed to open binocular camera: " << status.message << std::endl;
        return false;
    }

    sensors_state_["binocular_camera"] = true;
    std::cout << "[INFO] ✓ Binocular camera opened" << std::endl;
    return true;
}
```

(下页继续)

(续上页)

```

bool CloseBinocularCamera() {
    if (!sensors_state_["binocular_camera"]) {
        std::cout << "[WARN] Binocular camera already closed" << std::endl;
        return true;
    }

    auto status = sensor_controller_.CloseBinocularCamera();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "[ERROR] Failed to close binocular camera: " << status.message << std::endl;
        return false;
    }

    sensors_state_["binocular_camera"] = false;
    std::cout << "[INFO] ✓ Binocular camera closed" << std::endl;
    return true;
}

// === LiDAR Subscribe Methods ===
void ToggleLidarImuSubscription() {
    if (subscriptions_["lidar_imu"]) {
        sensor_controller_.UnsubscribeLidarImu();
        subscriptions_["lidar_imu"] = false;
        std::cout << "[INFO] 🚧 LiDAR IMU unsubscribed" << std::endl;
    } else {
        sensor_controller_.SubscribeLidarImu([](const std::shared_ptr<Imu>& imu) {
            int count = ++lidar_imu_counter;
            if (count % 100 == 0) {
                std::cout << "===== LiDAR IMU Data =====" << std::endl;
                std::cout << "Counter: " << count << std::endl;
                std::cout << "Timestamp: " << imu->timestamp << std::endl;
                std::cout << std::fixed << std::setprecision(4);
                std::cout << "Orientation (x,y,z,w): ["
                << imu->orientation[0] << ", "
                << imu->orientation[1] << ", "
                << imu->orientation[2] << ", "
                << imu->orientation[3] << "]" << std::endl;
                std::cout << "Angular velocity (x,y,z): ["
                << imu->angular_velocity[0] << ", "
                << imu->angular_velocity[1] << ", "
                << imu->angular_velocity[2] << "]" << std::endl;
                std::cout << "Linear acceleration (x,y,z): ["
                << imu->linear_acceleration[0] << ", "
                << imu->linear_acceleration[1] << ", "
            }
        });
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

        << imu->linear_acceleration[2] << "]" << std::endl;
    std::cout << std::setprecision(2);
    std::cout << "Temperature: " << imu->temperature << std::endl;
    std::cout << "======" << std::endl;
}
});

subscriptions_["lidar_imu"] = true;
std::cout << "[INFO] ✓ LiDAR IMU subscribed" << std::endl;
}

}

void ToggleLidarPointCloudSubscription() {
    if (subscriptions_["lidar_point_cloud"]) {
        sensor_controller_.UnsubscribeLidarPointCloud();
        subscriptions_["lidar_point_cloud"] = false;
        std::cout << "[INFO] ✘ LiDAR point cloud unsubscribed" << std::endl;
    } else {
        sensor_controller_.SubscribeLidarPointCloud([] (const std::shared_ptr<PointCloud2>& pointcloud) {
            int count = ++lidar_pointcloud_counter;
            if (count % 10 == 0) {
                std::cout << "===== LiDAR Point Cloud =====" << std::endl;
                std::cout << "Counter: " << count << std::endl;
                std::cout << "Data size: " << pointcloud->data.size() << " bytes" << std::endl;
                std::cout << "Width: " << pointcloud->width << std::endl;
                std::cout << "Height: " << pointcloud->height << std::endl;
                std::cout << "Is dense: " << (pointcloud->is_dense ? "true" : "false") << std::endl;
                std::cout << "Point step: " << pointcloud->point_step << std::endl;
                std::cout << "Row step: " << pointcloud->row_step << std::endl;
                std::cout << "Number of fields: " << pointcloud->fields.size() << std::endl;
                if (!pointcloud->fields.empty()) {
                    std::cout << "First field name: " << pointcloud->fields[0].name << std::endl;
                }
                std::cout << "===== " << std::endl;
            }
        });
        subscriptions_["lidar_point_cloud"] = true;
        std::cout << "[INFO] ✓ LiDAR point cloud subscribed" << std::endl;
    }
}

// === Head RGBD Subscribe Methods ===
void ToggleHeadRgbdColorImageSubscription() {

```

(下页继续)

(续上页)

```

if (subscriptions_["head_rgbd_color_image"]) {
    sensor_controller_.UnsubscribeHeadRgbdColorImage();
    subscriptions_["head_rgbd_color_image"] = false;
    std::cout << "[INFO] ❌ Head RGBD color image unsubscribed" << std::endl;
} else {
    sensor_controller_.SubscribeHeadRgbdColorImage([](const std::shared_ptr<Image>& img) {
        int count = ++head_rgbd_color_counter;
        if (count % 15 == 0) {
            std::cout << "===== Head RGBD Color Image =====" << std::endl;
            std::cout << "Counter: " << count << std::endl;
            std::cout << "Size: " << img->data.size() << " bytes" << std::endl;
            std::cout << "Resolution: " << img->width << "x" << img->height << std::endl;
            std::cout << "Encoding: " << img->encoding << std::endl;
            std::cout << "===== ===== =====" << std::endl;
        }
    });
    subscriptions_["head_rgbd_color_image"] = true;
    std::cout << "[INFO] ✓ Head RGBD color image subscribed" << std::endl;
}
}

void ToggleHeadRgbdDepthImageSubscription() {
    if (subscriptions_["head_rgbd_depth_image"]) {
        sensor_controller_.UnsubscribeHeadRgbdDepthImage();
        subscriptions_["head_rgbd_depth_image"] = false;
        std::cout << "[INFO] ❌ Head RGBD depth image unsubscribed" << std::endl;
    } else {
        sensor_controller_.SubscribeHeadRgbdDepthImage([](const std::shared_ptr<Image>& img) {
            int count = ++head_rgbd_depth_counter;
            if (count % 15 == 0) {
                std::cout << "===== Head RGBD Depth Image =====" << std::endl;
                std::cout << "Counter: " << count << std::endl;
                std::cout << "Size: " << img->data.size() << " bytes" << std::endl;
                std::cout << "Resolution: " << img->width << "x" << img->height << std::endl;
                std::cout << "Encoding: " << img->encoding << std::endl;
                std::cout << "===== ===== =====" << std::endl;
            }
        });
        subscriptions_["head_rgbd_depth_image"] = true;
        std::cout << "[INFO] ✓ Head RGBD depth image subscribed" << std::endl;
    }
}
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

void ToggleHeadRgbdCameraInfoSubscription() {
    if (subscriptions_["head_rgbd_camera_info"]) {
        sensor_controller_.UnsubscribeHeadRgbdCameraInfo();
        subscriptions_["head_rgbd_camera_info"] = false;
        std::cout << "[INFO] ❌ Head RGBD camera info unsubscribed" << std::endl;
    } else {
        sensor_controller_.SubscribeHeadRgbdCameraInfo([](const std::shared_ptr<CameraInfo>&_
→info) {
            int count = ++head_rgbd_camera_info_counter;
            if (count % 30 == 0) {
                std::cout << "===== Head RGBD Camera Info =====" << std::endl;
                std::cout << "Counter: " << count << std::endl;
                std::cout << "Resolution: " << info->width << "x" << info->height << std::endl;
                std::cout << "Distortion model: " << info->distortion_model << std::endl;
                std::cout << "===== =====" << std::endl;
            }
        });
        subscriptions_["head_rgbd_camera_info"] = true;
        std::cout << "[INFO] ✓ Head RGBD camera info subscribed" << std::endl;
    }
}

// === Binocular Camera Subscribe Methods ===
void ToggleBinocularImageSubscription() {
    if (subscriptions_["binocular_image"]) {
        sensor_controller_.UnsubscribeBinocularImage();
        subscriptions_["binocular_image"] = false;
        std::cout << "[INFO] ❌ Binocular image unsubscribed" << std::endl;
    } else {
        sensor_controller_.SubscribeBinocularImage([](const std::shared_ptr<BinocularCameraFrame>&_
→frame) {
            int count = ++binocular_image_counter;
            if (count % 15 == 0) {
                std::cout << "===== Binocular Camera Image =====" << std::endl;
                std::cout << "Counter: " << count << std::endl;
                std::cout << "Timestamp: " << frame->header.stamp << std::endl;
                std::cout << "Frame ID: " << frame->header.frame_id << std::endl;
                std::cout << "Format: " << frame->format << std::endl;
                std::cout << "Data size: " << frame->data.size() << " bytes (left+right concatenated)"_
→" << std::endl;
                std::cout << "===== =====" << std::endl;
            }
        });
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

subscriptions_["binocular_image"] = true;
std::cout << "[INFO] ✓ Binocular image subscribed" << std::endl;
}

}

void ShowStatus() const {
    std::cout << "\n"
        << std::string(80, '=') << std::endl;
    std::cout << "MAGICBOT Z1 SENSOR STATUS" << std::endl;
    std::cout << std::string(80, '=') << std::endl;
    std::cout << "LiDAR: "
        << (sensors_state_.at("lidar") ? "OPEN" : "CLOSED") << std::endl;
    std::cout << "Head RGBD Camera: "
        << (sensors_state_.at("head_rgbd_camera") ? "OPEN" : "CLOSED") << std::endl;
    std::cout << "Binocular Camera: "
        << (sensors_state_.at("binocular_camera") ? "OPEN" : "CLOSED") << std::endl;

    std::cout << "\nLIDAR SUBSCRIPTIONS:" << std::endl;
    std::cout << " LiDAR IMU: "
        << (subscriptions_.at("lidar_imu") ? "✓ SUBSCRIBED" : "✗ UNSUBSCRIBED") <<
    std::endl;
    std::cout << " LiDAR Point Cloud: "
        << (subscriptions_.at("lidar_point_cloud") ? "✓ SUBSCRIBED" : "✗ UNSUBSCRIBED") <<
    std::endl;

    std::cout << "\nHEAD RGBD SUBSCRIPTIONS:" << std::endl;
    std::cout << " Color Image: "
        << (subscriptions_.at("head_rgbd_color_image") ? "✓ SUBSCRIBED" : "✗ UNSUBSCRIBED
    ") << std::endl;
    std::cout << " Depth Image: "
        << (subscriptions_.at("head_rgbd_depth_image") ? "✓ SUBSCRIBED" : "✗ UNSUBSCRIBED
    ") << std::endl;
    std::cout << " Camera Info: "
        << (subscriptions_.at("head_rgbd_camera_info") ? "✓ SUBSCRIBED" : "✗ UNSUBSCRIBED
    ") << std::endl;

    std::cout << "\nBINOCULAR CAMERA SUBSCRIPTIONS:" << std::endl;
    std::cout << " Binocular Image: "
        << (subscriptions_.at("binocular_image") ? "✓ SUBSCRIBED" : "✗ UNSUBSCRIBED") <<
    std::endl;
    std::cout << std::string(80, '=') << "\n"
        << std::endl;
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

// Getters for sensor states

bool IsSensorOpen(const std::string& sensor_name) const {
    auto it = sensors_state_.find(sensor_name);
    return it != sensors_state_.end() && it->second;
}

private:
    sensor::SensorController& sensor_controller_;
    std::map<std::string, boolboolvoid PrintMenu() {
    std::cout << "\n"
        << std::string(80, '=') << std::endl;
    std::cout << "MAGICBOT Z1 SENSOR CONTROL MENU" << std::endl;
    std::cout << std::string(80, '=') << std::endl;
    std::cout << "Sensor Open/Close:" << std::endl;
    std::cout << "  1 - Open LiDAR           2 - Close LiDAR" << std::endl;
    std::cout << "  3 - Open Head RGBD Camera   4 - Close Head RGBD Camera" << std::endl;
    std::cout << "  5 - Open Binocular Camera    6 - Close Binocular Camera" << std::endl;
    std::cout << "\nLiDAR Subscriptions:" << std::endl;
    std::cout << "  i - Toggle LiDAR IMU       p - Toggle LiDAR Point Cloud" << std::endl;
    std::cout << "\nHead RGBD Camera Subscriptions:" << std::endl;
    std::cout << "  c - Toggle Head Color Image d - Toggle Head Depth Image" << std::endl;
    std::cout << "  C - Toggle Head Camera Info" << std::endl;
    std::cout << "\nBinocular Camera Subscriptions:" << std::endl;
    std::cout << "  b - Toggle Binocular Image" << std::endl;
    std::cout << "\nCommands:" << std::endl;
    std::cout << "  s - Show Status           q - Quit           ? - Help" << std::endl;
    std::cout << std::string(80, '=') << std::endl;
}

int getch() {
    struct termios oldt, newt;
    int ch;
    tcgetattr(STDIN_FILENO, &oldt);
    newt = oldt;
    newt.c_lflag &= ~(ICANON | ECHO);
    tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &newt);
    ch = getchar();
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

        tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &oldt);
        return ch;
    }

int main() {
    // Bind SIGINT (Ctrl+C)
    signal(SIGINT, signalHandler);

    std::cout << "\n"
        << std::string(80, '=') << std::endl;
    std::cout << "MagicBot Z1 SDK Sensor Interactive Example" << std::endl;
    std::cout << "SDK Version: " << SDK_VERSION_STRING << std::endl;
    std::cout << std::string(80, '=') << "\n"
        << std::endl;

    std::string local_ip = "192.168.54.111";

    // Initialize robot SDK
    if (!robot.Initialize(local_ip)) {
        std::cerr << "[ERROR] Failed to initialize robot SDK" << std::endl;
        robot.Shutdown();
        return -1;
    }
    std::cout << "[INFO] ✓ Robot SDK initialized successfully" << std::endl;

    // Connect to robot
    auto status = robot.Connect();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "[ERROR] Failed to connect to robot, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        robot.Shutdown();
        return -1;
    }
    std::cout << "[INFO] ✓ Successfully connected to robot" << std::endl;

    // Get sensor controller
    auto& sensor_controller = robot.GetSensorController();

    // Initialize sensor controller
    if (!sensor_controller.Initialize()) {
        std::cerr << "[ERROR] Failed to initialize sensor controller" << std::endl;
        robot.Disconnect();
        robot.Shutdown();
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```
    return -1;
}

std::cout << "[INFO] ✓ Sensor controller initialized successfully\n"
     << std::endl;

// Create sensor manager
SensorManager sensor_manager(sensor_controller);

PrintMenu();

// Main loop
std::cout << "\nPress any key to continue..." << std::endl;

while (running) {
    int ch = getch();

    if (ch == 27 || ch == 'q' || ch == 'Q') { // ESC or 'q'
        std::cout << "\n[INFO] Quit key pressed, exiting program..." << std::endl;
        break;
    }

    // Sensor open/close control
    switch (ch) {
        case '1':
            sensor_manager.OpenLidar();
            break;
        case '2':
            sensor_manager.CloseLidar();
            break;
        case '3':
            sensor_manager.OpenHeadRgbdCamera();
            break;
        case '4':
            sensor_manager.CloseHeadRgbdCamera();
            break;
        case '5':
            sensor_manager.OpenBinocularCamera();
            break;
        case '6':
            sensor_manager.CloseBinocularCamera();
            break;

        // LiDAR subscriptions
    }
}
```

(下页继续)

(续上页)

```

case 'i':
case 'I':
    sensor_manager.ToggleLidarImuSubscription();
    break;
case 'p':
case 'P':
    sensor_manager.ToggleLidarPointCloudSubscription();
    break;

// Head RGBD subscriptions
case 'c':
    sensor_manager.ToggleHeadRgbdColorImageSubscription();
    break;
case 'd':
    sensor_manager.ToggleHeadRgbdDepthImageSubscription();
    break;
case 'C':
    sensor_manager.ToggleHeadRgbdCameraInfoSubscription();
    break;

// Binocular camera subscriptions
case 'b':
    sensor_manager.ToggleBinocularImageSubscription();
    break;

// Commands
case 's':
case 'S':
    sensor_manager.ShowStatus();
    break;
case '?':
    PrintMenu();
    break;

default:
// Ignore unknown keys
    break;
}

}

// Cleanup: close all sensors
std::cout << "\n"
    << std::string(80, '=') << std::endl;

```

(下页继续)

(续上页)

```

    std::cout << "Cleaning up resources..." << std::endl;
    std::cout << std::string(80, '=') << std::endl;

    if (sensor_manager.IsSensorOpen("lidar")) {
        sensor_manager.CloseLidar();
    }

    if (sensor_manager.IsSensorOpen("head_rgbd_camera")) {
        sensor_manager.CloseHeadRgbdCamera();
    }

    if (sensor_manager.IsSensorOpen("binocular_camera")) {
        sensor_manager.CloseBinocularCamera();
    }

    // Allow time for cleanup
    usleep(500000); // 0.5 seconds

    sensor_controller.Shutdown();
    std::cout << "[INFO] ✓ Sensor controller shutdown" << std::endl;

    status = robot.Disconnect();
    if (status.code == ErrorCode::OK) {
        std::cout << "[INFO] ✓ Robot disconnected" << std::endl;
    }

    robot.Shutdown();
    std::cout << "[INFO] ✓ Robot shutdown" << std::endl;

    std::cout << std::string(80, '=') << std::endl;
    std::cout << "Cleanup complete" << std::endl;
    std::cout << std::string(80, '=') << "\n"
        << std::endl;

    return 0;
}

```

23.2 Python

示例文件: sensor_example.py

```

#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: utf-8 -*-

import sys

```

(下页继续)

(续上页)

```
import time
import signal
import logging
from typing import Optional

import magicbot_z1_python as magicbot

# Configure logging format and level
logging.basicConfig(
    level=logging.INFO,
    format"%(asctime)s [%(levelname)s] %(message)s",
    datefmt="%Y-%m-%d %H:%M:%S",
    force=True,
)

# Global variables
robot: Optional[magicbot.MagicRobot] = None
running = True

# Counters for data reception
lidar_imu_counter = 0
lidar_pointcloud_counter = 0
head_rgbd_color_counter = 0
head_rgbd_depth_counter = 0
head_rgbd_camera_info_counter = 0
binocular_image_counter = 0
binocular_camera_info_counter = 0


def signal_handler(signum, frame):
    """Signal handler function for graceful exit"""
    global running, robot
    logging.info("Received interrupt signal (%s), exiting...", signum)
    running = False
    if robot:
        robot.disconnect()
        logging.info("Robot disconnected")
        robot.shutdown()
        logging.info("Robot shutdown")
    exit(-1)


class SensorManager:
```

(下页继续)

(续上页)

```

"""Manages sensor subscriptions for MagicBot Z1"""

def __init__(self, sensor_controller):
    self.sensor_controller = sensor_controller
    self.sensors_state = {
        "lidar": False,
        "head_rgbd_camera": False,
        "binocular_camera": False,
    }
    self.subscriptions = {
        # LiDAR subscriptions
        "lidar_imu": False,
        "lidar_point_cloud": False,
        # Head RGBD subscriptions
        "head_rgbd_color_image": False,
        "head_rgbd_depth_image": False,
        "head_rgbd_camera_info": False,
        # Binocular camera subscriptions
        "binocular_image": False,
        "binocular_camera_info": False,
    }

# === LiDAR Control ===

def open_lidar(self) -> bool:
    """Open LiDAR"""
    if self.sensors_state["lidar"]:
        logging.warning("LiDAR already opened")
        return True

    status = self.sensor_controller.open_lidar()
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error("Failed to open LiDAR: %s", status.message)
        return False

    self.sensors_state["lidar"] = True
    logging.info("✓ LiDAR opened successfully")
    return True

def close_lidar(self) -> bool:
    """Close LiDAR"""
    if not self.sensors_state["lidar"]:
        logging.warning("LiDAR already closed")
        return True

```

(下页继续)

(续上页)

```

status = self.sensor_controller.close_lidar()
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error("Failed to close LiDAR: %s", status.message)
    return False

self.sensors_state["lidar"] = False
logging.info("✓ LiDAR closed")
return True

# === Head RGBD Camera Control ===
def open_head_rgbd_camera(self) -> bool:
    """Open head RGBD camera"""
    if self.sensors_state["head_rgbd_camera"]:
        logging.warning("Head RGBD camera already opened")
        return True

    status = self.sensor_controller.open_head_rgbd_camera()
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error("Failed to open head RGBD camera: %s", status.message)
        return False

    self.sensors_state["head_rgbd_camera"] = True
    logging.info("✓ Head RGBD camera opened")
    return True

def close_head_rgbd_camera(self) -> bool:
    """Close head RGBD camera"""
    if not self.sensors_state["head_rgbd_camera"]:
        logging.warning("Head RGBD camera already closed")
        return True

    status = self.sensor_controller.close_head_rgbd_camera()
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error("Failed to close head RGBD camera: %s", status.message)
        return False

    self.sensors_state["head_rgbd_camera"] = False
    logging.info("✓ Head RGBD camera closed")
    return True

# === Binocular Camera Control ===
def open_binocular_camera(self) -> bool:

```

(下页继续)

(续上页)

```

"""Open binocular camera"""
if self.sensors_state["binocular_camera"]:
    logging.warning("Binocular camera already opened")
    return True

status = self.sensor_controller.open_binocular_camera()
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error("Failed to open binocular camera: %s", status.message)
    return False

self.sensors_state["binocular_camera"] = True
logging.info("✓ Binocular camera opened")
return True


def close_binocular_camera(self) -> bool:
    """Close binocular camera"""
    if not self.sensors_state["binocular_camera"]:
        logging.warning("Binocular camera already closed")
        return True

    status = self.sensor_controller.close_binocular_camera()
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error("Failed to close binocular camera: %s", status.message)
        return False

    self.sensors_state["binocular_camera"] = False
    logging.info("✓ Binocular camera closed")
    return True


# === LiDAR Subscribe Methods ===
def toggle_lidar_imu_subscription(self):
    """Toggle LiDAR IMU subscription"""
    if self.subscriptions["lidar_imu"]:
        self.sensor_controller.unsubscribe_lidar_imu()
        self.subscriptions["lidar_imu"] = False
        logging.info("☒ LiDAR IMU unsubscribed")
    else:

        def lidar_imu_callback(imu):
            global lidar_imu_counter
            lidar_imu_counter += 1
            if lidar_imu_counter % 100 == 0:
                logging.info("===== LiDAR IMU Data =====")

```

(下页继续)

(续上页)

```

        logging.info("Counter: %d", lidar_imu_counter)
        logging.info("Timestamp: %d", imu.timestamp)
        logging.info(
            "Orientation (w,x,y,z): [% .4f, % .4f, % .4f, % .4f],",
            imu.orientation[0],
            imu.orientation[1],
            imu.orientation[2],
            imu.orientation[3],
        )
        logging.info(
            "Angular velocity (x,y,z): [% .4f, % .4f, % .4f],",
            imu.angular_velocity[0],
            imu.angular_velocity[1],
            imu.angular_velocity[2],
        )
        logging.info(
            "Linear acceleration (x,y,z): [% .4f, % .4f, % .4f],",
            imu.linear_acceleration[0],
            imu.linear_acceleration[1],
            imu.linear_acceleration[2],
        )
        logging.info("Temperature: %.2f", imu.temperature)
        logging.info("=" * 40)

    self.sensor_controller.subscribe_lidar_imu(lidar_imu_callback)
    self.subscriptions["lidar_imu"] = True
    logging.info("✓ LiDAR IMU subscribed")

def toggle_lidar_point_cloud_subscription(self):
    """Toggle LiDAR point cloud subscription"""
    if self.subscriptions["lidar_point_cloud"]:
        self.sensor_controller.unsubscribe_lidar_point_cloud()
        self.subscriptions["lidar_point_cloud"] = False
        logging.info("✗ LiDAR point cloud unsubscribed")
    else:

        def lidar_pointcloud_callback(pointcloud):
            global lidar_pointcloud_counter
            lidar_pointcloud_counter += 1
            if lidar_pointcloud_counter % 10 == 0:
                logging.info("===== LiDAR Point Cloud =====")
                logging.info("Counter: %d", lidar_pointcloud_counter)
                logging.info("Data size: %d bytes", len(pointcloud.data))

```

(下页继续)

(续上页)

```

        logging.info("Width: %d", pointcloud.width)
        logging.info("Height: %d", pointcloud.height)
        logging.info("Is dense: %s", pointcloud.is_dense)
        logging.info("Point step: %d", pointcloud.point_step)
        logging.info("Row step: %d", pointcloud.row_step)
        logging.info("Number of fields: %d", len(pointcloud.fields))
        if pointcloud.fields:
            logging.info("First field name: %s", pointcloud.fields[0].name)
        logging.info("=" * 40)

    self.sensor_controller.subscribe_lidar_point_cloud(
        lidar_pointcloud_callback
    )
    self.subscriptions["lidar_point_cloud"] = True
    logging.info("✓ LiDAR point cloud subscribed")

# === Head RGBD Subscribe Methods ===
def toggle_head_rgbd_color_image_subscription(self):
    """Toggle head RGBD color image subscription"""
    if self.subscriptions["head_rgbd_color_image"]:
        self.sensor_controller.unsubscribe_head_rgbd_color_image()
        self.subscriptions["head_rgbd_color_image"] = False
        logging.info("✗ Head RGBD color image unsubscribed")
    else:

        def head_rgbd_color_image_callback(img):
            global head_rgbd_color_counter
            head_rgbd_color_counter += 1
            if head_rgbd_color_counter % 15 == 0:
                logging.info("===== Head RGBD Color Image =====")
                logging.info("Counter: %d", head_rgbd_color_counter)
                logging.info("Size: %d bytes", len(img.data))
                logging.info("Resolution: %dx%d", img.width, img.height)
                logging.info("Encoding: %s", img.encoding)
            logging.info("=" * 40)

        self.sensor_controller.subscribe_head_rgbd_color_image(
            head_rgbd_color_image_callback
        )
        self.subscriptions["head_rgbd_color_image"] = True
        logging.info("✓ Head RGBD color image subscribed")

def toggle_head_rgbd_depth_image_subscription(self):

```

(下页继续)

(续上页)

```

"""Toggle head RGBD depth image subscription"""
if self.subscriptions["head_rgbd_depth_image"]:
    self.sensor_controller.unsubscribe_head_rgbd_depth_image()
    self.subscriptions["head_rgbd_depth_image"] = False
    logging.info("☒ Head RGBD depth image unsubscribed")

else:

    def head_rgbd_depth_image_callback(img):
        global head_rgbd_depth_counter
        head_rgbd_depth_counter += 1
        if head_rgbd_depth_counter % 15 == 0:
            logging.info("===== Head RGBD Depth Image =====")
            logging.info("Counter: %d", head_rgbd_depth_counter)
            logging.info("Size: %d bytes", len(img.data))
            logging.info("Resolution: %dx%d", img.width, img.height)
            logging.info("Encoding: %s", img.encoding)
            logging.info("=" * 40)

        self.sensor_controller.subscribe_head_rgbd_depth_image(
            head_rgbd_depth_image_callback
        )
        self.subscriptions["head_rgbd_depth_image"] = True
        logging.info("✓ Head RGBD depth image subscribed")

def toggle_head_rgbd_camera_info_subscription(self):
    """Toggle head RGBD camera info subscription"""
    if self.subscriptions["head_rgbd_camera_info"]:
        self.sensor_controller.unsubscribe_head_rgbd_camera_info()
        self.subscriptions["head_rgbd_camera_info"] = False
        logging.info("☒ Head RGBD camera info unsubscribed")

    else:

        def head_rgbd_camera_info_callback(info):
            global head_rgbd_camera_info_counter
            head_rgbd_camera_info_counter += 1
            logging.info("===== Head RGBD Camera Info =====")
            logging.info("Counter: %d", head_rgbd_camera_info_counter)
            logging.info("Resolution: %dx%d", info.width, info.height)
            logging.info("Distortion model: %s", info.distortion_model)
            logging.info("=" * 40)

        self.sensor_controller.subscribe_head_rgbd_camera_info(
            head_rgbd_camera_info_callback

```

(下页继续)

(续上页)

```

        )
    self.subscriptions["head_rgbd_camera_info"] = True
    logging.info("✓ Head RGBD camera info subscribed")

# === Binocular Camera Subscribe Methods ===
def toggle_binocular_image_subscription(self):
    """Toggle binocular camera image subscription"""
    if self.subscriptions["binocular_image"]:
        self.sensor_controller.unsubscribe_binocular_image()
        self.subscriptions["binocular_image"] = False
        logging.info("☒ Binocular image unsubscribed")
    else:

        def binocular_image_callback(frame):
            global binocular_image_counter
            binocular_image_counter += 1
            if binocular_image_counter % 15 == 0:
                logging.info("===== Binocular Camera Image =====")
                logging.info("Counter: %d", binocular_image_counter)
                logging.info("Timestamp: %d", frame.header.stamp)
                logging.info("Frame ID: %s", frame.header.frame_id)
                logging.info("Format: %s", frame.format)
                logging.info(
                    "Data size: %d bytes (left+right concatenated)",
                    len(frame.data),
                )
            logging.info("=" * 40)

            self.sensor_controller.subscribe_binocular_image(binocular_image_callback)
            self.subscriptions["binocular_image"] = True
            logging.info("✓ Binocular image subscribed")

    def toggle_binocular_camera_info_subscription(self):
        """Toggle binocular camera info subscription"""
        if self.subscriptions["binocular_camera_info"]:
            self.sensor_controller.unsubscribe_binocular_camera_info()
            self.subscriptions["binocular_camera_info"] = False
            logging.info("☒ Binocular camera info unsubscribed")
        else:

            def binocular_camera_info_callback(info):
                global binocular_camera_info_counter
                binocular_camera_info_counter += 1

```

(下页继续)

(续上页)

```

logging.info("===== Binocular Camera Info =====")
logging.info("Counter: %d", binocular_camera_info_counter)
logging.info("Resolution: %dx%d", info.width, info.height)
logging.info("Distortion model: %s", info.distortion_model)
logging.info("=" * 40)

self.sensor_controller.subscribe_binocular_camera_info(
    binocular_camera_info_callback
)
self.subscriptions["binocular_camera_info"] = True
logging.info("✓ Binocular camera info subscribed")

def show_status(self):
    """Display current sensor status"""
    logging.info("\n" + "=" * 80)
    logging.info("MAGICBOT Z1 SENSOR STATUS")
    logging.info("=" * 80)
    logging.info(
        "LiDAR:           %s",
        "OPEN" if self.sensors_state["lidar"] else "CLOSED",
    )
    logging.info(
        "Head RGBD Camera:      %s",
        "OPEN" if self.sensors_state["head_rgbd_camera"] else "CLOSED",
    )
    logging.info(
        "Binocular Camera:     %s",
        "OPEN" if self.sensors_state["binocular_camera"] else "CLOSED",
    )
    logging.info("\nLIDAR SUBSCRIPTIONS:")
    logging.info(
        "  LiDAR IMU:           %s",
        "✓ SUBSCRIBED" if self.subscriptions["lidar_imu"] else "✗ UNSUBSCRIBED",
    )
    logging.info(
        "  LiDAR Point Cloud:   %s",
        (
            "✓ SUBSCRIBED"
            if self.subscriptions["lidar_point_cloud"]
            else "✗ UNSUBSCRIBED"
        ),
    )
    logging.info("\nHEAD RGBD SUBSCRIPTIONS:")

```

(下页继续)

(续上页)

```
logging.info(
    "  Color Image:           %s",
    (
        "✓ SUBSCRIBED"
        if self.subscriptions["head_rgbd_color_image"]
        else "✗ UNSUBSCRIBED"
    ),
)
logging.info(
    "  Depth Image:           %s",
    (
        "✓ SUBSCRIBED"
        if self.subscriptions["head_rgbd_depth_image"]
        else "✗ UNSUBSCRIBED"
    ),
)
logging.info(
    "  Camera Info:           %s",
    (
        "✓ SUBSCRIBED"
        if self.subscriptions["head_rgbd_camera_info"]
        else "✗ UNSUBSCRIBED"
    ),
)
logging.info("\nBINOCULAR CAMERA SUBSCRIPTIONS:")
logging.info(
    "  Binocular Image:       %s",
    (
        "✓ SUBSCRIBED"
        if self.subscriptions["binocular_image"]
        else "✗ UNSUBSCRIBED"
    ),
)
logging.info(
    "  Camera Info:           %s",
    (
        "✓ SUBSCRIBED"
        if self.subscriptions["binocular_camera_info"]
        else "✗ UNSUBSCRIBED"
    ),
)
logging.info("=  * 80 + "\n")
```

(下页继续)

(续上页)

```

def print_menu():
    """Print interactive menu"""
    logging.info("\n" + "=" * 80)
    logging.info("MAGICBOT Z1 SENSOR CONTROL MENU")
    logging.info("=" * 80)
    logging.info("Sensor Open/Close:")
    logging.info("  1 - Open LiDAR           2 - Close LiDAR")
    logging.info("  3 - Open Head RGBD Camera   4 - Close Head RGBD Camera")
    logging.info("  5 - Open Binocular Camera    6 - Close Binocular Camera")
    logging.info("\nLiDAR Subscriptions:")
    logging.info("  i - Toggle LiDAR IMU          p - Toggle LiDAR Point Cloud")
    logging.info("\nHead RGBD Camera Subscriptions:")
    logging.info("  c - Toggle Head Color Image     d - Toggle Head Depth Image")
    logging.info("  C - Toggle Head Camera Info")
    logging.info("\nBinocular Camera Subscriptions:")
    logging.info(
        "  b - Toggle Binocular Image      B - Toggle Binocular Camera Info"
    )
    logging.info("\nCommands:")
    logging.info(
        "  s - Show Status                ESC - Quit                  ? - Help"
    )
    logging.info("=" * 80)

def main():
    """Main function"""
    global robot, running

    # Bind signal handler
    signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

    logging.info("\n" + "=" * 80)
    logging.info("MagicBot Z1 SDK Sensor Interactive Example")
    logging.info("Robot Model: %s", magicbot.get_robot_model())

    # Create robot instance
    robot = magicbot.MagicRobot()
    logging.info("SDK Version: %s", robot.get_sdk_version())
    logging.info("=" * 80 + "\n")

    try:

```

(下页继续)

(续上页)

```

# Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
local_ip = "192.168.54.111"
if not robot.initialize(local_ip):
    logging.error("Failed to initialize robot SDK")
    robot.shutdown()
    return -1

logging.info("✓ Robot SDK initialized successfully")

# Connect to robot
status = robot.connect()
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error(
        "Failed to connect to robot, code: %s, message: %s",
        status.code,
        status.message,
    )
    robot.shutdown()
    return -1

logging.info("✓ Successfully connected to robot")

# Get sensor controller
sensor_controller = robot.get_sensor_controller()

# Initialize sensor controller
if not sensor_controller.initialize():
    logging.error("Failed to initialize sensor controller")
    robot.disconnect()
    robot.shutdown()
    return -1

logging.info("✓ Sensor controller initialized successfully\n")

sensor_manager = SensorManager(sensor_controller)

print_menu()

while running:
    try:
        choice = input("\nEnter your choice: ").strip()

        if choice == "\x1b" or choice.lower() == "esc": # ESC key

```

(下页继续)

(续上页)

```

logging.info("ESC key pressed, exiting program...")
break

# Sensor open/close control
if choice == "1":
    sensor_manager.open_lidar()
elif choice == "2":
    sensor_manager.close_lidar()
elif choice == "3":
    sensor_manager.open_head_rgbd_camera()
elif choice == "4":
    sensor_manager.close_head_rgbd_camera()
elif choice == "5":
    sensor_manager.open_binocular_camera()
elif choice == "6":
    sensor_manager.close_binocular_camera()

# LiDAR subscriptions
elif choice == "i":
    sensor_manager.toggle_lidar_imu_subscription()
elif choice == "p":
    sensor_manager.toggle_lidar_point_cloud_subscription()

# Head RGBD subscriptions
elif choice == "c":
    sensor_manager.toggle_head_rgbd_color_image_subscription()
elif choice == "d":
    sensor_manager.toggle_head_rgbd_depth_image_subscription()
elif choice == "C":
    sensor_manager.toggle_head_rgbd_camera_info_subscription()

# Binocular camera subscriptions
elif choice == "b":
    sensor_manager.toggle_binocular_image_subscription()
elif choice == "B":
    sensor_manager.toggle_binocular_camera_info_subscription()

# Commands
elif choice.lower() == "s":
    sensor_manager.show_status()
elif choice == "?" or choice.lower() == "help":
    print_menu()
elif choice == "":
    continue

```

(下页继续)

(续上页)

```
        else:
            logging.warning("Invalid choice: '%s'. Press '?' for help.", choice)

    except KeyboardInterrupt:
        logging.info("\nReceived keyboard interrupt, shutting down...")
        break
    except EOFError:
        logging.info("\nReceived EOF, shutting down...")
        break
    except Exception as e:
        logging.error("Error occurred while processing input: %s", e)

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred during program execution: %s", e)
    import traceback

    traceback.print_exc()
    return -1

finally:
    # Cleanup: close all sensors
    logging.info("\n" + "=" * 80)
    logging.info("Cleaning up resources...")
    logging.info("=" * 80)

    try:
        # Close all sensors
        if sensor_manager.sensors_state["lidar"]:
            sensor_manager.close_lidar()
        if sensor_manager.sensors_state["head_rgbd_camera"]:
            sensor_manager.close_head_rgbd_camera()
        if sensor_manager.sensors_state["binocular_camera"]:
            sensor_manager.close_binocular_camera()

        # Allow time for cleanup
        time.sleep(0.5)

        sensor_controller.shutdown()
        logging.info("✓ Sensor controller shutdown")

        robot.disconnect()
        logging.info("✓ Robot disconnected")
```

(下页继续)

(续上页)

```

robot.shutdown()
logging.info("✓ Robot shutdown")

logging.info("=" * 80)
logging.info("Cleanup complete")
logging.info("=" * 80 + "\n")

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while cleaning up resources: %s", e)

return 0

if __name__ == "__main__":
    sys.exit(main())

```

23.3 运行说明

23.3.1 环境准备

```

export PYTHONPATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$PYTHONPATH
export LD_LIBRARY_PATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$LD_LIBRARY_PATH

```

23.3.2 运行示例

```

# C++
./sensor_example
# Python
python3 sensor_example.py

```

23.3.3 控制说明

- 传感器开关控制:
 - 1 - 打开激光雷达
 - 2 - 关闭激光雷达
 - 3 - 打开头部 RGBD 相机
 - 4 - 关闭头部 RGBD 相机
 - 5 - 打开双目相机
 - 6 - 关闭双目相机

- 激光雷达数据订阅:
 - i - 切换 IMU 数据订阅
 - p - 切换点云数据订阅
- 头部 RGBD 相机数据订阅:
 - c - 切换彩色图像订阅
 - C - 切换彩色相机参数订阅
 - d - 切换深度图像订阅
 - D - 切换深度相机参数订阅
- 双目相机数据订阅:
 - b - 切换图像订阅
- 其他命令:
 - s - 显示当前状态
 - ? - 显示帮助菜单

23.3.4 停止程序

- 按 ESC 可以安全停止程序
- 程序会自动清理所有资源

CHAPTER 24

语音控制示例

该示例展示了如何使用 Magicbot-Z1 SDK 进行初始化、连接机器人、音频控制（获取音量、设置音量、TTS 播放、音频流订阅）等基本操作。

24.1 C++

示例文件: audio_example.cpp

```
#include "magic_robot.h"
#include "magic_sdk_version.h"

#include <termios.h>
#include <unistd.h>
#include <csignal>

#include <iostream>

using namespace magic::z1;

magic::z1::MagicRobot robot;

void signalHandler(int signum) {
    std::cout << "Interrupt signal (" << signum << ") received.\n";
}
```

(下页继续)

(续上页)

```

robot.Shutdown();
// Exit process
exit(signum);
}

void print_help() {
    std::cout << "Key Function Description:\n";
    std::cout << "  Audio Functions:\n";
    std::cout << "    1      Function 1: Get volume\n";
    std::cout << "    2      Function 2: Set volume\n";
    std::cout << "    3      Function 3: Play TTS\n";
    std::cout << "    4      Function 4: Stop playback\n";
    std::cout << "  Audio stream Functions:\n";
    std::cout << "    5      Function 5: Open audio stream\n";
    std::cout << "    6      Function 6: Close audio stream\n";
    std::cout << "    7      Function 7: Subscribe to audio stream\n";
    std::cout << "    8      Function 8: Unsubscribe to audio stream\n";
    std::cout << "  Wakeup Status Functions:\n";
    std::cout << "    q      Function q: Open wakeup status stream\n";
    std::cout << "    w      Function w: Close wakeup status stream\n";
    std::cout << "    e      Function e: Subscribe to wakeup status\n";
    std::cout << "    r      Function r: Unsubscribe to wakeup status\n";
    std::cout << "\n";
    std::cout << "    ?      Function ?: Print help\n";
    std::cout << "    ESC    Exit program\n";
}

int getch() {
    struct termios oldt, newt;
    int ch;
    tcgetattr(STDIN_FILENO, &oldt); // Get current terminal settings
    newt = oldt;
    newt.c_lflag &= ~(ICANON | ECHO); // Disable buffering and echo
    tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &newt);
    ch = getchar(); // Read key press
    tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &oldt); // Restore settings
    return ch;
}

void GetVolume() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

// Get volume
int get_volume = 0;
auto status = controller.GetVolume(get_volume);
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "get volume failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    return;
}
std::cout << "get volume success, volume: " << std::to_string(get_volume) << std::endl;
}

void SetVolume() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Set volume
    auto status = controller.SetVolume(50);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "set volume failed"
            << ", code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "set volume success" << std::endl;
}

void PlayTts() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Play speech
    TtsCommand tts;
    tts.id = "100000000001";
    tts.content = "How's the weather today!";
    tts.priority = TtsPriority::HIGH;
    tts.mode = TtsMode::CLEARTOP;
    auto status = controller.Play(tts);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "play tts failed"
            << ", code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "play tts success" << std::endl;
}

```

(下页继续)

(续上页)

}

```
void StopTts() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Stop speech playback
    auto status = controller.Stop();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "stop tts failed"
            << ", code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "stop tts success" << std::endl;
}

void OpenAudioStream() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Open audio stream
    auto status = controller.OpenAudioStream();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "open audio stream failed"
            << ", code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "open audio stream success" << std::endl;
}

void CloseAudioStream() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Close audio stream
    auto status = controller.CloseAudioStream();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "close audio stream failed"
            << ", code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "close audio stream success" << std::endl;
}
```

(下页继续)

(续上页)

```

void SubscribeAudioStream() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();

    // Subscribe to audio streams
    controller.SubscribeOriginAudioStream([](const std::shared_ptr<AudioStream> data) {
        static int32_t counter = 0;
        if (counter++ % 30 == 0) {
            std::cout << "Received origin audio stream data, size: " << data->data_length << std::endl;
        }
    });
}

controller.SubscribeBfAudioStream([](const std::shared_ptr<AudioStream> data) {
    static int32_t counter = 0;
    if (counter++ % 30 == 0) {
        std::cout << "Received bf audio stream data, size: " << data->data_length << std::endl;
    }
});
std::cout << "Subscribed to audio streams" << std::endl;
}

void UnsubscribeAudioStream() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Unsubscribe from audio streams
    controller.UnsubscribeOriginAudioStream();
    controller.UnsubscribeBfAudioStream();
    std::cout << "Unsubscribed from audio streams" << std::endl;
}

void OpenWakeupStatusStream() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Open wakeup status stream
    auto status = controller.OpenWakeupStatusStream();
}

void CloseWakeupStatusStream() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Close wakeup status stream
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

auto status = controller.CloseWakeupStatusStream();
}

void SubscribeWakeupStatus() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Subscribe to wakeup status
    controller.SubscribeWakeupStatus([](const std::shared_ptr<WakeupStatus> data) {
        static int32_t counter = 0;
        if (data->is_wakeup) {
            if (data->enable_wakeup_orientation) {
                std::cout << "Received wakeup status data, is_wakeup: " << data->is_wakeup << ", enable_"
                    << "wakeup_orientation: " << data->enable_wakeup_orientation << ", wakeup_orientation: " << data->
                    << "wakeup_orientation << std::endl;
            } else {
                std::cout << "Received wakeup status data, is_wakeup: " << data->is_wakeup << std::endl;
            }
        } else {
            std::cout << "Received wakeup status data, is_wakeup: " << data->is_wakeup << std::endl;
        }
    });
}

void UnsubscribeWakeupStatus() {
    // Get audio controller
    auto& controller = robot.GetAudioController();
    // Unsubscribe from wakeup status
    controller.UnsubscribeWakeupStatus();
}

int main(int argc, char* argv[]) {
    // Bind SIGINT (Ctrl+C)
    signal(SIGINT, signalHandler);

    std::cout << "SDK Version: " << SDK_VERSION_STRING << std::endl;

    print_help();

    std::string local_ip = "192.168.54.111";
    // Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
    if (!robot.Initialize(local_ip)) {
        std::cerr << "robot sdk initialize failed." << std::endl;
        robot.Shutdown();
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

    return -1;
}

// Connect to robot
auto status = robot.Connect();
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "connect robot failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
robot.Shutdown();
return -1;
}
std::cout << "Press any key to continue (ESC to exit)..." 
        << std::endl;

// Wait for user input
while (1) {
    int key = getch();
    if (key == 27)
        break; // ESC key ASCII code is 27

    std::cout << "Key ASCII: " << key << ", Character: " << static_cast<char>(key) << std::endl;
    switch (key) {
        // 1. Audio Functions
        case '1': {
            // Get volume
            GetVolume();
            break;
        }
        case '2': {
            // Set volume
            SetVolume();
            break;
        }
        case '3': {
            PlayTts();
            break;
        }
        case '4': {
            StopTts();
            break;
        }
        // 2. Audio stream Functions
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

case '5': {
    OpenAudioStream();
    break;
}

case '6': {
    CloseAudioStream();
    break;
}

case '7': {
    SubscribeAudioStream();
    break;
}

case '8': {
    UnsubscribeAudioStream();
    break;
}

// 3. Wakeup Status Functions

case 'Q':
case 'q': {
    OpenWakeupStatusStream();
    break;
}

case 'W':
case 'w': {
    CloseWakeupStatusStream();
    break;
}

case 'E':
case 'e': {
    SubscribeWakeupStatus();
    break;
}

case 'R':
case 'r': {
    UnsubscribeWakeupStatus();
    break;
}

case '?': {
    print_help();
    break;
}

default:
    std::cout << "Unknown key: " << key << std::endl;

```

(下页继续)

(续上页)

```

        break;
    }

    usleep(10000);
}

// Disconnect from robot
status = robot.Disconnect();
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "disconnect robot failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
robot.Shutdown();
return -1;
}

robot.Shutdown();

return 0;
}

```

24.2 Python

示例文件: audio_example.py

```

#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: utf-8 -*-

import sys
import time
import signal
import threading
import logging
from typing import Optional

import magicbot_z1_python as magicbot

# Configure logging format and level
logging.basicConfig(
    level=logging.INFO,  # Minimum log level
    format="(asctime)s [%(levelname)s] %(message)s",
    datefmt="%Y-%m-%d %H:%M:%S",
)

```

(下页继续)

(续上页)

```

# Global variables
robot: Optional[magicbot.MagicRobot] = None
running = True

def signal_handler(signum, frame):
    """Signal handler function for graceful exit"""
    global running, robot
    logging.info("Received interrupt signal (%s), exiting...", signum)
    running = False
    if robot:
        robot.shutdown()
    logging.info("Robot shutdown")
    exit(-1)

def print_help():
    """Print help information"""
    logging.info("Key Function Demo Program")
    logging.info("")
    logging.info("Audio Functions:")
    logging.info("  1      Function 1: Get volume")
    logging.info("  2      Function 2: Set volume")
    logging.info("  3      Function 3: Play TTS")
    logging.info("  4      Function 4: Stop playback")
    logging.info("")
    logging.info("Audio stream Functions:")
    logging.info("  5      Function 5: Open audio stream")
    logging.info("  6      Function 6: Close audio stream")
    logging.info("  7      Function 7: Subscribe to audio stream")
    logging.info("  8      Function 8: Unsubscribe to audio stream")
    logging.info("")
    logging.info("Wakeup Status Functions:")
    logging.info("  Q      Function Q: Open wakeup status stream")
    logging.info("  W      Function W: Close wakeup status stream")
    logging.info("  E      Function E: Subscribe to wakeup status")
    logging.info("  R      Function R: Unsubscribe to wakeup status")
    logging.info("")
    logging.info("  ?      Function ?: Print help")
    logging.info("  ESC    Exit program")

def get_volume():

```

(下页继续)

(续上页)

```
"""Get volume"""
global robot
try:
    # Get audio controller
    controller = robot.get_audio_controller()

    # Get volume
    status, volume = controller.get_volume()
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to get volume, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
    return

    logging.info("Successfully got volume, volume: %s", volume)
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while getting volume: %s", e)

def set_volume(volume):
    """Set volume"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Set volume to 7
        status = controller.set_volume(volume)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to set volume, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return

        logging.info("Successfully set volume")
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while setting volume: %s", e)
```

(下页继续)

(续上页)

```
def play_tts(content):
    """Play TTS speech"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Create TTS command
        tts = magicbot.TtsCommand()
        tts.id = "100000000001"
        tts.content = content
        tts.priority = magicbot.TtsPriority.HIGH
        tts.mode = magicbot.TtsMode.CLEARTOP

        # Play speech
        status = controller.play(tts)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to play TTS, code: %s, message: %s", status.code, status.message
            )
    return

    logging.info("Successfully played TTS")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while playing TTS: %s", e)

def stop_tts():
    """Stop TTS playback"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Stop speech playback
        status = controller.stop()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to stop TTS, code: %s, message: %s", status.code, status.message
            )
    return

    logging.info("Successfully stopped TTS")
```

(下页继续)

(续上页)

```

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while stopping TTS: %s", e)

def open_audio_stream():
    """Open audio stream"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Open audio stream
        status = controller.open_audio_stream()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to open audio stream, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return

    logging.info("Successfully opened audio stream")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while opening audio stream: %s", e)

def close_audio_stream():
    """Close audio stream"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Close audio stream
        status = controller.close_audio_stream()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to close audio stream, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return

```

(下页继续)

(续上页)

```

        logging.info("Successfully closed audio stream")

    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while closing audio stream: %s", e)

def subscribe_audio_stream():
    """Subscribe to audio stream"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Audio stream counters
        origin_counter = 0
        bf_counter = 0

        def origin_audio_callback(audio_stream):
            """Original audio stream callback function"""
            nonlocal origin_counter
            if origin_counter % 30 == 0:
                logging.info(
                    "Received original audio stream data, size: %d",
                    audio_stream.data_length,
                )
                sys.stdout.write("\r")
                sys.stdout.flush()
            origin_counter += 1

        def bf_audio_callback(audio_stream):
            """BF audio stream callback function"""
            nonlocal bf_counter
            if bf_counter % 30 == 0:
                logging.info(
                    "Received BF audio stream data, size: %d", audio_stream.data_length
                )
                sys.stdout.write("\r")
                sys.stdout.flush()
            bf_counter += 1

        # Subscribe to audio streams
        controller.subscribe_origin_audio_stream(origin_audio_callback)
        controller.subscribe_bf_audio_stream(bf_audio_callback)
    
```

(下页继续)

(续上页)

```
logging.info("Subscribed to audio streams")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while subscribing to audio stream: %s", e)

def unsubscribe_audio_stream():
    """Unsubscribe to audio stream"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Unsubscribe to audio stream
        controller.unsubscribe_bf_audio_stream()
        controller.unsubscribe_origin_audio_stream()

        logging.info("Unsubscribed to audio stream")
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while unsubscribing to audio stream: %s", e)

def open_wakeup_status_stream():
    """Open wakeup status stream"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Open wakeup status stream
        status = controller.open_wakeup_status_stream()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to open wakeup status stream, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return

        logging.info("Successfully opened wakeup status stream")
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while opening wakeup status stream: %s", e)
```

(下页继续)

(续上页)

```

def close_wakeup_status_stream():
    """Close wakeup status stream"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Close wakeup status stream
        status = controller.close_wakeup_status_stream()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to close wakeup status stream, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return

    logging.info("Successfully closed wakeup status stream")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while closing wakeup status stream: %s", e)

def unsubscribe_wakeup_status():
    """Unsubscribe to wakeup status"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

        # Unsubscribe to wakeup status
        controller.unsubscribe_wakeup_status()

        logging.info("Unsubscribed to wakeup status")
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while unsubscribing to wakeup status: %s", e)

def subscribe_wakeup_status():
    """Subscribe to wakeup status"""
    global robot
    try:
        # Get audio controller
        controller = robot.get_audio_controller()

```

(下页继续)

(续上页)

```

# Wakeup status counter
wakeup_counter = 0

def wakeup_status_callback(wakeup_status):
    """Wakeup status callback function"""
    nonlocal wakeup_counter
    if wakeup_status.is_wakeup:
        if wakeup_status.enable_wakeup_orientation:
            logging.info(
                "Voice wakeup detected! Orientation: %.2f radians (%.1f degrees)",
                wakeup_status.wakeup_orientation,
                wakeup_status.wakeup_orientation * 180.0 / 3.14159,
            )
    else:
        logging.info("Voice wakeup detected!")
        sys.stdout.write("\r")
        sys.stdout.flush()
    else:
        if wakeup_counter % 10 == 0: # Log every 50th non-wakeup status
            logging.info(
                "Wakeup status: sleeping, enable_wakeup_orientation: %s, orientation: %.
                ↵2f radians",
                wakeup_status.enable_wakeup_orientation,
                wakeup_status.wakeup_orientation * 180.0 / 3.14159,
            )
            sys.stdout.write("\r")
            sys.stdout.flush()
    wakeup_counter += 1

    # Subscribe to wakeup status
    controller.subscribe_wakeup_status(wakeup_status_callback)

    logging.info("Subscribed to wakeup status stream")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while subscribing to wakeup status: %s", e)

def get_user_input():
    """Get user input - Read a single line of data"""
    try:
        # Method 1: Read a line using input() (recommended)
        return input("Enter command: ").strip()

```

(下页继续)

(续上页)

```
except (EOFError, KeyboardInterrupt):
    return ""

def main():
    """Main function"""
    global robot, running

    # Bind signal handler
    signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

    logging.info("Robot model: %s", magicbot.get_robot_model())

    # Create robot instance
    robot = magicbot.MagicRobot()

    try:
        # Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
        local_ip = "192.168.54.111"
        if not robot.initialize(local_ip):
            logging.error("Failed to initialize robot SDK")
            robot.shutdown()
            return -1

        # Connect to robot
        status = robot.connect()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to connect to robot, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
            robot.shutdown()
            return -1

        logging.info("Successfully connected to robot")

        # Initialize audio controller
        audio_controller = robot.get_audio_controller()
        if not audio_controller.initialize():
            logging.error("Failed to initialize audio controller")
            robot.disconnect()
            robot.shutdown()

    
```

(下页继续)

(续上页)

```

    return -1

logging.info("Successfully initialized audio controller")
print_help()
logging.info("Press any key to continue (ESC to exit)...")


# Main loop
while running:
    try:
        str_input = get_user_input()

        # Split input parameters by space
        parts = str_input.strip().split()

        if not parts:
            time.sleep(0.01) # Brief delay
            continue

        # Parse parameters
        key = parts[0]
        args = parts[1:] if len(parts) > 1 else []
        if key == "\x1b": # ESC key
            break

        # 1. Audio Functions
        # 1.1 Get volume
        if key == "1":
            get_volume()

        # 1.2 Set volume
        elif key == "2":
            volume = args[0] if args else 50
            set_volume(volume)

        # 1.3 Play TTS
        elif key == "3":
            content = args[0] if args else "How's the weather today!"
            play_tts(content)

        # 1.4 Stop TTS
        elif key == "4":
            stop_tts()

        # 2. Audio Stream Functions
        # 2.1 Open audio stream
        elif key == "5":
            open_audio_stream()

        # 2.2 Close audio stream
    
```

(下页继续)

(续上页)

```

    elif key == "6":
        close_audio_stream()
    # 2.3 Subscribe to audio stream
    elif key == "7":
        subscribe_audio_stream()
    # 2.4 Unsubscribe from audio stream
    elif key.upper() == "8":
        unsubscribe_audio_stream()
    # 3. Wakeup Status Functions
    # 3.1 Open wakeup status stream
    elif key.upper() == "Q":
        open_wakeup_status_stream()
    # 3.2 Close wakeup status stream
    elif key.upper() == "W":
        close_wakeup_status_stream()
    # 3.3 Subscribe to wakeup status stream
    elif key.upper() == "E":
        subscribe_wakeup_status()
    # 3.4 Unsubscribe from wakeup status stream
    elif key.upper() == "R":
        unsubscribe_wakeup_status()
    # 4. Print help information
    elif key.upper() == "?":
        print_help()
    else:
        logging.warning("Unknown key: %s", key)

        time.sleep(0.01) # Brief delay

    except KeyboardInterrupt:
        break
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while processing user input: %s", e)
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred during program execution: %s", e)
    return -1

finally:
    # Clean up resources
    try:
        logging.info("Clean up resources")
        # Close sensor controller
        audio_controller = robot.get_audio_controller()

```

(下页继续)

(续上页)

```

audio_controller.shutdown()
logging.info("Audio controller closed")

# Disconnect
robot.disconnect()
logging.info("Robot connection disconnected")

# Shutdown robot
robot.shutdown()
logging.info("Robot shutdown")

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while cleaning up resources: %s", e)

if __name__ == "__main__":
    sys.exit(main())

```

24.3 运行说明

24.3.1 环境准备

```

export PYTHONPATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$PYTHONPATH
export LD_LIBRARY_PATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$LD_LIBRARY_PATH

```

24.3.2 运行示例

```

# C++
./audio_example

# Python
python3 audio_example.py

```

24.3.3 控制说明

- 1：获取当前音量
- 2：设置音量
- 3：播放 TTS 语音
- 4：停止 TTS 播放
- 5：打开音频流

- 6: 关闭音频流
- 7: 订阅音频流数据
- 8: 取消订阅音频流数据
- Q: 打开语音唤醒状态流
- W: 关闭语音唤醒状态流
- E: 订阅语音唤醒状态
- R: 取消订阅语音唤醒状态
- ?: 打印帮助信息

24.3.4 停止程序

- 按 ESC 可以安全停止程序
- 程序会自动清理所有资源

CHAPTER 25

状态监控示例

该示例展示了如何使用 Magicbot-Z1 SDK 进行初始化、连接机器人、机器人状态监控（故障、BMS）等基本操作。

25.1 C++

示例文件: monitor_example.cpp

```
#include "magic_robot.h"
#include "magic_sdk_version.h"

#include <unistd.h>
#include <csignal>

#include <iostream>

using namespace magic::z1;

magic::z1::MagicRobot robot;

void signalHandler(int signum) {
    std::cout << "Interrupt signal (" << signum << ") received.\n";
    robot.Shutdown();
}
```

(下页继续)

(续上页)

```
// Exit process
exit(signum);
}

int main() {
    // Bind SIGINT (Ctrl+C)
    signal(SIGINT, signalHandler);

    std::cout << "SDK Version: " << SDK_VERSION_STRING << std::endl;

    std::string local_ip = "192.168.54.111";
    // Configure local IP address for direct ethernet connection to robot and initialize SDK
    if (!robot.Initialize(local_ip)) {
        std::cerr << "robot sdk initialize failed." << std::endl;
        robot.Shutdown();
        return -1;
    }

    // Connect to robot
    auto status = robot.Connect();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "connect robot failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
        robot.Shutdown();
        return -1;
    }
    // Wait for 5 seconds
    usleep(5000000);

    auto& monitor = robot.GetStateMonitor();

    RobotState state;
    status = monitor.GetCurrentState(state);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "get robot state failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
        robot.Shutdown();
        return -1;
    }

    std::cout << "health: " << state.bms_data.battery_health
```

(下页继续)

(续上页)

```

    << ", percentage: " << state.bms_data.battery_percentage
    << ", state: " << std::to_string((int8_t)state.bms_data.battery_state)
    << ", power_supply_status: " << std::to_string((int8_t)state.bms_data.power_supply_
status)
    << std::endl;

auto& faults = state.faults;
for (auto& [code, msg] : faults) {
    std::cout << "code: " << std::to_string(code)
        << ", message: " << msg << std::endl;
}

// Disconnect from robot
status = robot.Disconnect();
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "disconnect robot failed"
        << ", code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    robotShutdown();
    return -1;
}

robotShutdown();

return 0;
}

```

25.2 Python

示例文件: monitor_example.py

```

#!/usr/bin/env python3

import sys
import time
import signal
import logging
from typing import Optional

import magicbot_z1_python as magicbot

# Configure logging format and level
logging.basicConfig(

```

(下页继续)

(续上页)

```

level=logging.INFO,    # Minimum log level
format"%(asctime)s [%(levelname)s] %(message)s",
datefmt="%Y-%m-%d %H:%M:%S",
)

# Global variables
robot: Optional[magicbot.MagicRobot] = None

def signal_handler(signum, frame):
    """Signal handler function for graceful exit"""
    global robot
    logging.info("Received interrupt signal (%s), exiting...", signum)
    if robot:
        robot.disconnect()
        logging.info("Robot disconnected")
        robot.shutdown()
        logging.info("Robot shutdown")
        exit(-1)

def main():
    """Main function"""
    global robot

    # Bind signal handler
    signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

    logging.info("Robot model: %s", magicbot.get_robot_model())

    # Create robot instance
    robot = magicbot.MagicRobot()

    try:
        # Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
        local_ip = "192.168.54.111"
        if not robot.initialize(local_ip):
            logging.error("Failed to initialize robot SDK")
            robot.shutdown()
        return -1

    # Connect to robot

```

(下页继续)

(续上页)

```
status = robot.connect()
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error(
        "Failed to connect to robot, code: %s, message: %s",
        status.code,
        status.message,
    )
    robot.shutdown()
    return -1

logging.info("Successfully connected to robot")

# Wait 5 seconds
logging.info("Waiting 5 seconds...")
time.sleep(5)

# Get state monitor
monitor = robot.get_state_monitor()

# Get current state
state = monitor.get_current_state()

# Print battery information
logging.info("Battery health: %s", state.bms_data.battery_health)
logging.info("Battery percentage: %s%%", state.bms_data.battery_percentage)
logging.info("Battery state: %s", state.bms_data.battery_state)
logging.info("Power supply status: %s", state.bms_data.power_supply_status)

# Print fault information
faults = state.faults
for fault in faults:
    logging.info(
        "Error code: %s, Error message: %s",
        fault.error_code,
        fault.error_message,
    )

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred during program execution: %s", e)
    return -1

finally:
    # Clean up resources
```

(下页继续)

(续上页)

```

try:
    logging.info("Clean up resources")
    # Close state monitor
    monitor = robot.get_state_monitor()
    monitor.shutdown()

    # Disconnect
    robot.disconnect()
    logging.info("Robot connection disconnected")

    # Shutdown robot
    robot.shutdown()
    logging.info("Robot shutdown")

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while cleaning up resources: %s", e)

if __name__ == "__main__":
    sys.exit(main())

```

25.3 运行说明

25.3.1 环境准备

```

export PYTHONPATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$PYTHONPATH
export LD_LIBRARY_PATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$LD_LIBRARY_PATH

```

25.3.2 运行示例

```

# C++
./monitor_example
# Python
python3 monitor_example.py

```

25.3.3 停止程序

- 按 Ctrl+C 可以安全停止程序
- 程序会自动清理所有资源

CHAPTER 26

SLAM 导航示例

该示例展示了如何使用 Magicbot-Z1 SDK 进行 SLAM 建图、定位、导航等操作，包括地图管理、位姿获取等功能。

26.1 C++

示例文件：

- `slam_example.cpp`
- `navigation_example.cpp`

26.1.1 建图示例

```
#include "magic_robot.h"
#include "magic_sdk_version.h"

#include <termios.h>
#include <unistd.h>
#include <csignal>
#include <ctime>
#include <fstream>
#include <iostream>
#include <string>
```

(下页继续)

(续上页)

```

using namespace magic::z1;

magic::z1::MagicRobot robot;
bool running = true;
SlamMode current_slam_mode = SlamMode::IDLE;

void SignalHandler(int signum) {
    std::cout << "Received interrupt signal (" << signum << "), exiting..." << std::endl;
    running = false;
    robotShutdown();
    exit(signum);
}

void PrintHelp() {
    std::cout << "\n======" << std::endl;
    std::cout << "SLAM and Navigation Function Demo Program" << std::endl;
    std::cout << "======" << std::endl;
    std::cout << "preparation Functions:" << std::endl;
    std::cout << "  0      Function 0: Recovery stand" << std::endl;
    std::cout << "SLAM Functions:" << std::endl;
    std::cout << "  1      Function 1: Switch to mapping mode" << std::endl;
    std::cout << "  2      Function 2: Start mapping" << std::endl;
    std::cout << "  3      Function 3: Cancel mapping" << std::endl;
    std::cout << "  4      Function 4: Save map" << std::endl;
    std::cout << "  5      Function 5: Load map (input map name after pressing 5)" << std::endl;
    std::cout << "  6      Function 6: Delete map (input map name after pressing 6)" << std::endl;
    std::cout << std::endl;
    std::cout << "  7      Function 7: Get all map information and save map image as PGM file" << std::endl;
    std::cout << std::endl;
    std::cout << "  8      Function 8: Get map path (input map name)" << std::endl;
    std::cout << "  9      Function 9: Get SLAM mapping point cloud map" << std::endl;
    std::cout << "Close Functions:" << std::endl;
    std::cout << "  P      Function P: Close SLAM" << std::endl;
    std::cout << "\n ?      Function ?: Print help" << std::endl;
    std::cout << "  ESC     Exit program" << std::endl;
    std::cout << "=====\n"
    << std::endl;
}

int getch() {
    struct termios oldt, newt;
    int ch;
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

tcgetattr(STDIN_FILENO, &oldt);
newt = oldt;
newt.c_lflag &= ~(ICANON | ECHO);
tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &newt);
ch = getchar();
tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &oldt);
return ch;
}

std::string GetUserInput(const std::string& prompt) {
    std::cout << prompt;
    std::string input;
    std::getline(std::cin, input);
    return input;
}

void RecoveryStand() {
    std::cout << "==== Executing Recovery Stand ===" << std::endl;
    auto& controller = robot.GetHighLevelMotionController();

    auto status = controller.SetGait(GaitMode::GAIT_RECOVERY_STAND, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to set robot gait, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "Successfully executed recovery stand" << std::endl;
}

void SwitchToMappingMode() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.ActivateSlamMode(SlamMode::MAPPING, "", 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to switch to mapping mode, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    current_slam_mode = SlamMode::MAPPING;
    std::cout << "Successfully switched to mapping mode" << std::endl;
    std::cout << "Robot is now in mapping mode, ready to create new maps" << std::endl;
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

void StartMapping() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.StartMapping(10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to start mapping, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully started mapping" << std::endl;
}

void CancelMapping() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.CancelMapping(10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to cancel mapping, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully cancelled mapping" << std::endl;
}

void SaveMap() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    if (current_slam_mode != SlamMode::MAPPING) {
        std::cerr << "Warning: Currently not in mapping mode, may not be able to save map" <<
        std::endl;
    }

    // Generate map name with timestamp
    std::time_t now = std::time(nullptr);
    std::string map_name = "map_" + std::to_string(now);
    std::cout << "Saving map: " << map_name << std::endl;

    auto status = controller.SaveMap(map_name, 20000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to save map, code: " << status.code
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

        << ", message: " << status.message << std::endl;
    return;
}

std::cout << "Successfully saved map: " << map_name << std::endl;
}

void LoadMap(const std::string& map_name) {
    if (map_name.empty()) {
        std::cerr << "Map to load is not provided" << std::endl;
        return;
    }

    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    std::cout << "Loading map: " << map_name << std::endl;
    auto status = controller.LoadMap(map_name, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to load map, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully loaded map: " << map_name << std::endl;
}

void DeleteMap(const std::string& map_name) {
    if (map_name.empty()) {
        std::cerr << "Map to delete is not provided" << std::endl;
        return;
    }

    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    std::cout << "Deleting map: " << map_name << std::endl;
    auto status = controller.DeleteMap(map_name, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to delete map, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully deleted map: " << map_name << std::endl;
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

}

void SaveMapImageToFile(const MapInfo& map_info) {
    try {
        const auto& map_data = map_info.map_meta_data.map_image_data;
        uint32_t width = map_data.width;
        uint32_t height = map_data.height;
        uint32_t max_gray_value = map_data.max_gray_value;
        const auto& image_bytes = map_data.image;

        std::cout << "Saving map image: " << width << "x" << height
            << ", max_gray: " << max_gray_value << std::endl;

        // Check image data size
        if (image_bytes.size() != width * height) {
            std::cerr << "Image data size mismatch: expected " << (width * height)
                << ", got " << image_bytes.size() << std::endl;
            return;
        }

        // Generate filename based on map name
        std::string safe_filename = map_info.map_name;
        // Remove invalid characters
        safe_filename.erase(
            std::remove_if(safe_filename.begin(), safe_filename.end(),
                [] (char c) { return !std::isalnum(c) && c != '_' && c != '-'; }),
            safe_filename.end());
    }

    if (safe_filename.empty()) {
        safe_filename = "map_" + std::to_string(std::time(nullptr));
    }

    // Save as PGM format
    std::string pgm_filename = "build/" + safe_filename + ".pgm";
    std::ofstream pgm_file(pgm_filename, std::ios::binary);
    if (!pgm_file.is_open()) {
        std::cerr << "Failed to open file for writing: " << pgm_filename << std::endl;
        return;
    }

    // Write PGM header
    pgm_file << "P5\n"
        << width << " " << height << "\n"

```

(下页继续)

(续上页)

```

    << max_gray_value << "\n";

    // Write image data
    pgm_file.write(reinterpret_cast<const char*>(image_bytes.data()), image_bytes.size());
    pgm_file.close();

    std::cout << "Map image saved successfully as PGM: " << pgm_filename << std::endl;

} catch (const std::exception& e) {
    std::cerr << "Exception occurred while saving map image: " << e.what() << std::endl;
}
}

void GetAllMapInfo() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    AllMapInfo all_map_info;
    auto status = controller.GetAllMapInfo(all_map_info, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to get map information, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully retrieved map information" << std::endl;
    std::cout << "Current map: " << all_map_info.current_map_name << std::endl;
    std::cout << "Total maps: " << all_map_info.map_infos.size() << std::endl;

    if (!all_map_info.map_infos.empty()) {
        std::cout << "Map details:" << std::endl;
        for (size_t i = 0; i < all_map_info.map_infos.size(); ++i) {
            const auto& map_info = all_map_info.map_infos[i];
            std::cout << "    Map " << (i + 1) << ":" << map_info.map_name << std::endl;
            std::cout << "        Origin: [" << map_info.map_meta_data.origin.position[0] << ", "
                << map_info.map_meta_data.origin.position[1] << ", "
                << map_info.map_meta_data.origin.position[2] << "]" << std::endl;
            std::cout << "        Orientation: [" << map_info.map_meta_data.origin.orientation[0] << ", "
                << map_info.map_meta_data.origin.orientation[1] << ", "
                << map_info.map_meta_data.origin.orientation[2] << "]" << std::endl;
            std::cout << "        Resolution: " << map_info.map_meta_data.resolution << " m/pixel" <<
            std::endl;
            std::cout << "        Size: " << map_info.map_meta_data.map_image_data.width << " x "
                << map_info.map_meta_data.map_image_data.height << std::endl;
        }
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

    std::cout << "    Max gray value: " << map_info.map_meta_data.map_image_data.max_gray_
    ↵value << std::endl;
    std::cout << "    Image type: " << map_info.map_meta_data.map_image_data.type <<
    ↵std::endl;

    SaveMapImageToFile(map_info);
}

} else {
    std::cout << "No available maps" << std::endl;
}
}

void GetMapPath(const std::string& map_name) {
    if (map_name.empty()) {
        std::cerr << "Map to get path is not provided" << std::endl;
        return;
    }

    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    std::vector<std::string> map_path;
    auto status = controller.GetMapPath(map_name, map_path, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to get map path, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    if (map_path.empty()) {
        std::cerr << "No map path found" << std::endl;
        return;
    }

    for (const auto& path : map_path) {
        std::cout << "Map path: " << path << std::endl;
    }
}

void GetPointCloudMap() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    PointCloud2 point_cloud_map;
    auto status = controller.GetPointCloudMap(point_cloud_map, 10000);
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "Failed to get SLAM mapping point cloud map, code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    return;
}

std::cout << "Successfully got SLAM mapping point cloud map" << std::endl;
std::cout << "Point cloud map - Height: " << point_cloud_map.height
        << ", Width: " << point_cloud_map.width << std::endl;
std::cout << "Point cloud map data size: " << point_cloud_map.data.size() << " bytes" <<
std::endl;
}

void CloseSlam() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.ActivateSlamMode(SlamMode::IDLE, "", 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to close SLAM, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    current_slam_mode = SlamMode::IDLE;
    std::cout << "Successfully closed SLAM system" << std::endl;
}

int main(int argc, char* argv[]) {
    // Bind signal handler
    signal(SIGINT, SignalHandler);

    std::cout << "\n======" << std::endl;
    std::cout << "MagicBot Z1 SDK SLAM Example" << std::endl;
    std::cout << "SDK Version: " << SDK_VERSION_STRING << std::endl;
    std::cout << "=====\\n"
        << std::endl;

    PrintHelp();
    std::cout << "Press any key to continue (ESC to exit)..." << std::endl;

    // Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
    std::string local_ip = "192.168.54.111";
    if (!robot.Initialize(local_ip)) {
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

    std::cerr << "Failed to initialize robot SDK" << std::endl;
    robotShutdown();
    return -1;
}

// Connect to robot
auto status = robot.Connect();
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "Failed to connect to robot, code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    robotShutdown();
    return -1;
}
std::cout << "Successfully connected to robot" << std::endl;

// Switch motion control controller to high-level controller
status = robot.SetMotionControlLevel(ControllerLevel::HighLevel);
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "Failed to switch robot motion control level, code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    robotShutdown();
    return -1;
}

// Initialize SLAM navigation controller
auto& slam_nav_controller = robot.GetSlamNavController();
if (!slam_nav_controller.Initialize()) {
    std::cerr << "Failed to initialize SLAM navigation controller" << std::endl;
    robotDisconnect();
    robotShutdown();
    return -1;
}
std::cout << "Successfully initialized SLAM navigation controller" << std::endl;

// Main loop
while (running) {
    int key = getch();

    if (key == 27) { // ESC key
        std::cout << "ESC key pressed, exiting..." << std::endl;
        break;
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```
switch (key) {
    case '0':
        RecoveryStand();
        break;
    case '1':
        SwitchToMappingMode();
        break;
    case '2':
        StartMapping();
        break;
    case '3':
        CancelMapping();
        break;
    case '4':
        SaveMap();
        break;
    case '5': {
        std::string map_name = GetUserInput("Enter map name to load: ");
        LoadMap(map_name);
        break;
    }
    case '6': {
        std::string map_name = GetUserInput("Enter map name to delete: ");
        DeleteMap(map_name);
        break;
    }
    case '7':
        GetAllMapInfo();
        break;
    case '8': {
        std::string map_name = GetUserInput("Enter map name to get path: ");
        GetMapPath(map_name);
        break;
    }
    case '9':
        GetPointCloudMap();
        break;
    case 'p':
    case 'P':
        CloseSlam();
        break;
    case '?':
        PrintHelp();
}
```

(下页继续)

(续上页)

```

        break;
    default:
        std::cout << "Unknown key: " << static_cast<char>(key) << std::endl;
        break;
    }

    usleep(10000); // 10ms delay
}

// Cleanup resources
std::cout << "Clean up resources" << std::endl;

slam_nav_controller.Shutdown();
std::cout << "SLAM navigation controller closed" << std::endl;

robot.Disconnect();
std::cout << "Robot connection disconnected" << std::endl;

robot.Shutdown();
std::cout << "Robot shutdown" << std::endl;

return 0;
}

```

26.1.2 导航示例

```

#include "magic_robot.h"
#include "magic_sdk_version.h"

#include <termios.h>
#include <unistd.h>
#include <atomic>
#include <csignal>
#include <ctime>
#include <iostream>
#include <sstream>
#include <string>

using namespace magic::z1;

magic::z1::MagicRobot robot;
bool running = true;
SlamMode current_slam_mode = SlamMode::IDLE;

```

(下页继续)

(续上页)

```

NavMode current_nav_mode = NavMode::IDLE;
std::atomic<int> odometry_counter{0};

void SignalHandler(int signum) {
    std::cout << "Received interrupt signal (" << signum << "), exiting..." << std::endl;
    running = false;
    robot.Shutdown();
    exit(signum);
}

void PrintHelp() {
    std::cout << "\n======" << std::endl;
    std::cout << "SLAM and Navigation Function Demo Program" << std::endl;
    std::cout << "======" << std::endl;
    std::cout << "\npreparation Functions:" << std::endl;
    std::cout << " Q      Function Q: Recovery stand" << std::endl;
    std::cout << " W      Function W: Balance stand" << std::endl;
    std::cout << " E      Function E: Get map path (input map name)" << std::endl;
    std::cout << "\nLocalization Functions:" << std::endl;
    std::cout << " 1      Function 1: Switch to localization mode (input map path)" << std::endl;
    std::cout << " 2      Function 2: Initialize pose (input x y yaw)" << std::endl;
    std::cout << " 3      Function 3: Get current pose information" << std::endl;
    std::cout << "\nNavigation Functions:" << std::endl;
    std::cout << " 4      Function 4: Switch to navigation mode (input map path)" << std::endl;
    std::cout << " 5      Function 5: Set navigation target goal (input x y yaw)" << std::endl;
    std::cout << " 6      Function 6: Pause navigation" << std::endl;
    std::cout << " 7      Function 7: Resume navigation" << std::endl;
    std::cout << " 8      Function 8: Cancel navigation" << std::endl;
    std::cout << " 9      Function 9: Get navigation status" << std::endl;
    std::cout << "\nOdometry Functions:" << std::endl;
    std::cout << " Z      Function Z: Open odometry stream" << std::endl;
    std::cout << " X      Function X: Close odometry stream" << std::endl;
    std::cout << " C      Function C: Subscribe odometry stream" << std::endl;
    std::cout << " V      Function V: Unsubscribe odometry stream" << std::endl;
    std::cout << "\nClose Functions:" << std::endl;
    std::cout << " P      Function P: Close SLAM" << std::endl;
    std::cout << " L      Function L: Close navigation" << std::endl;
    std::cout << "\n ?      Function ?: Print help" << std::endl;
    std::cout << " ESC    Exit program" << std::endl;
    std::cout << "=====\\n"
    << std::endl;
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

int getch() {
    struct termios oldt, newt;
    int ch;
    tcgetattr(STDIN_FILENO, &oldt);
    newt = oldt;
    newt.c_lflag &= ~(ICANON | ECHO);
    tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &newt);
    ch = getchar();
    tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &oldt);
    return ch;
}

std::string GetUserInput(const std::string& prompt) {
    std::cout << prompt;
    std::string input;
    std::getline(std::cin, input);
    return input;
}

void RecoveryStand() {
    std::cout << "==== Executing Recovery Stand ===" << std::endl;
    auto& controller = robot.GetHighLevelMotionController();

    auto status = controller.SetGait(GaitMode::GAIT_RECOVERY_STAND, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to set robot gait, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
    std::cout << "Successfully executed recovery stand" << std::endl;
}

void BalanceStand() {
    std::cout << "==== Executing Balance Stand ===" << std::endl;
    auto& controller = robot.GetHighLevelMotionController();

    auto status = controller.SetGait(GaitMode::GAIT_BALANCE_STAND, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to set robot gait, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

    std::cout << "Successfully executed balance stand" << std::endl;
}

void GetMapPath(const std::string& map_name) {
    if (map_name.empty()) {
        std::cerr << "Map to get path is not provided" << std::endl;
        return;
    }

    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    std::vector<std::string> map_path;
    auto status = controller.GetMapPath(map_name, map_path, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to get map path, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    if (map_path.empty()) {
        std::cerr << "No map path found" << std::endl;
        return;
    }

    for (const auto& path : map_path) {
        std::cout << "Map path: " << path << std::endl;
    }
}

void SwitchToLocalizationMode(const std::string& map_path) {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.ActivateSlamMode(SlamMode::LOCALIZATION, map_path, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to switch to localization mode, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    current_slam_mode = SlamMode::LOCALIZATION;
    std::cout << "Successfully switched to localization mode" << std::endl;
    std::cout << "Robot is now in localization mode, ready to localize on existing maps" <<
        std::endl;
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

}

void InitializePose(double x, double y, double yaw) {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    Pose3DEuler initial_pose;
    initial_pose.position = {x, y, 0.0};
    initial_pose.orientation = {0.0, 0.0, yaw};

    std::cout << "Initializing robot pose to: [" << x << ", " << y << ", " << yaw << "]" <<  

    std::endl;

    auto status = controller.InitPose(initial_pose, 15000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to initialize pose, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully initialized pose" << std::endl;
    std::cout << "Robot pose has been set to [" << x << ", " << y << ", " << yaw << "]" <<  

    std::endl;
}

void GetCurrentPoseInfo() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    LocalizationInfo pose_info;
    auto status = controller.GetCurrentLocalizationInfo(pose_info);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to get current pose information, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully retrieved current pose information" << std::endl;
    std::cout << "Localization status: " << (pose_info.is_localization ? "Localized" : "Not  

    localized") << std::endl;
    std::cout << "Position: [" << pose_info.pose.position[0] << ", "
        << pose_info.pose.position[1] << ", "
        << pose_info.pose.position[2] << "] " << std::endl;
    std::cout << "Orientation: [" << pose_info.pose.orientation[0] << ", "
        << pose_info.pose.orientation[1] << ", "

```

(下页继续)

(续上页)

```

        << pose_info.pose.orientation[2] << " ] " << std::endl;
}

void SwitchToNavigationMode(const std::string& map_path) {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.ActivateNavMode(NavMode::GRID_MAP, map_path, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to switch to navigation mode, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    current_nav_mode = NavMode::GRID_MAP;
    std::cout << "Successfully switched to navigation mode" << std::endl;
}

void SetNavigationTarget(double x, double y, double yaw) {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    NavTarget target_goal;
    target_goal.id = 1;
    target_goal.frame_id = "map";
    target_goal.goal.position = {x, y, 0.0};
    target_goal.goal.orientation = {0.0, 0.0, yaw};

    auto status = controller.SetNavTarget(target_goal, 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to set navigation target, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully set navigation target: position=(" << x << ", " << y << ", 0.0), "
        << "orientation=(0.0, 0.0, " << yaw << ")" << std::endl;
}

void PauseNavigation() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.PauseNavTask();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to pause navigation, code: " << status.code
}

```

(下页继续)

(续上页)

```
<< ", message: " << status.message << std::endl;
return;
}

std::cout << "Successfully paused navigation" << std::endl;
}

void ResumeNavigation() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.ResumeNavTask();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to resume navigation, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully resumed navigation" << std::endl;
}

void CancelNavigation() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.CancelNavTask();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to cancel navigation, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully cancelled navigation" << std::endl;
}

void GetNavigationStatus() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    NavStatus nav_status;
    auto status = controller.GetNavTaskStatus(nav_status);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to get navigation status, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
}
```

(下页继续)

(续上页)

```

std::cout << "==== Navigation Status ===" << std::endl;
std::cout << "Target ID: " << nav_status.id << std::endl;
std::cout << "Status: " << static_cast<int>(nav_status.status) << std::endl;
std::cout << "Error code: " << nav_status.error_code << std::endl;
std::cout << "Error description: " << nav_status.error_desc << std::endl;

// Status interpretation
std::string status_meaning;
switch (nav_status.status) {
    case NavStatusType::NONE:
        status_meaning = "No navigation target set";
        break;
    case NavStatusType::RUNNING:
        status_meaning = "Navigation is running";
        break;
    case NavStatusType::END_SUCCESS:
        status_meaning = "Navigation completed successfully";
        break;
    case NavStatusType::END_FAILED:
        status_meaning = "Navigation failed";
        break;
    case NavStatusType::PAUSE:
        status_meaning = "Navigation is paused";
        break;
    case NavStatusType::CONTINUE:
        status_meaning = "Navigation resumed from pause";
        break;
    case NavStatusType::CANCEL:
        status_meaning = "Navigation was cancelled";
        break;
    default:
        status_meaning = "Unknown status";
        break;
}

std::cout << "Status meaning: " << status_meaning << std::endl;
std::cout << "===== " << std::endl;
}

void OpenOdometryStream() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

auto status = controller.OpenOdometryStream();
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "Failed to open odometry stream, code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    return;
}

std::cout << "Successfully opened odometry stream" << std::endl;
}

void CloseOdometryStream() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.CloseOdometryStream();
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to close odometry stream, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    std::cout << "Successfully closed odometry stream" << std::endl;
}

void SubscribeOdometryStream() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto callback = [] (const std::shared_ptr<Odometry> odometry) {
        if (odometry_counter % 30 == 0) {
            std::cout << "Odometry position: " << odometry->position[0] << ", "
                << odometry->position[1] << ", " << odometry->position[2] << std::endl;
            std::cout << "Odometry orientation: " << odometry->orientation[0] << ", "
                << odometry->orientation[1] << ", " << odometry->orientation[2] << ", "
                << odometry->orientation[3] << std::endl;
            std::cout << "Odometry linear velocity: " << odometry->linear_velocity[0] << ", "
                << odometry->linear_velocity[1] << ", " << odometry->linear_velocity[2] <<
            std::endl;
            std::cout << "Odometry angular velocity: " << odometry->angular_velocity[0] << ", "
                << odometry->angular_velocity[1] << ", " << odometry->angular_velocity[2] <<
            std::endl;
        }
        odometry_counter++;
    };
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

controller.SubscribeOdometry(callback);
std::cout << "Successfully subscribed odometry stream" << std::endl;
}

void UnsubscribeOdometryStream() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    controller.UnsubscribeOdometry();
    std::cout << "Successfully unsubscribed odometry stream" << std::endl;
}

void CloseSlam() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.ActivateSlamMode(SlamMode::IDLE, "", 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to close SLAM, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    current_slam_mode = SlamMode::IDLE;
    std::cout << "Successfully closed SLAM system" << std::endl;
}

void CloseNavigation() {
    auto& controller = robot.GetSlamNavController();

    auto status = controller.ActivateNavMode(NavMode::IDLE, "", 10000);
    if (status.code != ErrorCode::OK) {
        std::cerr << "Failed to close navigation, code: " << status.code
            << ", message: " << status.message << std::endl;
        return;
    }

    current_nav_mode = NavMode::IDLE;
    std::cout << "Successfully closed navigation system" << std::endl;
}

int main(int argc, char* argv[]) {
    // Bind signal handler
    signal(SIGINT, SignalHandler);
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

std::cout << "\n======" << std::endl;
std::cout << "MagicBot Z1 SDK Navigation Example" << std::endl;
std::cout << "SDK Version: " << SDK_VERSION_STRING << std::endl;
std::cout << "=====\\n"
      << std::endl;

PrintHelp();
std::cout << "Press any key to continue (ESC to exit)..." << std::endl;

// Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
std::string local_ip = "192.168.54.111";
if (!robot.Initialize(local_ip)) {
    std::cerr << "Failed to initialize robot SDK" << std::endl;
    robot.Shutdown();
    return -1;
}

// Connect to robot
auto status = robot.Connect();
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "Failed to connect to robot, code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    robot.Shutdown();
    return -1;
}
std::cout << "Successfully connected to robot" << std::endl;

// Switch motion control controller to high-level controller
status = robot.SetMotionControlLevel(ControllerLevel::HighLevel);
if (status.code != ErrorCode::OK) {
    std::cerr << "Failed to switch robot motion control level, code: " << status.code
        << ", message: " << status.message << std::endl;
    robot.Shutdown();
    return -1;
}
std::cout << "Successfully switched robot motion control level to high-level" << std::endl;

// Initialize SLAM navigation controller
auto& slam_nav_controller = robot.GetSlamNavController();
if (!slam_nav_controller.Initialize()) {
    std::cerr << "Failed to initialize SLAM navigation controller" << std::endl;
    robot.Disconnect();
    robot.Shutdown();
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

    return -1;
}

std::cout << "Successfully initialized SLAM navigation controller" << std::endl;

// Main loop
while (running) {
    int key = getch();

    if (key == 27) { // ESC key
        std::cout << "ESC key pressed, exiting..." << std::endl;
        break;
    }

    switch (key) {
        // 1. preparation Functions
        case 'q':
        case 'Q':
            RecoveryStand();
            break;
        case 'w':
        case 'W':
            BalanceStand();
            break;

        case 'e':
        case 'E': {
            std::string map_name = GetUserInput("Enter map name to get path: ");
            GetMapPath(map_name);
            break;
        }
        // 2. Localization Functions
        case '1': {
            std::string map_path = GetUserInput("Enter map path for localization: ");
            SwitchToLocalizationMode(map_path);
            break;
        }
        case '2': {
            std::string input = GetUserInput("Enter pose (x y yaw): ");
            std::istringstream iss(input);
            double x = 0.0, y = 0.0, yaw = 0.0;
            iss >> x >> y >> yaw;
            std::cout << "input pose, x: " << x << ", y: " << y << ", yaw: " << yaw << std::endl;
            InitializePose(x, y, yaw);
    }
}

```

(下页继续)

(续上页)

```
        break;
    }

    case '3':
        GetCurrentPoseInfo();
        break;

// 3. Navigation Functions

    case '4': {
        std::string map_path = GetUserInput("Enter map path for navigation: ");
        SwitchToNavigationMode(map_path);
        break;
    }

    case '5': {
        std::string input = GetUserInput("Enter target (x y yaw): ");
        std::istringstream iss(input);
        double x = 0.0, y = 0.0, yaw = 0.0;
        iss >> x >> y >> yaw;
        SetNavigationTarget(x, y, yaw);
        break;
    }

    case '6':
        PauseNavigation();
        break;

    case '7':
        ResumeNavigation();
        break;

    case '8':
        CancelNavigation();
        break;

    case '9':
        GetNavigationStatus();
        break;

// 4. Odometry Functions

    case 'z':
    case 'Z':
        OpenOdometryStream();
        break;

    case 'x':
    case 'X':
        CloseOdometryStream();
        break;

    case 'c':
    case 'C':
        break;
```

(下页继续)

(续上页)

```
    SubscribeOdometryStream();
    break;
case 'v':
case 'V':
    UnsubscribeOdometryStream();
    break;
// 5. Close Functions
case 'l':
case 'L':
    CloseNavigation();
    break;
case 'p':
case 'P':
    CloseSlam();
    break;

case '?':
    PrintHelp();
    break;
default:
    std::cout << "Unknown key: " << static_cast<char>(key) << std::endl;
    break;
}

usleep(10000); // 10ms delay
}

// Cleanup resources
std::cout << "Clean up resources" << std::endl;

slam_nav_controller.Shutdown();
std::cout << "SLAM navigation controller closed" << std::endl;

robot.Disconnect();
std::cout << "Robot connection disconnected" << std::endl;

robot.Shutdown();
std::cout << "Robot shutdown" << std::endl;

return 0;
}
```

26.2 Python

示例文件:

- slam_example.py
- navigation_example.py

26.2.1 建图示例

```
#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: utf-8 -*-

import sys
import time
import signal
import threading
import logging
from typing import Optional
import numpy as np
import cv2
import random
import termios
import tty

import magicbot_z1_python as magicbot

# Configure logging format and level
logging.basicConfig(
    level=logging.INFO,  # Minimum log level
    format="(asctime)s [%(levelname)s] %(message)s",
    datefmt="%Y-%m-%d %H:%M:%S",
)

# Global variables
robot: Optional[magicbot.MagicRobot] = None
running = True
current_slam_mode = None
current_nav_mode = magicbot.NavMode.IDLE


def signal_handler(signum, frame):
    """Signal handler function for graceful exit"""
    global running, robot
    logging.info("Received interrupt signal (%s), exiting...", signum)
```

(下页继续)

(续上页)

```

running = False
if robot:
    robot.shutdown()
    logging.info("Robot shutdown")
exit(-1)

def print_help():
    """Print help information"""
    logging.info("SLAM and Navigation Function Demo Program")
    logging.info("preparation Functions:")
    logging.info(" Q      Function Q: Recovery stand")
    logging.info(" E      Function E: Balance stand")
    logging.info(" W      Function W: Move forward")
    logging.info(" A      Function A: Move left")
    logging.info(" S      Function S: Move backward")
    logging.info(" D      Function D: Move right")
    logging.info(" X      Function X: Stop move")
    logging.info(" T      Function T: Turn left")
    logging.info(" G      Function G: Turn right")
    logging.info("")

    logging.info("SLAM Functions:")
    logging.info(" 1      Function 1: Switch to mapping mode")
    logging.info(" 2      Function 2: Start mapping")
    logging.info(" 3      Function 3: Cancel mapping")
    logging.info(" 4      Function 4: Save map")
    logging.info(" 5      Function 5: Load map")
    logging.info(" 6      Function 6: Delete map")
    logging.info("")

    " 7      Function 7: Get all map information and save map image as PGM file"
)
logging.info(" 8      Function 8: Get map path")
logging.info(" 9      Function 9: Get SLAM mapping point cloud map")
logging.info("")

logging.info("Close Functions:")
logging.info(" P      Function P: Close SLAM")
logging.info("")

logging.info(" ?      Function ?: Print help")
logging.info(" ESC     Exit program")

# ===== SLAM Functions =====

```

(下页继续)

(续上页)

```

def switch_to_mapping_mode():
    """Switch to mapping mode"""
    global robot, current_slam_mode
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Switch to mapping mode
        status = controller.activate_slam_mode(magicbot.SlamMode.MAPPING)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to switch to mapping mode, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return

    current_slam_mode = "MAPPING"
    logging.info("Successfully switched to mapping mode")
    logging.info("Robot is now in mapping mode, ready to create new maps")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while switching to mapping mode: %s", e)

```



```

def load_map(map_to_load):
    """Load map"""
    global robot
    try:
        if not map_to_load:
            logging.error("Map to load is not provided")
            return
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        logging.info("Loading map: %s", map_to_load)
        controller.load_map(map_to_load)
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while loading map: %s", e)
        return

    logging.info("Successfully loaded map: %s", map_to_load)

```

(下页继续)

(续上页)

```

def start_mapping():
    """Start mapping"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Start mapping
        status = controller.start_mapping()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to start mapping, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return

    logging.info("Successfully started mapping")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while starting mapping: %s", e)

def cancel_mapping():
    """Cancel mapping"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Cancel mapping
        status = controller.cancel_mapping()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to cancel mapping, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return

    logging.info("Successfully cancelled mapping")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while cancelling mapping: %s", e)

```

(下页继续)

(续上页)

```

def save_map():
    """Save map"""
    global robot, current_slam_mode
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Check if in mapping mode
        if current_slam_mode != "MAPPING":
            logging.warning(
                "Warning: Currently not in mapping mode, may not be able to save map"
            )

        # Generate map name with timestamp
        map_name = f"map_{int(time.time())}"
        logging.info("Saving map: %s", map_name)

        # Save map
        status = controller.save_map(map_name, 20000)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to save map, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return

        logging.info("Successfully saved map: %s", map_name)
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while saving map: %s", e)

def delete_map(map_to_delete):
    """Delete map"""
    global robot
    try:
        if not map_to_delete:
            logging.error("Map to delete is not provided")
            return
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

```

(下页继续)

(续上页)

```

# Delete the first map as an example
logging.info("Deleting map: %s", map_to_delete)

# Delete map
status = controller.delete_map(map_to_delete)
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error(
        "Failed to delete map, code: %s, message: %s",
        status.code,
        status.message,
    )
    return

logging.info("Successfully deleted map: %s", map_to_delete)
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while deleting map: %s", e)


def get_all_map_info():
    """Get all map information"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Get all map information
        status, all_map_info = controller.get_all_map_info()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to get map information, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
            return

        logging.info("Successfully retrieved map information")
        logging.info("Current map: %s", all_map_info.current_map_name)
        logging.info("Total maps: %d", len(all_map_info.map_infos))

        if all_map_info.map_infos:
            logging.info("Map details:")
            for i, map_info in enumerate(all_map_info.map_infos):

```

(下页继续)

(续上页)

```

        logging.info(" Map %d: %s", i + 1, map_info.map_name)
        logging.info(
            "     Origin: [%f, %f, %f]",
            map_info.map_meta_data.origin.position[0],
            map_info.map_meta_data.origin.position[1],
            map_info.map_meta_data.origin.position[2],
        )
        logging.info(
            "     Orientation: [%f, %f, %f]",
            map_info.map_meta_data.orientation[0],
            map_info.map_meta_data.orientation[1],
            map_info.map_meta_data.orientation[2],
        )
        logging.info(
            "     Resolution: %f m/pixel", map_info.map_meta_data.resolution
        )
        logging.info(
            "     Size: %d x %d",
            map_info.map_meta_data.map_image_data.width,
            map_info.map_meta_data.map_image_data.height,
        )
        logging.info(
            "     Max gray value: %d",
            map_info.map_meta_data.map_image_data.max_gray_value,
        )
        logging.info(
            "     Image type: %s", map_info.map_meta_data.map_image_data.type
        )

        save_map_image_to_file(map_info)

    else:
        logging.info("No available maps")
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while getting map information: %s", e)

def save_map_image_to_file(map_info):
    """Save map image to current directory"""
    try:
        # Extract image data
        map_data = map_info.map_meta_data.map_image_data
        width = map_data.width

```

(下页继续)

(续上页)

```

height = map_data.height
max_gray_value = map_data.max_gray_value
image_bytes = map_data.image

logging.info(
    "Saving map image: %dx%d, max_gray: %d", width, height, max_gray_value
)

# Convert bytes to numpy array
if len(image_bytes) != width * height:
    logging.error(
        "Image data size mismatch: expected %d, got %d",
        width * height,
        len(image_bytes),
    )
    return

# Convert Uint8Vector to bytes for numpy processing
try:
    # Try to convert Uint8Vector to bytes
    if hasattr(image_bytes, "__iter__") and not isinstance(
        image_bytes, (str, bytes)
    ):
        # Convert Uint8Vector or similar iterable to bytes
        image_bytes_data = bytes(image_bytes)
    else:
        image_bytes_data = image_bytes
except Exception as e:
    logging.error("Failed to convert image data to bytes: %s", e)
    return

# Create numpy array from image data
image_array = np.frombuffer(image_bytes_data, dtype=np.uint8).reshape(
    (height, width)
)

# Generate filename based on map name
safe_filename = "".join(
    c for c in map_info.map_name if c.isalnum() or c in (" ", "-", "_")
).rstrip()
safe_filename = safe_filename.replace(" ", "_")
if not safe_filename:
    safe_filename = f"map_{int(time.time())}"

```

(下页继续)

(续上页)

```

# Save as PGM format using OpenCV
pgm_filename = f"build/{safe_filename}.pgm"
success = cv2.imwrite(pgm_filename, image_array)

if success:
    logging.info("Map image saved successfully as PGM: %s", pgm_filename)
else:
    logging.error("Failed to save map image as PGM: %s", pgm_filename)

except ImportError:
    logging.error("OpenCV not available, cannot save image")
    logging.info(
        "Image data: %dx%d pixels, %d bytes", width, height, len(image_bytes)
    )
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while saving map image: %s", e)

def get_map_path(map_to_get_path):
    """Get map path"""
    global robot
    try:
        if not map_to_get_path:
            logging.error("Map to get path is not provided")
            return
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Get map path
        status, map_path = controller.get_map_path(map_to_get_path)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to get map path, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
            return
        if len(map_path) == 0:
            logging.error("No map path found")
            return

        for path in map_path:

```

(下页继续)

(续上页)

```

        logging.info("Map path: %s", path)
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while getting map path: %s", e)
        return

def get_point_cloud_map():
    """Get SLAM mapping point cloud map"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Get SLAM mapping point cloud map
        status, point_cloud_map = controller.get_point_cloud_map()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to get SLAM mapping point cloud map, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return
    logging.info("Successfully got SLAM mapping point cloud map")

    if point_cloud_map:
        logging.info(
            "Point cloud map - Height: %d, Width: %d, Data size: %d bytes",
            point_cloud_map.height,
            point_cloud_map.width,
            len(point_cloud_map.data),
        )

except Exception as e:
    logging.error(
        "Exception occurred while getting SLAM mapping point cloud map: %s",
        e,
    )

def close_slam():
    """Close SLAM system"""
    global robot, current_slam_mode
    try:

```

(下页继续)

(续上页)

```

# Get SLAM navigation controller
controller = robot.get_slam_nav_controller()

# Switch to idle mode to close SLAM
status = controller.activate_slam_mode(magicbot.SlamMode.IDLE)
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error(
        "Failed to close SLAM, code: %s, message: %s",
        status.code,
        status.message,
    )
return

current_slam_mode = "IDLE"
logging.info("Successfully closed SLAM system")

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while closing SLAM: %s", e)

def recovery_stand():
    """Recovery stand"""
    global robot
    try:
        logging.info("== Executing Recovery Stand ==")
        controller = robot.get_high_level_motion_controller()
        status = controller.set_gait(magicbot.GaitMode.GAIT_RECOVERY_STAND, 10000)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to set robot gait, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return

        logging.info("Successfully executed recovery stand")
        return

    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while executing recovery stand: %s", e)
        return

def balance_stand():
    """Balance stand"""

```

(下页继续)

(续上页)

```

global robot
try:
    logging.info("== Executing Balance Stand ==")

    # Get high-level motion controller
    controller = robot.get_high_level_motion_controller()

    # Set gait to balance stand
    status = controller.set_gait(magicbot.GaitMode.GAIT_BALANCE_STAND, 10000)
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to set robot gait, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
        return False

    logging.info("Robot gait set to balance stand (supports movement)")
    return True

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while executing balance stand: %s", e)
    return False


def joystick_command(left_x_axis, left_y_axis, right_x_axis, right_y_axis):
    """Send joystick control command"""
    global robot
    try:
        # Get high-level motion controller
        controller = robot.get_high_level_motion_controller()

        # Create joystick command
        joy_command = magicbot.JoystickCommand()
        joy_command.left_x_axis = left_x_axis
        joy_command.left_y_axis = left_y_axis
        joy_command.right_x_axis = right_x_axis
        joy_command.right_y_axis = right_y_axis

        # Send joystick command
        controller.send_joystick_command(joy_command)
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while sending joystick command: %s", e)

```

(下页继续)

(续上页)

```
def move_forward():
    """Move forward"""
    logging.info("==== Moving Forward ====")
    return joystick_command(0.0, 1.0, 0.0, 0.0)

def move_backward():
    """Move backward"""
    logging.info("==== Moving Backward ====")
    return joystick_command(0.0, -1.0, 0.0, 0.0)

def move_left():
    """Move left"""
    logging.info("==== Moving Left ====")
    return joystick_command(-1.0, 0.0, 0.0, 0.0)

def move_right():
    """Move right"""
    logging.info("==== Moving Right ====")
    return joystick_command(1.0, 0.0, 0.0, 0.0)

def turn_left():
    """Turn left"""
    logging.info("==== Turning Left ====")
    return joystick_command(0.0, 0.0, -1.0, 0.0)

def turn_right():
    """Turn right"""
    logging.info("==== Turning Right ====")
    return joystick_command(0.0, 0.0, 1.0, 0.0)

def stop_move():
    """Stop move"""
    logging.info("==== Stopping Move ====")
    return joystick_command(0.0, 0.0, 0.0, 0.0)
```

(下页继续)

(续上页)

```

# ===== Utility Functions =====

# Get single character input (no echo)
def getch():
    fd = sys.stdin.fileno()
    old_settings = termios.tcgetattr(fd)
    try:
        tty.setraw(sys.stdin.fileno())
        ch = sys.stdin.read(1)
        logging.info(f"Received character: {ch}")

        sys.stdout.write("\r")
        sys.stdout.flush()
    finally:
        termios.tcsetattr(fd, termios.TCSADRAIN, old_settings)
    return ch


def get_user_input():
    """Get user input - Read a single line of data"""
    try:
        # Method 1: Read a line using input() (recommended)
        return input("Enter command: ").strip()
    except (EOFError, KeyboardInterrupt):
        return ""


def main():
    """Main function"""
    global robot, running

    # Bind signal handler
    signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

    logging.info("Robot model: %s", magicbot.get_robot_model())

    # Create robot instance
    robot = magicbot.MagicRobot()

    print_help()
    logging.info("Press any key to continue (ESC to exit)...")

```

(下页继续)

(续上页)

```
try:
    # Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
    local_ip = "192.168.54.111"
    if not robot.initialize(local_ip):
        logging.error("Failed to initialize robot SDK")
        robot.shutdown()
        return -1

    # Connect to robot
    status = robot.connect()
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to connect to robot, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
        robot.shutdown()
        return -1

    logging.info("Successfully connected to robot")

    # Switch motion control controller to high-level controller
    status = robot.set_motion_control_level(magicbot.ControllerLevel.HighLevel)
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to switch robot motion control level, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
        robot.shutdown()
        return -1

    # Initialize SLAM navigation controller
    slam_nav_controller = robot.get_slam_nav_controller()
    if not slam_nav_controller.initialize():
        logging.error("Failed to initialize SLAM navigation controller")
        robot.disconnect()
        robot.shutdown()
        return -1

    logging.info("Successfully initialized SLAM navigation controller")
```

(下页继续)

(续上页)

```

# Main loop
while running:
    try:
        key = getch()
        if key == "\x1b": # ESC key
            break

        # 1. Preparation Functions
        # 1.1 Execute recovery stand first. Two mapping methods: 1) Suspended in air, ↵
        ↵can push robot for mapping in recovery_stand state; 2) Switch to balance_stand state for ↵
        ↵remote-controlled mapping
        if key.upper() == "Q":
            recovery_stand()
        elif key.upper() == "E":
            balance_stand()
        elif key.upper() == "W":
            move_forward()
        elif key.upper() == "A":
            move_left()
        elif key.upper() == "S":
            move_backward()
        elif key.upper() == "D":
            move_right()
        elif key.upper() == "X":
            stop_move()
        elif key.upper() == "T":
            turn_left()
        elif key.upper() == "G":
            turn_right()

        # 2. Mapping Mode
        # 2.1 Switch to mapping mode
        elif key == "1":
            switch_to_mapping_mode()
        # 2.2 Start mapping
        elif key == "2":
            start_mapping()
        # 2.3 Cancel mapping
        elif key == "3":
            cancel_mapping()
        # 2.4 Save map
        elif key == "4":
            save_map()
        # 2.5 Load map
    
```

(下页继续)

(续上页)

```

elif key == "5":
    str_input = get_user_input()
    # Split input parameters by space
    parts = str_input.strip().split()
    # Parse parameters
    map_to_load = parts[0] if parts else ""
    load_map(map_to_load)

    # 2.6 Delete map
elif key == "6":
    str_input = get_user_input()
    # Split input parameters by space
    parts = str_input.strip().split()
    # Parse parameters
    map_to_delete = parts[0] if parts else ""
    delete_map(map_to_delete)

    # 2.7 Get all map information
elif key == "7":
    get_all_map_info()

    # 2.8 Get map path
elif key.upper() == "8":
    str_input = get_user_input()
    # Split input parameters by space
    parts = str_input.strip().split()
    # Parse parameters
    map_to_get_path = parts[0] if parts else ""
    get_map_path(map_to_get_path)

    # 2.9 Get SLAM mapping point cloud map
elif key.upper() == "9":
    get_point_cloud_map()

    # 3. Close Functions
    # 3.1 Close SLAM
elif key.upper() == "P":
    close_slam()
elif key.upper() == "?":
    print_help()
else:
    logging.warning("Unknown key: %s", key)

    time.sleep(0.01) # Brief delay

except KeyboardInterrupt:
    break
except Exception as e:

```

(下页继续)

(续上页)

```

        logging.error("Exception occurred while processing user input: %s", e)
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred during program execution: %s", e)
        return -1

    finally:
        # Clean up resources
        try:
            logging.info("Clean up resources")
            # Close SLAM navigation controller
            slam_nav_controller = robot.get_slam_nav_controller()
            slam_nav_controller.shutdown()
            logging.info("SLAM navigation controller closed")

            # Disconnect
            robot.disconnect()
            logging.info("Robot connection disconnected")

            # Shutdown robot
            robot.shutdown()
            logging.info("Robot shutdown")

        except Exception as e:
            logging.error("Exception occurred while cleaning up resources: %s", e)

if __name__ == "__main__":
    sys.exit(main())

```

26.2.2 导航示例

```

#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: utf-8 -*-

import sys
import time
import signal
import threading
import logging
from typing import Optional
import numpy as np
import cv2
import random

```

(下页继续)

(续上页)

```

import magicbot_z1_python as magicbot

# Configure logging format and level
logging.basicConfig(
    level=logging.INFO, # Minimum log level
    format"%(asctime)s [%(levelname)s] %(message)s",
    datefmt="%Y-%m-%d %H:%M:%S",
)

# Global variables
robot: Optional[magicbot.MagicRobot] = None
running = True
current_slam_mode = None
current_nav_mode = magicbot.NavMode.IDLE
odometry_counter = 0

def signal_handler(signum, frame):
    """Signal handler function for graceful exit"""
    global running, robot
    logging.info("Received interrupt signal (%s), exiting...", signum)
    running = False
    if robot:
        robot.shutdown()
    logging.info("Robot shutdown")
    exit(-1)

def print_help():
    """Print help information"""
    logging.info("SLAM and Navigation Function Demo Program")
    logging.info("")
    logging.info("preparation Functions:")
    logging.info(" Q       Function Q: Recovery stand")
    logging.info(" W       Function W: Balance stand")
    logging.info(" E       Function E: Get map path")
    logging.info("")
    logging.info("Localization Functions:")
    logging.info(" 1      Function 1: Switch to localization mode")
    logging.info(" 2      Function 2: Initialize pose")
    logging.info(" 3      Function 3: Get current pose information")
    logging.info("")

```

(下页继续)

(续上页)

```

logging.info("Navigation Functions:")
logging.info(" 4      Function 4: Switch to navigation mode")
logging.info(" 5      Function 5: Set navigation target goal")
logging.info(" 6      Function 6: Pause navigation")
logging.info(" 7      Function 7: Resume navigation")
logging.info(" 8      Function 8: Cancel navigation")
logging.info(" 9      Function 9: Get navigation status")
logging.info("")

logging.info("Odometry Functions:")
logging.info(" Z      Function Z: Open odometry stream")
logging.info(" X      Function X: Close odometry stream")
logging.info(" C      Function C: Subscribe odometry stream")
logging.info(" V      Function V: Unsubscribe odometry stream")
logging.info("")

logging.info("Close Functions:")
logging.info(" P      Function P: Close SLAM")
logging.info(" L      Function L: Close navigation")
logging.info("")

logging.info(" ?      Function ?: Print help")
logging.info(" ESC    Exit program")

```

```

# ===== Navigation Functions =====
def get_map_path(map_to_get_path):
    """Get map path"""
    global robot
    try:
        if not map_to_get_path:
            logging.error("Map to get path is not provided")
            return
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Get map path
        status, map_path = controller.get_map_path(map_to_get_path)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to get map path, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
            return
        if len(map_path) == 0:

```

(下页继续)

(续上页)

```

        logging.error("No map path found")
        return

    for path in map_path:
        logging.info("Map path: %s", path)

    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while getting map path: %s", e)
        return

def switch_to_localization_mode(map_path):
    """Switch to localization mode"""
    global robot, current_slam_mode
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Switch to localization mode
        status = controller.activate_slam_mode(magicbot.SlamMode.LOCALIZATION, map_path)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to switch to localization mode, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return

        current_slam_mode = "LOCALIZATION"
        logging.info("Successfully switched to localization mode")
        logging.info(
            "Robot is now in localization mode, ready to localize on existing maps"
        )
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while switching to localization mode: %s", e)

def initialize_pose(x, y, yaw):
    """Initialize pose"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

```

(下页继续)

(续上页)

```

# Create initial pose (set to origin)
initial_pose = magicbot.Pose3DEuler()
initial_pose.position = [x, y, 0.0] # x, y, z
initial_pose.orientation = [0.0, 0.0, yaw] # roll, pitch, yaw

logging.info("Initializing robot pose to origin...")

# Initialize pose
status = controller.init_pose(initial_pose)
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error(
        "Failed to initialize pose, code: %s, message: %s",
        status.code,
        status.message,
    )
    return

logging.info("Successfully initialized pose")
logging.info("Robot pose has been set to origin (0, 0, 0)")

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while initializing pose: %s", e)

def get_current_localization_info():
    """Get current pose information"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Get current pose information
        status, pose_info = controller.get_current_localization_info()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to get current pose information, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
            return

        logging.info("Successfully retrieved current pose information")
        logging.info(
            "Localization status: %s",

```

(下页继续)

(续上页)

```

    "Localized" if pose_info.is_localization else "Not localized",
)
logging.info(
    "Position: [%f, %f, %f]",
    pose_info.pose.position[0],
    pose_info.pose.position[1],
    pose_info.pose.position[2],
)
logging.info(
    "Orientation: [%f, %f, %f]",
    pose_info.pose.orientation[0],
    pose_info.pose.orientation[1],
    pose_info.pose.orientation[2],
)
except Exception as e:
    logging.error(
        "Exception occurred while getting current pose information: %s", e
)

def switch_to_navigation_mode(map_path):
    """Switch to navigation mode"""
    global robot, current_nav_mode
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Switch to navigation mode
        status = controller.activate_nav_mode(magicbot.NavMode.GRID_MAP, map_path)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to switch to navigation mode, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return

    current_nav_mode = magicbot.NavMode.GRID_MAP
    logging.info("Successfully switched to navigation mode")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while switching to navigation mode: %s", e)

```

(下页继续)

(续上页)

```

def set_navigation_target(x, y, yaw):
    """Set navigation target goal"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Create target goal
        target_goal = magicbot.NavTarget()
        target_goal.id = 1
        target_goal.frame_id = "map"

        # Set target pose (example: move 2 meters forward)
        target_goal.goal.position = [x, y, 0.0]
        # Set target orientation (example: no rotation)
        target_goal.goal.orientation = [0.0, 0.0, yaw]

        # Set target goal
        status = controller.set_nav_target(target_goal)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to set navigation target, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return

        logging.info(
            "Successfully set navigation target: position=(%.2f, %.2f, %.2f), orientation=(%.2f, %.2f, %.2f)",
            target_goal.goal.position[0],
            target_goal.goal.position[1],
            target_goal.goal.position[2],
            target_goal.goal.orientation[0],
            target_goal.goal.orientation[1],
            target_goal.goal.orientation[2],
        )
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while setting navigation target: %s", e)

def pause_navigation():
    """Pause navigation"""

```

(下页继续)

(续上页)

```
global robot
try:
    # Get SLAM navigation controller
    controller = robot.get_slam_nav_controller()

    # Pause navigation
    status = controller.pause_nav_task()
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to pause navigation, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
    return

    logging.info("Successfully paused navigation")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while pausing navigation: %s", e)

def resume_navigation():
    """Resume navigation"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Resume navigation
        status = controller.resume_nav_task()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to resume navigation, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return

    logging.info("Successfully resumed navigation")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while resuming navigation: %s", e)

def cancel_navigation():
```

(下页继续)

(续上页)

```
"""Cancel navigation"""
global robot
try:
    # Get SLAM navigation controller
    controller = robot.get_slam_nav_controller()

    # Cancel navigation
    status = controller.cancel_nav_task()
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to cancel navigation, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
    return

    logging.info("Successfully cancelled navigation")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while cancelling navigation: %s", e)

def get_navigation_status():
    """Get current navigation status"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Get navigation status
        status, nav_status = controller.get_nav_task_status()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to get navigation status, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return

        # Display navigation status information
        logging.info("== Navigation Status ==")
        logging.info("Target ID: %d", nav_status.id)
        logging.info("Status: %s", nav_status.status)
        logging.info("Error Code: %d", nav_status.error_code)
```

(下页继续)

(续上页)

```

logging.info("Error Description: %s", nav_status.error_desc)

# Provide status interpretation
status_meaning = {
    magicbot.NavStatusType.NONE: "No navigation target set",
    magicbot.NavStatusType.RUNNING: "Navigation is running",
    magicbot.NavStatusType.END_SUCCESS: "Navigation completed successfully",
    magicbot.NavStatusType.END_FAILED: "Navigation failed",
    magicbot.NavStatusType.PAUSE: "Navigation is paused",
    magicbot.NavStatusType.CONTINUE: "Navigation resumed from pause",
    magicbot.NavStatusType.CANCEL: "Navigation was cancelled",
}

if nav_status.status in status_meaning:
    logging.info("Status meaning: %s", status_meaning[nav_status.status])
else:
    logging.warning("Unknown status value: %s", nav_status.status)

logging.info("=====")

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while getting navigation status: %s", e)

def close_navigation():
    """Close navigation system"""
    global robot, current_nav_mode
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Switch to idle mode to close navigation
        status = controller.activate_nav_mode(magicbot.NavMode.IDLE)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to close navigation, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return

    current_nav_mode = magicbot.NavMode.IDLE
    logging.info("Successfully closed navigation system")

```

(下页继续)

(续上页)

```

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while closing navigation: %s", e)

def open_odometry_stream():
    """Open odometry stream"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Open odometry stream
        status = controller.open_odometry_stream()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to open odometry stream, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return
    logging.info("Successfully opened odometry stream")
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while opening odometry stream: %s", e)

def close_odometry_stream():
    """Close odometry stream"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Close odometry stream
        status = controller.close_odometry_stream()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to close odometry stream, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
    return
    logging.info("Successfully closed odometry stream")
except Exception as e:

```

(下页继续)

(续上页)

```
logging.error("Exception occurred while closing odometry stream: %s", e)

def subscribe_odometry_stream():
    """Subscribe odometry stream"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        def callback(odometry: magicbot.Odometry):
            global odometry_counter
            if odometry_counter % 30 == 0:
                logging.info(
                    "Odometry position: %f, %f, %f",
                    odometry.position[0],
                    odometry.position[1],
                    odometry.position[2],
                )
                logging.info(
                    "Odometry orientation: %f, %f, %f, %f",
                    odometry.orientation[0],
                    odometry.orientation[1],
                    odometry.orientation[2],
                    odometry.orientation[3],
                )
                logging.info(
                    "Odometry linear velocity: %f, %f, %f",
                    odometry.linear_velocity[0],
                    odometry.linear_velocity[1],
                    odometry.linear_velocity[2],
                )
                logging.info(
                    "Odometry angular velocity: %f, %f, %f",
                    odometry.angular_velocity[0],
                    odometry.angular_velocity[1],
                    odometry.angular_velocity[2],
                )
            odometry_counter += 1

        # Subscribe odometry stream
        controller.subscribe_odometry(callback)
        logging.info("Successfully subscribed odometry stream")
    
```

(下页继续)

(续上页)

```

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while subscribing odometry stream: %s", e)

def unsubscribe_odometry_stream():
    """Unsubscribe odometry stream"""
    global robot
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Unsubscribe odometry stream
        controller.unsubscribe_odometry()
        logging.info("Successfully unsubscribed odometry stream")
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while unsubscribing odometry stream: %s", e)

def close_slam():
    """Close SLAM system"""
    global robot, current_slam_mode
    try:
        # Get SLAM navigation controller
        controller = robot.get_slam_nav_controller()

        # Switch to idle mode to close SLAM
        status = controller.activate_slam_mode(magicbot.SlamMode.IDLE)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to close SLAM, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return

        current_slam_mode = "IDLE"
        logging.info("Successfully closed SLAM system")
    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while closing SLAM: %s", e)

def recovery_stand():
    """Recovery stand"""

```

(下页继续)

(续上页)

```

global robot
try:
    logging.info("== Executing Recovery Stand ==")
    controller = robot.get_high_level_motion_controller()
    status = controller.set_gait(magicbot.GaitMode.GAIT_RECOVERY_STAND, 10000)
    if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
        logging.error(
            "Failed to set robot gait, code: %s, message: %s",
            status.code,
            status.message,
        )
    return
logging.info("Successfully executed recovery stand")
return

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while executing recovery stand: %s", e)
    return

def balance_stand():
    """Balance stand"""
    global robot
    try:
        logging.info("== Executing Balance Stand ==")
        controller = robot.get_high_level_motion_controller()
        status = controller.set_gait(magicbot.GaitMode.GAIT_BALANCE_STAND, 10000)
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to set robot gait, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
        return
    logging.info("Successfully executed balance stand")
    return

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while executing balance stand: %s", e)
    return

# ===== Utility Functions =====

```

(下页继续)

(续上页)

```
def get_user_input():
    """Get user input - Read a single line of data"""
    try:
        # Method 1: Read a line using input() (recommended)
        return input("Enter command: ").strip()
    except (EOFError, KeyboardInterrupt):
        return ""

def main():
    """Main function"""
    global robot, running

    # Bind signal handler
    signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

    logging.info("Robot model: %s", magicbot.get_robot_model())

    # Create robot instance
    robot = magicbot.MagicRobot()

    print_help()
    logging.info("Press any key to continue (ESC to exit)...")

    try:
        # Configure local IP address for direct network connection and initialize SDK
        local_ip = "192.168.54.111"
        if not robot.initialize(local_ip):
            logging.error("Failed to initialize robot SDK")
            robot.shutdown()
            return -1

        # Connect to robot
        status = robot.connect()
        if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
            logging.error(
                "Failed to connect to robot, code: %s, message: %s",
                status.code,
                status.message,
            )
            robot.shutdown()
            return -1
    
```

(下页继续)

(续上页)

```

logging.info("Successfully connected to robot")

# Switch motion control controller to high-level controller
status = robot.set_motion_control_level(magicbot.ControllerLevel.HighLevel)
if status.code != magicbot.ErrorCode.OK:
    logging.error(
        "Failed to switch robot motion control level, code: %s, message: %s",
        status.code,
        status.message,
    )
    robot.shutdown()
return -1

logging.info("Successfully switched robot motion control level to high-level")

# Initialize SLAM navigation controller
slam_nav_controller = robot.get_slam_nav_controller()
if not slam_nav_controller.initialize():
    logging.error("Failed to initialize SLAM navigation controller")
    robot.disconnect()
    robot.shutdown()
return -1

logging.info("Successfully initialized SLAM navigation controller")

# Main loop
while running:
    try:
        str_input = get_user_input()

        # Split input parameters by space
        parts = str_input.strip().split()

        if not parts:
            time.sleep(0.01) # Brief delay
            continue

        # Parse parameters
        key = parts[0]
        args = parts[1:] if len(parts) > 1 else []
        if key == "\x1b": # ESC key
            break

```

(下页继续)

(续上页)

```

# 1. Preparation
# 1.1 Execute recovery stand first
if key.upper() == "Q":
    recovery_stand()
# 1.2 Switch to balance stand, allowing robot to transition to walking gait
elif key.upper() == "W":
    balance_stand()
# 1.3 Get current map absolute path
elif key.upper() == "E":
    map_to_get_path = args[0] if args else ""
    get_map_path(map_to_get_path)

# 2. Enable Localization Mode and Initialize Pose
# 2.2 Based on map absolute path, enable localization mode
elif key == "1":
    map_path = args[0] if args else ""
    switch_to_localization_mode(map_path)
# 2.3 Based on current map, initialize pose
elif key == "2":
    x = float(args[0]) if args else 0.0
    y = float(args[1]) if args else 0.0
    yaw = float(args[2]) if args else 0.0
    logging.info("input pose, x: %f, y: %f, yaw: %f", x, y, yaw)
    initialize_pose(x, y, yaw)
# 2.4 Get current initialized pose status, check if localization succeeded
elif key == "3":
    get_current_localization_info()

# 3. Start Navigation
# 3.1 Based on map absolute path, enable navigation mode
elif key.upper() == "4":
    map_path = args[0] if args else ""
    switch_to_navigation_mode(map_path)
# 3.2 Input target point, start navigation task
# Due to the lidar being installed with a -1.57rad offset relative to the robot
# 's front,
# the desired yaw orientation needs to be offset by -1.57rad, otherwise the_
# robot's pose initialization may fail
# Please input yaw orientation, needs to be offset by -1.57rad
elif key.upper() == "5":
    x = float(args[0]) if args else 0.0
    y = float(args[1]) if args else 0.0
    yaw = float(args[2]) if args else 0.0
    logging.info("input target, x: %f, y: %f, yaw: %f", x, y, yaw)
    set_navigation_target(x, y, yaw)

```

(下页继续)

(续上页)

```

# 3.3 Pause navigation task
elif key.upper() == "6":
    pause_navigation()

# 3.4 Resume navigation task
elif key.upper() == "7":
    resume_navigation()

# 3.5 Cancel navigation task
elif key.upper() == "8":
    cancel_navigation()

# 3.6 Get navigation task status
elif key.upper() == "9":
    get_navigation_status()

# 4. Subscribe to Odometry Data
# 4.1 Open odometry stream
elif key.upper() == "Z":
    open_odometry_stream()

# 4.2 Close odometry stream
elif key.upper() == "X":
    close_odometry_stream()

# 4.3 Subscribe to odometry stream
elif key.upper() == "C":
    subscribe_odometry_stream()

# 4.4 Unsubscribe from odometry stream
elif key.upper() == "V":
    unsubscribe_odometry_stream()

# 5. Close SLAM and Navigation
# 5.1 Close SLAM
elif key.upper() == "P":
    close_slam()

# 5.2 Close navigation
elif key.upper() == "L":
    close_navigation()

elif key.upper() == "?":
    print_help()

else:
    logging.warning("Unknown key: %s", key)

time.sleep(0.01) # Brief delay

except KeyboardInterrupt:
    break
except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred while processing user input: %s", e)

```

(下页继续)

(续上页)

```

except Exception as e:
    logging.error("Exception occurred during program execution: %s", e)
    return -1

finally:
    # Clean up resources
    try:
        logging.info("Clean up resources")
        # Close SLAM navigation controller
        slam_nav_controller = robot.get_slam_nav_controller()
        slam_nav_controller.shutdown()
        logging.info("SLAM navigation controller closed")

        # Disconnect
        robot.disconnect()
        logging.info("Robot connection disconnected")

        # Shutdown robot
        robot.shutdown()
        logging.info("Robot shutdown")

    except Exception as e:
        logging.error("Exception occurred while cleaning up resources: %s", e)

if __name__ == "__main__":
    sys.exit(main())

```

26.3 运行说明

26.3.1 环境准备

```

export PYTHONPATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$PYTHONPATH
export LD_LIBRARY_PATH=/opt/magic_robotics/magicbot_z1_sdk/lib:$LD_LIBRARY_PATH

```

26.3.2 运行示例

```

# C++
./slam_navigation_example
# Python
python3 slam_navigation_example.py

```

26.3.3 控制说明

建图

- 准备工作：
 - 按键 Q - 恢复站立
 - 按键 E - 平衡站立
 - 按键 W/A/S/D/X - 前进/左移/后退/右移/停止移动
 - 按键 T/G - 左转/右转
- SLAM 功能：
 - 按键 1 - 切换到建图模式
 - 按键 2 - 开始建图
 - 按键 3 - 取消建图
 - 按键 4 - 保存地图
 - 按键 5 - 加载地图
 - 按键 6 - 删除地图
 - 按键 7 - 获取所有地图信息并保存为 PGM 文件
 - 按键 8 - 获取地图路径
 - 按键 9 - 获取 SLAM 建图点云地图
- 关闭功能：
 - 按键 P - 关闭 SLAM
- 系统命令：
 - 按键 ? - 显示帮助信息

导航

- 准备工作：
 - 按键 Q - 恢复站立
 - 按键 W - 平衡站立
 - 按键 E - 获取地图路径
- 定位功能：
 - 按键 1 - 切换到定位模式
 - 按键 2 - 初始化位姿

- 按键 3 - 获取当前位置信息
- 导航功能：
 - 按键 4 - 切换到导航模式
 - 按键 5 - 设置导航目标点
 - 按键 6 - 暂停导航
 - 按键 7 - 恢复导航
 - 按键 8 - 取消导航
 - 按键 9 - 获取导航状态
- 里程计功能：
 - 按键 Z - 开启里程计流
 - 按键 X - 关闭里程计流
 - 按键 C - 订阅里程计流
 - 按键 V - 取消订阅里程计流
- 关闭功能：
 - 按键 P - 关闭 SLAM
 - 按键 L - 关闭导航
- 系统命令：
 - 按键 ? - 显示帮助信息

停止程序

- 按 ESC 可以安全停止程序
- 程序会自动清理所有资源

26.3.4 注意事项

- 建图和导航示例中，需要提前将机器人切换到高层运动控制模式（默认控制模式是高层运动控制）；
- 建图示例中，需要提前将机器人切换到 Balance_stand 模式；
- 建图示例中，可以通过 GetAllMapInfo 获取当前机器人上存储地图的信息（包括二维地图 pgm, 地图大小，分辨率等信息）；
- 建图示例中，可以通过 SaveMap/DeleteMap 进行地图管理，机器人上存储地图尽量不要超过 3 张地图；
- 导航示例中，需要提前将机器人切换到 Balance_stand 模式；
- 导航示例中，导航目标点最好是基于 GetCurrentLocalizationInfo 获取的当前定位状态和当前定位位姿进行设置；

- 导航示例中, 进行导航任务前需要正常切换到定位模式 (ActivateSlamMode (SlamMode::LOCALIZATION, map_path)) 和导航模式 (ActivateNavMode (NavMode::GRID_MAP, map_path));
- 导航示例中, 定位模式切换和导航模式切换都需要传入地图的绝对路径, 可以通过 GetMapPath 获取指定地图的路径信息;
- 建图或者导航结束后, 需要切换将 SLAM 切换到 IDLE 模式 (ActivateSlamMode (SlamMode::IDLE)), 导航也切换到 IDLE 模式 (ActivateNavMode (NavMode::IDLE))

FAQ

当出现 SDK 不可用时，请首先检查 SDK 版本是否符合要求，SDK 版本 tag 与机器人本体版本号对应记录，参考: [ChangeLog](#)

27.1 开发准备环境

操作系统: Ubuntu22.04，具体开发环境可以参考:《快速开始》

27.2 支持无线开发吗？

不支持，MagicBot-Z1 目前只支持有线连接进行开发

27.3 目前底层控制接口通讯频率是多少？

底层关节状态上报通信频率默认是 500Hz，底层关节指令下发 Publish 频率由用户控制，建议 500HZ

27.4 SDK 无法订阅和发布话题数据？

- 检查相关话题数据流是否打开；
部分接口需要调用对应接口进行打开，比如 openLidar 打开雷达数据；
- udp 多播配置：

假设 SDK 二次开发 PC 与机器人链接的网口为 `enp0s31f6`, 需要进行如下配置以便 SDK 与机器人的底层通信:

```
sudo ifconfig enp0s31f6 multicast  
sudo route add -net 224.0.0.0 netmask 240.0.0.0 dev enp0s31f6
```

- SDK 版本与本体软件版本不对齐:

SDK 版本 tag 与机器人本体版本号对应记录, 参考: [ChangeLog](#)

- 清理残留 SDK 配置文件:

SDK 默认内置配置生成在`/tmp/magicbot_z1_mjrrt.yaml` 文件, 正常开机重启会自动清理掉; 但是如果本次开机, 先使用旧版本的 SDK, 在`/tmp` 目录下生成旧版配置文件, 后使用新版本 SDK 使用, 默认会读取旧版本的配置 (SDK 内部如果检查 `magicbot_z1_mjrrt.yaml` 文件存在, 则不重新创建, 为的是方便调试)。从而导致话题订阅与发布存在问题。

最后, 需要注意的是, 在使用 `Subscribe` 等订阅类 SDK 接口时, 请避免在回调函数中执行阻塞式的数据处理操作。否则, 可能导致消息堆积、处理延迟, 甚至引发不可预期的错误。

27.5 SDK 订阅话题数据频率不稳定 ?

检查 SDK 运行主机 socket 链接的接收缓存系统配置`/etc/sysctl.conf`, `sysctl -p` 或者重启主机立即生效:

```
net.core.rmem_max=20971520  
net.core.rmem_default=20971520  
net.core.wmem_max=20971520  
net.core.wmem_default=20971520
```

27.6 SDK 接口调用报错: Deadline Exceeded

SDK 接口内部 RPC 调用默认超时时间是 5s, 部分步态或者特技的执行接口的执行时间可能不止 5s, 如果出现该问题, 可以通过设置对应接口的超时时间参数来规避该问题。

27.7 SDK 内部配置和日志如何查看 ?

SDK 程序执行时, 默认会在`/tmp` 目录下生成`/tmp/magicbot_z1_mjrrt.yaml` 配置文件, 在`/tmp/logs` 目录下生成 `magicbot_z1_sdk.log` 日志文件, SDK 内部的错误信息可以通过该日志文件查看;

27.8 视频推流

双目相机视频流获取方式：

```
# 无线
ffplay rtsp://192.168.12.1:8081/
# 有线
ffplay rtsp://192.168.54.119:8081/
```

演示上可以使用 ffplay 测试，如果想要获取每帧图像，需要自行编码

27.9 SLAM 重定位失败？

SDK 方式 SLAM 导航不同于 App 端方便可视化进行定位，需要修改 SLAM 配置，固定地图方向，方便 SLAM 定位：

```
# 登录机器人本体
ssh eame@192.168.54.119
# 修改如下配置
# vim /opt/eame/eamegrapher_3d/share/eamegrapher_3d/config/params.yaml
align_map: false

# 首次更改yaml文件后需要重启SLAM模块生效，重启指令为：
sudo systemctl restart slam.service
```

27.10 SLAM 导航不执行？

1. SLAM 导航执行前提条件一，需要进入 SLAM 定位模式和导航模式：

- ActivateSlamMode(SlamMode::LOCALIZATION, map_path)
- ActivateNavMode(NavMode::GRID_MAP, map_path)

其中 map_path 为当前地图的绝对路径，可以通过 GetMapPath 进行获取

2. SLAM 导航执行前提条件二，重定位成功：

需要通过 InitPose 进行重定位，并调取 GetCurrentLocalizationInfo 获取当前重定位状态，如果 is_localization=true，则代表重定位成功；否则，重定位失败，需要检查地图和重定位位姿，重新 InitPose 进行定位；

3. SLAM 导航目标点设置：

因为 InitPose 设置的重定位位姿是预估的，所以目标位置点建议基于 GetCurrentLocalizationInfo 获得的当前位置位姿进行设置目标点位姿；

27.11 运行报错: Invalid IP address

当前机器人不支持 APP 与 SDK 同时控制机器人，也不支持多个 SDK 客户端同时控制机器人呢，当出现 Invalid IP address 请求错误时，请检查是否有其他 APP 或 SDK 客户端连接；

27.12 日志报错打印: Call of pthread_setschedparam with insufficient privileges!

主要原因是 SDK 进行在普通用户执行，该报错根本上不影响程序运行，为解决该报错，需要在普通用户下配置系统文件/etc/security/limits.conf，确保进程拥有线程优先级设置权限：

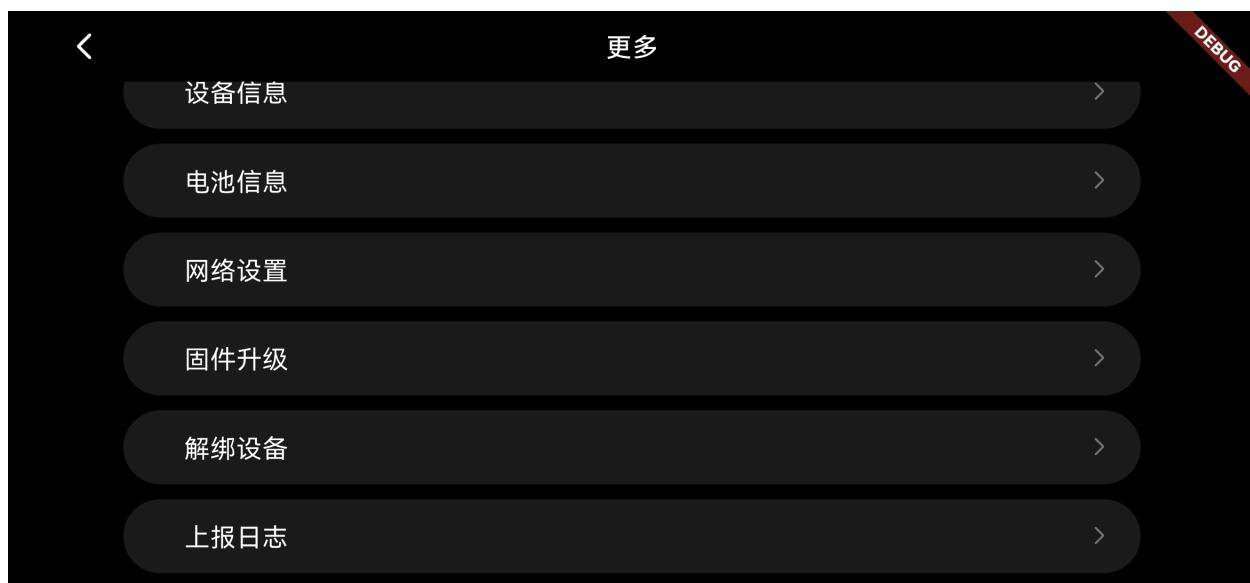
```
* - rtprio 98
```

27.13 connect 返回报错: Failed to connect to robot, code: ErrorCode.SERVICE_ERROR, message: failed to connect to all addresses; last error: UNKNOWN: ipv4:192.168.54.119:50051: Failed to connect to remote host: Connection refused

1. 无法 ping 通 192.168.54.119：
 - 网线连接异常，检查硬件连接；
 - 算力包 IP 配置不是 192.168.54.xx 网段；
2. 本体网关服务异常：
 - 尝试重启，恢复本体软件正常运行；

27.14 如何查看机器本体软件版本？

方法一：通过 APP 查看机器人 OTA 软件版本：





方法二：登录到机器本体内查看 OTA 软件版本：

```
# 登录到机器本体  
ssh eame@192.168.54.119  
# 查看机器上次OTA软件版本  
cat /home/eame/devID/local_version.json
```

27.15 执 行 特 技 报 错: Failed to execute robot trick, code:

ErrorCode.SERVICE_ERROR, message: 优先级过低

原因一：调用的特技指令 ID 不在 TrickAction 枚举范围内；

原因二：机器需要处于落地状态，并且切换到 balance_stand 步态下；

注意：人形机器人要 `recovery_stand` 状态下落地，落地之后才能切 `balance_stand`，之后才能做特技等其他动作