

# 中力具身装卸机器人系统通信协议

## 文档说明

一、通信拓扑结构

二、基础通信信息

三、MQTT Topic 定义规范

四、消息格式定义

    4.1 公共字段

    4.2 业务消息详情

        4.2.1 调度下发任务消息 (Topic: EP/master/{robotId}/task)

        4.2.2 机器人上报任务状态消息 (Topic: EP/master/{robotId}/task\_status)

        4.2.3 具身大脑下发动作指令消息 (Topic: EP/{robotId}/embrain/cerebellum/action)

        4.2.4 车载小脑反馈动作状态消息 (Topic: EP/{robotId}/cerebellum/embrain/action\_status)

        4.2.5 车载网关上报设备状态消息 (Topic: EP/master/{robotId}/state)

        4.2.6 具身大脑下发轨迹指令消息 (Topic: EP/{robotId}/embrain/cerebellum/trajectory)

        4.2.7 车载小脑反馈轨迹状态消息 (Topic: EP/{robotId}/cerebellum/embrain/trajectory\_status)

五、核心交互流程

版本	说明	参与人
alpha	初始版本	刘义
beta	初始版本	刘义 杨松超

## 文档说明

本文档旨在定义机器人系统中各模块基于 MQTT 协议的通信标准，明确通信拓扑、Topic 规则、消息格式及交互流程，确保调度模块、机器人（具身大脑、车载小脑、车载网关）之间数据传输的一致性、可靠性和可扩展性，适用于系统开发、集成测试及维护阶段的参考依据。

# 一、通信拓扑结构

系统采用“调度模块–机器人–消息代理”的分布式通信架构，通过 MQTT Broker 实现各模块间的间接通信，避免模块间直接耦合。

# 二、基础通信信息

配置项	详细说明
核心模块组成	1 个调度模块 (EP/master) + N 个机器人节点；每个机器人含 1 个具身大脑 + 1 个车载小脑 + 1 个车载网关
通信模式	MQTT 3.1.1 / 5.0 协议，Client–Broker 架构 (发布–订阅模式)
数据交换格式	JSON 格式，采用 UTF-8 编码，确保多语言环境兼容性
设备唯一标识	机器人 ID 格式为 robot-xxx (如 robot-001)，全局唯一不可重复
时间戳标准	统一使用 ISO-8601 UTC 时间格式 (示例：2025-09-03T08:00:00.000Z)

# 三、MQTT Topic 定义规范

Topic 采用层级化命名规则，通过“/”分隔不同层级，明确通信方向与业务场景，支持通过{robotId}通配符适配不同机器人节点。

序号	通信场景	Topic 格式	消息发布方	消息订阅方	业务说明
1	调度模块 → 具身大脑	EP/master/{robotId}/task	调度模块	目标机器人具身大脑	调度模块向指定机器人下发任务

2	具身大脑 → 调度模块	EP/master/{robotId}/task_status	目标机器人具身大脑	调度模块	机器人向调度模块上报任务执行状态
3	具身大脑 → 车载小脑	EP/{robotId}/embrain/cerebellum/action	机器人具身大脑	同机器人车载小脑	具身大脑向车载小脑下发具体动作指令
4	车载小脑 → 具身大脑	EP/{robotId}/cerebellum/embrain/action_status	同机器人车载小脑	机器人具身大脑	车载小脑向具身大脑反馈动作执行结果
5	车载网关 → 调度模块	EP/master/{robotId}/state	目标机器人车载网关	调度模块	车载网关向调度模块实时上报设备状态信息
6	具身大脑 → 车载小脑	EP/{robotId}/embrain/cerebellum/trajec-tory	机器人具身大脑	同机器人车载小脑	具身大脑向车载小脑下发运动轨迹指令
7	车载小脑 → 具身大脑	EP/{robotId}/cerebellum/embrain/trajec-tory_status	同机器人车载小脑	机器人具身大脑	车载小脑向具身大脑反馈轨迹执行状态

## 四、消息格式定义

### 4.1 公共字段

所有业务消息均包含以下公共字段，用于时间追溯：

字段名	数据类型	说明	示例值

timestamp	String	ISO-8601 UTC 时间戳，精确到毫秒	2025-09-03T08:00:00.000Z
-----------	--------	------------------------	--------------------------

## 4.2 业务消息详情

### 4.2.1 调度下发任务消息 (Topic: EP/master/{robotId}/task)

用于调度模块向机器人分配搬运、装卸等任务，包含任务起点、终点及动作要求。

```

1  {
2      "timestamp": "2025-09-03T08:00:00.000Z",
3      "taskId": "task-robot001-20250903-001",
4      "startArea": "仓库A3区",
5      "startAction": "ground_pick",
6      "targetArea": "车间B2区",
7      "targetAction": "unload"
8  }

```

字段名	数据类型	说明	约束条件
taskId	String	任务唯一标识，建议格式：task-{robotId}-{日期}-{序号}	全局唯一
startArea	String	任务起始区域	非空
startAction	String	起始区域动作类型	枚举值： ground_pick/ground_place/load/unload
targetArea	String	任务目标区域	非空
targetAction	String	目标区域动作类型	枚举值： ground_pick/ground_place/load/unload

### 4.2.2 机器人上报任务状态消息 (Topic: EP/master/{robotId}/task\_status)

机器人完成任务后，向调度模块反馈执行结果，包含成功/失败状态及原因。

```

1  {
2      "timestamp": "2025-09-03T08:05:00.000Z",
3      "taskId": "task-robot001-20250903-001",
4      "status": "success",
5      "finishTime": "2025-09-03T08:04:50.000Z",
6      "reason": ""
7  }

```

字段名	数据类型	说明	约束条件
taskId	String	关联的任务 ID	需与调度下发的taskId一致
status	String	任务执行状态	枚举值: success/failed
finishTime	String	任务完成时间 (ISO-8601 UTC)	status为success时非空
reason	String	任务失败原因描述	status为failed时非空, 否则为空

#### 4.2.3 具身大脑下发动作指令消息 (Topic: EP/{robotId}/embrain/cerebellum/action)

具身大脑解析任务后，向车载小脑下发具体动作指令（如地面取、地面放），包含动作参数与目标姿态。

```

1  {
2      "timestamp": "2025-09-03T08:01:40.000Z",
3      "actionId": "action-robot001-20250903-001",
4      "actionType": "ground_pick",
5      "containerPose": {
6          "x": 20.5,
7          "y": 15.3,
8          "z": 0.1,
9          "theta": 180.0
10     },
11     "containerType": "AGV-T300"
12 }

```

字段名	数据类型	说明	约束条件

actionId	String	动作指令唯一标识，格式：action-{robotId}-{日期}-{序号}	全局唯一
actionType	String	动作类型	枚举值： ground_pick/ground_place/load/unload
containerPose	Object	容器/货物姿态（三维坐标+角度）	x/y/z单位：米；theta单位：度
containerType	String	容器/货物类型	非空

#### 4.2.4 车载小脑反馈动作状态消息 (Topic: EP/{robotId}/cerebellum/embrain/action\_status)

车载小脑执行动作后，向具身大脑反馈执行结果，包含错误码与描述（若失败）。

```

1  {
2      "timestamp": "2025-09-03T08:02:30.000Z",
3      "actionId": "action-robot001-20250903-001",
4      "status": "success",
5      "errorCode": 0,
6      "errorDesc": "",
7      "finishTime": "2025-09-03T08:02:29.000Z"
8  }

```

字段名	数据类型	说明	约束条件
actionId	String	关联的动作指令 ID	需与具身大脑下发的actionId一致
status	String	动作执行状态	枚举值： success/failed
errorCode	Integer	错误码（0 表示无错误）	status为failed时非 0
errorDesc	String	错误描述	status为failed时非空，否则为空

finishTime	String	动作完成时间 (ISO-8601 UTC)	非空
------------	--------	-----------------------	----

#### 4.2.5 车载网关上报设备状态消息 (Topic: EP/master/{robotId}/state)

车载网关定期或触发式向调度模块上报机器人实时状态，包括位置信息、设备状态及错误信息。

```

1  {
2      "timestamp": "2025-09-03T08:03:15.000Z",
3      "pose": {
4          "x": 10.2,
5          "y": 5.8,
6          "theta": 90.0
7      },
8      "forkliftState": {
9          "height": 0.5,
10         "weight": 150.2,
11         "lateralShift": 0.3,
12         "forwardExtension": 0.8,
13         "tiltBack": true,
14         "status": "ready"
15     },
16     "battery": {
17         "level": 85,
18         "charging": false
19     },
20     "errors": [
21         {
22             "code": 2001,
23             "desc": "货叉高度接近上限",
24             "timestamp": "2025-09-03T08:02:50.000Z"
25         }
26     ],
27     "systemState": "running"
28 }
```

字段名	数据类型	说明	约束条件
pose	Object	机器人平面位姿信息	x/y单位：米；theta单位：度（航向角）
forkliftState	Object	货叉状态信息	-
forkliftState.height	Number	货叉高度	单位：米， $\geq 0$

forkliftState.weight	Number	货叉负载重量	单位：千克，≥0
forkliftState.lateralShift	Number	货叉侧移量	单位：米
forkliftState.forwardExtension	Number	货叉前伸量	单位：米，≥0
forkliftState.tiltBack	Boolean	货叉是否后倾	true/false
forkliftState.status	String	货叉工作状态	枚举值： ready/moving/error
battery	Object	电池状态信息	-
battery.level	Integer	电池剩余电量	单位：百分比，0–100
battery.charging	Boolean	是否正在充电	true/false
errors	Array	错误信息列表（含原警告与故障）	每项为包含code/desc/timestamp的对象
systemState	String	机器人整体运行状态	枚举值： idle/running/paused/fault

#### 4.2.6 具身大脑下发轨迹指令消息 (Topic: EP/{robotId}/embrain/cerebellum/trajectory)

具身大脑根据任务规划生成运动轨迹，向车载小脑下发轨迹指令，包含轨迹点集及最大运行速度。

```

1  {
2      "timestamp": "2025-09-03T08:06:00.000Z",
3      "trajectoryId": "traj-robot001-20250903-001",
4      "trajectoryPoints": [
5          {
6              "x": 10.2,
7              "y": 5.8,
8              "theta": 90.0
9          },
10         {
11             "x": 12.5,
12             "y": 5.8,
13             "theta": 90.0
14         },
15         {
16             "x": 12.5,
17             "y": 8.0,
18             "theta": 0.0
19         }
20     ],
21     "maxSpeed": 1.5
22 }

```

字段名	数据类型	说明	约束条件
trajectoryId	String	轨迹指令唯一标识，格式：traj-{robotId}-{日期}-{序号}	全局唯一
trajectoryPoints	Array	轨迹点集，按运动顺序排列	每个点包含x/y/theta三维参数
trajectoryPoints[].x	Number	轨迹点X坐标	单位：米
trajectoryPoints[].y	Number	轨迹点Y坐标	单位：米
trajectoryPoints[].theta	Number	轨迹点航向角	单位：度
maxSpeed	Number	轨迹运行最大速度	单位：米/秒， >0

#### 4.2.7 车载小脑反馈轨迹状态消息 (Topic: EP/{robotId}/cerebellum/embrain/trajectory\_status)

车载小脑执行轨迹指令过程中及完成后，向具身大脑反馈轨迹执行状态，包含当前进度及错误信息（若有）。

```
1  {
2      "timestamp": "2025-09-03T08:07:30.000Z",
3      "trajectoryId": "traj-robot001-20250903-001",
4      "status": "running",
5      "currentPointIndex": 2,
6      "errorCode": 0,
7      "errorDesc": "",
8      "estimatedFinishTime": "2025-09-03T08:08:10.000Z",
9      "finishTime": ""
10 }
```

字段名	数据类型	说明	约束条件
trajectoryId	String	关联的轨迹指令 ID	需与具身大脑下发的 trajectoryId一致
status	String	轨迹执行状态	枚举值： pending/running/completed/failed
currentPointIndex	Integer	当前执行的轨迹点索引	从0开始，status为 running时非空
errorCode	Integer	错误码（0 表示无错误）	status为failed时非0
errorDesc	String	错误描述	status为failed时非空，否则为空
estimatedFinishTime	String	预计完成时间（ISO-8601 UTC）	status为running时非空
finishTime	String	实际完成时间（ISO-8601 UTC）	status为completed时非空，否则为空

## 五、核心交互流程

以机器人执行“从仓库地面取货并送至车间卸车”任务为例，核心交互时序如下：

