

# 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、可靠性与可扩展性，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，≥0

forkliftState.weight	Number	货叉负载重量	单位：千克， $\geq 0$
forkliftState.lateralShift	Number	货叉侧移量	单位：米
forkliftState.forwardExtension	Number	货叉前伸量	单位：米， $\geq 0$
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：

核心交互流程：调度下发任务→机器人执行（地面取货+卸车）

