



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

工业应用移动机器人调度系统数据接口要求

Data interface requirements of industrial mobile robot dispatching system

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

第五版草案（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 录

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 通信接口技术规定 2

6 通信接口报文格式 2

7 业务接口消息格式要求 3

附录 A （资源型） 消息帧头 24

附录 B （资料性） 命令字 25

附录 C （规范性） 数据类型表 26

附录 D （资料性） 常见轨迹同步数据表 27

附录 E （资料性） 异常事件数据表 29

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国机器人标准化技术委员会（SAC/TC 591）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

工业应用移动机器人调度系统数据接口要求

1 范围

本文件规定了工业应用移动机器人调度系统的通信接口模型、报文格式、业务接口消息格式要求。
本文件适用于工业应用移动机器人系统相关软件的设计、开发及应用。
本文件规定了工业应用移动机器人与其调度系统的通讯方式采用TCP或UDP传输协议。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 16977-2019 机器人与机器人装备 坐标系和运动命名原则
GB/T 30030-2013 自动导引车(AGV) 术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地图 map

工业应用移动机器人做路径规划时所使用的场景数据，包含点、段、站等元素。

3.2

订单 order

上层业务系统向调度系统下达需要执行的业务数据。

3.3

任务 task

根据当前执行订单，允许工业应用移动机器人运动或动作所需的相关地图信息及指令序列。

3.4

状态 status

指车体位置、运行、任务、异常事件等的特征。

3.5

物理离线 physical offline

工业应用移动机器人停止向调度系统发送状态消息，并不再占据地图资源，完全脱离调度系统管控。

3.6

逻辑离线 logical offline

工业应用移动机器人不再接收调度系统任务指令消息，依然占据地图资源，没有完全脱离调度系统管控。

3.7

图层 map layer

调度系统中，用来划分不同逻辑地图资源集合的区域描述。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。
调度系统 RCS (robot control system)
工业应用移动机器人 IMR (industrial mobile robot)

5 通信接口模型

RCS与IMR的通信接口模型如图1所示，并符合以下要求：
a) IMR 面向 RCS 开放机器人任务执行和地图同步接口，用于 RCS 的任务执行和地图数据同步；
b) RCS 面向 IMR 开放机器人状态监测接口，用于 IMR 反馈机器人状态。
注：通信方式推荐以RCS作为服务端，IMR作为客户端。

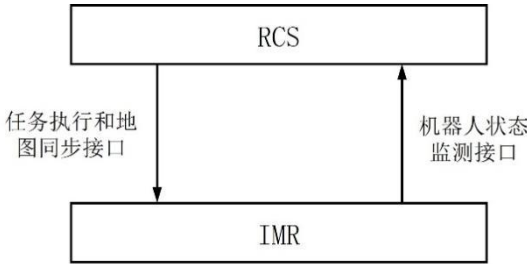


图 1 RCS 与 IMR 通信接口模型

6 通信接口报文格式

RCS与IMR的交互消息由四个单元数据(消息帧头、消息体、消息体校验和消息帧尾部)组成，且按照小端字节序发送。具体数据结构见表1所示。

表 1 消息数据结构表

消息帧头	
消息体	消息类型
	消息数据
消息体校验	
消息帧尾部	

消息帧头：消息帧的开始位置用来区分不同数据的特殊标记，基本格式见附录A。
消息类型：按照RCS和IMR之间的消息交互内容划分为如表2所示的几种消息类型，详细的命令字类型见附录B。

表 2 消息类型表

类型	消息发送方向	描述	选项
地图	RCS->IMR	用于IMR行走的地图	可选

类型	消息发送方向	描述	选项
任务	RCS->IMR	RCS下达的任务，包括新建、变更和取消等	必选
IMR 状态	IMR->RCS	状态定时上报，当IMR机器人状态数据发生变化后及时发送给 RCS	必选
动作	RCS->IMR	RCS给IMR下发需要执行的动作	必选
IMR 注册	IMR->RCS	车辆本体的详细参数	可选

消息数据：消息体中实现接口功能的详细数据。

消息体校验：所有的消息都需要进行数据完整性校验。消息体的所有字节进行CRC16_MODBUS (8005) 校验得到两个字节。

消息帧尾部：消息帧的尾部位置用来作为数据帧结束的特殊标记，指定为ASC II 字符ETX (ASC II 值为3)，只占有一个字节。

注：在二进制数据报文中，除了消息帧头部标识、消息方向标识和消息帧尾部数据，其他部分数据推荐以Base64编码方式进行解析和封装，且应依据附录C的规范对数据类型进行约束。

7 业务接口消息格式要求

7.1 地图

IMR车体坐标系与地图的世界坐标系定义应按照GB/T 16977中要求的右手坐标系原则，旋转方向的定义应按照GB/T 16977中的右手螺旋定则，前进(X)方向为正方向，Z轴指向天空，如图2所示。

系统地图的坐标原点的定义标准是以地图左下角作为坐标系的原点。

X、Y和Z的坐标以毫米为单位。方向以弧度为单位，并且必须在 $[-\pi, \pi]$ 范围内，车头朝向世界坐标系的X轴正方向时为零弧度。

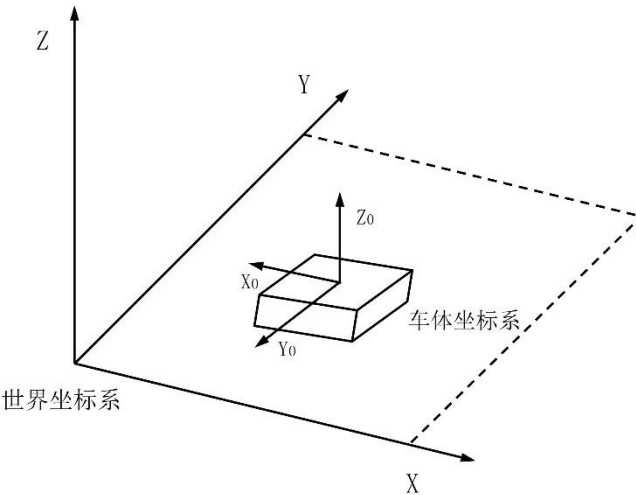


图 2 地图世界坐标系与车体坐标系

地图信息是由地图的点和段资源汇聚组成的一条完整的通讯数据报文，具体见表3所示。

表 3 地图信息结构表

对象名	单位	数据类型	描述	选项
-----	----	------	----	----

对象名	单位	数据类型	描述	选项
IMR ID	-	uint	IMR 的唯一标识。	必选
地图名称	-	uchar[]	同步更新的地图文件名称。 数组成员使用数量可自行定义，消息数据由固定 16 个成员组成占位。	必选
版本号	-	ushort	版本迭代标识。	可选
图层 ID	-	ushort	区域的唯一 ID。	可选
点资源数量	-	uint	地图中点资源对象数组的成员数量。	可选
点集合[]	-	结构体[]	地图中的点资源对象数组。 见地图点结构表 3.1 所示。	可选
段资源数量	-	uint	地图中段资源对象数组的成员数量。	可选
段集合[]	-	结构体[]	地图中的段资源对象数组。 见地图段结构表 3.2 所示。	可选

注：在消息数据的表格中，当对象没被应用时，其子对象的选项即使是必选也不会被应用。

表 3.1 地图点结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
点 ID	-	uint	本图层中的点 ID。	必选
是否支持通讯	-	ushort	支持 = 0x01 不支持 = 0x00	必选
点位置 {	-	结构体	描述点的位置。	必选
X	mm	int	该点在地图中的 x 坐标。	必选
Y	mm	int	该点在地图中的 y 坐标。	必选
点位朝向 }	rad	float	弧度范围: $[-\pi, \pi]$ 。定义了 IMR 到达点位置时的绝对车体方向角。 此数值被用于车辆在此点上线时，车头被约束的方向。	可选
属性	-	ushort	充电点 = 0x01 自旋点 = 0x02 移栽点 = 0x03 其他数值含义，用户可自定义。	可选
是否允许上线	-	ushort	允许上线 = 0x01 此点不允许上线 = 0x00	可选
车辆类型	-	uint	每一位二进制对应一种车辆类型，可同时在线 32 种车辆类型。	可选

表 3.2 地图段结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
段 ID	-	uint	本图层中的段 ID。	必选
类型	-	ushort	默认为直线 = 0x00，见附录 D.1 所示。 圆弧路段 = 0x01，见附录 D.2 所示。 贝塞尔曲线 = 0x02，见附录 D.3 所示。 非均匀有理 B 样条曲线 = 0x03，见附录 D.4 所示。 其他数值含义，用户可自定义。	必选
段起点 ID	-	uint	本图层中的段起点 ID。	必选
段终点 ID	-	uint	本图层中的段终点 ID。	必选

对象	单位	数据类型	描述	选项
是否支持通讯	-	ushort	支持 = 0x01 不支持 = 0x00	必选
是否允许上线	-	ushort	支持上线 = 0x01 不支持上线 = 0x00	可选
车辆类型	-	uint	每一位二进制对应一种车辆类型，可同时在线 32 种车辆类型。	可选
最大限速	mm/s	uint	此段上的最大线速度限制。	可选
路由方向	-	ushort	正向 = 0x01 车辆由段起点移动到段终点的方向。 反向 = 0x02 车辆由段终点移动到段起点的方向。 双向 = 0x03 车辆可行走路由正向和反向两个方向。 禁止通行 = 0x04 此路段禁止通行。	可选
车头方向	rad	float	车头方向范围: $[-\pi, \pi]$ 。	可选
允许自旋	-	ushort	支持 = 0x01 不支持 = 0x00	可选
最大角速度	rad/s	float	此段上的最大角速度限制。	可选
轨迹描述	-	结构体	此段的轨迹结构体对象根据不同曲线类型选择对应的轨迹表参数，详见附录 D。	可选
段的长度	mm	int	-	可选

7.2 任务

订单的基本结构是由任务按队列排序组合而成的，RCS 会遍历所有的任务完成订单。所有订单信息是由 RCS 保存和分配，订单信息由 RCS 计算、切分成任务后下发给 IMR。RCS 应在匹配订单给 IMR 前，检查 IMR 类型，判断订单是否可分配。

任务的基本结构是由点信息和段信息组成的，IMR 会遍历点和段来完成任务。任务消息结构应符合本标准的任务消息结构表 4。

- c) 已分配的点和段一旦分配了一个序列号，它就不会随着订单更新而改变。
- d) 任务的第一个点对于 IMR 来说必须很容易到达。
- e) 只有路段的起始点和结束点都被分配给 IMR，此 IMR 才能得到此路段。
- f) 发送没有预分配资源的任务是有效的，见图 3 所示。
- g) 对于有效的订单，必须至少存在一个任务。
- h) 对于有效的任务，必须至少存在一个点，且段最大的数量要小于点数量。在某些特殊情况下任务可以拥有多个点，且拥有较少的段甚至没有段。

表 4 任务消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
IMR ID	-	uint	IMR 的唯一标识。	必选
订单 ID	-	uint	RCS 内部对订单的唯一标识，用于标识多个任务消息是否属于同一个订单。	必选
任务 KEY	-	uint	RCS 内部对任务的唯一标识。从 1 开始，当每次下发的资源序列有变化时，进行加 1 计算。	必选
点数量	-	ushort	任务中点序列对象数组的成员数量。	必选
点序列[]	-	结构体[]	任务中的点序列对象数组的成员数量。	必选

对象	单位	数据类型	描述	选项
			点数据结构见表 4.1 所示。	
段数量	-	ushort	任务中段序列对象数组的成员数量。	可选
段序列[]	-	结构体[]	任务中的段序列对象数组。 段数据结构见表 4.2 所示。	可选
订单目的地 ID	-	uint	描述订单目的地的 ID 编号。	可选
订单目的地的 图层 ID	-	ushort	订单目的地所在区域的唯一 ID。	可选

表 4.1 任务消息中点消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
序列号	-	uint	用于定位点在整个任务中的位置，目的是为了区分同一个点 ID 是否在一个任务中出现多次。	必选
点 ID	-	uint	本图层中的点 ID。	必选
是否分配	-	ushort	已分配资源 = 0x01 预分配资源 = 0x00	必选
点位置 {	-	结构体	描述点的位置。	可选
x坐标	mm	int	该点在地图中的 x 坐标。	可选
y坐标	mm	int	该点在地图中的 y 坐标。	可选
车体方向角	rad	float	范围: $[-\pi, \pi]$ 定义了 IMR 达到点位置时的车体绝对方向角。 (允许 IMR 进行自主规划运动轨迹)	可选
位置误差	mm	int	误差= 0: 不存在有偏差 误差!= 0: 如果 IMR 通过偏差半径内的点，则认为该点已被遍历。	可选
姿态误差 }	rad	float	范围: $[-\pi, \pi]$ 表示姿态角度偏差的大小。	可选
动作数量	-	ushort	在此点上的动作对象数组的成员数量。	可选
动作[]	-	结构体[]	在此点上的动作对象数组。 参考即时动作消息表 14 中动作结构体对象。	可选
点图层 ID	-	ushort	点所在区域的唯一 ID。	可选
预留长度	-	ushort	预留内存的长度。	可选
预留内存	-	uchar[]	用户可自定义预留内存内容。	可选

表 4.2 任务消息中段消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
序列号	-	uint	用于定位段在整个任务中的位置，目的是为了区分同一个段 ID 是否在一个任务中出现多次。	必选
段 ID	-	uint	本图层中的段 ID。	必选
段类型	-	ushort	默认为直线 = 0x00，见附录 D.1 所示 圆弧路段 = 0x01，见附录 D.2 所示 贝塞尔曲线 = 0x02，见附录 D.3 所示	必选

对象	单位	数据类型	描述	选项
			非均匀有理 B 样条曲线 = 0x03, 见附录 D.4 所示	
是否分配	-	ushort	已分配资源 = 0x01 预分配资源 = 0x00	必选
段起点 ID	-	uint	段起始点的标识, 是未经过的点。	必选
段终点 ID	-	uint	段结束点的标识。	必选
段的长度	mm	int	-	可选
段轨迹	-	结构体	见附录 D 所示, 轨迹为用户可选项。	可选
最大限速	mm/s	uint	此段上的最大线速度限制。	可选
角度方式	-	ushort	与边相切方向 = 0x00 全局绝对方向 = 0x01	可选
角度	rad	float	与边相切方向角度方式时, 默认情况下, 向前 = 0x00, 向后 = 0x01。 全局绝对方向角度方式时, 车头在世界坐标系下的绝对方向角。 车头方向范围: $[-\pi, \pi]$ 。	可选
动作数量	-	ushort	在此段上的动作对象数组的成员数量。	可选
动作[]	-	结构体[]	在此段上的动作对象数组。 参考即时动作消息表 14 中动作结构体对象。	可选
预留长度	-	ushort	预留内存的长度。	可选
预留内存	-	uchar[]	用户可自定义预留内存内容。	可选

7.2.1 任务实现逻辑规定

任务由 RCS 根据当前订单和 IMR 的当前位置生成一个允许 IMR 运动的点和段序列。IMR 在收到一个任务时会解析成点、段序列并生成一个连续的路径轨迹规划, 使 IMR 运动到任务的终点。

在达到目标点之前, RCS 可发送带有追加路段的更新路线。一个完整的任务通常由两个独立的部分组成:

- 行驶至目标点“已分配”的路线: “已分配”是 IMR 行进的定义路线。“已分配”路线的所有点和段是 IMR 务必行驶的路线。如图 3 实线所标记的资源所示。
- 从目标点“预分配”算起的预计路线: “预分配”路线是 IMR 预计的路线, 如果没有交通拥堵等更改路线的需求情况下, 可能会行驶的路线。RCS 尚未给与 IMR 行驶此段路线的权限, IMR 只可根据此路线提前计算行走路由。IMR 只会行驶到起始“已分配”路线的最后一个点。如图 3 虚线所标记的资源所示。

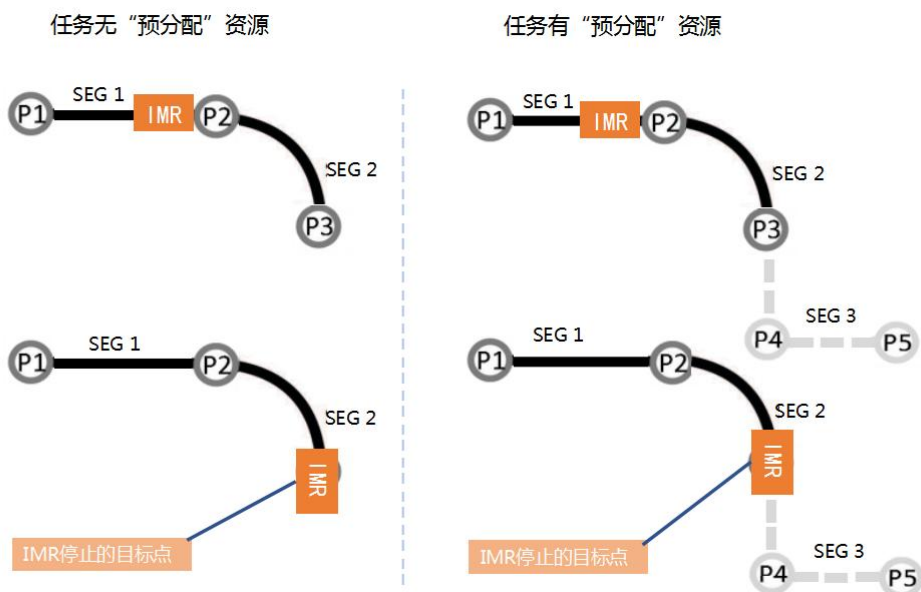


图 3 任务对比示意图

7.2.2 任务变更规定

在 IMR 通过“已分配”路线的目标点之前，RCS 会向 IMR 发送更新的路线，从而更改“预分配”的路线，如图 4 所示。

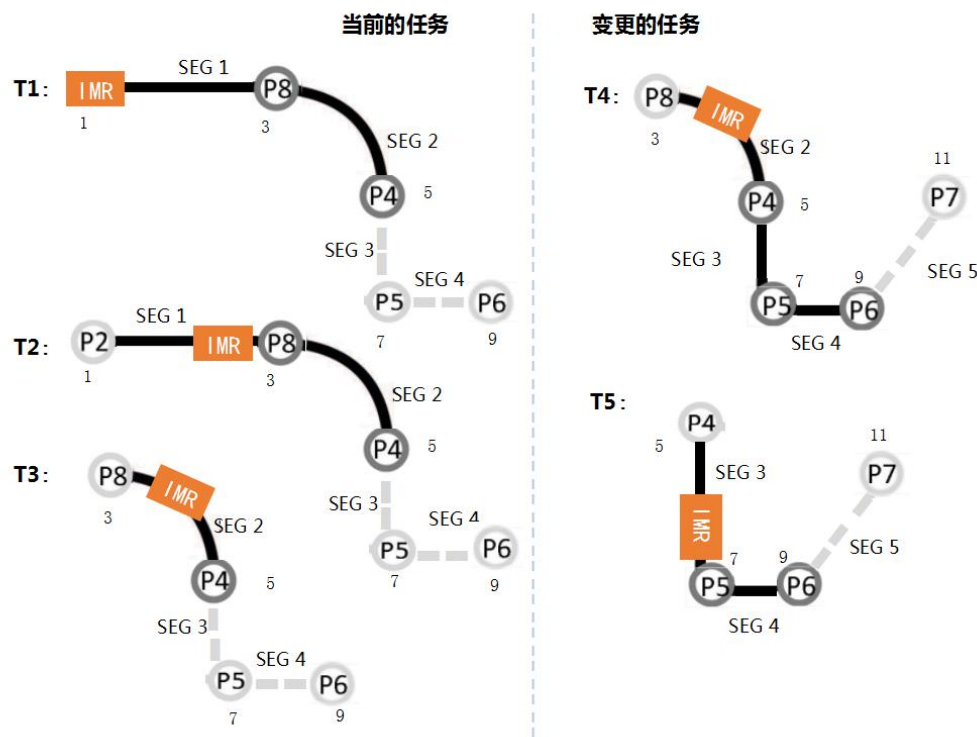


图 4 任务变更示意图

- a) 如图 4，在 T1 时刻，RCS 首先发送一个初始的任务，IMR 接收到此任务后，开始规划路径并驱动车体运行，任务内容见表 5 中 T1 时刻所示。在 T2 时刻，IMR 已离开点 2，需要设置 IMR 状态信息（见位置状态消息结构表 7）中的最后通过点为点 2 和最后通过点的序列号为 1，并即时上报给 RCS。
- b) 在 T3 时刻，IMR 即将到达当前任务的目标点 4，RCS 下达新的变更任务（见表 5 中 T3 时刻所示）。请注意以下两个方面：任务更新的第一个点对应于前一个任务消息的最后一个分配点，IMR 可以基于此点，将更新的任务添加到当前任务；顺序的分配序列号在点和段上使用（顺序的第一个点设为 1，第一条段设为 2，第二个点设为 3，以此类推）。
- c) 在 T4 时刻，IMR 已完成任务的拼接工作，继续向前行驶。在 T5 时刻，IMR 已执行到新拼接的任务部分。

表 5 T1、T3 时刻任务表

对象	T1 时刻新任务	T3 时刻变更任务
订单 ID	1	1
任务 KEY	1	2
已分配点集合	2、8、4	4、5、6
预分配点集合	5、6	7
已分配段集合	1、2	3、4
预分配段集合	3、4	5

RCS 系统在接收到新的任务后，对整个订单的任务更新流程，如图 5 所示。

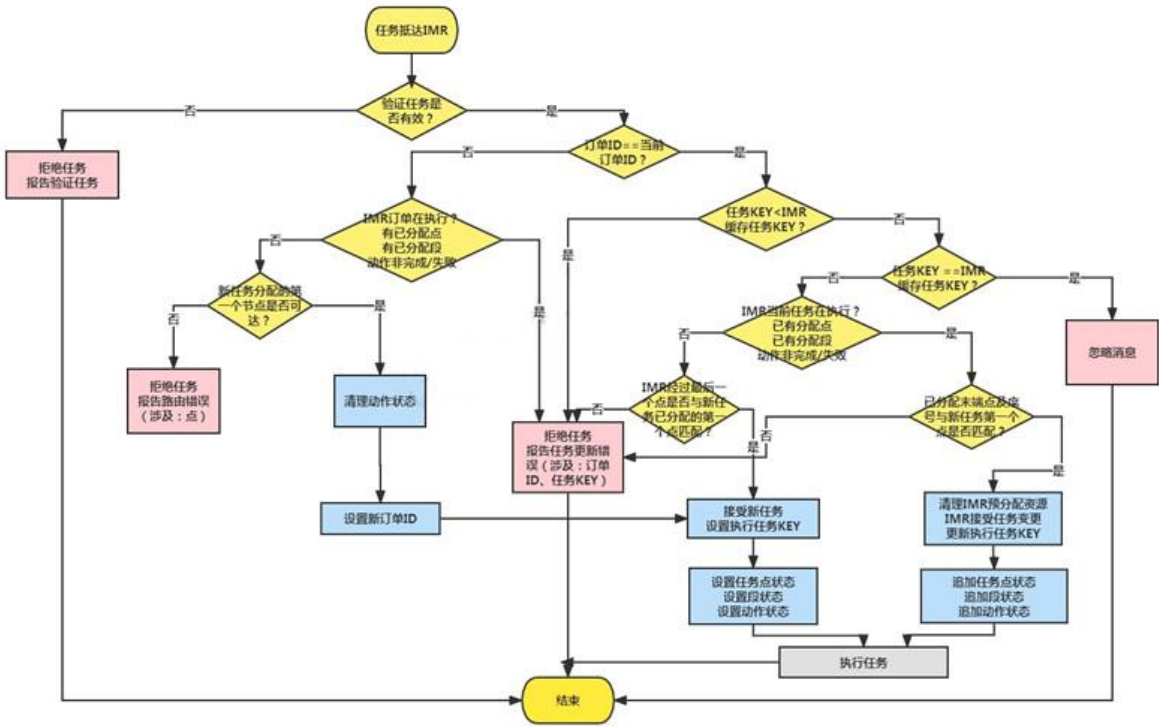


图 5 IMR 接收任务变更的流程

7.2.3 任务取消规定

如果 IMR 分配了任务资源,但是发生了突发事件,需要更改任务,则必须通过使用即时动作“取消任务”来取消任务。

在收到即时动作取消任务后,车辆宜停止到点上。以便取消任务执行的起点就是此时 IMR 所在的位置。

即时动作取消任务可能性状况包括:

- IMR 存在未执行的动作,则必须取消这些动作,并报告此动作已取消。
- IMR 存在正在运行的动作,且可被打断,则应取消这些动作,并报告此动作已取消。
- IMR 存在正在运行的动作不能被中断时,该动作的动作状态应报告“运行”,在动作完成后,报告相应的状态(成功时“完成”,失败时报告“失败”)。
- IMR 的移动和所有动作都停止后,取消任务动作状态报告“已完成”,具体流程见图 6 所示。

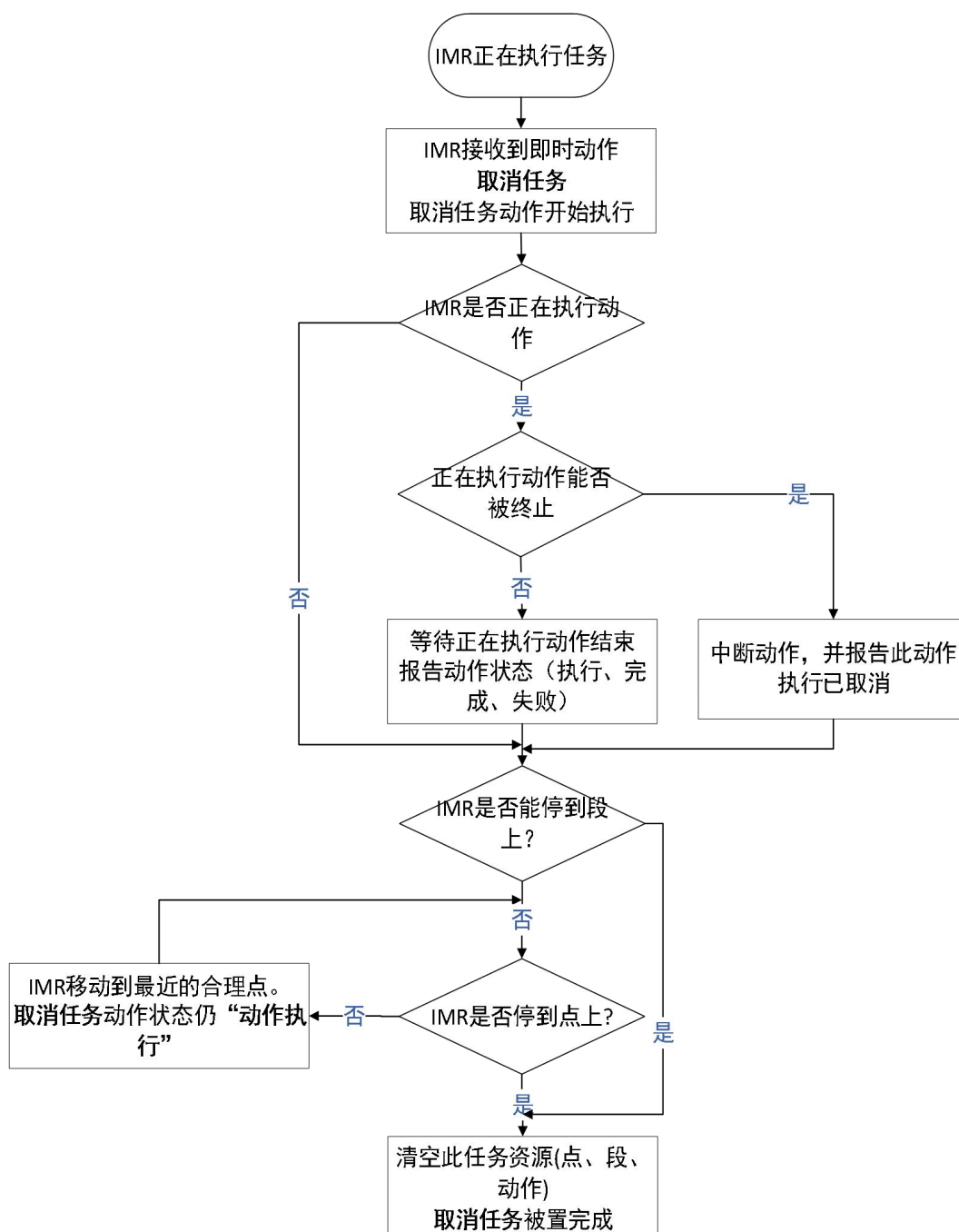


图 6 取消任务流程图

注：取消任务操作是针对任务的取消，不一定取消当前订单，但订单取消，会直接取消任务。

7.2.4 任务拒绝规定

任务拒绝包括以下几种情况。

a) IMR 接收到错误或无法执行的任务

执行步骤：

- 1) IMR 不会接管其内部缓冲区中新的任务
- 2) IMR 报告警告“错误的任务”或“任务无法执行”
- 3) IMR 收到新任务或者 IMR 警告状态确认后，停止上报此警告。

b) IMR 任务衔接资源不匹配

IMR 获取新的任务，新的任务第一个分配点的点序列号、点 ID 与当前任务最后一个分配点的点序列号、点 ID 不一致。

执行步骤：

- 1) IMR 不会接管其内部缓冲区中新的任务
- 2) IMR 保留之前的任务
- 3) IMR 报告警告“任务衔接点不匹配”
- 4) IMR 收到新任务或者 IMR 警告状态确认后，停止上报此警告。

7.3 IMR 状态

7.3.1 状态信息结构规定

此帧消息作为心跳帧，用于判断通讯超时。当状态消息中某些关键对象有变化时，立即上报此帧状态消息。如果没有关键对象触发状态立即上报时，默认上报周期为 1 秒，用户可自行设置反馈周期时长。

可触发立即上报状态的关键对象如下：

- a) 收到一个任务；
- b) 负载状态有变化；
- c) 异常事件或警报；
- d) 通过了一个点；
- e) 运行状态有变化；
- f) 地图坐标位置有变化。

多个关键对象同时变化时应该把所有数据汇总成一帧再上报给 RCS，这样有利于减少通信占用的网络带宽以及 RCS 处理多个 IMR 状态消息带来的工作负载。消息结构应符合本标准状态消息表 6 的规定。

表 6 状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
IMR ID	-	uint	IMR 的唯一标识。	必选
心跳计数	-	uint	机器人的心跳计数，从 1 开始，逐步递增。 当通讯异常时，机器人的心跳计数不必再次从 1 开始递增计数，只有机器人通讯断开或者物理离线后，再次上线时，机器人的心跳计数从 1 开始递增。	必选

对象	单位	数据类型	描述	选项
位置状态信息	-	结构体	IMR 位置信息，见表 7。	必选
运行状态信息	-	结构体	IMR 运行状态信息，见表 8。	必选
任务状态信息	-	结构体	IMR 任务信息，见表 9。	必选
电池状态信息	-	结构体	IMR 电池信息，见表 10。	可选
异常事件数量	-	ushort	异常事件状态信息对象数组的成员数量。	可选
异常事件状态信息[]	-	结构体[]	IMR 的异常事件对象数组。 IMR 异常事件信息，见表 11。	可选
设备状态信息[]	-	结构体[]	用户自定义数据区，如果未定义不必占据消息数据空间。	可选

7.3.2 位置状态信息结构格式

在 IMR 反馈状态中位置状态信息结构格式见下表所示。

表 7 位置状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	可选项
段起点 ID	-	uint	本图层中的 IMR 所在段的起点 ID。	必选
段终点 ID	-	uint	本图层中的 IMR 所在段的终点 ID。	必选
X 坐标	mm	int	IMR 当前轨迹点位置的 x 坐标。	必选
Y 坐标	mm	int	IMR 当前轨迹点位置的 y 坐标。	必选
最后通过点	-	uint	IMR 最后一次通过的点 ID。	必选
初始化完成标识	-	ushort	IMR 的位置是否初始化完成。 完成 = 0x01 未完成 = 0x00	可选
段 ID		uint	本图层中的 IMR 所在段。	可选
段进度量		float	从段起点位置到当前位置，IMR 走过距离的百分比。 范围: [0, 100]	可选
最后通过点在 订单中序列号	-	uint	IMR 最后一次通过的点序列号（在正在执行的订单中，序列号是唯一标识的）。	可选
车头方向	rad	float	IMR 当前轨迹点的绝对车体方向角。 范围: $[-\pi, \pi]$	可选
车所在图层 ID	-	ushort	车所在区域的唯一 ID。	可选

7.3.3 运行状态信息结构格式

在 IMR 反馈状态中运行状态信息结构格式见下表所示。

表 8 运行状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
X 方向速度	mm/s	int	车体 X 方向上的实时线速度。	必选
Y 方向速度	mm/s	int	车体 Y 方向上的实时线速度。	必选
角速度	rad/s	float	IMR 的实时角速度。	必选
工作模式	-	ushort	待机 = 0x00 手动 = 0x01	可选

对象	单位	数据类型	描述	选项
			半自动 = 0x02 自动 = 0x03 示教 = 0x04 服务 = 0x05（升级程序中的工作状态） 维修 = 0x06	
IMR 状态	-	ushort	空闲 = 0x00 运行 = 0x01 暂停 = 0x02 物理离线 = 0x03 逻辑离线 = 0x04	可选
停止字	-	uchar[]	占字节 0: 停止按钮 占字节 1: 急停按钮 占字节 2: 保险杠触发 占字节 3: 安全传感器触发 占字节 4: 手动模式停车 占字节 5: RCS 暂停 占字节 6: 充电中停车 占字节 7: 导航丢失 占字节 8: 驱动轮空转 占字节 9-31: 自定义 注: 事件触发 = 0x01, 未触发 = 0x00。 数组成员使用数量可自行定义, 可最多支持 32 个停止字同时上报, 消息数据由固定 32 个成员组成占位。	可选
动作状态数量	-	ushort	动作状态对象数组的成员数量。	可选
动作状态[]	-	结构体[]	IMR 反馈的动作状态对象数组。 描述 IMR 可执行的设备动作数据结构见表 8.1 所示。	可选
载货状态数量	-	ushort	载货状态对象数组的成员数量。	可选
载货状态[]	-	结构体[]	IMR 的载货状态对象数组。 IMR 的载货状态信息, 见表 8.2。	可选

表 8.1 运行状态消息中动作状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
动作 ID	-	uchar[]	动作的唯一标识。 根据实际应用定义, 消息数据由固定 16 个成员组成占位。	必选
动作参数长度	-	ushort	动作参数的长度。	必选
动作参数	-	uchar[]	动作参数需与 IMR 根据实际应用约定。	必选
动作状态	-	ushort	动作初始化 = 0x01, 需要初始化动作 动作执行 = 0x02, 正在执行动作中 动作挂起 = 0x03, 由即时动作或外部触发器挂起 动作完成 = 0x04, 动作执行完成 动作失败 = 0x05, 无法继续执行此动作	必选

对象	单位	数据类型	描述	选项
			动作待触发 = 0x06，等待触发执行（通过点，进入段等）	
动作结果长度	-	ushort	动作结果的长度。	可选
动作结果	-	uchar[]	动作执行完成，传感器或读卡器等设备返回的结果。	可选

表 8.2 运行状态消息中载货状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
货物 ID	-	uchar[]	货物码，根据实际应用定义，消息数据由固定 64 个成员组成占位。	必选
状态	-	ushort	有货 = 0x01 无货 = 0x00	必选
货物类型	-	uint	根据实际应用定义。	可选
位置 {	-	结构体	货物位置信息的坐标系是基于 IMR 的车体坐标系。	可选
X	mm	int	货物在车体坐标系下的 x 坐标。	可选
Y	mm	int	货物在车体坐标系下的 y 坐标。	可选
Z }	mm	int	货物在车体坐标系下的 z 坐标。	可选
方向	rad	float	货物在车体坐标系下的方向角。范围：[$-\pi$, π]	可选
尺寸 {	-	结构体	货物的长宽高信息，根据实际应用定义。	可选
长度	mm	int	-	可选
宽度	mm	int	-	可选
高度 }	mm	int	-	可选
重量	kg	float	货物的重量。	可选
描述	-	uchar[]	根据实际应用定义，消息数据由固定 32 个成员组成占位。	可选

7.3.4 任务状态信息结构格式

IMR 通过遍历的点时，从点状态序列中删除其点状态并将位置状态信息中的“最后通过点”和“最后通过点在订单中序列号”设置为遍历点的值。

IMR 从段离开，应从段状态序列中删除此段状态，并且应完成在段上活动的动作。

IMR 反馈状态中的当前任务状态消息结构格式见下表所示。

表 9 任务状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
订单 ID	-	uint	RCS 内部对订单的唯一标识。用于标识多个任务消息是否属于同一个订单。	必选
任务 KEY	-	uint	IMR 当前执行订单 ID 和任务 KEY，2 个字段共同标识 IMR 正在执行的订单状态。 IMR 在未收到新的订单 ID 和任务 KEY 时一直维持之前的订单 ID 和 KEY。	必选

对象	单位	数据类型	描述	选项
点状态数量	-	ushort	点状态序列对象数组的成员数量。	可选
点状态序列[]	-	结构体[]	已收到且未执行的点状态序列。 结构见表 9.1 所示。	可选
段状态数量	-	ushort	段状态序列对象数组的成员数量。	可选
段状态序列[]	-	结构体[]	已收到且未执行的段状态序列。 结构见表 9.2 所示。	可选

表 9.1 任务状态消息中点状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
序列号	-	uint	用于定位点在整个任务中的位置。目的是为了区分同一个点 ID 是否在一个任务中出现多次。	必选
点 ID	-	uint	本图层中的点 ID。	必选
是否分配	-	ushort	已分配资源 = 0x01 预分配资源 = 0x00	必选
点位置 {	-	结构体	描述点的位置。	可选
x 坐标	mm	int	该点在地图中的 x 坐标。	可选
y 坐标	mm	int	该点在地图中的 y 坐标。	可选
车体方角 }	rad	float	范围: $[-\pi, \pi]$ 定义了 IMR 达到点位置时的绝对车体方向角。	可选

表 9.2 任务状态消息中段状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
序列号	-	uint	用于定位段在整个任务中的位置。目的是为了区分同一个段 ID 是否在一个任务中出现多次。	必选
段 ID	-	uint	本图层中的段 ID。	必选
是否分配	-	ushort	已分配资源 = 0x01 预分配资源 = 0x00	必选
段类型	-	ushort	默认为直线 = 0x00，见附录 D.1 所示 圆弧路段 = 0x01，见附录 D.2 所示 贝塞尔曲线 = 0x02，见附录 D.3 所示 非均匀有理 B 样条曲线 = 0x03，见附录 D.4 所示	可选
段轨迹	-	结构体	见附录 D 所示，轨迹为用户可选项。	可选

7.3.5 电池状态信息结构格式

IMR 反馈状态中电池状态信息结构格式见下表所示。

表 10 电池状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
电池序列号	-	uchar[]	电池唯一标识的序列号。 数组成员使用数量可自行定义，消息数据由固定 16 个成员组成占位。	可选

对象	单位	数据类型	描述	选项
是否充电	-	ushort	充电 = 0x01 放电 = 0x00	可选
是否充满	-	ushort	充满 = 0x01 未充满 = 0x00	可选
电量百分比	%	float	电池剩余电量相对于其满电状态的比例，以百分比形式表示。 范围：[0, 100]	可选
电池电压	V	float	-	可选
电池电流	A	float	电流值正数时电流正向 电流值负数时电流负向	可选
电池温度	℃	float	电池当前的摄氏温度。	可选
电池充电次数	-	uint	电池组寿命统计（循环使用次数或充电次数）。	可选

7.3.6 异常事件状态信息结构格式

IMR 反馈状态中异常事件状态信息结构格式见下表所示。

表 11 异常事件状态消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
特殊标识符	-	ushort	此标识符为 0xFFFF，以标记此异常事件为此协议规范内容	必选
事件码	-	ushort	导航类型异常内容，见附录 E.1 所示； 车体类型异常内容，见附录 E.2 所示； 安全类型异常内容，见附录 E.3 所示； 任务类型异常内容，见附录 E.4 所示； 地图类型异常内容，见附录 E.5 所示； 电池类型异常内容，见附录 E.6 所示； 预留自定义类型异常，根据实际应用定义，数值范围： [0x6000 ... 0xFFFF] 注：0 为无效事件码	必选
异常等级	-	ushort	信息 = 0x00 警告 = 0x01 错误 = 0x02	必选
异常描述	-	uchar[]	根据实际应用定义，消息数据由固定 8 个成员组成占位。	可选

7.3.7 设备状态信息结构格式

以自定义二进制数据格式扩展。

7.3.8 状态确认信息结构格式

状态确认信息结构不仅对当前 IMR 状态进行反馈，同时也对车载内外部设备进行数据写入。IMR 状态确认信息结构格式见下表所示。

表 12 状态确认消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
IMR ID	-	uint	IMR 的唯一标识	必选
状态确认	-	ushort	车辆未注册 = 0x00 正常状态 = 0x01 点禁止上线 = 0x02 不匹配车型 = 0x03 其它车占有 = 0x04 地图未找到 = 0x05 物理离线确认 = 0x06 其他数值用户可自定义。	必选
心跳计数	-	uint	此计数为机器人反馈的心跳计数。	可选
设备数据[]	-	结构体[]	RCS 下发给 IMR 的设备数据，用户可自定义数据区，如果未定义不必占据此块消息数据。	可选

7.3.9 IMR 状态机应用规定

IMR车辆自动模式共有三种基本状态：空闲，运行，暂停。人工干预共有两种基本状态：逻辑离线和物理离线。车辆状态机如图 7 所示。

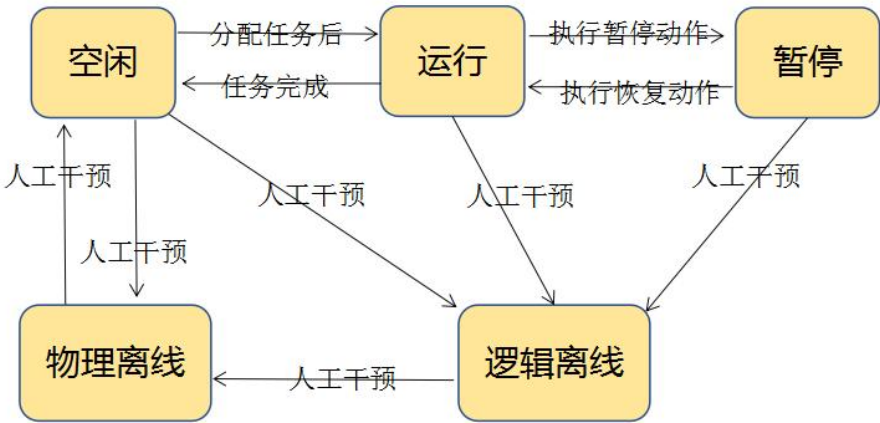


图 7 IMR 状态转换图

注：在自动和离线状态转换的应用场景中，工业应用移动机器人需要被外部行为强制人工干预，进行 IMR 状态转换。

7.4 动作

7.4.1 概述

动作分为即时动作和任务中的动作两种：即时动作是单独给 IMR 的动作指令，具备即时性；

任务中的动作是任务的组成部分，根据任务分配原则，下发给 IMR 执行。

7.4.2 动作参数、范围规定

常用动作的参数和规定如表13所示。

表 13 常用动作参数规定表

指令	动作 ID 字符串	指令参数	描述	即时动作	任务中的动作
车体暂停	pause	-	IMR 暂停轨迹规划和运动。IMR 可以停在点或段上等待 RCS 发出车体恢复动作指令。在当前点或段上正在执行的动作可以继续。可以接收其他立即动作指令。	是	否
车体恢复	resume	-	IMR 恢复运动和恢复订单执行。	是	否
睡眠	sleep	-	IMR 关闭除车载控制器外的所有其他电器部件电源，并等待 RCS 发出唤醒动作指令。IMR 状态信息上报，停止接收任务，只接收“唤醒”立即动作指令。	否	是
唤醒	wakeUp	-	IMR 恢复所有电器部件电源，并接收任务和其他立即动作指令。	否	是
蜂鸣器报警	buzzer	仅声音、声光、声光并停车。	打开 IMR 车载蜂鸣器或状态指示灯进行报警。 必要时 IMR 暂停运动和轨迹规划，等待接收“恢复”立即动作指令。	是	是
远程关机	powerOff	-	IMR 关闭所有其他电器部件电源和车载控制器电源。	是	是
充电	startCharging	-	IMR 与充电机触点对接上，开始对电池充电。	是	是
结束充电	stopCharging	-	IMR 结束对电池充电，并断开与充电机之间的触点。	是	否
取货	pick	叉车：包括站点类型、站点 ID、货物类型、货物 ID、动作高度、托盘高度、站点高度等。 辊道：左右侧、上下层、辊道 ID 等。	请求 IMR 装载一个货物。如果 IMR 有多个装载设备，可同时装载多个货物。	是	是
送货	drop	同上。	请求 IMR 卸载一个或多个货物。	是	是
等待	wait	触发条件：延时按钮、结束等待。	IMR 等待一个触发条件时结束等待动作。	是	是
结束等	exitWaiting	-	结束等待动作。	是	否

指令	动作 ID 字符串	指令参数	描述	即时动作	任务中的动作
待					
取消任务	cancelTask	-	参考 7.2.3 章节。	是	否
重定位动作	InitPosition	图层 ID、 X、 Y、方向角和节点 ID 等。	IMR 初始化位置变化时，IMR 可能需要重置姿态。	是	是

7.4.3 IMR 即时动作消息的实现

IMR即时动作的对象、单位、数据类型和描述等如表14所示。

表 14 即时动作消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	可选项
IMR ID	-	uint	IMR 的唯一标识。	必选
动作 {	-	结构体	描述 IMR 可执行的设备动作。	必选
动作 ID	-	uchar[]	动作的唯一标识。 数组成员使用数量可自行定义，消息数据由固定 16 个成员组成占位。	必选
动作参数长度	-	ushort	动作参数的长度。	必选
动作参数	-	uchar[]	动作参数需与 IMR 根据实际应用约定。	必选
动作同步类型 }	-	ushort	允许 IMR 行驶，且允许其他动作执行 = 0x00 允许 IMR 行驶，但不允许其他动作执行 = 0x01 IMR 停止，但允许其他动作执行 = 0x02 IMR 停止，且不允许其他动作执行 = 0x03	可选

7.4.4 动作状态机应用规定

某些动作可能在满足以下两个条件的情况下触发：

- a) 一旦 IMR 报告该点已遍历，IMR 必须触发与该点关联的操作。
- b) 点被遍历，也标志着 IMR 进入下一条段的时刻。如果有下一条段的情况下，进入时刻，必须触发段动作。

图 8 提供了一个动作状态转换图，包括即时动作状态转换和任务中的动作状态转换。

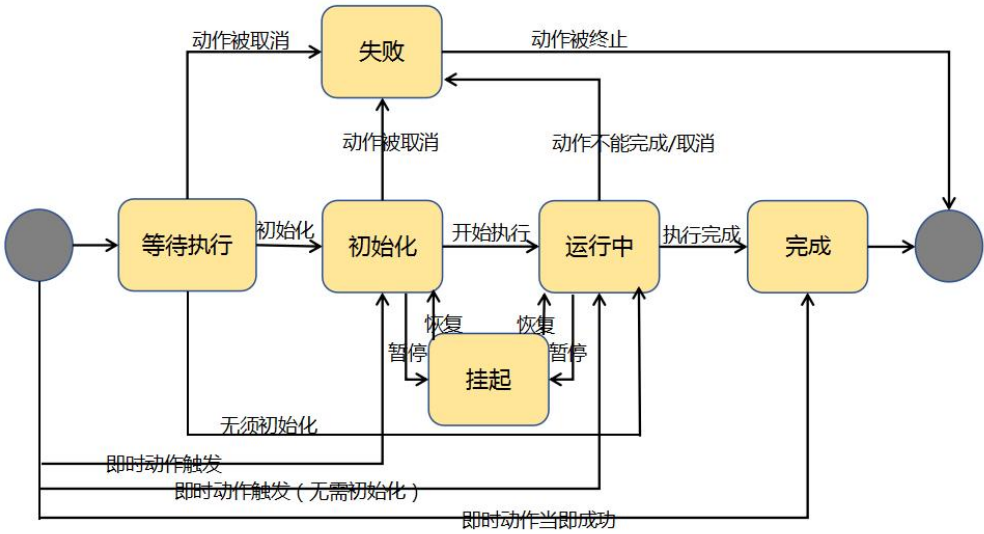


图 8 动作状态转换图

7.5 IMR 注册

7.5.1 过程及要求

IMR 注册时，应及时向 RCS 上传车辆本体的详细信息，以便 RCS 对 IMR 作精确的调度和规划运算。判断注册是否执行成功，需要通过 RCS 的状态确认字（未注册状态是否转变为正常状态）进行判断，车辆未注册时，RCS 会告知 IMR 处于未注册状态，提示 IMR 进行注册。IMR 注册消息结构如表15 所示。

表 15 IMR 注册消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
IMR ID	-	uint	IMR 的唯一标识。	必选
协议标准版本号	-	uchar[]	协议标准版本的序列号，依次包括协议主版本号和次版本号，消息数据由固定 2 个成员组成占位。	必选
IMR 型号规格	-	结构体	描述 IMR 的型号与规格，见表 16。	可选
IMR 物理参数	-	结构体	描述 IMR 体的物理参数，见表 17。	可选
IMR 几何特征	-	结构体	描述 IMR 本体的几何特征，见表 18。	可选
IMR 负载规格	-	结构体	描述 IMR 本体的负载规格，见表 19。	可选

7.5.2 型号规格消息结构规定

IMR注册过程涉及的型号规格消息结构如表16所示。

表 16 型号规格消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	可选项
IMR 型号	-	uchar[]	制造商约定的 IMR 序列号。 数组成员使用数量可自行定义，消息数据由固定 16 个成员组成占位。	必选

对象	单位	数据类型	描述	可选项
IMR 驱动结构	-	ushort	舵轮 = 0x01 差速 = 0x02 全方位 = 0x03 其他结构用户可自定义。	可选
IMR 驱动方式	-	ushort	单轮驱动 = 0x01 双轮驱动 = 0x02 多轮驱动 = 0x03 其他方式用户可自定义。	可选
载重能力	kg	float	最大的负载能力	可选
定位方式	-	uchar[]	占字节 0: 磁条定位 占字节 1: 二维码定位 占字节 2: 激光定位 占字节 3: 磁钉定位 占字节 4: 视觉定位 占字节 5-9: 自定义 注: 定位方式存在 = 0x01, 不存在 = 0x00。 数组成员使用数量可自行定义, 消息数据由固定 10 个成员组成占位。	可选

7.5.3 物理参数消息结构规定

IMR注册过程涉及的物理参数消息结构如表17所示。

表 17 物理参数消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
IMR 长度	mm	int	IMR 车体的长度。	必选
IMR 宽度	mm	int	IMR 车体的宽度。	必选
IMR 高度	mm	int	IMR 车体的高度。	必选
最大速度	mm/s	int	移动机器人直线行驶时, 能达到的最大的运行速度。	可选
最小速度	mm/s	int	移动机器人直线行驶时, 能达到的最小的运行速度。	可选
最大加速度	mm/s ²	int	最大载荷下的最大加速度。	可选
最大减速度	mm/s ²	int	最大载荷下的最大减速度。	可选

7.5.4 几何特征消息结构规定

IMR注册过程涉及的集合特征数据和车轮参数消息结构如表18所示。

表 18 几何特征消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
车体旋转中心 {	-	结构体	-	必选
X 方向偏差	mm	int	车体旋转中心距离车头左前点 X 方向的距离。	必选
Y 方向偏差 }	mm	int	车体旋转中心距离车头左前点 Y 方向的距离。	必选
车体安全轮廓数量	-	ushort	车体安全轮廓对象数组的成员数量。	可选

对象	单位	数据类型	描述	选项
车体安全轮廓[] {	-	结构体[]	车体安全轮廓区域的对象数组。 在不同车体速度情况下，划分不同安全轮廓区域。	可选
多边形顶点数量	-	ushort	多边形顶点对象数组的成员数量。	可选
多边形顶点[] {	-	结构体[]	在车体安全轮廓区域上的顶点对象数组。	可选
X	mm	int	在车体坐标系下的 x 坐标。	可选
Y	mm	int	在车体坐标系下的 Y 坐标。	可选
}				可选

7.5.5 负载规格消息结构规定

IMR注册过程涉及的负载规格消息结构如表19所示。

表 19 负载规格消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
载货数量	-	ushort	载货数据对象数组的成员数量。	可选
载货数据[]	-	结构体[]	IMR 可负载货物的对象数组，载货数据消息结构见表 19.1 所示。	可选
负载设备数量	-	ushort	负载设备位置对象数组的成员数量。	可选
负载设备位置[] {	-	结构体[]	IMR 可负载货物设备的位置对象数组，并支持多个负载设备位置同时上报。	可选
X	mm	int	在车体坐标系下的 X 坐标。	可选
Y	mm	int	在车体坐标系下的 Y 坐标。	可选
Z	mm	int	在车体坐标系下的 Z 坐标。	可选
}				

表 19.1 载货消息结构表

对象	单位	数据类型	描述	选项
货物 ID	-	uint	货物唯一标识。	必选
货物类型	-	uint	用户自定义。	必选
货物尺寸	-	结构体	参考载货状态消息结构表 8.2 中的尺寸数据结构。	必选
货物可放置位置	-	结构体	通过当前货物放置位置，决定 IMR 负载设备是否可匹配负载。 无位置所有设备都可负载。 参考表 19 负载设备位置结构体。	可选
最大重量	kg	float	-	可选
最大举升高度	mm	int	在举升最大重量情况下，举升的最大高度。	可选
最大下放深度	mm	int	在举升最大重量情况下，下放的深度。	可选
最大货物倾斜度	rad	float	在举升最大重量情况下，货物的最大倾斜度。	可选
最大限速	mm/s	int	在举升最大重量情况下，最大限速。	可选

对象	单位	数据类型	描述	选项
最大加速度	mm/s ²	int	在举升最大重量情况下，最大加速度。	可选
最大加加速度	mm/s ³	int	在举升最大重量情况下，最大加加速度。	可选
举升时间	ms	int	举升的货物大约的耗费时间。	可选
下放时间	ms	int	下放的货物大约的耗费时间。	可选

附 录 A
(资料性)
消息帧头

A.1 消息帧头结构

每个消息帧消息头的基本格式如表A.1所示。

表 A.1 消息帧头结构表

含义	数据类型	备注
消息帧头部标识	uchar	消息数据帧通过消息帧头部标识封装，制定为 ASCII 字符 STX（ASCII 值为 2）。
消息方向标识	uchar	每帧数据都必须包含固定标识，从 RCS 到 IMR 方向为 ‘T’，从 IMR 到 RCS 方向为 ‘V’。
消息长度	uint	消息体字节数。
消息头校验和	ushort	对消息方向标识和消息长度（编码前的数据）进行 CRC16_MODBUS（8005）校验。

附录 B
(资料性)
命令字

B.1 命令字定义

命令字如表B.1所示，每帧数据包的命令字对象对应的两个字符 ASCII 标识，以区分不同种类的通讯交互功能。

表 B.1 命令字

命令字	描述
GM(GLOBAL_MAP)	地图消息结构命令字
AT(ACTIVE_TASK)	任务消息结构命令字
ST(STATUS)	状态消息结构命令字
SA(STATUS_ACK)	状态确认消息结构命令字
OP(OPERATION)	即时动作消息结构命令字
RG(REGISTER)	IMR 注册消息结构命令字

附 录 C
(规范性)
数据类型表

C.1 数据包数据类型

每帧数据包的二进制数据应按照表C.1的要求对数据类型进行规范和约束。

表 C.1 数据类型表

数据类型	字节数
无符号整型 (uint)	4 个
有符号整型 (int)	4 个
无符号短整型 (ushort)	2 个
无符号字符类型 (uchar)	1 个
浮点型数据 (float)	4 个

附录 D
(资料性)
常见轨迹同步数据表

D.1 常见轨迹数据

常见轨迹包括直线轨迹、圆弧轨迹、贝塞尔轨迹和非均匀有理 B 样条曲线轨迹。直线轨迹参数如表D.1所示，圆弧轨迹参数如表D.2所示，贝塞尔轨迹参数如表D.3所示，非均匀有理 B 样条曲线轨迹参数如表D.4所示。

表 D.1 直线轨迹参数表

对象	单位	数据类型	描述
起点 {	-	结构体	-
X	m	float	起点在世界坐标中的 X 值。
Y	m	float	起点在世界坐标中的 Y 值。
}			
终点 {	-	结构体	-
X	m	float	终点在世界坐标中的 X 值。
Y	m	float	终点在世界坐标中的 Y 值。
}			

表 D.2 圆弧轨迹参数表

对象	单位	数据类型	描述
X	m	float	圆弧中心点在地图世界坐标中的 X 值。
Y	m	float	圆弧中心点在世界坐标中的 Y 值。
半径	m	float	圆弧半径。
起始角度	rad	float	绘制圆弧的起始角度。
终止角度	rad	float	绘制圆弧的终止角度。
是否顺时针	-	ushort	顺时针 = 0x00 逆时针 = 0x01

表 D.3 贝塞尔轨迹参数表

对象	单位	数据类型	描述
贝塞尔阶数	-	ushort	默认值为 0x03。
控制点[] {	-	结构体[]	第一个控制点为贝塞尔曲线的起点、最后一个为贝塞尔曲线的终点。
X	m	float	控制点在世界坐标中的 X 值。
Y	m	float	控制点在世界坐标中的 Y 值。
}			

表 D.4 非均匀有理 B 样条曲线轨迹参数表

对象	单位	数据类型	描述
阶数	-	uchar	范围：[1, 255] 定义影响曲线上任何给定点的控制点的数量。增加阶数会增加轨迹的连续性。 如果未定义，则默认值为 1。
控制点数	-	uchar	非均匀有理 B 样条曲线的控制点数。
节向量[]	-	float[]	范围：[0.0, 1.0] 节向量中的元素，可以是相同数值重复，出现多次，节向量对应到曲线上的点。 节向量的个数为控制点数 + 阶数 + 1。
控制点[] {	-	结构体[]	-
X	m	float	在世界坐标中的 X 值。
Y	m	float	在世界坐标中的 Y 值。
权重 }	-	float	范围：(0, 3.4E+28] 此控制点在曲线上拉动的权重。 未定义时，默认值为 1.0。

附录 E

（资料性）

异常事件数据表

E.1 异常事件数据

异常事件通常包括导航类、车体类、安全类、任务类、地图类和电池类。导航类异常参数如表E.1所示，车体类异常参数如表E.2所示，安全类异常参数如表E.3所示，任务类异常参数如表E.4，地图类异常参数如表E.5，电池类异常参数如表E.6所示。

表 E.1 导航类异常参数表

异常事件	数值
站点位置校正失败	0x0001
导航信号丢失	0x0002
地标信号异常	0x0003
导航传感器故障	0x0004
导航其他故障	范围：[0x0005, 0x0FFF]

表 E.2 车体类异常参数表

异常事件	数值
IO 检测板故障	0x1001
CANopen 传感器错误	0x1002
舵角错误	0x1003
伺服故障	0x1004
网络通讯中断	0x1005
CAN 通讯故障	0x1006
车体类型其他故障	范围：[0x1007, 0x1FFF]

表 E.3 安全类异常参数表

异常事件	数值
舵碰限位	0x2001
车轮过热	0x2002
硬件保险杠使能/禁止	0x2003
用户紧急停车	0x2004
用户暂停	0x2005
硬件保险杠碰撞	0x2006
软件保险杠碰撞	0x2007
控制台暂停	0x2008
不可切区内发现障碍物	0x2009
停止按钮被按下	0x200A
非接触式安全防碰的安全继电器故障	0x200B

异常事件	数值
非接触式安全防碰近距离急停	0x200C
非接触式安全防碰中距离停车	0x200D
非接触式安全防碰的障碍模式设置错误	0x200E
非接触式安全防碰区域切换错误	0x200F
安全类型其他故障	范围：[0x2010, 0x2FFF]

表 E.4 任务类异常参数表

异常事件	数值
错误的任务	0x3001
任务 KEY 序列错误	0x3002
任务被强行中断	0x3003
任务衔接点不匹配	0x3004
任务无法执行	0x3005
任务类型其他故障	范围：[0x3006, 0x3FFF]

表 E.5 地图类异常参数表

异常事件	数值
任务点不可达	0x4001
地图更新异常	0x4002
未校验地图	0x4003
地图类型其他故障	范围：[0x4004, 0x4FFF]

表 E.6 电池类异常参数表

异常事件	数值
总压过高	0x5001
总压过低	0x5002
单体电压过高	0x5003
单体电压欠压	0x5004
单体不平衡报警	0x5005
单体温度不平衡	0x5006
充电过流	0x5007
放电过流	0x5008
放电温度过高	0x5009
充电温度过低	0x500A
放电温度过低	0x500B
SOC 过低	0x500C
正极绝缘故障报警	0x500D
负极绝缘故障报警	0x500E
最高单体电压极限故障	0x500F
最低单体电压极限	0x5010
单体最高温度极限	0x5011

异常事件	数值
BMS 硬件故障	0x5012
电池类型其他故障	范围：[0x5013， 0x5FFF]