

“RM_ARM+”末端工具生态建设-协议标准V1.0.6

版本说明

版本号	更新内容	日期
V1.0.0	<ul style="list-style-type: none">定义初始协议	20241102
V1.0.1	<ul style="list-style-type: none">协议中增加cmd字段，用于预留和兼容反馈协议中增加出错后的错误标志与错误代码，并给出错误代码表增加异或校验计算方法	20241105
V1.0.2	<ul style="list-style-type: none">operation_len表示operation_data的实际长度，方便不同指令的跳转	20241112
V1.0.3	<ul style="list-style-type: none">寄存器表添加力控、急停、保存参数寄存器	20241120
V1.0.4	<ul style="list-style-type: none">寄存器扩充灵巧手寄存器，新增1009、1010、1510、1530、1550删除"总帧长度不超过300个字节"的限制修改发送和接收总协议帧中数据长度为2字节	20241210
V1.0.5	<ul style="list-style-type: none">添加寄存器1011、1026、1027、1560修改寄存器1550关节错误码修改1220寄存器系统错误码	20250108
V1.0.6	<ul style="list-style-type: none">1010寄存器添加可写功能明确部分寄存器数据类型和单位	20250117

- 去掉速度下限寄存器(1200)定义, 地址预留

一、协议需求

为提高用户使用机械臂与末端工具一起使用时的易用性, 满足用户无论使用何种末端工具, 均能得到一致的产品使用体验, 可基于机械臂控制接口完成末端工具的查询与功能控制, 避免在使用时需要查询末端工具寄存器地址表, 使用多种调试工具进行使用等问题, 可以简单的基于机械臂的示教器进行末端工具的控制和状态查询, 并在图形化编程、API、ROS等机械臂开发资源中, 快速的使用, 构建"机械臂+"的技术与产品生态, 产生的需求如下:

- (1) 兼容基于485总线的末端工具设备, 包括灵巧手、两指夹爪、三指夹爪等
- (2) 具有不低于50Hz高速透传闭环控制接口, 支持一条指令可完成位置控制、角度控制、速度控制、力控制, 并获取速度、位置、角度、力、电流、触觉、状态等信息
- (3) 具备厂商信息设备识别接口, 可快速识别厂商信息、设备软件版本、设备硬件版本、设备类型等信息
- (4) 波特率支持修改, 115200、256000、460800波特率, 默认支持256000, 最好支持460800或更高
- ~~(5) 每个周期返回的数据总量不得超过300个字节~~
- (6) 支持控制动作手势和动作序列的接口, 并提供预置的动作和手势, 支持通过官方工具修改

二、协议说明

本协议约定了一种“RM_ARM+”协议格式, 末端工具需要支持此协议, 并与其原有Modbus-RTU协议、私有协议等支持同时使用, 在使用时, 设备支持自动识别协议类型, 无需手动切换灵巧手的协议模式。

该协议基于应答方式, 要求设备接收到发送帧后, 以最快速度响应, 响应时间不得超过1ms, 不允许在未接收到任何指令时主动上报数据, 防止造成总线冲突。

三、协议内容

1、发送协议

(1) 总协议格式

head	device_id	master_id	cmd	len	data	checksum
2bytes	1bytes	1bytes	1bytes	2bytes	n bytes	1bytes

说明如下：

字段	说明
head	起始符，2个bytes，固定为0x55 0xAA
device_id	设备ID，需要控制的从站设备ID号，例如灵巧手ID，当为0xFF时，代表广播，任何ID均需回复
master_id	代表主站ID，回复是需要回应正确的主站ID
cmd	代表协议命令标识，固定为0x5E
len	数据长度，2个bytes，代表数据段data的长度，低字节在前、高字节在后
data	数据段，n个bytes，动态长度，详情见数据段协议格式说明
checksum	校验位，采用异或校验，除帧头外的所有数据异或校验

(2) 数据段协议格式说明

operation_type	start_address	operation_len	operation_data
1bytes	2bytes	1bytes	n bytes

说明如下：

数据段支持对末端设备的读写控制，由operation_type、start_address、operation_len、operation_data构成，可以循环多个，进行多组寄存器的读取和写入。

字段	说明
operation_type	操作类型，1bytes，00代表读取请求，01代表写入请求

start_address	起始地址，2bytes，低字节在前、高字节在后
operation_len	操作长度：1bytes，代表操作的数据长度，读写需要为偶数
operation_data	操作数据：nbytes，写入时使用，每2bytes为写入一个寄存器，n需要与operation_len一致

2、响应协议

(1) 总协议格式

head	master_id	device_id	cmd	len	data	checksum
2bytes	1bytes	1bytes	1bytes	2bytes	n bytes	1bytes

说明如下：

字段	说明
head	起始符，2个bytes，固定为0x55 0xAA
master_id	代表主站ID，回复发送帧的master_id
device_id	设备ID，需要控制的从站设备ID号
cmd	操作命令返回，如果正常执行 为0x5E，如果指令执行错误，那么最高位为1，低七位为操作命令，即为0xDE，另外，增加Data[0]为错误代码，参考错误代码表，其他data数据则顺延
len	数据长度，2个bytes，代表数据段data的长度，低字节在前、高字节在后
data	数据段，n个bytes，动态长度，详情见数据段协议格式说明
checksum	校验位，采用异或校验，除帧头外的所有数据异或校验

(2) 数据段协议格式说明

operation_type	start_address	operation_len	operation_data
1bytes	2bytes	1bytes	n bytes

说明如下：

数据段支持对末端设备的读写控制，由operation_type、start_address、operation_len、operation_data构成，可以循环多个，进行多组寄存器的读取和写入。

字段	说明
operation_type	操作类型，1bytes，00代表读取请求，01代表写入请求
start_address	起始地址，2bytes，低字节在前、高字节在后
operation_len	操作长度：1bytes，代表反馈的operation_data的数据长度
operation_data	操作数据：nbytes， 读取操作类型返回时，表示寄存器数据，每2bytes为一个寄存器，n与operation_len一致 写入操作类型返回时，表示成功或失败，1bytes，0x01表示成功，0x00表示失败

(3) 错误代码

值	说明
0x01	校验码错误
0x11	无效的命令
0x12	字节数不正确
0x13	无效的值
0x21	正在等待初始化命令或者正在初始化
0x22	等待校正

	0x01 两指夹爪 0x02 五指灵巧手 0x03 三指夹爪...			
1002	硬件版本，高字节主版本，低字节子版本)	uint16_t	2bytes	R
1003	软件版本，高字节主版本，低字节次版本	uint16_t	2bytes	R
1004	boot loader版本，高字节主版本，低字节次版本	uint16_t	2bytes	R
1005	设备ID，仅低八位有效，写入成功后，保存重启	uint16_t	2bytes	R/W
1006	主动自由度	uint16_t	2bytes	R
1007	自检开关，设置为0，关闭；设置为1，打开	uint16_t	2bytes	R/W
1008	蜂鸣器开关，设置为0，关闭；设置为1，打开	uint16_t	2bytes	R/W
1009	设备属性，详见设备属性说明表	uint16_t	2Bytes	R
1010	灵巧手左右手，1: 左手 2: 右手	uint16_t	2Bytes	R/W
1011	触觉传感器个数	uint16_t	2Bytes	R
1012-1019	预留			
1020	高位表示系统状态，低位表示系统错误码，详见系统状态表	uint16_t	2bytes	R
1021	预置手势控制	uint16_t	2bytes	W
1022	预置动作序列控制	uint16_t	2bytes	W

1023	急停控制，写1表示控制急停	uint16_t	2bytes	W
1024	保存参数到flash，写1有效	uint16_t	2bytes	W
1025	指尖传感器清零，写1有效	uint16_t	2Bytes	W
1026- 1027	触觉传感器开关，按位控制传感器开关，0关闭，1打开。	uint16_t	4Bytes	R/W
1028- 1099	保留			
1100- 1111	1-12自由度位置上限（位置为逻辑位置，不表示实际角度，单位：无量纲）	uint16_t	24bytes	R/W
1112- 1119	保留			
1120- 1131	1-12自由度位置下限（位置为逻辑位置，不表示实际角度，单位：无量纲）	uint16_t	24bytes	R/W
1132- 1139	保留			
1140- 1151	1-12自由度角度上限（单位：0.01度）	uint16_t	24bytes	R/W
1152- 1159	保留			
1160- 1171	1-12自由度角度下限（单位：0.01度）	uint16_t	24bytes	R/W
1172- 1179	保留			
1180- 1191	1-12自由度速度限制（单位：无量纲）	uint16_t	24bytes	R/W

1192-1199	保留			
1200-1211	保留			
1212-1219	保留			
1220-1231	1-12自由度力上限（单位：0.001N）	uint16_t	24bytes	R/W
1232-1239	保留			
1240-1251	1-12自由度力下限（单位：0.001N）	uint16_t	24bytes	R/W
1252-1259	保留			
1260-1265	1-12自由度状态，详见自由度状态表，每个寄存器保存两个自由度状态	uint16_t	12bytes	R/W
1266-1269	保留			
1270-1281	1-12自由度位置（位置为逻辑位置，不表示实际角度，读返回当前位置，写执行目标位置，单位：无量纲）	uint16_t	24bytes	R/W
1282-1289	保留			
1290-1301	1-12自由度角度（表示实际角度，读返回当前角度，写执行目标角度，单位：0.01度）	uint16_t	24bytes	R/W

1301-1309	保留			
1310-1321	1-12自由度速度（读返回当前速度，写执行目标速度，闭合正，松开负，单位：无量纲）	int16_t	24bytes	R/W
1322-1329	保留			
1330-1341	1-12自由度电流（mA）	int16_t	24bytes	R
1342-1349	保留			
1350-1367	1-6自由度触觉三维力的法向力*3（每个法向力2bytes，100*N）	uint16_t	36bytes	R
1368-1385	1-6自由度触觉三维力的切向力*3（每个切向力2bytes，100*N）	uint16_t	36bytes	R
1386-1403	1-6自由度触觉三维力的切向力方向*3（每个法向力方向2bytes，单位度）	uint16_t	36bytes	R
1404-1427	1-6自由度触觉自接近*2（每个自接近4bytes）	uint16_t	48bytes	R
1428-1451	1-6自由度触觉互接近*2（每个互相接近4bytes）	uint16_t	48bytes	R
1452-1469	保留			
1470-1481	1-12自由度力矩（读返回当前力矩，写执行目标力矩，闭合正，松开负，单位0.001N）	int16_t	24bytes	R/W
1482-1489	保留			

1490-1501	0~12自由度比例增益参数	int16_t	24bytes	R/W
1502-1509	保留		16bytes	
1510-1521	0~12自由度积分系数	int16_t	24bytes	R/W
1522-1529	保留		16bytes	
1530-1541	0~12自由度微分增益参数	int16_t	24bytes	R/W
1542-1549	保留		16bytes	
1550-1555	0~12自由度关节错误码，详见关节错误码表（一个寄存器表示两个自由度错误）	uint16_t	12bytes	R
1556-1559	保留		8bytes	
1560-1653	触觉传感器原始数据，6自由度，47通道，单通道2个寄存器。	uint16_t	188bytes	R

(2) 自由度状态表

值	状态说明
0	正在松开
1	正在闭合
2	位置到位停止
3	力控到位停止
4	触觉到位停止

5	电流保护停止
6	发生故障

(3) 关于自由度顺序的现有约定

两指夹爪：一个主动自由度，使用自由度1

灵巧手：6个主动自由度，自由度1（大拇指弯曲）、自由度2（食指）、自由度3（中指）、自由度4（无名指）、自由度5（小指）、自由度6（大拇指旋转）

(4) 角度转换关系

需提供由主动自由度的角度推到其他被动自由度角度的公式

(5) 系统状态

系统状态

值	状态说明
0	正常
1	设备故障

系统错误

值	错误码说明
0	正常
1	电机异常
2	温度异常
3	通讯异常
4	传感器异常
5	自检错误

(6) 关节状态

值	错误码说明
0	正常
1	FOC错误
2	过压
3	欠压
4	过温
5	启动错误
6	编码器错误
7	过流
8	软件错误
9	传感器错误
10	位置超限位
11	DRV8320错误
12	位置跟踪误差
13	电流检测错误
14	自检错误
15	位置指令超限
16	多圈丢数

(7) 设备属性说明

功能说明	bit
触觉支持, 0: 不支持, 1: 支持	bit15

力控支持，0：不支持，1：支持	bit14
PID可调，0：不支持，1：支持	bit13
预留	bit12-bit0

5、交互逻辑示例

(1) 搜索设备

设备未接入机械臂时，机械臂主动扫描设备，发送以下指令，获取设备信息，等待获取设备信息



复制代码

```
55 AA FF 01 5E 04 00 00 E8 03 18 57 #广播读取起始地址1000的12个寄存器
```

设备接入后返回



复制代码

```
55 AA 01 01 5E 1C 00 00 E8 03 18 4E 51 02 00 00 01 04 03 06 05 01 00 06
00 00 00 00 00 00 80 01 00 2F 00 00
```

#返回设备信息

厂商信息："QN"

设备类型：五指灵巧手

硬件版本：1.0

软件版本：3.4

boot loader版本5.6

设备ID：01

主动自由度：6

自检开关：0

蜂鸣器开关：0

功能支持：触觉支持 力控不支持 PID可调不支持

手方向：右手

触觉传感器：47个

设备应答后，停止搜索设备

(2) 限制信息查询指令

设备搜索成功后，按照查询的自由度信息，查询限制限制

设备应答后，完成查询

(3) 基础状态查询

设备限制信息查询完成后，按照自由度信息，查询当前位置、当前角度、当前力/当前触觉、自由度状态、系统状态等信息

设备应答后，完成查询，20ms完成一次查询

(4) 角度控制

如果用户发送角度控制指令，在状态查询的协议中角度写入指令，然后下发

设备应答后，完成写入和查询，20ms后循环进行状态查询或角度控制

(5) 位置控制

如果用户发送控制指令，在状态查询的协议中加入位置写入指令，然后下发

设备应答后，完成写入和查询，20ms后循环进行状态查询或位置控制



复制代码

```
55 AA FF 01 5E 10 00 01 F6 04 0C 0A 00 32 00 32 00 32 00 32 00 0A 00 4F
```

#广播实现6自由度位置控制，写起始地址1270的6个寄存器。

帧头：55 AA

目标ID：FF广播ID

主机ID：01

命令：5E

数据域长度：00 10

写入命令：01

写入地址：F6 04

写入长度：0C

写入值：0A 00 32 00 32 00 32 00 32 00 0A 00

校验：4F

设备响应



复制代码

```
55 AA 01 01 5E 05 00 01 F6 04 01 01 A8 #返回设备信息
```

帧头：55 AA

设备ID：01

主机ID：01

命令：5E

数据域长度：00 05

写命令：01

写地址：F6 04

写响应长度：01

写响应：01 写成功

校验：A8

(6) 预置手势控制

如果用户预置手势控制，在状态查询的协议中加入手势写入指令，然后下发设备应答后，完成写入和查询，20ms后循环进行状态查询或位置控制

(7) 预置动作序列控制

如果用户预置动作序列控制，在状态查询的协议中加入动作序列写入指令，然后下发设备应答后，完成写入和查询，20ms后循环进行状态查询或位置控制

(8) 异常情况

假设连接灵巧手时，电机处于堵转状态，发送查询指令

▼ 复制代码

```
55 AA FF 01 5E 04 00 00 E8 03 07 55 #广播读取起始地址1000的7个寄存器
```

灵巧手的cmd回复DE表示存在错误

▼ 复制代码

```
55 AA 01 01 DE 13 00 23 00 E8 03 07 42 41 02 00 02 01 04 03 06 05 01 00
06 00 55
```

cmd为0xDE，表示存在错误
Data[0]为0x23，表示错误为电机堵转
其他顺延信息为正常查询信息，从data[1]开始
#返回设备信息
厂商信息: "AB"
设备类型: 五指灵巧手
硬件版本: 1.2
软件版本: 3.4
boot loader版本5.6
设备ID: 01
主动自由度: 6

6、触觉数据说明

法向力，切向力是 16 位的无符号数据。数值单位是 $100 * N$ ，例如切向力 1000 表示 $1000 / 100 N$ ，即 10 N。法向力，切向力的测量范围是 0 ~ 25 N。

切向力方向是 16 位的无符号数据。单位是角度，数值范围为 0 ~ 359 度。靠近指尖的方向为 0 度，按顺时针旋转最大到 359 度，当数值为 65535 (0xFFFF) 时，表示切向力方向无效。

自接近和互接近都是 32 位的无符号数据。自接近指自电容接近，互接近指互电容接近。

对于 32 位的数据，需要读取两个寄存器才能得到完整数据。同时需要将读到的数据做一次大小端转换，例如读到的是 0x4433, 0x2211, 以大端模式转换为数组 [0x44, 0x33, 0x22, 0x11]; 然后再以小端模式理解，即 0x11223344。

(1) 三维力：

地址	描述 (2bytes)	地址	描述 (2bytes)	地址	描述 (2bytes)
1350	拇指法向力_1	1368	拇指切向力_1	1386	拇指切向力方向_1
1351	拇指法向力_2	1369	拇指切向力_2	1387	拇指切向力方向_2
1352	食指法向力_1	1370	食指切向力_1	1388	食指切向力方向_1
1353	食指法向力_2	1371	食指切向力_2	1389	食指切向力方向_2
1354	食指法向力_3	1372	食指切向力_3	1390	食指切向力方向_3
1355	中指法向力_1	1373	中指切向力_1	1391	中指切向力方向_1
1356	中指法向力_2	1374	中指切向力_2	1392	中指切向力方向_2
1357	中指法向力_3	1375	中指切向力_3	1393	中指切向力方向_3
1358	无名指法向力_1	1376	无名指切向力_1	1394	无名指切向力方向_1
1359	无名指法向力_2	1377	无名指切向力_2	1395	无名指切向力方向_2
1360	无名指法向力_3	1378	无名指切向力_3	1396	无名指切向力方向_3
1361	小指法向力_1	1379	小指切向力_1	1397	小指切向力方向_1
1362	小指法向力_2	1380	小指切向力_2	1398	小指切向力方向_2

(2) 自接近：

地址	描述 (4bytes)
1404	拇指自接近_1

1406	食指自接近_1
1408	食指自接近_2
1410	中指自接近_1
1412	中指自接近_2
1414	无名指自接近_1
1416	无名指自接近_2
1418	小指自接近_1

(3) 互接近:

地址	描述 (4bytes)
1428	食指互接近_1
1430	中指互接近_1
1432	无名指互接近_1

(4) 原始数据:

根据触觉通道7, 11, 11, 11, 7, 每个通道为uint32_t, 两个寄存器地址 (1560-1653) 保存一个通道的值。

	三维力	自接近	互接近	触觉通道
大拇指	2	1	0	7
食指	3	2	1	11
中指	3	2	1	11
无名指	3	2	1	11
小指	2	1	0	7

能科技(北京)有限公司

能科技(北京)有限公司

能科技(北京)有限公司