

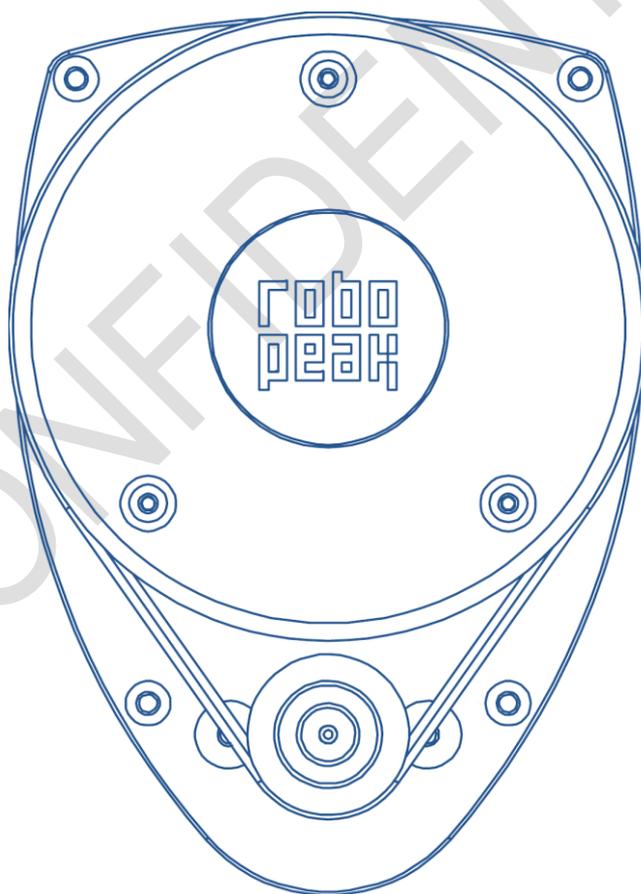


RPLIDAR

低成本 360 度二维激光扫描测距系统

通讯接口协议与应用手册

2014-3

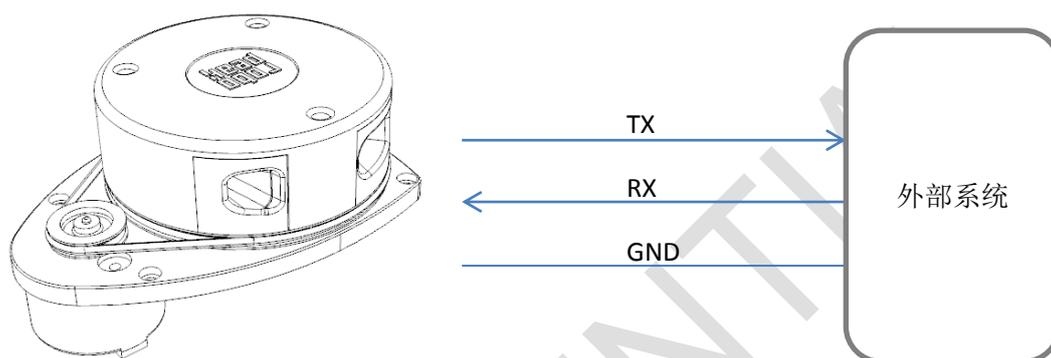


目录:

1. RPLIDAR 通讯接口简介	2
SDK 与示例程序	2
2. 基本通讯协议	3
基本通讯模式	3
请求报文格式	6
应答报文格式	7
3. RPLIDAR 工作状态机.....	9
主要状态与转换关系.....	9
扫描采样状态	10
4. 请求命令与数据获取	12
请求命令总览	12
停止扫描(STOP)命令请求	12
测距核心软重启(RESET)命令请求	13
开始扫描采样(SCAN)命令请求与回应数据格式	14
强制扫描采样(FORCE_SCAN)命令请求与回应数据格式.....	17
设备信息获取(GET_INFO)命令请求.....	17
设备健康状态获取(GET_HEALTH)命令请求	19
5. 使用举例	21
获取 RPLIDAR 扫描测距数据	21
计算 RPLIDAR 的扫描转速.....	22
6. 修订历史	24

1. RPLIDAR 通讯接口简介

外部系统通过 TTL 电平的 UART 串口信号与 RPLIDAR 测距核心进行通讯。通过本文档定义的通讯协议，外部系统可以实时获取 RPLIDAR 的扫描数据、设备信息、设备健康状态。并且通过相关命令调整 RPLIDAR 的工作模式。



请参考 RPLIDAR 数据手册获取与 RPLIDAR 通讯的串口信号电平定义以及波特率等底层通讯协议信息。本手册将介绍基于 UART 串口的通讯协议以及数据传输格式。

SDK 与示例程序

为了方便客户加快基于 RPLIDAR 的开发，RoboPeak 提供封装了 RPLIDAR 通讯操作的 SDK 和示例程序。SDK 实现了本手册中描述的所有 RPLIDAR 功能的驱动以及协议、数据结构定义信息。

SDK 采用跨平台设计，可以支持多种平台，包括 Windows、Linux、MacOS 甚至不运行操作系统的系统当中。

请参考 SDK 使用手册了解详情。

2. 基本通讯协议

基本通讯模式

与 RPLIDAR 进行的通讯采用非文本形式的二进制数据报文进行，且每个数据报文均具有统一的报头数据格式。

每次的通讯过程均由外部系统（MCU、PC 主机等）发起，RPLIDAR 的测距核心在通电工作后，并不会主动向通讯接口另一侧的外部系统发送数据。

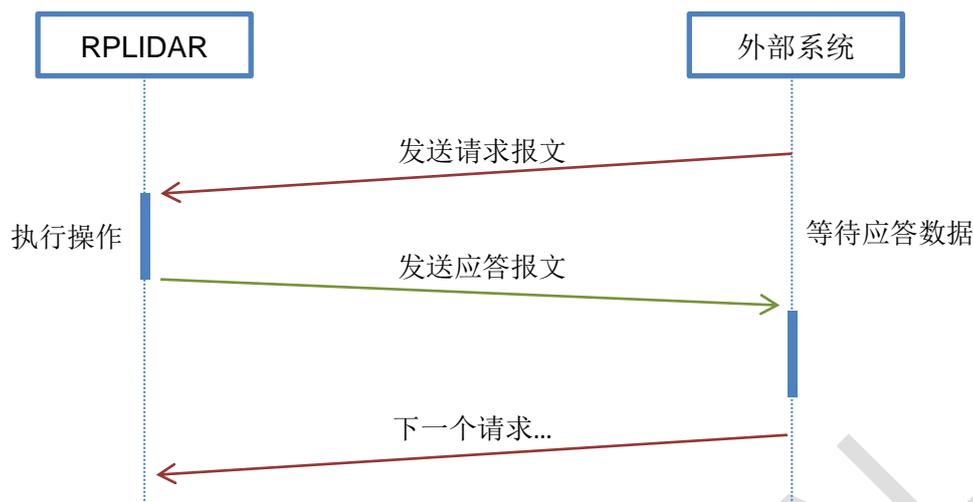
这里将由外部系统发送至 RPLIDAR 测距核心的数据报文称为：**请求 (request)**，将由 RPLIDAR 测距核心发送回外部系统的数据报文称为：**应答 (response)**。

在收到来自外部系统的请求数据报文后，RPLIDAR 将执行对应的处理。如果对应的请求期望 RPLIDAR 做出回应，则会发送应答报文。RPLIDAR 的扫描测距操作同样采用这里定义请求/应答模式。只有在外部系统发送了开始扫描测距请求后，RPLIDAR 才会开始扫描工作，并连续发送应答数据至外部系统。

按照不同的请求类型，RPLIDAR 具有三种不同的请求/应答模式：

1) 标准的单次请求-单次应答模式

该模式用于外部系统向 RPLIDAR 获取相关信息的通讯中。RPLIDAR 在收到这类请求后，将在必要的操作后通过单个应答包发送外部系统需要的数据。

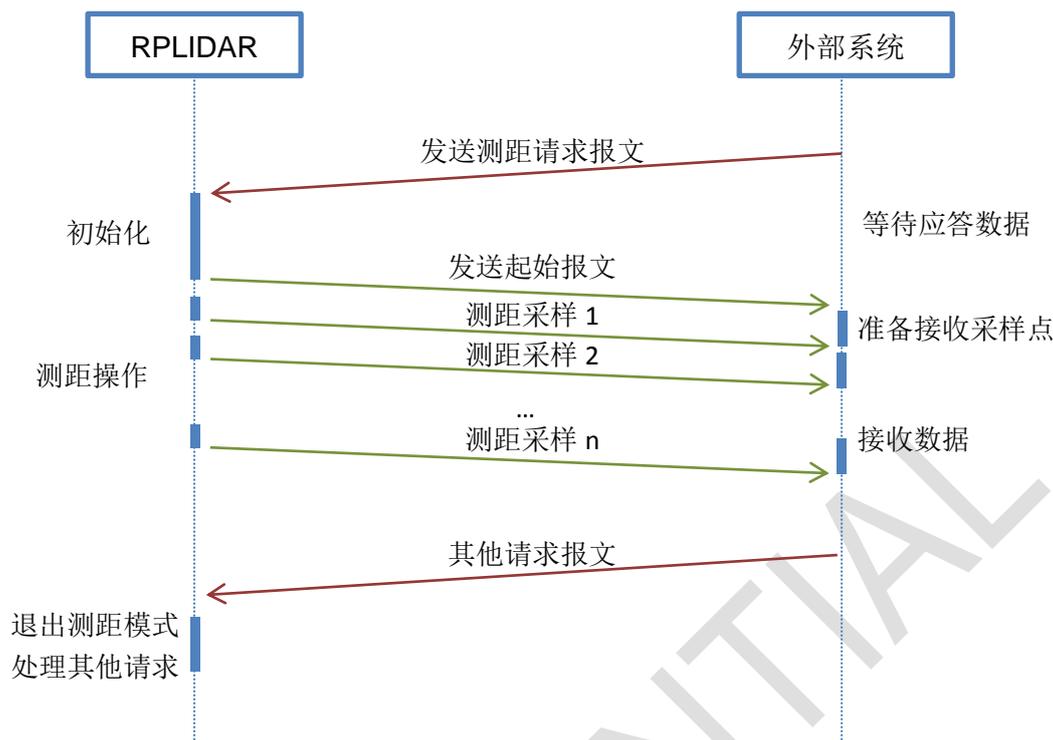


图：单次请求-应答通讯模式

外部系统应避免在该通讯模式中，RPLIDAR 还未对前一次请求做出应答前再次发送请求。否则第二次的请求数据可能将被 RPLIDAR 丢弃。

2) 单次请求-多次应答模式

该通讯模式用于 RPLIDAR 进行扫描测距的模式下。外部系统在发送开始扫描的请求后，RPLIDAR 将开始连续的扫描测距。在每次测距操作完成后，对应的测距采样点的信息（距离、角度等）将通过一个独立应答包的形式发送至外部系统。在这个模式下，外部系统只需要发送单次的请求，并开始连续接受来自 RPLIDAR 的多个应答数据文报。



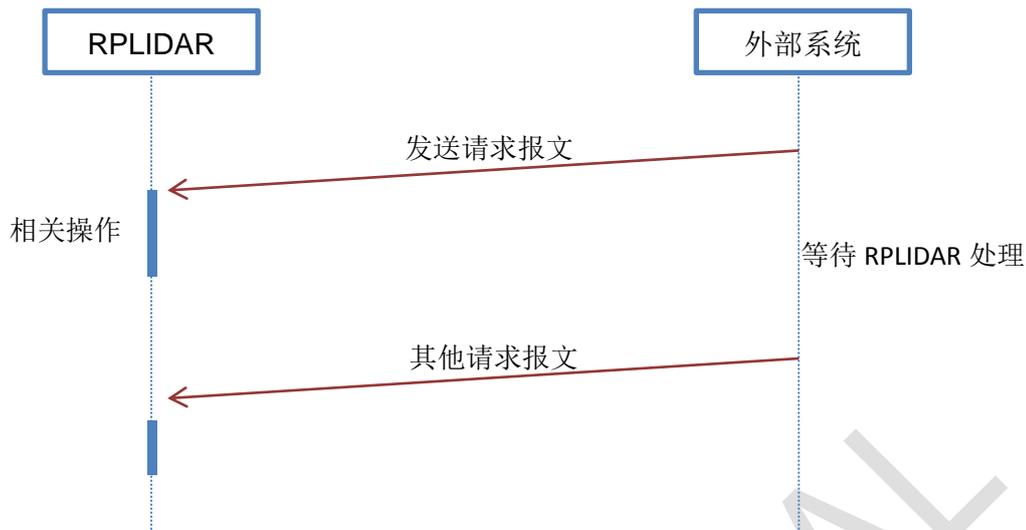
图：RPLIDAR 在扫描测距中使用的单次请求-多次应答的通讯模式

当工作在多次应答通讯模式时，外部系统可以通过发送停止请求或者其他类型的请求模式要求 RPLIDAR 离开多次应答模式。在离开多次应答模式后，RPLIDAR 将继续处理本次的外部系统请求。

如果在发送了测距请求报文后，外部系统再次发送测距请求报文，RPLIDAR 也将先退出扫描测距模式，离开多次应答模式。并再一次按照外部系统要求进入扫描测距模式。

3) 单次请求/无应答模式

对于停止扫描、重启测距核心这类请求命令，RPLIDAR 采用单次请求，但不做应答的通讯模式。此时外部系统需要在发送请求后的等待一定的时间，待 RPLIDAR 完成了上一次请求操作后方可继续执行下一次请求。否则第二次的请求将可能被 RPLIDAR 丢弃。



图：单次请求-无应答模式

请求报文格式

所有从外部系统发送至 RPLIDAR 的请求报文均采用如下的格式进行发送，字节发送顺序上采用小字端(little endian)模式。



每个请求报文均以固定的 0xA5 作为开始字节，RPLIDAR 将以此识别一个新的请求报文的开头。此外，所有请求报文都必须包含一个字节长度的请求命令字段。如果该请求命令需要额外附带有其他数据，则请求报文还需要附带一个字节的负载数据长度信息、负载数据本身以及一个字节的校验和作为结尾。

其中校验和的值按照如下公式计算得出：

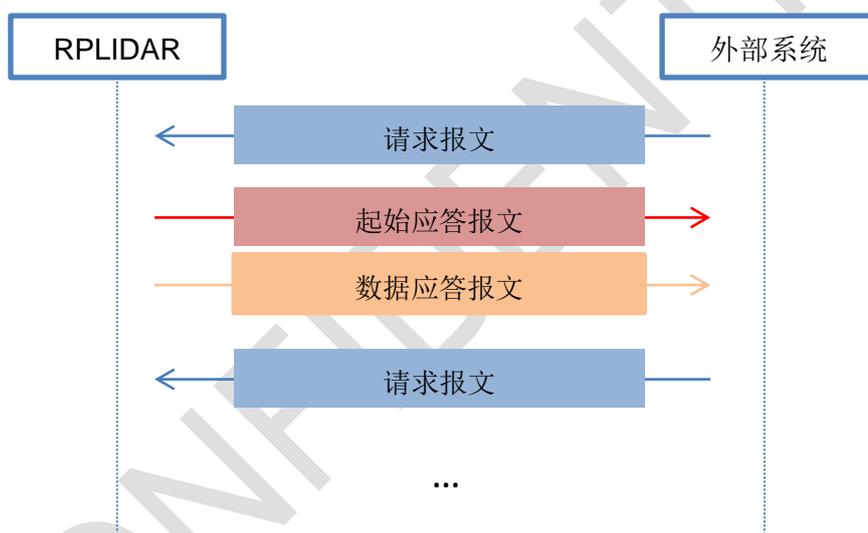
$$\text{checksum} = 0 \oplus 0xA5 \oplus \text{CmdType} \oplus \text{PayloadSize} \oplus \text{Payload}[0] \oplus \dots \oplus \text{Payload}[n]$$

- 发送时序要求

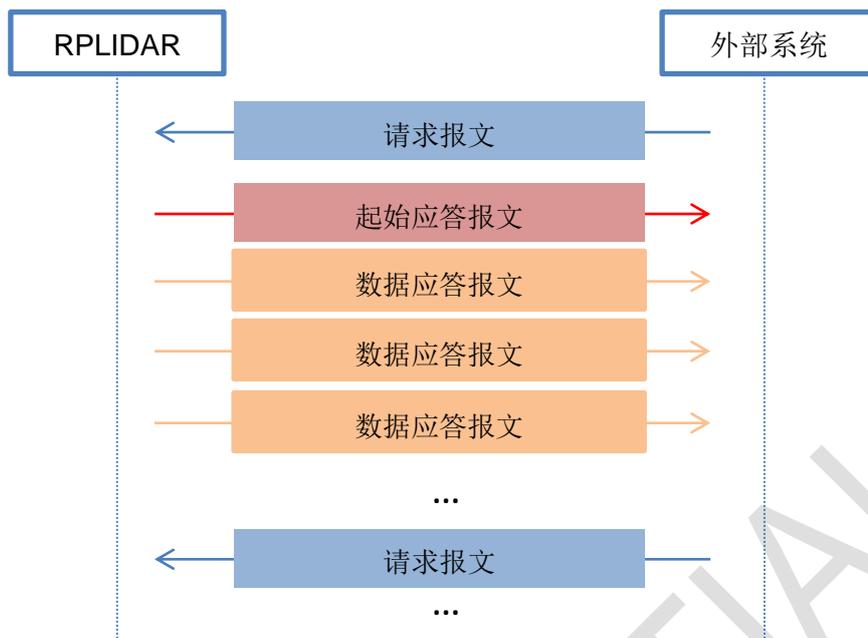
一个完整的请求报文必须在 5 秒内完全发送至 RPLIDAR。如果当前正在发送的请求报文已经花费了 5 秒以上，RPLIDAR 协议栈将认为通讯超时。此时该请求报文将被强制丢弃。

应答报文格式

应答报文分为**起始应答报文**和**数据应答报文**两类。如果当前接收到的请求报文需要发送应答报文，则 RPLIDAR 首先发送起始应答报文，随后按照通讯模式，发送一次或者任意多次的数据应答报文。在一次请求/应答的通讯过程中，起始应答报文只会发送一次，它用以描述后续的数据应答报文的相关信息。



图：单次请求-单次应答模式中的应答报文发送情况



图：单次请求-多次应答模式中的应答报文发送情况

起始应答报文均使用如下的固定结构：

起始标志 1	起始标志 2	数据应答报文长度	应答模式	数据类型
1byte (0xA5)	1byte (0x5A)	30bits	2bits	1byte

发送顺序 →

其中起始标志为 2 个字节的固定数据：0xA5 0x5A。外部系统可以以此判断起始应答报文的开始部分。数据应答报文长度为 30bits 的数据，记录了随后发送的单个数据应答报文的长度。2bits 的应答模式字段描述了接下来的数据应答报文的发送模式，取值如下：

应答模式取值 模式描述

0x0 单次应答模式，RPLIDAR 只发送一次数据应答报文

0x1 多次应答模式，RPLIDAR 将会发送一个或者多个应答报文

0x2 保留，暂未定义

0x3

保留，暂未定义

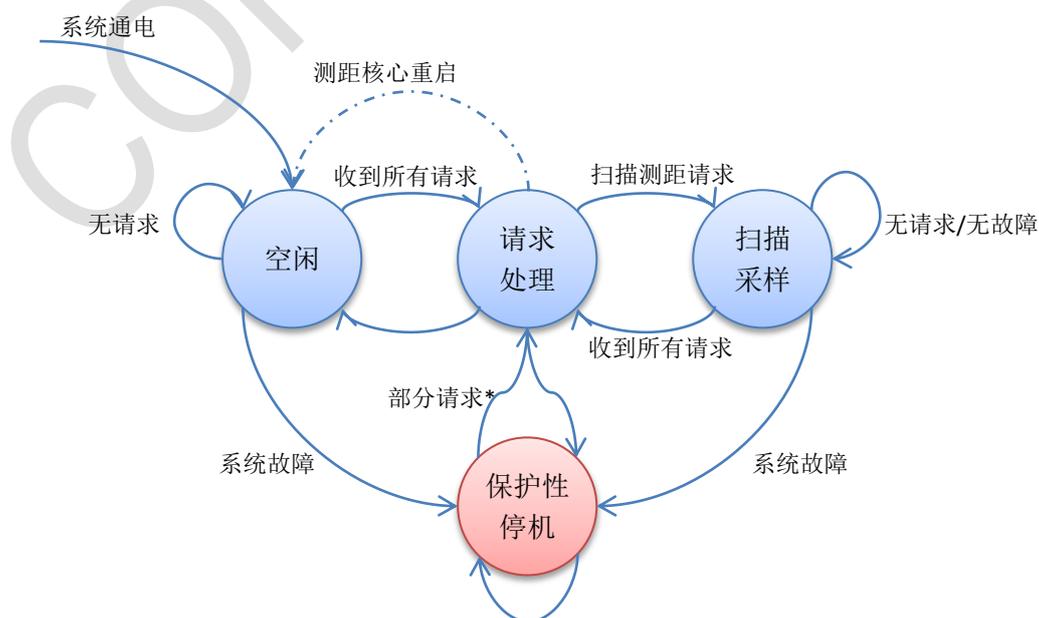
数据类型表示了数据应答报文发送内容的类型，它与 RPLIDAR 接收到的请求报文类型所对应。外部系统可以通过起始应答报文的信息来确定后续数据应答报文的接收策略。

与起始应答报文不同，数据应答报文没有统一的格式。不同的数据应答报文的格式请参考后文具体的应答类型描述。对于同一类数据应答报文，他们具有相同的长度以及结构定义。

3. RPLIDAR 工作状态机

主要状态与转换关系

RPLIDAR 包含了 4 个主要状态：空闲、扫描采样、请求处理以及保护性停机。其转换关系如下图所示。



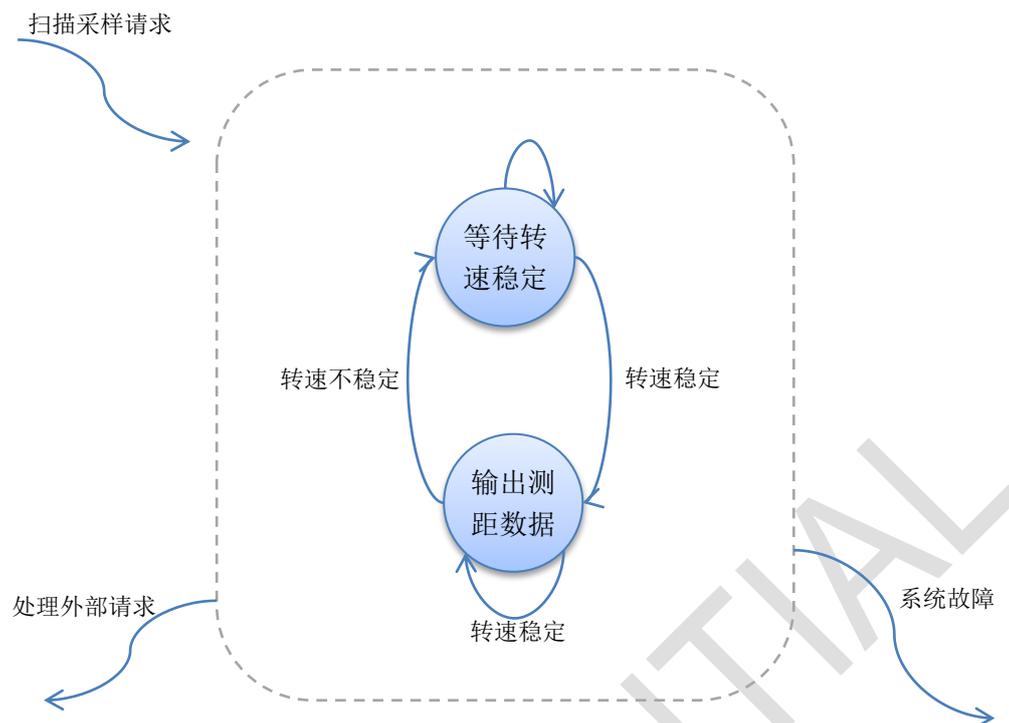
空闲模式是 RPLIDAR 测距核心供电开始工作或者重启后进入的模式。此时测距系统和激光器都在关闭模式，系统工作于节能状态。当 RPLIDAR 进入扫描采样模式时，测距系统和激光器开启，RPLIDAR 将不断进行测距采样工作，并将测距数据通过应答报文发送至外部系统。

当 RPLIDAR 在上述状态下接收到外部系统请求后，均会离开当前工作模式，进入请求处理状态。在请求处理状态中，RPLIDAR 不会进行测距采样工作，也不会对外发送任何数据。在请求处理完成后，对于需要应答的请求，RPLIDAR 会首先发送起始应答报文，随后按照请求的类型，进入空闲、扫描采样或者保护停机模式。

如果当 RPLIDAR 检测到自身工作异常后，则会关闭自身工作，进入保护性停机模式。此时外部系统仍旧可以与 RPLIDAR 进行通讯，查询其工作状态等信息，但无法进行扫描测距。当发生保护停机后，请求处理状态始终将返回到保护停机状态。

扫描采样状态

当工作在扫描采样状态时，RPLIDAR 将实时检测扫描电机的运行状况。只有当扫描电机的转速趋于稳定时，RPLIDAR 才会对外部系统发送测距采样数据。



图：扫描采样状态的内部工作模式

4. 请求命令与数据获取

请求命令总览

下表列出了被 RPLIDAR 支持的请求命令，他们的具体使用与 RPLIDAR 的回应数据格式将在后文分别介绍。

命令名	值	负载数据	应答模式	RPLIDAR 执行操作
STOP	0x25	无	无应答	离开扫描采样模式，进入空闲状态
RESET	0x40	无		测距核心软重启
SCAN	0x20	无	多次应答	请求进入扫描采样状态
FORCE_SCAN	0x21	无		请求进入扫描采样状态，强制数据输出
GET_INFO	0x50	无	单次应答	获取设备序列号等信息
GET_HEALTH	0x51	无		获取设备健康状态

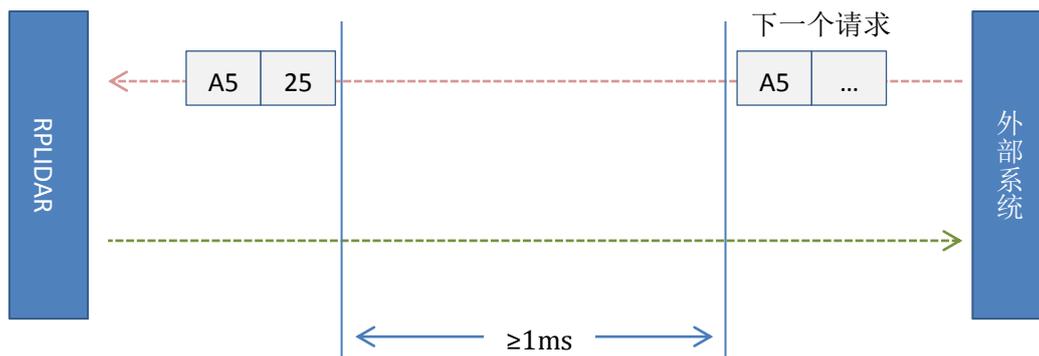
停止扫描(STOP)命令请求

请求报文：

A5	25
----	----

在外部系统发送了请求命令字段为停止扫描(STOP, 0x25)的请求报文后，RPLIDAR 将退出正在进行的扫描采样状态，关闭测距系统和激光器，进入空闲模式。如果 RPLIDAR 先前已经工作在空闲状态或者保护停机状态下，则该命令则会被忽略。

RPLIDAR 不会为该请求发送回应报文。建议外部系统需要在发送该请求命令后，延迟 1ms 以上时间后发送下一次请求。



图：STOP 请求的通讯时序

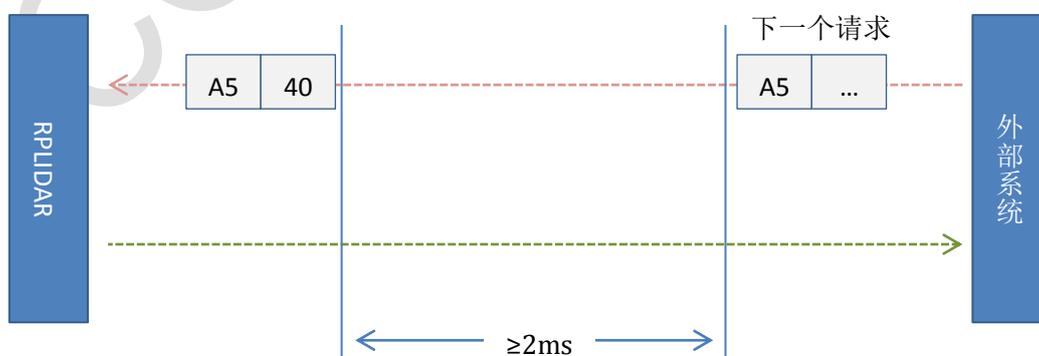
测距核心软重启(RESET)命令请求

请求报文：



在外部系统发送了 RESET 请求后，测距核心将进行软重启操作。软重启将测距系统恢复到与通电后一样的状态下。当 RPLIDAR 因为故障进入了保护性停机后，外部系统就可以尝试发送 RESET 命令尝试将 RPLIDAR 恢复至正常工作状态。

RPLIDAR 不会为该请求发送回应报文。建议外部系统需要在发送该请求命令后，延迟 2ms 以上时间后发送下一次请求。



图：RESET 请求的通讯时序

开始扫描采样(SCAN)命令请求与回应数据格式

请求报文：

A5	20
----	----

起始应答：

A5	5A	05	00	00	40	81
----	----	----	----	----	----	----

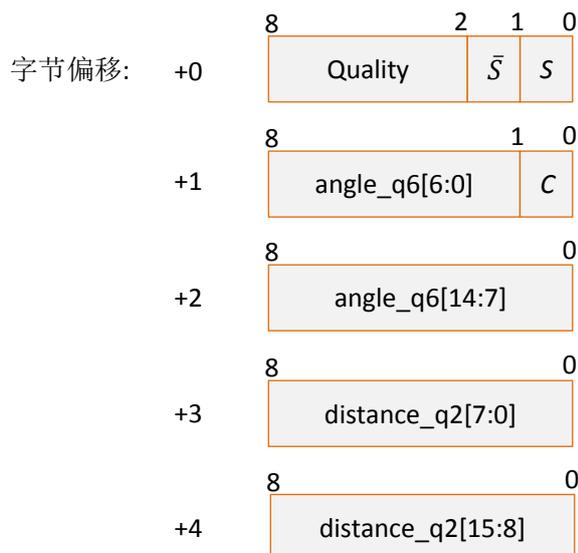
数据应答类型：**多次** 数据应答长度：**5 bytes**

RPLIDAR 工作在空闲状态时，在外部系统发送了该请求后，将开始进入测距采样。每个测距采样点将使用数据应答报文发送至外部系统。如果 RPLIDAR 先前已经工作在测距采样状态，则 RPLIDAR 首先将停止正在进行的测距采样功能，并重新开始新一轮的测距采样操作。当 RPLIDAR 进入保护性停机后，该命令请求将被忽略。

RPLIDAR 会在接受该请求后立刻发送起始应答报文，表示 RPLIDAR 接受了进入扫描采样状态的请求。扫描采样的数据应答报文将在 RPLIDAR 的扫描电机稳定旋转后不断的发送给外部系统，直到外部系统发送新的请求而停止扫描采样或者 RPLIDAR 出现故障为止。

数据应答报文格式：

RPLIDAR 使用如下的数据应答报文结构：

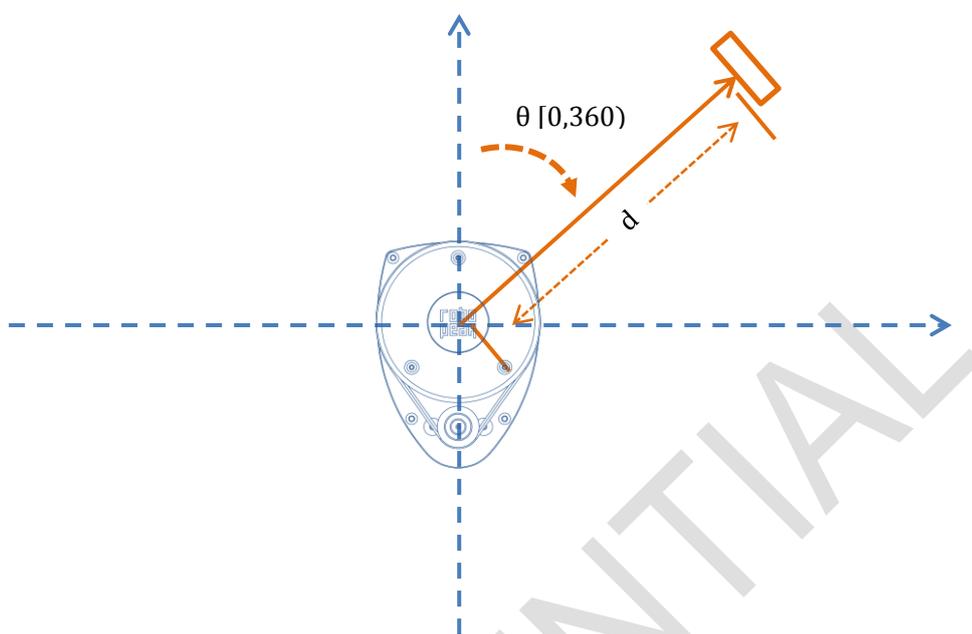


图：扫描测距输出的数据应答报文

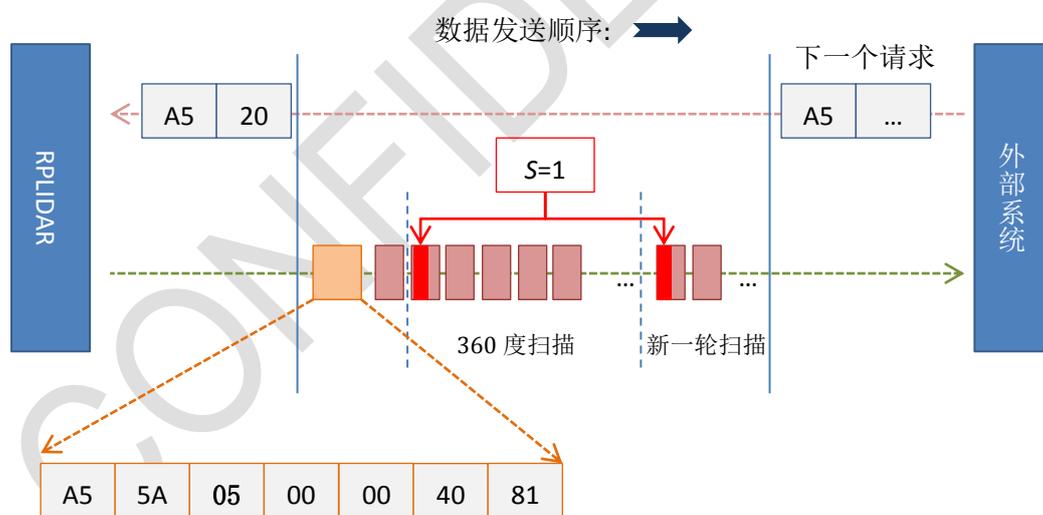
RPLIDAR 在扫描测距中会将每个采样点通过上述结构的数据应答报文发送至外部系统。其中各字段定义如下：

字段名	描述	举例/备注
S	扫描起始标志位。	S=1 表示新的一圈 360 度扫描的开始。
\bar{S}	扫描起始标志位的取反，始终有 $\bar{S} = !S$	可用于数据应答报文起始字节的判断和数据校验
C	校验位，永远为 1	可用于数据应答报文起始字节的判断和数据校验
quality	采样点信号质量	与激光接收信号质量相关
angle_q6	测距点相对于 RPLIDAR 朝向夹角（角度表示，[0-360)。使用定点小数表示	具体定义见示意图。 实际角度 = angle_q6/64.0 Deg
distance_q2	测距点相对于 RPLIDAR 的距离(毫米单位)。使用定点小数表示 当采集到无效点时，该字段为零。	具体定义见示意图。 实际距离 = distance_q2/4.0 mm

夹角与距离值几何定义如下图所示：



下图展示了外部系统在发送扫描采样请求后的通讯情况：



图：SCAN 请求的通讯时序

强制扫描采样(FORCE_SCAN)命令请求与回应数据格式

请求报文:

A5	21
----	----

起始应答:

A5	5A	05	00	00	40	81
----	----	----	----	----	----	----

数据应答类型: **多次** 数据应答长度: **5 bytes**

强制扫描采样(FORCE_SCAN)使得 RPLIDAR 忽略当前扫描电机的工作状态而强行进行扫描测距并发送数据应答。该请求可以用于设备测试。

RPLIDAR 采用与开始扫描采样(SCAN)命令类似的处理逻辑来响应强制扫描采样请求。起始应答报文与数据应答报文均与针对 SCAN 的应答报文一致。

设备信息获取(GET_INFO)命令请求

请求报文:

A5	50
----	----

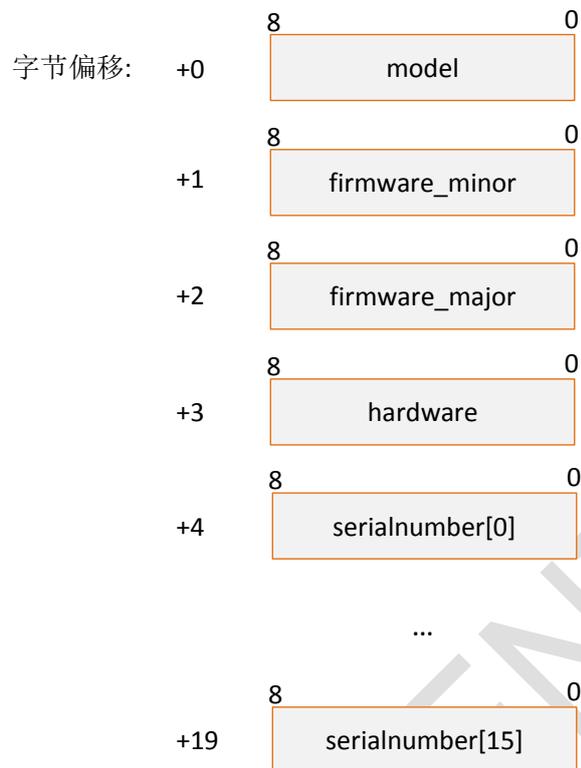
起始应答:

A5	5A	14	00	00	00	04
----	----	----	----	----	----	----

数据应答类型: **单次** 数据应答长度: **20 bytes**

RPLIDAR 在收到外部系统发送该请求后，将自身诸如序列号、固件/硬件版本等信息作为应答发送回外部系统。

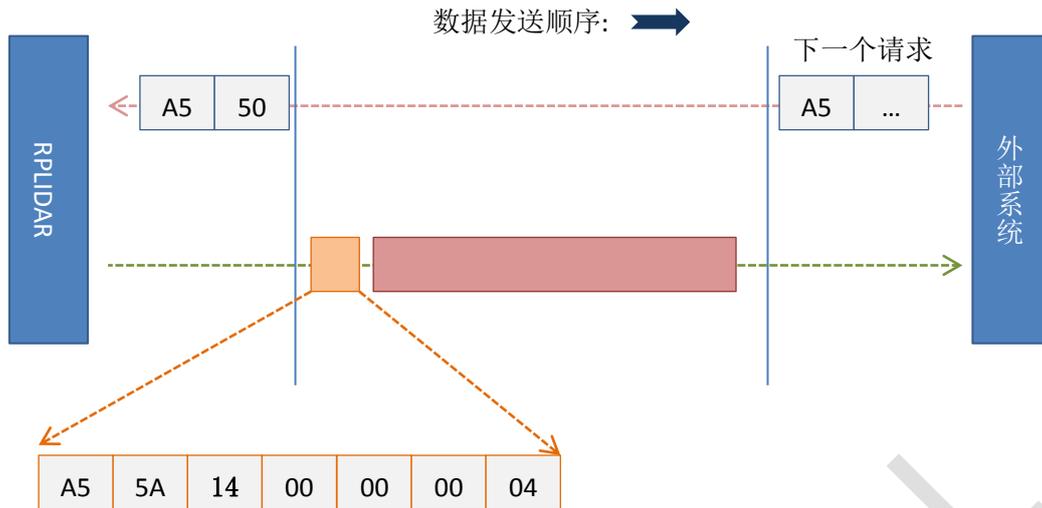
数据应答报文格式:



图：设备信息获取对应的数据应答报文

各字段定义:

字段名	描述	举例/备注
model	RPLIDAR 型号	正在使用的 RPLIDAR 型号
firmware_minor	固件版本号，次版本号	固件版本中的小数部分
firmware_major	固件版本号，主版本号	固件版本中的整数部分
hardware	硬件版本号	
serialnumber[16]	16 字节的唯一序列号	文本表示上，低字节数据在前，高字节部分在后



图：GET_INFO 请求的通讯时序

设备健康状态获取(GET_HEALTH)命令请求

请求报文:

A5	52
----	----

起始应答:

A5	5A	3	00	00	00	06
----	----	---	----	----	----	----

数据应答类型:

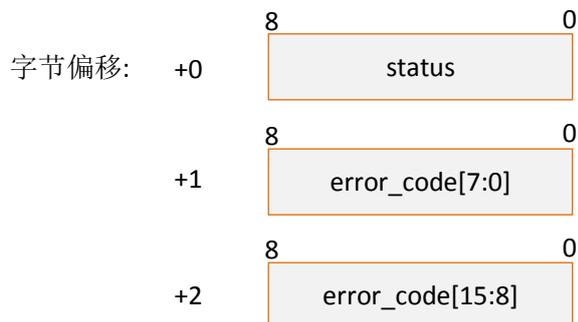
单次

数据应答长度:

3 bytes

外部系统可以通过发送该请求了解 RPLIDAR 测距核心的工作状态。如果 RPLIDAR 因为内部故障进入了保护性停机模式，则会在该请求的应答中发送对应的错误代号。

数据应答报文格式：



图：设备健康状态请求对应的数据应答报文

上述报文中各字段的含义见下表：

字段名	描述	举例/备注
status	RPLIDAR 健康状态	取值定义： 0: 状态良好 1: 警告 2: 错误 当测距核心检测到有潜在错误但不足以导致 RPLIDAR 进入保护性停机时，该字段将被设为警告状态。此时 RPLIDAR 仍旧可能正常工作。 当该字段为错误时，RPLIDAR 已进入保护性停机状态
error_code	具体的警告/错误代码	当出现警告或者错误状态时，具体的错误代号会被记录在该字段当中。

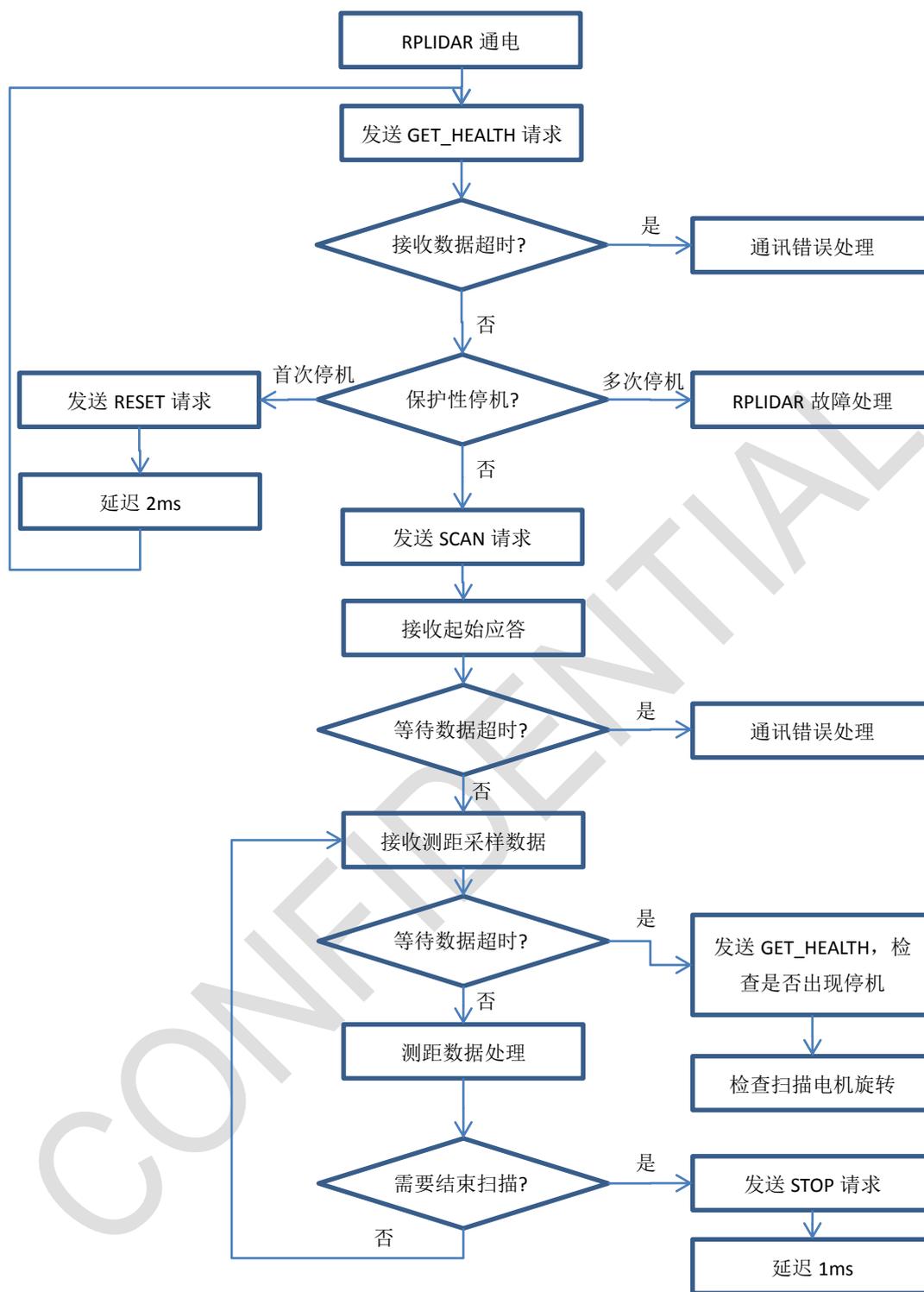
当外部系统检测到 RPLIDAR 进入保护性停机模式后，可以尝试发送重启 (RESET) 命令尝试重启 RPLIDAR 解决问题。如果 RPLIDAR 多次进入保护性停机模式，则表示内部系统可能出现了不可恢复性损伤。

5. 使用举例

获取 RPLIDAR 扫描测距数据

推荐外部系统按照如下过程开启 RPLIDAR 的测距采样模式，并获取扫描测距数据。在向 RPLIDAR 发送 SCAN 请求前，建议首先发送 GET_HEALTH 请求检查 RPLIDAR 是否出现保护性停机情况，若出现停机，则尝试进行 RESET。

CONFIDENTIAL



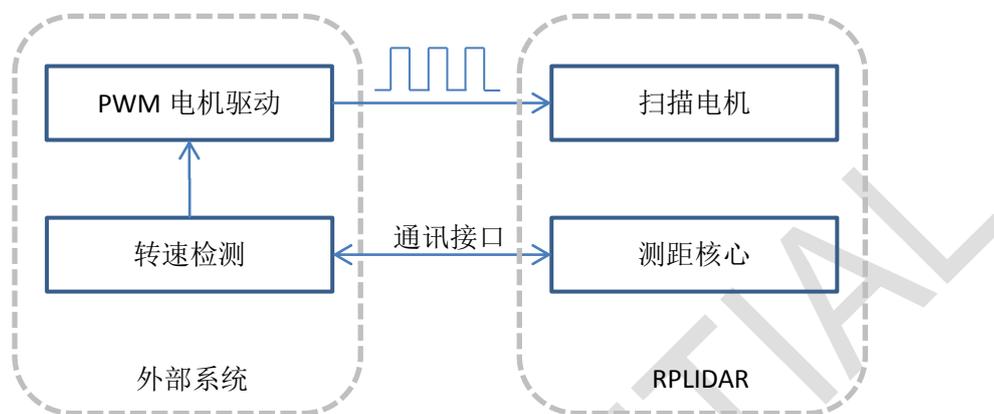
具体的实现过程请参考配套 SDK 的代码。

计算 RPLIDAR 的扫描转速

大部分情况下外部系统无需关心 RPLIDAR 的实际扫描速度。RPLIDAR 内部

具有扫描转速检测系统,可以实时的适应当前的转动速度,保证测距结果的准确。

对于高精度场合,外部系统可以通过 PWM 驱动等方式,使用计算得到的 RPLIDAR 扫描速度实时控制电机转速,达到恒定扫描频率的作用。



图：通过计算扫描转速结合 PWM 方式的扫描电机驱动实现扫描转速稳定

外部系统可以自 RPLIDAR 开始测距采样后,记录两个起始标志位为 1(S=1) 的数据应答报文的接收时间间隔 ΔT 。它表示了当前 RPLIDAR 测距核心旋转一周的时间。则实际转速可用下列公式得出:

$$\text{RPM} = \frac{1}{\Delta T} * 60$$

通过上述计算,外部系统可将转速信息用作扫描电机的控制反馈。

6. 修订历史

日期	内容
2013-3-5	初稿
2014-1-25	修正了相关描述
2014-3-8	增加了发送请求报文的时间要求描述

CONFIDENTIAL