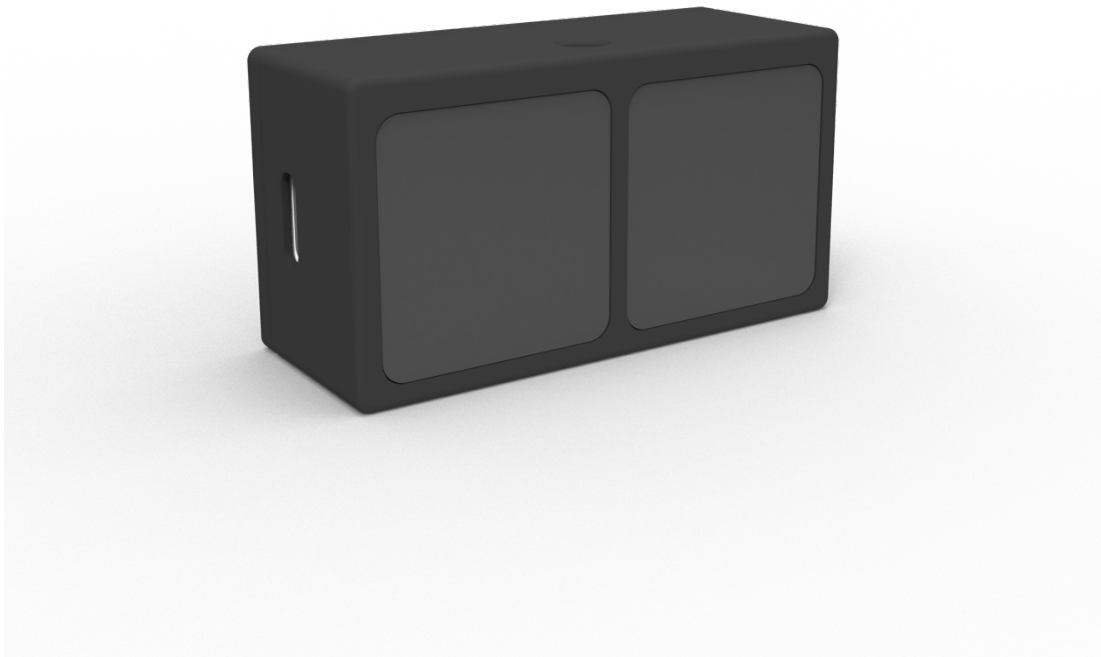


MMPT044-940 开发手册



1 MMPT044-940 工作机制

使用 MMPT044-940 的系统设置了 3 种工作模式：空闲模式、测距模式、睡眠模式。

空闲模式：上电时默认为空闲模式，空闲模式时，激光器不亮，测距功能不工作。

测距模式：MMPT044-940 的系统进入测距模式时，激光器点亮，开始工作，进行采样，经过数据处理后可以通过 USB 或 UART 传送距离数据、图像等。

睡眠模式：当 MMPT044-940 输入电压发生过压或欠压（小于 3V）时，系统自动进入过压/欠压保护睡眠模式，关闭所有功能，单元不工作。

2 MMPT044-940 系统通讯方式

2.1 设备连接

与 MMPT044-940 连接通过两种方式：

- (1) UART
- (2) USB Virtual COM（数据过 Bulk Transaction 发送）

2.2 命令包格式

命令报文的固定长度为 14 字节:一个开始字节(值 0xF5)，后面是 1 字节的命令标识符(CMD)， 8 字节的命令标识符参数和 1 个 32 位 CRC 的结束字节。

应答包具有可变长度:一个起始字节(值 0xFA)，后面是 1 字节类型定义，2 字节长度定义 n, n 字节数据和 1 个带 32 位 CRC 的结束字节。

数据完整性由每个相机响应添加的 CRC 校验和提供。CRC 的计算包含了对象的所有字节

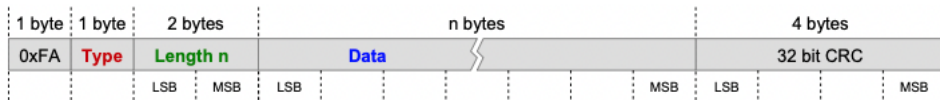
除了 CRC 本身。命令列表中列出了示例。CRC 规范如下:

- Byte-wise CRC32
- Polynom: 0x04C11DB7
- Xor value: 0x00000000
- Init value: 0xFFFFFFFF

命令报文 (Command Format)



应答报文 (Response Format)



3 MMPT044-940 命令集概述

命令集主要分 3 种命令：

设置命令 (SET Commands)：用来设置测距相关的参数、帧率、是否开启滤波功能等

获取命令 (GET Commands)：获取距离、灰度、幅度、校准等数据

混合命令 (Miscellaneous Commands)：获取设备状态、设备版本、设备 ID 号、接收端的芯片温度等信息

设置命令

命令	CMD	描述
SET_INT_TIME_DIST	0x00	距离测量设置的积分时间
SET_INT_TIME_GS	0x01	灰度测量设置的积分时间
SET_HDR	0x0D	高动态范围模式设置(HDR)
SET_ROI	0x02	兴趣区域设置(ROI)
SET_INTERFERENCE_DETECTION	0x11	设置干扰检测设置
SET_EDGE_DETECTION	0x10	设置边缘检测设置
SET_FRAME_RATE	0x0C	设置(最大)帧速率
SET_AMPLITUDE_LIMIT	0x09	置信度信息的幅度限制设置
STOP_STREAM	0x28	停止来自相机的流
SET_COMPENSATION	0x55	设置补偿标志

获取命令

命令	CMD	描述
GET_DIST	0x20	执行距离采集
GET_DIST_GS	0x29	执行距离和灰度采集
GET_DIST_AMPLITUDE	0x22	执行距离和 TOF 振幅采集
GET_GS	0x24	执行灰度采集
GET_DCS	0x25	执行 DCS 采集

GET_CALIBRATION_INFO	0x57	返回设备上的校准信息
----------------------	------	------------

混合命令

命令	CMD	描述
GET_TEMPERATURE	0x4A	返回芯片温度
IDENTIFY	0x47	返回设备 ID 和操作模式

4. 设置命令

4.1. SET_INT_TIME_DIST [0x00]

设置积分时间，在 2D 相机中称为曝光时间，是控制相机的中心参数。与任何 2D 相机一样，曝光时间对于良好的图像质量至关重要。如果景物处于黑暗中，为了让画面中的黑暗区域清晰可见，就需要更长的曝光时间。另一方面，景物中的高亮度需要较短的曝光时间，以避免像素饱和。通常，现代数码相机的曝光时间设置是自动设置的，取决于照明情况。

每台 3D 相机也依赖于良好的集成时间设置。积分时间越长，灵敏度越高。因此，更长的积分时间可以探测到更远的物体。然而，近距离的高反射物体会导致一个或多个像素的饱和，因此距离测量不再可能。

允许手动设置和自动设置积分时间操作。在手动模式下，可以通过曝光前的参数设置积分时间。

在自动模式下，积分时间是根据景物的亮度自动设定的。

值得注意的是，较长的整合时间会导致收集到更多的环境光。收集的环境光越多，由于环境光产生的镜头噪声，距离噪声就越高。因此，积分时间越短，则越低距离噪声。根据经验，小于 1000 μ s 的积分时间可以实现非常有效的环境光抑制。大于 1000 μ s 的集成时间应仅用于室内应用。

还需要注意的是，物体的反射率会对距离测量精度产生影响。

WFOV 宽视场角

IntTimeIn	视场	没有 HDR	HDR	默认(us)
0x00	WFOV	用于全像素场或 ROI 的集成时间	1.积分时间 WFOV	125
0x01	WFOV		2.积分时间 WFOV	0
0x02	WFOV		3.积分时间 WFOV	0
0x03	WFOV		4.积分时间 WFOV	0
0xFF	WFOV	自动模式:积分时间自动设定在 1 ~ 1000 μ s 之间	自动模式	

3D Time-of-Flight Camera with Wide Field of View

参数	字节 0: IntTimeIndex
	字节 1,2:积分时间(以微秒为单位), 16 位无符号整数, 范围:1…1000μs。
	其他: 0
响应类型	0x00: ACK
响应时间	T _{PROC} : ~ 25μs
例子	0xF5 0x00 0x00 0x1E 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x47 0x7 0xEC 0xC0 (积分时间 0 = 30μs)

考虑以下振幅返回, 以获取适当的积分时间设置

TOF 振幅	效果
<100 LSB	距离结果包含显著的距离噪声。增加积分时间和/或应用时间滤波器来降低距离噪声。
100 ~ 1900 LSB	1900 LSB 测量数据好, 距离噪声小。但推荐使用时间滤波。
500 ~ 1900 LSB	为最佳表现的距离数据的理想振幅。
>1900 LSB	距离结果可能因饱和而出错。

4.2.SET_INT_TIME_GS [0x01]

设置灰度测量的积分时间。将灰度积分时间设置为 0 可启用环境光补偿。任何不同于 0 的值将禁用环境光补偿。灰度没有自动积分时间模式。

参数	字节 0: 积分时间(以微秒为单位), 16 位无符号整数, 范围:1…1000μs。 积分时间为 0 时默认为环境光补偿
	其他: 0
响应类型	0x00: ACK
响应时间	T _{PROC} : ~ 25μs
例子	0xF5 0x01 0x1E 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x59 0xB0 0xAC 0x6B (积分时间 GS = 30μs)

4.3.SET_HDR [0x0D]

设置距离采集的高动态范围(high-dynamic range, HDR)类型。它们最好在距离和 TOF 振幅模式下使用。它们不影响灰度模式。有两种不同的模式可供选择:

1. 空间 HDR

在该模式下, 在图像采集过程中同时使用不同的积分时间, WFOV 的积分时间为 IntTimeIndex0/1/2/3。IntTimeIndex0/2/4 用于偶数行, IntTimeIndex1/3/5 用于奇数行。在图像采集之后, 从两个垂直相邻的像素中选择具有最多四个像素值的“最佳”幅度值的像素, 并用相同的值填充(修补)该像素对的其他像素。其结果是具有非常高的动态范围, 最佳帧率但具有较低的垂直分辨率的图像。实际上, 像素变成了一个垂直的矩形, 因为两个垂直的相邻像素总是包含相同的值。

可以只使用一对，2次积分。因此，将未使用的积分时间对设置为零。在这种情况下，相机通过对偶数行和奇数行应用两个不同的积分时间来获取一张图像。因此，图像采集速度更快，因为只有一次采集而不是两次。

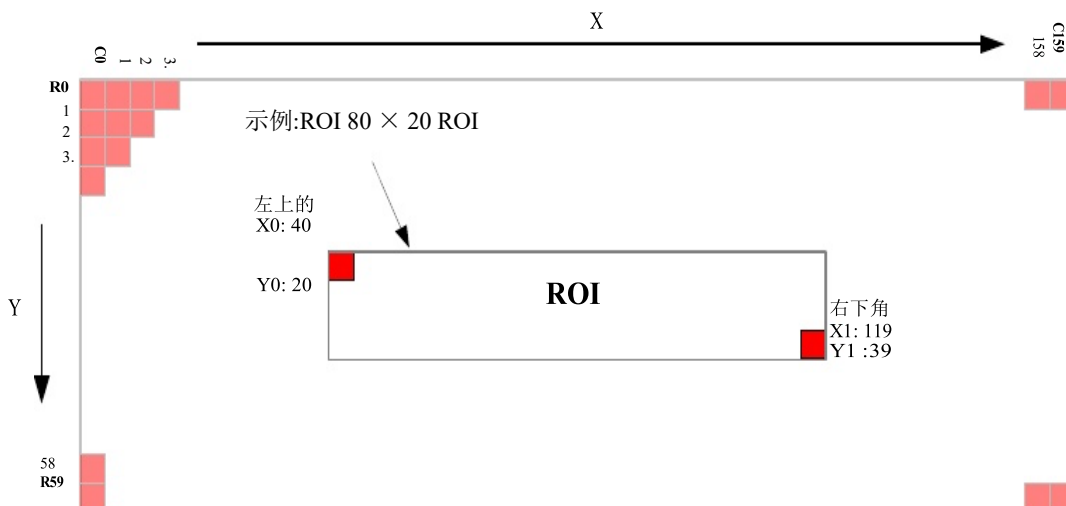
2. 时间 HDR

摄像机通过使用 IntTimeIndex0、IntTimeIndex1、IntTimeIndex2、IntTimeIndex3、IntTimeIndex4 和 IntTimeIndex5，以连续递增的顺序获取和传输图像数据。然后，主机软件必须通过选择每个像素的最佳幅度，将多达四张图像修补为一张 HDR 图像。可以只使用 2 或 3 个积分次数。在这种情况下，将未使用的积分次数设置为零。

参数	字节 0: 0 = HDR 关闭, 默认值
	字节 1: 1 = 空间 HDR, 第一步使用行缩减在 1 帧中进行 2 次积分, 第二步时间方向为 2 连续帧
	2 = 时间 HDR, 时间方向为 2,3 或 4 个连续帧, 只获取 IntTimeIndex 的非零值
	其他: 0
响应类型	0x00: ACK
响应时间	T _{PROC} : ~25μs
例子	0xF5 0x0D 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x2A 0x7C 0x6A 0xBD (HDR 关闭)

4.4. SET_ROI [0x02]

相机的完整图像在 WFOV 模式下具有 160x 60 像素的像素场。“感兴趣区域 Range Of Interest” 仅获取应用所需的选定数量的像素。这减少了读出数据量并提高了帧速率。



参数	字节 0,1: 坐标 X0, 16 位无符号整数
	字节 2,3: 坐标 Y0, 16 位无符号整数
	字节 4,5: 坐标 X1, 16 位无符号整数
	字节 6,7: 坐标 Y1, 16 位无符号整数 范围: X0, X1 = 0...159, Y0, Y1 = 0...59, 默认值: 完整图像 160x60 像素边界: X1 - X0 > 7 像素, Y1 - Y0 > 3 像素, 每个增量为 4 像素的倍数。
响应类型	0x00: ACK

3D Time-of-Flight Camera with Wide Field of View

响应时间	$T_{PROC} : \sim 25\mu s$
例子	0xF5 0x02 0x00 0x00 0x00 0x00 0x9F 0x00 0x3B 0x00 0xB9 0xFC 0xA9 0x69 (X0 = 0, Y0 = 0, X1 = 159, Y1 = 59)

4.5.SET_INTERFERENCE_DETECTION [0x11]

交叉干扰（多台 ToF 情况下会产生交叉干扰）将导致 DCS0 与 DCS2 和/或 DCS1 与 DCS3 的不对称过零。

如果 DCS0(有符号)+ DCS2(有符号)> 阈值或 DCS1(有符号)+ DCS3(有符号)> 阈值，则标记为干扰像素。

参数	字节 0:0 =禁用(默认), 1 =启用
	字节 1:0=用状态码标记像素, 1=使用最后一个有效值
	字节 2/3: 干扰检测限制 (默认为 500)
	Others: 0
响应类型	0x00: ACK
响应时间	$T_{PROC} : \sim 25\mu s$
例子	0xF5 0x11 0x01 0x01 0x90 0x01 0x00 0x00 0x00 0x00 0x93 0xD8 0x1B 0x77 (启用, 使用最后一个值, 400lsb)

4.6.SET_EDGE_DETECTION [0x10]

设置边缘检测设置

参数	字节 0:0 =禁用, 否则边缘检测阈值(默认 300)
	字节 1:0=用状态码标记像素, 1=使用最后一个有效值
	Others: 0
响应类型	0x00: ACK
响应时间	$T_{PROC} : \sim 25\mu s$
例子	0xF5 0x10 0x2C 0x01 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0xDA 0x6E 0xA8 0x50 (阈值 300)

4.7. SET_FRAME_RATE [0x0C]

这个命令可以用来限制最大帧率。帧率基本上取决于积分时间加上处理时间。有两种不同的情况需要考虑:

- 1.如果积分时间加上处理时间小于设定的帧时间，则设定的帧时间限制了有效帧率。
- 2.如果积分时间加上处理时间大于设置的帧时间，则设置的帧率设置无效。在这种情况下，帧率由积分率加上处理时间给出。

参数	字节 0,1:0 = (1 /帧速率) (ms 单位), 16 位无符号整数。范围:10 - 200ms。默认值= 1(允许最大。可能的帧率)
	Others: 0
响应类型	0x00: ACK

3D Time-of-Flight Camera with Wide Field of View

响应时间	$T_{PROC} : \sim 25\mu s$
例子	0xF5 0x0C 0x14 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x2A 0xF7 0xB1 0x81 (50 fps)

4.10. SET_AMPLITUDE_LIMIT [0x09]

设置置信度信息的幅度限制。这些限制决定距离是否有效，并设置置信幅度。

参数	字节 0:0...3 =要设置的幅度极限（宽视场） 字节 1:0=用状态码标记像素，1=使用最后一个有效值 字节 2/3: 干扰检测限制（默认为 500）
	Others: 0
响应类型	0x00: ACK
响应时间	$T_{PROC} : \sim 25\mu s$
例子	0xF5 0x09 0x00 0x64 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0xE7 0x34 0xAE 0x47 (Set limit 0 = 100 LSB)

4.11.STOP_STREAM [0x28]

如果相机处于流模式，则停止流。

参数	所有字节 0x00。默认值:摄像头不串流。
响应类型	0x00: ACK
响应时间	T_{PROC} :最大。1 张图像的计算时间。取决于设置。
例子	0xF5 0x28 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0xF9 0x7F 0x68 0x81

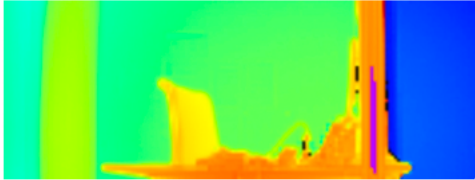


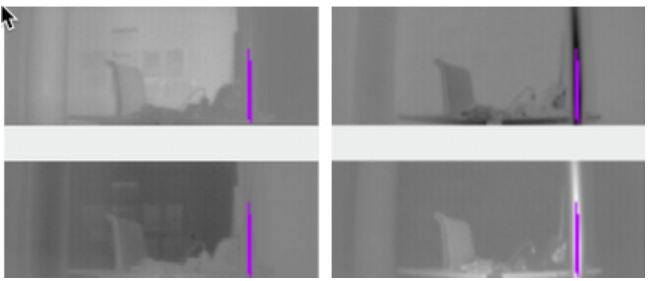
4.12.SET_COMPENSATION [0x55]

如果没有校准和运行时补偿，距离测量相当不准确，并且会因温度和环境光的变化而漂移。因此，此单元是工厂校准的，它使用运行时补偿以获得最佳精度。

参数	字节 0:距离响应非均匀性补偿(DRNU)，0 =关闭，1 =激活(默认) 字节 1:Ambient-light 补偿，0 =关闭，1 =激活(默认) 字节 2:温度补偿，0 =关闭，1 =激活(默认) 其他:0
	Others: 0
响应类型	0x00: ACK
响应时间	$T_{PROC} : \sim 25\mu s$
例子	0xF5 0x0C 0x14 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x2A 0xF7 0xB1 0x81 (50 fps)

5. 获取指令

采集到的图像及其定义

距离图	示例图片 
幅度图	示例图片 
灰度图	示例图片 
4 DCS	示例图片 

GET 命令执行图像采集和数据读出

1) 获取数据可以有以下三种模式

获取模式	参数字节 0	描述
单次测量	0x00	相机获取一个图像
流水线式 单次测量	0x01	与命令下图像的数据传输并行，下一个图像已经被获取。这样就减少了下一个命令的处理时间。这种模式获得的帧率几乎与流式模式相同。
流模式	0x02	摄像头连续采集图像并流式传输数据。流可以通过其他采集或 STOP_STREAM 命令终止

2) 采集数据输出格式

3D Time-of-Flight Camera with Wide Field of View

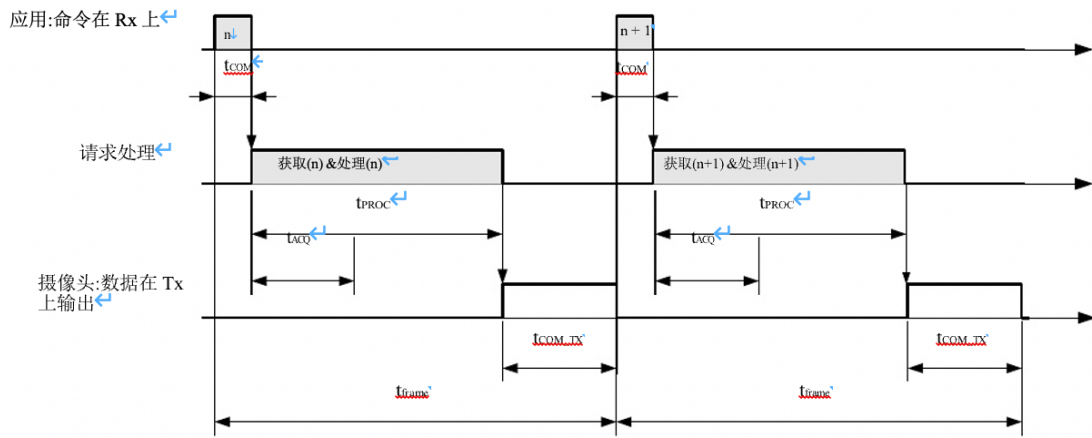
Confidence bit15、14	Distance bit13...0	振幅限制	定义
宽视场(WFOV)			
定义	0...7500d	-	Mod.频率:20MHz FOV:全帧 160x60 像素或 ROI。 距离范围 4 m 分辨率: 1mm/LSB 数据:16 位:2 位置信度和 14 位无符号 整数距离
00	< 7500 d	TOF 振幅> AmpLimit0 默认 = 50 LSB	极低振幅: 结果显示有物体存在, 但 距离信息非常不准确。
10	< 7500 d	TOF 振幅> AmpLimit1 默认 = 100 LSB	弱振幅: 距离结果可用, 但精度降 低。
10	< 7500 d	TOF 振幅> AmpLimit2 默认 = 200 LSB	幅值好: 距离信息好。
11	< 7500 d	TOF 振幅> AmpLimit3 默认 = 500 LSB	极佳幅度: 最精确的距离测量。
	> 7500 d	TOF 幅度< AmpLimit0	距离不可用或超出范围: 检查距离状 态。
状态	16001 d	-	低 TOF 幅度
	16002 d	-	超过 A/D 转换限制
	16003 d	-	像素饱和
	16007 d	-	调制干扰或运动模糊
	16008 d	-	通过边缘检测过滤出来

3) 响应头

对距离、灰度、幅度和 DCSx 的命令请求的每个响应都包括这个报头作为传输的固定部分。它包含有关采集和系统参数设置的信息。如果不需要, 应用程序可以跳过这些信息。

条目	格式	字节	备注	
头版本	8 位无符号整数	1	0	针对未来的协议识别, 更改版本。
帧计数器	16 位无符号整数	2	1	每帧递增, 在 65'535 处滚动
时间戳	16 位无符号整数	2	3	增量每毫秒, 滚动 65'535 秒

TOFCOS 版本	MSBytes: 16 位无符号版本 LSBytes: 16 位无符号子版本	4	5	
硬件版本	8 位无符号整数	1	9	
芯片版本	16 位无符号整数	2	10	
图像宽度(x 轴)	16 位无符号整数	2	12	
图像高度(y 轴)	16 位无符号整数	2	14	
图像原点 X	16 位无符号整数	2	16	
图像原点 Y	16 位无符号整数	2	18	



5.1.GET_DIST (0x20)

执行距离采集。它以流式模式连续返回结果或状态。

参数	字节 0: 获取模式。 其他: 0
响应类型	0x03: Distance
响应数据	80 字节报头+max 160 × 60 像素 × 2 字节/像素 WFOV 距离数据
响应时间	根据设置, 最高可达~100ms
例子	0xF5 0x20 0x00 0x62 0xAC 0xA8 0xCC (采集模式 0)

5.2.GET_DIST_GS (0x29)

执行距离和灰度采集。它以流式模式连续返回结果或状态。

参数	字节 0: 采集模式。 其他: 0
响应类型	0x0A: 距离和灰度
响应数据	80 字节报头+max 160x60 像素 x 3 字节/像素 WFOV 16 位距离数据和 8 位灰度数据
响应时间	根据设置, 最高可达~100ms
例子	命令 e.g. 0xF5 0x29 0x00 0x07 0xC8 0x28 0x2A (采集模式 0) 响应 e.g. 0xFA 0x0A 0xD0 0x70 0x28 0x0F 0x00 0x00... (总共 28'880 字节) CRC(4 字节)

3D Time-of-Flight Camera with Wide Field of View

5.3. GET_DIST_AMPLITUDE [0x22]

执行距离和 TOF 振幅采集。它以流式模式连续返回结果或状态。

参数	字节 0:获取模式。
	其他: 0
响应类型	0x05:距离和幅度
响应数据	80 字节报头+max 160 × 60 像素 × 4 字节/像素 WFOV
响应时间	根据设置, 最高可达~100ms
例子	0xF5 0x20 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x62 0xAC 0xA8 0xCC (采集模式 0)

5.4.GET_GS [0x24]

执行灰度采集。它以流式模式连续返回结果或状态。

参数	字节 0:获取模式。
	其他: 0
响应类型	0x06:灰度
响应数据	80 字节报头+max 160 × 60 像素 × 1 字节/像素 带有 8 位灰度数据 仅适用于模式 0、1、4、5
响应时间	根据设置, 最高可达~100ms
例子	0xF5 0x24 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x68 0x74 0x4B 0x28 0x68 (采集模式 0) 0xFA 0x06 0xD0 0x25 0x28 0x0F 0x00 0x00... (9'680 字节总计) CRC(4 字节)

5.5.GET_DCS [0x25]

执行 DCS 采集。它以流式方式连续返回结果或状态。

参数	字节 0:获取模式。
	其他: 0
响应类型	0x07: DCS 数据
响应数据	一个“GET_DCS”命令以一个或两个数据包的形式传输数据, 80 字节的报头 1 字节的包号+ 4 字节的总大小 +max。50000 字节(160x60 像素 × 2 字节/像素, 16 位 DCS 数据)。
响应时间	根据设置, 最高可达~200ms
例子	0xF5 0x25 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x6A 0xFC 0x68 0xC3 (模式 0) 0xFA 0x07 0x50 0xC3 0x00 0x00 0x2C 0x01 0x00 0x28 0x0F 0x00 ... (50'000 bytes total) CRC (4 bytes) 0xFA 0x07 0xB0 0x68 0x01 0x00 0x2C 0x01 0x00 0x28 0x0F 0x00 ... (26'800 bytes total) CRC (4 bytes)

6 混合命令

6.1. GET_TEMPERATURE [0x4A]

返回距离采集时接受光的芯片温度。

参数	无, 所有字节 0x00
响应类型	0xFC:数据
响应数据	2 个字节: 温度, 0.01°C/LSB, 16 位补码有符号整型
响应时间	~25us
例子	0xF5 0x4A 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x1F 0xF8 0x6E 0x87 0xFA 0xFC 0x02 0x00 0x47 0x13 0x54 0x1E 0x4C 0x14 (Temperature = 49.35° C)

6.2. IDENTIFY [0x47]

返回单元版本。

参数	无, 所有字节 0x00
响应类型	0x02:数据
响应数据	4 字节: 字节 0: 硬件版本 字节 1: 设备版本 字节 2: 接收光的芯片版本 字节 3: 0x00=正常模式, 0x80=BootLoader
响应时间	~25us
例子	0xF5 0x47 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x8C 0x7B 0x6E 0xC5 0xFA 0x02 0x04 0x00 0x00 0x00 0x04 0x00 0xE5 0x48 0x22 0x5D (HW version 0, normal operation)

7.版本信息

版本	时间	备注
V0.1	10/25/2023	初版发布
V1.0	10/30/2023	正式版本发布