

DLP3030-Q1 抬头显示器 (HUD) Piccolo SPI

User' s Guide



Literature Number: ZHCU951A
MARCH 2018 - REVISED APRIL 2022

1 串行外设接口 (SPI)	11
1.1 串行外设接口 (SPI).....	11
1.2 方框图.....	11
1.3 信号格式.....	12
1.4 SPI 数据包结构.....	12
1.4.1 起始字符.....	13
1.4.2 命令字节.....	13
1.4.3 长度字节.....	13
1.4.4 数据字节.....	13
1.4.5 校验和.....	13
1.4.6 响应字节.....	14
1.5 错误校验机制.....	14
1.5.1 SPI 事务起始字符和转义字符.....	14
1.5.2 具有特殊字符的校验和计算.....	15
1.5.3 SPI 流程控制图.....	16
2 SPI 命令规格 - 引导加载程序	19
2.1 SPI 命令规格 - 引导加载程序.....	19
2.2 引导加载程序软件版本 (32h).....	19
2.2.1 读取响应.....	19
2.3 引导加载程序软件状态 (33h).....	20
2.3.1 读取响应.....	20
2.4 二进制闪存读取/设置二进制读取起始地址 (71h).....	21
2.4.1 写入.....	21
2.4.2 读取.....	21
2.4.3 读取响应.....	21
2.5 切换模式 (7Ah).....	21
2.5.1 读取.....	21
2.5.2 读取响应.....	22
2.6 对 Piccolo 软件进行编程 (7Bh).....	22
2.6.1 擦除.....	22
2.6.2 起始地址和长度.....	23
2.6.3 编程.....	23
2.6.4 读取.....	23
2.6.5 读取响应.....	24
2.7 Piccolo 编程模式 (7Eh).....	24
2.7.1 读取响应.....	24
2.8 保留在引导加载程序中.....	24
2.8.1 写入字节.....	24
2.8.2 读取响应.....	25
3 SPI 命令规格 - 主应用程序	27
3.1 SPI 命令规格 - 主应用程序.....	27
3.2 背光 (00h).....	29
3.2.1 写入.....	29
3.2.2 读取.....	30
3.2.3 读取响应.....	30
3.3 主器件开/关 (01h).....	30

3.3.1 写入.....	30
3.3.2 读取.....	30
3.3.3 读取响应.....	30
3.4 DMD 停止 (02h).....	31
3.4.1 写入.....	31
3.4.2 读取.....	31
3.4.3 读取响应.....	31
3.5 启动界面控制模式 (25h).....	31
3.5.1 写入.....	31
3.5.2 读取.....	32
3.5.3 读取响应.....	32
3.6 DMD 驱动强度 (26h).....	32
3.6.1 写入.....	32
3.6.2 读取.....	32
3.6.3 读取响应.....	32
3.7 加热器 PWM 参数 (27h).....	33
3.7.1 写入.....	33
3.7.2 读取.....	33
3.7.3 读取响应.....	33
3.8 边框偏移 (28h).....	34
3.8.1 写入.....	34
3.8.2 读取.....	34
3.8.3 读取响应.....	34
3.9 准备 ASIC 闪存/切换 SPI 总线 (2Fh).....	34
3.9.1 写入.....	34
3.9.2 读取.....	35
3.9.3 读取响应.....	35
3.10 ASIC BIST 结果 (30h).....	35
3.10.1 读取响应.....	35
3.11 ASIC 初始化类型 (31h).....	36
3.11.1 读取响应.....	36
3.12 Piccolo 软件版本 (32h).....	37
3.12.1 读取响应.....	37
3.13 Piccolo 软件状态 (33h).....	37
3.13.1 读取响应.....	37
3.14 ASIC 寄存器 (34h).....	38
3.14.1 写入.....	38
3.14.2 读取.....	39
3.14.3 读取响应.....	39
3.14.4 ASIC 寄存器详细信息.....	39
3.15 VAC 模式 (35h).....	39
3.15.1 写入.....	39
3.15.2 读取.....	40
3.15.3 读取响应.....	40
3.16 工作模式 (36h).....	40
3.16.1 读取响应.....	40
3.17 PWM 灵敏度 (37h).....	40
3.17.1 读取响应.....	40
3.18 Piccolo 软件辅助状态 (38h).....	41
3.18.1 读取响应.....	41
3.19 额外信息键 (39h).....	42
3.19.1 读取.....	42
3.19.2 读取响应.....	42
3.20 额外信息值 (3Ah).....	42
3.20.1 读取.....	42
3.20.2 读取响应.....	43

3.21 调光 LUT 组和伽玛索引 (40h).....	43
3.21.1 写入.....	43
3.21.2 读取.....	43
3.21.3 读取响应.....	43
3.22 调光 LUT 组信息 (41h).....	44
3.22.1 读取.....	44
3.22.2 读取响应.....	44
3.23 CMT/伽玛信息 (43h).....	45
3.23.1 读取.....	45
3.23.2 读取响应.....	45
3.24 命令列表地址 (4Eh).....	45
3.24.1 读取.....	45
3.24.2 读取响应.....	45
3.25 通用命令列表类型 (4Fh).....	46
3.25.1 读取.....	46
3.25.2 读取响应.....	46
3.26 命令列表编号 (50h).....	46
3.26.1 读取.....	46
3.26.2 读取响应.....	46
3.27 读取命令表信息/执行命令列表 (51h).....	47
3.27.1 写入.....	47
3.27.2 读取.....	47
3.27.3 读取响应.....	47
3.28 前端视频 BIST 像素 (53h).....	48
3.28.1 写入.....	48
3.28.2 读取.....	48
3.28.3 读取响应.....	48
3.29 前端视频 BIST (54h).....	49
3.29.1 写入.....	49
3.29.2 读取.....	49
3.29.3 读取响应.....	49
3.30 外部视频检测 BIST (55h).....	50
3.30.1 写入.....	50
3.30.2 读取.....	50
3.30.3 读取响应.....	51
3.31 低通滤波器常量 (60h).....	52
3.31.1 写入.....	52
3.31.2 读取.....	52
3.31.3 读取响应.....	52
3.32 温度补偿 (61h).....	53
3.32.1 写入.....	53
3.32.2 读取.....	54
3.32.3 读取响应.....	54
3.33 LED 电压和电流 (62h).....	55
3.33.1 读取.....	55
3.33.2 读取响应.....	55
3.34 DMD 温度 (63h).....	55
3.34.1 读取.....	55
3.34.2 读取响应.....	55
3.34.3 示例 : K10 格式 :	56
3.35 启用校准模式 (64h).....	56
3.35.1 写入.....	56
3.35.2 读取.....	56
3.35.3 读取响应.....	56
3.36 红色 LED PWM (65h).....	57
3.36.1 写入.....	57

3.36.2 读取.....	57
3.36.3 读取响应.....	57
3.37 绿色 LED PWM (66h).....	57
3.37.1 写入.....	57
3.37.2 读取.....	57
3.37.3 读取响应.....	58
3.38 蓝色 LED PWM (67h).....	58
3.38.1 写入.....	58
3.38.2 读取.....	58
3.38.3 读取响应.....	58
3.39 电流限制 PWM (68h).....	58
3.39.1 写入.....	58
3.39.2 读取.....	59
3.39.3 读取响应.....	59
3.40 传感器增益 (69h).....	59
3.40.1 写入.....	59
3.40.2 读取.....	59
3.40.3 读取响应.....	59
3.41 命令表索引 (6Ah).....	60
3.41.1 写入.....	60
3.41.2 读取.....	60
3.41.3 读取响应.....	60
3.42 传感器增益映射 (6Bh).....	61
3.42.1 读取响应.....	61
3.43 适配器 ADC 电压 (0x6C).....	61
3.43.1 读取.....	61
3.43.2 读取响应.....	61
3.44 配置格式版本 (6Dh).....	62
3.44.1 读取响应.....	62
3.44.2 配置格式说明.....	62
3.45 校准格式版本 (6Eh).....	62
3.45.1 读取响应.....	62
3.45.2 校准格式说明.....	63
3.46 校准数据版本 (6Fh).....	63
3.46.1 读取响应.....	63
3.47 将校准数据编程到闪存 (70h).....	63
3.47.1 写入.....	63
3.48 二进制闪存读取/设置二进制读取起始地址 (71h).....	64
3.48.1 写入.....	64
3.48.2 读取.....	65
3.48.3 读取响应.....	65
3.49 设置 PWM 周期/读取 PWM 信息 (72h).....	65
3.49.1 写入.....	65
3.49.2 读取.....	65
3.49.3 读取响应.....	65
3.50 PWM 比例因子 (73h).....	66
3.50.1 读取响应.....	66
3.51 ASIC 闪存读取 (74h).....	66
3.51.1 读取响应.....	66
3.52 ASIC 闪存读取设置 (75h).....	67
3.52.1 写入.....	67
3.52.2 读取.....	67
3.52.3 读取响应.....	67
3.53 电源轨电压 (0x78).....	68
3.53.1 读取.....	68
3.53.2 读取响应.....	68

3.54 电压监控 (或电压监测) (0x79).....	69
3.54.1 写入.....	69
3.54.2 读取.....	69
3.54.3 读取响应.....	69
3.55 切换模式 (7Ah).....	69
3.55.1 读取.....	69
3.55.2 读取响应.....	69
3.56 Piccolo IIC 时钟速率 (7Ch).....	70
3.56.1 写入.....	70
3.56.2 读取.....	70
3.56.3 读取响应.....	70
3.57 Piccolo 编程模式 (7Eh).....	70
3.57.1 读取响应.....	71
4 示例	73
4.1 示例.....	73
4.2 写入背光 0xFFFF.....	73
4.3 写入背光 0xA523 (数据中的特殊字符)	73
4.4 写入背光 0xFA5A (数据中的特殊字符)	73
4.5 写入背光 0xE96F (校验和中的特殊字符)	74
4.6 写入背光 0x9013 (校验和中的特殊字符)	74
4.7 写入 - 失败 - 校验和不匹配.....	74
4.8 写入 - 失败 - 无效命令.....	74
4.9 写入 - 失败 - 命令不可用.....	74
4.10 写入 - 失败 - 长度不匹配.....	75
4.11 写入 - 其他错误.....	75
4.12 读取背光.....	75
4.13 读取 ASIC 寄存器.....	75
4.14 读取 - 失败.....	76
5 写入和读取浮点数	77
5.1 写入和读取浮点数.....	77
5.2 示例：写入浮点数据 (例如 1.0) :	77
5.3 示例：读取浮点数据 :	77
6 修订历史记录	78

插图清单

图 1-1. Piccolo LED 控制器方框图.....	9
图 1-1. 方框图.....	11
图 1-2. 信号格式.....	12
图 1-3. SPI 数据包结构 - 主器件.....	12
图 1-4. 命令数据包示例.....	12
图 1-5. SPI 数据包结构 - 从器件 (读取)	13
图 1-6. 来自从器件的 SPI 读取响应数据包示例.....	13
图 1-7. SPI 命令字节.....	13
图 1-8. SPI 长度字节.....	13
图 1-9. SPI 写入事务.....	15
图 1-10. SPI 读取事务.....	15
图 1-11. SPI 主器件后处理阶段.....	16
图 1-12. SPI 从器件预处理阶段.....	17
图 2-1. 对 Piccolo 辅助操作码进行编程.....	22
图 2-2. 针对 Piccolo 擦除扇区屏蔽进行编程.....	23
图 2-3. 编程模式字节格式.....	24
图 3-1. 背光级别的位权重定义.....	29
图 3-2. 启动界面控制模式字节格式.....	32
图 3-3. ASIC BIST 结果字节格式.....	36
图 3-4. ASIC 初始化分支字节格式.....	37
图 3-5. 外部视频检测 BIST 写入参数说明.....	50

图 3-6. 外部视频检测 BIST 读取响应参数说明.....	51
图 3-7. 温度补偿 (字节 3)	53
图 3-8. 温度补偿 (字节 4)	53
图 3-9. 温度补偿 (字节 5)	54
图 3-10. 有效温度字节格式.....	55
图 3-11. 校准模式字节格式.....	56
图 3-12. 命令表索引字节格式.....	60
图 3-13. 命令标志.....	64
图 3-14. IIC 时钟速率字节格式.....	70
图 3-15. 编程模式字节格式.....	71
图 4-1. 示例图例.....	73

表格清单

表 1-1. 起始字符和转义字符示例.....	14
表 2-1. 引导加载程序 SPI 命令列表.....	19
表 3-1. 主应用程序命令列表.....	27

商标

DLP® is a registered trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

概述

Piccolo LED 控制器旨在以具有成本效益的方式支持采用 DLP® 技术的汽车类 LED 应用，此类应用需要在宽调光范围内精确地控制颜色和亮度。Piccolo LED 控制器是一种子系统级参考设计，它利用了 Piccolo TMS320F28023 MCU 的许多独特特性，以及在汽车 DLPC120 DMD 控制器 ASIC 中设计的一些特殊配套功能。

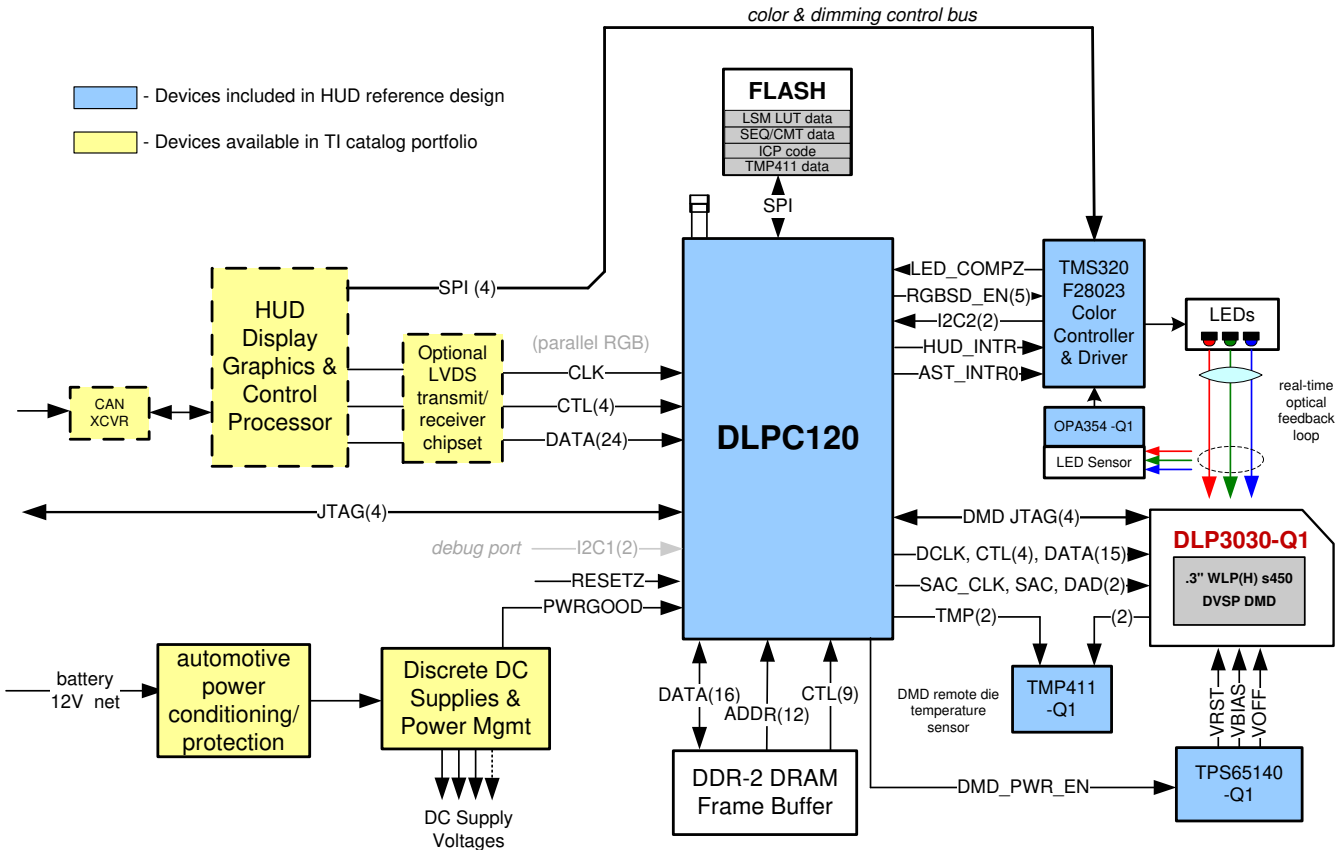


图 1-1. Piccolo LED 控制器方框图

DLPC120 ASIC 执行所有图像处理和显示控制操作，以支持 DLP3000-Q1 或 DLP3030-Q1 DMD。DLPC120 接受来自 HUD 显示图形和控制处理器（作为显示系统主控器）的并行视频输入。

Piccolo MCU 通过 SPI 总线输入接收由显示控制器发出的亮度/调光命令。Piccolo 软件会解释这些命令并协调系统内的所有调整。Piccolo 通过专用 I2C 总线（图 1-1 中的 I2C2）配置 DLPC120。Piccolo 软件还包括一个引导加载程序，它可以通过 SPI 更新 Piccolo MCU 的主应用程序。

用途和范围

本文档旨在为 Piccolo LED 控制器的 SPI 接口提供命令接口规范。

术语和缩写

缩写	说明
SPI	串行外设接口
从器件	Piccolo TMS320F28023
主器件	充当 SPI 主器件的显示器主机控制器

参考文献

	文档编号	文档名称
1.	DLPA084	DLP3030-Q1 显示 LED 驱动器应用手册
2.	DLPU061	适用于 DLPC120 ASIC 的 Piccolo 软件编程指南
3.	DLPU055	DLPC120 ASIC 的 I2C 编程指南

1.1 串行外设接口 (SPI)

Piccolo LED 控制器承载了一个 4 线 SPI 从接口。此接口用作到显示控制器的通信端口，支持高达 400kHz 的高速串行数据传输。以下四个引脚用于进行 SPI 通信：

- SPISOMI：SPI 从器件输出/主器件输入引脚
- SPISIMO：SPI 从器件输入/主器件输出引脚
- SPISTEn：SPI 从器件发送使能引脚
- SPICLK：SPI 串行时钟引脚

SPISTEn 引脚用作从器件选择引脚。高电平（未运行）信号导致从器件 SPI 串行移位寄存器停止，且其串行输出引脚进入高阻抗状态。SPISIMO 输入用作端口的串行数据输入（从主器件到 Piccolo）；SPISOMI 输出用作串行数据输出（从 Piccolo 到主器件）。

SPICLK 输入同时用作输入和输出数据的串行数据时钟。数据在 SPICLK 的上升沿在 SPISIMO 输入端锁存，而在 SPICLK 的下降沿在 SPISOMI 输出端根据时钟输出。

1.2 方框图

下图显示了 Piccolo（SPI 从器件）和显示控制器（SPI 主器件）之间的连接概况。

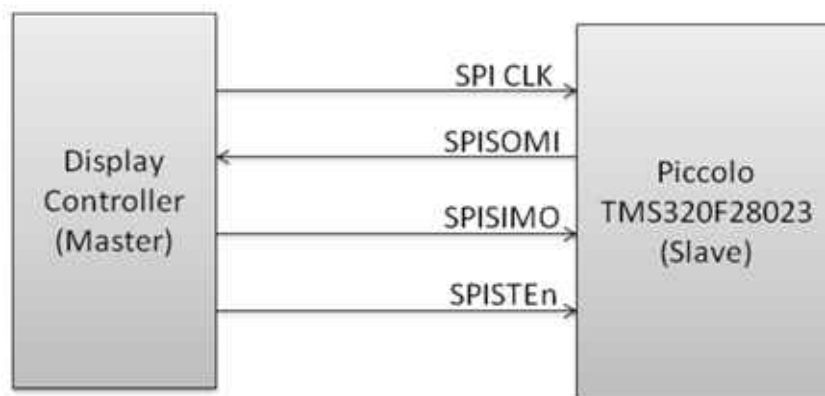


图 1-1. 方框图

1.3 信号格式

信号规格如下所示：

波特率	100kHz (可以更高, 但尚未使用其他速率进行全面测试)
模式	数据在下降沿写入, 在上升沿读取。时钟极性设为高电平 (“1”), 时钟相位设为正常 (“0” - 无半个周期延迟)。
数据长度	8 位 (1 个字节)
位顺序	MSB 优先 (在一个字节内)
字节顺序	最低有效字节优先 (对于多字节数据)
字节间距	1ms

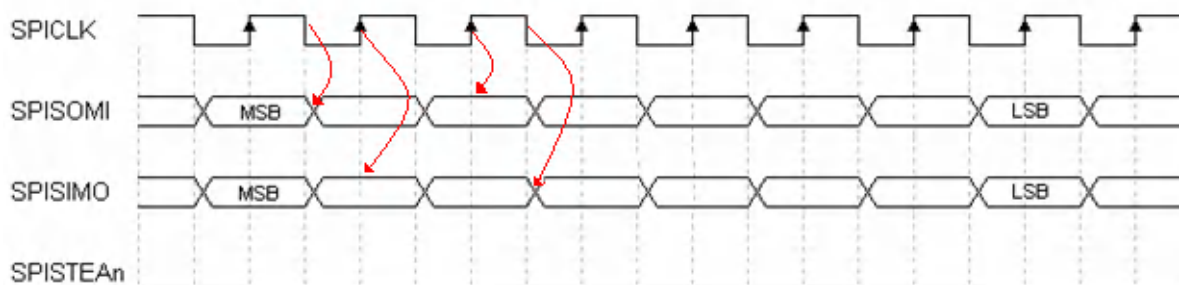


图 1-2. 信号格式

1.4 SPI 数据包结构

所有命令都作为数据包发送。只有主器件可以启动数据包事务。命令数据包由 START_CHARACTER、2 字节标头 (命令字节、长度)、可变数据有效负载以及校验和字节组成。下文各子节对此进行了解释。

图 1-3 中显示了由主器件发送的 SPI 数据包结构。

字节 0	字节 1	字节 2	字节 3	...	字节 n+2	字节 n+3
起始字符	命令字节	长度(n)	数据[1]	...	数据[n]	校验和

图 1-3. SPI 数据包结构 - 主器件

在图 1-3 中, n 表示正在传输的命令的数据字节数。例如, 背光命令 (请参阅节 3.2.1) 将具有以下结构：

字节 1	字节 2	字节 3	字节 4	字节 5
命令字节 = 00	$n = 2$	数据[1] = FF	数据[2] = FF	校验和 = 00

图 1-4. 命令数据包示例

对于命令数据包的每个字节, 从器件将持续将虚拟字节 (0xFF) 发送回主器件。一旦完全接收到命令数据包, 从器件在验证校验和及长度字节后准备一个响应字节。若要接收响应字节, 主器件应持续向从器件发送虚拟字节, 直到主器件接收到从器件发送的非 0xFF 字节。从器件的第一个非 0xFF 字节将是响应字节。

对于读取命令, 读取数据跟随在响应字节之后, 其结构如图 1-6 所示, 其中,

k - 这是从器件响应主器件的请求所需的时间 (以字节为单位)。

m - 从器件返回的数据字节数。这也被称为长度, 以字节 $k+1$ 的形式传输。

由从器件从 k 中传输的字节数可以从最小的 1 个字节 (仅响应字节 - 如果是写入命令, 则读取命令失败) 到 258 个字节 (255 个数据字节 + 响应 + 长度 + 校验和) 不等, 具体取决于读取命令 (除非主器件中止此命令)。

字节 k-2	字节 k-1	字节 k	字节 k+1	字节 k+2	...	字节 k+m+1	字节 k+m+2
0xFF	0xFF	响应字节	长度(m)	数据[1]	...	数据[m]	校验和

图 1-5. SPI 数据包结构 - 从器件 (读取)

例如，从器件对背光读取命令的响应 (请参阅节 3.2.3) 如下所示：

字节 k	字节 k+1	字节 k+2	字节 k+3	字节 k+4
响应字节 = 01	m = 2	数据[0] = FF	数据[1] = FF	校验和 = 01

图 1-6. 来自从器件的 SPI 读取响应数据包示例

1.4.1 起始字符

该字节指示由主器件发送的命令数据包的开头。该字节将内部 SPI 状态机复位，任何未完成的命令都将被从器件中止。起始字符被丢弃，不用于任何计算。更多有关起始字符的详细信息，请参阅节 1.5。

1.4.2 命令字节

在命令字节中，最低有效位表示命令是写入命令还是读取命令。对于此位，1 表示读取操作，而 0 表示写入操作。命令字节的剩余 7 位是写入或读取操作所指向命令的唯一 ID。

命令字节							
7	6	5	4	3	2	1	0
命令 ID							R/Wn

图 1-7. SPI 命令字节

1.4.3 长度字节

长度字节表示长度字节之后的数据字节数。长度不包括校验和、命令字节和长度字节。

长度字节							
7	6	5	4	3	2	1	0
长度 (数据字节数)							

图 1-8. SPI 长度字节

1.4.4 数据字节

与当前命令相关的数据。数据长度和内容会因命令而异。

1.4.5 校验和

此字节用于验证命令数据包的完整性，并且是当前数据包中所有字节的总和 (从命令字节到数据[n])。

对于由主器件发送的命令数据包，

$$\text{校验和} = (\text{字节}_1 + \text{字节}_2 + \dots + \text{字节}_n + \text{字节}_{n+1} + \text{字节}_{n+2}) \text{ MOD } 0x100$$

其中，n = 数据的长度 (请参阅图 1-3)。

请注意，校验和中不包括 START_CHARACTER。

MOD 函数定义为

$$R = a \text{ mod } b$$

其中，

a = 被除数

b = 除数

R = a 除以 b 的余数。

对于从器件为读取命令发送的响应数据包 (图 1-6)，校验和计算为从响应字节到数据[m]的所有字节之和。如下图所示：

$$\text{Checksum} = (\text{Byte}_k + \text{Byte}_{k+1} + \dots + \text{Byte}_{k+m+1}) \text{ MOD } 0x100$$

其中，m = 从器件返回的数据长度

k = 响应字节的字节索引。

1.4.6 响应字节

响应字节用作对显示控制器的确认，指示是否成功接收了命令。以下是从器件作为响应发送的返回代码。

0xFF - 虚拟 (不应视为响应字节)

0x00 - (保留)

0x01 - 成功

0x02 - 校验和错误

0x03 - 命令无效 (指示无效的命令 ID)

0x04 - 命令不可用 (命令 ID 有效，但在此模式下不允许)

0x05 - 长度不匹配 (此命令的预期长度不同)

0x06 - 保留

0x07 - 写入命令执行失败

0x08 - 读取命令执行失败

0x09-0xFE - (保留)

从器件将发送虚拟字节 (0xFF) 作为响应，直到命令完成执行或检测到错误。该状态在响应字节中返回，并在系统状态中标记。以上所有保留字节表示 SPI 协议中存在错误。

1.5 错误校验机制

SPI 协议中的校验和字节 (节 1.4.5) 可帮助识别传输和执行过程中引起的任何错误。它会立即使用响应字节 (节 1.4.6) 将出现的任何错误告知主器件。然而，仅仅查看通过 SPI 总线传输的字节，从器件无法识别字节的类型 (命令字节、长度、数据或校验和)。为了解决这个问题，我们需要一种方法来识别事务的开始。

1.5.1 SPI 事务起始字符和转义字符

为了帮助 Piccolo 查找事务的开始，应在命令数据包中命令字节 (字节 1) 的开头之前发送一个特殊的起始字符。十六进制字符 0xA5 用作这种特殊的起始字符。起始字符 0xA5 不应出现在主器件发送的字节流中的任何其他位置。

如果主器件需要在字节流中发送 0xA5 (并非作为起始字符)，则它应利用另一个名为转义字符的特殊字符 0x5A。连续发送 0x5A 0x00 将视为单个数据字节 0xA5。

下表说明了如何解释各种字节组合。

表 1-1. 起始字符和转义字符示例

字节	解释说明
0xA5	事务开始。下一个字节是命令字节。
0x5A 0x00	数据字节 0xA5

表 1-1. 起始字符和转义字符示例 (continued)

0x5A 0x5A	数据字节 0x5A
0x5A	数据字节 0xYY，当 YY 是紧跟在 0x5A 之后的十六进制字节且 0xYY 为非零时。

转义字符 (0x5A) 可以替代图 1-3 中说明的命令数据包中的任何字节。

起始字符可用于中止任何现有命令。每当从器件接收到 0xA5 时，它会清除所有未完成的命令，并重新开始，同时将下一个字节视为命令字节。

下面的图说明了写入和读取命令的完整结构。

写入	字节 0	字节 1	字节 2	字节 3	字节 4	...	字节 n+2	字节 n+3	字节 n+4	字节 n+5	字节 n+6
主机 (主器件)	0xA5	CMD	LEN	D1	D2	...	Dn	CKSUM	0	0	0
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	...	FF	FF	FF	FF	响应

图 1-9. SPI 写入事务

读取	字节 0	字节 1	字节 2	字节 3	字节 4	...	字节 n+2	字节 n+3	字节 n+4	字节 n+5
主机 (主器件)	0xA5	CMD	LEN	D1	D2	...	Dn	CKSUM	0	0
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	...	FF	FF	FF	FF

读取	字节 n+6	字节 n+7	字节 n+8	字节 n+9	...	字节 n+m+7	字节 n+m+8
主机 (主器件)	0	0	0	0	...	0	0
Piccolo (从器件)	响应	LEN	D1	D2	...	Dm	CKSUM

图 1-10. SPI 读取事务

请注意，起始字符和转义字符不适用于由从器件发送的数据。

1.5.2 具有特殊字符的校验和计算

计算校验和及数据长度时将不考虑字节流中是否存在起始字符和任何转义字符。计算校验和时不包括起始字符。转义字符替换为解释的数据，用于计算校验和。

例如，如果主器件需要发送背光值 0xA55A (42330) (有关背光命令的说明，请参阅节 3.2.1)，不带起始字符和转义字符的原始数据如下所示：

CMD	LEN	D0	D1	CKSUM
0x00	0x02	0xA5	0x5A	0x01

字节流包含 0xA5 和 0x5A，因此需要对其进行适当遮蔽。此外，起始字符也应该在实际 CMD 字节之前发送。请注意，校验和无变化 (起始字符和转义字符没有加到校验和中)。

字节 0	字节 1	字节 2	字节 3	字节 4	字节 5	字节 6	字节 7
START	CMD	LEN	D0	D0	D1	D1	CKSUM
0xA5	0x00	0x02	0x5A	0x00	0x5A	0x5A	0x01

接收到上述字节流时，Piccolo 将字节 3 和字节 4 一同视为值为 0xA5 的单个字节，并将字节 5 和字节 6 一同视为值为 0x5A 的单个字节。

更多示例，请参阅节 4.2。

1.5.3 SPI 流程控制图

形成 SPI 命令数据包后，主器件应在传输前添加起始字符和任何转义字符。图 1-11 给出了此后处理阶段的控制流程。

类似地，预处理阶段应在从器件中运行，以便对传输的字节解码以删除任何起始字符，并将转义字符序列转换为相应的数据字节。图 1-12 给出了从器件中的相应控制流程。

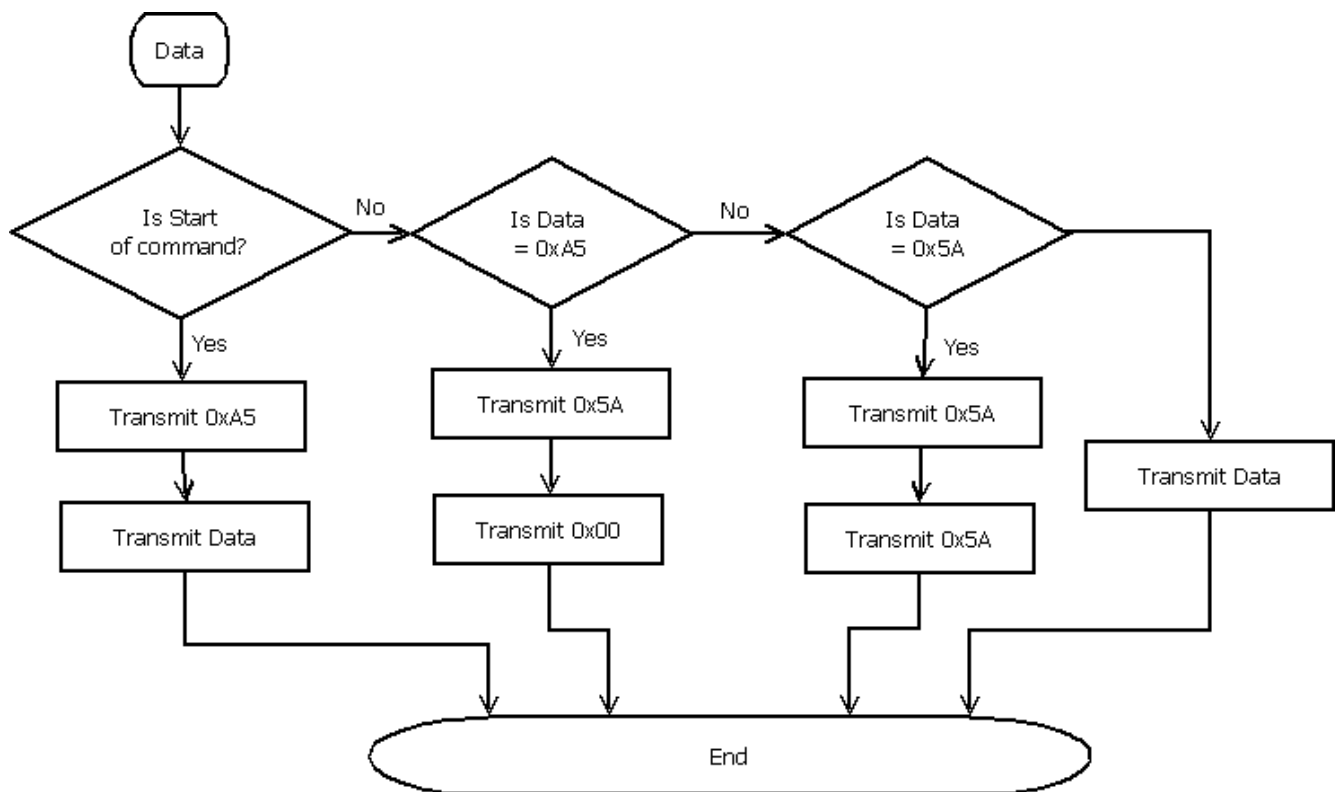


图 1-11. SPI 主器件后处理阶段

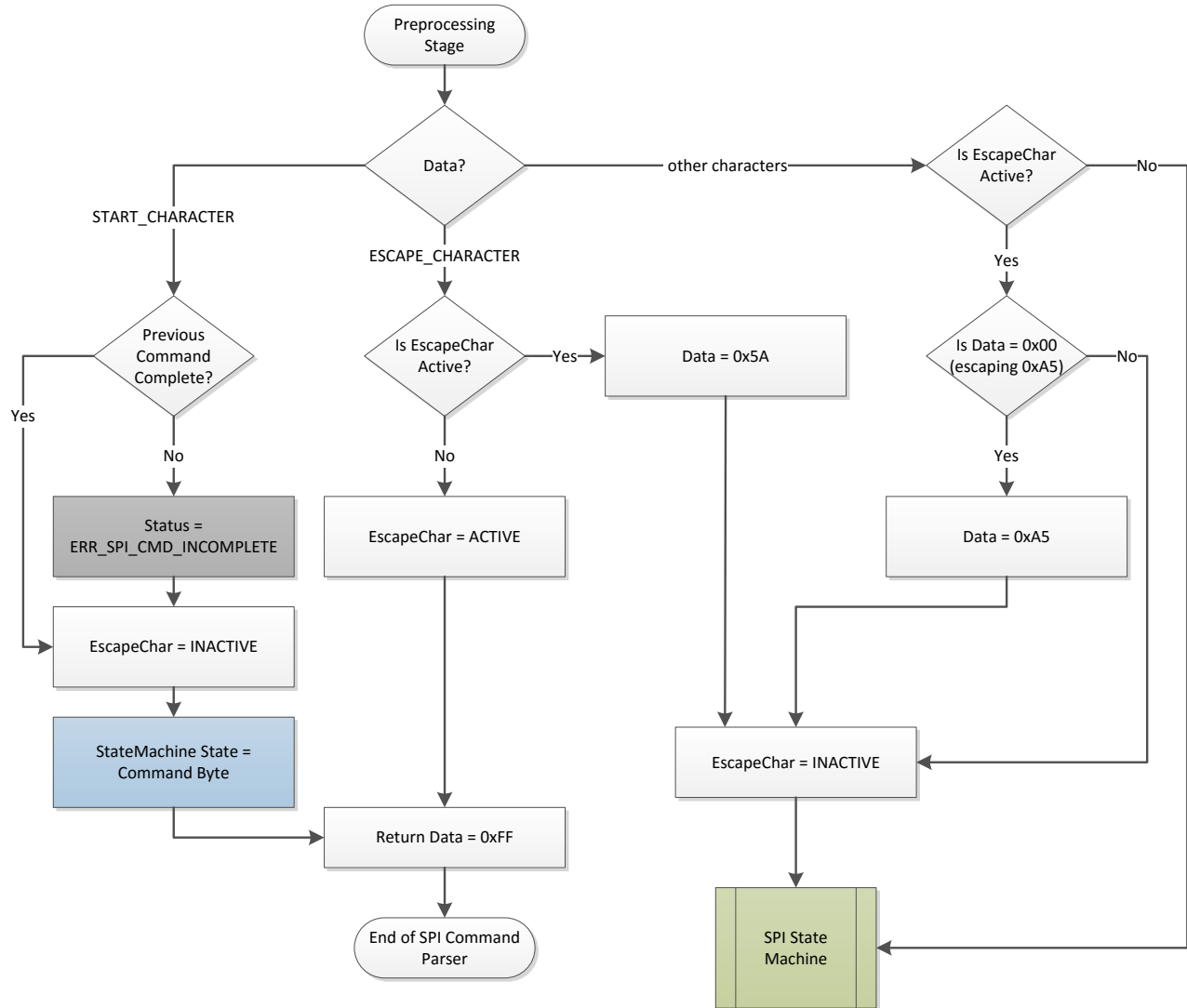


图 1-12. SPI 从器件预处理阶段

This page intentionally left blank.

2.1 SPI 命令规格 - 引导加载程序

以下各节定义了 Piccolo 引导加载程序 SPI 接口支持的命令列表及其说明。

注意：命令规范可根据需要进行更正或更改。

表 2-1. 引导加载程序 SPI 命令列表

写入/读取	命令	7 位地址 (命令 ID)	写入权限	节
	<i>保留</i>	00h - 31h		
读取	引导加载程序软件版本	32h	只读	3.1
读取	引导加载程序软件状态	33h	只读	3.2
	<i>保留</i>	34h-70h		
写入/读取	Piccolo 闪存读取	71h	持续	3.3
	<i>保留</i>	72h - 79h		
读取	切换模式	7Ah	持续	3.4
写入/读取	Piccolo 编程软件	7Bh	持续	0
	<i>保留</i>	7Ch		
	<保留 - 不应使用>	7Dh		
读取	Piccolo 编程模式	7Eh	只读	3.6
	<保留 - 不应使用>	7Fh		

2.2 引导加载程序软件版本 (32h)

此命令请求读取引导加载程序软件版本。

字节	说明
1	命令字节 (65h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (65h)

2.2.1 读取响应

这是针对读取引导加载程序软件版本的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	主要
4	次要
5	内部版本 (lsb)
6	内部版本 (msb)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

版本数据的格式为 *主要.次要 (内部版本)*。

2.3 引导加载程序软件状态 (33h)

此命令请求读取引导加载程序软件状态。

字节	说明
1	命令字节 (67h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (67h)

注意：Piccolo 软件状态命令可用于在命令失败且响应字节指示写入/读取执行失败时获取更多信息。还可以发送该命令以获取有关当前 Piccolo 软件状态的信息。

2.3.1 读取响应

这是针对读取引导加载程序软件状态的有效请求的数据响应，读取后会自动清除状态。

注意：状态位在开发过程中会发生变化。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3 - 6	状态 - 请见下方
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

msb		字节 3					lsb	
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
b(7) -	SPI 超限检测			b(3) -	SPI 不完整命令			
b(6) -	保留			b(2) -	SPI 命令不可用			
b(5) -	保留			b(1) -	SPI 无效数据			
b(4) -	SPI 读取数据无效			b(0) -	SPI 无效命令			

msb		字节 4					lsb	
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
b(7) -	保留			b(3) -	保留			
b(6) -	保留			b(2) -	保留			
b(5) -	数据超出范围			b(1) -	保留			
b(4) -	保留			b(0) -	保留			

msb		字节 5					lsb	
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
b(7) -	保留			b(3) -	闪存扇区擦除失败			
b(6) -	计时器错误			b(2) -	保留			
b(5) -	接收到未处理的中断			b(1) -	保留			
b(4) -	闪存编程失败			b(0) -	保留			

<i>msb</i>	字节 6						<i>lsb</i>
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
b(7) -	SPI - 检测到转义字符			b(3) -		保留	
b(6) -	SPI - 长度不匹配/其他错误			b(2) -		保留	
b(5) -	SPI - 忽略了一些字节			b(1) -		保留	
b(4) -	SPI - 校验和不匹配			b(0) -		保留	

2.4 二进制闪存读取/设置二进制读取起始地址 (71h)

二进制闪存读取功能用于以二进制格式读取 **Piccolo** 闪存数据。这有助于读取主应用程序数据。此功能用途广泛，允许从任何地址读取闪存的任何部分。这是通过使用“设置二进制读取起始地址”功能来设置起始地址，然后使用二进制闪存读取（将所需字数作为参数）命令来实现的。

2.4.1 写入

此命令用于设置闪存二进制读取起始地址。执行的下一个二进制读取将来自起始地址。

字节	说明
1	命令字节 (E2h)
2	长度 (04h)
3	读取起始地址 (<i>lsb</i>)
4	读取起始地址
5	读取起始地址
6	读取起始地址 (<i>msb</i>)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

2.4.2 读取

此命令请求对 **Piccolo** 闪存进行二进制读取。要读取的字数作为输入提供。

字节	说明
1	命令字节 (E3h)
2	长度 (01h)
3	字数 (1 - 127)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

2.4.3 读取响应

这是针对有效读取命令的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (255h)
3 至 257	二进制闪存数据
258	校验和 (字节 1 到 257 的和)

所需字数之后的所有字节的值都设置为 0。

2.5 切换模式 (7Ah)

2.5.1 读取

此命令用于验证主应用程序，如果验证成功，则跳转到主应用程序。跳转发生在命令执行和确认完成之后。

字节	说明
1	命令字节 (F5h)
2	长度 (05h)
3	切换到应用程序 (01h)
4-7	切换模式写入签名 (FF00FF00h)
8	校验和 (字节 1 到 7 的和)

2.5.2 读取响应

这是针对读取切换模式读取签名的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3-6	切换模式引导加载程序读取签名 (43218765h)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

2.6 对 Piccolo 软件进行编程 (7Bh)

此命令用于对 Piccolo 的主应用程序进行编程。它具有四个功能：擦除、起始地址和长度、编程以及校验和验证。辅助操作码用于决定要执行这四个操作中的哪一个。

编程步骤：

1. 擦除 - 擦除要编程的扇区。
2. 起始地址和长度 - 设置要开始编程的地址和要编程的数据的长度。
3. 编程 - 发送要进行编程的数据 (最多 127 个字)。要编程的字节数应为偶数。
4. 若要对下一个区域进行编程，请转至步骤 2。
5. 验证数据 - 验证应用程序。

字节 3 是辅助操作码。它可以有以下值：

辅助操作码	操作	写入/读取
00h	擦除	写入
01h	起始地址和长度	写入
02h	编程	写入
03h	验证数据	读取

图 2-1. 对 Piccolo 辅助操作码进行编程

2.6.1 擦除

此命令用于擦除闪存扇区，但不允许擦除扇区 A，因为其中包含引导加载程序代码。

字节	说明
1	命令字节 (F6h)
2	长度 (02h)
3	辅助操作码 - 擦除 (00h)
4	扇区屏蔽
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

msb	字节 4						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b(7) -	扇区 H	b(3) -	扇区 D
b(6) -	扇区 G	b(2) -	扇区 C
b(5) -	扇区 F	b(1) -	扇区 B
b(4) -	扇区 E	b(0) -	保留

图 2-2. 针对 Piccolo 擦除扇区屏蔽进行编程

2.6.2 起始地址和长度

此命令用于设置要编程的数据的起始地址和长度。

对于每个连续区域，设置区域的起始地址和长度。长度是该区域中要编程的 16 位字的数量。

字节	说明
1	命令字节 (F6h)
2	长度 (09h)
3	辅助操作码 - 起始地址和长度 (01h)
4	起始地址 (lsb)
5	起始地址
6	起始地址
7	起始地址 (msb)
8	区域长度 (lsb)
9	区域长度
10	区域长度
11	区域长度 (msb)
12	校验和 (字节 1 到 11 的和)

2.6.3 编程

此命令从上一个编程位置旁边的位置开始对二进制数据进行编程。二进制数据的长度应该是 2 的倍数，范围从 2 个字节到 254 个字节不等。此外，在对数据进行编程之前，它还会检查命令是否试图在起始地址和长度设置指定的区域之外进行编程。

字节	说明
1	命令字节 (F6h)
2	长度 (3 至 255)
3	辅助操作码 - 编程 (02h)
4 至 257	二进制闪存数据
258	校验和 (字节 1 到 257 的和)

注意：长度 (字节 2) 是写入字节数。其值应为二进制闪存数据的字节数 + 1。

2.6.4 读取

此命令请求已编程应用程序的应用程序签名和校验和验证的状态。如果应用程序正确且验证了校验和，则返回“01h”，否则返回“00h”

字节	说明
1	命令字节 (F7h)
2	长度 (01h)
3	辅助操作码 - 验证数据 (03h)

- 4 校验和 (字节 1 到 3 的和)

2.6.5 读取响应

这是针对有效读取命令的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)
3	校验和验证状态 (00h 或 01h)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

2.7 Piccolo 编程模式 (7Eh)

此命令请求读取 Piccolo 编程模式。

字节	说明
1	命令字节 (FDh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (FDh)

2.7.1 读取响应

这是针对读取 Piccolo 编程模式的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)
3	编程模式 (01h)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

<i>msb</i>	字节 3						<i>lsb</i>
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

B (7:1)	保留
b (0) -	Piccolo 编程模式 0 - 主应用程序 1 - 引导加载程序

图 2-3. 编程模式字节格式

2.8 保留在引导加载程序中

此命令旨在向引导加载程序指示控制权应保留在引导加载程序中，而不应自动跳转到主应用程序。引导加载程序在初始化后等待一段时间 (10ms)，以检查是否收到此命令。

此命令在没有命令数据包的情况下发送，因此，没有通过 SPI 发送的起始字符、命令字节或校验和字节。该命令采用重复的 4 字节模式，会一直发送字节，直到从 Piccolo 接收到有效的 4 字节响应模式。当主机接收到 4 字节响应模式时，主机将停止发送 4 字节模式。

引导加载程序将监视是否有此 4 字节模式。当它检测到此模式时，会发回一个 4 字节响应模式，其中包含接下来的 4 个字节。检测到此模式将向引导加载程序指示它不应跳转到主应用程序，而是等待进一步的 SPI 命令。

2.8.1 写入字节

字节	说明
----	----

(4i+1)- 保持在引导加载程序中写入签名 (18273645h)
(4i+4)

注意：“i”表示模式的第 i 次迭代。没有相关联的命令字节、长度或校验和。

2.8.2 读取响应

字节	说明
1-4	保持在引导加载程序中读取签名 (AA55AA55h)

注意：响应字节作为对成功检测到写入模式的响应发送。没有关联的长度、数据或校验和。

This page intentionally left blank.

3.1 SPI 命令规格 - 主应用程序

以下各节定义了 Piccolo 主应用程序 SPI 接口支持的命令列表及其说明。

以下代码用于描述权限：

校准模式权限

CN：校准和正常模式

CO：仅校准

NO：仅正常

ASIC 处于复位状态权限

RA：复位和运行状态

RO：仅复位

AO：仅运行

主器件打开/关闭权限

OO：主器件打开/关闭

ON：仅打开

OF：仅关闭

NA：不适用

有些命令用于测试，但可能会在最终应用程序中删除。这些命令在“仅开发”列中标记为 **X**。

注意：命令规范可根据需要进行更正或更改。

表 3-1. 主应用程序命令列表

写入/读取	命令	7 位地址 (命令 ID)	写入权限	读取权限	节	仅开发
写入/读取	背光	00h	NO、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.2	
写入/读取	主器件打开/关闭	01h	CN、AO、OO	CN、RA、OO	节 3.3	
写入/读取	DMD 停止	02h	CN、AO、OO	CN、RA、OO	节 3.4	
	保留	03h - 24h				
写入/读取	启动界面控制模式	25h	CN、AO、ON	CN、AO、ON	节 3.5	
写入/读取	DMD 驱动强度	26h	CN、AO、ON	CN、AO、ON	节 3.6	X
写入/读取	加热器 PWM 参数	27h	CN、AO、ON	CN、AO、ON	节 3.7	X
写入/读取	边框偏移	28h	CN、AO、ON	CN、AO、ON	节 3.8	
	保留	29h - 2Fh				
写入/读取	切换 SPI 总线	2Fh	CN、RA、OO	CN、RA、OO	节 3.9	

表 3-1. 主应用程序命令列表 (continued)

写入/读取	命令	7 位地址 (命令 ID)	写入权限	读取权限	节	仅开发
读取	ASIC BIST 结果	30h	不适用	CN、RA、ON	节 3.10	
读取	ASIC 初始化类型	31h	不适用	CN、RA、ON	节 3.11	X
读取	Piccolo 软件版本	32h	不适用	CN、RA、OO	节 3.12	
读取	Piccolo 软件状态	33h	不适用	CN、RA、OO	节 3.13	
写入/读取	ASIC 寄存器	34h	CN、AO、ON	CN、AO、ON	节 3.14	
写入/读取	VAC 模式	35h	CN、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.15	X
读取	工作模式	36h	不适用	CN、AO、ON	节 3.16	
读取	PWM 灵敏度	37h	不适用	CN、RA、ON	节 3.17	X
读取	Piccolo 软件辅助状态	38h	不适用	CN、RA、OO	节 3.18	
读取	额外信息键	39h	不适用	CN、RA、ON	节 3.19	
读取	额外信息值	3Ah	不适用	CN、RA、ON	节 3.20	
	保留	3Bh-3Fh				
写入/读取	调光 LUT 组和伽玛索引	40h	CO、AO、ON	CN、RA、ON	节 3.21	
读取	调光 LUT 组信息	41h	不适用	CN、RA、ON	节 3.22	
读取	CMT/伽玛信息	43h	不适用	CN、RA、ON	节 3.23	
	保留	44h-4Dh				
读取	命令列表地址	4Eh	不适用	CN、RA、ON	节 3.24	
读取	通用命令列表类型	4Fh	不适用	CN、RA、ON	节 3.25	
读取	命令列表编号	50h	不适用	CN、RA、ON	节 3.26	
写入/读取	命令列表信息/执行命令列表	51h	CN、AO、ON	CN、RA、ON	节 3.27	
写入/读取	前端视频 BIST 像素	53h	CN、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.28	
写入/读取	前端视频 BIST	54h	CN、AO、ON	CN、RA、ON	节 3.29	
写入/读取	外部视频检测 BIST	55h	CN、AO、ON	CN、RA、ON	节 3.30	
	保留	56h-5Fh				
写入/读取	低通温度滤波器常量	60h	CN、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.31	X
写入/读取	温度补偿	61h	CN、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.32	X
读取	LED 电压和电流	62h	不适用	CN、RA、ON	节 3.33	
读取	DMD 温度	63h	不适用	CN、AO、ON	节 3.34	
写入/读取	启用校准模式	64h	CN、RA、ON	持续	节 3.35	
写入/读取	红色 LED PWM	65h	CO、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.36	
写入/读取	绿色 LED PWM	66h	CO、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.37	
写入/读取	蓝色 LED PWM	67h	CO、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.38	
写入/读取	电流限制 PWM	68h	CO、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.39	
写入/读取	传感器增益	69h	CO、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.40	
写入/读取	命令表索引	6Ah	CO、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.41	
读取	传感器增益映射	6Bh	不适用	CN、RA、ON	节 3.42	
读取	适配器电压	6Ch	不适用	CN、RA、ON	节 3.43	
读取	配置格式版本	6Dh	不适用	CN、RA、OO	节 3.44	

表 3-1. 主应用程序命令列表 (continued)

写入/读取	命令	7 位地址 (命令 ID)	写入权限	读取权限	节	仅开发
读取	校准格式版本	6Eh	不适用	CN、RA、OO	节 3.45	
读取	校准数据版本	6Fh	不适用	CN、RA、OO	节 3.46	
写入	将校准数据编程到闪存	70h	CO、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.47	
写入/读取	Piccolo 闪存读取	71h	CN、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.48	
写入/读取	PWM 周期/读取信息	72h	CO、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.49	
读取	PWM 比例因子	73h	不适用	CN、RA、ON	节 3.50	X
读取	读取 ASIC 闪存	74h	不适用	CN、AO、ON	节 3.51	
读取	ASIC 闪存信息	75h	不适用	CN、RA、ON	节 3.52	
	保留	76h - 77h				
读取	电源轨电压	78h	不适用	CN、RA、ON	节 3.53	
写入/读取	电压监控	79h	CN、RA、ON	CN、RA、ON	节 3.54	X
读取	切换模式	7Ah	CN、RA、OO	CN、RA、OO	节 3.55	
	保留	7Bh				
写入/读取	Piccolo IIC 时钟速率	7Ch	CN、AO、ON	CN、RA、ON	节 3.56	X
	保留	7Dh				
读取	Piccolo 编程模式	7Eh	CN、RA、OO	CN、RA、OO	节 3.57.1	
	保留	7Fh				

注 1：节 3.35 解释了正常模式和校准模式的详细信息。

3.2 背光 (00h)

3.2.1 写入

此命令用于设置调光级别，该级别以经过出厂校准的最大亮度满量程的百分比表示。

字节	说明
1	命令字节 (00h)
2	长度 (02h)
3	背光级别 (lsb)
4	背光级别 (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

下图显示了背光级别相对于满量程的位顺序和权重。

b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴	2 ⁻⁵	2 ⁻⁶	2 ⁻⁷	2 ⁻⁸	2 ⁻⁹	2 ⁻¹⁰	2 ⁻¹¹	2 ⁻¹²	2 ⁻¹³	2 ⁻¹⁴	2 ⁻¹⁵	2 ⁻¹⁶

图 3-1. 背光级别的位权重定义

背光级别的范围从接近 1 (当所有位都设置为 1 时) 到 1/2¹⁶。最大亮度将乘以该值以设置背光。换句话说，值 65535 (所有位都设置为 1) 表示系统的最亮值。

当二进制表示被视作无符号 0.16 定点数时，范围 (65535 到 0) 与 (1 到 0) 相同。因此，此软件使用 (65535 到 0) 作为通用的背光范围。

背光值 35000 应发送为：

字节 3 = 背光 (lsb) = lsb 8 位 (35000) = 0xB8

字节 4 = 背光 (msb) = msb 8 位 (35000) = 0x88

3.2.2 读取

此命令请求读取由系统设置的背光值。

字节	说明
1	命令字节 (01h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (01h)

3.2.3 读取响应

这是针对读取背光的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (02h)
3	背光级别 (lsb)
4	背光级别 (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

返回的背光值与图 3-1 中给出的格式相同。

3.3 主器件开/关 (01h)

3.3.1 写入

此命令用于打开/关闭系统软件功能。关闭时，除主器件打开/关闭 (01h) 外的所有 SPI 命令均被禁用。

字节	说明
1	命令字节 (02h)
2	长度 (01h)
3	主器件打开/关闭
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

对于主器件打开，将发送“1”，而对于主器件关闭，将发送“0”（均作为第 3 个字节）。

3.3.2 读取

此命令请求读取系统的状态。

字节	说明
1	命令字节 (03h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (03h)

3.3.3 读取响应

这是针对读取系统状态的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)

2	长度 (01h)
3	系统状态 (开/关)
4	校验和 (字节 1 到 4 的和)

系统状态为 1 表示主器件打开，0 表示主器件关闭。

3.4 DMD 停止 (02h)

3.4.1 写入

此命令可用于停止或解除停止 DMD。如果停止字节 = 1，则停止 DMD。如果停止字节 = 0，则解除停止 DMD。

字节	说明
1	命令字节 (04h)
2	长度 (01h)
3	停止
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.4.2 读取

此命令返回 DMD 是已停止还是已解除停止。

字节	说明
1	命令字节 (05h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (05h)

3.4.3 读取响应

此响应指示 DMD 是已停止还是已解除停止。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)
3	停止状态 (请见下方)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

停止状态	说明
0	DMD 已解除停止
2	由 SPI 停止命令停止 DMD
4	由于系统处于引导加载程序模式，DMD 已停止
8	由主器件开/关命令停止 DMD

3.5 启动界面控制模式 (25h)

3.5.1 写入

当屏幕上显示启动界面时，应启用此命令。当显示启动界面时，Piccolo 软件将使用略有不同的调光策略。

字节	说明
1	命令字节 (4Ah)
2	长度 (01h)
3	启动界面控制模式 (请见下方)

4 校验和 (字节 1 到 3 的和)

<i>msb</i>	字节 3						<i>lsb</i>
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7:0) - 启动界面控制模式
 0 - 禁用
 1 - 启用

图 3-2. 启动界面控制模式字节格式

注 1：更多有关启动界面控制模式的详细信息，请参阅 **DLPC120 ASIC 的 Piccolo 软件编程指南 (DLPU061)**。

3.5.2 读取

此命令请求读取启动界面控制模式。

字节	说明
1	命令字节 (4Bh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (4Bh)

3.5.3 读取响应

这是针对读取启动界面控制模式的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)
3	启动界面控制模式 (请参阅图 3-2)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.6 DMD 驱动强度 (26h)

3.6.1 写入

此命令用于设置 DMD 驱动强度索引。索引值 0、1、2 分别对应于 6mA、10mA、12mA 的驱动强度。

字节	说明
1	命令字节 (4Ch)
2	长度 (01h)
3	DMD 驱动强度索引
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.6.2 读取

此命令请求读取 DMD 驱动强度索引。索引的值对应于写入命令中提到的相同驱动器强度。

字节	说明
1	命令字节 (4Dh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (03h)

3.6.3 读取响应

这是针对读取 DMD 驱动强度索引的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)
3	DMD 驱动强度索引
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

注意：更多详细信息，请参阅 **DLPC120-Q1 编程指南 (DLPU055)**。

3.7 加热器 PWM 参数 (27h)

备注

注意：DLP3030-Q1 芯片组运行不需要加热器。基于 DLP3030-Q1 的 PGU 可在不使用加热器的情况下，在整个工作温度范围内提供全面的性能。占空比应保留为 0。

3.7.1 写入

此命令用于设置加热器 PWM 频率 (kHz) 和占空比 (%)。

字节	说明
1	命令字节 (4Eh)
2	长度 (03h)
3	频率，以 kHz 为单位 (LSB)
5	频率 (MSB)
6	占空比 (%)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.7.2 读取

此命令请求读取加热器 PWM 参数。

字节	说明
1	命令字节 (4Fh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (03h)

3.7.3 读取响应

这是针对读取加热器 PWM 参数的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (03h)
3	频率，以 kHz 为单位 (LSB)
4	频率 (MSB)
5	占空比 (%)
6	校验和 (字节 1 到 5 的和)

注意：更多详细信息，请参阅 **DLPC120-Q1 编程指南 (DLPU055)**。

3.8 边框偏移 (28h)

3.8.1 写入

此命令用于设置水平和垂直边框偏移 (以像素为单位)。分别写入偏移量和符号。对于符号字节,“0”对应于负值,“1”对应于正值。

字节	说明
1	命令字节 (50h)
2	长度 (06h)
3	水平偏移量 (LSB)
5	水平偏移量 (MSB)
6	水平偏移符号
7	垂直偏移量 (LSB)
8	垂直偏移量 (MSB)
9	垂直偏移符号
10	校验和 (字节 1 到 9 的和)

3.8.2 读取

此命令请求读取边框偏移值。

字节	说明
1	命令字节 (51h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (03h)

3.8.3 读取响应

这是针对读取边框偏移值的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (06h)
3	水平偏移量 (LSB)
5	水平偏移量 (MSB)
6	水平偏移符号
7	垂直偏移量 (LSB)
8	垂直偏移量 (MSB)
9	垂直偏移符号
10	校验和 (字节 1 到 9 的和)

注意:更多详细信息,请参阅 **DLPC120-Q1 编程指南 (DLPU055)**。

3.9 准备 ASIC 闪存/切换 SPI 总线 (2Fh)

3.9.1 写入

如果“启用”为“1”,该命令将 SPI 总线从 Piccolo SPI 总线切换到 DLPC120 应用程序闪存 SPI 总线。它用于对 DLPC120 闪存进行编程。它使 DMD 停止,使 DLPC120 复位。SPI 切换发生在命令执行和确认完成之后。

如果“启用”为“0”,则该命令将 DLPC120 从复位中恢复,对其进行初始化并解除停止 DMD。如果 SPI 切换不成功,可以使用此选项。

注 1：此命令假定电子产品参考设计具有连接到 Piccolo MCU 的电子开关信号。

注 2：如果 SPI 总线成功切换到 DLPC120 应用程序闪存，则将无法再与 Piccolo 进行 SPI 通信。若要通过 SPI 与 Piccolo 进行通信，需要将系统复位。

字节	说明
1	命令字节 (5Eh)
2	长度 (01h)
3	启用 (00h 或 01h)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.9.2 读取

此命令用于检查 Piccolo 软件是否支持 SPI 切换。

字节	说明
1	命令字节 (5Fh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (5Fh)

3.9.3 读取响应

这是针对检查 Piccolo 软件是否支持 SPI 切换的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3-6	SPI 切换签名 (11001100h)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.10 ASIC BIST 结果 (30h)

此命令请求读取 Piccolo 在系统启动时执行的所有 ASIC BIST 的结果，并请求相关的校验和/器件 ID。

字节	说明
1	命令字节 (61h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (61h)

3.10.1 读取响应

这是针对读取 ASIC BIST 结果的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (0Dh)
3	BIST 结果 (请参阅图 3-3)
4	闪存 BIST 校验和 (lsb)
5	闪存 BIST 校验和
6	闪存 BIST 校验和
7	闪存 BIST 校验和 (msb)
8	DMD 器件 ID (lsb)
9	DMD 器件 ID

10	DMD 器件 ID
11	DMD 器件 ID (msb)
12	系统 BIST 校验和 (lsb)
13	系统 BIST 校验和
14	系统 BIST 校验和
15	系统 BIST 校验和 (msb)
16	校验和 (字节 1 到 15 的和)

msb	字节 1 : BIST 结果						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
系统 BIST 结果		DMD JTAG BIST 结果		闪存 BIST 结果		DDR2 BIST 结果	

b(0:1) -	DDR2 BIST 结果 00 : 失败 01 : 通过
	10 : 未知
	11 : 未执行
b(2:3) -	闪存 BIST 结果 00 : 失败 01 : 通过
	10 : 未知
	11 : 未执行
b(4:5) -	DMD JTAG BIST 结果 00 : 失败 01 : 通过
	10 : 未知
	11 : 未执行
b(6:7) -	系统 BIST 结果 00 : 无效 01 : 有效
	10 : 未知
	11 : 未执行

图 3-3. ASIC BIST 结果字节格式

注意：更多详细信息，请参阅 **DLPC120-Q1 编程指南 (DLPU055)**。

3.11 ASIC 初始化类型 (31h)

此命令请求读取 ASIC 初始化类型。

字节	说明
1	命令字节 (63h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (63h)

3.11.1 读取响应

这是针对读取 ASIC 初始化类型的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)

2	长度 (01h)
3	ASIC 初始化类型 (请参阅图 3-4)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

<i>msb</i>	字节 3						<i>lsb</i>
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7:0) -	ASIC 初始化类型
	0 - FPGA
	1 - 外部终端 (ODT-Off)
	2 - 片上终端 (ODT-On)

图 3-4. ASIC 初始化分支字节格式

3.12 Piccolo 软件版本 (32h)

此命令请求读取 Piccolo 软件版本。

字节	说明
1	命令字节 (65h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (65h)

3.12.1 读取响应

这是针对读取 Piccolo 软件版本的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	主要
4	次要
5	内部版本 (lsb)
6	内部版本 (msb)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

版本数据的格式为 *主要.次要 (内部版本)*。

3.13 Piccolo 软件状态 (33h)

此命令请求读取 Piccolo 软件状态。

字节	说明
1	命令字节 (67h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (67h)

注 1 : Piccolo 软件状态命令可用于在命令失败且响应字节指示写入/读取执行失败时获取更多信息。还可以发送该命令，以获取 Piccolo 软件在所请求时间点的状态信息。

3.13.1 读取响应

这是针对读取 Piccolo 软件状态的有效请求的数据响应。读取后会自动清除状态。

注意：状态位在开发过程中会发生变化。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3 - 6	状态 - 请见下方
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

msb	字节 3						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7) -	SPI 超限检测	b(3) -	SPI 不完整命令
b(6) -	温度数据不按升序排列	b(2) -	SPI 命令不可用
b(5) -	未找到温度表	b(1) -	SPI 无效数据
b(4) -	视频 BIST 执行失败	b(0) -	SPI 无效命令

msb	字节 4						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7) -	校准闪存签名/校验和无效	b(3) -	调光队列溢出
b(6) -	在闪存中未找到校准表	b(2) -	ASIC 初始化失败
b(5) -	数据超出范围	b(1) -	ASIC I2C 读取失败
b(4) -	基于片上终端的初始化	b(0) -	ASIC I2C 写入失败

msb	字节 5						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7) -	保留	b(3) -	校准 - 闪存扇区擦除失败
b(6) -	计时器错误	b(2) -	不支持校准表
b(5) -	接收到未处理的中断	b(1) -	校准 - 数据不完整
b(4) -	校准 - 闪存编程失败	b(0) -	校准数据和命令列表文件不匹配

msb	字节 6						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7) -	SPI - 检测到转义字符	b(3) -	HRPWM 比例因子优化错误
b(6) -	SPI - 长度不匹配/其他错误	b(2) -	温度相关错误
b(5) -	SPI - 忽略了一些字节	b(1) -	TMP411 读数无效
b(4) -	SPI - 校验和不匹配	b(0) -	执行了 50-50 序列

3.14 ASIC 寄存器 (34h)

3.14.1 写入

此命令用于写入 HUD ASIC 寄存器。此命令仅用于 TI 测试目的。它不适用于正常使用。

警告：此命令使用不当可能会导致系统停止工作。

字节	说明
1	命令字节 (68h)
2	长度 (05h)
3	ASIC 寄存器地址

4	寄存器数据 (lsb)
5	寄存器数据
6	寄存器数据
7	寄存器数据 (msb)
8	校验和 (字节 1 到 7 的和)

4 字节寄存器数据通过 I2C 写入所提供的 ASIC 寄存器地址。

3.14.2 读取

此命令请求读取任何 ASIC 寄存器。

字节	说明
1	命令字节 (69h)
2	长度 (01h)
3	ASIC 寄存器地址
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.14.3 读取响应

这是针对读取任何 ASIC 寄存器的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	寄存器数据 (lsb)
4	寄存器数据
5	寄存器数据
6	寄存器数据 (msb)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.14.4 ASIC 寄存器详细信息

有关支持的 ASIC 寄存器的详细说明，请参阅标题为《DLPC120 IIC 编程指南》的单独文档。

3.15 VAC 模式 (35h)

3.15.1 写入

此命令用于启用/禁用 VAC。此命令仅在校准模式下可用。

字节	说明
1	命令字节 (6Ah)
2	长度 (03h)
3	VAC 启用/禁用
4	0xFF (虚拟字节)
5	0xFF (虚拟字节)
6	校验和 (字节 1 到 5 的和)

注意：第 3 个字节用于启用或禁用 VAC 控制。设置为 1VAC 时启用，复位为 0 时禁用。字节 4 和 5 是虚拟字节，用于维护与一些旧版本相同的命令结构。

3.15.2 读取

此命令用于读取 VAC 是否启用或禁用，并获取当前 VAC 模式开关点。此命令仅在校准模式下可用。

字节	说明
1	命令字节 (6Bh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (6Bh)

3.15.3 读取响应

这是针对读取 VAC 模式的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (03h)
3	VAC 启用/禁用
4	VAC 模式开关点 (LSB)
5	VAC 模式开关点 (MSB)
6	校验和 (字节 1 到 5 的和)

3.16 工作模式 (36h)

此命令请求读取当前工作模式。

字节	说明
1	命令字节 (6Dh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (6Dh)

3.16.1 读取响应

这是针对读取当前工作模式的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)
3	工作模式
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

注意：第 3 个响应字节包含 1 (对应于连续模式) 和 2 (对应于非连续模式)

3.17 PWM 灵敏度 (37h)

此命令请求读取 PWM 灵敏度。PWM 灵敏度是每个 LED 的 PWM 输入的最小变化，可确保相应输出脉冲宽度中有一个精细 (HRPWM) 脉冲变化。

字节	说明
1	命令字节 (6Fh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (6Fh)

3.17.1 读取响应

这是针对读取 PWM 灵敏度的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (02h)
3	PWM 灵敏度 (lsb)
4	PWM 灵敏度 (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.18 Piccolo 软件辅助状态 (38h)

此命令请求读取 Piccolo 软件辅助状态。辅助状态是第 4.11 节中讨论的 32 位状态的扩展。这提供了 32 个新的状态位。

字节	说明
1	命令字节 (71h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (71h)

3.18.1 读取响应

这是针对读取 Piccolo 软件辅助状态的有效请求的数据响应。读取后会自动清除状态。

注意：辅助状态位在开发过程中会发生变化。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3 - 6	辅助状态 - 请见下方
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

msb	字节 3						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7) -	保留	b(3) -	保留
b(6) -	电压监测导致的系统复位	b(2) -	保留
b(5) -	电压监测已启用	b(1) -	校准后修改了配置文件
b(4) -	保留	b(0) -	校准后修改了校准文件

msb	字节 4						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7) -	保留	b(3) -	保留
b(6) -	保留	b(2) -	保留
b(5) -	保留	b(1) -	保留
b(4) -	保留	b(0) -	保留

msb	字节 5						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7) -	保留	b(3) -	保留
b(6) -	保留	b(2) -	保留
b(5) -	保留	b(1) -	保留

2	长度 (04h)
3	键 (lsb)
4	键
5	键
6	键 (msb)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

注意：此命令要求闪存中存在有效的校准数据才能成功运行。

3.20.2 读取响应

这是针对读取额外信息值的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	值 (lsb)
4	值
5	值
6	值 (msb)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.21 调光 LUT 组和伽玛索引 (40h)

3.21.1 写入

此命令用于选择 Piccolo 闪存中存储的校准数据中提供的任何调光 LUT 组和伽玛索引。此命令仅在校准模式下可用。发送此命令后，在禁用校准模式之前，此命令的效果不会变得明显。有关启用和禁用校准模式的信息，请参阅节 3.34。

字节	说明
1	命令字节 (80h)
2	长度 (02h)
3	调光 LUT 组索引 (范围 0-15)
4	伽玛索引 (范围 0-15)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

注 1：此命令要求闪存中存在有效的校准数据才能成功运行。

注 2：支持的调光 LUT 组和伽玛索引的最大值取决于校准数据和命令列表文件。可以通过在读取模式下使用此命令来获得支持的最大值。

3.21.2 读取

此命令请求读取调光 LUT 组和伽玛索引。

字节	说明
1	命令字节 (81h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (81h)

3.21.3 读取响应

这是针对读取调光 LUT 组索引的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	可用调光 LUT 组的数量
4	电流调光 LUT 组可用的伽玛索引的数量
5	电流调光 LUT 组索引
6	电流伽玛索引
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

注 1：字节 3 和字节 4 表示校准数据和命令列表文件中存在的调光 LUT 组和伽玛索引的最大数量。写入模式中使用的调光 LUT 组和伽玛索引应小于此最大可用值，以便成功运行。

3.22 调光 LUT 组信息 (41h)

3.22.1 读取

此命令用于读取所请求的调光 LUT 组索引的调光 LUT 组信息。

字节	说明
1	命令字节 (83h)
2	长度 (01h)
3	调光 LUT 组索引
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

注 1：此命令要求闪存中存在有效的校准数据才能成功运行。

注 2：调光 LUT 组索引值应小于校准/命令列表文件中可用调光 LUT 组索引的数量。

3.22.2 读取响应

这是针对读取调光 LUT 组信息的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (35h)
3	红色占空比 (lsb)：参考注 1
4	红色占空比 (msb)
5	绿色占空比 (lsb)：参考注 1
6	绿色占空比 (msb)
7 - 37	调光 LUT 组名称 (按 ASCII 值逐字母显示)
38	校验和 (字节 1 到 37 的和)

注 1：在发送响应之前，将红色和绿色占空比分别乘以 100。

例如，如果占空比为红色 = 35、绿色 = 45 和蓝色 = 20，则，

传输的红色占空比 = 3500 (字节 3 = 0xAC, 字节 4 = 0x0D)，传输的绿色占空比 = 4500 (字节 5 = 0x94, 字节 6 = 0x11)

注 2：蓝色占空比不会在命令中传回。这很容易按以下公式进行计算：

$$\text{蓝色占空比} = 100 - (\text{传输的红色 DC} + \text{传输的绿色 DC}) / 100$$

注 3：使用每个字母的 ASCII 值作为一个字节，逐字母传输调光 LUT 组名称。第一个字母的 ASCII 值作为第一个字节发送，然后是第二个字母，依此类推。

3.23 CMT/伽玛信息 (43h)

3.23.1 读取

此命令读取所请求的调光 LUT 组和 CMT/伽玛索引的 CMT/伽玛信息。

字节	说明
1	命令字节 (87h)
2	长度 (02h)
3	调光 LUT 组索引
3	CMT/伽玛索引
4	校验和 (字节 1 到 4 的和)

注 1：此命令要求闪存中存在有效的校准数据才能成功运行。

注 2：CMT/伽玛索引值应小于校准/命令列表文件中相应调光 LUT 组的可用 CMT/伽玛索引的数量。若要读取任何调光 LUT 组可用的伽玛索引的数量，请将此命令与调光 LUT 组和伽玛索引 0 等参数一同使用（因为索引 0 对所有调光 LUT 组都有效）。

3.23.2 读取响应

这是针对读取 CMT/伽玛信息的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (32h)
3	所请求的调光 LUT 组索引可用的 CMT/伽玛索引的数量
4-34	校准文件中定义的 CMT/伽玛的 ASCII 名称
35	校验和 (字节 1 到 34 的和)

3.24 命令列表地址 (4Eh)

3.24.1 读取

此命令根据参数指定的方式读取启动界面（类型 = 1）、测试图形（类型 = 2）、外部视频（类型 = 3）或通用（类型 = 4 + 通用类型索引）命令列表的起始地址。通用命令列表进一步分为通用类型。若要获取类型 N 的地址（从 0 开始），第 3 个字节必须是 (4 + N)。

字节	说明
1	命令字节 (9Dh)
2	长度 (02h)
3	命令列表类型 (1、2、3 或 (4 + 通用类型索引))
4	命令列表索引
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

注 1：此命令要求闪存中存在有效的校准数据才能成功运行。

3.24.2 读取响应

这是针对读取命令列表起始地址的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	起始地址 (lsb)

4	起始地址
5	起始地址
6	起始地址 (msb)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

注意：任何无效类型 (小于 1 或大于 3 + 通用类型的数量) 都将导致此命令失败并标记“数据超出范围”错误。

3.25 通用命令列表类型 (4Fh)

3.25.1 读取

此命令读取给定类型索引的通用命令列表的类型。通用命令列表类型用于根据功能对通用命令列表进行分组。例如，与翻转图像相关的所有命令列表的类型可能为“翻转”。Piccolo 软件使用类型为“内部”的命令列表来执行系统 BIST (更多有关系统 BIST 的详细信息，请参阅 Piccolo 软件中的 **DLPC120 ASIC 的 Piccolo 软件编程指南 (DLPU061)**) 。

字节	说明
1	命令字节 (9Fh)
2	长度 (01h)
3	通用命令列表类型索引
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

注 1：此命令要求闪存中存在有效的校准数据才能成功运行。

3.25.2 读取响应

这是针对读取通用命令列表类型的有效请求的数据响应。该类型从字符串的开头到结尾，以每个字符的 ASCII 值的形式逐个返回。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (1Fh)
3 - 33	命令列表类型的每个字符 (从第一个到最后一个) 的 ASCII 值
34	校验和 (字节 1 到 33 的和)

3.26 命令列表编号 (50h)

3.26.1 读取

此命令根据参数读取可用启动界面 (类型 1)、测试图形 (类型 2)、外部视频 (类型 3) 或通用 (类型 = 4 + 通用类型索引) 命令列表的数量。它还返回可用的通用命令列表类型数。

字节	说明
1	命令字节 (A1h)
2	长度 (01h)
3	命令列表类型 (1/2/3/ (4 + 通用类型索引))
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

注 1：此命令要求闪存中存在有效的校准数据才能成功运行。

3.26.2 读取响应

这是针对读取命令列表数量的有效请求的数据响应。

字节	说明
----	----

1	响应字节 (01h)
2	长度 (02h)
3	命令列表的数量
4	通用命令列表类型的数量
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

注意：任何无效类型（小于 1 或大于 3 + 通用类型的数量）都将导致此命令失败并标记“数据超出范围”错误。

3.27 读取命令表信息/执行命令列表 (51h)

3.27.1 写入

此命令用于执行一个命令列表，该命令列表由其作为参数发送的类型和索引引用。当前可用的类型包括启动界面（类型 1）、测试图形（类型 2）、外部视频（类型 3）和通用（类型 = 4 + 通用类型索引）。

字节	说明
1	命令字节 (A2h)
2	长度 (02h)
3	命令列表类型 (1/2/3/ (4 + 通用类型索引))
4	命令列表索引
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

命令列表索引必须小于该类型的可用命令列表数。

可以使用“读取命令列表编号”命令 (0x50) 来读取此数字

3.27.2 读取

此命令请求读取命令列表详细信息。

字节	说明
1	命令字节 (A3h)
2	长度 (02h)
3	命令列表类型 (1/2/3/ (4 + 通用类型索引))
4	命令列表索引
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.27.3 读取响应

这是针对读取命令列表信息的有效请求的数据响应。

对于类型 1、2 和 4：

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (31h)
3-30	命令列表名称 (每个字符的 ASCII 值)
31	校验和 (字节 1 到 30 的和)

对于类型 3：

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (0Bh)

3	水平分辨率 (lsb)
4	水平分辨率 (msb)
5	垂直分辨率 (lsb)
6	垂直分辨率 (msb)
7	频率
8	输出水平分辨率 (lsb)
9	输出水平分辨率 (msb)
10	输出垂直分辨率 (lsb)
11	输出垂直分辨率 (msb)
12	校验和 (字节 1 到 11 的和)

注意：任何无效类型（小于 1 或大于 3+ 通用类型的数量）都将导致此命令失败并标记“数据超出范围”错误。

3.28 前端视频 BIST 像素 (53h)

3.28.1 写入

此命令用于设置要完成校验和的区域的起始像素和结束像素的 x 和 y 坐标。

字节	说明
1	命令字节 (A6h)
2	长度 (08h)
3	起始像素 x 坐标 (lsb)
4	起始像素 x 坐标 (msb)
5	起始像素 y 坐标 (lsb)
6	起始像素 y 坐标 (msb)
7	结束像素 x 坐标 (lsb)
8	结束像素 x 坐标 (msb)
9	结束像素 y 坐标 (lsb)
10	结束像素 y 坐标 (msb)
11	校验和 (字节 1 到 10 的和)

3.28.2 读取

此命令请求读取前端视频 BIST 像素。

字节	说明
1	命令字节 (A7h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (字节 1 和 2 的和)

3.28.3 读取响应

这是针对读取前端视频 BIST 像素的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (08h)
3	起始像素 x 坐标 (lsb)
4	起始像素 x 坐标 (msb)
5	起始像素 y 坐标 (lsb)

6	起始像素 y 坐标 (msb)
7	结束像素 x 坐标 (lsb)
8	结束像素 x 坐标 (msb)
9	结束像素 y 坐标 (lsb)
10	结束像素 y 坐标 (msb)
11	校验和 (字节 1 到 10 的和)

注意：更多详细信息，请参阅 **DLPC120-Q1 编程指南 (DLPU055)**。

3.29 前端视频 BIST (54h)

3.29.1 写入

此命令用于执行前端视频 BIST。

字节	说明
1	命令字节 (A8h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (字节 1 和 2 的和)

3.29.2 读取

此命令请求读取前端视频 BIST 结果和校验和。

字节	说明
1	命令字节 (A9h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (字节 1 和 2 的和)

3.29.3 读取响应

这是针对读取前端视频 BIST 结果和校验和的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (5h)
3	前端视频 BIST 结果
4	前端视频 BIST 校验和 (lsb)
5	前端视频 BIST 校验和
6	前端视频 BIST 校验和
7	前端视频 BIST 校验和 (msb)
8	校验和 (字节 1 到 7 的和)

前端 BIST 结果键：

00：失败

01：通过

10：未知

11：未执行

注意：更多详细信息，请参阅 **DLPC120-Q1 编程指南 (DLPU055)**。

3.30 外部视频检测 BIST (55h)

3.30.1 写入

此命令用于执行外部视频检测 BIST。

字节	说明
1	命令字节 (AA)
2	长度 (08h)
3	执行类型
4	启用命令列表执行
5	通过命令列表类型
6	通过命令列表索引
7	失败命令列表类型
8	失败命令列表索引
9	最大帧速率 (fps)
10	最小帧速率 (fps)
11	校验和 (字节 1 到 10 的和)

图 3-5 显示写入命令的所有参数的说明。

参数	说明
执行类型	确定执行的操作： 0：禁用 BIST 1：启用 BIST 并允许其连续运行，直到禁用。不更新状态和多路复用器报告 2：运行 BIST 四次，更新相关的多路复用器报告和状态，然后禁用 BIST
启用命令列表执行	确定是否在通过/失败时执行命令列表。对于执行类型 = 1，必须设置为 1 0：不执行命令列表 1：执行命令列表
通过命令列表类型	BIST 通过时要执行的命令列表的类型。 1：启动界面 2：测试模式 3：外部视频 4：通用
通过命令列表索引	BIST 通过时要执行的命令列表的索引。
失败命令列表类型	BIST 失败时要执行的命令列表的类型。 1：启动界面 2：测试模式 3：外部视频 4：通用
失败命令列表索引	BIST 失败时要执行的命令列表的索引。
最大帧速率 (fps)	最大帧速率 (以每秒帧数为单位)
最小帧速率 (fps)	最小帧速率 (以每秒帧数为单位)

图 3-5. 外部视频检测 BIST 写入参数说明

3.30.2 读取

此命令请求读取外部视频 BIST 结果和多路复用器报告。

字节	说明
1	命令字节 (ABh)
2	长度 (00h)

3 校验和 (字节 1 和 2 的和)

3.30.3 读取响应

这是针对读取外部视频 BIST 结果和多路复用器报告的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (17h)
3	外部视频检测 BIST 结果
4	Vsync 报告 (lsb)
5	Vsync 报告
6	Vsync 报告
7	Vsync 报告 (msb)
8	像素时钟报告 (lsb)
9	像素时钟报告
10	像素时钟报告
11	像素时钟报告 (msb)
12	有效行报告 (lsb)
13	有效行报告
14	有效行报告
15	有效行报告 (msb)
16	有效像素报告 (lsb)
17	有效像素报告
18	有效像素报告
19	有效像素报告 (msb)
20	校验和 (字节 1 到 19 的和)

参数	说明
外部视频检测 BIST 结果	4 个外部视频 BIST 运行的结果 字节 (0、1) : 使用多路复用器选择 = Vsync 的 BIST 结果 字节 (2、3) : 使用多路复用器选择 = 像素时钟的 BIST 结果 字节 (4、5) : 使用多路复用器选择 = 有效行的 BIST 结果 字节 (6、7) : 使用多路复用器选择 = 有效像素的 BIST 结果 结果 : 00 - BIST 失败 01 - BIST 通过 10 - BIST 结果未知 (BIST 超时) 11 - 未执行 BIST
Vsync 报告	78MHz 时钟脉冲数的 Vsync 周期*
像素时钟报告	测试期间的像素时钟数 (78MHz 时钟的 1023 个脉冲*)
有效行报告	第一个有效行中的有效像素数。
有效像素报告	每个有效帧的有效行数。
	*频率可能因 PLL 扩展而变化

图 3-6. 外部视频检测 BIST 读取响应参数说明

注意：更多详细信息，请参阅 [DLPC120-Q1 编程指南 \(DLPU055\)](#)。

3.31 低通滤波器常量 (60h)

低通滤波器用于平滑温度的任何急剧变化。低通滤波器的操作基于 2 个常量：强度和量化步长。操作分为两个阶段 - 滤波和量化。

1. 滤波器的滤波和输出温度的测定：

将 $T1(n)$ 设为滤波器上一次的输出温度，并将 $T2(n + 1)$ 设为 TMP411 的新读数。

$$\text{新输出温度 } T1(n + 1) = g * T2(n + 1) - (1 - g) * T1(n)$$

2. 量化：

在将其用于调光之前，可以将输出温度量化到所需的水平，如滤波器的“量化步长” (Qstep) 属性所示。

如果 $T1(n + 1) >$ 上一次使用的有效温度 (向下舍入)

$$\text{有效温度 (用于调光)} = T1(n + 1) - \text{modulo}(T1(n + 1), Qstep)$$

否则 (向上舍入)

$$\text{有效温度 (用于调光)} = T1(n + 1) - \text{modulo}(T1(n + 1), Qstep) + Qstep$$

3.31.1 写入

此命令用于设置低通温度滤波器的强度和量化步长。

字节	说明
1	命令字节 (C0h)
2	长度 (08h)
3	低通滤波器强度 (lsb)
4	低通滤波器强度
5	低通滤波器强度
6	低通滤波器强度 (msb)
7	低通滤波器量化步长 (lsb)
8	低通滤波器量化步长
9	低通滤波器量化步长
10	低通滤波器量化步长 (msb)
11	校验和 (字节 1 到 10 的和)

更多有关低通滤波器工作情况的信息，请参阅 **DLPC120 ASIC 的 Piccolo 软件编程指南 (DLPU061)**。

3.31.2 读取

此命令请求读取低通滤波器常量。

字节	说明
1	命令字节 (C1h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (C1h)

3.31.3 读取响应

这是针对读取低通滤波器常量的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (08h)
3	低通滤波器强度 (lsb)

4	低通滤波器强度
5	低通滤波器强度
6	低通滤波器强度 (msb)
7	低通滤波器量化步长 (lsb)
8	低通滤波器量化步长
9	低通滤波器量化步长
10	低通滤波器量化步长 (msb)
11	校验和 (字节 1 到 10 的和)

注意：滤波器系数是浮点数。有关此类数字的读写格式，请参阅[章节 5](#)。

3.32 温度补偿 (61h)

3.32.1 写入

此命令用于设置温度补偿功能。此功能需要提供预先校准的数据才能正常工作。

字节	说明
1	命令字节 (C2h)
2	长度 (03h)
3	功能启用：请见下方
4	频率 (0 - 7)
5	自定义温度：请见下方
6	校验和

msb	字节 3：功能启用						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
	保留				测量模式		启用

b(0) - 功能启用
0：禁用温度补偿
1：启用温度补偿

b(3:1) - 测量模式
0 - 保留 (不使用)
1 - 用户定义的温度输入
2 - 从 TMP411 测得的温度
3 到 7 - 保留 (不使用)

b(7:4) - 保留

图 3-7. 温度补偿 (字节 3)

msb	字节 4：保留						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
保留 (应设为 0)							

b(7:0) - 保留 (应设为 0)

图 3-8. 温度补偿 (字节 4)

msb	字节 5：自定义温度						lsb
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

自定义温度	
b(7:0) -	自定义温度 摄氏温标中的值应偏移 100 例如：0°C 应发送为 100 - 35°C 应发送为 65，等等

图 3-9. 温度补偿 (字节 5)

此命令支持 -100°C 至 155°C 范围内的温度。为支持使用单个字节传输温度，将向温度添加 100 的偏移量，使范围变为 0 (-100°C) 至 255 (155°C)。

注 1：测量模式确定补偿计算中使用的温度。

注 2：在用户定义模式下，直接使用字节 5 中提供的温度值。

注 3：在 TMP411 模式下，软件使用 TMP411 传感器测得的温度进行计算。

注 4：**DLP3030-Q1 显示 LED 驱动器应用手册**中提供了温度补偿算法的详细信息。

注 5：允许的频率为 0 到 7。0 对应于 1Hz，7 对应于 8Hz。

3.32.2 读取

此命令请求读取温度补偿设置。

字节	说明
1	命令字节 (C3h)
2	长度 (00h)
3	校验和

3.32.3 读取响应

这是针对读取温度补偿设置的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	功能启用：请参阅图 23
4	频率 - 1Hz
5	自定义温度
6	有效温度：请见下方
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

有效温度是启用温度补偿算法时此算法运行的温度。

有效温度的格式与自定义温度的格式相同。

msb		字节 5：有效温度					lsb	
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
有效温度								

b(7:0) - 有效温度
返回的值偏移了 100 摄氏度
例如：100 表示 0°C
65 表示 -35°C 等

图 3-10. 有效温度字节格式

3.33 LED 电压和电流 (62h)

此命令返回测得的 LED 电压和电流。

3.33.1 读取

此命令请求读取 LED 电压和电流。

字节	说明
1	命令字节 (C5h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (C5h)

3.33.2 读取响应

这是针对读取 LED 电压和电流的请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (08h)
3	LED 电压 (lsb)
4	LED 电压
5	LED 电压
6	LED 电压 (msb)
7	LED 电流 (lsb)
8	LED 电流
9	LED 电流
10	LED 电流 (msb)
11	校验和 (字节 1 到 10 的和)

LED 电压和电流为浮点数。有关其接收格式，请参阅节 5.3。

3.34 DMD 温度 (63h)

3.34.1 读取

此命令以 K10 格式读取 DMD 温度。

字节	说明
1	命令字节 (C7h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (C6h)

3.34.2 读取响应

这是针对读取 DMD 温度的请求的数据响应。

字节	说明
----	----

1	响应字节 (01h)
2	长度 (02h)
3	以 K10 格式表示的温度 (lsb)
4	以 K10 格式表示的温度 (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.34.3 示例 : K10 格式 :

假设字节 3 的接收值为 0xA4, 字节 4 的接收值为 0x0B。因此, 温度以 K10 格式表示为 0x0BA4。温度以十进制形式表示为 2890 K10。若要将其转换为摄氏度, 我们将其除以 10, 然后从结果中减去 273。

温度 (以 °C 表示) = (温度 (以 k10 表示) /10) - 273

= 298 - 273 = 25 C

3.35 启用校准模式 (64h)

3.35.1 写入

Piccolo 软件有两种模式 - 正常模式和校准模式。正常模式是系统允许执行调光操作时的常规模式。校准模式可以视为工厂工作模式, 用户可以直接访问 LED PWM 和其他低级别功能。

此命令用于在校准模式和正常模式之间切换。

字节	说明
1	命令字节 (C8h)
2	长度 (01h)
3	校准模式 (请见下方)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

msb	字节 3						lsb	
	b7	b6	b5	b4	b3	b2		b1

b (7:0) - 校准模式
 0 - 禁用校准模式
 1 - 启用校准模式

图 3-11. 校准模式字节格式

注 1 : 此命令可在正常模式和校准模式下发送。默认情况下, 系统以正常模式启动。

3.35.2 读取

此命令请求读取工作模式 (校准/正常)。

字节	说明
1	命令字节 (C9h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (C9h)

3.35.3 读取响应

这是针对读取工作模式的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)

- | | |
|---|---------------------|
| 3 | 校准模式 (请参阅图 3-11) |
| 4 | 校验和 (字节 1 到 3 的和) |

3.36 红色 LED PWM (65h)

3.36.1 写入

此命令用于设置红色 LED PWM 级别。此命令仅可在校准模式下使用 (请参阅节 3.34 以启用校准模式)。

字节	说明
1	命令字节 (CAh)
2	长度 (02h)
3	红色 LED PWM (lsb)
4	红色 LED PWM (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.36.2 读取

此命令请求读取红色 LED PWM 级别。

字节	说明
1	命令字节 (CBh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (CBh)

3.36.3 读取响应

这是针对有效读取命令的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (02h)
3	红色 LED PWM (lsb)
4	红色 LED PWM (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.37 绿色 LED PWM (66h)

3.37.1 写入

此命令用于设置绿色 LED PWM 级别。此命令仅可在校准模式下使用 (请参阅节 3.34 以启用校准模式)。

字节	说明
1	命令字节 (CCh)
2	长度 (02h)
3	绿色 LED PWM (lsb)
4	绿色 LED PWM (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.37.2 读取

此命令请求读取绿色 LED PWM 级别。

字节	说明
1	命令字节 (CDh)

2	长度 (00h)
3	校验和 (CDh)

3.37.3 读取响应

这是针对有效读取命令的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (02h)
3	绿色 LED PWM (lsb)
4	绿色 LED PWM (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.38 蓝色 LED PWM (67h)

3.38.1 写入

此命令用于设置蓝色 LED PWM 级别。此命令仅可在校准模式下使用 (请参阅节 3.34 以启用校准模式)。

字节	说明
1	命令字节 (CEh)
2	长度 (02h)
3	蓝色 LED PWM (lsb)
4	蓝色 LED PWM (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.38.2 读取

此命令请求读取蓝色 LED PWM 级别。

字节	说明
1	命令字节 (CFh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (CFh)

3.38.3 读取响应

这是针对有效读取命令的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (02h)
3	蓝色 LED PWM (lsb)
4	蓝色 LED PWM (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.39 电流限制 PWM (68h)

3.39.1 写入

此命令用于设置电流限制 PWM 级别。此命令仅可在校准模式下使用 (请参阅节 3.34 以启用校准模式)。

字节	说明
1	命令字节 (D0h)

2	长度 (02h)
3	电流限制 PWM (lsb)
4	电流限制 PWM (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.39.2 读取

此命令请求读取电流限制 PWM 级别。

字节	说明
1	命令字节 (D1h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (D1h)

3.39.3 读取响应

这是针对有效读取命令的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (02h)
3	电流限制 PWM (lsb)
4	电流限制 PWM (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.40 传感器增益 (69h)

3.40.1 写入

此命令用于设置传感器增益。此命令仅在校准模式下可用 (请参阅节 3.35 以启用校准模式)。

字节	说明
1	命令字节 (D2h)
2	长度 (01h)
3	传感器增益
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

传感器增益只能有值“0”、“1”、“2”和“3”，因为它是 4 至 1 多路复用器两个选择位的输入。应用的实际增益取决于硬件，并存储在校准文件中。可使用节 3.42 中所述的传感器增益映射获得此值。

3.40.2 读取

此命令请求读取传感器增益。

字节	说明
1	命令字节 (D3h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (D3h)

3.40.3 读取响应

这是针对读取传感器增益的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)

2	长度 (01h)
3	传感器增益
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

读取命令将返回 0 - 3 范围内的一个值。使用传感器增益映射命令可以获得实际应用的增益。

3.41 命令表索引 (6Ah)

3.41.1 写入

此命令用于设置 ASIC 命令表索引寄存器。此命令仅在校准模式下可用 (请参阅节 3.34 以启用校准模式)。

字节	说明
1	命令字节 (D4h)
2	长度 (01h)
3	LDC 索引 (请见下方)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

<i>msb</i>	字节 3						<i>lsb</i>
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7:0) - LDC 索引

图 3-12. 命令表索引字节格式

注 1：此命令要求 Piccolo 闪存中存在有效的校准数据才能正确运行。

注 2：该命令将根据加载的校准文件和其他管理设置计算 SEQ 索引和 CMT 索引。然后，该命令将写入所有三个命令表索引寄存器 (LDC 索引、SEQ 索引和 CMT 索引)。

注 3：有关 ASIC 寄存器的详细信息，请参阅“ASIC IIC 指南”文档。

3.41.2 读取

此命令请求读取 HUD ASIC 的命令表索引寄存器。

字节	说明
1	命令字节 (D5h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (D5h)

3.41.3 读取响应

这是针对读取命令表索引的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (03h)
3	LDC 索引 (请参阅图 28)
4	SEQ 索引
5	CMT 索引
6	校验和 (字节 1 到 5 的和)

3.42 传感器增益映射 (6Bh)

此命令请求读取校准数据中存在的传感器增益映射，该映射将多路复用器输入映射到实际应用的增益。

字节	说明
1	命令字节 (D7h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (D7h)

3.42.1 读取响应

这是针对读取传感器增益映射的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	多路复用器输入 0 的实际增益 (整数)
4	多路复用器输入 1 的实际增益 (整数)
5	多路复用器输入 2 的实际增益 (整数)
6	多路复用器输入 3 的实际增益 (整数)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.43 适配器 ADC 电压 (0x6C)

此命令获取连接到通道 A3、A6 和 A7 的三个适配器 ADC 的电压。收到此命令后，Piccolo 会触发 ADC 转换以轮询这些通道。

3.43.1 读取

此命令请求读取适配器 ADC 电压。

字节	说明
1	命令字节 (D9h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (D9h)

3.43.2 读取响应

这是针对读取适配器 ADC 电压的请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (0Ch)
3	适配器 ADC 通道 A3 电压 (lsb)
4	适配器 ADC 通道 A3 电压
5	适配器 ADC 通道 A3 电压
6	适配器 ADC 通道 A3 电压 (msb)
7	适配器 ADC 通道 A6 电压 (lsb)
8	适配器 ADC 通道 A6 电压
9	适配器 ADC 通道 A6 电压
10	适配器 ADC 通道 A6 电压 (msb)
11	适配器 ADC 通道 A7 电压 (lsb)

12	适配器 ADC 通道 A7 电压
13	适配器 ADC 通道 A7 电压
14	适配器 ADC 通道 A7 电压 (msb)
15	校验和 (字节 1 到 14 的和)

注意：适配器 ADC 电压是浮点数。有关此类数字的读取格式，请参阅节 5.3。

3.44 配置格式版本 (6Dh)

此命令请求读取 Piccolo 软件支持的配置数据格式版本。

字节	说明
1	命令字节 (DBh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (DBh)

注 1：即使 Piccolo 内部闪存中没有有效的校准数据，该命令也会运行。

3.44.1 读取响应

这是针对读取配置数据格式版本的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	格式版本字符 ASCII (lsb)
4	格式版本字符 ASCII
5	格式版本字符 ASCII
6	格式版本字符 ASCII (msb)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.44.2 配置格式说明

配置格式版本用于识别对配置数据文件进行的内部存储器格式更改。这有助于确保 Piccolo 软件正确地解释内部配置数据。校准格式定义为具有 4 个字符的字符串 (例如：0008)。以 0008 为例，该命令返回格式版本 0x38、0x30、0x30、0x30 作为其数据字节。

更多有关校准格式版本的详细信息，请参阅 **DLPC120 ASIC 的 Piccolo 软件编程指南 (DLPU061)**。

3.45 校准格式版本 (6Eh)

此命令请求读取 Piccolo 软件支持的校准数据格式版本。

字节	说明
1	命令字节 (DDh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (DDh)

注 1：即使 Piccolo 内部闪存中没有有效的校准数据，该命令也会运行。

3.45.1 读取响应

这是针对读取校准数据格式版本的有效请求的数据响应。

字节	说明
----	----

1	响应字节 (01h)
2	长度 (04h)
3	格式版本字符 ASCII (lsb)
4	格式版本字符 ASCII
5	格式版本字符 ASCII
6	格式版本字符 ASCII (msb)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.45.2 校准格式说明

校准格式版本用于识别对校准数据文件进行的内部存储器格式更改。这有助于确保 **Piccolo** 软件正确地解释内部校准数据。校准格式定义为具有 4 个字符的字符串 (例如: 0006)。以 0006 为例, 该命令返回格式版本 0x36、0x30、0x30、0x30 作为其数据字节。

更多有关校准格式版本的详细信息, 请参阅 **DLPC120 ASIC 的 Piccolo 软件编程指南 (DLPU061)**。

3.46 校准数据版本 (6Fh)

此命令请求读取 **Piccolo** 闪存中存储的校准数据版本以及 **ASIC** 闪存文件的标识符。

字节	说明
1	命令字节 (DFh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (DFh)

注 1: 此命令要求闪存中存在有效的校准数据才能成功运行。

3.46.1 读取响应

这是针对读取校准数据版本和 **ASIC** 闪存文件 ID 的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (08h)
3	校准数据版本 (lsb)
4	校准数据版本
5	校准数据版本
6	校准数据版本 (msb)
7	ASIC 闪存文件 Id (lsb)
8	ASIC 闪存文件 Id
9	ASIC 闪存文件 Id
10	ASIC 闪存文件 Id (msb)
11	校验和 (字节 1 到 10 的和)

3.47 将校准数据编程到闪存 (70h)

3.47.1 写入

此命令用于将校准数据编程到闪存中, 并且支持可变长度。**SPI** 协议仅支持每个命令 255 个字节的数据, 因此, 要编程的校准数据应在多个命令之间拆分, 以传输完整的数据。

仅在校准模式下支持此命令。

字节	说明
----	----

1	命令字节 (E0h)
2	长度
3	命令标志 (请见下方)
4	数据
..	数据
..	校验和

<i>msb</i>	字节 3 : 命令标志						<i>lsb</i>
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

b (7:0) -

- 0 - 此命令包含完整的数据
- 1 - 此命令包含数据的开头
- 2 - 此命令包含中间数据
- 3 - 此命令包含最后的数据

图 3-13. 命令标志

命令标志指示由主器件发送的数据的位置。

如果校准数据小于 254 个字节，可以使用命令标志“0”在单个步骤中对闪存进行编程。在此模式下，存储校准数据的内部闪存扇区将被擦除，并使用接收到的数据进行编程。然后，软件会验证数据的有效性，之后将数据用于新的调光计算。如果发现编程数据无效，将设置适当的状态标志。

对于超过 254 个字节的校准数据，应多次发出此命令，并将命令标志设置为“1”（对于前 254 个字节）、“2”（对于所有中间字节）和“3”（对于最后一组字节）（小于或等于 254）。

当命令标志 = “1” 时，软件将擦除分配给校准数据的内部闪存扇区，并存储接收到的数据。

当命令标志 = “2” 时，软件会将接收到的数据编程到闪存中在最后一步停止的位置。

当命令标志 = “3” 时，接收到的数据将首先以与命令标志 = “2” 相同的方式编程到闪存中。之后，将检查校准数据的有效性。如果已编程的校准数据无效，该命令将失败。

只有在用新数据覆盖闪存的现有内容后，才能验证新校准数据。因此，在形成校准数据以编程到闪存时应格外小心。建议使用 TI 提供的工具来准备校准数据并将其编程到 Piccolo 闪存。如果没有正确的校准数据，系统将无法工作。

命令标志	开头 (1)	中间 (2)	最后 (3)
数据字节	0-254	255-509	510-764

3.48 二进制闪存读取/设置二进制读取起始地址 (71h)

二进制闪存读取功能用于以二进制格式读取 Piccolo 闪存数据。这有助于读取当前使用的校准数据。此功能用途广泛，允许从任何地址读取闪存的任何部分。这是通过使用“设置二进制读取起始地址”功能来设置起始地址，然后使用二进制闪存读取（将所需字数作为参数）命令来实现的。

3.48.1 写入

此命令用于设置闪存二进制读取起始地址。执行的下一个二进制读取将来自起始地址。

字节	说明
1	命令字节 (E2h)
2	长度 (04h)
3	读取起始地址 (lsb)
4	读取起始地址
5	读取起始地址

6	读取起始地址 (msb)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.48.2 读取

此命令请求对 **Piccolo** 闪存进行二进制读取。要读取的字数作为输入提供。

字节	说明
1	命令字节 (E3h)
2	长度 (01h)
3	字数 (1 - 127)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.48.3 读取响应

这是针对有效读取命令的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (255)
3 至 257	二进制闪存数据
258	校验和 (字节 1 到 257 的和)

所需字数之后的所有字节的值都设置为 0。

3.49 设置 PWM 周期/读取 PWM 信息 (72h)

3.49.1 写入

只应在校准模式下使用此命令。此命令将 PWM 周期 (按粗脉冲计) 设置为最大 1200 个脉冲。尝试设置 0 或高于 1200 的值将导致标记“数据超出范围”错误。

字节	说明
1	命令字节 (E4h)
2	长度 (02h)
3	PWM 周期 (lsb)
4	PWM 周期 (msb)
5	校验和 (字节 1 到 4 的和)

3.49.2 读取

此命令请求读取 PWM 相关信息。

字节	说明
1	命令字节 (E5h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (E5h)

3.49.3 读取响应

这是针对读取 PWM 相关信息的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)

2	长度 (08h)
3	PWM 周期 (lsb)
4	PWM 周期 (msb)
5	PWM 频率 (kHz) * 100 (lsb)
6	PWM 频率 (kHz) * 100
7	PWM 频率 (kHz) * 100
8	PWM 频率 (kHz) * 100 (msb)
9	最大分辨率 (lsb)
10	最大分辨率 (msb)
11	校验和 (字节 1 到 10 的和)

3.50 PWM 比例因子 (73h)

此命令请求读取自最近一次复位/通电以来的当前、最大和最小 HRPWM MEP (微边沿定位) 比例因子。比例因子是每个粗脉冲的精细 (HRPWM) 脉冲数。

字节	说明
1	命令字节 (E7h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (E7h)

3.50.1 读取响应

这是针对读取 PWM 比例因子的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (06h)
3	当前 PWM MEP 比例因子 (lsb)
4	当前 PWM MEP 比例因子 (msb)
5	最小 PWM MEP 比例因子 (lsb)
6	最小 PWM MEP 比例因子 (msb)
7	最大 PWM MEP 比例因子 (lsb)
8	最大 PWM MEP 比例因子 (msb)
9	校验和 (字节 1 到 8 的和)

3.51 ASIC 闪存读取 (74h)

此命令请求读取 ASIC 闪存数据。所需的字节数作为输入发送。此命令用于从 ASIC 闪存读取用户信息。此命令从“ASIC 闪存读取设置”命令设置的地址开始读取 (节 3.51)。

字节	说明
1	命令字节 (E9h)
2	长度 (01h)
3	要读取的字节数
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.51.1 读取响应

这是针对读取 ASIC 闪存数据的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (作为输入提供的请求的字节数)
3 到 (请求的字节数 + 2)	ASIC 闪存数据
请求的字节数 + 3	校验和 (字节 1 到请求的字节数 + 2 的总和)

3.52 ASIC 闪存读取设置 (75h)

3.52.1 写入

此命令用于设置 ASIC 闪存读取 (节 3.50) 命令将开始读取的起始地址以及读取长度。虽然每个 ASIC 闪存读取命令都有其请求的长度, 但该读取长度用于告诉 ASIC 何时停止读取操作。读取长度指定了要从闪存读取的总字节数 (将使用具有自身长度的重复性 ASIC 闪存读取命令进行读取, 每个命令最多 255 个字节)。Piccolo 始终跟踪读取的字节数 (各个 ASIC 闪存读取命令的读取长度之和)。当读取的字节数变为等于通过此命令设置的读取长度时, Piccolo 将执行某些寄存器写入以禁用读取操作。

字节	说明
1	命令字节 (EAh)
2	长度 (08h)
3	起始地址 (lsb)
4	起始地址
5	起始地址
6	起始地址 (msb)
7	读取长度 (lsb)
8	读取长度
9	读取长度
10	读取长度 (msb)
11	校验和 (字节 1 到 10 的和)

3.52.2 读取

此命令请求读取 ASIC 闪存读取信息。

字节	说明
1	命令字节 (EBh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (EBh)

3.52.3 读取响应

这是针对读取 ASIC 闪存读取信息的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (0Ch)
3	起始地址 (lsb)
4	起始地址
5	起始地址
6	起始地址 (msb)
7	读取长度 (lsb)
8	读取长度

9	读取长度
10	读取长度 (msb)
11	读取的字节数 (lsb)
12	读取的字节数
13	读取的字节数
14	读取的字节数 (msb)
15	校验和 (字节 1 到 14 的和)

3.53 电源轨电压 (0x78)

此命令用于获取 1.2V、1.8V、2.5V 和 3.3V 电源轨的电压。为使此命令正常执行，这些电源轨必须分别连接到 ADC 输入 A0、B3、B6 和 B7。该命令也会返回系统是否因一个或多个电源轨电压超出公差而脱离复位。如果启用电压监测，Piccolo 软件会定期测量电源轨电压。在这种情况下，此命令会读取上次测量的电压。当禁用电压监测时，该命令触发 ADC 转换，以轮询这四个电源轨上的电压。

3.53.1 读取

此命令请求读取电源轨电压。

字节	说明
1	命令字节 (F1h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (F1h)

3.53.2 读取响应

这是针对读取电源轨电压的请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (11h)
3	1.2V 电源轨电压 (lsb)
4	1.2V 电源轨电压
5	1.2V 电源轨电压
6	1.2V 电源轨电压 (msb)
7	1.8V 电源轨电压 (lsb)
8	1.8V 电源轨电压
9	1.8V 电源轨电压
10	1.8V 电源轨电压 (msb)
11	2.5V 电源轨电压 (lsb)
12	2.5V 电源轨电压
13	2.5V 电源轨电压
14	2.5V 电源轨电压 (msb)
15	3.3V 电源轨电压 (lsb)
16	3.3V 电源轨电压
17	3.3V 电源轨电压
18	3.3V 电源轨电压 (msb)
19	系统复位状态
20	校验和 (字节 1 到 19 的和)

注意：电源轨电压是浮点数。有关此类数字的读取格式，请参阅节 5.3。

系统状态“0”表示正常操作，“1”表示复位状态。

3.54 电压监控 (或电压监测) (0x79)

此命令用于启用或禁用电压监控。为了使该功能正常工作，务必将 1.2V、1.8V、2.2V 和 3.3V 电源轨分别连接到 ADC 输入 A0、B3、B6 和 B7。此外，还必须将 GPIO 5 连接到 ASIC 的复位引脚。

3.54.1 写入

此命令用于设置启用/禁用电压监控。

字节	说明
1	命令字节 (F2h)
2	长度 (01h)
3	启用/禁用 (“1” / “0”)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.54.2 读取

此命令请求读取电压监控的启用状态。

字节	说明
1	命令字节 (F3h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (F3h)

3.54.3 读取响应

这是针对读取电压监控启用状态的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)
3	启用状态 (“0” - 禁用, “1” - 启用)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.55 切换模式 (7Ah)

3.55.1 读取

此命令用于停止 DMD，复位系统，然后跳转到引导加载程序。跳转发生在命令执行和确认完成之后。

字节	说明
1	命令字节 (F5h)
2	长度 (05h)
3	切换到引导加载程序 (00h)
3-6	切换模式写入签名 (FF00FF00h)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.55.2 读取响应

这是针对读取切换模式读取签名的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)

2	长度 (04h)
3-6	切换模式应用程序读取签名 (12345678h)
7	校验和 (字节 1 到 6 的和)

3.56 Piccolo IIC 时钟速率 (7Ch)

3.56.1 写入

此命令用于设置 Piccolo IIC 主器件时钟速率。

字节	说明
1	命令字节 (F8h)
2	长度 (01h)
3	时钟速率 (请见下方)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

<i>msb</i>	字节 3	<i>lsb</i>
	保留	b0

b0 - IIC 时钟速率
 0kHz - 400kHz
 1kHz - 100kHz

图 3-14. IIC 时钟速率字节格式

3.56.2 读取

此命令请求读取 Piccolo IIC 主器件时钟速率。

字节	说明
1	命令字节 (F9h)
2	长度 (00h)
3	校验和 (F9h)

3.56.3 读取响应

这是针对读取 Piccolo IIC 主器件时钟速率的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)
3	时钟速率 (请参阅图 3-14)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

3.57 Piccolo 编程模式 (7Eh)

此命令请求读取 Piccolo 编程模式。

字节	说明
1	命令字节 (FDh)
2	长度 (00h)
3	校验和 (FDh)

3.57.1 读取响应

这是针对读取 Piccolo 编程模式的有效请求的数据响应。

字节	说明
1	响应字节 (01h)
2	长度 (01h)
3	编程模式 (00h)
4	校验和 (字节 1 到 3 的和)

<i>msb</i>	字节 3						<i>lsb</i>
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

B (7:1)	保留
b (0) -	Piccolo 编程模式 0 - 主应用程序 1 - 引导加载程序

图 3-15. 编程模式字节格式

This page intentionally left blank.

4.1 示例

本节给出了一些命令的 SPI 传输示例，以帮助读者理解协议。以下颜色代码用于识别正在传输的字节类型。

A5	起始字符
5A	转义字符 (背景根据字节类型而变化)
字节[byte]	转义数据 (背景根据字节类型而变化)
	命令
	长度
	数据
	校验和
	响应
	虚拟字节

图 4-1. 示例图例

4.2 写入背光 0xFFFF

校验和 = $(0x00 + 0x02 + 0xFF + 0xFF) \text{ MOD } 0x100 = 0x00$

请注意，校验和计算中不包括起始字符 0xA5。

	0	1	2	3	4	5	6	7
主机 (主器件)	A5	00	02	FF	FF	00	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	01

4.3 写入背光 0xA523 (数据中的特殊字符)

为了传输数据 0xA523，0xA5 被转换为转义序列 0x5A 0x00 (字节 11 和 12)。然而，校验和在计算中使用 0xA5。

校验和 = $(0x00 + 0x02 + 0xA5 + 0x23) \text{ MOD } 0x100 = 0xCA$

	8	9	10	11	12	13	14	15	16
主机 (主器件)	A5	00	02	5A	00	23	CA	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	01

4.4 写入背光 0xFA5A (数据中的特殊字符)

第二个数据字节 0x5A 是转义字符。若要传输此信息，请发送 0x5A 两次 (字节 21 和 22)。校验和计算始终基于实际数据；因此，在其计算中只使用一个 0x5A。

校验和 = $(0x00 + 0x02 + 0xFA + 0x5A) \text{ MOD } 0x100 = 0x56$

	17	18	19	20	21	22	23	24	25
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----

主机 (主器件)	A5	00	02	FA	5A	5A	56	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	01

4.5 写入背光 0xE96F (校验和中的特殊字符)

命令的任何部分都可以包含特殊字符。此示例显示命令的校验和区域中的特殊字符。

在计算该命令的校验和时，我们得到 0x5A，如下所示：

$$\text{校验和} = (0x00 + 0x02 + 0xE9 + 0x6F) \text{ MOD } 0x100 = 0x5A$$

若要将 0x5A 作为校验和进行传输，我们需要发送两个字节 (字节 31 和 32)，如下所示。

	26	27	28	29	30	31	32	33	34
主机 (主器件)	A5	00	02	E9	6F	5A	5A	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	01

4.6 写入背光 0x9013 (校验和中的特殊字符)

这显示了另一个示例，其中，计算出的校验和等于 0xA5，即起始字符的值。

$$\text{校验和} = (0x00 + 0x02 + 0x90 + 0x13) \text{ MOD } 0x100 = 0xA5$$

我们将 0x5A 0x00 作为字节 40 和 41 进行传输，用作校验和。

	35	36	37	38	39	40	41	42	43
主机 (主器件)	A5	00	02	90	13	5A	00	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	01

4.7 写入 - 失败 - 校验和不匹配

此示例显示，如果校验和不匹配，则从器件响应将更改为 0x02。

$$\text{校验和} = (0x00 + 0x02 + 0xAB + 0xCD) \text{ MOD } 0x100 = 0x7A$$

在此示例中，从器件接收的校验和为 0xEF；因此，它返回“校验和不匹配”作为其响应。

	44	45	46	47	48	49	50	51
主机 (主器件)	A5	00	02	AB	CD	EF	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	02

4.8 写入 - 失败 - 无效命令

以下示例尝试在写入模式下发送无效命令 (0x21)。从器件以 0x03 (无效命令) 进行响应。

	52	53	54	55	56	57	58
主机 (主器件)	A5	42	01	9F	E2	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	03

4.9 写入 - 失败 - 命令不可用

此示例尝试写入状态寄存器。命令地址有效，但写入操作无效。从器件以 0x04 (命令不可用) 进行响应。如果在正常模式下发送校准命令或在校准模式下发送正常模式命令，则从器件也会返回相同的响应。无论是正常模式还是校准模式，都可以读取所有命令 (除非命令仅支持写入)。

	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
主机 (主器件)	A5	66	04	FF	FF	FF	FF	66	00	00

Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	04
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

4.10 写入 - 失败 - 长度不匹配

此示例尝试为背光命令发送 4 个字节的数据，而不是 2 个字节。从器件以 0x05 (长度不匹配) 进行响应。背光命令将被忽略且不会被执行。

	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
主机 (主器件)	A5	00	04	AB	00	CD	12	8E	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	05

4.11 写入 - 其他错误

从器件响应仅指示是否正确地接收到了传输的命令，以及从器件是否理解该命令。其他错误 (如在命令执行阶段发生的数据超出范围) 将仅在系统状态中进行标记。从器件响应将不包括这些错误。

例如，值 0x02 对于启用校准模式 (节 3.34) 命令无效。虽然从器件将以 0x01 (成功接收命令) 进行响应，但在执行期间，它将在系统状态中标记“数据超出范围”位。在这种情况下，命令执行失败。

	79	80	81	82	83	84	85
主机 (主器件)	A5	C8	01	02	CB	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	07

4.12 读取背光

此示例用于读取从器件中的背光值，假设当前使用的背光值为 0xFA5A。起始字符和转义字符不适用于由从器件发送的数据。换句话说，从器件不会在每个事务之前添加起始字符 0xA5。此外，从器件字节流中的任何特殊字符都将在不作任何更改的情况下进行传输 (将不使用转义字符)。

还要注意，如果长度 = 0x00，则没有数据字节。长度字节之后的字节将被视为校验和字节。

读取校验和包括响应字节。

读取校验和 = $(0x01 + 0x02 + 0x5A + 0xFA) \text{ MOD } 0x100 = 0x57$

为了清楚起见，此示例分为两行。

	86	87	88	89	90	91
主机 (主器件)	A5	01	00	01	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF

	92	93	94	95	96
主机 (主器件)	00	00	00	00	00
Piccolo (从器件)	01	02	5A	FA	57

4.13 读取 ASIC 寄存器

若要读取 ASIC 寄存器，主器件必须传输 ASIC 寄存器的地址。对于此命令，读取命令的传输字节为非零。下图显示了从 ASIC 中读取命令表索引寄存器 (0xC5) 以及从器件响应 (假设当前命令表索引值为 0x08)。

写入校验和 = $(0x69 + 0x01 + 0xC5) \text{ MOD } 0x100 = 0x2F$

读取校验和 = $(0x01 + 0x04 + 0x08 + 0x00 + 0x00 + 0x00) \text{ MOD } 0x100 = 0xD$

	97	98	99	100	101	102	103
主机 (主器件)	A5	69	01	C5	2F	00	00

Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
	104	105	106	107	108	109	110
主机 (主器件)	00	00	00	00	00	00	00
Piccolo (从器件)	01	04	08	00	00	00	0D

4.14 读取 - 失败

读取失败可能源于以下两个原因：

- 传输错误，如校验和不匹配、长度不匹配、命令地址无效等
- 执行失败 - 数据超出范围、I2C 故障等

在发送响应之前，读取命令将首先尝试执行。因此，从器件可能需要花更多的时间来发送对读取命令的响应。响应字节将指示遇到任何错误时的故障状态。如果出现故障，从器件只传输响应字节。在此类情况下，没有读取校验和或读取字节。

如果主器件尝试读取额外的字节，则从器件将使用虚拟字节 (0xFF) 进行响应。从器件将忽略由主器件传输的所有此类字节 (下图中的字节 119 到 121)，直到它接收到命令字符的下一个开头 (0xA5)。如果从器件忽略任何字节，则将在系统状态位“已忽略 SPI 字节”中对其进行标记。

此示例显示了传输数据中的长度不匹配导致读取命令失败的情况。数据长度应为“00”。从器件响应字节将指示 0x05 (长度不匹配)。

	111	112	113	114	115	116	117
主机 (主器件)	A5	01	02	FF	FF	00	00
Piccolo (从器件)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
		118	119	120	121		
主机 (主器件)		00	00	00	00		
Piccolo (从器件)		05	FF	FF	FF		

5.1 写入和读取浮点数

每个浮点值作为一组四个整数进行发送和接收。这是通过使用整数指针访问这些值并将它们视为整数进行拆分来实现的。为了获得实际的浮点值，将 4 个整数串联成一个 32 位整数，并使用浮点指针访问它们。浮点型指针的值给出了低通滤波器常量的实际值。

5.2 示例：写入浮点数据（例如 1.0）：

第 1 步：使用整数指针访问“Data”的浮点值（包含 1.0）

```
Uint32* DataInt = (Uint32*) &Data;
```

第 2 步：将存储在整数指针中的值拆分为字节。

整数指针 (*DataInt) 的值为 0x3E800000。

因此，4 个字节分别为 0x3E、0x80、0x00 和 0x00

第 3 步：在 SPI 命令中发送每个字节（先发送 LSB）

字节 1 = 0x00

字节 2 = 0x00

字节 3 = 0x80

字节 4 = 0x3E

5.3 示例：读取浮点数据：

假设接收到的字节值分别为 0x00、0x00、0x80、0x3E。

第 1 步：按照正确的顺序连接它们，我们得到了 0x3E800000

第 2 步：将 0x3E800000 存储到 32 位整数中（例如 Uint32 DataInt）。

第 3 步：使用 32 位浮点指针访问此整数。

```
float32* DataFlt= (float32*) &DataInt
```

第 4 步：浮点指针的值包含数据的实际值。

```
float32 Data = * DataFlt;
```

我们可以看到数据的值是 1.0，

注意：以上示例只是对该过程的描述。不同的处理器可能以不同的方式存储浮点值。

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (March 2018) to Revision A (April 2022)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	11
• 首次公开发布.....	11

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司