

描述：

APDS-9960 设备具有先进的手势检测，接近检测，数字环境光感（ALS）和色感（RGBC）。L 3.94×W 2.36×H 1.35 mm 的超薄模块化封装结合了一个 IR LED 和出厂校准的 LED 驱动器，可与现有的引脚兼容。

手势检测：

手势检测利用四个方向的光电二极管来感测反射的 IR 能量（由集成 LED 产生的），以将物理运动信息（即速度，方向和距离）转换成数字信息。手势引擎的架构具有自动激活（基于 Proximity 引擎结果），环境光减法，串扰消除，双 8 位数据转换器，省电互换延迟，32 数据集 FIFO 和中断驱动 I2C 总线沟通。手势引擎适应各种移动设备的手势要求：可以准确地检测简单的 UP-DOWN-RIGHT-LEFT 手势或更复杂的手势。功耗和噪音可通过可调节的红外 LED 定时进行最小化。下一页继续说明...

应用：

- 手势检测
- 颜色感
- 环境光感测
- 手机触摸屏禁用
- 机械开关更换

特征：

- ◆ 光学模块中的环境光和 RGB 颜色感测，接近感应和手势检测
- ◆ 环境光和 RGB 颜色感应
 - 紫外线和红外阻挡滤光片
 - 可编程增益和积分时间
 - 非常高的灵敏度 非常适合深色玻璃后面的操作
- ◆ 接近感知
 - 修整提供一致的读取
 - 环境光抑制
 - 偏移补偿
 - 可编程驱动器，用于红外 LED 电流
 - 饱和度指示器位
- ◆ 复合手势感应
 - 对不同方向敏感四个独立的二极管
 - 环境光抑制
 - 偏移补偿
 - 可编程驱动器，用于红外 LED 电流
 - 32 个数据集存储 FIFO
 - 中断驱动 I2C 总线通讯
- ◆ I2C 总线快速模式兼容接口

- 数据速率高达 400 kHz
 - 专用中断引脚
- ◆ 小包装 L 3.94*W 2.36*H 1.35 毫米

说明（续）

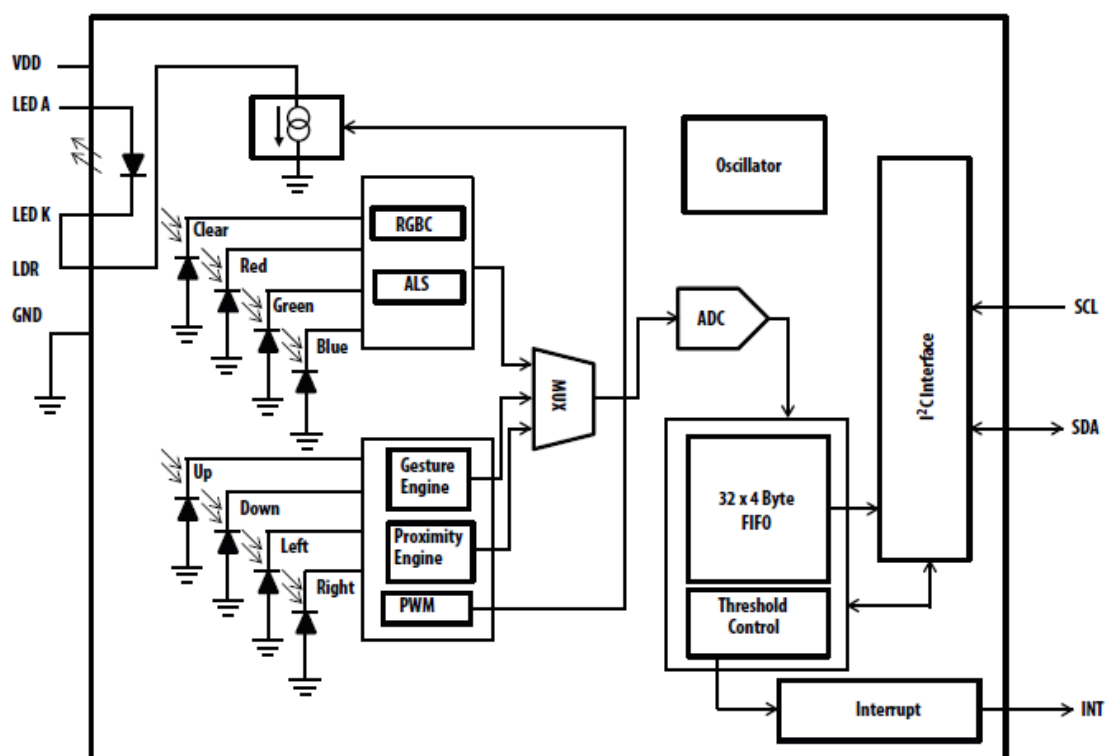
接近检测：

接近检测功能通过光电二极管检测反射的 IR 能量（由集成 LED 提供）提供距离测量（例如移动设备屏幕到用户耳朵）。检测/释放事件是中断驱动的，并且每当接近结果跨越上限和或下限阈值设置时发生。接近引擎具有偏移调整寄存器，以补偿由传感器出现的不需要的 IR 能量反射引起的系统偏移。红外 LED 强度在工厂进行了修整，以消除由于组件变化而导致的终端设备校准的需要。通过自动环境光减法进一步改善接近结果。

颜色和 ALS 检测：

Color 和 ALS 检测功能提供红色，绿色，蓝色和清晰的光强度数据。R，G，B，C 通道中的每一个具有 UV 和 IR 阻塞滤波器以及同时产生 16 位数据的专用数据转换器。该架构允许应用程序准确测量环境光并感测颜色，使设备能够计算色温并控制显示器背光。

功能框图：



I/O 引脚配置

Pin	Name	Type	Description
1	SDA	I/O	I ² C serial data I/O terminal - serial data I/O for I ² C-bus
2	INT	O	Interrupt - open drain (active low)
3	LDR		LED driver input for proximity IR LED, constant current source LED driver
4	LEDK		LED Cathode, connect to LDR pin when using internal LED driver circuit
5	LEDA		LED Anode, connect to V _{LEDA} on PCB
6	GND		Power supply ground. All voltages are referenced to GND
7	SCL	I	I ² C serial clock input terminal - clock signal for I ² C serial data
8	V _{DD}		Power supply voltage

工作空气温度范围内的绝对最大额定值（除非另有说明）*

Parameter	Symbol	Min	Max	Units	Conditions
Power supply voltage ^[1]	V _{DD}		3.8	V	
Input voltage range	V _{IN}	-0.5	3.8	V	
Output voltage range	V _{OUT}	-0.3	3.8	V	
Storage temperature range	T _{stg}	-40	85	°C	

*超出“绝对最大额定值”列出的值可能会导致设备永久性损坏。 这些仅是压力额定值，并不意味着在这些或超出“推荐操作条件”之下的任何其他条件下的设备的功能操作。长时间暴露于绝对最大额定条件可能会影响器件的可靠性。

注 1.所有电压都相对于 GND。

推荐工作条件

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Operating ambient temperature	T _A	-30		85	°C
Power supply voltage	V _{DD}	2.4	3.0	3.6	V
Supply voltage accuracy, V _{DD} total error including transients		-3		+3	%
LED supply voltage	V _{LEDA}	3.0		4.5	V

工作特性，V_{DD} = 3 V，T_A = 25 °C（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
IDD supply current ^[1]	I _{DD}		200	250	μA	Active ALS state PON = AEN = 1, PEN = 0
			790			Proximity, LDR pulse ON, PPulse = 8 (I _{LDR} not included)
			790			Gesture, LDR pulse ON, GPulse = 8 (I _{LDR} not included)
			38			Wait state PON = 1, AEN = PEN = 0
			1.0	10.0		Sleep state ^[2]
V _{OL} INT, SDA output low voltage	V _{OL}	0		0.4	V	3 mA sink current
I _{LEAK} leakage current, SDA, SCL, INT pins	I _{LEAK}	-5		5	μA	
I _{LEAK} leakage current, LDR P pin	I _{LEAK}	-10		10	μA	
SCL, SDA input high voltage, V _{IH}	V _{IH}	1.26		V _{DD}	V	
SCL, SDA input low voltage, V _{IL}	V _{IL}			0.54	V	

注：值显示在 V_{DD} 引脚上，不包括通过红外 LED 的电流。

2.当 PON = 0，I²C 总线空闲时，发生休眠状态。 如果由于操作流程而输入睡眠状态，则 SAI = 1，PON 将为高电平。

光学特性, VDD = 3 V, TA = 25 °C, AGAIN = 16×, AEN = 1 (除非另有说明)

Parameter	Red Channel		Green Channel		Blue Channel		Units	Test Conditions
	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
Irradiance responsivity ^[1]	0	15	10	42	57	100	%	$\lambda_D = 465 \text{ nm}$ ^[2]
	4	25	54	85	10	45		$\lambda_D = 525 \text{ nm}$ ^[3]
	64	120	0	14	3	29		$\lambda_D = 625 \text{ nm}$ ^[4]

注:

所示的百分比表示相应的红色, 绿色或蓝色通道值与清除通道值的比率。

2.465 nm 输入辐照度由具有以下特性的 InGaN 发光二极管提供:

主波长= 465nm, 光谱半宽= 22nm。

525nm 输入辐照度由具有以下特征的 InGaN 发光二极管提供:

主波长= 525nm, 光谱半宽= 35nm。

625nm 输入辐照度由具有以下特征的 AlInGaP 发光二极管提供:

主波长= 625nm, 光谱半宽= 15nm。

RGBC 特性, VDD = 3 V, TA = 25 °C, AGAIN = 16×, AEN = 1 (除非另有说明)

Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
Dark ALS count value		0	3	counts	$E_e = 0$, AGAIN = 64×, ATIME = 0×DB (100 ms)
ADC integration time step size		2.78		ms	ATIME = 0×FF
ADC number of integration steps	1		256	steps	
Full scale ADC counts per step			1025	counts	
Full scale ADC count value			65535	counts	ATIME = 0×C0 (175 ms)
Gain scaling, relative to 1× gain setting	3.6	4	4.4		4×
	14.4	16	17.6		16×
	57.6	64	70.4		64×
Clear channel irradiance responsivity	18.88	23.60	28.32	counts/($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Neutral white LED, $\lambda = 560 \text{ nm}$

接近特性, VDD = 3 V, TA = 25 °C, PEN = 1 (除非另有说明)

Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
ADC conversion time step size		696.6		μs	
ADC number of integration steps		1		steps	
Full scale ADC counts			255	counts	
LED pulse count ^[1]	1		64	pulses	
LED pulse width – LED on time ^[2]		4		μs	PPLEN = 0
		8			PPLEN = 1
		16			PPLEN = 2
		32			PPLEN = 3
LED drive current ^[3]		100		mA	LDRIVE = 0
		50			LDRIVE = 1
		25			LDRIVE = 2
		12.5			LDRIVE = 3
LED boost ^[3]		100		%	LED_BOOST = 0
		150			LED_BOOST = 1
		200			LED_BOOST = 2
		300			LED_BOOST = 3
Proximity ADC count value, no object ^[4]		10	25	counts	$V_{LEDA} = 3 \text{ V}$, LDRIVE = 100 mA, PPULSE = 8, PGAIN = 4×, PPLEN = 8 μs , LED_BOOST = 100%, open view (no glass) and no reflective object above the module.

接近特性, VDD = 3 V, TA = 25 °C, PEN = 1 (除非另有说明) (续)

Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
Proximity ADC count value, 100 mm distance object [5, 6]	96	120	144	counts	Reflecting object – 73 mm × 83 mm Kodak 90% grey card, 100 mm distance, V _{LEDA} = 3 V, LDRIVE = 100 mA, PPULSE = 8, PGAIN = 4x, PPLEN = 8 μs, LED_BOOST = 100%, open view (no glass) above the module.

注:

该参数通过设计和表征来确保, 并未经 100% 测试。8 个脉冲是推荐的驱动条件。有关其他驱动条件, 请联系 Avago Field Sales。值可能高于指定的 1.36μs。工厂调整值以满足接近计数规格。在调整后, 可以有相当大的变化 (相对于典型值)。LED BOOST 增加电流设置 (由 LDRIVE 或 GLDRIVE 定义)。例如, 如果 LDRIVE = 0 且 LED BOOST = 100%, 则 LDR 电流为 100 mA。接近偏移值随电源特性和噪声而变化。ILED A 已经出厂校准, 以达到此规格。偏移和串扰直接与该值相加并且与系统有关。模块上方没有玻璃或光圈。测试值是连续 5 次读数的平均值。

手势特性, VDD = 3 V, TA = 25 °C, GEN = 1 (除非另有说明)

Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
ADC conversion time step size [1]		1.39		ms	
LED pulse count [2]	1		64	pulses	
LED pulse width – LED on time [3]		4		μs	GPLEN = 0
		8			GPLEN = 1
		12			GPLEN = 2
		16			GPLEN = 3
LED drive current [4]		100		mA	GLDRIVE = 0
		50			GLDRIVE = 1
		25			GLDRIVE = 2
		12.5			GLDRIVE = 3
LED boost [4]		100		%	LED_BOOST = 0
		150			LED_BOOST = 1
		200			LED_BOOST = 2 [5]
		300			LED_BOOST = 3 [5]
Gesture ADC count value, no object [6]		10	25	counts	V _{LEDA} = 3 V, GLDRIVE = 100 mA, GPULSE = 8, GGAIN = 4x, GPLEN = 8 μs, LED_BOOST = 100%, open view (no glass) and no reflective object above the module, sum of UP & DOWN photodiodes.
Gesture ADC count value [7, 8]	96	120	144	counts	Reflecting object – 73 mm × 83 mm Kodak 90% grey card, 100 mm distance, V _{LEDA} = 3 V, GLDRIVE = 100 mA, GPULSE = 8, GGAIN = 4x, GPLEN = 8 μs, LED_BOOST = 100%, open view (no glass) above the module, sum of UP & DOWN photodiodes.
Gesture wait step size		2.78		ms	GTIME = 0x01

注:

每个 U / D 或 R / L 对需要 696.6ms 的转换时间。对于所有四个方向, 转换需要两倍的时间。该参数通过设计和表征进行确认, 并未进行 100% 测试。8 个脉冲是推荐的驱动条件。有关其他驱动条件, 请联系 Avago Field Sales。值可能比指定的时间长 1.36 ms。工厂调整价值以符合手势计数规格。在调整后, 可以有相当大的变化 (相对于典型值)。在这些 LED 驱动条件下工作时, 建议将 VDD 和 VLEDA 电源分开。手势偏移值随着电源特性和噪声而变化。ILED A 出厂校准, 以达到此规范。偏移和串扰直接与该值相加并且与系统有关。模块上方没有玻璃或光圈。测试值是连续 5 次读数的平均值。

红外 LED 特性，VDD = 3 V，TA = 25 °C（除非另有说明）

Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
Peak Wavelength, λ_p		950		nm	$I_F = 20\text{ mA}$
Spectrum Width, Half Power, $\Delta\lambda$		30		nm	$I_F = 20\text{ mA}$
Optical Rise Time, T_R		20		ns	$I_F = 100\text{ mA}$
Optical Fall Time, T_F		20		ns	$I_F = 100\text{ mA}$

等待特性，VDD = 3 V，TA = 25 °C，WEN = 1（除非另有说明）

Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
Wait Step Size		2.78		ms	WTIME = 0xFF

交流电气特性，VDD = 3 V，TA = 25 °C（除非另有说明）*

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit
Clock frequency (I ² C-bus only)	f_{SCL}	0	400	kHz
Bus free time between a STOP and START condition	t_{BUF}	1.3	–	μs
Hold time (repeated) START condition. After this period, the first clock pulse is generated	t_{HDSTA}	0.6	–	μs
Set-up time for a repeated START condition	$t_{SU,STA}$	0.6	–	μs
Set-up time for STOP condition	$t_{SU,STO}$	0.6	–	μs
Data hold time	$t_{HD,DAT}$	30	–	ns
Data set-up time	$t_{SU,DAT}$	100	–	ns
LOW period of the SCL clock	t_{LOW}	1.3	–	μs
HIGH period of the SCL clock	t_{HIGH}	0.6	–	μs
Clock/data fall time	t_f	20	300	ns
Clock/data rise time	t_r	20	300	ns
Input pin capacitance	C_i	–	10	pF

*通过设计和表征指定；没有生产测试。

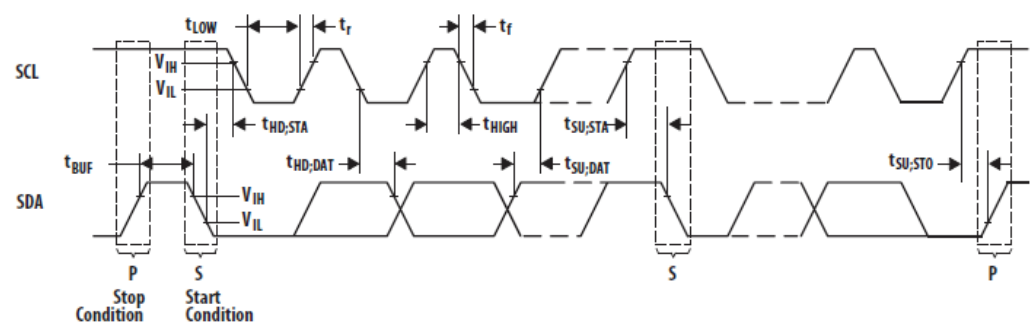


图 1.时序图

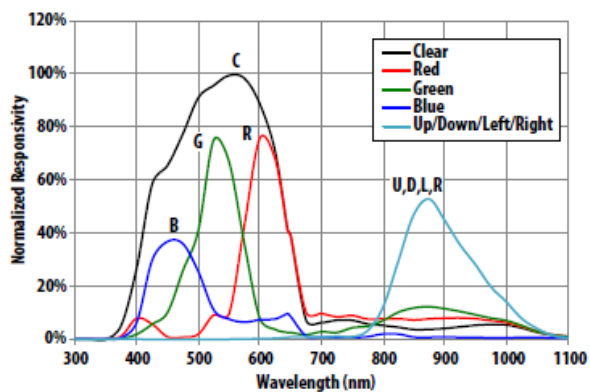
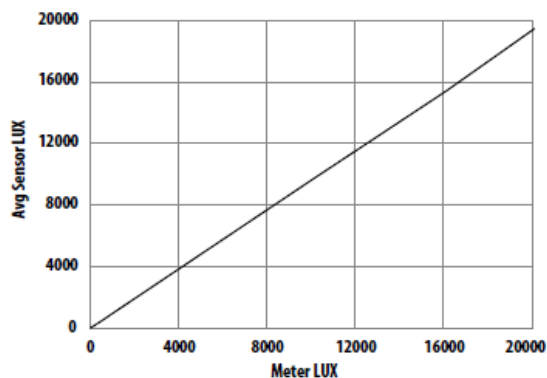


图 2.光谱响应图



3a.ALS 传感器 LUX 与米 LUX 使用白光

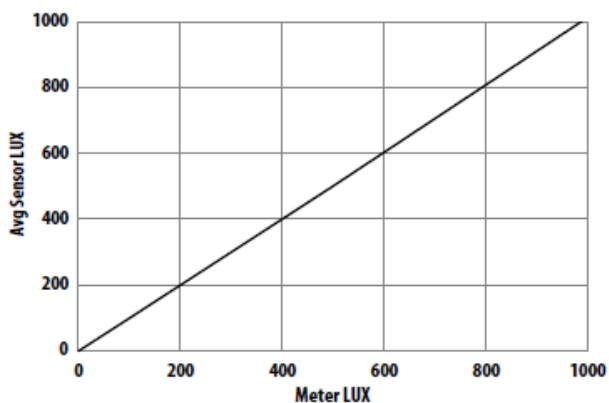


图 3b.ALS 传感器 LUX 与使用白炽灯的仪表 LUX

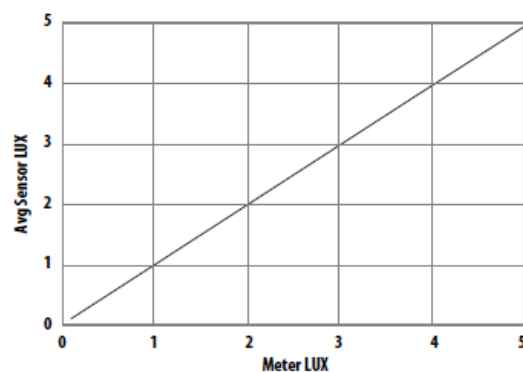


图 3c。 ALS 传感器 LUX 与米 LUX 使用白光

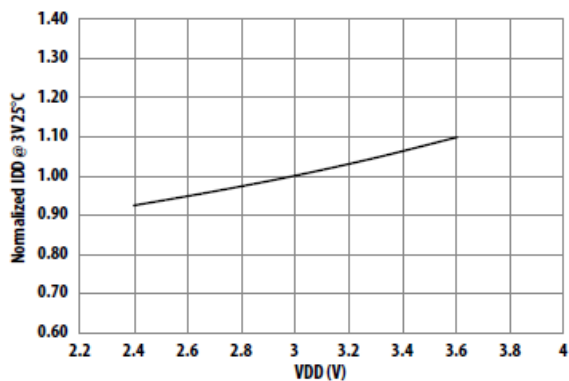


图 4a.标准化 IDD 与 VDD

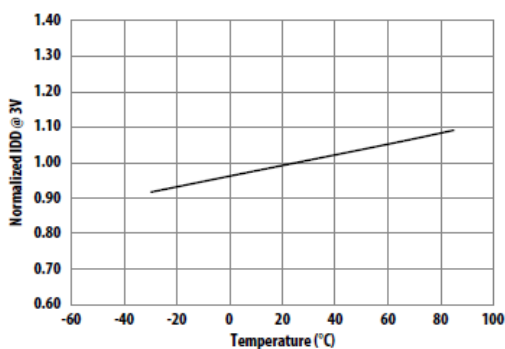


图 4b.标准化 IDD 与温度

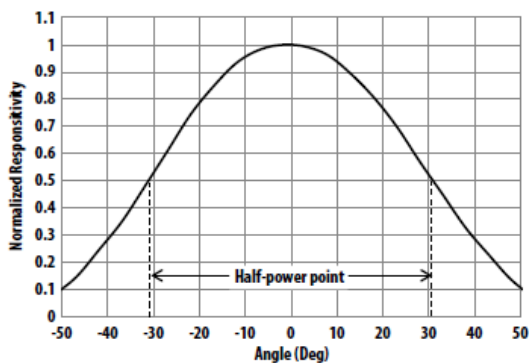


图 5a.归一化 PD 响应与角位移

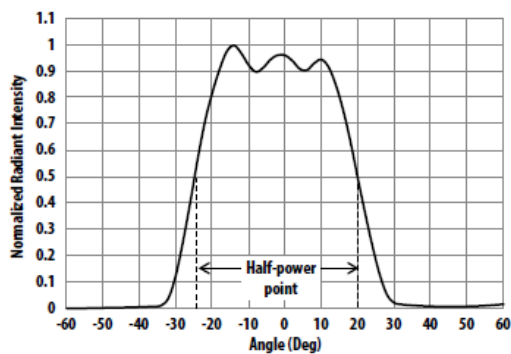




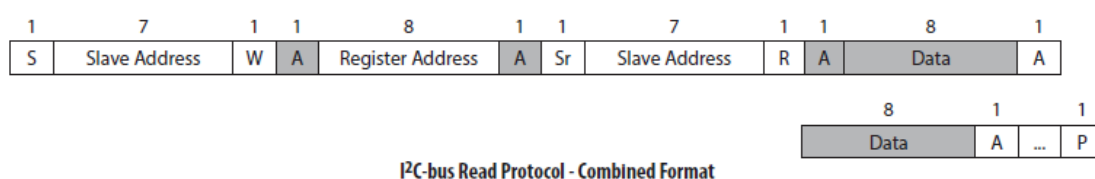
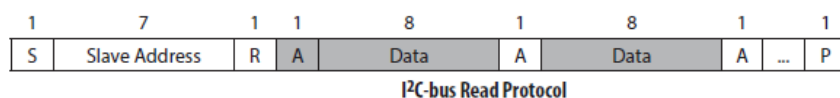
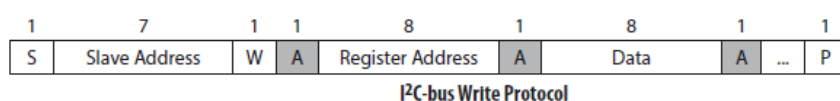
图 5b.规范化 LED 角度发光型材

I2C 总线协议：

接口和控制通过 I2C 总线串行兼容接口（标准或快速模式）到一组提供设备控制功能和输出数据访问的寄存器来完成。该器件支持 7 位 I2C 总线寻址协议。该器件支持使用 7 位寻址协议的 0x39 Hex 的单个从器件地址。（联系工厂查询其他寻址选项。）

I2C 总线标准提供三类总线事务：读，写和组合协议。在写操作期间，写入的第一个字节是一个命令字节，后跟数据。在组合协议中，写入的第一个字节是命令字节，随后读取一系列字节。如果发出读命令，则上一个命令的寄存器地址将被用于数据访问。同样，如果命令的 MSB 未设置，则设备将在存储在最后一个有效命令中的地址上写入一系列字节，并具有一个寄存器地址。命令字节包含控制信息或 5 位寄存器地址。控制命令也可用于清除中断。I2C 总线协议由飞利浦（现为恩智浦）开发。有关 I2C 总线协议的完整说明，请参阅 <http://www.i2c-bus.org/references/> 上的恩智浦 I2C 总线设计规范。

A	Acknowledge (0)
N	Not Acknowledged (1)
P	Stop Condition
R	Read (1)
S	Start Condition
Sr	Repeated Start Condition
W	Write (0)
...	Continuation of protocol
	Master-to-Slave
	Slave-to-Master



I2C 总线读协议 - 组合格式

详细说明：

手势检测，接近检测和 RGBC 色感/环境光检测功能由状态机控制，如图 6 所示，其在每个功能引擎进入时重新配置片上模拟资源。功能状态/引擎可以单独包含或排除在状态机流程的进程之外。每个功能引擎包含控制操作（例如，增益，ADC 积分时间，等待时间，持续时间，阈值等）。Led 驱动引脚 LDR 的控制 Proximity 和 Gesture 功能之间共享。颜色/ALS 引擎不使用红外 LED，但在光学模式传输期间，IR LED 发射的串扰可能会影响结果。手势/近似/颜色设备的操作周期如图 6 和图 7 所示。POR 上电时，器件初始化并立即进入低功耗 SLEEP 状态。在这种运行状态下，内部振荡器和其他电路不起作用，从而导致超低功耗。如果在此状态下发生 I2C 事务，则振荡器和 I2C 内核将暂时唤醒以提供通信服务。一旦使能了 PON 功

能，PON 就会激活内部振荡器和操作电路，但功耗仍然很低，直到输入功能引擎块之一。第一次退出 SLEEP 状态，并且任何模拟引擎都被启用（PEN，GEN，AENDiagram = 1）会出现 EXIT SLEEP 暂停;随后立即进入选定的引擎。如果启用多个引擎，则操作流程按照以下顺序进行：空闲，接近，手势（如果 GMODE = 1），等待，颜色/ALS 和休眠（如果 SAI = 1 并且 INT 引脚被断言）。等待操作状态用于降低功耗和数据采集率。如果等待使能，WEN = 1，延时可以从 2.78 ms 调整到 8.54 s，由 WTIME 寄存器和 WLONG 控制位中的值设置。

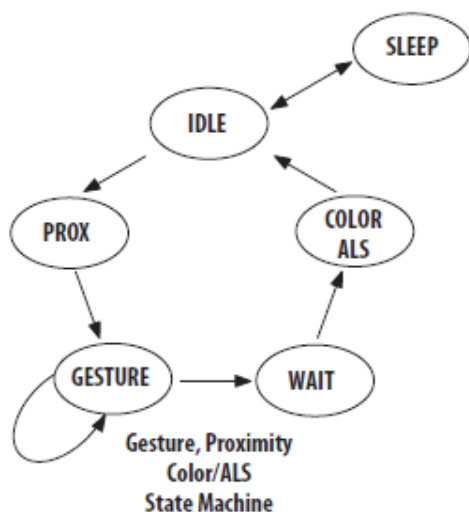


图 6.简化状态图

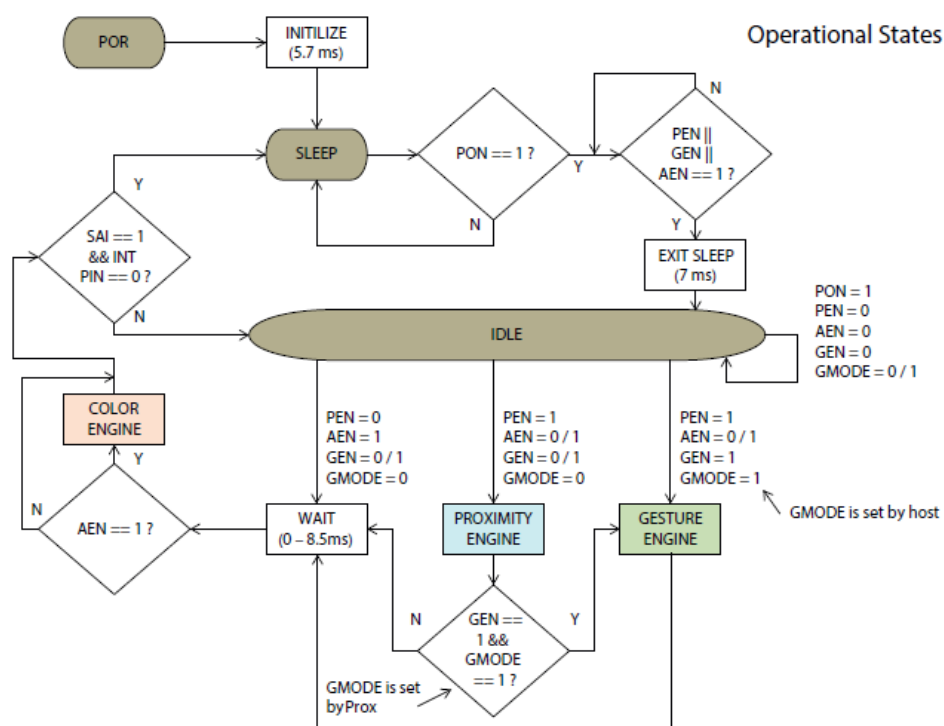


Figure 7. Detailed State Diagram

图 7.详细状态图

中断操作后休眠

在所有启用的引擎/操作状态都已执行之后，导致硬件中断，状态机将返回到由休眠中断后位 SAI 选择的空闲或休眠。当满足两个条件时输入 SLEEP: SAI = 1，并且 INT 引脚已被置位。

进入 SLEEP 不会自动更改任何寄存器设置（例如，PON 位仍为高电平，但正常工作状态由 SLEEP 状态覆盖）。SLEEP 状态由 ITC 终止 INT 引脚或 SAI 位清零。

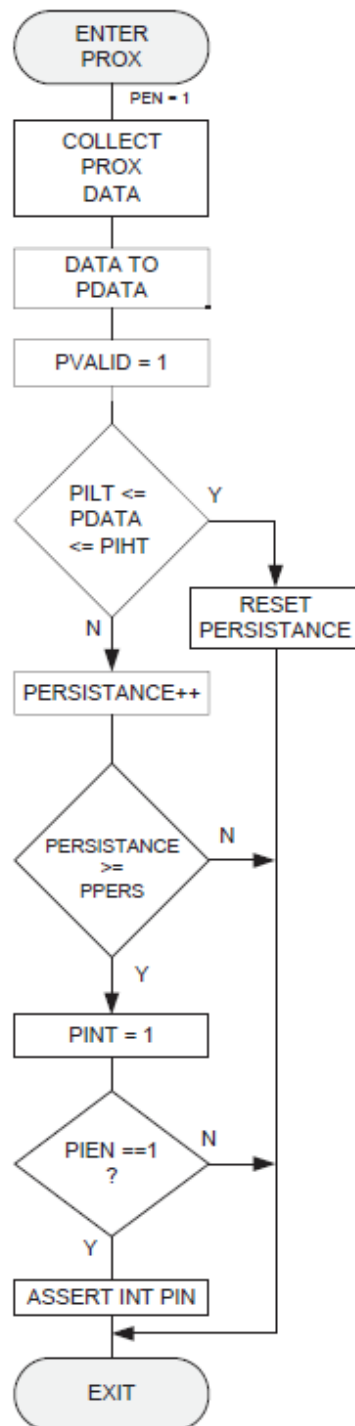
靠近操作

接近检测功能通过光电二极管检测由集成 LED 提供的反射 IR 能量进行距离测量。以下寄存器和控制位控制接近操作，操作流程如图 8 所示。

表 1. 近程控制

Register/Bit	Address	Description
ENABLE<PON>	0x80<0>	Power ON
ENABLE<PEN>	0x80<2>	Proximity Enable
ENABLE<PIEN>	0x80<5>	Proximity Interrupt Enable
PILT	0x89	Proximity low threshold
PIHT	0x8B	Proximity high threshold
PERS<PPERS>	0x8C<7:4>	Proximity Interrupt Persistence
PPULSE<PPLEN>	0x8E<7:6>	Proximity Pulse Length
PPULSE<PPULSE>	0x8E<5:0>	Proximity Pulse Count
CONTROL<PGAIN>	0x8F<3:2>	Proximity Gain Control
CONTROL<LDRIVE>	0x8F<7:6>	LED Drive Strength
CONFIG2<PSIEN>	0x90<7>	Proximity Saturation Interrupt Enable
CONFIG2<LEDBOOST>	0x90<5:4>	Proximity/Gesture LED Boost
STATUS<PGSAT>	0x93<6>	Proximity Saturation
STATUS<PINT>	0x93<5>	Proximity Interrupt
STATUS<PVALID>	0x93<1>	Proximity Valid
PDATA	0x9C	Proximity Data
POFFSET_UR	0x9D	Proximity Offset UP/RIGHT
POFFSET_DL	0x9E	Proximity Offset DOWN/LEFT
CONFIG3<PCMP>	0x9F<5>	Proximity Gain Compensation Enable
CONFIG3<PMSK_U>	0x9F<3>	Proximity Mask UP Enable
CONFIG3<PMSK_D>	0x9F<2>	Proximity Mask DOWN Enable
CONFIG3<PMSK_L>	0x9F<1>	Proximity Mask LEFT Enable
CONFIG3<PMSK_R>	0x9F<0>	Proximity Mask RIGHT Enable
PICLEAR	0xE5	Proximity Interrupt Clear
AICLEAR	0xE7	All Non-Gesture Interrupt Clear

PROXIMITY ENGINE



PVALID is automatically reset whenever PDATA is read.
PINT must be manually reset by a write-access to PICLEAR or AICLEAR.

图 8.详细接近图

接近结果受三个基本因素的影响：红外 LED 发射，红外接收和环境因素，包括目标距离和表面反射率。

IR 接收信号路径从四个[定向手势]光电二极管的 IR 检测开始，并以 PDATA 寄存器中的 8 位接近结果结束。来自光电二极管的信号被组合，放大和偏移调整以优化性能。相同的四个光电二极管用于手势操作以及邻近操作。二极管配对形成两个信号路径：UP / RIGHT 和 DOWN / LEFT。不管配对，任何一个光电二极管都可以被掩蔽，以排除其对接近结果的贡献。屏蔽成对的二极管之一有效地将信号减少一半，并使满量程结果从 255 减少到 127.为了校正全量程的这种减小，可以设置接近增益补偿位 PCMP，返回 F.S.到 255.使用 PGAIN 控制位，增益可以从 1x 调整到 8x。通过调整 POFFSET_UR 和 POFFSET_DL 寄存器来实现偏移校正或串扰补偿。器件的模拟电路将偏移值作为减法运算到信号累加中;因此，正偏移值具有降低结果的效果。

在光学上,IR 发射显示为脉冲串。脉冲数由 PPULSE 位设置,每个脉冲的周期可以使用 PPLEN 位进行调节。使用 LDRIVE 控制位可以选择 IR 发射的强度;对应四个,出厂校准,电流等级。如果需要更高的强度（例如较长的检测距离或深色玻璃下方的器件放置），则 LEDBOOST 位可用于将电流升高至额外的 300%。

集成 IR LED 的 LED 占空比和随后的功耗可以使用表 2 所示的下表和等式计算。如果接近事件按照 AWAIT 和 WLONG 设置的等待时间分隔,那么总的 LED 关闭时间必须增加等待时间。

表 2.近似近似时序

PPLEN	tINIT (μs)	tLED ON (μs)	tACC (μs)	tCNVT (μs)
4 μs	40.8	5.4	28.6	796.6
8 μs	44.9	9.5	36.73	796.6
16 μs	53.0	17.7	53.1	796.6
32 μs	69.4	34.0	85.7	796.6

$$t_{\text{PROX RESULT}} = t_{\text{INIT}} + t_{\text{CNVT}} + \text{PPULSE} \times t_{\text{ACC}}$$

$$t_{\text{TOTAL LED ON}} = \text{PPULSE} \times t_{\text{LED ON}}$$

$$t_{\text{TOTAL LED OFF}} = t_{\text{PROX RESULT}} - t_{\text{TOTAL LED ON}}$$

每个新的接近结果或接近结果超过或低于 PIHT 和/或 PILT 阈值寄存器中设置的电平时，可以产生一个中断。为了防止过早/错误中断，还包括中断持续性过滤器;如果连续数量的超出阈值结果等于或大于 PPERS 设置的值，则中断将只会被断言。每个“阈值”接近结果 PDATA 将重置持久性计数。如果模拟电路饱和,则 PGSAT 位将被置为指示 PDATA 结果可能不准确。PINT 和 PGSAT 位始终可用于 I²C 轮询,但 PIEN 位必须设置为 PINT 以在 INT 引脚上断言硬件中断。类似地，可以通过轮询 PGSAT 位来检测模拟数据转换器的饱和度;要启用此功能，必须设置 PSIEN 位。PVALID 通过读取 PDATA 来清除。PGSAT 和 PINT 由“地址访问”(即，仅两个字节组成的 I²C 事务：芯片地址，后跟 R / W = 1 的寄存器地址)清除为 PICLEAR 或 AICLEAR。

表 3.颜色/ ALS 控制

Register/Bit	Address	Description
ENABLE<PON>	0x80<0>	Power ON
ENABLE<AEN>	0x80<1>	ALS Enable
ENABLE<AIEN>	0x80<4>	ALS Interrupt Enable
ENABLE<WEN>	0x80<3>	Wait Enable
ATIME	0x81	ALS ADC Integration Time
WTIME	0x83	Wait Time
AILTL	0x84	ALS low threshold, lower byte
AILTH	0x85	ALS low threshold, upper byte
AIHTL	0x86	ALS high threshold, lower byte
AIHTH	0x87	ALS high threshold, upper byte
PERS<APERS>	0x8C<3:0>	ALS Interrupt Persistence
CONFIG1<WLONG>	0x8D<1>	Wait Long Enable
CONTROL<AGAIN>	0x8F<1:0>	ALS Gain Control
CONFIG2<CPSIEN>	0x90<6>	Clear diode Saturation Interrupt Enable
STATUS<CPSAT>	0x93<7>	Clear Diode Saturation
STATUS<AINT>	0x93<4>	ALS Interrupt
STATUS<AVALID>	0x93<0>	ALS Valid
CDATAL	0x94	Clear Data, Low byte
CDATAH	0x95	Clear Data, High byte
RDATAH	0x96	Red Data, Low byte
RDATAH	0x97	Red Data, High byte
GDATAH	0x98	Green Data, Low byte
GDATAH	0x99	Green Data, High byte
BDATAH	0x9A	Blue Data, Low byte
BDATAH	0x9B	Blue Data, High byte
CICLEAR	0xE5	Clear Channel Interrupt Clear
AICLEAR	0xE7	All Non-Gesture Interrupt Clear

颜色和环境光感测操作：

颜色和环境光检测功能使用彩色和红外滤光光电二极管阵列来测量光的红，绿和蓝含量，以及非彩色滤光透明通道。 以下寄存器和控制位控制颜色/ ALS 操作，操作流程如图 9 所示。

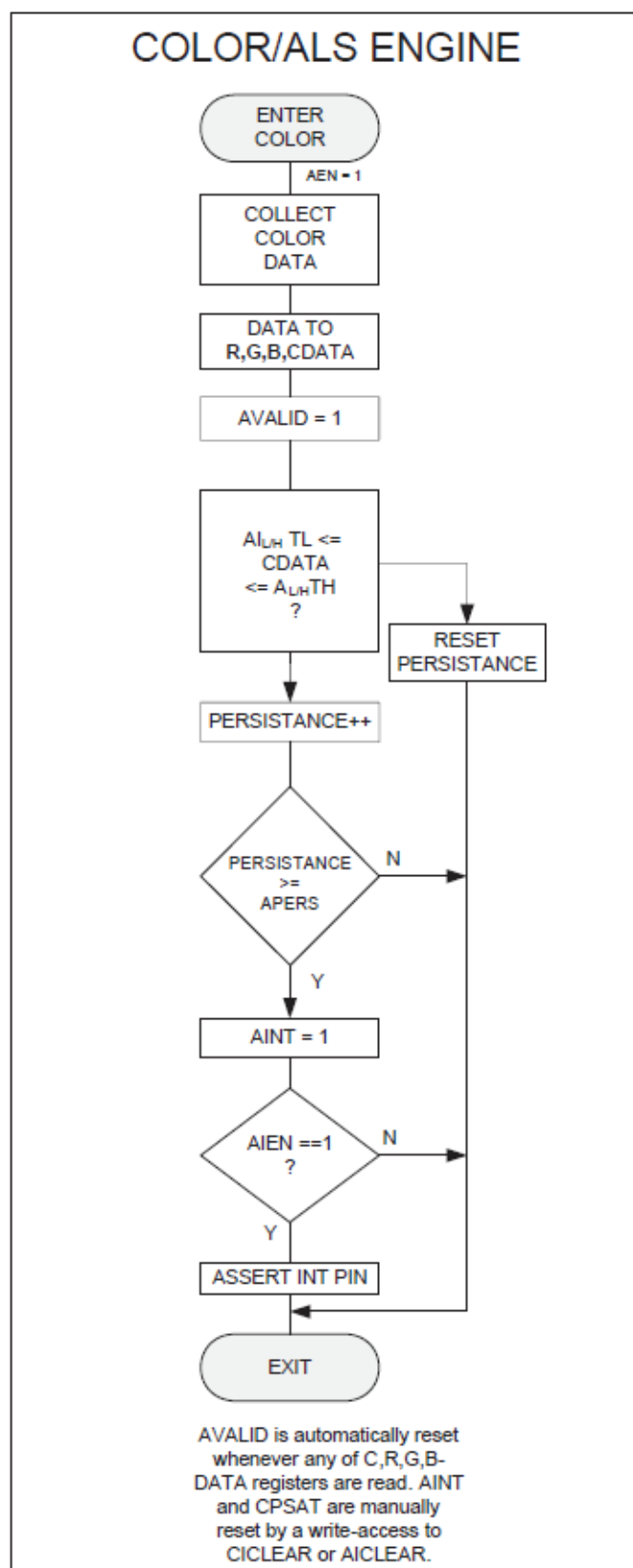


图 9.颜色/ ALS 状态图

颜色/ALS 接收信号路径以光电二极管处的滤波 RGBC 检测开始，并以 RGBC 数据寄存器中的 16 位结果结束。在将结果放入 RGBCDATA 寄存器之前，来自光电二极管阵列的信号在 ATIME 中的值累加一段时间。增益可从 1x 变为 64x，由 CONTROL <AGAIN> 的设置决定。可以调整精度，分辨率，转换速度和功耗等性能特征，以满足应用的需要。

在进入（重新进入）Color/ALS 引擎之前，输入可调节的低功耗延迟。使用 WEN，WTIME 和 WLONG 控制位可以选择此延迟的等待时间，范围为 0 至 8.54s。在此期间，内部振荡器仍在运行，但所有其他电路都被禁用。每当清除通道结果超过或低于 AILTL/AIHTL 和/或 AILTH/AIHTH 阈值寄存器中设置的电平时，就可以产生中断。为了防止过早/错误中断，还包括持久性过滤器；如果连续数量的超出阈值结果等于或大于 APERS 设置的值，则中断将只会被断言。每个“阈值”清除通道结果，CDATA 将重置持久性计数。如果模拟电路饱和，则 ASAT 位将被置位，以指示 RGBCDATA 结果可能不准确。AINT 和 CPSAT 位始终可用于 I²C 轮询，但 AIINT 位必须设置为 AINT 以在 INT 引脚上断言硬件中断。类似地，可以通过轮询 CPSAT 位来检测模拟数据转换器的饱和度；要启用此功能，必须设置 CPSIEN 位。AVALID 通过读取 RGBCDATA 来清除。ASAT 和 AINT 通过“地址访问”（即 I²C 事务仅由两个字节组成：芯片地址，后跟 R/W = 1 的 CICLEAR 或 AICLEAR 的寄存器地址）清零。RGBC 结果可用于计算环境光水平（即 Lux）和色温（即开尔文）。

手势操作：

手势检测功能通过利用定向敏感光电二极管来感测由集成 LED 产生的反射 IR 能量来提供运动检测。 以下寄存器和控制位控制手势操作，操作流程如图 10 所示。

表 4.手势控制

Register/Bit	Address	Description
ENABLE<PON>	0x80<0>	Power ON
ENABLE<GEN>	0x80<6>	Gesture Enable
GPENTH	0xA0	Gesture Proximity Entry Threshold
GEXTH	0xA1	Gesture Exit Threshold
GCONFIG1<GFIFOTH>	0xA2<7:6>	Gesture FIFO Threshold
GCONFIG1<GEXMSK>	0xA2<5:2>	Gesture Exit Mask
GCONFIG1<GEXPER>	0xA2<1:0>	Gesture Exit Persistence
GCONFIG2<GGAIN>	0xA3<6:5>	Gesture Gain Control
GCONFIG2<GLDRIVE>	0xA3<4:3>	Gesture LED Drive Strength
GCONFIG2<GWTIME>	0xA3<2:0>	Gesture Wait Time
STATUS<PGSAT>	0x93<6>	Gesture Saturation
CONFIG2<LEDBOOST>	0x90<5:4>	Gesture/Proximity LED Boost
GOFFSET_U	0xA4	Gesture Offset, UP
GOFFSET_D	0xA5	Gesture Offset, DOWN
GOFFSET_L	0xA7	Gesture Offset, LEFT
GOFFSET_R	0xA9	Gesture Offset, RIGHT
GPULSE<GPULSE>	0xA6<5:0>	Pulse Count
GPULSE<GPLEN>	0xA6<7:6>	Gesture Pulse Length
GCONFIG3<GDIMS>	0xAA<1:0>	Gesture Dimension Select
GCONFIG4<GFIFO_CLR>	0xAB<2>	Gesture FIFO Clear
GCONFIG4<GIEN>	0xAB<1>	Gesture Interrupt Enable
GCONFIG4<GMODE>	0xAB<0>	Gesture Mode
GFLVL	0xAE	Gesture FIFO Level
GSTATUS<GFOV>	0xAF<1>	Gesture FIFO Overflow
GSTATUS<GVALID>	0xAF<0>	Gesture Valid
GFIFO_U	0xFC	Gesture FIFO Data, UP
GFIFO_D	0xFD	Gesture FIFO Data, DOWN
GFIFO_L	0xFE	Gesture FIFO Data, LEFT
GFIFO_R	0xFF	Gesture FIFO Data, RIGHT
CONFIG1<LOWPOW>	0x8D	Low Power Clock Mode

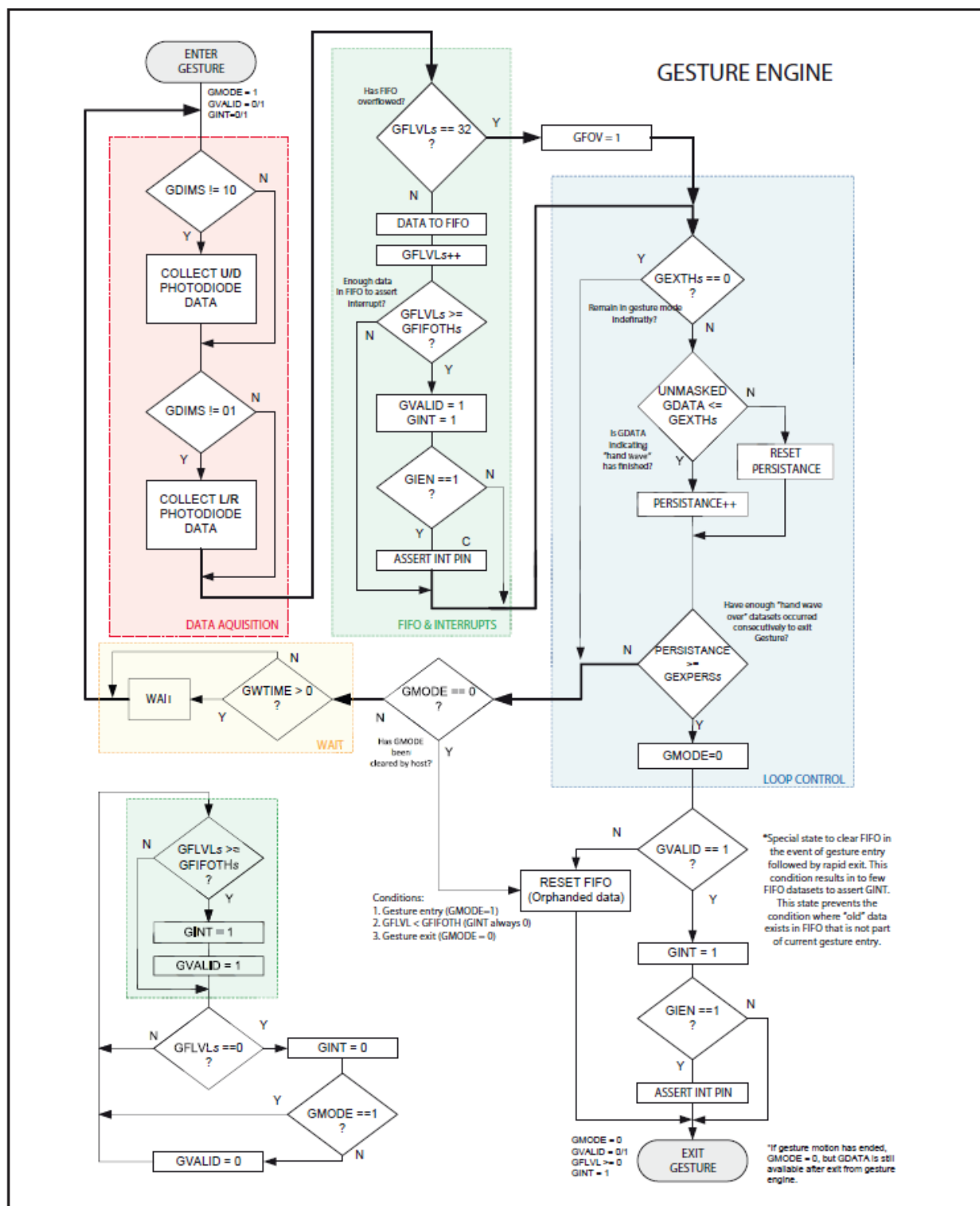


图 10.详细的手势图

手势结果受三个基本因素的影响：红外 LED 发射，红外接收和环境因素，包括运动。在运行期间，当其使能位 GEN 和运行模式位 GMODE 都被置位时，输入手势引擎。GMODE 可以通过 I²C 手动设置/复位，或者当接近结果 PDATA 大于或等于手势接近度入口阈值 GPENTH 时，可以设置/复位。在 GMODE 重置为零之前，手势引擎的退出将不会发生。在正常操作期间，当所有 4 个字节的手势数据集都低于 GEXPERTs 次的出口阈值 GEXTH 时，

GMODE 将被复位。该退出条件也受到手势退出掩码 GEXMSK 的影响，GEXMSK 包括所有非掩蔽基准（即单数 1 字节 U，D，L，R 点）。为了防止过早退出，还包括持久性过滤器;退出只有在连续数量低于阈值的结果大于或等于持久值 GEXPERTS 时才会发生。每个高于阈值的数据集结果将重置持久性计数。假的或不完整的手势（引擎进入和退出，没有 GVALID 转换为高）不会产生手势中断，GINT 和 FIFO 数据将被自动清除。

一旦在手势引擎中操作，IR 接收信号路径从光电二极管处的 IR 检测开始，并以与每个二极管上的累积信号强度对应的四个 8 位手势结果结束。来自四个光电二极管的信号被放大，并且偏移被调整以优化性能。光电二极管配对形成两个信号路径:UP / DOWN 和 LEFT / RIGHT。可以屏蔽光电二极管对以从手势 FIFO 数据中排除其结果。例如，如果仅需要 UP-DOWN 运动检测，则姿势维度控制位 GDIMS 可以被设置为 0x01。对于 RIGHT / LEFT 结果，FIFO 数据将为零，累积/ ADC 积分时间大约减半。使用 GGAIN 控制位，增益可从 1x 至 8x 调整。通过单独调整 GOFFSET_U，GOFFSET_D，GOFFSET_L，GOFFSET_R 寄存器来实现偏移校正，以提高串扰性能。设备的模拟电路将偏移值作为信号累加的减法运算;因此，正偏移值具有降低结果的效果。

在光学上，IR 发射显示为脉冲串。脉冲数由 GPULSE 位设置，每个脉冲的周期可使用 GPLEN 位进行调节。可以通过在手势等待时间位 GWTIME 中设置非零值来延迟脉冲序列重复（即，手势状态机内的循环操作流程）。包含等待状态减少了功耗和数据速率。

使用 GLDRIVE 控制位可以选择 IR 发射的强度;对应四个，出厂校准，电流等级。如果需要更高的强度（例如较长的检测距离或深色玻璃下方的器件放置），则 LEDBOOST 位可用于将电流升高至额外的 300%。

集成红外 LED 的电流消耗如表 5 所示。（各种 LED 驱动设置下的三个示例）

表 5.简化功率计算

	Case 1	Case 2	Case 3
ILED (mA)	100	150	300
GPULSE (no of pulses)	8	8	8
GPLEN (us)	16	16	32
GWTIME (No of wait state)	2	2	1
Total Current (mA)	3.76	5.49	16.14

基于放置在 FIFO 中的手势“数据集”结果的数量产生中断。数据集定义为与 U-D-L-R 对应的 4 字节方向数据。FIFO 可以在溢出之前最多缓冲 32 个数据集。如果 FIFO 溢出（主机没有足够快速读取），则最近的数据将丢失。如果 FIFO 电平 GFLVL 大于或等于由 GFIFOTH 设置的阈值，则 GVALID 位置 1，表示有效数据可用;手势中断位 GINT 被置位，如果 GIEN 位置 1，INT 引脚上的硬件中断也将被置位。在手势引擎退出之前，如果 GVALID 被断言，信号数据将保留在 FIFO 中，则会始终发生一个最终中断。手势中断标志：GINT，GVALID 和 GFLVL 通过清空 FIFO 清除（即，已读取所有数据）。

运动与 FIFO 数据的相关性和方向特性）乍一看并不明显。如图 12 所示，四个方向传感器被放置在正交图案光学透镜孔中。二极管指定为：U，D，L，R;对应于每个二极管的 8 位结果在以下顺序 FIFO 位置可用：0xFC，0xFD，0xFE 和 0xFF。

理想情况下，手势检测通过捕获和比较方向传感器结果之间的幅度和相位差来进行工作。方向传感器被布置成使得与定向运动相反的二极管在进入时接收反射 IR 信号的较大部分，然

后在出口处接收较小的部分。 在示例图中，图 11 中的各个箭头示出了目标的向下或向右运动。

定向方向：

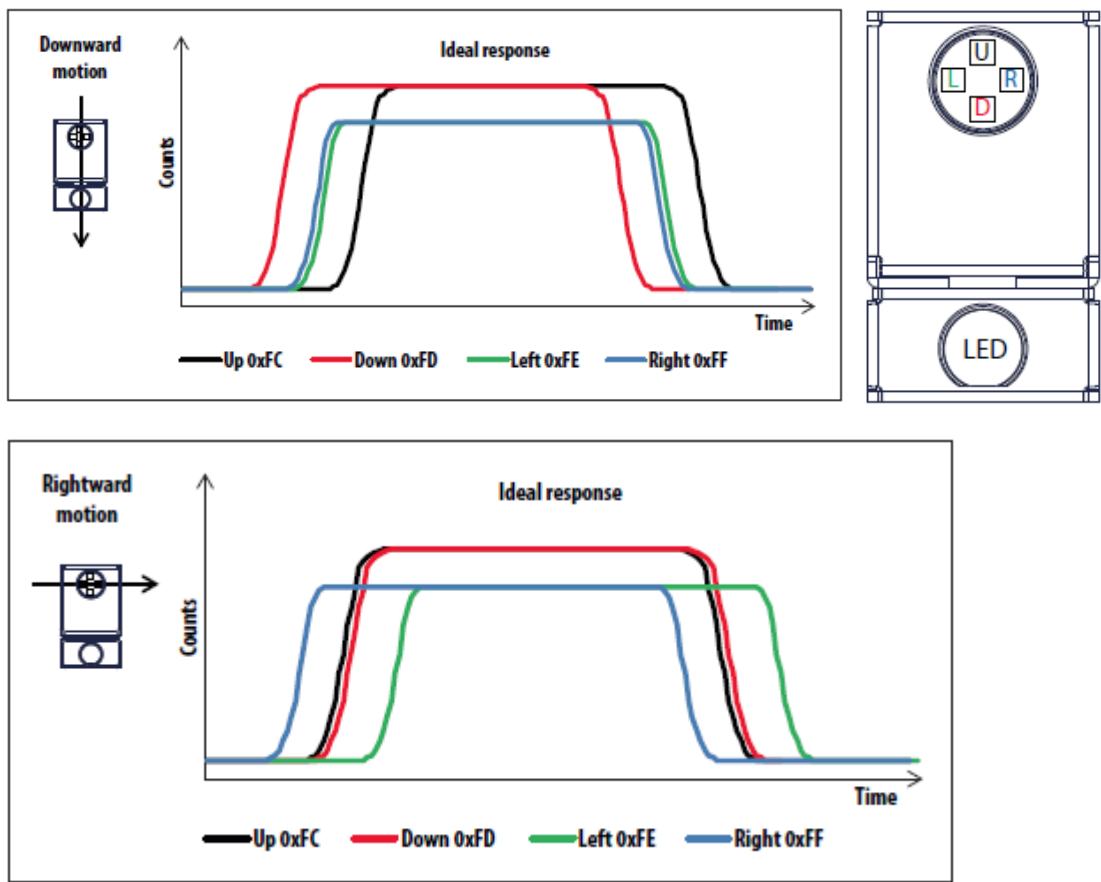


图 11.定向方向

光学和机械设计考虑：

窗口材料的光学透射率

窗口的红外透射率至少为 80%（测量）在 950 nm）推荐用于 APDS-9960。 请注意，为了美观的原因，窗口的材料可以着色或用深色墨水涂覆。 对于例如，20%（在 550nm 测量）可见光透射率可以使用具有 80%红外透射率的窗户。这种涂层将具有透射光谱响应在可见光范围内透光率低并且在红外范围内具有高透射率。 这个低点到高透光率的转变波长应该是短于 650nm 以最小化串扰。推荐窗口材料部分的示例数字如表 6 所示。

表 6.推荐的塑料材料

Material number	Visible light transmission	Refractive index
Makrolon LQ2647	87%	1.587
Makrolon LQ3147	87%	1.587
Makrolon LQ3187	85%	1.587
Lexan OQ92S	88 - 90%	-
Lexan OQ4120R	88 - 90%	1.586
Lexan OQ4320R	88 - 90%	1.586

串扰和窗口空气间隙

串扰是由不需要的 LED 引起的 PS 或手势输出红外线反射没有任何物体存在。 控制我们在手势模式下操作传感器时的串扰建议安装橡胶隔离屏障传感器。 可能的设计如图 12 所示。橡胶由两个圆柱形开口组成，一个用于 LED 和另一个用于光电探测器。 窗户厚度不应大于 1 mm。 组装时橡胶屏障应形成良好的光学密封窗口的底部。

屏障的推荐尺寸为：

Air Gap	PD Opening Diameter	LED Opening Diameter
1 mm	2 mm	1.5 mm

上，下，左，右手势的残留串扰可以通过写入个人来减少输出 GOFFSET 注册。 这种校准是必要的，以确保良好的手势感应性能。

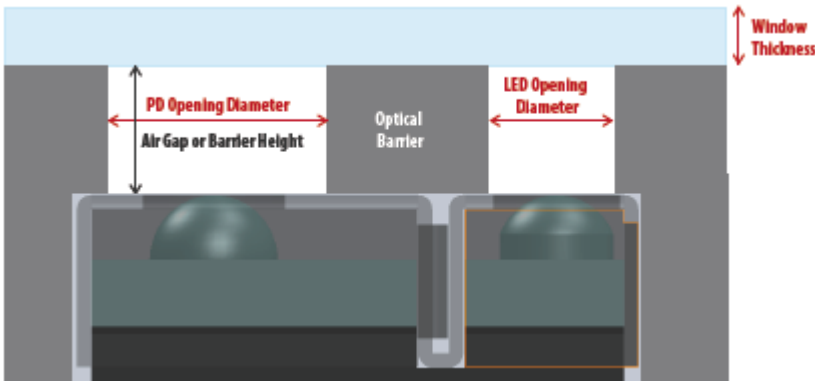


图 12.橡胶屏障

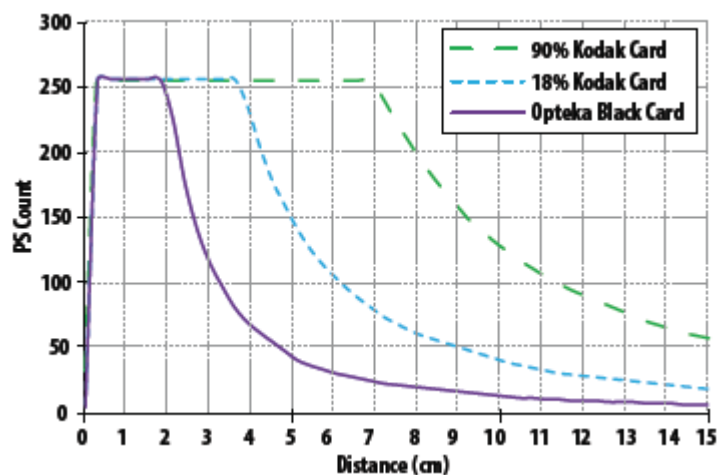


图 13a。PS 输出与 LDRIVE 之间的距离= 100 mA, PULSE = 8, PGAIN =4x, PPLEN = 8 s, LED BOOST = 100%, 各种物体。 前面没有玻璃的模块

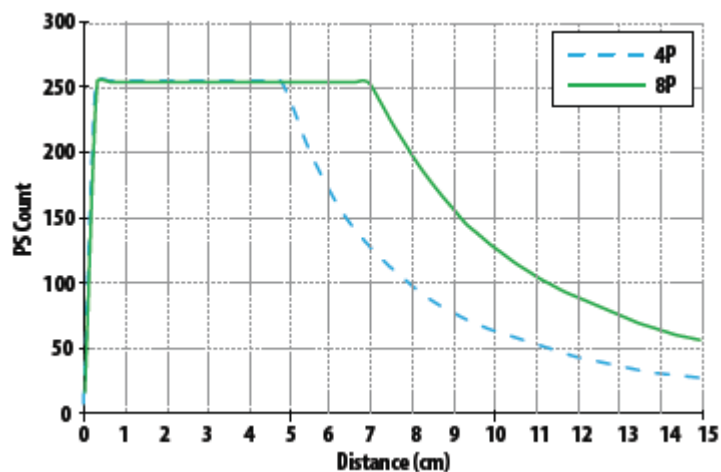


图 13b。PS 输出与 LDRIVE 之间的距离= 100 mA, PGAIN = 4x, PPLEN= 8 ms, LED_BOOST = 100%, 各种脉冲。 前面没有玻璃模

寄存器

APDS-9960 由数据寄存器和通过串行接口访问的命令寄存器进行控制和监视。 这些寄存器提供各种控制功能，可以读取以确定 ADC 转换的结果。

Address	Register Name	Type	Register Function	Reset Value
0x00 – 0x7F	RAM	R/W	RAM	0x00
0x80	ENABLE	R/W	Enable states and interrupts	0x00
0x81	ATIME	R/W	ADC integration time	0xFF
0x83	WTIME	R/W	Wait time (non-gesture)	0xFF
0x84	AILTL	R/W	ALS interrupt low threshold low byte	--
0x85	AILTH	R/W	ALS interrupt low threshold high byte	--
0x86	AIHTL	R/W	ALS interrupt high threshold low byte	0x00
0x87	AIHTH	R/W	ALS interrupt high threshold high byte	0x00
0x89	PILT	R/W	Proximity interrupt low threshold	0x00
0x8B	PIHT	R/W	Proximity interrupt high threshold	0x00
0x8C	PERS	R/W	Interrupt persistence filters (non-gesture)	0x00
0x8D	CONFIG1	R/W	Configuration register one	0x60
0x8E	PPULSE	R/W	Proximity pulse count and length	0x40
0x8F	CONTROL	R/W	Gain control	0x00
0x90	CONFIG2	R/W	Configuration register two	0x01
0x92	ID	R	Device ID	ID
0x93	STATUS	R	Device status	0x00
0x94	CDATAL	R	Low byte of clear channel data	0x00
0x95	CDATAH	R	High byte of clear channel data	0x00
0x96	RDATA_L	R	Low byte of red channel data	0x00
0x97	RDATA_H	R	High byte of red channel data	0x00
0x98	GDATA_L	R	Low byte of green channel data	0x00
0x99	GDATA_H	R	High byte of green channel data	0x00
0x9A	BDATA_L	R	Low byte of blue channel data	0x00
0x9B	BDATA_H	R	High byte of blue channel data	0x00
0x9C	PDATA	R	Proximity data	0x00
0x9D	POFFSET_UP	R/W	Proximity offset for UP and RIGHT photodiodes	0x00
0x9E	POFFSET_DL	R/W	Proximity offset for DOWN and LEFT photodiodes	0x00
0x9F	CONFIG3	R/W	Configuration register three	0x00
0xA0	GPENTH	R/W	Gesture proximity enter threshold	0x00
0xA1	GEXTH	R/W	Gesture exit threshold	0x00
0xA2	GCONF1	R/W	Gesture configuration one	0x00
0xA3	GCONF2	R/W	Gesture configuration two	0x00
0xA4	GOFFSET_U	R/W	Gesture UP offset register	0x00
0xA5	GOFFSET_D	R/W	Gesture DOWN offset register	0x00
0xA7	GOFFSET_L	R/W	Gesture LEFT offset register	0x00
0xA9	GOFFSET_R	R/W	Gesture RIGHT offset register	0x00
0xA6	GPULSE	R/W	Gesture pulse count and length	0x40
0xAA	GCONF3	R/W	Gesture configuration three	0x00
0xAB	GCONF4	R/W	Gesture configuration four	0x00
0xAE	GFLVL	R	Gesture FIFO level	0x00
0xAF	GSTATUS	R	Gesture status	0x00
0xE4 (1)	IFORCE	W	Force interrupt	0x00
0xE5 (1)	PICLEAR	W	Proximity interrupt clear	0x00
0xE6 (1)	CICLEAR	W	ALS clear channel interrupt clear	0x00
0xE7 (1)	AICLEAR	W	All non-gesture interrupts clear	0x00
0xFC	GFIFO_U	R	Gesture FIFO UP value	0x00
0xFD	GFIFO_D	R	Gesture FIFO DOWN value	0x00
0xFE	GFIFO_L	R	Gesture FIFO LEFT value	0x00
0xFF	GFIFO_R	R	Gesture FIFO RIGHT value	0x00

注意

中断清除和强制寄存器需要特殊的 I2C“地址访问”事务。 有关详细信息，请参阅注册说明部分。

启用寄存器（0x80）

ENABLE 寄存器用于打开/关闭设备电源，启用功能和中断。

Field	Bits	Description
Reserved	7	Reserved. Write as 0.
GEN	6	Gesture Enable. When asserted, the gesture state machine can be activated. Activation is subject to the states of PEN and GMODE bits.
PIEN	5	Proximity Interrupt Enable. When asserted, it permits proximity interrupts to be generated, subject to the persistence filter settings.
AIEN	4	ALS Interrupt Enable. When asserted, it permits ALS interrupts to be generated, subject to the persistence filter settings.
WEN	3	Wait Enable. This bit activates the wait feature. Writing a one activates the wait timer. Writing a zero disables the wait timer.
PEN	2	Proximity Detect Enable. This field activates the proximity detection. Writing a one activates the proximity. Writing a zero disables the proximity.
AEN	1	ALS Enable. This field activates ALS function. Writing a one activates the ALS. Writing a zero disables the ALS.
PON	0	Power ON. This field activates the internal oscillator to permit the timers and ADC channels to operate. Writing a one activates the oscillator. Writing a zero disables the oscillator and puts the device into a low power sleep mode. During reads and writes over the I2C interface, this bit is temporarily overridden and the oscillator is enabled, independent of the state of PON.

注意：在启用手势，接近或 ALS 之前，必须设置与所需功能的控制相关联的所有位。操作时更改控制寄存器值可能导致无效结果。

ADC 积分时间寄存器（0x81）

ATIME 寄存器控制 ALS / Color 模拟与数字转换器的内部集成时间。上电时，ADC 积分时间寄存器设置为 0xFF。

可以基于积分时间和计数寄存器的大小（即 16 位）来计算最大计数（或饱和度）值。对于 ALS / Color，最大计数将是以下两者中的较小者：65535（基于 16 位寄存器大小）或等式的结果： $\text{CountMAX} = 1025 \times \text{CYCLES}$

Field	Bits	Description
ATIME	7:0	FIELD VALUE CYCLES TIME MAX COUNT
		0 256 712 ms 65535
		182 72 200 ms 65535
		= 256 – TIME / 2.78 ms
		219 37 103 ms 37889
		246 10 27.8 ms 10241
		255 1 2.78 ms 1025

注意：ATIME 寄存器仅适用于 ALS / Color 引擎（16 位数据）。8 位接近/手势引擎的积分时间比额定时间（2.78ms）小四倍，导致固定时间为 0.696ms。

等待时间寄存器（0x83）

WTIME 控制在接近和/或 ALS 周期之间的低功率模式下的时间量。它设置为 2.78ms 增量，除非 WLONG 位被断言，在这种情况下，等待时间是 12×更长。WTIME 被编程为 2 的补码。上电时，等待时间寄存器设置为 0xFF。

Field	Bits	Description
WTIME	7:0	FIELD VALUE WAIT TIME TIME (WLONG = 0) TIME (WLONG = 1)
		0 256 712 ms 8.54 s
		= 256 – TIME / 2.78 ms
		171 85 236 ms 2.84 s
		255 1 2.78 ms 0.03 s

注：

在 AEN 和/或 PEN 被置位之前，应配置等待时间寄存器。在任何接近和/或 ALS 周期期间，输入功能框图中所示的等待状态。 例如，仅 Prox，Prox 和 ALS 或 ALS 只有循环总是进入等待状态，并被 WTIME 定义的时间分隔开。

ALS 中断阈值寄存器（0x84 - 0x87）

ALS 电平检测使用 Clear Channel 生成的数据。 ALS 中断阈值寄存器提供 16 位值，用作与 16 位 CDATE 值进行比较的高和低阈值。 如果 AIEN 被使能且 CDATE 大于 AILTH / AIHTH 或小于 AILTL / AIHTL, 则在 APERS 中指定的连续样本数中断在中断引脚上被置位。

Field	Address	Bits	Description
AILTL	0x84	7:0	This register provides the low byte of the low interrupt threshold.
AILTH	0x85	7:0	This register provides the high byte of the low interrupt threshold.
AIHTL	0x86	7:0	This register provides the low byte of the high interrupt threshold.
AIHTH	0x87	7:0	This register provides the high byte of the high interrupt threshold.

接近中断阈值寄存器（0x89 / 0x8B）

接近中断阈值寄存器设置产生中断的比较功能的高低触发点。 如果 PDATA（由接近通道产生的值）跨越低于指定的下限阈值或高于较高阈值，则可能会向主机处理器发出中断信号。 中断生成取决于持久性（PERS）中设置的值。

Field	Address	Bits	Description
PILT	0x89	7:0	This register provides the low interrupt threshold.
PIHT	0x8B	7:0	This register provides the high interrupt threshold.

持久性寄存器（0x8C）

中断持久寄存器设置一个值, 该值与结果超出阈值的 ALS 或接近周期的累积量进行比较。 阈值内的任何接近或 ALS 结果重置计数。提供单独的计数器用于邻近和 ALS 持久性检测。

Field	Bits	Description
PPERS	7:4	Proximity Interrupt Persistence. Controls rate of proximity interrupt to the host processor.
		FIELD VALUE INTERRUPT GENERATED WHEN...
		0 Every proximity cycle
		1 Any proximity value outside of threshold range
		2 2 consecutive proximity values out of range
		3 3 consecutive proximity values out of range
	
		15 15 consecutive proximity values out of range
APERS	3:0	ALS Interrupt Persistence. Controls rate of Clear channel interrupt to the host processor.
		FIELD VALUE INTERRUPT GENERATED WHEN...
		0 Every ALS cycle
		1 Any ALS value outside of threshold range
		2 2 consecutive ALS values out of range
		3 3 consecutive ALS values out of range
		4 5 ...
		5 10 ...
		6 15 ...
		7 20 ...
		8 25 ...
		9 30 ...
		10 35 ...
		11 40 ...
		12 45 ...
		13 50 ...
		14 55 ...
		15 60 consecutive ALS values out of range

配置寄存器一（0x8D）

CONFIG1 寄存器设置等待很长时间。 上电时寄存器设置为 0x40。

Field	Bits	Description
Reserved	7	Reserved. Write as 0.
Reserved	6	Reserved. Write as 1.
Reserved	5	Reserved. Write as 1.
Reserved	4	Reserved. Write as 0.
Reserved	3	Reserved. Write as 0.
Reserved	2	Reserved. Write as 0.
WLONG	1	Wait Long. When asserted, the wait cycle is increased by a factor 12x from that programmed in the WTIME register.
Reserved	0	Reserved. Write as 0.

注：

位 6 被保留，并且在 POR 时自动设置为 1。保留位 5，在 POR 时自动设置为 1。 如果该位未设置，则等待状态下的功耗将会增加。

接近脉冲计数寄存器（0x8E）

接近脉冲计数寄存器在接近脉冲期间设置脉冲宽度修正电流。 接近脉冲计数寄存器位设置要在 LDR 引脚上输出的脉冲数。 接近长度寄存器位设置 LDR 引脚在接近脉冲期间吸收电流的时间量。

Field	Bits	Description
PPLEN	7:6	Proximity Pulse Length. Sets the LED-ON pulse width during a proximity LDR pulse.
		FIELD VALUE PULSE LENGTH
		0 4 μ s
		1 8 μ s (default)
		2 16 μ s
PPULSE	5:0	Proximity Pulse Count. Specifies the number of proximity pulses to be generated on LDR. Number of pulses is set by PPULSE value plus 1.
		FIELD VALUE NUMBER OF PULSES
		0 1
		1 2
		2 3
	
		63 64

注：

PPLEN 描述的时间是实际的信号积分时间。 LED 将比积分时间稍长（通常为 1.36 μ s）被激活。

接近脉冲计数寄存器复位到 0x40

控制寄存器 1（0x8F）

Field	Bits	Description
LDRIVE	7:6	LED Drive Strength.
		FIELD VALUE LED CURRENT
		0 100 mA
		1 50 mA
		2 25 mA
Reserved	5	Reserved. Write as 0.
		3 12.5 mA
Reserved	4	Reserved. Write as 0.
PGAIN	3:2	Proximity Gain Control.
		FIELD VALUE GAIN VALUE
		0 1x
		1 2x
		2 4x
AGAIN	1:0	ALS and Color Gain Control.
		FIELD VALUE GAIN VALUE
		0 1x
		1 4x
		2 16x
		3 64x

配置寄存器二（0x90）

配置寄存器 2 独立地启用或禁用接近和清除通道的饱和中断。通过访问 0xE5, 0xE6 和 0xE7 处的清除中断寄存器来清除饱和中断。LED_BOOST 位允许 LDR 引脚通过 LDRIVE 和 GLDRIVE 吸收超过最大设置的更多电流。

Field	Bits	Description										
PSIEN	7	Proximity Saturation Interrupt Enable. 0 = Proximity saturation interrupt disabled 1 = Proximity saturation interrupt enabled										
CPSIEN	6	Clear Photodiode Saturation Interrupt Enable. 0 = ALS Saturation Interrupt disabled 1 = ALS Saturation Interrupt enabled										
LED_BOOST	5:4	Additional LDR current during proximity and gesture LED pulses. Current value, set by LDRIVE, is increased by the percentage of LED_BOOST.										
		<table><tr><th>FIELD VALUE</th><th>LED BOOST CURRENT</th></tr><tr><td>0</td><td>100%</td></tr><tr><td>1</td><td>150%</td></tr><tr><td>2</td><td>200%</td></tr><tr><td>3</td><td>300%</td></tr></table>	FIELD VALUE	LED BOOST CURRENT	0	100%	1	150%	2	200%	3	300%
		FIELD VALUE	LED BOOST CURRENT									
		0	100%									
		1	150%									
2	200%											
3	300%											
RESERVED	3:1	Reserved. Write as 0.										
RESERVED	0	Reserved. Write as 1. Set high by default during POR.										

注意：LED_BOOST 值为 0 会导致 LDRIVE 设置的电流的 100%（无附加电流）。

ID 寄存器（0x92）

只读 ID 寄存器提供设备标识。

Field	Bits	Description
ID	7:0	Part number identification. 0xAB = APDS-9960

状态寄存器（0x93）

只读状态寄存器提供设备的状态。在上电时，寄存器设置为 0x04。

Field	Bits	Description
CPSAT	7	Clear Photodiode Saturation. When asserted, the analog sensor was at the upper end of its dynamic range. The bit can be de-asserted by sending a Clear channel interrupt command (0xE6 CICLEAR) or by disabling the ADC (AEN=0). This bit triggers an interrupt if CPSIEN is set.
PGSAT	6	Indicates that an analog saturation event occurred during a previous proximity or gesture cycle. Once set, this bit remains set until cleared by clear proximity interrupt special function command (0xE5 PICLEAR) or by disabling Prox (PEN=0). This bit triggers an interrupt if PSIEN is set.
PINT	5	Proximity Interrupt. This bit triggers an interrupt if PIEN in ENABLE is set.
AINT	4	ALS Interrupt. This bit triggers an interrupt if AIEN in ENABLE is set.
RESERVED	3	Do not care.
GINT	2	Gesture Interrupt. GINT is asserted when GFVLV becomes greater than GFIFOTH or if GVALID has become asserted when GMODE transitioned to zero. The bit is reset when FIFO is completely emptied (read).
PVALID	1	Proximity Valid. Indicates that a proximity cycle has completed since PEN was asserted or since PDATA was last read. A read of PDATA automatically clears PVALID.
AVALID	0	ALS Valid. Indicates that an ALS cycle has completed since AEN was asserted or since a read from any of the ALS/Color data registers.

RGBC 数据寄存器 (0x94 - 0x9B)

红色，绿色，蓝色和清除数据存储为 16 位值。读取序列必须从 RGBC 数据寄存器块内的偶数地址边界 (0x94,0x96,0x98 或 0x9A) 开始读取字节对 (低后跟高)。当读取低字节寄存器时，高 8 位被存储到一个影子寄存器中，后者读取到高字节。即使额外的 ADC 积分周期在下位寄存器和上位机读取之间结束，上位寄存器也将读取正确的值。

Field	Address	Bits	Description
CDATAL	0x94	7:0	Low Byte of clear channel data.
CDATAH	0x95	7:0	High Byte of clear channel data.
RDATAL	0x96	7:0	Low Byte of red channel data.
RDATAH	0x97	7:0	High Byte of red channel data.
GDATAL	0x98	7:0	Low Byte of green channel data.
GDATAH	0x99	7:0	High Byte of green channel data.
BDATAL	0x9A	7:0	Low Byte of blue channel data.
BDATAH	0x9B	7:0	High Byte of blue channel data.

注意：读取寄存器内容时，低字节数据的读取将自动锁存相应的较高字节数据 (16 位锁存器)。此功能可确保 I2C 读取之间的 ADC 不会更新高字节值。另外，读取 CDATAL 寄存器不仅可以锁存 CDATAH，而且可以同时锁存所有 8 个 RGBC 寄存器 (64 位锁存器)。接近数据寄存器 (0x9C)

接近数据存储为 8 位值。

Field	Address	Bits	Description
PDATA	0x9C	7:0	Proximity data.

接近偏移 UP / RIGHT 寄存器 (0x9D)

在接近模式下，UP 和 RIGHT 光电二极管连接形成二极管对。POFFSET_UR 是一个 8 位值，用于缩放内部偏移校正因子以补偿应用中的串扰。该值以符号/幅度格式编码。

Field	Bits	Description
POFFSET_UR	7:0	FIELD VALUE
		Offset Correction Factor
		01111111 127
		...
		00000001 1
		00000000 0
		10000001 -1
		...
		11111111 -127

接近偏移 DOWN / LEFT 寄存器 (0x9E)

在接近模式下，DOWN 和 LEFT 光电二极管连接形成二极管对。POFFSET_DL 是一个 8 位值，用于缩放内部偏移校正因子以补偿应用中的串扰。该值以符号/幅度格式编码。

Field	Bits	Description
POFFSET_DL	7:0	FIELD VALUE
		Offset Correction Factor
		01111111 127
		...
		00000001 1
		00000000 0
		10000001 -1
		...
		11111111 -127

配置三寄存器（0x9F）

CONFIG3 寄存器用于选择哪个光电二极管用于接近。 两个光电二极管配对提供信号。 在接近模式下，连接形成二极管对的 UP 和 RIGHT 光电二极管；类似地，DOWN 和 LEFT 光电二极管形成二极管对。

Field	Bits	Description
RESERVED	7:6	Reserved. Write as 0.
PCMP	5	Proximity Gain Compensation Enable. This bit provides gain compensation when proximity photodiode signal is reduced as a result of sensor masking. If only one diode of the diode pair is contributing, then only half of the signal is available at the ADC; this results in a maximum ADC value of 127. Enabling PCMP enables an additional gain of 2X, resulting in a maximum ADC value of 255.
		PMASK_X (U, D, L, R)
		PCMP
		0, 1, 1, 1
		1
		1, 0, 1, 1
		1
		1, 1, 0, 1
		1
		1, 1, 1, 0
		1
		0, 1, 0, 1
		1
		1, 0, 1, 0
		1
		All Others
		0
SAI	4	Sleep After Interrupt. When enabled, the device will automatically enter low power mode when the INT pin is asserted and the state machine has progressed to the SAI decision block. Normal operation is resumed when INT pin is cleared over I2C.
PMASK_U	3	Proximity Mask UP Enable. Writing a 1 disables this photodiode.
PMASK_D	2	Proximity Mask DOWN Enable. Writing a 1 disables this photodiode.
PMASK_L	1	Proximity Mask LEFT Enable. Writing a 1 disables this photodiode.
PMASK_R	0	Proximity Mask RIGHT Enable. Writing a 1 disables this photodiode.

手势接近输入阈值寄存器（0xA0）

将手势接近输入阈值寄存器值与接近值 PDATA 进行比较，以确定是否输入手势状态机。接近度持续性滤波器 PPRS 不用于确定手势状态机输入。

Field	Bits	Description
GPENTH	7:0	Gesture Proximity Entry Threshold. This register sets the Proximity threshold value used to determine a "gesture start" and subsequent entry into the gesture state machine.

注意：位 4 必须设置为 0。

手势退出阈值寄存器（0xA1）

手势接近退出阈值寄存器值比较所有非屏蔽手势检测光电二极管（UDLR）。 手势状态机出口也受到手势退出持久性登记册 GEPERS 中的值的约束。

Field	Bits	Description
GEXTH	7:0	Gesture Exit Threshold. This register sets the threshold value used to determine a "gesture end" and subsequent exit of the gesture state machine. Setting GTHR_OUT to 0x00 will prevent gesture exit until GMODE is set to 0.

手势配置一个寄存器（0xA2）

手势配置一个寄存器包含控制手势检测器屏蔽，FIFO 中断生成和手势退出持续性滤波器的设置。

Field	Bits	Description
GFIFOTH	7:6	Gesture FIFO Threshold. This value is compared with the FIFO Level (i.e. the number of UDLR datasets) to generate an interrupt (if enabled).
		FIELD VALUE THRESHOLD
		0 Interrupt is generated after 1 dataset is added to FIFO
		1 Interrupt is generated after 4 datasets are added to FIFO
		2 Interrupt is generated after 8 datasets are added to FIFO
GEXMSK	5:2	3 Interrupt is generated after 16 datasets are added to FIFO
		Gesture Exit Mask. Controls which of the gesture detector photodiodes (UDLR) will be included to determine a "gesture end" and subsequent exit of the gesture state machine. Unmasked UDLR data will be compared with the value in GTHR_OUT. Field value bits correspond to UDLR detectors.
		FIELD VALUE EXIT MASK
		0000 All UDLR detector data will be included in sum
		0001 R detector data will not be included in sum
		0010 L detector data will not be included in sum
		0100 D detector data will not be included in sum
		1000 U detector data will not be included in sum
		0101 ...
0110 L and D detector data will not be included in sum		
1111 All UDLR detector data will not be included in sum		
GEXPERS	1:0	Gesture Exit Persistence. When a number of consecutive "gesture end" occurrences become equal or greater to the GEPERS value, the Gesture state machine is exited.
		FIELD VALUE PERSISTENCE
		0 1st 'gesture end' occurrence results in gesture state machine exit.
		1 2nd 'gesture end' occurrence results in gesture state machine exit.
		2 4th 'gesture end' occurrence results in gesture state machine exit.
		3 7th 'gesture end' occurrence results in gesture state machine exit.

手势配置两个寄存器（0xA3）

手势配置两个寄存器包含管理等待时间，LDR 驱动电流强度和手势增益控制的设置。GWTIME 控制在手势检测周期之间的低功耗模式下的时间量。GPDRIVE 设置 LED 强度的 LDR 驱动电流强度。GGAIN 设置与光电二极管输出相关的模拟增益。

Field	Bits	Description
RESERVED	7	Reserved. Write as 0.
GGAIN	6:5	Gesture Gain Control. Sets the gain of the proximity receiver in gesture mode.
		FIELD VALUE GAIN VALUE
		0 1x
		1 2x
		2 4x
GLDRIVE	4:3	Gesture LED Drive Strength. Sets LED Drive Strength in gesture mode.
		FIELD VALUE LED CURRENT
		0 100 mA
		1 50 mA
		2 25 mA
GWTIME	2:0	Gesture Wait Time. The GWTIME controls the amount of time in a low power mode between gesture detection cycles.
		FIELD VALUE WAIT TIME
		0 0 ms
		1 2.8 ms
		2 5.6 ms
		3 8.4 ms
		4 14.0 ms
		5 22.4 ms
		6 30.8 ms
		7 39.2 ms

应在 GEN 置位之前配置等待时间寄存器。

GWTIME 描述的时间是实际的信号积分时间。LED 将比积分时间稍长(通常为 1.33μs)被激活。

手势 UP 偏移寄存器（0xA4）

GOFFSET_U 是一个 8 位值，用于缩放内部偏移校正因子以补偿应用中的串扰。该值以符号/幅度格式编码。

Field	Bits	Description
GOFFSET_U	7:0	FIELD VALUE Offset Correction Factor
		01111111 127
	
		00000001 1
		00000000 0
		10000001 -1
	
		11111111 -127

手势向下偏移寄存器（0xA5）

GOFFSET_D 是一个 8 位值，用于缩放内部偏移校正因子以补偿应用中的串扰。该值以符号/幅度格式编码。

Field	Bits	Description	
GOFFSET_D	7:0	FIELD VALUE	Offset Correction Factor
		01111111	127
	
		00000001	1
		00000000	0
		10000001	-1
	
		11111111	-127

手势 LEFT 偏移寄存器（0xA7）

GOFFSET_L 是一个 8 位值，用于缩放内部偏移校正因子以补偿应用中的串扰。该值以符号/幅度格式编码。

Field	Bits	Description	
GOFFSET_L	7:0	FIELD VALUE	Offset Correction Factor
		01111111	127
	
		00000001	1
		00000000	0
		10000001	-1
	
		11111111	-127

手势右偏移寄存器（0xA9）

GOFFSET_R 是一个 8 位值，用于缩放内部偏移校正因子以补偿应用中的串扰。该值以符号/幅度格式编码。

Field	Bits	Description	
GOFFSET_L	7:0	FIELD VALUE	Offset Correction Factor
		01111111	127
	
		00000001	1
		00000000	0
		10000001	-1
	
		11111111	-127

手势脉冲计数和长度寄存器（0xA6）

手势脉冲计数寄存器在手势脉冲期间设置脉冲宽度修改电流。 手势脉冲计数寄存器位设置要在 LDR 引脚上输出的脉冲数。 手势长度寄存器位设置手势脉冲期间 LDR 引脚吸收电流的时间量。

Field	Bits	Description	
GPLEN	7:6	Gesture Pulse Length. Sets the LED_ON pulse width during a Gesture LDR Pulse.	
		FIELD VALUE	PULSE LENGTH
		0	4 μs
		1	8 μs (default)
		2	16 μs
		3	32 μs
GPULSE	5:0	Number of Gesture Pulses. Specifies the number of pulses to be generated on LDR. Number of pulses is set by GPULSE value plus 1.	
		FIELD VALUE	Number OF PULSES
		0	1
		1	2
		2	3
	
		63	64

注意：

初始上电时，手势脉冲计数寄存器复位为 0x40（POR）。

手势配置三个寄存器（0xAA）

手势配置三个寄存器包含控制哪个手势光电二极管对：在手势状态机收集方向数据时将启用 UP-DOWN 和/或 RIGHT-LEFT（具有 FIFO 中的有效数据）的设置。 正常模式启用所有四个手势光电二极管，并按预期将数据放入 FIFO。 禁用光电二极管对，基本上允许启用的对快速收集数据两倍。 存储在 FIFO 中用于禁用对的数据无效。 当仅预期一维手势时，此功能对于提高手势检测的可靠性和准确性非常有用。

Field	Bits	Description										
RESERVED	7:2	Reserved. Write as 0.										
GDIMS	1:0	Gesture Dimension Select. Selects which gesture photodiode pairs are enabled to gather results during gesture.										
		<table><tr><th>FIELD VALUE</th><th>GESTURE DIRECTION</th></tr><tr><td>0</td><td>Both pairs are active. UP-DOWN and LEFT-RIGHT FIFO data is valid.</td></tr><tr><td>1</td><td>Only the UP-DOWN pair is active. Ignore LEFT-RIGHT data in FIFO.</td></tr><tr><td>2</td><td>Only the LEFT-RIGHT pair is active. Ignore UP-DOWN data in FIFO.</td></tr><tr><td>3</td><td>Both pairs are active. UP-DOWN and LEFT-RIGHT FIFO data is valid.</td></tr></table>	FIELD VALUE	GESTURE DIRECTION	0	Both pairs are active. UP-DOWN and LEFT-RIGHT FIFO data is valid.	1	Only the UP-DOWN pair is active. Ignore LEFT-RIGHT data in FIFO.	2	Only the LEFT-RIGHT pair is active. Ignore UP-DOWN data in FIFO.	3	Both pairs are active. UP-DOWN and LEFT-RIGHT FIFO data is valid.
		FIELD VALUE	GESTURE DIRECTION									
		0	Both pairs are active. UP-DOWN and LEFT-RIGHT FIFO data is valid.									
		1	Only the UP-DOWN pair is active. Ignore LEFT-RIGHT data in FIFO.									
		2	Only the LEFT-RIGHT pair is active. Ignore UP-DOWN data in FIFO.									
3	Both pairs are active. UP-DOWN and LEFT-RIGHT FIFO data is valid.											

手势配置四注册（0xAB）

手势配置四个寄存器包含控制手势中断和中断清除/复位以及操作模式控制和状态的设置。

Field	Bits	Description
RESERVED	7:3	Reserved. Write as 0.
GFIFO_CLR	2	Setting this bit to '1' clears GFIFO, GINT, GVALID, GFIFO_OV and GFIFO_LVL.
GIEN	1	Gesture interrupt enable. Gesture Interrupt Enable. When asserted, all gesture related interrupts are unmasked.
GMODE	0	Gesture Mode. Reading this bit reports if the gesture state machine is actively running, 1 = Gesture, 0= ALS, Proximity, Color. Writing a 1 to this bit causes immediate entry in to the gesture state machine (as if GPENTH had been exceeded). Writing a 0 to this bit causes exit of gesture when current analog conversion has finished (as if GEXTH had been exceeded).

手势 FIFO 电平寄存器（0xAE）

GFLVL 寄存器指示 FIFO 中当前可用于读取的数据集的数量。读取完整的 FIFO 数据集（从地址 0xFC 到 0xFF）构成了 GPENTH 寄存器减少一个。

Field	Bits	Description
GFLVL	7:0	Gesture FIFO Level. This register indicates how many four byte data points - UDLR are ready for read over I2C. One four-byte dataset is equivalent to a single count in GFLVL.

手势状态寄存器（0xAF）

GSTATUS 寄存器指示手势状态机的操作状态。

Field	Bits	Description
RESERVED	7:2	Do not care.
GFOV	1	Gesture FIFO Overflow. A setting of 1 indicates that the FIFO has filled to capacity and that new gesture detector data has been lost.
GVALID	0	Gesture FIFO Data. GVALID bit is sent when GFLVL becomes greater than GFIFOTH (i.e. FIFO has enough data to set GINT). GFIFOD is reset when GMODE = 0 and the GFLVL=0 (i.e., All FIFO data has been read).

注意：如果在读取 GFLVL 时，GINT（与 GVALID 无关）保持置 1，则表示在最后一次 FIFO 读取期间已将新数据添加到 FIFO。

清除中断寄存器（0xE4 - 0xE7）

中断通过“地址访问”相应的寄存器清除。 这是特殊的 I2C 事务，由两个字节组成：芯片地址为 R / W = 0，后跟寄存器地址。

Registers	Address	Bits	Description
IFORCE	0xE4	7:0	Forces an interrupt (any value)
PICLEAR	0xE5	7:0	Proximity interrupt clear (any value)
CICLEAR	0xE6	7:0	ALS interrupt clear (any value)
AICLEAR	0xE7	7:0	Clears all non-gesture interrupts (any value)

手势 FIFO 寄存器（0xFC - 0xFF）

在手势模式下,RAM 区域被重新设计为 32 x 4 字节的 FIFO。数据存储四个字节块中。称为数据集的每个块包含 UP, DOWN, LEFT 和 RIGHT 手势数据的一个积分周期。在循环溢出之前，32 个独立的数据集存储在 FIFO 中。如果 FIFO 溢出（即主机/系统可以清空 FIFO 之前的 33 个数据集），新的数据集将不会取代现有的数据集;而是会设置一个溢出标志，新数据将丢失。

主机/系统通过读取地址：0xFC，0xFD，0xFE 和 0xFF 来获取手势数据，它们直接对应

于 UP, DOWN, LEFT 和 RIGHT 数据点。数据可以一次读取一个字节（四个连续的 I2C 事务）或通过使用页面读取。

内部 FIFO 读指针和 FIFO 电平寄存器 GFLVL 值在访问地址 0xFF 时被更新（单字节事务处理），或每页第四个字节（对应于地址 0xFF）在页模式下被访问。如果在 GFLVL 寄存器为零之后 FIFO 继续访问，数据集将被读为零值。

当生成手势中断（GFLVL > GFIFOTH）时，推荐读取存储在 FIFO 中的数据步骤。接下来，主机读取 FIFO 电平寄存器 GFLVL，以确定 FIFO 中的有效数据量。

最后，主机开始读取地址 0xFC（页面读取），并继续读取（超时数据），直到 FIFO 为空（字节数为 4 × GFLVL）。例如，如果 GFLVL = 2，则主机应该在地址 0xFC 处启动一次读取，并顺序读取所有 8 个字节。当读取四字节块时，GFLVL 寄存器递减，内部 FIFO 指针被更新。

Field	Address	Bits	Description
GFIFO_U	0xFC	7:0	Gesture FIFO UP value.
GFIFO_D	0xFD	7:0	Gesture FIFO DOWN value.
GFIFO_L	0xFE	7:0	Gesture FIFO LEFT value.
GFIFO_R	0xFF	7:0	Gesture FIFO RIGHT value.

硬件应用信息

在接近感应系统中，内部 IR LED 可以通过超过 100 mA 的快速开关电流进行脉冲，因此，必须注意一些设计考虑以获得最佳性能。 关键的目标是减少 LED 脉冲期间耦合回设备的电源噪声。

在许多系统中，有一个安静的模拟电源和嘈杂的数字电源。 通过将静音电源连接到 VDD 引脚和 LED 的噪声电源，可以满足关键目标。 将 1μF 低 ESR 去耦电容尽可能靠近 VDD 引脚，另一个放在 LEDA 引脚上，以及在 LED 稳压器的输出端提供大容量存储电容（≥10μF），以提供电流浪涌。

如果从单电源供电，请使用与 VDD 电源线串联的 22Ω 电阻和 1μF 低 ESR 电容来滤除任何电源噪声。 以前的电容器放置考虑适用。 不过请注意，当 LED 电流升高超过 100 mA 时，建议将 LEDA 引脚连接到单独的电源。

图中的 VBUS 是指 I2C 总线电压。 I2C-Bus 信号和中断是漏极开路输出，需要上拉电阻。 上拉电阻（RP）值是 I2C 总线速度，I2C 总线电压和容性负载的函数。 中断线可使用 10kΩ 上拉电阻（RPI）。

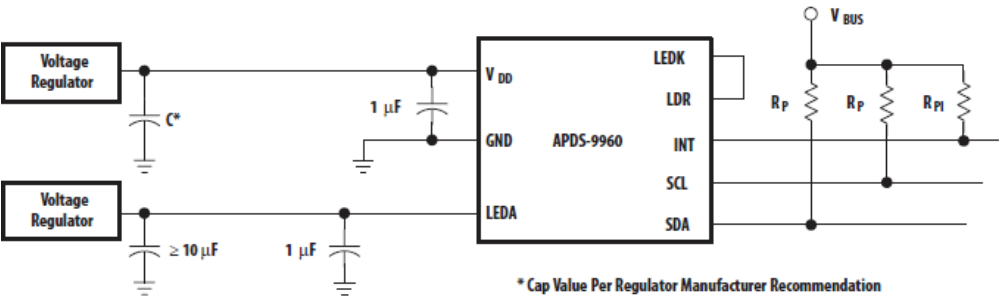


图 14a。 使用独立电源的电路实现

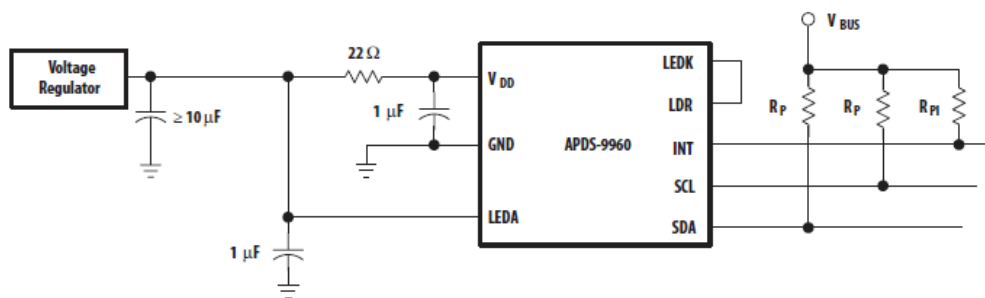
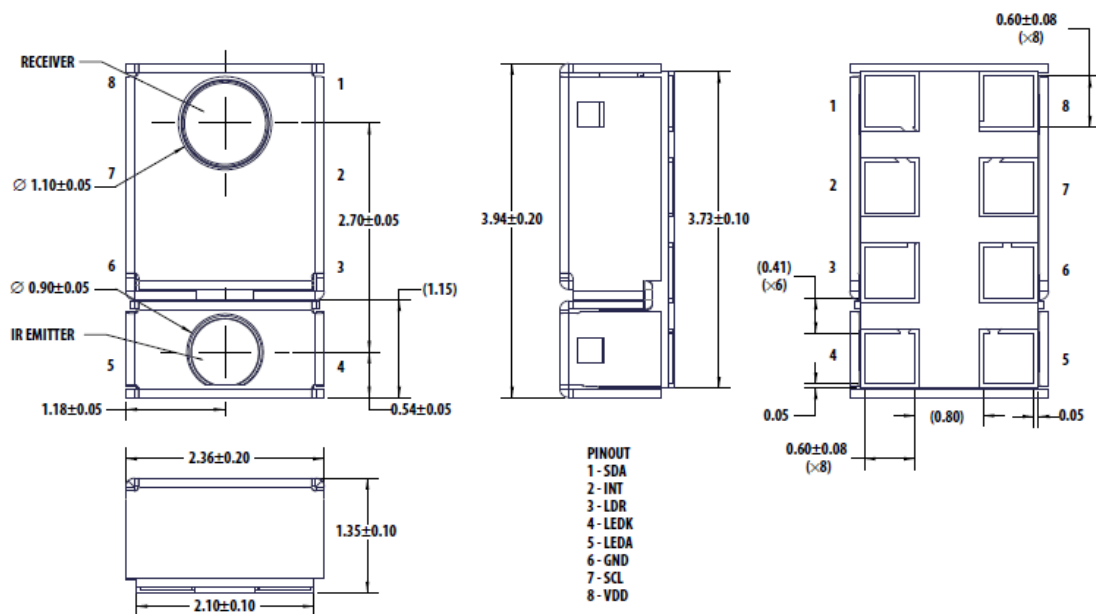


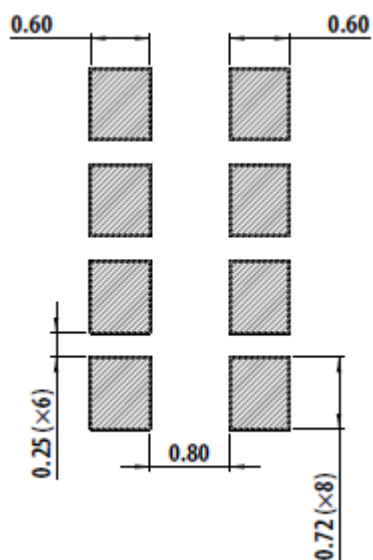
图 14b。 使用单电源的电路实现

封装外形尺寸



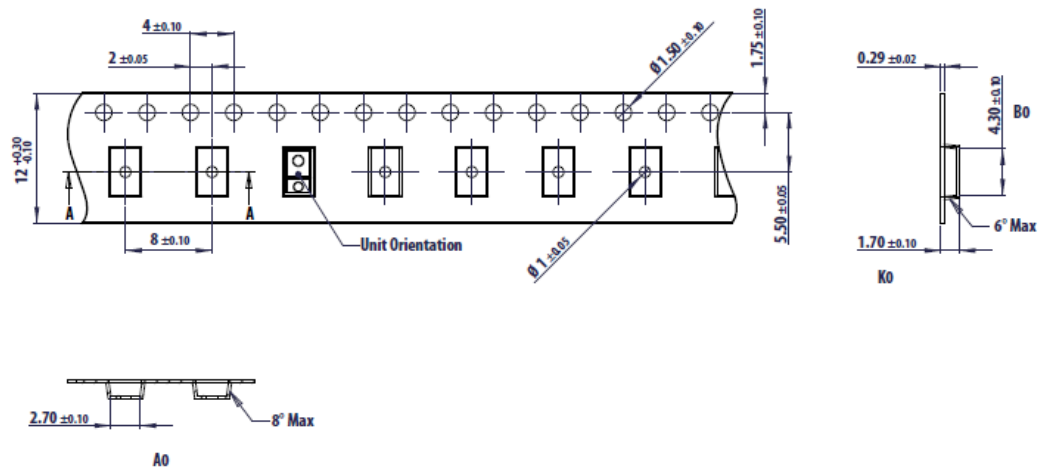
PCB 焊盘布局

双平面无铅表面贴装封装的建议 PCB 焊盘布局指南如下所示：



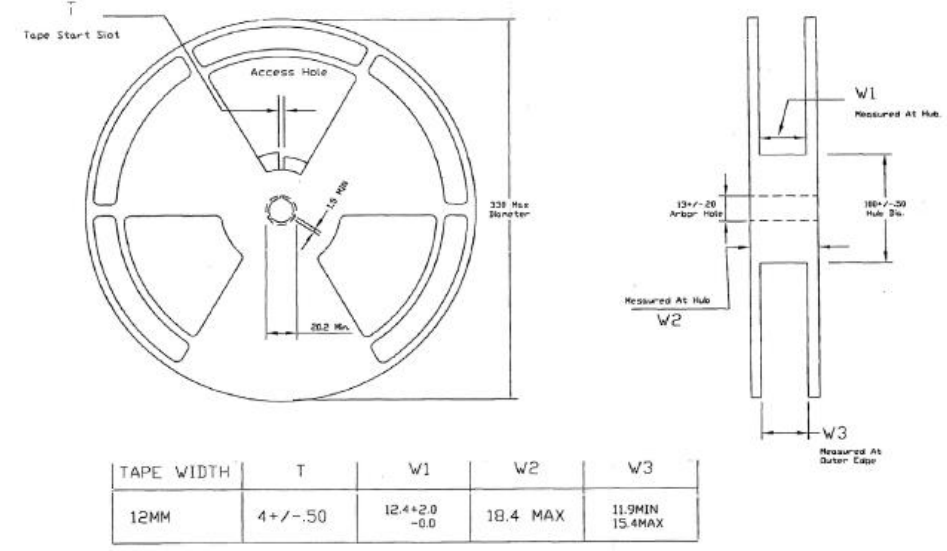
注意：所有线性尺寸均为 mm。

编带尺寸



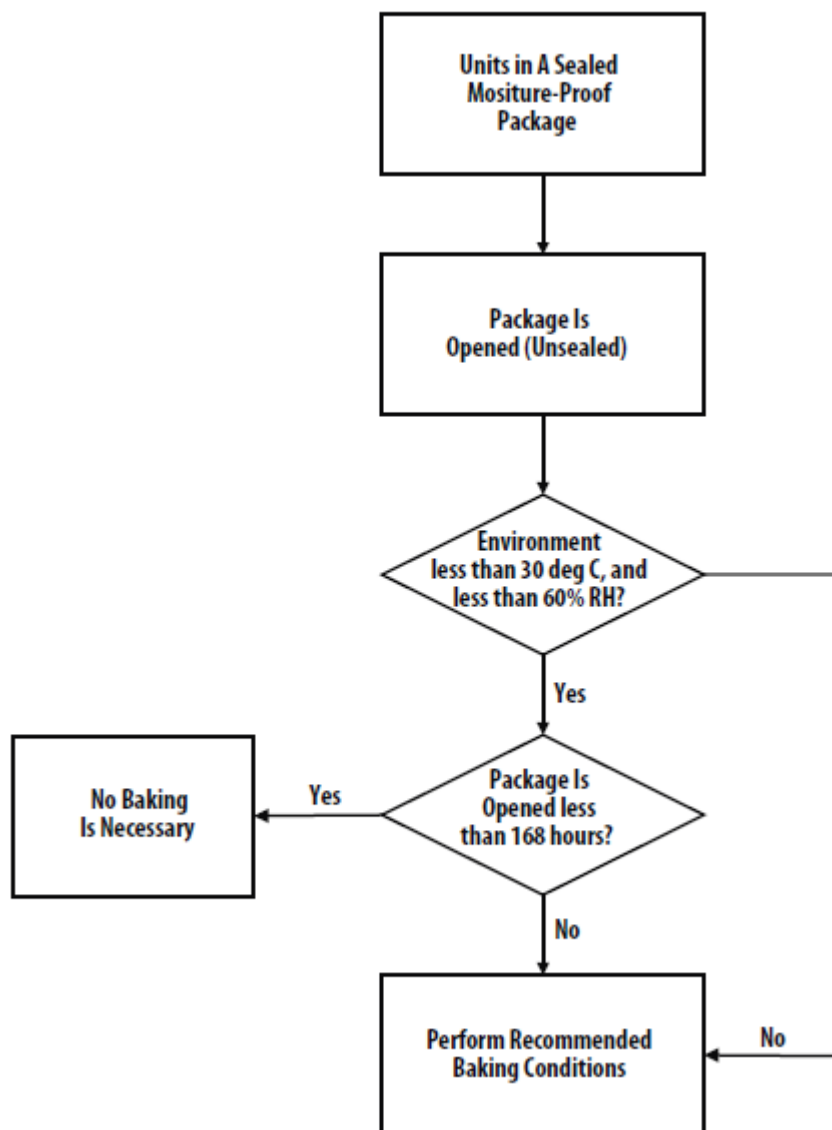
注意：所有线性尺寸均为 mm。

卷尺寸



防潮包装

所有 APDS-9960 选件都装有防潮包装。一旦打开, 吸收开始。该部分符合 JEDEC MSL 3。



烘焙条件

Package	Temperature	Time
In Reel	60 °C	48 hours
In Bulk	100 °C	4 hours

如果零件没有在干燥条件下储存，则必须在回流之前进行烘烤，以免损坏零件。烘烤只能做一次。

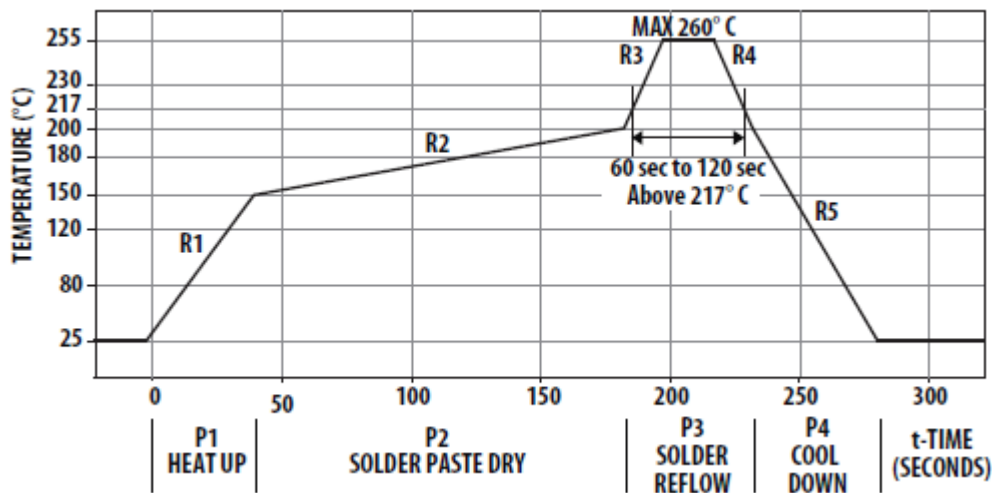
推荐的储存条件

Storage Temperature	10 °C to 30 °C
Relative Humidity	below 60% RH

从开封到焊接的时间

从袋中取出后，如果在推荐的储存条件下储存，部件应在 168 小时内焊接。如果需要 168 小时以上，则必须将这些部件储存在干燥箱中。

推荐回流曲线



Process Zone	Symbol	ΔT	Maximum $\Delta T/\Delta \text{time}$ or Duration
Heat Up	P1, R1	25 °C to 150 °C	3 °C/s
Solder Paste Dry	P2, R2	150 °C to 200 °C	100 s to 180 s
Solder Reflow	P3, R3	200 °C to 260 °C	3 °C/s
	P3, R4	260 °C to 200 °C	-6 °C/s
Cool Down	P4, R5	200 °C to 25 °C	-6 °C/s
Time maintained above liquidus point , 217 °C		> 217 °C	60 s to 120 s
Peak Temperature		260 °C	–
Time within 5 °C of actual Peak Temperature		> 255 °C	20 s to 40 s
Time 25 °C to Peak Temperature		25 °C to 260 °C	8 mins

回流曲线是对流回流焊接工艺的标称温度曲线的直线表示。温度曲线分为四个过程区，每个过程区具有不同的 $\Delta T/\Delta \text{time}$ 温度变化率或持续时间。 $\Delta T/\Delta \text{time}$ 时间率或持续时间详见上表。在印刷电路板连接的部件处测量温度。

在处理区 P1 中，将 PC 板和部件销加热至 150°C 的温度以激活焊膏中的焊剂。温度升高速率 R1 限制在每秒 3 °C，以便均匀加热 PC 板和组件引脚。

处理区 P2 应具有足够的时间（100 至 180 秒）以干燥焊膏。温度升高到刚好低于焊料液相点的水平。

处理区 P3 是焊料回流区。在 P3 区，将温度迅速升至高于液相点至 260 °C（500 °F），以达到最佳效果。焊料液相点以上的停留时间应在 60 到 120 秒之间。这是为了确保焊膏适当地聚集成液体焊料并形成良好的焊接连接。超过推荐的停留时间，焊料连接中的金属间生长过度，导致形成弱和不可靠的连接。然后将温度迅速降低到低于焊料固相线温度的点，以使连接中的焊料冻结固体。

过程区 P4 是焊料冷冻后的冷却。冷却速率 R5 从焊料的液相点到 25 °C（77 °F）的最大值不能超过 6 °C。这个限制是必要的，以便 PC 板和组件引脚均匀地改变尺寸，对元件施加最小的应力。

建议进行回流焊接不超过两次。