

LT8960L

2. 4G 无线 beacon 芯片

芯片特点

- 包括射频前端和数字基带的单芯片解决方案。
- 超低成本、超小面积、超低价格。
- 外围电路极为简单。
- 最大发射功率 8dBm，支持可调。
- 1Mbps 时同步位为 32bits, 16bits; 250Kbps, 125Kbps, 62.5Kbps 时同步位为 32bits, 16bits。推荐使用 32bits，容错 1bits。
- 灵敏度 -98dBm@62.5K
- 支持免 LDO 电容设计
- 支持 2M 高速 IIC 通讯
- 支持 24M 单端晶体
- 支持 BLE 广播收发
- 支持跳频



芯片简介

LT8960L 是一款低成本，高集成度的 2.4GHZ 的无线收发芯片，片上集成发射机，接收机，频率综合器，GFSK 调制解调器。发射机支持功率可调，接收机采用数字扩展通信机制，在复杂环境和强干扰条件下，可以达到优良的收发性能。外围电路简单，只需搭配 MCU 以及少数外围被动器件。LT8960L 传输 GFSK 信号，发射功率最大可以到 8dBm。接收机采用低中频结构，接收灵敏度可以达到 -98dBm@62.5Kbps。

片上的发射接收 FIFO 寄存器可以和 MCU 进行通信，存储数据，然后在空中传输。它内置了 CRC，重传机制，支持 BLE 广播包收发大大简化系统设计并优化性能。数字基带支持 2 线 I2C（非标）接口。

为了提高电池使用寿命，芯片在各个环节都降低功耗，在保持寄存器值条件下，最低电流为 5uA。

芯片采用 DFN8/SOP8/SOT23-8 封装，符合 RoHS 标准

典型应用

- BLE 电子标签
- 无线遥控
- 无线键盘鼠标
- 无线组网
- 智能家居
- 工业和商用近距离通信
- 机器间相互通信

1. 极限值

Table 1. 极限值

Parameter	Symbol	MIN	TYP	MAX	Unit
工作温度.	T_{OP}	-20	25	+85	°C
存储温度.	$T_{STORAGE}$	-55		+125	°C
工作电压	V_{IN_MAX}	2.4V	3.3V	+3.7	VDC
I/O 电压	V_{OTHER}	-0.3		+3.7	
输入射频信号强度	P_{IN}			+6	dBm

Notes:

1. 极限值表示芯片在超出此条件工作时，可能会损坏。芯片在建议工作值范围内功能正常。
2. 芯片对静电比较敏感，在运输和存储时，最好使用防静电设备，用机器或手工焊接时要有良好的接地。

2. 电气特性

Table 2. 电气特性

下面的电气特性都是在 $T_A = 25\text{ C}$, $LDO_VDD = VDD_IO = 3.3\text{ VDC}$ 条件下得到的。

Parameter	Symbol	MIN	TYP	MAX	Units	Test Condition and Notes
工作电压						
直流工作电压		2.4	3.3	3.7	VDC	Input to VDD_IO and LDO_VDD pins.
工作电流						
TX 工作电流	IDD_TXH		26	40	mA	POUT =6dBm
RX 工作电流	IDD_RX		15		mA	
Idle mode 工作电流	IDD_IDLE		1.7		mA	Configured for BRCLK output running.
Sleep mode 工作电流	IDD_SLP		5		uA	
数字输入						
高电平电压	VIH	0.8		1.2	V	
		VDD_IN		VDD_IN		
低电平电压	VIL	0		0.8	V	
输入电容	C_IN			10	pF	
输入漏电	I_LEAK_IN			5	uA	
数字输出						
高电平电压	VOH	0.8		VDD_IN	V	
		VDD_IN				
低电平电压	VOL			0.4	V	
输出电容	C_OUT			10	pF	
输出漏电	I_LEAK_OUT			10	uA	
I2C 电平边沿时间	T_RISE_OUT			5	nS	
时钟信号						
I2C 时钟沿上升下降时间	Tr_spi			25	nS	Requirement for error-free register reading, writing.
I2C 时钟速度	FSPI	0	2		MHz	
收发器特性						
工作频率	F_OP	2400		2482	MHz	
天线端口差异	VSWR_I		<2:1		VSWR	Receive mode.
(Z0=50Ω)	VSWR_O		<2:1		VSWR	Transmit mode.

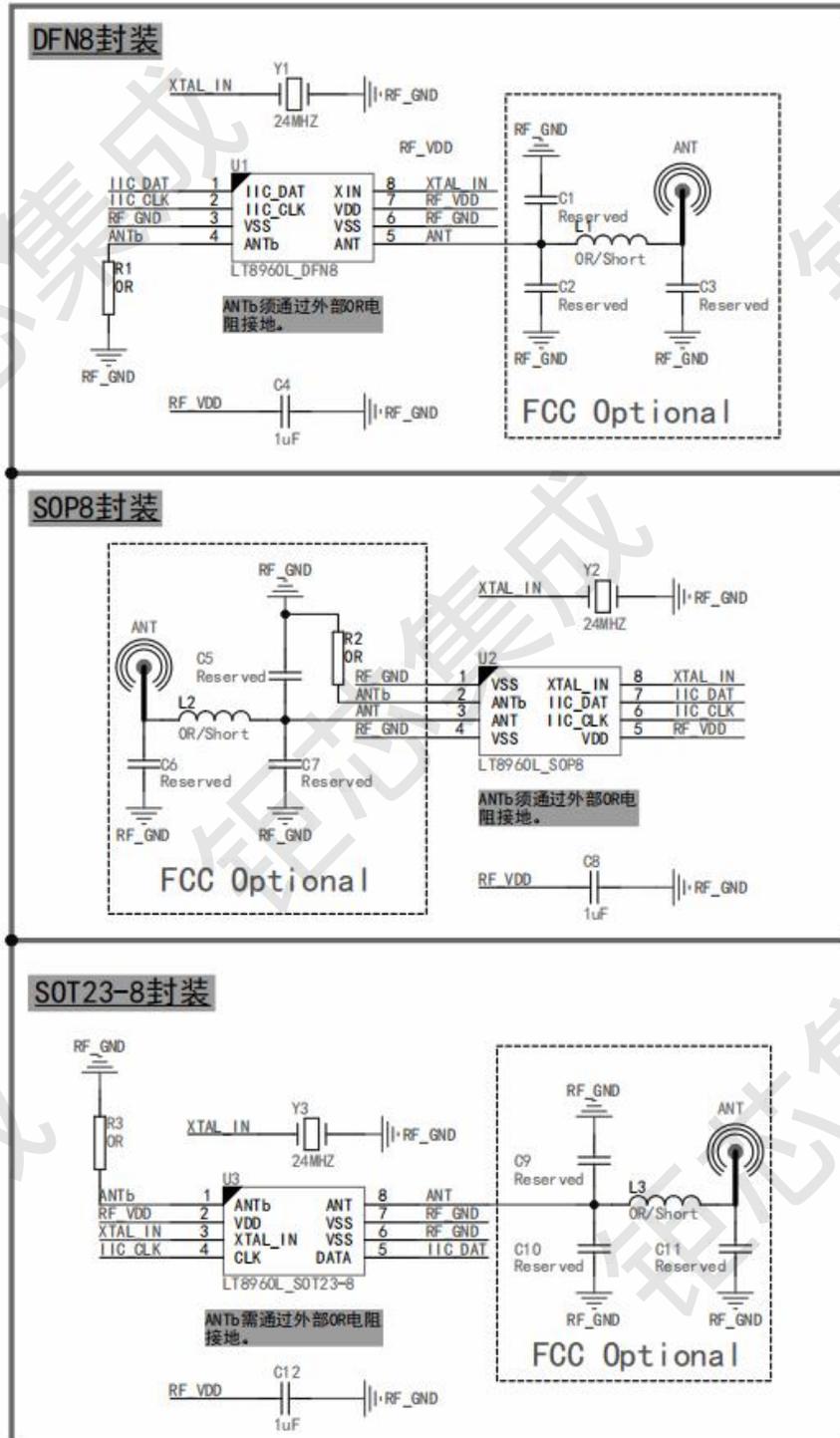
Parameter	Symbol	MIN	TYP	MAX	Unis	Test Condition and Notes
Receive Section						Measured using 50 Ohm balun. For BER ≤ 0.1%:
接收灵敏度			-87		dBm	1Mbps
			-90		dBm	250Kbps
			-93		dBm	125Kbps
			-98		dBm	62.5Kbps
最大输入功率		-20	1		dBm	
数据率	T _s		1		us	
Transmit Section						Measured using 50 Ohm balun3:
发射功率	PAV			6		POUT= maximum output power Reg09=0x4800
			2	6	dBm	POUT = nominal output power, Reg09=0x7830
		-17				POUT=minimum output power, Reg09=1FC0
二次谐波			-50		dBm	Conducted to ANT pin.
三次谐波			-50		dBm	Conducted to ANT pin.
调制特性						
最大频偏	00001111 pattern	Δf1avg		280		kHz
	01010101 pattern	Δf2max		225		kHz
带内辐射						
2MHz 频偏	IBS_2			-40		dBm
>3MHz 频偏	IBS_3			-60		dBm
带外辐射	OBS_0_1		< -60	-36		dBm 30 MHz ~ 1 GHz
	OBS_0_2		-45	-30		dBm 1 GHz ~ 12.75 GHz, excludes desired signal and harmonics.
	OBS_0_3		< -60	-47		dBm 1.8 GHz ~ 1.9 GHz
	OBS_0_4		< -65	-47		dBm 5.15 GHz ~ 5.3 GHz

Note:

- 测试是在 2460MHz 频率下进行, 干扰信号以 1MHz 间隔测试。同时因为干扰信号的谐波会影响性能, 所以要对其进行良好的滤波。
- 在一些应用中, 天线前端会加上滤波器, 或者受到天线有效带宽的限制。

Parameter	Symbol	MIN	TYP	MAX	Unit	Test Condition and Notes	
射频 VCO 和 PLL							
PLL 锁定范围	FLOCK	2366		2516	MHz		
发射接收机频偏			--		ppm	Same as XTAL pins frequency tolerance	
信道宽度			1		MHz		
单边带相位噪声			≤ -95		dBc/H z	550kHz offset	
			≤ -115		dBc/H z	2MHz offset	
晶体频率			24.00 0		MHz	Designed for 12 MHz crystal reference freq.	
辐射	OBS_1		< -75	-57	dBm	30 MHz ~ 1 GHz	IDLE state, Synthesizer and VCO ON.
	OBS_2		-68	-47	dBm	1 GHz ~ 12.75 GHz	
LDO 电压							
压降范围	Vdo		0.17	0.5	V	Measured during Receive state	

3. 典型应用



4. 管脚描述

Table 4. 管脚描述

DFN8

Pin No.	Pin Name	Type	Description
1	I2C_DATA	INPUT/OUTPUT	I2C DATA 脚, 当 CLK =0 且 I2C 不工作的时候复用 PKT_FLAG 脚.
2	I2C_CLK	INPUT	I2C 时钟输入脚
3	VSS	VSS	VSS
4	ANTb	Balanced RF	通过 OR 接 GND
5	ANT	Balanced RF	射频输入输出
6	VSS	VSS	VSS
7	VDD	VDD	电源输入
8	XTAL_IN	INPUT/OUTPUT	晶体振荡器输入脚

SOP8

Pin No.	Pin Name	Type	Description
1	VSS	VSS	VSS
2	ANTB	Balanced RF	通过 OR 接 GND
3	ANT	Balanced RF	射频输入输出
4	VSS	VSS	VSS
5	VDD	VDD	电源输入
6	I2C_CLK	INPUT	I2C 时钟输入脚
7	I2C_DATA	INPUT/OUTPUT	I2C DATA 脚, 当 CLK =0 且 I2C 不工作的时候复用 PKT_FLAG 脚.
8	XTAL_IN	INPUT/OUTPUT	晶体振荡器输入脚

SOT23-8

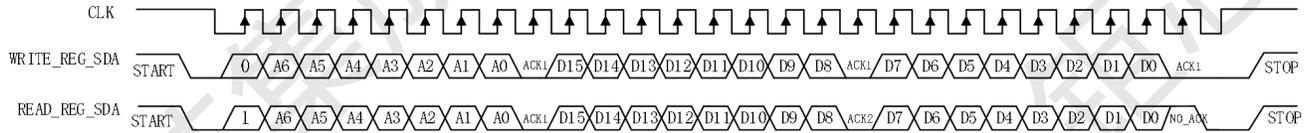
Pin No.	Pin Name	Type	Description
1	ANTB	Balanced RF	通过 OR 接 GND
2	VDD	VDD	电源输入
3	XTAL_IN	INPUT/OUTPUT	晶体振荡器输入脚
4	I2C_CLK	INPUT	I2C 时钟输入脚
5	I2C_DATA	INPUT/OUTPUT	I2C DATA 脚, 当 CLK =0 且 I2C 不工作的时候复用 PKT_FLAG 脚.
6	VSS	VSS	VSS
7	VSS	VSS	VSS
8	ANT	Balanced RF	射频输入输出

5. IIC 接口

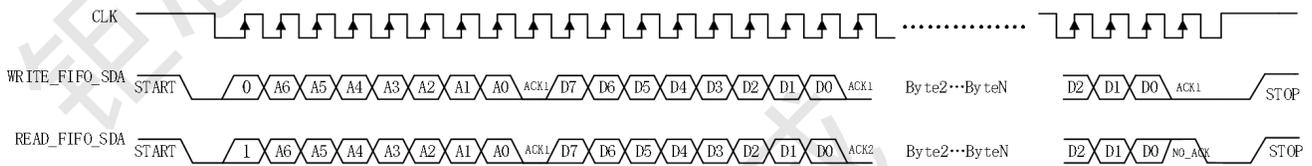
5.1 I2C 命令格式

上升沿采样，下降沿变更数据

I2C 数据传输



LT8960L读写寄存器时序图



LT8960L读写FIFO时序图

需要注意 MCU 写数据到设备时设备响应 ack, 从设备读取数据时, 在得到数据后 MCU 要响应设备 ack/noack, 图中通过 ACK1 和 ACK2 区分不同的响应。

5.2 I2C 特性

Table 4. I2C 特性列表

I2C device Slave Mode Optional Feature List	LT8960L Support?
Standard-mode - 100 kbps	Yes
Fast-mode - 400 kbps	Yes
Fast-mode Plus - 1000 kbps	Yes
High-speed mode - 2000 kbps	No
Clock Stretching	No
10-bit slave address	No
software reset	No

6. 寄存器信息

下面的寄存器可以通过 I2C 访问。有些寄存器是内部调试使用, 建议使用默认值。

寄存器上电默认值与推荐配置

Name	R/W	Description	default	use	config
0	R/W	Reserved (不能修改)	6FE0H	✗	
1	R/W	reserved (不能修改)	5681H	✓	5781H
2	R/W	reserved (不能修改)	6617H	✗	
3	R	状态指示寄存器	-	✓	
7	R/W	设备工作状态设置, 频点配置	0030H	✓	
8	R/W	reserved (高三位无效)	0C90H	-	6C50H
9	R/W	PA 功率配置寄存器(低四位无效)	1800H	✓	
15(0x0F)	R/W	功能配置寄存器	644CH	✓	
17(0x11)	R/W	reserved	0000H	✗	
26(0x1A)	R/W	reserved	39E0H	✓	3A00H
28(0x1C)	R/W	频偏设置	1800H	✓	
32(0x20)	R/W	射频配置	4808H	✓	
35(0x23)	R/W	高字节可操作, 控制 SLEEP 和 AUTO-ACK	0300H	✓	
36/39	R/W	同步字配置	0000H	✓	
37/38	R	固定同步字 0380H 5A5AH, 固化	-----	-	
40(0x28)	R/W	FIFO 溢出控制, 同步字容错设置	4402H	✓	
41(0x29)	R/W	收发模式设置	B000H	✓	
42(0x2A)	R/W	AUTO_ACK 时间设置	FDB0H	✓	
44(0x2C)	R/W	速率设置, 高字节可操作	0101H	✓	
45(0x2D)	R/W	速率设置	0080H	✓	
46(0x2E)	R/W	BLE 信道配置, 高字节可操作	2542H	✓	
48(0x30)	R	状态标志	-	✓	
50(0x23)	R/W	FIFO 64 字节	-	✓	
52(0x24)	R	FIFO 读写指针位置	-	✓	
56(0x38)	R/W	模拟控制寄存器(可读, 仅限于写操作之后)	---	✓	

Register 0x03 (Read only)

Bit	Name	R/W	Description	Default
15:14	reserved	R	reserved	-

13	Pkt_flag_ttrx	R	PKT 状态指示, 发送或者接收完成后置位	-
12	SYNTH_LOCK	R	射频同步锁定指示 1: 锁定 0: 没锁定	-
9	Fifo_flag_ttrx	R	FIFO 状态指示	-
8:1	reserved	R	reserved	-
0	l2c_soft_rstn	R	软件复位标志	-

Register 0x07

Bit	Name	R/W	Description	Default
15:9	reserved	R/W	reserved	0B
8	TX_EN	R/W	使芯片进入 TX 状态, 1 有效 注意: 不能使 TX_EN 和 RX_EN 同时为 1, 同时为 0 进入 idle 状态	0B
7	RX_EN	R/W	使芯片进入 X 状态, 1 有效 注意: 不能使 TX_EN 和 RX_EN 同时为 1, 同时为 0 进入 idle 状态	0B
6:0	PLL_CH_NO[6:0]	R/W	设定 RF 频道, 空中频率为: $f=2402+PLL_CH_NO$	0110000B

Register 0x09

Bit	Name	R/W	Description	Default
15:12	PA_PWCTR [3:0]	R/W	PA 电流控制	0001B
11:7	PA_GN_reg[4:0]	R/W	PA 增益 1	1000 0B
6:4	PAGV[2:0]	R/W	PA 增益 2	000B
3:0	reserved	R	reserved	0B

Register 0x0F

Bit	Name	R/W	Description	Default
15	Ble_mode	R/W	BLE 广播模式, 设为 1 时, 为 BLE 模式, 为 0 时, 为 2.4G 模式	0B
14:12	Miss_byte[2:0]	R/W	不用配置, 取默认值 6 就可以.	110B
11	Ble_mode_set	R/W	BLE_MODE 有效时, 此 BIT 也设置为 1.	0B
10	MIXER_LP	R/W	MIXER_LP 模拟参数配置.	1B
9:7	resv[15:13]	R/W	输出 resv1[15:13] 和 resv2[15:13] 作与的操作后得到 resv[15:13].	000B
6:2	RX_BPF1_GN[4:0]	R/W	给模拟的参数配置 5BIT .	10011B
1	cw_mode	R/W	1: 测试模式, 发射的时候输出正偏最大值.	0B

			0: 正常模式	
0	sda_pullup_sel	R/W	1: sda 脚输出按照 PULLUP 的方式 0: sda 脚输出不按照 PULLUP 的方式	0B

Register 0x10

Bit	Name	R/W	Description	Default
15:14	--	R/W	reserved	00B
13:0	Ref_fq[13:0]	R/W	当前频点负偏 value*405k	1800H

Register 0x20

Bit	Name	R/W	Description	Default
15:13	preamble_len	R/W	000: 1byte, 001: 2bytes, 010: 3 bytes, ... 111: 8 bytes	010B
12:11	syncword_len	R/W	11: 64bits (另外两字节为固定 REG0x24 25 26 27) 10: 48bits (REG0x24 26 27) 01: 32bits, { Reg0x27[15:0], Reg0x24[15:0]} 00: 16 bits, { Reg0x27[15:0]}	01B
10:8	trailer_len	R/W	000: 4 bits, 001: 6bits, 010: 8 bits, 011: 10 bits ... 111: 18bits	000B
7:6	pack_type	R/W	00: NRZ law data 01: Manchester data type 10: 8/10 line code 11: interleave data type	00B
5:4	fec_type	R/W	reserved	00B
3:0	reserved	R/W	reserved	1000B

Register 0x23

Bit	Name	R/W	Description	Default
15	reserved	W	reserved	0B
14	SLEEP_MODE	W	写 1 进入 sleep mode, 先关闭晶体振荡器, 再关闭 LDO (寄存器值将丢失) 当 IIC 唤醒时, 芯片将重新工作	0B
13	reserved	W	reserved	0B
12	brclk_on_sleep	R/W	1: 在 sleep mode 开启晶体振荡器 耗电但能快速启动 (浅睡 1.2ma) 0: 在 sleep mode 关闭晶体振荡器 省电但启动速度慢 (深睡 5ua)	0B
11:8	re_tx_times	R/W	自动重传次数	0011B
7:0	reserved	R	reserved	00H

Register 0x24

Bit	Name	R/W	Description	default
15:0	SYNC_WORD [15:0]	R/W	同步字 0	0000H

Register 0x27

Bit	Name	R/W	Description	default
15:0	SYNC_WORD [31:16]	R/W	同步字 1	0000H

Register 0x28

Bit	Name	R/W	Description	default
15:11	empty_thres	R/W	FIFO 空 设定	01000B
10:6	full_thres	R/W	FIFO 满 设定	10000B
5:0	sync_thres	R/W	认为 SYNCWORD 为正确的阈值 07H 表示可以错 6bits, 01H 表示 0bit 可以错 0bits	00 0010B

Register 0x29

Bit	Name	R/W	Description	default
15	crc_on	R/W	1: 开启 CRC 校验 0: 关闭 CRC 校验	1B
14	RESERVED	R/W	RESERVED	0B
13	pack_length_en	R/W	1: 第一字节表示 payload 的长度, 接收机把收到的第一字节作为长度信息, 待收到目标长度的数据后, 停止接收机。如要写 8 个 byte 有效字节, 那第一个字节应写 8, 总长 9。 0: 由 MCU 控制接收机停止接收。	1B
12	fw_hw_term_en	R/W	1: 当 FIFO 的读指针和写指针相等时, 将关闭发射。 0: 由 MCU 确定长度并关闭发射。	1B
11	AUTO_ACK	R/W	1: 当接收到数据, 自动回 ACK 或者 NACK 0: 接收数据后, 不回 ACK, 直接进入 IDLE	0B
10	PKT_POLARITY	R/W	1: PKT flag 低有效, 收到数据 SDA 脚被拉低。 0: 高有效收到数据时 SDA 脚被拉高。	0B
7:0	CRC_INITIAL_DATA	R/W	CRC 计算初始值	0B

Register 0x2A

Bit	Name	R/W	Description	default
15:10	scan_ch1_no[5:0]	R/W	Reserved	1111 11B
9:8	wake_up_tim[1:0]	R/W	value*4us	01B
7:0	auto_rx_ack_time[7:0]	R/W	等待 RX_ACK 的时间, 1 表示 1us(1Mbps), value*16us (62.5Kbps), 再加上 64us	1011 0000B

Register 0x2C

Bit	Name	R/W	Description	default
15:8	DATARATE[7:0]	R/W	通讯速率 01H: 1Mbps 04H: 250Kbps 08H: 125Kbps 10H: 62.5Kbps	0000 0001B
7:0	Reserved	R	Reserved	01H

Register 0x2D

Bit	Name	R/W	Description	default
15:0	Modem option	R/W	通讯速率是 1Mbps 的时候配置是 0080H, 通讯速率是其他的时候配置是 0552H	0080H

Register 0x2E

Bit	Name	R/W	Description	default
15:14	Reserved	R	Reserved	00B
13:8	Chl_index [5:0]	R/W	BLE 模式下广播频点设置	10 0101B
7:0	Reserved	R	Reserved	42H

Register 0x30

Bit	Name	R/W	Description	default
15	crc_error	R	接收的 CRC 错误时置位, 在 PKT 后读取此位状态 1: CRC 校验错误 0: CRC 校验正确	-
14	Reserved	R	Reserved	-
13:8	framer_st [5:0]	R	Reserved	-
7	rev_sync	R	1: 表示收到 syncword, 正在接收数据状态。 0: 接收数据状态已经结束	-
6	pkt_flag_o_func	R	数据包标志位	-
5	fifo_flag_o_func	R	FIFO 标志位	-
4:0	reserved	R	reserved	-

Register 0x32

Note: FW access FIFO is byte by byte

Bit	Name	R/W	Description	default
15:0	fifo_dataout[15:0]	R/W	MCU 读取 FIFO 数据的接口, FIFO 长度 64 字节。	00H

Register 0x34

Bit	Name	R/W	Description	default
15	fw_clr_wr_ptr	W	1: 清空 TX FIFO 指针为 0	0B
14	Reserved	W	Reserved	-
13:8	fifo_wr_ptr[5:0]	R	FIFO 写指针	-
7	fw_clr_rd_ptr	W	1: 清空 RX FIFO 指针为 0	0B
6	Reserved	W	Reserved	-
5:0	fifo_rd_ptr[5:0]	R	FIFO 读指针	-

Register 0x38

Bit	Name	R/W	Description	default
15: 2	--	W	reserved	
1	l2c_soft_rst	W	I2C 软件复位 Writing '0' to soft reset system.	
0	wakeup_i2c	W	I2C 唤醒 Writing '0' to wake up system.	

7. 操作介绍

RF 复位

将 0x38 寄存器 bit1 位写 0 操作将复位所有寄存器到默认值。因在 sleep 状态下复位操作无效，建议先执行唤醒操作在执行复位操作。

此外需注意 0x38 寄存器 BIT1 BIT0 位不能同时写 0，此操作将会导致 RF 无法进入睡眠模式。

操作参考：

- 第一步：延时 20ms //保证初次上电，电路稳定。
- 第二步：写 0x38 寄存器 0xBFFE //唤醒射频防止射频正处在 SLEEP 状态。
- 第三步：写 0x38 寄存器 0xBFFD //执行复位操作

RF 初始化

基础寄存器配置

- REG 0x01 写 0x5781,
- REG 0x08 写 0x6C50,
- REG 0x26 写 0x3A00, //调制幅度
- REG 0x09 写 0x7830, //发射功率

- REG 0x2C 写 0x1001, //调制速率 62.5Kbps
- REG 0x2D 写 0x0552, //调制速率 62.5Kbps
- REG 0x36 写 用户定义段
- REG 0x39 写 用户定义段
- REG 0x24 写 0x8080, //重置 FIFO

进入 SLEEP 和唤醒

SLEEP:将 0x23 寄存器的 14bit 写 1, RF 将是进入 sleep mode。在 sleep mode 下其他 (0x38 除外) 寄存器写入会失败仅支持读操作。

WAKE UP:将 0x38 寄存器 BIT0 写 0, 芯片会从睡眠模式唤醒，由于唤醒后寄存器数值丢失需要重新初始化寄存器后方可工作。

操作参考：

SLEEP

- 第一步：写射频进入 IDLE 状态
- 第二步：写 0x23 寄存器 0x4x00, 射频进入 sleep

WAKE UP

- 第一步：写 0x38 寄存器 0xBFFE, 射频唤醒
- 第二步：写 0x38 寄存器 0xBFFD, 复位 RF
- 第二步：初始化寄存器

BLE 广播收发功能

LT8960L 支持 BLE4.0 广播收发，不支持连接模式，可以通过移动端 APP 对广播数据的操作，在广播通道实现和 LT8960L 的数据交互，实现移动端控制 LT8960L 设备。

标准 BLE4.0 广播格式



LT8960L 支持 BLE4.0 的广播包发射，PDU 协议单元数据用户自定义填充，实现 i beacon 以及用户自定义 beacon 的发射，接收时可接收所有 BLE 广播格式的数据包。

LT8960L 在使用 BLE 功能时需要先初始配置，发射时根据 BLE 广播要求格式填充 PDU 数据到 FIFO，接收时直接从 FIFO 读取移动端设备广播出的 PDU 数据。

LT8960L BLE 模式初始配置

基础寄存器配置

REG 0x01 写 0x5781,

REG 0x08 写 0x6C90, //2.4G 模式下建议使用 0x6c50

REG 0x09 写 0x7830, //发射功率

REG 0x26 写 0x3A00, //调制幅度

启用 BLE 功能

REG 0x20 写 0x4A00, 数据包格式设置

REG 0x24 写 0xBED6, 接入地址设置。

REG 0x27 写 0x8E89, 接入地址设置。

REG 0x2C 写 0x0101, 设置调制速率为 1Mbps。

REG 0x2D 写 0x0080, 设置调制速率为 1Mbps。

REG 0x0F 写 EDCC, 配置进入 BLE mode。

发射操作如下：

BLE 发射操作

第一步：写 RF 于 IDLE。

第二步：清除 FIFO 指针。

第三步：装填数据到 FIFO。

第四步：配置数据通道。（在 37, 38, 39 信道发射配置 0x2E 分别为 0x2500, 0x2600, 0x2700）

第五步：在目标频点使能发射。（在 37, 38, 39 信道发射配置发射频点为 2402M, 2426M, 2480M）

第六步：延时操作或者判定 PKT 引脚保证数据包发送完成。

BLE 接收操作

- 第一步：写 RF 于 IDLE。
- 第二步：配置数据通道。（在 37, 38, 39 信道接收配置 0x2E 分别为 0x2500, 0x2600, 0x2700）
- 第三步：在目标通道使能接收。（在 37, 38, 39 信道接收配置接收频点为 2402M, 2426M, 2480M）
- 第四步：等待 PKT 信号（REG0x03 REG0x30 或 PKT 引脚）。
- 第三步：读取 FIFO 数据。

2. 4G 空中数据包格式

Preamble	SYNC	Trailer	Payload	CRC
----------	------	---------	---------	-----

- Preamble: 1~8 bytes, programmable.
- SYNC: 16/32bits, programmable as device syncword.
- Trailer: 4~18 bits, programmable.
- Payload: TX/RX data. There are 4 data types:
 - Raw data
 - 8 bit / 10 bit line code
 - Manchester
 - Interleave with FEC option
- CRC: 16-bit CRC is optional.

2. 4G 接收发射操作

发射操作

- 第一步：写 RF 于 IDLE。
- 第二步：清除 FIFO 指针。
- 第三步：装填数据到 FIFO。
- 第四步：使能发射。
- 第五步：延时操作或者判定 PKT 引脚保证数据包发送完成。

接收操作

- 第一步：写 RF 于 IDLE。
- 第二步：使能接收。（如果通过检测硬件触发需要将 CLK 拉低, 此时根据 SDA 脚将作为 pkt 引脚）
- 第三步：等待 pkt 信号 判定 CRC（REG0x03 REG0x30, 或 pkt 引脚）。
- 第三步：根据包长, 读取 FIFO 数据。

FIFO 指针寄存器说明

在发射前, 要将 FIFO 读写指针清空, 这可以通过向寄存器 0x34 写入 0x8080 来实现。在写入数据到 FIFO 时, FIFO 写指针指示写入位置, 发射时, FIFO 读指针指示已发射位置。

当接收器收到 SYNC 时, FIFO 指针会自动清 0。

当接收到数据包, 写指针将指示 FIFO 中有多少 bytes 数据, 超过 64 字节后将会覆盖 FIFO, 当读取 FIFO 的数据时, 读指针指示读取位置。

发射接收模式说明

LT8960L 提供两种方式去确定 RX 包长度, 当寄存器 41[13]=1 时, 内部状态机会根据 payload 第一个 byte 数据来检测包长度, 待后续收到的长度相等时主动停止接收机工作。当寄存器 41[13]=0 时, 用户可根据当前收到的数据来主动进入 IDLE 停止接收机工作。

LT8960L 提供两种方式去确定 TX 包长度, 当寄存器 41[12]=1 时, 内部状态机会把 FIFO 第一字节作为发射长度。当寄存器 41[12]=0 时, 用户需要自己根据 FIFO 指针, 来判定已发射数据, 合理做出 IDLE 指令。

射频发射参考时间

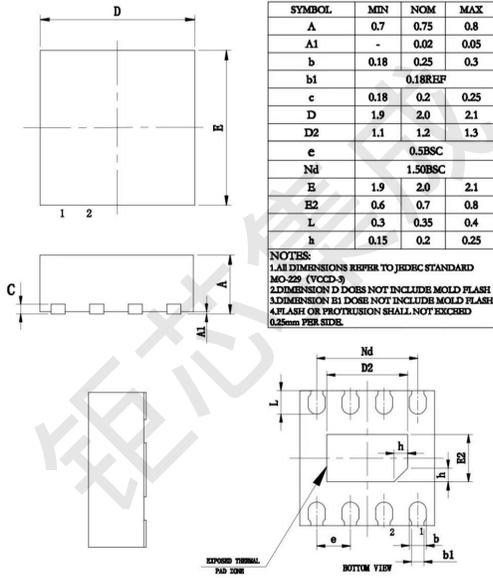
字节	时长 uS@1Mbps	时长 uS@250Kbps	时长 uS@125Kbps	时长 uS@62.5Kbps
1	347	543	816	1343
2	347	582	875	1481
3	367	602	934	1598
4	367	641	1012	1735
5	367	680	1070	1871
6	386	699	1129	1988
7	386	738	1187	2125
8	406	777	1265	2242
9	406	797	1324	2379
10	406	836	1382	2497
11	425	875	1461	2633
12	425	894	1520	2750
13	445	933	1578	2887
14	445	953	1637	3004
15	445	992	1715	3141
16	465	1031	1774	3277
17	465	1051	1832	3394
18	485	1090	1910	3532
19	485	1129	1969	3649
20	485	1148	2027	3786
21	504	1187	2086	3903
22	504	1226	2164	4039
23	524	1246	2222	4156
24	524	1285	2281	4293
25	524	1304	2359	4430
26	543	1343	2418	4548
27	543	1382	2477	4684
28	562	1402	2536	4801
29	562	1441	2614	4938
30	582	1481	2672	5055
31	582	1500	2731	5192
32	582	1539	2789	5309

功率设置参考表

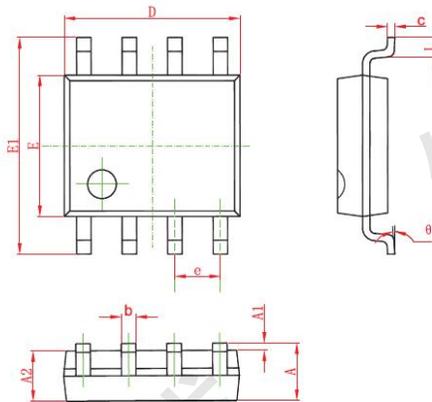
OX09 寄存器配置值	发射功率	瞬时发射电流
0x7830	8db	40 ma
0x7930 (0930)	6db	31 ma
0x7a30	5db	26 ma
0x7b30	3.4db	23 ma
0x7c30	0.2db	19 ma
0x7d30	-1.5db	17 ma
0x7e30	-4db	15 ma
0x7f30	-7db	13 ma
0x3f30	-9db	11 ma
0x3fb0	-13db	9ma
0x3fc0	-19db	7ma

8. 封装形式

DFN8:



SOP8:



字符	Dimension In Millimeters	
	Min	Max
A	1.500	1.700
A1	0.040	0.120
A2	1.350	1.550
b	0.300	0.500
c	0.190	0.250
D	4.800	5.000
E	3.840	4.040
E1	5.900	6.100
e	1.27 (BSC)	
L	0.520	0.720
θ	0°	8°

9. 应用注意事项

1. 设备 SLEEP 后,唤醒操作执行后寄存器数值会丢失,需要重新初始化相关寄存器。
2. 设备发射数据时(空中传输时)操作 IIC 会影响数据的传输质量,建议使能发射后进行适当延时操作,让空中数据平稳传输。
3. 设备 IIC 输出驱动弱,建议 IIC 走线要短。
4. 1Mbps 数据率传输近距离存在阻塞死区(收发相距 15cm 内增益过强导致通讯变差),推荐用户使用 62.5Kbps 传输距离更远且不存在死区。也可通过降低接收灵敏度减少死区范围,具体操作:0x38 寄存器写 0xBCDF 0x0F 寄存器写 0x643C 降低接收灵敏度缩小死区。如需恢复灵敏度,用户可 0x38 寄存器写 0XBFFF,0x0F 寄存器写 0x644C 恢复灵敏度。
5. 射频部分 layout 时建议晶体底部镂空。
6. LT8960L 的 SDA 引脚可复用位 PKT_FLAG,在用户设置接收或者发射后,立刻将 CLK 引脚拉低,此后产生 PKT 后 SDA 的电平状态将会动作。
7. 使用 BLE 模式时 0x08 寄存器写 0x6c90,2.4G 模式时 0x08 寄存器写 0x6C50 (62.5Kbps),其他速率写 0x6c90。