ESP8266

低功耗解决方案

版本 1.3

关于本手册

本文向用户介绍了 ESP8266 系列芯片的睡眠模块和低功耗解决方案，主要内容包括：

章	标题	内容
第 1 章	概述	概述 ESP8266 系列芯片的睡眠模式。
第 2 章	Modem-sleep	介绍 Modem-sleep 的特性、接口和应用。
第 3 章	Light-sleep	介绍 Light-sleep 的特性、接口、外部唤醒和应用。
第 4 章	Deep-sleep	介绍 Deep-sleep 的特性、接口、唤醒、应用和低功耗解决方案。

发布说明

日期	版本	发布说明
2015.06	V1.0	首次发布。
2016.04	V1.1	增加“4.5 节 低功耗解决方案“。
2016.07	V1.2	增加对于 Light-sleep 注意事项。
2016.08	V1.3	更新表 1-1； 增加对于 Deep-sleep 特性的说明事项； 增加“4.3.1 节 自动唤醒”。

目录

1. 概述

ESP8266 系列芯片提供三种可配置的睡眠模式，针对这些睡眠模式，我们提供了多种低功耗解决方案，用户可以结合具体需求选择睡眠模式并进行配置。三种睡眠模式如下：

- Modem-sleep
- Light-sleep
- Deep-sleep

三种模式的区别如表 1-1 所示。

表 1-1. 三种睡眠模式比较

项目		Modem-sleep		Light-sleep		Deep-sleep
		自动	强制	自动	强制	强制
Wi-Fi 连接		保持	断连	保持	断连	断连
GPIO 状态		保持		保持		保持（2 μA）
Wi-Fi		关闭		关闭		关闭
系统时钟		开启		关闭		关闭
RTC		开启		开启		开启
CPU		开启		暂停		关闭
衬底电流		15 mA		0.4 mA		～ 20 μA
平均电流	DTIM = 1	16.2 mA		1.8 mA		–
	DTIM = 3	15.4 mA		0.9 mA		
	DTIM = 10	15.2 mA		0.55 mA		

📖 **说明：**

- 对于 *Modem-sleep* 和 *Light-sleep* 模式，*SDK* 提供接口来使能睡眠模式，并由系统底层决定何时进入睡眠。具体请参考“第 *2* 章 *Modem-sleep*”和“第 *3* 章 *Light-sleep*”。
- 在 *Deep-sleep* 模式下，何时进入睡眠由用户控制，调用接口函数就可立即进入 *Deep-sleep* 模式。具体请参考“第 *4* 章 *Deep-sleep*”。
- *RTC*（*Real-Time Clock*）：实时时钟。
- *DTIM*（*Delivery Traffic Indication Message*）：使用无线路由器时无线发送数据包的频率。

2. Modem-sleep

2.1. 特性

目前 ESP8266 的 Modem-sleep 仅工作在 Station 模式下，连接路由器后生效。ESP8266 通过 Wi-Fi 的 DTIM Beacon 机制与路由器保持连接。

> 📖 **说明：**
>
> 一般路由器的 *DTIM Beacon* 间隔为 *100 ms ~ 1000 ms*。

在 Modem-sleep 模式下，ESP8266 会在两次 DTIM Beacon 间隔时间内，关闭 Wi-Fi 模块电路，达到省电效果，在下次 Beacon 到来前自动唤醒。睡眠时间由路由器的 DTIM Beacon 时间决定。睡眠同时可以保持与路由器的 Wi-Fi 连接，并通过路由器接受来自手机或者服务器的交互信息。

2.2. 接口说明

2.2.1. 自动休眠

系统通过以下接口进入 Modem-sleep 模式。

```
wifi_set_sleep_type(MODEM_SLEEP_T)
```

> 📖 **说明：**
>
> 在 *Modem-sleep* 模式下，系统可以自动被唤醒，无需配置接口。

2.2.2. 强制休眠

用户可以使系统强制进入 Modem-sleep 模式，即调用强制休眠接口，强制关闭射频。关于强制休眠接口的说明，请参考《ESP8266 Non-OS SDK API Reference》中的“3.7 节 强制休眠接口“和《ESP8266 RTOS SDK API Reference》中的“4.12 节 Force Sleep APIs“，下载链接为：http://www.espressif.com/zh-hans/support/download/documents。

> ⚠ **注意：**
>
> 强制休眠接口调用后，并不会立即休眠，而是等到系统空闲任务执行时才进入休眠。

2.3. 应用

Modem-sleep 一般用于必须打开芯片 CPU 的应用场景，例如 PWM 彩灯，需要 CPU 实时控制。

3. Light-sleep

3.1. 特性

Light-sleep 的工作模式与 Modem-sleep 相似，不同的是，除了关闭 Wi-Fi 模块电路以外，在 Light-sleep 模式下，还会关闭时钟并暂停内部 CPU，比 Modem-sleep 功耗更低。

> ⚠ **注意：**
>
> 在 *Light-sleep* 之前把处于输出状态的管脚改为输入状态，比如：*MTDO*、*U0TXD*、*GPIO0*，消除管脚上的漏电，可使 *Light-sleep* 的功耗更低。

3.2. 接口说明

3.2.1. 自动休眠

系统通过以下接口进入 Light-sleep 模式。

```
wifi_set_sleep_type(LIGHT_SLEEP_T)
```

> 📖 **说明：**
>
> 在 *Wi-Fi* 连接后，并且 *CPU* 处于空闲状态时，会自动进入 *Light-sleep* 状态。

3.2.2. 强制休眠

用户可以使系统强制进入 Light-sleep 模式，即调用强制休眠接口，强制关闭射频。关于强制休眠接口的说明，请参考《ESP8266 Non-OS SDK API Reference》中的“3.7 节 强制休眠接口“和《ESP8266 RTOS SDK API Reference》中的“4.12 节 Force Sleep APIs“，下载链接为：http://www.espressif.com/zh-hans/support/download/documents。

> ⚠ **注意：**
>
> 强制休眠接口调用后，并不会立即休眠，而是等到系统空闲任务执行时才进入休眠。

3.3. 外部唤醒

在 Light-sleep 模式下，CPU 在暂停状态下不会响应来自外围硬件接口的信号与中断，因此需要配置通过外部 GPIO 信号将 ESP8266 唤醒，唤醒过程小于 3 ms。

通过 GPIO 唤醒只能配置为电平触发模式，接口如下。

```
void wifi_enable_gpio_wakeup(uint32 i, GPIO_INT_TYPE intr_state);
```

例如：设置 GPIO12 为唤醒 GPIO 管脚。

```
GPIO_DIS_OUTPIT(12);
PIN_FUNC_SELECT(PERIPHS_IO_MUX_MTDI_U, FUNC_GPIO12);
wifi_enable_gpio_wakeup(12, GPIO_PIN_INTR_LOLEVEL);
```

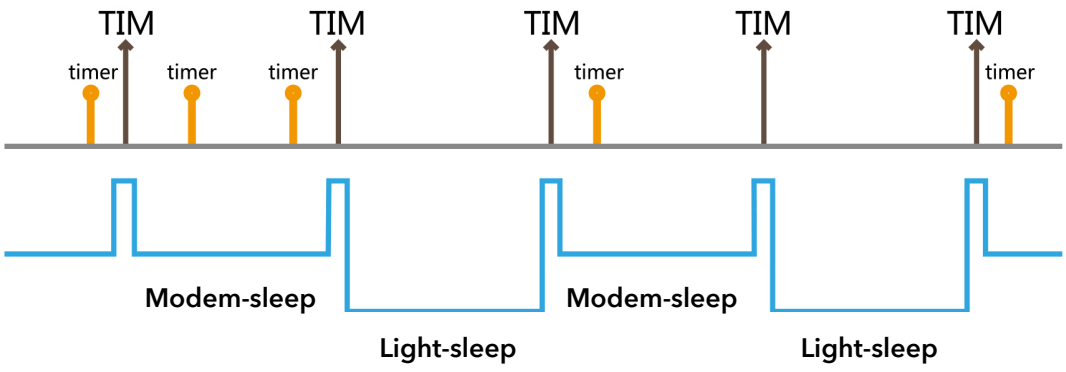
uint32 i	唤醒功能的 IO 序号。
GPIO_INT_TYPE intr_state	唤醒的触发模式。 • GPIO_PIN_INTR_LOLEVEL • GPIO_PIN_INTR_HILEVEL

> 📖 **说明：**
>
> *GPIO16* 不能用于唤醒。

3.4. 应用

Light-sleep 模式可用于需要保持与路由器的连接，可以实时响应路由器发来的数据的场合。并且在未接收到命令时，CPU 可以处于空闲状态。比如 Wi-Fi 开关的应用，大部分时间 CPU 都是空闲的，直到收到控制命令，CPU 才需要进行 GPIO 的操作。

> 📖 **说明：**
>
> 若系统应用中有小于 *DTIM Beacon* 间隔时间的循环定时，系统将不能进入 *Light-sleep* 模式。如下图所示：



4. Deep-sleep

4.1. 特性

相对于其他两种模式，系统无法自动进入 Deep-sleep，需要由用户调用接口函数 `system_deep_sleep` 来控制。在该模式下，芯片会断开所有 Wi-Fi 连接与数据连接，进入睡眠模式，只有 RTC 模块仍然工作，负责芯片的定时唤醒。

> 📖 **说明：**
>
> 在 *Deep-sleep* 状态下，*GPIO* 电平状态可以保持，具有 *2 μA* 的驱动能力 。

4.2. 接口说明

4.2.1. 使能 Deep-sleep

通过以下接口使能 Deep-sleep。

```
void system_deep_sleep(uint32 time_in_us)
```

参数说明：

uint32 time_in_us ＝0	不会定时唤醒，即不会主动醒来。
uint32 time_in_us ≠0	会在设定的时间后，自动唤醒（单位：μs）。

4.2.2. 配置 Deep-sleep

可以通过以下接口配置 Deep-sleep 唤醒时的软件工作流程，从而影响长期运行的平均功耗。

```
bool system_deep_sleep_set_option(uint8 option)
```

deep_sleep_set_option(0)	由 `init` 参数的第 108 字节控制 Deep-sleep 醒来后是否作射频校准。
deep_sleep_set_option(1)	表示下一次 Deep-sleep 醒来后要作射频校准，功耗较大。
deep_sleep_set_option(2)	表示下一次 Deep-sleep 醒来后不作射频校准，功耗较小。
deep_sleep_set_option(4)	表示下一次 Deep-sleep 醒来后，不打开射频，和 Modem-sleep 一样，电流最小。

> 📖 **说明：**
>
> `init` 参数即 *esp_init_data_default.bin* 内的参数值。比如，将第 *108* 字节的数据改为 *8*，并且调用 `deep_sleep_set_option(0)`，则表示芯片每 *8* 次 *Deep-sleep* 唤醒才会进行射频校准。用户可以参考 *ESP8266* 低功耗传感器示例应用，链接如下：
> *https://github.com/EspressifSystems/low_power_voltage_measurement*。

4.3. 唤醒

4.3.1. 自动唤醒

在 Deep-sleep 状态下，可以将 GPIO16（XPD_DCDC）连接至 EXT_RSTB。计时到达睡眠时间后，GPIO16 输出低电平给 EXT_RSTB 管脚，芯片即可被重置并被唤醒。

4.3.2. 外部唤醒

在 Deep-sleep 状态下，可以通过外部 IO 在芯片 EXT_RSTB 管脚上产生一个低电平脉冲，芯片即可被重置并被唤醒。

> ⚠ **注意：**
>
> 如果自动唤醒与外部唤醒须要同时作用，须要在外部电路设计时，使用合适的线逻辑操作电路。

4.4. 应用

Deep-sleep 可以用于低功耗的传感器应用，或者大部分时间都不需要进行数据传输的情况。设备可以每隔一段时间从 Deep-sleep 状态醒来测量数据并上传，之后继续进入 Deep-sleep。也可以将多个数据存储于 RTC memory（RTC memory 在 Deep-sleep 模式下仍然可以保存数据），然后一次发送出去。

4.5. 低功耗解决方案

我们提供了以下 8 种方案来减少 Deep-sleep 模式的功耗。

1. 设置立即进入 Deep-sleep，缩短设备进入 Deep-sleep 的时间。

函数定义：

```
void system_deep_sleep_instant(uint32 time_in_us)
```

示例代码：

```
//Deep-sleep for 5 seconds, and then wake up
system_deep_sleep_instant(5000*1000);
```

> 📖 **说明：**
>
> 函数 `system_deep_sleep_instant` 未外部声明，但可以直接调用。

2. 设置 Deep-sleep 唤醒后不进行射频校准，以缩短芯片初始化的时间和降低芯片初始化时的电流。

```
system_deep_sleep_set_option(2);
```

3. 适当降低射频功耗。

如果应用场景不需要较高的 Tx 的峰值，可以适当降低射频功耗。

使用 ESP8266 Download Tool (v1.2 及以上版本)，在 ***RF InitConfig*** 页签修改射频功耗。修改后生成的 *esp_init_data_setting.bin* 文件，可以替换 *esp_init_data_default.bin* 文件并下载。

4. 使用以下指令修改 BIN 文件，缩短 Flash 初始化的时间和降低 Flash 初始化时的电流。

```
python add_low-power_deepsleep_cmd.py ./bin file
```

若使用支持在线升级（FOTA）的固件，使用脚本修改 *boot_v1.5.bin* 后生成 *boot_v1.5_low_power.bin* 下载到 `0x0` 地址。

如果使用不支持在线升级（Non-FOTA）的固件，使用脚本修改 *eagle.flash.bin* 后生成 *eagle.flash_low_power.bin* 下载到 `0x0` 地址。

> 📖 **说明：**
>
> 您可以通过如下链接下载脚本文件 *Add_Low-power_Cmd*：
> *http://www.espressif.com/en/support/download/other-tools*。

5. 选择 Flash 型号和工作模式。

选择特殊型号的 Flash，可明显缩短从 Flash 加载固件的时间，例如 ISSI-IS25LQ025。适当的工作模式，也可以缩短从 Flash 加载固件的时间，建议 Flash 工作模式尽量选择四线工作模式。

6. 设置清空 UART FIFO，减少打印时间。

FIFO（先入先出队列）是 UART 的缓存器，强制将串行通信的每个字节按照接收的顺序进行传送。FIFO 打印消耗时间较多，尽量避免大量打印。所以在设置休眠前应清空 UART FIFO，否则，系统会等待 UART FIFO 打印结束才进入睡眠，将消耗较多时间。

```
SET_PERI_REG_MASK(UART_CONF0(0), UART_TXFIFO_RST);//RESET FIFO
CLEAR_PERI_REG_MASK(UART_CONF0(0), UART_TXFIFO_RST);
```

7. 集中发包。

因为发包动作持续时间短（与睡眠醒来的时间相比）、消耗能量少，建议集中发送数据，在 Deep-sleep 醒来之后，一次发送多个数据包。

8. esp_iot_sdk_v1.4.0、esp_iot_rtos_sdk_v1.3.0 及其之后版本优化了降低功耗的能力，请使用新版本的 SDK。

> 📖 **说明：**
>
> 实际测试中发现，由于 *Light-sleep* 唤醒时间短（*<3ms*），如果应用场景中设备睡眠时间 *<2s*，宜采用 *Light-sleep* 工作模式，更节省功耗；如果睡眠时间 *>2s*，则宜采用 *Deep-sleep* 工作模式，更节省功耗。

乐鑫 IOT 团队

www.espressif.com