

在低功耗蓝牙信标应用中的一种节电方法

Albin Zhang/Yan Zhang

Wireless connectivity solution

摘要

德州仪器 (TI) CC2640 是一款面向 Bluetooth Smart 应用的无线 MCU。极低的有源 RF 和 MCU 电流以及低功耗模式流耗可确保卓越的电池使用寿命。该芯片在蓝牙信标 (Beacon) 市场中也得到了广泛的应用。

广播的信号可被归类为可被连接和不可被连接广告包两种。通常来讲, 由于没有信号接收窗口, 不可被连接信标应用功耗要低于可被连接信标功耗。本文主要介绍一种通过调整接收窗口周期的方法, 既可以保证器件可被连接特性, 又可以达到节电的目的。

本文需要读者具备低功耗蓝牙协议的基本知识, 并且对功耗指标测试有所了解。

目录

1	蓝牙 Beacon	2
2	广告包的混合模式的实现	4
3	测试结果	6
	参考文献	7

Figures

Figure 1.	Connectable beacon.....	2
Figure 2.	Non-Connectable beacon.....	2
Figure 3.	Current profile of Connectable beacon.....	3
Figure 4.	Current profile of Non-Connectable beacon	3
Figure 5.	Current profile of Mixed mode	4

Tables

Table 1.	Current consumption Test example based a configuration	6
-----------------	--	----------

1 蓝牙 Beacon

Beacon 技术最简单的理解可以是一个小型的信息基站，而多个 Beacon 能构成信息服务网络。低功耗蓝牙 Beacon 由于其低成本、低尺寸、低功耗、和手机互联互通好等特性，获得了很好的市场发展。

由于大多数 Beacon 的器件都是电池供电的，电池寿命会关系到系统成本和用户体验，功耗是一个非常重要的指标。

Beacon 器件在工作过程中发的 ADV 广告包，可分为可被连接广告包和不可被连接广告包。顾名思义，“可被连接广告包”就是在 ADV_IND 包发射之后，会打开一个接收窗口来接收来自其他 BLE 器件的连接/扫描请求。图（1）是一个可被连接包的空口事件流程图。

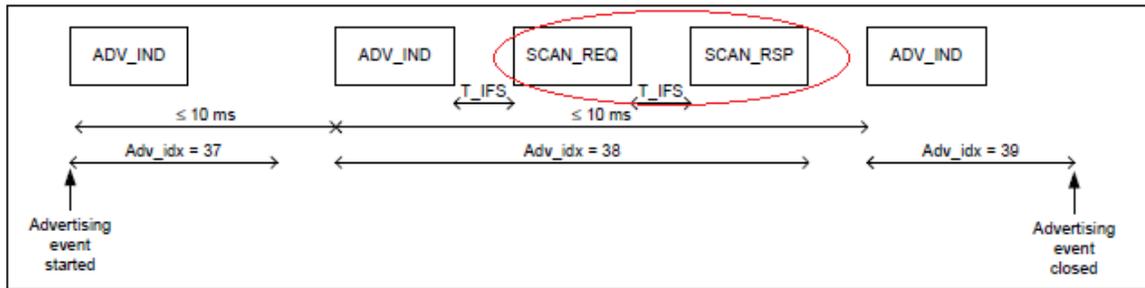


Figure 1. Connectable beacon

在不可被连接广告包的时序图中，器件端并不会流出接收窗口来接收连接请求。也就是说，Beacon 的工作是独立的，程序和内部数据是不可被更新的。如下图（2）

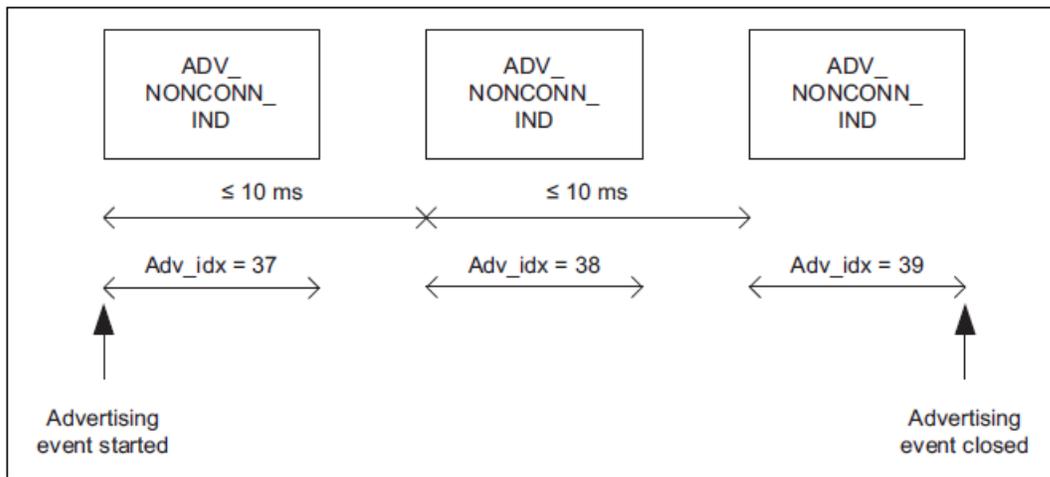


Figure 2. Non-Connectable beacon

从物理层的时序状态可以看出：

- 可被连接广告包具有可被连接的特点。这个是在某些 Beacon 的应用中需要的，因为 Beacon 需要被更新程序及数据。
- 但是可被连接广告包需要打开接收窗口，这势必会在不需要连接的时候消耗能量。

下图两个图说明了 connectable ADV 和 non-connectable ADV 的区别，读者可以直观的看到两者之间的功耗区别。Non-connectable ADV 节省了 RX 周期的能量。



Figure 3. Current profile of Connectable beacon



Figure 4. Current profile of Non-Connectable beacon

本应用讨论了一种混合模式，connectable ADV 和 non-connectable ADV 间隔进行，如下图所示。既保证了 Beacon 可以被连接，而且又在待机的时候节约了能量。

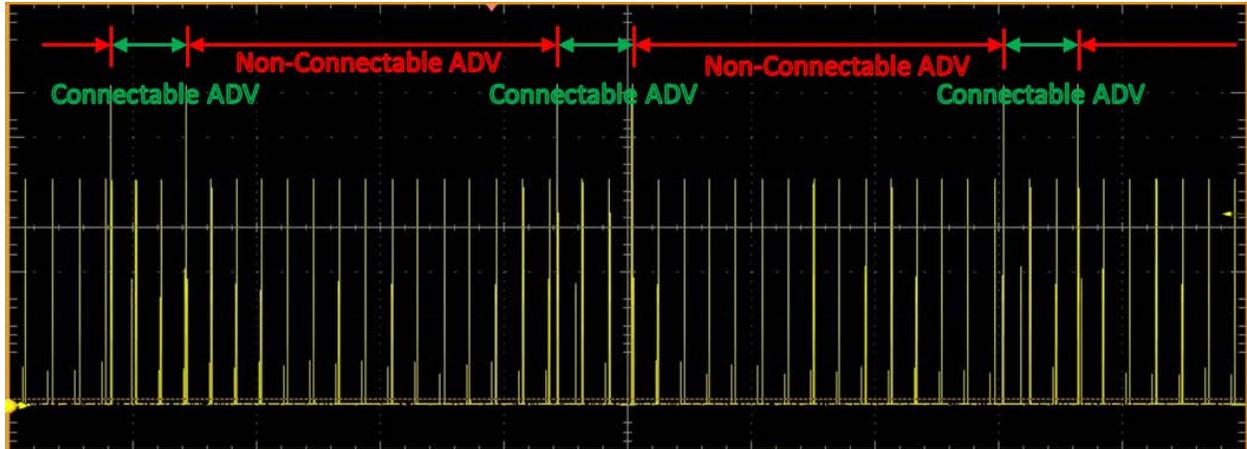


Figure 5. Current profile of Mixed mode

2 广告包的混合模式的实现

本文以 SimpleBLEPeripheral 工程为例。

在 simpleBLEPeripheral.c 文件中，首先添加如下定义和声明：

```
static Clock_Struct advNonconnStopClock;      // 添加一个 timer, 用于适时停止 non-connectable 广播
static Clock_Struct advConnStopClock;        // 添加一个 timer, 用于适时停止 connectable 广播
#define SBP_ADVCONN_LASTS_EVT_PERIOD        300 // connectable 广播持续时间, 可修改
#define SBP_ADVNONCONN_LASTS_EVT_PERIOD    1500 // non-connectable 广播持续时间, 可修改
#define SBP_ADVCONN_STOP_EVT                0x0010
#define SBP_ADVNONCONN_STOP_EVT            0x0020
typedef enum
{
    ADV_CONN = 0,          //!<
    ADV_NONCONN
} advMode_t;              // 用于广播模式切换的状态
static advMode_t advMode = ADV_CONN;
static void SimpleBLEPeripheral_performAdvSwitch(void);
```

接着就是函数实现:

```
static void SimpleBLEPeripheral_performAdvSwitch(void)
{
    uint8_t advEnable = FALSE;
    if (advMode == ADV_CONN)
    {
        GAPRole_SetParameter(GAPROLE_ADVERT_ENABLED, sizeof(uint8_t), &advEnable);
        uint8_t advEnable = TRUE;
        GAPRole_SetParameter(GAPROLE_ADV_NONCONN_ENABLED, sizeof(uint8_t), &advEnable);
        advMode = ADV_NONCONN;
        Util_startClock(&advNonconnStopClock);
    }
    else if (advMode == ADV_NONCONN)
    {
        GAPRole_SetParameter(GAPROLE_ADV_NONCONN_ENABLED, sizeof(uint8_t), &advEnable);
        uint8_t advEnable = TRUE;
        GAPRole_SetParameter(GAPROLE_ADVERT_ENABLED, sizeof(uint8_t), &advEnable);
        advMode = ADV_CONN;
        Util_startClock(&advConnStopClock);
    }
}
```

在 SimpleBLEPeripheral_init()中, 初始化两个 timer:

```
Util_constructClock(&advNonconnStopClock, SimpleBLEPeripheral_clockHandler,
    SBP_ADVNONCONN_LASTS_EVT_PERIOD, 0, false, SBP_ADVNONCONN_STOP_EVT);
Util_constructClock(&advConnStopClock, SimpleBLEPeripheral_clockHandler,
    SBP_ADVCONN_LASTS_EVT_PERIOD, 0, false, SBP_ADVCONN_STOP_EVT);
```

在 SimpleBLEPeripheral_taskFxn()中, 添加两个事件的处理:

```

if (events & SBP_ADVCONN_STOP_EVT)
{
    events &= ~SBP_ADVCONN_STOP_EVT;
    SimpleBLEPeripheral_performAdvSwitch();
}
if (events & SBP_ADVNONCONN_STOP_EVT)
{
    events &= ~SBP_ADVNONCONN_STOP_EVT;
    SimpleBLEPeripheral_performAdvSwitch();
}

```

3 测试结果

由于在这样的设计中主要是为了降低功耗以及保证 **non-connectable** 广播模式的 **beacon** 优先级，因此这种模式下如果去尝试连接设备，会有一定的延迟。如果连接请求刚好在设备的 **connectable** 广播模式下发送，那么连接的速度会比较快。如果连接请求刚好在设备的 **non-connectable** 广播模式下发送，那么这个请求会被设备忽略，这个时候就需要发送请求的设备在应用层能进行重复的发送连接请求，直到设备连上为止，实际时间取决于实际的 **non-connectable** 和 **connectable** 两种模式的占空比，这个可以在代码里面调试。以上面的例子，由于 **non-connectable** 广播的时间设定是 **1.5s**，那么可以理解为最差情况下，需要尝试最长 **1.5s** 的连接请求才能最终建立连接。

所以总结下来，这样会影响用户的连接速度的体验，但是并不会影响实际功能，并且能达到节省功耗的目的。

如下是笔者的一个电流实测比较报告。可以看到，在如下配置的应用下，可节约功耗 **20%**。

	Interval	RX window skip duration	average current
Connectable ADV	100mS	none	151uS
None-connectable ADV	100mS	1.5 S	181uS

Table 1. Current consumption Test example based a configuration

参考文献

1. *Measuring Bluetooth® Smart Power Consumption (SWRA478)*

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接权利作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独自负责满足与其产品及其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独自负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated