

# 使用 TI BLE-Stack™ 实现 Eddystone™ Bluetooth® 智能信标

Chester Kim

## 摘要

本应用手册介绍了 Eddystone™ 信标的基本概念、如何在现有 样例应用 SimpleBLEPeripheral 之上实现可连接的信标应用以及如何测试与 Eddystone 规范的兼容性。本手册还介绍事件、回调函数和硬件驱动程序的使用法，用于获取填充 TLM 帧的信息。

## 内容

1	简介 .....	2
2	缩写词 .....	2
3	目标 .....	2
4	项目概述和必要条件 .....	3
5	设计和实现 .....	3
6	测试 .....	7
7	总结 .....	8
8	参考 .....	8

## 附图目录

1	SimpleEddystoneBeacon 运行模式转换 .....	4
2	Eddystone Validator 和 Eddystone-URL Config Validator .....	7
3	Estimote Android 应用 .....	8

## 附表目录

1	Eddystone 帧格式 .....	3
2	广播包的属性 .....	4

BLE-Stack, SimpleLink are trademarks of Texas Instruments.  
Bluetooth is a registered trademark of Bluetooth SIG.  
Eddystone is a trademark of Google, Inc..  
All other trademarks are the property of their respective owners.

## 1 简介

如《低功耗 Bluetooth® 信标应用手册》(SWRA475) 中所述，低功耗 Bluetooth®(BLE) 信标是一个向附近的设备广播非连接的广播包（其中包含一些小型信息片段）的设备。根据计时情况和数据包内传送的信息，信标可支持各种用例，包括但不限于接近感知、同步、身份识别或仅仅发送通知。

一些供应商定义了有关如何在较大的生态系统中实现信标的协议或格式。例如，Apple 定义了 iBeacon 协议，可在 MFi 许可证下用于 iOS 设备。

Eddystone™是 Google 提供的开放信标协议规范，旨在改善基于接近传感的体验，支持 Android 和 iOS 智能设备平台。这些体验通过指定各种定义为帧类型的信标有效负载格式以及一组用于通过智能设备（如 Android 智能手机）访问这些有效负载的相应 API 加以实现。

本应用手册介绍如何使用 TI BLE-Stack™V2.2 SDK在 SimpleLink™CC2640 蓝牙智能无线 MCU 上实现示例 Eddystone 信标设备。较低的功耗和宽工作电压范围使 CC2640 成为用于实现电池供电的 Eddystone 信标的理想平台。

尽管按照定义信标只是用于进行广播的设备，但我们将介绍可连接信标的概念。配置和更新信标元数据时，需要使信标进入可连接状态（从技术角度而言，即从 GAP 广播设备转换到外设角色）。Eddystone 协议定义了一种允许授权客户端更新信标数据的模式。

为实现 Eddystone 信标设备而创建或修改的项目文件和源代码文件作为 GitHub 库进行提供，您可以在 [TI BLE Wiki](#) 上找到它们。

## 2 缩写词

ADV	广播包
API	应用编程接口 (API)
BLE	低功耗蓝牙
CCS	Code Composer Studio
ID	标识符
GAP	通用访问配置文件
MCU	微控制器
OAD	无线下载
SDK	软件开发套件
TI-RTOS	德州仪器 (TI) 实时操作系统
TLM	遥测
TX	传输
UID	唯一标识符
URL	统一资源定位符

## 3 目标

本应用手册展示为了实现名为 SimpleEddystoneBeacon 的完整且可以正常运行的 Eddystone 信标示例项目，必须在现有的 SimpleBLEPeripheral 样例应用之上实现什么功能。

## 4 项目概述和必要条件

在学习本应用手册中介绍的示例之前，设计人员应详细了解软件开发人员指南 (SWRU393) 中介绍的 TI BLE-Stack SDK、低功耗蓝牙信标应用手册 (SWRA475) 以及 Google Eddystone 协议规范（可以在 <https://github.com/google/eddystone/blob/master/protocol-specification.md> 找到）。

样例应用 SimpleEddystoneBeacon 需要使用 TI BLE-Stack V2.2。可以使用 IAR Workbench for ARM 7.50.3 或 CCS 6.1 IDE 构建该项目。SimpleEddystoneBeacon 项目在 CC2650 LaunchPad 参考平台上运行。可以使用可选的智能手机和测试应用来验证 Eddystone 信标实现。

TI GitHub 库 [ble\\_examples](#) 包含构建该项目所必需的最少数量的文件（如果将其置于现有 BLE-Stack V2.2 安装之上）。该库包含用于 IAR/CCS 的项目和工作区文件、*simpleEddystoneBeacon.c* 和 *simpleEddystoneBeacon.h*（用于应用）以及 *eddystoneURLCfg.c* 和 *eddystoneURLCfg.h*（用于提供 URF 配置服务）。要安装 SimpleEddystoneBeacon 项目，请将以下文件夹复制到 SDK 中的相应目录中：

- ble\_examples/examples/cc2650lp/simple\_eddystone
- ble\_examples/src/examples/simple\_eddystone/cc26xx
- ble\_examples/src/profiles/EddystoneURLCfg

## 5 设计和实现

### 5.1 运行模式概述

Eddystone 协议定义了三种由信标设备传输的帧类型格式（称为“帧”），如表 1 所述。

表 1. Eddystone 帧格式

帧类型	说明
UID	可标识特定信标的唯一标识符。对于位置感知应用非常有用。
URL	经压缩的 Web URL（如 <a href="https://goo.gl/Aq18zF">https://goo.gl/Aq18zF</a> ），可由智能设备应用启动。
TLM	遥测信息（如信标的电池电压和温度）。

Eddystone 协议规范对这些帧进行了更详细的介绍。每个帧代表一个广播包，最高可达蓝牙 4.2 核心规范定义的 31 字节最大有效负载。

Eddystone 信标定义了两种运行模式：常规广播模式和可选的 URL 配置模式。这些运行模式与五种单独的运行状态相关。在常规广播模式下，信标作为传统广播设备运行，发送包含 UID、URL 或 TLM 帧的非连接的广播。在 URL 配置模式下，信标传输可连接通告以允许客户端进行连接，如经授权，还可以通过 URL 配置服务更新 URL 内容和系统参数。

图 1 描述了这些运行模式的运行状态转换，以及用于在 SimpleEddystoneBeacon 示例项目中转换状态的相应操作。以灰色的圆显示的状态表示 URL 配置模式，而其他状态表示常规广播模式。

Eddystone 协议不指定类型、特定帧的传输时间或频率，也不指定触发特定状态转换的操作。这些细节是特定于实现的。例如，Eddystone 信标可能仅传输 URL 帧或全部三种帧的组合（以不同的间隔）。

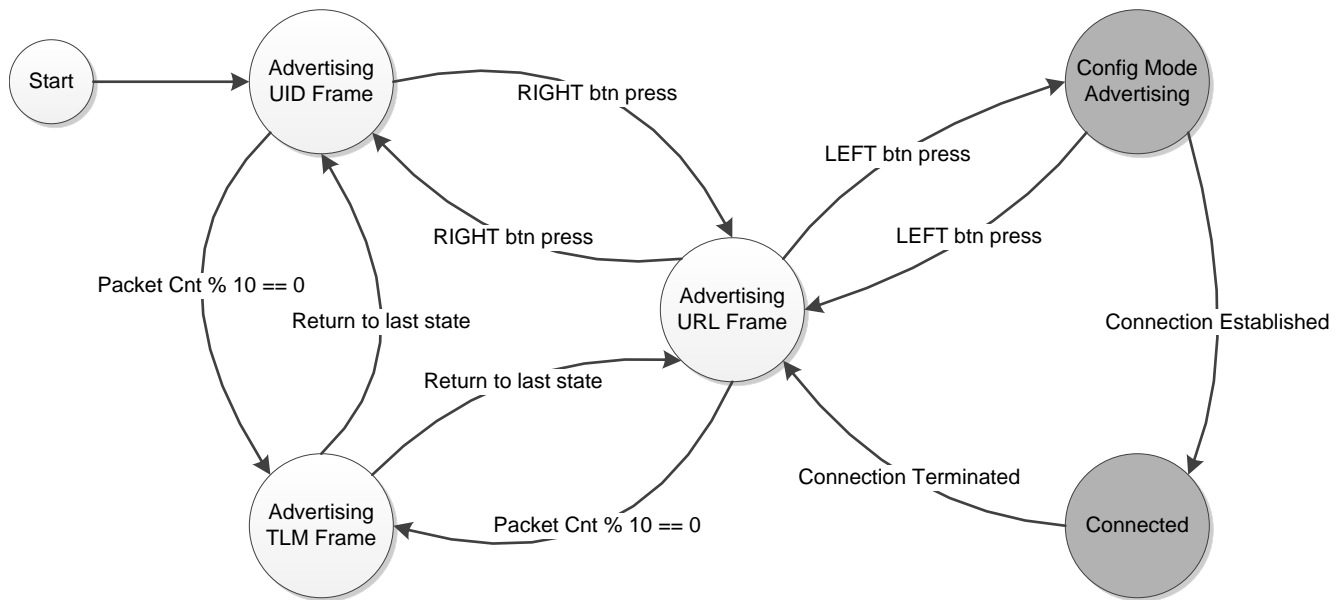


图 1. SimpleEddystoneBeacon 运行模式转换

在该设计中，当处于常规广播模式时，信标设备定期发送 UID 帧或 URL 帧，并间歇性地发送 TLM 帧。按下“RIGHT”按钮可触发 UID 和 URL 之间的状态转换。出于实际考虑，TLM 帧的频率应小于 UID 或 URL 帧，因此在该设计中，每发送 10 次 UID 或 URL 通告仅发送 1 次 TLM 帧。

在该设计中，可以通过进入配置模式广播状态来进入 URL 配置模式。该过程通过按下“LEFT”按钮触发。按下“LEFT”按钮或任何类型的连接终止都可以引发现有配置模式。一般而言，当信标完成更新后，中心设备会终止连接，使信标恢复常规广播模式。

要通过按下按钮来触发某些转换，必须实现按键事件处理程序。不同硬件平台上实现的按钮按下处理会稍有不同。在该实现中，针对 CC2650 LaunchPad 使用 `board_key.c` 中的函数。在任何情况下，`SimpleEddystoneBeacon_keyChangeHandler()` 都注册为回调函数，最终由 `SimpleEddystoneBeacon_handleKeys()` 处理按键事件 `SEB_KEY_CHANGE_EVT`。

对于 CC2650 LaunchPad，所有“RIGHT”按钮按下都对应于 BTN-2，所有“LEFT”按钮按下都对应于 BTN-1。

## 5.2 常规广播模式

无论运行模式如何，广播都可用于四种目的。表 2 总结了该实现中使用的每种 ADV 的属性。

表 2. 广播包的属性

	UID/URL/TLM 帧	URL 配置模式 ADV
ADV Event Type	ADV_NONCONN_IND	ADV_IND
ADV Type Flags	BREDR_NOT_SUPPORTED	BREDR_NOT_SUPPORTED   GENERAL_DISCOVERABLE
ADV Interval	对于 UID/URL，来自 URL 配置；对于 TLM，长 10 倍	默认间隔
TX Power	来自 URL 配置	中等功耗模式
Connectable	否	是

由于需要在运行时从一个广播包切换到另一个广播包，因此本部分介绍了如何设置参数以更改常规广播模式的属性。此外，还介绍了如何获取用于填充每个数据包的有效负载的信息。

### 5.2.1 设置广播参数

如表 2 所示，在常规广播模式和 URL 配置模式之间切换时，有五种要更改的属性。

可以使用 `GAPRole_SetParameter()` 配置“ADV Event Type”，此时将 `GAPROLE_ADV_EVENT_TYPE` 用作参数 ID，将 `GAP_ADTYPE_ADV_NONCONN_IND` 用作值，因为常规广播模式是非连接的。

“ADV Type Flags”是包含在广播包中的一个项目。我们使用 `GAP_ADTYPE_FLAGS_BREDR_NOT_SUPPORTED` 初始化常规广播模式的 `struct` 变量 `eddyystoneAdv` 的 `GAP_ADTYPE_FLAGS` 字段，因为常规广播模式是不可发现的。

我们通过指定受限制和一般可发现 ADV 的最小和最大间隔来设置“ADV Interval”。通常，将全部四个参数设置为相同的值，以获取所需的间隔，如下所示：

```
GAP_SetParamValue(TGAP_LIM_DISC_ADV_INT_MIN, advInt);
GAP_SetParamValue(TGAP_LIM_DISC_ADV_INT_MAX, advInt);
GAP_SetParamValue(TGAP_GEN_DISC_ADV_INT_MIN, advInt);
GAP_SetParamValue(TGAP_GEN_DISC_ADV_INT_MAX, advInt);
```

该特定的设计应选择耗电量与信标功率相平衡的广播参数。使用较短的广播间隔可以使智能设备较快地进行发现，而较长的间隔可以实现较长的信标电池寿命。

与 URL 配置服务的 `URLCFG SVC_BEACON_PERIOD` 相对应的参数的值反映在 `advInt` 中。在这种情况下，需要进行单位转换，因为 URL 配置服务的值以毫秒为单位，而 `GAP_SetParamValue()` 预计为若干个 625 微秒周期。有关 URL 配置服务的更多详细信息，请参阅节 5.3.2。基本而言，应该将 URL 配置服务的信标周期应用于 URL 帧广播。不过，在该实现中它也用于 UID，因为 Eddystone 规范中没有定义用于设置 UID 间隔的外部方法。TLM 的间隔取决于 UID/URL 的间隔，因为在该实现中它基于自上一个 TLM 帧以来发送的 UID/URL 帧数量。

请使用对应于 URL 配置服务的 `URLCFG SVC_ADV_TX_PWR_LVL` 和 `URLCFG SVC_TX_POWER_MODE` 的参数值获取指定的“TX Power”（以 dBm 为单位）。

设置上述所有属性并更新 ADV 数据后，广播就可以启动了。节 5.2.2 介绍了有关更新 ADV 数据的更多信息。

最后，启用非连接的广播模式，从而以给定的速率和功率开始发送数据包。`GAPRole_SetParameter()`（使用参数 ID `GAPROLE_ADV_NONCONN_ENABLED`）用于在常规广播模式下启动或停止广播。

本小节中介绍的所有过程都在 `SimpleEddystoneBeacon_applyConfiguration()` 和 `SimpleEddystoneBeacon_startRegularAdv()` 中执行。

### 5.2.2 填充 Eddystone 帧有效负载

除非在上次配置模式操作期间更新了信标设备，否则不需要更改 UID 和 URL 帧中的数据。在这种情况下，退出配置模式时，必须更新 UID 帧的“Ranging Data”子字段和 URL 帧的所有子字段（“Frame Type”除外）。更新将在 `SimpleEddystoneBeacon_applyConfiguration()` 中实现。

TI 推荐了一些算法，用于根据蓝牙核心规范生成 UID 的 10 字节 ID Namespace 子字段和 6 字节 ID Instance 子字段。该实现示例使用了一些无意义的数字，但对于实际产品，必须使用合适的算法替换函数 `SimpleEddystoneBeacon_initUID()` 中指定的数字。

对于 URL 帧，`SimpleEddystoneBeacon_encodeURL()` 有助于将以 null 结尾的常规字符串 URL 转换为编码数字。

与 UID 和 URL 帧相比，TLM 帧需要特殊的处理，因为每次广播 TLM 帧时必须使用最新的信息更新帧数据。TLM 有效负载更新将在 *SimpleEddystoneBeacon\_updateTLM()* 中完成。

可以通过 *AONBatMonBatteryVoltageGet()* 获取电池电压“VBATT”子字段。要使用芯片内部的电池监控器功能，请包含 *driverlib* 的 *aon\_batmon.h*。

目前，温度“TEMP”子字段使用的是一个恒定值，因为 CC2650 LaunchPad 没有温度传感器。

“ADV\_CNT”子字段需要来自堆栈的事件，以在每个广播操作完成后立即通知应用。*HCI\_EXT\_AdvEventNoticeCmd()* 是用于注册在 ADV 发送完成后立即发送的事件的 API。请注册 *SEB\_ADV\_COMPLETE\_EVT* 并在具有 0xFFFF 签名的堆栈事件的处理环路中检查它。最终在 *SimpleEddystoneBeacon\_processAdvCompleteEvt()* 中处理事件 *SEB\_ADV\_COMPLETE\_EVT*。该事件处理函数不仅用于对 ADV 的数量进行计数，而且确定应发送哪种类型的 Eddystone 帧。

例如，对于“SEC\_CNT”子字段，使用 1 秒分辨率时钟周期计数器，但 Eddystone 规范要求 100ms 的分辨率。为此添加了最初由 TimeApp 示例项目使用的 *UTC\_clock.c*。通常，应间歇性发送 TLM 帧，因此在本示例中，它默认每 10 秒发送一次（允许 1 秒的分辨率）。

使用所有必要的信息填充本地 Eddystone 帧后，必须将其移交至 BLE 堆栈。*GAPRole\_SetParameter()*（使用参数 ID *GAPROLE\_ADVERT\_DATA*）用于该目的。

本小节中介绍的所有过程都由 *SimpleEddystoneBeacon\_selectFrame()* 进行处理。

### 5.3 URL 配置模式

URL 配置模式是用于更新信标的 URL 内容的可选方法。设计人员可能希望忽略该模式，或根据特定于实现的要求修改随附的服务。

#### 5.3.1 设置广播参数

要为配置模式广播创建设置，请使用节 5.2.1 中所述的同一方法，但使用的属性与表 2 中显示的内容不同。本部分仅介绍了与节 5.2.1 的差异。

对于“ADV Event Type”，使用“GAP\_ADTYPE\_ADV\_IND”作为值，因为配置模式是可连接的。

对于“ADV Type Flags”，使用 *GAP\_ADTYPE\_FLAGS\_BREDR\_NOT\_SUPPORTED* 以及 *GAP\_ADTYPE\_FLAGS\_GENERAL* 初始化配置模式 struct 变量 *eddytoneCfgAdv* 的“GAP\_ADTYPE\_FLAGS”字段，因为配置模式是可发现的。

将“ADV Interval”的 *advInt* 设置为“GAP\_ADTYPE\_ADV\_IND”。通常，配置模式的间隔比常规广播模式的间隔要短。

应将“TX Power”设置为对应于“TX\_POWER\_MODE\_MEDIUM”的值。

使用 *GAPRole\_SetParameter()*（使用参数 ID *GAPROLE\_ADVERT\_DATA*）设置上述所有属性并更新 ADV 数据后，广播就可以启动了。

最后，通过调用 *GAPRole\_SetParameter()*（使用参数 ID *GAPROLE\_ADVERT\_ENABLED*）启用可连接广播模式。

本部分中介绍的所有过程都在 *SimpleEddystoneBeacon\_startConfigAdv()* 中进行处理。

#### 5.3.2 URL 配置服务

URL 配置服务在 *eddytoneURLCfg.c* 中实现。应用可以使用 *URLCfgSvc\_GetParameter()* 和 *URLCfgSvc\_SetParameter()* 访问服务的九个特性。应用会注册一个回调函数，当这些特性发生变化时由中心设备调用该回调函数。在该实现中，仅“Reset”特性发生变化时会通知应用。

信标设备以 URL 配置模式连接中心设备（如智能手机）后，如果“Lock State”为“FALSE”，则可以由中心设备通过写入特性来修改信标设备上的某些系统属性。如果“Lock State”为“TRUE”，则只能写入“Unlock”特性。

当信标设备因任何原因（如终止或超时）断开而退出 URL 配置模式以进入常规广播模式后，更新的特性反映在 `SimpleEddystoneBeacon_applyConfiguration()` 中的对应属性中。不过，当“Reset”特性发生变化时，应立即采取措施。

## 6 测试

要验证本应用手册中介绍的所有特性和功能，则需要使用实现观测器或中心 GAP 角色的设备。GitHub Eddystone 库附带了用于该目的验证工具。使用 [Eddystone Validator](#) 和 [Eddystone-URL Config Validator](#)，我们可以分别验证 URI/URL/TLM 帧和 URL 配置模式。图 2 显示了已用于验证 SimpleEddystoneBeacon 样例应用的 Eddystone Validator 和 Eddystone-URL Config Validator 屏幕截图。用于验证 SimpleEddystoneBeacon 项目的验证器基于 GitHub Eddystone 主分支的提交 SHA `b5f23b3f895007c761e2303db4c10df7af2f997f`。

除验证器之外，还有多个可用于测试 Eddystone 兼容信标的常规广播模式功能的 Android/iOS 应用。例如，使用 [Estimote Android 应用](#)，我们可以看到各种应用是如何解析和使用 Eddystone 兼容通告数据包的，如图 3 所示。德州仪器 (TI) 不开发 或支持 这些智能手机应用。

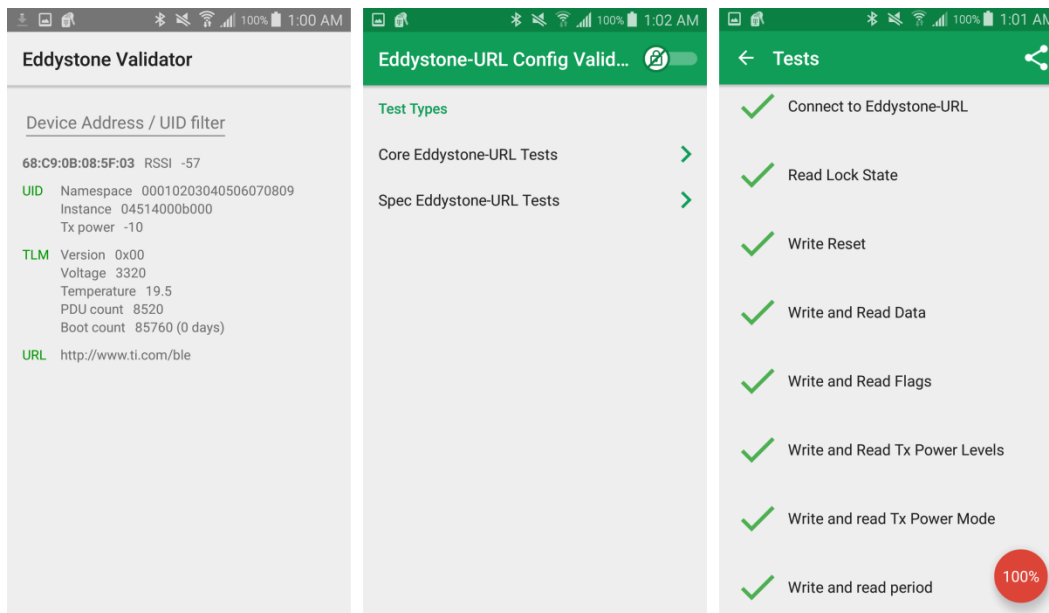


图 2. Eddystone Validator 和 Eddystone-URL Config Validator

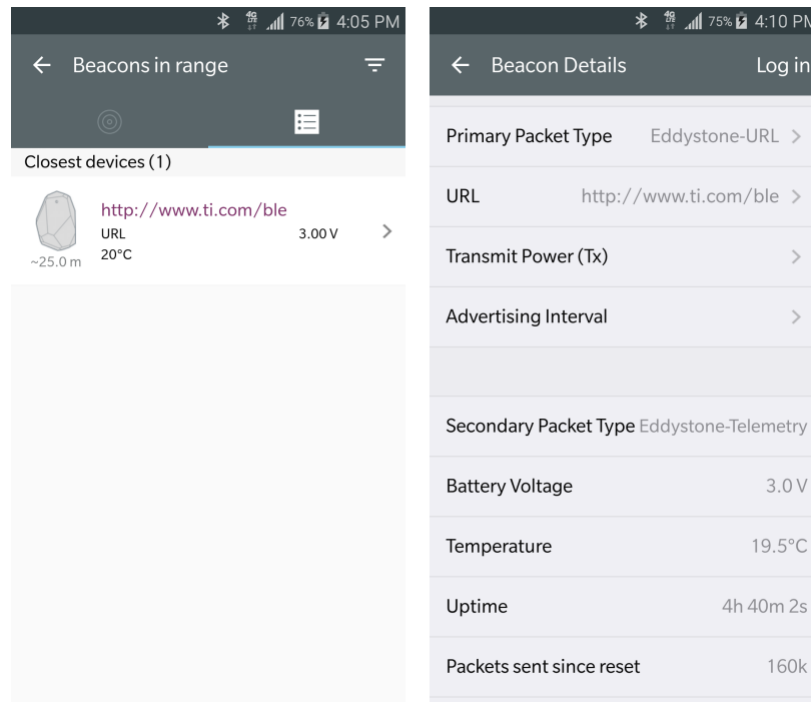


图 3. Estimote Android 应用

## 7 总结

本应用手册介绍了 Eddystone 信标的基本概念、如何在现有样例应用 SimpleBLEPeripheral 之上实现可连接信标应用以及 如何测试与 Eddystone 规范的兼容性。此外，还介绍了事件、回调函数和硬件驱动程序的使用法，用于获取填充 TLM 帧的信息。

通过对样例应用进行简单的功能添加和修改，可以轻松开发可连接信标设备（如 Eddystone 兼容信标设备）。

## 8 参考

1. 《低功耗蓝牙软件开发人员指南》(SWRU393)
2. 《CC2640 OAD 用户指南》
3. 《低功耗蓝牙信标》(SWRA475)
4. [Google Eddystone Github](#)



## 修订历史记录

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

<b>Changes from Original (September 2015) to A Revision</b>	<b>Page</b>
• 将 TI BLE-Stack v2.1 SDK 更新成了 TI BLE-Stack v2.2 SDK。 .....	2
• 更新了“项目概述和必要条件”部分。 .....	3
• 将 ARM 7.40.2 更新成了 ARM 7.50.3。 .....	3
• 更新了“填充 Eddystone 帧有效负载”部分。 .....	5

## 有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等产权包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无复发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司