

# Application Note

## TI 15.4-Stack 软件



Alexander Paul

### 摘要

本 TI 15.4 软件应用手册介绍了整个 TI 15.4 Stack 软件，粗略概述了 TI 为开发人员提供的可用资源。有关更多详细信息，请参阅可从以下 URL 下载的开发人员指南：<https://www.ti.com.cn/tool/cn/SIMPLELINK-LOWPOWER-SDK>。

### 内容

<b>1 概述</b> .....	2
1.1 首字母缩写词.....	2
1.2 法规遵从性.....	2
1.3 礼貌性频谱接入时序参数.....	3
<b>2 参考示例</b> .....	4
2.1 可用的芯片组.....	5
2.2 闪存和 RAM 分配.....	5
<b>3 软件方框图</b> .....	6
<b>4 网络特性</b> .....	6
4.1 15.4 支持的 PHY.....	6
4.2 15.4 器件架构.....	7
4.3 15.4 网络拓扑.....	7
<b>5 安全性</b> .....	10
<b>6 性能和测试数据</b> .....	11
6.1 测试数据.....	11
6.2 大型网络稳定性测试.....	11
6.3 传输速率.....	11
<b>7 开箱即用体验</b> .....	12
<b>8 工具</b> .....	12
8.1 Code Composer Studio.....	12
8.2 SysConfig.....	12
8.3 数据包监听器.....	12
8.4 电池寿命计算器.....	12
8.5 Linux.....	12

### 商标

SimpleLink™ and Code Composer Studio™ are trademarks of Texas Instruments.

Wi-SUN™ is a trademark of Wi-SUN Alliance.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 概述

TI 15.4-Stack 是一个软件平台，用于在 SimpleLink™-MCU 平台上实现基于 IEEE 802.15.4 的硬件访问层 (PHY + MAC)。它使用户能够基于 IEEE802.15.4 标准创建稳健且安全的星形网络。该栈易于配置并可适应多种应用要求。TI 提供了 SDK，其中包含该栈以及详细说明和一组开箱即用示例。

TI 15.4 Stack 包含不同的 PHY，以符合全球认证标准并适应不同的应用要求。

TI 15.4 Stack 实施符合适用于工业应用的 IEEE802.15.4e 以及适用于智能公用事业网络 (SUN) 的 802.15.4g。该栈包含一个基于 Wi-SUN™ 实现的跳频实现。

此外，该栈支持不同的模式和多种安全功能，例如 AES128 数据包加密。

组件	版本
TI-15.4-stack 版本	6.10.00.x
经销商	包含在 SDK 中 (最新版本 7.10.00.98)
IDE 支持	适用于 Windows、Linux 和 macOS 的 CCS V12.3
编译器支持	TI Arm® Clang 编译器工具 : 2.1.2.LTS、EWARM-9.32.1
RTOS 支持	FreeRTOS V10.2.1
推荐的开发套件	2 个 LP-CC1352P7-1 + 用于 OAD 的 Linux PC
支持的器件 :	<b>SUB1G</b> : CC1311P3、CC1311R3、CC1312R、CC1312R7、CC1312PSIP、CC1314R10 <b>2.4GHz 器件</b> : CC2642R、CC2642R-Q1、CC2651P3、CC2651R3、CC2652P、CC2652P7、CC2652R、CC2652RB、CC2652RSIP、CC2652PSIP、CC2651RSIPA、CC2674R10、CC2674P10 <b>双频带器件</b> : CC1352P、CC1352P7、CC1352R、CC1354P10、CC1354R10

### 1.1 首字母缩写词

表 1-1. 本文中使用的首字母缩写词

首字母缩写词	说明
DH1CF	直接哈希通道函数
MAC	介质访问控制器
NPI	网络处理器接口
OAD	无线
OSI	开放系统互连
PAN	个人局域网
PHY	物理层
RTOS	实时操作系统
SDK	软件开发套件
SRAM	静态随机存取存储器
SUN	智能公用事业网络

### 1.2 法规遵从性

#### 1.2.1 TI 15.4 Stack

TI 15.4 Stack 免版税，不需要许可证或认证。

但是，该软件平台实现了标准 IEEE802.15.4e (工业) 和 IEEE802.15.4g (智能公用事业网络) 规范并具有最新更新。TI SysConfig 工具支持适应不同的监管机构。

#### 1.2.2 监管机构

各种 PHY 和 MAC 配置可适应不同的区域法规遵从性，例如：

- FCC

- ARIB
- ETSI

请注意，地区法规可能随时发生变化。TI 15.4-Stack 参数可根据新法规进行更改。

为了简化认证，Simplelink SDK 提供了 15.4 测试模式。使用此模式，传感器开始发送可由频谱分析仪捕获的背对背消息。

### 1.2.2.1 SUB 1

该栈提供了更改最小 Tx 关断时间的机会，该时间设置为默认值 2ms（对于 ARIB），为了适应 ETSI 法规的要求，也可设置为 100ms。通过我们的 P1 系列器件，可以在 0dB 到 20dB 之间调整发射功率。这有助于适应监管机构的要求并更改发射功率，而无需强制进行更改。

#### 1.2.2.1.1 ETSI

为了符合 ETSI 标准，15.4 使用符合 EN 300 220-1 的先听后讲方法（礼貌性频谱接入）来访问在信标和非信标模式下传输消息的频率。有关详细信息，请参阅 [节 6](#)。

#### 1.2.2.1.2 ARIB

TI 15.4 符合 ARIB STD-T108 版本 1.3。为了适应 ARIB，可以限制 tx 占空比以及最短 tx 关闭时间。这些值是默认设置的，但可以轻松调整。有关如何适应 ARIB 的更多信息，请参阅 [https://dev.ti.com/tirex/explore/node?node=A\\_\\_AITUIbVTzCdD7w7KebQ-qA\\_\\_com.ti.SIMPLELINK\\_CC13XX\\_CC26XX\\_SDK\\_\\_BSEc4rl\\_\\_LATEST](https://dev.ti.com/tirex/explore/node?node=A__AITUIbVTzCdD7w7KebQ-qA__com.ti.SIMPLELINK_CC13XX_CC26XX_SDK__BSEc4rl__LATEST) 中的 ARIB 稳压类型部分

这种占空比限制会监控器件的 TX 时间，并在数据传输违反利用率设置时立即拒绝数据传输。

#### 1.2.2.1.3 FCC

TI 15.4 Stack 的开发符合：

- FCC 第 47 篇，联邦法规规范电信第 248 部分
- FCC 第 47 篇，联邦法规规范电信第 247 部分，CFR 15.247

FCC 监管机构允许在使用跳频时具有更高的传输功率。有关如何在我们的栈中完成此操作的信息，请参阅 [TI 15.4-Stack 跳频模式 FCC 合规性](#)。

## 1.3 礼貌性频谱接入时序参数

TI 15.4 Stack 提供礼貌性频谱接入，其计时参数如 [表 1-2](#) 所示。

表 1-2. 15.4 Stack

参数	限制	应用的值	说明
最小 CCA 间隔	160µs	160µs	最小 CCA 侦听周期
最小延迟期间	CCA 间隔	unitBackoff 持续时间 (1ms + 8 符号周期)	延迟间隔最小值
延迟期间最小单位		unitBackoff 持续时间 (1ms + 8 符号周期)	两个相邻延迟期间之间的最小间隔
死区时间	<5ms	CCA 持续时间 (< 160µs)	侦听间隔结束与开始传输之间的最长时间
最长传输持续时间 Ton 最大值	1s	由应用最大有效载荷大小和数据速率决定 (对于 1000 字节 @ 50kbps = 大约 200ms)	对于单次传输
最长传输持续时间 Ton 最大值	4s	由应用最大有效载荷大小和数据速率以及轮询开销决定 (对于 1000 字节 @ 50kbps = 大约 250ms)	对于传输对话或轮询序列
1 小时内的最大 Tcum_on	每 200kHz 频谱 100s/1h	由应用流量确定	在每小时 200kHz 频谱部分允许的最大累计导通时间

表 1-2. 15.4 Stack (续)

参数	限制	应用的值	说明
同一工作频率下的最小 Toff_min	100ms	100ms	在以同一工作频率进行传输后，特定发送器应保持关闭状态的最短 T-off 时间周期

### 1.3.1 2.4GHz

2.4G 频段的 TI PHY/MAC 符合要求并经认证可在 ZigBee 中使用。证书编号：74687RZB.001。

### 1.3.2 共存性

IEEE 802.15.4 Stack 和 Wi-Fi 通道都使用 2.4GHz 频段。在一个环境中使用这两种协议可能会导致问题。TI 15.4 Stack 提供了一种共存方案，旨在确保 Wi-Fi 和 15.4 通信不受干扰。在“用户指南”的下面一节中可以找到有关这方面的更多信息：[Wi-Fi 共存：Wi-Fi 共存 - SimpleLink™ CC13XX/CC26XX SDK TI 15.4-Stack 用户指南 5.20.00.00 文档。](#)

## 2 参考示例

代码示例	说明
收集器 (SUB1G/2.4G)	收集器示例使用 TI 15.4-Stack 创建一个 PAN 协调器器件
收集器安全托管 (SUB1G/2.4G)	该示例使用基于 TI 15.4-Stack 且具有安全调试功能的星形网络创建一个 PAN 协调器器件
传感器 (SUB1G/2.4G)	传感器示例可用于加入由收集器示例创建的 PAN 网络
传感器安全托管 (SUB1G/2.4G)	传感器示例可用于加入由收集器安全托管示例创建的 PAN 网络
协处理器	演示如何在一个双芯片场景中实现 MAC 协处理器器件。在此示例中，TI 15.4-Stack 在 SimpleLink 器件上运行，可以使用串行接口将该器件与任何器件连接。
传感器 OAD 片外安全 (2.4G/SUB1)	传感器 OAD 片外示例应用演示了如何使用 TI 15.4-Stack 实现传感器网络，该网络具有采用 AM335x 和 MAC 协处理器的片外 OAD 配置。
传感器 OAD 片上安全 (2.4G/SUB1)	传感器 OAD 片上示例演示了如何实现 15.4 网络，该网络具有采用 AM335x 和 MAC 协处理器的片上 OAD 功能。
传感器 OAD 片上持久安全 (2.4G/SUB1)	传感器片上持久性示例演示了具有 AM335x 和 MAC 协处理器的 OAD 如何与应用程序映像和永久映像配合使用。

## 2.1 可用的芯片组

表 2-1 显示 TI 提供了若干个具有不同闪存和 SRAM 存储器数量的 Simplelink 器件。

**表 2-1. 具有多种闪存和 SRAM 存储器数量的器件**

器件	闪存 (kB)	SRAM (kb)
CC13x1x3 或 CC26x1x3	352	40
CC13x2x1 或 CC26x2x1	352	80
CC13x2x7 或 CC26x2x7	704	144
CC13x4x10 或 CC26x4x10	1024	256

具有不同的系统内核：

- 对于 CC13x1 和 CC26x1 器件，系统内核为 Arm Cortex®-M4
- 对于 CC13x2 和 CC26x2 器件，系统内核为 Arm Cortex-M4F
- 对于 CC13x4 和 CC26x4 器件，系统内核为 Arm Cortex-M33

要寻找合适的芯片，应考虑我们采用不同配置的示例所需的 RAM 和闪存大小。这些值是使用 Simplelink SDK 中的示例进行估算的。有关存储器分配的信息，请参阅表 2-2。

具有 P 扩展的 TI-SimpleLink 器件集成了功率放大器，可实现高达 20dBm 的可调节传输功率。

这些值是使用我们的示例和协调器的最大已连接器件数（设置为 50）来估算的。这些值可以在表 2-2 中找到，以闪存或 RAM（单位为 kB）形式显示。

## 2.2 闪存和 RAM 分配

**表 2-2. 器件|示例|闪存|RAM**

CC1352	收集器	143 kB	14 kB
CC1352	Collector_2_4g	133 kB	13 kB
CC1352	Collector_sm	155 kB	16kB
CC1352	Collector_2_4g_sm	145 kB	15kB
CC1352	协处理器	137 kB	13 kB
CC1352	Sensor_2_4g	108 kB	12 kB
CC1352	传感器	119 kB	13 kB
CC1352	Sensor_oad_offchip_2_4g_secure	268 kB	13 kB
CC1352	Sensor_oad_offchip_secure	278 kB	14 kB
CC1352	Sensor_oad_onchip_2_4g_secure	262 kB	12 kB
CC1352	Sensor_oad_onchip_persistent_2_4g_secure	246 kB	12 kB
CC1352	Sensor_oad_onchip_persistent_secure	256kB	13 kB
CC1352	Sensor_oad_onchip_secure	273 kB	13 kB
CC1352	Sensor_sm_2_4g	220 kB	13 kB
CC1352	Sensor_sm	131 kB	14 kB

### 3 软件方框图

TI 15.4-Stack 实现了 Simplelink 器件的 MAC 和 PHY 层，实现方式如图 3-1 所示。

开箱即用示例提供了使用 TI 15.4-Stack 的应用。除了 TI 15.4-Stack 外，还可以按照我们的示例中所述实现安全性或 OAD 等其他特性。

有关软件架构的更多信息，请参阅 [TI 15.4-Stack 用户指南](#) 的“应用概述”部分。TI 15.4-Stack 与 FreeRTOS POSIX 兼容。TI SDK 包含多个使用 FreeRTOS 运行 TI 15.4 Stack 的示例。

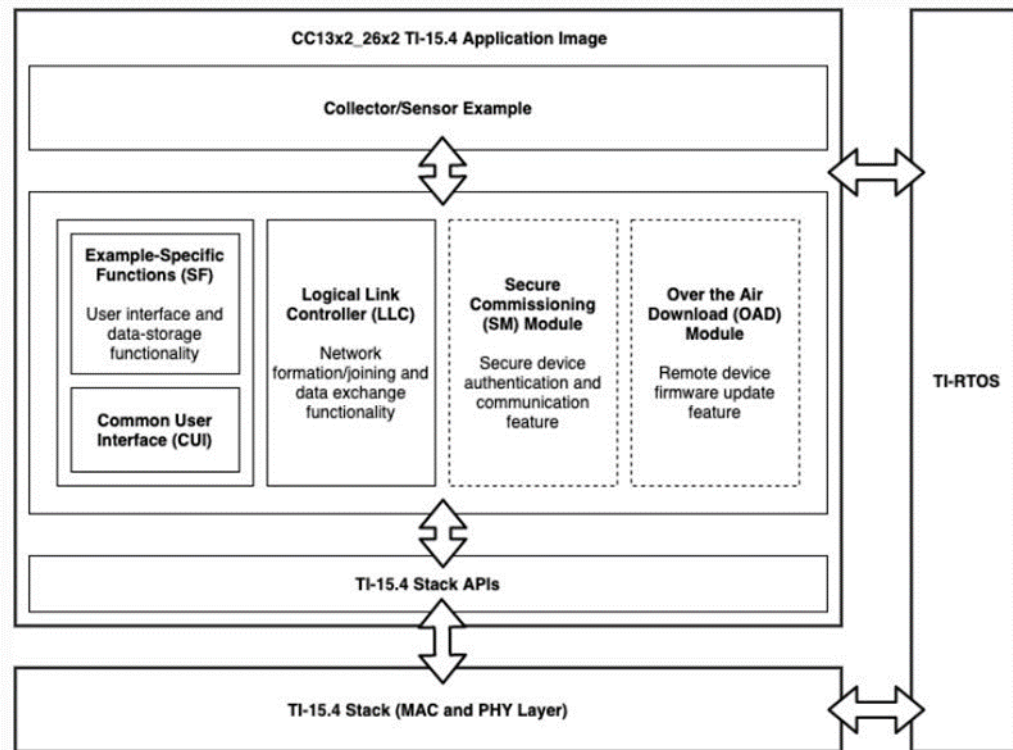


图 3-1. 软件方框图

## 4 网络特性

### 4.1 15.4 支持的 PHY

开箱即用的 15.4 Stack 支持多个涵盖多种数据速率和传输频率的 PHY。这些主要在北美 ( 902MHz 至 928MHz )、日本 ( 920MHz 至 928MHz ) 和欧洲 ( 863MHz 至 876MHz ) 频段内。表 4-1 中提供了支持的 PHY 列表。

表 4-1. 支持的 PHY

PHY ID	PHY 数据速率	通道 0 频率	通道数	信道间隔	标准	TI 设置名称
0	250kbps	2405 MHz	16	5MHz	全球	IEEE802.15.4
1	50kbps	902.2 MHz	129	200kHz	FCC	IEEE802.15.4
3	50kbps	863.125 MHz	64	200kHz	ETSI	IEEE802.15.4
128	50kbps	433.05 MHz	7	200kHz	FCC/ETSI	IEEE802.15.4
129	5kbps	902.2 MHz	129	200kHz	FCC	Simple-Link 远距离
130	5kbps	433.05 MHz	7	200kHz	FCC	Simple-Link 远距离
131	5kbps	863.125 MHz	64	200kHz	ETSI	Simple-Link 远距离

表 4-1. 支持的 PHY ( 续 )

PHY ID	PHY 数据速率	通道 0 频率	通道数	信道间隔	标准	TI 设置名称
132	200kbps	902.4 MHz	64	400kHz	FCC	IEEE802.15.4
133	200kbps	863.225 MHz	32	400kHz	ETSI	IEEE802.15.4
136	200kbps	920.7 MHz	36	200kHz	ARIB	IEEE802.15.4

#### 4.2 15.4 器件架构

Simplelink 器件可用于不同的架构。它们可以作为**独立器件**。在该架构中，应用和协议栈作为单芯片解决方案在 SimpleLink 器件上运行。

这降低了系统的成本，但在性能和存储器利用率指标方面会受到限制。可使用 Simplelink SDK 中提供的传感器和收集器示例测试独立架构。

可以使用的另一种架构是**协处理器**，其中使用 Simplelink 器件仅运行协议栈。在该模式下，可以使用采用 UART 连接的 NPI 通过 API 接口与专用应用处理器进行通信。有关此接口的更多详细说明，请参阅 [TI-15.4-Stack CoP 接口指南](#)。可以使用 SimpleLink Academy 中的 TI 15.4-Stack Linux 网关 Project Zero 示例测试协处理器模式。

这些架构之间的差异如图 4-1 所示。

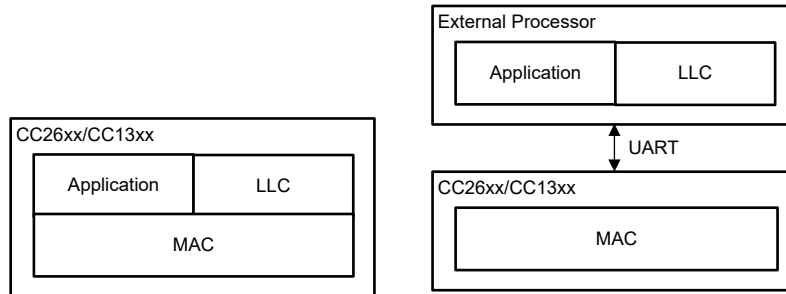


图 4-1. 架构间的差异

#### 4.3 15.4 网络拓扑

TI 15.4-Stack 采用星型拓扑设置网络，其中主要包含两种器件。这两种器件类型在 IEEE802.15.4 标准中定义。

PAN 协调器是一个中央节点，用于创建网络并允许其他器件加入。它由 PAN-ID 标识。PAN 协调器通常是非常耗电的器件，其任务是协调网络通信

但是，当器件加入网络时，PAN 协调器会将其报告间隔设置为所需的值。网络结构如图 4-2 所示。

收集器示例是 PAN 协调器，而传感器示例充当网络器件。

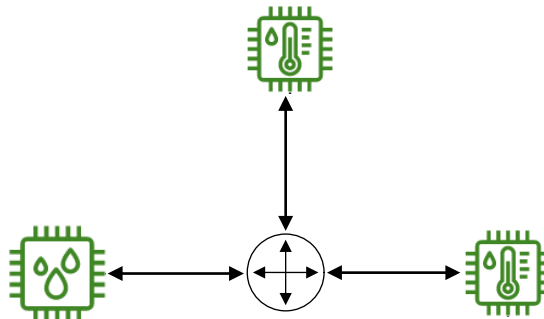


图 4-2. PAN 协调器

TI 15.4-Stack 提供许多联网功能，其他一些特性（如节点平衡、扩展网络覆盖范围和增加节点数）尚未在 MAC 和 PHY 层实现。这些可以添加到应用层。

星型网络与协调器的结合使用使得在无线网络中运行低功耗传感器成为可能，因为它提供了实现休眠节点的机会，可以在特定时间段关闭无线电。

#### 4.3.1 支持的网络模式

TI-15.4 支持三种工作模式：信标使能、非信标使能和跳频模式。CC13xx 或 CC26xx TI 15.4-Stack 用户指南中介绍了这些模式。

#### 4.3.2 信标使能模式

协调器定期发送信标时，信标使能模式将保持同步。这些信标使用 IEEE802.15.4 超级帧结构。对于数据流主要为下游（协调器传输到传感器节点）的应用，建议使用此网络模式。超级帧由一个非有效周期和一个有效周期组成。这允许 PAN 协调器在信标之间进入睡眠模式。因此，每当 PAN 协调器在能量关键型应用中运行时都会用到它。由于信标可用于指定哪个器件有挂起的数据包，因此并非所有节点都必须不断轮询协调器以获取数据。

信标使能模式会导致每个传感器在有效周期内唤醒，即使不必传输数据也是如此。这增加了传感器器件的能耗。必须通过在功耗和数据速率之间进行权衡来设置有效周期持续时间。信标模式的设置会导致数据包传输延迟，因此无法在任何时间传输消息。

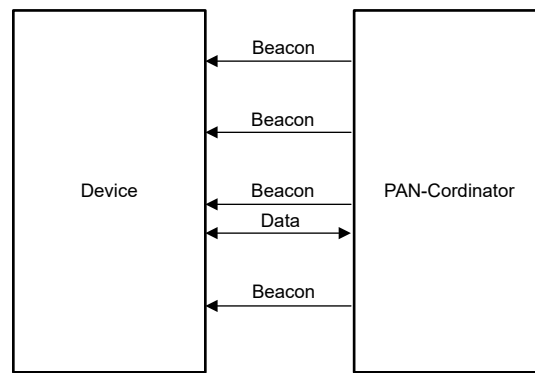


图 4-3. 信标使能模式

如果器件连接中断，它会尝试与协调器重新同步，直到能够再次跟踪信标。这是通过“侦听”其预期频率来完成的。

#### 优势：

- 超级帧允许 PAN 协调器处于非活动状态（睡眠）。这在跳频或非信标模式下无法实现
- 提供了同步和跟踪功能
- 适用于您可以估算数据传输速率并对系统非常了解的情况

#### 劣势：

- 信标会导致每个器件唤醒，因此会浪费器件上的电力，这些器件在特定的超级帧期间本来不必发送数据
- 信标导致传输延迟
- 器件可能无法在有效周期内发送或接收其所需的数据
- 如果您不了解自己的网络，激活时间可能太长或太短



### 4.3.3 非信标使能模式

在非信标使能模式下，协调器不会发送周期性信标，因此网络通信不同步。该器件能够将帧发送到始终开启的协调器。这使得传感器在大部分时间处于睡眠状态，并优化网络器件（传感器）的功耗。PAN 协调器必须始终处于唤醒状态，这会增加其功耗。对于要求协调器具有低功耗以及从传感器到协调器的上游数据具备高速率的应用而言，这种模式并不理想。器件不必保持连接，这会消耗额外的能量。这种运行模式不允许使用处于非活动状态的协调器，因此，它不适合要求协调器具有低功耗的应用。

请注意，传输是由协调器确认的。一旦器件未收到确认的特定数量的消息，它就会假定它是由协调器孤立的，并发送孤立的通知。收到孤立通知的协调器开始重新调整。如果器件断开连接，协调器本身不会发出通知。

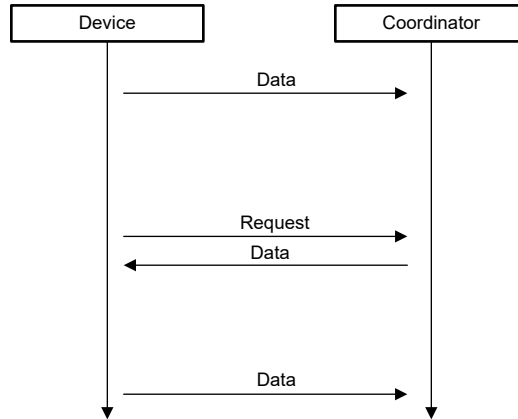


图 4-4. 非信标模式

#### 优势：

- 传感器具有低功耗
- 100% 占用时间，消息传递不会出现额外延迟

#### 劣势：

- 协调器具有高功耗

### 4.3.4 跳频模式

TI 基于 Wi-SUN 跳频实现了跳频模式。跳频模式旨在允许更高的传输功率。频率的变化会导致窄带干扰更少，并有助于创建一个不太可能被拦截或干扰的系统。使用多个频段还提高了抗干扰的稳健性。

然而，跳频会增加系统的复杂性。有关频率实现的更多信息，请参阅 [CC13xx 或 CC26xx TI 15.4-Stack 用户指南](#)。

## 5 安全性

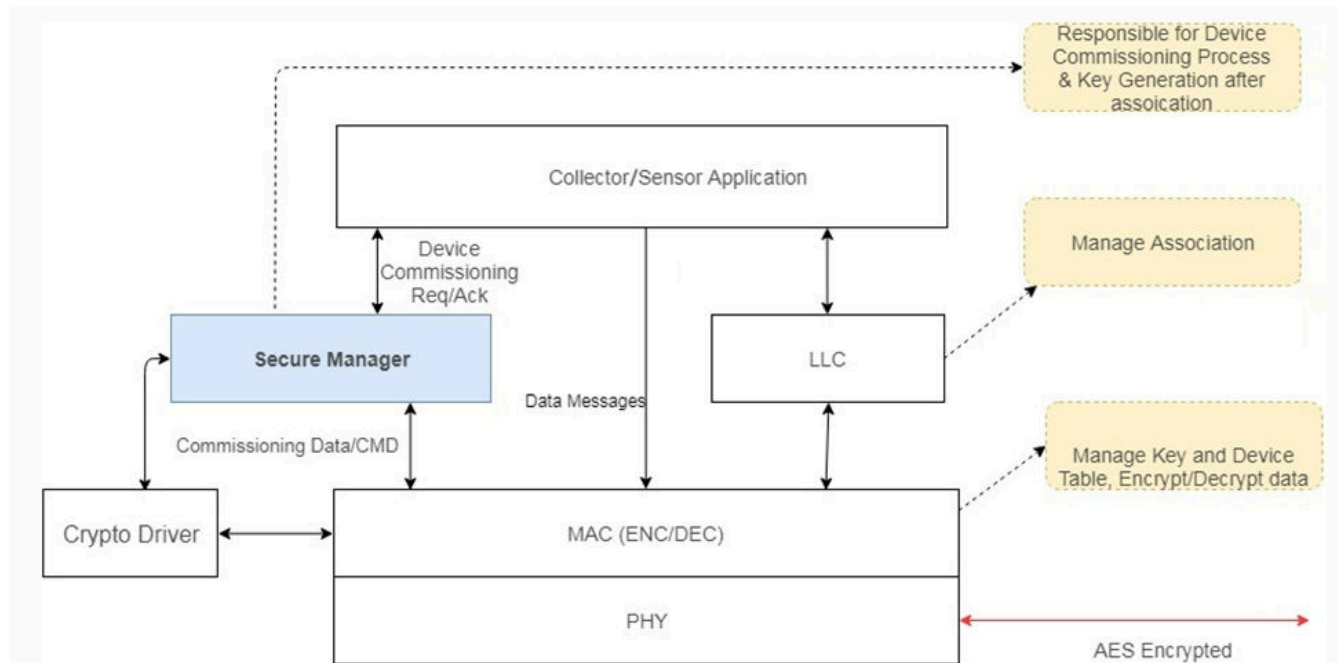
TI 15.4-Stack 支持由 IEEE802.15.4 规范定义的 AES 加密。该应用程序负责密钥管理，但最初并非由 TI 15.4-Stack 完成。但是，该应用程序允许开发人员：

- 隐私政策
- 仅连接可信来源
- 避免跟踪

TI Simplelink 器件包含一个 AES 加速器、一个 ECC 公钥生成器和一个 TRNG，用于支持安全措施。SDK 中提供了几个支持安全性的示例。

**表 5-1. TI 15.4 SDK 示例支持的安全调试功能**

<b>密钥</b>	<b>器件密钥</b> -收集器存储每个器件的器件密钥 <b>网络密钥 (预定义)</b> -每个器件已知
加密层	MAC 层加密
解密层	MAC 层解密 具有 128 位密钥的 AES-CCM-MIC
密钥存储	存储在 MAC 层中的密钥
密钥交换	ECDH P-256 (支持) 匿名密钥协商协议
密钥推导算法	AES-CMAC 和 TRNG 一个共享密钥用于生成器件密钥
身份验证	<b>仅允许：</b> -无身份验证 -无 MITM 保护 <b>默认代码：</b> -MITM-protection <b>通行密钥：</b> -收集器：必须输入 -传感器：显示身份验证
密钥刷新	TI 提供了用于密钥刷新的 API



**图 5-1. 安全实现**

## 6 性能和测试数据

### 6.1 测试数据

#### 6.2 大型网络稳定性测试

TI 对 15.4 星型网络执行了网络稳定性测试。因此，我们能够证明具有多达 100 个节点的网络的稳定性。这些测试是在真实、无干扰的区域内执行的。数据包错误率 (PER) 显示未正确传输的消息所占百分比。

##### 6.2.1 Sub1G

频带	数据速率	轮询/跟踪/报告	节点数量	模式	平均 PER
FCC	5kbps	6s/400s/360s	75	BCN	0.03 %
FCC	5kbps	400s/500s/400s	100	NBCN	0.02 %
FCC	50 Kbps	6s/40s/40s	75	FH	0.00%
FCC	50kbps	6s/40s/40s	100	FH	0.08 %
ETSI	200kbps	20s/100s/20s	100	NBCN	0.08 %

##### 6.2.2 2.4GHz

节点数量	模式	平均 PER
75	BCN	0.00%
75	NBCN	0.01%

### 6.3 传输速率

由于网络设置的原因，15.4 网络不会完全达到可能的数据传输速率。可能的数据速率受网络设置、节点数量、干扰以及所用的 PHY 和网络的报告/轮询结构的影响。因此，在不进行测试的情况下预测网络的功能并非易事。

但是，为了让您大致了解可能的功能，下面各节中显示了一些测试数据。

#### 6.3.1 单一传感器网络

这些测量是使用一个传感器完成的，报告数据包大小为 100 字节。更改有效载荷大小会影响可能的数据吞吐量。

一般来说，较高的传输速率会提高 PER。

表 6-1. 单一传感器网络

模式	数据速率	PER (%) 1	应用吞吐量 (kbps)	网络实用程序
NBCN	5kbps	0.17%	3.26	80.11 %
NBCN	50kbps	.312%	27.115	70.95 %
BCN	50kbps	0.41%	25.39	66.5 %
FH	50kbps	0.493%	21.94	69.65 %
NBCN	200kbps	0.11%	81.5	-

1. 数据包错误率 (PER) - 应用观察到的数据包故障数，其原因可能是通道访问失败 (通道太忙而无法传输帧) 或数据确认失败 (即使在 MAC 重试次数达到上限后也未从接收器接收到确认)。

#### 6.3.2 五传感器网络

表 6-2. 五传感器网络

模式	数据速率	网络实用程序	PER (%)	应用吞吐量 (kbps)
NBCN 模式	50kbps	43 %	4.418	15.598982
BCN 模式	50kbps	43 %	1.048	16.148966
FH 模式	50kbps	44 %	5.422	12.862608

1. 数据包错误率 (PER) - 应用观察到的数据包故障数，其原因可能是通道访问失败（通道太忙而无法传输帧）或数据确认失败（即使在 MAC 重试次数达到上限后也未从接收器接收到确认）。

### 6.3.3 47- 传感器网络

表 6-3. 47- 传感器网络

模式	数据速率	网络实用程序	交付率 (%)	应用吞吐量 (kbps)
NBCN	5kbps	35 %	87.8%	0.92
NBCN	50kbps	45%	86.88%	7.84
BCN	50kbps	40%	93 %	9.49
FH	50kbps	55 %	97.03	9.38

## 7 开箱即用体验

为了加快客户开发过程，我们的 SDK 提供了一组开箱即用示例，让您了解如何使用我们的 15.4 示例的多项功能。可以在 [TI-SimpleLink Academy](#) 中找到这些示例。

- 传感器和收集器 Project Zero 示例介绍了如何使用 TI-15.4 Stack，并展示了如何轻松创建基于 15.4 的星形拓扑网络。它还有助于了解不同模式及其消息交换的运作方式。
- 通过使用 TI-15.4 Stack 和可移植应用示例，您可以使用我们的传感器/收集器示例轻松移植应用。
- Linux Gateway Project Zero 可让您了解我们的器件如何作为协处理器与 Linux 应用处理器搭配使用。
- 还提供了一些示例，说明如何将几种安全功能与我们的 15.4 示例结合使用。
- 通过我们的无线下载示例，您可以了解如何使用 15.4 在传感器上运行 OAD 更新。我们的示例包含以下功能：
  - 确定映像是否应被接受
  - 接收和解包映像块
  - 将块写入非易失性存储器并进行接收
  - 下载后验证映像

## 8 工具

### 8.1 Code Composer Studio

2023 年 5 月的最新版本是 V12.3.0 指向 Code Composer Studio™ (CCS) 的链接可在 [TI.com](#) 上找到。

### 8.2 SysConfig

图形用户界面可用于配置我们的 Simplelink 器件。它可用于配置引脚、外设、无线电和子系统，还有助于创建可用作定制设计方案的启动配置的 C 头文件和代码文件。此外，它还可让您在开发过程中调整您的系统。

### 8.3 数据包监听器

Smart RF 数据包监听器 2 是用于采集和显示通过无线数据包的工具箱。

### 8.4 电池寿命计算器

电池寿命计算器可帮助您计算基于 Simplelink 的 TI-15.4-Stack 应用的功耗：[TI 15.4-Stack 电池寿命计算器](#)

这些计算可帮助您在原型可用之前完成该操作。我们的 LaunchPad 和传感器/收集器示例也可以完成相同的操作。LaunchPad 提供了 TI-Energy Trace 技术，无需在 IDE 中直接添加额外的设备即可测量电流消耗量。

### 8.5 Linux

TI 15.4 Stack-Gateway-Linux 软件开发套件 (SDK) 为 TI 15.4 Stack 配套解决方案提供 Linux 软件中间件。它包括一个在 TI 适用于 AM335x 平台的 TI Processor SDK 上运行的完整 Linux 用户空间软件，该软件可与在 SimpleLink CC13xx 无线 MCU 上运行的 TI 15.4 Stack 的协处理器嵌入式实现连接。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司