

---

---

## **SAM L11 超低功耗安全 LoRa 演示**

---

---

### **摘要**

---

本文档介绍了 SAM L11 的创新功能实现，以展示超低功耗安全 LoRa 节点。

- 应用程序要求
- 如何在 SAM L11 目标器件上编译和加载应用程序
- 技术解决方案说明和用于编译演示的关键 SAM L11 功能

本应用笔记提供了演示源代码。

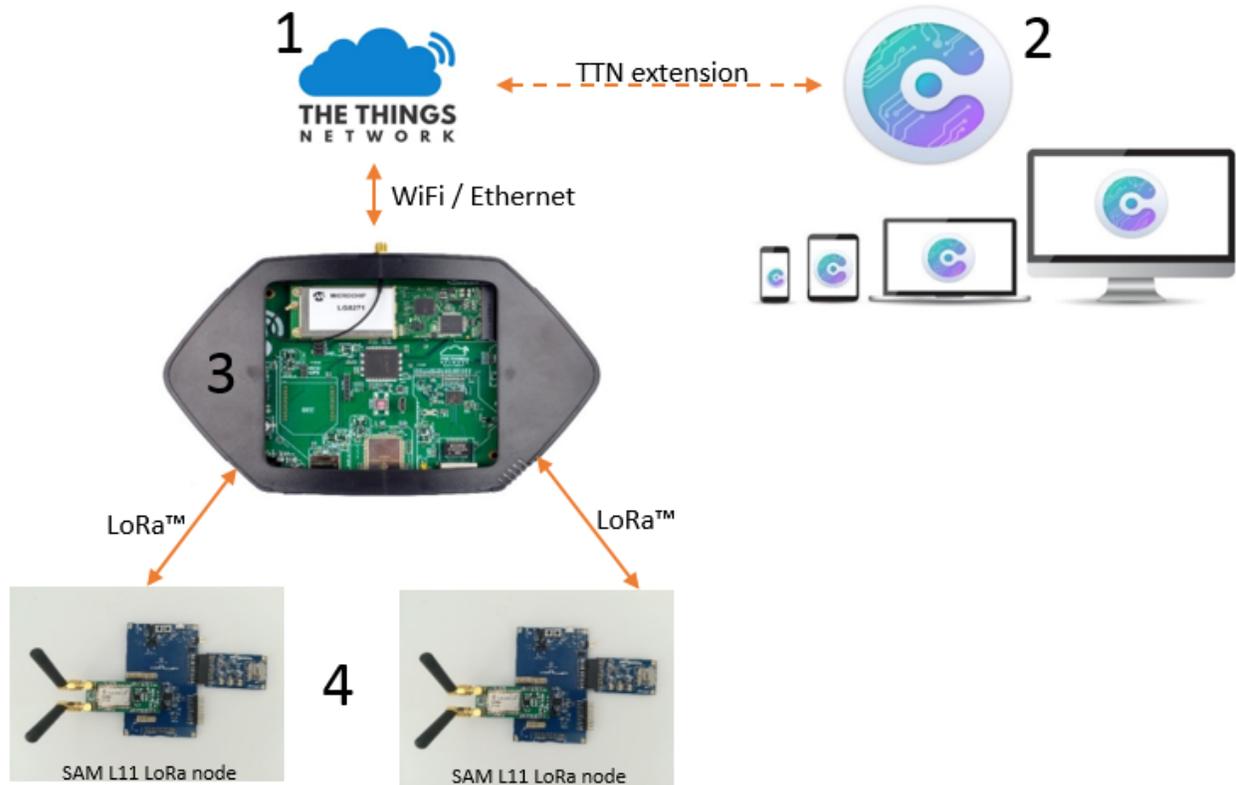
## 目录

摘要.....	1
1. 简介.....	3
2. 硬件和软件要求.....	8
2.1. 硬件要求.....	8
2.2. 软件要求.....	11
3. 演示设置.....	13
3.1. 硬件设置.....	13
3.2. 网络设置.....	13
3.3. 软件设置.....	14
4. 演示说明.....	21
4.1. 应用程序概述.....	21
4.2. SAM L11 LoRa 演示：安全项目.....	23
4.3. SAM L11 LoRa 演示：非安全项目.....	27
4.4. SAM L11 LoRa 节点的功耗.....	31
5. 系统资源和软件项目配置.....	32
5.1. 安全项目.....	33
5.2. 非安全项目.....	36
6. 附录.....	42
6.1. The Things Network 设置.....	42
6.2. Cayenne.....	45
6.3. 硬件修改.....	50
Microchip 网站.....	53
变更通知客户服务.....	53
客户支持.....	53
Microchip 器件代码保护功能.....	53
法律声明.....	54
商标.....	54
质量管理体系.....	55
全球销售及服务网点.....	56

## 1. 简介

演示环境的各个元素均基于典型的物联网（Internet of Things, IoT）网络，如下图所示：

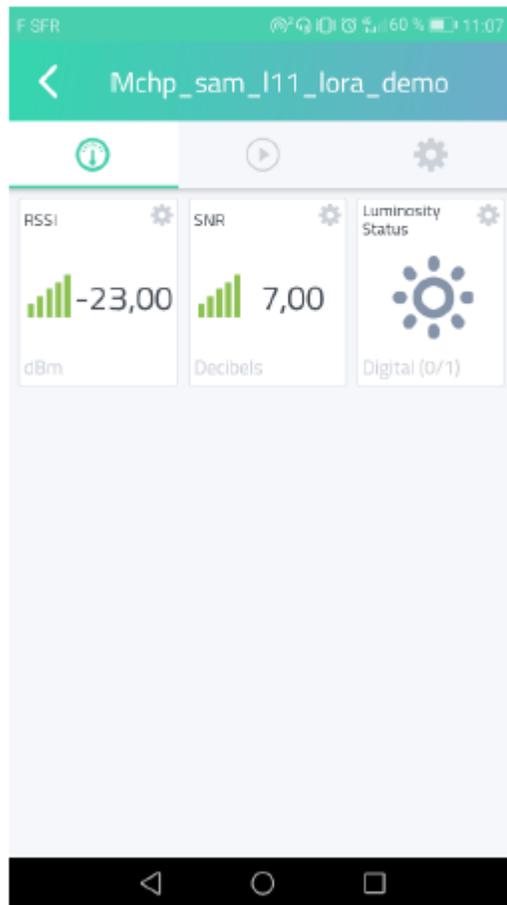
图 1-1. 物联网网络



其中每个元素均代表物联网网络的特定部分：

- 1. The Things Network (TTN)** ——专门针对 LoRa 通信的物联网网络服务。它基于 LoRaWAN™ 协议构建了一个带网关的大型网络，以增加现有 LoRa 应用和用户的数量。该协议支持多种适用于物联网的特性，例如电池低电量应用、长距离、低带宽和低噪声衰减。  
有关 TTN 和器件注册的更多信息，请参见 [The Things Network 设置](#)。
- 2. Cayenne** ——前端网站，旨在简化关于支持 LoRa 的物联网解决方案的创建和开发过程。它支持不同的功能，例如数据可视化、SMS 和电子邮件警报、触发和远程监控。下图所示为智能手机上的 LoRa 节点的 Cayenne 仪表盘：

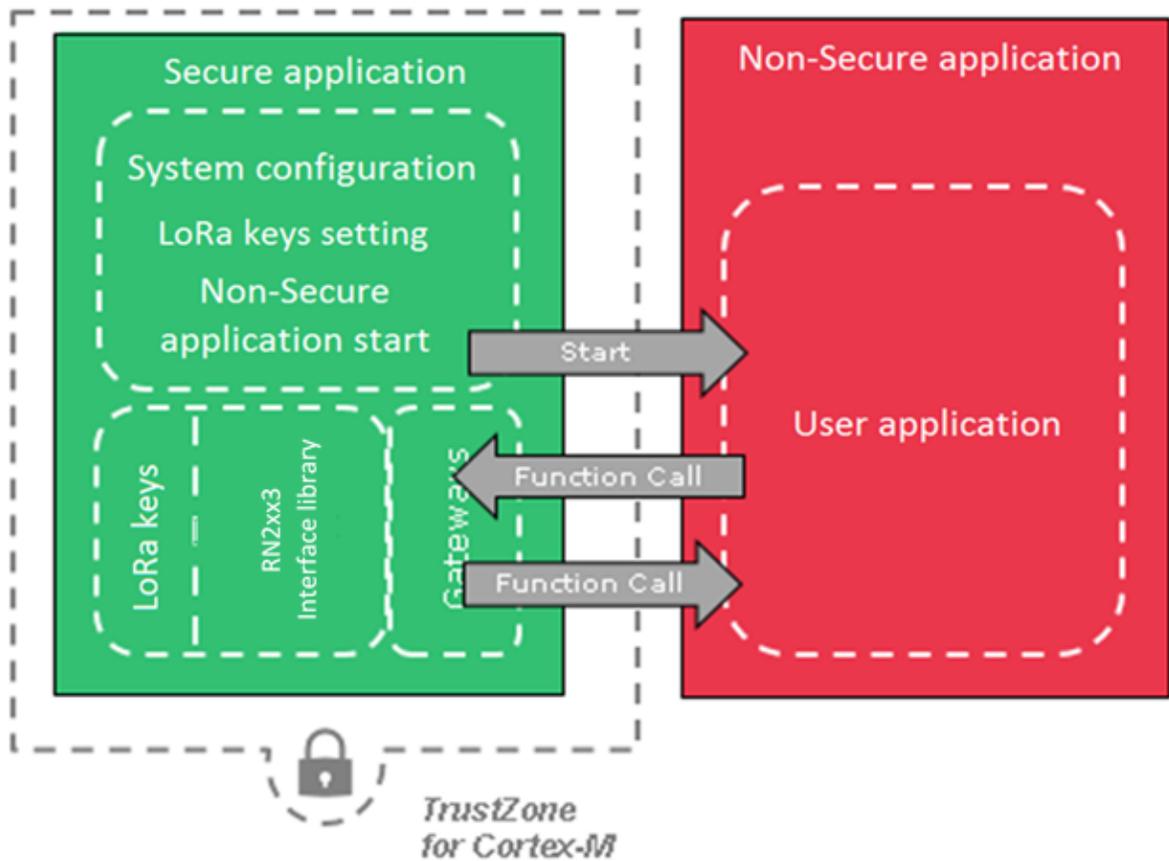
图 1-2. Cayenne 仪表板



有关 Cayenne 配置的更多信息，请参见 [Cayenne](#) 一章。

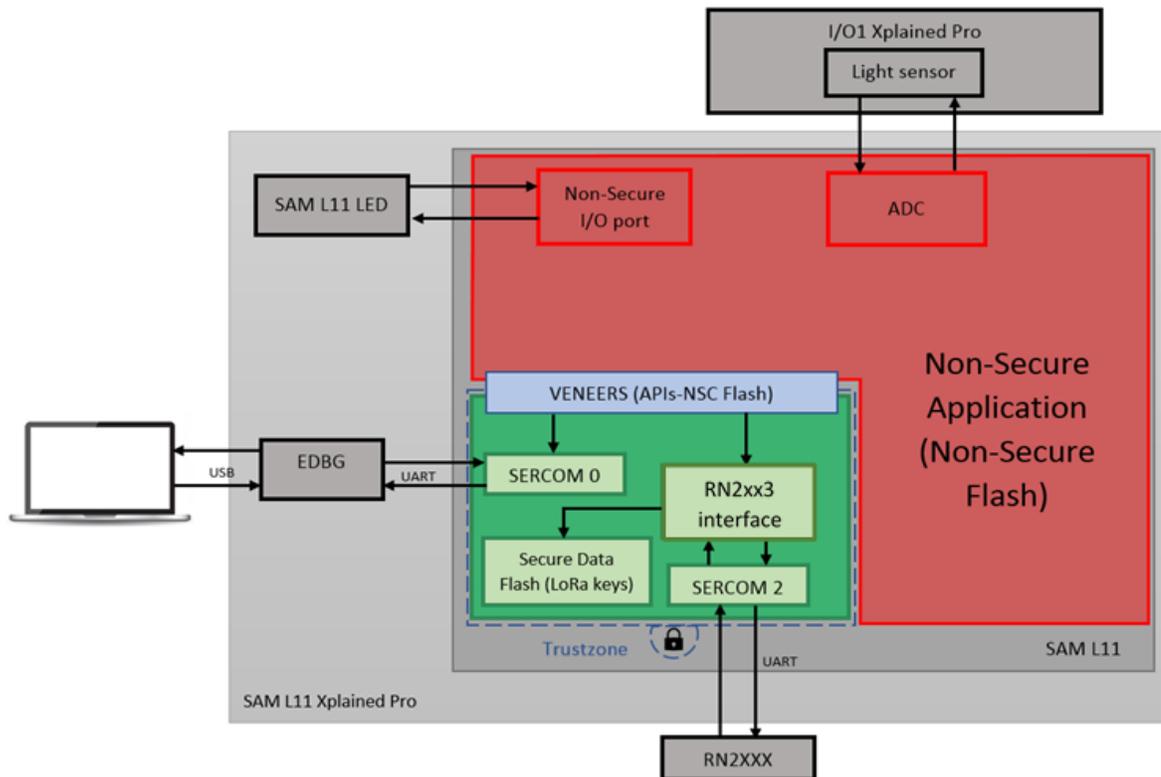
3. **网关**——使 SAM L11 LoRa 节点（SAM L11 + RN2483 或 RN2903 无线 LoRa 模块）能够连接到云端（The Things Network）。用于 LoRa 通信的网关有许多。本演示应适用于针对 868 MHz 或 915 MHz 制定的每一种 LoRa 网关解决方案，这些解决方案符合 TTN 网络的要求。  
有关 The Things Gateway（TTGateway）的更多信息，请访问以下网站：<https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/>
4. **SAM L11 LoRa 节点**——演示环境的主要部分基于与 LoRa Click board™和 IO1 Xplained Pro 扩展板连接的 Microchip SAM L11 单片机。下图说明了系统如何利用 Arm® Cortex®-M 器件的 Arm Trustzone®将 LoRa 密钥和 RN2xx3 接口库存储到安全应用程序中，并管理安全和非安全应用程序之间的交互。

图 1-3. 安全和非安全



下图给出了与 SAM L11 LoRa 节点搭配使用的外设的详细信息:

图 1-4. LoRa 节点（显示外设）



数据闪存配置为安全存储器以存储 LoRa 密钥，RN2xx3 接口库存储在闪存的安全部分。无线激活（Over-The-Air Activation, OTAA）步骤有三个密钥：

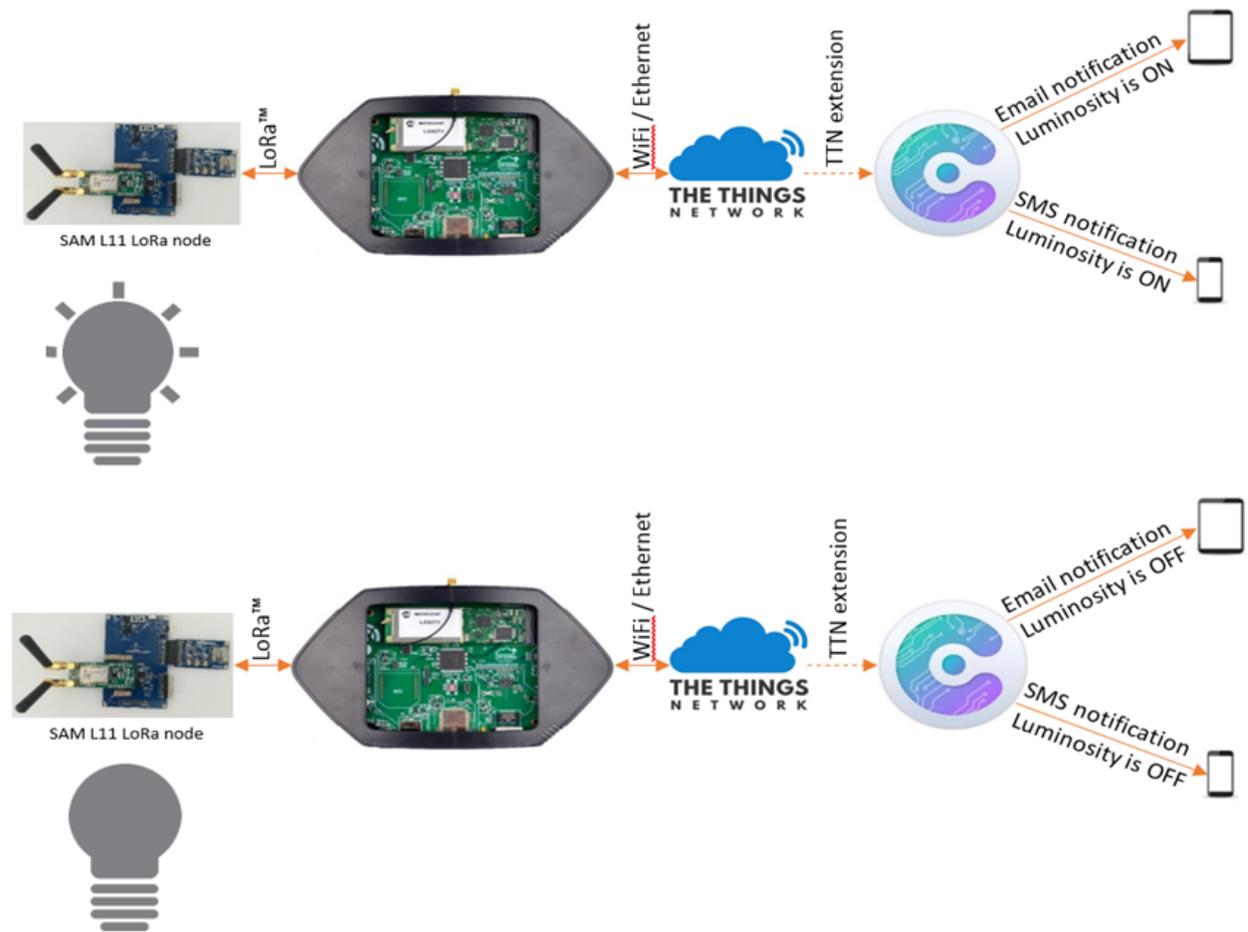
- 应用程序 EUI（AppEUI），即应用程序标识符
- 器件 EUI（DevEUI），即最终器件标识符
- AppKey，用于获取安全功能（例如，加密）密钥

UART 模式下的 SERCOM 2 和 SERCOM 0 用于与 RN2483 或 RN2903 无线 LoRa 模块和 EDBG 控制台进行通信。

在非安全项目中，ADC 配置为测量从 IO1 Xplained Pro 的光传感器接收的数据。SAM L11 板上 LED 用作控制 LED，以了解 SAM L11 何时发送数据。

非安全应用程序使用安全项目提供的安全库来设置安全的低功耗 LoRa 应用程序。此应用程序使用 SAM L11 LoRa 节点向云端发送亮度状态，以通知用户（通过文本消息和电子邮件）发生变化，允许用户根据收到的信息采取相应的措施。如果在 ADC 上未测量到亮度变化，则 SAM L11 LoRa 节点将进入低功耗模式（SAM L11 为待机模式，RN2483 或 RN2903 为休眠模式）。

图 1-5. SAM L11 LoRa 节点设置



有关安全和非安全应用程序的更多信息，请参见 4. 演示说明。

## 2. 硬件和软件要求

### 软件要求

- Atmel Studio 7 (补丁 1931 或更高版本)
- SAM L11 DFP 版本 1.0.81
- Tera Term: <https://osdn.net/projects/ttssh2/releases/>

### 欧洲地区的硬件要求:

- 1 块 Microchip SAM L11 Xplained Pro 板 (dm320205)
- 1 块 Microchip IO1 Xplained Pro 扩展板 (ATIO1-XPRO)
- 1 块 MikroElektronika LoRa click 板 (包括 Microchip RN2483 无线 LoRa 模块)
- 1 根 868 MHz 天线
- 1 块 868 MHz 网关 (符合 TTN 网络要求)
- 1 根 Micro USB 电缆 (A 型/Micro B 型)

### 北美地区的硬件要求:

- 1 块 Microchip SAM L11 Xplained Pro 板 (dm320205)
- 1 块 Microchip IO1 Xplained Pro 扩展板 (ATIO1-XPRO)
- 1 块 MikroElektronika LoRa click 板 (包括 Microchip RN2903 无线 LoRa 模块)
- 1 根 915 MHz 天线
- 1 个 915 MHz 网关 (符合 TTN 要求)
- 1 根 Micro USB 电缆 (A 型/Micro B 型)

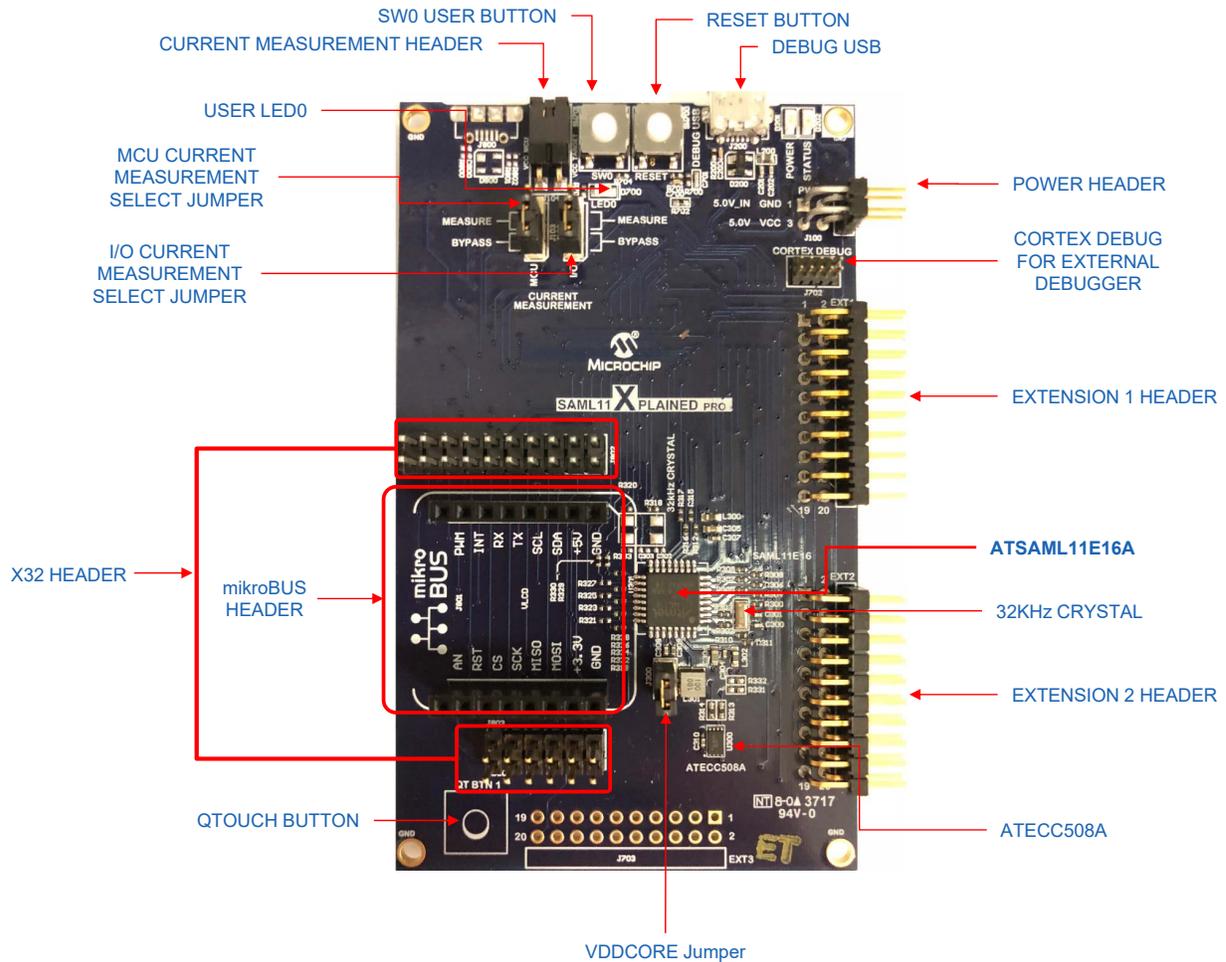
## 2.1 硬件要求

### 2.1.1 Microchip SAM L11 Xplained Pro

Microchip SAM L11 Xplained Pro 评估工具包是用于评估 ATSAML11E16A 单片机的硬件平台。此工具包由 Atmel Studio 集成开发平台提供支持, 可轻松访问 Microchip ATSAML11E16A 的功能, 并介绍了如何将器件集成到自定义设计中。

Xplained Pro MCU 系列评估工具包包括板上嵌入式调试器, 因此无需使用外部工具即可对板上单片机进行编程或调试。Xplained Pro 扩展工具包提供额外的外设以扩展电路板的功能, 并能够简化自定义设计的开发。下图说明了 SAM L11 Xplained Pro 板的功能。

图 2-1. SAM L11 Xplained Pro 板



### 2.1.2 Microchip IO1 Xplained Pro 扩展板

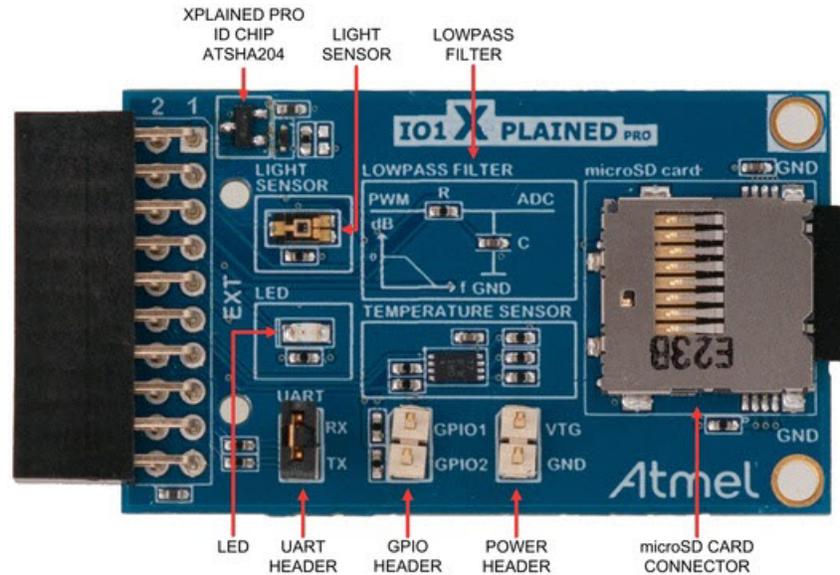
Microchip IO1 Xplained Pro 扩展板是 Xplained Pro 平台的通用扩展板，其连接至任一 Xplained Pro MCU 板上的任一 Xplained Pro 标准扩展插座。

扩展板使用标准 Xplained Pro 扩展插座上的以下功能来增强 Xplained Pro MCU 板的功能集。

- SPI
  - MicroSD 卡连接器
  - 包括 2 GB microSD 卡
- PWM
  - LED 控制
  - PWM → 低通滤波器 → ADC
- ADC
  - PWM → 低通滤波器 → ADC
  - 光传感器
- UART
  - 环回接口（通过引脚插座实现）

- TWI
  - 带 EEPROM 的 AT30TSE758 温度传感器

图 2-2. IO1 Xplained Pro 扩展板

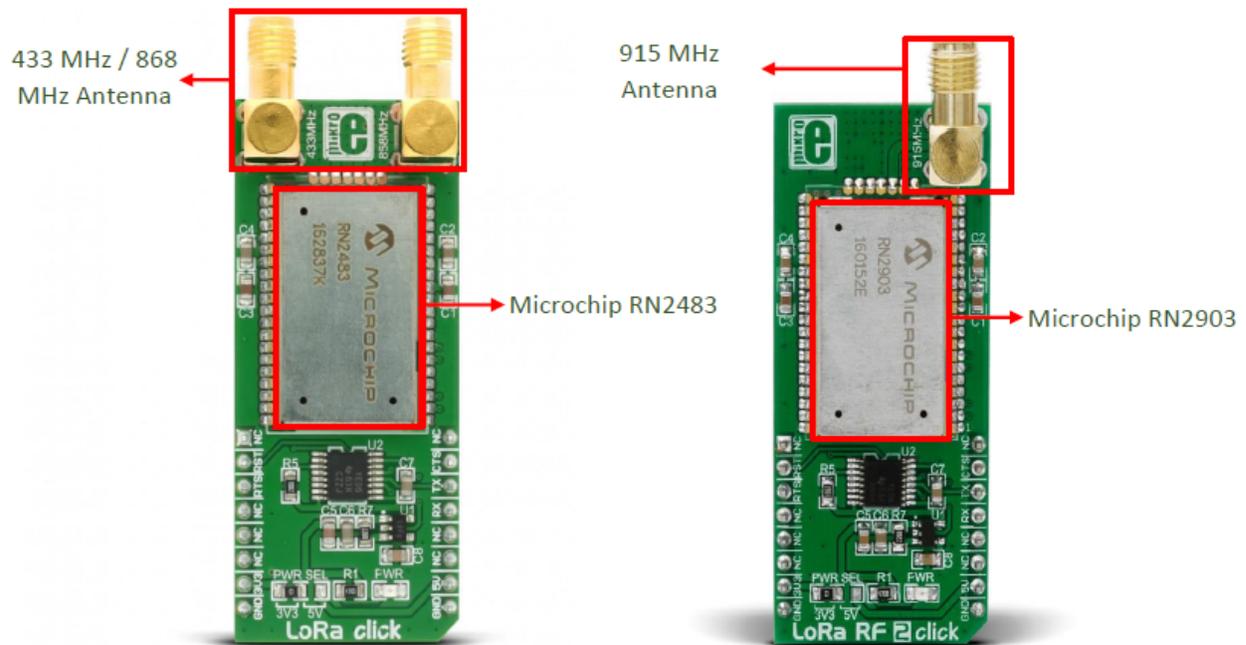


### 2.1.3 MikroElektronika LoRa Click 板（包括 Microchip RN2483 或 RN2903）

MikroE LoRa click 板是基于 LoRa RF 技术的 SRD 收发器，在欧洲（内置 RN2483）工作在 433 MHz 或 868 MHz 下，在北美（内置 RN2903）工作在 915 MHz 下。该 click 板符合 LoRaWAN A 类标准，可实现具有高抗干扰性的远程扩频通信。此 click 板上使用的模块是经过完全认证的 LoRa Sub GHz。RN2483 是经欧洲 RED 指令评估认证的无线电调制解调器，RN2903 经认证符合 FCC 和 IC 要求。这些电路板与高级且简单的命令接口相结合，可轻松实现集成并缩短开发时间。

- UART——与 RX、TX、RTS 和 CTS 引脚通信

图 2-3. RN2483 和 RN2903 板



## 2.2 软件要求

### 2.2.1 Atmel Studio 7 集成开发平台

Atmel Studio 7 集成开发平台 (Integrated Development Platform, IDP) 用于开发和调试基于 Atmel Arm® Cortex®-M 处理器的应用程序以及 Atmel AVR® 单片机应用程序。

Atmel Studio 7 IDP 提供了一种易于使用的无缝环境，可用于编写、编译和调试采用 C/C++ 或汇编代码编写的用户应用程序。Atmel Studio 7 支持所有 8 位和 32 位 AVR、全新的 SoC 无线系列以及 SAM 单片机，并与 Atmel 调试器和开发工具包无缝连接。

图 2-4. Atmel Studio 7



Atmel Studio 7 可从以下网址下载：<http://www.microchip.com/avr-support/atmel-studio-7>。

### 2.2.2 Atmel START

Atmel START 是一款基于 Web 的软件配置工具，用于启动基于 Microchip SAM 和 AVR 单片机的全新嵌入式开发。无论是从新项目还是示例项目开始，您都可以通过 Atmel START 选择和配置来自 SAM 高级软件

框架的丰富软件组件，从而以实用和优化的方式定制嵌入式应用程序。Atmel START 支持针对 Atmel Studio 7、IAR Embedded Workbench®、Keil  $\mu$ Vision®生成代码/项目，或者生成通用 makefile。

图 2-5. Atmel START



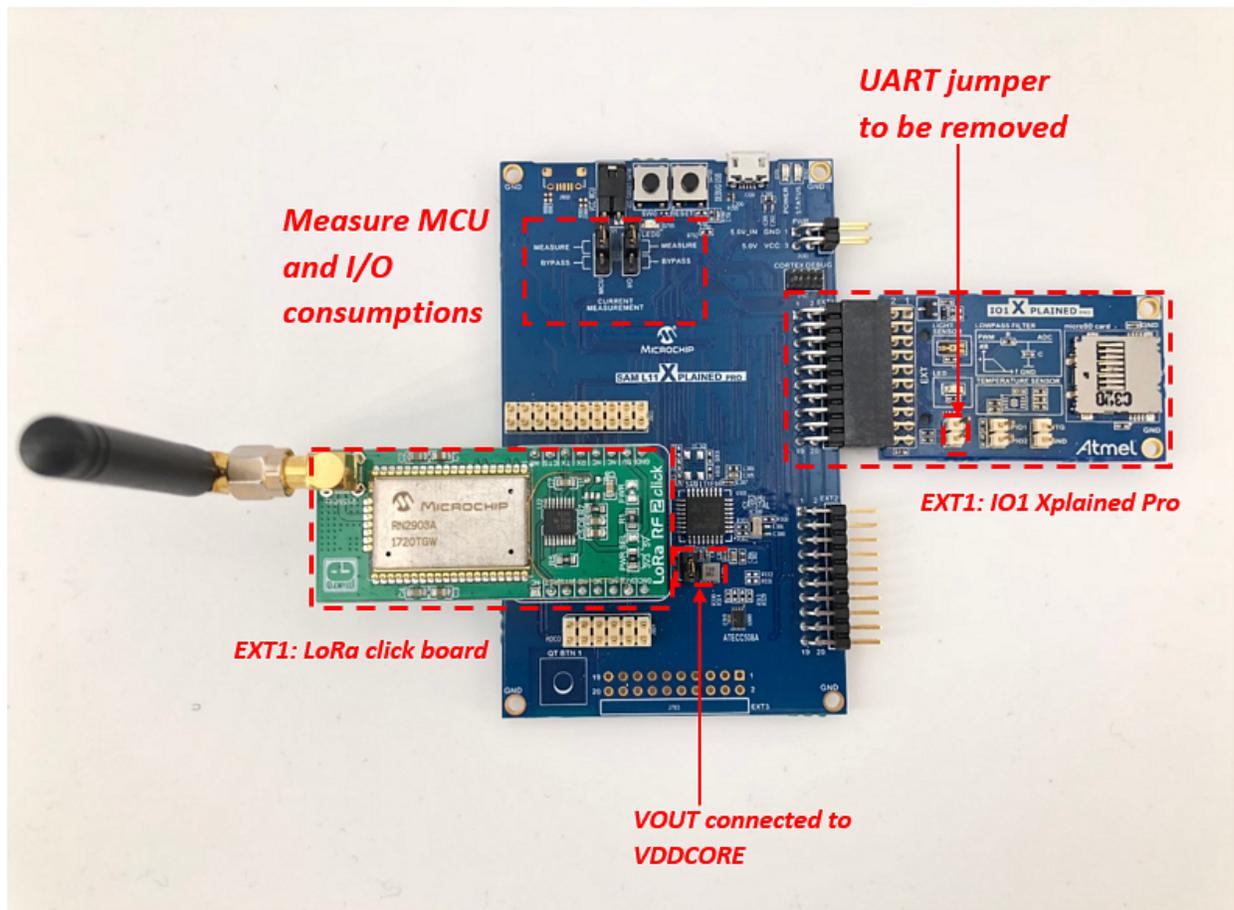
### 3. 演示设置

演示涉及以下步骤：

#### 3.1 硬件设置

要设置硬件，用户需要执行以下操作：将 IO1 Xplained Pro 扩展板和 LoRa click 板连接到 SAM L11 Xplained Pro 板，然后设置板跳线，如下图所示。现在，演示硬件已准备好进行评估。

图 3-1. 硬件设置



注：确保移除 IO1 Xplained Pro 板上的 UART 跳线，否则 SAM L11 将无法与 RN2483 或 RN2903 模块通信。

#### 3.2 网络设置

##### The Things Network (TTN) 设置

如果尚未设置 TTN，可参见 [7.1 The Things Network](#) 了解有关 TTN 设置和器件注册的更多信息。

---

### 符合 TTN 要求的 LoRa 网关设置

以下链接提供了符合 TTN 要求的网关列表以及入门信息：<https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/>。

### Cayenne 设置

如果尚未设置 Cayenne，可参见 [7.2 Cayenne](#) 了解有关 Cayenne 上的器件注册、有效负载格式和 Cayenne 智能功能的更多信息。

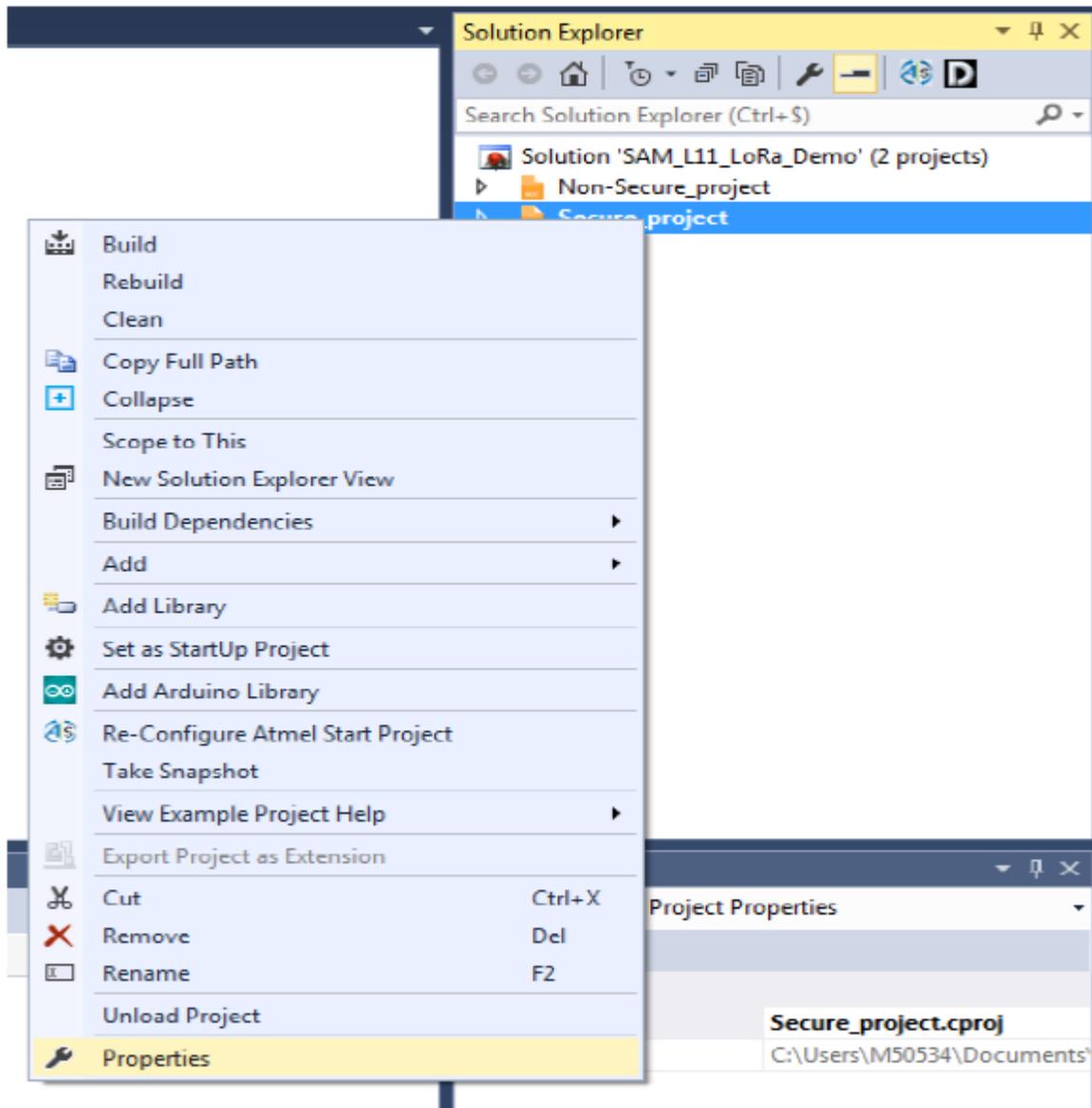
至此已完成网络设置。

## 3.3 软件设置

要打开和加载基于目标硬件的演示项目，请按以下步骤操作：

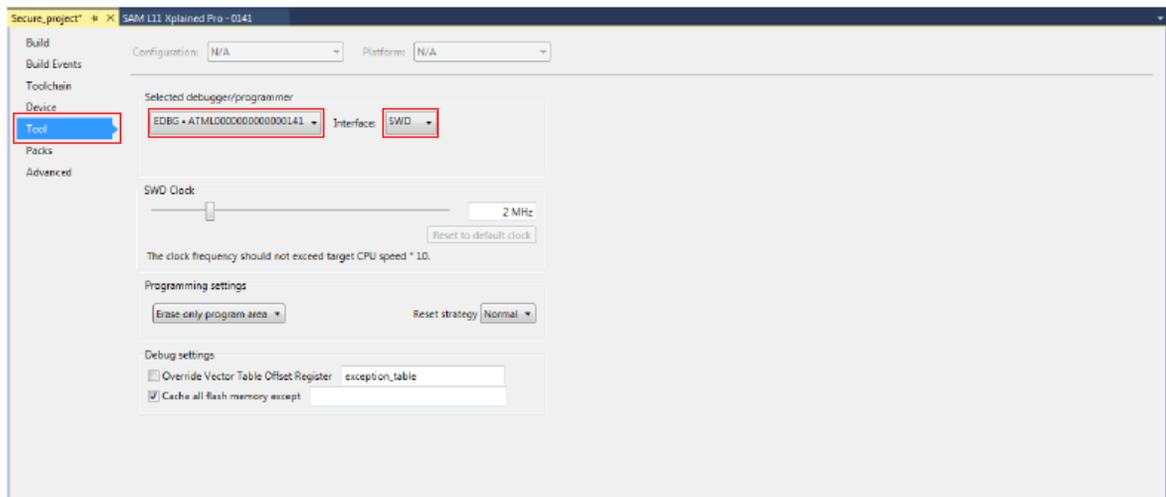
1. 打开 Atmel Studio 7.0。
2. 打开演示项目：*File > Open > Project/Solution*（文件 > 打开 > 项目/解决方案）。
3. 浏览并选择 *SAM\_L11\_LoRa\_Demo.atsln* 文件，该文件随演示包一起提供。
4. 在 Atmel Studio 7.0 IDE 下加载项目时，选择 EDBG 板作为调试器/编程器工具。
5. 从 Solution Explorer（解决方案资源管理器）面板中，选择 *Secure\_project > Properties*（安全项目 > 属性）。

图 3-2. 解决方案资源管理器窗口



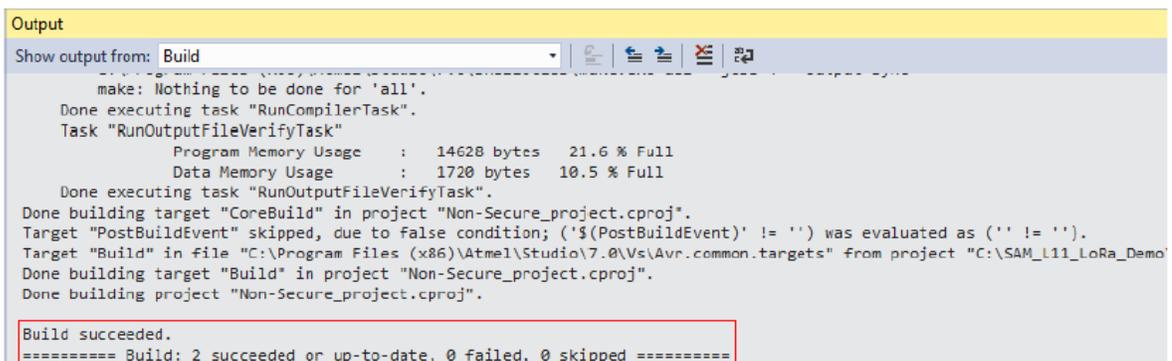
6. 从属性窗口中选择工具。
7. 选择连接的板 EDBG 作为调试器/编程器。
8. 选择 SWD 作为接口。

图 3-3. 安全项目参数窗口



9. 单击  保存配置。
10. 单击  或者 F7 来编译演示。
11. 检查 IDE Output（输出）窗口中是否有显示任何错误消息。

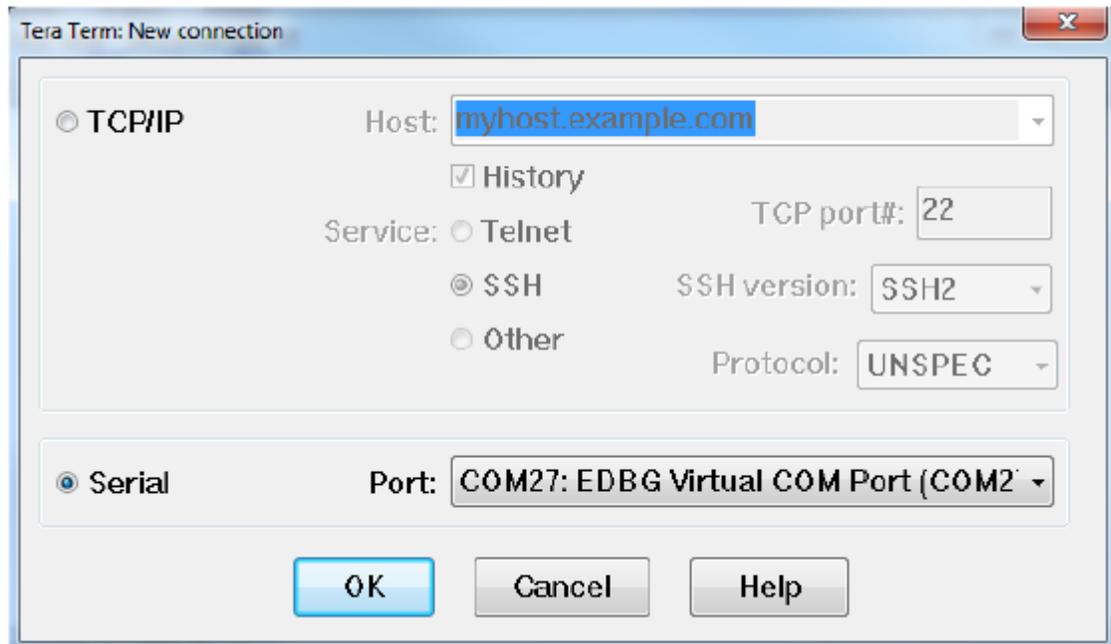
图 3-4. IDE 输出窗口



**重要：** 如果在编译期间发生任何错误，请确保安全项目完成编译。

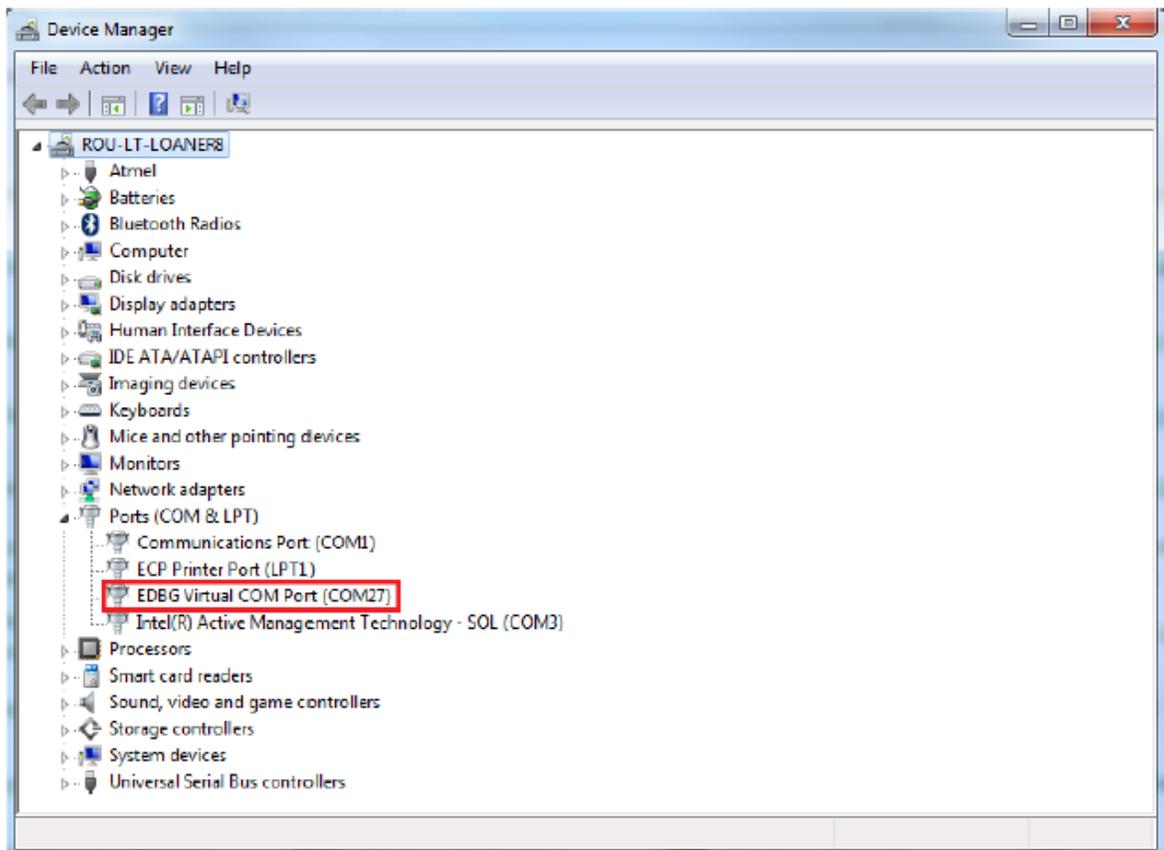
12. 单击  （Ctrl+Alt+F5），刷新硬件上的演示软件。
13. 打开 Tera Term 工具或任何等效工具。
14. 选择分配给 SAM L11 Xplained Pro 的 COM 端口号。

图 3-5. Tera Term 新连接窗口



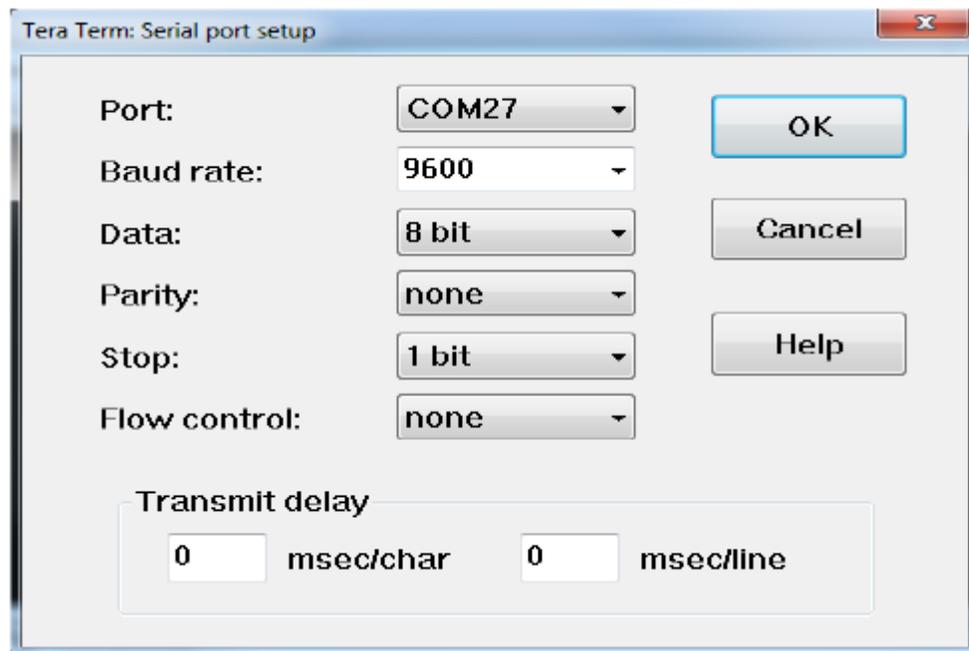
注：可以从 Windows Devices Manager（设备管理器）中检索 COM 端口号。

图 3-6. Windows 设备管理器窗口



15. 使用如下所示的参数配置串行接口。

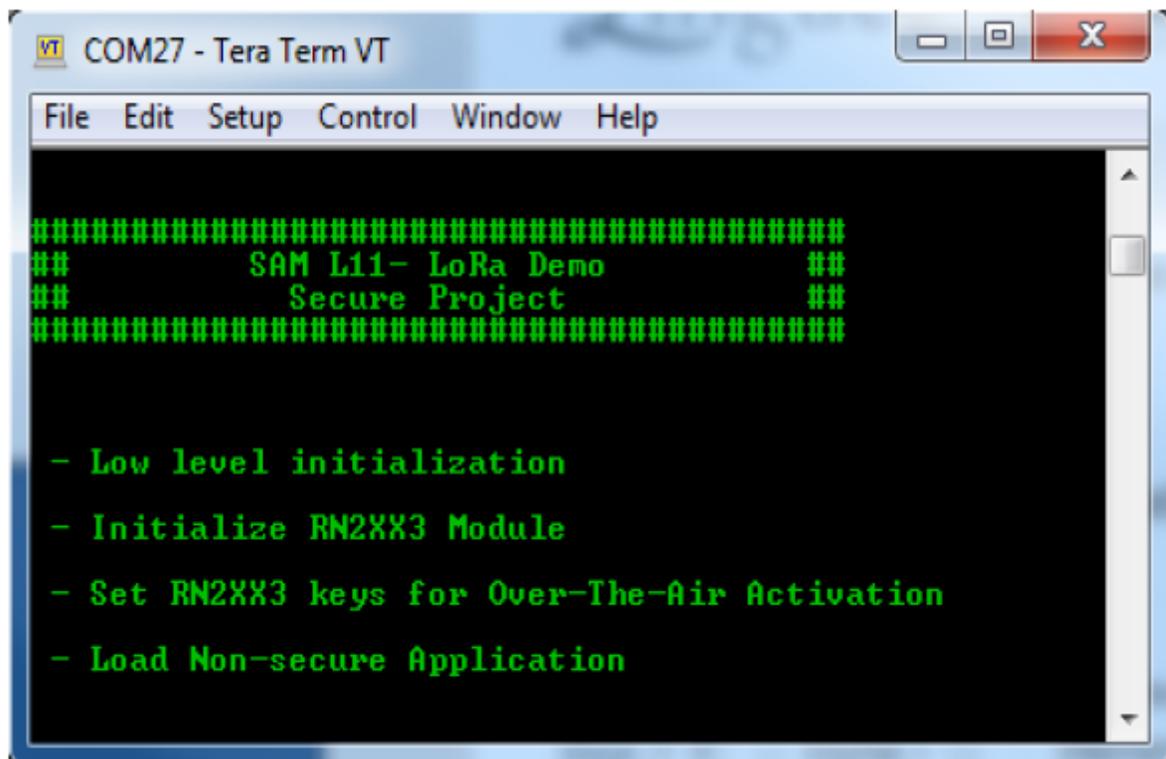
图 3-7. Tera Term 串行端口设置



16. 按下 **RESET**，复位电路板。

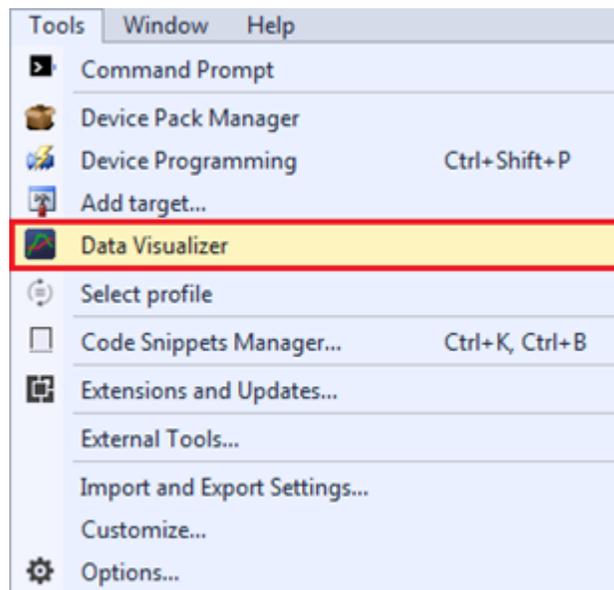
演示启动时将在终端窗口上显示如下消息。显示的消息将取决于是否在设备上配置了不同的应用程序密钥。有关演示行为的更多信息，请参见[演示说明](#)。

图 3-8. 终端窗口（显示消息）



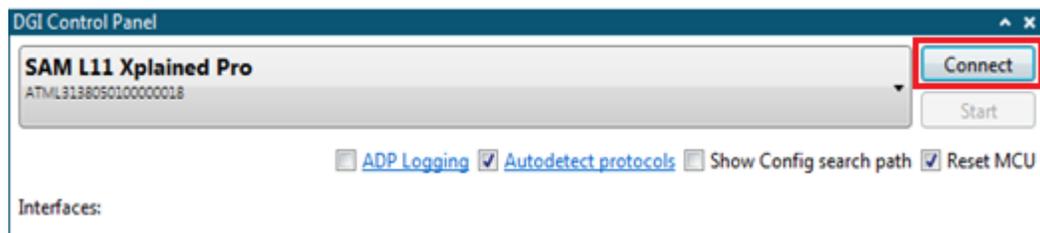
17. 要启动 Data Visualizer 来测量 LoRa 节点的功耗，请按以下步骤操作：单击 *Tools > Data Visualizer*（工具 > Data Visualizer），打开 Atmel Studio 上的 Data Visualizer。

图 3-9. Atmel Studio



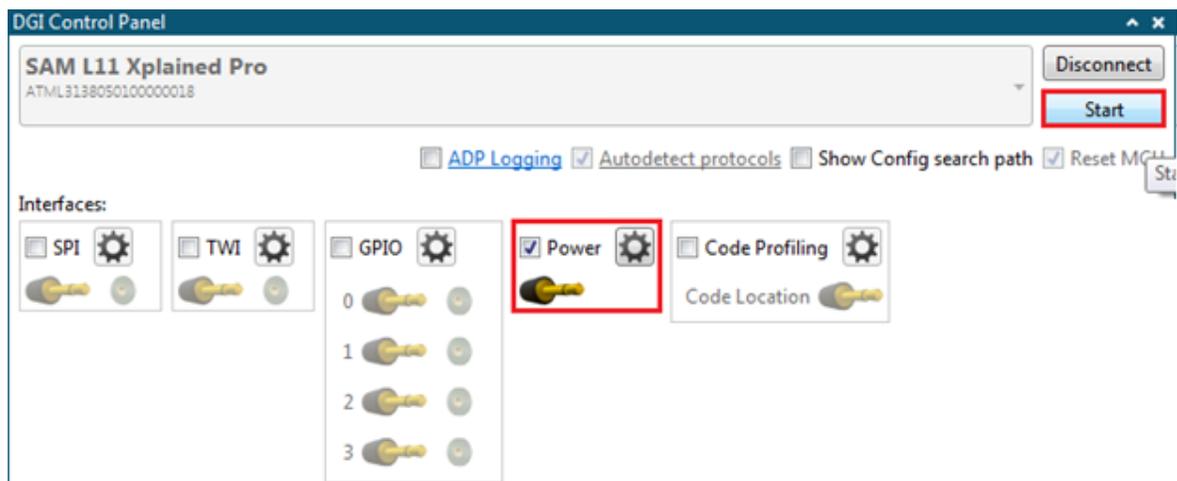
18. 选择 SAM L11 Xplained Pro，然后单击 **Connect**（连接）。

图 3-10. DGI 控制面板



19. 选择 Power（功耗），然后单击 **Start**（启动）。

图 3-11. DGI 控制面板



20. Data Visualizer 将显示 SAM L11 LoRa 功耗的详细信息。

图 3-12. Data Visualizer (显示功耗)

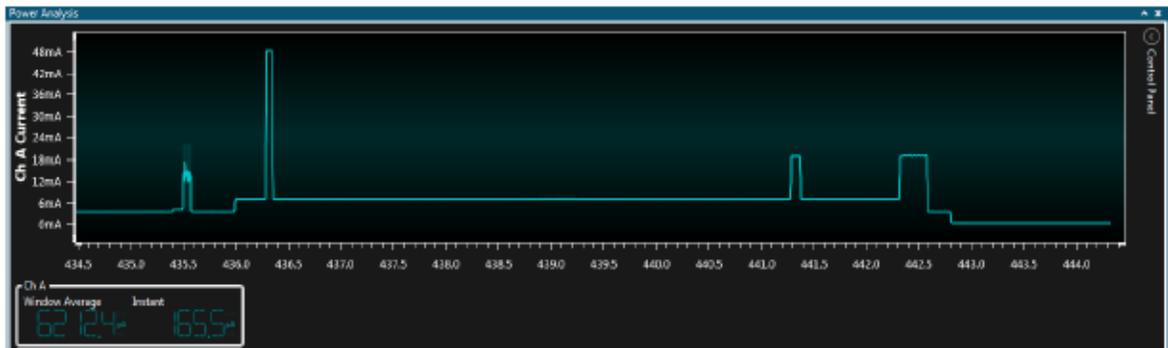




图 4-3. 安全网关（模板）

```

/* ***** Secure LoRa click-board NSC functions ***** */

/* -----
- NAME :          void nsc_rn2xx3_break(void)
- DESCRIPTION : (Secure Gateway) Send a break condition (0x55) to the rn2483
- PARAMETERS :   None
- RETURN :       None
----- */
extern void nsc_rn2xx3_break(void);

/* -----
- NAME :          void nsc_rn2xx3_sleep (char* sleep_duration)
- DESCRIPTION : (Secure Gateway) Put the rn2483 module into sleep mode for "sleep_durartion" milliseconds
- PARAMETERS :   char* sleep_duration
- RETURN :       None
----- */
void nsc_rn2xx3_sleep (char* sleep_duration);

/* -----
- NAME :          uint8_t nsc_rn2xx3_join_OTAA_network(void)
- DESCRIPTION : (Secure Gateway) Set all parameters to configure and launch an OTAA (Over-The-Air Activation) connection
- PARAMETERS :   None
- RETURN :       rn2483_Status
----- */
uint8_t nsc_rn2xx3_join_OTAA_network(void);

/* -----
- NAME :          uint32_t nsc_rn2xx3_transmit(char* port ,char* payload,char* rx_port,char* rx_payload)
- DESCRIPTION : (Secure Gateway) Send a command to the LoRa click-board
- PARAMETERS :   char* port
                  char* payload
                  char* rx_port
                  char* rx_payload
- RETURN :       rn2xx3_Transmission_Status
----- */
uint32_t nsc_rn2xx3_transmit(char* port ,char* payload,char* rx_port,char* rx_payload);

/* -----
- NAME :          uint32_t nsc_rn2xx3_transmit_without_ACK(char* port ,char* payload)
- DESCRIPTION : (Secure Gateway) Send a command to the LoRa click-board
- PARAMETERS :   char* port
                  char* payload
- RETURN :       rn2xx3_Transmission_Status
----- */
uint32_t nsc_rn2xx3_transmit_without_ACK(char* port ,char* payload);

```

图 4-4. 安全网关（模板）

```

/* -----
- NAME :          void nsc_periph_clock_init(uint32_t pch_id, uint32_t gclk_source)
- DESCRIPTION : (Secure Gateway) Change peripheral clock settings
- PARAMETERS :   uint32_t pch_id
                  uint32_t gclk_source
- RETURN :       None
----- */
void nsc_periph_clock_init(uint32_t pch_id, uint32_t gclk_source);

```

图 4-5. 安全网关（模板）

```
/* ***** Secure SAML11_Low_Power NSC functions ***** */  
  
/* -----  
- NAME :      void nsc_secure_enter_standby (void)  
- DESCRIPTION : (Secure Gateway) Put the SAM L11 in Standby mode (Low-power)  
- PARAMETERS : None  
- RETURN :    None  
----- */  
void nsc_secure_enter_standby (void);  
  
/* ***** Secure console NSC functions ***** */  
  
/* -----  
- NAME :      void nsc_secure_console_puts (char *string)  
- DESCRIPTION : (Secure Gateway) Write a string to the console  
- PARAMETERS : char* string  
- RETURN :    None  
----- */  
void nsc_secure_console_puts (char *string);
```

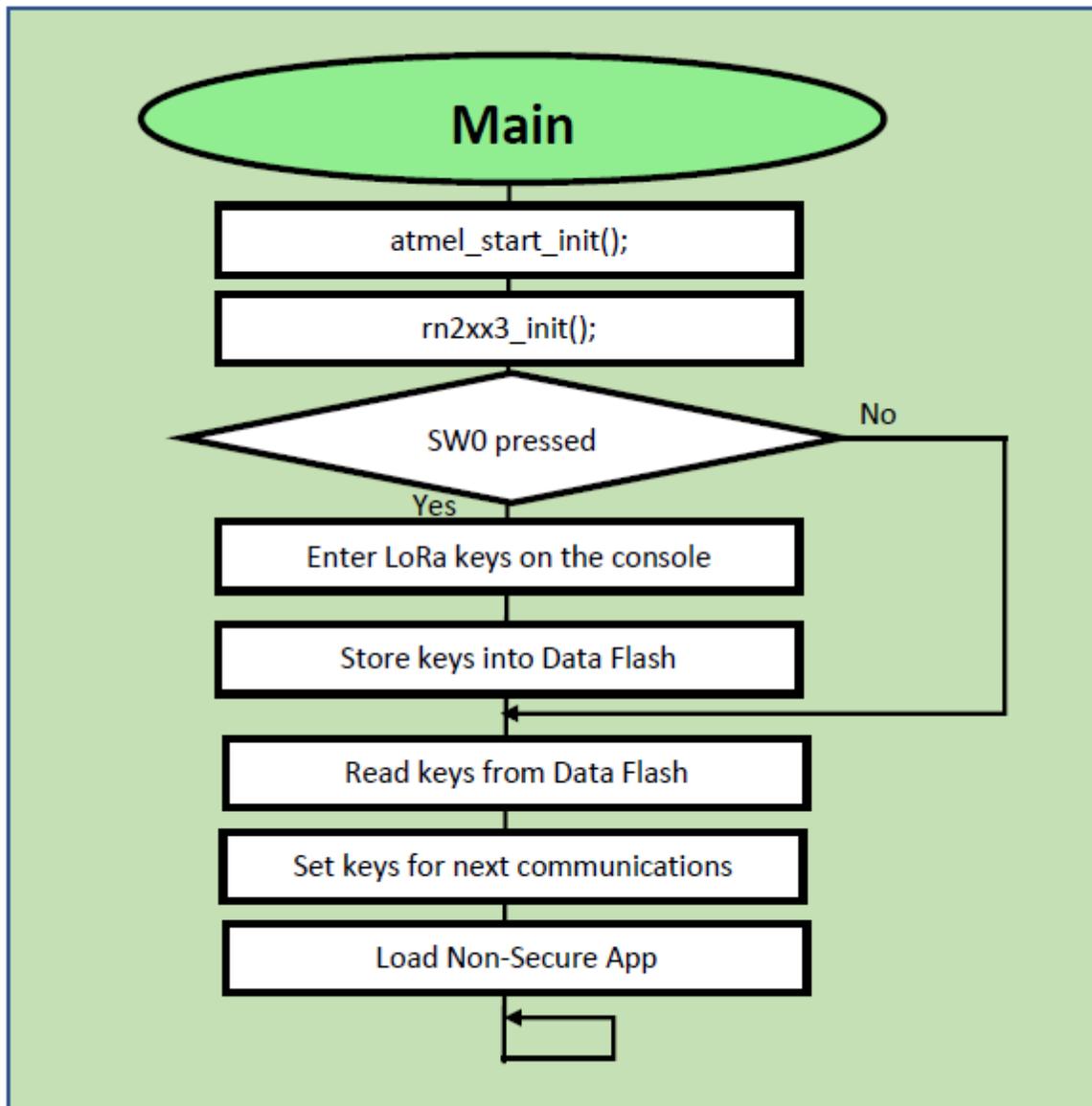
## 4.2 SAM L11 LoRa 演示：安全项目

在产品启动时执行的安全项目负责管理应用程序的关键方面，其存储在 SAM L11 的安全存储器并从其中运行。借助 Cortex-M23 TrustZone，可将这些安全存储器与非安全软件隔离。该安全项目负责在应用程序中执行以下任务：

- 低级系统设置
- 为非安全项目提供 RN2483 或 RN2903 模块（SERCOM）的库和相关模板（API）
- 存储来自 RN2483 或 RN2903 和 TTN 的应用程序密钥
- 加载非安全应用程序
- 管理与主机计算机和 LoRa click 板之间的串行通信

以下是安全项目主程序的流程图：

图 4-6. 安全项目主程序



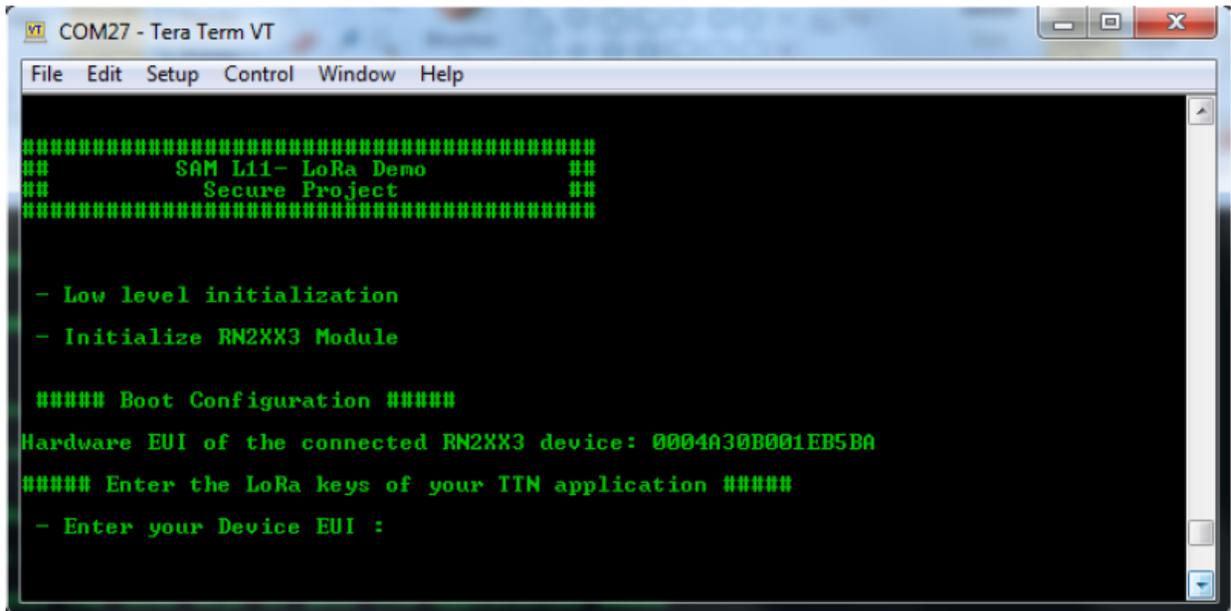
上面的流程图详细说明了安全项目中的不同情况。要启动密钥配置操作，用户必须在安全项目启动期间按下 SW0 按钮，直到出现用于密钥配置的 LoRa 密钥配置画面。要配置的 LoRa 密钥必须与用户的 TTN 设置一致，并存储在产品数据闪存的安全存储区域中。在配置序列之后，将在每次应用程序启动期间从产品数据闪存的安全存储区域中检索密钥，直到产品数据闪存被清空（全片擦除）。应用程序将使用这些密钥加入 TTN 和发送数据。器件注册后，可在 TTN 上访问这些密钥。

#### 4.2.1 密钥未配置

本节介绍如何在引导配置期间实现密钥配置。如果 LoRa 密钥已存储在数据闪存中，请跳过此部分转到[密钥已配置](#)部分。

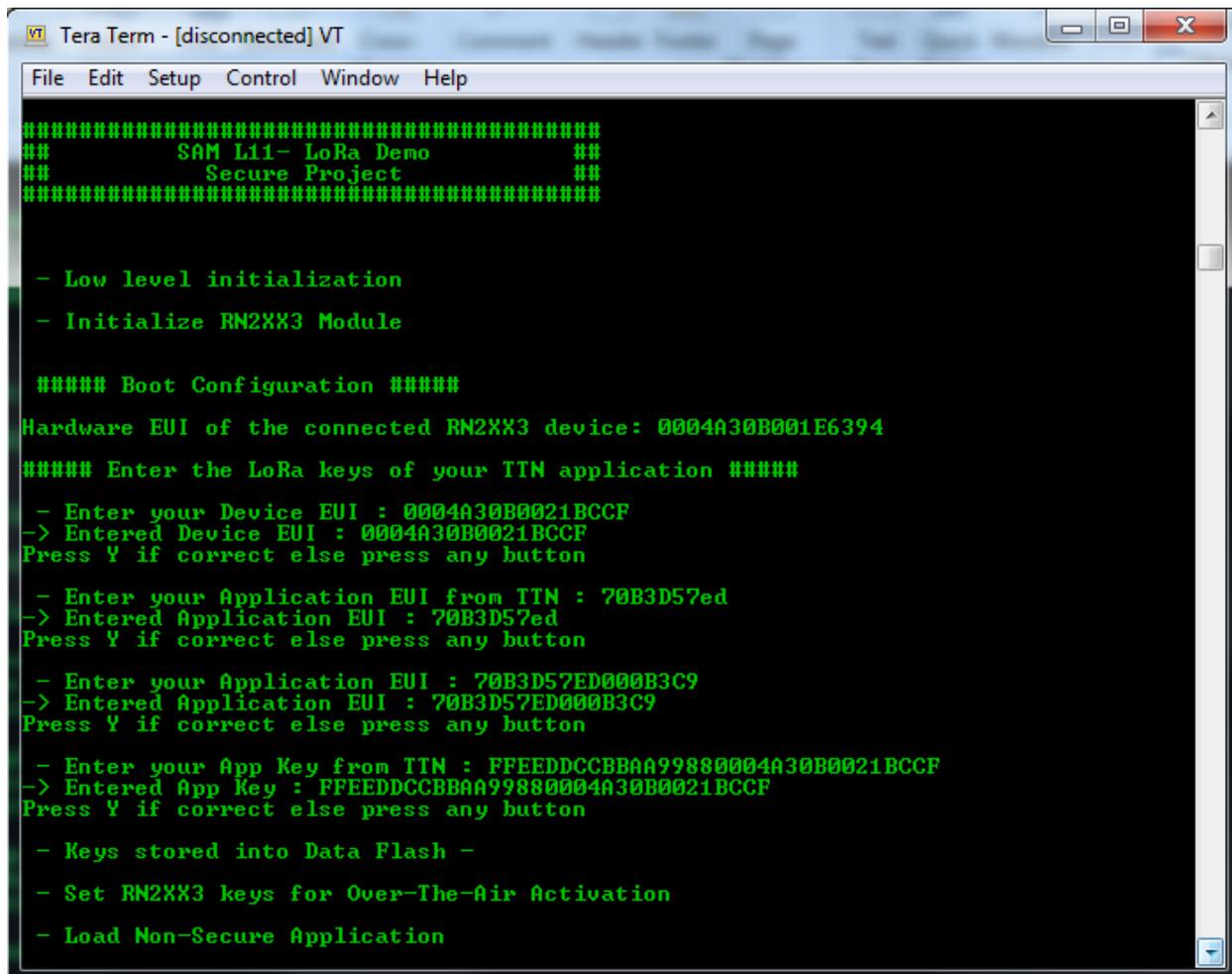
下图所示为在复位 SAM L11 LoRa 节点后，通过按下 SW0 按钮输入 LoRa 密钥配置后控制台显示的消息。

图 4-7. 控制台（显示密钥配置输入消息）



用户可以输入 DevEUI、AppEUI 和要存储在数据闪存中的 AppKey 密钥，如下图所示。

图 4-8. 控制台（显示密钥配置过程）



```
Tera Term - [disconnected] VT
File Edit Setup Control Window Help
#####
##          SAM L11- LoRa Demo          ##
##          Secure Project              ##
#####

- Low level initialization
- Initialize RN2XX3 Module

##### Boot Configuration #####
Hardware EUI of the connected RN2XX3 device: 0004A30B001E6394
##### Enter the LoRa keys of your TTN application #####
- Enter your Device EUI : 0004A30B0021BCCF
-> Entered Device EUI : 0004A30B0021BCCF
Press Y if correct else press any button

- Enter your Application EUI from TTN : 70B3D57ed
-> Entered Application EUI : 70B3D57ed
Press Y if correct else press any button

- Enter your Application EUI : 70B3D57ED000B3C9
-> Entered Application EUI : 70B3D57ED000B3C9
Press Y if correct else press any button

- Enter your App Key from TTN : FFEEDDCBBAA99880004A30B0021BCCF
-> Entered App Key : FFEEDDCBBAA99880004A30B0021BCCF
Press Y if correct else press any button

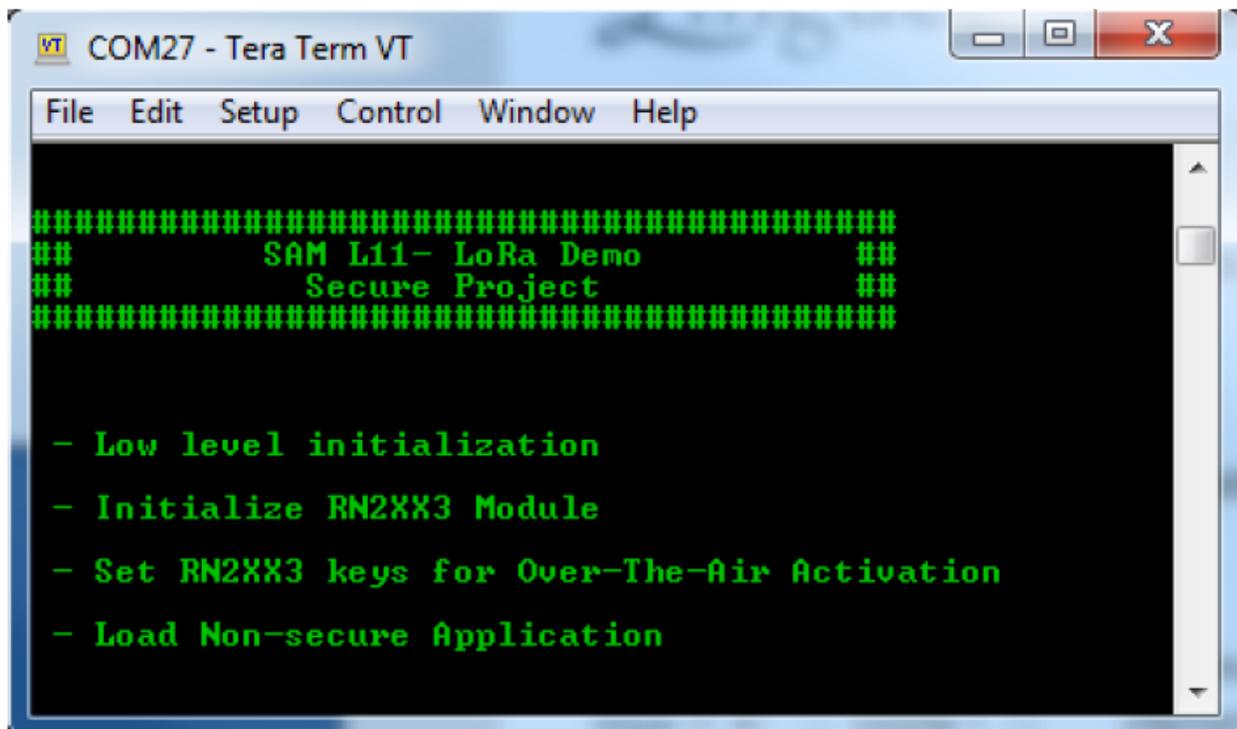
- Keys stored into Data Flash -
- Set RN2XX3 keys for Over-The-Air Activation
- Load Non-Secure Application
```

密钥存储在数据闪存中，并在 RN2483 或 RN2903 模块中设置以用于 OTAA 过程。

#### 4.2.2 密钥已配置

下图所示为密钥已配置时 SAM L11 复位后控制台显示的信息：

图 4-9. 控制台（显示标准引导消息）



低级设置在安全项目中配置，该项目控制性能等级、时钟源、时钟域、等待状态和 TrustZone 管理器。SERCOM 等外设用于与 RN2483 或 RN2903、控制台以及存储密钥的数据闪存进行通信。

RN2483 或 RN2903 模块在安全项目中初始化，无线激活（OTAA）LoRa 密钥从数据闪存中读取，并为加入 TTN 和下一次传输进行相应设置。

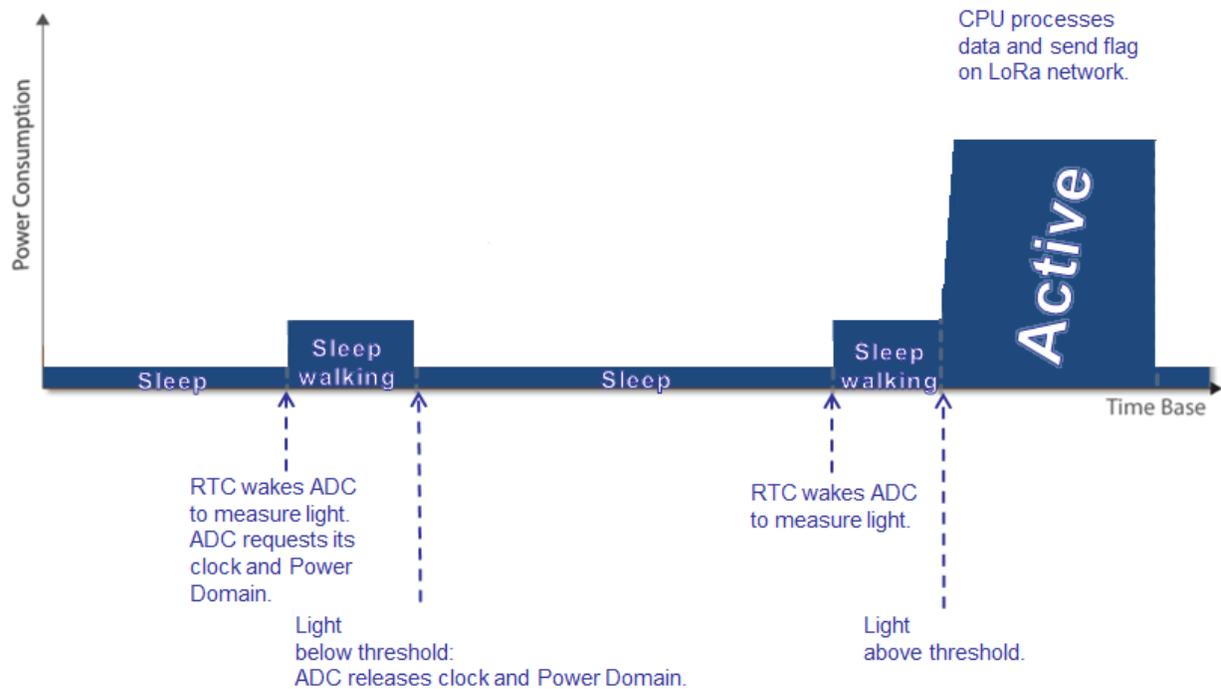
### 4.3 SAM L11 LoRa 演示：非安全项目

非安全应用程序使用安全项目提供的安全库来设置安全的低功耗 LoRa 应用程序。此应用程序使用 SAM L11 LoRa 节点向云端发送亮度状态，以通知用户（通过文本消息和电子邮件）发生了变化。为了降低 SAM L11 和 RN2483 或 RN2903 的整体应用功耗，当未检测到环境亮度变化时，这些器件将处于低功耗模式。

当 SAM L11 处于待机模式时，将通过关键功能（称为带动态电源门控的 SleepWalking，即动态 SleepWalking）来降低功耗。SleepWalking 使 SAM L11 能够以异步方式临时唤醒外设，而无需唤醒 CPU。通过动态电源门控，SAM L11 可以动态开启或关闭某些外设的电源，而与这些外设是否使用无关。

下图说明了演示行为以及动态 SleepWalking 对功耗的积极影响：

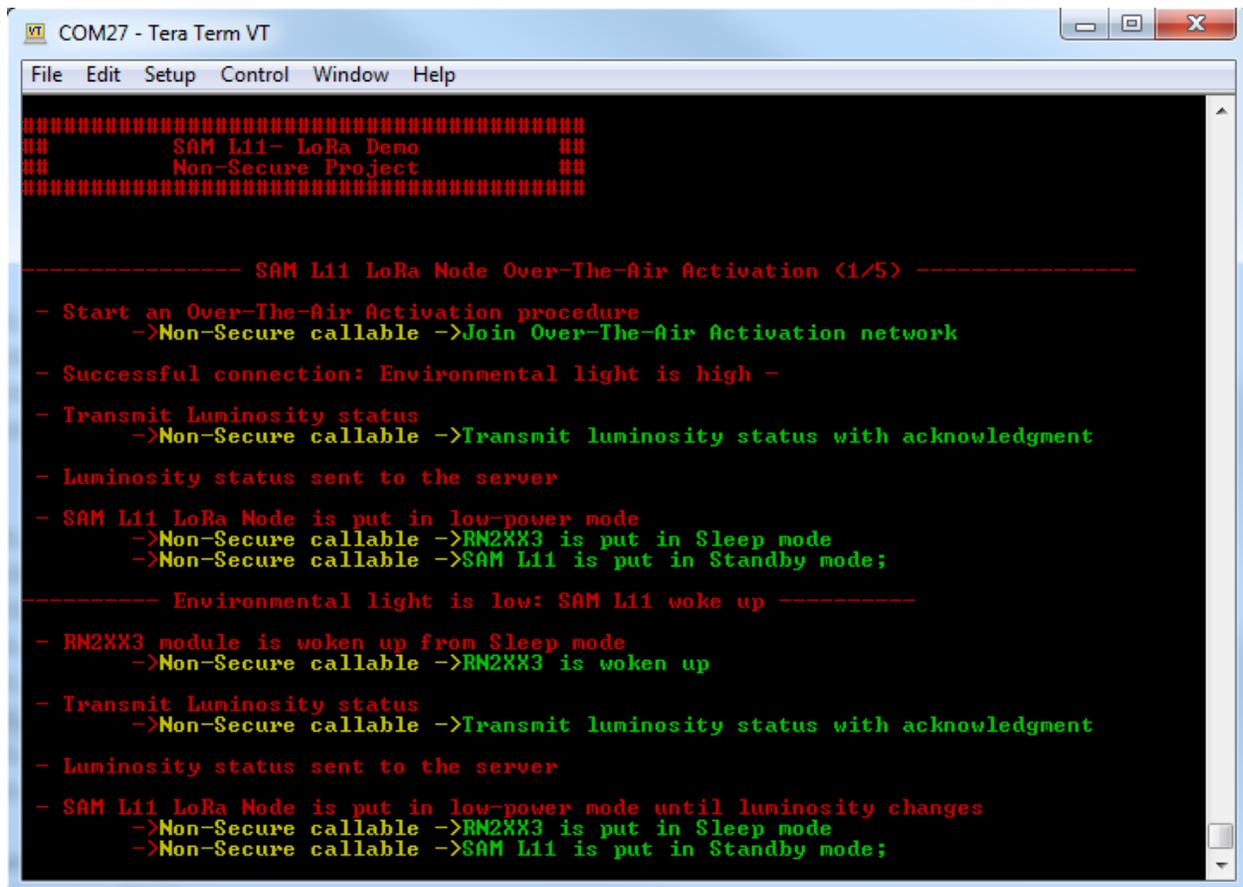
图 4-10. 动态 SleepWalking 对功耗的影响



RTC 每十秒唤醒一次 ADC，以转换环境亮度，并将结果与预设阈值进行比较。由于 SleepWalking 功能的影响，只有在超过阈值时才会唤醒 CPU。这使 SAM L11 可以长时间保持待机模式。

下图所示为成功连接情况下非安全应用程序在控制台上显示的消息：

图 4-11. 非安全应用程序控制台



```

COM27 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help

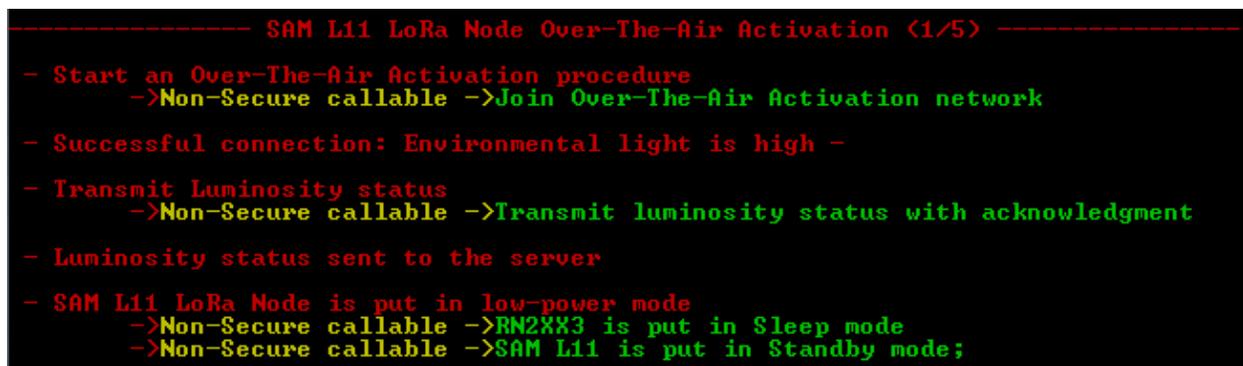
#####
##          SAM L11- LoRa Demo          ##
##          Non-Secure Project          ##
#####

----- SAM L11 LoRa Node Over-The-Air Activation (1/5) -----
- Start an Over-The-Air Activation procedure
  ->Non-Secure callable ->Join Over-The-Air Activation network
- Successful connection: Environmental light is high -
- Transmit Luminosity status
  ->Non-Secure callable ->Transmit luminosity status with acknowledgment
- Luminosity status sent to the server
- SAM L11 LoRa Node is put in low-power mode
  ->Non-Secure callable ->RN2XX3 is put in Sleep mode
  ->Non-Secure callable ->SAM L11 is put in Standby mode;
----- Environmental light is low: SAM L11 woke up -----
- RN2XX3 module is woken up from Sleep mode
  ->Non-Secure callable ->RN2XX3 is woken up
- Transmit Luminosity status
  ->Non-Secure callable ->Transmit luminosity status with acknowledgment
- Luminosity status sent to the server
- SAM L11 LoRa Node is put in low-power mode until luminosity changes
  ->Non-Secure callable ->RN2XX3 is put in Sleep mode
  ->Non-Secure callable ->SAM L11 is put in Standby mode;

```

在本示例中，LoRa 节点尝试加入 OTAA 网络并成功加入。起始 ADC 值用于第一次发送以刷新云端值。之后，将 RN2483 或 RN2903 模块和 SAM L11 置于低功耗模式：

图 4-12. OTAA 成功消息



```

----- SAM L11 LoRa Node Over-The-Air Activation (1/5) -----

- Start an Over-The-Air Activation procedure
  ->Non-Secure callable ->Join Over-The-Air Activation network
- Successful connection: Environmental light is high -
- Transmit Luminosity status
  ->Non-Secure callable ->Transmit luminosity status with acknowledgment
- Luminosity status sent to the server
- SAM L11 LoRa Node is put in low-power mode
  ->Non-Secure callable ->RN2XX3 is put in Sleep mode
  ->Non-Secure callable ->SAM L11 is put in Standby mode;

```

ADC 检测到低亮度，RN2483 或 RN2903 模块从休眠模式唤醒，以发送环境亮度的状态。亮度状态发送到云端，云端将应答发送回 RN2483 或 RN2903 模块。在检测到高亮度之前，RN 模块和 SAM L11 处于低功耗模式：

图 4-13. LoRa 事务处于工作模式消息

```

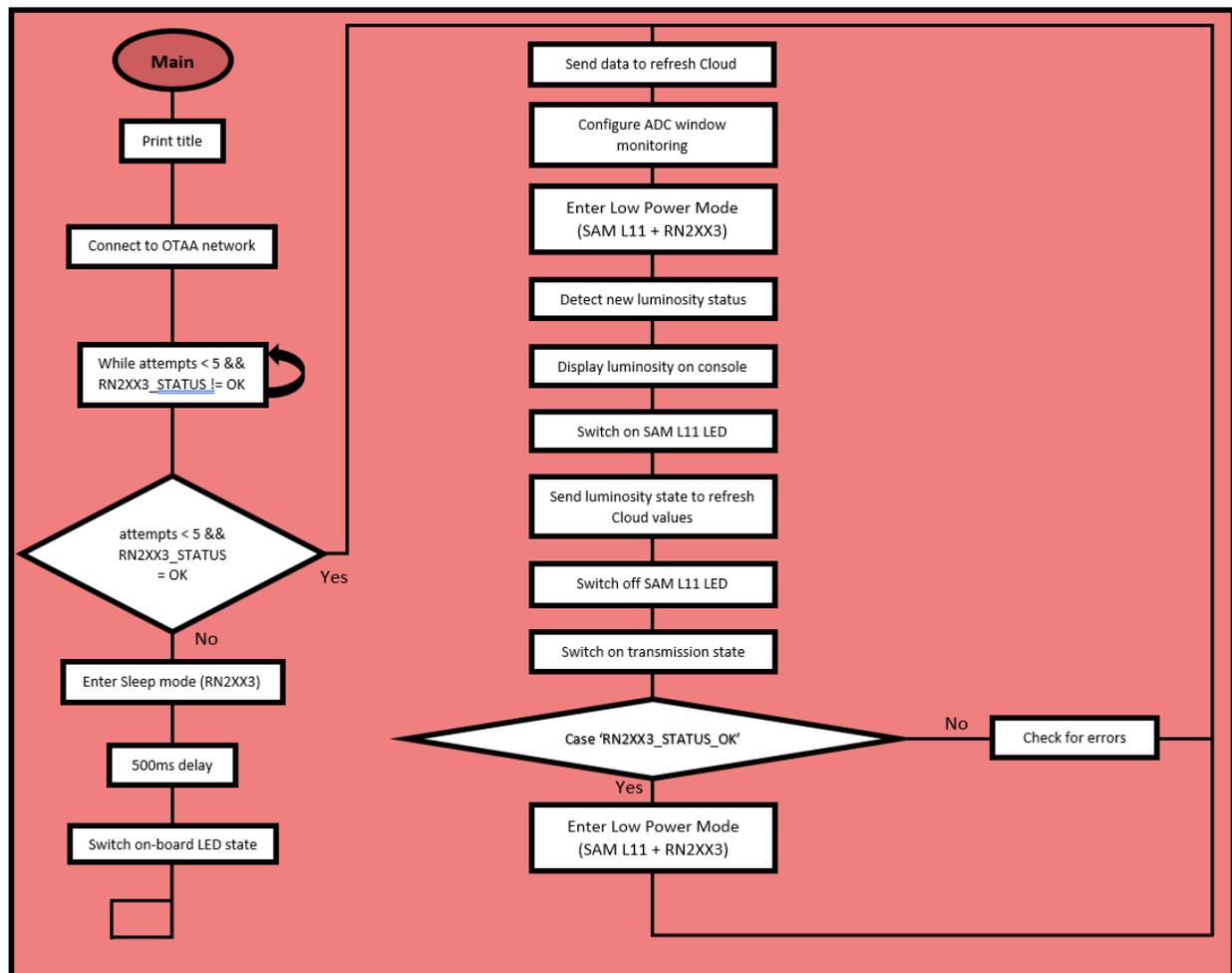
----- Environmental light is high: SAM L11 woke up -----
- RN2XX3 module is woken up from Sleep mode
  ->Non-Secure callable ->RN2XX3 is woken up
- Transmit Luminosity status
  ->Non-Secure callable ->Transmit luminosity status with acknowledgment
- Luminosity status sent to the server
- SAM L11 LoRa Mode is put in low-power mode until luminosity changes
  ->Non-Secure callable ->RN2XX3 is put in Sleep mode
  ->Non-Secure callable ->SAM L11 is put in Standby mode;

```

注：有时亮度的状态不会出现在 Cayenne 仪表板上。在这种情况下，用户需要刷新其浏览器。

下图所示为非安全应用程序的流程图：

图 4-14. 非安全应用程序流程图

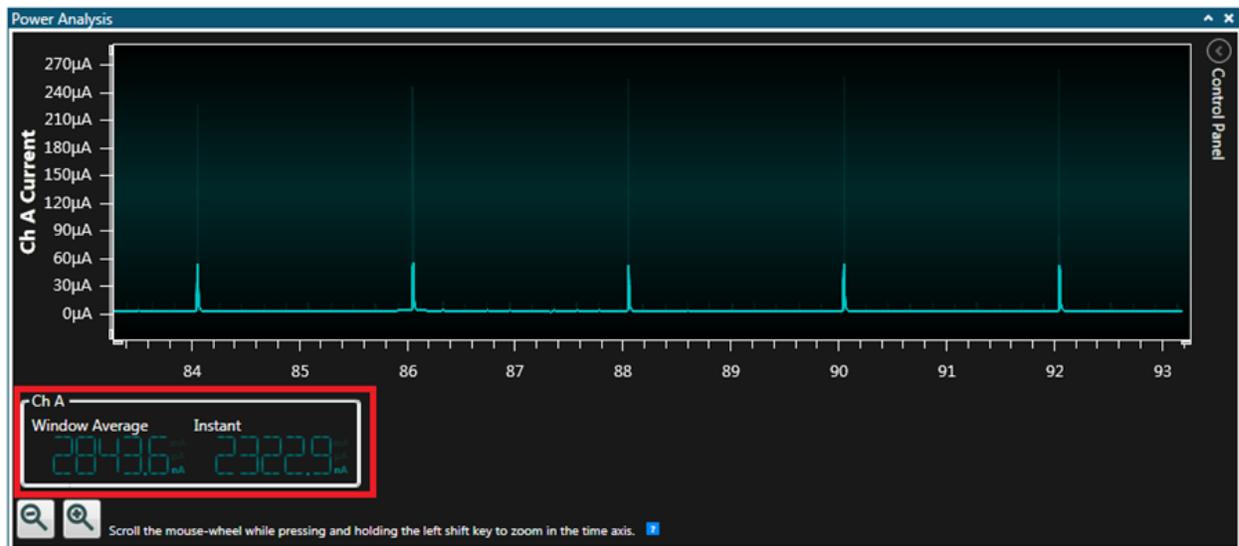


#### 4.4 SAM L11 LoRa 节点的功耗

当应用程序运行时，可以使用 Atmel Studio 中的 Data Visualizer 工具测量整个应用的动态电流消耗。应用的电流消耗将根据环境光强度而变化。这种变化是由 IO1 Xplained Pro 扩展板上实现的模拟光传感器技术引起的。

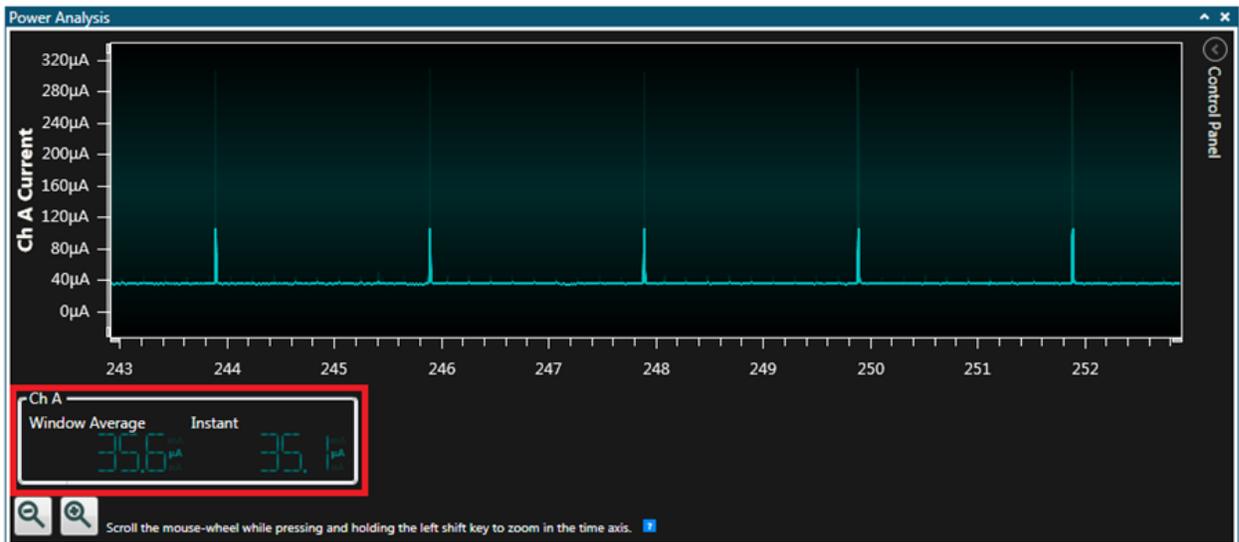
当环境亮度的最后状态为低亮度时，Data Visualizer 将显示以下画面：

图 4-15. 节点功耗（环境亮度低）



当环境亮度的最后状态为高亮度时，Data Visualizer 将显示以下画面：

图 4-16. 节点功耗（环境亮度高）

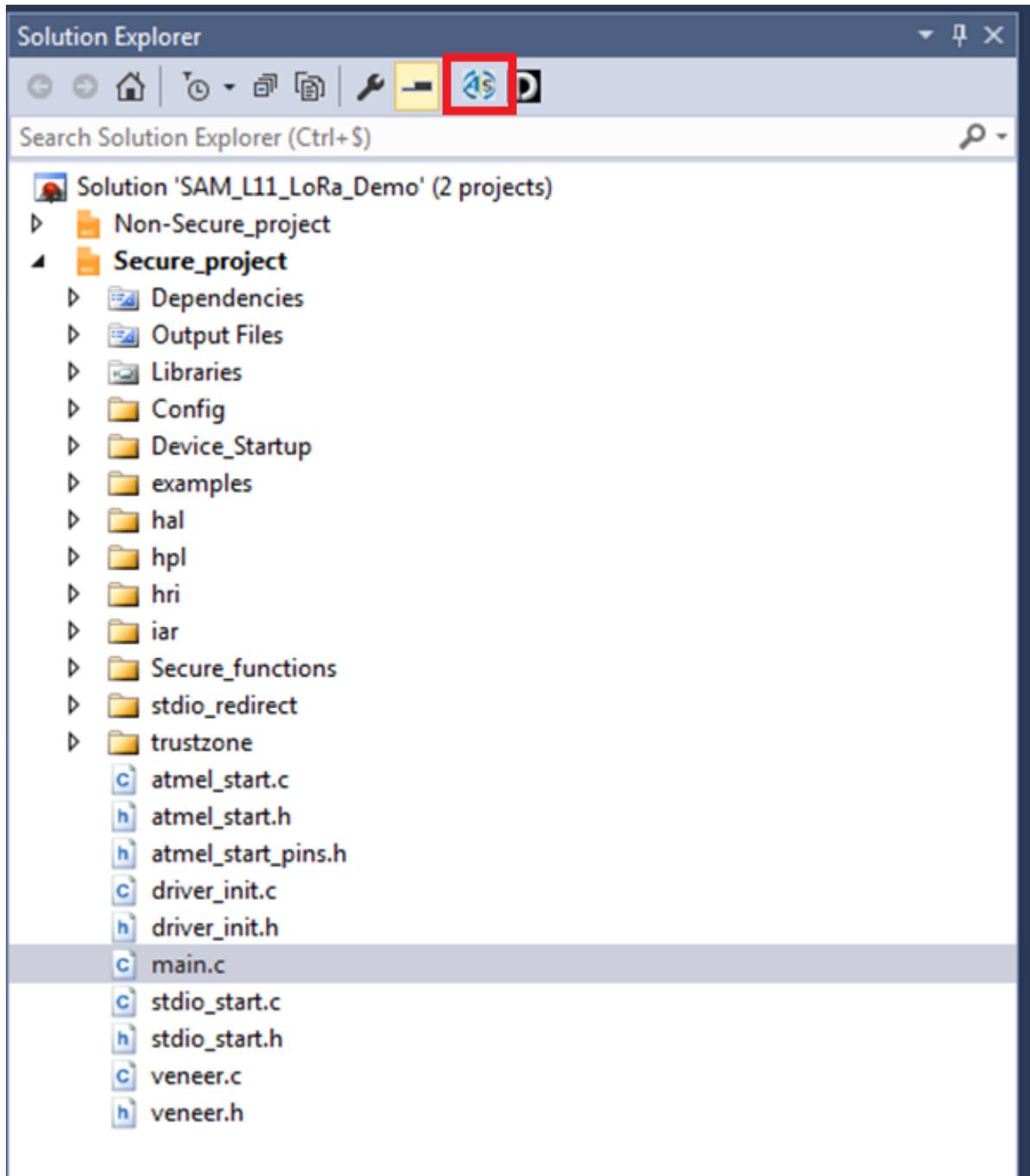


注：为降低功耗，RN2483 或 RN2903 模块和 IO1 Xplained Pro 扩展板进行了一些修改。有关这些修改的更多信息，请参见[硬件修改](#)一节。

## 5. 系统资源和软件项目配置

演示应用程序基于 Atmel START ASF4 构建。打开 Atmel Studio 下的演示项目后，可以通过单击 （位于解决方案资源管理器窗口的顶部）查看 Atmel START 下用于生成项目的配置：

图 5-1. 解决方案资源管理器窗口



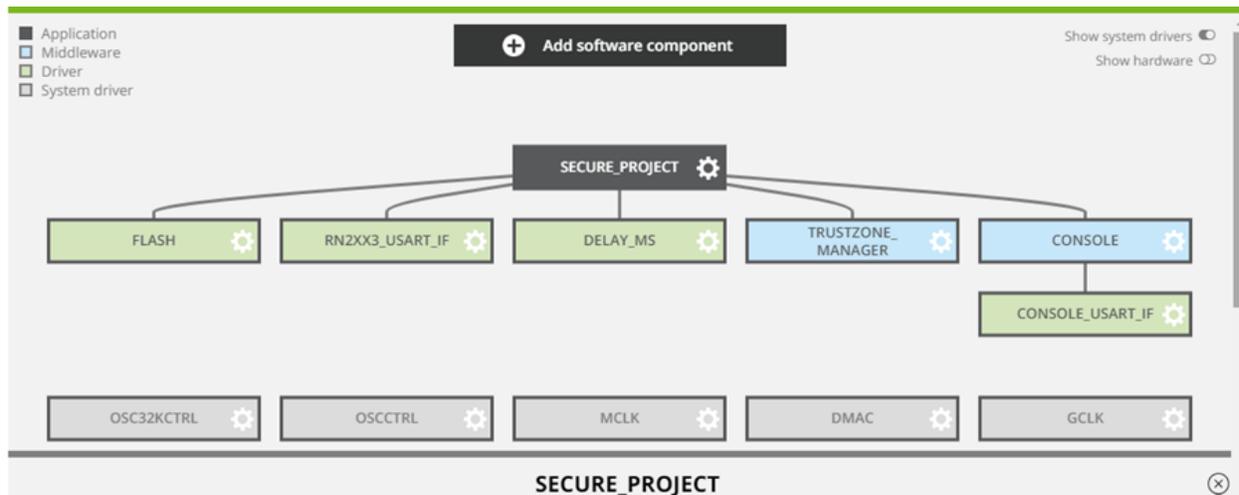
注：单击 Atmel Studio 下的 Atmel Start 按钮需要访问 Internet，因为本地项目设置将在远程 Atmel Start 服务器前端重载。

## 5.1 安全项目

### 5.1.1 项目架构

安全项目建立在以下 ASF4 驱动程序和中间件的基础之上：

图 5-2. 安全项目架构



- **FLASH:** 用于在数据闪存中进行密钥配置。
- **RN2XX3\_USART\_IF:** RN2483 或 RN2903 USART 的接口。用于向/从 RN2483 或 RN2903 模块发送/接收命令和数据。
- **DELAY\_MS:** 用于延迟某些命令以进行同步。
- **TRUSTZONE\_MANAGER:** 用于管理 Cortex-M 产品中的 TrustZone。
- **CONSOLE:** 用于在终端上显示应用程序输出信息。

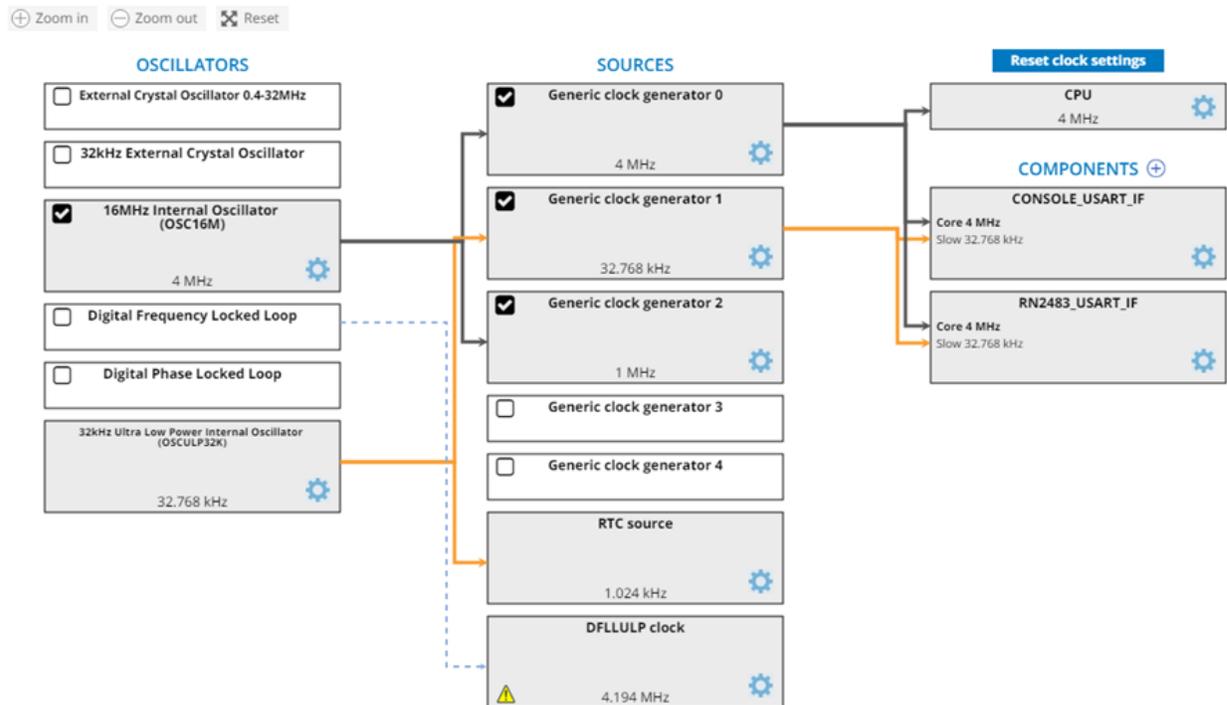
单击 Atmel START 下的各个模块可以找到有关组件配置的详细信息。

### 5.1.2 系统时钟配置

单击 Atmel START Clock（时钟）选项卡即可访问系统时钟配置。应用程序的时钟配置如下图所示：

图 5-3. 安全项目时钟配置

## CLOCK CONFIGURATOR



由于存在三个发生器（发生器 0、发生器 1 和发生器 2），系统中配置了三个不同的时钟域。

- **发生器 0:** 主时钟域。它为应用在工作模式下使用的内核和外设提供可切换的 4 MHz 时钟。进入待机模式（静态时钟门控）时，系统会自动关闭发生器 0。
- **发生器 1:** 慢速时钟域。它提供一个始终开启的 32 kHz 时钟源，以供 RTC 在待机模式下运行。
- **发生器 2:** 它为安全和非安全外设提供一个按需（ON DEMAND）1 MHz 时钟源。

### 5.1.3 PINMUX 配置

单击 Atmel START PINMUX（引脚复用）选项卡即可访问引脚复用配置器。引脚复用配置器允许用户设置 SAM L11 器件每个引脚的配置。使用 Atmel START 时，大多数引脚都是根据 DASHBOARD（仪表板）选项卡中配置的项目模块自动配置的。

图 5-4. 安全项目的 PINMUX 配置

**PINMUX CONFIGURATOR** ?

#↑	Pin		Board		Mode	Signal
	Pad	Use..	Header	Label		Label
☐ CONSOLE_USART_IF						
23	PA24	PA24	Virtual C...	TXD,UAR...	Peripheral IO	TX
24	PA25	PA25	Virtual C...	RXD,UAR...	Peripheral IO	RX
☐ PORT						
13	PA10	RN2...	EXT1,DGL...	GPIO1,G...	Digital output	P/13
25	PA27	SW0...	Misc,DGI...	SW0,GPI...	Digital input	P/25
☐ RN2XX3_USART_IF						
11	PA08	PA08	EXT1,mik...	UART_TX...	Peripheral IO	TX
12	PA09	PA09	EXT1,mik...	UART_RX...	Peripheral IO	RX
☐ No software components						

The diagram shows the ATSAM L11E16A microcontroller with pins 1 through 25. The pins are color-coded: blue for digital I/O, green for peripheral I/O, and grey for power/ground. The labels for the pins are: 1: SWD\_CLK, 2: SWD\_IO, 3: VDDIO, 4: VDDCORE, 5: RESET\_N, 6: SWD\_GPIO\_SPL\_SS, 7: XIN12, 8: XOUT32, 9: C(+).ADC(+).ANALOG\_POT, 10: ADC(-), 11: MISO,SPI\_MISO,I2S\_DOUT, 12: A\_SPL\_SS\_B,DMM/I2S\_WS, 13: QT\_BTN1,SPI\_SS\_A, 14: Yellow\_LED0,DGI\_SS, 15: PA00, 16: PA01, 17: PA02, 18: PA03, 19: PA04, 20: PA05, 21: PA06, 22: PA07, 23: PA25, 24: PA24, 25: PA27. The labels for the pins are: 1: SWD\_CLK, 2: SWD\_IO, 3: VDDIO, 4: VDDCORE, 5: RESET\_N, 6: SWD\_GPIO\_SPL\_SS, 7: XIN12, 8: XOUT32, 9: C(+).ADC(+).ANALOG\_POT, 10: ADC(-), 11: MISO,SPI\_MISO,I2S\_DOUT, 12: A\_SPL\_SS\_B,DMM/I2S\_WS, 13: QT\_BTN1,SPI\_SS\_A, 14: Yellow\_LED0,DGI\_SS, 15: PA00, 16: PA01, 17: PA02, 18: PA03, 19: PA04, 20: PA05, 21: PA06, 22: PA07, 23: PA25, 24: PA24, 25: PA27.

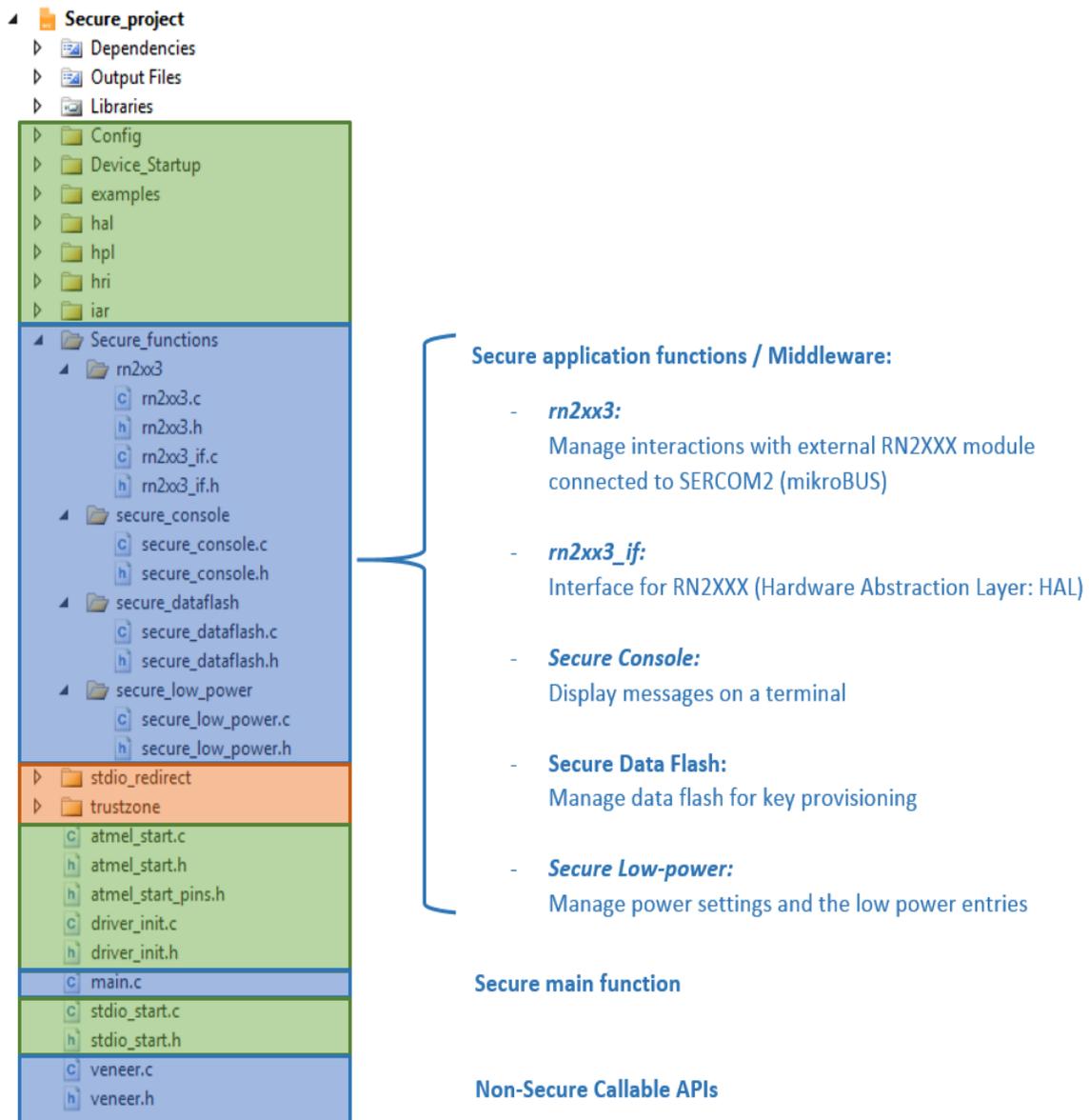
有关演示上下文的引脚分配的更多信息以及引脚设置的详细信息，请单击引脚复用表或 SAM L11 引脚分配图中的每个引脚。

#### 5.1.4 生成的项目源代码：安全项目

本文档的前几节介绍了演示的应用层。有关中间件和 ASF4 的其他信息，请参见 Atmel START 帮助和生成的源代码。

演示项目源代码可在 Atmel Studio 7 的 Solution Explorer 窗口下访问，并对应于以下应用层：

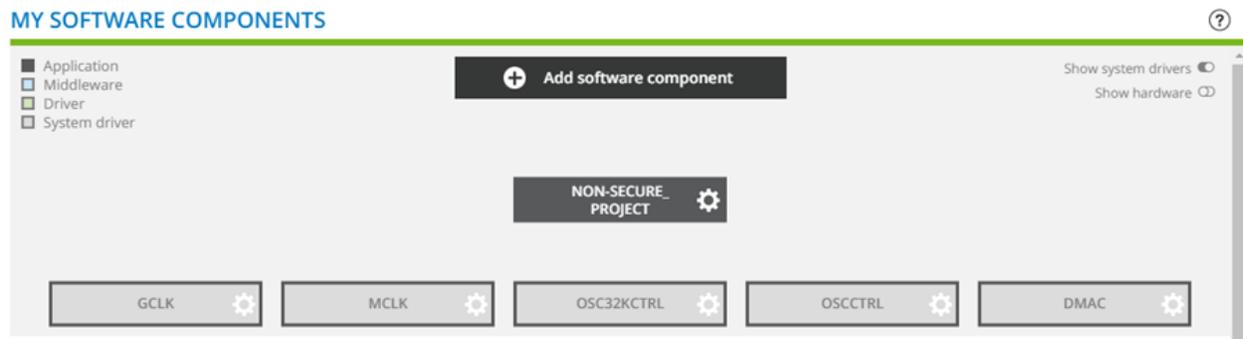
图 5-5. 生成的安全项目源代码



## 5.2 非安全项目

非安全项目使用安全应用程序库提供的 API 和功能。它不使用任何特定的 ASF 驱动程序，也无法访问系统的时钟配置。Atmel START 下的非安全项目配置如下图所示：

图 5-6. 非安全项目架构

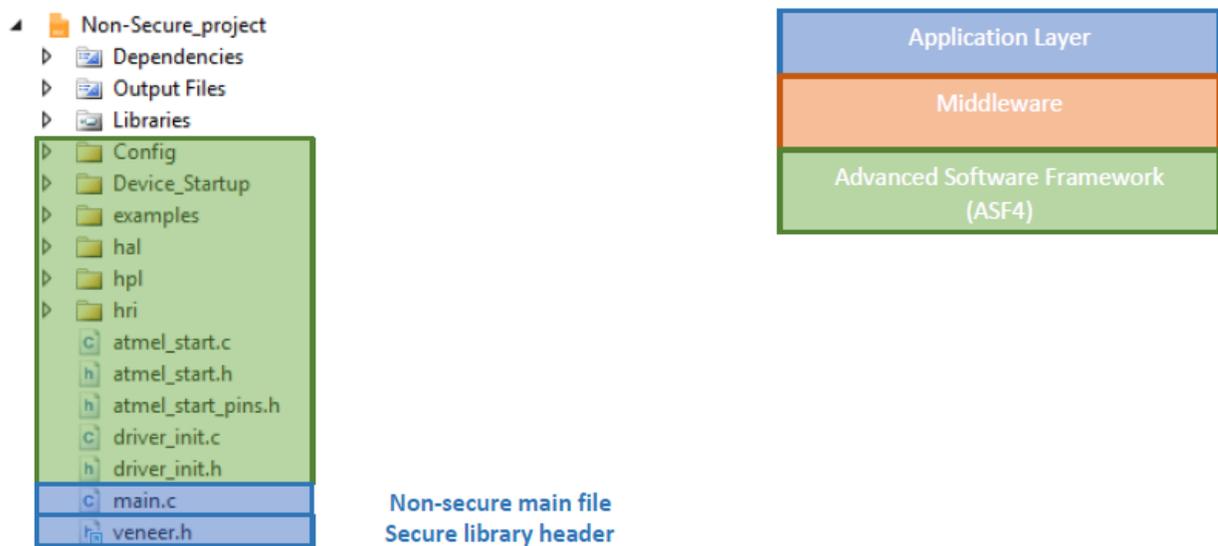


注：系统不考虑此项目中定义的通用时钟配置，因为时钟系统的所有元素都分配给安全区域。

### 5.2.1 生成的非安全项目源代码

生成的非安全项目源代码的详细信息如下图所示：

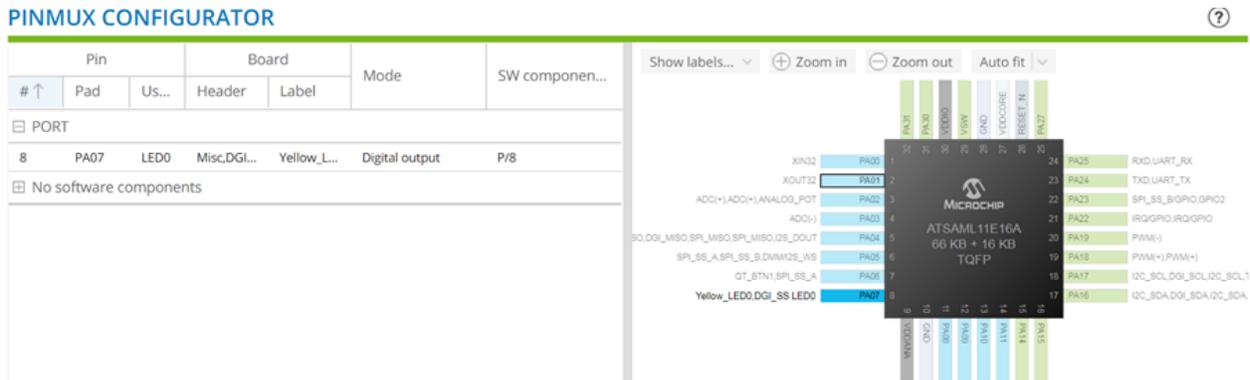
图 5-7. 非安全项目源代码



### 5.2.2 PINMUX 配置：非安全项目

单击 Atmel START PINMUX 选项卡即可访问 PINMUX 配置器。PINMUX 配置器允许用户设置 SAM L11 器件每个引脚的配置。使用 Atmel START 时，许多引脚都是根据 DASHBOARD 选项卡中配置的项目模块自动配置的。

图 5-8. 非安全项目的 PINMUX 配置



PA07 引脚在非安全项目中配置为非安全引脚，此引脚用于配置 SAM L11 板上 LED。

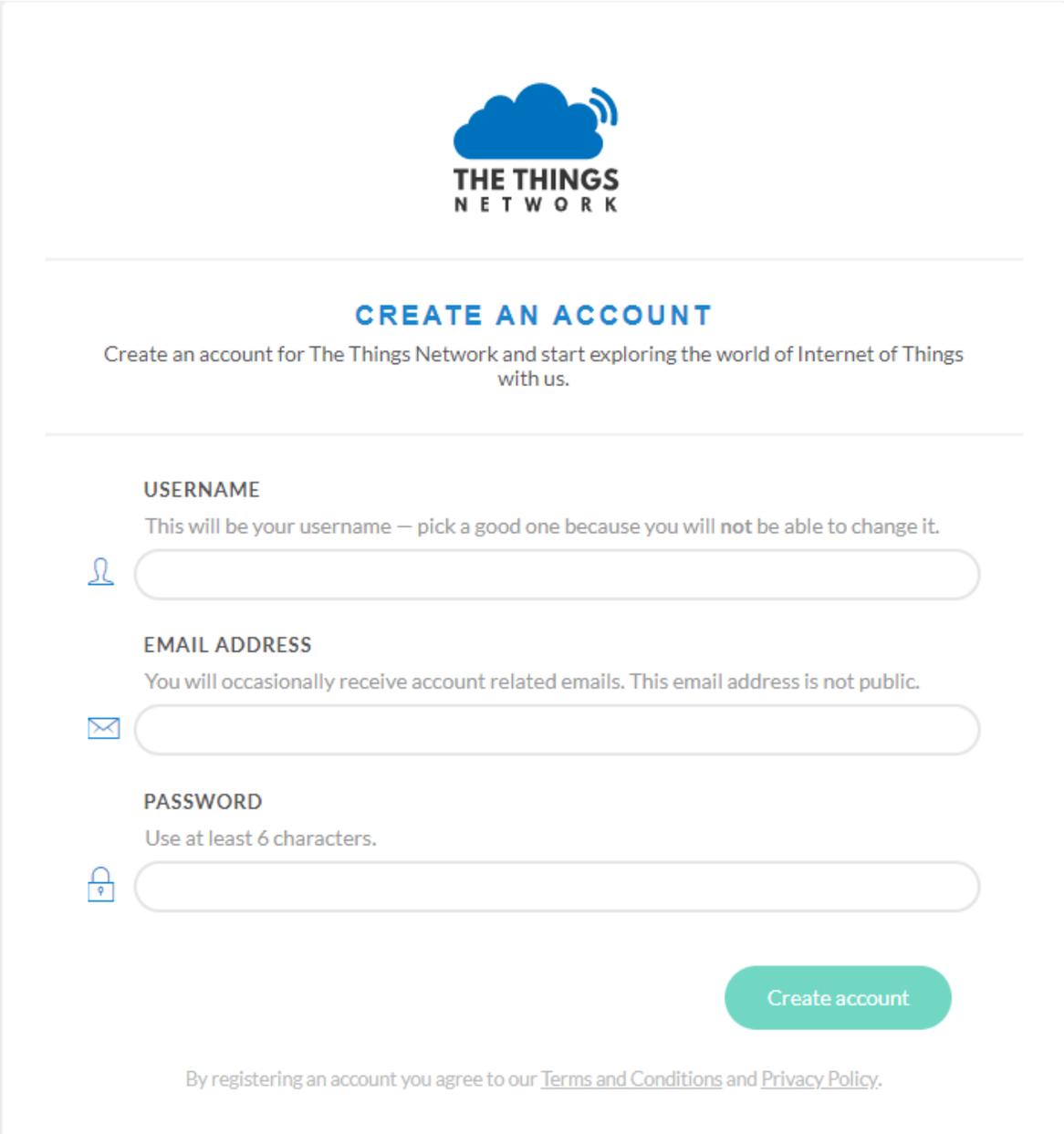
**注：** 只有在安全项目 TrustZone 管理器中定义为非安全的引脚才能在非安全项目的 PINMUX 配置器中处理。

### 5.2.3 创建应用程序

请按照以下步骤创建应用程序：

1. 在配置网关之前，用户需要创建应用程序并注册器件。
2. 在 TTN 上创建一个用户帐户。TTN 可以从以下位置下载：<https://www.thethingsnetwork.org/>，有关 TTN 主窗口的信息，请参见下图。

图 5-9. The Things Network 主页



**THE THINGS NETWORK**

---

## CREATE AN ACCOUNT

Create an account for The Things Network and start exploring the world of Internet of Things with us.

---

**USERNAME**  
This will be your username — pick a good one because you will **not** be able to change it.

**EMAIL ADDRESS**  
You will occasionally receive account related emails. This email address is not public.

**PASSWORD**  
Use at least 6 characters.

[Create account](#)

By registering an account you agree to our [Terms and Conditions](#) and [Privacy Policy](#).

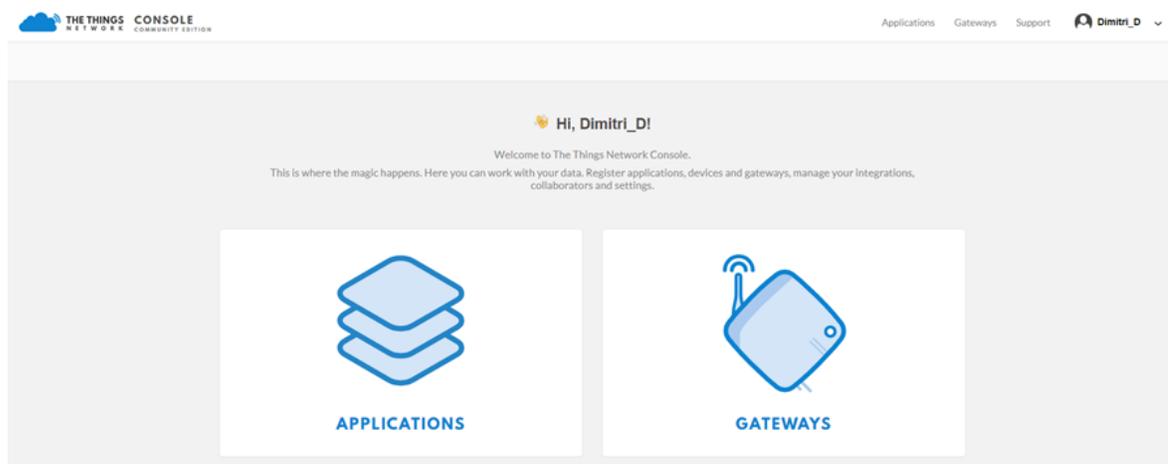
3. 输入用户名、电子邮件地址和密码，然后单击 **Create account**（创建帐户）。
4. 创建 TTN 帐户后，请按照以下步骤创建应用程序。
5. TTN 窗口将显示新创建的帐户。

图 5-10. TTN (显示新创建的帐户)



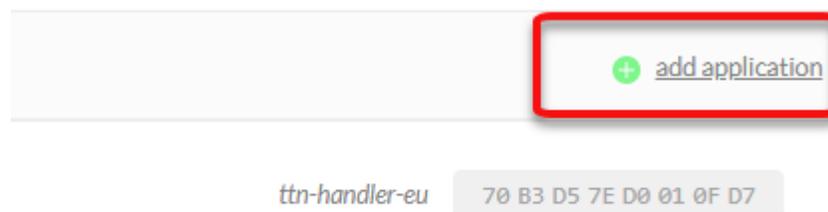
6. 单击 **CONSOLE** (控制台)。

图 5-11. TTN 控制台窗口



7. 单击 **APPLICATIONS** (应用程序)，然后单击右上角的 **add application** (添加应用程序)。

图 5-12. 添加应用程序区域



8. 将显示添加应用程序窗口。根据将要设置应用程序的区域，输入有关 **Application ID**（应用程序 ID）、用户特定信息的说明、**Application EUI**（应用程序 EUI）和 **Handler registration**（处理程序注册）字段中的服务器信息的详细信息。

图 5-13. 添加应用程序窗口

**ADD APPLICATION**

**Application ID**  
The unique identifier of your application on the network

mchp\_lora\_gateway\_id\_example

**Description**  
A human readable description of your new app

mchp\_lora\_gateway\_description\_example

**Application EUI**  
An application EUI will be issued for The Things Network block for convenience, you can add your own in the application settings page.

EUI issued by The Things Network

**Handler registration**  
Select the handler you want to register this application to

ttn-handler-eu

**注：** 应用程序 EUI 将由 TTN 生成。

9. 单击 **Add application** 添加 TTN 应用程序。

## 6. 附录

### 6.1 The Things Network 设置

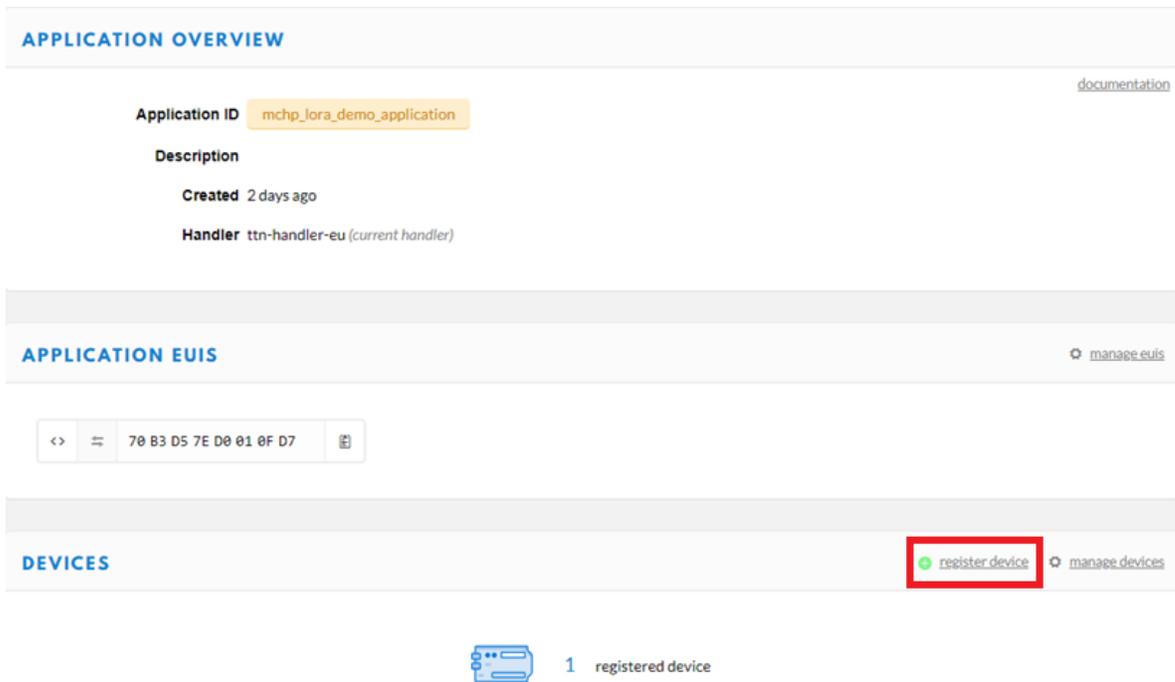
The Things Network 是一种物联网网络服务，即基于 LoRaWAN 协议构建一个带有 LoRa 通信网关的大型网络，以增加现有 LoRa 应用和用户的数量。该协议支持多种非常适合物联网的特性，例如电池低电量应用、长距离、低带宽和低噪声衰减。

#### 6.1.1 器件注册

创建应用程序后，可以使用以下步骤在新应用程序中注册器件：

1. 在 TTN 控制台中，单击 **APPLICATIONS**。
2. 单击应用程序以获得概览，然后单击 **register device**（注册器件）。

图 6-1. 应用程序窗口



3. 输入器件 ID、器件 EUI、应用程序密钥和应用程序 EUI 的信息，然后单击 **Register**（注册），在 TTN 应用程序中注册器件。

图 6-2. 器件注册窗口

**REGISTER DEVICE** [bulk import devices](#)

**Device ID**  
This is the unique identifier for the device in this app. The device ID will be immutable.

my\_device\_id\_example

**Device EUI**  
The device EUI is the unique identifier for this device on the network. You can change the EUI later.

this field will be generated

**App Key**  
The App Key will be used to secure the communication between you device and the network.

this field will be generated

**App EUI**

70 B3 D5 7E D0 00 B3 C9

Cancel Register

注:

1. 器件 EUI 既可由 TTN 生成，也可由用户设置，具体可通过单击 **Device EUI**（器件 EUI）下方的铅笔图标来切换。
2. **AppKey** 既可由 TTN 生成，也可由用户设置，具体可通过单击 **App Key**（应用程序密钥）下方的铅笔图标来切换。

### 6.1.2 Cayenne 集成

用户必须在 TTN 应用程序和 Cayenne 仪表板之间创建链接。创建链接后，必须通过 Cayenne 注册器件。请按照以下步骤通过 Cayenne 注册器件。

1. 在 TTN 控制台中，单击 **APPLICATIONS**。
2. 单击应用程序以获得概览，然后单击 **Payload Formats**（有效负载格式）。

图 6-3. 应用程序窗口

Overview Devices **Payload Formats** Integrations Data Settings

**APPLICATION OVERVIEW** [documentation](#)

Application ID mchp\_lora\_demo\_application

Description

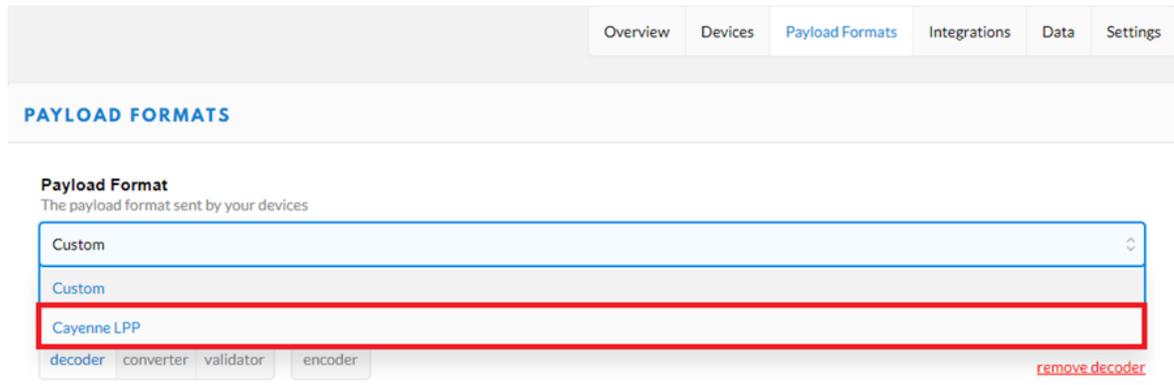
Created 2 days ago

Handler ttn-handler-eu (current handler)

3. 在 Payload Format 概览中，单击 **Payload Format**，然后选择 Cayenne LPP 而不是 Custom（自定义）。
4. 完成后，单击 **Save**（保存）。

- 单击 **Integrations**（集成）。

图 6-4. 有效负载格式窗口



- 在 Integrations 概览中，单击 **add integration**（添加集成），然后选择 Cayenne LPP。

图 6-5. 添加集成

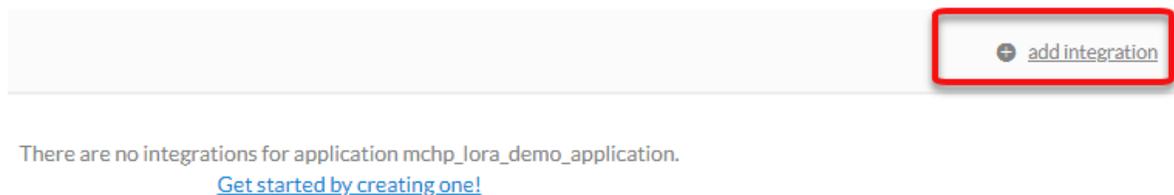
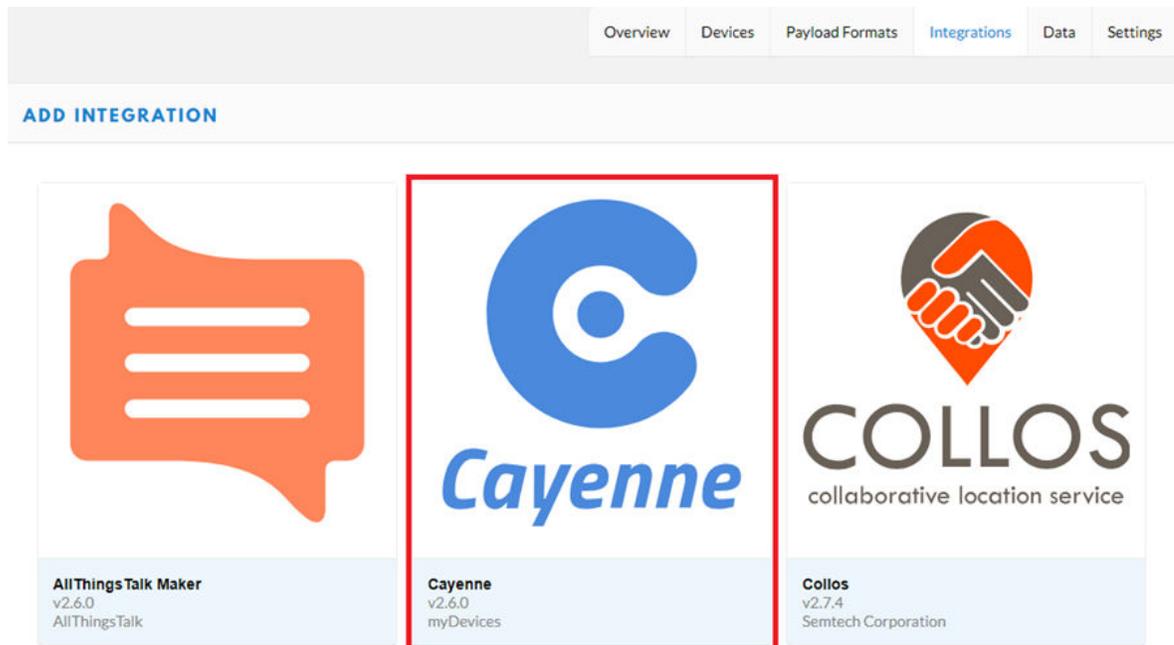


图 6-6. 添加集成窗口



- 选择 Cayenne 集成的进程 ID，然后在 Access Key（访问密钥）框中选择默认密钥。
- 选择 Add Integration，将 TTN 应用程序与 Cayenne 链接。

图 6-7. 添加集成窗口

Overview Devices Payload Formats Integrations Data Settings

### ADD INTEGRATION

 **Cayenne** (v2.6.0)  
myDevices  
Quickly design, prototype and commercialize IoT solutions with myDevices Cayenne  
[documentation](#)

**Process ID**  
The unique identifier of the new integration process

process\_id\_example

**Access Key**  
The access key used for downlink

default key devices messages

Cancel Add integration

## 6.2 Cayenne

Cayenne 是一个前端网站，旨在简化关于支持 LoRa 的物联网解决方案的创建和开发。它支持诸如数据可视化、SMS、电子邮件警报、触发和远程监控等功能。Cayenne 可在多种平台上使用，例如 iOS、Android™ 和 Windows®。

Cayenne 可从以下位置下载：<https://mydevices.com/>

图 6-8. Cayenne 主页

# Start Building Today

First Name Last Name

Email Address Password

I agree to the [myDevices Cayenne terms](#).

**GET STARTED FREE**

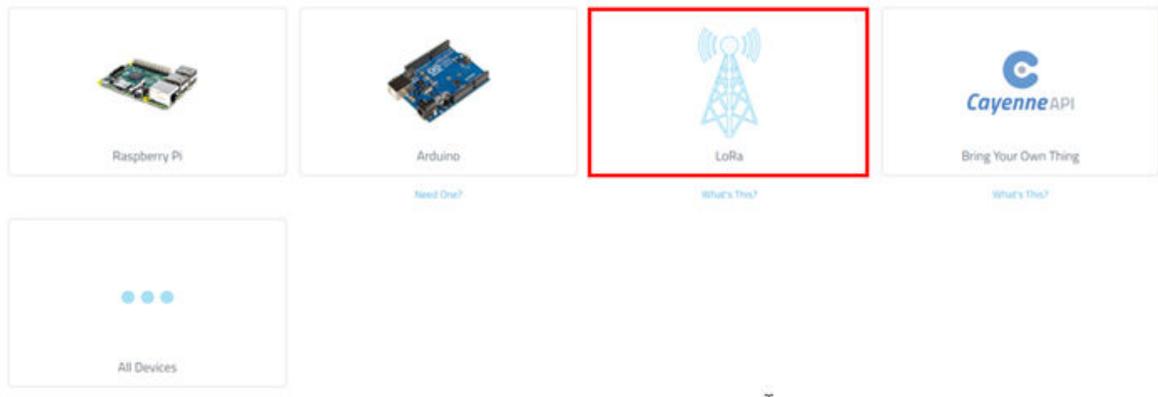
用户必须在 Cayenne 上创建一个免费帐户。创建帐户后，用户需要按照以下步骤设置 Cayenne 以进行演示。

### 6.2.1 注册器件

要在 Cayenne 上注册器件，请按照下列步骤操作：

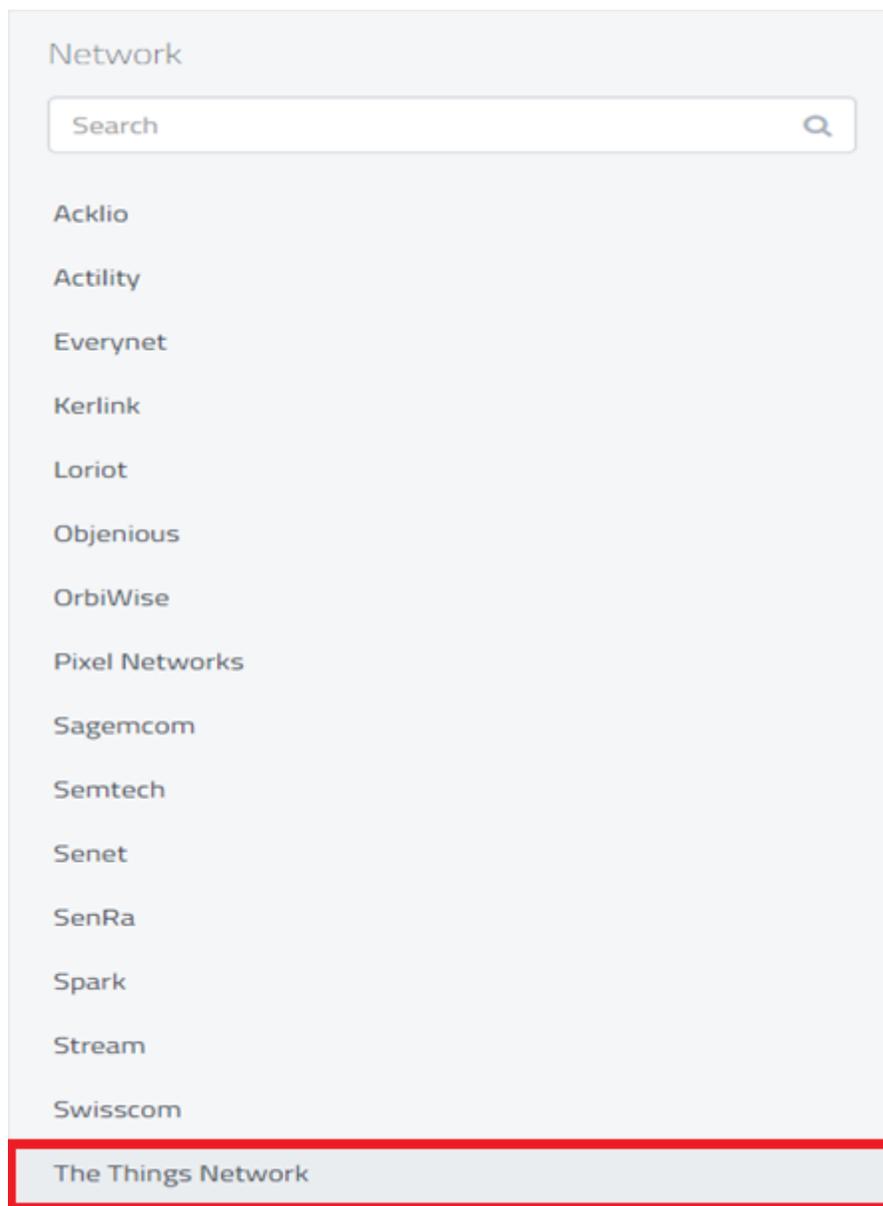
1. 使用新创建的 Cayenne 帐户登录，然后单击 **LoRa**。

图 6-9. Cayenne 主页



2. 向下滚动至 LoRa 部分，然后单击 **The Things Network**。

图 6-10. LoRa 部分



3. 向下滚动并单击 **Cayenne LPP**。
4. 输入在 TTN 应用程序中注册的器件的 *DevEUI*，必要时可更改器件名称，然后单击 **Add device**（添加器件）。

图 6-11. Cayenne 设置

Enter Settings

 Cayenne Cayenne LPP  
Cayenne Low Power Payload

This device uses [Cayenne LPP](#)

Name  
Name\_example

DevEUI

Activation Mode  
Already Registered

Tracking

Location  
This device moves

Add device

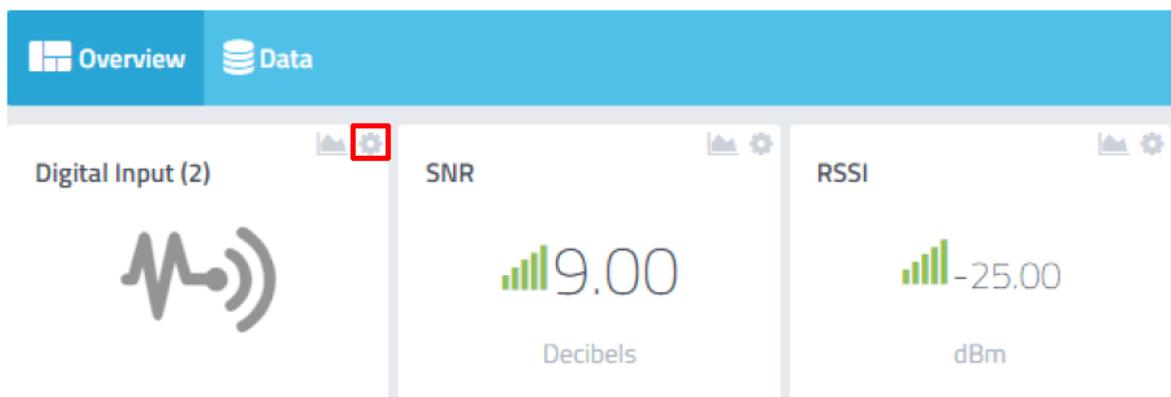
5. 器件已在 Cayenne 上完成注册。

### 6.2.2 配置触发

触发功能使用基于实时数据和操作的“**If 或 Then**”语句实现 LoRa 应用程序的自动化。请按照以下步骤构建 LoRa 的自动化：

1. 要配置 Cayenne 仪表盘上的小部件，请单击小部件模块上的滚轮图标。

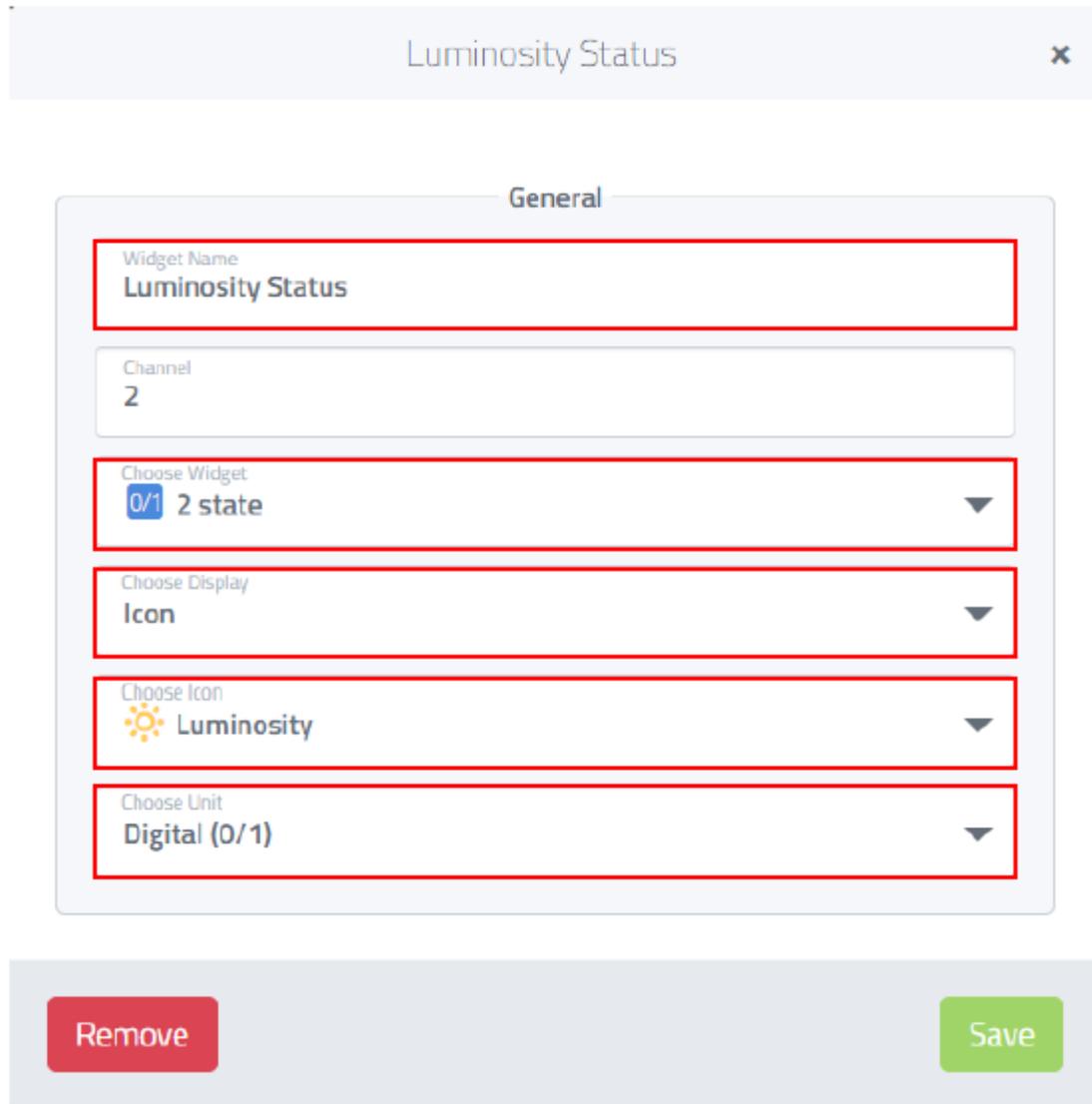
图 6-12. 小部件模块



**注：** 小部件仅在网络上的节点第一次连接后出现。

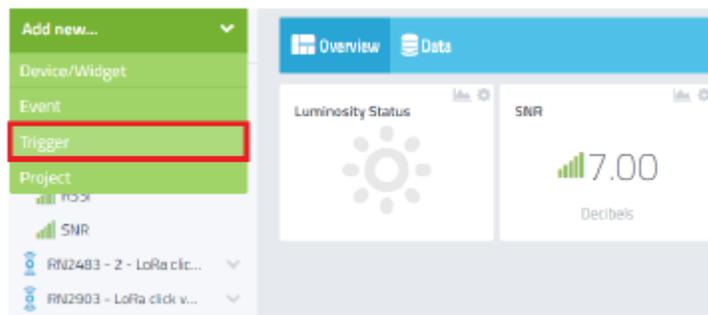
- 使用不同的参数配置数字输入（2），如下图所示。

图 6-13. 小部件配置窗口



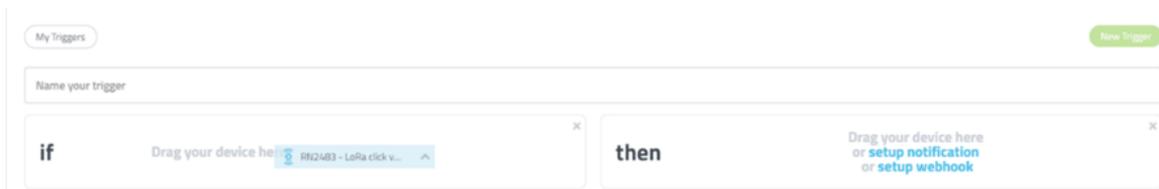
- 配置小部件后，单击 Add new...（添加新...）下的 **Trigger**（触发）。

图 6-14. 添加新触发部分



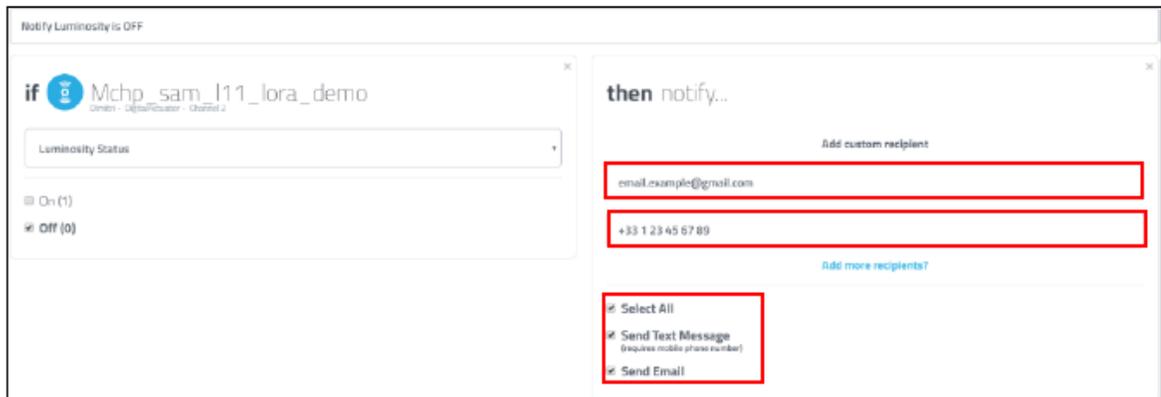
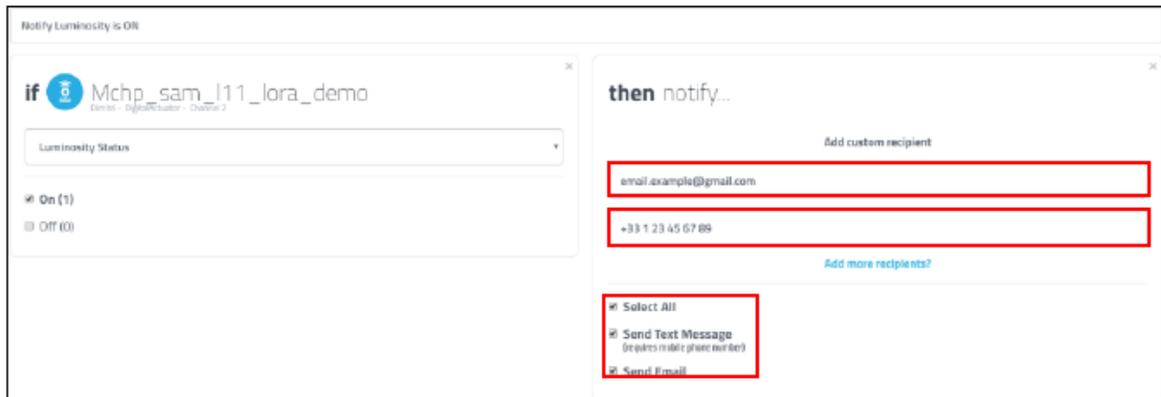
- 将器件拖放到 *if* 框，然后单击 *then* 框中的 **setup notification**（设置通知）。

图 6-15. IF 和 Then 部分



5. 如果填入 *if* 和 *then* 框，将重现以下触发。

图 6-16. 重现触发



**注：** 可以通过选择发送短信或发送电子邮件选项，或通过添加自定义收件人（手机号码或电子邮件地址）来选择通过短信或电子邮件发送通知。

6. 单击 **Save**（保存），保存触发。
7. 现在，触发已在 **Cayenne** 中完成配置。可以复位电路板来运行演示。

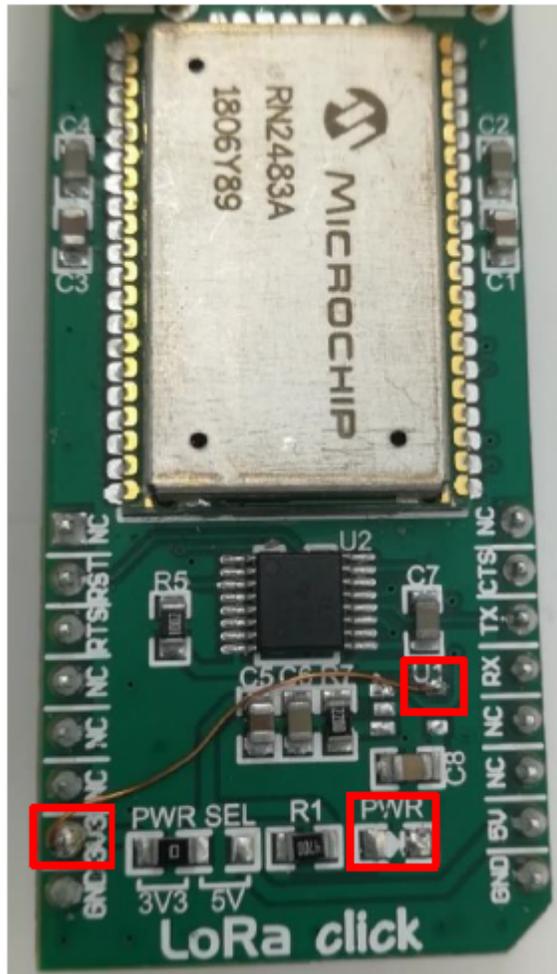
## 6.3 硬件修改

为降低全局演示的功耗，对 MikroElektronika LoRa click 板和 IO1 Xplained Pro 扩展板进行了一些修改。

### 6.3.1 MikroElektronika LoRa click 板

我们的应用不使用安装在 Mikroelektronika LoRa click 板上的嵌入式稳压器和电源 LED，可以将其移除以降低应用的整体功耗。通过将一根电线从 MikroBus 3.3V 引脚连接到稳压器输出焊盘，可以移除和旁路该嵌入式稳压器。对 RN2483 或 RN2903 模块进行的所有修改如下图所示。嵌入式稳压器输出电压引脚连接到 3.3V 引脚。

图 6-17. RN2483A (显示修改)

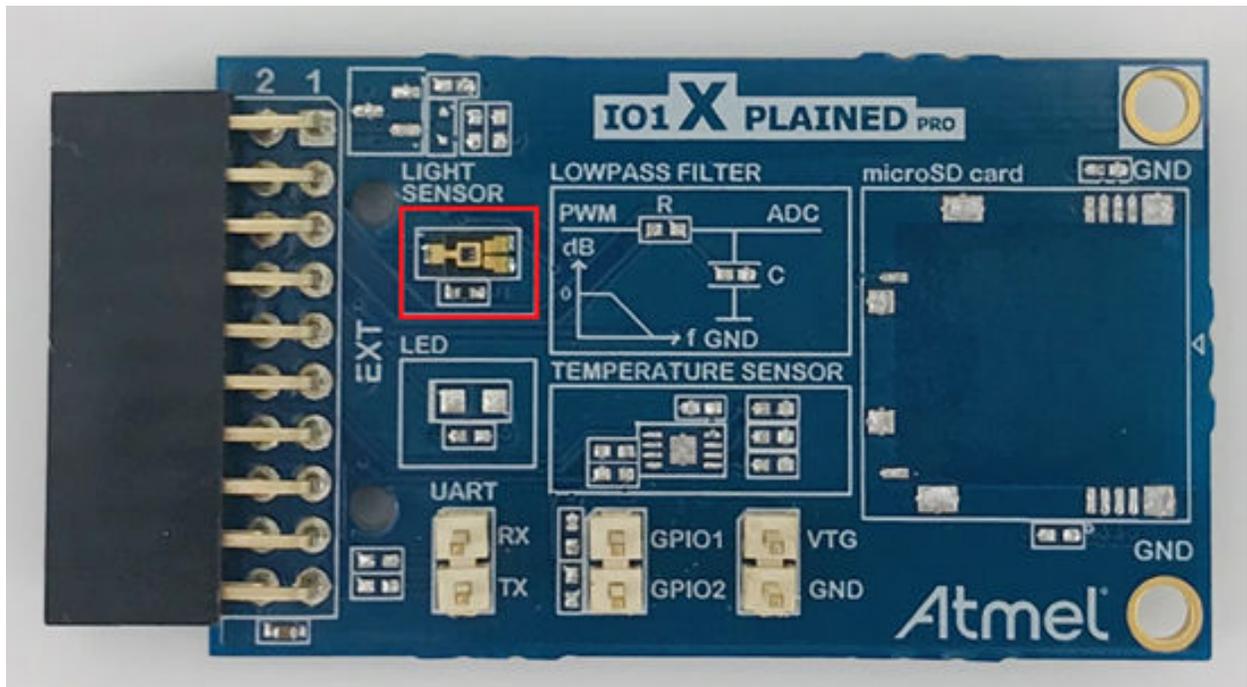


### 6.3.2 IO1 Xplained Pro 扩展板

通过隔离 IO1 Xplained Pro 板上的光传感器（即，将除光传感器和相关电阻之外的电路板上的所有元件移除）可以降低应用的总体功耗。

下图所示为 IO1 Xplained Pro 板。

图 6-18. IO1 Xplained Pro 板



---

## Microchip 网站

---

Microchip 网站 <http://www.microchip.com/> 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下信息：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 顾问计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

---

## 变更通知客户服务

---

Microchip 的变更通知客户服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请登录 Microchip 网站 <http://www.microchip.com/>。在“支持”（Support）下，点击“变更通知客户”（Customer Change Notification）服务后按照注册说明完成注册。

---

## 客户支持

---

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过以下网站获得技术支持：<http://www.microchip.com/support>

---

## Microchip 器件代码保护功能

---

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如

果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

## 法律声明

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，否则在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

## 商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc.在美国和其他国家或地区的注册商标。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、PrecisionEdge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Inc.在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc.在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 为 Microchip Technology Inc.在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc.的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2019, Microchip Technology Incorporated, 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-4528-9

AMBA、Arm、Arm7、Arm7TDMI、Arm9、Arm11、Artisan、big.LITTLE、Cordio、CoreLink、CoreSight、Cortex、DesignStart、DynamIQ、Jazelle、Keil、Mali、Mbed、Mbed Enabled、NEON、POP、RealView、SecurCore、Socrates、Thumb、TrustZone、ULINK、ULINK2、ULINK-ME、ULINK-PLUS、ULINKpro、 $\mu$ Vision 和 Versatile 是 Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他国家/地区的商标或注册商标。

## 质量管理体系

---

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 [www.microchip.com/quality](http://www.microchip.com/quality)。

## 全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
<b>公司总部</b> 2355 West Chandler Blvd. 钱德勒, 亚利桑那州 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: <a href="http://www.microchip.com/support">http://www.microchip.com/support</a> 网址: <a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a>	<b>澳大利亚 - 悉尼</b> 电话: 61-2-9868-6733 <b>中国 - 北京</b> 电话: 86-10-8569-7000 <b>中国 - 成都</b> 电话: 86-28-8665-5511 <b>中国 - 重庆</b> 电话: 86-23-8980-9588 <b>中国 - 东莞</b> 电话: 86-769-8702-9880 <b>中国 - 广州</b> 电话: 86-20-8755-8029 <b>中国 - 杭州</b> 电话: 86-571-8792-8115 <b>中国 - 香港特别行政区</b> 电话: 852-2943-5100 <b>中国 - 南京</b> 电话: 86-25-8473-2460 <b>中国 - 青岛</b> 电话: 86-532-8502-7355 <b>中国 - 上海</b> 电话: 86-21-3326-8000 <b>中国 - 沈阳</b> 电话: 86-24-2334-2829 <b>中国 - 深圳</b> 电话: 86-755-8864-2200 <b>中国 - 苏州</b> 电话: 86-186-6233-1526 <b>中国 - 武汉</b> 电话: 86-27-5980-5300 <b>中国 - 西安</b> 电话: 86-29-8833-7252 <b>中国 - 厦门</b> 电话: 86-592-2388138 <b>中国 - 珠海</b> 电话: 86-756-3210040	<b>印度 - 班加罗尔</b> 电话: 91-80-3090-4444 <b>印度 - 新德里</b> 电话: 91-11-4160-8631 <b>印度 - 浦那</b> 电话: 91-20-4121-0141 <b>日本 - 大阪</b> 电话: 81-6-6152-7160 <b>日本 - 东京</b> 电话: 81-3-6880-3770 <b>韩国 - 大邱</b> 电话: 82-53-744-4301 <b>韩国 - 首尔</b> 电话: 82-2-554-7200 <b>马来西亚 - 吉隆坡</b> 电话: 60-3-7651-7906 <b>马来西亚 - 槟榔屿</b> 电话: 60-4-227-8870 <b>菲律宾 - 马尼拉</b> 电话: 63-2-634-9065 <b>新加坡</b> 电话: 65-6334-8870 <b>台湾地区 - 新竹</b> 电话: 886-3-577-8366 <b>台湾地区 - 高雄</b> 电话: 886-7-213-7830 <b>台湾地区 - 台北</b> 电话: 886-2-2508-8600 <b>泰国 - 曼谷</b> 电话: 66-2-694-1351 <b>越南 - 胡志明市</b> 电话: 84-28-5448-2100	<b>奥地利 - 韦尔斯</b> 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 <b>丹麦 - 哥本哈根</b> 电话: 45-4450-2828 传真: 45-4485-2829 <b>芬兰 - 埃斯波</b> 电话: 358-9-4520-820 <b>法国 - 巴黎</b> 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 <b>德国 - 加兴</b> 电话: 49-8931-9700 <b>德国 - 哈恩</b> 电话: 49-2129-3766400 <b>德国 - 海尔布隆</b> 电话: 49-7131-72400 <b>德国 - 卡尔斯鲁厄</b> 电话: 49-721-625370 <b>德国 - 慕尼黑</b> 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 <b>德国 - 罗森海姆</b> 电话: 49-8031-354-560 <b>以色列 - 若那那市</b> 电话: 972-9-744-7705 <b>意大利 - 米兰</b> 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 <b>意大利 - 帕多瓦</b> 电话: 39-049-7625286 <b>荷兰 - 德卢内市</b> 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 <b>挪威 - 特隆赫姆</b> 电话: 47-72884388 <b>波兰 - 华沙</b> 电话: 48-22-3325737 <b>罗马尼亚 - 布加勒斯特</b> 电话: 40-21-407-87-50 <b>西班牙 - 马德里</b> 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 <b>瑞典 - 哥德堡</b> 电话: 46-31-704-60-40 <b>瑞典 - 斯德哥尔摩</b> 电话: 46-8-5090-4654 <b>英国 - 沃金厄姆</b> 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
<b>亚特兰大</b> 德卢斯, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 <b>奥斯汀, 德克萨斯州</b> 电话: 512-257-3370 <b>波士顿</b> 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 <b>芝加哥</b> 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 <b>达拉斯</b> 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 <b>底特律</b> 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 <b>休斯顿, 德克萨斯州</b> 电话: 281-894-5983 <b>印第安纳波利斯</b> 诺布尔斯维尔, 印第安纳州 电话: 317-773-8323 传真: 317-773-5453 电话: 317-536-2380 <b>洛杉矶</b> 米镇维荷, 加利福尼亚州 电话: 949-462-9523 传真: 949-462-9608 电话: 951-273-7800 <b>罗利, 北卡罗来纳州</b> 电话: 919-844-7510 <b>纽约, 纽约州</b> 电话: 631-435-6000 <b>圣何塞, 加利福尼亚州</b> 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 <b>加拿大 - 多伦多</b> 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			