

# AN12679

## 基于NXP SDK的i.MX RT实现高速RS-485应用

修订版0 – 2019年12月

应用说明

### 1 简介

RS-485是定义用于串行通信系统的驱动器和接收器的电气特性的标准。电信号平衡，并且支持多点系统。多个接收器可以通过线性多点总线连接到这样的网络。这些特性使RS485在工业控制系统和类似应用中非常有用，特别是在智能计量，工业和工厂自动化，智能建筑中。RS-485通常用于长距离，高速和嘈杂的环境。

通常，MCU上的UART接口可以用作带有外部收发器的RS485控制器。提供TTL逻辑信号和方向控制信号；RS485收发器提供电压电平转换，隔离，故障保护等功能。通常，RS485通信以半双工模式工作。

本应用笔记介绍了如何与NXP i.MX RT系列EVK实现RS-485通讯，以及如何基于NXP设计软件

MCUXpresso SDK。对于高速RS-485总线，波特率通常最高为5 Mbps；在这种情况下，中断和软件轮询模式不切实际。必须基于SDK API采用DMA和其他机制。

### 2 硬件套件和SDK

MIMXRT1060评估套件板是一个旨在以小巧的低成本封装展示i.MX RT1060处理器常用功能的平台。尽管板上没有RS-485收发器，但我们仍然可以演示如何测试与EVK的串行通信。图1是评估套件的框图。

#### 目录

1 简介.....	1
2 硬件套件和SDK.....	1
3 驱动程序和软件设计.....	3
3.1 i.MX RT上的UART功能.....	3
3.2 DMA 的使用.....	5
3.3 软件流程.....	6
4 演示设置.....	8
4.1 硬件EVK设置.....	9
4.2 使用板载OPENSDA UART作为演示.....	9
4.3 项目软件包.....	10
4.4 测试结果.....	11
5 结论.....	13



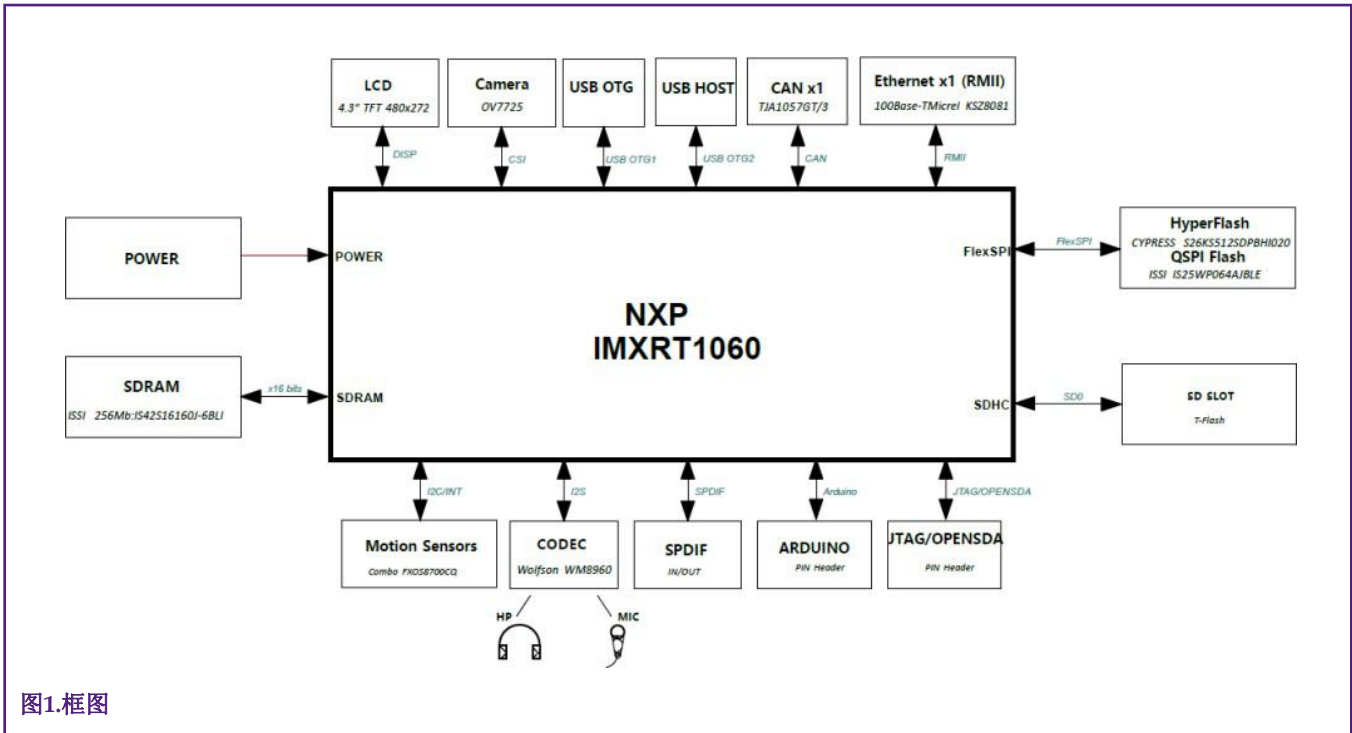


图1.框图

OpenSDA电路（CMSIS-DAP）是一种开放标准的串行和调试适配器。它桥接了USB主机和嵌入式目标处理器之间的串行和调试通信。我们在此AN中使用此OpenSDA接口作为电源，调试接口，串行到USB转换器，而无需任何外部组件。LPUART1信号被路由到OpenSDA调试USB（在PC上被枚举为USB CDC UART和CMSIS-DAP调试接口），我们可以演示PC USB与RT1060的UART之间的半双工通信。

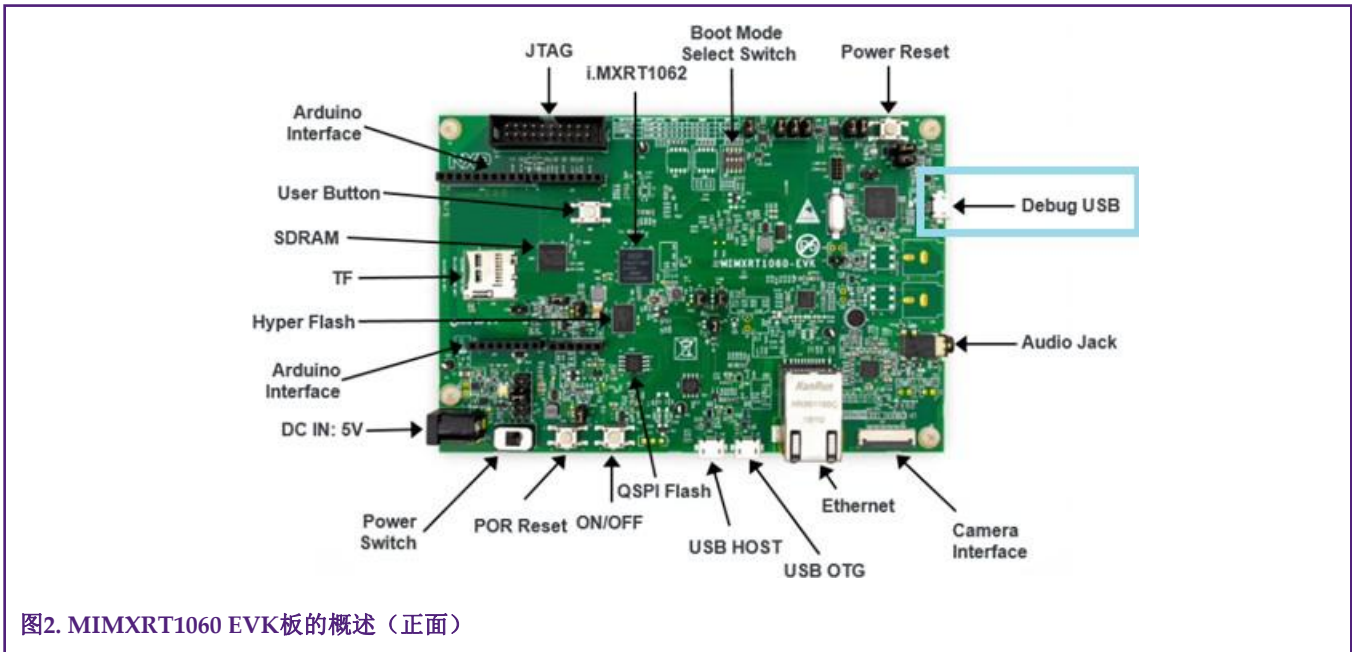


图2. MIMXRT1060 EVK板的概述（正面）

RS-485电路需要外部收发器的方向控制。在图3中，接收器使能信号始终保持有效。另一个可选的RS-485连接是将RTS\_B连接到DE和RE\_B，这是常用的连接。在这种情况下，驱动RTS\_B时，将禁用收发器的接收器。我们可以使用任何GPIO代替RTS信号，从而可以减少对硬件的依赖性。GPIO\_AD\_B0\_15可以复用为LPUART1\_RTS信号或GPIO信号GPIO1\_IO15，以控制收发器的方向。

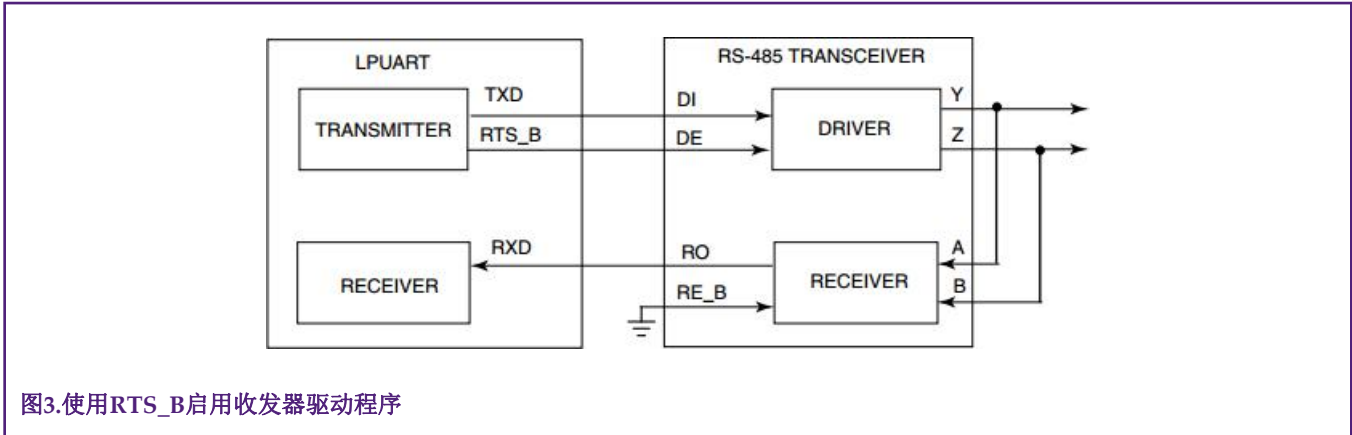


图3.使用RTS\_B启用收发器驱动程序

### 3 驱动程序和软件设计

#### 3.1 i.MX RT上的UART功能

- i.MX RT 1060系列具有8个功能强大的UART，它们具有许多有用的功能。以下是i.MX RT1060上LPUART的一些重要功能，但不包括所有功能。有关详细信息，请参见IMXRT1060RM，第48章：低功耗通用异步收发器（LPUART）。在本AN中，以下列出的这些功能用于实现高速UART通信：
- 全双工，标准不归零（NRZ）格式
- 支持某种中断，DMA或轮询操作：
  - 发送数据寄存器为空，发送完成
  - 接收数据寄存器满
  - 接收超限，奇偶校验错误，成帧错误和噪声错误
  - 空闲接收器检测，空闲类型和超时是可配置的
  - 接收引脚上的有效边缘
  - 断线检测支持LIN
  - 接收数据匹配
- 可配置的空闲长度检测，支持1、2、4、8、16、32、64或128个空闲字符
- 用于发送和接收的独立FIFO结构。LPUART具有4输入FIFO，以缓冲发送和接收数据。有一个参数称为“水印”，它可以是：
  - 用于接收和发送请求的分离的可配置水印
  - 如果接收FIFO不为空，则接收方可以在可配置数目的空闲字符之后断言请求的选项
  - 当发送FIFO中的缓冲数据数量 $\leq$ 发送水印时，则触发“发送数据寄存器为空”中断/ DMA；
  - 当接收FIFO中的缓冲数据数量 $>$ 接收水印时，则触发“接收数据寄存器已满”中断/ DMA；
- LPUART可以启用传输完成（TC）/空闲接收器检测。在这种情况下，当UART接收到总线上的最后一个数据，然后声明总线空闲状态时，便可以识别RX空闲。我们可以用这个信号来表示一个接收帧的结束。而传输完成（TC）信号表示UARTTX寄存器中的最后一个数据已在总线上发送出去，这意味着传输一帧结束。

- 错误检测标志：用户必须正确处理错误标志，对其进行确认以告知他们已经知道发生的错误，否则LPUART不再接收新数据。
- 硬件流控制支持请求发送（RTS）和清除发送（CTS）信号

如果发生启用的事件或定义的错误，则会触发中断或DMA操作以执行预定义的例程。

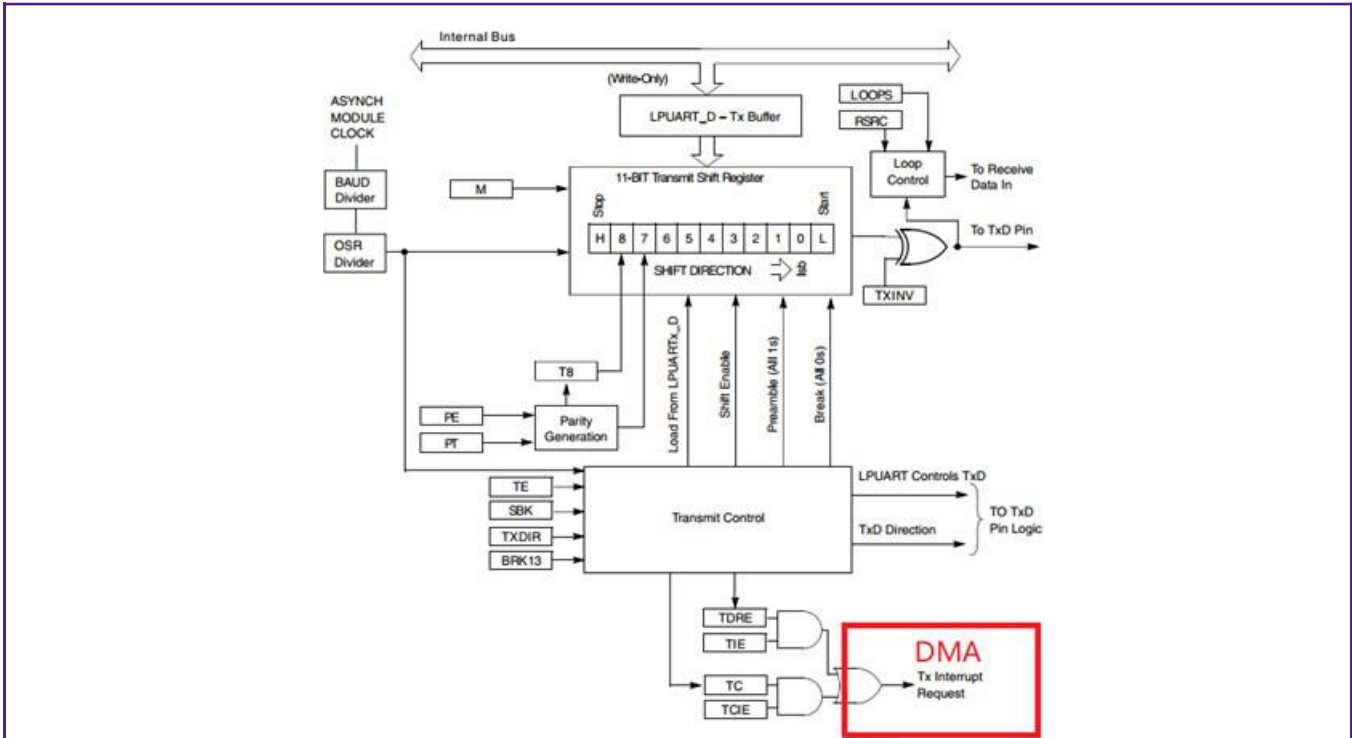


图4. LPUART发送器框图

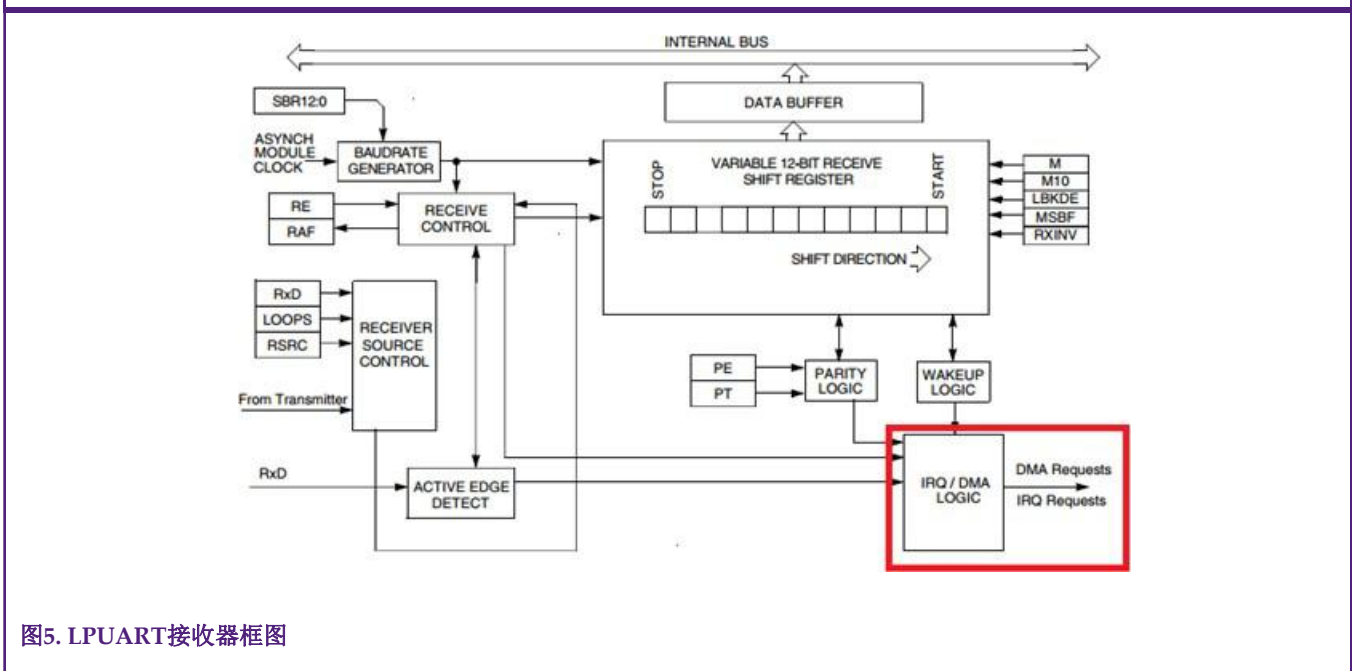


图5. LPUART接收器框图

## 3.2 DMA的使用

增强型直接内存访问（eDMA）控制器是第二代模块，能够以最少的主机处理器干预执行复杂的数据传输。以下是用于UART数据传输的一些功能，有关更多详细信息，请参考i.MX RT 1060参考手册，第3章：中断，DMA事件和XBAR分配，第4章：直接内存访问多路复用器（DMAMUX），第5章：增强型直接内存访问（eDMA）。

- 基本的数据移动操作：将RAM缓冲区中的数据发送到LPUART发送器，或将接收器数据获取到RAM缓冲区：
  - 源地址和目的地址计算。
  - 包含32个通道中每个通道的传输控制描述符的本地存储器。
  - 通过双地址传输进行的所有数据移动：从源读取，写入目的地。
  - 可编程的源和目标地址以及传输大小。
- 先进的数据移动操作：内部和外部数据传输可以支持复杂的操作
- 通过以下三种方法之一激活频道：
  - 明确的软件启动可以通过软件启动一次传输，以减少MCU工作量。
  - 通过通道间链接机制发起的连续传输。触发链接传输可能会减少软件的参与。
  - 外围设备的硬件请求，每个通道一个。外设可以随时请求，完全不需要MCU内核。即使MCU正在休眠，它也可以工作。
- 完成时可以为DMA通道分配不同的优先级和中断操作：
  - 固定优先级和循环信道仲裁，用户可以在设计阶段设计信道优先级，如果DMA总线带宽可能发生冲突，则确定最重要的信道。
  - 通过可编程中断请求报告通道完成
  - 每个通道一个中断，可以在主要迭代计数完成时声明。
  - 每个通道的可编程错误终止并在逻辑上求和，以形成一个中断控制器中断错误。

要运行该AN的演示项目，我们需要使用LPUART TX和RX信号作为DMA MUX触发信号来触发DMA操作。外围设备请求使

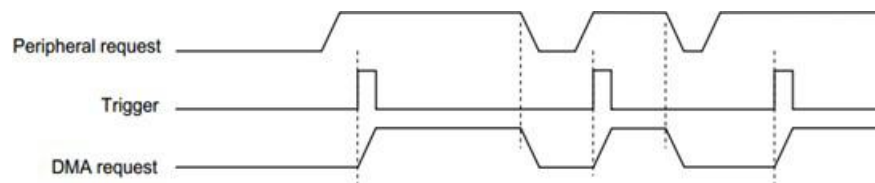


图6. DMAMUX通道触发

用触发信号启动一个DMA操作。当外设满足某些预定义条件时，以LPUART为例，如果设置了UART TX FIFO空或RX FIFO满标志，则会引发外设请求。特定的外设请求可以与DMA通道组合作为DMA通道触发源，因此，一旦触发了外设请求，便会执行DMA操作。

Channel	Module	Logic	Description
2	LPUART1	OR	UART TX FIFO DMA Request
		OR	UART TX FIFO Async DMA Request
3	LPUART1	OR	UART RX FIFO DMA Request
		OR	UART RX FIFO Async DMA Request
4	LPUART3	OR	UART TX FIFO DMA Request
		OR	UART TX FIFO Async DMA Request
5	LPUART3	OR	UART RX FIFO DMA Request
		OR	UART RX FIFO Async DMA Request
6	LPUART5	OR	UART TX FIFO DMA Request
		OR	UART TX FIFO Async DMA Request

图7. DMA MUX映射

### 3.3 软件流程

applications.MCUXpresso软件开发套件（SDK）为i.MXRT, Kinetis和LPC微控制器提供了全面的软件支持。MCUXpresso SDK包含一组灵活的外设驱动程序，旨在加快并简化嵌入式应用程序的开发。除了外设设备驱动程序之外，MCUXpresso SDK还提供了广泛而丰富的示例应用程序集，涵盖了从基本外围设备用例到全功能应用程序的许多用例。

以SDK 2.6.2中的LPUART为例，LPUART有8个演示，它们包含轮询/中断/ DMA的三种操作模式。他们可以使用/不使用环形缓

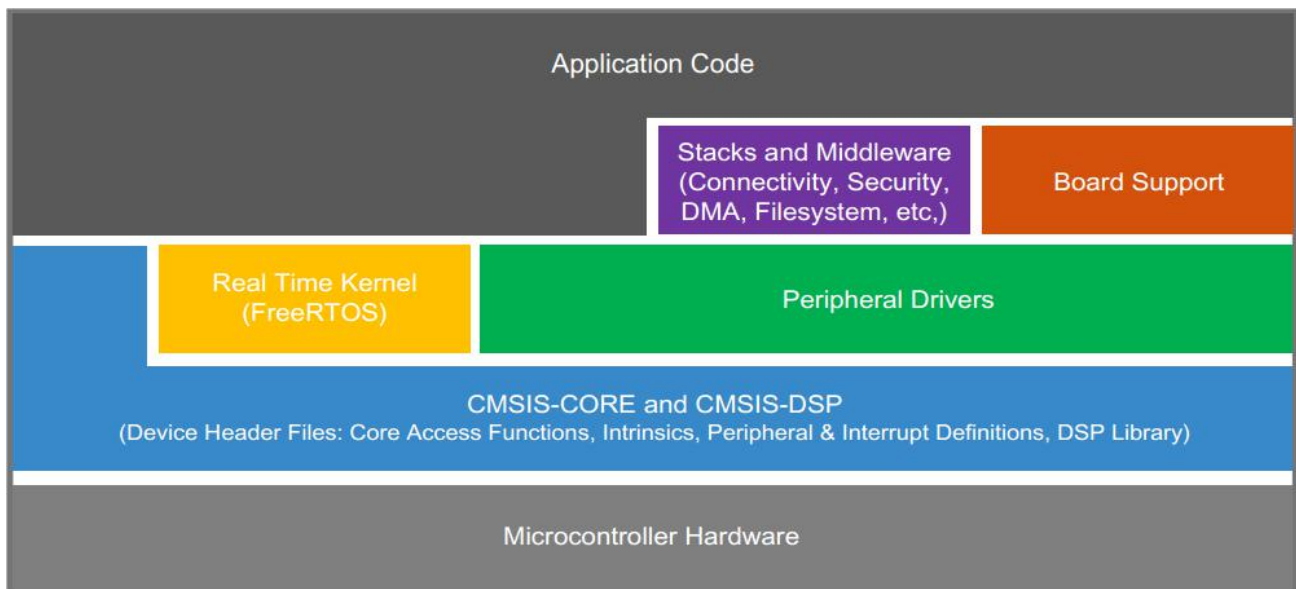


图8. MCUXpresso SDK层

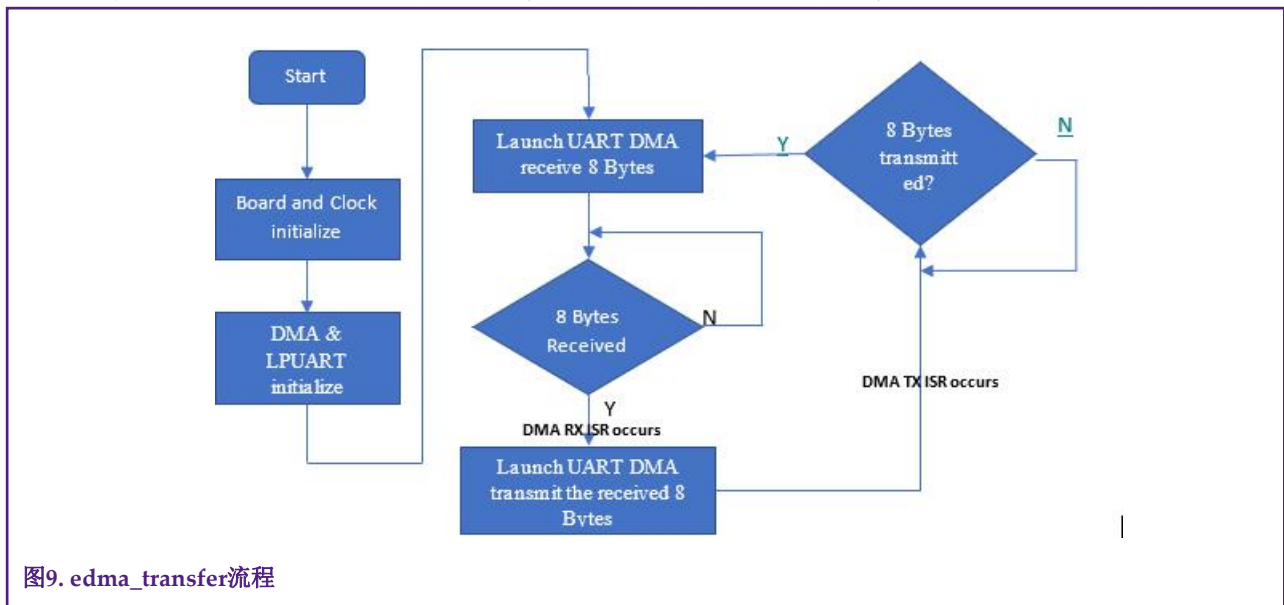
冲区存储组织；他们可以使用或不使用传输API。这是SDK中的一些演示项目：

- edma\_rb\_transfer
- edma\_transfer
- interrupt

- interrupt\_rb\_transfer
- interrupt\_transfer
- interrupt\_transfer\_seven\_bits
- polling
- polling\_seven\_bits

SDK版本v2.6.2中edma\_transfer演示的说明

1. LPUART edma\_transfer演示使用DMA接收和发送数据;
2. 默认情况下启用发送和接收FIFO, 但水印均设置为1, 其作用与禁用FIFO相同, 因此仅一个FIFO条目用于接收和发送数据;
3. 仅实现基本的发送和接收功能。DMA被分配为传输固定长度(8字节)的数据, 传输完成后, 发生DMA中断。



如果客户将此演示直接用于RS-485通信, 则将受到以下限制:

1. 如果发生错误, 因为没有错误处理程序条目, UART通信流将被阻塞;
2. 接收DMA被分配为接收8个字节, 帧长是固定的, 这在每种情况下都不可行。如果接收到的数据长度未达到预定义的长度, 则接收DMA例程将不会退出。此外, 在嘈杂的环境中, 通信可能会丢失一些数据字节, 这具有与固定帧长相似的风险。
3. 演示代码使用DMA传输完整的中断, 以将演示状态机从TX切换到RX。但是对于RS-485通信, 如果客户在ISR中切换外部RS485 RX / TX收发器, 则接收器将丢失数据。由于DMA发送完成标志仅表示数据已从RAM缓冲区传输到LPUART TX FIFO, 因此并不表示所有数据都已通过总线发送出去。

为了在此AN中设计适用于真实RS-485工业总线的项目, 我们修改了SDK中的DMA传输演示, 而我们没有修改任何原始驱动程序代码 (fsl\_lpuart.c和fsl\_lpuart\_edma.c) 以符合使用现有的SDK API

edma\_transfer演示新功能的说明:

1. 在现有的LPUART\_edma\_transfer项目上, 将DMA接收缓冲区设置为2KB (假定该大小足够大, 没有RS485帧超过2KB, 因此DMA接收完全中断不会发生。如果在测试期间缓冲区大小超过2KB, 则前面的2KB数据将被丢弃);
2. 在MIMXRT1060-EVK板上, 使用LPUART1作为RS-485通信端口, 该端口桥接到USB CDC接口, 并在半双工模式下工作。连接线GPIO\_AD\_B0\_15作为外部收发器方向控制信号;

- 复位后, LPUART用作接收器, 接收空闲中断和错误中断使能;当然, 我们在LPUART中断服务程序中提供了一个错误处理程序;
- 收到PC机发送的一帧后, MCU进入RX空闲中断服务程序, 然后判断该数据帧是否是该节点的数据, 决定接收另一帧或回显数据;然后重置DMA接收状态 (初始化DMA状态机和指针等)
- 如果MCU需要回送数据, 则在主回路中将RS485收发器切换为TX模式, 组织回送帧, 并使用发送 (TX) DMA通道将其发送出去。在发送 (TX) 完成DMA中断服务程序中, 启用发送完成 (TC) 中断; 在发送完成 (TC) 中断服务程序中, 再次切换RS-485方向以进行接收并重置DMA接收状态机, 然后恢复到状态 (3)。

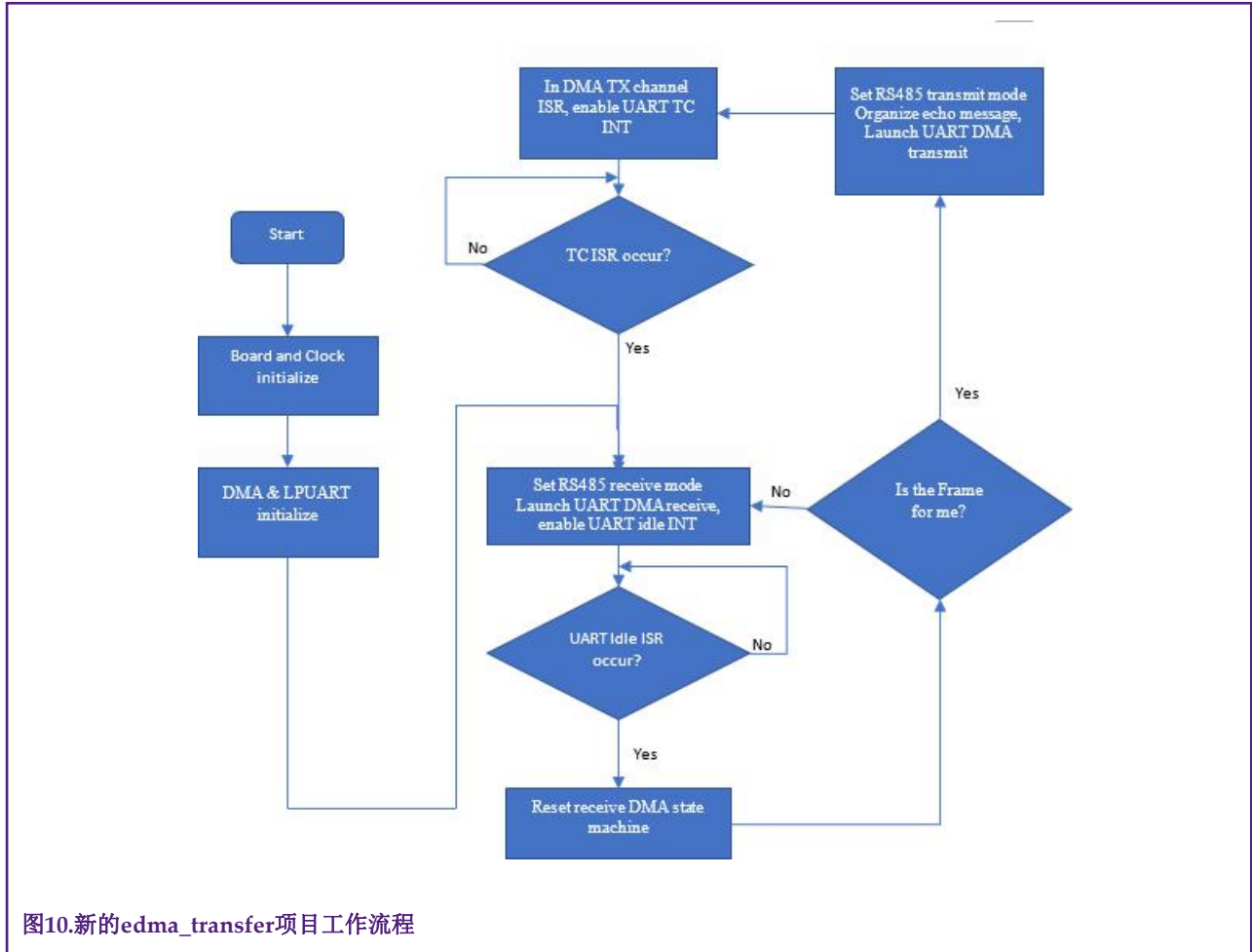


图10.新的edma\_transfer项目工作流程

### 注意

- 在这个新项目中, 将TX FIFO水印设置为3 (最大4): 当TX FIFO条目号小于3时, 触发TX DMA通道将数据从RAM缓冲区传输到LPUART TX FIFO;
- 在实际应用中, 必须处理UART错误标志, 即使在恶劣的环境下工作也可能使MCU恢复正常状态。
- 我们保持原始SDK驱动程序不变, 重新使用SDK中的所有API。

## 4 演示设置



## 4.1 硬件EVK设置

我们需要:

- 一个MIMXRT1060-EVK
- 一根 Micro USB 电缆
- 装有串行端口工具的PC，例如TeraTerm
- 将U12的Pin4上的GPIO\_AD\_B0\_15飞线作为外部收发器方向控制信号

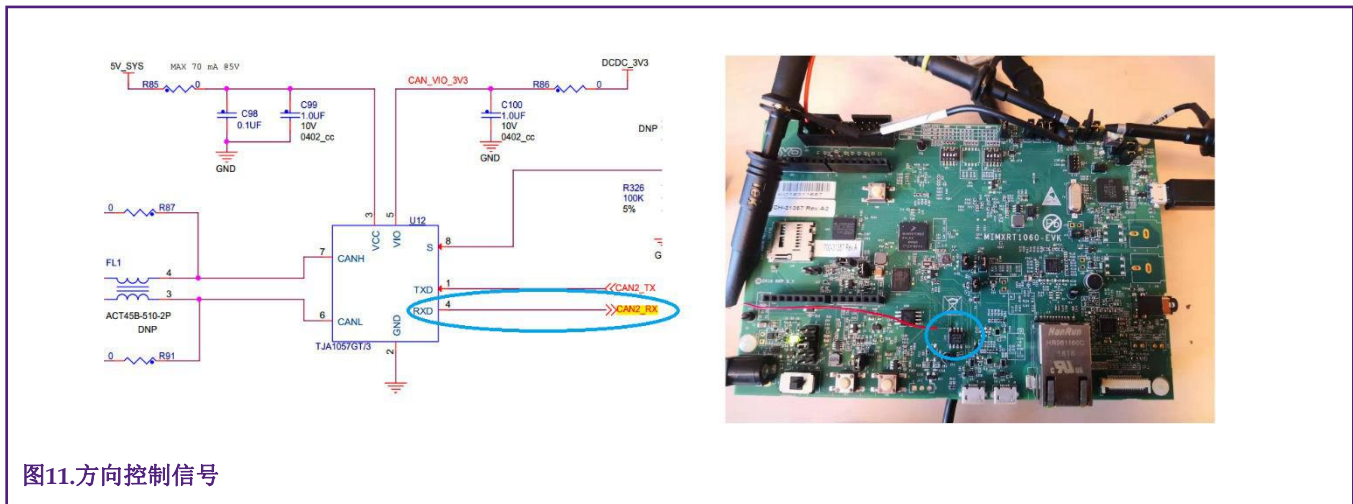


图11.方向控制信号

## 4.2 使用板载OPENSDA UART作为演示

检查并确认已连接J45 / J46。将J41（USB端口）与PC连接，该板被仿真为PC上的CDC设备和CMSIS-DAP接口。将测试代码编译并下载到iMXRT1060 EVK，然后重新启动。使用CDC UART打开TeraTerm，然后输入一个字符串，Teraterm会收到相同的字符串。在EVK板上，不存在真正的RS485收发器，在此测试中，我们将波特率设置为115200 bps。但实际上，由于此演示同时使用DMA和中断，因此可以在现场应用中实现更高的波特率。

### 注意

如果手边有外部RS485收发器，请拔下J45 / J46并将其作为UART\_RXD / UART\_TXD信号连接到收发器，并同时连接方向控制信号。然后，您可以测试真正的RS485硬件。

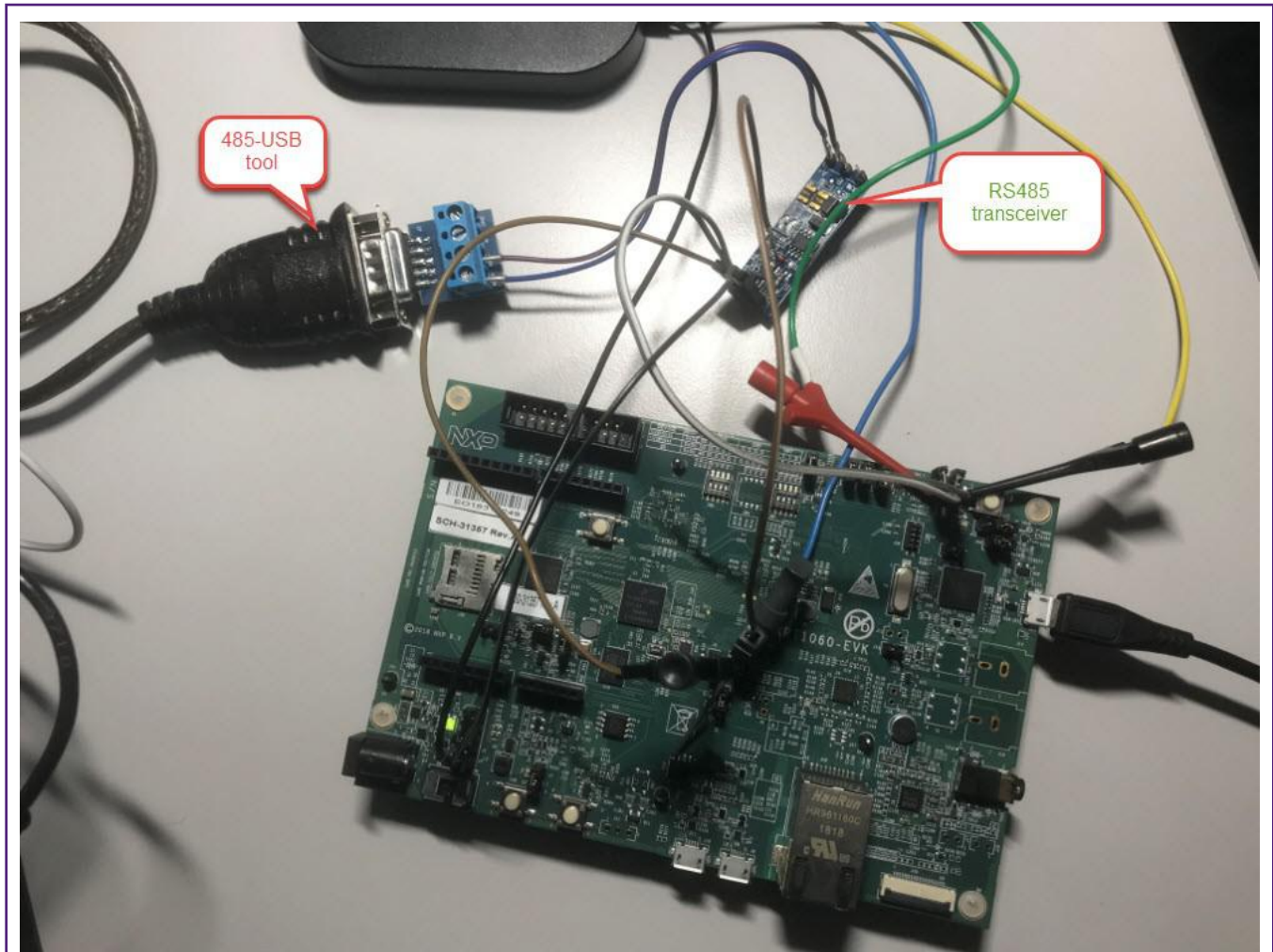


图12.使用外部RS485收发器

### 4.3 项目软件包

可以将SW软件包解压缩到“SDK\_2.6.2\_EVK-MIMXRT1060\boards\evkmimxrt1060\driver\_examples\lpuart”，客户可以使用IAR或Keil进行重建并将其下载到EVK进行测试。

与原始SDK项目相比，项目构建设置中还有一个宏定义：

ENABLE\_RTS\_TRANSCEIVER = 0。意味着GPIO\_AD\_B0\_15将充当GPIO

ENABLE\_RTS\_TRANSCEIVER = 1。意味着GPIO\_AD\_B0\_15将充当LPUART1\_RTS信号

以IAR项目为例，客户可以从项目选项中修改ENABLE\_RTS\_TRANSCEIVER

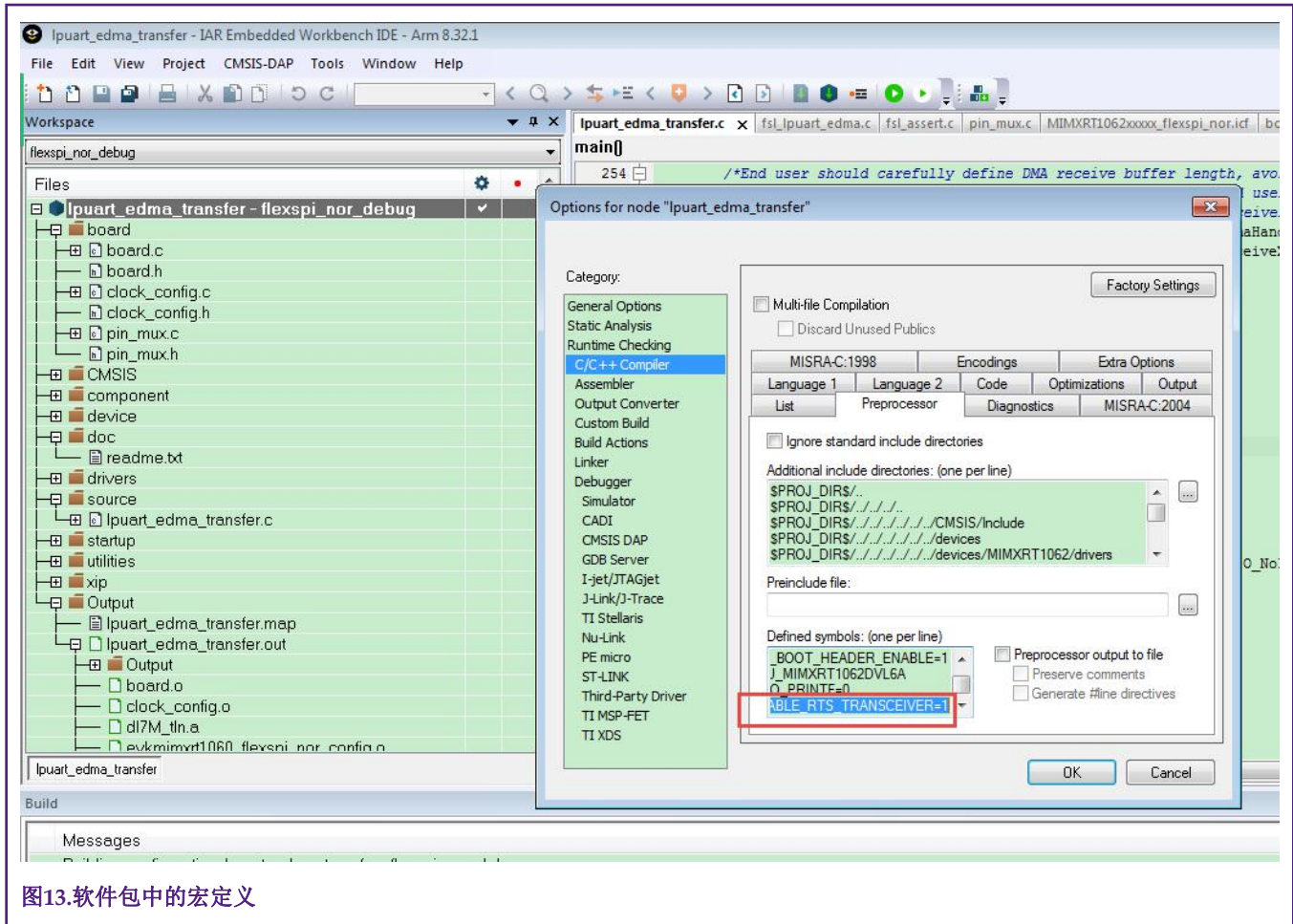


图13.软件包中的宏定义

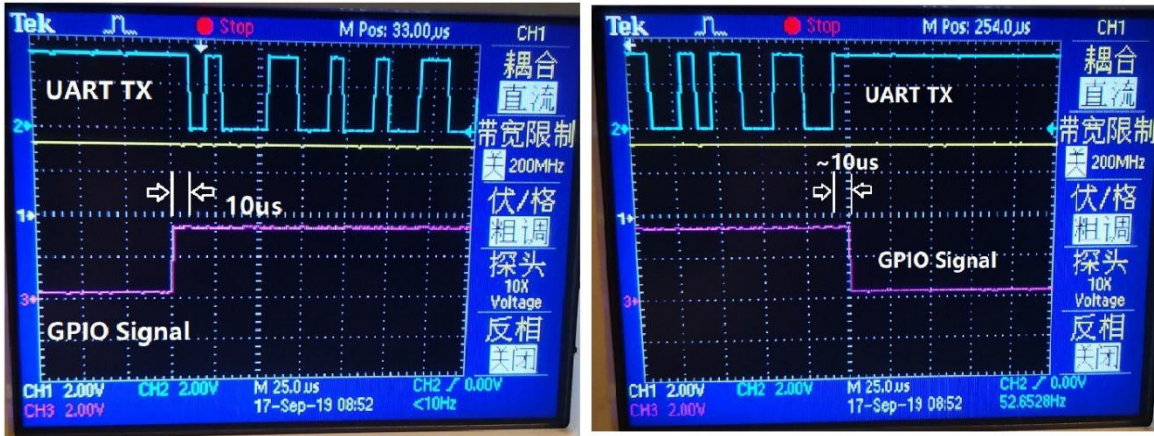
#### 4.4 测试结果

使用串行端口工具，RT1060 EVK可以回送所发送的字符串，并且通过观察UART RX / TX和方向控制信号，我们可以更好地了解时序。与双向控制方法相比，使用RTS控件与开始位或最后停止位具有一个固定的时差。由于i.MX RT强大的性能，使用GPIO控制实际上具有相似的性能。



(1)

(2)



(3)

(4)

图14.使用GPIO控制的时序波

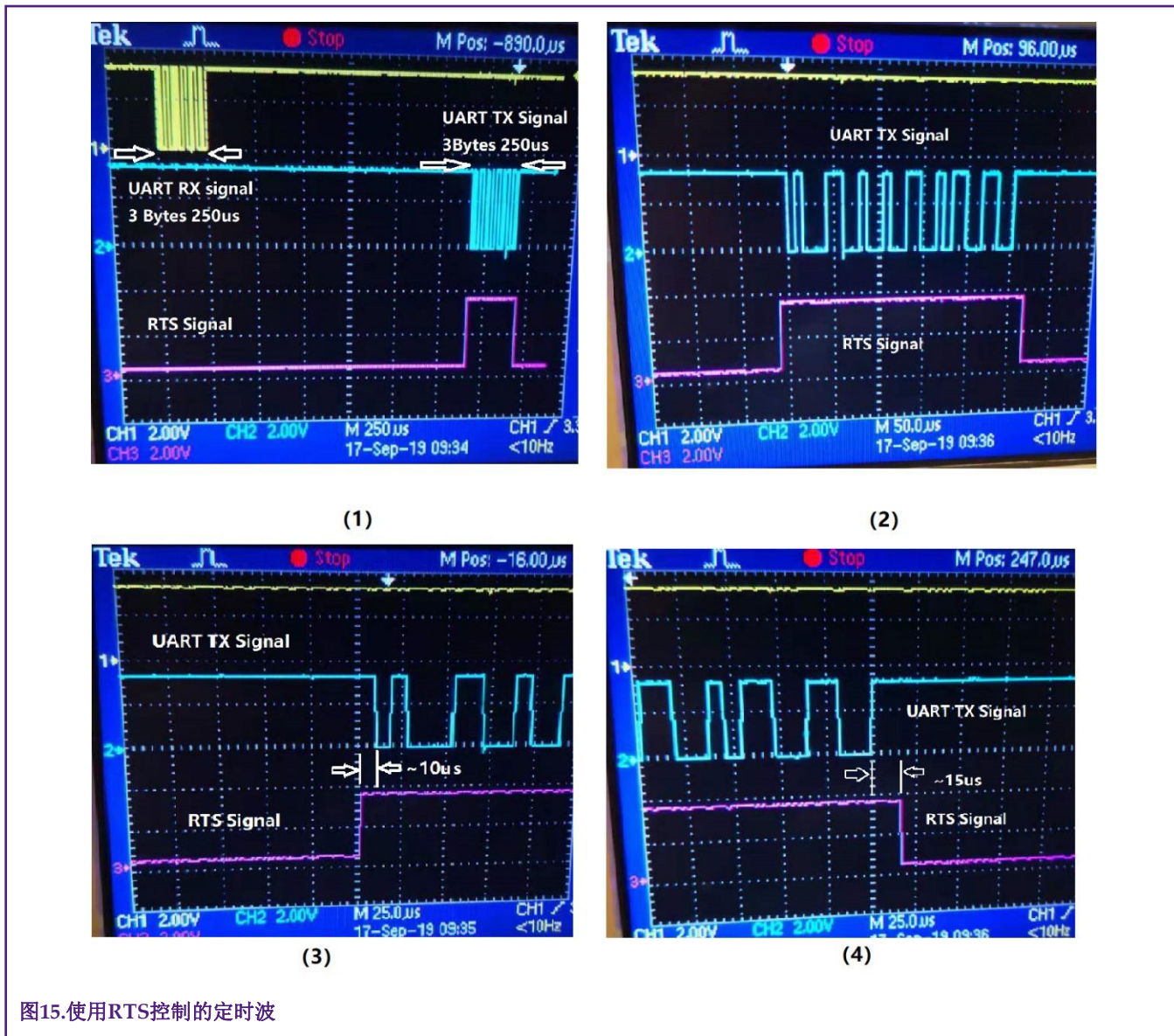


图15.使用RTS控制的定时波

## 5 结论

恩智浦SDK提供了足够的DMA和UART驱动程序API，可用于实际的高速RS485应用程序。但是，我们需要修改SDK中的演示，以满足实际情况的实际需求。在本应用笔记中，构建了一个新项目来实现高速RS-485通信，并考虑处理实际情况下发生的错误和意外事件。经过对真实客户项目的长期测试，事实证明它是可行的。

## 如何联系我们

主页

[nxp.com](http://nxp.com)

网页支持:

[nxp.com/support](http://nxp.com/support)

本文档中的信息仅用于使系统和软件实施者能够使用NXP产品。根据本文档中的信息，根据本文档的信息，没有授予任何明示或暗示的版权许可来设计或制造任何集成电路。恩智浦保留更改的权利，恕不另行通知。

恩智浦不就其产品在特定目的下的适用性提供任何保证，陈述或担保，恩智浦也不承担因使用或使用任何产品或电路而引起的任何责任，并明确声明不承担任何责任，包括但不限于结果性或偶然性损害。恩智浦数据表和/或规格中可能提供的“典型”参数在不同应用中可能会发生变化，并且实际性能可能会随时间变化。所有的操作参数，包括“典型”，必须由客户的技术专家针对每个客户应用进行验证。恩智浦不转让其专利权或他人权利的任何许可。恩智浦根据标准销售条款和条件销售产品，可在以下地址找到该产品：[nxp.com/SalesTermsandConditions](http://nxp.com/SalesTermsandConditions)。

尽管恩智浦已实现高级安全功能，但所有产品可能都存在未识别的漏洞。客户负责其应用程序和产品的设计和操作，以减少这些漏洞对客户的应用程序和产品的影响，并且恩智浦对发现的任何漏洞不承担任何责任。客户应实施适当的设计和操作系统保护措施，以最小化与其应用程序和产品相关的风险。

恩智浦 (NXP)，恩智浦 (NXP) 徽标，恩智浦 (NXP) 智慧世界的连接，COOLFLUX，EMBRACE，GREENCHIP，HITAG，I2C BUS，ICODE，JCOP，生活氛围，MIFARE，MIFARE CLASSIC，MIFARE DESFire，MIFARE PLUS，MIFARE FLEX，MANTIS，MIFARE，MIFARE4MOBILE，MIGLO，NTAG，ROADLINK，SMARTLX，SMARTMX，STARPLUG，TOPFET，TRENCHMOS，UCODE，Freescale，Freescale徽标，AltiVec，C-5，CodeTEST，CodeWarrior，ColdFire，ColdFire +，C-Ware，节能解决方案徽标，Kinetis，Layerscape，MagniV，mobileGT，PEG，PowerQUICC，处理器专家，QorIQ，QorIQ Qonverge，Ready Play，SafeAssure，SafeAssure徽标，StarCore，Symphony，VortiQa，Vybrid，Airfast，BeeKit，BeeStack，CoreNet，Flexis，MXC，打包平台，QUICC引擎，SMARTMOS，Tower，TurboLink，UMEMS，EdgeScale，EdgeLock，eIQ和Immersive3D是NXP BV的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。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，Versatile是Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他地方的商标或注册商标。相关技术可以受任何或所有专利，版权，设计和商业秘密的保护。版权所有。Oracle和Java是Oracle和/或其分支机构的注册商标。Power Architecture和Power.org文字标记以及Power和Power.org徽标和相关标记是Power.org许可的商标和服务标记。

© NXP B.V. 2019.

版权所有

有关更多信息，请访问：<http://www.nxp.com>

有关销售办事处的地址，请发送电子邮件至：[salesaddresses@nxp.com](mailto:salesaddresses@nxp.com)

发布日期：2019年12月

文档标识符：AN12679

