

## Application Note

使用 **USB2** 转接驱动器解决信号完整性难题

Akansha Rai, Stanton Weaver, Ryan Kitto

## 摘要

本应用手册探讨了在 **USB 2.0** 系统设计中为何需要使用转接驱动器来调节信号，以及如何采用转接驱动器来简化设计并满足 **USB 2.0** 合规性要求。

## 内容

|   |    |
|---|----|
| 1 引言.....   | 2  |
| 2 <b>USB 2.0</b> 信号完整性难题.....                           | 2  |
| 3 选择使用 <b>USB 2.0</b> 转接驱动器.....                        | 3  |
| 4 汽车中的转接驱动器.....  | 4  |
| 5 企业中的转接驱动器.....  | 6  |
| 6 医疗中的转接驱动器.....  | 7  |
| 7 个人电子产品中的转接驱动器.....                                    | 8  |
| 8 其他应用中的转接驱动器.....                                      | 9  |
| 9 借助 <b>TUSB211PICO-EVM</b> 方便地使用 <b>TUSB211A</b> ..... | 10 |
| 10 总结.....  | 11 |
| 11 参考资料.....  | 11 |
| 12 修订历史记录.....  | 12 |

## 商标

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

自 1996 年诞生以来，通用串行总线 (USB) 已成为最成功的有线接口之一，被个人电子产品、汽车、工业和企业系统等各行各业的电子器件和装置广泛采用。尽管 USB 数据速率多年来不断发展以支持更高的带宽，目前每通道传输速率可达 10Gbps，但它仍保留了 USB 2.0 规范的向后兼容性，可为许多低带宽应用提供高达 480Mbps 的数据速率。即使在 480Mbps 的较低 USB 高速数据速率下，USB 信号也会因电缆、迹线损耗和数据路径中的无源器件而发生信号衰减，从而导致无法满足 USB 2.0 合规性要求。图 1-1 展示了一个示例。

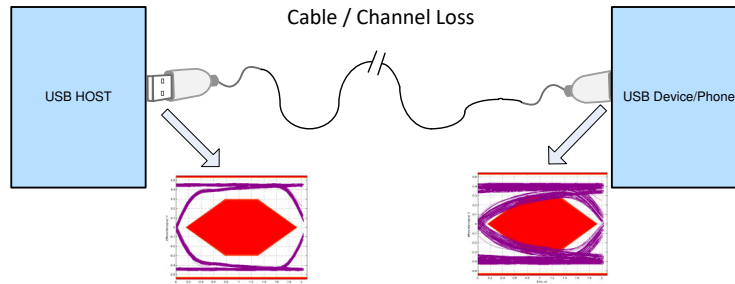


图 1-1. 信号完整性下降

为帮助缓解这些因素带来的信号衰减问题，可以使用 USB 2.0 转接驱动器在信号从 USB 主机传输到 USB 器件时对信号进行增强。该 USB 2.0 转接驱动器会监控在其下方传输的信号，并在检测到高速 (HS) 信号时开始增强器件的信号。这种增强针对转接驱动器的两个方面，一是直流电平 (VHigh 和 VLow)，这两个电平往往会随着电缆和传输距离的延长而降低；二是上升沿和下降沿的交流方面，这两个边沿往往会随着距离的延长而减慢，导致眼图掩码周围的裕度减小，而眼图通常用于帮助确定 USB 2.0 信号的完整性。

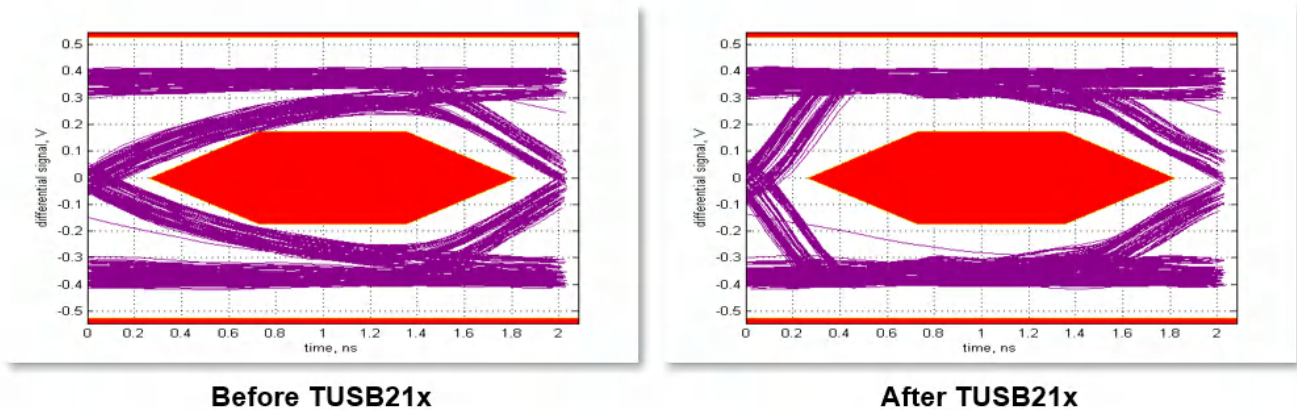


图 1-2. 转接驱动器眼图比较

## 2 USB 2.0 信号完整性难题

USB 2.0 支持高达 480Mbps 的高速数据速率以及电池充电协议。USB 2.0 是具有宽信号摆幅的直流耦合系统。USB 2.0 数据路径通常具有许多无源和有源器件，例如开关、充电控制器和保护器件。尽管根据设计，这些元件的信号质量损失可忽略不计，但它们在通过时仍会对信号产生影响。如果这些信号的质量已经按原样降级，那么可从多路复用器或 ESD 二极管中拾取的这一小部分损耗会很容易将信号推至不合规的状态。

除这些元件外，电路板设计中还具有决定信号损耗量的特性。在基本层面上，USB 数据路径的轨迹会对信号造成一定的损耗，而设计的有效性则会影响损耗的具体程度。设计不良的电路板可能采用不正确的布线技术，由于对宽度或布线宽度不当导致的不正确差分阻抗或者布线长度不匹配都会影响信号。

最后，还有外部因素，如正在使用的电缆和连接器。在信号通过时，这些都会给信号带来某种形式的损耗。信号路径（例如从带有 USB 连接器的主机到器件，或带有带状电缆连接器的板到板）中的多个连接器，都很容易以合

理裕度降低信号性能。此外，某些 USB 电缆甚至特定于供应商的电缆可能会将其 USB 2.0 通道直接布线，而不是采用双绞线，这会直接影响 USB 2.0 信号的差分阻抗，并会导致信号严重衰减。

### 3 选择使用 USB 2.0 转接驱动器

由于所有这些不同的潜在原因导致 USB 2.0 信号发生衰减，因此是否使用 USB 2.0 转接驱动器以及在何处使用成为一个重要问题。通常情况下，设计人员会犹豫不决，认为添加转接驱动器可能需要大量返工，而如果转接驱动器不起作用，则可能需要再次返工来纠正所做的改动。幸运的是，USB 2.0 转接驱动器实际上是一种更便于实现的转接驱动器。USB 2.0 转接驱动器外形小巧，并且电路板设计中可使用直通式布线。图 3-1 展示了直通式设计。

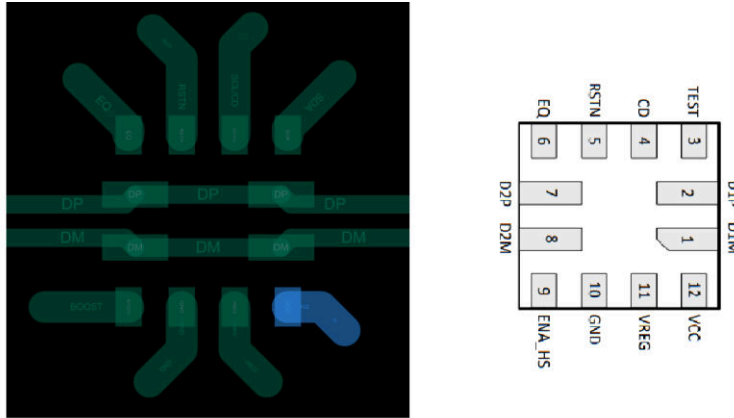


图 3-1. 直通式设计

从本质上讲，这种直通式布线意味着 USB 2.0 转接驱动器无需将信号直接集成到器件上以使其作为输入进行升压，然后输出回布线，而是可以在信号于转接驱动器下方传输时被动地监控信号。这样，电路板的 PCB 布线无需为了包含 USB 2.0 转接驱动器而进行大量返工，如果不需要转接驱动器，则可以去除转接驱动器，而不必顾虑布线是否会受到影响。此外，USB 2.0 转接驱动器具有更小的外形尺寸，因此在信号中占用的空间极小，并且易于设置，最多只有 1-2 个配置引脚。

## 4 汽车中的转接驱动器

许多汽车应用需要较长的电缆长度，以便在音响主机或媒体中心端口之间进行智能手机数据通信和充电。当电缆长度超过 1.5m 时，USB2.0 无法保证合规性，因此在此类应用中，我们需要添加转接驱动器以保持信号完整性。

可在汽车中使用 USB2.0 转接驱动器的应用包括：

- 使用 USB2.0 进行固件更新
- 连接到外部音乐和信息娱乐系统单元

### 汽车 USB 充电：( A 至 C 点 )

- 来自 SOC 的 D+ 和 D- 信号传输通过 USB 接口连接到手机。这可以实现手机上的 Car-Play 等应用。

### 数字驾驶舱处理单元：( A 至 B 点 )

- USB 后排座椅插头 ( 充电器 ) 距离音响主机约 1.5m，需要使用 USB2.0 转接驱动器，因此它们需要转接驱动器来确保信号完整性并通过合规性测试，否则眼图测试可能会失败。

发送 USB2 数据的系统必须在电缆远端的连接器 ( 即远程端口 ) 处通过近端 USB 2.0 合规性眼图测试。

当通道损耗较高 ( 例如高温或使用长电缆 ) 时，系统无法满足 USB 2.0 合规性要求。USB2.0 无法保证长度超过 1.5m 时的合规性，因此需要转接驱动器。用户的个人设备无法与车辆音响主机通信。

可实现 TUSB21x-Q1 来支持长达五米的电缆，以通过 USB 2.0 近端检测、CarPlay 和 Android Auto 合规性测试。

**USB2.0 的不同汽车应用**展示了一种典型的汽车，我们可以在其中看到发生信号传输的各个点。对于汽车 USB 充电，从 A 到 C；对于数字驾驶舱处理单元，从 A 到 B。由于各个点之间的距离较远，因此需要使用 USB2.0 转接驱动器。

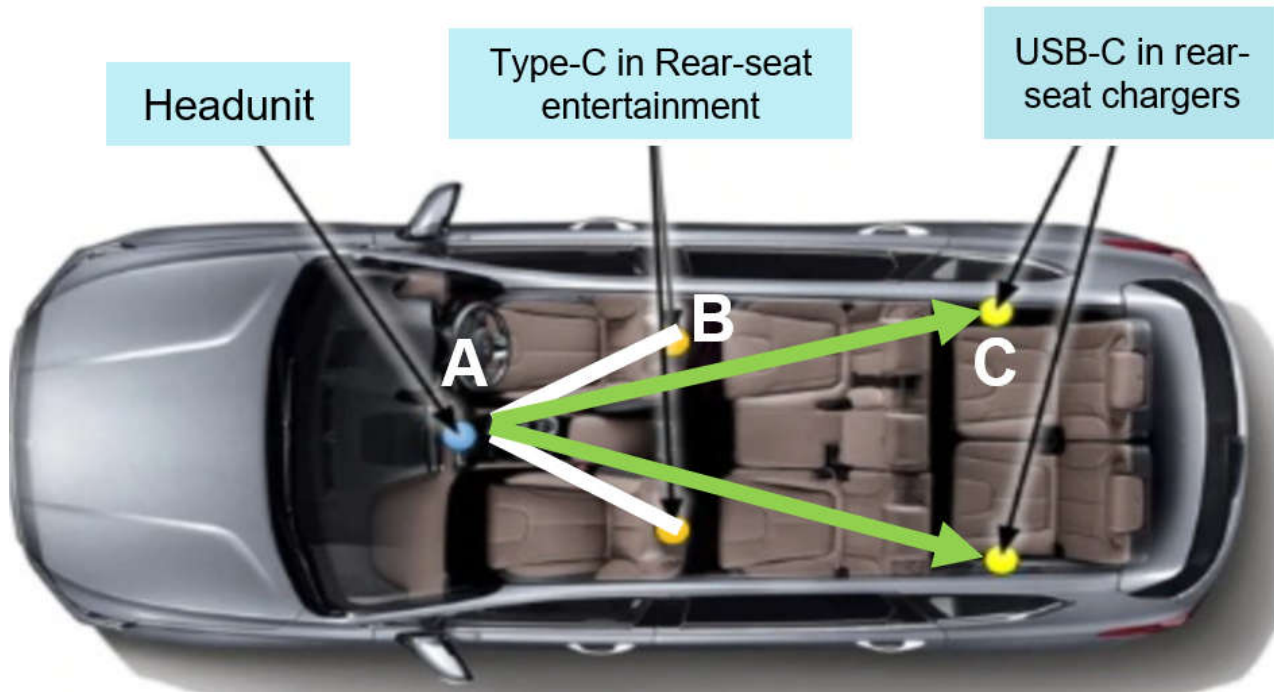


图 4-1. USB2.0 的不同汽车应用

图 4-2 展示了电缆长度为 5m 时使用 TUSB217 的通过近端眼图。TUSB217 还能够在采用单一配置的情况下，在长达 5m 的各种不同电缆长度上 ( 典型的 28AWG USB 电缆 ) 通过近端眼图测试。

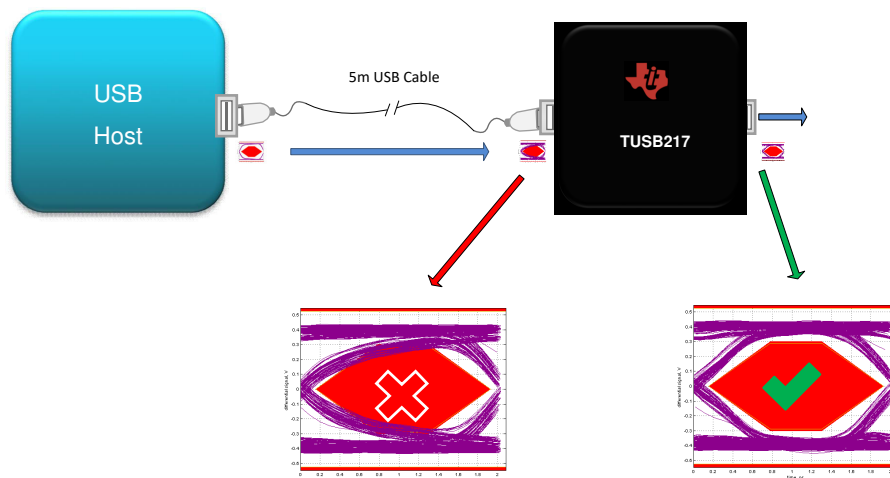


图 4-2. TUSB217 信号恢复

## 5 企业中的转接驱动器

需要使用 USB2 转接驱动器的另一个应用是用于数据存储和使用的机架式服务器。虽然机架式服务器中存储的大多数数据按照 PCIE 协议以更高的数据速率传输，但消费类和商用机架式服务器使用 USB2 数据和面向 A 类消费者的端口来控制鼠标和键盘附件，并实现服务器内的编程、分析和调试。虽然消费类电子产品继续采用更高的数据速率（例如 USB3/4）以实现更快速的下载和数据访问，但机架式服务器中的某些应用不需要从 USB2 改为更高的数据速率。提高编程和调试应用的数据速率的影响极小，USB2 具有简易性和低成本等优点。

在机架式服务器中，USB2 数据路径的距离各不相同，因为用户可能需要从机架顶部到底部的任何位置访问 USB2 数据。距离和温度会导致信号损失和失真，因此系统存在无法符合 USB 标准的风险。TI 提供品类丰富的 USB2 转接驱动器，这些转接驱动器可提高信号质量，并符合机架式服务器应用的 USB2 标准。

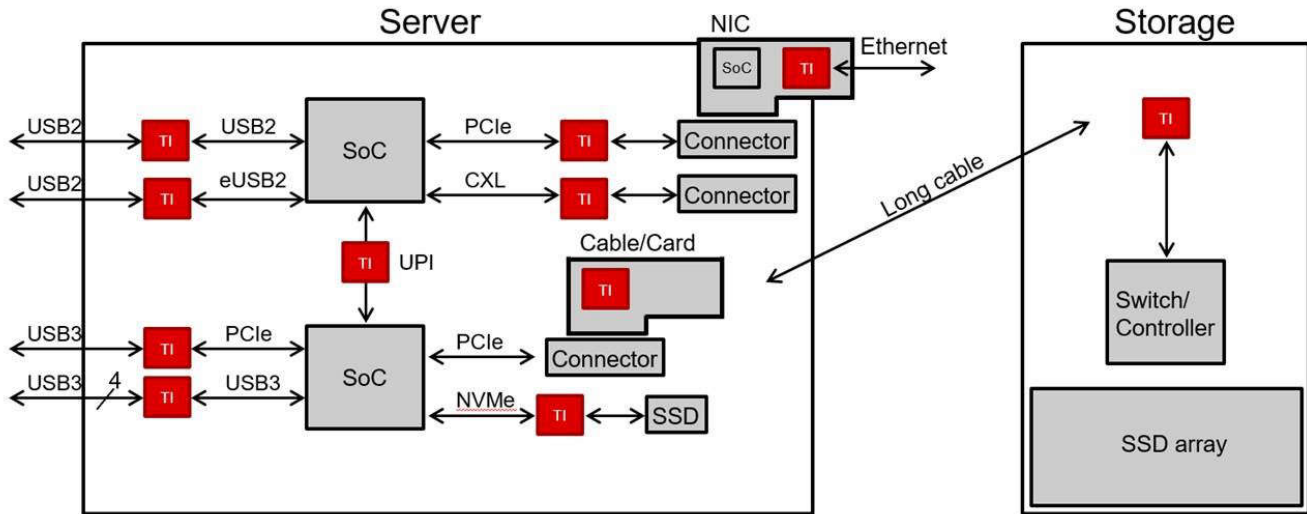


图 5-1. USB2 转接驱动器的企业应用示例

## 6 医疗中的转接驱动器

医疗设备后端的后端端口具有用于数据传输的 USB 端口。在超声和 X 射线等设备中，根据传输的实时画面的分辨率和要传输到的屏幕尺寸，低速 USB 可以用于较小的屏幕。对于优质超声波，通常使用 Type-C 和 USB3.1 (更高的数据速率)。

图 6-1 展示了具有用于数据传输的 Type-C 的标准超声波。由于 Type-C 端口是外部端口，任何电缆长度都可以与 Type-C 端口连接，因此需要在处理器和 Type-C 端口之间使用转接驱动器来保持信号完整性。

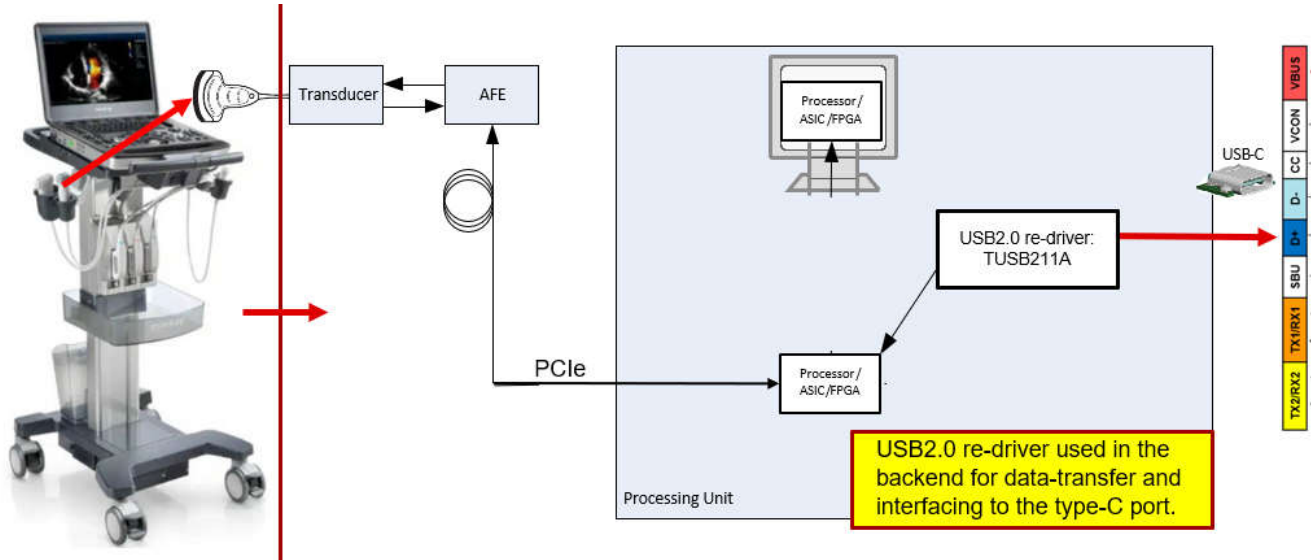


图 6-1. USB 转接驱动器的超声波示例应用

图 6-2 展示了具有用于数据传输的 Type-C 的 X 射线机。由于 Type-C 端口是外部端口，任何电缆长度都可以与 Type-C 端口连接，因此需要在处理器和 Type-C 端口之间使用转接驱动器来保持信号完整性。

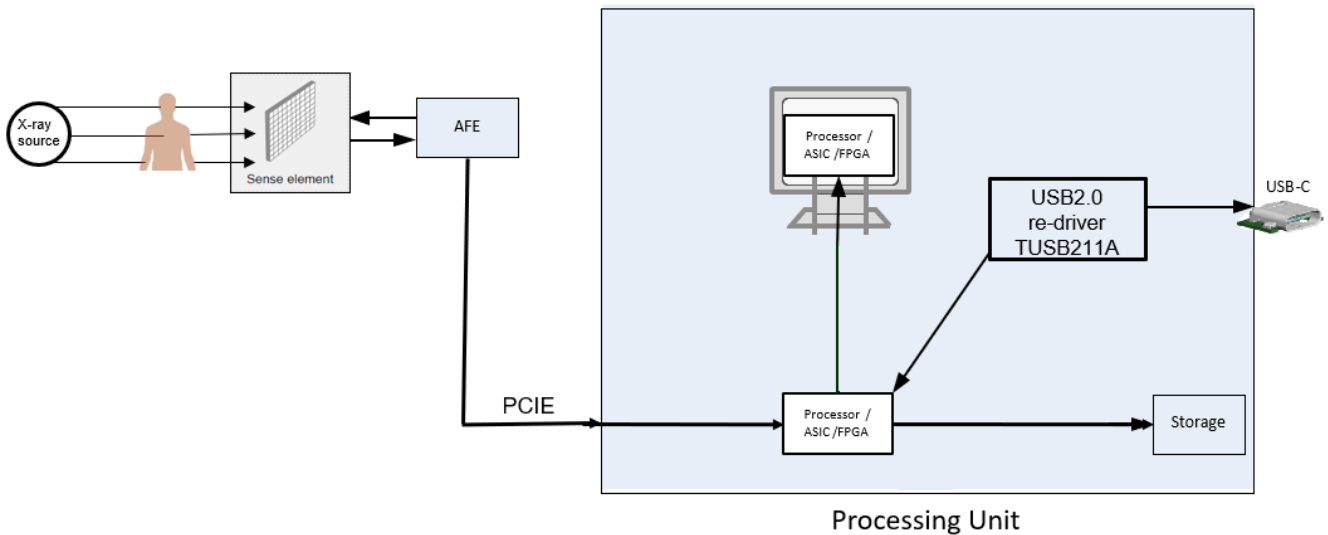


图 6-2. USB 转接驱动器的 X 射线示例应用

## 7 个人电子产品中的转接驱动器

随着个人电子产品开发人员升级到更高的速度（包括用于数据传输的 USB3/4），他们随后将采用 USB Type-C® 连接器作为接口方法。以几个应用为例：手机、笔记本电脑、台式机、显示器、扩展坞和虚拟现实游戏系统都在使用 USB Type-C 连接器进行充电以及进行视频和数据传输。

USB Type-C 连接器包括 USB3/4 和 USB2 的信号路径。要符合 USB 产品条件并使用标准 USB Type-C 连接器，USB-IF 要求系统向后兼容。换言之，USB SuperSpeed (10Gbps) 应用必须支持 USB SuperSpeed (5Gbps) 和 USB 高速 (480Mbps)。实际上，USB 是向后兼容型协议，因此默认情况下，USB 连接可以搜索支持的最高数据速率并通过该速率进行连接。如果未找到此连接或此连接断开，USB 连接可以搜索下一最高数据速率并通过该速率进行连接，依此类推。因此，向后兼容性可作为一种内置保险程序，如果最高速度无法成功连接，则可提供低速支持。

实现 USB2 合规性也是 USB Type-C 端口的一项要求，因为用户可以连接仅支持 USB 高速 (5Gbps) 的器件。

当 USB Type-C 端口面向消费者时，通过 USB 合规性测试成为一项挑战，因为用户可以通过长度和质量未知的电缆连接器件。由于这些未知因素，个人电子产品的设计人员必须打造稳健可靠的系统，无论系统插入了什么器件，都能够补偿损耗并始终通过 USB 合规性测试！

TI 提供品类丰富的 USB 转接驱动器，这些转接驱动器可提高信号质量以在个人电子产品中实现 USB 合规性。对于需要 BC 充电的个人电子产品应用，TI 的 USB2 转接驱动器 TUSB211A 提供了集成 BC 1.2 充电下行端口 (CDP) 和专用充电端口 (DCP) 控制器，可按每个 DCP/CDP 引脚动态变化。

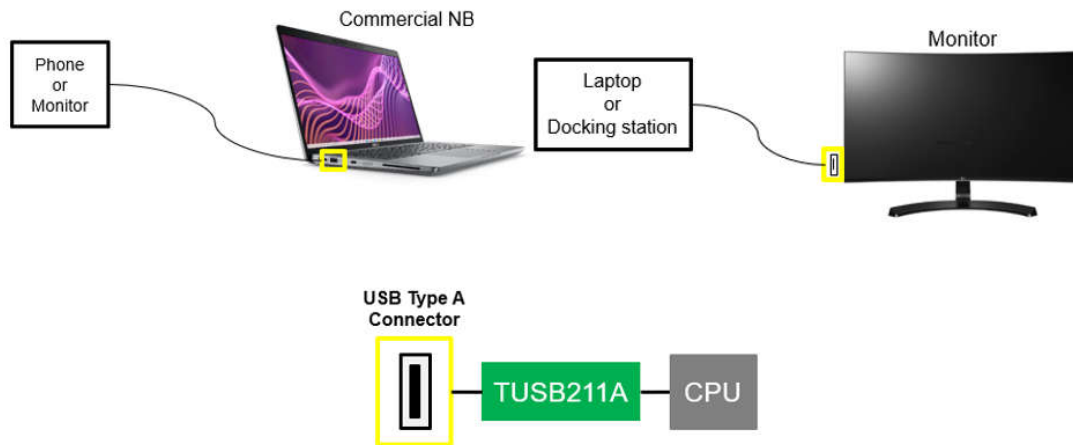


图 7-1. 个人电子产品中的 USB2 转接驱动器应用示例



## 8 其他应用中的转接驱动器

只要有外部 USB2.0 端口，长度未知的电缆就可以插入 USB2.0 端口，这可能会导致无法满足 USB2.0 合规性要求。Lightning 转 USB-C 就是这种应用。

[Lightning 转 USB Type-C USB2 转接驱动器应用](#)展示了如何在 Lightning 转 Type-C 连接器之间使用 TI 转接驱动器来处理两者之间长度未知的电缆。

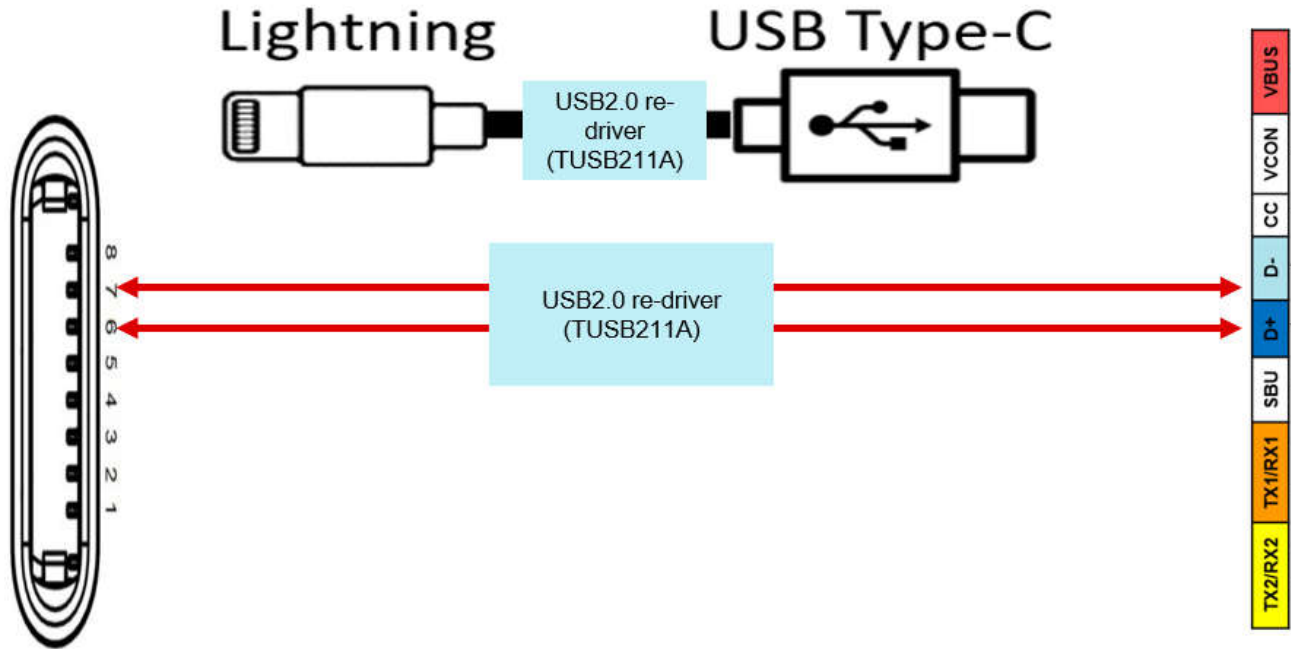


图 8-1. Lightning 转 USB Type-C USB2 转接驱动器应用

USB 转接驱动器位于一个适配器中，旨在调整 Lightning 转 USB-C，从而允许基于 Lightning 的附件与新手机/ iPad USB-C 端口连接。

## 9 借助 TUSB211PICO-EVM 方便地使用 TUSB211A

TUSB211PICO-EVM 评估模块 (EVM) 专为提供在没有 TUSB211 空间的现有板上演示 TUSB211 器件信号调节功能的简单方法而设计。该 EVM 已经过预先配置, 可使用从 EVM 焊接到迹线或连接器引脚的导线轻松连接 DP 和 DM 信号 (可能在连接器上)。TUSB211 Pico EVM 由 VBUS 或外部 3.3V 电源 (都通过该 EVM 上的接头连接) 供电。TUSB211 Pico EVM 具有以下特性:

- 即插即用设计
- 可通过电阻器配置的 EQ 设置
- TUSB211 Pico EVM 包含用于不同电源选项的接头, 以便为该器件供电
- 经过预先配置的简单 DP 和 DM 连接
- 由 VBUS 或外部 3.3V 电源供电

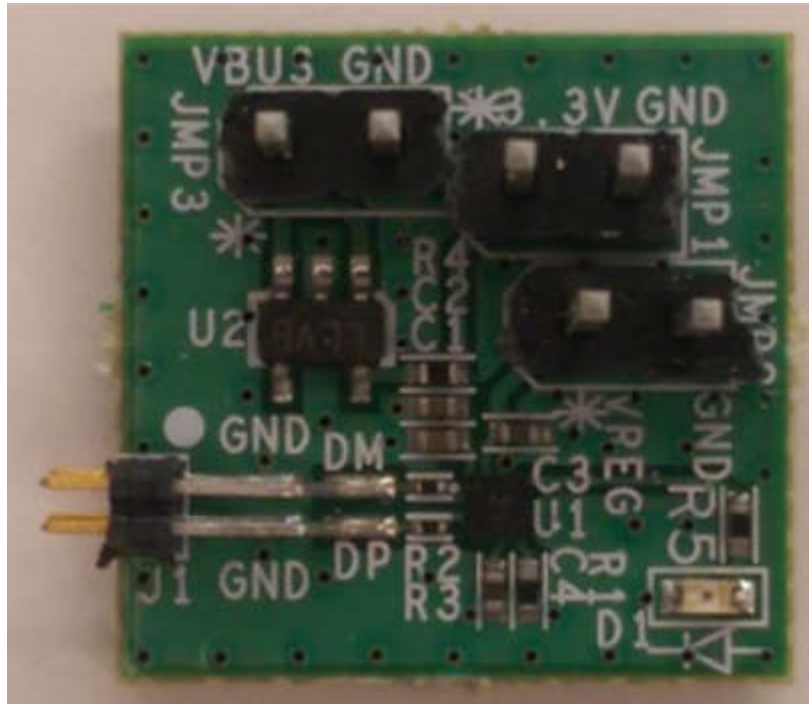


图 9-1. TUSB211PICO-EVM

## 10 总结

德州仪器 (TI) USB2 转接驱动器系列为各种应用提供了高效的信号调节解决方案，可实现即时 USB 合规性。

TUSB217A 是高性能转接驱动器，能够从 5 米长的电缆中恢复信号损失，以协助通过 USB 2.0 和 CarPlay 合规性测试。

TUSB211A 具有小尺寸、直通式布线，可减少设计工作量并帮助实现即时 USB 合规性。

## 11 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[TUSB211A USB 2.0 高速调节器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI)，[TUSB217-Q1 USB 高速信号调节器](#) 数据表。

## 12 修订历史记录

| Changes from Revision * (April 2019) to Revision A (August 2024) | Page |
|--|------|
| • 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....                                   | 1    |
| • 更新了“简介”以包含有关 USB2.0 转接驱动器的更多信息包含了“眼图比较” .....                  | 2    |
| • 添加了有关 USB2 信号完整性受到质疑的额外信息.....                                 | 2    |
| • 添加了有关如何选择何时使用 USB2.0 转接驱动器的信息.....                             | 3    |
| • 添加了大量与 USB2.0 转接驱动器的汽车应用相关的信息.....                             | 4    |
| • 添加了有关如何在企业应用中使用 USB2 转接驱动器的信息.....                             | 6    |
| • 添加了一个小节，详细说明了如何在医疗应用中使用 USB2 转接驱动器.....                        | 7    |
| • 新增了说明如何在个人电子产品应用中使用 USB2 转接驱动器的部分.....                         | 8    |
| • 添加了一个展示 USB2 转接驱动器应用独特示例的部分.....                               | 9    |
| • 添加了有关集成 TUSB211PICOEVM 的部分，以轻松演示 USB2 转接驱动器功能.....             | 10   |
| • 更新了“总结”以包含更多最新器件和 CarPlay.....                                 | 11   |
| • 更新了对最新参考器件的引用.....   | 11   |

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司