



使用 **FPGA** 技术实现灵活的 **USB Type-C** 接口控制

莱迪思半导体白皮书

2014 年 11 月

Lattice Semiconductor
5555 Northeast Moore Ct.
Hillsboro, Oregon 97124 USA
Telephone: (503) 268-8000
www.latticesemi.com

USB Type-C 接口介绍

二十年前，第一代通用串行总线（Universal Serial Bus, USB 1.0）的出现，为各自为政的电子行业通信标准注入了互通性。而最新发布的 USB Type-C 接口规范将 USB 技术提升到了一个新的高度，能够满足 21 世纪电子行业的需求，同时也将再一次改变计算机、消费类电子产品以及移动设备之间的互连方式。轻薄、坚固、无需区分插头方向的 USB Type-C 连接器拓展了由 USB 3.1 超速（SuperSpeed+）规范定义的各项功能，采用双通道实现高达 20 Gbps 的总带宽，最多能够将高清电影和 3D 图像等大型文件的传输时间减少一半。得益于 USB Type-C 接口的大功率特性，可实现高达 100W 的快速充电以及为笔记本电脑、监视器、电视机等更大的设备供电。USB Type-C 接口还具备多项独一无二的特性，包括新的视频模式——使用 USB 连接器和电缆传输 DP、VGA 和 HDMI 等格式的视频。

USB Type-C 接口将为消费者带来诸多激动人心的新特性。不过，要发挥出 USB Type-C 接口的潜能，设计人员必须根据设计需求实现 USB Type-C 的供电（PD）协议、电缆方向侦测、高速信号切换以及供应商自定义消息（Vendor Defined Messaging, VDM）功能。本文将讨论如何将低成本的 FPGA 与现有的 USB 设备相结合，开发出能够充分发挥 USB 接口高速、大功率和通用特性的产品，以及如何快速将产品推向市场。

USB Type-C 接口简介

新一代可靠耐用的连接器

USB Type-C 接口的命名源于 USB Type-C 连接器，USB 开发者论坛（USB Implementers Forum, USB-IF）设计了这个坚固、易于使用的接口来替代当今移动设备中广泛使用、易于损坏的 Micro-B 连接器。（图 1）



图 1: USB Type-C 连接器

这款 24-pin 连接器的机械设计反应了设计人员从 Micro-B 连接器上获得的历史教训，它无需确定插入的正反方向并可实现 10000 次的插拔。用户再也不需要担心“哪头上，哪头下”，因为 USB Type-C 连接器没有正反方向之分，所以从任一方向插拔皆可。此外，不像其他大多数 USB 电缆，USB Type-C 电缆两端使用相同的插头。

数据通道增加

USB Type-C 电缆包含两组支持 10Gbps USB 3.1 超速标准的 Tx/Rx 信号通道，提供了 20Gbps 总带宽，理论上可实现 2 倍的数据传输和下载时间改善。并保留单独一组引脚给使用 USB 2.0 连接的传统应用。

供电性能增强

该电缆还包含配置通道（Configuration Channel, CC），可用于发现、配置和管理 USB Type-C 的先进供电（Power Delivery）功能，为外设或移动设备实现高达 100W 的供电能力。

更灵活的 USB 架构

除了最新的 USB 标准中定义的“上行数据流端口（Upstream-Facing Port, UFP）”和“下行数据流端口（Downstream-Facing Port, DFP）”，USB Type-C 规范还定义了“双重用途端口（Dual Role Port, DRP）”。这种新型的 USB 数据端口能够作为 DFP 或 UFP 两者中任一个进行工作。DRP 可被永久地配置为 DFP 或

UFP，也能在这两种端口间动态切换。请注意：不要与 USB 供电（Power Delivery）规范中的术语混淆，后者中的“双重用途端口（dual-role port）”是指供电功能。

供应商自定义消息（VDM）

该标准还可以扩展用于非 USB 应用的连接。结构化的 VDM 允许主机发现和配置连接设备的可选模式，重新分配信号对用于非 USB 端口，如 PCIe 或显示端口（DisplayPort）。非结构化的 VDM 允许供应商传输供应商专用信息和配置控制数据。

USB Type-C 信号

USB Type-C 连接器的 24 个引脚在插头中呈对称分布，可实现“正常”或“反向”的插拔。对于用户使用来说很方便，但是仅有一部分的连接是“对称”的，即 USB 连接是无需考虑方向的。（图 2）

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
GND	TX1+	TX1-	Vbus	CC1	D+	D-	SBU1	Vbus	RX2-	RX2+	GND
GND	RX1+	RX1-	Vbus	SBU2	D-	D+	CC2	Vbus	TX2-	TX2+	GND
B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1

图 2: USB Type-C 连接器的引脚和主要信号分配

USB Type-C 接口的对称连接包含：

D+/D-：当 USB3 接口不可用时，这些引脚为 USB2 信号提供信号通道。

Vbus/GND：这些引脚能够为上行数据接口提供高达 100W 的供电能力，或者在一些情况下支持点对点供电。

剩余的连接是“非对称”的，也就是说在连接器插入方向错误时这些连接无法正常工作，除非这些端口在电气或逻辑方面做了修正。USB Type-C 的非对称连接包含：

Tx1/2 Rx1/2：提供最多 2 通道的超速数据链路，实现双向高达 20Gbps 的带宽。

CC1/CC2：配置通道信号用于连接的发现、配置和管理。请注意它们中仅一个信号用作配置通道，另一个在上行数据流端口中用于为 USB 逻辑供电。

SBU1 & 2: 边带使用 (Side Band Use) 信号适用于传输非 USB 信号, 它们用于模拟音频 (Analog Audio) 模式, 也可用于可选 (Alternate) 模式。

实现 USB Type-C 应用时所面临的挑战

目前, 要将 USB Type-C 接口添加到新的设计中, 需要设计工程师进行系统芯片开发来增加新的功能, 因为无论是现有系统中的 PHY、MCU 还是应用处理器 (Application Processor, AP) 都不支持 USB Type-C 接口的多项关键功能。这些必需的功能块包含电缆侦测 (Cable Detect, CD)、超速切换控制、供电 (Power Delivery, PD) 协商以及供应商自定义消息 (Vendor-Defined Messaging, VDM)。

挑战 1: 提供 USB Type-C 接口电缆侦测和供电的 PHY 功能。USB Type-C 接口添加了大量绝大多数 USB Type-C 设备都需要的 PHY 层功能。大多数 USB Type-C 设备需要电缆侦测功能, 用于判断它们连接的是 DFP 还是 UFP 以及电缆的方向。该机制通过在 CC1 和 CC2 通道上加上拉和下拉电阻, 要实现 CD 功能, 设备必须要能够测得这些上拉和下拉电阻上的各种电压值。任何 CD 解决方案都需要能够测量这些模拟电压。

如果想要充分利用供电通讯来协商获得更高功率、切换端口功能或使用 VDM, 就必须实现 PD PHY 层。PD 通信使用一条 CC 通道, 由 USB 供电规范定义。它采用半双工通信机制, 使用双相标记编码 (Bi-phase Mark Coding, BMC) 传输 4b5b 编码的数据, 可简化接收器设计。BMC 可被认为是一种曼彻斯特 (Manchester) 编码。此外, 数据使用循环冗余校验 (Cyclic Redundancy Checking, CRC) 算法来防止数据错误。

尽管使用通用微控制器能够实现 PD PHY, 但是对于要求低功耗的解决方案来说, 使用基于逻辑单元的器件更加合适。

挑战 2: 在没有主系统处理器的情况下实现供电协商功能。如果想要让 UFP 能够利用 USB Type-C 提供的更高功率供电, 这就要发起一个供电协议申请, DFP 同意该供电申请或者给出它所能提供的供电功率。一旦协商成功, 供电协议也就相应地成立。在很多情况下, 没有系统处理器来实现上述功能。首先在某些情况下, 如智能充电器并

不包含系统处理器。其次，可能需要在电池没电的情况下进行供电协议协商来实现快速充电。还有，在某些情况下（如为笔记本和智能手机同时供电时），最好让主处理器处于休眠模式。

虽然有很多方式可实现这种协商功能，但使用尺寸极小、功耗极低的方案将功能集成到现有的芯片中是最理想的选择。

挑战 3: 支持结构化和非结构化的供应商自定义消息。正如上文提到的，结构化的供应商自定义消息能够用于协商使用诸多标准化的可选模式，以扩展 **USB Type-C** 的功能。设计人员需要同时实现 **USB PD** 规范中定义模式的协商以及控制高速切换的功能，用于给 **USB** 连接器内的数据对传输合适的信号。非结构化的供应商自定义消息允许制造商实现非标准化的功能。这可能包含使用闲置的信号通道来实现一些定制化的功能，如底座和固定在底座上的设备间的 **GPIO** 聚合或者为挑战与应答验证机制传输数据。设计人员必须实现通讯功能以及所需的处理、切换控制以及其他硬件。

同样地，有很多方式可以实现与 **VDM** 相关的协商和控制机制。但是，真正的挑战在于怎样通过集成来实现成本最低、尺寸最小的目标。

应用实例

本文的最后一部分提供相关实例来说明如何使用 **FPGA** 技术快速实现 **USB Type-C** 接口，并且充分利用该标准所提供的诸多优势。通过集成的方式提供小尺寸、基于逻辑的设计，可获得极低的功耗以及很大的灵活性，可按需进行其他的更改。

实例 1: 基于 **FPGA** 的 **PD** 功能，适用于智能充电器

由于 **USB Type-C** 接口最早出现在平板电脑、智能手机和其他移动设备上，它们要求充电器能够充分利用 **PD** 协商功能为充电设备提供所需电压和电流，并协商供电协议（**Power Contract**）来最大程度满足设备的需求。一旦供电协议建立，**PD** 必须将电压和电流要求传输至充电器内部的电源管理集成电路（**Power Management Integrated Circuit, PMIC**）以获得协议规定的电流和电压。

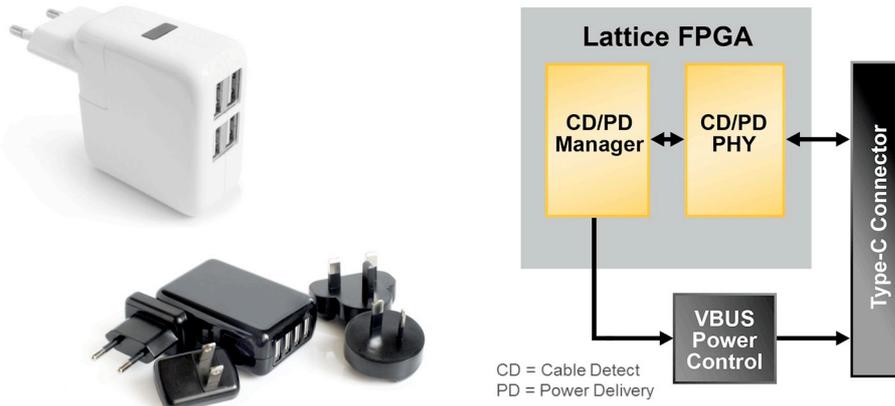


图 3：使用 FPGA 实现用于充电器的 CD/PD 功能

值得关注的一点是，设计中必须包含电缆侦测功能以选择正确的 CC 线路，用于 PD 通讯。不过由于充电器和电源不用访问 USB 的高速或超速数据流，所以不需要包含用于这些信号通道的切换控制逻辑。

莱迪思凭借自身领先的 FPGA 技术将 CD、PD PHY 和 PD 协议协商功能集成到单个器件中，并采用便于设计量产的 QFN 封装。灵活的 I/O 技术可用于实现所需的模拟功能。基于逻辑的编码、解码和 CRC 功能可实现低功耗的 BMC 通讯。使用逻辑和嵌入式处理器实现的 PD 管理功能能够获得最优的低功耗和低成本解决方案。此外，非结构化的 VDM 可被传输至嵌入式处理器用于实现诸如验证等功能。

实例 2：基于 PFGA 适用于移动设备的“CD/PD-Lite”功能

针对将 USB Type-C 接口作为主要 I/O 和供电连接智能手机、平板电脑和其他移动设备，图 4 展示的“CD/PD Lite”解决方案提供 CD 和 PD PHY 功能，低成本的 2.5x2.5mm 小尺寸封装是大批量应用的理想选择。

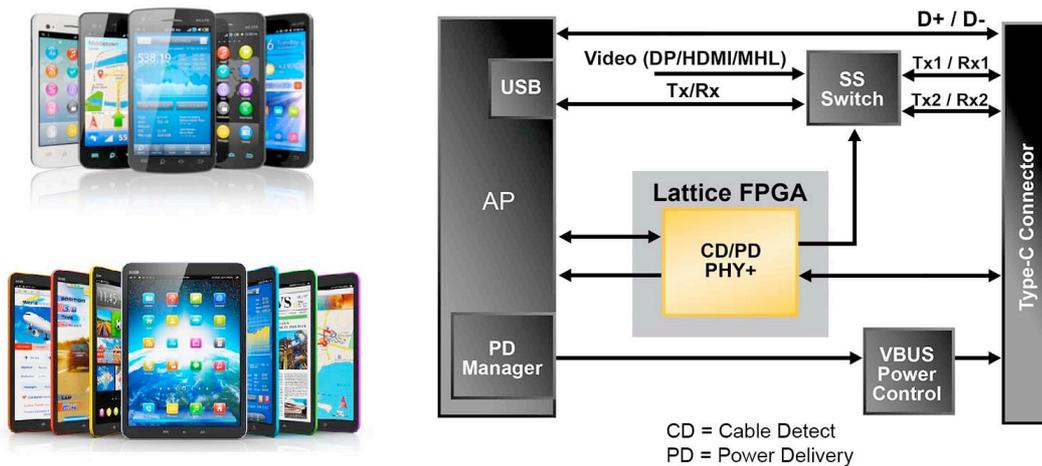


图 4: 适用于移动设备的 CD/PD Lite 功能

基于 AP 的 PD 协商功能可实现极低的成本。由于移动设备通常通过 USB 端口交换数据，该设计中的 CD 功能提供控制信号来实现 SS 切换。

实例 3: 适用于设备/主机的 CD/PD 功能

正如上文中提到的，许多产品想在没有系统处理器干预的情况下进行 PD 和 VDM 协商。图 5 展示的解决方案提供了这样的功能。根据不同的情况，处理器在空闲时可询问 PD 功能以判断状态，修改载入的默认设置。

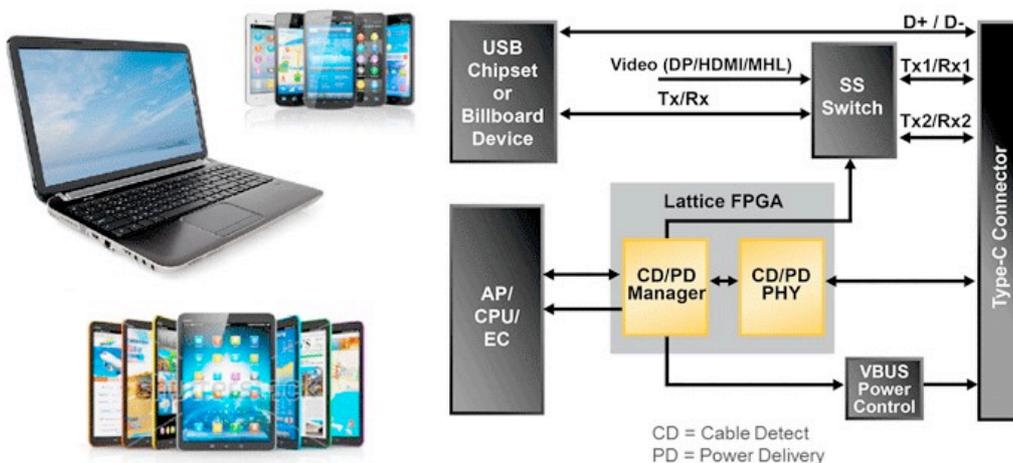


图 5: 适用于移动设备的 CD/PD 功能

该解决方案提供便于设计量产的 QFN 封装以及多种小尺寸的 BGA 封装，可作为 DRP 工作，同时还提供可选模式功能的切换控制支持。这使得 USB 连接器能够支持各类视频标准并传输视频，如 DP、HDMI、MHL 和 VGA。

###