



## 使用 **FPGA** 技術實現靈活的 **USB Type-C** 介面控制

萊迪思半導體白皮書

2014 年 11 月

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

## USB Type-C 介面介紹

二十年前，第一代通用序列匯流排（Universal Serial Bus, USB 1.0）的出現，為各自為政的電子行業通信標準注入了互通性。而最新發佈的 USB Type-C 介面規範將 USB 技術提升到了一個新的高度，能夠滿足 21 世紀電子行業的需求，同時也將再一次改變電腦、消費類電子產品以及移動設備之間的互連方式。輕薄、堅固、無需區分插頭方向的 USB Type-C 連接器拓展了由 USB 3.1 超速（SuperSpeed+）規範定義的各項功能，採用雙通道實現高達 20 Gbps 的總頻寬，最多能夠將高清電影和 3D 圖像等大型檔的傳輸時間減少一半。得益於 USB Type-C 介面的大功率特性，可實現高達 100W 的快速充電以及為筆記型電腦、監視器、電視機等更大的設備供電。USB Type-C 介面還具備多項獨一無二的特性，包括新的視訊模式——使用 USB 連接器和電纜傳輸 DP、VGA 和 HDMI 等格式的視頻。

USB Type-C 介面將為消費者帶來諸多激動人心的新特性。不過，要發揮出 USB Type-C 介面的潛能，設計人員必須根據設計需求實現 USB Type-C 的供電（PD）協議、電纜方向偵測、高速信號切換以及供應商自訂消息（Vendor Defined Messaging, VDM）功能。本文將討論如何將低成本的 FPGA 與現有的 USB 設備相結合，開發出能夠充分發揮 USB 介面高速、大功率和通用特性的產品，以及如何快速將產品推向市場。

## USB Type-C 介面簡介

### 新一代可靠耐用的連接器

USB Type-C 介面的命名源於 USB Type-C 連接器，USB 開發者論壇（USB Implementers Forum, USB-IF）設計了這個堅固、易於使用的介面來替代當今移動設備中廣泛使用、易於損壞的 Micro-B 連接器。（圖 1）



圖 1：USB Type-C 連接器

這款 24-pin 連接器的機械設計反應了設計人員從 Micro-B 連接器上獲得的歷史教訓，它無需確定插入的正反方向並可實現 10000 次的插拔。使用者再也不需要擔心“哪頭上，哪頭下”，因為 USB Type-C 連接器沒有正反方向之分，所以從任一方向插拔皆可。此外，不像其他大多數 USB 電纜，USB Type-C 電纜兩端使用相同的插頭。

#### 資料通道增加

USB Type-C 電纜包含兩組支援 10Gbps USB 3.1 超速標準的 Tx/Rx 信號通道，提供了 20Gbps 總頻寬，理論上可實現 2 倍的資料傳輸和下載時間改善。並保留單獨一組引腳給使用 USB 2.0 連接的傳統應用。

#### 供電性能增強

該電纜還包含配置通道（Configuration Channel, CC），可用於發現、配置和管理 USB Type-C 的先進供電（Power Delivery）功能，為外設或移動設備實現高達 100W 的供電能力。

#### 更靈活的 USB 架構

除了最新的 USB 標準中定義的“上行資料流程埠（Upstream-Facing Port, UFP）”和“下行資料流程埠（Downstream-Facing Port, DFP）”，USB Type-C 規範還定義了“雙重用途埠（Dual Role Port, DRP）”。這種新型的 USB 資料埠能夠作為 DFP 或 UFP 兩者中任一個進行工作。DRP 可被永久地配置為 DFP 或 UFP，也

能在這兩種埠間動態切換。請注意：不要與 **USB 供電 (Power Delivery)** 規範中的術語混淆，後者中的“**雙重用途埠 (dual-role port)**”是指供電功能。

### 供應商自訂消息 (VDM)

該標準還可以擴展用於非 **USB** 應用的連接。結構化的 **VDM** 允許主機發現和配置連接設備的可選模式，重新分配信號對用於非 **USB** 埠，如 **PCIe** 或顯示埠 (**DisplayPort**)。非結構化的 **VDM** 允許供應商傳輸供應商專用資訊和配置控制資料。

## **USB Type-C 信號**

**USB Type-C** 連接器的 24 個引腳在插頭中呈對稱分佈，可實現“正常”或“反向”的插拔。對於用戶使用來說很方便，但是僅有一部分的連接是“對稱”的，即 **USB** 連接是無需考慮方向的。（圖 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

**圖 2：USB Type-C 連接器的引腳和主要信號分配**

**USB Type-C** 介面的對稱連接包含：

D+/D-：當 **USB3** 介面不可用時，這些引腳為 **USB2** 信號提供信號通道。

Vbus/GND：這些引腳能夠為上行資料介面提供高達 **100W** 的供電能力，或者在一些情況下支援點對點供電。

剩餘的連接是“非對稱”的，也就是說在連接器插入方向錯誤時這些連接無法正常工作，除非這些埠在電氣或邏輯方面做了修正。**USB Type-C** 的非對稱連接包含：

Tx1/2 Rx1/2：提供最多 **2** 通道的超速資料連結，實現雙向高達 **20Gbps** 的頻寬。

CC1/CC2：配置通道信號用於連接的發現、配置和管理。請注意它們中僅一個信號用作配置通道，另一個在上行資料流程埠中用於為 **USB** 邏輯供電。

**SBU1 & 2**：邊帶使用（Side Band Use）信號適用於傳輸非 USB 信號，它們用於類比音訊（Analog Audio）模式，也可用於可選（Alternate）模式。

## 實現 USB Type-C 應用時所面臨的挑戰

目前，要將 USB Type-C 介面添加到新的設計中，需要設計工程師進行系統晶片開發來增加新的功能，因為無論是現有系統中的 PHY、MCU 還是應用處理器（Application Processor, AP）都不支援 USB Type-C 介面的多項關鍵功能。這些必需的功能塊包含電纜偵測（Cable Detect, CD）、超速切換控制、供電（Power Delivery, PD）協商以及供應商自訂消息（Vendor-Defined Messaging, VDM）。

**挑戰 1**：提供 USB Type-C 介面電纜偵測和供電的 PHY 功能。USB Type-C 介面添加了大量絕大多數 USB Type-C 設備都需要的 PHY 層功能。大多數 USB Type-C 設備需要電纜偵測功能，用於判斷它們連接的是 DFP 還是 UFP 以及電纜的方向。該機制通過在 CC1 和 CC2 通道上加上拉和下拉電阻，要實現 CD 功能，設備必須要能夠測得這些上拉和下拉電阻上的各種電壓值。任何 CD 解決方案都需要能夠測量這些類比電壓。

如果想要充分利用供電通訊來協商獲得更高功率、切換埠功能或使用 VDM，就必須實現 PD PHY 層。PD 通信使用一條 CC 通道，由 USB 供電規範定義。它採用半雙工通信機制，使用雙相標記編碼（Bi-phase Mark Coding, BMC）傳輸 4b5b 編碼的資料，可簡化接收器設計。BMC 可被認為是一種曼徹斯特（Manchester）編碼。此外，資料使用迴圈冗餘校驗（Cyclic Redundancy Checking, CRC）演算法來防止資料錯誤。

儘管使用通用微控制器能夠實現 PD PHY，但是對於要求低功耗的解決方案來說，使用基於邏輯單元的器件更加合適。

**挑戰 2**：在沒有主系統處理器的情況下實現供電協商功能。如果想要讓 UFP 能夠利用 USB Type-C 提供的更高功率供電，這就要發起一個供電協議申請，DFP 同意該供電申請或者給出它所能提供的供電功率。一旦協商成功，供電協議也就相應地成立。在很多情況下，沒有系統處理器來實現上述功能。首先在某些情況下，如智慧充電器並

不包含系統處理器。其次，可能需要在電池沒電的情況下進行供電協定協商來實現快速充電。還有，在某些情況下（如為筆記本和智慧手機同時供電時），最好讓主處理器處於休眠模式。

雖然有很多方式可實現這種協商功能，但使用尺寸極小、功耗極低的方案將功能集成到現有的晶片中是最理想的選擇。

挑戰 3：支援結構化和非結構化的供應商自訂消息。正如上文提到的，結構化的供應商自訂消息能夠用於協商使用諸多標準化的可選模式，以擴展 **USB Type-C** 的功能。設計人員需要同時實現 **USB PD** 規範中定義模式的協商以及控制高速切換的功能，用於給 **USB** 連接器內的資料對傳輸合適的信號。非結構化的供應商自訂消息允許製造商實現非標準化的功能。這可能包含使用閒置的信號通道來實現一些客制化的功能，如底座和固定在底座上的設備間的 **GPIO** 聚合或者為挑戰與應答驗證機制傳輸資料。設計人員必須實現通訊功能以及所需的處理、切換控制以及其他硬體。

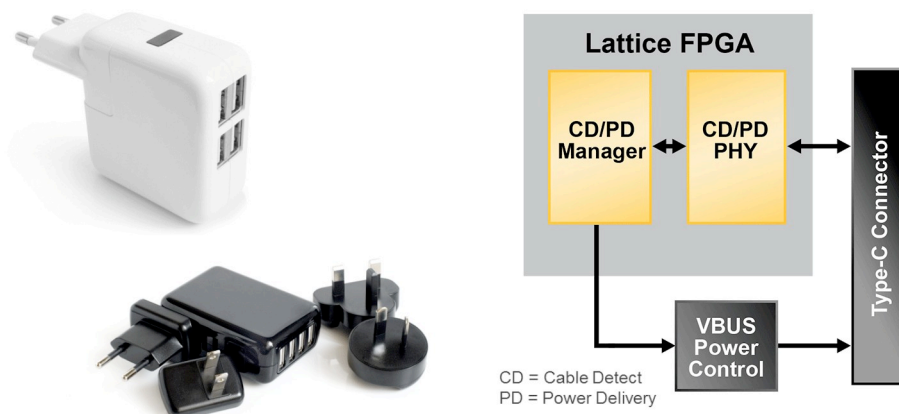
同樣地，有很多方式可以實現與 **VDM** 相關的協商和控制機制。但是，真正的挑戰在於怎樣通過集成來實現成本最低、尺寸最小的目標。

## 應用實例

本文的最後一部分提供相關實例來說明如何使用 **FPGA** 技術快速實現 **USB Type-C** 介面，並且充分利用該標準所提供的諸多優勢。通過集成的方式提供小尺寸、基於邏輯的設計，可獲得極低的功耗以及很大的靈活性，可按需進行其他的更改。

### 實例 1：基於 **FPGA** 的 **PD** 功能，適用於智慧充電器

由於 **USB Type-C** 介面最早出現在平板電腦、智慧手機和其他移動設備上，它們要求充電器能夠充分利用 **PD** 協商功能為充電設備提供所需電壓和電流，並協商供電協議（**Power Contract**）來最大程度滿足設備的需求。一旦供電協定建立，**PD** 必須將電壓和電流要求傳輸至充電器內部的電源管理積體電路（**Power Management Integrated Circuit, PMIC**）以獲得協定規定的電流和電壓。



**圖 3：使用 FPGA 實現用於充電器的 CD/PD 功能**

值得關注的一點是，設計中必須包含電纜偵測功能以選擇正確的 CC 線路，用於 PD 通訊。不過由於充電器和電源不用訪問 USB 的高速或超速資料流程，所以不需要包含用於這些信號通道的切換控制邏輯。

萊迪思憑藉自身領先的 FPGA 技術將 CD、PD PHY 和 PD 協議協商功能集成到單個器件中，並採用便於設計量產的 QFN 封裝。靈活的 I/O 技術可用於實現所需的模擬功能。基於邏輯的編碼、解碼和 CRC 功能可實現低功耗的 BMC 通訊。使用邏輯和嵌入式處理器實現的 PD 管理功能夠獲得最優的低功耗和低成本解決方案。此外，非結構化的 VDM 可被傳輸至嵌入式處理器用於實現諸如驗證等功能。

#### 實例 2：基於 PPGA 適用於移動設備的“CD/PD-Lite”功能

針對將 USB Type-C 介面作為主要 I/O 和供電連接的智慧手機、平板電腦和其他移動設備，圖 4 展示的“CD/PD Lite”解決方案提供 CD 和 PD PHY 功能，低成本的 2.5x2.5mm 小尺寸封裝是大批量應用的理想選擇。

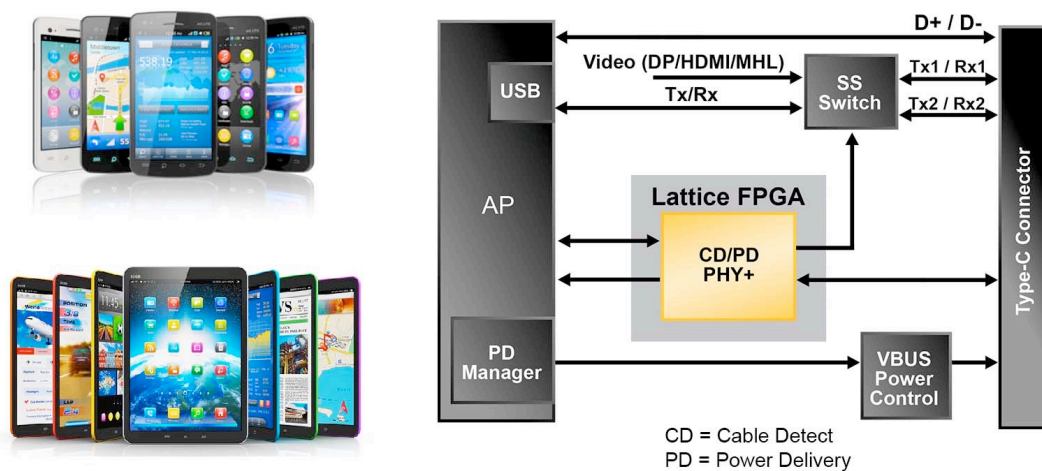


圖 4：適用於移動設備的 **CD/DP Lite** 功能

基於 AP 的 PD 協商功能可實現極低的成本。由於移動設備通常通過 USB 埠交換資料，該設計中的 CD 功能提供控制信號來實現 SS 切換。

### 實例 3：適用於設備/主機的 CD/DP 功能

正如上文中提到的，許多產品想在沒有系統處理器干預的情況下進行 PD 和 VDM 協商。圖 5 展示的解決方案提供了這樣的功能。根據不同的情況，處理器在空閒時可詢問 PD 功能以判斷狀態，修改載入的預設設置。

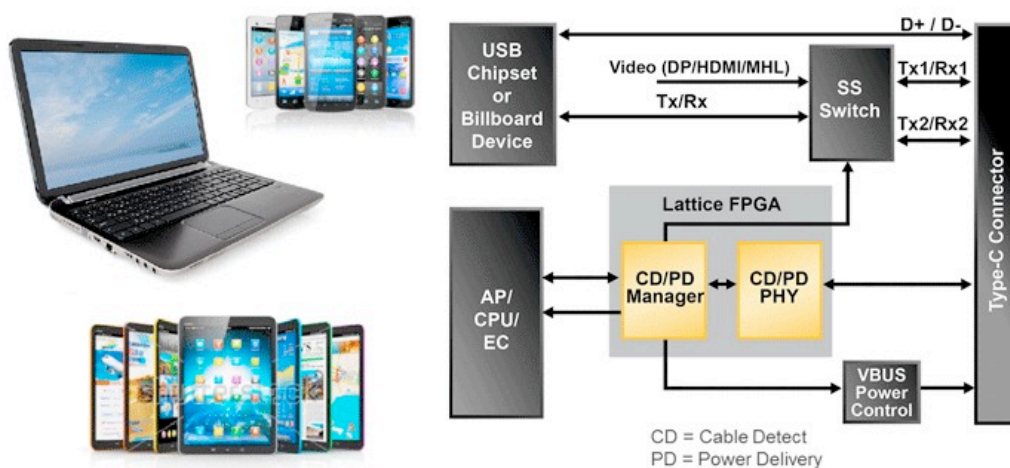


圖 5：適用於移動設備的 **CD/DP** 功能



該解決方案提供便於設計量產的 QFN 封裝以及多種小尺寸的 BGA 封裝，可作為 DRP 工作，同時還提供可選模式功能的切換控制支援。這使得 USB 連接器能夠支援各類視頻標準並傳輸視頻，如 DP、HDMI、MHL 和 VGA。

###