

一文了解 USB 3.2

USB版本规范				
http://www.expreview.com				
USB版本	最大传输速率	代号	最大输出电流	推出时间
USB 1.0	1.5Mbps (192KB/s)	Low-Speed	5V/500mA	1996年1月
USB 1.1	12Mbps (1.5MB/s)	Full-Speed	5V/500mA	1998年9月
USB 2.0	480Mbps (60MB/s)	High-Speed	5V/500mA	2000年4月
USB 3.1 (Gen1)	5Gbps (500MB/s)	SuperSpeed	5V/900mA	2008年11月/2013年12月
USB 3.1 (Gen2)	10Gbps (1250MB/s)	SuperSpeed+	20V/5A	2013年12月
USB 3.2	20Gbps (2500MB/s)	SuperSpeed++	20V/5A	2017年9月

T 客邦/李文恩

USB 3.2 规格：以 Type-C 端子搭双信道模式让速度倍增至 20Gbps

日前 [USB 开发者论坛](#) (USB Implementers Forum) 正式宣布 USB 3.2 的规格，除了将传输速度从 10Gbps 倍增至 20Gbps，也建议各设备统一采用 Type-C 型式端子为主。此外 USB 3.2 也能向下兼容于较旧的规范，无论是将 USB 3.2 设备插入旧端子，或是将旧设备插入 USB 3.2 端子，仍能以较低的速度正常运作。

简单方便统一天下

USB 的开发理念就是希望能提供对使用者亲合的操作方式，让外接设备能够轻松连接至计算机，并发挥即插即用的功效。由于 USB 能够支持各种不同类型的设备，一改先前各设备采用不同规格端子的麻烦，所以很快地取代了各种传统端子，成为计算机上最主要的连接端子。

随着时间的推移，USB 不但成为如打印机、摄影机等设备连接至计算机的方式，许多移动设备也采用 USB 连接键盘、鼠标，甚至汽车、电视、机顶盒等设备也都采用 USB，甚至是自动化工业等非传统应用情境，也能见得到 USB 的踪影。

USB 除了能传输数据之外，还能用于传输电力，这对许多耗电量较低的小型设备来说相当方便，使用者只需连接单一缆线，就能满足设备运作的需求，省下不少麻烦。至于后期甚至发展出 Power Delivery 规范，让传输功率可以高达 100W，连笔记本电脑的充电都可透过 USB 达成。



▲USB 能够连接多种不同类型的设备，用途相当多元。



▲USB Power Delivery 规范让 USB 缆线也能进行高功率电源传输。

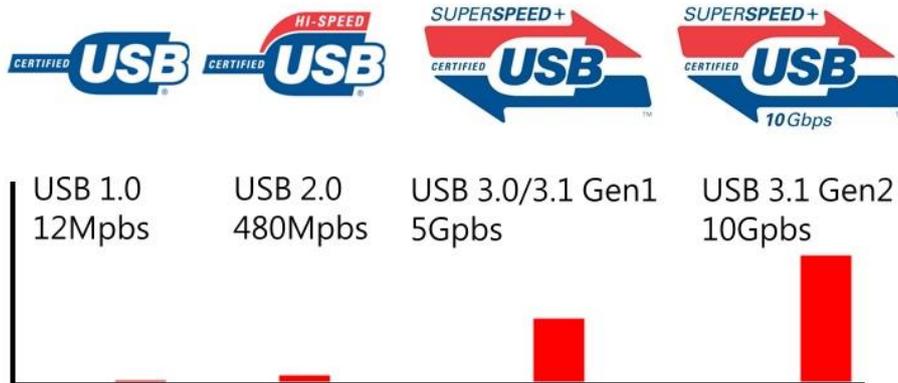
速度不断攀升

起初在 USB 1.0 规范中，USB 具有 12Mbps 与 1.5Mbps 等 2 种不同速度，但是随着计算机的效能越来越高，能够处理的资料量也不断上升，同时储存设备的单位价格也持续下降，所以进出计算机的档案也就越来越大。于是 USB 开发者论坛便在 2000 年推出 USB 2.0 时，将传输速度制定为 480Mbps，并不忘维持支持旧版 USB 的兼容性。

在 2006 年时，2 件重大的因素促成 USB 规范再次升级，首先是硬盘的数据传输速度可以超越 100MB/s，已经超过 USB 2.0 实际使用约 32MB/s 的速度，再者传输数据的容量也越来越庞大，因此 USB 3.0 便将传输速度一举提升到 5Gbps，而且同样维持向下兼容的特性。

到了 2013 年，用户对容量更大、速度更快的储存设备的需求依然持需发展，例如更高分辨率的高画质影片，以及为笔电设计的 USB 扩充底座等产品，促成了 USB 3.1 将速度再次提高，藉由将数据传输率加倍的方式，让传输速度来到 10Gbps。

而在最新推出的 USB 3.2 规范中，则是活用日渐普及的 Type-C 型式端子，透过内部成对的脚位与线芯，达到双通道运作的效果，将数据传输速度翻倍至 20Gbps。



▲USB 的速度从最初的 12Mbps，一路攀升到 USB 3.1 Gen2 的 10Gbps，最新推出的 USB 3.2 则上看 20Gbps。

Type-C 正反都可插

在讨论 USB 3.2 之前，我们要稍为复习一下 USB 发展的另一个趋势，就是主、客端都逐渐转为采用不具方向性的 Type-C 端子。

在 USB 2.0 与先前规范中，主控端（通常是计算机）的连接端子采用 Type-A 型式，而设备端（如外接设备）则有 Type-B、Mini Type-B、Micro Type-B 等不同尺寸的型式，其内部主要具有 4 条内芯，分别为负责传输数据的 D+、D-，以及传输电源的 Vbus 与接地端 Gnd。

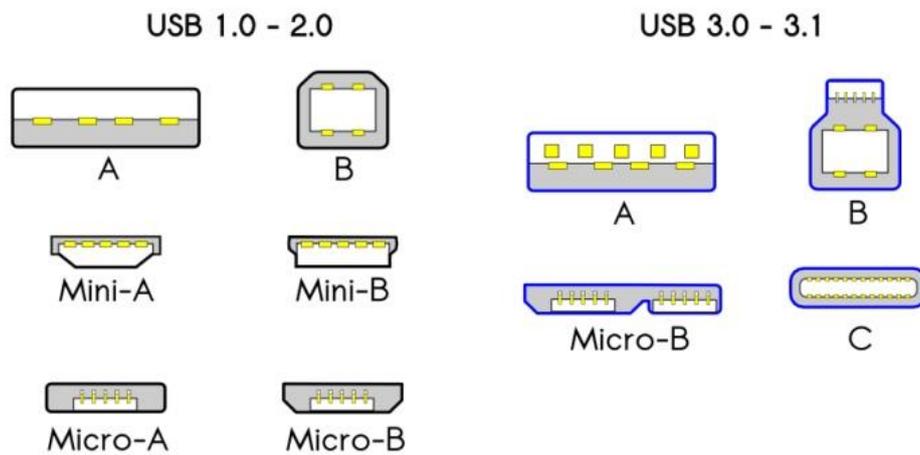
USB 3.0 则保留 USB 2.0 原有的 4 条内芯，并加入 SSRX+、SSRX-、SSTX+、SSTX- 等高速数据传输信道，以及额外 Gnd_Drain 接地端（用于降低噪声干扰）等 5 条内芯。在端子型式方面，主控端采用 USB 3.0 Type-A 型式，它将传统 Type-A 的 4 个接点放至于原本位置，并将其余 5 个接点放置于后方，因此插入 USB 2.0 设备的时候，能够直接连通原本的 D+、D-、Vbus、Gnd 等脚位，达到向下兼容的目的，而设备端则采 USB 3.0 Type-B、USB 3.0 Mini Type-B 等型式。

至于 2014 年 8 月完成的 Type-C 规范，则一改上述设计，不分主控端、设备端皆统一采用 Type-C 型式，端子本身也没有方向性，正反双面都能插入并正常运作，不再需要分辨线材主客方与端子正反向，使用起来更加方便。

Type-C 端子的总线可以分为 12 组、共 24 支成对脚位，如 A1、B1 是同样的定义，但是分别为于左上与右下的位置，A2、B2……A12、B12 等脚位则依序排列，让定义相同的角位呈线点对称的布局。

所以当正向插入的时候，A1 脚位就会出现在左上位置，然后向右依序为 A2、A3……A12，若反向插入的话，从左上开始的脚位顺序就会成为 B1、B2……B12。所以无论是正向或反向插

入，1号脚位都能连接到A1或是B1的其中1组，其他脚位依此类推，也都可以连接到正确的位置，因此能达到无方向性的效果。



▲USB 有不同的端子型式，基本上都能透过转接线互相支持。（图片来源：[维基百科](#)，本图采用创用 CC 姓名标示-相同方式分享，作者为 Milos634）

Pin	Name	Wire color		Description
1	V _{BUS}	Red or	Orange	+5 V
2	D-	White or	Gold	Data-
3	D+	Green		Data+
4	GND	Black or	Blue	Ground

▲USB 2.0 以前的端子具有 4 条内芯，分别为 2 条数据传输与 2 条电源传输。（图片来源：[维基百科](#)）

Pin	Name	Wire color	Description
1	V _{BUS}	Red	+5 V
2	D-	White	Data-
3	D+	Green	Data+
4	ID	No wire	On-The-Go ID distinguishes cable ends: <ul style="list-style-type: none"> • "A" plug (host): connected to GND • "B" plug (device): not connected
5	GND	Black	Signal ground

▲其中 Mini、Micro 等端多了 1 组 ID 脚位，用于判断是否以 OTG 模式运作。（图片来源：[维基百科](#)）

Pin	Color	Signal name		Description
		A connector	B connector	
Shell	N/A	Shield		Metal housing
1	Red	VBUS		Power
2	White	D-		USB 2.0 differential pair
3	Green	D+		
4	Black	GND		Ground for power return
5	Blue	StdA_SSRX-	StdB_SSTX-	SuperSpeed transmitter differential pair
6	Yellow	StdA_SSRX+	StdB_SSTX+	
7	N/A	GND_DRAIN		Ground for signal return
8	Purple	StdA_SSTX-	StdB_SSRX-	SuperSpeed receiver differential pair
9	Orange	StdA_SSTX+	StdB_SSRX+	

▲USB 3.0 则具有 9 条内芯，多出部分为 4 条高速数据传输信道与 1 条接地端。（图片来源：[维基百科](#)）

Pin	Name	Description
A1	GND	Ground return
A2	SSTXp1	SuperSpeed differential pair #1, TX, positive
A3	SSTXn1	SuperSpeed differential pair #1, TX, negative
A4	V _{BUS}	Bus power
A5	CC1	Configuration channel
A6	Dp1	Non-SuperSpeed differential pair, position 1, positive
A7	Dn1	Non-SuperSpeed differential pair, position 1, negative
A8	SBU1	Sideband use (SBU)
A9	V _{BUS}	Bus power
A10	SSRXn2	SuperSpeed differential pair #4, RX, negative
A11	SSRXp2	SuperSpeed differential pair #4, RX, positive
A12	GND	Ground return

▲Type-C 总共有 12 组内芯，与 USB 3.0 相比，多出 1 组 Vbus，以及用于侦测组态的 Configuration Channel 信道，以及具有 USB 信号之外弹性用途的 Sideband Use 信道。（图片来源：[维基百科](#)）



▲Type-C 不但具有无方向性的特色，端子尺寸也与 Mini Type-B 相近，相当适合应用在移动设备与笔记本电脑上。(图片来源: [维基百科](#), 本图采用创用 CC 姓名标示, 作者为 Maurizio Pesce)

USB 3.2 的设计要点与双信道模式

USB 3.2 以最小改变达成最大效益

USB 3.2 的规格于 2017 年 6 月时由 USB 3.0 推广组织 (USB 3.0 Promoter Group) 提出，并于 2017 年 9 月 25 日正式由 USB 开发者论坛发表。根据 USB 开发者论坛提供的规格数据，USB 3.2 的特性为可使用现有的 Type-C 缆线进行双信道模式运作，并延用现有的 SuperSpeed USB 物理层数据传输率与编码方式，以期能够在变动最少的前提下，达到提升传输效能，以及无缝衔接单信道、双信道模式的成效。

根据 USB 开发者论坛提供的 [USB 3.2 规格书](#)提到，USB 3.2 的开发目标除了提供带宽成长之外，也希望能延续使用者过去的习惯，并提供「无痛升级」的体验，其各项设计关键要素如下：

USB 3.2 设计关键要素

1. 维持 USB 「智能主控端、简单设备端」的模式。
2. 在现有 USB 基础架构上提升效能。现今 USB 设备以相当普及，其中很大比重的成功因素就是稳定的软件接口、驱动程序开发容易、通用标准驱动程序 (如人机接口设备、大量储存设备、音效等等)，因此在提升传输速度的时候，需维持这些基础架构以确保现有设备的兼容性。
3. 提升电源管理效率。除了节省运作中设备传输数据所需消耗的电力之外，还能透过更多元的电源管理模式节省闲置中设备的耗电量。
4. 简单易用。这永远是 USB 的核心目标。
5. 节省花费。目前仍有不少计算机与设备只支持 USB 2.0 的连接能力，因此提供向下兼容是非常重要的考虑。无论计算机与设备是支持哪一代的 USB 规范，都能在较低的速度下彼

此兼容，Type-A 的主控端都能搭配 Type-A 设备使用，而 Type-C 设备也能透过转接线材连接至 Type-A 主控端。

6. 在不改变操作系统的前提下，让主控端控制器能享有 USB 3.2 的高速传输效能。

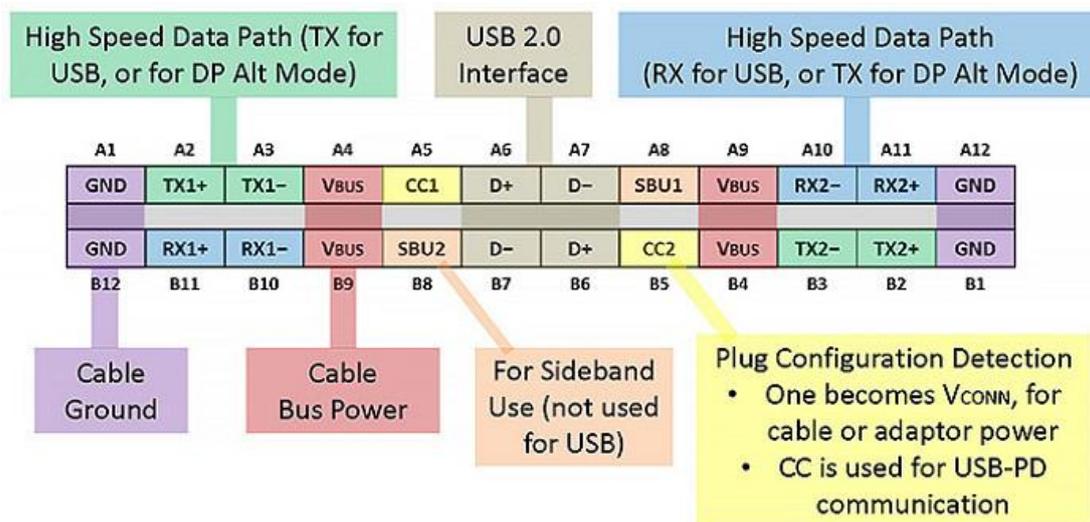
以双通道提升效能

USB 3.2 提升传输速度的方式相当有趣，并非如从 USB 3.1 Gen1 过渡到 USB 3.1 Gen2 时，以提升数据传输率的方式达成，而是透过 Type-C 端子的特性，以双信道的模式运作。

Type-C 端子具有 2 组高速数据传输信道，在 USB 3.1 的规范下，功能在于让端子能够正、反向插入。而在 USB 3.2 规范中，则会让 2 组通道同时运作并传输不同数据，如此一来便能数据吞吐能力就能提升 2 倍，让数据传输率从 10Gbps 提高至 20Gbps。

这种做法让既有的 USB 3.1 Type-C 缆线，也能支持 USB 3.2 的双信道模式，只要主控端与设备端都支持 USB 3.2，就能享有 20Gbps 的传输速度。但是如果其中 1 端为 USB 2.0、USB 3.1 Gen1、USB 3.1 Gen2，或是透过转接器将 Type-C 端子转换为 Type-A 端子的话，虽然会失去高速传输的优势，但是设备仍可在较低的速度下正常运作。

由此可知，USB 3.2 规范虽然能带来更高速的传输能力，但也需要各方设备的配合与支持，使用者或许还需要等待一段时间，让支持 USB 3.2 的计算机与周边设备普及之后，才能享高速传输的方便。



▲USB 3.2 规范利用 Type-C 端子中有 2 组 SSTX、SSTR 的特性（图中 A2、A3、B2、B3，以及 A10、A11、B10、B11），以双信道模式提升数据传输速度。

Receptacle	Plugs	Applicability
USB 3.1 Standard-A	USB 3.1 Standard-A	Enhanced SuperSpeed Gen 1x1 Enhanced SuperSpeed Gen 2x1
USB 3.1 Standard-B	USB 3.1 Standard-B	
USB 3.1 Micro-B	USB 3.1 Micro-B	
USB 3.1 Micro-AB	USB 3.1 Micro-B or USB 3.1 Micro-A	
USB 3.2 Type-C	USB 3.2 Type-C	Enhanced SuperSpeed Gen 1x1 Enhanced SuperSpeed Gen 1x2 Enhanced SuperSpeed Gen 2x1 Enhanced SuperSpeed Gen 2x2

▲根据 USB 3.2 规格书说明，当插座与插头符合 USB 3.2 规范时，才能以双信道模式（如 Gen1 x2、Gen2 x2）模式运作。

不同编码方式对效能的影响

USB 3.x 从 2008 年推出 USB 3.0 规范开始，陆续经历 USB 3.1 Gen1、USB 3.1 Gen2，以及最新发表的 USB 3.2 等 4 种不同的版本，各版本具有除了具有不同的数据传输率之外，采用的数据编码方式也有些差异，导致理论传输速度也各有不同，就让我们深入了解一下其中细节。

编码以避免信号干扰

USB 开发者论坛（USB Implementers Forum）在制定 USB 3.0 规范的时候，将数据传输率设定在 5Gbps，后来推出 USB 3.1 时，USB 3.0 被重新命名为 USB 3.1 Gen1，所以其实两者是相同的技术。

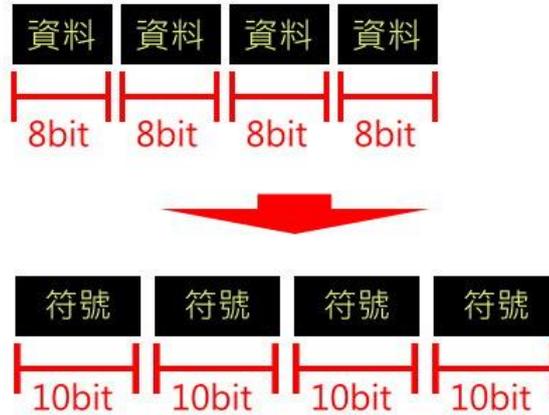
至于新推出的升级版规范，则命名为 USB 3.1 Gen2，数据传输率从 5Gbps 翻倍至 10Gbps，并改变使用的编码方式，进一步提升实际传输效能。至于最新推出的 USB 3.2，则使用 2 条 USB 3.1 Gen1 或 Gen2 的数据线路，进行双通道传输。

不过为了降低数据传输的过程中产生的电磁波干扰，各世代规范都会先将数据编码处理后再送出。

USB 3.1 Gen1 运作时，会将长度为 8bit 的数据透过 8b/10b 编码，打散（Scramble）成长度为 10bit 的符号（Symbol），并搭配展频技术（Spread Spectrum）将编码后的符号传出去，以降低电磁波干扰的情况。接收端收到信号后，则可经由译码程序将 10bit 符号还原为 8bit 数据。

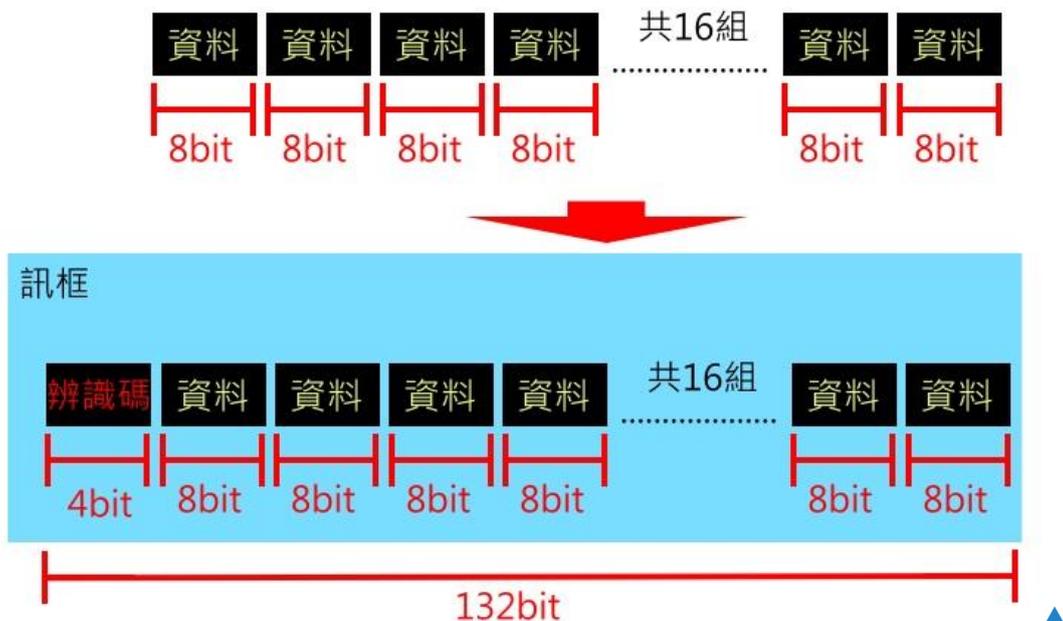
然而 USB 3.1 Gen2 舍弃了 8b/10b 编码，改为采用以 10GbE 以太网网络使用的 64 b/66b 编码衍生的 128b/132b 编码。这种编码会将 8 组 8bit 的数据组成 1 个 Frame，并在区块前端加上 4bit 的辨识码（Identifier），传输时仍会搭配展频技术，但可视状况决定是否打散。接收端收到信号后，会将 132bit Frame 还原为 128bit 数据。

8b/10b編碼



▲ USB 3.1 Gen1 使用的 8b/10b 编码，会将 8bit 的数据打散成 10bit 的符号。

128b/132b編碼



USB 3.1 Gen2 使用的 128b/132b 编码，则会将 16 组 8bit 的数据打包成 132bit 的 Frame。

Gen2 能降低传输耗损

Gen1 与 Gen2 最大的差别，在于使用的编码不同，在传输过程中产生的耗损也有所不同。在 Gen1 的情况中，每传输 10bit 的流量，其中只有 8bit 为真正的资料，耗损高达 20%。而在 Gen2 中，每传输 132bit 的流量，就有 128bit 为真正的数据，耗损大约只有 3%。

所以在计算理论传输速度的时候，USB 3.0 与 USB 3.1 Gen1 的计算方式如下：

$$5\text{Gbps (数据传输率)} \times 8/10 (\text{耗损}) = 4,096\text{Mbps (理论传输速度)} = 500\text{MB/s}$$

而 USB 3.1 Gen2 的计算方式如下：

$$10\text{Gbps (数据传输率)} \times 128/134 (\text{耗损}) = 9,552\text{Mbps (理论传输速度)} = 1,212\text{MB/s}$$

至于 USB 3.2 的情况则最简单，因为他是采用 2 条 USB 3.1 Gen1 或 Gen2 数据信道，所以只要直接乘上 2 倍就好，计算方式如下：

$$500\text{MB/s} \times 2 = 1,000\text{MB/s}$$

(或) $1,212\text{MB/s} \times 2 = 2,424\text{MB/s}$

不过由于这边提到的速度都是理论值，在实际应用的情况，会受到线材、端子质量，信号干扰甚至是设备效能等因素影响，根据经验至少要打 8 折才会是实际速度，所以往后测试 USB 设备的效能表现比不上官方宣称的速度，也不用大惊小怪了。

如何搭配才能榨出最高传输速度

不知道读者在看完了先前 USB 3.2 的介绍文章之后，是否会对历代 USB 不同的规范感到困惑，笔者就将 USB 3.2 与先前规范的速度限制以及兼容性做个整理，看看在如何能够达到最高的传输速度，以及在混搭不同规范的时候，设备会以怎样的速度运作。

从内部线路了解状况

其实要搞懂 USB 的传输速度，最简单的方式就是从历代规范的内部线路下手，只要弄清楚运作的原理，传输速度的问题就能迎刃而解。

回过头看 USB 1.0 到 2.0 的规范，数据是透过 1 对半双工的线路（代号为 D+、D-）进行传输，无论是从设备传输至计算机，或是反过来从计算机传输至设备，都是在同一条线路上完成，只不过他同时只能进行单向传输，所以当双向都需要传输数据的时候，就需要排队轮流进行。

到了 USB 3.0 以及 USB 3.1 Gen1 的 Type-A 与 Type-B 等规范，传输线路改为 2 对单工的线路（代号为 SSTR+、SSTR- 以及 SSTX+、SSTX-），虽然每组线路只能往单向传送数据，但是因为彼此能够同步运作的关系，所以设备与计算机间的数据不需排队，就能进行双向传输。

USB 3.1 Gen2 维持了 USB 3.1 Gen1 的线路配置，但是将传输速度提高为 2 倍，并改善数据编码效率，因此具有更高的数据传输速度。

至于 USB 3.1 Gen1 与 USB 3.1 Gen2 的 Type-C 端子部分，则是为了达到无方向性的设计，而在内部准备了 2 套线路，也就是说总共有 2 套 SSTR 以及 SSTX，但是在运作的时候只会使用其中 1 套线路。

而最新的 USB 3.2 则是沿用 Type-C 端子设计，不过运作时会同时使用 2 套线路，以双信道的方式传输数据，来达到传输速度加倍的功效。

此外在 USB 3.0 至 USB 3.2 中的所有规范，都保留了 USB 2.0 用的数据线路，以达到向下兼容的需求。

USB 2.0



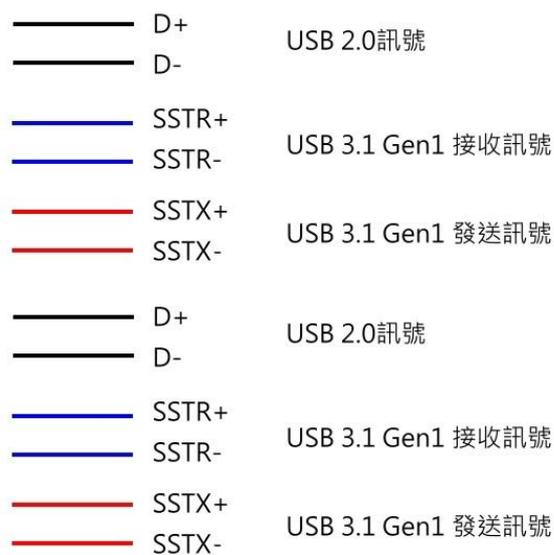
▲ USB 2.0 以下的状况最为单纯，数据传输线路只有 1 对 D+、D-。

USB 3.0、USB 3.1 Gen1 (Type-A、Type-B)



▲ USB 3.0、USB 3.1 Gen1 则是多出额外的 SSTR、SSTX。

USB 3.0、USB 3.1 Gen1 (Type-C)



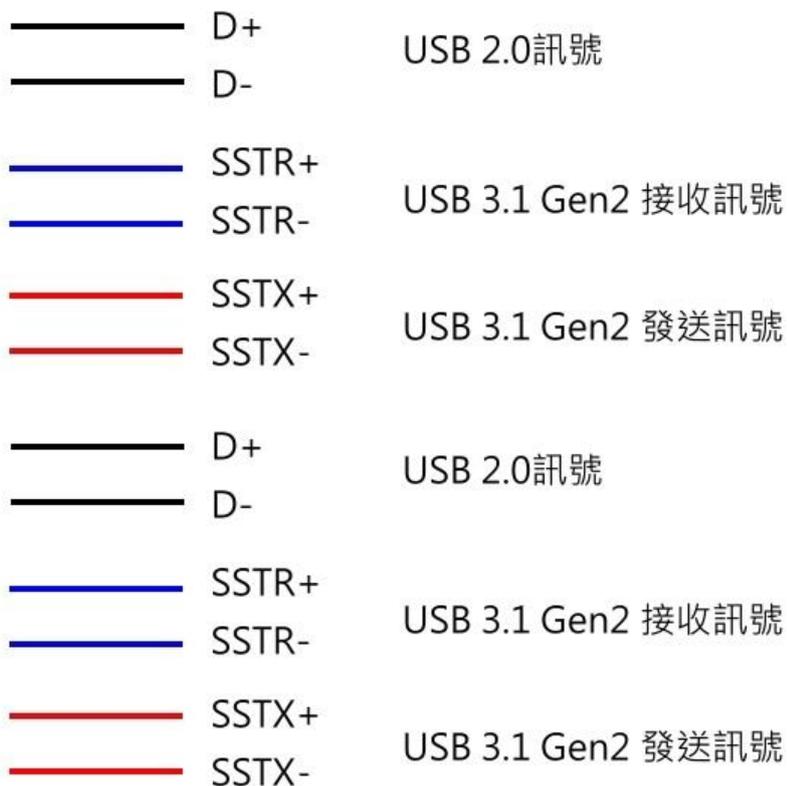
▲ 若是 Type-C 的 USB 3.0、USB 3.1 Gen1，则多出另一套线路。

USB 3.1 Gen2 (Type-A 、 Type-B)



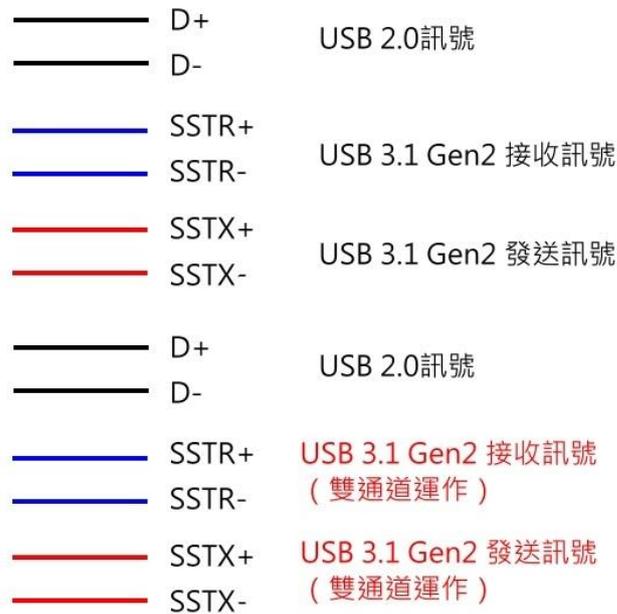
▲ USB 3.1 Gen2 的线路与 USB 3.0、USB 3.1 Gen1 相同，但传输速度更快。

USB 3.1 Gen2 (Type-C)



▲ Type-C 的 USB 3.1 Gen2 一样具有 2 套线路。

USB 3.2 (Type-C)



▲ USB 3.2 则是同时使用 Type-C 的 2 套线路传输数据。

速度由最慢的环节决定

在了解规范的线路配置之后,不难发现高版本中的线路都能兼容低版本的需求,例如 USB 3.1 Gen2 能够以 USB 3.1 Gen1 模式运作,如果要搭配 USB 2.0 的设备的话,也有对应的线路能够使用。

也就是因为这个缘故,所有 USB 的计算机、设备、线材都能混搭使用,只不过速度会以其中最慢的环节决定。举例来说,将 USB 2.0 的 Flash drive 随身碟插入 USB 3.2 的计算机上时,就会以 USB 2.0 的速度运作。

所以要榨出 USB 3.2 的最高速度,除了计算机与设备都需支持 USB 3.2 之外,也需要使用通过认证 USB 3.1 Gen2 Type-C 线材,才能完整发挥 2,424MB/s 的最高速度,若是搭配认证 USB 3.1 Gen1 Type-C 线材则只有 1,000MB/s。如过搭配 Type-A 转接线材连接至 USB 3.1 Gen2 或 USB 3.1 Gen1 的话,则因为只能以单信道模式运作,所以速度分别会降为 1,212MB/s、500MB/s。

需要注意的是,有些 Type-C 线材内部可能只有 USB 2.0 所使用的 D+、D- 线路,所以使用这种线材连接各种设备的话,速度就会下降至 USB 2.0 的水平,所以不要因为省钱购买便宜线材,而牺牲了高速传输的优势。

<https://www.techbang.com/posts/54584-usb-32lai-attack-how-to-mix-in-order-to-squeeze-the-maximum-transmission-speed>