

# 一文了解 USB 3.2

USB版本规范				
<a href="http://www.expreview.com">http://www.expreview.com</a>				
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。

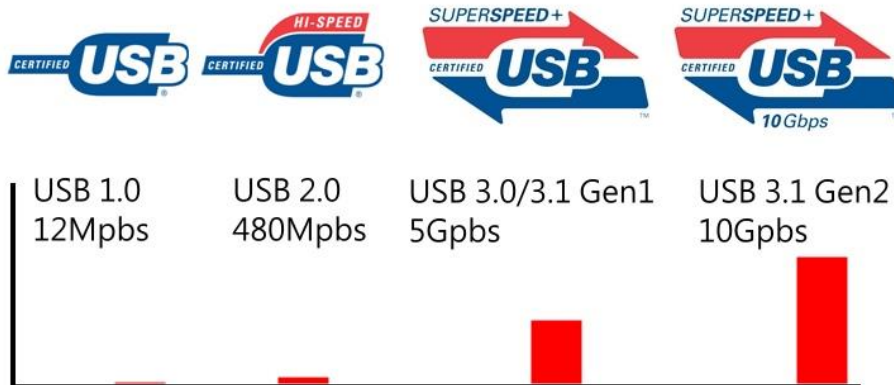
## 速度不断攀升

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。

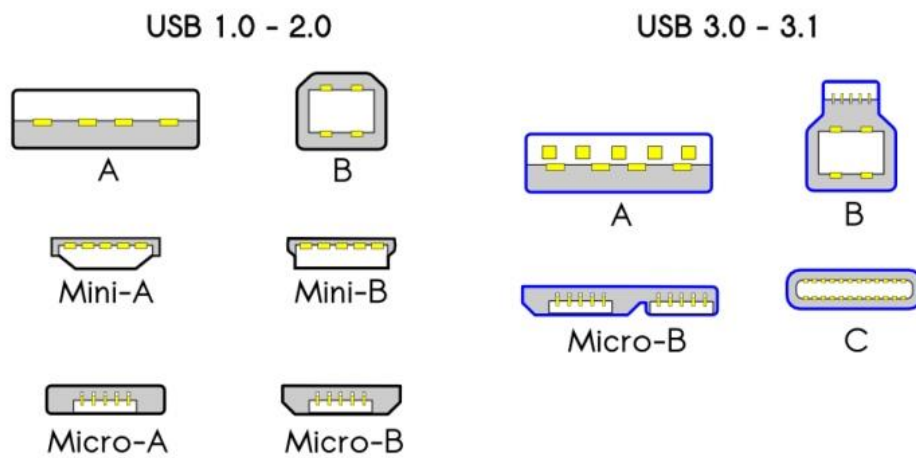
USB 3.0 则保留 USB 2.0 原有的 4 条内芯，并加入 SSRX+、SSRX-、SSTX+、SSTX- 等高速数据传输信道，以及额外 Gnd\_Drain 接地端（用于降低噪声干扰）等 5 条内芯。在端子型式方面，主控端采用 USB 3.0 Type-A 型式，它将传统 Type-A 的 4 个接点放至于原本位置，并将其余 5 个接点放置于后方，因此插入 USB 2.0 设备的时候，能够直接连通原本的 D+、D-、Vbus、Gnd 等脚位，达到向下兼容的目的，而设备端则采 USB 3.0 Type-B、USB 3.0 Mini Type-B 等型式。

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 <sub>BUS</sub>	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 <sub>BUS</sub>	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"> <li>• "A" plug (host): connected to GND</li> <li>• "B" plug (device): not connected</li> </ul>
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 <sub>BUS</sub>	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 <sub>BUS</sub>	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。

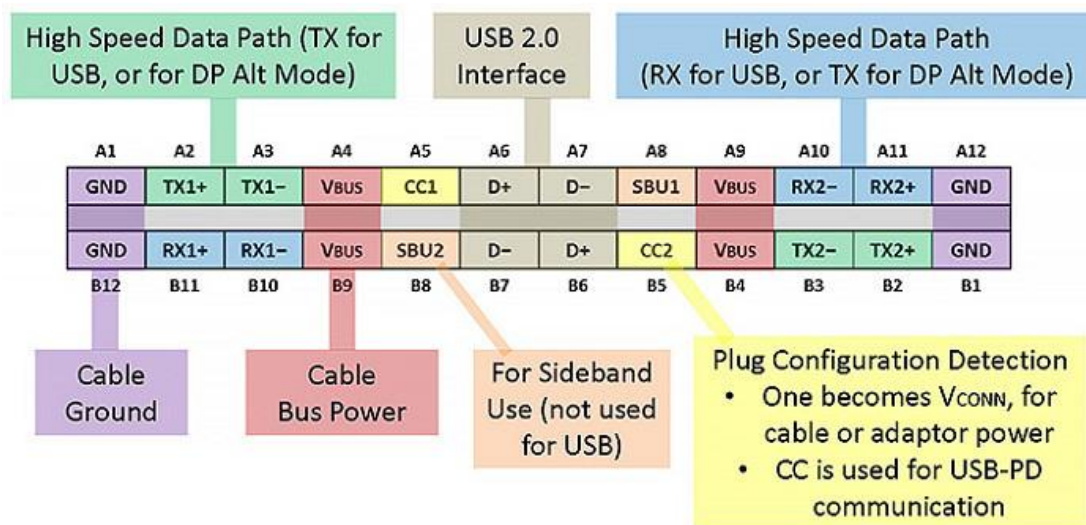
### 以双通道提升效能

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。

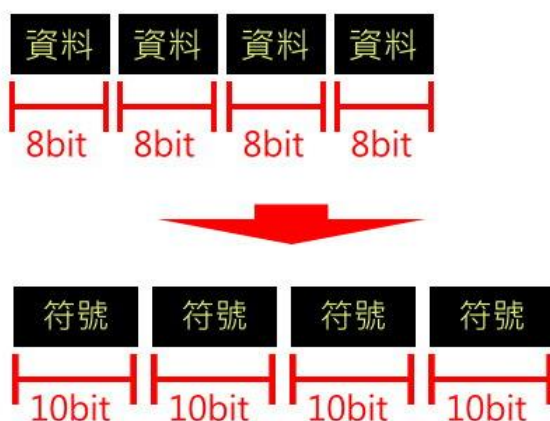
不过为了降低数据传输的过程中产生的电磁波干扰，各世代规范都会先将数据编码处理后再送出。

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。

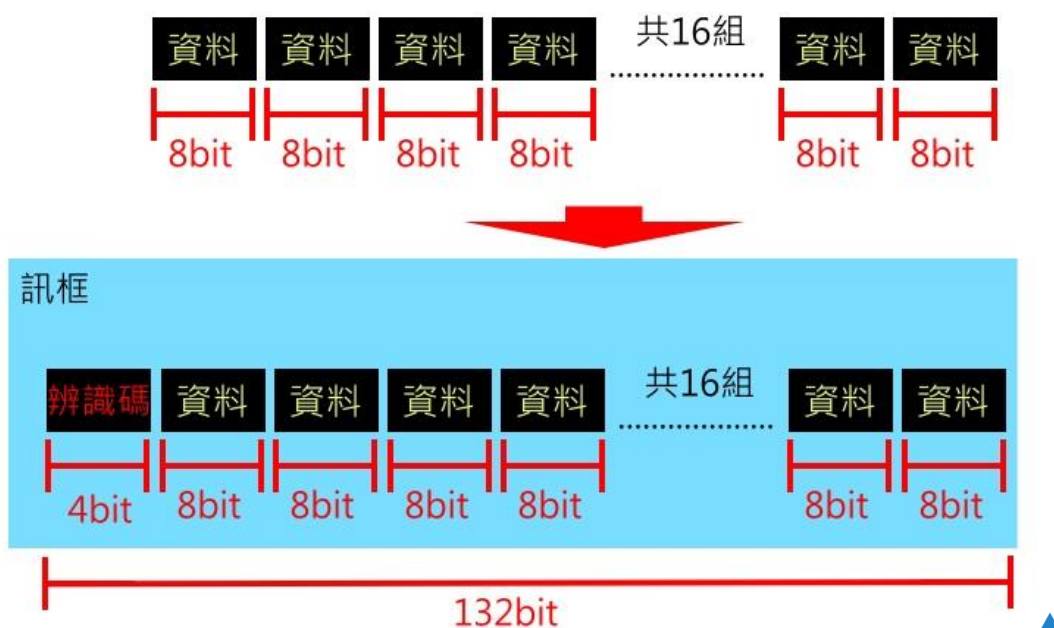


## 8b/10b編碼



▲ 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。

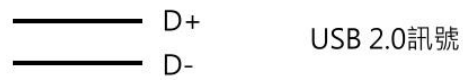
USB 3.1 Gen2 维持了 USB 3.1 Gen1 的线路配置，但是将传输速度提高为 2 倍，并改善数据编码效率，因此具有更高的数据传输速度。

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



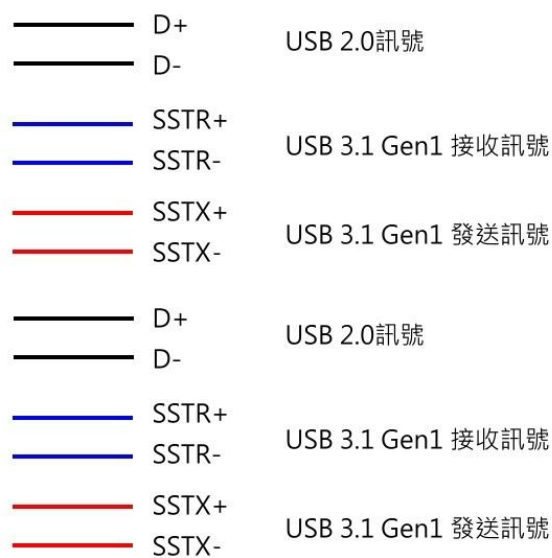
▲ USB 2.0 以下的状况最为单纯，数据传输线路只有 1 对 D+、D-。

### 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)



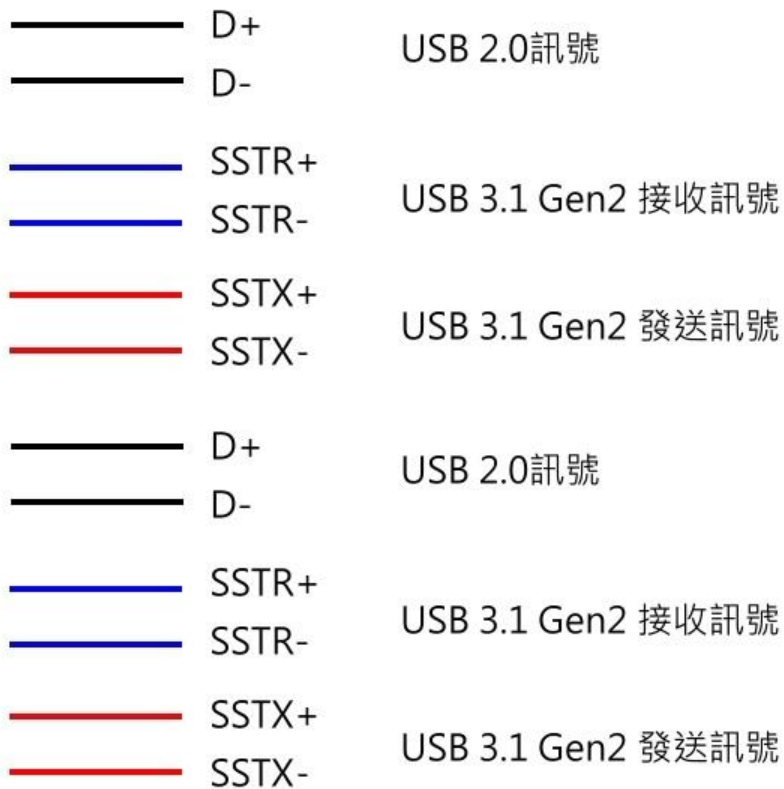
▲ 若是 Type-C 的 USB 3.0、USB 3.1 Gen1，则多出另一套线路。

## USB 3.1 Gen2 ( Type-A 、 Type-B )



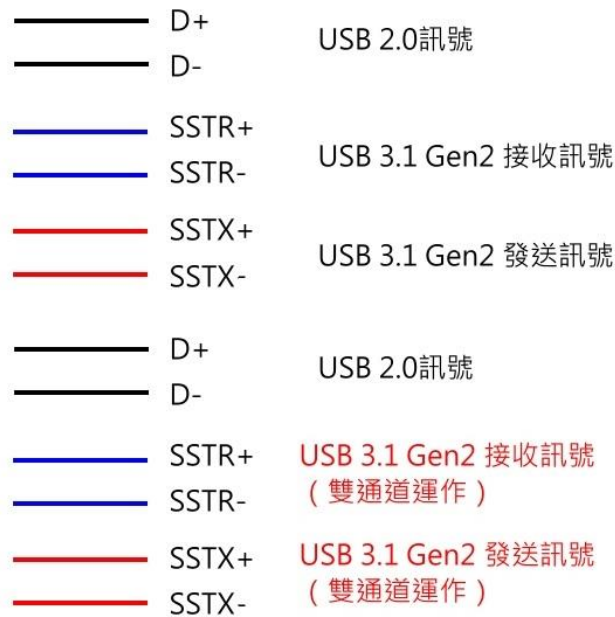
▲ USB 3.1 Gen2 的线路与 USB 3.0、USB 3.1 Gen1 相同，但传输速度更快。

## 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>