

# 当代 USB

By David Mervine  
Silicon Laboratories Inc.

自从 1990 年代中期出现以来，USB 已在各种不同产品中采用，其范围从体积精巧的逻辑分析仪和坚固的瑞士军刀到 USB 热带鱼缸，这类电子鱼缸能显示栩栩如生的热带鱼。但究竟是什么原因让 USB 如此强大？最简单的答案就是标准，其中又以 USB 规范最重要。

USB 规范包含让最终使用者很容易应用 USB 的所有低阶细节。这项新规范为 USB 装置定义了三种总线速度：低速 (1.5 Mbps)、全速 (12 Mbps) 和高速 (480 Mbps)。所有装置速度都支持热插拔，它们最多都能连接 127 部装置，接头和缆线的型式也完全相同。这些装置速度的唯一区别在于系统成本：总线速度越快，系统成本就越高。

全速和低速装置都由 USB 1.1 规范，高速装置则列于 2.0 版，它也是目前最新标准，这使得许多人误将 USB 2.0 和高速 USB 混为一谈；事实上，USB 装置速度和规范版本是不同的属性，例如 USB 2.0 全速装置的工作速度虽为 12 Mbps，但也符合 USB 2.0 规范。

USB 装置列举 (enumeration) 是与总线速度密切相关的另一项重要概念。装置列举的定义是：辨识总线所连接的装置，并为其指定一个独特编号。列举装置时，首先会判断装置是在低速、全速或高速下操作，等到决定了通讯过程所使用的总线速度后，主机就会利用 USB 规范第九章所定义的标准查询命令向其询问信息，目标装置则会使用 USB 描述项 (descriptor) 响应这些标准要求，让主机知道该装置的要求和能力以及所应加载的驱动程序。当主机完成了装置的组态设定，整个列举过程就顺利结束，装置则处于随时可用的状态；另一方面，若主机无法提供装置所要求的频宽和电源，列举动作就算失败。

USB 规范还允许外围装置从主机汲取电源，这使得 USB 随身碟之类的小型可携式装置不需外接电源就能工作；除此之外，某些装置会于连接至主机时利用 USB 电源进行电池充电。透过同一条缆线传送资料和电源让这些装置的使用更简单，更不容易发生故障，因为它们只有一条电线与外界相连。其它装置则只是透过 USB 汲取电源，它们完全不使用数据信道，前述的 USB 热带鱼缸就是个例子。在这些例子里，透过 USB 汲取电源让装置更耐用，操作也更简单，这些优点使它们的价值更高。

USB 规范还包含多个称为类别 (classes) 的延伸规格，它们对消费者极有价值。这些已定义的装置类别有着人们很熟悉的名称，例如音讯、人机界面和大量储存装置，它们可用来制造各种产品，例如喇叭、摇杆和外接式硬盘。为特定的装置类别定义标准界面后，主计算机就能以类似方式与某个类别的所有装置互传信息，不必采用专属存取方式；另外，这

些类别的驱动程序也多半会内建于操作系统，并随其安装到所有个人计算机，因此类别驱动程序所支持的 USB 装置在销售给客户时，就不必附上驱动程序磁盘。这些产品只需较少的步骤就能完成安装，整个过程会变得更简单，另一项优点是产品制造商不必再浪费资源发展、供应和维护装置驱动程序。除此之外，由于标准界面与操作系统无关，因此同一部装置可连接至执行 Windows、Mac O/S、Linux 或其它操作系统的任何计算机。

USB 虽有许多优点，但开发一个认证合格的 USB 装置需要那些步骤？首先是新产品的硬件设计，这个步骤会随着装置种类的不同而有各种定义，但通常都包含零件选择、电路板布局和硬件制造 – 也就是硬件设计程序的所有常见步骤，唯一区别在于认证合格的 USB 产品会使用认证合格的 USB 零件；对于绝大多数装置，这表示它们会使用 USB 建置论坛 (USB implementer's Forum, 简称 USB-IF) 认证合格的硅芯片方块和缆线组件。关于特定装置的完整详细说明，请至 [www.usb.org](http://www.usb.org) 网站查询；一般而言，任何通过 USB 认证的装置都会列于该网站，其中还包括它们的认证测试编号 (Certification Test Identification, 简称 TID)，新产品接受测试时必须提供这些编号，它们会被记录下来以供未来使用。

下一步是软件选择，它与硬件设计的关系非常密切。这两个步骤的完成顺序并不重要，因为它们彼此独立。图 1 是整个系统的互动情形。

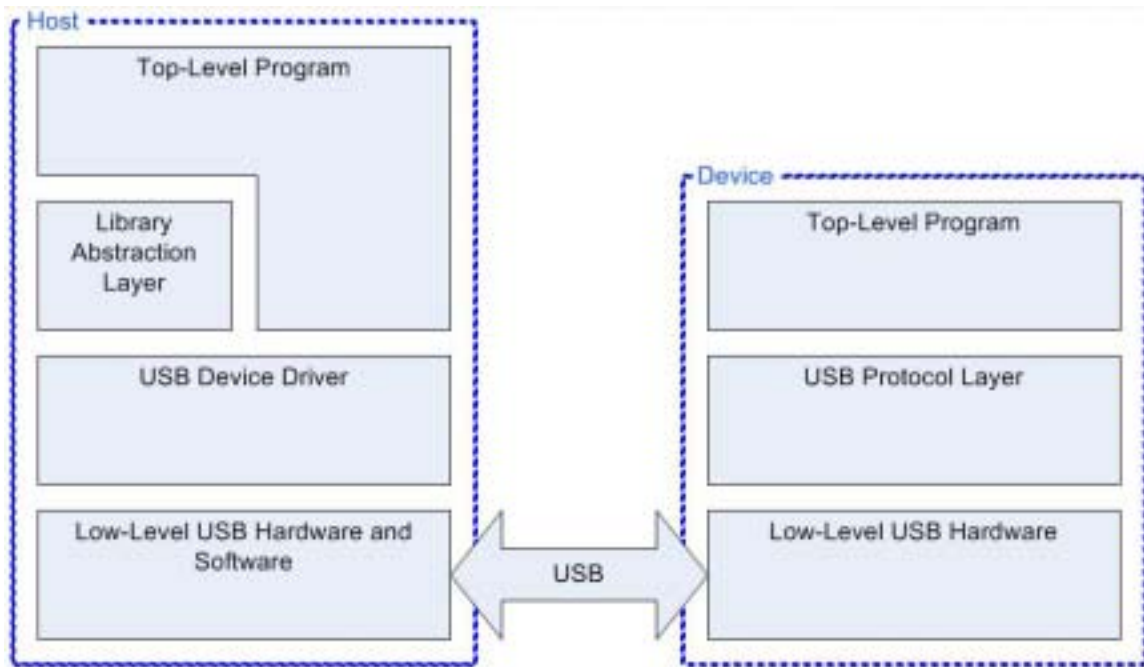


图 1：USB 系统通用模型

这个模型详细描述了普通 USB 外围装置的相关软件架构，它还能直接用于许多常见系统

架构。此处的主机 (host) 是指 USB 主机或计算机，装置 (device) 则是指透过 USB 线路连接至主机的 USB 装置。在图 1 中，除非方块名称包含「硬件」(hardware) 这个字，否则所有方块都是软件组件。

让我们从图的左上方开始，然后延着逆时针方向往下看：主机的最上层程序除了提供产品主要使用者界面之外，还会直接或透过链接库与 USB 装置驱动程序沟通。装置驱动程序会通过低阶 USB 硬件和软件利用 USB 总线传送和接收资料，协议层 (protocol layer) 也是透过装置的低阶 USB 硬件利用总线传送和接收资料。USB 装置的最上层程序会与协议层互动，这个过程最终会变成它与主机最上层程序的互动。装置软件通常是由微控制器执行，这个微控制器可能内建 USB 硬件，或是连接至另一颗内建 USB 硬件的独立芯片。

需要高度弹性或特殊功能的产品最适合由专为其量身定制的特殊软件提供支持，包含原始程序的范例软件套件则是这类产品的最佳起点。一般而言，这些套件会针对通用 USB 模型的每一个软件方块提供相关原始程序，它们不但是架构设计的绝佳起点，还包含复杂的 USB 程序代码，装置可利用它执行列举工作，驱动程序也可用它配置缓冲存储器。资源需求是这种做法的最大缺点，就算从很好的起点出发，厂商仍需投入庞大的时间和努力才能完成这类设计。

对于要求不是那么严格的产品，更快的方法是使用目标代码链接库，由它将 USB 操作的细节隐藏起来。举例来说，主机端的目标代码链接库可以提供与外部装置通信的简单接口，而所有 USB 功能则在目标代码链接库内部或由它所使用的装置驱动程序处理。这种方法虽能减少产品设计时间，却也缺乏弹性，因此最好在设计项目初期就决定链接库的功能范围。

对于绝大多数设计而言，使用 USB 桥接器芯片是最简单快速的方法。虽然这应算是一种硬件选项，我们仍将桥接器芯片列入讨论，因为它们会取代图 1 模型的软件组件，这些芯片的功能就像是 USB 装置的低阶硬件和协议层。桥接器会透过 UART 之类的标准界面连接至装置的最上层程序，使得装置的微控制器完全免除 USB 作业负担，并能提供简单的数据链路连接至主机；除此之外，这些桥接器还能透过目标代码链接库与最上层的主机程序互动，因此研发人员就算没有任何 USB 知识也能设计 USB 产品。对于采用串行接口的既有设计，桥接器还可另外使用虚拟串行端口装置驱动程序，使得现有的最上层主机程序仍能继续支持新型 USB 产品。

产品设计结束后，就应进行 USB 兼容性测试，所有想使用 USB 标志的产品都要接受这项测试，其用意是确保所有 USB 装置的品质都符合要求。这些测试不会验证 USB 规范的每个部份，它们的目的是提供合理的可接受度量测值 (measures of acceptability)。产品接

受测试的方法有两种：参加 USB-IF 赞助的兼容性测试大会 (compliance workshop) 或将产品交给已经核准的私人测试实验室。若产品通过兼容性测试，它就会列入 USB 整合厂商清单，获得一个 TID 编号，并有权使用 USB 标志。

USB 外围装置的认证测试可分为三大类。首先是电气特性测试，验证产品在不同应用架构下的讯号品质。接着是功能测试，用来检查较高阶的产品细节，例如对于标准要求的支持程度和装置列举功能，最后则是产品互用性 (interoperability) 测试，用来决定受测产品与其它 USB 装置的互动情形。

窗口硬件品质实验室 (Windows Hardware Quality Lab, 简称 WHQL) 会针对 Windows 操作系统的装置及装置驱动程序提供额外认证程序。WHQL 认证有三项好处：第一，通过这项认证的产品可在其包装贴上 "Designed for Windows XP" 的标志，微软还会将该装置的驱动程序加入 Windows Catalog，使其能透过 Windows Update 提供给使用者。最后，它还会为驱动程序加入数字签章，让使用者安装驱动程序时不会收到警告信息；根据系统预设，如果所安装的驱动程序未获签章，Windows XP 就会发出警告信息。

装置的测试需求和相关成本会受到微软对其分类方式的影响；装置的分类不同，测试费用也会有所差异；另外，许多测试都需要采购特殊硬件，例如成本较低的回路连接头，有时甚至需要昂贵的实验室设备。产品测试费用可能高达数千美元，但已通过认证的产品若因驱动程序改变而必须重新接受测试，则其测试费用只需第一次的几分之一。虽然测试内容随时都会改变，下列步骤仍是产品接受 WHQL 认证的正常程序：

1. 查询微软如何分类该装置以及这类装置必须接受那些测试。
2. 从 WHQL 网站下载测试软件，然后发展或购买所需的硬件。
3. 架设测试硬件和安装测试软件。最好使用刚安装操作系统的计算机，而且除了操作系统之外，测试计算机不要安装任何不必要的驱动程序或软件。利用 Windows Update 确认该操作系统为最新版本。
4. 执行测试，若它通过测试，则继续进行下一步，否则就根据测试报告列出的错误代码找出问题，然后重新进行测试。
5. 必要时取得 VeriSign 签署的 ID 号。详细信息，请至以下网站查询：  
<http://www.verisign.com/products/winlogo>
6. 必要时建立新的 Winqual 帐号，详细信息请至 <https://winqual.microsoft.com/SignUp> 网站查询。您需要 VeriSign ID 才能完成这个步骤。

7. 根据装置分类规定的要求，对通过测试的记录进行数字签章，然后连同产品硬件一起交给 WHQL 实验室。
8. WHQL 完成记录审核和测试结果验证后，就会将驱动程序认证档案传回。

USB 是否会像放大镜或罗盘一样对人类造成长久深远的影响？或许不会，但你很快就会在所购买的折叠式求生刀上看到这三种装置。厂商正不断寻找新方法利用现有规范或于必要时为其增加新内容，另外还有几项要点值得 USB 新手牢记在心，因为当您想要精密调整新设计的其它功能时，这些要点或能为您省下许多宝贵时间：根据项目需求来选择软件策略，并且使用已通过认证的零件；另外最好在最终产品的测试套件里增加部分的或所有的规格兼容性测试程序，这不但对确保产品通过认证极有助益，还能让问题浮现，使得产品的品质获得改善。就算厂商因为成本考虑而不打算让产品接受认证测试，它们还是可以享受许多类似的好处，因为大部份测试只会收取很少的费用，有些甚至完全免费。

想更深入地了解任何 USB 主题，最理想的参考资料就是 USB 规范本身，例如本文就曾多次多次引用这项规范。USB 规范或许很长，但其内容也相当详尽，编排也很好；无论所要开发的 USB 产品为何，这项规范及其附录仍是迄今最有价值的工具。