

## 测量仪器的发展新趋势\_USB 仪器将成为主流

1993 年英特尔公司的第五代微处理器奔腾问世，它使用的 PCI 总线达到 32 位，时钟 33MHz，带宽达到 132 MB/s ~264MB/s。1995 年为解决 PC 机传统外设总线不能适应奔腾芯片的瓶颈，以 PC 供应商康柏、DEC、IBM 和软件公司微软为首推出了通用串行总线(USB)，成立 USB 实施论坛(USB IF)，开始对 USB 进行推广和认证。USB1.1 版的低速率是 1.5Mbps，全速数据率是 12Mbps，主控制器将总线传输时间划分为帧，每帧 1ms，在帧时间内传输多个事务处理到多个器件上。USB 总线的机械连接非常简单，电缆是 4 芯的屏蔽线，一对双绞线(D<sup>+</sup>, D<sup>-</sup>) 传送信号，另一对双绞线(VBUS, 电源地) 传送+5V 的直流电压；连接器有 A 型(或小 A 型)和 B 型(或小 B 型)两种。USB 器件的即插即用(即热插拔)是一个优势，对用户来说，第一次插入 USB 器件时，通过手动或自动安装驱动程序后就可以使用该器件。一个 USB 主控制器端口最多可连接 127 个器件，各器件之间的距离不超过 5 米。2000 年 USB2.0 版规范推出，将 USB 总线的数据率提高到 480Mbps 的高速，并向后兼容。在高速 USB 总线上，主控制器将每帧 1ms 再划分成 8 个微帧，每个微帧 125 μs，能完成更多事务处理，使总的的数据率提高 40 倍。

USB 接口规范将多种 PC 机外设具有相似特性的归纳为某一类，例如鼠标、键盘等属于 HID 类，音响产品属于 Audio 类，CD、硬盘、闪存属于 Mass Storage 类。微软的 Windows 操作系统为常用类别提供驱动程序，实现自动安装。不在 Windows 支持的 USB 器件(如测量仪器)需要提供自己的驱动程序，或者安装程序将有关应用和驱动程序打包在一起，一次性完成器件的安装。USB IF 负责对符合 USB 接口规范的硬件和程序作认证，发给认证标志。驱动程序还可获得微软硬件设备质量(WHQL)认证，实现在 Windows 操作系统下的自动安装。

2000 年后，台式 PC 都增加了 USB 接口，笔记本电脑甚至安装了两个 USB 接口。现在数以亿计的带有 USB 接口的 PC 机在运行，数以十亿计的 PC 机外设和其他设备，其中包括 USB 测量仪器使用 USB 接口。正是由于 USB 接口拥有大量 PC 机外设，使得 USB 接口的支持产品，包括控制器芯片、集成器和桥接器、电缆和连接器、驱动程序和安装程序、开发工具等非常普及，加上 USB 接口的安装方便、数据率较宽、容易扩展、即插即用、成本较低等特点，出现了更多使用 USB 接口的电子产品。

### 1、新兴的 USB 测量仪器族

USB 接口进入测量仪器是从 1998 年开始的，当时 IOtech 和 NI 两家公司首先在他们的数据采集仪器中使用了 USB 接口，随后许多著名仪器公司都接纳了 USB 接口。最简单的做法是增加 USB 作为外设接口，因为台式测量仪器大部分装有嵌入式微处理器，并且一部分台式测量仪器采用内置奔腾处理器的 Windows 平台，所以安装 USB 接口是顺理成章的事情。2000 年，横河电机开始在数字示波器上安装 USB 接口，之后安捷伦、力科、泰克亦在数字示波器上配备 USB 接口。2003 年，因为安捷伦和 NI 在广泛应用的虚拟仪器软件结构(VISA)的 I/O 层增加了对 USB 的支持，所以 USB 接口普遍被台式、便携式、模块式测量仪器接受



为标准接口之一。传统的 IEEE488 接口仪器和 RS232 接口仪器可以通过 USB-IEEE488 和 USB-RS232 转换器与台式和笔记本电脑连接。

经过实际应用，证明 USB 接口在测量仪器中确实是简单方便和低成本的互连技术，它在数据采集系统取得了令人瞩目的成果。传统上，PC 平台的数据采集系统卡需要占用 ISA 或 PCI 插槽，以及从插卡引出至传感器的大量线缆，数据采集增加时受 PC 机插槽数目、地址、中断等硬件和软件资源的限制，可扩展性较差，抗电磁干扰性能差，安装拆卸困难，成本并不经济。随着 PC 机配置 USB 接口和数据率的提高以及 USB 接口芯片价格的下降，使 USB 接插件和电缆较便宜，导致大量 USB 数据采集系统的推出，售价从 100 美元至 1000 美元，很受用户的欢迎。事实上，这种借助 PC 机配置的扩充总线或外设总线成果，用于测量仪器系统的成功经验已有先例，PCI、PXI、VXI 和即将公布的 LXI 各种总线的仪器扩展应用，都充分发挥了 PC 机的普及率高、产品成本低、使用方便等显著特点。PC 机市场比测量仪器市场大得多，投入的开发和制造资源极为丰富，这些都是优势，也是测量仪器业所不具备的。测量仪器业在 20 世纪 60 年代曾独立开发出 GPIB 总线（即 IEEE488），它是惠普公司经 10 年努力获得的成果，值得注意的是 IEEE488 至今仍是台式仪器的首选总线。自 IEEE488 总线之后，NI 公司提出虚拟仪器的概念，并借船出海，充分发挥 PC 机的硬件和软件资源用于测量仪器，成绩斐然，带动了测量仪器的发展。

但是，USB 接口在测量仪器的扩展应用并无仪器公司或机构的推动，情况与 IEEE488、VXI、PXI 等总线有所不同，它们是有组织地制定规范和推广，对测量仪器业具有影响和促进。而 USB 仪器属于测量仪器公司的市场驱动，最初进展缓慢，近年产品明显增多，特别是在 USB2.0 发布后，USB 测量仪器从数据采集向数字多用表、数字示波器、逻辑分析仪、任意波形发生器、数字化仪、协议分析仪等发展，形成多种多样的体积小、移动轻便、价格实惠、性能适中的一类测量仪器实体。随着 PC 机的普及，测量仪器中出现一类 PC 基仪器，它借助插入 PC 机外设插槽的测量用卡和 PC 机资源构建成虚拟面板仪器，简称 PCI 仪器。笔记本 PC 和口袋式 PC 出现后，它们没有可供测量仪器使用的外设插槽，只有可供测量仪器使用的各种接口，包括软盘、硬盘、PC 卡、红外、并行、串行、1394、以太网、USB 等接口中的 1 种至 4 种。经过实际考验，USB 仪器在中低档测量仪器中最受用户欢迎，形成一类 USB 仪器而进入测量仪器主流。

值得一提的是，USB 仪器属于普及型的产品，它以即插即用和经济实惠而进入测量仪器市场，它的机械构件（如连接器、线缆）和电气特性（如定时、同步）都不是与 IEEE488、VXI 和 PXI 仪器处于同一水平上，同时，至今为止还没有 USB 仪器规范，只有 USB 规范。

## 2、USB 数据采集器

USB 仪器中以 USB 数据采集器面市最早，品种最多，从简单的模块至多插卡的机箱都有产品。简单的 USB 数据采集器模块一般具有 8 路以上模拟输入通道，12 至 14 位分辨率，100KS/s 以下的取样率，简单的测量和记录 I/O。模块通过 USB 线缆与 PC 机 USB 端口连接，从 CD 盘下载驱动程序后即可工作，来自传感器的模拟信号从模块接线排输入。为对比和



了解这类低价位 USB 数据采集器的特性,《测试与测量世界》(TM&W)的高级技术编辑最近对 3 种低价位(150 美元)的产品作了测试,它们分别是 NI 公司的 USB 6008、DT 公司的 DT 9810 和 MC 公司的 PMD 1208FS。其中 USB 6008 的主要特性如下:

8 路单端模块输入,分辨率 12 位(差分) 11 位(单端),取样率最高 10KS/s,逐步渐近 A/D 转换器;

输入电压量程  $\pm 20V$  (差分)  $\pm 10V$  (单端),直流电源由 USB 接口供给(5V/200mA);

适用于 Windows、Mac OS、Linux OS 操作系统的驱动器,数据记录软件,即插即用安装软件,LabVIEW 或 C 语言编程;

数字 I/O 12 路,5MHz 计数器;

尺寸:63.5 mm  $\times$  85.1 mm  $\times$  23.1mm,重量:59 克。

对比测试认为,它们的电学指标处于同等档次,只是 DT 9810 的输入电压量程是+2.4V,更高输入电压量程要选用价位较高的 USB 产品。它们在软件方面略有差异,虽然都提供数据记录软件,用户从 PC 显示器可阅读存储的数据,但只有 DT 9810 具有可控制模块的数字 I/O 口,而且提供示波器显示和数字多用表软件,以及 Windows 下的应用编程界面和 LabVIEW 虚拟仪器。PMD 1208FS 的 Tracer DAQ 软件可用 EXCEL 或有限文件格式存储和显示数据,提供示波器显示,并具有内部自校准能力。这类 USB 数据采集模块为工程技术人员和学生提供低价位、高质量、体积轻巧、连接简易的数据记录和采集工具。

中高档的 USB 数据采集器具有与 PCI/VXI/PXI 数据采集器基本相同的特性,例如 16 位分辨率,取样率为 100KS/s 级,32 路模拟输入,32 路数字 I/O 的产品。由于 USB 接口的互连比较简单,使中高档的 USB 数据采集器具有价格优势,当前生产 PCI/VXI/PXI 数据采集器的测量仪器公司都供应 USB 接口的同类产品。值得注意的是,还有数据采集公司生产独立机箱的内置数字信号处理器 DSP 接口和闪存体的 USB 数据采集系统,例如 Hacker 公司的 USB2 DAQ/DIO 数据采集系统,由于具有很强的运算和控制能力,插卡式 16 至 32 路模拟输入,12 至 16 位分辨率,100KS/s 取样率,24 位数字 I/O 线,每个机箱可配置 12 个插卡,适用于马达系统的实时控制。另外,生产数字多用表的顶级供应商同样重视 USB 接口的运用,吉时利公司推出 KUSB3116 数据采集模块,指标是 8 路模拟输入,16 位分辨率,500KS/s 取样率。福禄克公司在原来销量很多的 189 数字多用表上配置 USB 接口,增强数据记录功能,通过 Fluke View 3.0 软件包,使 189DMM 具有存储、显示和分析数据的能力,由笔记本电脑和 USB 线缆可连接 6 台 189DMM 并组成数据记录系统。189DMM 具有 0.025% 的电压读数准确度和 20 多种不同的测量功能,大量的传感器资源,使得组成的数据记录系统比单个数字多用表更受用户欢迎。

### 3、USB 数字示波器

USB 数字示波器是 USB 仪器的另一类产品,大部分是掌上型的结构,可与笔记本电脑组成便携式数字示波器。目前有多种带宽 200MHz 以下的产品可供选择,最简单的是单通道的笔型 USB,再复杂一点的是双通道掌上型 USB 数字示波器。它们避开已在示波器市场中占有



优势的台式、便携式、手持式数字示波器,另辟微型数字示波器天地,而且售价便宜,100 至 200 美元可购得实用的产品。这类微型数字示波器的性能并不比手持式数字示波器的性能差,当然不能要求他们具有便携式数字示波器那样全面的指标。

Elan 公司生产的一种笔型 USB 数字示波器 USBScope50,具有 100MHz 模拟带宽,8 位分辨率,单次取样率 50MS/s,重复取样率 1GS/s,单通道输入,输入电压量程 0.3V/3V/30V,配有 X10 倍探头(1M $\Omega$ /15pF),Windows 98SE/2000/XP 数字示波器软件,输入端与 USB 接口之间有 300V 的隔离保护,采用 USB1.1 或 USB2.0 接口。USBScope50 没有机械可调旋钮和开关,全部电气参数通过软面板作程控调节。需要多路输入时可堆叠多个同型号产品,通道间延时可程控调整至匹配,实现并行触发。USBScope50 实际上构成简单的虚拟示波器,适于简单的波形显示。

Stingray 公司的掌上型 DS1M12 属于一机多用,是频率响应较低的 USB 数字示波器,它采用分辨率 12 位和取样率 1MS/s 的 A/D 转换器,可在 20MS/s 重复取样率下对两路输入信号同时取样,模拟带宽 250KHz,每路输入有 32KB 的波形存储。提供两种应用软件: EasyScope 用于数字示波器, EasyLogger 用于数据采集。DS1M12 具备数字示波器、数据记录器、频谱分析仪、数字电压表、频率计、任意波形发生器等多种功能。在 Windows 操作系统下可下载第三方的应用软件,使用最通用的 LabVIEW 编程语言,提供 Windows 和 Linux 驱动器软件。装入 EasyScope 和 EasyLogger 两种应用软件后,DS1M12 具有以下的主要性能:

在 EasyScope 软件下,时基 2 $\mu$ s/格至 50ms/格(共 14 步进),垂直量程 10mV/格至 5V/格(共 6 步进),X 和 Y 方向光标,度量显示(Min/Max/平均/Vrms/F),频谱显示,测量结果下载,屏幕下载,波形发生(正弦、方波、三角波、锯齿波、用户自定义波形)。

在 EasyLogger 软件下,取样率(100K 样点/秒至 100S/样点),Y 轴定标(mV/V/用户定义),X 轴定标(时间或样点数),3 种屏幕光标,4 种弹出或 E-mail 告警,数据下载(CSV、BMP、文本、二进制),调用历史文档,为使用者加备注录。

硬件方面还有 32KB 波形存储,脉冲参数触发(边缘、宽度、最大/最小),延时触发,任意波形发生器(10 位分辨率, $\pm 3.5$ V 输出),尺寸:116 mm $\times$ 30 mm $\times$ 100mm,重量:160 克。

Acute 公司的 DS1000USB 数字示波器是着重模拟带宽的衣袋式 PC 基示波器,在 USB2.0 接口下工作,具备台式数字示波器的大部分功能:

采用 9 位分辨率和 200MS/s 取样率,5GS/s 的等效取样率,两路输入的灵敏度 2mV/格至 10V/格;

外触发和 TV 触发时,带宽可以从 200MHz 限制成 20MHz,脉冲参数触发和复杂波形触发;

最多可构成 6 路堆叠输入,具有 64K/512K 样点存储容量,单次 FFT 变换、数学运算、记录/回放等波形处理功能,互联网控制;



数据输出方式有 WORD、EXCEL、HTML 等。

#### 4、USB 的仪器扩展，实时同步控制

USB 作为仪器系统接口时存在一定的限制，因为 USB 器件是独立运行的，多个 USB 器件通过单一端口连接在一起时，它们之间没有同步关系。USB 总线的设计是基于异步的点点对点结构，各器件无法实时协同工作。对于仪器系统来说，往往需要实时同步控制，此时只好放弃使用 USB 接口，而选择 VXI 或 PXI 这些成本较高的接口。事实上，VXI 和 PXI 都是 PC 总线的扩展，最重要的扩展内容就是增加了定时和同步功能。因此，借助 USB 接口的现有成果，增加定时和同步功能，扩大 USB 接口仪器的应用范围被提上日程。最近 Fiberbyte 公司推出一种 USB inSync(USB 同步)技术，保留原有的 USB 总线的全部特性，增加了实时同步控制功能，扩大 USB 接口在仪器系统的应用，可视为 USB 接口的一项革新。它使 USB 总线转换成为具有同步性、确定性和可扩展性的操作平台，为仪器系统提供低成本、操作简便的互连总线。USB inSync 的主要特点如下：

可利用原来的标准 USB 电缆、端口、连接器、集线器等资源；

全部 USB inSync 器件连接到同一个 USB 端口，互相连锁成为一个同步系统；

最多同步连接 127 个分立器件，同步时差在  $\pm 5\text{ns}$  以内；

可选择互连器件中任一 USB inSync 器件作为定时参考，用于控制其他器件；

具有即插即用功能，互连器件的同步控制和处理通过 USB 端口由 PC 机管理；

在数据采集时提供 16 位模拟输入，16 位数字 I/O，以及数字触发；

普通 USB 器件与 USB inSync 器件完全兼容，共同组成测量仪器系统；

PC 主机需要运行 Windows XP 或 Windows 2000 操作系统，奔腾 以上的处理器，128MB 以上内存，10MB 以上的硬盘空间，以及 USB1.1 以上的主控制器。

Fiberbyte 公司已开始供应 USB inSync 数据采集系统，DAQ 2500X 是第一款产品，它有 4 个独立的 16 位分辨率、取样率 100KS/s 的模拟输入通道，各通道内置独立的 A/D 转换器，强大的先入先出 (FIFO) 处理能力可实施突发同时取样，4 组 A/D 的 100KS/s 取样率构成 1MB/s 的数据吞吐率，模块同时支持程控的数字 I/O 和触发，实现实时的数据采集。应该指出，USB 接口是为多种类不同功能的器件并行工作而设计的，由 PC 主机通过异步总线对器件做顺序交互处理，这种异步操作方式妨碍了器件之间的直接互动，建立多器件之间的同步和处理能力非常有限。使用 USB inSync 方式的 DQA 2500X 拥有自己的局域时钟，对 PC 的 USB 网络内部的 USB inSync 器件建立相位锁定。主集线器起着定时控制器的作用，实现器件之间的时间同步和数据处理，主集线器根据各器件的相位差做出相位补偿，保证各器件完全同步工作。当组网器件数目变化时，定时和同步过程自动重新调整，只要 Windows 操作系统识别出新器件，立即建立同步关系。USB inSync 技术还提供决定性的数字触发，使测量系统的测试启动和停止按照可控方式执行，而且可将定时和同步扩展到系统内的其他从集线器，建立起主—从集线器的定时和同步通道。

## 5、无线 USB 即将成为新成员

USB1.1 和 USB2.0 的应用已经十分普遍，数字巨大。据不完全统计，现今有 15 亿条 USB 线缆遍布不同的应用领域，到 2006 年这个数字将翻一番而超过 30 亿条，主要来自随身音频产品、数码相机、打印机、移动硬盘、闪存存储体。新的笔记本电脑开始配置无线以太网，大量 USB 外设的应用也促使无线 USB 能够早日进入市场，以减少 USB 器件与 PC 机的互连线缆。为了促进无线 USB 的发展，前几年 Agrere 系统、惠普、英特尔、微软、NEC、飞利浦半导体、三星电子等 7 家公司组成了无线 USB 促进组织（WUSU PG），目的是制订无线 USB 规范。该组织得到 100 多家会员的支持，无线 USB 规范草案已在今年提交给了 USB IF，预定在今年年底之前公布。首批符合无线 USB 标准的产品将以分立芯片方式出现，包括控制器芯片、适配器、收发器等，然后由更高集成度的单芯片来完成。

无线 USB 规范是构建在超宽带（UWB）的无线多媒体（WiMedia）汇聚平台上，亦即使用 UWB 作载体，发射和接收 USB 规范的信息。UWB 短距离无线通信方式是无载波的超短脉冲序列调制波，占有 GHz 级的带宽，UWB 已成为 IEEE802.15.3a 标准。无线 USB 通过协议适配层与 WiMedia 汇聚平台连接，构建一个与 USB2.0 兼容的应用软件栈，分享 UWB 的射频协议，并获得 IEEE802.15.3a 的承认。通过 UWB 发射和接收的无线 USB 提供等同高速 USB 的数据传输率，在 3m 距离内带宽达到 480Mbps，10m 距离内达到 110Mbps。顺便提及，测量仪器经常使用的 IEEE1394 接口的无线方式也是构建在 UWB 规范之上的。可以预见，将有更多设备通过 UWB 射频进行无线收发，它们在 WiMedia 层汇聚，不管它们原来是什么协议的信号，经过汇聚层后都会转换成相同的 UWB 信号，由 UWB 物理层发射，它们各自分享极宽的 UWB 射频。UWB 已被美国试用作为无需申请使用频率许可的局域网短距离通信，分享 UWB 射频的无线 USB 已取得满意的无线收发效果，并保持 USB2.0 的特点，当然，由于非线缆的互连，USB2.0 中的直流供电不再存在了。

无线 USB 用到测量仪器还要等待一段时间，首先需在 PC 机上使用和取得成功，并且成本降低到与 USB2.0 差不多，然后利用成熟的无线 USB 芯片制成无线 USB 仪器。同时，无线 USB 需获得政府的无线电管理部门批准作为开放频段，无线 USB 测量仪器才能普及。预计这段时间是 2 至 3 年，相信此时 UWB 技术同样会取得进展，发射和接收距离将超过 3m，无线 USB 亦相应获益，在 3m 距离外保持 480Mbps 的数据传输率。

## 6、结束语

USB 仪器进入测量仪器市场已经 7 年，早期进展较慢。自 USB2.0 高速接口推出后，USB 仪器无论在品种、性能、应用等方面都以更快步伐前进，不仅局限于普通指标的 USB 仪器，已出现具有特色的更高档次的 USB 仪器，如定时和同步扩展，GHz 级时域反射计等。如果 USB 仪器的小型化和微型化取得成功，肯定会出现更多的微型测量仪器。无线 USB 仪器的面市，将使测量仪器的机动性得到提高。USB 仪器开始成为测量仪器的主流，同时推动传统仪器向小型化和微型化方向发展。