

# On-The-Go 开辟 USB 应用的新篇章

On-The-Go Opens USB's New Application

清华大学工程物理系 (100084)      马伟 邵贝贝

**摘要：**USB On-The-Go 扩大了 USB 的应用领域，将 USB 从传统的 PC 与外设通讯的模式，扩展到移动电子和嵌入式领域中，抛开主机 PC，实现通常的外设与外设之间点对点 (Point to Point) 的数据传输模式。

**关键字：**USB                  On-The-Go                  主机Host                  外设Peripherals  
PDA                  拓扑                  PC

## 1 什么是 USB On-The-Go

我们先来回顾一下通用串行总线 (Universal Serial Bus, 简称为 USB) 发展的历史：

- 1994 年 11 月，以 Intel 为首的 7 家公司 (Intel、Compaq、Microsoft、IBM、DEC、Northern Telecom 和 NEC) 推出了 USB 协议的第一个草案，USB 作为一种新型的串行总线，揭开了新一轮的 USB 总线的革命，但这时，USB 并不为计算机技术人员所熟知；
- 1996 年 2 月，USB 协议规范 1.0 版本发布，版权属于 Compaq、Intel、Microsoft 和 NEC 等 4 家公司，并同意任何人可免费使用。自此，USB 开始逐渐被广大技术人员和用户所认可，并逐渐开始成为 PC 主板上的标准接口；
- 1998 年 10 月，USB 1.1 版本发布，集中修订了 USB 1.0 中的问题，并进一步突出了 USB 的优势。到目前，USB 1.1 仍是开发 USB 低速 (1.5Mbps, Low-Speed) 和全速 (12Mbps, Full-Speed) 设备的标准版本。USB 的低功耗、速度高、成本低、支持即插即用和维护方便等优势更加稳定，USB 开始成为鼠标、键盘、游戏杆、打印机、光驱、硬盘、显示器和数码相机等几乎各种 PC 外设与 PC 连接的标准协议之一。各种 USB 的外设产品如雨后春笋般出现，如 USB Flash 读卡器、USB 移动硬盘、USB 数码相机、USB 键盘等，几乎所有的 PC 外设都有相应的 USB 接口的产品。一时间，USB 成为了最为流行的 PC 接口标准，嵌入式软硬件工程师也将 USB 应用到自己的设计之中；
- 2000 年 4 月，Compaq、HP、Intel、Lucent、Microsoft、NEC 和 Philips 等 7 家公司联合发布 USB 2.0 协议规范版本。新版本最大的变化就是将 USB 的总线速度一下子提高到了 480Mbps，即开始支持高速设备 (High-Speed)。由此，USB 翻开了新的一页，彻底打破了 USB 应用在视频等高速传输领域中的速度瓶颈，大大扩展了 USB 应用领域。从低速的鼠标、键盘，到全速的硬盘，再到高速的视频传输，USB 几乎无所不能，可以应用到任何一种 PC 外设中。USB 取代串口、并口等传统 PC 接口只是个时间问题了。

从问世，到协议规范 2.0 版本，USB 不断在自我完善，走向成熟。从普通计算机用户，计算机工程师，到硬件芯片生产厂商，都已经完全认可了 USB。厂商对于 USB 的硬件和软件支持的也越来越完备，现在开发一个 USB 外设产品，所需要投入的成本和时间大大降低了，几年前是没有办法做到这一点的。但是，随着 USB 应用领域的逐渐扩大，人们对于 USB 的期望也越来越高，希望 USB 能应用在各种计算机领域中，尤其是在移动通讯领域中，希望能通过 PDA 等移动设备来直接和 USB 外设通信，使得 USB 能应用在没有 PC 的领域中。

非 PC 应用领域？

这正是 USB 一个致命的弱点。USB 的拓扑结构中居于核心地位的是 Host，任何一次 USB 的数据传输都必须由 Host 来发起和控制，所有的 USB 外设都只能和 Host 建立连接，任何两个外设之间或是两个 Host 之间无法直接通信。而目前，大量的扮演 Host 角色的是个人电脑 PC。因此，“如何将 USB 应用到嵌入式领域？如何实现 USB 点对点的通讯？”等问题，开始进入了 USB 开发者的讨论议程。正是在这种新的需求之下，USB On-The-Go 应运而生。2001 年 12 月，USB On-The-Go 版本协议 1.0 正式发布（简称为 OTG 1.0）。

USB On-The-Go，顾名思义，是 USB 应用在便携式移动设备领域中，因此，我们姑且将其翻译为“便携式 USB”（或者“移动 USB”），简记成 USB OTG。OTG 1.0 作为 USB 2.0 的补充协议，基本上符合 USB 2.0 规范。但是，有所不同的是符合 USB OTG 的设备完全抛弃了 PC，既可以作为 Host，也可以作为外设，而与另一个 OTG 设备直接实现点对点（Peer to Peer）通讯。因此，这类 OTG 设备也被成为是双角色设备（Dual-Role Device，简称为 DRD），并能够根据接入设备的特性和数据传输过程中的情况，自动切换为 Host 或是外设。例如，一个 OTG 数码相机可以直接与 OTG 打印机相连，打印图片；两个 OTG MP3 播放器可以之间连在一起，实现音乐文件的共享……

需要注意的是，USB OTG 设备保留了作为普通 USB 2.0 外设的功能，可以作为外设直接连接到 PC Host 上。

## 2 USB OTG 设备的功能

USB OTG 定义了两种设备类型：双角色设备 DRD 和单外部设备（Peripheral-Only Device，简称为 POD）。DRD 具备 Host 和外设的两种功能，POD 基本与外设功能近似，因此，我们这里着重讨论 DRD。

要成为一个 USB Host，必须具有存储外设驱动程序、提供足够的 USB 端口电流和 A 型 Host 插座的能力。而其所要实现的基本功能包括 3 部分：

- 管理和控制总线，包括提供 USB 端口电源管理；
- 检测外设的接入和断开，枚举（Enumerate）设备；
- 初始化总线上所有的数据包传输等活动。

同样，USB 外设也具有特定的功能：

- 响应 USB Host 的命令，执行又 Host 发起的发送设备描述符、传送数据等活动；
- 远程唤醒处于挂起（Suspend）状态的主机；
- 提供自供电（Self-Powered）电源（如果所需电流大于总线能提供的限额，选此项）。

DRD 具有 USB Host 和外设的双重功能，但是，正因为具有了双重的角色任务，DRD 又必须有切换角色等新的任务和功能，因此，我们可以用（1）式来简单的定义 OTG DRD 的功能：

$$DRD = Host + Peripheral + Other \dots\dots (1)$$

由（1）式可知，完整的 USB OTG DRD 还必须具有除了通常的 Host 和外设之外的一些功能，当然 DRD 的 Host 功能是有限的，不要求完全实现 PC Host 的功能，不过，这正符合了嵌入式领域中对 USB 灵活性和便携性的要求：

- 作为外设，支持 12Mbps 的全速模式（或者是 480Mbps 的高速模式）；
- 作为 Host，也支持全速模式（或者是低速和高速模式）；
- 产生目标外设列表（Targeted Peripheral List，简称为 TPL）；
- 会话请求协议（Session Request Protocol，简称为 SRP）；

- 主机交流协议 ( Host Negotiation Protocol , 简称为 HNP ) ;
- 有且仅有 1 个 Mini-AB 插座 ;
- 至少为总线提供 8mA 的电流 ;
- 能及时将总线活动状态通知给设备用户。

### 3 USB OTG 的机械层和电气层协议

#### 3.1 USB OTG 的接插件

USB 2.0 协议规范中定义了 3 种 Host 与外设的连接方式对 : Host 上的标准 A 插头和插座、外设上的标准 B 插头和插座以及外设上可选择的 Mini B 插头和插座。USB OTG 主要是为了应用在便携的移动 USB 设备上 , 要求减小插头和插座的大小。为此 , OTG 1.0 作为 USB 2.0 的补充 , 新定义了 2 种接插件 : Mini A 插头和插座、Mini AB 插座。如图 1 , 列入了完整的 USB OTG 的接插件。

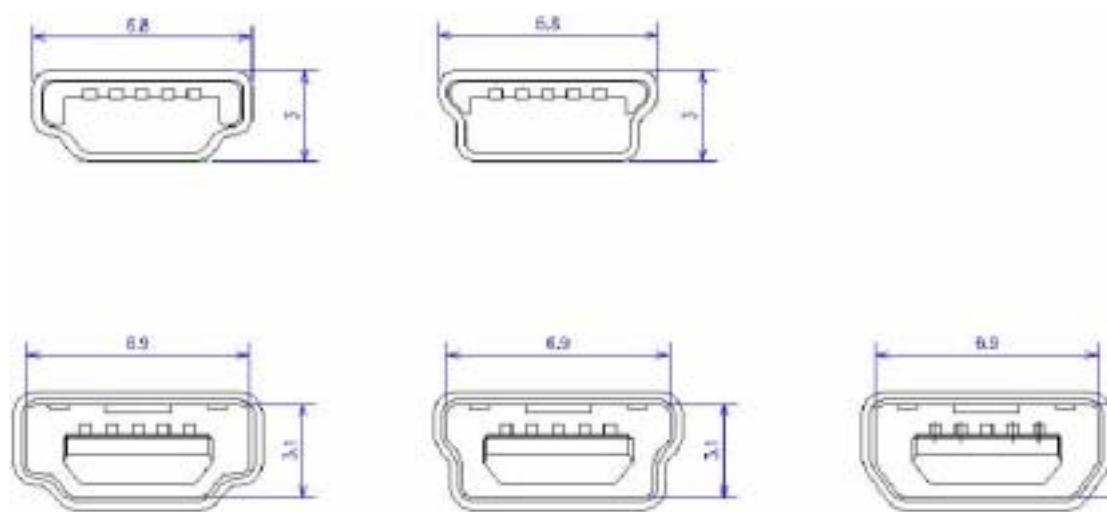


图 1

Mini AB 插座正是为 OTG DRD 的特点精心设计的。Mini A 插座是设计在 Host 上的 , 用于连接外设的 Mini A 插头 ; 同理 , Mini B 插座设计在外设上 , 用于连接 Host 的 Mini B 插头。因此 , 不同的插座类型 , 区分了不同的 USB 设备。当 OTG DRD 需要进行设备角色变换的时候 , 就需要相应的改变插座的类型。比如说 , 在开始状态 , 1 个 DRD 作为 Host , 因此 , 这时 , 它提供的插座应该是 Mini A 型的 ; 在连接了另一个 OTG 设备后 , 可能 DRD 需要作为外设 , 这是 , 它提供的插座应该是 Mini B 型。所以 , OTG DRD 上应该同时具有两种插座。Mini AB 正是巧妙的应用机械原理 , 一个插座可以连接 Mini A 和 Mini B 插头 , 而系统又可以通过 , ID 信号线来识别是 Mini A 还是 Mini B 插头。同时 , 为了方便用户识别 , 对接插件的封装颜色进行了不同的定义 : Mini A 插头和插座采用白色 ( White ) 、 Mini B 插头和插座采用黑色 ( Black ) 、 Mini AB 插座采用灰色 ( Gray ) 。

#### 3.2 USB OTG 总线的电流要求

在 USB OTG 系统中 , A 设备 ( 指处于 Host 地位的设备 ) 必须至少为总线提供 8mA 的电流 , 电压为 4.4 ~ 5.25V。如果 A 设备能提供 100mA 以上的电流 , 那么 , 电压范围为 4.75 ~ 5.25V。在未被配置的情况下 , OTG DRD 所提取的电流不得超过 150uA , 而 POD 提取的电流不得超过 8mA。

## 4 USB OTG 体系的软件描述

### 4.1 OTG 配置描述符

在 OTG 系统处于枚举过程时，A 设备就会发送 GetDescriptor 命令给 B 设备（开始处于外设状态的设备），要求 B 设备发送 OTG 配置描述符。配置描述符包括 3 个字节，分别是 bLength、bDescriptorType 和 bmAttributes，其中，每一位代表的含义如表 1 所示。

### 4.2 会话请求协议（Session Request Protocol，简称为 SRP）

SRP 用于 B 设备向 A 设备请求建立会话和使用总线。

一般，OTG 系统中的 A 设备采用的是电池供电，因为这些设备是便携式和可移动的，这就决定了，OTG 系统电源管理是非常重要的一个专题。因此，为了节省 OTG 系统的电源开支，OTG 2.0 规定 A 设备在没有总线活动的时候，可以关掉  $V_{Bus}$  上的电源。这样，当一个 B 设备连接到 A 设备上之后，就要初始化 SRP，并发送给 A 设备，请求 A 设备在  $V_{Bus}$  上提供电流支持，进而进行通信。OTG 中，DRD 可以作为 A 设备，也可以作为 B 设备，因此，DRD 必须支持初始化 SRP 和响应 SRP；POD 只能作 B 设备，所以，只能初始化 SRP。

SRP 中，B 设备有两种方式可以向 A 设备发送请求，要求建立 SRP：一种是数据线脉冲（Data-Line Pulsing），一种是  $V_{Bus}$  脉冲（ $V_{Bus}$  Pulsing）。具体的脉冲方法在 OTG 2.0 中有详细的说明。任何一个 A 设备只要求能响应一种 SRP 方式，而 B 设备必须能初始化两种 SRP 方式。这样，当 B 设备先初始化一种 SRP，而 A 设备无法响应是，则 B 设备就要用另一种 SRP 方式。

### 4.3 主机交流协议（Host Negotiation Protocol，简称为 HNP）

HNP 用于初始 B 设备与初始 A 设备之间切换 Host 角色。

OTG DRD 具有 Mini AB 型插座，因此，DRD 既可作为 Host，也可以作为外设。而在某一个 OTG 连接中，这个 DRD 到底是作 Host（即 A 设备），还是作外设（即 B 设备），则要根据接入的另一个 OTG 设备来定。如果，接入的是 OTG POD，那么，毫无疑问，这个 DRD 肯定是作 A 设备。但，如果接入的是另一个 DRD，那么这两个 DRD 之间，就可以 HNP 来随时切换 Host 角色。

一次完整的 HNP 流程是这样的：B 设备希望控制总线，成为 Host；在 A 设备发送了 SetFeature 命令后，B 设备就可以来请求控制总线；A 设备挂起总线，通知 B 设备可以控制总线；B 设备发送信号，断开与 A 设备的连接；A 设备启动 D+ 信号线上的上拉电阻，将 D+ 置高；这样，A 设备就开始作为外设，放弃了总线的控制权，B 设备成为了 Host；在 B 设备完成了对总线的控制，就需要上拉其上的 D+ 电阻，放弃总线控制权。当然，这一系列的 HNP 活动，不仅仅是通过信号线上的电平变化来实现的。电平变化只是一种标志，真正内部对总线的控制权的变化，则要通过软件来实现。

### 4.4 OTG 的软件结构

OTG 的软件结构包括 3 部分：

- OTG 系统硬件驱动：包括 SRP 和 HNP；
- OTG 系统外设软件：实现标准的 USB 类，来实现特定的 USB 外设功能；
- OTG 系统 Host 软件：包括 Host 驱动程序、操作系统支持软件、支持外设的类库。

## 5 开发 USB OTG 设备

### 5.1 支持 USB OTG 的芯片

USB OTG 完整规范协议 OTG 1.0 的发布，仅仅是去年年底的事情，因此，各半导体公司对于 OTG 芯片的研制也是处于初期开发的阶段，目前，还没有 OTG 正式的芯片面世。但是处于测试阶段的芯片已经有了，处于领先阶段的有 Cypress 公司的 SL811HS、Philips 公司的 ISP1362 和 TransDimension 公司的 OTG243。需要注意的是，这 3 款芯片，都是不带

CPU 的接口芯片，需要与 DSP、MCU 或是其他的 CPU 接口，才能实现完整的 OTG 功能。Cypress 的 SL811HS 主要是为嵌入式 USB Host 设计的同时具有 Host 和 Slave 功能的芯片，应用它可以实现 USB Host 的功能，但是，Cypress 应用它，再通过软件来实现 Host 和 Slave 功能的切换，并且按照 OTG 1.0 规定的标准来实现。Cypress 已经与 EZ-USB 接口来实现了 OTG 功能。Philips 的 ISP1362 是一款专门为 OTG 设计的接口芯片，也已经与其 ISP1161 处理器接口，实现了 OTG 功能。

预计，今年下半年，各家公司的 OTG 芯片将陆续正式上市。到时候，广大设计人员就可以开始应用其来研制自己的 OTG 设备了。

## 5.2 如何来开发 USB OTG 设备

当然，首先，要有 OTG 接口芯片的支持，在硬件上实现功能电路。其次，就要来编制软件。软件，主要是与 OTG 芯片接口的 CPU 上跑的程序了。这主要包括三部分，一部分是实现 OTG 的 Host 的功能，能够枚举连接的外设。另外一部分就是要编制，所要支持的外设的驱动程序。最后，需要写 Host 与外设角色切换的程序驱动。

## 参考文献

- 1 On-The-Go Supplement to the USB 2.0 Specification, Rev 1.0, www.usb.org, 2001
- 2 Kosta Koeman, Understanding USB On-The-Go, Cypress Semiconductor, www.ednmag.com, 2001
- 3 Joe Meza, USB On-The-Go Software Requirements, SoftConnex Technologies, 2002
- 4 SL811HS OTG Application Note, Cypress Semiconductor

## 射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



### HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

## 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



### 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

### 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>