

# 手机 USB 数据线测试仪的研制

陈平平<sup>1</sup>, 杨雷<sup>2</sup>, 张志坚<sup>1</sup>

(1. 东莞理工学院 电子工程学院, 广东 东莞 523808; 2. 东莞理工学院 工程技术研究院, 广东 东莞 523808)

**摘要:** 针对企业生产手机 USB 数据线时需要进行性能测试方面的要求, 设计出一款以 FPGA 为处理核心, USB 接口芯片为控制对象, 辅之电源、存储器、键盘、显示、静电保护和反馈输出接口等模块组成的手机 USB 数据线测试仪; 该测试仪按照 USB 通信协议把 USB 数据包通过被测数据线进行传输, 然后通过计算其传输 USB 数据包的错误率来判断数据线性质的质量好坏; 通过与误码率分析仪、电脑海量传输实测的结果对比和实际应用表明, 该仪器较其它测试方法具有测试速度快, 测试结果准确等优点, 可广泛地应用于 USB 数据线生产企业。

**关键词:** USB; 数据线; 通信协议; 测试仪

## Development of Mobile Phone USB Cable Testing Instrument

Chen Pingping<sup>1</sup>, Yang Lei<sup>2</sup>, Zhang Zhijian<sup>1</sup>

(1. School of Electronic Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China;

2. Institute of Engineering & Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China)

**Abstract:** In order to meet the requirements for production performance testing of USB data line of mobile phone. The testing instrument of mobile phone's USB data line has been designed, It using FPGA as a processing core, USB interface chip as the control object, and was composed by power, memory, keyboard, display, ESD and feedback output interface module. It judges the performance of the data line by calculating the transmission of USB data packet error rate, which according to the USB communication protocol to USB data packets for transmission through the measured data line. The results by compared to BER analyzer and computer mass transfer measurement and practical applications show that the instrument was better than the other test methods. It has the advantages of fast speed, accurate result, and can widely application.

**Keywords:** USB; data cable; communication protocol; testing instrument

## 0 引言

手机 USB 数据线是手机用户必备的用品之一, 主要功能是给手机充电和联接电脑进行数据传输<sup>[1-2]</sup>。在生产手机 USB 数据线时, 需要进行基本电气特性检测和传输性能检测<sup>[3-7]</sup>。性能检测是检测其作为 USB 数据线传输数据的特征, 检测其传输数据的性能, 最快能达多少。目前主要有 3 个方法<sup>[8-11]</sup>。1) 使用误码率分析仪, 测量数据线传输数据的误码率; 2) 使用示波器观察眼图; 3) 连接电脑进行实际数据传输。使用误码率分析仪至少需要 20 秒, 用示波器观察眼图则需要 30 秒, 而连接电脑进行实际数据传输则需要 3 分钟以上。这 3 种方法都有设备成本高和测试速度慢的缺点, 无法满足生产线的需要, 所以企业只能对产品进行抽测, 无法对每条数据线都进行检测, 即无法保证每条数据线的传输性能。本文设计的手机 USB 数据线测试仪, 具有测试速度快, 测试性能准确等优点。可以用在数据线生产的产线上对每一条数据线进行性能检测。

## 1 测试原理

设计是针对手机 USB 数据线的特点, 在企业生产线上对

手机 USB 数据线进行性能测试。测试原理和方法是: 按照 USB 通信协议把 USB 数据包通过被测 USB 数据线进行传输, 然后通过计算其传输 USB 数据包的错误率来判断数据线性质的好坏。具体实施为, 如图 1 所示, 使用两个 USB 接口芯片 A 和 B 连接数据线的两端, 由主控制器控制 USB 接口芯片 A 发送数据, USB 数据包经过 USB 数据线后, 就传到 USB 接口 B, 然后主控制器从 B 口接收数据, 最后通过比较收和发的 USB 数据的差异性来计算实际的传输数据包的速度, 最终判断数据线性质的好坏。(如与手机 USB 接口对应的数据线, 一般采用 USB2.0 的协议, 其最大传输速率为 60 MB/s, 那么我们可以认为, 如果传输 USB 数据包的速度小于 40 MB/s 的数据线是不合格的)。

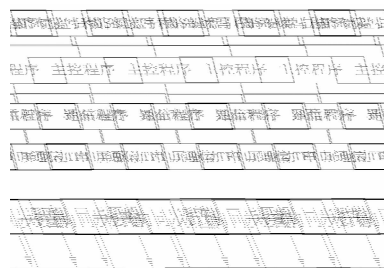


图 1 测试原理

USB 通信协议中规定了控制传输、中断传输、实时传输(同步传输)和批量传输等 4 种数据传输事务。控制传输和中断传输主要用于低速的如 USB 鼠标键盘等设备; 实时传输主要用于 USB 音响和摄像头等音视频设备; 批量传输则用于 USB 存储器等海量 USB 设备, 在使用 USB 数据线连接手机和

收稿日期: 2015-01-26; 修回日期: 2015-03-24。

基金项目: “973”计划项目(2013CB834305); 广东省自然科学基金(S2012010010306); 东莞市科技计划项目(2014106101004)。

作者简介: 陈平平(1983-), 女, 广东湛江人, 硕士, 主要从事嵌入式、电子测控方向的研究。

杨雷(1964-), 男, 河南南阳人, 博士, 教授, 主要从事嵌入式、电子测控等方向的研究。

电脑传输数据时就是使用了批量传输事务。所以在测试时主要使用批量传输事务和同步传输事务。

## 2 硬件系统设计与实现

整个 USB 数据线测试仪的硬件系统如图 2 所示。系统由 FPGA 为核心, USB 接口芯片为控制对象, 辅之相应的存储器、电源、串口和人机界面等组成。

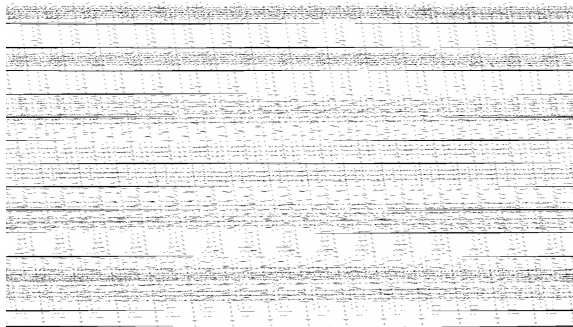


图 2 硬件结构图

在衡量性价比的基础上 FPGA 芯片选用 Altera 公司的 Cyclone III 系列的 EP3C25F256C8N。该芯片具有 24, 624 个 LE 单元, 516kbit 的存储单元和 156 个可用 IO 口, 内部操作频率可达 250 MHz。通过内建 Nios II 的 32 位处理器, 可实现外部总线 150 MB/s 以上的读写速度。足于满足 USB 测试时的数据存储需求。

电源为整个系统提供能源动力, 具有 20 W 的功率, 输出 5 V, 3.3 V 和 1.2 V 等 3 种电压, 能满足系统各部分的电源需求。

LED 为 3 颗彩色 LED 用于作为运行和状态指示灯。

晶振选用 50 MHz 有源晶振, 在 FPGA 内部的 PLL 倍频为 250 MHz 为系统运行提供时钟。

系统中设计了 3 个串口, 其中一个为开发调试作用, 一个为跟上位机通信使用, 另一个为与其它机器通信使用。

键盘采用 4 \* 4 的矩阵键盘, 在 FPGA 内部建立键盘扫描模块, 负责键盘扫描。

LCD 选用 7 寸的 TFT 屏, 具有 320 \* 240 的分辨率, 满足良好的人机操作界面和测试功能显示的需求。

USB 接口芯片为 ISP1581, 这是一种价格低、功能强的 USB 接口器件, 符合 USB2.0 规范, 并为基于微控制器或微处理器的系统提供了高速 USB 通信能力。系统中 USB 数据包的收发处理都在芯片内完成, 外部为 16 位的数据总线与 FPGA 系统相连, 最快的读写速度为 20 ns, 能满足 USB2.0 的最大传输速率需求, 电路图如图 3 所示。

ESD 保护芯片选用 NUP4114UPXV6, 这是一款非常适合 USB 高速数据线路 ESD 保护的 TVS 二极管阵列。该器件满足 13 kV 接触放电的系统级 IEC61000-4-2 标准, 能在仪器使用过程中, 起因拔插数据线产生静电保护 USB 接口芯片的作用。

SRAM 使用了 4 片 512 \* 16Kbit 的 IS61LV51216 组成 4Mbit 存储器作为系统的内存使用, 该芯片为 16 位总线接口, 最快的读写速度为 125 MHz, 可提供 250 MB/S 的读写带宽, 满足数据线最高传输速率 60 MB/s 的要求。

FLASH 为 AM29LV160B, 芯片有 16MBit 的容量, 作为系统的程序存储器, 用于存储系统运行的程序和非易失性数

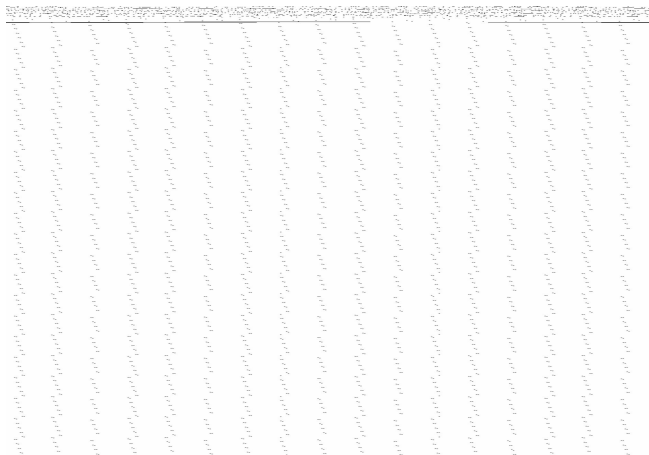


图 3 USB 接口电路图

据。该芯片为 AMD 公司生产的 CMOS Flash 存储器提供 16 位的数据宽度, 典型的访问时间为 50 ns, 为系统的高速运行提供保障。

PROMS 是 FPGA 是重配置芯片, 选用 EPCS16SI16N, 提供了 16 MBit 的容量, 可满足系统设计的重配置要求。

## 3 软件设计

本系统的软件设计采用至顶向下的模块化设计方法。软件都是 FPGA 内完成的, 很多处理电路采用硬件软件化的技术在 FPGA 内完成。软件结构图如图 4 所示, 软件设计分两大部分, 一个基于 VHDL 的 FPGA 设计, 另一个基于 C 语言的 Nios II 的程序设计。



图 4 软件结构图

### 3.1 FPGA 设计

FPGA 的设计主要是采用 VHDL 语言设计, 有串口通信控制器、TFT 驱动控制器和键盘扫描控制器等。

用 Mealy 状态机实现了 3 个串口通信控制器并给主控程序开放了收发寄存器。用 Moore 状态机实现 5 \* 5 矩阵键盘的扫描, 该状态机能自动识别键盘的变动, 并输出中断信号给 Nios II 主控器。

采用 Altera 公司提供的 TFT 驱动控制器 IP 核, 该 IP 核提供了 4 位的配置器, 可实现 16 种彩色的 320 \* 240 屏的显示和控制。

### 3.2 Nios II 的程序设计

Nios II 的程序主要有主控程序、通信程序、界面程序和 USB 读写程序等 4 大块。

通信程序是负责 3 个串口通信的功能; 根据主控程序要求实现串口数据的收发。界面程序负责界面的绘制与显示。USB 读写程序负责 USB 接口芯片的读写, 实现 USB 数据包的收发功能。

主控程序是系统运行的主程序, 负责调用各个子程序完成

系统的运行, 如读取键盘扫描的按键信息, 判断用户的操作意图, 然后通知界面程序完成界面的操作显示。主要工作是通过读写 USB 接口芯片, 实现 USB 数据包的收发和差错统计, 主程序流程图 5 所示。

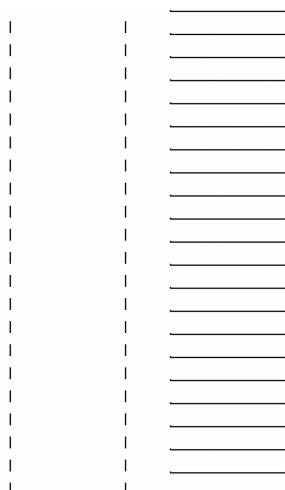


图 5 主控程序流程图

系统上电开机后首先要进行系统初始化, 如内部寄存器的复位清零和 USB 接口芯片的初始化为下一步的测试做准备。然后是进行系统菜单界面显示, 并判断是否启动测试, 如果不需要启动测试就一直停在界面显示步骤; 如果启动测试, 则先把 USB 接口芯片设备为批量传输模式, 批量传输模式中, USB 接口芯片自动完成数据包的接收和校验, 只有校验通过的数据包才能产生中断信号通知主控制器接收数据。所有在进行批量传输测试时, 就只负责统计收发数据包的个数差别, 就能统计出数据通信速率, 即:

$$S = \frac{n}{N} \times 60 \text{ Mbit/s}$$

其中:  $n$  为接收到的 USB 数据包个数,  $N$  为发送的 USB 数据包个数。

在完成批量传输模式后, 再进步传输, 在同步传输模式中, USB 接口芯片在接收时不进行校验, 也不发回应答数据包。所以需求进行数据包数据内容的比对, 统计出错误率, 并计算出数据线的通信速率, 即:

$$S = \frac{m}{M} \times 60 \text{ Mbit/s}$$

其中:  $m$  为接收到的正确的 USB 数据字节数,  $M$  接收到的 USB 数据总字节数。

#### 4 测试与分析

为了验证本设计的测试效果, 将 10 种不同长度、不同厂家的数据线用本测试仪与网络分析仪、电脑海量传输实测对比。如表 1 所示。

从表 1 中的统计数据可分析出: USB 数据线随着长度的增加, 其传输速率会有所下降。本设计的仪器的测试时长远小于其他两种测试方法, 具有测试速度快的优点。本仪器的批量传输测试速度与电脑实际传输海量文件的速度相近, 差别都是 1.5 MB 以内。但与误码率分析仪测试结果相差很大, 同时本仪器的同步传输与误码率分析仪测试较为接近, 这是因为在进

表 1 三种测试方式对比表

序号	数长度/ m	本仪器/批量/ (Mbit/s)	本仪器/同步/ (Mbit/s)	误码率分析仪/ (Mbit/s)	电脑实测/ (Mbit/s)
1	1.0	59.1	52.2	50.1	58.8
2	1.0	40.8	30.0	32.2	39.8
3	2.0	58.2	50.1	48.8	58.2
4	2.0	36.3	28.9	28.2	34.9
5	2.5	55.9	50.3	50.1	55.5
6	2.5	30.3	26.0	25.9	29.0
7	3.0	50.2	48.7	48.2	49.0
8	3.0	28.8	22.0	21.0	28.0
9	5.0	46.2	40.8	40.6	46.7
10	5.0	20.7	14.2	14.4	20.2
测试时长/s		1	1	20	230

行文件传输使用的是批量传输事务, 这是带校验和纠错协议的, 在传输 USB 数据包过程中如果因为数据线的问题出现某些数据出错时虽然会影响误码率, 但因为具有纠错功能, 所以在小误码率时是不会影响到数据传输的速度。但如果是同步传输, 则因为没有纠错功能, 其误码率直接影响到传输速率。即用本仪器的批量传输方法测量比用误码率分析仪测量更接近于真实的传输效果, 更有测量意义。

#### 5 结束语

本文设计并实现了一种基于 FPGA 的手机 USB 数据线测试仪, 详细介绍了系统的测试原理和整体架构, 给出了相关重要部件的实现方法。通过与网络分析仪和电脑海量传输实测对比, 该测试仪可实现 0~60 MB/s 的传输测量, 且与实测相比误差小于 1.5 MB/s, 测试时间只有 2 s, 达到系统设计的要求。实际应用表明该测试仪可以进行手机 USB 数据线的性能测试, 并具有测试速度快和准确的优点, 同时具有外部互联接口, 可与其他自动化设备互联提高企业生产效率。

#### 参考文献:

- [1] 展超. 令传输信号大幅提升的 AIMUA1\_P010USB 数据线 [J]. 家庭影院技术, 2014 (8): 75.
- [2] 王昌红. 安卓手机使用 USB 上网软件上网 [J]. 电脑知识与技术, 2014 (7): 109-110.
- [3] 战荫伟, 黄治登. 基于机器视觉的贴片 LED 极性检测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (3): 680-683.
- [4] 于劲松, 曾诗豪. 基于 DaVinci 平台的桶标在线双目识别系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3316-3319.
- [5] 苗汇静, 任益芳, 宋吉江, 等. 农膜生产线在线长度计量装置的设计 [J]. 测控技术, 2013, 1: 57-60.
- [6] 梁伟建, 洪涛, 林笃盛, 等. 基于机器视觉的智能电表外观缺陷检测系统设计 [J]. 电测与仪表, 2013, 10 (10): 65-68.
- [7] 周松, 陈清培, 柏涛, 等. 基于 Profibus\_DP 的木丝板生产线自控系统设计 [J]. 测控技术, 2013 (11): 107-110.
- [8] 安捷伦科技. USB3.0 及测试解决方案 [J]. 电脑知识与技术, 2010, 3: 56-58.
- [9] 安捷伦科技. 安捷伦科技推出紧凑型 USB3.0 测试装置 [J]. 电子测试, 2009 (12): 89.
- [10] 张驰, 李金泉. 电子计算机周边设备及信息技术产品的 USB 测试与认证 [J]. 安全与电磁兼容, 2006 (6): 57-60.
- [11] 潇潇. R\_S 公司为 RTO 示波器的 USB 测试方案增加触发与解码选项 [J]. 电信网技术, 2014 (10): 88.