

引用格式:王晶, 赵云鹏, 池骋. 一种 SATA 固态硬盘 Power Cycle 功能自动化测试方法[J]. 微电子学与计算机, 2021, 38(8):40-44. [WANG J,ZHAO Y P,CHI C. An automated test method for power cycle function of SATA solid state drive[J]. Microelectronics & Computer, 2021, 38(8):40-44.]

一种 SATA 固态硬盘 Power Cycle 功能自动化测试方法

王 晶, 赵云鹏, 池 骋

(西安微电子技术研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要: 提出了一种 SATA 固态硬盘 Power Cycle 功能自动化测试方法, 用于验证 SATA 固态硬盘在上下电过程中数据完整性与安全性, 保证 SATA 固态硬盘在多种应用场景中都可以保持正常且高效的运行状态. 通过分析标准 SATA 协议与 ATA 命令集协议, 针对 SATA 固态硬盘 Power Cycle 工作流程, 在 DriveMaster 和 ULink Power Hub 软硬件平台基础上进行脚本编程, 对 SATA 固态硬盘 Power Cycle 功能进行自动化测试. 测试方法包含基于标准协议提炼出的测试流程图, 软件平台 DriveMaster 脚本编程和 DriveMaster 平台与 ULink Power Hub 硬件组件联动设置, 待测硬盘运行状况记录, 发生异常时运行环境记录, 测试结果汇总等内容. 为满足用户对 SATA 固态硬盘使用需求, 测试过程在经典用例"写入数据-下电-上电-读回比较"基础上, 为 SATA 固态硬盘制造多种不同写入压力, 模拟 SATA 固态硬盘真实使用场景, 从厂商角度保证 SATA 固态硬盘中数据完整性以及正确性.

关键词: SATA 固态硬盘; Power Cycle; DriveMaster; 自动化测试

中图分类号: TP333. 3; TP277

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2021)08-0040-05

An automated test method for power cycle function of SATA solid state drive

WANG Jing, ZHAO Yunpeng, CHI Cheng

(Xi'an Microelectronics Technology Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: An automated test method for Power Cycle function of SATA solid state drive (SSD) is proposed to verify the data integrity and safety of the SATA SSD in the process of power-on and power-off, and ensure that the SATA SSD can maintain normal and efficient operating state in various application scenarios. By analyzing the standard SATA protocol and focusing on the power cycle workflow of SATA SSD, the automatic test of SATA SSD Power Cycle function is carried out by scripting on the hardware and software platforms of DriveMaster and Ulink Power Hub. The test method includes the test flow chart extracted based on the SATA standard protocol, the software platform Drive Master script programming and the linkage setting of the Drive Master platform and the ULink Power Hub hardware components, the running status record of the device under test, the running environment record when an abnormality occurs, the test result summary, etc. To meet the user demand for SATA SSD, the test process is based on the classic use case "write data-power off-power on-read back and comparison" to create a variety of different writing pressures for SATA SSD, simulating the real use of SATA SSD Scenarios to ensure the integrity and correctness of the data in the SATA SSD from the manufacturer's perspective.

Key words: SATA SSD; Power Cycle; Drive Master; Automatic testing

1 引言

Power Cycle(电源循环)测试是常用的产品稳定性测试方法^[1]. 在 SATA SSD(Serial ATA Solid State Drive, 串行固态硬盘)的使用过程中, 主控芯片需要完成逻辑-物理地址转换、损耗均衡、垃圾回收等操作^[2], 并且频繁更新与这些操作相关的数据, 为了提升效率, 这些热数据将会存储在高速缓存器中, 下电后数据易丢失. SSD 的 Power Cycle 功能将高速缓存存储器中的数据存入非易失性存储中, 使得下电时数据不丢失, 保证了存储数据完整性.

本方法根据 SATA SSD 工作流程、SATA 标准协议和 ATA 命令集协议对 Power Cycle 功能进行测试. 测试系统由 DM(DriveMaster) 软件平台与 ULink Power Hub(设备电源管理中心, 也称为 Power Hub) 硬件设备构成. DM 为 SATA SSD 提供数据, 产生多种读写压力, Power Hub 提供自动化上下电过程, 将测试人员从频繁的手动上下电过程中解放出来, 并提供详细的测试日志以备查询.

2 测试系统搭建

2.1 Power Cycle 功能工作流程

SATA SSD 接口结构简单、支持热插拔, SATA 总线使用嵌入式时钟信号, 相比于机械硬盘, 具备了更强的纠错能力, 能对传输指令和数据进行检查, 并自动矫正^[3]. SATA SSD 作为数据存储和传输的重要媒介, 其基本机构框图如下图 1 所示.

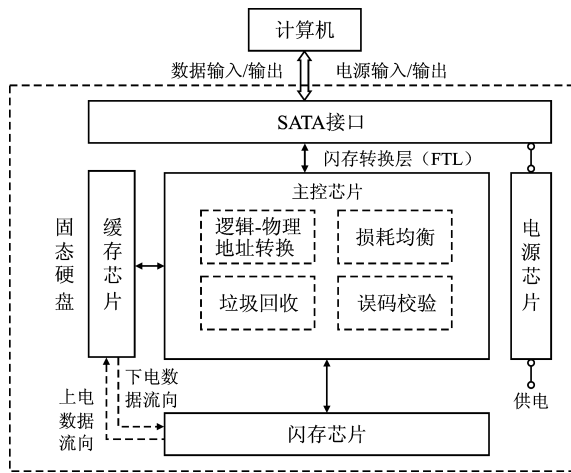


图 1 SATA SSD 基本结构

其中 SSD 主控芯片需要完成逻辑-物理地址转换、损耗均衡、垃圾回收等操作, 并且随着硬盘内存储数据的增多, 这类操作会变得愈加频繁. 如图 1 中

缓存芯片与闪存芯片之间的虚线箭头所示, Power Cycle 功能决定了在上下电过程中两者之间的数据流向. 在正常工作状态下, SSD 主控芯片会将更新频繁的数据存放在数据传输速率更高的高速缓存芯片中, 在下电前, 为了保证数据安全, Power Cycle 功能启动, 将易失性高速缓存中数据存储在非易失性的闪存芯片中, 再次上电后, Power Cycle 将闪存芯片中的数据恢复至高速缓存芯片中, 保证硬盘可以接续下电之前的状态, 防止用户数据丢失.

2.2 测试系统软件平台

本方法基于 DM 软件平台编程为 SATA SSD 模拟使用环境, 并且控制 Power Hub 为 SSD 创造上下电场景.

DM 支持 SATA 和 SAS 产品测试, 该软件获得了 SATA-IO 兼容性测试的批准^[4]. DM 支持使用 ATA 命令集中的命令操作码, 也提供一一对应的更为方便记忆与使用的标识符, 不仅方便针对单条命令的测试验证过程, 也为测试相关人员进行长时间与大数据量测试验证程序开发提供方便, 使得程序更具有可读性.

通用的硬盘测试工具有 FIO、IOmeter、AS SSD Benchmark、ATTO Disk Benchmark、Crystal Disk Mark、CrystalDiskInfo 和 HD Tune Pro. 这类常用工具通常通过计算机对硬盘施加不同读写压力来测试出硬盘的 IO 读写次数(IOPS)、带宽(Bandwidth)和延迟(Latency)等性能指标, 或者为用户提供硬盘健康诊断、监测硬盘工作温度、读取硬盘序列号等基本信息. 但是这些工具测试过程会受到文件系统和操作系统对数据包和 IO 口的传输设置影响, 继而影响测试结果.

DM 具有受到操作系统影响小的优势. DM 软件安装启动后会直接利用 Jungo Connectivity(Win-Driver 1200)驱动接管计算机 HBA(Host Bus Adapter, 总线适配器), 利用基于应用层的用户界面管理驱动程序, 通过调用驱动用户接口, 接管主机(Host)端 SATA 接口的权限, 主导并监控主机(Host)与被测设备 DUT(Device Under Test)之间的通信过程, 透明化 SATA 端口以及链路通信状况, 这样的工作方式使得测试人员有更多权限管理和观察整个测试过程.

2.3 测试系统硬件平台

测试过程中 SATA SSD 电源通断过程由 Power Hub 控制实现, 验证系统硬件框图如下图 2 所示.

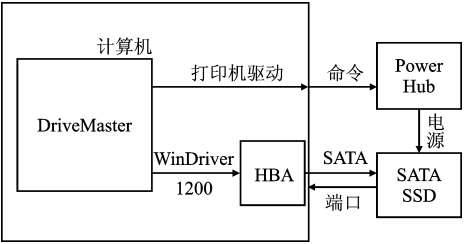


图 2 验证系统框图

在运行测试脚本的过程中,DM 通过专用 Jun-go Connectivity(WinDriver 1200)驱动接管计算机上的 SATA 接口与被测设备进行数据传输.并且通过打印机驱动给 Power Hub 下发上下电命令,Power Hub 接收到命令后,控制被测 SATA SSD 电源通断.

3 测试脚本程序设计

Power Cycle 功能是参考 SATA 标准协议和 ATA 命令集协议中电源管理特性集(Power Management Feature Set)进行开发的,以下三点为对标准协议的描述^[5-6]:

- (1)协议中硬盘通过进入 Standby 状态为上下电过程做准备,通过 STANDBY 命令结合定时器方式/STANDBY IMMEDIATE 命令控制硬盘进入 Standby(预备)状态;
- (2)协议中硬盘下电预备到下电需要等待时间;
- (3)协议中硬盘上电恢复到正常使用需要等待时间;

根据以上三点,在被测 SATA SSD 支持 Power Cycle 功能基础上,测试重点如下所列:

1)被测 SATA SSD 能否准确解析 STANDBY IMMEDIATE 命令,并正确执行,进入 Standby 状态,验证软件测试流程图如下图 3 所示:

其中测试主要分成两个分支,第一为被测设备能否正确识别并解析 STANDBY IMMEDIATE 命令,并在命令等待时间内做出响应,返回正确的信息;第二为对命令执行结果查询,接收到 STANDBY IMMEDIATE 命令后,通过发送 CHECK POWER MODE 更新并判断返回信息中表示被测设备状态寄存器值是否为正确,满足说明该设备进入 Standby 状态,否则被测设备命令执行有误;

2)被测 SATA SSD 能否在规定等待时间内完成下电预备动作,未完成过程对数据完整性与正确性有什么影响;

3)被测 SATA SSD 能否在规定时间内完成上

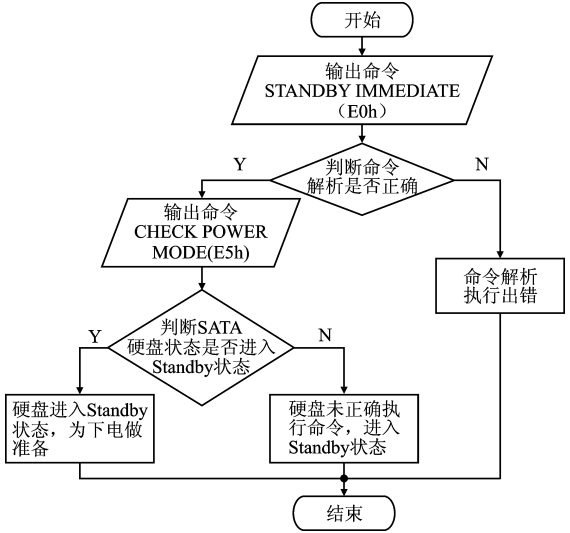


图 3 命令解析过程验证流程图

电恢复动作,此过程是否对数据完整性与正确性产生影响,2)、3)两点验证过程如图 4 所示:

4)完成上下电过程后,SATA SSD 是否可以接续下电前状态,完成数据请求及相关操作,验证过程如图 5 所示.由于 Power Cycle 过程涉及到逻辑地址与物理地址映射表、易失存储器中数据的存储,上电恢复后,接续下电前逻辑地址进行续写数据,并读取下电前与上电后写入数据进行比较,保证两部分数据皆正确无误,可表明上电后 SATA SSD 状态可以接续下电前状态并正常工作.

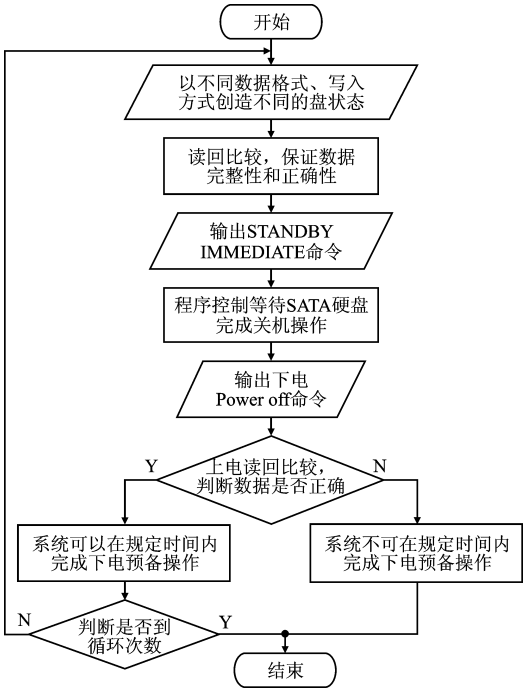


图 4 SATA SSD 上下电过程测试

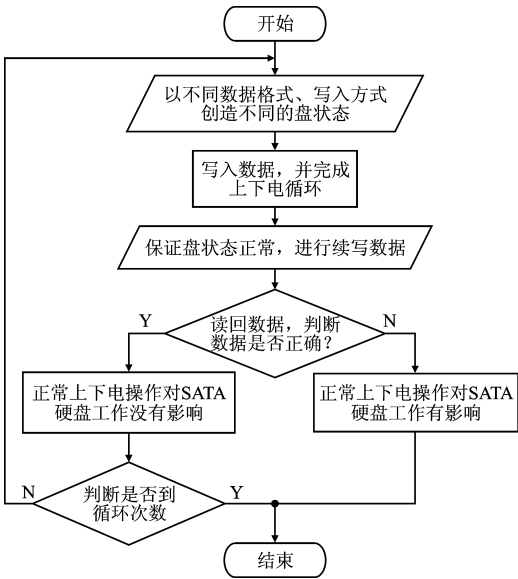


图 5 SATA SSD 上电后状态测试

脚本编程中使用控制 SATA SSD 的命令如下表 1 所示,控制 Power Hub 的命令如下表 2 所示^[6].

表 1 控制 SATA SSD 命令清单

命令	执行动作	ATA 命令 操作码	DM 标 识符
STANDBY IMMEDIATE	使设备进入下电预 备状态	E0h	STBI
CHECK POWER MODE	检查设备电源管理 状态	E5h	CKPW
READ DMA EXT	通过 DMA 方式读 取数据	25h	RDMX
WRITE DMA EXT	通过 DMA 方式写 入数据	35h	WDMX

表 2 控制 Power Hub 命令

命令	执行动作	DM 标识符
POWER OFF	命令 Power Hub 停止向被测设备供电	PWOF
POWER ON	命令 Power Hub 开始向被测设备供电	PWON

在图 4 和图 5 流程图中均提及“以不同数据块大小、写入方式来创造不同的硬盘状态”,这是由于随着硬盘进行多次数据存储、读取和擦除等动作后,硬盘性能会进入三种工作状态^[7]:全新盘(FOB, Fresh Out of Box)、转换状态(Transition)和稳定状态(Steady State),三种状态性能递减,脚本编程过程中以下表 3 提供参数进行组合为 Power Cycle 功能测试过程提供不同的硬盘工作状态,可以更加全面了解硬盘在执行 Power Cycle 时的稳定性,使得验证过程全面客观.

表 3 测试参数配置^[8-9]

测试参数	选项
逻辑地址变化方式	随机变化、顺序变化
数据块大小(byte)	512、1K-512K、1M-32M
读写方式	只读、只写、读写混合(按照预设读写比)
是否带有预处理	是(部分写、全盘写)、否(全新盘)

4 测试结果

利用本文方法对标准盘进行 1000 次上下电过程测试,得出以下结果并且输出测试日志:(SSD 型号: EXAT2P3512GM620I, 序列号: S512MR240031)

- 1)该型号 SATA 固态硬盘可以保证对
STANDBY IMMEDIATE/CHECK POWER
MODE 命令进行正确的响应与执行;
- 2)该型号 SATA 固态硬盘可以在规定时间内
完成下电预备动作和上电恢复工作,保持运行状态
正常;
- 3)该型号 SATA 固态硬盘经过上下电过程后
可以接续下电之前的状态,保证数据的完整性与正
确性.

利用本方法的自动化流程,避免了手动通断电源的测试步骤,有效节省人力成本,并且可以做到测试过程中时间参数的精确控制,下表 4 为人工测试与自动化测试所需要的人工参与总时间比较.

表 4 自动化测试与手动测试比较

测试方法	测试次数	上下电等待 时间(s)	人工参与 总时间(s)
自动化测试	1000	3	0
手动测试	1000	3	3000

5 结束语

本文提供了一种 SATA SSD Power Cycle 功能测试方法,具有以下特点:

- 1)灵活性,通用测试工具只能提供例如 IO 读
写次数(IOPS)、带宽(Bandwidth)和延迟(Laten-
cy)、硬盘健康信息等固定项目的测试,本方法支持
针对 SATA SSD 特性集或者功能的测试,还可以通
过脚本编程获取不同被测 SSD 的具体信息,灵活适
配不同被测 SATA SSD;
- 2)独立性,由于 DM 本身工作方式的特殊性,
本方法在测试过程中受到计算机操作系统影响小;
- 3)便捷性,本方法系统支持单条命令和脚本编

程两种方式进行测试,在出现异常情况时,可以利用单条命令进行测试验证或者获取设备状态;其次,本方法为自动化测试,可有效提升测试效率;

4)实用性,本方法可以通过编程为 SATA SSD 提供多种读写压力,贴近真实使用场景;

5)准确性,本方法采用自动化的测试方法,减少了人工开关电源和计时产生的误差;

未来本方法还可以通过增加脚本适配更多 SATA 标准协议与 ATA 命令集特性测试,满足测试人员对于 SATA SSD 更多性能指标或者功能测试需求,发挥自动化测试系统优势.

参考文献:

- [1] 夏念念,付宇卓. PC 主板 Power Cycle 的自动化测试[EB/OL]. 北京:中国科技论文在线(2013-10-06)[2020-10-16]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201310-55>.
XIA N N, FU Y Z. PC power cycle automatic testing[EB/OL]. Beijing: Sciencepaper Online(2013-10-06)[2020-10-16]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201310-55>.
- [2] 李鹏,刘凯,辛敏成,等. NAND 闪存固态硬盘空间环境效应分析及测试系统设计[J]. 航天器环境工程, 2018, 35(6): 581-587. DOI: 10.12126/see.2018.06.012.
LI P, LIU K, XIN M C, et al. Space environment analysis and testing system design for NAND-based solid state drives[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2018, 35(6): 581-587. DOI: 10.12126/see.2018.06.012.
- [3] 张宇. 固态硬盘中 SATA 接口控制器命令层的设计及验证[D]. 南京:南京理工大学, 2014. DOI: 10.7666/d.Y2520834.
ZHANG Y. Design and verification of the command

layer of SATA interface controller in solid state drive [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014. DOI: 10.7666/d.Y2520834.

- [4] PR NEWSWIRE. ULINK Announces DriveMaster 2012 Release in Flash Memory Summit 2012[EB/OL]. PR Newswire US, 2012(2012-08-20). <http://photos.prnewswire.com/prnh/20120820/SF59779LOGO>.
- [5] Serial ATA International Organization. Serial ATA Revision 3.1 specification gold revision[s]. Beaverton: SATA-IO, 2011.
- [6] Information Technology Industry Council. Information technology-ATA/ATAPI Command Set-3 (ACS-3) T13/2161-D Revision 5[S]. New York: American National Standards Institute, 2013.
- [7] SSDFans. 深入浅出 SSD: 固态存储核心技术、原理与实战[M]. 北京:机械工业出版社, 2018.
SSDFans. Speaking of SSD in a simple way: core technologies, principles and practice of solid-state storage [M]. Beijing: China Machine Press, 2018.
- [8] JEDEC Solid State Technology Association. JESD219A: Solid-state drive (SSD) endurance workloads[S]. Arlington: JEDEC Solid State Technology Association, 2012.
- [9] JEDEC Solid State Technology Association. JESD218B.01: Solidstate drive (SSD) requirements and endurance test method[S]. Arlington: JEDEC Solid State Technology Association, 2016.

作者简介:

王晶女,(1996-),硕士研究生.研究方向为计算机系统结构. E-mail: wangjing_f@qq.com

赵云鹏男,(1980-),硕士,研究员.研究方向为宇航用大容量固态存储器设计.

池骋男,(1987-),硕士,高级工程师.研究方向为星载存储系统研究.