

为16KB~512KB。数据是以页为单位读写的。只有在一页所属的块整个被擦除之后,才能写这一页(通常是指该块中的所有位都被设置为1)。不过,一旦一个块被擦除了,块中每一个页都可以不需要再进行擦除就写一次。在大约进行100 000次重复写之后,块就会磨损损坏。一旦一个块磨损损坏之后,就不能再使用了。

读		写	
顺序读吞吐量	550MB/s	顺序写吞吐量	470MB/s
随机读吞吐量 (IOPS)	89 000 IOPS	随机写吞吐量 (IOPS)	74 000 IOPS
随机读吞吐量 (MB/s)	365MB/s	随机写吞吐量 (MB/s)	303MB/s
平均顺序读访问时间	50 μ s	平均随机写访问时间	60 μ s


图 6-14 一个商业固态硬盘的性能特性

资料来源: Intel SSD 730 产品规格书[53]。IOPS 是每秒 I/O 操作数。吞吐量数量基于 4KB 块的读写

随机写很慢,有两个原因。首先,擦除块需要相对较长的时间,1ms 级的,比访问页所需时间要高一个数量级。其次,如果写操作试图修改一个包含已经有数据(也就是不是全为1)的页 p ,那么这个块中所有带有有用数据的页都必须被复制到一个新(擦除过的)块,然后才能进行对页 p 的写。制造商已经在闪存翻译层中实现了复杂的逻辑,试图抵消擦写块的高昂代价,最小化内部写的次数,但是随机写的性能不太可能和读一样好。

比起旋转磁盘,SSD 有很多优点。它们由半导体存储器构成,没有移动的部件,因而随机访问时间比旋转磁盘要快,能耗更低,同时也更结实。不过,也有一些缺点。首先,因为反复写之后,闪存块会磨损,所以 SSD 也容易磨损。闪存翻译层中的平均磨损(wear leveling)逻辑试图通过将擦除平均分布在所有的块上来最大化每个块的寿命。实际上,平均磨损逻辑处理得非常好,要很多年 SSD 才会磨损损坏(参考练习题 6.5)。其次,SSD 每字节比旋转磁盘贵大约 30 倍,因此常用的存储容量比旋转磁盘小 100 倍。不过,随着 SSD 变得越来越受欢迎,它的价格下降得非常快,而两者的价格差也在减少。

在便携音乐设备中,SSD 已经完全的取代了旋转磁盘,在笔记本电脑中也越来越多地作为硬盘的替代品,甚至在台式机和服务器中也开始出现了。虽然旋转磁盘还会继续存在,但是显然,SSD 是一项重要的替代选择。

 **练习题 6.5** 正如我们已经看到的,SSD 的一个潜在的缺陷是底层闪存会磨损。例如,图 6-14 所示的 SSD,Intel 保证能够经得起 128PB(128×10^{15} 字节)的写。给定这样的假设,根据下面的工作负载,估计这款 SSD 的寿命(以年为单位):

- 顺序写的最糟情况:以 470MB/s(该设备的平均顺序写吞吐量)的速度持续地写 SSD。
- 随机写的最糟情况:以 303MB/s(该设备的平均随机写吞吐量)的速度持续地写 SSD。
- 平均情况:以 20GB/天(某些计算机制造商在他们的移动计算机工作负载模拟测试中假设的平均每天写速率)的速度写 SSD。

6.1.4 存储技术趋势

从我们对存储技术的讨论中,可以总结出几个很重要的思想:

不同的存储技术有不同的价格和性能折中。SRAM 比 DRAM 快一点,而 DRAM 比磁盘要快很多。另一方面,快速存储总是比慢速存储要贵的。SRAM 每字节的造价比 DRAM 高,DRAM 的造价又比磁盘高得多。SSD 位于 DRAM 和旋转磁盘之间。

不同存储技术的价格和性能属性以截然不同的速率变化着。图 6-15 总结了从 1985 年