



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101477492 B

(45) 授权公告日 2010.12.29

(21) 申请号 200910060632.6

(22) 申请日 2009.01.21

(73) 专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037 号

(72) 发明人 周功业 陈进才 李涛 侯冰剑
卢萍

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201

代理人 曹葆青

(51) Int. Cl.

G06F 12/02 (2006.01)

G11C 29/00 (2006.01)

审查员 王静

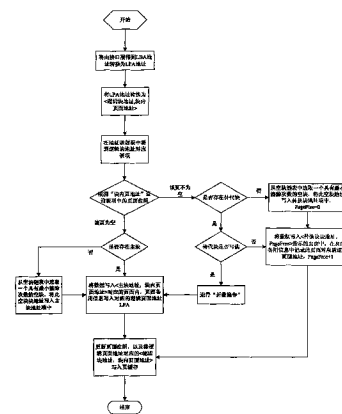
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种用于固态硬盘的循环重写闪存均衡方法

(57) 摘要

本发明提供一种用于固态硬盘的循环重写闪存均衡方法,在每次写操作时将新数据写入到最少被使用的物理块中,称这个物理块为主块,当要更新此数据时,则将更新的数据写入另一个新物理块里,此物理块称为替换块。当替换块被写满时,就将主块和替换块里的有效数据搬迁到一个新的物理块里,这个新的物理块就是新的主块,将原主块和原替换块链入垃圾块链中。这样就可以达到整个固态硬盘存储介质的均衡损耗,保证写入数据选择数据块时各块的擦除次数均衡,从而延长固态硬盘的使用寿命。



1. 一种用于固态硬盘的循环重写闪存均衡方法,其特征在于,固态硬盘中设有固定保留块,在其内部建有空块链表、垃圾块链表和地址映射表,地址映射表含有 n 个地址映射表项,每一表项包含的信息有逻辑块地址以及该逻辑块地址对应的页面位图信息、主块的物理地址和替换块的物理地址, $1 < n <$ 实际物理块总数,固态硬盘启动时将上述三表读入内存,该方法包括对固态硬盘的写操作和读操作,具体如下:

写操作:

(101) 固态硬盘将写操作命令的逻辑扇区地址转换为逻辑页面地址,将待写入数据暂存于缓存区中;

(102) 将逻辑页面地址分解为逻辑块地址和块内页地址;

(103) 在地址映射表中搜索逻辑块地址对应的地址映射表项 S ,若地址映射表项 S 的页面位图信息表明块内页地址对应的页面为空,进入步骤 (108),否则进入步骤 (104);

(104) 若地址映射表项 S 的替换块为空,则从空块链表中选取当前擦除次数最少的空块作为替换块,更新地址映射表项 S ,进入步骤 (106);否则进入步骤 (105);

(105) 若地址映射表项 S 的替换块未写满,进入步骤 (106),否则进入步骤 (107);

(106) 将待写入数据写入地址映射表项 S 的替换块的空页面,在该空页面的备用空间中记录逻辑页面地址,进入步骤 (111);

(107) 从空块链表中选取当前擦除次数最少的空块,将地址映射表项 S 的主块和替换块中有效页面的数据写入新选取的空块,将主块和替换块擦除后链入垃圾块链表中,将新选取的空块作为主块,替换块置为空,更新地址映射表项 S ,进入步骤 (110);替换块的有效页面是指该页面与替换块中其它记录有相同逻辑页面地址的页面相比,在时间为最近一次写入数据的页面;主块的有效页面是指主块中有数据的页面,并且这些页面与替换块有效页面记录的逻辑页面地址不相同;

(108) 若地址映射表项 S 的主块为空,进入步骤 (109),否则进入步骤 (110);

(109) 从空块链表中选取当前擦除次数最少的空块作为主块,更新地址映射表项 S ;

(110) 将待写入数据写入地址映射表项 S 的主块的块内页地址对应页面中,在该页面的页面备用空间中记录逻辑页面地址;

(111) 更新地址映射表项 S 的页面位图信息,将所述逻辑页面地址及其对应的〈物理块地址,块内页地址〉写入页面缓存,物理块地址是指当前写入数据的主块或替代块的物理地址;

读操作:

(201) 固态硬盘将读操作命令的逻辑扇区地址转换为逻辑页面地址;

(202) 将逻辑页面地址分解为逻辑块地址和块内页地址;

(203) 在地址映射表搜索读逻辑块地址对应的地址映射表项 T ,若表项 T 的页面位图信息表明块内页地址对应的页面为空,则读操作为非法操作,结束;否则进入步骤 (204);

(204) 查询页面缓存,若其存在与读操作命令相同的逻辑页面地址,则从逻辑页面地址对应的〈物理块地址,块内页地址〉对应的地址中读出数据,结束;否则,进入步骤 (205);

(205) 若表项 T 表明替换块不为空,则进入步骤 (206),否则进入步骤 (207);

(206) 对替换块的页面遍历搜索,如果存在某页面,它的页面备用空间记录的逻辑页面地址与读操作命令的逻辑页面地址相同,且是记录该逻辑页面地址的所有页面中最近一次

有写操作的页面, 则从该页面读出数据, 结束; 否则进入步骤 (207);

(207) 从表项 T 指定的主块的块内页地址对应的页面中读出数据, 结束; 随着读写操作的不断进行, 固态硬盘可用空块数量将不断减少, 如果空块数量减少到某个阈值, 则从垃圾块链里选取部分或全部垃圾块, 将这些垃圾块擦除后, 链入空块链表中。

一种用于固态硬盘的循环重写闪存均衡方法

技术领域

[0001] 本发明属于计算机存储设备技术领域,具体涉及一种固态硬盘的读写方法。

背景技术

[0002] 固态硬盘 (Solid State Disk, SSD) 是基于固态电子存储芯片阵列的硬盘,其接口规范、功能及使用方法与普通硬盘完全相同,在产品外形和尺寸上也完全与普通硬盘一致,包括 3.5 英寸,2.5 英寸,1.8 英寸多种类型。固态硬盘由于没有普通硬盘的盘片、磁头等机械运动,因而抗震性极佳,能耗低,同时工作温度很宽,扩展温度的电子硬盘可工作在 $-45^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ 的温度范围。它可广泛应用于军事、车载、工控、视频监控、电力、医疗、航空、导航等领域,特别在数字移动设备中有很好的应用前景。

[0003] 固态硬盘主要有以下特点:第一,数据存取速度快。第二,防震抗摔。因为全部采用了闪存芯片 (NAND FLASH),所以固态硬盘内部不存在任何机械部件,这样即使在高速移动甚至伴随翻转倾斜的情况下也不会影响到正常使用,如与传统硬盘相比,采用固态硬盘的笔记本电脑在发生意外掉落或与硬物碰撞时可以降低数据丢失的几率。第三,工作时静音、发热量小、散热快。固态硬盘因为没有马达和风扇,工作时几乎无噪音。第四,固态硬盘重量更轻,与同尺寸的常规硬盘相比,2.5 英寸的固态硬盘重量减少 100-120 克,重量的降低有利于移动设备的携带。

[0004] 由于普遍采用闪存芯片作为存储单元,固态硬盘继承了 NAND FLASH 存储器独特的硬件特性。NAND Flash 芯片一般包含若干块,每块包括若干页,一页包含数据存储区和备用区。一般来说,根据闪存芯片的容量大小,对其按大页或小页两种形式进行不同的分页,128MB 以下容量 NAND Flash 芯片的一页大小为 512 字节,用来存放数据,每一页还有 16 字节的备用空间 (Spare Data),充当 OOB (Out Of Band) 区域,用来存储一些额外信息,而在一些大容量的 NAND Flash 芯片里,一页的大小为 2KB,用来存放数据,此外每页还有 64 字节的备用空间。若干页组成一个块,通常一块为 32 页。对闪存芯片的读取和写入以页为单位,擦除以块为单位。在要改写闪存芯片某个块内的内容时,即使要改写一个页,也要先进行整个块的擦除操作,然后再进行新数据的写入。即 NAND Flash 芯片不支持“原地更新”,它不能对特定位置(如一页)的数据进行重写更新,除非将此页对应的块进行擦除,才能再对该页执行写入操作。这种擦除操作耗时、耗能,并且会使系统的性能下降。另外,通常写操作比读操作要慢,而擦除操作比写操作还要慢很多,还有对同一数据块的擦除次数是有限的 (SLC 闪存芯片一块的最大擦除次数约为 1 万次,MLC 闪存芯片每块的平均最大擦除次数约为 10 万次),超出规定的擦除次数某些块就会提前损坏。FLASH 存储器的这些硬件特性严重影响了固态硬盘的存取速度、寿命和可靠性等主要性能指标。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种用于固态硬盘的循环重写闪存均衡方法,提高固态硬盘数据访问速度,延长固态硬盘的使用寿命。

[0006] 一种固态硬盘的循环重写闪存均衡方法,其特征在于,固态硬盘中设有固定保留块,在其内部建有空块链表、垃圾块链表和地址映射表,地址映射表含有 n 个地址映射表项,每一表项包含的信息有逻辑块地址以及该逻辑块地址对应的页面位图信息、主块的物理地址和替换块的物理地址, $1 < n <$ 实际物理块总数,固态硬盘启动时将上述三表读入内存,该方法包括对固态硬盘的写操作和读操作,具体如下:

[0007] 写操作:

[0008] (101) 固态硬盘将写操作命令的逻辑扇区地址转换为逻辑页面地址,将待写入数据暂存于缓存区中;

[0009] (102) 将逻辑页面地址分解为逻辑块地址和块内页地址;

[0010] (103) 在地址映射表中搜索逻辑块地址对应的地址映射表项 S ,若地址映射表项 S 的页面位图信息表明块内页地址对应的页面为空,进入步骤 (108),否则进入步骤 (104);

[0011] (104) 若地址映射表项 S 的替换块为空,则从空块链表中选取当前擦除次数最少的空块作为替换块,更新地址映射表项 S ,进入步骤 (106);否则进入步骤 (105);

[0012] (105) 若地址映射表项 S 的替换块未写满,进入步骤 (106),否则进入步骤 (107);

[0013] (106) 将待写入数据写入地址映射表项 S 的替换块的空页面,在该空页面的备用空间中记录逻辑页面地址,进入步骤 (111);

[0014] (107) 从空块链表中选取当前擦除次数最少的空块,将地址映射表项 S 的主块和替换块中有效页面的数据写入新选取的空块,将主块和替换块擦除后链入垃圾块链表中,将新选取的空块作为主块,替换块置为空,更新地址映射表项 S ,进入步骤 (110);替换块的有效页面是指该页面与替换块中其它记录有相同逻辑页面地址的页面相比,在时间上为最近一次写入数据的页面;主块的有效页面是指主块中有数据的页面,并且这些页面与替换块有效页面记录的逻辑页面地址不相同;

[0015] (108) 若地址映射表项 S 的主块为空,进入步骤 (109),否则进入步骤 (110);

[0016] (109) 从空块链表中选取当前擦除次数最少的空块作为主块,更新地址映射表项 S ;

[0017] (110) 将待写入数据写入地址映射表项 S 的主块的块内页地址对应页面中,在该页面的页面备用空间中记录逻辑页面地址;

[0018] (111) 更新地址映射表项 S 的页面位图信息,将所述逻辑页面地址及其对应的〈物理块地址,块内页地址〉写入页面缓存,物理块地址是指当前写入数据的主块或替代块的物理地址;

[0019] 读操作:

[0020] (201) 固态硬盘将读操作命令的逻辑扇区地址转换为逻辑页面地址;

[0021] (202) 将逻辑页面地址分解为逻辑块地址和块内页地址;

[0022] (203) 在地址映射表搜索读逻辑块地址对应的地址映射表项 T ,若表项 T 的页面位图信息表明块内页地址对应的页面为空,则读操作为非法操作,结束;否则进入步骤 (204);

[0023] (204) 查询页面缓存,若其存在与读操作命令相同的逻辑页面地址,则从逻辑页面地址对应的〈物理块地址,块内页地址〉中读出数据,结束;否则,进入步骤 (205);

[0024] (205) 若表项 T 表明替换块不为空,则进入步骤 (206),否则进入步骤 (207);

[0025] (206) 对替换块的页面遍历搜索, 如果存在某页面, 它的页面备用空间记录的逻辑页面地址与读操作命令的逻辑页面地址相同, 且是记录该逻辑页面地址的所有页面中最近一次有写操作的页面, 则从该页面读出数据, 结束; 否则进入步骤 (207);

[0026] (207) 从表项 T 指定的主块的块内页地址对应的页面中读出数据, 结束。

[0027] 本发明的技术效果体现在:

[0028] 在现有的闪存写数据方法中, 通常将本次写操作的目的块中的要写入的新数据和旧数据搬迁进一个空白的交换块, 在这种方法中, 每次写操作都要搬迁数据, 完成写操作后又擦除目的块, 而本发明在每次写操作时将新数据写入到擦除次数最少的物理块 (主块) 中, 进而使各个物理块的擦除次数趋向均匀, 实现了负载均衡; 在更新数据时, 将数据写入到替换块中从而不用每次写操作后都要擦除目的块, 减少了总的擦除次数, 主块和替换块循环使用, 从而减少了发生数据搬迁的可能性并将地址映射表放在内存中运行, 采用页面位图以及页面缓存方法故相比现有的闪存写数据方法在总体上提高了数据存取速度, 延长了固态硬盘的使用寿命。

附图说明

[0029] 图 1 是空块链表以及垃圾块链表的结构示意图。

[0030] 图 2 是地址映射表的结构以及工作原理图。

[0031] 图 3 是固态硬盘写操作流程图。

[0032] 图 4 是固态硬盘读操作流程图。

具体实施方式

[0033] 本发明采用的存储管理方法, 主要包括损耗均衡方法, 垃圾回收方法和地址转换方法。

[0034] 损耗均衡方法首先在固态硬盘内存中建立空块链表, 并将空块按擦除次数排序, 在每次写操作时将新数据写入到最少被使用的物理块中, 我们称这个物理块为主块, 当要更新此数据时, 则将更新的数据写入另一个新物理块里, 此物理块称为替换块。当替换块被写满时, 就将主块和替换块里的有效数据搬迁到一个新的物理块里, 这个新的物理块就是新的主块, 将原主块和原替换块链入垃圾块链中。这样就可以达到整个固态硬盘存储介质的均衡损耗, 保证写入数据选择数据块时各块的擦除次数均衡, 从而延长固态硬盘的使用寿命。

[0035] 垃圾回收方法在当系统中的空块数量达到一定的阈值时, 从垃圾块链中选取若干垃圾块, 将这些垃圾块擦除后链入空块链中, 从而可以节省存储空间。

[0036] 地址转换方法将硬件接口层得到的逻辑扇区地址 (Logical Block Addressing, LBA) 转换为 Flash 存储器以页为单位的逻辑页面地址上, 再由逻辑页面地址经地址映射后转换为物理页面地址。

[0037] 为实现以上方法, 本发明采用以下技术方案:

[0038] 首先在固态硬盘内存中建立空块链表和垃圾块链表, 空块链表按空块的擦除次数排序, 并且保存各个空块的物理地址, 垃圾块链表在系统初始化时为空。当固态硬盘关闭时, 将空块链表和垃圾块链表存入闪存芯片的固定保留区块中, 以方便下次固态硬盘系统重启时

在内存中重建以上链表。

[0039] 在固态盘的存储管理方法中, 固态盘从硬件接口层接收到的是逻辑扇区地址 (LBA), 在磁盘中, 一个扇区的大小是 512 个字节, 所以 LBA 地址是操作系统针对磁盘的结构而给出的, 但是一般闪存芯片的读写操作最小单位是页, 而一页一般为 512 字节或 2048 字节, 所以固态盘里进行读写操作时必须先将操作系统给出的 LBA 地址转换为以闪存页为单位的逻辑页面地址 (LPA)。当闪存页面大小是 512 字节大小时, LBA 无须改动直接转换为 LPA。当闪存页面大小是 2048 字节时, 写操作时, 将数据放在缓存中, 直到拼够一个页面, 再将 LBA 地址右移 2 位即为 LPA 地址, 如在缓存的数据没有拼够一个页面时有读操作, 就将数据送向硬件接口层, 完成读操作, 而如果在固态盘关闭时或缓存中数据被替换时, 缓存中的数据仍不能拼成一个页面, 就将 LBA 地址右移 2 位即为 LPA 地址, 根据后述地址映射机制, 将数据写入相应的物理页面的有效数据区, 并在备用空间标志有效数据段。读操作时, 先到缓存中查看是否有数据, 有则读出, 没有则将 LBA 地址右移 2 位即为 LPA 地址, 根据 LPA 地址完成读操作。

[0040] 另外, 本发明采用地址映射表来实现从逻辑页面地址到物理页面地址的转换。地址映射表保存在闪存的一个固定的保留区块中, 在固态盘启动时, 读入到内存中, 之后每次修改都在内存中进行, 在固态盘关闭时再写入所述的保留区块中。地址映射表中的一个表项包含主块的物理地址、主块的擦除次数和替换块的物理地址、替换块的擦除次数以及一些其他的信息 (如逻辑块使用状况位图), 每个表项都对应于一个虚拟块。逻辑页面地址可被分为逻辑块地址和块内页面地址, 这是根据具体使用的闪存芯片包含的块数目以及一个块所包含的页面数目来计算确定的。

[0041] 在写新数据时, 根据地址映射表, 如还没有分配物理块, 则从空块链表中选取擦写次数最少的块, 将其作为主块并将其物理地址写入地址映射表中该逻辑块地址对应的表项中, 在主块的相应页面写入数据。当要更新数据时, 查看地址映射表中是否存在替换块, 如果没有就从空块链表中选取一个空块作为替换块, 将新数据写入替换块中。如果替换块写满后, 将替换块和主块中的有效页面写入一个从空块链表新分配的空块中, 将此空块作为该逻辑块地址对应的主块, 并将原主块和原替换块链入垃圾块链表中, 此操作被称为折叠操作。替换块的有效页面是指该页面与替换块中其它记录有相同逻辑页面地址的页面相比, 在时间上为最近一次写入数据的页面。主块中的有效页面是指主块中有数据的页面去掉与替换块有效页面的逻辑页面地址相同的页面后剩下的页面, 即主块的有效页面记录的数据是未更新的。

[0042] 在读操作中, 根据逻辑块地址查地址映射表, 检查表项中是否存在替换块地址, 如果存在, 则从替换块末尾页面开始倒序遍历整个替换块, 如果在替换块中找不到目的页面时, 则读取主块中的相应页面。如地址映射表表项中无替换块地址, 则直接在主块中读取相应页面。

[0043] 进一步地, 随着读写操作的不断进行, 固态盘可用空块数量将不断减少, 如果空块数量减少到某个阈值如全部物理块总数的 10% 时, 就要使用垃圾回收线程从垃圾块链里选取部分或全部垃圾块, 将这些垃圾块擦除后, 链入空块链表中。

[0044] 进一步地, 为了提高数据访问速度, 本发明提出页面位图和页面缓存方法。页面位图和页面缓存存放于固态盘的内存中, 故可以避免在读写操作时过多的访问闪存页面的

备用信息。在没有采用页面位图方法时,会出现两种需要访问闪存页面备用信息的情况:

1. 每次写操作都要访问页面备用信息以决定是在主块写入数据还是在替换块写入数据。
2. 在读操作时访问页面备用信息以判断此次读操作是不是一次非法操作。采用页面位图时,用一个比特位来标识一个逻辑块里的某个页面,是否已经被写过,这样可以在读写数据时直接查看内存中的页面位图,而不用读取闪存的页面备用空间就能得到闪存块内有效页面的分布情况。页面缓存的原理是将最近访问的闪存的逻辑页面地址以及其对应的物理块地址和块内页面地址一起存入内存中的页面缓存中,从而可以减少对闪存页面备用信息的访问。

[0045] 下面结合附图和实例对本发明作进一步详细的说明。

[0046] 在本发明的具体实施方案中,首先在固态硬盘启动时通过读取闪存固定的保留块,在内存中重建空块链表和垃圾块链表。如图 1 中空块链表 1 具体描述了空块链表的结构,节点结构 2 包括若干个字段,如块地址字段,它标识了此节点所标识的物理块的块地址;擦除次数字段,它表示了该物理块的擦除次数;后续地址段,它指向了下一个节点结构;此外还可以根据具体需要自定义一些字段内容。图 1 中垃圾块链表 3 具体描述了垃圾链表的结构,垃圾链表由若干节点串联而成。垃圾块链表中的节点结构 4 与空块链表节点结构相同。同时,在固态硬盘启动时,从闪存的固定保留区块读取地址映射表至内存中。地址映射表的结构以及映射原理如图 2 所示,地址映射表具有的表项 5 个数应小于一个闪存芯片具有的总块数,假设一个闪存芯片具有 8192 个块(Block),则地址映射表具有 8191 个表项,表项编号与逻辑块地址相对应。表项结构 6 包括页面位图字段 page bitmap,主块地址字段 Primary Block Address,主块擦除次数字段 Primary Block Erasure Times 替换块地址字段 Replace Block Address(当不存在替换块时,该字段为 Null),替换块擦除次数字段 Replace Block Erasure Times。为建立逻辑页地址和物理页地址的映射关系,在每个物理页的页面备用空间 7 处写入与此物理页对应的逻辑页地址。建立本发明实施方案所必须的数据结构后,下一步将详细说明本发明对于固态硬盘读写操作的实现过程。

[0047] 如图 3 所示为固态硬盘写操作流程。进一步地,介绍写操作的具体步骤:

[0048] 1. 固态硬盘通过缓存机制将从其接口层得到的 LBA 地址转换为基于页的 LPA 地址,并将待写入数据存储于缓冲区。假设一页包含 2048 字节的有效数据和 64 字节的备用信息。首先将数据放在缓存中,直到拼够一个页面,再将 LBA 地址右移 2 位即为 LPA 地址,而如果在固态硬盘关闭或缓存中的数据被替换时时,缓存中的数据仍不能拼成一个页面,就将 LBA 地址右移 2 位即为 LPA 地址,根据后述地址映射机制,将数据写入相应的物理页面的有效数据区,并在备用空间标志有效数据段。

[0049] 2. 将逻辑页面地址 LPA 分解为逻辑块地址与块内页地址。例如,假设闪

[0050] 存包含 8192 个块,每个块包含 128 页, $LPA = 0x101(257)$, 则逻辑块地址为 2,块内页地址为 1。

[0051] 3. 在地址映射表中搜索与逻辑块地址对应的地址映射表项。

[0052] 4. 查询此地址映射表项的页面位图,以确定该页是否已经写入信息。如果该页为空,执行步骤 5。如果该页不为空,则说明此次,操作为更新操作。下一步根据表项中的替换块字段对应信息判断是否已经存在替换块。如果不存在替换块,则从空块链表中选取具有最小擦除次数的空块,将其物理块地址写入替换块地址字段中,将此空块的擦除次数写入

替换块的擦除次数字段中；如果已经存在替换块且替换块未写满就将数据写入〈替换块地址，PageFree〉指示的页面中，在此页面的备用信息中记录此页面对应的逻辑页面地址，然后执行步骤 7，PageFree 指向替换块内首个空页面，如果替换块写满就要进行“折叠操作”即将替换块和主块中的有效页面写入一个新空块，将原替换块和原主块链入垃圾链，然后执行步骤 6。在本实施例中替换块的有效页面可通过对替换块的页面倒序搜索得到，它对应的逻辑页地址在倒序搜索过程中第一次出现，其页面记录的数据为最新更新数据。

[0053] 检查是否存在主块，如果存在的话，执行步骤 6。如果不存在主块，则从空块链表中选取具有最小擦除次数的空块，将其地址写入主块地址字段中，将此空块的擦除次数写入主块的擦除次数字段中，执行步骤 6。

[0054] 5. 将数据写入〈主块地址，块内页面地址〉对应的页面内，在该页面的

[0055] 页面备用空间写入对应的逻辑页面地址 LPA。

[0056] 6. 更新表项的页面位图字段信息，以及将逻辑页面地址及其对应的〈物理块地址，块内页面地址〉写入页缓存，写操作结束。

[0057] 如图 4 所示为读操作流程，下面将详细说明读操作步骤：

[0058] 当闪存页面大小为 2048 字节，待写入数据首先放在缓存区中，直到拼够一个页面才进行芯片写入。读操作时，首先在缓存区中查看是否有对应页面数据，若有则直接从缓存区读出数据送向硬件接口。否则，按照以下步骤完成读操作：

[0059] 1. 固态硬盘通过缓存机制将从其接口层得到的 LBA 地址转换为基于页的 LPA 地址。

[0060] 2. 将逻辑页面地址 LPA 分解为逻辑块地址与块内页地址。

[0061] 3. 在地址映射表中查询与逻辑块地址对应的地址映射表项。

[0062] 4. 查询地址映射表项的页面位图字段，如果其表明该页存在，执行步骤

[0063] 5，如果该页不存在则发出非法访问信号，读操作结束。

[0064] 5. 查看页面缓存，如果存在与读操作相同的逻辑页面地址，从页面缓存记录的逻辑页面地址对应的〈块地址，块内页地址〉地址中读出数据，读操作结束；如果未命中，检查是否存在替换块，如果存在替换块就从替换块的有效页面开始倒序遍历各页，如果找到目的页面则读操作结束，否则执行步骤 6，如果不存在替换块则直接执行步骤 6。

[0065] 6. 读取〈主块地址，块内页面地址〉对应的页面，读操作结束。此外，随着读写操作的不断进行，空块链表中的空块数量可能低于预先制定的某阈值（如全部物理块总数的 10%），此时需要将垃圾链表中的垃圾块全部或部分擦除。如果垃圾链表已经全部清空后，空块数量仍然低于阈值，则扫描整个地址映射表，对于存在主块和替换块的表项，将主块和替换块的有效页面写入内存的一个缓冲区，再将两物理块擦除，将物理块地址同地址映射表表项中记录的物理块擦除次数更新后写入新建节点中链入空块链表，再从空块链表中寻找一个具有最小擦除次数的空块，将缓冲区中数据写入，此空块的块地址以及空块擦除次数写入表项的相应字段中。

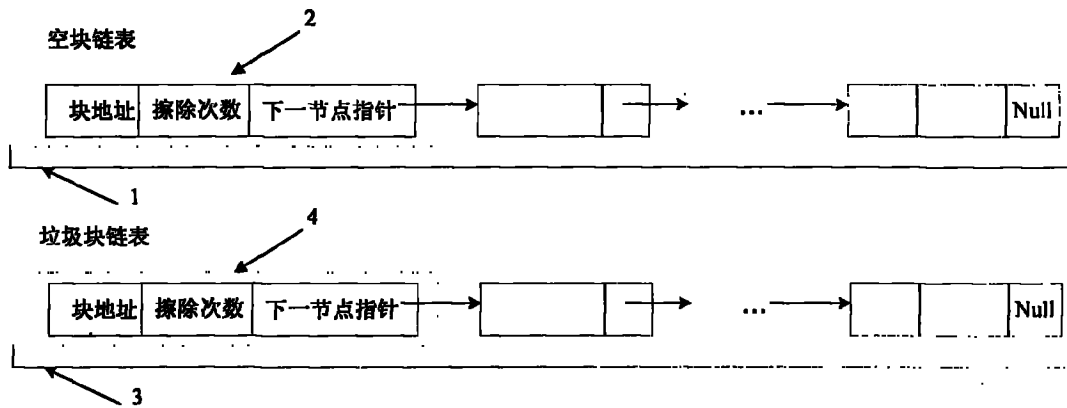


图 1

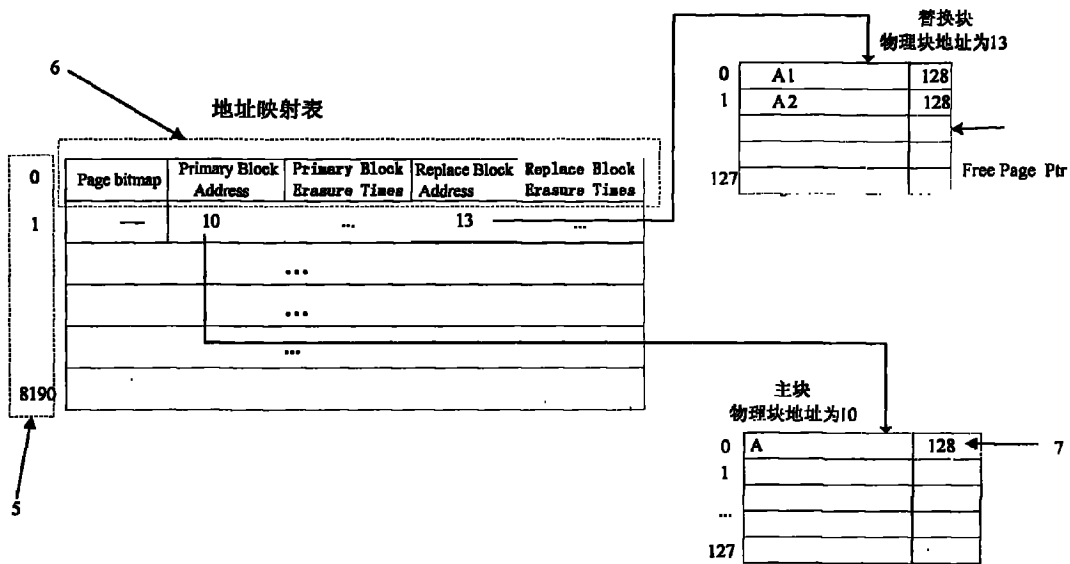


图 2

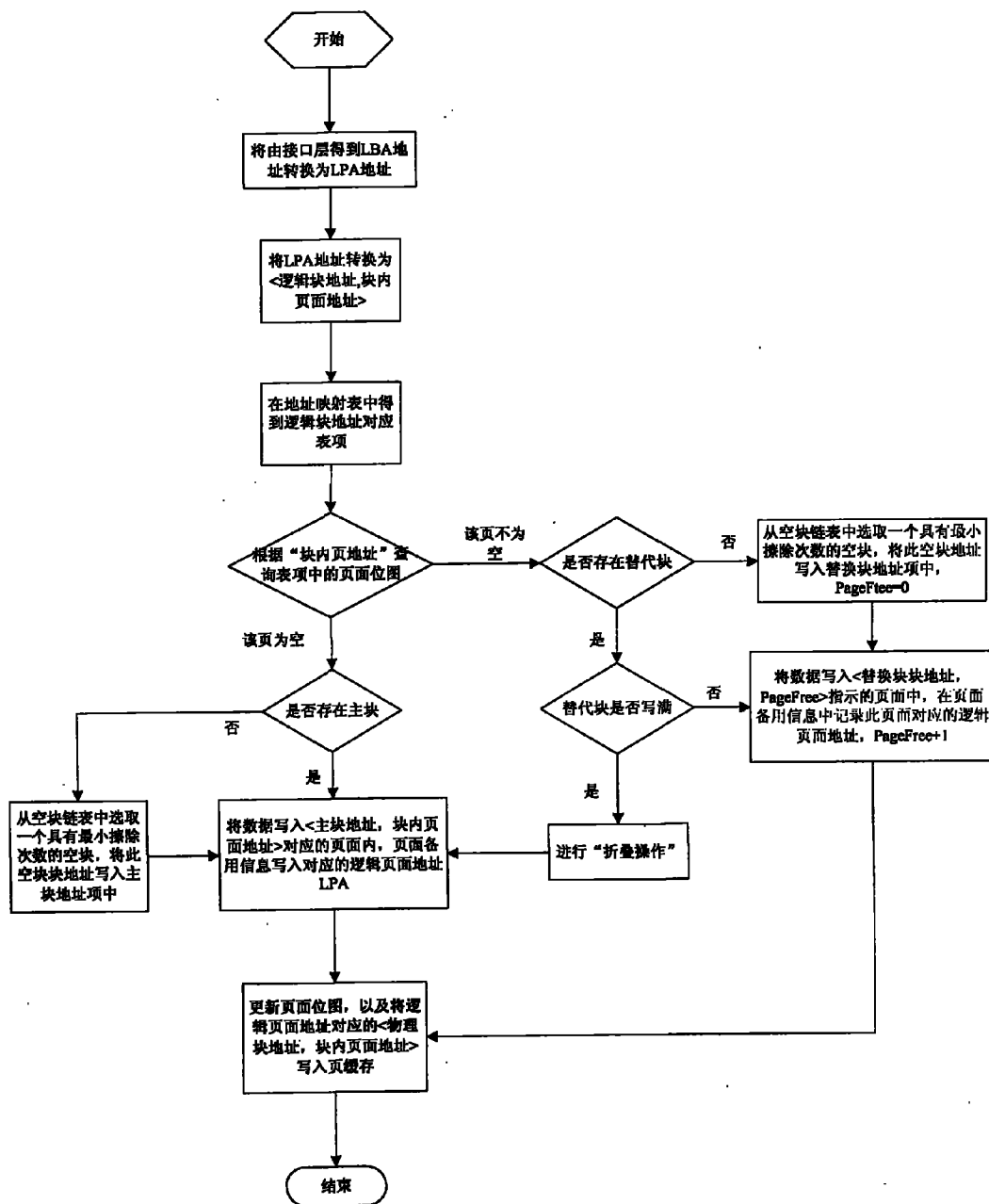


图 3

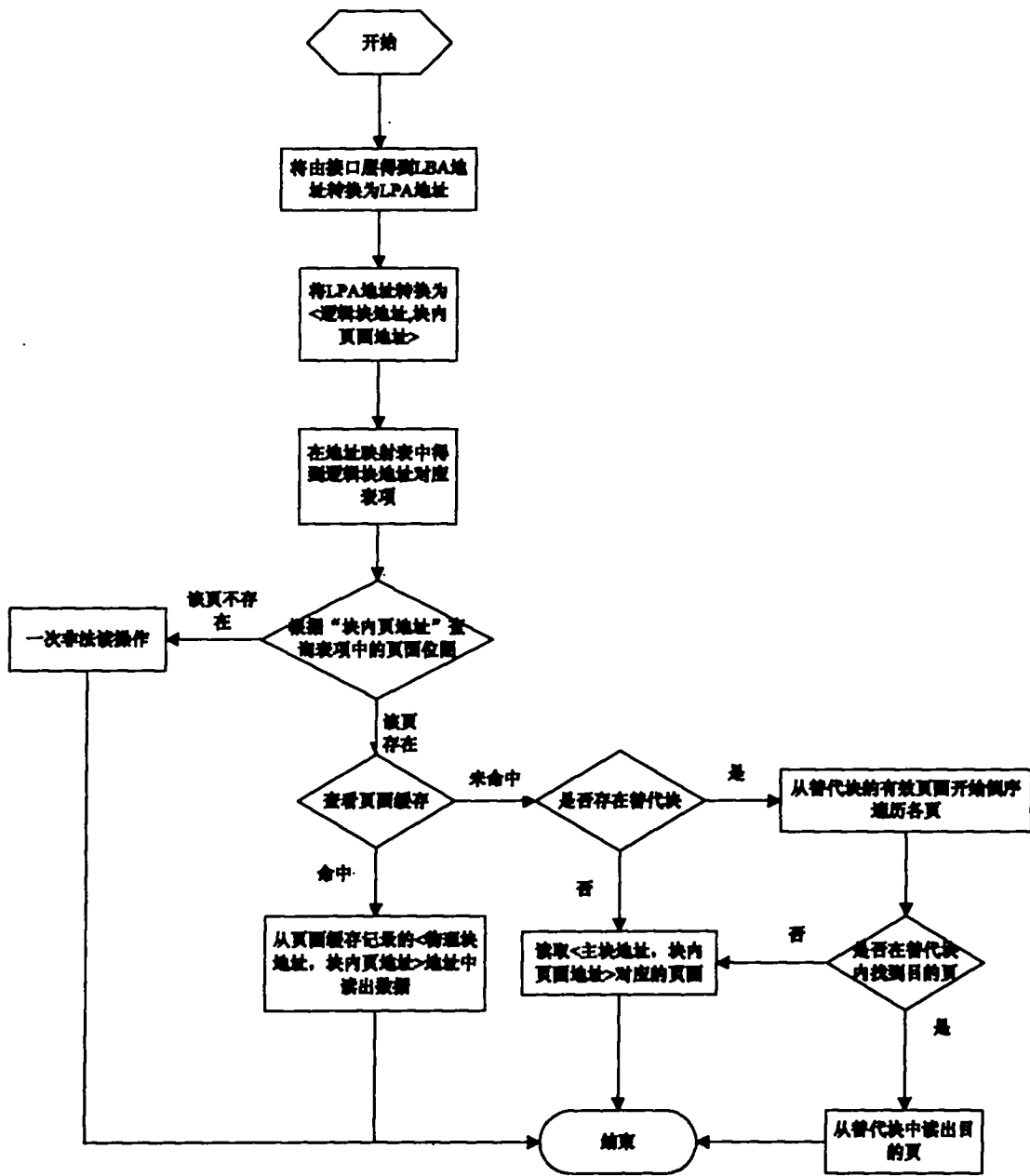


图 4