

FAT 文件系统在 NAND FLASH 上的磨损均衡研究

谢 琦, 胡 俊, 王 磊

(郑州大学 信息工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 提出一种应用于 NAND FLASH 上实现 FAT 文件系统磨损均衡的方法, 通过保留已删除文件在 FAT 表中的表项和重写文件时将内容写入新簇的方式, 实现对 NAND FLASH 的均衡使用. 在牺牲一定读写速度的前提下, 有效地实现了对 NAND FLASH 的均衡磨损, 延长了 NAND FLASH 的使用寿命. 在文件系统层研究磨损均衡, 实现难度小, 且对标准 FAT 文件系统兼容, 具有一定的可行性和实用性.

关键词: FAT 文件系统; 磨损均衡; NAND FLASH

中图分类号: TP333.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)07-0034-04

The Research of Wear Leveling for FAT File System in NAND Flash Memory

XIE Qi, HU Jun, WANG Lei

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: This paper proposes two methods for wear leveling of FAT file system in NAND Flash memory, by keeping the corresponding item in FAT table for deleted file and writing data to new cluster when rewriting a file. These methods have achieved wear leveling efficiently and extended the life of NAND Flash memory at the expense of read and write speed. The research of wear leveling in file system level has less difficulty and compatible with FAT file system, so it has feasibility and practical.

Key words: FAT file system; wear leveling; NAND flash memory

1 引言

近年来, 半导体固态存储器得到广泛的使用, 如 SD/MMC 卡、U 盘等, 这些设备多以 NAND FLASH^[1] 作为存储介质. NAND FLASH 是一种非易失性存储器, 在结构上, 一片 NAND FLASH 分为多个块(block), 一块又可分为多个页面(page). 在操作上, NAND FLASH 可进行读、写和擦除操作. 读、写以页为单位, 存储器的擦除寿命通常在 10 万到 100 万次.

为了在通用计算机上进行读写操作, 基于 NAND Flash 的存储通常采用 FAT 文件系统^[2] 来组织文件, 对于普通办公和商业应用的读写频率, 这种文件结构完全可以满足日常需要. 但对于数据采集类的设备来说, 长期的小数据量存取会使存储器

的局部存储空间过早的到达擦除寿命, 降低了存储的可靠性^[3-4]. 因此, 在 NAND FLASH 上应用 FAT 文件系统时, 如何实现磨损均衡成为一个不得不考虑的问题.

2 FAT 文件系统

FAT 文件系统有三种: FAT12、FAT16 和 FAT32, 其中 FAT32 文件系统由 3 部分组成: 保留扇区、FAT 表区、数据区.

保留扇区的第一个扇区被称为 BPB (boot parameter block), 用于存储文件系统的配置信息; FAT 表是一一对应于数据区簇号的列表, 其表项大小与 FAT 类型有关, FAT32 的表项为 4 字节, 其顺序位置编号代表对应编号的簇, 其值代表存储文件的下一簇的簇号, 整个 FAT 表采用链式存储记录

方式;数据区是实际的用户数据存放区. FAT32 文件系统结构如图 1 所示.



图 1 FAT32 文件系统结构

3 FAT 文件系统的磨损均衡设计

3.1 要解决的问题

当前 FAT32 文件系统对文件的操作会对 NAND FLASH 造成擦写的不均衡性,具体表现在: FAT32 文件系统以簇为单位管理文件,每次申请新簇总是采用从前往后的方式在 FAT 表中寻找首个空闲表项^[5],而该空闲表项很可能是前次删除操作产生的,文件系统中写和删除文件的频繁操作导致对簇的使用往往集中在簇号较小的部分簇,使得它们先于簇号较大的簇损坏,从而影响整个存储器的使用寿命.

针对嵌入式系统在数据采集中的应用,文中通过修改 FAT 文件系统来达到整体的磨损均衡,采取了如下措施:(1)删除文件时,不清除对应 FAT 表项,所以在申请新簇时就不会申请到因擦除而变为空闲的簇;(2)重写某簇时,不再先擦除后重写,而是申请新簇,将要重写的内容写入新簇,并建立原簇和新簇的对应关系.以上措施既能大大减少 FAT 表区的擦除次数,又能均衡使用各簇.

3.2 均衡磨损策略

为了在频繁写的操作时实现均衡磨损,通过对数据采集系统中的 FAT 文件系统进行改造,在保留扇区中增加用于记录磨损状态的数据结构:布尔型变量 Flag、状态位图数组、映射位图数组和日志区.状态位图数组和映射位图数组的每一位按顺序和数据区的簇一一对应,且每一位都初始化为 1,若运行过程中其值变为 0,则表示该位对应的数据区的簇发生了变化;状态位图数组的某位更新为 0 表示对应的簇已被删除;映射位图数组的某位更新为 0 表示对应的簇存在映射关系.具体的映射关系以 2 元组(X,Y)的形式保存在日志区.

下面以 2GB SD 卡为例说明具体实现方法.将 SD 卡格式化为 FAT32 文件系统,每扇区 512 字节,每簇 8 扇区共 4KB 字节,数据区约有 480000 簇,对应的映射位图数组、状态位图数组的大小为 $480000/8=60000$ 字节=118 扇区.对于日志区,分配 5000 个二元组的空间,每个二元组 8 字节,共需

$5000 \times 8=40000$ 字节=79 扇区.则用以实现磨损均衡设计的 4 个记录约占 $118+118+79=315$ 扇区,因此保留扇区须设定为大于 315 扇区,文中设定为 512 扇区,其中 128~255 扇区用于状态位图数组,256~383 扇区用于映射位图数组,384~511 扇区用于日志区.

当进行文件操作时,新增的 4 个记录用以实现磨损均衡,下面以几个典型文件操作进行说明,这里假设目标文件为 A,文件 A 占用簇的编号为 M.

3.2.1 保留已删除文件的 FAT 表项

当执行删除文件 A 操作时,将文件所在簇对应状态位图数组的位更新为 0,即置状态位图数组的第 M 位为 0,而保留簇 M 的数据和文件 A 在 FAT 表中的表项.

3.2.2 重写文件时申请新簇

当执行修改文件 A 操作时,不是擦除簇 M 后重写,而是将新内容写入新簇,完成后,簇 M 被称为“过时的簇”.其软件流程如图 2 所示.

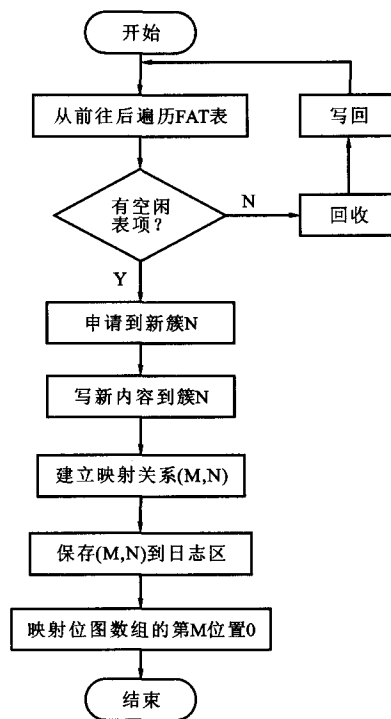


图 2 修改文件的软件流程

在申请新簇的过程中,若无空闲簇,则读取状态位图数组,将值为 0 的位对应的簇在数据区的数据和 FAT 表中的表项擦除,使之成为空闲簇,然后擦除状态位图数组,擦除后,数组的每一位变为初始值 1,这个过程称为“回收”.然后读日志区,根据映射关系将最新内容写回到文件,然后擦除过时的簇和映射位图数组,擦除后,数组的各位变为初始值 1,这

个过程称为“写回”。

3.2.3 读文件流程

对于读文件 A 操作,先读映射位图数组,根据第 M 位的值判断簇 M 是否存在映射关系,若值为

1,即没有映射关系,则直接读簇 M 在数据区的内容;否则读日志区,取得映射关系(M, N),确定 M 映射到 N 后,读簇 N 的内容返回。

上述几个文件操作的数据流程如图 3 所示。

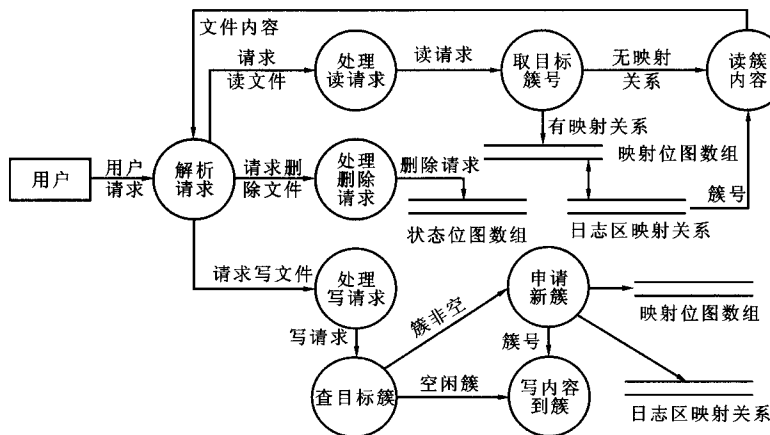


图 3 数据流程图

3.2.4 文件系统的加载

第一次加载文件系统时,设置变量 Flag 的值为 0 并保存. 当需要移除设备时,执行上述的回收和写回操作并擦除 Flag,擦除后,Flag 的值变为 1。

3.3 意外掉电后的数据恢复

由于新方法的所有操作都是直接写到 Flash 中,所以掉电时所有修改都已保存,可以安全恢复. 当再次加载文件系统时,读取保留扇区的 Flag 值,若值为 1,则表示上次是正常移除,若值为 0,则表示上次移除设备很可能是意外掉电所致,于是进行回收和写回操作以恢复数据。

3.4 兼容性

在标准的 FAT 文件系统的定义中,“保留扇区大小”是 BPB 中的整型参数,典型取值是 32,可调整. 改进后的文件系统并未修改 FAT 文件系统的原有设计,仅仅是调整“保留扇区大小”,并将新增的变量存放在保留扇区. 所以改进后的 FAT32 文件系统和标准的 FAT32 文件系统是完全兼容的。

4 分析与测试

改进的文件系统牺牲了少部分的存储空间来实现磨损均衡,上述所用金士顿 SD 卡总容量为 2GB,其中保留扇区为 512 扇区 = 512 * 512 字节 = 256KB,相对于总容量来说,所占比例还远不到 1%,在不失兼容性的情况下,牺牲很小比例的存储空间来获取整个磁盘的磨损均衡、延长设备的使用寿命是值得的。

4.1 磨损均衡测试

将修改后的 FAT32 文件系统运行在 STM32 嵌入式系统中,插入上述 2G SD 卡,然后对 SD 卡进行频繁的创建目录/文件、写文件、重命名、修改目录/文件、追加文件内容、删除目录/文件等混合操作,分别在原 FAT32 文件系统和改进后的 FAT32 文件系统上进行测试。

图 4 显示的是文件系统中数据区在改进前后的擦写次数比较,X 轴为数据区以 4000 簇为单位的域,其中 1 表示 2~4000 簇,2 表示 4000~8000 簇,以此类推,Y 轴为某域的擦写次数总和,如(1, 10000)表示簇 2 到簇 4000 的擦写次数累计为 10000 次. 由图 4 可看出,标准 FAT32 文件系统对簇的擦写集中在簇号较小的区域,而改进后的文件系统磨损很均衡。

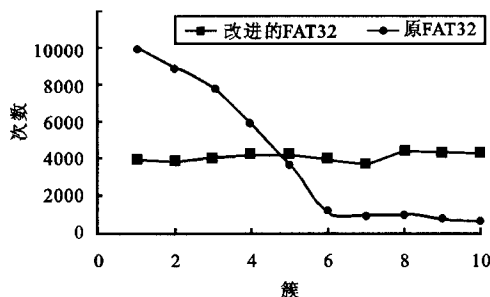


图 4 数据区擦写次数比较

4.2 读写速度测试

改进后的 FAT32 文件系统增加了一些额外的处理,会对读写文件的速度产生影响,将上述实验进

行多次测试,对比结果如图5、图6所示,平均读写速度大约下降了2%,不会影响用户体验。

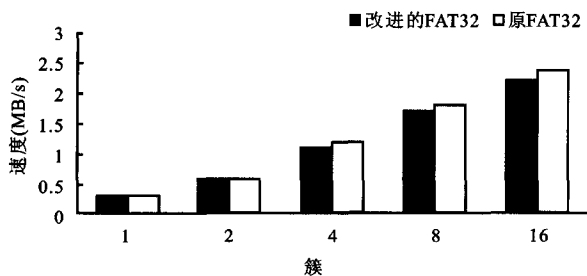


图5 读文件速度比较

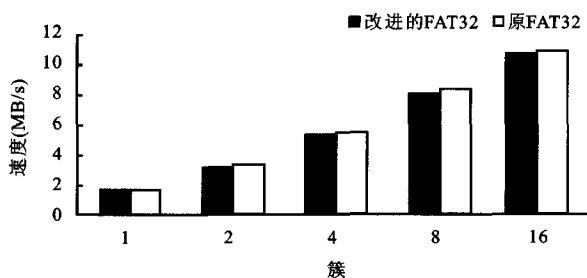


图6 写文件速度比较

5 结束语

文中考虑到 FAT32 文件系统在磨损均衡方面的缺陷,根据 NAND FLASH 的特性,采用保留已删除文件在 FAT 表中的表项和重写文件时将内容写入新簇的方法来改进,实验表明该方法很有效,磨损均衡效果显著。新方法仍需要更多的研究和改进。

首先,针对的是大容量和超大容量闪存,只对 FAT32 文件系统进行了改进,未考虑 FAT16 文件系统。另外,实验没有考虑更复杂的文件操作。这些不足会在以后的研究中改进。

参考文献:

- [1] Samsung NAND Flash Memory[S]. Memory Product & Technology Division, 2000.
- [2] Microsoft Extensible Firmware Initiative FAT32 File System Specification[S]. rev. 1.03, 2000.
- [3] 姚堃, 张俊涛. 提高 FAT 文件系统在 NAND 存储器上可靠性的研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(4): 78-81.
- [4] 晏敏, 龙小奇, 章兢, 等. 开放式大容量 NAND Flash 数据存储系统设计与实现[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(11): 13-16.
- [5] Park Sunhwa, Ohm SeongYoung. New techniques for real-time FAT file system in mobile multimedia devices [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2006, 52(1): 345-346.

作者简介:

谢琦 男, (1963-), 副教授. 研究方向为嵌入式技术、无线传感器网络。

胡俊 男, (1983-), 硕士研究生. 研究方向为嵌入式技术。

王磊 男, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络。

(上接第33页)

参考文献:

- [1] Yang Xuemin, Anosh Davierwalla, David Mann, et al. A 90nm CMOS direct conversion transmitter for WCDMA [C] // IEEE RFIC Symposium. Hawaii, Honolulu: IEEE, 2007: 17-20.
- [2] Ihm GookJu, Oh NamJin, Nguyen TrungKien. A transmitter front-end design for 5GHz WLAN application [C] // Proceedings of the International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology. Beijing: IEEE, 2004: 582-585.
- [3] Le Viet Hoang, Nguyen Trung Kien et al. Low power high linearity driver amplifier for 900MHz zigbee applications [C] // Proceedings of IEEE APMC Conference. Suzhou, China: IEEE, 2005: 1-3.
- [4] Ding Yongwang, Ramesh Harjari, A high-efficiency CMOS + 22-dBm linear power amplifier[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2005: 1895-1900.
- [5] Srirattana N, Sen P, Park H M. Linear RF power amplifier with improved efficiency and linearity in wide power levels[C] // IEEE RFIC Symposium. Long Beach California: IEEE, 2005: 251-255.
- [6] Kim B, Ko J, Lee K. A new linearization technique for MOSFET RF amplifier using multiple gated transistors [J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 2000: 371-375.
- [7] Cripps S C. RF power amplifiers for wireless communication[M]. Canton: Artech House, 1999.
- [8] 闫涛涛, 周健军, 莫亭亭. 1.6GHz 高线性度低功耗 CMOS 驱动放大器 [J]. 信息技术, 2008(9): 68-71.

作者简介:

魏慧婷 女, (1986-), 硕士研究生. 研究方向为模拟和射频集成电路设计。