

提高 FAT 文件系统在 NAND 存储器上可靠性的研究

姚 堃, 张俊涛

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021)

摘 要: 提出了一种应用于 NAND 存储器上提高 FAT 文件系统可靠性的方法, 用非固定存储 FAT 表与配置自动寻找替换坏块的算法彻底屏蔽了坏块对上层应用的影响, 在牺牲一定写入速度的前提下, 很好地克服了上述障碍, 极大地增强了文件存储的可靠性与稳定性. 在工程项目中的应用证明了上述优点, 具有很高的推广与应用价值.

关键词: FAT 文件系统; NAND 存储器; Flash

中图分类号: TP333.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0078-04

The Research of Improve Reliability of FAT File System in the NAND Memory

YAO Kun, ZHANG Jun-tao

(School of Electronic and Information Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 70021, China)

Abstract: In this article, a FAT file systems used in NAND memory improve on the reliability of method, using non-fixed storage FAT table and configuration look for bad block replacement automatically algorithm completely shielding bad block on the upper applications and thus overcome the above-mentioned obstacles. This method has overcome above-mentioned issues and greatly enhanced the reliability and stability of file storage at the expense of write speed. The project application has proved the above-mentioned advantages, and it has very high value of promotion and application.

Key words: FAT file system; NAND memory; Flash

1 引言

NAND 存储器是 Flash 存储器的一种, 由于具有高密度、大容量等优点被广泛采用. NAND 存储器的存储单元具有两级结构: 块 (Block) 和页 (Page). 由于 NAND 存储器只能对最小单位为块的存储单元进行擦写和以页为单位的写入, 因此在块非空的情况下, 页写入操作之前必须先执行整块擦除, 对某些块的频繁擦除操作很容易导致该块先于其他块坏. 另外, NAND 存储器^[1-2]在通常情况下出厂时就会存在坏块, 因此, 使用 NAND 存储器时可靠性是不得不考虑的问题.

2 FAT 文件系统

文件系统在整个系统中位于设备驱动程序和上

层应用程序之间, 负责管理文件的创立、撤消、读写、修改、复制和存取控制等, 并管理存放文件的各种资源. 为上层引用程序提供统一的存储接口, 透明具体的实现过程, 为上层提供服务. 它管理硬件上的数据存取方式和结构, 以更好利用存储空间和提高存储效率. 其中由于 Windows 操作系统的普及, 微软公司的 FAT 文件系统被广泛采用^[3].

典型的 FAT 文件系统一般由 4 部分组成: (1) 保留区; (2) FAT 表区; (3) 根目录区; (4) 文件数据区. 第一部分的最后 1 个扇区存储操作系统 DBR, 用于存储文件系统的整体信息; 第 2 部分 FAT 表用于存放存储器数据索引. 其中包括两个完全相同的 FAT 表: FAT 和 FAT1, 后者为前者的备份; 第 3 部分用于存放根目录下的数据索引; 最后一个部分则是实际的用户数据存放区.

FAT 文件系统中最重要的部分就是 FAT 表,整个 FAT 表采用链式存储记录方式,用 2 个字节在 FAT 表中的顺序位置编号代表对应编号的簇,其值代表储存文件的下一个簇的簇号.存储方式如图 1 所示^[4-5].

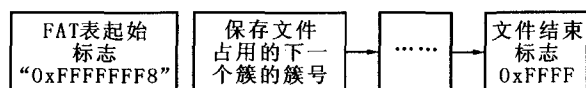


图1 FAT表链式存储示意图

FAT 表中每两个字节代表一个簇,用来保存占用该簇文件的下一个部分的簇号;如果文件在该簇存储结束,则保存文件结束标志 0xFFFF;若该簇坏,则保存坏簇标志 0xFFFF7.

3 增强 NAND Flash 存储可靠性的方法

3.1 要解决的问题

当前 NAND 存储器的主要问题有两点:(1)出厂时就有随机分布的坏块;(2)在使用过程中某些块会由于频繁写而先坏掉,尤其对于类似 FAT 表等需要频繁修改的数据块更是如此,严重影响整块 NAND 存储器的数据稳定性.

解决的基本方法:(1)对于需要频繁写的 FAT 表,解决方法为将 FAT 不固定在某一个块内,而是在某块固定写一定次数后,就将 FAT 表迁移到另一个保留块,提高 FAT 文件系统的整体稳定性;(2)对于随时可能出现的坏块,解决方法为若数据写入同一块时多次发生错误,则判定该块已坏,将该块内的所有簇全部标记为坏簇,随后将该块内的数据迁移至另一空闲块;若没有空闲块,则将原块数据按簇分散,存入其他空闲簇内.若所有的簇全部用完,则报错.

3.2 具体实现方法

下面以 SamSung 公司的 K9G8G08U0M 为例说明具体实现方法. K9G8G08U0M 的组织结构为每页为 2048B + 64B 有效存储空间,128 页组成一块,每块为 256kB + 8kB 有效存储空间,整个 NAND 共有 4096 块,组成 1GB + 32MB 的存储容量.

3.2.1 改进 FAT 表存储方式

当文件系统工作时,发生变化的只有 FAT 表以及紧接其后的备份表 FAT1,由于需要频繁改写,存储 FAT 与 FAT1 表的块很容易先失效,造成整个存储器数据丢失.因此,必须改进两个表的存储方式.

NAND 生产厂商在生产存储器时,第 1 块必定为有效块,因此本文在第 1 块中建立一个 150kB 的

空白区域,用于存储 FAT 表在 NAND 存储器中的起始地址(由于 FAT1 表紧跟在 FAT 之后,无需单独存储),每页的容量为 2kB,因此可以存储 75 个 FAT 表地址.首块的分配图如图 2 所示.

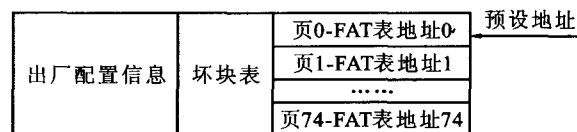


图2 存储器首块结构图

修改后的文件系统把 FAT 表作为一种普通的可移动数据存储于预留的 75 个块内,这 75 个块不被映射到文件系统的可使用存储空间中,而是将它们的块地址储存于首块中,并将存储 FAT 表地址 0 的页 0 地址保存于底层程序的预设地址之中,底层程序按照图 2 的软件流程进行 FAT 表的读取.同时,由于每个 NAND 存储器的块内都会有一个额外的 8kB 存储空间,我们在这 8kB 内写入一个随块每擦写一次都增加 1 次的累加器,每当这个块的累加器到一定数目(这个数目可以根据不同的 NAND 存储器的最大擦写次数而设置不同),就将 FAT 表移动到一个新的备用块内,实现 FAT 表的保护功能,提高整体可靠性.

从图 3 可以看出,程序首先按照预设的地址读取两个连续的页,判断后一个页是否为空,若为空,则说明前一个页内存储的是最新的 FAT 表的存储地址.若不为空,则预设地址 + 1 再继续读取,直到满足条件,即可成功读取最新的 FAT 表.由于 NAND 存储器的读取速度是很快的,所以初始化时并不会耗费很长时间.完成读取 FAT 表的任务后,即可按照读取的地址对 FAT 表进行正常的操作了.每进行一次文件操作后,都需要对 FAT 表与 FAT1 表进行实时更新,更新的步骤如图 4 所示.

3.2.2 增加坏块处理

从图 2 可以看出,首块中保留有坏块表,这是首次使用 NAND 存储器时必须建立的.但是有些正常块在使用过程中也会突然报废,这时就需要增加坏块处理程序来解决这个问题,下面仍以 K9G8G08U0M 为例进行详细说明.

(1) 块替代流程

若某块发生写入错误,则首先进入块替代程序.该程序将从 FAT 表末向前搜索空闲块,若找到,则按照图 5 的步骤进行处理,整个程序分为 4 步:

① 将块 A 的 1 ~ N - 1 页中的数据移动至正常的空闲块 B;

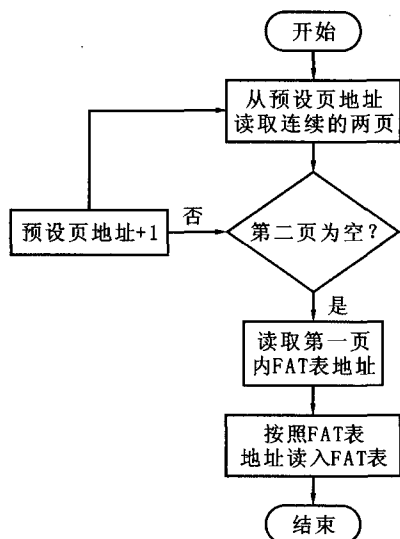


图3 FAT读的软件流程

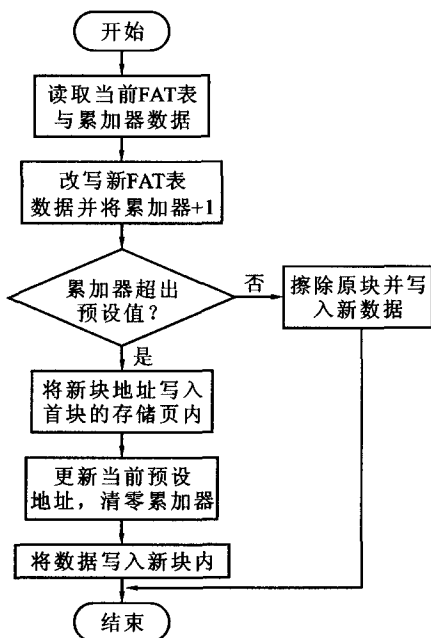


图4 FAT写的软件流程

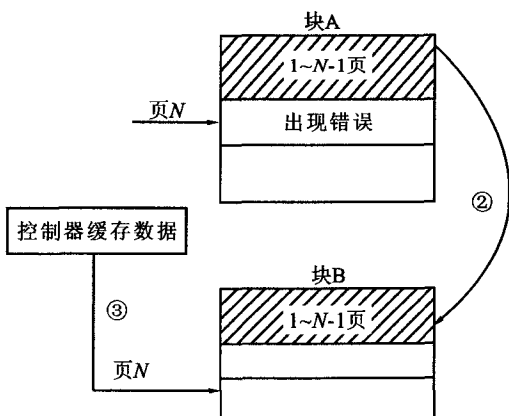


图5 块替代程序工作示意图

② 再将仍留存与控制器缓存中的第 N 页数据写入;

③ 更新坏块表并标记块 A 中的所有簇为坏簇;

④ 改写 FAT 表与 FAT1 表中原簇的存储地址, 保证文件链式存储无误.

(2) 簇分散流程

若块替代程序找不到空闲的块, 则进入簇分散处理程序. 该程序将原块内的数据按簇分散, 统计需要分散存储的簇的数目, 查找这些簇在 FAT 表中的存储位置并读入内存, 然后开始从 FAT 表的末页开始查找空闲簇. 整个程序工作流程如图 6 所示.

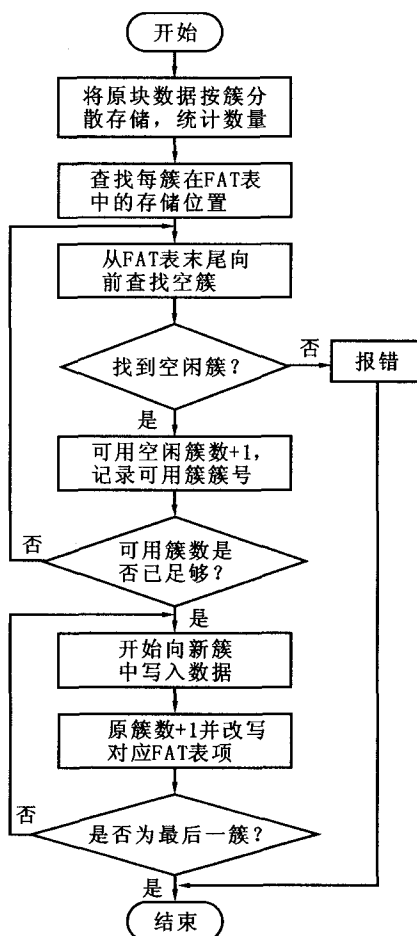


图6 簇分散程序流程图

4 分析与测试

改进 FAT 表存储牺牲了少部分存储空间来增强存储可靠性, 具体应用时可以根据不同的存储器容量选择合适的备用块数量来取得可靠性与容量之间的平衡, 上述所用 K9G8G08U0M 总容量为 1GB, 分出了 75 块备用块, 也就是 $75 \times 256\text{kB} = 18.75\text{MB}$ 的容量, 对于总容量来说, 占的比例非常低, 却增加

了文件系统整体使用寿命 75 倍,在对容量影响很小的情况下极大的延长了整体寿命.通过这样的设计,即使出现了操作异常的情况,错误也只涉及当时被操作的文件,不会扩散给 Flash 存储器中的其他文件,更不会因此彻底损坏 FAT 表和 FAT1 表,造成整个文件系统的瘫痪.

4.1 长时间使用的文件系统稳定性.

将上述 1GB NAND 存储器应用于 2 部固体录音设备中,并预留 USB 接口对文件进行读写.长时间使用后对录制的音频文件进行读取,对比结果如表 1 所示,大约提升了文件可用率 11%.改进文件系统丢失了一个文件是由于无法再找到替代的空间进行替换而导致的.

表 1 两种文件系统的存储可靠性对比

	录制的音频 文件总数	可用数	可用率/%
原文件系统录音	1331	1189	89
改进文件系统录音	1522	1521	99.90

4.2 改进文件系统对读写速度的影响

改进文件系统比原文件系统多了许多处理步骤,会对 NAND 存储器的读写速度产生影响.将上述长时间使用后的录音设备采用 USB 接口与电脑连接,使用 MyDiskTest U 盘读写速度测试软件进行多次测试,典型结果如图 7、图 8 所示.可以看出,图 7 中 1024 块和 2048 块的写由于出现坏块而降低了大约 14%.这是因为写块的数目增加时其中出现坏块的几率也会增大.而读取的速度完全没有受到影响.

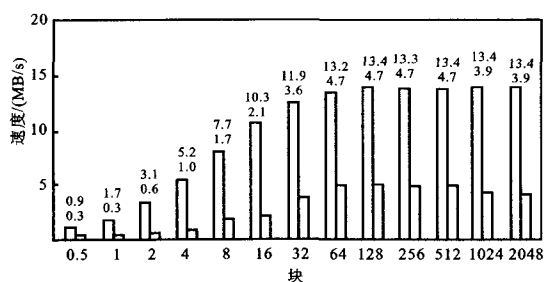


图 7 改进文件系统的文件读写速度

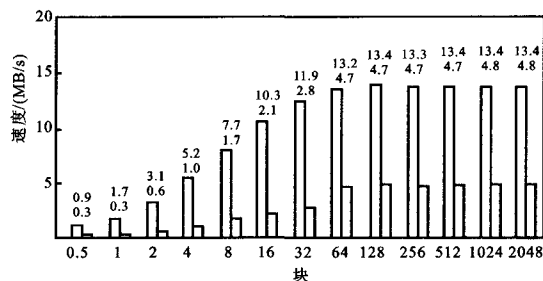


图 8 原文件系统的文件读写速度

5 结束语

以上分析与测试表明,改进型 FAT 文件系统对较大容量的 NAND 存储器的整体存储可靠性与文件可靠性均有较大提升,对于类似固体录音监测等对录制文件可靠性有较大要求的场合,有很高的使用价值.

参考文献:

- [1] 吴志伟,邹雪城,雷鑑铭,等.嵌入式存储器的内建自修复设计[J].微电子学与计算机,2007,24(2):79-84.
- [2] 丁双喜,张盛兵,贾宝峰.双通道流水线 Flash 存储系统的设计[J].微电子学与计算机,2008,25(8):224-228.
- [3] Microsoft extensible firmware initiative FAT32 file system-specification[S]. rev. 1.03,2000212206.
- [4] Samsung NAND flash memory[S]. Memory Product & Technology Division,2000.
- [5] 刘可嘉,梁阿磊.实现实时 FAT 文件系统的一种简单方法[J].计算机工程与应用,2008(44):70-72.

作者简介:

姚堃 男,(1985-),硕士研究生.研究方向为嵌入式系统.

张俊涛 男,(1966-),硕士,副教授.研究方向为微电子技术应用.