

# 高性能 Flash/FRAM 混合结构数据存储系统的设计及应用

廖贵成<sup>1</sup>, 王 龙<sup>1</sup>, 时文余<sup>2</sup>

(1 广西工学院 职业技术教育学院, 广西 柳州 545006; 2 柳州泰戈电子公司, 广西 柳州 545005)

**摘 要:** 针对某些大容量存储系统数据改写频繁及 Flash 存储器寿命有限的弊端, 设计了一种 Flash/ FRAM 混合结构的高性能数据存储系统. 提出了将 Flash 文件系统中的系统记录区、文件索引表以及改写频繁的实时数据放在 FRAM 中、而大批的历史数据则保存在 Flash 中的存储方案, 并给出了系统结构及实现方法. 实验表明, 这种混合结构有效地提高了数据存储效率和存储可靠性.

**关键词:** 大容量存储器; 文件系统; 铁电存储器; 嵌入式系统

**中图分类号:** TP368

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2010)12-0127-03

## Design and Application of High Performance Flash/FRAM Hybrid Architecture Data Storing System

LIAO Gui-cheng<sup>1</sup>, WANG Long<sup>1</sup>, SHI Wen-yu<sup>2</sup>

(1 Institute of Vocational Technical Education, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China;

2 Liuzhou Taige Electronical Corporation, Liuzhou 545005, China)

**Abstract:** Aiming at the disadvantage of continual access and life limitation of flash memory in some mass storage system, this paper propose a high performance Flash/FRAM hybrid architecture data storing system and bring forward storage scheme which the system log area, file index table and real time data are stored in FRAM, whereas the bulk historical data are in Flash. It also provide a system structure and implementation method. Experimental results show this hybrid architecture effectually improve the access efficiency and reliability.

**Key words:** mass storage; file system; FRAM; embeded system

### 1 引言

NAND Flash 存储器制造成本低廉、存储容量大、数据非易失、无机械故障, 已经在大容量的数据记录系统中被广泛用作存储器件. 然而由于 NAND Flash 存储器内在结构的限制并不适合随机存取, 也存在着擦写寿命有限的问题, 这就使得在存取频繁的高可靠性数据存储场合中应用 NAND Flash 存储器带来新的挑战.

在嵌入式系统中应用 NAND Flash 存储器最好的办法是设计专门的 NAND Flash 文件系统, 对存储器中的数据进行基于文件代号的存储管理, 同时对存储器单元自动进行磨损平衡和应用透

明的坏损管理<sup>[1]</sup>. 然而这些文件系统并不适合直接用到嵌入式系统中进行汽车行驶数据的存储, 这是因为在行驶汽车上的应用条件远比计算机恶劣, 汽车的点火启动以及其它突发性断电将对 Flash 的存储造成灾难性的影响, 通用文件系统无法满足汽车电子产品高可靠性的要求. 需要针对汽车行驶记录仪的实际使用环境和可靠性要求, 设计专门的 NAND Flash 存储系统.

### 2 数据存储方案的选择

能够部分或全部满足“高速度、大容量、非易失、随机数据存取访问”的存储器件主要有以下几种: E<sup>2</sup>PROM、Flash、电池后备静态随机存储器

收稿日期: 2009-10-19; 修回日期: 2009-12-20

基金项目: 广西工学院青年科学基金项目(0523)

(BBSRAM)、非易失性静态随机存储器(NVS-RAM)、铁电存储器(FRAM)以及磁阻式随机存储器(MRAM)<sup>[2]</sup>. 也有采用不同存储器件的组合进行大容量数据存储的,如采用 RAM+Flash 数据存储方案<sup>[3]</sup>,但这种方案应用到汽车行驶记录仪是不行的,因为采用 RAM 作为缓存,而由于掉电可能随时发生,掉电后 RAM 内的数据失效,将会导致有一些数据还来不及写入 Flash 中,这样就会遗失可能对事故鉴定很重要的数据. 国外有人提出了 Flash/FRAM 混合的固态硬盘结构,使固态硬盘的性能有了较为明显的提高<sup>[4]</sup>.

基于汽车行驶记录仪对数据存储“大容量、实时性、非易失性、高可靠性”的要求,文中采用了 NAND Flash + FRAM 的方案. 铁电存储器(FRAM)采用一种全新的存储材料——铁电晶体材料,这一特殊材料使得铁电存储产品同时拥有随机存取记忆体(RAM)和非易失性存储产品的特性,其内数据掉电后仍能保存,且可擦写次数几乎无限,不少于 100 亿次,没有写等待时间<sup>[5]</sup>. 行驶中采集的实时数据存入 FRAM,而使用 NAND Flash 存储历史记录.

### 3 数据存储系统的组织与实现

在设计文件系统时,摒弃了传统的 Flash 文件系统结构模式,将系统记录区以及文件分配表、文件登记表等全部移到 FRAM 中,在 Flash 中只剩下坏块表和数据区,在每个数据区内,存储数据依时间先后次序循环记录. 由于 FRAM 的擦写寿命几乎是无限的,这样就可以省去复杂的损耗均衡算法和文件碎片整理,不仅提高 NAND Flash 的使用寿命和数据存储可靠性,同时也简化了 Flash 文件系统、减轻处理器系统的资源消耗、提高了系统存储工作效率.

系统的组织结构如图 1 所示. 系统记录区存放系统最重要的文件系统信息,包括媒质信息和文件系统信息两部分. 媒质信息包括 FLASH 存储器的类型、容量、块类型的大小和数量、FLASH 操作命令等. 文件系统信息包括版本信息、各逻辑分区的起始地址(物理地址)和结束地址,文件索引表地址、逻辑到物理的映射等. FLASH 设备可以被分成多个逻辑分区,每个逻辑分区采用的操作方式可以互不相同. 文件索引表存放各分区内文件的起始地址、大小以及当前写地址指针等信息,包括 NAND Flash 中的分区. 对于本文的线性文件系统,所有文件按时

间顺序依次循环存储,读取数据时,直接通过索引得到某个文件的逻辑起始地址,然后从这个地址开始顺序搜索,获取某个偏移位置下的  $n$  个连续字节.

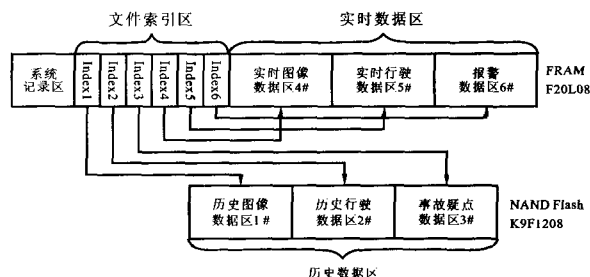


图 1 系统组织结构图

数据存储区分为实时数据存储区和历史数据存储区两个部分共六个分区. 实时数据存储区包括实时行驶数据区、实时图像数据区、警报数据区,安排在 FRAM 中;历史数据区包括历史图像数据区、历史行车数据区以及事故疑点数据区,安排在 NAND Flash 中. 在 FRAM 中,即在 4#~6# 数据分区中,数据(文件)的存储或擦除是以字节为单位的,而在 NAND Flash 中,即在 1#~3# 数据分区中,数据的存储是以页(528B)为单位的,而擦除是以块(16KB)为单位的.

数据存储时,首先根据数据类型通过系统记录区找到相应的逻辑分区,再由该分区对应的文件索引表得到当前文件存储逻辑地址,最后通过逻辑到物理的转换,将数据存到相应的页单元中,同时更新文件索引表的内容. 这样在存储时,虽然文件索引区的内容每次都要擦写,但由于它是位于 FRAM 中,其擦写寿命几乎是无限的. 而对于 NAND Flash 的数据区,每个区块在数据循环记录一周后才平均擦写一次. 以数据循环记录周期最快的历史图像数据区为例,循环记录的周期约为 4 小时,按照 10 万次的擦写寿命计算,可以连续使用 34 年. 如果是文件索引表放置在 Flash 中,以 20s 向 Flash 存一次计算,不采取磨损均衡算法,则只能连续使用约 17 天.

采用这样的存储器组织结构,不仅降低了文件系统的复杂性,也尽可能的提高了 Flash 存储器的使用寿命,而且由于 FRAM 是按字节擦写,也避免了在系统掉电等突发情况,文件索引表不致于遭到致命破坏,保证了文件系统的可靠性和安全性.

### 4 系统的硬件结构及接口电路

系统采用 S3C44B0X 作为主处理器,其硬件结构如图 2 所示. S3C44B0X 是三 16/32 位 RISC 处理器,基于 ARM7 TDMI 核基本功能的基础上集成了丰富

的外围功能模块,具有存储器接口和液晶显示器接口,很适合在本系统中应用. SDRAM 作为系统的内存,而 Nand FLASH 和 FRAM 则作为数据存储器.

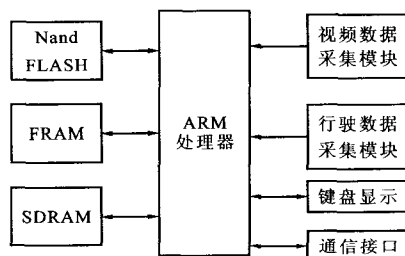


图2 系统硬件结构图

数据存储器的硬件接口电路如图3所示. 根据

实际数据存储的需要, NAND Flash 选择容量为  $64\text{M} \times 8\text{bit}$  (即  $512\text{Mbit}$ ) 的 K9F1208U0B, 经过对图像数据进行压缩, 可以满足系统对图像记录的要求.  $\text{I/O}_0 \sim \text{I/O}_7$  接 ARM 处理器 S3C44B0X 的  $\text{DATA0} \sim \text{DATA7}$ , 写保护/WP 直接接 3.3V 电源, R/B 接 S3C44B0X 的一个 I/O 口 GPE5, 由此口获取 R/B 的值从而在软件中进行读写的监控, 片选信号接 S3C44B0X 的 nGCS1, CLE 和 ALE 分别接 S3C44B0X 的 ADDR20 和 ADDR21, 即 K9F1208 的命令寄存器和地址寄存器定位于地址:  $0\text{x}02100000\text{H}$  和  $0\text{x}02200000\text{H}$ .

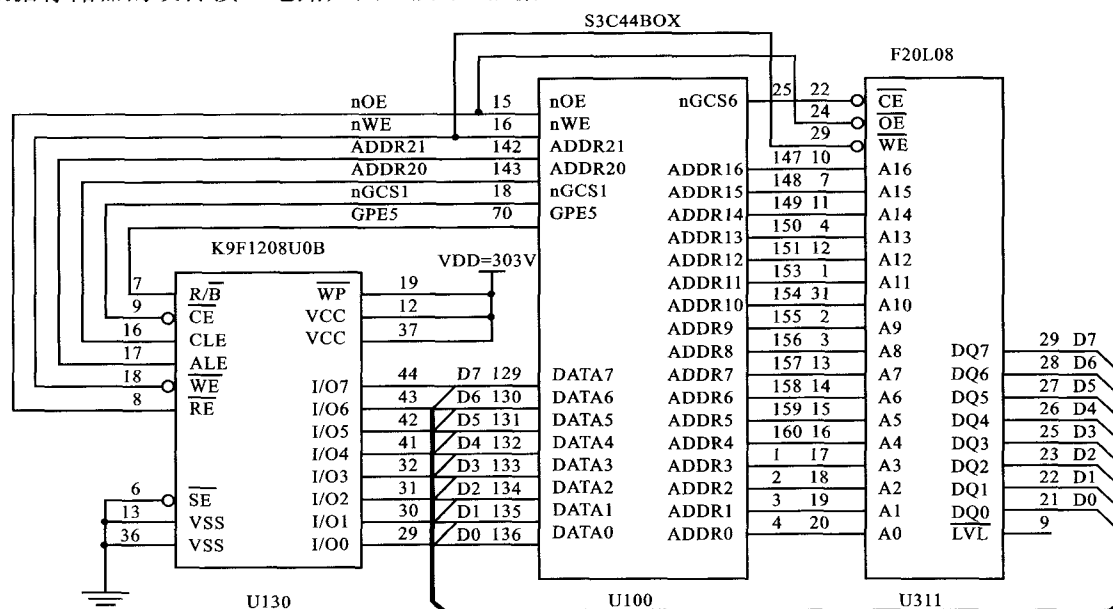


图3 存储系统硬件接口电路图

FRAM 采用并行接口的 F20L08, 它的容量为  $128\text{K} \times 8\text{bit}$ , 存取时间  $50\text{ns}$ , 采用 3.3V 电源供电, 操作时序与标准 SRAM 相同. 地址总线和数据总线直接与 ARM 处理器的地址数据总线对应, 片选端接 S3C44B0X 的 nGCS2, 这样 F20L08 的地址空间为:  $0\text{x}04000000\text{H} \sim 0\text{x}0401\text{FFFFH}$ .

## 5 结束语

文中所述的存储系统已经在实车环境中进行了试运行, 实验证明数据存储稳定可靠, 取得了预期的效果. 汽车行驶记录仪采用 NAND Flash+FRAM 的存储结构, 既具有 FRAM 高可靠性和快速随机存取的优点, 又具备 NAND Flash 大容量的优越性, 克服了数据存储容量与可靠性的矛盾问题. 随着 FRAM 和 NAND Flash 器件价格的不断降低以及 NAND Flash 容量的扩大, 在视频电子监控、掌上电

脑(PDA)以及笔记本电脑等需要大容量数据存储的场合, 这种 NAND Flash+FRAM 的存储结构相对于传统的硬盘和 U 盘其优越性也越发突出, 也必将在高可靠性的移动存储领域得到更为广泛应用.

## 参考文献:

- [1] 宋博, 闫达远, 张栋. 基于 NAND Flash 的嵌入式文件系统[J]. 测试技术学报, 2007, 21(4): 366-370.
- [2] 怯肇乾. 嵌入式系统的高速度大容量非易失随机数据存储[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2008(7): 15-18.
- [3] 黄永祯, 曹汉强. 基于双存储机制的实时图像采集存储系统[J]. 微计算机信息, 2006, 22(7/1): 93-95.
- [4] Yoon Jin Hyuk, Nam Eyec Hyun, Seong Yoon Jae, et al. Chameleon: a high performance flash/FRAM hybrid solid state disk architecture[J]. IEEE Computer Architecture Letters, 2008, 7(1): 17-20.

(下转第 133 页)

在数据库 DB 不发生改变的前提下,用户还可以在次基础上反复调整最小支持度阈值,并根据情况调用算法 2 或算法 3 在 C-F 或 F 中求得新的品频繁谓词集 F.

#### 4.2 算法分析及与原算法的比较

文中以关注分类结果为 1 的类别为例,对算法的运行过程进行了说明.算法在获取候选谓词集的过程当中只扫描了两次数据库,避免了因多次扫描数据库而引起的多次 I/O 操作.

与原算法相比较,虽然扫描数据库的次数增加了一次,但是有效控制了候选谓词集中项的数量,并增强了结果的聚焦度.

不论用户关注的是分类结果中的类别 1 还是类别 2,在执行改进后的算法中的算法 1 后,所求得的候选谓词集 C 的大小,无论是单个  $k$ -候选谓词集( $k=1,2,\dots,7$ )中项的数量,还是全部候选谓词集中项的总数,都较原有算法有所减小.在较好情况下的类别 1,由于其属性特征分布突出、集中,新算法求出的候选谓词集 C 较原有算法有了显著减小;在较差情况下类别 2,虽然其属性特征几乎包含了实验数据中所有属性-值对,但新算法求出的候选谓词集 C 较原算法仍有减小.具体的结果分析见图 1<sup>[7]</sup>.

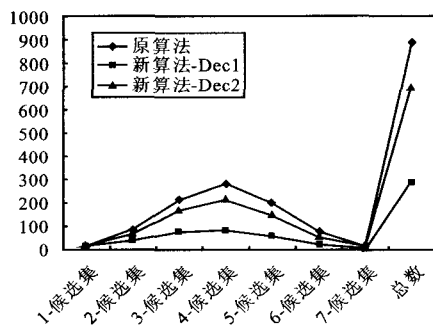


图 1 候选谓词集 C 中项的数目比较

## 5 结束语

针对面向分类预测的应用实际情况对原算法进行改进后,在保持了原有算法针对数据库 DB 不改变而最小支持度阈值改变的情况下进行关联规则挖掘的高效性的前提下,进一步降低了原算法的空间复杂度、提高了挖掘结果的聚焦度,具有一定的应用价值和针对性.

#### 参考文献:

- [1] Agrawal R. Mining association rules between sets of items in large databases[C]// Proceedings of ACM SIGMOD Conference on Management of Data. Washington DC, 1993: 207-216.
- [2] 周海岩. 适合于高效更新的关联规则挖掘算法[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(4): 634-637.
- [3] Jiawei Han, Micheline Kamber. 数据挖掘概念与技术[M]. 2 版. 范明, 孟小峰, 译. 北京: 机械工业出版社, 2007: 147-148.
- [4] 冯玉才, 冯建琳. 关联规则的增量式更新算法[J]. 软件学报, 1998, 9(4): 301-306.
- [5] 周海岩. 关联规则的开采与更新[J]. 软件学报, 1999, 10(10): 1078-1084.
- [6] 梁道雷, 黄国兴, 金健. 一种多变量决策树方法研究[J]. 计算机科学, 2008, 35(1): 211-212.
- [7] 杨君锐. 关联规则增量式快速更新方法的研究[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(9): 120-124.

#### 作者简介:

廖旺宇 男, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为数据挖掘.

刘芳 女, (1972-), 副教授, 硕士生导师. 研究方向为数据挖掘、数据结构与算法.

(上接第 129 页)

- [5] 深圳市华睿科技有限公司. 铁电存储器(FRAM)在汽车行驶记录仪中的优势[J]. 电子产品世界, 2004(11): 60-61.

#### 作者简介:

廖贵成 男, (1970-), 硕士, 讲师. 研究方向为信号与信息处理、计算机控制.

王龙 男, (1974-), 硕士, 讲师. 研究方向为计算机软件编程及应用.