

一种高可靠星载大容量存储器的坏块表存储方案设计

李 姍^{1,2,3}, 宋 琪^{2,3}, 朱 岩², 安军社²

(1 中国科学院 信息工程研究所, 北京 100093; 2 中国科学院 空间科学与应用研究中心,
北京 100190; 3 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 通过分析传统 NAND FLASH 坏块信息存储方式, 聚焦问题所在点, 提出了一种高可靠性的坏块表存储方案设计. 在存储区中划分出一块区域, 将坏块信息独立存储, 并通过冗余存储的方式提高坏块表存储的安全可靠性. 实验表明, 在坏块信息区出现使用坏块, 信息存储失败或故障掉电引起的坏块信息更新不完全的情况下, 该算法都能够自主定位坏块信息的异常存储份, 找到可靠份, 从而实现星载大容量存储器的可靠快速启动.

关键词: NAND FLASH; 坏块; SSR

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)04-0073-04

Design of a High-Reliable NAND FLASH Bad Block Table Storage Scheme

LI Shan^{1,2,3}, SONG Qi^{2,3}, ZHU Yan², AN Jun-she²

(1 Institute of Information Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

2 National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The traditional FLASH NAND bad block information storage method is analysed, and the vulnerabilities and a high reliable bad block table storage scheme are given out. An xxx area was used to store the bad block address information separately instead of using the spare area of NAND FLASH to store the information by every page. There are two copies for the bad block information to guarantee the validity of it. The experiment shows that the scheme can locate the correct information when a bad block occurs in the reserved area or information store failed or information loss partly. And the SSR will still be able to get the correct information under those severe circumstances.

Key words: NAND FLASH; bad block; SSR

1 引言

星载大容量存储器是卫星及其他航天设备进行信息获取、信息融合、信息传输和信息梳理的关键设备之一^[1]. NAND FLASH 存储器制造成本低廉, 存储密度高大, 数据非易失性好, 无机械机制, 成为星载大容量存储器的最理想器件^[2-3]. 在空间高辐射的极端环境下, 星载大容量存储器可能发生多种异常. 例如: 空间应用表明, NAND FLASH 易受到 TID

的影响, 擦除时间增长并最终功能失效^[4]. 由于制作工艺限制, NAND FLASH 都会存在出厂坏块, 并且随着使用时间的增长, 坏块数量会逐渐增加. 有效、可靠的管理坏块信息对于星载大容量存储的可靠性有非常重要的意义.

2 坏块信息

坏块是一些无法被彻底擦除或者其中有些位无法翻转块的统称^[5]. 由于成本和工艺限制, 出厂时

NAND FLASH 中会存在一些坏块,称为初始坏块.为区分这些出厂坏块厂家通常在 NAND FLASH 的空余区的第一个字节标记非“0XFFH”. NAND FLASH 的块擦除极限为 5 000~100 000 次,因此会有坏块在使用过程中产生,称作使用坏块.当块编程结束或页写入结束后,系统需通过读取芯片状态判断操作是否成功进而判断该块或者该页的状态.当操作失败时,则意味着该块或者页已超过使用寿命.由于 NAND FLASH 自身特性,坏的 MOS 会影响整块内其他的 MOS.当页超擦除极限时,页所在块都不能再进行新的写入操作了.

为了保证 NAND FLASH 芯片内数据的可靠性,通常在第一次上电时需要对 NAND FLASH 的空余区进行扫描建立初始坏块表,防止对初始坏块的操作,扫描顺序如图 1 所示.

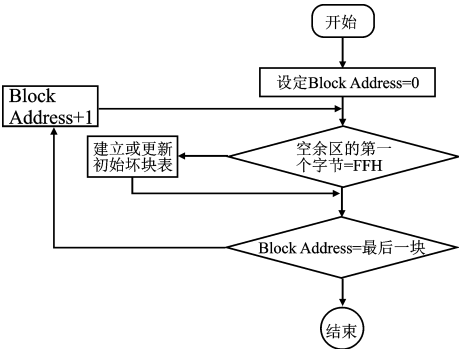


图 1 初始坏块扫描流程图

3 传统方案

NAND FLASH 芯片每页都可以划分为数据区与空余区.为保存储区索引信息通常只使用数据区存储数据.系统会在数据区数据写入完成后,在空余区加载存储块使用信息、ECC 编码等其他的维护信息.系统内的初始坏块由厂家在每块的空余区的第一个或者第二个字节进行标示,使用坏块则由系统在坏块出现时对其空余区进行标记.

传统方案中,块属性信息仅在每块的空余区和存储控制 CPU 的缓存中进行记录.但根据上节叙述可知,当 NAND FLASH 块使用寿命到了后,就会出现使用坏块,继续对坏块操作无法保证操作的正确性及数据的安全性.存储控制 CPU 缓存中的数据无法掉电保存,下次上电还必须通过扫描 NAND FLASH 空余区进行块属性信息的重建.因此,采用空余区标记的方式对使用坏块进行标记可能出现标记失败,无法正确识别坏块的情况.

4 独立冗余存储方案设计

4.1 独立存储

坏块信息对于 NAND FLASH 的使用非常重要,每次上电时系统都要读取空余区获取坏块信息.本文提出对坏块信息进行独立存储,如图 2 所示,在整个 NAND FLASH 存储区中开辟一片地方整体存储坏块信息,可以有效避免坏块标记失败的影响,也能加快上电后系统获取坏块信息的时间提高系统可靠度.

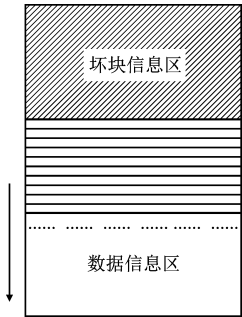


图 2 坏块信息区示意图

4.2 冗余存储方案

对坏块信息区使用容错控制方法进一步提高其可靠性.通常使用冗余备份的方式对关键信息进行备份.用可靠性模型来描述为一个 N 中取 R 的表决系统^[6],其可靠性框图如图 3 所示.

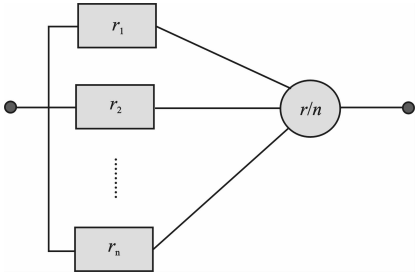


图 3 r/n 系统可靠性框图

设个单元的可靠度为 R_i ,不可靠度为 F_i ,用概率法可求得 r/n 系统可靠度为:

$$\begin{aligned} R_s(t) &= \sum_{i=r}^n C_n^i R_i(t)^i F_i^{n-i}(t) \\ &= \sum_{i=r}^n C_n^i R(t)^i (1 - R(t))^{n-i} \end{aligned} \tag{1}$$

对于本文中的应用场景而言, $r = 2$ 可得

$$\begin{aligned} R_s(t) &= \sum_{i=2}^n C_n^i R_i(t)^i F_i^{n-i}(t) \\ &= 1 - \sum_{i=1}^n C_n^i R(t)^i F_i^{n-i}(t) \end{aligned}$$

$$= 1 - nR(t)(1 - R(t))^{n-1} \tag{2}$$

为了讨论 $R_s(t)$ 与 n 和 $R(t)$ 的关系, 采用固定变量法. 当 $R(t) = 0.95$ 时, $R(t)$ 与 n 的关系如图 4 所示, 可见当 n 一定时, 系统的可靠度 $R_s(t)$ 会随着 n 增大而增大, 且当 n 为一定值后就会无限趋近于 1. 当 $n = 3$ 时 $R_s(t)$ 与 $R(t)$ 的关系如图 5 所示, 可知当 $R(t)$ 一定时, 随着 $R_s(t)$ 增大而快速增大.

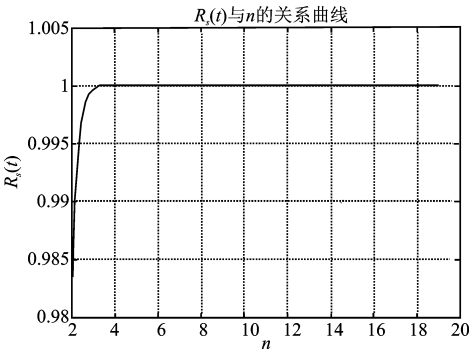


图 4 $R_s(t)$ 与 n 的关系曲线

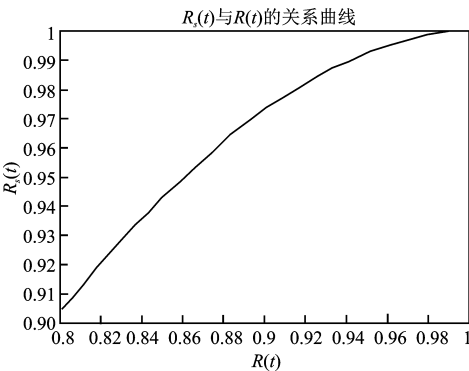


图 5 $R_s(t)$ 与 $R(t)$ 的关系曲线

综上可知, 提高可靠度 $R(t)$ 的值, 或者增加备份 n 的数量都能够提高系统的可靠度. $R(t)$ 仅与芯片的工作寿命、工作环境有关, 无法提高, 只能通过提高 n 来提高系统的可靠度. 但是随着 n 值的增大, 系统管理资源也成倍地增加. 可以根据信息的重要性、系统的工作环境、系统的工作时间调整冗余备份策略, 以达到最终效果与资源使用两者综合最优的效果.

通常一个 n 中取 r 的表决系统, 必须满足 $r > 2$ 才能提高系统可靠性. 故障具有随机性, 无法准确定位故障位置, 只有通过多份比对的方式才能获得正确值, 降低随机故障的影响. 但是在本文应用场景下, 由于 NAND FLASH 芯片的写入方式、流程特殊, 情况有所不同. 在 NAND FLASH 存储系统中能够威胁到存储信息安全的情况仅有块被用坏以及

随机掉电两种情况. 如果是编程时, 通过检查 NAND FLASH 编程状态位判断失败, 则说明正在进行编程的当前页不可靠, 但已编程成功的信息并不受影响, 未编程成功的信息的会在缓存中存储一份, 系统会重新存储. 如果擦除时通过检查 NAND FLASH 编程状态位判断失败, 说明此块已经不能再使用, 但此块内的信息已经失效, 系统会对此块进行坏块标记, 禁止新的操作. 通过编程状态位的检测, 可定位编程、擦除导致的故障. 如果在将信息成功加载入某块中前, 系统突然掉电导致信息丢失, 会影响内部存储信息的可靠性, 但可通过设置成功保存标志的方式定位故障. 因此, 本系统的应用中 $r > 1$ 即可有效提高系统内信息的可靠性. 实际应用中可以根据可靠性需求以及对成本的要求综合进行选择备份数量.

5 实验与结论

本算法的实验平台即为某型号科学实验卫星的存储器, 主存储区由 4 片 NAND FLASH 芯片组成, 共 256 Gbit. 存储器中使用龙芯作为 CPU 对存储区进行逻辑管理, 龙芯芯片预留一对 RS422 调试接口, 可以通过调试接口检测系统启动情况, 以及坏块读取情况.

实验平台如图 6 所示, 通过直流电源给存储器供电, 提供基础测试环境. 通过测试计算机、MOXA 经由调试接口连接存储器获取存储器中系统启动情况及坏块信息读取情况. 测试时, 通过预留的调试接口启动内部程序更改 NAND FLASH 编程标识读取过程, 软件将编程标识更改为“6”, 模拟坏块信息区出现使用坏块, 检测坏块信息区是否对信息进行重新存储, 重新定位, 并检测系统能否正常启动, 坏块信息能否正常读取. 通过更改坏块信息区更新标识, 模拟坏块信息区在掉电时为完成信息的存储, 测试是否影响下次启动, 以及坏块信息的读取.

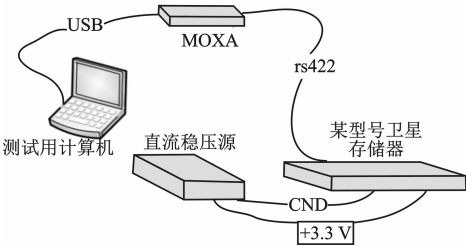


图 6 测试平台结构图

如图 7 所示, 经测试, 该方案在两种情况下均可

