

文章编号:1001-4179(2013)17-0049-03

YAFFS 在雨水情遥测终端数据存储系统中的改进

姚 乾, 严 华

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:在现有的雨水情遥测系统中, YAFFS 文件系统在存储数据时采用异地更新策略, 因而存在 NAND Flash 存储空间利用效率低的问题。通过在 YAFFS 的写操作中引入覆写方法, 并结合 YAFFS 的 ECC 校验技术, 实现了数据本地更新策略, 提高了 NAND Flash 的空间利用率, 实现了数据的可靠存储以及有效管理。同时, 对新的数据存储策略设计了专门的实验方案, 并进行了大量的测试, 结果表明, 存储方式的改进不仅提高了数据存储空间利用率, 节省了存储时间, 还保证了数据存储的准确性。

关键词: NAND Flash; YAFFS 文件系统; 覆写; 本地更新; 雨水情遥测

中图分类号: TP317 **文献标志码:** A

由于 NAND Flash 存储器具有速度快、功耗低、体积小、容量大和掉电非易失等特性, 因此被广泛应用于嵌入式系统中。嵌入式系统中, 数据存储和管理的优劣性直接影响着整个系统性能的发挥。在现有的雨水情遥测终端机中, 软件主要由系统开发人员自己编写, 采集的雨水情数据直接存储到 NAND Flash 存储器中, 数据的存储和管理通过直接对 NAND Flash 硬件的操作来实现。由于 NAND Flash 的硬件擦除寿命有限, 如果要考虑磨损均衡、垃圾文件回收等问题, 将会大大增加系统开发的复杂性, 也很难实现数据的可靠存储以及有效管理。随着 4G 网络的发展, 水利信息化的需求发展对数据处理的多样性、灵活性和移动性提出了更高的要求, 系统开发的复杂性和成本也随之提高^[1]。

对于 NAND Flash 存储管理的研究, 国外主要侧重于空间管理算法和日志结构式文件系统兼容性, 国内则侧重于改进通用文件系统数据存储和管理的结构^[2]。YAFFS 文件系统根据 NAND Flash 的硬件特点, 设计了文件系统的数据库结构和文件操作, 是一个专门为 NAND Flash 存储器设计的嵌入式日志文件系统。YAFFS 的设计是针对通用应用的需求, 并没有针对雨水情数据特点进行优化。在山洪灾害监测系统中, 雨水情数据具有单次采集数据量小、采集频繁、随时间线

性采集存储、删除操作少等特点。而 YAFFS 采用异地更新数据的策略, 为了存储几十字节的数据, 就要删除 NAND Flash 中原来的数据存储页, 造成了大量存储空间废弃。本文针对 YAFFS 存储雨水情数据的特点, 采用覆写方法, 结合 YAFFS 的 ECC 校验技术, 实现了 YAFFS 本地更新, 大大提高了 NAND Flash 存储空间的使用效率, 实现了数据的可靠存储和有效管理, 并且通过试验验证了本地更新策略的可行性和可靠性。

1 YAFFS 存储雨水情数据存在的问题

YAFFS 是一个专门为 NAND Flash 存储器设计的嵌入式日志文件系统。根据 NAND Flash 的硬件特点, YAFFS 数据的存储以 chunk 为基本单位。chunk 包括数据区和备用区(OOB), 数据区存储有效数据, 备用区存放 ECC(Error Correction Code)校验数据和 YAFFS 文件信息结构 yaffs_Tags 等。一个 chunk 可以对应 NAND Flash 中的一页或者若干页, 通常对应一页。针对 NAND Flash 磨损均衡的问题, YAFFS 采用异地更新的策略, 当一个 chunk 中的内容需要更新的时候, 先将该 chunk 的数据从 NAND Flash 中读取到内存, 在内存中更新数据, 然后为更新后的数据分配一个新的 chunk 来存储, 再将原 chunk 删除掉, 以防止某个存储块经常被擦除, 如图 1 所示。

收稿日期: 2013-02-09

作者简介: 姚 乾, 男, 硕士研究生, 主要研究方向为操作系统与嵌入式系统开发。E-mail: 64879927@qq.com

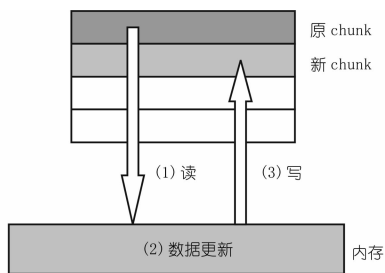


图 1 VAFSS 异地更新示意

在嵌入式文件系统中,针对不同的应用,应该采用不同的优化目标^[3]。在山洪监测系统中,水雨情遥测终端采集的数据主要是雨量、水位、流量等,单次存储的数据量很小,大概 16 字节,且存储频率高。在 YAFSS 的文件组织中,除了为每一个文件的数据分配 chunk 外,还为文件分配一个单独的 chunk 存储文件头结构 yaffs_HeaderStruct,该结构包括文件大小、权限等属性和管理信息^[4]。根据 YAFSS 的异地更新策略,每次存储 16 字节的雨水情数据,都要重新分配一个 chunk,再删除一个 chunk,直到一个 chunk 内的数据写满,该 chunk 就不会再被操作了。以一个文件存储一天的雨水情数据,每 5 min 采集并存储一次数据,一个月按照 31 d 计,1 d、1 个月、1 a 数据存储的频数分别为 288,8 928,107 136 次。一天的有效数据一共 4 608 字节,加上文件头仅需 10 个 chunk 就能够满足存储要求,而实际中却要消耗掉 576 个 chunk,致使 NAND Flash 空间利用率很低。

2 YAFSS 文件系统的改进

2.1 覆写方法的引入

NAND Flash 的写操作就是将 NAND Flash 中的相应的 bit 由 1 变为 0,NAND Flash 的擦除操作就是将 NAND Flash 中要擦除的块中所有的 bit 都置为 1。在 NAND Flash 的操作过程中,在某一页写入数据的时候,往往要先将该页所在的块擦除后,再将数据写入,实质上是 NAND Flash 在擦除后,所有的 bit 都被置 1,而写 NAND Flash 是将相应 bit 的 1 变为 0。因此,可以修改页中的部分 bit,前提是这些 bit 为 1,不需要擦除就可以再写入该页,这种方法叫做覆写。例如把数据 01010110 改为 01000010,只需要将其中的两个 bit 改为 0 即可,如图 2 所示。

当文件存储一次水雨情数据后,其数据 chunk 中前 16 字节的数据位被修改,而该 chunk 剩余的 496 字节空间的 bit 仍然是 1,而第二次采集的数据不会影响第一次的数据,直接存储在第一次采集数据的后面,因此,可以采用覆写的方法将第二次的写入原 chunk 中,而不为该文件重新分配一个 chunk,这就是

YAFSS 的本地更新策略,如图 3 所示。这样的机制使得在存储小数据时大大提高了 NAND Flash 存储空间的使用率,由于减少了空间使用次数,也实现了 YAFSS 磨损均衡并减轻了垃圾文件回收的压力,同时减少了擦除操作,大大提高了 NAND Flash 的使用寿命。

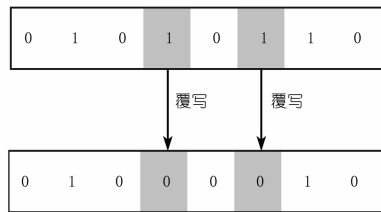


图 2 NAND Flash 的覆写示意

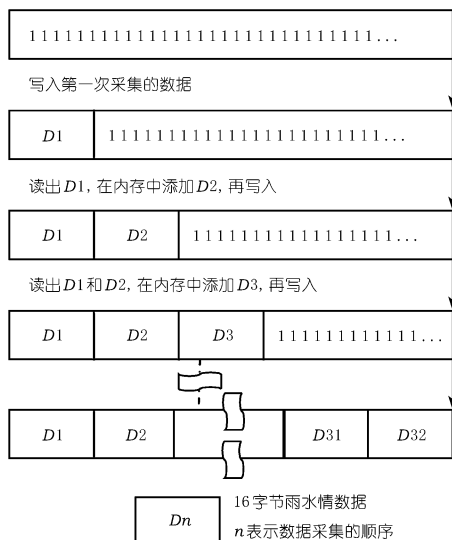


图 3 VAFSS 本地更新示意

2.2 基于本地更新策略的 YAFSS 改进

由于 OOB 区的数据只能写一次,因此仍采用 YAFSS 数据异地更新策略。将 OOB 区中的动态数据放在 yaffs_ObjectStruct、yaffs_HeaderStruct 结构中,实现对文件的管理。添加的动态数据如下所示:

```
typedef struct {
    ...
    unsigned char ChunkEcc[15][6];
    unsigned int CurrentnBytes;
};
```

CurrentnBytes 表示该文件中当前操作的 chunk 中已存的数据量,以定位数据更新在 chunk 的位置。由于 NAND Flash 在读写操作中容易出现位反转,因此需要 ECC(error correction code) 校验来确保数据在读写过程中的正确性。每 256 个字节的数据生成 3 个字节的 ECC 码,ECC 校验能够纠正 1bit 的错误和检测出

2bit 的错误,多于 2bit 的错误 ECC 校验就不能够检测出来了^[5]。每个 chunk 的 ECC 校验数据占 6 个字节,存储一天雨水情数据需要 9 个 chunk,考虑到有雨情的情况下加密采集,因此在设计的时候,一个文件容纳一个文件头和 15 个 chunk 的数据,空间足够用于存储雨水情数据,故在一个文件的头结构中存放 15 个 chunk 的 ECC 校验数据。同时要修改 YAFFS 针对数据 chunk 的校验程序,在对数据 chunk 中的数据进行校验时,ECC 数据从文件头中的 ChunkEcc 成员中读取。在配置 linux 内核的时候,采用 YAFFS 提供的 ECC 校验。由于文件名通常不会太长,故 yaffs_ObjectHeader 结构中 name 成员的大小由原来的 256 个字节改为 150 个字节,以使文件头结构能够容纳在一个 chunk 中。

在 chunk 的 yaffs_Tags 结构中有一个 2bit 的成员 unusedStuff,在 YAFFS 中未使用,故在 yaffs_Tags 结构中增加如下成员:

```
typedef struct {
...
unsigned PartialProg:2;
} yaffs_Tags;
```

PartialProg 初始值为 11B,表示该 chunk 的数据更新是采用异地更新还是本地更新。若是文件中的数据 chunk,则 PartialProg 置 0,表示数据更新采用本地更新,存储文件头的 chunk 采用异地更新,相应的 PartialProg 为 11B。

3 实验测试

3.1 NAND Flash 空间消耗测试

根据对 YAFFS 的改进策略,修改 YAFFS 的源代码,并移植到 linux 内核中,在开发板上构建起完整的系统。以一个文件存储一天的雨水情数据,在开发板上,分别测试 YAFFS 改进前后存储雨水情数据所消耗的 chunk 数。结果显示,YAFFS 改进前后,存储一天的数据,文件系统空间消耗为 567,297chunk,节约了近 48%。NAND Flash 的擦除操作是相当耗时的,YAFFS 改进后实现了磨损均衡同时减轻了垃圾文件回收的压力,同时也提高了 NAND Flash 的使用寿命。

3.2 YAFFS 本地更新的可行性与可靠性

所有的 flash 器件都存在位反转的现象。由于 flash 硬件的电器特性,在数据的存储和读取过程中,可能出现一位或几位数据错误,而且 NAND Flash 相对于 NOR Flash 等其他存储设备,出现位反转的概率相对更大。覆写方法在数据处理中需要对一个页反复多

次的读写,这又会提高位反转的概率。

本研究在实验中进行了 NAND Flash 的读写测试,以验证覆写方法是否可行。在没有采用数据校验的情况下,每次存储 16 字节数据,下一次存储时,将已存入的数据读出,在内存中加入新 16 字节的数据,新数据添加在原数据的后面,然后再写入 NAND Flash 的同一页,直到这一页写满,再重新分配新的页。对 NAND Flash 进行了 15 组测试,共计 303 104 次覆写,其中出现读写错误 32 次,错误概率达到 0.0105%。实验结果如表 1 所示。

表 1 NAND Flash 覆写测试结果

序号	读写次数	错误次数	序号	读写次数	错误次数
1	2048	0	9	16384	2
2	2048	0	10	16384	0
3	4096	0	11	16384	1
4	4096	0	12	16384	4
5	4096	0	13	65536	8
6	8192	0	14	65536	10
7	8192	0	15	65536	7
8	8192	0			

在 YAFFS 文件系统中采用本地更新策略存储小数据时,利用 YAFFS 自身的 ECC 校验,又对 NAND Flash 的覆写进行了百万次测试,经过 ECC 校验算法对数据处理后,YAFFS 在执行本地更新时,没有出现数据错误,如表 2 所示。

表 2 YAFFS 本地更新读写测试结果

序号	读写次数	错误次数	序号	读写次数	错误次数
1	32768	0	6	131072	0
2	32768	0	7	131072	0
3	65536	0	8	131072	0
4	65536	0	9	131072	0
5	65536	0	10	262144	0

4 结论

由实验证明,YAFFS 文件系统实现本地更新策略后,大大提高了 NAND Flash 空间使用的效率,减少了 YAFFS 磨损均衡和垃圾回收的压力,从而提高了系统的性能和 NAND Flash 的寿命。NAND Flash 覆写方法中数据的错误率极低,结合 YAFFS 的 ECC 校验确保了覆写数据的准确性和可靠性,达到了百万次存储操作中无数据错误的水平,在雨水情遥测终端数据存储系统的应用中,可以确保系统 10 a 数据的正确存储。YAFFS 文件系统在雨水情遥测终端中的使用,减小了系统开发的复杂性,也实现了数据的可靠存储和有效

似水电站的设计而言,也具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 张鹏. 水电站水力过渡过程的数值仿真及参数优化[D]. 武汉: 武汉大学水利水电学院, 2007.
- [2] 雷恒, 谭建领. MATLAB 在水电站水力过渡过程计算仿真中的应用[J]. 中国水运, 2009, 9(2): 134 - 137.
- [3] 沈祖治. 水轮机调节[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [4] (加) M. H. 乔德里著. 陈家远, 孙诗杰, 张治滨译. 实用水力过渡

过程[M]. 成都: 四川水力发电工程学会, 1985.

- [5] 杨开林. 电站与泵站中的水力瞬变及调节[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [6] 克里夫琴科著. 常兆堂, 周文通, 吴培豪译. 水电站动力装置中的过渡过程[M]. 北京: 水利出版社, 1981.
- [7] 吴荣樵, 陈鉴治. 水电站水力过渡过程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.

(编辑: 赵秋云)

Digital simulation of hydraulic transition process by MATLAB

SUN Meifeng, WANG Jia

(Institute of Electric Power, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: Hydraulic transition computation, especially the rejection transient computation, is absolutely necessary for the design of a hydropower station and hydraulic unit, which is also the precondition of ensuring the safe and stable operation of the station. In order to ensure the safety of load rejection transient process, based on MATLAB, this paper adopts the characteristics method of unsteady flow differential equations of pressure pipeline to conduct digital simulation of rejection transient process for a diversion pipe system with the arrangement of upstream surge - chamber and one diversion tunnel for three units. According to simulation results, the reasonable closure law of guide glade is determined, the duration curves of relevant transient parameters are obtained and the highest and lowest tank surges are calculated, so as to provide technical basis for the design and the safe and stable operation of the station.

Key words: hydraulic transition process; digital simulation; MATLAB; turbine characteristics; characteristics method

(上接第 51 页)

管理。随着 4G 网络的发展,水利信息化的需求会进一步提高, YAFFS 能够更有效地采集和存储图片、视频等数据。

参考文献:

- [1] 邱超. 实时水情预警短信平台的研究与应用[J]. 人民长江, 2010, 41(2): 43 - 46.
- [2] 张鹏, 严华. 水文自动监测系统中遥测数据循环存储研究[J]. 人民长江, 2012, 43(7): 7 - 11.

- [3] 应骏, 江峰, 李莉. 嵌入式设备上的文件系统优化设计[J]. 电子技术应用, 2007, 33(12): 141 - 144.

- [4] 孙丰, 张福新. YAFFS 文件系统的研究与改进[J]. 计算机工程, 2008, 34(5): 257 - 259.

- [5] H Lee, S Junk, YH Song. PCRAM - assisted ECC management for enhanced data reliability in flash storage systems[J]. IEEE transactions on consumer electronics, 2012, 58(3): 849 - 856.

(编辑: 常汉生)

Improvement of YAFFS in data storage system of Hydrology Remote Terminal Unit

YAO Qian, YAN Hua

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In the existing hydrology remote system, YAFFS file system realizes data storage by remote update strategy resulting in low utilization efficiency of NAND Flash storage space. Combined with ECC check technique, the partial page programming is introduced in writing operation to realize local data update in YAFFS file system, thus the memory space utilization of NAND Flash is improved and reliable storage and effective management of data are realized. Meanwhile, a specific experiment is designed for the new data storage strategy and a large amount of tests are conducted. The test result shows that the new storage system not only improves the utilization efficiency of data storage space and saves storage time, but also guarantees the accuracy of the stored data.

Key words: NAND Flash; YAFFS file system; partial page programming; update in place; remote measuring of water and rain data