

大容量 NAND フラッシュ向け組み込み Linux ファイルシステム評価

波平 真二†

株式会社 東芝†

1. 序論

近年 NAND フラッシュは大容量化・低コスト化が進み、デジタル情報家電などの組み込み機器においても、100MB 超の NAND フラッシュがストレージ用途として搭載される傾向にある。組み込み機器の OS として広がりを見せる Linux においては、大容量フラッシュ向けに数々のファイルシステムが開発されつつあるが、それぞれの特徴は異なり、一長一短があるため、どのファイルシステムを製品適用するかは選択は難しい。そこで本稿では、各ファイルシステムについて、大容量化の際に課題となりうる基本的な性能、および想定されるアプリケーションモデルに応じた評価結果を示し、各ファイルシステムの課題、改善点を考察する。

2. Linux フラッシュファイルシステム

組み込み機器において NAND フラッシュチップを使用する場合、以下の物理的特性への対応が必要となる。

- ・ブロックごとの消去/書き換え回数限界 (寿命)
- ・不良ブロックの発生
- ・ビット反転の発生

これらを考慮してフラッシュ向けに設計されたファイルシステムが、フラッシュファイルシステムである。

本稿では、Linux における様々な OSS のファイルシステムの中から、ジャーナリング機能 (電源断耐性) に対応し、且つ大容量向けにも対応している、以下のフラッシュファイルシステムを評価対象とする。また比較のため、従来の小容量向けで一般的に使われてきた JFFS2 (Journaling Flash File System, ver.2) も対象とする。

- YAFFS2 (Yet Another Flash File System, ver.2)
- LogFS (Log File System)
- UBIFS (UBI File System)

表 2.1 に、それぞれのフラッシュファイルシステムの特徴をまとめる。安定性においては、標準 Linux に含まれ従来から実績のある JFFS2 が高い一方、LogFS はまだ開発中にあり、システムに応じた作り込みをユーザーに期待しているコードが多数残っている。寿命対策においては、UBIFS が動的/静的ウェアレベリング (使用ブロックの平滑化) に加えて、ビット反転発生時のブロック移動にまで対応している一方で、YAFFS2 は静的ウェアレベリングにも対応していない。

Examination of Linux Flash Filesystems for large NAND
†Embedded System Core Technology
Development Department, CORE TECHNOLOGY CENTER,
TOSHIBA CORPORATION

表 2.1 各フラッシュファイルシステムの特徴

	JFFS2	YAFFS2	LogFS	UBIFS
開発履歴	2001~	2002~	2005~	2006~
標準 Linux 化	○	×	×	○
安定性/保守性	◎	○	△	○
データ圧縮機能 (デフォルト)	○ (ZLIB)	-	○ (なし)	○ (LZO)
寿命対策	○	△	○	◎

3. 評価

評価対象の各フラッシュファイルシステムについて、各種評価項目を測定し、それぞれの優れた点、課題点を明らかにする。また、その結果に基づき、各ファイルシステムに最適なアプリケーションモデルを示す。

3.1 評価項目

デジタル情報家電製品にフラッシュファイルシステムを適用する要件としては、以下が挙げられる。

- 1) 起動時間
- 2) I/O スループット
- 3) リソース消費量
- 4) 安定性/保守性
- 5) フラッシュ寿命
- 6) 電源断耐性

本稿では、1)~3) に対応する以下の項目についての測定、評価を行った。

- a) マウント時間
- b) I/O スループット
- c) RAM 使用量
- d) フラッシュ使用量

3.2 評価環境

表 3.1 に評価環境を示す。NAND には、データ格納領域とは別に、ビット反転対策のための ECC 情報を格納する冗長領域があり、フラッシュファイルシステムによってはこの空き領域を独自に利用している。

表 3.1 評価環境

	仕様	
CPU	MIPS 327MHz (IS/D\$:64KB/64KB)	
RAM (Kernel Used)	256MB (32MB)	
NAND	Memory Size	256MB+8MB
	Block Erase	128KB+4KB
	Page Program	2KB+64B
	Sub-Page (addable times)	512B+16B(4)
	Bus	8bit
	Maker	Samsung
Kernel version	2.6.20 ~ 2.6.26	

3.3 評価結果

a) マウント時間

表 32 mount、ls コマンド実行時間 [sec]

	JFFS2(w/summary)	YAFFS2	LogFS	UBIFS
mount	3.91	0.49	0.15	0.41
ls	6.36	0.02	0.02	0.02

NAND を約 75% 使用している状態から、mount 実行時間と、ls 実行時間 (mount のバックグラウンド処理時間) を連続して測定した。LogFS はファイル管理構造をそのままフラッシュ上に格納し、他の領域へのアクセスが少ないために最も高速であり、UBIFS、YAFFS2 がそれに続く。JFFS2 はマウント時間を高速化する summary オプションを適用しても大きく遅くなっている。

b) I/O スループット

表 33 tiobench 測定結果 [MB/sec]

	JFFS2	YAFFS2	LogFS	UBIFS
sequential Write	2.326	0.587	1.753	7.843
random Write	2.199	0.492	1.031	3.071
sequential Read	9.016	0.955	2.079	4.604
random Read	7.467	1.045	2.080	3.137

外部記憶装置向けベンチマークツール tiobench を用いて、32KB データ単位での I/O スループットを測定した。UBIFS はデータのライトバックにも対応しているため、連続領域書き込み処理において性能が高い。LogFS はメタデータのみ、ライトバックとデフォルトの圧縮機能に対応しているため、YAFFS2 より高くなっている。NAND 容量の増加に応じて扱うデータ量が大きくなると、圧縮機能が有効になることがわかる。

c) RAM 使用量

表 34 マウント時 RAM 使用量 [KB]

	JFFS2	YAFFS2	LogFS	UBIFS
使用量	3124	372	268	1652

マウント時に RAM 上に構築するファイル管理構造のサイズを測定した。JFFS2 と比較して、いずれのファイルシステムも使用量は少なくなっている。特に LogFS、YAFFS2 はファイル管理の情報をフラッシュ上に持ったため、RAM 使用量は非常に小さい。

d) フラッシュ使用量

表 35 全容量使用時メタデータフラッシュ使用量 [KB]

	JFFS2	YAFFS2	LogFS	UBIFS
使用量 (Pg)	12764 (4.87)	1402 (0.54)	13194 (5.04)	18312 (6.99)

NAND フラッシュの容量限界までデータを書き込んだときの、データ領域中のメタデータのサイズを測定した。YAFFS2 は、管理情報の格納場所として NAND の冗長領域を多く利用しているため、データ領域の消費が小さい。一方 UBIFS は、管理情報の二重化などにより、特に使用量が大きくなっている。

3.4 考察

大容量向けフラッシュファイルシステムの製品適用

表 3.6 大容量向けフラッシュファイルシステム評価

	YAFFS2	LogFS	UBIFS
マウント時間	○	◎	○
I/O スループット	△	○	◎
RAM 使用量	○	◎	×
フラッシュ使用量	◎	△	×

に対する評価結果を表 3.6 にまとめた。今回の測定項目では、YAFFS2、LogFS が全体的にバランス良く、UBIFS はリソース消費量が他に比べて著しく大きいことがわかった。この要因は、電源断耐性や寿命対策など、今回の測定項目以外の機能の強化、つまり他の優位点とのトレードオフと推測される。また、表 2.1 に示したように、LogFS は大容量 NAND における動作安定性が低く、YAFFS2 はフラッシュ寿命対策が弱い。従って、今後更にそれらの機能評価も行い、今回の結果と併せた総合的な評価が必要と思われる。

以上の考察から、各ファイルシステムの適用に最適な製品アプリケーションモデルを表 3.7 にまとめた。

表 3.7 最適なアプリケーションモデル

	アプリケーションモデル
YAFFS2	<ul style="list-style-type: none"> 数多くのファイルや、圧縮済みのデータを使用 書き込みが頻繁に起きない(寿命低下が遅い)
LogFS	<ul style="list-style-type: none"> システム起動と同時の高速起動が求められる RAM 使用量が大きい
UBIFS	<ul style="list-style-type: none"> 安定して高い I/O スループットが求められる 小さいサイズの連続書き込みが頻繁に起こる

5. 結論

本稿では、大容量化の進む NAND フラッシュのストレージ用途において、主要なフラッシュファイルシステムの利点と課題を明確にした。実際の製品適用に際しては、これらの指標を考慮し、適用するシステムやアプリケーションに応じて最適なものを選択する必要がある。将来の更なるフラッシュ大容量化に向けての、各ファイルシステムの改善案を以下に示す。

表 3.8 フラッシュファイルシステムの改善案

	改善案
YAFFS2	寿命対策の強化、冗長領域に置く管理情報のデータ領域への移動(冗長領域空きのないチップ対応)
LogFS	実際の大容量 NAND 環境で発生する実行中断(アボート)部の作り込み、製品適用向けの十分な検査
UBIFS	GB 単位の大容量で問題になりうる、UBI が RAM 上に構築する管理情報のフラッシュ上への格納化

今後は、電源断耐性、フラッシュ寿命対策効果などの更なる評価や、他の新しいフラッシュファイルシステムの調査などを継続して行っていく予定である。

参考文献

- [1] <http://www.linux-mtd.infradead.org/doc/general.html>
- [2] <http://www.yaffs.net/>