

RAID 기반 플래시 저장장치를 위한 수명 기반 신뢰성 관리기법

이세환[†], 이빛나^{o†}, 고건[†], 반효경[‡]서울대학교[†] 이화여자대학교[‡]

{sehwan.lee, bedynell, kernkoh}@oslab.snu.ac.kr, bahn@ewha.ac.kr

A Lifespan-aware Reliability Scheme for RAID-based Flash Storage

Sehwan Lee[†], Bitna Lee^{o†}, Kern Koh[†], Hyokyung Bahn[‡]Seoul National University[†], Ewha Womans University[‡]

1. 서론

플래시 메모리는 작은 크기, 저전력, 높은 성능, 충격에 강한 특징 등으로 인하여 휴대용 기기에서 널리 사용되어 왔다. 최근에는 플래시 메모리의 용량이 증가하고 가격이 하락하면서, 플래시 기반의 SSD가 기업용 서버의 하드디스크까지도 빠르게 대체해가는 추세이다. 그러나, 플래시 메모리의 용량 증가 및 기존 SLC(single level cell)에서 MLC(multi level cell)로 전환된 셀 구성 방식은, 플래시 메모리의 신뢰성을 저해하는 요인이 되었다. 첫째, 저장 장치의 용량이 증가하는 것과는 달리 플래시 메모리의 쓰기/삭제 가능 횟수는 점점 줄어들고 있다. 특히, MLC 플래시 메모리의 경우 심각한 제한이 된다. 둘째, 쓰기/삭제 횟수가 증가하면서 플래시 메모리의 에러 발생률 역시 빠르게 증가한다 [1, 2]. 하드 디스크는 사용 기간과 에러 발생률 간의 연관성이 크게 없으나, 플래시 메모리는 이와 다르다. 셋째, MLC 플래시 메모리는 두 개 이상의 비트를 하나의 셀에 저장하기 때문에, 한 셀에 발생한 에러가 그 셀에 저장된 여러 비트에 동시에 영향을 줄 수 있다. 이와 같이 기업용 서버 환경에서 저장 장치로 사용되기 위해서 필요한 신뢰성이 플래시 기반 저장 장치에서는 부족하다.

본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위해 RAID 기반의 플래시 장치에 대한 수명 기반 신뢰성 관리 기법을 제안한다. 첫째, 쓰기/삭제 횟수 증가에 비례하여 높아지는 플래시 메모리의 비트 에러 발생률을 관리하기 위해 스트라이핑 그룹의 크기를 동적으로 관리한다. 둘째, RAID 기반의 플래시 메모리를 관리하기 위해, 플래시 메모리의 특성을 고려한 로그 블록 FTL 기법을 사용하였다. 셋째, SCM을 사용하여 빈번한 패리티 업데이트를 줄였다.

2. 본론

본 기법은 여러 개의 플래시 메모리 칩이 저장장치로 사용될 때, 저장 공간 낭비를 최소화 하고 신뢰성 있는 플래시 메모리 저장장치를 구성하는 것을 목표로 한다. 따라서 높은 신뢰성을 보장하기 위해 RAID 기반의 구조를 채택하였다. 그림 1은 제시된 기법의 개략적인 구조를 나타낸다. 이것은 여러 플래시 메모리 칩과 소량의 SCM으로 구성되며, 각 플래시 메모리는 로그 영역과 데이터 영역으로 나누어진다. 본 기법은 로그 블록 FTL 기법을 적용하는데, 이 때 데이터 블록은 데이터 영역에, 로그 블록은 로그 영역에 저장된다. 데이터 영역은 서로 다른 플래시 메모리 내 데이터 블록 여러 개를 묶어서 하나의 스트라이핑 그룹을 형성하고, 각 스트라이핑 그룹마다 에러 복구를 위한 패리티 블록이 주어지고 로그 영역은 스트라이핑을 하지 않고 해당 칩에 저장되며 패리티 페이지 역시 해당 블록에 저장된다.

그림 1에서 제안한 구조를 기반으로 하여, 본 논문에서는 RAID 기반의 플래시 저장장치의 신뢰성과 성능을 확보하기 위한 세 가지 기법을 제시한다. 첫째, 제안하는 기법에서는 쓰기/삭제 횟수 증가에 따르는 플래시 메모리의 에러 발생률 증가 문제를 해결하기 위해 스트라이핑 그룹의 크기를 동적으로 관리한다. 플래시 메모리의 쓰기/삭제 횟수가 많아짐에 따라 스트라이핑 그룹을 구성하는 데이터 블록의 수를 점차 줄인다. 패리티 블록은 각 스트라이핑 그룹마다 한 블록씩 할당되기 때문에, 하나의 패리티 블록은 시간이 지날수록 더 적은 데이터 블록을 포함하게 된다. 이는 적은 공간 오버헤드를 지니면서도 플래시 장치의 전체 수명 동안 동일한 수준의 신뢰성을 제공하게 해준다. 만일 플래시 장치의 전체 수명 동안 고정된 크기의 스트라이핑 그룹이 사용된다면, 쓰기/삭제 횟수가 적은 블록에 대해서도 큰 패리티 공간이 필요하게 되어 공간 낭비가 심해진다. 신뢰성과 공간 효율성 간의 최적점을 정의하기 위해, 그림 2와 같이 제안하는 기법은 블록의 크기를 동적으로 변화시켰다. 제안하는 기법은 쓰기/삭제 횟수가 3,000회가 될 때까지 스트라이핑 그룹 크기를 128로 설정한 뒤 크기를 점차 감소시키면서 마지막으로 쓰기/삭제 횟수가 10,000회일 때 4가 되게 한다. 이렇게 동적으로 스트라이핑 그룹의 크기를 변화시킴으로써 쓰기/삭제 횟수와 무관하게 에러 발생률을 RAID-5와 동일하게 $1.1E-13$ 를 유지할 수 있으면서 표 1과 같이 저장 공간을 효과적으로 사용할 수 있다. 둘째, 제안하는 기법은 플래시 메모리의 특성을 파악하는 로그 블록 FTL 기법을 적용한다. 이 기법은 데이터 블록과 로그 블록의 서로 다른 특성을 활용함으로써 각 영역에 대해 서로 다른 신뢰성 정책을 적용한다. 제안하는 기법은 패리티 정책과 스트라이핑 정책에 따라 데이터 영역과 로그 영역에 각기 다른 정책을 적용한다. 데이터 영역에서 각 스트라이핑 그룹의 패리티 블록은 논리 블록 번호를 기반으로 계산되고, RAID-5의 스트라이핑 정책에 따라 저장된다. 앞에서 설명한 것과 같이 스트라이핑 그룹의 크기는 시간이 흐를수록 변화한다. 로그 영역에서 패리티는 페이지 단위로 유지되고 이는 물리 페이지 번호로 계산된다. 데이터 영역과 비슷하게 패리티 페이지의 할당 범위는 플래시 메모리의 쓰기/삭제 횟수가 증가함에 따라 변화하며, 초기의 패리티 페이지는 128 개의 로그 페이지 당 하나씩 할당된다. 이것은 데이터 영역과 같은 수준의

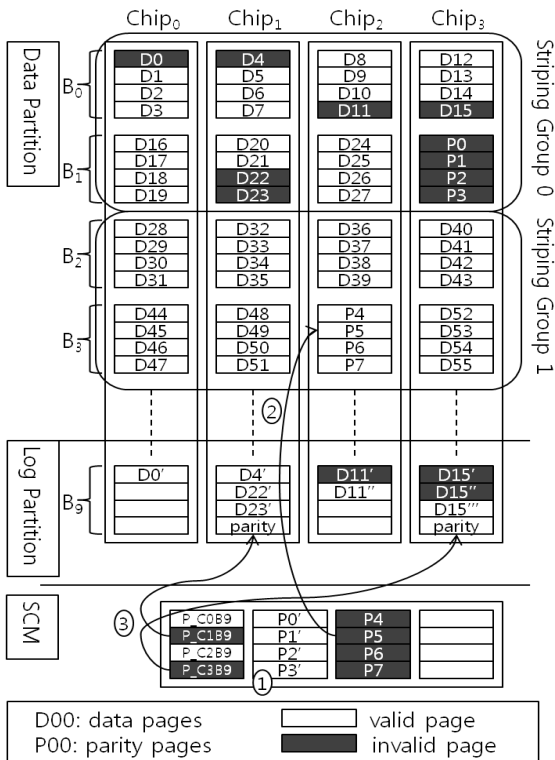


그림 1. 제안하는 기법의 개략적인 구조

신뢰성을 지원한다. 이후 쓰기/삭제 횟수가 증가할수록 패리티 페이지는 더 적은 수의 로그 페이지를 포함하게 된다. 셋째, SCM 을 패리티 버퍼로 활용함으로써 패리티 업데이트가 플래시 메모리에 바로 반영되는 횟수를 줄이고, 플래시 메모리의 전체 수명을 연장시킬 수 있다. 데이터 영역에서는 두 가지 종류의 패리티 블록 업데이트가 있다. 첫째, 만약 스트라이핑 그룹에 쓰기 요청이 있는 경우 해당 그룹의 패리티 블록이 이미 데이터 영역에 존재한다면, 제안하는 기법은 해당 패리티 블록은 무효화시키고 SCM에 새로운 패리티 블록을 저장한다. 이것은 그림 1의 1번의 경우이다. 둘째, 만약 스트라이핑 그룹에 쓰기 요청이 있을 때 이 그룹의 모든 블록에 데이터가 저장된 상태가 아니라면, 패리티 블록은 스트라이핑 그룹의 모든 블록이 데이터를 저장할 때까지 SCM에 저장된다. 이것은 그림 1의 2번의 경우이다. SCM에 저장된 패리티 블록이 플래시 메모리에 기록되는 때는 SCM에 여유 공간이 없거나 일정기간 쓰기 요청이 없을 때이다. 이 때 SCM에서 플래시 메모리로 저장될 블록은 LRU 교체 기법을 통해 정해진다. 로그 영역에서도, 패리티 블록은 해당 로그 블록이 가득 찰 때까지 SCM에 쓰여진다. 이것은 그림 1의 3번의 경우이다. 로그 영역의 패리티 페이지는 물리 섹터 주소 기반으로 관리된다.

3. 결론

RAID-5는 저장 장치의 신뢰성 및 성능을 강화하기 위해 하드 디스크에 널리 사용되어왔다. 최근에는 플래시 메모리 기반의 저장 장치에도 RAID-5를 적용한 시도가 있었으나, 덮어 쓰기를 지원하지 않고 쓰기/삭제 횟수에 따라 RBER 값이 바뀌는 플래시 메모리의 특징으로 인하여 제대로 적용할 수 없었다. 본 논문에서는 RAID 기반의 플래시 메모리를 위한 수명 기반 신뢰성 관리 기법을 제시한다. 이 기법은 여러 플래시 메모리 칩으로 구성된 SSD가 저장장치로 사용될 때 RAID-5를 효과적으로 적용하기 위한 것이다. 첫째, 제안하는 기법은 쓰기/삭제 횟수가 증가함에 따라 플래시 메모리의 여러 발생될도 함께 증가하는 현상을 극복하기 위하여 스트라이핑 그룹의 크기를 동적으로 관리한다. 둘째, 로그 영역과 데이터 영역이 서로 다른 특성을 보이는 것을 이용하여 로그 블록과 데이터 블록에 각기 다른 신뢰성 정책을 적용하는 로그 블록 FTL 기법을 제시한다. 셋째, 소량의 SCM을 패리티 버퍼로 이용하여 잦은 패리티 블록 업데이트를 해결하고 플래시 메모리의 수명을 연장하였다. 위와 같은 세 가지 기법을 통해, 제안하는 기법은 RAID 기반의 플래시 저장 장치에서 최소 공간 오버헤드로 높은 신뢰성을 얻을 뿐만 아니라, 전통적인 RAID-5와 비교했을 때 그 성능을 62.7%까지 향상시킨다.

4. 참조

[1] N. Mielke, T. Marquart, N. Wu, J. Kessenich, H. Belgal, E. Schares, F. Trivedi, E. Goodness, and L. R. Nevill, " Bit error rate in NAND Flash memories," *IEEE International Reliability Physics Symposium, 2008*, pp. 9-19.

[2] L.M. Grupp, A.M. Caulfield, J. Coburn, S. Swanson, E. Yaakobi, P.H. Siegel, and J.K. Wolf, " Characterizing flash memory," *Proceedings of the 42nd Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture, 2009*.

표 1. 스트라이핑 그룹의 크기 및 공간 효율성

Striping Group Size	4	8	16	32	64	128
Space Efficiency (%)	75.0	87.5	93.8	96.9	98.4	99.2

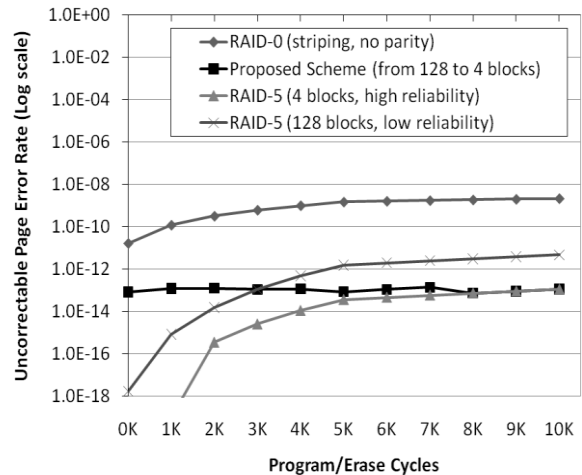


그림 2. 쓰기/삭제 횟수에 따른 다양한 기법 간의 UPER