

# NAND 스토리지 시스템의 성능 향상을 위하여 SCM을 활용한 변화량 기반 저널링 기법

김정훈, 민창우, 엄영익  
성균관대학교 정보통신대학  
e-mail:{myhuni20, multics69, yeom}@skku.edu

## Differential Journaling for Improving Performance of NAND Storage Systems with SCM

Junghoon Kim, Changwoo Min, and Young Ik Eom  
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan Univ.

### 요 약

최근 비휘발성, 바이트 단위 접근이 가능한 스토리지 클래스 메모리 관련 시스템 소프트웨어 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이에 본 논문에서는 SCM의 성능 및 용량, 가격 측면을 고려하여, NAND 스토리지 시스템 성능 향상을 위한 변화량 기반 저널링 기법을 제안한다. 본 기법은 기존 데이터 대비 바뀐 부분이 임계치보다 작을 경우, 해당 부분을 기록하는 저널 영역으로써 SCM을 활용한다. 분석 결과에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 기법은 NAND 페이지 쓰기 횟수를 크게 감소시킴으로써, I/O 성능 및 NAND 스토리지 수명 향상을 가져온다.

### 1. 서론

최근 비휘발성, 바이트 단위 접근이 가능한 스토리지 클래스 메모리(Storage Class Memory; SCM) 관련 하드웨어 기술 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이는 향후 스마트 디바이스뿐만 아니라 데스크톱, 클라우드 서버 등 다양한 분야의 핵심 스토리지로 주목받고 있다. SCM을 활용한 스토리지 환경을 구축하기 위해서는, 시스템 소프트웨어 기술 연구가 필요하다. 이를 위해, SCM 기반 파일시스템 설계[1][2], SCM-NAND 하이브리드 스토리지 기반 시스템 소프트웨어 기술[3], SCM을 활용한 버퍼캐시 설계[4] 등이 연구되고 있다.

하지만 단기적으로 성능 및 용량, 가격 측면을 고려할 경우, SCM이 스토리지 혹은 버퍼캐시 전체를 대체하기에는 한계가 있다. IPL-P[5] 연구 결과에서 알 수 있듯이 대용량 데이터를 읽고 쓸 경우, 플래시 메모리가 오히려 PRAM보다 좋은 성능을 보인다. 또한 아직까지 스토리지 전체를 대체할 만큼 대용량의 SCM을 생산할 수 없고, 가격도 DRAM, HDD, 플래시 메모리보다 비싸다. 따라서 이러한 특성을 반영하여 SCM을 효율적으로 사용할 수 있는 시스템 소프트웨어 기술 연구가 필요하다.

본 논문에서는 작은 크기의 SCM을 효율적으로 활용하여, NAND 스토리지 시스템의 성능 및 수명 향상을 위한 변화량 기반 저널링 기법을 제안한다. 저널링은 데이터의 일관성 보장을 위해 널리 사용되고 있지만, 저널 영역에 추가로 기록해야 하는 쓰기 오버헤드가 존재한다. 이는

지우기 전 기록할 수 없다는 점과 페이지 단위 제한된 프로그래밍 횟수를 지닌 NAND 스토리지 시스템에서 더 큰 오버헤드로 작용한다. 본 기법은 SCM을 기존 데이터의 바뀐 부분만 기록하는 저널 영역으로 사용함으로써, NAND 스토리지의 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 변화량 기반 저널링 기법에 대해 설명한다. 3장에서는 제안기법에 대해 평가 및 분석을 하고, 4장에서 결론 및 향후 연구 계획을 끝으로 본 논문을 마무리한다.

### 2. 변화량 기반 저널링 기법

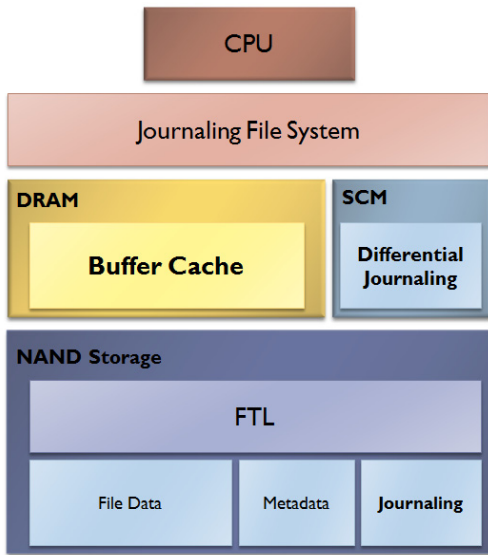
#### 2.1 시스템 구조

본 논문에서 제안한 시스템 구조는 그림 1과 같다. 스토리지로부터 읽고 쓰는 데이터의 캐시역할을 해 주는 버퍼캐시는 전통적인 시스템 구조와 같이 DRAM에 존재한다. 그 이유는 단기적으로 SCM이 DRAM의 버퍼캐시를 대체할 만큼 가격, 성능 면에서 한계가 있기 때문이다. SCM은 DRAM과 같은 DIMM 형태로 메모리 버스에 존재하고, 저널 데이터 중 변화량이 적은 저널 데이터를 저장하는 용도로 사용한다. 이는 작은 크기의 SCM 공간을 효율적으로 사용하기 위해서이다. 마지막으로 NAND 스토리지는 일반적인 파일데이터, 메타데이터, 그리고 SCM에 저장되지 않은 저널 데이터를 저장하는 용도로 사용한다. 이를 통해 작은 크기의 SCM을 이용하여 NAND 스토리지의 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

#### 2.2 저널링 동작 과정

저널링은 commit 연산, checkpoint 연산을 이용하여 데이터 일관성을 보장한다. commit 연산은 트랜잭션 단위로 저널 영역에 데이터를 쓰는 과정이고, checkpoint 연산

1) 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합 원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10041244, 스마트TV 2.0 소프트웨어 플랫폼]



(그림 1) 시스템 구조

은 원본 데이터에 수정된 데이터를 실제로 반영하는 과정을 의미한다. 저널링 파일시스템은 시스템 오류 발생 시, 저널 영역에 기록된 데이터를 통해 데이터를 복구함으로써 신뢰성을 보장한다. 본 기법에서의 저널링 동작 과정은 다음과 같다.

commit 연산이 일어날 경우, 트랜잭션 단위로 원본 블록과 수정된 블록과의 비교를 통해 변화된 부분을 찾는다. 그다음 변화된 데이터 크기가 특정 임계치보다 작은 경우 SCM에 기록하고, 임계치보다 클 경우 NAND 스토리지의 저널 영역에 기록한다. 이는 SCM 공간을 최대한 효과적으로 사용하기 위함이다. checkpoint 연산이 일어날 경우, 기존의 저널링 동작 방식처럼 NAND 스토리지에 수정된 데이터를 반영한다.

본 기법은 바이트 단위 접근이 가능하고 작은 데이터 읽기, 쓰기에 장점을 지닌 SCM과 더불어 큰 데이터 읽기, 쓰기에 장점을 지닌 NAND 플래시 메모리의 특성을 효율적으로 이용한다.

### 3. 평가 및 분석

본 장에서는 전통적인 시스템 구조와 제안한 기법과의 비교, 분석을 위하여 정성적 평가를 진행하였다. 한 개의 데이터 블록에 대해 300번 commit 연산, 100번 checkpoint 연산이 일어난다고 가정하고, 300번 commit 과정에서 2:1의 비율로 변화량이 임계치보다 작은 경우가 생긴다고 가정하였다. 그리고 이 때 변화량은 100 byte라고 기준을 정하였다. 이전의 연구 결과에서 알 수 있듯이, 실제로 메타데이터 업데이트, 작은 데이터 쓰기 등으로 인해 블록 사이즈 대비 변화되는 데이터 크기가 극히 작은 경우는 많이 발생한다. 마지막으로 NAND 스토리지 페이지 크기는 2 KB이고, 가비지 컬렉션으로 인해 추가적으로 쓰기 연산이 일어나는 경우는 제외하였다.

분석 결과, 제안한 기법은 주어진 기준에서 NAND 페이지 쓰기 횟수와 사용량을 반으로 줄일 수 있다. 이는 평

균 I/O 실행 시간을 줄이고, NAND 스토리지 수명 향상을 가져온다. 그리고 약 8 MB 쓰기 작업에 요구되는 SCM 크기는 20 KB로 매우 작은 양인 것을 확인하였다.

<표 1> 변화량 기반 저널링 기법 평가

특성	$N$	$T_1$
NAND 페이지 쓰기 횟수 (회)	400	200
NAND 페이지 사용량 (KB)	8000	4000
SCM 사용량 (KB)	×	20
평균 I/O 실행 시간	↑	↓

$N$  : 기존 전통적인 시스템 구조  
 $T_1$  : SCM을 활용한 변화량 기반 저널링 기법

### 4. 결론 및 향후 연구 계획

본 논문에서는 NAND 스토리지 시스템의 성능 향상을 위하여 SCM을 활용한 변화량 기반 저널링 기법을 제안하였다. 분석 결과에서 알 수 있듯이, 본 기법은 NAND 스토리지 시스템 성능 및 수명을 향상시킨다. 향후에는 본 기법을 리눅스 커널에 구현하여, 기존 EXT4 파일시스템과 성능을 비교, 분석해 볼 계획이다.

### 참고문헌

- [1] J. Condit, E. B. Nightingale, C. Frost, E. Ipek, B. C. Lee, D. Burger, and D. Coetzee. Better I/O through byte-addressable, persistent memory. In Proceedings of the 22nd ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP), pages 133 - 146, October 2009.
- [2] Xiaojian Wu and Narasimha Reddy. SCMFS: A file system for storage class memory. In Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC), pages 1-11, November 2011.
- [3] H. Lee. High-Performance NAND and PRAM Hybrid Storage Design for Consumer Electronics. IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 56, no. 1, pages 112-118, February 2010.
- [4] E. Lee, H. Bahn, and S. H. Noh. Unioning the Buffer Cache and Journaling Layers with Non-volatile Memory. In Proceedings of the 11th USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST), pages 73-80, February 2013.
- [5] K. Kim, S. Lee, B. Moon, C. Park, and J. Hwang. IPL-P: In-Page Logging with PCRAM. In Proceedings of the VLDB Endowment, vol. 4, no. 12, pages 1363-1366, September 2011.