

https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.4.143

IIBC 2017-4-18

플래시메모리의 관리 기법 연구

A Study on Flash Memory Management Techniques

김정준*, 정성택*

Jeong-Joon Kim*, Sung-Taek Chung*

요약 최근 스마트폰, 디지털 카메라, 자동차 블랙박스 등 같은 소형 전자기기들의 저장장치로써 가볍고 외부 충격에 강한 비휘발성 메모리인 플래시 메모리가 널리 이용되고 있다. 플래시 메모리는 읽기연산과 쓰기연산의 연산 속도가 다르며, 덮어쓰기가 불가능한 특징을 가지고 있기 때문에 삭제연산을 추가하여 이러한 문제점을 해결한다. 또한, 플래시 메모리의 삭제횟수가 제한적이기 때문에 마모도 평균화를 고려해야 한다. 최근 플래시 메모리의 이러한 특성을 고려한 플래시 메모리 기반 버퍼 교체 알고리즘에 관한 많은 연구들이 진행되고 있다. 따라서, 본 논문은 기존 플래시 메모리 기반 버퍼 교체 알고리즘의 문제점을 해결하기 위해 페이지를 그룹으로 나누어 관리하며 교체 대상 페이지 선정 시 참조 횟수와 참조 시간을 함께 고려하였다.

Abstract Flash Memory which is light and strong external shock as storage of small electronics like smartphone, digital camera, car black box has been widely used. Since the operation speed of the read operation and the write operation are different from each other, and the flash memory has the feature that it is not possible to overwrite, the delete operation is added to solve these problems. Wear-leveling must also be considered, since the number of erase times of the flash memory is limited. Many studies have been conducted on the substitutional algorithms of flash memory based on these characteristics of recent flash memories. So, to solve the problem that has existing buffer replacement algorithm this thesis divide page into 6 groups and when proposed algorithm select victim page, it consider reference page frequency and page recency.

Key Words : Flash Memory, Buffer Management, Nand Flash

1. 서론

플래시 메모리는 외부 충격에 강하며, 무게가 가볍다는 특징 때문에 최근 스마트폰, 디지털 카메라, 자동차 블랙박스 등 같은 소형 전자기기 제품에서 널리 이용되고 있다. 플래시 메모리의 집적도의 향상으로 인해 저장할 수 있는 데이터의 용량도 증가하였다. 따라서 플래시 메모리는 하드디스크를 대체하는 차세대 대용량 저장장치로 각광받고 있다^[4,6].

플래시 메모리는 하드디스크와는 다른 특징을 갖는다.

읽기연산과 쓰기연산의 연산 속도가 다르며, 덮어쓰기(Overwrite)가 불가능한 특징을 가지고 있기 때문에 삭제연산을 추가하여 이러한 문제점을 해결한다. 또한, 플래시 메모리의 삭제횟수가 제한적이기 때문에 마모도 평균화(Wear-Leveling)를 고려해야 한다^[1,3].

따라서 본 논문에서는 교체 대상 페이지를 선정 할 때, 페이지의 클린 및 더티, 참조 시간 정보와 더불어 단순히 이전형태로써 참조 여부를 확인하던 기존 알고리즘과 달리 참조 횟수 정보를 활용하고 플래시 메모리의 특징인 삭제 연산 횟수를 고려하여 기존 알고리즘들 보다 플래

*정회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과

**정회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과

접수일자: 2017년 6월 2일, 수정완료: 2017년 7월 12일

게재확정일자: 2017년 8월 11일

Received: 2 June, 2017 / Revised: 12 July, 2017

Accepted: 11 August, 2017

*Corresponding Author: unitaek@kpu.ac.kr

Dept. of Computer Eng., Korea Polytechnic University, Korea

시 메모리의 하드웨어적 속성까지 고려한 알고리즘을 제시하였다.

II. 관련 연구

1. 플래시 메모리(Flash Memory)

플래시 메모리는 규모가 작고 가벼우며 하드디스크에 비해 속도가 빠르고 비휘발성인 특징을 가지며 전력 소모가 작기 때문에 최근 많은 제품에서 스토리지 형태로 사용된다.

플래시 메모리는 내부의 전자회로 구조에 따라 낸드(NAND) 플래시 메모리와 노어(NOR) 플래시 메모리로 구분된다^[2]. 낸드 플래시 메모리는 저장단위인 셀이 직렬로 연결되어 있으며 노어 플래시 메모리는 셀이 병렬로 연결되어 있다. 직렬로 연결되어 있는 낸드 플래시 메모리는 좁은 면적에 많은 셀들이 배치 될 수 있기 때문에 노어 플래시 메모리에 비해 대용량화가 쉽고 쓰기 속도가 빠르지만 읽기 속도가 느리다는 단점을 가지며 SD(Secure Digital) Card, SSD 등에 많이 사용된다^[5].

따라서 본 논문에서는 두 종류의 플래시 메모리 중 대용량 데이터를 저장하기 적합한 낸드 플래시 메모리를 바탕으로 설명한다. 그림 1 은 낸드 플래시 메모리의 구조를 보여준다^[3,7,8,9].

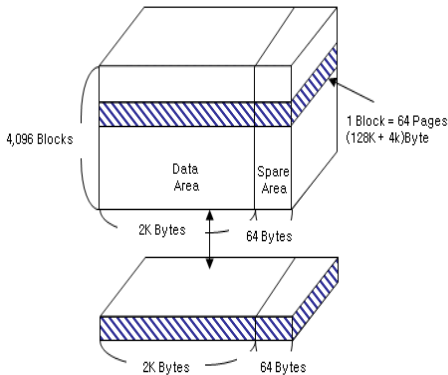


그림 1. 낸드 플래시 메모리 구조
Fig. 1. Nand Flash Memory Structure

그림 1 에서와 같이 플래시 메모리는 4,096개의 블록(Block)으로 구성되어 있다. 각 블록은 데이터 영역(Data Area)과 스페어 영역(Spare Area)으로 구분된다. 데이터

영역은 실제 데이터를 저장하는 영역이며, 스페어 영역은 메타 데이터를 저장하는 영역이다. 또한 하나의 블록은 64개의 페이지(Page)들로 구성된다. 플래시 메모리는 하드디스크와 달리 삭제 연산이 존재하고 각 연산의 단위가 다르다. 읽기와 쓰기 연산은 페이지 단위, 삭제 연산은 블록 단위로 처리된다.

플래시 메모리에 데이터를 저장 시 다음과 같은 플래시 메모리가 갖는 특징들을 고려해야 한다. 첫 번째, 플래시 메모리는 읽기 속도에 비해 쓰기 및 삭제 속도가 느리다. 표 1 은 저장 장치에 따른 연산 처리 속도를 나타낸다.

표 1. 저장 장치별 연산속도
Table 1. Calculation speed specific to the storage device

Operator type	Read	Write	Delete
Flash Memory	40 μ s/(2KB+64B) (Page)	400 μ s/(2KB+64B) (Page)	4.5ms/132KB (Block)
HDD	8.5ms/4KB (Sector)	8.5ms/4KB (Sector)	-

표 1 에서와 같이 플래시 메모리의 모든 연산 속도는 하드디스크의 연산 속도보다 빠르다는 점을 알 수 있다. 또한, 하드디스크의 읽기연산 쓰기연산 속도는 동일하지만 플래시 메모리의 경우 쓰기연산이 읽기연산에 비해 약 10배 느리고 삭제연산은 쓰기연산에 비해 약 10배 느리며 읽기연산에 비해선 약 100배 느린 것처럼 플래시 메모리는 각기 다른 연산 속도를 가진다는 점을 알 수 있다.

두 번째, 플래시 메모리는 하드디스크와 달리 덮어쓰기(Overwrite)가 불가능하다. 플래시 메모리는 읽기와 쓰기는 페이지 단위로 삭제는 블록 단위로 처리된다. 데이터가 기록되지 않은 페이지를 자유 페이지라고 하며, 자유 페이지에 데이터를 쓰면 그 페이지는 유효 페이지(Valid Page)가 된다. 유효 페이지가 만약 삭제 처리가 되면 무효 페이지(Invalid Page)가 된다. 무효 페이지가 속한 블록이 삭제가 되면 해당 페이지는 다시 자유 페이지가 된다. 플래시 메모리에 저장된 데이터를 갱신하기 위해서는 우선 데이터가 저장된 유효 페이지를 모두 읽어 메인 메모리상에서 데이터를 갱신한 뒤, 새로운 자유 페이지에 갱신된 데이터를 저장해야하며 기존 유효 페이지를 무효 페이지로 설정해야 한다. 이러한 갱신 방법을 외부 덮어쓰기(Out-Place Update)라고 한다.

세 번째, 플래시 메모리는 삭제 연산 횟수가 최소

100,000번에서 최대 1,000,000번으로 제한적인 삭제 횟수를 가지고 있으며 삭제 횟수가 초과된 블록은 더 이상 데이터를 저장할 수 없게 된다.

마지막으로 플래시 메모리는 하드디스크가 가지는 시크 시간(Seek Time)을 갖지 않는다. 플래시 메모리는 하드디스크와 달리 기계적인 액세스 기구를 보유하지 않기 때문에, 데이터로 접근하는 시간이 하드디스크 보다 빠르다.

2. 플래시 메모리 기반의 버퍼 교체 알고리즘

버퍼 캐시는 물리적인 I/O 요청을 줄이기 위하여 전체 디스크 블록의 일부분을 저장한다. 버퍼 캐시의 크기가 전체 디스크에 비해서 상대적으로 매우 작기 때문에 데이터의 잦은 교체가 일어나게 되고 이를 효율적으로 활용하기 위해 버퍼 교체 알고리즘이 필요하게 되었다 [10,11].

기존에 저장장치로 활용되던 하드디스크를 기반으로 하는 버퍼 교체 알고리즘은 하드디스크의 읽기연산 속도와 쓰기연산의 속도가 같기 때문에 버퍼 Hit Ratio가 높게 유지되는 것이 좋은 버퍼 성능을 가지고 있다고 볼 수 있으며, 버퍼내의 페이지 참조의 최신성(Recency)이나 빈도수(Frequency)를 기준으로 페이지를 우선 교체하는 많은 하드디스크 기반 버퍼 교체 알고리즘들이 제안되었다.

반면, 플래시 메모리는 버퍼 내의 데이터가 변경되어 쓰기 연산을 발생시키는 더티(Dirty) 페이지가 교체되는 것 보다 버퍼 내의 데이터가 변경되지 않아 읽기 연산을 발생시키는 클린(Clean) 페이지를 교체하는 것이 쓰기연산 속도가 읽기연산에 비해 약 10배 느리기 때문에 읽기연산 더 낮은 비용으로 페이지를 교체 할 수 있다. 이처럼 플래시메모리는 쓰기 비용을 고려한 버퍼 교체 알고리즘들이 제안되었다.

본 절에서는 최근 관련 논문을 통해 기존의 연구들이 어떤 방식으로 진행되었는지에 대해 살펴본다.

III. 개선된 버퍼 교체 알고리즘

1. 페이지의 분류

본 논문에서 제안하는 효율적인 버퍼 교체 알고리즘은 교체 대상 페이지를 선정하기 위하여 버퍼 내의 페이지를 3가지의 기준에 따라 6그룹으로 분류 하였다.

페이지를 분류하는 3가지 기준은 다음과 같다. 첫 번째 기준은 페이지의 클린페이지 더티 페이지 여부이다. 버퍼 내 페이지의 데이터가 프로세서에 의하여 변경되지 않으면 클린 페이지로 간주하며 변경이 되면 더티 페이지로 간주한다. 다음으로, 두 번째 기준은 더티 페이지를 두 가지 종류인 풀 더티 페이지, 파셜 더티 페이지로 나누어 세분화 하였다. 그림2 처럼 버퍼내의 페이지 하나를 동일크기로 8개의 서브 페이지로 나누었을 때 서브페이지가 모두 더티 서브 페이지로만 구성되는 페이지를 풀 더티 페이지라 하고 일부 클린 서브 페이지를 포함하고 있다면 파셜 더티 페이지라 한다.

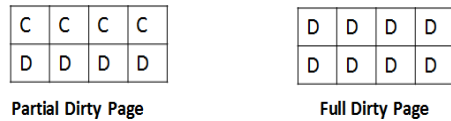


그림 2. 더티페이지의 구성

Fig. 2. Dirty page composition

마지막으로 페이지의 핫페이지 콜드페이지 여부이다. 버퍼 내 페이지가 프로세서에 의해 자주 참조되는 페이지를 핫페이지라 하고 자주 참조되지 않는 페이지를 콜드페이지라 한다. 핫페이지와 콜드페이지는 핫콜드-구분 알고리즘을 이용하여 구분한다.

이와 같이 본 논문에서는 위와 같은 3가지 기준에 따라 페이지를 Hot Full Dirty, Hot Partial Dirty, Hot Clean, Cold Full Dirty, Cold Partial Dirty, Cold Clean 이 와 같이 6가지로 분류하였다.

쓰기 연산이 읽기 연산보다 비용이 많이 들기 때문에 Dirty Page 보다는 Clean Page가 교체 우선순위가 높다. 페이지는 버퍼 내에 자주 참조될 가능성이 많기 때문에 핫 페이지 보다는 콜드 페이지가 더 높은 교체 대상 우선 순위를 갖는다. 기존 연구들은 위 2가지 기준을 근거로 교체대상 우선순위를 표 2 와 같이 나타내었다.

표 2. 기존 연구들에서 제안한 페이지 종류에 따른 교체 우선 순위

Table 2. Priority of exchange according to the type of page proposed in existing research

Exchange priority	Replacement target page
1	Cold Clean Page
2	Cold Dirty Page
3	Hot Clean Page
4	Hot Dirty Page

서브페이징 기법을 이용하여 더티 페이지를 두 가지 종류인 Partial Dirty Page와 Full Dirty Page 나누었을 때, Partial Dirty Page은 Full Dirty Page 보다 더티 서브 페이지를 더 적게 갖고 있기 때문에 쓰기 연산이 더 적게 발생하며 우선순위가 더 높다. 위와 같은 우선순위를 조합했을 때 표 3 같은 우선순위를 갖게 된다.

표 3. 본 논문에서 제안하는 페이지 종류에 따른 교체 우선순위
Table 3. Priority of exchange according to the type of page proposed in this paper

Exchange priority	Replacement target page
1	Cold Clean Page
2	Cold Partial Dirty Page
3	Cold Full Dirty Page
4	Hot Clean Page
5	Hot Partial Dirty Page
6	Hot Full Dirty Page

2. 삭제연산 고려 정책

본 논문에서는 플래시 메모리의 수명을 높이기 위하여 삭제연산을 고려정책을 제시하였다. 교체 대상 페이지를 선택함에 있어서 삭제 연산을 최우선으로 고려하는 정책이다. 그림 3 은 삭제 연산 고려 정책의 과정을 보여 준다.

- 1) 교체대상 페이지의 삭제연산 횟수가 버퍼 내 페이지들의 삭제연산 횟수의 평균보다 작거나 같은 페이지들을 교체대상 페이지 후보군으로 선정
- 2) 1)에서 선정된 후보군들 중 페이지의 Cold/Hot 여부 구별함
- 3) 1)에서 선정된 후보군들 중 페이지의 Clean/Dirty 여부 구별함
- 4) 1)에서 선정된 후보군들 중 더티 페이지의 Full/Partial 여부 구별함

그림 3. 삭제연산 고려 정책
Fig. 3. Consider deletion operation Policy

그림 3 에서 보듯이 교체 대상 페이지를 버퍼내의 페이지들의 삭제연산 횟수를 고려하기 위하여 평균보다 작거나 같은 삭제연산 횟수를 가지는 페이지들을 후보군으로 선정하며 이 후보군 페이지들 가운데 본 논문에서 제

안한 교체 우선순위를 고려하여 교체대상 페이지를 선정한다. 교체 우선순위에 따르면 교체우선순위 1~3번째가 콜드 페이지이고 4~6번째가 핫 페이지이기 때문에 페이지의 콜드 핫 여부를 제일 먼저 고려한다. 다음으로 페이지의 클린과 더티 여부를 구분하며 마지막으로 만약 페이지가 더티 페이지라면 더티 페이지를 두가지 종류로 세분화한 풀 더티 페이지와 파셜 더티 페이지로 구분한다. 그림 4는 삭제연산 고려 정책을 이용하여 교체대상 페이지를 선정하는 예를 보여준다.

Page#	1	2	3	4	5	Page#	6	7	8	9	10
Hot/Cold	C	C	H	H	H	Hot/Cold	C	C	C	H	H
Clean/Dirty	C	C	C	C	C	Clean/Dirty	PD	PD	FD	PD	FD
Partial	0	0	0	0	0	Partial	1/8	1/8	1	3/8	1
EraseCount	2	9	3	5	0	EraseCount	4	7	6	8	2

그림 4. 삭제연산을 고려한 교체대상 페이지의 선정
Fig. 4. Selection of page to be replaced considering deletion operation

그림 4 에서 보듯이 버퍼안의 페이지들의 EraseCount의 평균값을 구한다. 그림 4에서의 EraseCount 값의 평균은 4.6을 갖는다. 삭제연산 고려 정책에 의하여 EraseCount의 평균값보다 값이 같거나 낮은 교체대상 페이지 후보군들을 선별한다. 따라서 P1, P3, P5, P6, P10의 후보군들로 선정되며 후보군들은 삭제연산 고려 정책을 따라 교체 대상 우선순위가 가장 높은 Cold Clean 페이지인 P1이 교체대상으로 선정된다. 그 다음으로 교체대상 페이지를 선정 할 경우에는 위와 같은 방식으로 선정한다.

삭제 연산 횟수를 고려함으로써 특정지역의 플래시 메모리의 이른 손상을 방지할 수 있고 플래시 메모리의 수명이 연장되는 것을 기대할 수 있다.

그림 5는 삭제 연산 횟수를 고려했을때와 하지 않았을 때의 전체 쓰기 연산 수를 평가한 그림이다.

평가를 위해 읽기와 쓰기 연산을 포함하는 랜덤 트랜잭션을 20만, 40만, 60만 80만 100만 번을 수행하였다.

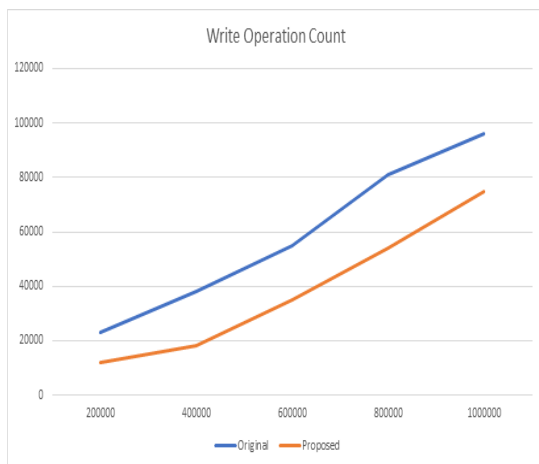


그림 5. 쓰기 연산을 횡수 성능 평가
 Fig. 5. Performance of Write Operation Count

그림 5와 같이 삭제 연산 횡수를 고려하였을 때가 하지 않았을 때 보다 평균 20 ~ 30% 전체 쓰기 연산 수가 줄어든 것을 확인하였다.

VI. 결론

데이터의 양이 기하급수적으로 늘어난 빅 데이터 시대를 맞이하여 데이터를 저장하는 저장장치도 끊임없이 발전해 오고 있다. 비휘발성 메모리인 플래시 메모리는 하드디스크보다 속도가 빠르고 가볍다는 장점이 있어서 최근 다양한 분야에서 저장장치로 사용되고 있다. 버퍼는 CPU와 저장장치 간의 수행속도 차이를 줄이고자 참조가 많이 되는 페이지를 보관을 목적으로 한다. 버퍼의 성능 향상을 위하여 버퍼 교체 알고리즘이 제시되었으며 기존 버퍼 교체 알고리즘은 연산속도가 같은 하드디스크 기반으로 제안되었다. 따라서 기존 알고리즘들은 연산속도가 다른 플래시 메모리에는 적합하지 않기 때문에 최근에는 이러한 플래시메모리 특성을 고려한 버퍼 교체 알고리즘에 관한 많은 연구들이 진행되고 있다.

따라서, 본 논문은 우선 페이지를 6그룹으로 나누어 기존 연구들보다 상세하게 분류 하였으며, 핫 콜드 구분 알고리즘을 제시하여 참조횡수와 참조시간을 함께 고려하였다.

References

- [1] Ahn, S., Hyun, S., Kim, T., and Bahn, H., "A Compressed File System Manager for Flash Memory Based Consumer Electronics Devices," *Journal of IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.59, No.3, 2013, pp.544-549.
- [2] Bez, R., Camerlenghi, E., Modelli, A., and Visconti, A., "Introduction to Flash Memory," *Journal of Proceedings of IEEE*, Vol.91, No.4, 2003, pp.489-501.
- [3] Li, H., Yang, C., and Tseng, H., "Energy-Aware Flash Memory Management in Virtual Memory System," *Journal of IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems*, Vol.16, No.8, 2008, pp.952-964.
- [4] Lin, M., Chen, S., Lv, G., and Zhou, Z., "Optimised Linux Swap System for Flash Memory," *Electronics Letters*, Vol.47, No.11, 2011, pp.641-642.
- [5] No, J., "Hybrid File System Using NAND-Flash SSD," *Proc. of Int. Conf. on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery*, 2011, pp.380-385.
- [6] Wei, Y., and Shin, D., "NAND Flash Storage Device Performance in Linux File System," *Proc. of Int. Conf. on Computer Sciences and Convergence Information Technology*, 2011, pp.574-577.
- [7] Yim, K., Kim, J., and Koh, K., "A Fast Start-Up Technique for Flash Memory Based Computing Systems," *Proc. of the ACM Symposium on Applied Computing*, 2005, pp.843-849.
- [8] Samsung Electornics, 1Gb E-die NAND Flash, 2013.
- [9] Segate, Segate Desktop HDD, 2013.
- [10] Noh H., K & Kang N., H., "Efficient Buffer Management Scheme for Mitigating Possibility of DDoS Attack," *Journal of IIBC*, Vol.12, No.2, 2012, pp.1-7.
- [11] Kim D., H. & Bahn H., K., "Buffer Cache Management of Smartphones Exploiting Write-Only-Once Characteristics", *Journal of IIBC*, Vol.15, No.6, 2015, pp.129-134.

저자 소개

김 정 준(정회원)



- 2003년 2월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2005년 2월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2010년 8월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2010년 9월 ~ 2012년 8월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 강의교수
- 2012년 9월 ~ 2016년 2월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 조교수
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 조교수

<주관심분야 : Database Systems, BigData, Semantic Web, Geographic Information Systems (GIS) and Ubiquitous Sensor Network (USN), etc.>

정 성 택(정회원)



- 1992년 : KAIST 전기 및 전자공학과 학사
- 1995년 : KAIST 정보 및 통신공학과 석사
- 2000년 : KAIST 전기 및 전자공학과 박사
- 2004년 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 교수

<주관심분야 : 헬스케어, 기능성 게임, HCI, etc.>