

# 플래시 메모리 마모 균등화를 위한 임계값 제어에 관한 연구

송 상 훈

세종대학교 컴퓨터공학과

e-mail : song@sejong.ac.kr

## A Study on the Threshold Control for Static Wear Leveling in Flash Memory

Sanghoon Song

Dept. of Computer Engineering, Sejong University

### 요 약

데이터 저장장치로 널리 사용되고 있는 플래시 메모리의 블록들은 소거 횟수가 제한되어 있어서 특정 블록에 소거 동작이 집중되지 않도록 마모 균등화 기능을 제공해야 한다. 저장 장치의 데이터들은 주기적으로 갱신이 자주 되는 hot 데이터와 갱신이 거의 일어나지 않는 cold 데이터로 구성된다. 이런 두 가지 타입의 데이터로 인해 발생하는 소거 횟수에 대한 편차를 줄이기 위하여 정적 마모 균등화 기법을 사용하는데 데이터 이동에 따른 추가적인 소거 동작이 발생하게 된다. 본 논문에서는 데이터 이동 결정을 위한 임계값을 제어하여 플래시 메모리 내의 전체 블록들의 평균 소거 횟수가 크지 않을 때는 마모 균등화 작업을 자주 발생하지 않게 하고, 평균 소거 횟수가 소거 허용 한계치에 점차 근접하면 설정된 임계값으로 동작하도록 하여 정적 마모 평준화에 의해 추가되는 소거 횟수를 효율적으로 감소시키는 방법을 제안한다.

### 1. 서론

비휘발성 반도체 소자로 구성된 플래시 메모리는 저전력, 소형화, 물리적 충격에 강한 특징 등을 가지고 있어 데이터 저장장치로 널리 사용되고 있다. 플래시 메모리는 블록들의 집합으로 구성되고, 각 블록은 페이지 집합으로 이루어진다. 기록 동작은 페이지 단위로 이루어지고, 해당 페이지가 지워져 있어야 하는 제약이 있다[1,2]. 소거 동작은 블록 단위로 이루어져야 하고 블록들은 한계 소거 횟수가 있어서 이 제한을 넘게 되면 정상적인 동작을 하지 못하여 시스템의 수명이 단축되는 결과로 이어질 수 있다. 한계 소거 횟수는 SLC (single-level cell) 타입인 경우는 100,000 회 정도이고, MLC(multi-level cell) 타입은 이보다 훨씬 적어 10,000 회 정도로 제한되어 있다[3]. 따라서 소거 동작을 플래시 메모리 전체 블록에 균등하게 분포시켜서 전체 플래시 메모리 수명을 연장시키는 다양한 연구들이 진행되어 왔다[4,5,6,7].

저장장치 데이터들의 변경되는 주기에 의해 자주 변경되는 것은 hot 데이터라고 하고, 거의 바뀌지 않는 것은 cold 데이터라고 한다. Hot 데이터가 저장된 블록들은 자주 소거 동작이 일어나지만, cold 데이터를 저장한 블록들은 소거 동작이 잘 일어나지 않아서 플래시 메모리 블록들 간에 소거 횟수의 편차가 커지게 된다.

이런 블록간의 소거횟수의 편차를 줄이기 위하여 동적 마모 균등화와 정적 마모 균등화 방법들을 사용하게 된다. 데이터를 갱신할 필요가 있을 때에 변경 전 데이터가 저장되었던 블록을 지우고 변경된 데이터를 다시 기록하는 것이 아니고, 소거 횟수 기준에 따라 새로운 빈 블록을 찾아 변경된 데이터를 저장함으로써 데이터 블록들에 대한 마모 균등화가 어느 정도 이루어지게 하는 것을 동적 마모 균등화라고 한다. 플래시 메모리는 직접 갱신(in-place update) 하는 것이 불가능하기 때문에 빈 블록을 찾아서 변경된 데이터를 저장하는 것이 자연스러운 방법이다. 그러나 변경되지 않는 데이터들을 저장하고 있는 블록들은 동적 마모 균등화에 의해 영향을 받지 않는다.

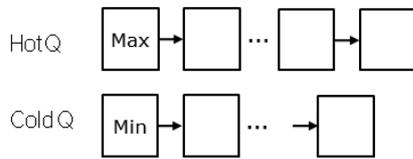
정적 마모 균등화는 이러한 cold 데이터에 의해 소거 횟수 편차가 커지는 것을 줄이기 위하여 최대 소거 횟수 편차가 임계값보다 커지면 cold 데이터 블록과 hot 데이터 블록을 교환하여 마모 균등화를 이루는 방법이다. 이런 추가적인 데이터 교환에 따른 소거 동작이 발생하여 전체 소거 횟수가 추가로 증가하는 문제가 발생한다.

본 논문은 정적 마모 균등화에서 사용되는 임계값을 조절하여 전체 소거 횟수가 추가로 증가하는 것을 최소화하는 방법을 제안한다. 초반에는 임계값을 크게 하여 정적 마모 균등화 작업이 자주 일어나는 것을

방지한다. 임계값이 크면 균등화의 편차가 커지게 되지만 추가되는 소거 동작이 줄어들게 된다. 전체 소거 횟수가 커지게 되면 단계적으로 임계값을 줄여서 정적 마모 균등화 작업을 통하여 소거 횟수 편차를 줄여간다. 초반에 필요 없는 데이터 이동에 따른 소거 횟수 증가를 억제하여 전체 소거 횟수 증가를 최소화할 수 있다.

## 2. 정적 마모 균등화

정적 마모 균등화를 위하여 hot 데이터와 cold 데이터를 관리하는 두 개의 큐가 필요한데, hot 데이터를 저장하고 있는 블록들의 큐를 HotQ라 하고 cold 데이터를 저장하고 있는 블록들의 큐를 ColdQ라 한다. HotQ는 소거 횟수가 큰 블록 순서로 정렬되어 있고, ColdQ는 소거 횟수가 작은 블록 순서로 정렬되어 있다.



(그림 1) HotQ 와 ColdQ

기록 동작이 발생할 때마다 HotQ에서 최대 소거 횟수를 갖는 블록과 ColdQ에서 최소 소거 횟수를 갖는 블록 간의 소거 횟수 편차가 주어진 임계값, T, 보다 크면 다음과 같은 교환 동작을 한다.

교환 작업:

1. Max 블록에 저장된 데이터를 빈 블록에 복사
2. Max 블록을 소거
3. Min 블록의 데이터를 Max블록에 복사
4. Min 블록 소거
5. Min 블록을 HotQ로 이동하고, Max 블록은 ColdQ로 이동시킨다.

즉, Min 블록에 있던 cold 데이터가 소거 횟수가 큰 Max 블록으로 옮겨져서 이 블록의 소거 횟수가 빨리 증가하지 않게 하고, cold 데이터를 저장했던 Min 블록은 HotQ에 빈 블록으로 옮겨져서 동적 마모 균등화 동작에 참여하여 이 블록에 대한 소거 횟수가 증가하게 되어 전체 소거 횟수 편차가 줄어들게 된다[4].

Max 블록과 Min 블록간의 교환 작업에서 두 번의 추가적인 소거 동작이 일어나게 된다. 설정된 임계값이 작으면 작을 수로 균등화의 편차가 미세하게 되지만, 블록 교환이 자주 발생하여 추가되는 소거 횟수도 증가하게 된다.

## 3. 임계값 제어

교환 작업에 의해 추가되는 소거 횟수를 감소시키기 위하여 고정된 임계값을 사용하지 않고, 전체 평균 소거

횟수가 소거 허용 한계치의 1/2 까지는 임계값을 크게 하여 정적 마모 균등화에 의한 교환 작업이 잘 발생하지 않도록 하고, 소거 허용 한계치의 1/2 이 넘으면 임계값을 단계적으로 줄여 소거 횟수의 편차를 줄여 간다. 이런 방식으로 임계값을 설정된 최소 임계값까지 줄여 가면 고정 임계값을 사용하는 것보다 추가되는 소거 횟수를 줄일 수 있고, 소거 횟수의 편차에 대하여는 비슷한 결과를 얻을 수 있다.

소거 허용 한계치,  $E_{max}$ ,가 주어지면 임계값,  $T_i$ ,을 소거 허용 한계치의 1/2 보다 작은 값으로 초기화하고, 임계값을 변경할 시점인 소거 횟수 기준 값,  $V_i$ ,를 다음과 같이 초기화 한다.

$$i = 0$$

$$T_0 = E_{max}/2$$

$$V_0 = E_{max}/2$$

블록 평균 소거 횟수,  $E_{avg}$ ,가 블록 소거 동작에 의하여 점차 증가하여 소거 횟수 기준 값과 같아지면 임계값과 임계값을 변경할 시점인 소거 횟수 기준 값도 다음과 같이 변경한다.

```
if ( $E_{avg}=V_i$ ) then
     $i = i + 1$ 
     $T_i = T_0/2^i$ 
     $V_i = V_{i-1} + V_0/2^i$ 
endif
```

임계값 변경 시점은 소거 허용 한계치의 1/2, 3/4, 7/8, 15/16, ... 으로 소거 허용 한계치에 가까워지게 된다. 임계값은 각 임계값 변경 시점에서 현재 임계값의 1/2 로 줄여 들게 되어 2 의 지수승에 반비례로 줄어드는데, 설정된 최소 임계값보다 작아지면 최소 임계값으로 설정하여 고정 임계값 방식으로 동작한다.

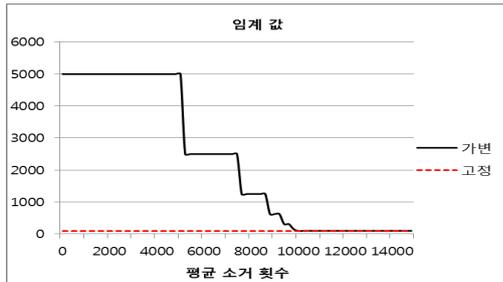
## 4. 시뮬레이션과 성능 평가

두 개의 큐를 이용한 정적 마모 균등화 방법에서 임계값을 평균 소거 횟수에 따라 단계적으로 변하게 하여 기존의 고정된 임계값 방식과 비교하였다. 시뮬레이션을 위하여 가상의 파일을 만들어 실험하였고, 데이터의 특징이 고정되어 있다고 가정하여 hot 데이터가 cold 데이터로, 또는 cold 데이터가 hot 데이터로 바뀌는 경우는 고려하지 않았다.

플래시 메모리 크기는 256MB 로서 16,384 개의 블록으로 구성되었다. 전체 공간의 80% 에 파일을 할당하였고, 나머지 20% 는 빈 공간으로 할당하여 동적 마모 균등화에 사용된다. 각 파일 크기는 최대 500 개 블록 내에서 임의의 크기로 생성하여 80% 의 공간이 채워지도록 할당하였다. 정적 마모 균등화에 적용되는

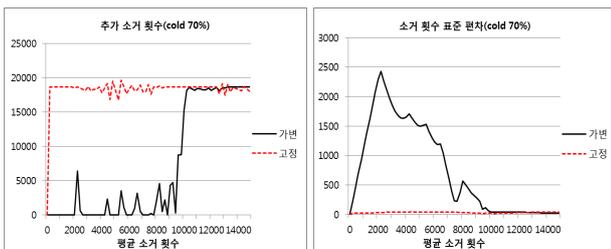
정적 파일의 비율을 50%, 70% 로 할당하여 각각 가변 임계값을 적용한 것과 고정 임계값을 적용한 결과를 비교하였다. 고정 임계값은 100 으로 설정하였고, 가변 임계값은 소거 허용 한계값의 1/2 인 5000 을 시작 값으로 하여 소거 횟수에 따라 감소하다가 고정 임계값까지 도달하면 더 이상 감소하지 않는다.

그림 2 는 평균 소거 횟수에 따른 임계값이 변하는 것인데 임계값이 5000 에서 시작하여 고정된 임계값과 같아지는 것을 보여주고 있다.

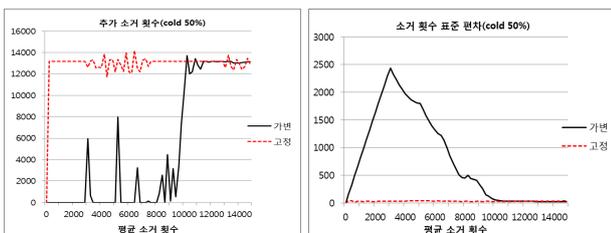


(그림 2) 임계값 변화

그림 3 은 동적 파일과 정적 파일이 3:7 비율로 설정한 경우의 성능을 비교한 것이다. 그림 3 의 좌측 그림은 정적 마모 균등화에 의하여 추가로 발생하는 소거 횟수를 비교한 것이다. 고정 임계값 방법의 경우는 초반부터 거의 비슷한 수준으로 정적 마모 균등화에 의하여 많은 추가적인 소거가 발생함을 알 수 있다. 그러나 가변 임계값 방법의 경우는 초반에 임계값이 아주 크기 때문에 정적 마모 균등화에 의한 추가적인 소거 동작은 많지 않음을 보여주고 있다.



(그림 3) 추가 소거 횟수와 편차(70% cold)



(그림 4) 추가 소거 횟수와 편차(50% cold)

그림 3 의 우측 그림은 소거 횟수 표준 편차를 비교한 그림이다. 가변 임계값의 경우는 소거 횟수가 10,000 이

되기 전까지는 임계값이 크기 때문에 블록들의 소거 횟수 표준 편차가 아주 큰 것을 보여주고 있다. 가변 임계값이 고정 임계값과 같아지는 점인 평균 소거횟수 10,000 에서의 소거 횟수에 대한 표준 편차가 거의 비슷하게 되는 것을 알 수 있다.

그림 4 는 동적 파일과 정적 파일이 5:5 비율로 설정한 경우의 성능을 나타낸다. 이 경우도 성능이 7:3 비율의 경우와 비슷하게 나타남을 알 수 있다.

## 5. 결론

플래시 메모리의 소거 횟수 제한에 따른 마모 평준화 방법에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 본 논문은 정적 마모 균등화의 교환 작업에서 생기는 추가적인 소거 횟수를 줄이기 위하여 가변 임계값 방식을 제안하였다. 플래시 메모리 내의 전체 블록들의 평균 소거 횟수가 크지 않을 때는 크게 설정된 임계값에 의하여 마모 균등화 작업이 자주 발생하지 않게 하여 추가되는 소거 횟수를 줄인다. 평균 소거 횟수가 소거 허용 한계치의 1/2 이 넘으면 임계값을 단계적으로 줄여서 전체 소거 횟수 편차를 줄여간다. 가변 임계값 방법은 전체 평균 소거 횟수가 소거 허용 한계치에 도달할 동안 정적 마모 평준화에 의해 추가되는 소거 횟수를 효율적으로 감소시킬 수 있음을 보여주었다.

## 참고문헌

- [1] J. Kim, S. Noh, S. Min, Y. Cho, "A Space-efficient Flash Translation Layer for Compact Flash Systems," IEEE Trans. on Consumer Electronics (2002), vol. 48.
- [2] S. K. Lee, S. L. Min, Y. K. Cho, "Current trends on flash memory technology," Journal of KIISE, vol.24, no.12, pp.99-106, Dec. 2006.
- [3] P.C. Huang, Y.H. Chang, T.W. Kuo, J.W. Hsieh, M. Lin, "The Behavior Analysis of Flash-Memory Storage Ststems," 11thISORC,2008,pp529-534
- [4] E. Gal, S. Toledo, "Algorithms and data structures for flash memories," ACM Computing Surveys, vol.37, no.2, pp. 138-163, Jun. 2005.
- [5] 박정수, 민상렬, "마모제어 영역을 활용한 플래시 메모리 마모 평준화", 정보과학회 논문지 제 16권 12호, 2010, pp.1204-1208
- [6] Y.H. Chang, J.W. Hsieh, T.W. Kuo, "Improving flash wear-leveling by proactively moving static data," IEEE Transactions on Computers, vol.59, no.1, pp.53-65, Jan. 2010.
- [7] L.-P. Chang, "On efficient wear-leveling for large-scale flash-memory storage systems," Proc. of the 2007 ACM symposium on Applied computing, pp.1126-1130, 2007.