



SSD(Solid State Drive) 내부 캐시 알고리즘 성능 비교

김혜리¹, 이형봉¹

chr6575@naver.com, hblee@gwnu.ac.kr

¹강릉원주대학교 컴퓨터공학과

서론

플래시 메모리를 사용하는 SSD의 가장 중요한 특징 중의 하나는 페이지 쓰기 전에 반드시 초기화가 필요하고, 초기화는 몇 개의 페이지로 구성된 블록 단위로만 가능하다는 점이다. 따라서, 운영체제의 요구에 의해 할당된 플래시 페이지에 대해 쓰기가 이루어진다면 해당 페이지에 대한 즉각적인 초기화가 불가능하기 때문에 미리 초기화되어 있는 새로운 페이지를 할당해야 한다. 이때, 운영체제 파일 시스템에 관리되는 플래시 페이지 번호도 수정되어야 한다면 그에 따른 또다른 쓰기 파장 효과가 발생한다. 이를 해결하기 위해 SSD는 운영체제 쪽에서 관리하는 논리 페이지 번호를 플래시 내부의 물리 페이지로 대응하는 플래시 변환 계층(FTL: Flash Translation Layer)을 지원한다. 이와 같이 플래시 변환 계층의 중요한 기능은 논리 페이지와 물리 페이지의 매핑이지만, 페이지 초기화 및 쓰기 횟수 한정이라는 플래시 메모리의 또 다른 단점을 완화하기 위한 쓰기 회피 목적의 캐시 기능도 제공한다. 일반적인 운영체제 캐시 알고리즘과 마찬가지로 플래시 변환 계층에서도 LRU 기반 캐시 알고리즘을 적용하되, 더티 캐시를 최대한 오래 유지함으로써 플래시 페이지 쓰기를 예방하거나 지연시키기 위해 클린 캐시를 우선 교체하도록 한다.

일반적인 캐시의 정의

일반적으로 캐시는 상대적으로 느린 기억장치에 대한 접근 시간을 개선하기 위해 참조 내용을 일시적으로 복사해두었다가 이후 재 접근 시 참조되도록 하는 소량의 빠른 메모리를 의미한다[1]. 주기억장치 위의 SRAM, 하드 디스크 위의 RAM 등이 그 예들이다. 즉, 캐시는 기억장치 접근을 위한 시간적 성능 향상을 목적으로 한다. 이 때 캐시가 운영되는 과정은 아래와 같다.

- 읽기 : 목적 페이지가 캐시에 존재하면 그 내용을 참조하고, 존재하지 않으면 본래 기억장치에서 읽어 새로 할당된 캐시에 넣고 참조한다. 이 때, 새롭게 할당된 캐시 페이지는 본래 기억장치 내용과 일치하므로 클린(clean) 페이지라 한다.
- 쓰기 : 목적 페이지가 캐시에 존재하면 그 위에 덮어쓰고, 존재하지 않으면 새로 할당된 캐시에 기록한다. 이렇게 쓰기가 이루어진 후, 본래 기억장치에 아직 반영되지 않는 캐시 페이지를 더티(dirty) 페이지라 한다. 이와 같은 더티 페이지는 주기적인 업데이터나 희생 페이지로 선택되었을 때 본래 기억장치에 반영된다.
- 페이지 교체: 새로운 캐시 페이지 할당을 위한 희생 페이지 선택은 LRU(Last Recently Used) 알고리즘을 근간으로 한다.

SSD 플래시 변환 계층의 캐시 알고리즘

SSD의 내부 플래시 변환 계층 캐시는 그림 1과 같이 운영체제의 디스크 버퍼 캐시 아래에 존재한다. 이 그림으로부터 더티

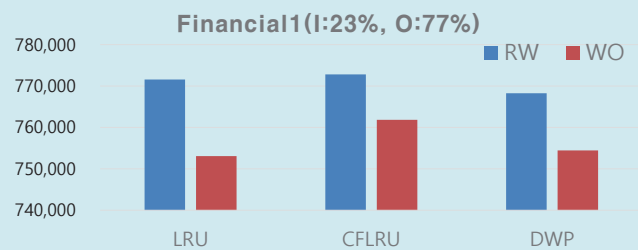


(그림 1) FTL 캐시 위치

스크에 대한 시간적 성능 향상 목적의 캐시는 운영체제가 관리하는 주기억장치의 디스크 버퍼 캐시에서 이미 충족된 상태라고 말할 수 있다. 따라서, 플래시 변환 계층에서의 캐시는 시간적 성능 향상보다는 SSD의 단점인 쓰기 횟수 줄이기에 중점을 두어도 좋다. 이를 위해 CF-LRU(Clear First LRU)[2] 등 대부분의 SSD 내부 캐시 알고리즘 연구들은 희생 페이지 선택 시 LRU 페이지 중 클린 페이지에 우선 순위를 둔다. 단순한 클린 페이지 우선 선택 전략은 꾸준히 참조되는 읽기 페이지를 교체하는 경우가 발생하여 캐시 적중률을 저하시킬 수 있기 때문에 CCF-LRU[(Cold Clean First LRU), DPW-LRU(Dynamic Page Weight LRU) 등 후속 연구들에서는 클린 페이지를 우선 교체하면서도 적중률을 유지할 수 있는 절차적 개선들을 소개한다. 그러나, 이와 같은 개선 방향은 시간적 성능 개선에 대한 고정 관념의 틀을 깨지 못하고 유지하기 때문에, 더 중요한 플래시 페이지 쓰기 횟수 줄이기 기회를 놓친다. 즉, 클린 페이지에 대한 캐시 적중률을 완전히 포기한다면 그만큼 더 많은 캐시를 쓰기 페이지에 할당할 수 있고, 쓰기 횟수 감소 효과도 클 것이다.

쓰기 전용 캐시의 적용 및 효과

SSD의 플래시 변환 계층 캐시에서, 페이지 읽기에 대해서는 캐시를 할당하지 않고, 쓰기에 대해서만 할당하는 캐시 전략을 쓰기 전용 캐시(write only cache)라 부르기로 한다. 즉, 쓰기 전용 캐시는 클린 페이지를 아예 허용하지 않는다. 그림 2는 Financial1 트레이스 데이터[3]를 이용하여 몇 가지 SSD 캐시 알고리즘에 쓰기 전용 캐시를 적용한 플래시 쓰기 횟수 결과인데, 알고리즘의 절차적 개선 효과보다 쓰기 전용 캐시에 의한 효과가 더 크다는 사실을 알 수 있다



(그림 2) 쓰기 전용 캐시의 효과

결론

SSD 내부 캐시의 최대 목적은 플래시 쓰기 횟수 줄이기에 있기 때문에, 캐시 적중률에 너무 큰 관심을 둘 필요가 없다. 이 연구에서는 읽기 연산에 대한 캐시 적중률을 양보하는 대신, 쓰기 횟수 감소 효과가 큰 쓰기 전용 캐시 전략을 살펴보았다.

참고문헌

[1] 김종현, "컴퓨터구조론-5ed-", 생능출판사, 2019.
 [2] H. Y. Jung, H. K. Shim, S. M. Park, S. Y. Kang, and J. H. Cha, "LRU-WSR: Integration of LRU and writes sequence reordering for flash memory," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 54, No. 3, pp. 1215-1223, 2008.
 [3] UMass I/O Trace Repository(<http://traces.cs.umass.edu/index.php/Storage/Storage>)