

무효데이터 재활용 기법을 이용하는 SSD 기반 스토리지 시스템의 전력소모 측정

김주경[○], 이승규, 김덕환*
인하대학교 전자공학과

e-mail : {jkkim86, skleesk}@iesl.inha.ac.kr, deokhwan@inha.ac.kr

Power Consumption Measurement of SSD Storage System using Invalid Data Recycling Method

Ju-Kyeong Kim[○], Seung-Kyu Lee, Deok-Hwan Kim*
Dept of Electronic Engineering, Inha University

요 약

SSD는 제자리 덮어쓰기가 안되기 때문에 가비지 컬렉션 연산을 수행한다. 가비지 컬렉션은 동작 시간이 긴 삭제 연산과 유효페이지 복사 연산이 자주 발생하여 SSD의 Active Time을 길게하고 전력소모를 증가시킨다. 본 논문에서는 SSD에서 입력데이터와 일치하는 무효데이터를 재활용함으로써 가비지 컬렉션 횟수를 줄이고, 기존 방법과 비교하여 소모된 전력량을 측정하였다. 무효데이터 재활용 기법을 사용할 때 활성시간의 전력소모가 약 32% 감소했고 전체 전력소모량은 약 17% 감소함을 확인했다.

1. 서론

컴퓨터 시스템에서 스토리지 장치가 소모하는 전력은 큰 비중을 차지하기 때문에 전력소모를 줄이는 저전력 스토리지가 중요한 이슈가 되고 있다[1]. 저전력 기법은 HDD와 SSD등의 스토리지 장치에서 전력소모를 줄이는 방법과 다수의 스토리지 장치가 병렬로 구성되었을 때 Erasure Code를 이용하여 연산횟수를 줄이는 방법[2]등이 있다. 그 중에서도 HDD를 대체할 저장장치로 선호되고 있는 SSD에서 전력소모를 줄이는 방법이 연구되고 있다.

SSD는 NAND 플래시 메모리로 구성된 스토리지 장치로 빠른 입출력 속도, 가벼운 무게와 강한 내구성이 있지만 단점으로 제자리 덮어쓰기가 되지 않기 때문에 out-of-place 방식으로 업데이트를 하여야 한다. 제자리 덮어쓰기가 안 되기 때문에 빈 블록 생성을 위해서 SSD는 가비지 컬렉션을 수행하는데 동작 시간이 긴 삭제 연산과 유효페이지 복사 과정을 포함하기 때문에 SSD의

Active Time을 길게 만든다.

무효데이터 재활용 기법은 SSD에서 입력데이터와 무효데이터를 중복 검사하여 일치하면 무효데이터를 유효데이터로 전환하는 기법이다[3]. 여기서 무효데이터는 SSD의 무효페이지에 저장된 데이터이고 유효데이터는 유효페이지에 저장된 데이터이다. 무효데이터 재활용 기법으로 쓰기 횟수가 감소되면 가비지 컬렉션 횟수도 감소할 것이고 SSD에서 연산 횟수의 감소로 인하여 전력 소모 또한 감소할 것이다. 따라서 본 논문에서는 SSD의 특성을 고려한 무효데이터 재활용 기법으로 쓰기 횟수와 가비지 컬렉션 횟수를 줄여서 감소된 전력소모를 측정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구로 기존 SSD에서의 전력소모 감소 기법에 대하여 살펴보고 3장에서 무효데이터 재활용 기법의 전력소모 측정에 대하여 설명한다. 4장에서 제안한 기법의 실험 및 결론을 기술하였다.

2. 관련연구

SSD에서의 전력소모를 측정하는 방법에 관한 기존연구는 직접적으로 하드웨어에서 계측 장비를 사용하는 방법과 간접적으로 시뮬레이터 툴을 이용하여 측정하는 방법이 있다. 실제로 계측 장비를 이용한 방법은 특정 부분에 연결하여 전력 사용량을 측정한다. Shin et al.의 논문에서는 SSD의 입력전원선 사이에 0.5Ω 저항을 연결하여 소모 전력을 측정하였다[4]. 시뮬레이터 툴을 이용한 방법은 HDD의 경우 동작을 정확히 모델링하여 측정된 Dempsey 툴이 있고[5], SSD의 경우 DiskSim에 SSD Extension을

*교신저자, 인하대학교

1. 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임

(2012-0001773)

2. 본 과제(연구)는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성 사업으로 수행된 결과임

3. 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음

(NIPA-2012-H0401-12-1007)

적용하고 전력 소모를 측정하는 부분을 추가한 연구가 있다[6].

스토리지 장치에서 전력소모를 감소시키기 위한 방안은 기존보다 전력을 낮춘 하드웨어를 활용하는 방법, 연산 횟수를 줄일 수 있는 Erasure-code[2], RAID 기법을 적용하는 방법, 효율적인 캐시 정책 또는 버퍼 관리 정책을 제안하는 방법이 있다. 각각의 방법은 서로 다른 방식으로 전력소모를 감소시킨다.

3. 무효데이터 재활용 기법의 전력소모 측정

본 논문에서는 SSD에 쓰기와 가비지 컬렉션 횟수를 줄일 수 있는 무효데이터 재활용 기법을 적용하였을 때 전력소모량을 시뮬레이터로 측정하였다.

SSD에서 주로 전력을 소모시키는 부분은 컨트롤러, DRAM, NAND 플래시 메모리의 세 가지 부분이다. 세 가지 부분을 제외한 곳에서의 전력소모는 무시해도 될 만큼 작은 양이기 때문에 고려하지 않았다[6]. 그리고 각 부분에서 데이터를 처리하는 시간을 카운트하여 전력 소모량을 예측한다.

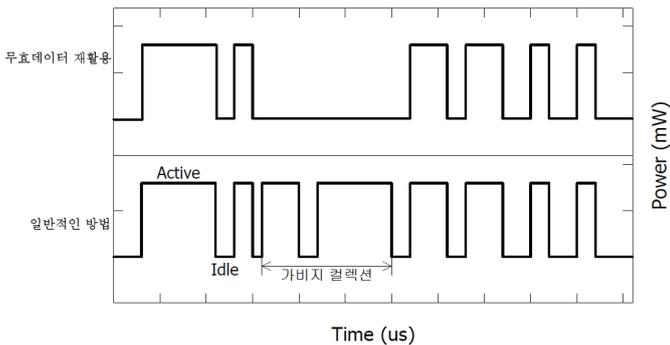


그림1 Active와 Idle 상태의 전력소모

그림1은 Active와 Idle 상태에서의 전력소모를 보여준다. 실제로 하드웨어에서 측정하면 위 그림처럼 이상적인 구형파가 나오지 않고 약간의 잡음과 오차는 있지만 본 논문에서는 시뮬레이션 툴을 사용하므로 이상적인 구형파로 가정하였다. 그림1에서 위의 파형이 무효데이터 재활용 기법이고 밑의 파형이 일반적인 방법의 파형이다. 무효데이터 재활용 기법은 연산 횟수를 감소시켜서 Active 구간이 짧아져서 전력소모가 감소함을 위의 그림을 통해서 알 수 있다.

전력소모량의 계산을 위해 컨트롤러, DRAM, NAND 플래시 메모리 각각에서의 데이터 처리 요청으로 인한 동작 시간, 전압, 전류를 구해야한다. 측정된 동작 시간은 전력소모에 영향을 주는 요소인 I/O 크기, I/O 간격, I/O 횟수로 모델링한다. SSD의 각 요소가 동작 중일 때를 Active (활성상태), 동작하지 않을 때를 Idle(유휴상태)이라고 판단하여 각각의 전력소모를 구한 후에 합하여 총 소모 전력을 구한다. 그림2에 수식을 나타냈다.

$$E_C = P_C * T_C \tag{1}$$

$$E_D = P_D * T_D \tag{2}$$

$$E_N = I_N * V_N * T_N \tag{3}$$

$$E_{IA} = E_{CA} + E_{DA} + E_{NA} \tag{4}$$

$$E_{IL} = E_{CL} + E_{DL} + E_{NL} \tag{5}$$

$$E_I = E_{IA} + E_{IL} \tag{6}$$

그림2 전력 소모량 측정 수식

수식을 보면 E_C 가 컨트롤러에서의 전력소모, E_D 가 DRAM에서의 전력소모, E_N 이 NAND 플래시 메모리에서의 전력소모를 나타낸다. 각각은 전류, 전압, 시간 또는 전력, 시간의 곱으로 구해진다. 무효데이터 재활용 기법의 Active 상태에서의 전력소모는 E_{IA} , Idle 상태에서의 전력소모는 E_{IL} 이다. 무효데이터 재활용 기법의 총 전력소모는 Active 상태와 Idle 상태의 전력소모를 합해서 구한다.

읽기, 쓰기, 삭제 연산 각각의 전력 소모량을 구하는 것은 Samsung K9XXG08UXM 시리즈 SLC NAND 플래시 메모리 기준으로 읽기 연산은 25us, 쓰기 연산은 200us, 삭제 연산은 1500us의 동작 시간을 갖는다[7]. 동작 시간이 짧기 때문에 정확하게 한 번의 연산이 일어날 때 얼마나 전력을 소비 할 것인지 예측하는 것이 힘들다. 샘플링 주기가 매우 짧기 때문이다. 그래서 시뮬레이터를 통하여 한 번에 각 부분에서의 총 동작시간을 구하여 전력소모를 구한다.

4. 실험 및 결론

본 논문에서의 시뮬레이터 툴은 DiskSim4.0에 SSD extension이 적용된 시뮬레이터를 사용하여 전력소모 측정부분을 추가하였다[7]. DiskSim4.0 SSD extension에 무효데이터 재활용 기법을 사용할 때[3]와 사용하지 않는 일반적인 방법[7]을 비교하였고 워크로드를 실행하는 동안에 컨트롤러, DRAM, NAND 플래시 메모리에서의 Active Time과 Idle Time을 구하여 전력소모량을 구하였다. 실험을 위한 파라미터 설정은 표1에 나타내었다[6].

SSD Input Voltage	3.3V
컨트롤러 Active Power	259mW
컨트롤러 Idle Power	124mW
DRAM Active Power	878mW
DRAM Idle Power	80mW
NAND 플래시 메모리 Active Current	1mA
NAND 플래시 메모리 Idle Current	0.05mA

표1 실험 파라미터 값

워크로드는 DiskSim에서 지원하는 Synthetic 워크로드를 사용하였다. 총 50,000sec 동안 워크로드를 실행시키고 무효데이터 재활용을 하는 경우와 안하는 경우의 Active Time과 Idle Time을 구하고 각각 전력소모량을 비교했다.

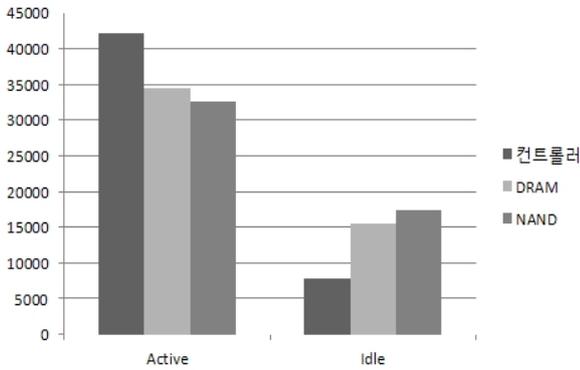


그림3 일반적인 방법의 상태별 동작 시간

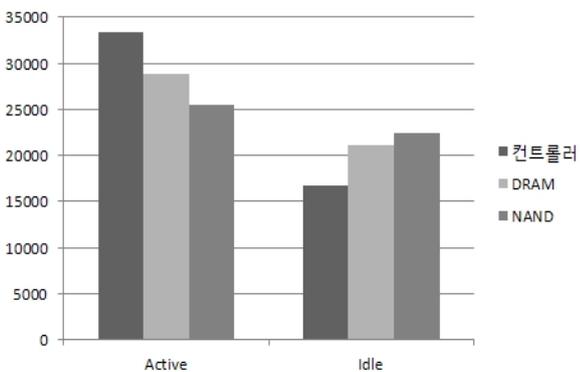


그림4 무효데이터 재활용 기법의 상태별 동작 시간

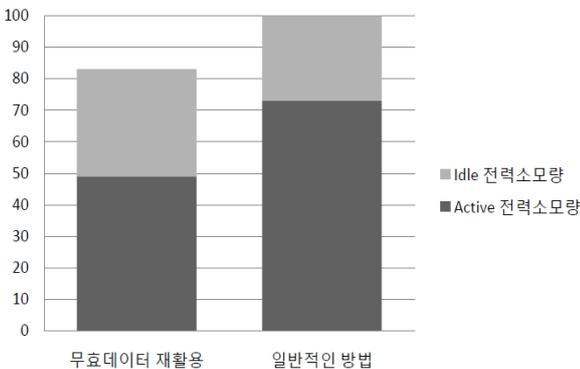


그림5 총 전력소모량 비교

그림 3과 4는 일반적인 방법과 무효데이터 재활용 기법을 사용할 때 컨트롤러, DRAM, NAND 플래시 메모리에서의 Active Time과 Idle Time을 나타낸다. 이를 바탕으로 그림 5에서 두 방법의 전력 소모량을 일반적인 방법을 기준으로 정규화하여 비교했다. 결과적으로 무효데이터 재활용 기법이 약 17%정도의 전력을 감소 시켰고 세부적으로 살펴보면 Active Time에서 약 32% 감소, Idle Time에서 약 25% 전력소모가 증가하였다. 무효데이터 재활용 기법이 Idle Time에서의 전력소모가 증가한 이유는 가비지

컬렉션 횟수 감소로 Idle Time이 증가했기 때문이다. 또한 해시값 생성과 중복검사 과정이 포함된 무효데이터 재활용 과정에서 일반적인 방법에 비해 각 부분에서의 연산횟수 증가가 있지만 지연시간이 긴 가비지 컬렉션 횟수의 감소에 비하면 적기 때문에 전체 전력소모는 감소한다.

참고문헌

[1] Seung Woo Son, Mahmut Kandemir “Energy-Aware Data Prefetching for Multi-Speed Disks” CF’06 ACM, 105~114p, 2006.

[2] Mehdi Pirahandeh, Deok-Hwan Kim “Reliable Energy-Aware SSD based RAID-6 System” FAST’12 10th USENIX Conference on File and Storage Technologies, 2012.

[3] 김주경, 이승규, 피라메히디, 김덕환 “SSD 기반 스트리지 시스템에서 입출력 성능 향상을 위한 무효데이터 재활용 기법” 한국정보과학회 한국컴퓨터종합학술대회, Vol.39, No1(A), 230~232p, 2012.

[4] Dong Kun Shin “Power Analysis for Flash Memory SSD” presented at the NVRAMOS, 2010.

[5] John Zedlewski, Sumeet Sobti, Nitin Garg, Fengzhou Zheng, Arvind Krishnamurthy, Randolph Wang “Modeling Hard-Disk Power Consumption” FAST’03 USENIX, 217~230p, 2003.

[6] 이철목, 원유집 “SSD 성능과 전력 소모량을 예측하는 시뮬레이터 개발방법” 한국정보과학회 학술발표논문집 37(2B), 292~297p, 2010.

[7] Nitin Agrawal, Vijayan Prabhakan, Ted Wobber, John D. Davis, Mark Manasse and Rina Panigrahy “Design Tradeoffs for SSD Performance” USENIX’08 ATC, 57~70p, 2008.