

White Box 접근 방법을 이용한 Solid-State Disk 특성 추출

*최영근, 방관후, 박상훈, 정의영
연세대학교 전기전자공학부

e-mail : *stylish25@dtl.yonsei.ac.kr, khbang@dtl.yonsei.ac.kr, soskhong@dtl.yonsei.ac.kr, eychung@yonsei.ac.kr*

Characterization For Solid-State Disk Using White Box Approach

*Young-Geun Choi, Kwanhu Bang, Sang-Hoon Park, and Eui-Young
Chung

School of Electrical and Electronic Engineering
Yonsei University

Abstract

Solid state disk (SSD) is a good alternative storage device to hard disk drive (HDD), and which has many strengths such as good performance, reliability, and low power consumption over HDD. SSD has different architecture and software from HDD due to its intrinsic storage media. So, SSD is required to exhibit different parameters which reflect its characteristics. In this paper, we propose a characterization flow for SSD, which can specify the parameter and scenario to extract the parameter for SSD. It helps us understand the SSD characteristic and improve the SSD performance, and extracted parameters show good accuracy.

I. 서론

솔리드 스테이트 디스크 (SSD)는 낸드 플래시 메모리 기반의 저장 장치로 기존의 하드 디스크 드라이브 (HDD)를 대체하고 있다. SSD는 HDD와 달리 추가의 기계적인 구성 요소를 가지지 않고 플래시 메모리와 같은 비휘발성 메모리 반도체만으로 구성되어 있어 접

근 시간을 크게 줄일 수 있고 충격에 강해 안정성 측면에서 장점을 지닌다. 또한 전력 소비도 크게 줄일 수 있다.

SSD는 내부 저장 매체인 낸드 플래시 메모리 자체의 특성 때문에 HDD와 다른 특징 및 구조를 지닌다. 낸드 플래시 메모리는 읽기/쓰기 연산의 기본 단위인 페이지들의 묶음인 블록 단위로만 지우기 연산이 가능하고 덮어쓰기가 불가능하다. 따라서 기존 파일 시스템과 함께 사용하기 위해서는 flash translation layer (FTL)라고 하는 소프트웨어가 요구된다. 또한 느린 낸드 플래시 메모리의 동작을 숨기기 위해 SSD 내부의 DRAM을 이용한 캐시 알고리즘 [1] 및 낸드 플래시 메모리 연산을 병렬적으로 처리하는 멀티 채널/웨이 구조 [2]가 SSD에 널리 이용되고 있다.

HDD는 컴퓨터 시스템에서의 병목으로 작용하여 HDD의 성능 향상을 위한 많은 연구가 진행되었다. 이러한 연구는 섹터 크기, 탐색 시간, 회전 지연시간 등과 같이 HDD의 특성을 나타내는 파라미터를 중심으로 이루어졌다. [3] 이러한 파라미터 들은 HDD의 성능을 정확하게 분석하여 보다 성능을 향상시키는데 중요한 요소이다.

하지만 SSD는 HDD와 다른 저장 매체를 이용하고 다른 구조로 되어 있기 때문에 이를 반영하는 파라미터가 요구된다. 호스트에서의 동작 단위인 섹터 크기와 다른 낸드 플래시 메모리에서의 읽기/쓰기 연산의 단위인 페이지 크기와 지우기 연산의 단위인 블록 크

기 그리고 SSD의 단위시간당 처리량을 높이기 위한 캐시 알고리즘 등이 요구될 것이다.

본 논문에서는 SSD 특성 추출 flow를 제시하여 이에 따라 SSD의 특성을 반영하는 파라미터 리스트와 파라미터를 추출하는 시나리오를 뽑는다. 그리고 SSD 하드웨어 플랫폼을 통해 시나리오에 따라 파라미터를 추출하여 추출된 값이 실제를 잘 반영하는지 비교해 보려 한다.

II. 본론

2.1 SSD 내부 구조

그림 1은 일반적인 SSD 내부 구조를 보여주고 있다. 호스트 인터페이스는 SSD 외부에서의 명령 및 데이터를 관장하는 구성 요소로 일반적으로 SATA 프로토콜을 사용한다. 마이크로컨트롤러는 낸드 플래시 메모리를 관리하기 위한 FTL을 수행하기 위한 연산 장치이고 SRAM은 FTL 연산을 위해 필요한 명령 및 데이터를 저장하는 메모리이다. 캐시 버퍼 관리자는 낸드 플래시 메모리의 느린 동작을 숨기기 위해 캐시 버퍼를 활용한 캐시 알고리즘을 수행한다. 낸드 플래시 메모리 제어기는 각 채널별로 낸드 플래시 메모리를 제어하여 낸드 플래시 메모리에 데이터를 읽거나 쓰는 동작을 관장한다.

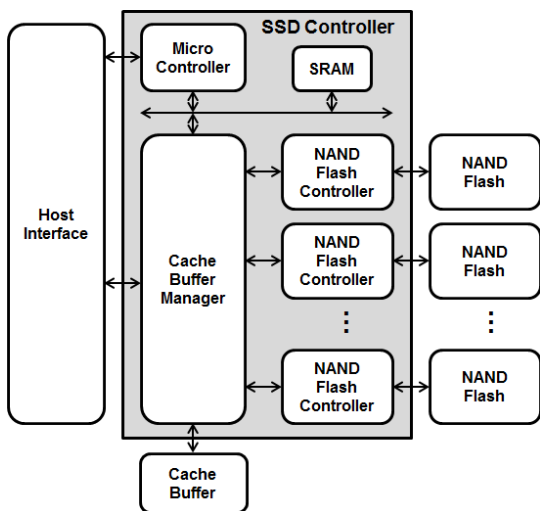


그림 1. SSD 내부 구조

2.2 특성 추출 Flow

본 논문에서는 white box 접근 방법을 이용하여 SSD 특성 파라미터와 그것을 추출하기 위한 시나리오를 선정한다. 이러한 접근 방법은 파라미터를 추출할 타겟 SSD의 내부 정보를 상세히 알고 있는 상태에서 SSD 특성 파라미터와 시나리오를 정하는 것이다. 이

는 외부에서 뽑기 어려운 파라미터를 뽑는데 용이할 뿐만 아니라 시나리오를 통해 추출한 파라미터의 정확도를 비교할 수 있는 장점이 있다. 이를 위해서 내부 구조를 상세히 알 수 있는 SSD 하드웨어 플랫폼에서 진행한다.

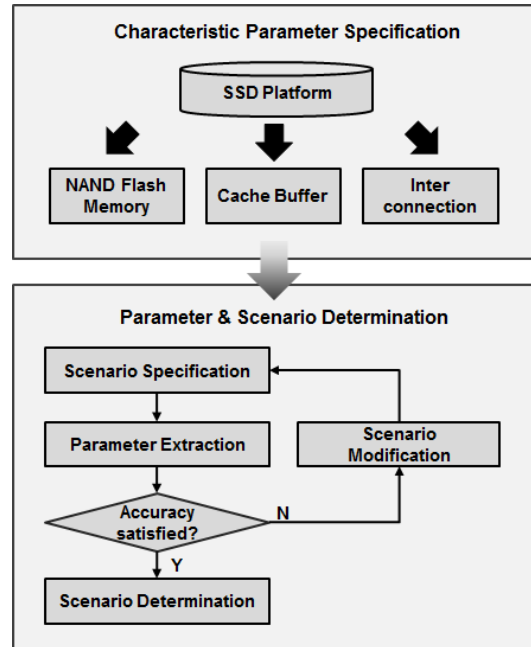


그림 2. SSD 특성 추출 Flow

SSD 특성 추출은 그림 2와 같은 flow로 진행한다. 먼저 타겟 SSD 플랫폼의 동작 및 구조를 분석하고 이를 통해 SSD의 내부 컴포넌트인 낸드 플래시 메모리와 캐시 버퍼의 특성 그리고 내부 컴포넌트 사이의 인터코넥션 특성을 나타내는 필수 파라미터 리스트를 정한다.

각 파라미터마다 다음과 같은 과정을 반복한다. 파라미터를 추출하기 위한 시나리오를 정하고 시나리오를 반영하는 trace를 뽑는다. Trace를 SSD 플랫폼에 입력으로 넣어 파라미터를 추출한다. 추출된 파라미터가 실제를 잘 반영하는지 체크하여 제대로 이루어진다면 시나리오를 확정하고 제대로 이루어지지 않는다면 시나리오를 수정하여 제대로 파라미터 값이 추출될 때까지 과정을 반복한다. 이러한 방식으로 SSD 플랫폼에서 파라미터 선정 및 그것을 추출하기 위한 시나리오를 확립하도록 한다.

2.3 파라미터 및 추출 시나리오

위에서 보인 flow를 통해 확립한 파라미터 리스트는 표 1과 같고 각 컴포넌트 별로 파라미터의 의미와 추출 시나리오는 다음과 같다.

컴포넌트	파라미터 리스트
낸드 플래시 메모리	블록/페이지 크기, 쓰기 지연시간
캐시 버퍼	쓰기 정책, 데이터 지연시간
인터코넥션	캐시 버퍼와 낸드 플래시 메모리 사이의 hiding 비율

표 1. 추출할 파라미터 리스트

• 낸드 플래시 메모리

블록 크기는 지우기 연산의 기본 단위로서 빈 블록을 만들기 위한 garbage collection 성능에 영향을 미친다. 이는 같은 주소에 update 쓰기를 발생시켜 garbage collection이 발생하는 순간에서의 쓰기 연산 크기를 블록 크기로 판단한다.

페이지 크기는 읽기/쓰기 연산의 기본 단위로서 I/O 성능에 영향을 미치고 호스트에서의 동작 단위인 섹터 크기보다 크기 때문에 이에 따른 sub-페이지 update overhead가 발생하여 읽기/쓰기 성능에 영향을 미친다. [4] 이는 추출한 블록 크기 정보를 바탕으로 다른 블록에 쓰기 동작을 발생시키고 그것의 크기를 증가시켜 쓰기 지연 시간이 증가되는 순간에서의 쓰기 크기를 페이지 크기로 판단한다.

쓰기 지연 시간은 SSD의 동작 시간 중 가장 많은 부분을 차지하기 때문에 성능에 큰 영향을 준다. 이는 낸드 플래시 메모리에서의 garbage collection 시 발생하는 copyback 동작과 읽기 동작 지연 시간의 차이를 통해 쓰기 지연 시간을 유도한다.

• 캐시 버퍼

쓰기 정책은 낸드 플래시 메모리의 느린 동작을 숨기기 위한 캐시 알고리즘으로서 일반적으로 컴퓨터 시스템에서 사용되는 캐시 정책과 동일하다. 이 정책에 따라 읽고 쓰는 메모리 성분이 캐시 버퍼인지 낸드 플래시 메모리인지 결정되어 SSD의 성능에 영향을 준다. 이는 임의 크기의 쓰기 동작을 발생시켰을 때의 SSD 지연 시간이 추출된 낸드 플래시 메모리 쓰기 지연 시간과 캐시 버퍼 데이터 지연 시간의 평균값보다 클 경우 write through로 판단하고 작을 경우 write back으로 판단한다.

데이터 지연 시간은 캐시 버퍼에서의 읽기/쓰기 동작 지연 시간으로 낸드 플래시 메모리에서의 copyback 동작과 쓰기 동작 지연 시간의 차이를 통해 데이터 지연 시간을 유도한다.

• 인터코넥션

인터코넥션은 SSD 내부 컴포넌트 사이에 데이터 전송 시 나타나는 성질을 의미한다. 캐시 버퍼와 낸드

플래시 메모리 사이의 hiding 비율을 인터코넥션에서의 파라미터로 뽑을 수 있다. 이는 낸드 플래시 메모리와 캐시 버퍼에 동시에 쓰기 동작이 이루어질 때 두 동작의 지연시간이 겹치는 비율로 SSD의 지연 시간에 영향을 준다. 낸드 플래시 메모리와 캐시 버퍼에 동시에 쓰는 동작인 write through에서의 쓰기 동작 또는 write back에서 캐시 미스가 발생했을 때의 읽기 동작을 발생시켜 캐시에서의 데이터 지연 시간과 낸드 플래시 메모리에서의 쓰기 지연 시간의 합과 비교해 hiding 비율을 유도한다.

III. 구현

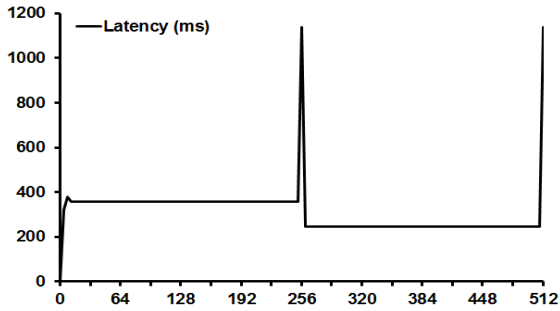
3.1 실험 환경

파라미터를 추출하기 위한 SSD 플랫폼은 Synopsys사의 CoWare 시뮬레이션 환경에서 개발되었다. [5] 이는 SystemC 언어 [6]를 이용하여 전송 수준 레벨에서 하드웨어 시스템을 모델링하고 이를 소프트웨어와 연동하여 시뮬레이션 할 수 있는 환경을 제공한다. 이를 통해 SSD의 각 컴포넌트 들을 SystemC로 모델링하고 FTL 소프트웨어와 연동하여 시뮬레이션을 진행했다.

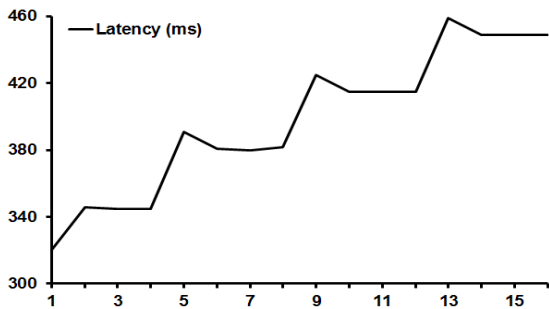
SSD 플랫폼에 사용된 구조는 2.1에서 설명한 구조와 동일하고 FTL은 BAST 알고리즘을 사용했다. [7] 사용된 DRAM 캐시 버퍼 크기는 64MB이고 낸드 플래시 메모리는 8채널 4웨이 구조로 각 채널 당 낸드 플래시 메모리 크기는 8GB이고 전체 크기는 64GB이다.

3.2 실험 결과

그림 3은 섹터 크기에 따른 SSD 플랫폼에서의 지연 시간을 나타낸 그림이다. 그림 3 (a)에서는 256 섹터마다 SSD 플랫폼 지연시간이 급격히 증가함을 보이고 있는데 이는 256 섹터마다 garbage collection이 발생함에 따른 결과이고 이 결과를 통해 SSD 플랫폼에서의 블록 크기는 256섹터이고 섹터 크기는 512B이므로 128KB임을 알 수 있다. 그림 3 (b)에서는 4 섹터마다 SSD 플랫폼 지연시간이 증가함을 보이고 있는데 FTL 동작의 기본단위가 페이지 크기이기 때문에 나타나는 결과이다. 따라서 SSD 플랫폼에서의 페이지 크기는 4 섹터로 2KB임을 알 수 있다. 하지만 그림 3에서 그래프의 불규칙성이 나타나는데 이는 FTL에서 필요한 데이터인 주소 정보를 찾기 위해 SRAM에 접근함에 따른 결과이다.



(a) 블록 크기 추출 시나리오에 따른 결과



(b) 페이지 크기 추출 시나리오에 따른 결과

그림 3. 섹터 크기에 따른 SSD 플랫폼 지연시간

나머지 파라미터 리스트도 추출 시나리오를 통해 값을 추출했고 SSD 플랫폼에서의 실제값과 비교하여 시나리오를 수정하여 실제값과 최대한 일치하는 방향으로 실험을 진행했다. 표 2는 최종적으로 확립된 시나리오를 통해 추출된 값과 실제값을 나타내고 있다.

컴포넌트	파라미터 리스트	실제값	추출값
낸드 플래시 메모리	블록 크기	128KB	128KB
	페이지 크기	2KB	2KB
	쓰기 지연시간	200100ns	200995ns
캐시 버퍼	쓰기 정책	write through	write through
	데이터 지연시간	1440ns	1430ns
인터코넥션	Hiding 비율	100%	99.66%

표 2. SSD 파라미터의 추출값과 실제값

낸드 플래시 메모리에서의 블록 크기와 페이지 크기는 실제값과 일치하며 쓰기 지연시간은 0.45%의 오차를 보인다. 캐시 버퍼에서의 쓰기 정책은 실제값과 일치하며 데이터 지연시간은 0.69%의 오차를 보인다. 인터코넥션에서의 낸드 플래시 메모리와 캐시 버퍼 사이의 hiding 비율은 0.34%의 오차를 보인다. 따라서 추출 시나리오에 따라 추출된 파라미터 값은 실제값을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 SSD 특성 추출 flow를 통해 SSD의 특성을 반영하는 파라미터와 추출 시나리오를 제시했고 시나리오를 통해 추출된 값이 실제값을 잘 반영함을 보였다.

향후 추출 시나리오를 자동적으로 발생시켜 SSD 특성을 추출하는 자동화 기법에 대해 연구할 것이고 추출 시나리오의 generality를 높이기 위해 다른 SSD 플랫폼 및 실제 SSD 제품에도 적용할 것이다.

Acknowledgement: 이 논문은 2011년 삼성전자의 지원 및 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2010-0081670)

참고문헌

- [1] Hyojun Kim, and Seongjun Ahn, "BPLRU: A Buffer Management Scheme for Improving Random Writes in Flash Storage", Proceedings of 6th USENIX Conference on File and Storage Technologies, pp. 239-252, 2008.
- [2] Jeong-Uk Kang, Jin-Soo Kim, Chanik Park, Hyoungjun Park, and Joonwon Lee, "A multi channel architecture for high performance NAND flash based storage system", Journal of Systems Architecture, Vol. 53, pp. 644-685, 2007.
- [3] Özcan Mesut, and Niek Lambert, "HDD Characterization For A/V Streaming Applications", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 48, pp. 802-806, 2002.
- [4] Seungwook Jin, Jaehong Kim, Jaegeuk Kim, Jaehyuk Huh, and Seungryoul Maeng, "Sector Log: Fine-Grained Storage Management for Solid State Drives", The ACM 26th Symposium on Applied Computing, 2011.
- [5] CoWare. www.synopsys.com
- [6] Open SystemC Initiative. www.systemc.org
- [7] Jesung Kim, Jong Min Kim, Sam H. Noh, Sang Min, and Yookun Cho, "A Space-Efficient Flash Translation Layer for CompactFlash Systems", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 48, pp. 366-375, 2002.