

논문 2009-04-20

# 다양한 메모리 셀을 결합한 디스크형 플래시 메모리 시스템

(Flash Memory System for Solid-state Disk  
by Using Various Memory Cells)

정 보 성, 이 정 훈\*

(Bo-Sung Jung, Jung-Hoon Lee)

Abstract : We present a flash memory system with low cost and high performance for solid-state disk. The proposed flash system is constructed as a SLC with hot blocks and a MLC with cold blocks. Either the SLC or the MLC is selectively accessed on the basis of a position bit in a mapping table. Our results show that the system enables the SLC size to be reduced by about 80% relative to a conventional SLC while maintaining similar performance. And also, our system can improve a performance by above 60% comparing with a conventional MLC.

Keywords : Flash memory, Solid state disk, Mapping table, SLC and MLC

## 1. 서론

오늘날 MP3 플레이어, PDAs(personal digital assistants), PMPs(portable media players), 포터블 컴퓨터, 셋탑박스, 디지털 카메라 그리고 캠코더를 포함한 많은 모바일 기기들은 큰 사이즈의 멀티미디어 데이터를 빠르게 저장하고, 불러오고, 처리하기 위하여 고용량/고성능의 저장 시스템을 요구하고 있다 [1]. 디지털 데이터를 보관 할 수 있는 미디어로는 광학미디어, 고밀도화 된 마그네틱 타입의 미디어와 플래시 미디어로 나눌 수 있다. 미디어는 각각의 장치의 특성에 맞춰 여러 용도로 쓰이고 있는데, 현재 디지털 카메라, 캠코더, MP3 플레이어 등의 휴대장치는 초소형의 기기들이기에 부피를 덜 차지하며 휴대성을 가진 플래시 메모리가 일반적으로 쓰이고 있다. 그리고 이러한 기기들에 있어 비휘

발성, 고체상태의 안정성, 경제성, 저전력, 내구성, 빠른 속도, 그리고 높은 집적도와 같은 다재다능한 특징을 가진 NAND 플래시 메모리는 이미 가장 보편적인 저장 매체로서 자리 매김을 하고 있다 [2-3].

NAND 플래시 메모리의 대표적인 특성은 다음과 같다. 첫째로 비휘발성을 들 수 있다. 우리가 일반적으로 개인용 컴퓨터에 사용하고 있는 하드디스크처럼 전원이 공급되지 않아도 그 내용이 계속 유지가 되는 특성이다. 전원의 공급이 있을 때만 데이터가 유효한 DRAM이나 SRAM에 반하는 특성이라고 할 수 있다. 둘째로는 저전력을 들 수 있다. NAND 플래시 메모리의 소비전력은 NOR에 비하여 25%만을 차지하며 compact 플래시 메모리에 비해서도 약 절반정도의 소비전력 감소 효과를 얻을 수 있다 [4-5]. 이러한 저전력의 효과 역시 NAND 플래시 메모리의 활용도를 증가시키는 중요 요인이다. 셋째로는 빠른 접근 시간이다 [6-7]. 하드디스크와는 달리 어느 특정 데이터에 접근하는데 걸리는 시간이 모두 동일하다. 넷째로는 소형이라는 것이다. 같은 크기라도 집적도가 더 높기 때문에 더 많은 용량을 담을 수 있고 더 가벼워지고 있기 때문에 현재의 추세인 모바일에 대응하는 중요한 포인트라고 볼 수 있다 [8]. 또한 플래시 메모리는 하드디스크

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2009. 06. 20., 수정일 : 2009. 07. 21.,  
채택확정 : 2009. 08. 01.

정보성, 이정훈 : 국립경상대학교 제어계측공학과

※ 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 지원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임"(KRF-2007-611-D00028).

크처럼 기계적으로 돌아가는 것이 아니기 때문에 잡음이 거의 없는 장점이 있다. 플래시 메모리와 하드디스크와의 가격비교에서 용량대비 단가에 있어서 점차 플래시 메모리가 가격 경쟁력을 가지면서 향후에는 하드디스크를 대체하는 우수한 성능의 저가의 새로운 플래시 메모리형 저장장치가 우세하게 될 것이다.

현재 새롭게 연구되고 있는 플래시 메모리형 저장장치인 SSD(solid state disk)의 특징은 다음과 같다. SSD는 일반적으로 NAND 플래시 메모리와 DRAM 메모리로 구성된다. 플래시 메모리는 상대적으로 빠른 DRAM을 기반으로 매우 빠른 데이터 접근시간을 제공하며, 특정 어플리케이션의 접근에 있어서의 지연성(latency)를 보완해준다. 다시 말해서 DRAM을 기반으로 한 SSD는 Buffer Cache 메커니즘으로 동작한다고 할 수 있다.

이러한 SSD의 장점으로는 다음과 같다.

- ① 하드디스크와 달리 물리적인 모터 구동없이 빠른 시작이 가능(Fast start-up with no spin-up is required)
- ② 읽기 모드를 수행함에 있어서 빠른 임의 접근 가능(Typically fast random access for reading)
- ③ 매우 작은 읽기/쓰기 접근 시간(Extremely low read and write latency times)
- ④ 잡음최소화(No noise)
- ⑤ 적은 용량의 SSD를 위한 저전력과 저발열 제품 구성 가능(For low-capacity SSDs, low power consumption and heat production)
- ⑥ 고성능 SSD와 DRAM 기반의 SSD의 경우 비교적 큰 에너지 요구(high-end SSDs and DRAM-based SSDs may have significantly higher power requirements)
- ⑦ 고신뢰성 (High mechanical reliability - the lack of moving parts almost eliminates the risk of mechanical failure)
- ⑧ 일관적인 성능 유지(Relatively deterministic performance - seek time is almost constant and is not dependent on the physical location of the data)
- ⑨ 적은 무게와 크기(lower weight and size)

플래시의 많은 장점에도 불구하고 하드디스크용 SSD로 사용하기 위해 고려되어야 할 중요한 주된 요인은 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

첫째로는 쓰기 전 지우기 연산이 선행되어야 한다는 것이다. 하드디스크의 경우 파일 업데이트 요청시 그 파일을 덮어쓰게 되지만 플래시 메모리의 경우 파일 업데이트가 자유롭지 못하다. 게다가 지우기 연산은 쓰기와 읽기보다 훨씬 큰 단위인 블록 단위로 이뤄진다는 것이다. 그러므로 성능저하를 초래하는 큰 단점을 가진다. 이러한 지우기 연산을 줄이기 위한 효과적인 알고리즘이 선행되어야 한다.

둘째로는 플래시 메모리의 데이터 정보는 특정한 섹터에 대한 쓰기 연산의 정해진 횟수를 초과하게 되면 그 섹터에 대한 정보가 소실되거나 손상될 가능성이 있다. 하드디스크의 경우 특정섹터에 대한 사용횟수에 제한이 없으나 플래시 메모리의 경우 쓰기 횟수에 제한을 가진다. 이러한 제한을 최소화하기 위하여 플래시 메모리 셀의 접근을 줄이기 위한 새로운 알고리즘이 고려되어야 한다.

셋째로는 플래시 메모리에서의 다양한 응용 프로그램을 수행함에 있어서 수행 속도가 매우 빨라야 한다. 특히 무작위 읽기 명령(random read operation)에 빠른 수행을 보장해야한다. 플래시 메모리의 종류 중 NOR 플래시 메모리가 NAND 플래시에 비해 무작위 읽기 명령 수행 속도가 100배 이상 차이를 보이지만 비용적인 측면에서 NAND가 약 40% 저렴한 특징을 보인다. 그러므로 NAND 플래시의 기본구조에 무작위 읽기 명령을 위한 빠른 연산 속도의 보장은 하드디스크 대용의 플래시 메모리 구조에 가장 중요한 요인 중 하나로 고려되어야 할 것이다.

## II. 다양한 메모리 셀을 결합한 플래시 메모리 시스템

디스크용 플래시 메모리 시스템을 구현하기 위하여 MLC와 SLC를 통합하고 작동시키는 알고리즘과 구조에 대해서 자세하게 설명한다.

### 1. MLC와 SLC의 차이점

MLC가 SLC에 비해 성능이 떨어지는지 이유와 차이점 그리고 특징에 대해서 간략하게 살펴보면 다음과 같다. 먼저 SLC와 MLC용어의 뜻은 SLC : Single Level Cell 과 MLC : Multi Level Cell이다. 기본적으로 메모리는 저장공간에 전자가 있느냐 없느냐에 따라 아래와 같이 0 혹은 1로 표현된다. SLC는 메모리에 데이터가 들어있으면 1, 그렇지 않

으면 0을 기억한다.

반면 MLC는 기억소자에 전자를 몇 개 저장하는냐에 따라서 여러 가지 상태를 나타낼 수 있는 것이다. 즉 전자가 없으면 00, 전자가 4개 있으면 01, 8개 10, 12개 11로 표현할 수 있다. 즉 하나의 저장 공간으로 총 4가지(00, 01, 10, 11)의 경우를 표현할 수 있는데, SLC에 비해서 2배의 용량을 가질 수 있는 것이다. 현재 MLC의 경우 4 Level을 가지는 Cell을 가지지만, 8 Level Cell, 16 Level Cell도 이론적으로 가능하다. 이러한 MLC는 비용적 측면에서 매우 큰 장점을 가지지만 SLC에 비해 성능은 많이 떨어지고 있다. 읽기 모드인 경우 약 2배 이상, 쓰기 모드인 경우 약 4배 이상 차이가 난다. 그 이유는 SLC의 경우 저장 공간의 전자들을 한꺼번에 옮길 수 있기 때문이다. 즉 셀에 데이터를 한꺼번에 저장하고 제거하기 때문에 빠른 시간에 저장과 제거가 가능하지만 MLC는 정확한 개수를 저장해야 하기 때문에 천천히 저장해야 한다. 그러므로 시간이 SLC의 경우보다 더 많이 걸리는 것이다.

이러한 각각의 셀 특성을 반영하여 하나의 SSD로 구성할 경우 높은 성능 및 비용적인 측면에서 효과적인 구조가 만들어 질 수 있다.

2. 제안된 플래시 구조 및 동작

제안된 디스크용 플래시 메모리 시스템의 구조는 [그림 1] 과 같다.

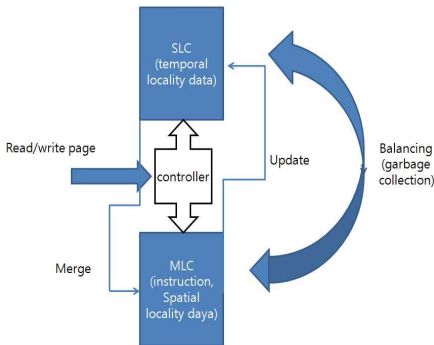


그림 1. 제안된 플래시 시스템

Fig. 1. Proposed flash memory system

제안된 시스템은 프로그램 실행 시 적합한 두 가지 지역성을 이용하기 위하여 두 가지 셀인 MLC와 SLC로 구성한다. 프로그램 실행 시 적합한 지역성이란 공간적 지역성과 시간적 지역성을 말한다. 시간적 지역성은 최근에 참조가 일어난 블록은 가

까운 미래에 다시 참조가 일어날 가능성이 높다는 것을 의미한다. 즉 플래시 메모리에서는 핫 블록(hot-block)이 되는 것이다. 공간적 지역성은 가까운 미래에 최근 참조되어진 이웃 블록의 참조 가능성이 높기 때문에 콜드 블록(cold-block)이라 볼 수 있다. 따라서 제안된 시스템은 지역성 가운데 콜드 블록을 위한 큰 용량을 가지는 MLC와 핫 블록을 위한 작고 빠른 동작을 수행하는 SLC로 구성하였다. 매핑테이블에는 이러한 정보를 저장하기 위한 정보비트인 한 비트를 가지고 요청한 블록이 콜드 블록인 경우에는 "0"값을 가지며, 핫 블록인 경우에는 "1"의 값을 가진다. 또한 위치비트를 두어 "0"인 경우에는 MLC에 "1"인 경우에는 SLC에 해당 데이터가 존재함을 나타내었다.

결론적으로 이러한 위치비트를 이용하여 선택적으로 해당 플래시 셀로 접근하게 되고 정보비트를 이용하여 핫 블록들이 SLC에 모임에 따라 성능효과를 높일 수 있는 것이다.

2.1구동 알고리즘

여기서는 제안된 시스템의 동작원리를 상세히 설명하고자 한다. 플래시 메모리의 접근을 위한 FTL 동작 동안 위치비트를 이용하여 동일한 계층의 MLC 또는 SLC에 선택적으로 접근이 일어난다. 이때 SLC 참조 성공에 따라 정보비트의 갱신이 이루어진다.

● 읽기 모드의 경우

SLC 셀에서 읽기 요청에 대한 적중이 발생하면 시간적 지역성이 높다고 판단하여 핫블록을 나타내기 위한 정보 비트를 "1"로 세팅함과 동시에 요청한 페이지를 인출하여 메모리 및 CPU에 보내게 되고 동작은 마치게 된다. MLC 셀에서 읽기 요청에 대한 적중이 발생하면 시간적 지역성이 있다고 판단하여 요청한 블록을 읽기 모드가 빠른 SLC로 옮김과 동시에 위치비트를 "1"로 세팅한다. 그리고 요청한 페이지를 인출하여 메모리 및 CPU에 보내게 되고 동작은 마치게 된다.

● 쓰기 모드의 경우

① 프로그램 설치 시

일반적으로 처음으로 프로그램을 설치할 경우에 MLC 셀에 유효공간을 찾아 쓰기 동작을 수행한다. 해당하는 블록의 매핑 테이블 내에 위치비트와 정보비트는 모두 "0"으로 세팅된다.

②프로그램 구동 시

프로그램이 구동되면서 쓰기 동작이 발생하는데 SLC와 MLC셀에서 적중이 발생할 수 있다. SLC에서 쓰기 동작이 발생하면 마찬가지로 시간적 지역성이

존재한다고 판단하여 해당 정보 비트가 "1"로 세팅하고 FTL 메커니즘에 따라 쓰기 동작이 일어난다. MLC에서 쓰기 동작이 적중되면 적중되어진 블록을 SLC에 옮기게 되고 위치비트는 "1"로 갱신되지만 아직 정보비트는 갱신되지 못한다. 읽기모드와 마찬가지로 정보비트는 MLC에서 SLC로 올라온 블록 중 다시 SLC에서 쓰기 및 읽기 동작이 발생한 블록만 시간적 지역성이 높은 핫블록으로 간주하여 정보비트를 "1"로 갱신하는 것이다. 만약 MLC에서 SLC로 올라온 블록이 많아 용량이 부족한 경우 이때 정보비트가 "1"인 핫블록만을 검색하여 SLC로 남겨두고 나머지는 콜드블록으로 판단하여 MLC로 다시 보내게 된다. 이때 위치비트는 모두 "0"으로 초기화하여 시간적 지역성을 다시 판단하게 된다.

### III. 성능평가

이 장에서는 제안된 플래시 구조의 시뮬레이션 환경 및 성능 평가에 대해 자세히 설명한다. 제안된 플래시 시스템의 용량은 SLC의 경우 2GB와 MLC의 경우 8GB의 용량으로 구성하였으며, 구체적인 시뮬레이션 사양과 트레이스 파일은 표 1, 표 2 와 같다.

표 1. 시뮬레이션 사양

Table 1. Simulation spec

Flash Memory Feature		
Size	10Gbytes	
Max Sector Address	5,242,880	
Max Page Address	1,310,720	
SLC / MLC Memory Features		
	SLC	MLC
Size	2Gbytes	8Gbytes
Max Sector Address	1,048,576	4,194,304
Max Page Address	252,114	1,048,576
Page size	2,048bytes	2,048bytes
Block size	128Kbytes	256Kbytes
Number of blocks	16,384	32,768
Pages per block	64개	128개

표 2. 입·출력 트레이스

Table 2. Input · output trace

1. Windows Update
2. Install and Setup
3. Clean manager
4. Compress and Decompress
5. General usage

[그림 2]는 SLC 및 MLC에 프로그램이 동작하면서 접근 빈도를 나타내고 있다. 트레이스 3번인 file download를 제외하고는 대부분이 SLC 셀에 대한 접근 요청이 높음을 알 수 있다. 결론적으로 시간적 지역성이 높은 핫블록을 가진 SLC의 효율성이 대단히 높음을 알 수 있으며 SLC의 빠른 읽기/쓰기 동작을 수행하여 전체적으로 시스템의 속도를 높이는 결과를 나타낸다.

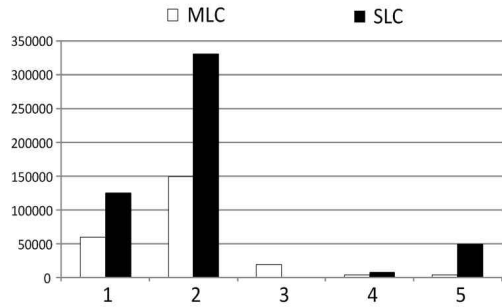


그림 2. 접근 빈도  
Fig. 2. access frequency

성능비교를 위하여 SLC 10GB만 사용한 경우와 MLC 10GB만 사용한 경우를 비교 분석하였다. [그림 3]에서 알 수 있듯이 제안된 구조와 SLC의 성능이 약 10%정도의 감소만을 보이고 있으나 MLC에 비해서는 대부분의 벤치마크에서 60%이상 성능 효과가 있음을 알 수 있다. 만약 수행시간이 아닌 용량으로 성능 평가를 고려할 경우 SLC에 비해 MLC는 2배의 용량 증가를 보이며, 제안된 구조의 경우 MLC에 비해 약 10%의 감소만을 보이지만 SLC에 비해서는 약 80% 증가하는 결과를 얻을 수 있다.

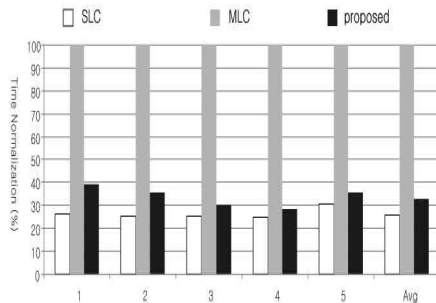


그림 3. 수행시간 비교  
Fig. 3. Timing comparison

#### IV. 결 론

본 연구는 SLC와 MLC의 장점을 결합한 하드디스크형 플래시 메모리 구조를 제안하였다. SLC는 빠른 접근 및 쓰기가 용이한 반면 값이 비싸고 저장 공간이 작다. 이에 반해 MLC는 저장 공간이 큰 반면 쓰기 및 읽기 동작이 매우 느린 단점을 가진다. 이에 각각의 장점들을 살리기 위하여 간단한 지역성을 이용한 핫블록과 콜드블록을 구분하는 메커니즘을 이용하여 자주 사용되는 핫블록은 SLC에 모으고, 접근이 빈번하지 않는 콜드블록은 MLC에 저장시킴으로써 빠른 수행 속도를 보장시킨다. 시뮬레이션 결과 용량적인 측면에서는 MLC와 유사하지만 성능적인 측면에서는 SLC와 유사한 성능 결과를 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] Keizo Saisho and Akira Fukuda, "Effect of Memory Allocation on Flash Memory File System", IPSJ JOURNAL Vol. 42 No. 06-027, June 2001.
- [2] D. Jung, Y. H. Chae, H. Jo, J. S. Kim, and J. Lee, "A group-based wear-leveling algorithm for large-capacity flash memory storage systems", In Proc. of the 2007 Intl conf. on compilers, architecture, and synthesis for embedded systems, pp. 160-164, Sep. 2007.
- [3] J. R. Lorch, and A. J. Smith, "Software Strategies for Portable Computer Energy Management," IEEE Personal Communications Magazine, Vol. 5, pp. 60-73, Feb. 1998.
- [4] Samsung Electronics. NAND Flash Memory & SmartMedia Data Book. 2002.
- [5] <http://www.samsung.com/Products/Semiconductor/index.html>.
- [6] Samsung Electronics. NAND-type Flash Memory. 2002. <http://www.samsungelectronics.com/semiconductors/flash/Flash.html>.
- [7] Toshiba America Electronic Component. Flash memory. 2002. [http://www.toshiba.com/taec/main/faq/flash\\_faq.html](http://www.toshiba.com/taec/main/faq/flash_faq.html).
- [8] C. Park, J. Seo, D. Seo, S. Kim, and B. Kim, "Cost - Efficient Memory Architecture Design

of NAND Flash Memory Embedded Systems", IEEE International Conference on Computer Design (ICCD 2003), pp. 474-480, Oct. 2003.

#### 저 자 소 개

##### 정보성



2006년 경상대학교 제어계측공학과 학사. 2006년 경상대학교 제어계측공학과 석사. 현재, 경상대학교 제어계측공학과 박사과정

관심분야 : 마이크로프로

세서, 캐쉬 및 플래시메모리

Email : blueking80@gnu.ac.kr

##### 이정훈



1999년 성균관대학교 제어계측공학과 학사. 2001년 연세대학교 컴퓨터과학과 석사. 2004년 연세대학교 컴퓨터과학과 박사. 현재, 국립경상대학교 제어계측공학과 조교수.

관심분야 : 임베디드 시스템, 저전력 메모리 시스템, SOC 시스템 설계

Email : leejh@gsnu.ac.kr