

Greedy 방법을 개선한 플래시 메모리 지움 정책

김경윤, 김영필, 송인준, 유혁
고려대학교 컴퓨터학과
e-mail : kykim@os.korea.ac.kr

Cleaning Policy of Flash Memory with Enhanced Greedy Approach

Kyeong-Yun Kim, Young-Pill Kim, In-Jun Song, Hyuck Yoo
Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

요 약

플래시 메모리는 안정적으로 정보를 저장하고 전송이 편하다는 측면에서 휴대용 저장매체로 많이 사용되고 있다. 그리고 셋탑박스(set-topbox), PDA 와 같은 임베디드 시스템 역시 저전력 소비와 빠른 접근 시간을 요구한다는 측면에서 플래시 메모리를 저장 장치로 사용하고 있다. 그러나 플래시 메모리는 덮어쓰기가 불가능하고 지우는 속도가 느리다는 단점이 있다. 따라서 시스템의 성능을 향상시키고 플래시 메모리의 수명을 늘이기 위해서 플래시 메모리의 효율적인 지움 정책은 반드시 고려되어야 하는 사항이다. 본 논문에서는 현재 알려져 있는 플래시 메모리 지움 정책을 설명하고 우선순위 조정을 통해 Wear-leveling 을 구현함으로써 효율적으로 플래시 메모리를 지우는 방법을 제안한다. 이것은 Greedy 접근방식을 수정한 것으로 균등한 접근에 잘 동작할 뿐만 아니라 플래시 메모리 내에서 지우는 곳을 고르게 안내함으로써 플래시 메모리의 수명을 연장시킬 수 있다는 장점을 가진다.

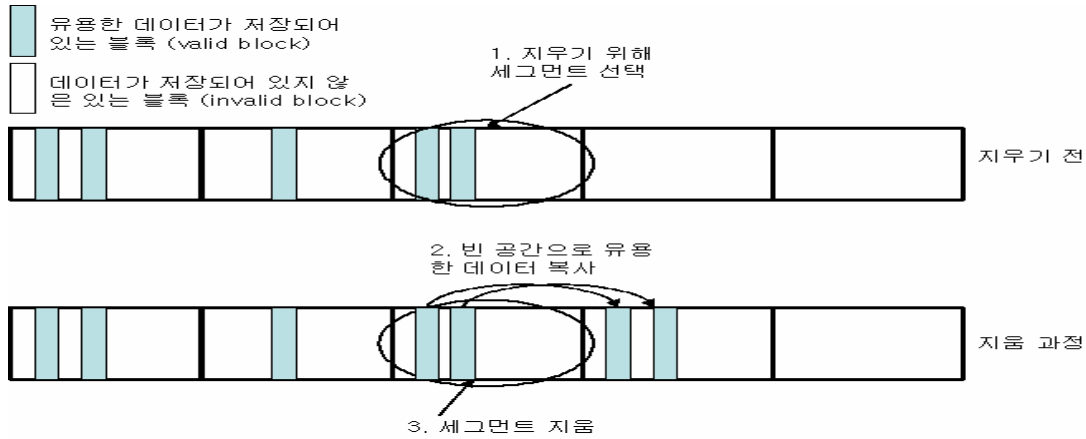
1. 서론

디지털 기술의 발전에 따라서 사진, 동영상을 저장하는 디지털 카메라, 디지털 캠코더, MP3 음악을 들을 수 있는 MP3 플레이어와 같은 휴대용 장비가 등장하면서 기존의 하드디스크와는 다른 저장매체가 요구되었다. 하드디스크는 부피가 클 뿐만 아니라 무겁고 소비전력이 크기 때문에 휴대용 저장소로 사용하기에는 비효율적이다. 이러한 상황에서 플래시 메모리가 모바일 장치를 위한 저장매체로 자리를 잡아가고 있다.

플래시 메모리는 EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) 칩의 한 형태로 하드디스크에 비해 견고하고 크기가 작고 가볍다는 점에서 PDA, 디지털 음악 재생기, 휴대 전화와 같은 휴대용 장치의 저장소로 많이 사용되고 있다. 또한 DRAM 만큼 접근 시간이 빠르지만 저전력으로 동작한다. 왜냐하면 플래시 메모리는 DRAM 과 비슷한 방법으로 데이터를 저장하지만 DRAM 과 같이 계속적으로 리프

레쉬 (refresh)작업을 하지 않아도 되기 때문이다. 그리고 SRAM 과 같이 계속적으로 데이터를 저장하지 않아도 된다. 그리고 전원이 꺼져도 데이터를 유지하는 비휘발성은 저장장치로서 플래시 메모리가 갖는 큰 장점이다. 이렇게 플래시 메모리는 RAM 의 특성을 가지면서 하드디스크의 특성도 가지고 있다.

그러나 플래시 메모리는 덮어쓰기가 불가능하고 메모리 셀의 지움 연산이 100000 번으로 제한되어 있는 제약을 가지고 있다. 그리고 플래시 메모리는 새로운 데이터를 저장하기 전에 반드시 지우기 과정을 거쳐야 하며 읽기 속도에 비해서 쓰기 속도는 매우 느리다는 단점이 있다. 또한 플래시 메모리는 가격이 하드디스크에 비해서 너무 비싸다는 단점을 가지고 있다. 다음 <표 1>은 플래시 메모리의 일반적인 특징을 나타낸다. [4]



<그림 1> 지움 과정의 3 단계 동작

읽기 속도	50~150 ns/byte
쓰기 속도	6~9 us/byte
블록 쓰기 속도	0.4~0.6 sec
블록 지움 속도	0.6~0.8 sec
지움 블록 크기	64Kbytes or 128Kbytes
전력 소모량	대기상태 - 20~100 uA
	동작상태 - 30~50 mA

<표 1> 플래시 메모리의 특징

플래시 메모리는 새로운 데이터를 쓰기 위해서 지움 과정을 반드시 거쳐야 하고 한 블록을 지우는 데 많은 시간이 걸린다. 그리고 플래시 메모리의 지움 횟수가 정해져 있다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 효율적인 지움 정책은 이러한 문제점을 극복하여 시스템의 성능을 향상시키고 전력 소비를 줄이며 플래시 메모리의 수명을 늘이는 데 도움을 줄수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 지금까지 알려진 플래시 메모리 지움 정책에 대해서 살펴본다. 그리고 3 장에서는 그 가운데 Greedy 접근 방법을 개선하여 효율적인 지움 작업이 이루어질 수 있도록 하는 방법을 기술한다. 마지막으로 4 장에서 결론 및 향후과제를 제시한다.

2. 관련 연구

플래시 메모리의 읽기, 쓰기 작업은 블록 단위로 처리된다. 그리고 세그먼트는 이러한 데이터 블록의 모음이 된다. 데이터 블록은 유용한 데이터가 저장되어 있는 유효 블록 (Valid Block)과 그렇지 않은 무효 블록 (Invalid Block)으로 구분할 수 있다. <그림 1>에서 볼 수 있듯이 새로운 데이터가 특정 세그먼트에 저장되기 전에 해당 세그먼트에 유용한 데이터가 저장되어 있다면 이 데이터를 다른 플래시 메모리 공간 (Free Space)으로 옮기고 지움 작업이 수행된 이후에 새로운 데이터가 저장된다.[4] 즉, 현재의 EU (Erasing Unit)안에 포함된 데이터를 다른 EU 로 복사하고 새로운 데이터를 이 곳에 저장하는 것이다. 이러한 과정을 지움 정책 (Cleaning Policy)이라고 한다.

2.1 지움 정책 (Cleaning Policy) 결정의 고려 사항

지움 정책을 결정하기 위해서는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다. 우선, 지움 작업을 시작하고 끝내는 시점을 고려해야 한다. 둘째로, 지움 대상이 되는 세그먼트를 결정하는 방법을 고려해야 한다. 여기에는 가장 많은 양의 쓸모없는 데이터를 가지고 있는 세그먼트를 선택하는 것, 세그먼트 데이터에 대한 정보를 이용하여 선택하는 것과 같은 방법이 있다. 셋째로 세그먼트의 크기가 고려되어야 한다. 세그먼트 크기는 지움 작업 성능에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 넷째로 한번에 얼마만큼의 세그먼트를 지움 것인가를 고려해야 한다. 그 이유는 한번에 많은 세그먼트가 지워질수록, 복사하여 저장해야할 데이터가 늘어나기 때문이다. 마지막으로 지워진 세그먼트의 유용한 데이터를 어떻게 분배하여 저장할 것인가를 결정해야 한다.

2.2 지움 정책 (Cleaning Policy)

지움 정책은 지움 대상이 되는 세그먼트 선택 알고리즘으로 생각해 볼 수 있는데 크게 두 가지 방법이 있다. 첫번째 지움 정책은 Greedy 방법[1][4] 이다. 이 정책은 지움 과정에서 발생하는 유효 블록의 복사로 인한 작업을 최소화하기 위하여 유용한 데이터를 포함하고 있지 않은 무효 블록이 가장 많은 세그먼트를 선택하여 지우는 방법이다.

두번째 지움 정책은 Cost-benefit 방법[1][4]이 있다. 다음 공식에 의해 지움 세그먼트를 결정하는 방법이다.

$$\frac{Benefit}{Cost} = \frac{age \times (1 - u)}{2u} \quad \text{<식 1>}$$

<식 1>은 비용 (Cost)에 비해 이익 (Benefit)이 큰 세그먼트를 선택하는 방법이다. 여기에서 u 는 세그먼트 이용률이고 $(1-u)$ 는 이용될 빈 공간의 양을 나타낸다. 그리고 age 는 가장 마지막에 블록을 무효로 변화시킨 후의 시간을 의미하며 메모리 공간이 빈 상태로 얼마나 오랫동안 남아있을 것인가를 가늠하는데 사용된다. 비용 부분에서 $2u$ 는 유효 블록을 읽고 그것들을 다른 빈 공간에 쓰는데 걸리는 시간을 의미한다.

세번째로 등급별 지움 정책 (Ranked Cleaning Policy) [1][2]이 있다. 이 정책은 플래시 메모리에 저장되는 공간을 고르게 분배하는 wear-leveling 혹은 even wearing 을 통해서 플래시 메모리의 지움 횟수를 줄이고 플래시 메모리의 수명을 연장시킬 수 있도록 하는 지움 정책이다. 다음 식은 등급별 지움 정책에서 등급을 결정하는 식이다.

$$R = A \frac{i}{2 v \cdot f \cdot e} \quad \text{<식 2>}$$

이 정책은 <식 2>에서 결정된 등급값을 계산하여 값이 가장 큰 순서대로 세그먼트를 지우는 방식이다. 여기에서 v 는 세그먼트 내에서 유효 블록에 대한 비율이고, f 는 비어 있는 블록에 대한 비율, 그리고 i 는 무효 블록에 대한 비율을 의미한다. 즉, v, f, i 의 총합은 1 이 된다. 유효 블록의 경우 읽고 다른 세그먼트로 복사해야 하기 때문에 2 배의 영향을 준다. 그리고 e 는 세그먼트의 전체 지움 가능 회수에 대한 현재 지운 회수의 비율이다. A 는 e 값에 대한 비중치를 나타내는 상수값이다. 플래시 메모리의 수명이 많이 남아 있을 경우, wear-leveling 에 대해 큰 비중을 둘 필요가 없기 때문에 작은 값을 주어도 된다. 그러나 플래시 메모리의 수명이 적게 남아 있을 경우 전체적인 wear-leveling 이 중요함으로 큰 값을 줘야 할 것이다.

세가지 정책의 장단점은 다음과 같은 것들이 있다. Greedy 정책은 플래시 메모리에 전체적으로 균등하게 위치 접근을 하는 경우에 잘 동작하지만 특정한 위치에 집중적으로 참조하는 경우에는 낮은 성능을 나타낸다. 한편, Cost-benefit 정책은 지역성이 높은 참조에는 높은 성능을 보이지만 균등적인 접근에 대해서는 Greedy 정책만큼 잘 수행되지 않는다는 단점이 있다. 등급별 지움 정책은 플래시 메모리의 수명이 보다 연장될 수 있지만 상수 A 의 값이 상황에 맞게 결정되어야 한다는 단점이 있다.

3. 효율적인 지움 정책

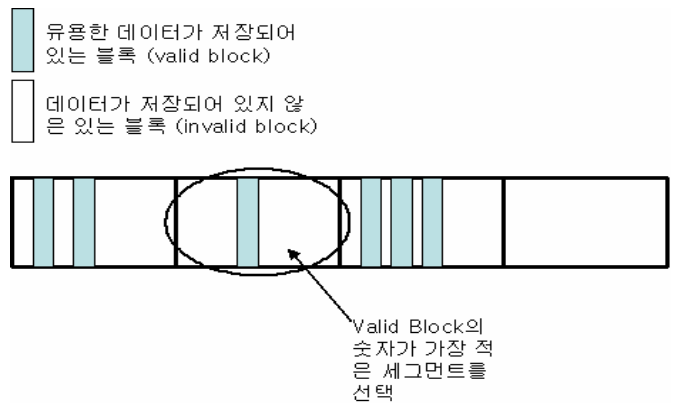
플래시 메모리의 지움 작업을 효율적으로 수행하기 위해서는 지움 비용과 복사될 블록의 양을 최소화시키는 것이 필요하다. 지움 정책의 가장 우선시 되는 목표인 지움 비용[4]을 최소화 시키는 것은 <식 3>에 의해서 계산될 수 있다.

$$C = N \times (EC + MC) \quad \text{<식 3>}$$

N 은 지우는 횟수를 나타내는 것이고 EC (Erasing Cost)는 실제 메모리를 지우는데 걸리는 시간이며 MC (Migration Cost)는 유효 블록을 이동시키는 데 걸리는 시간이다. 즉, EC 는 지워질 세그먼트의 유효 데이터의 양과 관련 없이 일정하지만 MC 는 유효 데이터의 양이 많을수록 값이 커진다. 다음으로는 지움 과정에서 복사될 블록의 수를 최소화시키는 것이 목표가 된다. 유효 블록이 가장 적은 세그먼트를 지우는 Greedy 방법은 이러한 부분을 잘 반영하고 있다.

본 논문에서는 Greedy 정책의 접근 방법에 기초하

여 효율적으로 플래시 메모리 지움 정책을 수행하는 방법을 제시하고자 한다. Greedy 정책은 세그먼트 선택 알고리즘이 간단하고 플래시 메모리에 대한 접근이 균등한 경우 잘 동작한다는 장점이 있지만 메모리 접근이 특정 영역으로 집중될 경우 성능이 저하되는 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 유효 블록이 가장 적은 세그먼트를 선택하는 원칙을 지키면서 세그먼트의 우선순위에 따라서 지움 정책을 수행하는 방법을 고려했다. 다음 식은 세그먼트의 우선 순위를 결정하는 데 영향을 미치는 요인들을 나타내고 있다.



<그림 2> Greedy 정책

$$P = w \frac{age \times i}{NC} \quad \text{<식 4>}$$

Greedy 정책은 지움 작업이 특정 부분에 편중되어 수행될 경우 해당 부분의 지움 횟수가 증가하기 때문에 플래시 메모리의 수명을 오래도록 유지하지 못하게 된다. 따라서 이러한 부분을 해결하기 위해서는 Greedy 정책에 wear-leveling 에 대한 사항을 접목시키는 것이 필요하다. 물론 지워진 세그먼트의 유효 데이터를 메모리 영역에 고르게 재분배하는 방법으로도 구현할 수 있지만 지움 세그먼트를 선택하는 과정에서 이것을 뒷받침해 줄 수 있는 부분이 있다면 더욱 바람직할 것이다. <식 4>에서는 메모리 영역이 현재까지 지워진 횟수, NC 가 많을수록 우선순위가 낮아지는 것을 나타내고 있다. 그리고 i 는 무효화된 데이터의 양을 나타내는 것으로 많은 무효 데이터를 가지고 있는 세그먼트일수록 높은 우선순위를 갖게 됨을 알 수 있다. 이 부분은 Greedy 정책이 그대로 반영된 것이다. 그리고 age 는 가장 최근의 변경 이후 세그먼트가 무효화된 기간을 나타내는 것으로 무효화 기간이 길어질수록 우선순위가 높아지게 된다. 마지막으로 가중치 w 는 데이터 유형에 의해 결정된다. 즉, 세그먼트의 유효 데이터가 Read-only 데이터인지 자주 변경되지 않는 데이터인지 자주 변경되는 데이터인가를 구분하여 가중치를 부여하는 것이다. 지움 과정에서 변경될 수 있는 데이터 유형의 경우 다른 장소로 복사하여 보존시킬 필요가 있다. 따라서 복사할 데이터를 최소화시키는 것이 지움 정책의 목적 가운데 하나라고 생

각할 때 자주 변경되지 않는 유형의 데이터가 높은 우선순위를 가져야 함을 생각해 볼 수 있다.

<식 4>의 계산에 의해 결정된 우선순위를 토대로 Greedy 지움 정책을 수행할 경우 메모리 접근이 특정 영역에 편중되는 경우에도 wear-leveling 을 구현시킬 수 있다는 장점이 있다. 즉, 플래시 메모리의 세그먼트를 고루 사용함으로써 수명을 늘릴 수 있는 것이다. 그리고 Greedy 정책이 그대로 반영되어 있기 때문에 균등한 메모리 접근의 경우에 이 정책이 갖는 이점을 그대로 살릴 수 있다.

4. 결론 및 향후 과제

플래시 메모리는 휴대용 장치에서 디지털 콘텐츠의 저장매체로 확고히 자리매김하고 있다. 이것은 적은 소음, 작은 크기, 저전력 소비, 빠른 읽기 속도, 비휘발성 등과 같은 플래시 메모리의 장점에 비롯된 것이다. 하지만 플래시 메모리가 더욱 안정적이고 신뢰성 있는 저장소가 되기 위해서는 제한된 지움 연산 횟수, 느린 쓰기 속도를 보완시킬 수 있는 방법이 필요하다.

플래시 메모리의 효율적인 지움 정책은 플래시 메모리 파일 시스템의 성능을 향상시키고 플래시 메모리의 전력 소비를 줄이며 메모리의 수명을 늘릴 수 있는 방법이다. 유효 데이터 블록이 가장 적은 세그먼트를 먼저 지우는 Greedy 정책은 메모리 접근이 특정 영역에 집중될 경우 성능이 저하된다는 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 이러한 정책에 무효 블록의 수, 데이터 유형에 따른 가중치와 같은 사항을 통해서 결정된 우선순위를 적용시켜 wear-leveling 이 가능하도록 하였다. 따라서 기존의 Greedy 정책이 갖는 문제점을 해결하고 메모리의 수명을 늘릴 수 있다는 장점을 가지고 있다.

향후 과제로는 우선순위를 통한 Greedy 정책을 플래시 메모리 파일 시스템에 직접 구현해 보고 플래시 메모리의 지움 정책을 통해서 파일 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] 김정기, 박승민, 김채규, “임베디드 플래시 파일 시스템”, 정보처리학회지, pp.43-49.
- [2] 박상호, 안우현, 박대연, 김정기, 박승민, “플래시 메모리를 위한 파일시스템 구현”, 정보과학회 논문지: 컴퓨팅의 실제, Vol.7, No.5, pp.402-415, 2001.
- [3] Atsuo Kawanguchi, Shingo Nishioka, and HiroshiMotoda, “A Flash-Memory Based File System”, Proc. Of USENIX Technical Conference, pp. 155-164, 1995.
- [4] M. L. Chang, Paul C. H. Lee, Ruei-Chuan Chang, “Cleaning Policies in Mobile Computers Using Flash Memory”, Accepted by Journal of System and Software.