

동영상 재생에서 디스크 에너지를 줄이기 위한 플래시 메모리 활용 기법

김재우, 송민석
 인하대학교 컴퓨터정보공학과
 e-mail:sprix@naver.com, mssong@inha.ac.kr

Exploiting Flash Memory for Reducing Disk Energy Consumption in Video Playback.

Jaewoo Kim, Minseok Song
 School of Computer Science and Engineering, Inha University

요 약

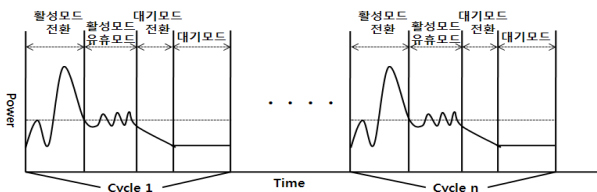
본 논문에서는 하드디스크 탑재 시스템에서의 동영상 재생시 DRAM과 플래시 메모리를 버퍼로 사용하여, 하드디스크를 가능한 오래 저전력 모드로 동작시켜 하드디스크가 소비하는 에너지를 줄일 수 있는 방법에 대해 제안하고 모델링한다. 기존의 시스템에서는 동영상 플레이어의 요청이 있을 때마다 하드디스크에서 데이터를 제공하였기 때문에 하드디스크에서의 에너지 소모가 많았다. 모델링에서 사용한 방법은 동영상 플레이어가 데이터를 요청하기전에 데이터를 DRAM과 플래시 메모리에 선반입하여 하드디스크를 대기모드로 진입시키고, 요청된 데이터를 플래시 메모리에서 처리하는 방법이다. 모델링 결과 제안한 방법은 버퍼를 사용하지 않은 경우와 비교하여 에너지 감소율이 월등한 것으로 나타났다.

1. 서론

최근 동영상 데이터와 같이 크기가 큰 멀티미디어 데이터가 증가함에 따라 이를 저장하기 위한 대용량의 저장매체 역시 요구되고 있다. 이러한 요구에 따라 용량대비가 가격이 저렴한 하드디스크를 사용하는 디바이스들도 증가하고 있는데 이러한 디바이스의 대부분이 배터리를 사용하는 핸드헬드(handheld) 디바이스들인 경우가 많다. 하드디스크가 전체 시스템 에너지의 약 30%를 소모한다는 연구 결과에서 알 수 있듯이 하드디스크의 기계적 요소는 배터리의 수명을 단축시키는 요인으로 작용한다.[1] 따라서 배터리의 수명을 늘이기 위해서는 하드디스크를 효율적으로 제어하여야 한다.

2. 배경지식

일반적으로 디스크는 그림 1과 같이 주기적인 전력 소모를 반복한다. 활성모드로 진입하기 전 디스크가 스핀 업하는 동안에 순간적으로 가장 많은 에너지를 소모한다.



(그림 1) 하드디스크의 모드 전환시 에너지 소모 형태

따라서 하드디스크의 에너지 감소가 실효성을 갖기 위해서는 유희 모드에서의 에너지 소비량보다 대기 모드로 전환하였을 때의 에너지 소비량이 더 적어야 한다. 이것을 손익분기(break-even)라고 하며, 실효성을 갖기 위해 대기모드가 유지되어야 하는 최소한의 시간을 손익분기시간(break-even time)이라고 한다.

기존의 동영상 재생 방식은 요청 받은 데이터를 하드디스크로부터 직접 동영상 플레이어의 버퍼에 채워 넣는 방식이었기 때문에 하드디스크에 대한 데이터의 요청이 수시로 발생하게 되어 하드디스크가 대기 모드로 진입할 수 없었다. 그러므로 하드디스크를 최대한 대기 모드에서 오랫동안 동작하게 하기 위해서는 동영상 플레이어가 요구하는 데이터를 하드디스크가 아닌 다른 저장매체로 선반입(Pre-fetching) 하여야 한다. 이때 대용량의 멀티미디어 데이터를 선반입 하기에는 플래시 메모리가 적합한데 그 이유는 다음과 같다. 플래시 메모리의 경우 읽기와 쓰기 속도가 빠르며, 데이터를 유지하는데 극히 적은 에너지만이 소모된다는 장점과 가격이 저렴한 장점이 있기 때문에 적합하다. 모델링에 사용된 DRAM과 메모리의 특성은 표1과 같다.[2,3]

표1 : DRAM과 플래시 메모리의 특성

	전류(mA)		소모 시간(4KB)		
	유희	활성	읽기	쓰기	지우기
DRAM	60	70	5ns	5ns	·
플래시 메모리	0.05	20	156μs	652μs	2ms

3. 모델링

DRAM 버퍼만을 사용한 모델을 DBM(DRAM Buffer Model), DRAM 버퍼와 플래시 메모리를 혼합하여 사용한 모델을 HBM(Hybrid Buffer Model)으로 표기하도록 한다.

DBM과 HBM의 경우 한 주기를 그림 1에서와 같이 활성 모드로의 전환이 시작되는 순간부터 대기모드가 끝나는 순간까지로 모델링 하였으며, 모델링은 버퍼를 사용하지 않은 경우의 에너지 소모와 DRAM 버퍼만을 사용한 경우, 플래시 메모리와 DRAM을 복합적으로 사용한 하이브리드 형태의 버퍼를 대상으로 하였다. 버퍼를 사용하지 않은 경우를 제외한 나머지 모델링의 경우 각 메모리에 데이터를 선반입하는 방식을 사용하였다.

DBM의 경우 하드디스크에서 DRAM 버퍼로의 데이터 선반입이 종료되는 순간 하드디스크는 바로 대기모드로 진입한다고 가정하였으며, HBM의 경우 하드디스크에서 데이터 선반입을 위해 임시적으로 DRAM 버퍼에 데이터를 저장하고, 이 데이터를 다시 플래시 메모리에 저장하는 것을 가정하였다. 그리고 선반입 과정이 종료되는 순간 대기모드로 진입한다고 가정하였다. 모델링을 위해 사용된 약어는 표2과 같다.

표2 : 모델링에서 사용된 약어

기호	설명
S_D	DRAM 버퍼의 크기
S_F	플래시 메모리의 크기
B_H	디스크 대역폭
P_a	디스크 활성 모드에서 소모되는 전력
P_s	디스크 대기 모드에서 소모되는 전력
P_i	디스크 유휴 모드에서 소모되는 전력
T_r	동영상 재생 시간
T_{su}	디스크 스핀 업 시간
T_{sd}	디스크 스핀 다운 시간
E_{oh}	디스크 스핀 업 및 스핀다운 에너지
R_d	동영상의 재생 비트율
DBM	
E_D	한 주기에서 소모되는 총 에너지
N_D	DRAM 버퍼의 주기 반복 횟수
E_{D_TOTAL}	DRAM 버퍼 모델링의 총 소모 에너지
HBM	
S_F	플래시 메모리 버퍼의 크기
E_{FR}	플래시 메모리에서 최소 단위를 읽는데 소모되는 에너지
E_{FW}	플래시 메모리에서 최소 단위를 쓰는데 소모되는 에너지
T_{FW}	플래시 메모리에서 최소 단위를 쓰는데 소모되는 시간
E_F	플래시 메모리의 주기당 소모 에너지
E_{HDD}	하드디스크의 주기당 소모 에너지
N_H	Hybrid 버퍼의 주기 반복 횟수
E_{H_TOTAL}	Hybrid 버퍼에서 소모한 총 에너지

3.1 DBM

DBM의 한 주기에서 소모되는 에너지 E_D 는 다음과

같이 나타낼 수 있다.

$$E_D = \frac{S_D}{B_H} \times P_a + \left\{ \frac{S_D}{R_d} - \frac{S_D}{B_H} - (T_{su} + T_{sd}) \right\} \times P_s + E_{oh}$$

이때 $\frac{S_D}{B_H} \times P_a$ 는 활성 모드에서의 소모 에너지를 의미하며, $\left\{ \frac{S_D}{R_d} - \frac{S_D}{B_H} - (T_{su} + T_{sd}) \right\} \times P_s$ 는 대기 모드에서의 에너지 소모를 나타낸다.

전체 에너지 소모를 모델링하기 위해 요구되는 주기의 반복횟수는 다음과 같은 수식으로 계산 할 수 있다.

$$N_D = \frac{T_r}{\frac{S_D}{R_d}}$$

따라서 DBM의 하드디스크의 총 에너지 소모는 다음과 같다.

$$E_{D_TOTAL} = E_D \times N_D$$

3.2 HBM

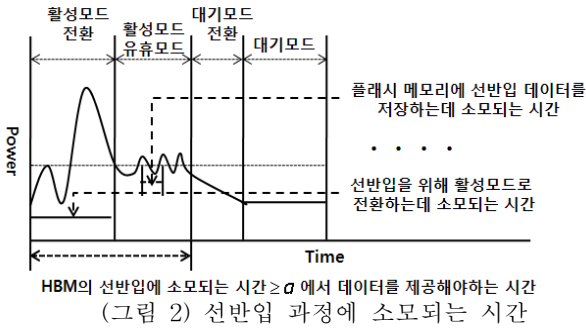
선반입된 데이터가 모두 소진되어 동영상의 재생이 끊기게 되는 현상을 언더런(under-run)이라고 한다. 그리고 이 언더런 현상을 방지하기 위해서는 데이터의 선반입 과정에서 소모되는 시간을 알아야한다. 선반입 과정중 소모되는 시간동안 동영상 플레이어에게 제공할 수 있는 최소한의 데이터를 버퍼에 남겨둔 상태에서 데이터의 선반입 과정이 이루어져야 언더런이 발생하지 않기 때문이다. 선반입 과정중 추가적으로 소모되는 시간은 HBM의 경우 DBM과 달리 플래시 메모리를 추가적으로 사용하기 때문에 플래시 메모리로 데이터를 선반입하여 저장하는데 소모되는 시간, 선반입을 위해 하드디스크가 대기모드에서 활성모드로 진입하는데 소모되는 시간을 의미한다. 이때 그림 2와 같이 추가적인 시간을 소모하는 HBM의 선반입 과정중 언더런을 방지하기 위해 지속적으로 동영상 플레이어에게 제공해야하는 데이터의 양을 α 라고 한다면, α 를 구하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$\frac{\alpha}{R_d} \geq \left\{ \frac{S_D - \alpha}{B_H} + (S_D - \alpha) \times T_{FW} \right\} \times \left\lfloor \frac{S_F}{S_D - \alpha} \right\rfloor + \left\{ S_F - (S_D - \alpha) \times \left\lfloor \frac{S_F}{S_D - \alpha} \right\rfloor \right\} \times T_{FW} + T_{su}$$

그리고 이 α 의 공간을 DRAM 버퍼에 할당하였기 때문에 선반입 과정중 DRAM 버퍼에서 플래시 메모리로 선반입하는 데이터의 양은 $S_D - \alpha$ 가 된다. 따라서 플래시 메모리의 크기가 DRAM 버퍼의 정수배 만큼의 크기라고 가정할 때 플래시 메모리의 남은 버퍼공간을 채워줄 추가적인 연산인 $\left\{ S_F - (S_D - \alpha) \times \left\lfloor \frac{S_F}{S_D - \alpha} \right\rfloor \right\} \times T_{FW}$ 이 필요하게 된다.

결국 α 는 선반입의 모든 과정이 종료될 때까지 동영상 플레이어가 소모하는 데이터의 양보다 크거나 같아야 한다. 플래시 메모리로의 선반입 과정이 끝나게 되면 버퍼를 최

대한 사용하기 위해서 α 를 포함하는 DRAM 버퍼에도 데이터를 선반입하여야 하는데 DRAM 버퍼로의 선반입 시점은 플래시 메모리가 동영상 플레이어에게 데이터를 제공하는 시점이다. 이 시점에 DRAM 버퍼의 전체 크기인 S_D 만큼을 선반입하고 하드디스크는 대기모드로 진입하게 된다. 그렇기 때문에 α 는 디스크의 스핀업 시간만을 고려하여 모델링 하였다.



한 주기에서 플래시 메모리가 소모하는 에너지 E_F 는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$E_F = S_F \times E_{FR} + S_F \times E_{FW}$$

그리고 한 주기에서 하드디스크가 소모하는 에너지 E_{HDD} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{HDD} = \left(\frac{S_F + S_d}{B_H}\right) \times P_a + (S_F \times T_{FW}) \times P_i + \left(\frac{S_F + S_D}{R_d} - \frac{S_D}{B_H} - T_{sd}\right) \times P_s + E_{oh}$$

또한 주기의 반복 횟수는 다음과 같이 모델링 되어진다.

$$N_H = \frac{T_r}{\frac{S_D + S_F}{R_d}}$$

따라서 전체 소모 에너지 E_{H_TOTAL} 은 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

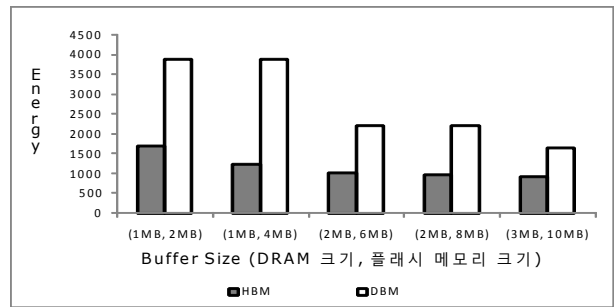
$$E_{H_TOTAL} = (E_F + E_{HDD}) \times N_H$$

4. 모델링 결과

모델링에는 표3과 같이 Fujitsu MHV2060BH 하드디스크의 실제 사양을 적용하였다.[4]

표3 : 모델링에 사용된 하드디스크의 사양

값	설명
2 (sec)	스핀 업 동작에 소모되는 시간
1.5 (sec)	스핀 다운 동작에 소모되는 시간
5.85 (J)	스핀 업 동작에 소모되는 에너지
2.08 (J)	스핀 다운 동작에 소모되는 에너지
1.9 (W)	활성 모드에서 소모되는 전력
0.6 (W)	유휴 모드에서 소모되는 전력
0.13 (W)	대기 모드에서 소모되는 전력



(그림 3) HBM과 DBM의 에너지 소모

그림 3은 HBM과 DBM의 에너지 소모를 나타낸다.

버퍼를 13MB를 사용한 HBM의 경우 버퍼를 사용하지 않았을 때보다 최대 650%가량 에너지 소모가 감소하는 것을 알 수 있었으며, 손익분기시간을 지키지 못하는 경우에는 에너지 소모가 오히려 버퍼를 사용하지 않았을 때의 에너지 소모보다 많은 것을 알 수 있었다.

모델링은 DBM의 경우 플래시 메모리를 사용하지 않았으며, HBM의 모델링 결과는 DBM을 사용한 경우의 버퍼 크기에 추가적인 플래시 메모리 버퍼를 사용하였을 경우를 모델링하였다. 그래프에서의 DRAM 크기는 DBM에서의 버퍼크기를 의미하며, 플래시 메모리 크기는 추가적으로 사용된 플래시 메모리의 크기를 의미한다.

5. 결론

본 논문에서는 실험 결과가 보여주는 것처럼 하드디스크가 탑재된 디바이스들에서의 동영상 재생은 버퍼의 유무와 버퍼의 크기, 그리고 효과적인 하드디스크의 제어가 전력 소모에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 또한 손익분기시간을 만족시켜 주지 못하는 경우에는 하드디스크가 대기 모드에서 동작하지 않는 것이 더 효율적이라는 것을 확인하였다.

6. 참조문헌

- [1] Lorch, J., & Smith, Software strategies for portable computer energy management. IEEE Personal Communicatios, 5(3), 60-73, 1998.
- [2] Samsung Electronics. NAND flash memory & SmartMedia data book. 2002.
- [3] Micron Technology. Janzen, J. W.TN-46-03 Calculating memory system power for DDR. 2003
- [4] Fujitsu, MHV2060BH, Hard Disk Drive, http://192.128.183.41/HOME/v3_product.asp?pid=474&inf=fsp&wg=15