

멀티미디어 응용에서 Prefetching을 활용한 디스크 전력관리

임종호^o 차호정
 연세대학교 컴퓨터과학과
 {dawnbell^o, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

Disk Power Management Using Prefetching in Multimedia Applications

Jongho Rim^o, Hojung Cha
 Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

모바일 기기의 성능 향상과 콘텐츠의 고품질화로 인하여 배터리 기반의 대용량 디스크 저장장치를 사용하는 모바일 임베디드 기기의 전력관리 기법이 중요한 문제가 되었다. 디스크 전력관리에 있어 prefetching을 사용하는 전력관리는 매우 유용한 방법이다. 본 논문에서는 디스크 드라이브의 전력관리를 위하여 멀티미디어 환경에서 최적의 Linux Kernel Prefetching 값을 제시한다. 이를 위하여 Prefetching이 인터랙티브 응용보다 멀티미디어 응용에서 효과적임을 보인다. 그리고 disk power state의 특성을 고려하여 모델링을 통하여 prefetching의 효용성을 평가하고 최적의 prefetching값을 제시하며 실험을 통하여 이를 증명한다.

1. 서론

최근 모바일 기기의 성능 증가와 제공되는 콘텐츠의 고품질화에 따라 모바일 기기의 유저가 증가하고 있다. PDA, Smart Phone, PMP(Portable Multimedia Player) 등의 모바일 기기를 기반으로 하여 2D, 3D게임, 모바일 인터넷, 멀티미디어 재생 등과 같은 높은 수준의 다양한 서비스가 제공되고 있으며 이에 따라 대용량의 정보 저장 공간으로 HDD를 탑재하거나 사용할 수 있는 모바일 기기가 증가하고 있다. 그러나 디스크 장치는 모바일 기기를(특히 Lap-top) 구성하는 주변장치 중 10%~30% 정도의 전력자원을 차지한다[1]. 그러므로 디스크 드라이브를 사용하는 고성능 모바일 기기의 활용성을 높이기 위해서는 제한된 전력자원을 효율적으로 이용할 수 있는 전력관리 기법 개발이 필수적이다.

디스크 전력관리는 디스크가 사용하지 않는 기간 동안 디스크의 회전모터를 정지시켜 프로세스의 성능에 최소한의 영향을 주면서 디스크가 소모하는 전력을 최소화하는 방법을 기본으로 한다. 이것은 디스크 드라이브가 Active, Idle, Standby, Sleep 4 단계의 전력소모 단계를 가지고 있는 특성을 활용한다[2]. 이에 대해 기존 HDD에 대한 전력관리는 다음과 같다.

디스크의 사용이 없으면 디스크는 Idle 상태로 전환되고 일정 시간이 지나면 Standby 상태로 전환된다. 이러한 디스크의 특성을 이용하여 디스크가 사용되지 않는 기간 동안 디스크를 Standby상태로 전환하여 전력소모를 줄인다. 이 방법은 predictive와 stochastic 방법으로 구분된다. Predictive 방법은 과거 I/O 패턴을 분석하여 미래의 I/O 작업을 예측하고 디스크 전력 상태를 전환한다 [3, 4]. Stochastic 방법은 Stochastic 모델을 디스크에 적용하여 최적의 값을 도출한다[5, 6]. 그러나 이러한 방법은 burst I/O에 대한 고려가 없고 예측이 쉽지 않으며 예측이 틀렸을 경우 디스크 성능 저하와 디스크 상태 전환에 따른 추가적인 전력소모가 있다는 단점이 존재한다.

디스크 드라이브의 회전속도를 감소시켜 전력소모를 낮추는 기법도 연구되었다[7]. 이 기법은 Dynamic Rotation Per Minute (DRPM) 기법으로 디스크 드라이브의 회전 속도 변경을 통하여 응용이 요구하는 주기에 맞추어 데이터를 전송한다. 디스크의 회전 속도가 낮아지면 최고 속도로 회전할 때보다 전력소모가 낮아지며 이 때문에 전력감소가 가능하다. 그러나 burst I/O의

경우 많은 데이터를 최대한 빨리 전송하고 다음 I/O요청까지 디스크를 standby 상태로 전환하는 것이 더 효과적일 수 있다.

마지막으로 디스크 데이터의 Prefetching를 통하여 디스크 Burstness를 증가시키는 방법이다[8]. 디스크 burstness증가는 한번에 많은 데이터를 메모리에 복사하여 디스크의 접근 회수를 감소시킨다. 이로 인하여 디스크의 Idle 시간이 증가한다. 이러한 특징을 이용하여 Idle 상태에서 디스크를 Standby상태로 전환시켜 전력사용을 감소시키는 방식이다. Burst I/O를 통한 디스크 전력관리는 적극적으로 idle 시간을 확보하는 방법이다. 그러나 디스크 burst I/O는 Multimedia와 같은 주기적으로 다량의 데이터를 필요로 하는 응용에는 효과가 있으나 인터랙티브 특성을 갖는 응용이나 read, write 빈도가 많은 응용에 대해서는 효과가 거의 없다.

본 논문에서는 멀티미디어 환경에서 Disk Burstness를 증가시켜 디스크 드라이브에 대한 전력관리를 수행함에 있어 최적의 kernel prefetching size를 제시한다. 일반적으로 prefetching이 클수록 디스크의 전력감소 효과가 커진다고 생각 할 수 있으나 일정한 크기 이상의 prefetching 는 추가적인 전력감소 효과를 거의 얻지 못하며 지나친 메모리 사용으로 인하여 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다.

2. Motivation

디스크 prefetching방식을 사용함에 있어 모바일 임베디드 기기가 갖는 특성이 고려되어야 한다. 모바일 임베디드 기기는 메모리의 용량이 제한되어 있으므로 prefetching의 크기를 무한하게 할 수 없다. 따라서 사용되는 응용에 따라서 최적의 prefetching 크기를 결정하는 것은 효율적인 디스크 전력관리와 시스템의 성능 향상을 위하여 반드시 필요한 연구이다.

리눅스 커널은 디스크에 대한 read 요청에 대하여 read ahead page를 사용하여 prefetching을 수행한다. 리눅스 커널이 read 요청을 받을 경우 이에 해당하는 시스템 콜이 사용 되어지며 이때 read ahead 기능을 갖는 page_cache_readahead() 함수가 동작하게 된다. page_cache_readahead() 함수는 커널이 기본적으로 지정한 크기인 128KB (32 pages, page size 4KB) 의 데이터를 메모리에 복사하여 저장한다. 저장된 데이터는 buffer page로 취급되며 커널이 응용을 수행함에 있어 다음 read 요청 시 buffer

page에 저장된 데이터에 대하여 우선 검색을 수행하고 없을 경우 디스크에 직접 접근하여 데이터를 복사한다. 이러한 방식은 디스크의 접근 회수를 감소시키며 접근 지연 시간이 큰 블록 단위의 접근 회수를 감소시킴으로써 시스템의 성능향상에 기여한다. 또한 많은 양의 데이터를 메모리에 복사함으로써 디스크의 접근 회수를 줄이고 일정 기간 Idle 시간을 보장하므로 이를 활용하여 디스크의 전력관리를 수행할 수 있는 근거가 된다. 그러나 고품질의 멀티미디어 파일을 재생하는 응용의 경우 prefetching 된 데이터를 소모하는 시간이 짧기 때문에 디스크의 전력관리에 한계가 있다.

전하고 있기 때문에 Standby State에 비하여 많은 전력을 소비한다. 디스크는 Active State에서 I/O request가 종료되면 즉각적으로 Idle State로 전환되고 약 5초 정도 시간이 지나서 Standby State로 전환된다. 그러나 Standby State에서도 작지만 지속적으로 전력을 소비한다. 때문에 prefetching 크기가 선형적으로 증가하더라도 디스크의 전력소모는 비선형적으로 감소한다.

$$E_t = \frac{(\alpha P_a + \epsilon P_i + \beta P_s)k}{T} \quad (1)$$

식 (1)은 일정 주기 T에서 HDD가 소모하는 전력을 나타낸다. E_t 는 HDD의 1초에 소모하는 전력량이고 P_a 는 active, P_i 는 idle 상태의 소모 전력이다. P_s 는 standby 상태의 소모전력을 나타낸다. α 와 β 는 각 상태에 머무는 시간이다. ϵ 는 디스크가 idle 상태에 머물러있는 시간이다. k 는 주기 T동안 상태전환이 반복되는 회수이다. 식 (1)은 HDD 전력소모에 대한 자세한 모델은 될 수 없지만 prefetching크기에 대한 전력감소가 비선형적이라는 것을 보여주기에는 부족함이 없다. 식 (1)을 사용하여 HDD의 전력사용 및 prefetching에 대한 전력감소를 계산하였다. 시뮬레이션을 위하여 각 상태의 전력소모는 Hitachi 2GB Microdrive specification을 참고하였다. 표 1은 HDD의 전력소모에 대한 자료이다.

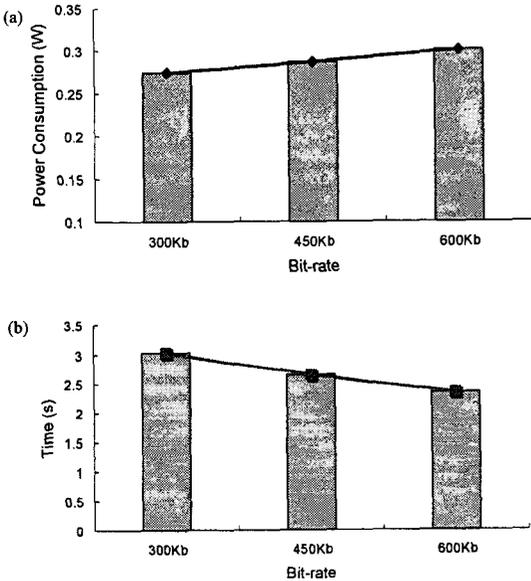


그림 1. Bit-rate에 대한 디스크 전력소모(a)와 평균 Idle Time(b)

그림 1에서 볼 수 있듯이 Bit-Rate가 높을수록 디스크의 Idle 시간이 짧아진다. Idle 시간이 짧기 때문에 디스크는 더 많이 동작해야 하며 이로 인하여 더 많은 전력을 소모하게 된다. 그러므로 멀티미디어 응용의 경우 prefetching 크기를 증가시켜 idle period를 가능한 길게 만드는 것이 HDD의 전력감소에 효과가 있다. Idle period가 증가하면 disk는 더 오랜 시간 동안 idle state, standby state에 머물 수 있기 때문에 전력소모가 줄어든다. 그러나 멀티미디어 응용에서는 prefetching의 크기가 커짐에 따라 디스크의 전력감소 효과가 증가하지만 그 한계가 존재한다. 때문에 메모리 효율을 높이고 시스템의 성능을 최대한으로 발휘하기 위해서는 멀티미디어 응용에 대해서 적절한 크기의 prefetching 정책을 적용하여야 한다.

3. 멀티미디어 응용에서의 최적 Prefetching

일반적으로 prefetching 크기가 커지면 디스크로부터 한번에 읽어오는 데이터의 크기가 증가함에 따라 디스크 접근 회수가 감소한다. 이 때문에 디스크 전력소비량 역시 감소한다. 그러나 prefetching 크기 증가에 대하여 디스크의 전력소비 정도가 선형적으로 감소하지는 않는다. 이것은 디스크의 Power State에 따른 전력소모에 관계가 있다. 일반적으로 HDD는 Active State에서 가장 많은 전력을 소비하고 Standby State에서 가장 적은 전력을 소비한다. 그 중간단계인 Idle State는 디스크가 여전히 회

HDD 동작모드	전류
Read/Write	303mA
Performance idle average	225mA
Active idle average	70mA
Low power idle average	67mA
Standby	16mA

표 1. Hitachi Microdrive의 동작모드에 따른 소모전류

Hitachi Microdrive는 Read/Write 작업이 종료되면 즉각적으로 performance idle 상태로 전환된다. Performance idle 상태는 디스크가 I/O요청에 대하여 즉각적으로 반응할 수 있는 상태이다. Active idle 상태와 Low Power Idle 상태는 전력소모차가 크지 않으나 Active idle 상태에서 디스크의 응답이 더 빠르다. Standby 상태는 디스크의 회전이 정지되어 가장 적은 전력을 소모한다. 계산의 간편화를 위하여 α 는 0.5초로 고정하였다. 그림 2는 시뮬레이션의 결과를 보여준다.

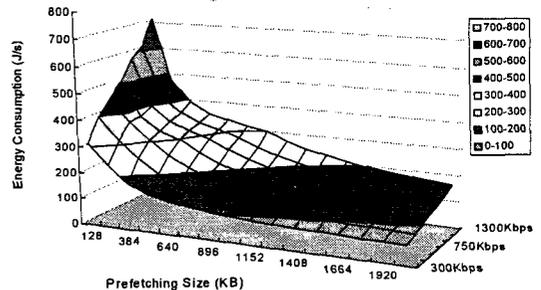


그림 2 prefetching에 따른 HDD 전력소모 시뮬레이션

그림 2에서 prefetching 크기에 따른 HDD의 전력소모가 비선형적임을 보여준다. 이 결과를 활용하여 128KB에서 2048KB까

지 128KB 단위로 prefetching 크기를 변경시킨다고 하였을 경우 각 단계에서 이전 단계의 전력소모에 대한 상대적 감소비율을 계산하였다. 계산결과를 근거로본 논문에서는 1536KB의 prefetching 크기가 멀티미디어 응용에 대한 최적의 prefetching 값으로 결정하였다. 1536KB 이상의 prefetching 크기를 설정할 경우 모든 Bit-rate의 파일에 대하여 전력감소의 상대비율이 5% 미만으로 낮아지고 이전 단계의 전력소모 정도와 큰 차이가 나지 않았다.

4. 실험

이 장에서는 멀티미디어 응용에서 Optimal prefetching 에 대한 실제 실험을 통하여 시뮬레이션에서 도출한 결과의 근거를 보인다. 디스크에 대한 간단한 모델링은 1536KB의 prefetching 이 멀티미디어 응용에 대하여 최적의 값을 보였다. 이 값을 확인하기 위하여 진행한 실험은 Intel PXA270 개발보드 MainstoneII와 Hitachi 2GB Microdrive를 사용하였다. 사용한 Linux kernel은 version 2.6.9다. Linux kernel 2.6.9에서 prefetching 크기는 VM_READAHEAD_MAX, VM_READAHEAD_MIN 의 값을 변경함으로써 구현할 수 있다. 각각의 prefetching을 위하여 max와 min의 값을 동일하게 설정하였다. 설정한 값은 기본 값과 512KB, 1024KB, 1536KB, 그리고 2048KB이다. Prefetching 크기에 따른 idle interval을 측정하기 위하여 fs/buffer.c 파일의 block_read_full_page(), block_write_full_page()를 수정하여 I/O가 일어날때의 시간을 기록하였다. HDD에 대한 전력측정을 위하여 Agilent 34970a를 사용하였다. 멀티미디어 파일로 300KB, 450KB, 600KB의 Bit-rate으로 제작된 MPEG-1파일을 사용하였다. 그림 3, 4는 prefetching크기에 대한 디스크의 전력소모 정도와 idle time을 보여준다.

멀티미디어 clip에 대하여 idle time을 측정 한 것이다. 1536KB prefetching과 2048KB prefetching을 하였을 때 idle time이 거의 차이가 없음을 보여준다. 이 결과는 시뮬레이션과 동일한 결과로서 prefetching크기에 따른 디스크의 전력소모 감소 효과에 한계가 있음을 증명한다. 시뮬레이션과 실제 실험에서 디스크의 전력소모양이 다른 것은 몇 가지 원인이 있다. 우선 실제 디스크에서는 고정된 α 값을 적용할 수 없다. 데이터가 존재하는 섹터가 연속적이지 않을 수 있기 때문에 실제 디스크에서는 average seek time이 적용된다. 또한 디스크 모델링에서 인자를 단순화하기 위해 설정한 P_0 값 역시 실제 디스크에서는 Read/Write State와 Active Idle State로 구분되어 적용된다. β 값에 영향을 받는 k 값도 모델링에서처럼 정확한 수치를 갖기는 어렵다. 그러나 이러한 모델링의 단순화에도 prefetching을 통한 디스크 전력관리의 한계영역을 분석하기에는 모자람이 없으며 이는 위 실험을 통해 증명된다.

5. 결론

모바일 임베디드 기기는 데스크탑이나 다른 기기에 비하여 메모리의 제약이 크며 한정된 전력자원으로 구동되는 특징이 있다. 이러한 이유로 상당히 많은 전력을 소모하는 디스크에 대한 전력관리는 반드시 필요한 부분이다. 본 논문에서는 멀티미디어 응용과 인터랙티브 응용을 구분하여 prefetching을 통한 디스크 전력관리가 멀티미디어 응용에서만 효과가 있음을 보였다. 멀티미디어 응용의 경우 prefetching크기에 따라 디스크의 전력소모가 달라지는 것을 볼 수 있으나 인터랙티브 응용의 경우 거의 변화가 없다는 것을 보였다. 또한 prefetching을 통한 전력관리에 있어 효율적인 prefetching 값이 존재한다는 것을 간단한 디스크 모델링과 실험을 통하여 증명하였다. 이는 디스크의 전력소모 특성에 기인한 것으로 최소 전력을 소모하는 standby 상태에서도 지속적으로 전력소모가 이루어진다는 것이 가장 큰 원인이다. 모델링을 통한 시뮬레이션과 실험을 통하여 멀티미디어 응용에 대한 최적의 prefetching크기가 존재함을 보였다. 향후 본 논문의 결과를 바탕으로 향후 멀티미디어와 인터랙티브 응용을 동시에 고려하는 디스크 전력관리 기법에 대한 연구를 진행할 것이다.

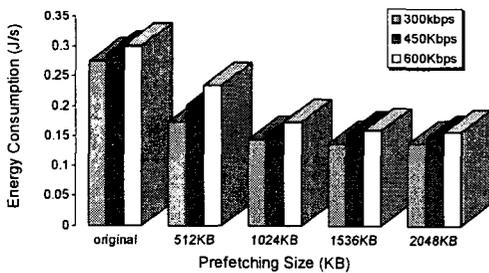


그림 3 Prefetching 크기에 따른 디스크의 전력소비량

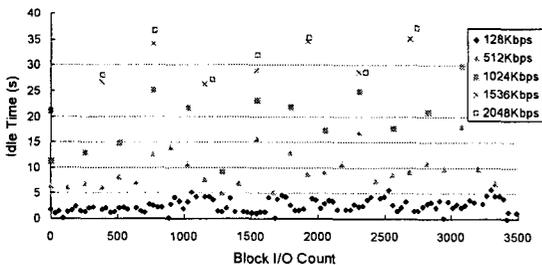


그림 4 600KB MPEG-1에 대한 prefetching 크기에 따른 idle interval

그림 3에서 볼 수 있듯이 300~600KB의 Bit-rate의 MPEG-1 파일에서 prefetching의 크기가 1536KB 이상일 경우 디스크의 전력감소 효과가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 그림 4는 600KB

참고문헌

- [1] F. Douglis, P. Krishnan, and B. Marsh. Thwarting the power-hungry disk. In USENIX Win-ter, pages 292-306, 1994.
- [2] Advanced Configuration and Power Interface Specification (ACPI), July 2000, Compaq Computer Corporation, Intel Corporation, Microsoft Corporation, Phoenix Technologies Ltd., Toshiba Corporation.
- [3] F. Douglis, P. Krishnan, and B. Bershada. Adaptive disk spin-down policies for mobile com-puters. In Proc. 2nd USENIX Symp. on Mobile and Location-Independent Computing, 1995.
- [4] K. Li, R. Kumpf, P. Horton, and T. E. Anderson. A quantitative analysis of disk drive power management in portable computers. In USENIX Winter, pages 279-291, 1994.
- [5] E.-Y. Chung, L. Benini, A. Bogliolo, and G. D. Micheli. Dynamic power management for non-stationary service requests. In Design Automation and Test in Europe, 1999
- [6] G. A. Paleologo, L. Benini, A. Bogliolo, and G. D. Micheli. Policy optimization for dynamic power management. In Design Automation Conference, pages 182-187, 1998.
- [7] S. Gurumurthi, A. Sivasubramaniam, M. Kandemir, and H. Franke. DRPM: Dynamic speed control for power management in server class disks. In ISCA, pages 169-179, June 2003.
- [8] A. E. Papathanasiou and M. L. Scott. Increasing disk burstiness for energy efficiency. Technical Report 792, University of Rochester, November 2002.