

# 모바일 장치에서 기계 학습 기법을 이용한 동적 전력 관리

사육환<sup>o</sup> 이금석

동국대학교 컴퓨터공학과

{thanks<sup>o</sup>, kslee}@dongguk.edu

## Dynamic Power Management using Machine Learning Technique in Mobile Devices

Wookhwan Sa<sup>o</sup> Keumsuk Lee

Dept. of Computer Science, Dongguk University

### 요 약

배터리를 이용하는 모바일 장비에서 전력 소비를 줄이기 위한 많은 연구들이 있다. 그 중에 동적 전력 관리(Dynamic Power Management)는 시스템의 각 컴포넌트의 상태를 쉽게 관찰할 수 있다는 측면에서 운영체제에서 접근하기 적합한 전력 관리 방법이다.

본 논문에서는 대표적인 모바일 장비인 노트북에서 하드 디스크의 전력소비를 줄이기 위하여 기계 학습 기반의 동적 전력 관리 방법을 제안한다. 하드 디스크 접근 패턴을 분석하여 Artificial Neural Network(ANN) 기법으로 모형을 만들고 이 모형을 바탕으로 하드 디스크의 다음 유휴기간을 예측하였다. 예측된 유휴기간 동안 하드 디스크로의 공급 전력을 감소시키지 않았을 경우에 소비하는 비용이, 전력을 줄였다 다시 늘이는 비용보다 크다면 하드 디스크로 공급되는 전력을 줄임으로써 유휴기간 동안 낭비되는 배터리 전력을 줄일 수 있었다. 본 연구에서 생성된 모형을 하드 디스크 디바이스 드라이버에 적용하면 기존의 시간 경계 값을 이용한 방법에 비해 약 23.05W의 전력 소비 감소를 기대할 수 있다.

### 1. 서 론

한정된 전력 자원을 가지고 있는 노트북 컴퓨터와 PDA 등 모바일 장비의 사용이 증가하면서 배터리 지속시간을 연장하는 문제의 중요성이 날로 커지고 있다. 그러나 하드웨어의 발전 속도를 고려해 봤을 때 배터리는 CPU와 메모리의 향상에 비해 상대적으로 느린 모습을 보이고 있어 소프트웨어적으로 전력 소비를 줄이기 위한 방법이 요구되고 있다. 특히 [1]은 노트북 컴퓨터에서 하드 디스크가 전체 전력 소비의 약 18%를 차지한다고 말하고 있어 하드 디스크의 전력 소비를 줄이기 위한 소프트웨어적인 연구가 필요하다.

본 논문은 하드 디스크의 전력 소비를 줄이기 위하여 하드 디스크 접근 요청이 없는 유휴기간(idle period)을 예측하고 이 기간 동안 하드 디스크로의 전력 공급을 줄이는 기계 학습(Machine Learning) 기반의 동적 전력 관리(Dynamic Power Management) 기법을 제안한다. 하드 디스크의 다음 유휴기간을 예측하기 위해 기계 학습 기법 중 예측 정확도가 높다고 알려진 Artificial Neural Network(ANN)를 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 동적 전력 관리의 개념과 종류 및 장단점에 대해 알아보고, 3장에서는 예측 모형 생성 방법과 하드 디스크 드라이버에 적용할 알고리즘을 설명하고, 4장에서는 성능평가를 보인다. 끝으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 논한다.

### 2. 관련 연구

동적 전력 관리란 유휴상태(idle state)의 컴포넌트를 선택적으로 저 전력 상태로 변경시킴으로써 에너지 낭비를 줄이는 것을 말한다[2]. 동적 전력 관리의 분류는 크게 예측적인 방법(Predictive method)과 확률적인 방법(Stochastic control method) 2가지로 나눌 수 있다[3].

첫 번째 예측적인 방법은 특정 시간동안 유휴상태를 유지하면 컴포넌트의 전력 공급을 줄이는 시간 경계 값(time-out) 기반의 방법과[4] 과거 상태변화를 바탕으로 다음 유휴기간을 예측하는 예측적인 방법으로 다시 나눌 수 있다[5][6]. 시간 경계 값은 현재 대부분 상용 시스템에서 사용하는 방법으로 미리 정의된 시간 경계 값을 수정할 수 없으며, 이 시간동안 전력 낭비를 막을 수 없다는 단점이 있다. [4]는 시간 경계 값을 동적으로 선택하는 방법을 제안했지만 마찬가지로 시간 경계 값 내의 전력 낭비는 불가피하다. 예측적인 방법을 사용한 [5]는 유휴기간을 예측하기 위해서 회기분석기법을 사용하였고, [6]은 회기분석기법에 예측 실패 보정 기법과 미리 깨어나기 기능을 추가하였다.

두 번째 확률적인 방법은 마르코프 프로세스(Markov Process)를 기반으로 하여 시스템에 적용할 확률적 모형을 만들고 이를 바탕으로 전력 소비를 최소화 하는 정책을 찾는 방법이다[1][2]. 여기에 사용되는 기법으로 [1]은 정적인 환경에서 마르코프 프로세스의 정책을 최적화하는 방법을 제시하였고, [2]는 이벤트 기반의 시간-색인된 반-마르코프 결정 프로세스(Time-Indexed Semi-Markov Decision Process) 모형

을 제안했다.

동적 전력 관리에 있어서 예측적인 방법은 선형적인 (heuristic) 특성을 가지고 있어 항상 최적의 결과를 보장하지 못한다는 것이 단점으로 지적되고 있으며 예측 정확도가 관건이다. 예측 실패는 두 가지로 나눌 수 있다. 초과 예측(over prediction)은 실제의 유희기간보다 더 길게 예측한 것으로 전력 소비는 줄어들지만 성능은 떨어지며, 미만 예측(under prediction)은 실제 유희기간보다 더 짧게 예측한 것으로 성능에는 영향이 없지만 전력 낭비를 가져온다. 최근에는 최적의 결과를 보장하는 확률적인 방법을 주로 사용하지만 전체 시스템의 전력 소비를 줄이기에 적당하며, 하드 디스크의 집중적 (bursty)인 특성을 고려하지 못한다는 단점이 있다.

### 3. 실험 분석

하드 디스크의 다음 유희기간을 정확하게 예측할 수 있다면 유희기간이 충분히 클 경우에만 선택적으로 전력 공급을 줄임으로써 전력 낭비를 막을 수 있다. 이 장에서는 본 논문에서 제안하는 유희기간 예측 모형 생성 방법과 하드 디스크 전력 소비를 줄이기 위한 제안 알고리즘을 설명한다.

#### 3.1 유희기간 예측 모형 생성

다음 유희기간을 예측하기 위하여 하드 디스크의 접근 패턴을 구했다. 하드 디스크 접근 패턴을 구하기 위해 사용된 프로그램은 *dsta*라는 공개 소프트웨어로서 시스템의 각종 상태를 알려준다. 노트북 컴퓨터에 설치한 리눅스 커널 2.6.5에서 1시간 동안의 4개의 응용프로그램을 실행하면서 3,770건의 데이터를 수집했다. 사용된 응용프로그램은 하드 디스크 접근 요구가 많고 적음에 따라 두 종류로 구분했다. 인터넷 검색과 채팅은 하드 디스크 접근 요구가 적은 응용프로그램이며, 하드 디스크 접근 요구가 많은 프로그램으로는 동영상 재생과 문서작성 작업을 수행했다.

모형 생성을 위해 수집한 데이터는 하드 디스크 접근에 많은 영향을 끼치는 요소들로 각 항목은 표 1과 같다. 이 중 시스템 관련 항목과 메모리 사용량, 디스크 입출력은 데이터의 단위가 커서 예측 모형 생성에 부적합한 영향을 줄 수 있으므로 자연 로그를 취하여 다른 데이터들과 비슷한 범위의 수치를 유지하도록 조정하였다.

추출한 데이터의 70%는 모형을 생성하기 위한 트레이닝 데이터 셋(training data set)으로 사용하였으며, 나머지 30%는 모형을 검증하는 테스트 데이터 셋(test data set)으로 사용하였다. ANN에서 히든 레이어(hidden layer)의 수를 달리해가며 정확성이 높은 경우를 찾았다. 모형을 생성한 결과 평균 제곱 오차(Mean Squared Error, MSE)가 0.0775458 이었다.

표 1. 예측 모형 생성에 사용된 항목

System	int	시스템 인터럽트의 수
	csw	문맥 교환의 수
Total CPU usage (%)	usr	사용자 프로세스의 비율
	sys	시스템 프로세스의 비율
	idle	유희상태의 비율
	wait	대기 상태의 비율
	hiq	하드웨어 인터럽트 비율
	siq	소프트웨어 인터럽트 비율
Process	run	실행중인 프로세스의 수
	blk	블록된 프로세스의 수
Memory usage (byte)	used	사용 중인 메모리의 양
	buff	버퍼로 사용 중인 메모리의 양
	cache	캐쉬로 사용 중인 메모리의 양
Load avg.	free	사용하지 않는 메모리의 양
	1m	1분 동안의 평균 부하
	5m	5분 동안의 평균 부하
Disk I/O (byte)	15m	15분 동안의 평균 부하
	read	하드 디스크 읽기 양
	write	하드 디스크 쓰기 양
	idle	예상되는 유희기간

#### 3.2 제안 알고리즘

하드 디스크의 상태에는 읽기/쓰기/탐색 외에 유희상태가 있으며 시간 경계 값 방법의 경우에 이 유희상태가 한계치 이상으로 길면 저 전력 상태로 전환한다. 저 전력 상태에서 읽기/쓰기 요청이 들어오면 이 요청을 서비스 할 수 있을 정도로 회전 속도를 높여야 한다. 이때를 복구상태라 한다. 하드 디스크의 상태에 따른 전력 공급 변화는 시간 경계 값 방법과 예측적인 방법에 따라 그림 1과 같이 만들 수 있다.

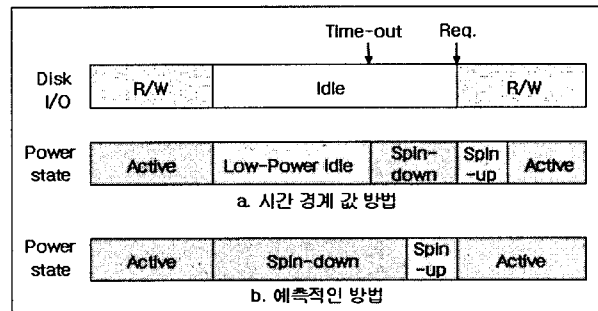


그림 1. 하드 디스크 전력 상태 변화

그림 1의 (a)는 시간 경계 값 방법을 적용한 모습이다. 시간 경계 값 방법은 유희기간이 시간 경계 값 보다 크면 저 전력 상태로 전환하는데, 다음 읽기/쓰기 요청이 들어오면 비로소 전력 공급을 늘려 회전 속도를 높인다. 그림 1의 (b)는 다음 유희기간을 예측하여 읽기/쓰기 연산 후에 하드 디스크의 전력

상태를 대기상태로 전환하며, 예측된 유휴시간에서 서비스 가능한 상태로 복구하는데 걸리는 시간을 뺀 만큼 대기상태를 유지할 수 있다. 특정 시간 이후에는 미리 깨어나 유휴상태를 유지하고 있어야 읽기/쓰기가 지연되는 것을 막는다.

이에 제안 알고리즘에 대한 의사 코드는 그림 2와 같으며, 알고리즘에서 사용된 기호는 다음과 같다. I는 예측된 다음 유휴기간,  $T_R$ 은 복구시간,  $P_S$ 는 준비상태에서의 디스크 소비 전력, 그리고  $P_I$ 는 유휴상태에서의 디스크 소비전력을 의미한다.

```

모형을 통한 I 예측.

if  $(I \cdot P_I > (I - T_R) \cdot P_S + T_R \cdot P_I)$  then
    유휴상태로 전환.
     $(I - T_R)$  시간 후에 대기상태로 전환.
else
    대기상태 유지.
fi
    
```

그림 2. 제안 알고리즘

저 전력 상태로의 전환 여부는 유휴상태에서의 소비 전력이 대기상태의 소비 전력보다 다시 유휴상태로 전환하는데 드는 소비 전력의 합보다 클 경우에만 행해진다.

#### 4. 성능 평가

제안 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 현재 리눅스 커널 2.6.5에서 사용 중인 시간 경계 값을 이용한 방법과 비교하였다. 본 연구에 사용된 노트북 하드 디스크는 Toshiba MK-4021GAS로 표 1과 같은 사양을 가지고 있다[7].

표 2. Toshiba MK4021GAS의 사양

Access times	Average seek time	12ms
Reaction times	Start time	10s
	Recovery time	4s
Source voltage 5V	Seek	2.6W
	Read/Write	2.3W
	Low-power Idle	0.7W
	Stand-by	0.25W

위 표 2를 바탕으로 제안 알고리즘에 적용해 보았을 때 저 전력 상태로의 전환 여부를 판단하기 위한 I값은 4초보다 커야 함을 알 수 있다.

현재 리눅스 커널 2.6.5에서는 시간 경계 값 기법을 사용하여 하드 디스크의 상태를 판단하고 전력 공급을 줄이는데, 노트북 컴퓨터와 같이 ACPI(Advanced Configuration and Power Interface)가 설정되어 있다면 시간 경계 값은 5초로 정의된다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 사용하면 유휴기간이 4초보다 클 경우에는 전력 소비를 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 시간 경계 값 방법은 대기상태로 전환하여 전력 소비를 절약하더라도 하드 디스크 읽기/쓰기 요청이 들어올 경우에 대

기상태에서 유휴상태로의 전환에 따른 시간 지연을 막을 수 없다.

실험에 사용된 3,770건의 데이터에서 다음 유휴기간이 4초 이상인 경우는 49건이다. 이 49건의 데이터 중 5초 이상 디스크 접근을 하지 않은 경우는 없었으므로 시간 경계 값 방법은 전력 소비를 절약할 수 없다. 하지만 제안하는 알고리즘은 다음 읽기/쓰기 요청의 지연 없이 23.05W의 에너지를 절약할 수 있다. 그러나 모형이 예측해준 값이 오차를 내포하고 있으므로 실질적으로 얻는 이득은 더 적을 것이라고 예상할 수 있다.

#### 5. 결론 및 향후 연구과제

하드 디스크 접근에 영향을 미치는 항목을 이용해 ANN 기법으로 예측 모형을 만들고 다음 유휴기간을 예측하는데 사용했다. 시간 경계 값 방법과 비교하여 유휴기간 동안의 전력 소비를 약 23.05W 줄일 수 있었다. 향후 연구 과제로는 디바이스 드라이버 수준에서 하드 디스크 접근 패턴을 구해야 더욱 정확한 실험을 할 수 있으며, 제안 모형과 알고리즘을 실제 하드 디스크 드라이버에 적용해 다음 유휴기간을 구하는 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] L. Benini, A. Bogliolo, and G. De Micheli. "Policy optimization for dynamic power management," IEEE Trans. Computer Aided Design, vol. 18, 813-833, June 1999.
- [2] T. Simunic, "Dynamic management of power consumption," Power Aware Computing, Edited by R. Grabill, R. Melhem, Kluwer Academic Publishers, pages 101-125, 2002.
- [3] L. Benini, A. Bogliolo, and G. De Micheli. "A survey of design techniques for system-level dynamic power management," IEEE Transaction on VLSI Systems, vol. 8, pages 299-316, June 2000.
- [4] David P. Helmbold, Darrell D. E. Long, Bruce Sherrod. "A dynamic disk spin-down technique for mobile computing," in Proceeding of the 2nd Annual International Conferences on Mobile Computing and Networking, pages 130-142, 1996.
- [5] M. B. Srivastava, A. P. Chandrakasan, and R. W. Broderson, "Prediction System Shutdown and Other Architectural Techniques for Energy Efficient Programmable Computation," IEEE Transaction on VLSI Systems, vol. 4, no. 1, pages 42-54, March 1966.
- [6] C.-H. Hwang and A. Wu. "A predictive system shutdown method for energy saving of event-driven computation," in Proceeding International Conference on Computer Aided Design, pages 28-32, 1997.
- [7] <http://sdd.toshiba.com>